

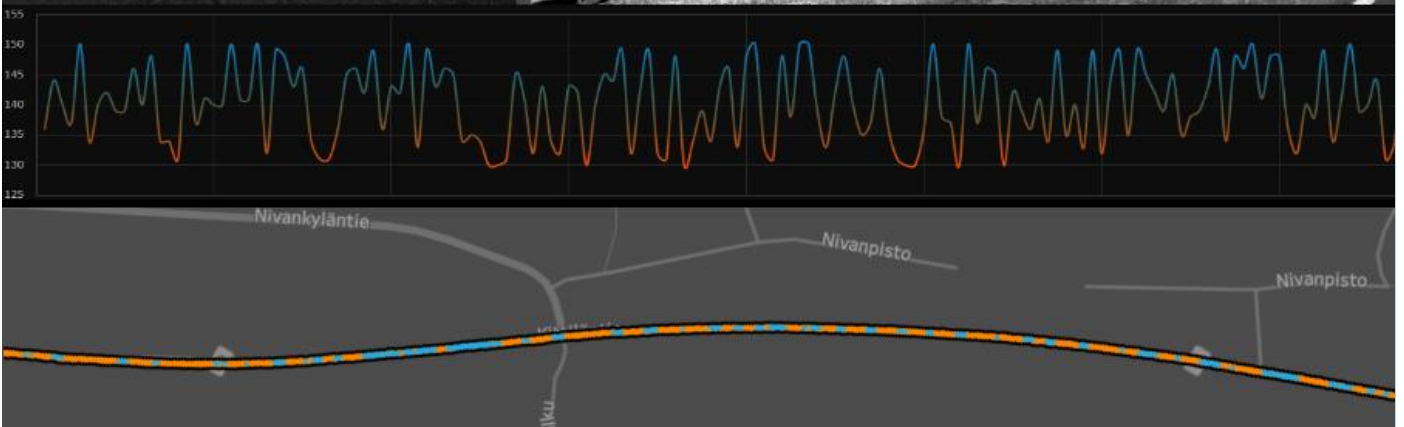


Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisu
23/2023

Toteumatiedon automaattinen mittaaminen, raportointi ja analysointi päällystystöissä

Kehitystyön taustaraportti



Mikko Ailisto

Toteumatiedon automaattinen mittaaminen, raportointi ja analysointi päällystystöissä

Kehitystyön taustaraportti

Väyläviraston julkaisuja 23/2023

Kannen kuva: Väylävirasto & Mikko Ailisto

Verkkójulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-405-059-3

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
puh. 0295 343 000

Mikko Ailisto: Toteumatiedon automaattinen mittaaminen, raportointi ja analysointi päällystystöissä - Kehitystyön taustaraportti. Väylävirasto Helsinki 2023. Väyläviraston julkaisuja 23/2023. 26 sivua. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-059-3.

Avainsanat: päällystystyöt, digitalisaatio, tieverkot, hiilijalanjälki

Tiivistelmä

Päällystealalla digitalisaation hyödyntäminen on verrattain vähäistä. Teknologian laajempi käyttöönotto voi tuoda merkittäviä säästöjä niukasti rahoitetulle perusväylänpidolle sekä pienentää energiaintensiivisen alan hiilijalanjälkeä. Väylävirasto kehitti vuosina 2016–2018 tieverkon kunnonhallinnan ja ylläpidon digitalisaatiota, jossa yksi kehityskohteista oli automaattisen toteumatiedon mittaaminen päällystystöissä. Digitalisaatiohankkeesta saadut kokemukset olivat lupaavia, minkä johdosta kokeiluja on jatkettu vuosina 2019–2022. Vuonna 2020 julkaistiin ensimmäinen versio ohjeesta, jossa määriteltiin mittaamiseen ja raportointiin liittyvät vaatimukset. Ohjetta on päivitetty tämän jälkeen vuosittain.

Kokeilujen pohjalta automaattisen toteumatiedon mittaamisen potentiaali on tunnistettu sekä tilaajien että urakoitsijoiden puolelta. Urakoitsijat ovat korostaneet, että mittaaminen ei saa pitkällä tähtäimellä lisätä työtaakkaa päällystystyön aikana ja toteumatiedon mittauksessa on tärkeää arvioida, mikä tieto on tarpeellista ja millä tarkkuudella tuotettuna. Tarpeettomat mittaukset tai liiallinen mittaustarkkuus eivät tuota lisäarvoa, vaan lisäävät ainoastaan kustannuksia urakoitsijoille ja tilaajille.

Kansainvälisesti toteumatiedon automaattista mittaamista on toteutettu lähinnä levitetyn päällysteen lämpökameramittauksilla. Kattavampaa päällystystyön toteuman mittaamista on tehty Saksassa ja Hollannissa; molemmissa maissa on ollut hankkeita, joissa digitalisoimista on pyritty viemään mahdollisimman pitkälle kattamaan päällystysprosessi kokonaisvaltaisesti asfalttiasemalta jyräkseen.

Tulevaisuudessa Suomessakin automaattisen toteumatiedon mittaaminen tulee liittää osaksi kokonaisvaltaista päällystysprosessin digitalisointia. Digitalisaatiosta saadaan suurin hyöty, kun erilliset järjestelmät kykenevät kommunikoimaan keskenään. Tämä edellyttää standardeja ja avoimia rajapintoja, mikä taas vaatii laajaa yhteistyötä alan eri toimijoiden kanssa.

Mikko Ailisto: Automatisk mätning, rapportering och analys av utfallsdata i beläggningsarbeten - Bakgrundsrapport om utvecklingsarbetet. Trafikledsverket. Helsingfors 2023. Trafikledsverkets publikationer 23/2023. 26 sidor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-059-3.

Sammanfattning

Inom beläggningssektorn utnyttjas digitaliseringen relativt lite. En mer omfattande användning av teknologi kunde medföra betydande besparingar för den blygsamt finansierade bastrafikledshållningen samt minska den energiintensiva sektorns koldioxidavtryck. Under 2016–2018 utvecklade Trafikledsverket digitaliseringen av vägnätets underhåll och hantering av dess tillstånd. Ett av utvecklingsobjekten var att mäta automatiska utfallsdata i beläggningsarbeten. Erfarenheterna från digitaliseringsprojektet var lovande och därför har försöken fortsatt under 2019–2022. År 2020 publicerades den första versionen av anvisningen, där kraven på mätning och rapportering fastställdes. Anvisningen har därefter uppdaterats årligen.

Utifrån försöken har potentialen för automatisk mätning av utfallsdata identifierats både hos beställare och entreprenörer. Entreprenörerna har betonat att mätningen inte på lång sikt får öka arbetsbördan under beläggningsarbetet och vid mätningen av utfallsdata är det viktigt att bedöma vilken information som behövs och hur noggrann informationen ska vara. Onödiga mätningar eller överdriven noggrannhet vid mätningar ger inget mervärde, utan ökar endast kostnaderna för entreprenörer och beställare.

Internationellt har automatisk mätning av utfallsdata genomförts främst med mätningar med värmekamera av utbredd beläggning. En mer omfattande mätning av beläggningsarbetets utfall har gjorts i Tyskland och Holland; i båda länderna har det funnits projekt där man strävat efter att med digitaliseringen i så stor utsträckning som möjligt följa beläggningsprocessen från asfaltstationen till vältningen.

I framtiden bör mätningen av den automatiska utfallet inkluderas även i Finland i beläggningsprocessens genomgående digitalisering. Digitaliseringen ger den största nyttan när separata system kan kommunicera sinsemellan. Detta förutsätter standarder och öppna gränssnitt, vilket i sin tur kräver ett omfattande samarbete med olika aktörer inom sektorn.

Mikko Ailisto: The automated measurement, reporting and analysis of paving work outcome data - Background report for the development work. Finnish Transport Infrastructure Agency Helsinki 2023. Publications of the FTIA 23/2023. 26 pages. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-405-059-3.

Abstract

To date, the pavement sector has not made extensive use of digitalisation. The wider introduction of technological solutions could provide significant savings in basic infrastructure management, which already receives scant funding, and it could also help reduce the carbon footprint of this energy-intensive sector. Between 2016 and 2018, the Finnish Transport Infrastructure Agency developed the digitalisation of the management and maintenance of the Finnish road network. One of its development targets was the automated measurement of the outcome data in paving work. The experiences gained from the digitalisation project were promising, which is why the trials were continued between 2019 and 2022. In 2020, the first version of the measurement and reporting guideline was published, and it continues to receive annual updates.

During the trials, the potential of automated outcome data measurements was identified by both commissioners and contractors. However, some contractors have emphasised that, over the long term, the measurement process should not increase their workload during the paving work itself, and that it is important to assess what information is necessary and to what degree of accuracy. Any unnecessary or excessively detailed measurements will not add any value and will instead only serve to increase the costs borne by both contractors and commissioners.

Internationally, the automated measurement of outcome data has typically involved the thermographic measurement of applied pavement. However, Germany and the Netherlands have adopted a more comprehensive approach to their outcome measurements; both countries have conducted projects that utilised digitalisation to its furthest possible extent, covering the paving process from the asphalt plant to the application itself.

In the future, Finland must also include the automated measurement of outcome data in its efforts to comprehensively digitalise the paving process. Digitalisation provides the greatest benefits when it allows separate systems to communicate with one another. This will require standards and open interfaces, which, in turn, will necessitate extensive collaboration between the different actors in the sector.

Esipuhe

Tässä raportissa käydään läpi päällystystöiden digitalisointiin liittyviä kokemuksia vuosilta 2016–2022, esitellään lyhyesti vastaavia hankkeita ulkomailta, taustoitetaan toteumatiedon automaattiseen mittaamiseen ja raportointiin laadittua ohjetta sekä esitellään mittausaineistoille tehtävää analysointia. Raportin lopuksi tuodaan esille lähivuosien tavoitteita ja kehityssuuntia toteumatiedon automaattisessa mittaamisessa.

Julkaisun on kirjoittanut Mikko Ailisto Finnmap Infra Oy:stä. Työtä on ohjannut Katri Eskola Väylävirastosta.

Helsingissä maaliskuussa 2023

Väylävirasto
Teiden kunnossapidon ohjaus

Sisältö

1	TAUSTA.....	8
1.1	Digitalisaatiohanke 2016–2018	8
1.2	Kansainvälinen tilanne	9
1.2.1	Qualitäts Strassenbau Baden-Württemberg 4.0	9
1.2.2	Asphalt Paving Research and Innovation	10
1.2.3	Intelligent Construction Technologies	11
2	KOKEMUKSET DIGIPILOTEISTA 2017–2022	13
2.1	Mittalaitteet	14
2.2	Mittausaineisto.....	15
2.3	Analysointi.....	16
3	OHJEEN SISÄLTÖ 2023.....	18
3.1	Mittalaitteiden tarkkuus ja mittaustiheys.....	18
3.2	Mittauspisteet	18
3.3	Raportointi	19
4	YHTEENVETO	21
5	JATKOTOIMENPIDE-EHDOTUKSET	23
5.1	Mittalaitteet	23
5.2	Standardointi	23
5.3	Avoimet rajapinnat	23
5.4	Pilottiprojekti	24
	LÄHDELUETTELO.....	25

1 Tausta

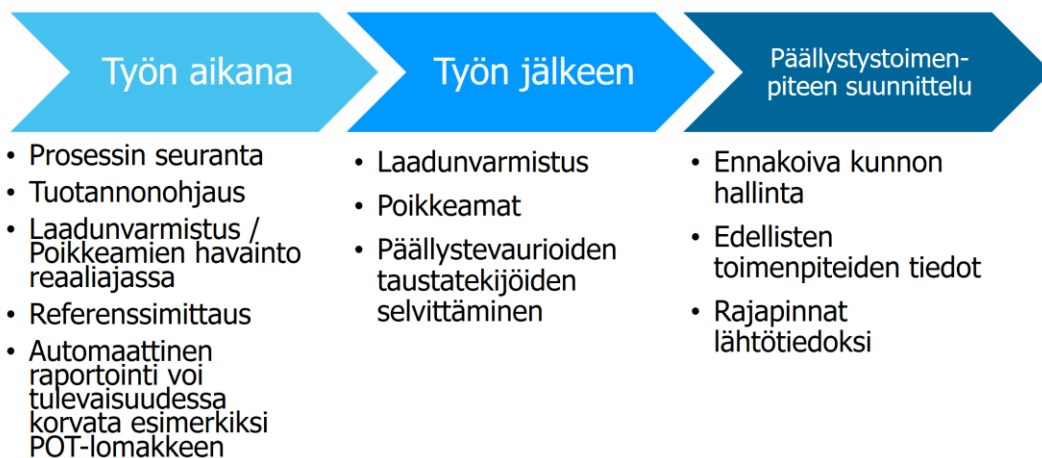
Infra-alan tuottavuuden kasvu viime vuosikymmeninä Suomessa ja muualla Euroopassa on ollut hyvin heikkoa esimerkiksi tehdasteollisuuteen verrattuna. Syitä muita toimialoja hitaampaan kehitykseen on useita, mutta eräs merkittävimmästä on jälkeenjääneisyys digitalisaation hyödyntämisessä (Väylävirasto 2020a). Päälysteala ei ole tässä poikkeus muusta infra-alasta.

Päälystystöissä toteutettavaa työnaikaista automaattista mittaamista on tehty vuosikymmenien ajan etenkin levitetyn päälysteen lämpötilan osalta. Teknologian jatkuva kehittyminen, parempi saatavuus ja edullisuus mahdollistavat yhä laajemman sekä monipuolisemman mittaustiedon keräämisen. Etenkin paikannusteknologian parantuminen on luonut uusia mahdollisuuksia mittaamisessa. Tässä luvussa on lyhyesti esitetty viime vuosina Suomessa ja ulkomailla toteutettuja hankkeita päälystealan digitalisaation edistämiseksi.

1.1 Digitalisaatiohanke 2016–2018

Väylävirastolla oli vuosina 2016–2018 käynnissä digitalisaatiohanke, jonka tavoitteena oli ”uudistaa liikenne-, väylä- ja liikkumistietojen tuottaminen, ylläpitäminen ja jakelu”. Hankekokonaisuus jakautui kuuteen osahankkeeseen, joista yksi keskittyi tieverkon kunnonhallinnan ja ylläpidon digitalisaation kehittämiseen. Eräs tämän osahankkeen kehityskohteista oli automaattisen toteumatiedon mittaaminen päälystystöissä. Kehitystyön kannustimina käytettiin niin sanottuja digibonuksia, joita urakoitsijoille myönnettiin, kun urakka-asiakirjojen edellyttämät digikokeilut oli toteutettu. Toteumatiedon automaattista mittausta kokeiltiin REM- ja MPKJ-päälystysmenetelmissä sekä LJYR-/TJYR -menetelmissä. Mittauksen kohteina olivat jyrksinsyvyys ja lämpötilan mittaaminen (kuumennettu ja kuumajyrsky vanha asfaltti sekä levitetty asfaltti). (Väylävirasto 2020b)

Automaattisen toteumatiedon hyödyntämismahdollisuuksia on esitetty Kuva 1. Digitalisaatiohankkeesta saatuja kokemuksia käsitellään tarkemmin luvussa 2.



Kuva 1. Automaattisen toteumatiedon hyödyntäminen.

1.2 Kansainvälinen tilanne

Lähes poikkeuksetta Suomen ulkopuolella julkisen puolen tilaajat eivät ole asettaneet urakkavaatimuksiksi muita toteumatiedon automaattisia mittauksia kuin levitetyn päällysteen lämpötilan mittauksen. Lyhyen kartoituksen perusteella automaattisen raportoinnille ei ole asetettu vaatimuksia missään muualla kuin Saksan Baden-Württembergin osavaltiossa (kts. *Qualitäts Strassenbau Baden-Württemberg 4.0*).

Lämpökameroita ja muita infrapunaan perustuvia lämpötilan mittausten menetelmiä käytetään kansainvälisesti laajalti päällystysten laadunmittauksessa. Eroja on kuitenkin tilaajien asettamien vaatimusten suhteen. Esimerkiksi Tanskassa Vejdirektoratet on vasta viime vuosina ryhtynyt pyytämään urakoitsijoilta päällystystöistä lämpökameradataa, joita analysoimalla on tarkoitus laatia bonusjärjestelmä perustuen lämpökameramittaukseen (Thøgersen 2020). Ruotsissa taas on ollut linjaskannaukseen perustuva bonuslaskentamenetelmä käytössä jo vuodesta 1999 lähtien (Andersson 2009). USA:ssa uuden päällysteen lämpötilan mittauksen (lämpökamera tai vastaava) lisäksi tiivistystyön seuranta tietomalli- ja/tai GNSS-pohjaisesti ("Intelligent compaction") ovat merkittävimmät teknologiat, joita useat osavaltioiden tievirastot hyödyntävät päällysteiden laaduntarkkailussa (Angerhofer 2021).

Alla on esitelty tarkemmin eräitä merkittäviä kansainvälisiä hankkeita päällystysprosessien digitalisaation edistämiseksi.

1.2.1 *Qualitäts Strassenbau Baden-Württemberg 4.0*

Julkisten toimijoiden osalta Saksan Baden-Württembergin osavaltio on mahdollisesti maailmanlaajuisesti pisimmällä päällystealan digitalisaatiossa. Vuosina 2016–2020 toteutettujen pilottiprojektien myötä osavaltion viranomaiset ovat laatineet käsikirjan "*Qualitäts Strassenbau Baden-Württemberg 4.0*" (myöhemmin QSBW 4.0), jossa on määritelty tien rakentamisessa sekä korjaus- ja ylläpitotehtävissä suoritettavien päällystysten työmenetelmät. QSBW 4.0:ssa korostetaan logistiikan dynaamisuutta ja laaduntarkkailua päällystystyön kaikissa vaiheissa asfaltti- asemalta tiivistykseen. (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg 2018)

QSBW 4.0:n mukaisen prosessin tärkeimmät komponentit ovat:

- tien kunnan mittaaminen, korjaustarpeiden inventoiminen ja korjaustöiden laajuuden määrittäminen
 - mm. maatutkaluotauksen ja laserkeilauksen hyödyntäminen
- dynaaminen logistiikan ohjaus ja koneohjauksen hyödyntäminen
 - logistiikkaketjujen optimointi
 - koneohjauksen hyödyntäminen jyrksinä (Variable depth milling), levytyksessä (2D-koneohjaus "Sonic ski" -menetelmällä) sekä tiivistyksessä
- laadunohjaus
 - laadunseuranta ja virhelähteiden poistaminen/ehkäisy
- mobiiliverkkoyhteyksien laaja hyödyntäminen
 - päällystysprosessin eri työvaiheissa syntyvän tiedon (esim. kuorma-autojen sijainti, lämpötilan mittaustiedot) tulee olla välittömästi saa-

tavilla, jotta reaaliaikainen prosessinseuranta ja -hallinta on mahdollista työnjohdolle. Urakoitsijan edellytetään rakentavan WLAN-lähiverkon työmaa-alueelle.

Nämä neljä tekijää kytkeytyvät toisiinsa, mikä edellyttää nopeaa ja kitkatonta tiedonjakoa. Tämän vuoksi on tärkeää, että sekä työmaa-alueen sisällä että sen ulkopuolella olevien työpisteiden välillä on toimivat mobiiliverkkoyhteydet. Riittävät tietoliikenne- ja satelliittiyhteydet varmistetaan ennen urakan alkua tehtävillä mittauksilla.

QSBW 4.0 edellyttää seuraavia mittauksia:

- lämpötila asfalttiasemalla, kuljetuksen aikana, välisyöttimellä, levittimen sisällä ja päällysteellä levityksen jälkeen
 - kuljetuksen aikainen lämpötilan muutos tulee esittää kuvaajassa
- sijainti (GNSS)
 - massakuormat ja asfalttikoneet
- levitysnopeus
- levitysmatka
- palkin leveys
- päällysteen paksuus
- jyräksen tiivistymisarvot ja jyräskerrat.

Vaikka QSBW 4.0:stä on julkaistu ensimmäiset versiot, se on edelleen kehitys- ja pilotointivaiheessa. Käsikirjan mukaiset työmenetelmät on tarkoitettu asettaa pakollisiksi Baden-Württembergin osavaltiossa vuonna 2022. QSBW 4.0:n nimessä viitataan niin sanottuun neljanteen teolliseen vallankumoukseen (Teollisuus 4.0), johon liittyvät esineiden internet (IoT), automaatio, analytiikka ja koneoppiminen. (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg 2018)

1.2.2 Asphalt Paving Research and Innovation

Twenten yliopisto ja useat Hollannissa toimivat asfalttiurakoitsijat perustivat vuonna 2007 ASPARi (Asphalt Paving Research and Innovation) -yhteistyöverkoston, jonka tavoitteena on tutkimuksen ja uusimpien teknologioiden avulla parantaa päällysteiden laatua. ASPARi-hankkeessa päällystysprosesseihin on tuotu muun muassa satelliittipaikannuksen, lämpökuvauksen ja virtuaalitodellisuusteknologian hyödyntämistä. Näiden avulla on pyritty:

- innovoimaan päällystysprosesseihin uudenlaisia toimintatapoja ja viemään niitä käytäntöön
- parantamaan prosessinohjausta, vähentämään vaihtelua prosessissa (esim. päällysteen lämpötila) ja kasvattamaan tuottavuutta
 - esimerkiksi "Just-In-Time"-mallin käyttöönotto
- vähentämään urakoitsijoiden riskiä, kun päällysteissä pyritään mahdollisimman korkeaan laatuun.

Hankkeen myötä Twenten yliopisto on julkaissut lukuisia tutkimustuloksia, joista yksi kiinnostavimmista on esitys systemaattisesta toimintamallista päällystysprosessin laadun parantamiseksi. Process Quality improvement (PQi) -malli perustuu päällystysprosessin eri parametrien vaihtelevuuden jatkuvaan seurantaan ja päällystysryhmän kykyyn stabiloida prosessia esimerkiksi asfalttilevittimen nopeutta

säätämällä. PQi-malliin kuuluu olennaisesti myös toimintatutkimus, jossa työporukka reflektoi päällystystyötä jälkikätehen käyttäen apunaan työn aikana kerättyä mittausdataa (Kuva 2). (ASPARi 2022b)

Task	Instrument	Method	Measurement accuracy & frequency
Monitor weather conditions	Weather station (vintage pro)	Weather station set up next to the construction site to log local conditions	Ambient temperature, wind speed, relative humidity, solar radiation data logged at 5-minute intervals
Measure asphalt surface temperature behind screed	Linescanner (Raytek)	Laser linescanner mounted on the back of the HMA asphalt paver.	captures HMA surface temperature at 1-second intervals behind the paver screed
Measure surface temperature cooling rate	2 handheld infrared cameras (Flir & Fluke)	Cameras on tripods at fixed positions approx. 100m apart	Images taken manually every 30 seconds
Measure in-asphalt temperature cooling rate	2 channel digital thermometer (by contractor)	Thermo-coupler placed in the middle of asphalt layer	Temperature logged automatically every 30 seconds
Monitor movements of all asphalt paving machinery	5 GPS receivers (Trimble)	Base station set up on site & GPS receivers mounted on HMA machinery	Differential GPS accuracy of < 10 centimetres, Data logged at 1-second intervals
Measure asphalt density	Nuclear density gauge (by contractor)	Density measured after every roller pass at fixed temperature logging positions	Preferably on spot of cooling measurement after each roller pass, and afterwards
Record noteworthy incidents on site	Memo recorders (Sony)	Record incidents as they occur	Incident log; observations

Kuva 2. PQi-malliin kuuluvia mittauksia (ASPARi 2022b).

ASPARi-hankkeessa on korostettu standardien ja avoimien rajapintojen tärkeyttä, jotta eri asfalttikone-, mittalaite- ja ohjelmistovalmistajien laitteet voivat kommunikoida keskenään. Tätä maanrakennusalan laitteiden välistä viestintää (machine-to-machine communication) pyrkii standardisoimaan Saksassa perustettu MiC 4.0 -yhteisö, joka koostuu alan yrityksistä ja yliopistoista pääosin Saksasta. (ASPARi 2022b)

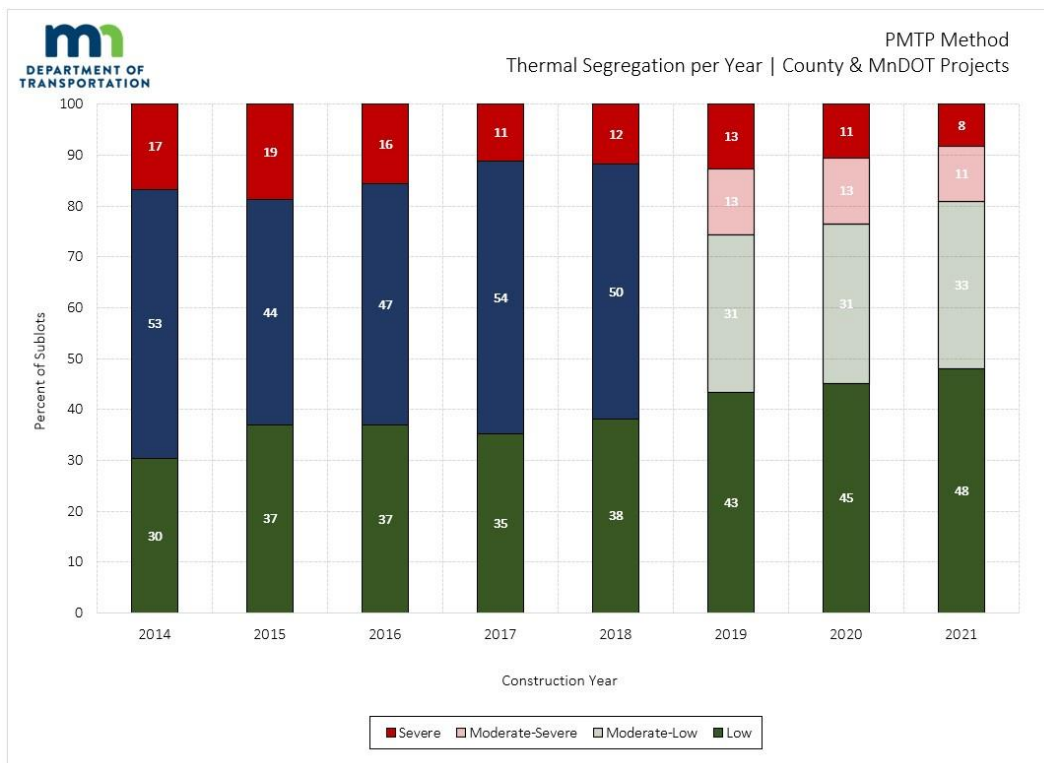
1.2.3 Intelligent Construction Technologies

Yhdysvalloissa päällystysprosessien digitalisaation ja muun korkean teknologian hyödyntämisen yhteydessä käytetään termiä Intelligent Construction Technologies (ICT). Yhdysvaltain liikenneministeriö on laatinut useita standardeja päällystysprosessien digitalisaation edistämiseksi, kuten standardeja lämpökameroiden käyttöön, älykkääseen tiivistämiseen (Intelligent Compaction) ja tiedostoformaateille. Älykkään tiivistämisen osalta standardit on otettu käyttöön suurimassa osassa osavaltioita. Lisäksi Yhdysvalloissa on kehitetty sovellus (Veta), jolla voidaan kartta-pohjaisesti tarkastella ja analysoida eri kone- ja laitevalmistajien tuottamaa mittausdataa. Laitevalmistajien toimittaman datan tulee olla yhteensopiva sovelluksen kanssa. Veta-sovelluksen käyttöä edellytetään liittovaltion ja osavaltioiden spesifikaatioissa, joita on laadittu älykkääseen tiivistämiseen. Kuva 3 on esitetty Veta-ohjelmistoon jo sisältyviä ominaisuuksia sekä tulevaisuuden tavoitteita ohjelmistokehityksen suhteen.



Kuva 3. Veta-ohjelmiston kehitys (Embacher 2022).

Minnesotan osavaltiossa levitetyn päällysteiden lämpötilavaihtelu on vähentynyt automaattisen mittauksen johdosta (Kuva 4).



Kuva 4. Päällysteiden lämpötilajittumien kehitys Minnesotan osavaltion urakoissa (PMTM: Paver-mounted Thermal Profiler) (Embacher 2022).

2 Kokemukset digipiloteista 2017–2022

Vuosina 2017-2018 toteutuneista automaattisen toteumatiedon raportoinnin digipiloteista on julkaistu seuraavat raportit:

- *Reaaliaikainen raportointi REM-pintauksessa* (NCC Industry Oy 2017)
- *UREM-kohteiden digitaalinen suunnittelu ja toteumaraportointi* (NCC Industry Oy 2018a)
- *MPKJ-työn toteutuman raportointi* (NCC Industry Oy 2018b)
- *Jyrsintätyön toteutuman raportointi* (NCC Industry Oy 2018c)

Väyläviraston digitalisaatiohankkeen (2016–2018) jälkeen toteumatiedon automaattisen mittaamisen pilotointia ja kehitystä on jatkettu useiden asfalttiurakoitsijoiden toimesta vuosina 2019–2022. Kannustimena on käytetty niin kutsuttuja digibonusia, joita Väylävirasto on myöntänyt onnistuneista kokeiluista. Näistä tuotetut raportit eivät ole julkisesti saatavilla, mutta niiden sisältö tuodaan esille tässä raportissa. Raporttien lisäksi urakoitsijoiden kokemuksia ja palautetta on kerätty päällystyskauden jälkeen toteutetuilla haastatteluilla.

Automaattisesta toteumatiedon mittaamisesta saadaan seuraavia hyötyjä:

- prosessin säätö ja laadunvarmistus reaaliajassa ja jatkuvana
- massamenekkien hallinta
- REM-käsittelyn laajuus automaattisesti -> vähemmän erillistä työmäärämittausta -> parempi työturvallisuus
- luotettava ja helppokäyttöinen mittausjärjestelmä.

Seuraavia haasteita ja kehittämistarpeita on havaittu:

- lämpöantureiden kestävyys ja huolto/vaihto
- mittauksia häiritsevät tekijät (tuuli, pöly, savu ja kosteus)
- jyrsinrouheen aiheuttamat poikkeavat mittaustulokset
- antureiden optimaalinen sijoitus (helppo huolto/vaihto, mutta ei mittaisi esimerkiksi jyrsinrouhetta tai reunapaltea)
- mittaamisen automaattinen aloitus ja lopetus, jotta mittauksia ei tallennu työvaiheiden ulkopuolella (tautot, siirtymiset yms.)
- raportoinnissa eri jyrsintälinjojen käsittely
- mittausaineiston tuottaminen helposti jatkojalostettavaan muotoon
- mittaamisen tuottama lisävaiva päällystystyön aikana (mitä enemmän mitalaitteita, sitä enemmän niihin liittyvää tarkistusta ja huoltoa).

Kaiken kaikkiaan digipiloteissa mukana olleiden urakoitsijoiden kokemukset ovat olleet positiivisia ja mittauksien hyödyt on tunnistettu. Vielä on kuitenkin useita tekniikkaan ja raportointiin liittyviä seikkoja ratkaistavana, ennen kuin toteumatiedon automaattisesta mittaamisesta saadaan riittävän luotettavaa tietoa esimerkiksi korvaamaan toimenpiteen manuaalisen kirjaamisen tiestötietoihin.

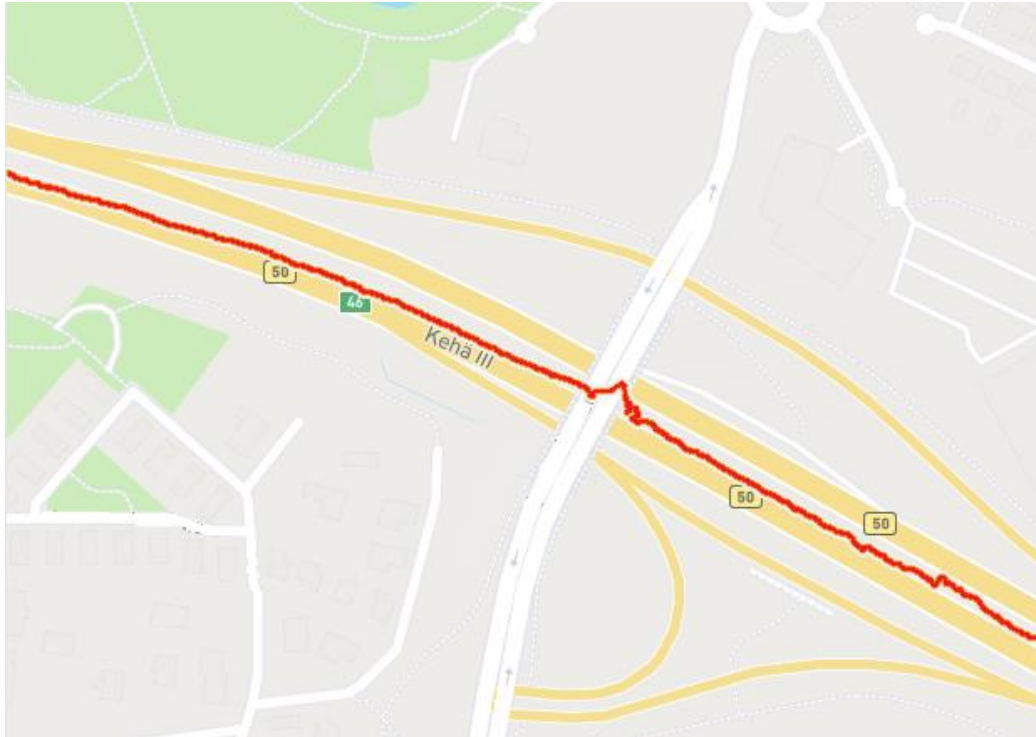
Urakoitsijat ovat käyttäneet mittausjärjestelmien asentamisessa ulkopuolisia yrityksiä, joiden kanssa yhteistyötä on jatkettu järjestelmien kehittämisessä ja vika-tilanteiden korjauksissa. Usein taustalla on ollut muutama epäonnistunut kokeilu ennen kuin järjestelmän toimintakyky on saatu riittävän luotettavaksi ja ensimmäiset onnistuneet mittaukset ovat mahdollistuneet.

Urakoitsijat ovat tuoneet esille huolen siitä, että digitalisaation kehitys- ja pilotointivaiheessa tuodaan paljon lisätyötä jo valmiiksi kuormittuneille päällystystyöntekijöille. Tällöin on vaarana, että päällystystyön laatu huononee digitalisaatiokehityksen kustannuksella. Urakoitsijat kuitenkin tunnistavat myös ne hyödyt, joita on saatavissa, kun mittausjärjestelmät ja raportointi toimivat halutulla tavalla. Urakoitsijat ovat keskusteluissa toivoneet myös ohjeiden ja vaatimusten vakiointia muutamaksi vuodeksi, jotta mittausjärjestelmiä ja raportointia ei tarvitsisi joka vuosi päivittää.

2.1 Mittalaitteet

Jyrsinsyvyyden mittauksessa on pääosin hyödynnetty laseretäisyysantureita, mutta myös vaijeriantureita on käytetty. Lämpötilan mittauksessa on käytetty infrapunalämpömittareita. Paikannus on toteutettu GNSS-antureilla ja joissain tapauksissa niihin erillisenä liitetyillä antennilla. Anturit on liitetty tietokoneeseen, jossa eri antureiden mittaus tiedot on yhdistetty. Osalla urakoitsijoista mittausaineisto on siirtynyt päällystyskoneessa olevalta tietokoneelta pilvipalveluun, osalla taas aineisto on tallennettu ulkoiselle massamuistille, kuten USB-tikulle.

Mittalaitteet on valittu siten, että ne kestävät päällystystöiden haastavia ympäristötekijöitä, kuten korkeita lämpötiloja, likaa ja tärinää. Täten mittalaitteiksi on usein valikoitunut teollisuuden mittauksiin tarkoitettuja lämpö- ja etäisyysmittalaitteita. Urakoitsijoiden/järjestelmäasentajien valitsemien lämpöantureiden hinnat ovat vaihdelleet noin 200–600 euron välillä, etäisyysantureissa hintaväli on ollut 400–1000 euroa. Paikannukseen on hankittu noin 20–200 euron laitteita. Edulliset paikanninlaitteet ovat mahdollisia, koska paikannustarkkuudelle ei ole ollut korkeita tarkkuusvaatimuksia ja ne voidaan sijoittaa päällystyskoneessa paikkoihin, joihin ei kohdistu samanlaisia häiriötekijöitä kuin lämpö- ja etäisyysantureille. Digipiloteissa käytettyjen GNSS-paikantimien epätarkkuus on havaittavissa mittaus tulosten karttapohjaisessa tarkastelussa (Kuva 5).



Kuva 5. Karttanäkymä erään kohteen mittauksista. Sillan alitus heikentää paikannustarkkuutta merkittävästi.

Päällystyskausilla 2020–2022 eräillä urakoitsijoilla oli asfaltinlevittimissä asennettuna tanskalaisen TF-Technologies:n Matmanager-järjestelmä, jolla voi mitata mm. päällysteen lämpötilaa kierukoista ja levitetystä päällysteestä, asfalttipalkin leveyttä ja sääätietoja (TF Technologies A/S 2019).

2.2 Mittausaineisto

Digibonustehtäviin on kuulunut, että urakoitsijat toimittavat mittausaineiston tilaajalle. Aineistojen muoto ja sisältö on vaihdellut, koska raportointitapaa ei ensimmäisinä vuosina tarkasti ohjeistettu. Suurin osa datasta on toimitettu sähköpostitse erillisinä tiedostoina. Eräs urakoitsija antoi tilaajalle tunnukset yrityksen omaan pilvipalveluun, mistä aineiston lataamisen lisäksi pystyi tarkastelemaan mittauksista tehtyjä kuvia (jyrsinsyvyys/lämpötila ajan funktiona).

Mittausaineistoa on toimitettu 1 ja 60 sekunnin mittaustiheydellä. Aineisto on toimitettu tilaajalle Excel-, CSV- ja JSON-tiedostoformaateissa. Kuva 6 on esimerkki erään urakoitsijan toimittamasta mittausdatasta CSV-muodossa.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Päivämäärä	Aikaleima	Latitude	Longitude	Tieosoite	Jyrsinsyv_oik	Jyrsinsyv_vas	L_al	L_oik	L_kes	L_vas	Leveys
2	4.10.2021	10:16:03	64.41438965	25.01382848	86/17/4088	19	38	55.8	124.1	121.5	130.1	4.49
3	4.10.2021	10:16:18	64.41437648	25.0138253	86/17/4087	31	14	54.4	123.2	122.2	130.3	4.49
4	4.10.2021	10:16:24	64.41435568	25.01381628	86/17/4085	18	36	55.8	122.1	121.7	129.4	4.49
5	4.10.2021	10:16:30	64.41434888	25.01382263	86/17/4084	14	21	56.4	122.5	121.6	131.6	4.49
6	4.10.2021	10:16:37	64.41432583	25.01381517	86/17/4081	21	11	56.5	125.2	121	130.9	4.49
7	4.10.2021	10:16:45	64.41431172	25.01381725	86/17/4080	10	20	56.5	129.2	120.1	131.4	4.49
8	4.10.2021	10:17:03	64.41430747	25.01380032	86/17/4079	23	20	56.3	129.4	115.6	131.4	4.49
9	4.10.2021	10:17:28	64.41428533	25.01378722	86/17/4077	15	25	57.6	128.1	113	130.2	4.49
10	4.10.2021	10:17:36	64.4142726	25.0137866	86/17/4076	38	37	58.9	129.9	112.2	128.6	4.49
11	4.10.2021	10:17:42	64.41427103	25.01378915	86/17/4075	38	42	58.9	127.4	111.3	129.8	4.49
12	4.10.2021	10:19:06	64.41410507	25.01389607	86/17/4057	36	22	59.3	125.3	121	126.3	4.48
13	4.10.2021	10:19:12	64.41409522	25.0139049	86/17/4056	50	15	54.3	121.4	120.8	126.6	4.5
14	4.10.2021	10:19:18	64.4140941	25.01390287	86/17/4055	47	24	54.3	126.4	121.5	126.7	4.5
15	4.10.2021	10:19:37	64.41407575	25.01392248	86/17/4053	47	17	54.7	127	122.3	128.5	4.5
16	4.10.2021	10:19:46	64.4140607	25.01393633	86/17/4052	27	26	57.1	127.5	122.8	128.5	4.48
17	4.10.2021	10:19:54	64.41405128	25.01394252	86/17/4051	24	13	60.2	128.5	122.4	130	4.48
18	4.10.2021	10:20:00	64.41404657	25.01394127	86/17/4050	25	6	59.7	128.7	122.1	129.9	4.48
19	4.10.2021	10:20:06	64.41403605	25.01393623	86/17/4049	25	20	59.1	129.9	121.3	131.2	4.48

Kuva 6. Esimerkki erään urakoitsijan toimittamasta mittausdatasta. Data on vuoden 2021 ohjeiden mukainen muodon ja sisällön suhteen.

2.3 Analysointi

Automaattisesti kerätyn toteumatiedon tulkinta ja arvioiminen edellyttävät raakadatan käsittelyä. Mittaustieto on sidottu aikaan ja paikkaan. Paikkatieto (koordinaatit) mahdollistaa toimenpiteiden sijoittamisen tielle myös paalukohtaisesti. Aika- ja paikkatiedon kautta mittausaineistosta voidaan laskea esimerkiksi asfalttikoneen nopeus tai pysähdysten määrä. Näitä tietoja voidaan hyödyntää päällystysprosessin tehokkuuden ja laadun arvioimisessa etenkin levitystyössä.

Mittausdatan käsittely vaatii virheellisten mittausten suodatusta. Virheellisiä mitauksia aiheuttavat muun muassa seuraavat tekijät:

- kaluston pysähdykset
- mittalaitteen häiriöt
- ympäristötekijät
 - esimerkiksi jyrsinrouheen kertyminen mittauspisteen kohdalle jyrsinsyvyyttä mitattaessa
- mittaukset, jotka on tehty jyrsintä- tai tasaustoimenpiteiden ulkopuolella
 - esimerkiksi tauot tai kaluston siirrot
 - mittausjärjestelmissä olisi hyvä olla automatiikka, joka estäisi mitauksen päällystystoimenpiteiden ulkopuolella.

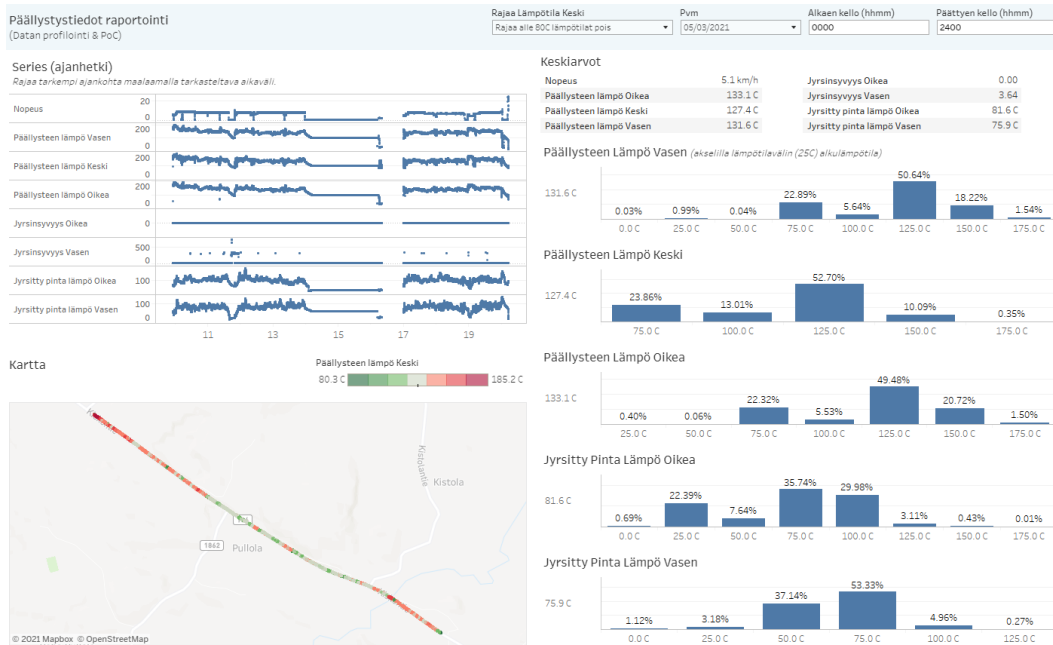
Suodatukselle tulee määrittää säännöt ja raja-arvot, jotta mittausaineiston käsittely on samanlaista käsitteijästä riippumatta.

Päällystyskaudella 2021 Väyläviraston tieto-osasto teki ensimmäisiä versioita mitausdatan analyysipalvelusta. Kehitysversiossa luotiin Tableau-palveluun yhteenvedo eräästä Remix-kohteesta kerätystä mittausaineistosta. Kuva 7 on esitetty kuvakaappaus yhteenvedon käyttöliittymästä, jossa on nähtävillä:

- nopeus, jyrsinsyvyydet sekä päällysteen ja jyrsityn pinnan lämpötilat graafeina kellonaikaan sidottuna
- päällysteen lämpötilat karttaesityksenä

- keskiarvot eri mittausarvoista
- histogrammit lämpötilan mittauksista.

Aineistoa voi rajata päivämäärän ja kellonajan suhteen. Lisäksi lämpötilan osalta tarkastelusta voi tässä versiossa suodattaa alle 80 °C lämpötilat pois.



Kuva 7. Ensimmäinen kehitysversio (syksy 2021) mittausdatan analysointi- ja yhteenvedopalvelusta.

Kehitysversiossa oli vielä paljon puutteita, mutta se loi pohjan keskusteluille analysoinnin tavoitteista ja mahdollisuuksista. Karttanäkymä koettiin jo kehitysversiossa erittäin havainnolliseksi. Yhteenvedon osalta tilaajat kokivat hyödyllisimmäksi kohdekohtaisen raportoinnin, kun taas urakoitsijoita palvelisi työvuorokohtainen yhteenvedoraportti. Molemmat esitystavat ovat mahdollisia, mutta toistaiseksi saatavilla on vain kohdekohtainen raportti.

Analysointi- ja yhteenvedopalvelun jatkokehityksen tärkeitä tavoitteita on ainakin:

- mittausaineiston automaattinen nouto urakoitsijoiden palvelimista
- datan sitominen tiepaalutukseen ja kuljettuun matkaan
- valintamahdollisuus työvuoro- ja kohdekohtaiseen tarkasteluun
- metatietojen esille tuonti
- datan erilaiset suodatusmahdollisuudet
- pysähdysten ja kylmien kohtien paikallistaminen ja lukumäärä.

3 Ohjeen sisältö 2023

Automaattisesta toteumamittauksesta on tarkoitus tehdä vaatimus päällystystöihin tulevaisuudessa, mikä edellyttää menettelytapojen ohjeistusta. Ohjeistuksella varmistetaan se, että urakoitsijoille on asetettu yhteneväiset kriteerit mm. mittaus-tarkkuudelle ja raportoinnille. Tässä kappaleessa esitetään lyhyesti taustat ohjeelle, joka on sisällytetty Väyläviraston ohjeeseen *Uusien päällysteiden laadunosoitusmittaukset* (Väylävirasto 2023).

3.1 Mittalaitteiden tarkkuus ja mittaustiheys

Mittalaitteille ohjeistettiin minimitarkkuudet ja mittaustiheys. Päällystystöiden automaattisessa toteumamittauksessa yksittäisillä mittausarvoilla ei ole suurta informaatioarvoa vaan oleellisempaa on mitata toimenpiteiden tasalaatuisuutta (esim. lämpötila 10 m:n liukuvalla keskiarvolla). Jyrsintäsyvyyden ja lämpötilan mittauksessa mitattavien kohteiden epätasaisuus, päällystyskoneen värinä ja ympäristöolosuhteet aiheuttavat sen, että erittäin tarkoista mittalaitteista saatava hyöty häviää. Tarkemmasta mittauksesta saavutettavan hyödyn täytyy olla riittävä suhteessa laitteiden kustannuksiin.

Mittaustiheydeksi ohjeistettiin 1 mittaus/sekunti tai enintään 1 metrin välein. Tämä on tyypillinen mittaustaajuus useimmille mittalaitteille ja tiheää mittausta keskiarvoistamalla voidaan häivyttää yksittäisen mittauksen aiheuttaman epävarmuuden (satunnaisvirheiden) vaikutusta. Laajasta mittausaineistosta laskettu keskiarvo on luotettavampi kuin pienemmästä johdettu.

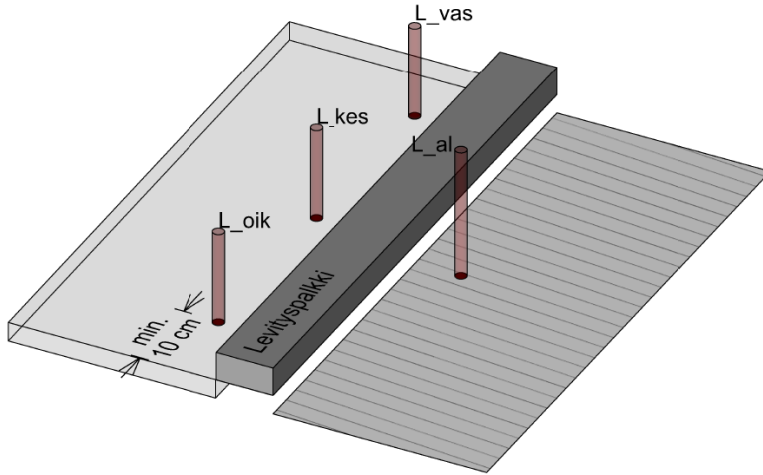
Kaikki kokeiluissa mukana olleet urakoitsijat ovat käyttäneet toteumatiedon mittaamiseen erillisiä mittalaitteita. Ohjeistus sallii myös päällystyskoneiden sisäisten ("omien") mittalaitteiden käytön, mikäli ne täyttävät mittaukselle asetetut vaatimukset.

3.2 Mittauspisteet

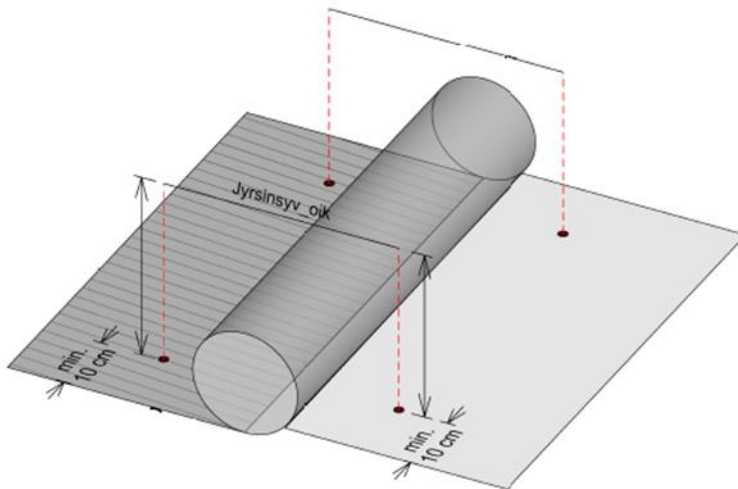
Mitattavat pisteet valittiin siten, että mittaustieto palvelisi mahdollisimman hyvin sen loppukäyttötarkoitusta ja mittauspisteet olisivat saavutettavissa urakoitsijan kalustosta riippumatta.

1. Lämpötilan mittaukseen liittyy useita toimintaympäristöstä aiheutuvia haasteita. Lämpötila mitataan vähintään yhdestä (LTA; L_ kes) tai kahdesta pisteestä (MPKJ, REM, REMplus; L_ kes ja L_ al) (Kuva 8). Jyrsityn/tasatun alustan lämpötilalla on merkitystä levitettävän päällysteen tarttumisen kannalta. MPKJ-menetelmässä tasatun kuumen alustan pintalämpötila voi kuitenkin jäähtyä merkittävästi ennen uuden päällysteen levitystä, jos alustan lämpötila mitataan massapintauksen tekevästä kalustosta.
2. Jyrsinsyvyyden mittaus perustuu "ennen ja jälkeen" -mittauksista saatavaan erotukseen (Kuva 9) Mittauspisteet tulee sijoittaa siten, että rummun eteen mahdollisesti kertyvä jyrsinrouhe ei aiheuta virheellisiä mittaustulok-

sia. Lisäksi mittauspisteen valinnassa tulee huomioida kuumennetun asfaltin painuma telojen/renkaiden johdosta ennen jyrshintää. Tällaisen painuman merkitys voi olla kuitenkin hyvin vähäistä.



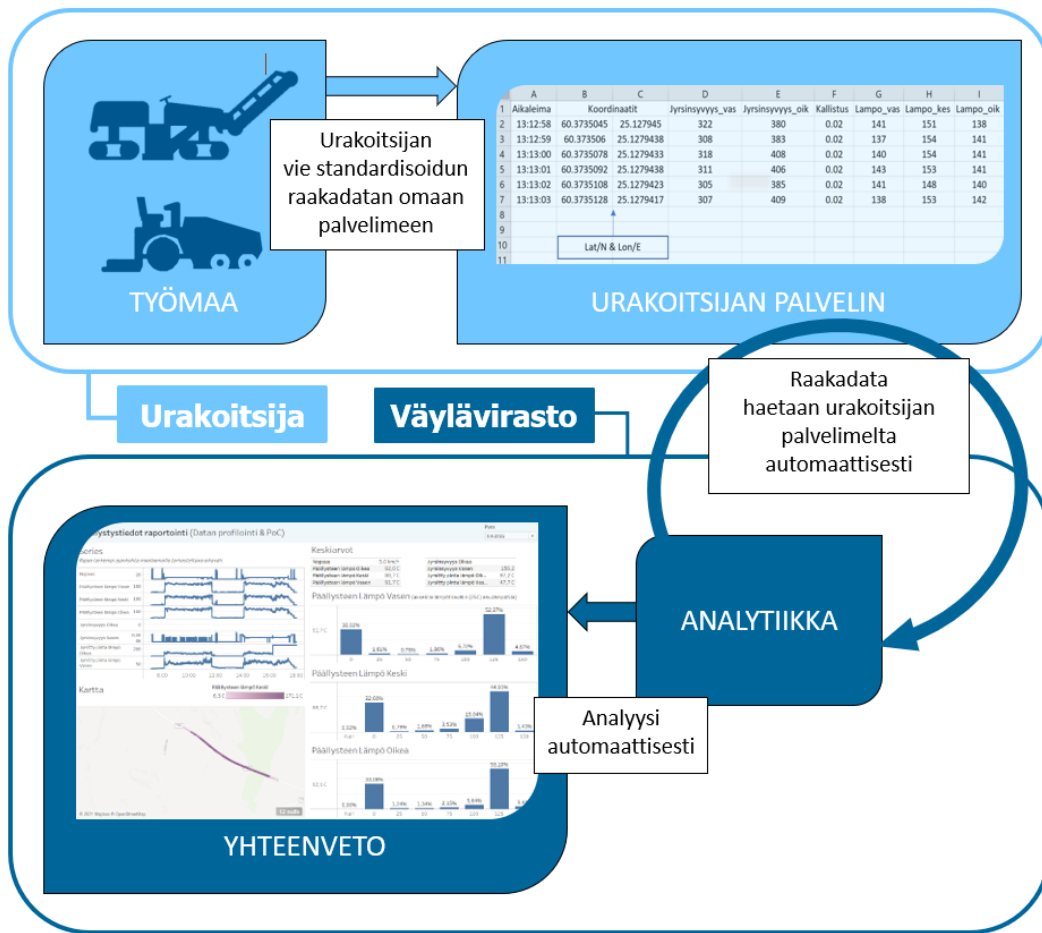
Kuva 8. LJYR, MPKJ-, REM- ja REMplus-kaluston mittauspisteet lämpötiloille. Lämpötila mitataan vähintään yhdestä (LTA; L_kes) tai kahdesta pisteestä (MPKJ, REM, REMplus; L_kes ja L_al).



Kuva 9. Jyrshintäsyvyyden mittauspisteet.

3.3 Raportointi

Mittaustietojen tehokkaan jatkokäsittelyn ja analysoinnin vuoksi on tärkeää, että urakoitsijoiden mittaustietojen raportointi on yhtenäistä. Kokemusten perusteella aineiston jatkokäsittelyn kannalta parhaaksi raportoinnin formaatiksi on osoittautunut taulukkomuotoinen data (CSV- tai muu vastaava formaatti). Myös JSON-tiedostoformaatti soveltuu hyvin tiedonsiirtoon. Standardoitu raportointi mahdollistaa toteumatiedon automaattisen käsittelyn esimerkiksi palvelimilla (Kuva 10).



Kuva 10. Standardoitu raportointi ja automaattinen analysointi.

Päällystyskaudella 2022 Väyläviraston ja muutaman urakoitsijan välille oli rakennettu Kuva 10 mukainen "dataputki". Haasteita mittausdatan jakamisessa ja automaattisessa analysoinnissa tuottavat rajapintojen yhteensovitus sekä puutteellinen tai virheellisessä muodossa oleva tietosisältö. Lisäksi urakoitsijoiden resurssit IT-puolen kehityksessä vaihtelevat suuresti.

4 Yhteenveto

Digitalisaatiolla voidaan saavuttaa tuottavuuden kasvua päällystealalla, kun päällystykseen liittyviä toimenpiteitä automatisoidaan ja päällysteiden korjaussykliä pidennetään laatua parantamalla. Tuottavuuden nostamiselle on tarvetta tieverkon suuren korjausvelan ja hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteiden vuoksi.

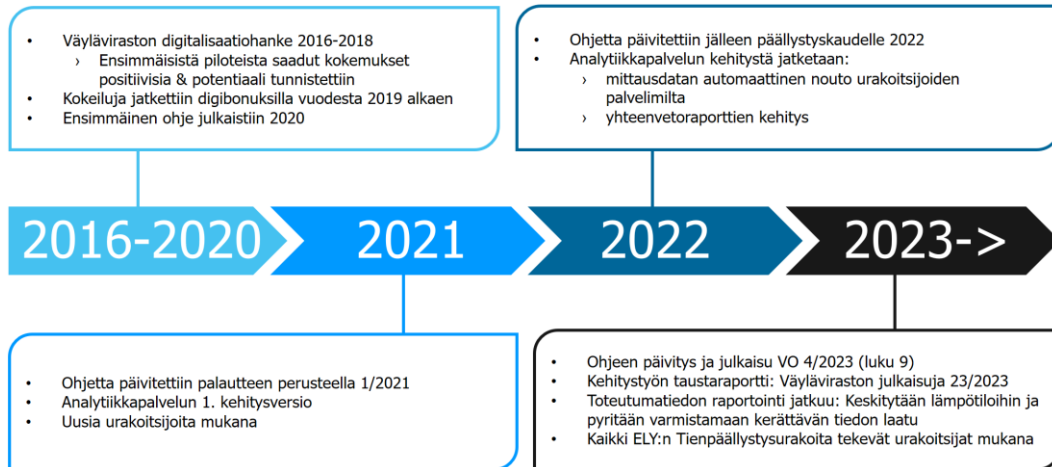
Päällystyskausilla 2017–2022 kerätyt kokemukset toteumatiedon mittauksesta ovat olleet kannustavia. Mittausjärjestelmien valmiusaste on usealla urakoitsijalla niin korkea, että kaudella 2023 mittausaineistojen laajamittainen tuottaminen ja analysointi ovat mahdollista Väyläviraston palveluissa. Tässä raportissa kuvattua ohjetta (luku 3) täytyy päivittää uusien kokemusten myötä ja muiden järjestelmien kanssa yhteensopivaksi niiden kehittyessä.

Mittausjärjestelmän hankinnan osalta on havaittu kolme vaihtoehtoista tapaa:

- A. järjestelmän rakentaminen omana tuotantona
- B. ulkopuolelta hankittuna räätälöitynä järjestelmänä
- C. ulkopuolelta hankittuna valmiina järjestelmänä.

Eri hankintatavoissa on hyötynsä ja haasteensa liittyen muun muassa mittausjärjestelmän tukipalveluihin ja omiin tarpeisiin tehtävän räätälöinnin suhteen. Yleisesti voidaan todeta, että suuremmilla yrityksillä on enemmän vaihtoehtoja järjestelmän hankkimisen suhteen. Onkin huolehdittava siitä, että pienemmät yritykset, joiden talous- ja osaamisresurssit ovat pienemmät kuin suurilla yrityksillä, eivät joudu epätasa-arvoiseen asemaan päällystealan digitalisaation edistämisen vuoksi. TF-Technologies Matmanagerin, Moba PAVE-IR:n ja RoadScanners Paverin kaltaiset valmiit tuotteet helpottavat urakoitsijoiden siirtymistä automaattisen toteumatiedon mittaukseen. Raportin kirjoitushetkellä ei ollut tiedossa, että vastaavia kokonaisvaltaisia mittausjärjestelmiä olisi ollut saatavilla muilta valmistajilta.

Kuva 11 on esitetty viime vuosina tehtyä kehitystyötä päällystystöiden toteumatiedon tuottamisessa sekä tavoitteita lähivuosille. Jatkossa toteumatiedon mittauksessa on tärkeää arvioida, mikä tieto on tarpeellista ja millä tarkkuudella mittaukset suoritetaan. Mittauksen tuoma hyöty täytyy olla riittävä mittauksen vaatimaan taloudelliseen panokseen (kustannukset mm. laitteista ja operoinnista).



Kuva 11. Kehitystyön historia ja lähitulevaisuuden hahmottelua.

Aiemmin (Kuva 1) esiteltiin toteumatiedon mittaamisesta saatavia hyötyjä urakoitsijalle, tilaajalle ja päällystystöiden suunnittelijalle. Näiden lisäksi mittaustietoja voisi mahdollisesti hyödyntää päällysteisiin liittyvässä tutkimuksessa. Toteumatietoa ja myöhemmin hankittuja päällysteen kuntomittaustietoja vertailemalla saadaan arvokasta tietoa eri päällystysmenetelmien toimivuudesta erilaisissa kohteissa.

Kuten tähän mennessä, myös jatkossa yhteistyö urakoitsijoiden, tilaajien ja mittalaitetoimittajien/-asentajien on tärkeää digitalisaation tuomiseksi päällystystöihin. Kokemuksia jakamalla parhaat toimintatavat saatetaan kaikkien alan toimijoiden tietoon.

5 Jatkoimenpide-ehdotukset

5.1 Mittalaitteet

Toteumatiedon mittaamisessa paikkatiedon oikeellisuus on tärkeää, minkä vuoksi on syytä selvittää tarkemmasta paikannustekniikasta saatavia hyötyjä suhteessa niistä aiheutuviin lisäkustannuksiin. Esimerkiksi differentiaalisella GNSS-tekniikalla (DGNSS) voitaisiin päästä alle metrin paikannustarkkuuteen 2000–3000 euron laiteinvestoinnilla (J. Matilainen 2020).

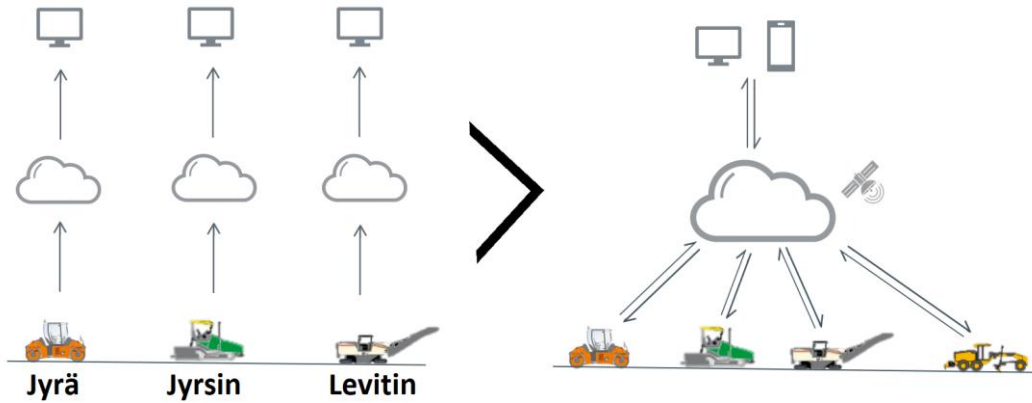
Mitattaviin kohteisiin tulisi lisätä päällysteen paksuus ja tiiviys, sillä ne ovat lämpötilatietojen lisäksi tärkeimpiä arvoja päällysteen laadun arvioimiseksi. Molempien mittaukseen on saatavilla laitetoimittajilta valmiita mittausjärjestelmiä, mutta etenkin asfalttijyrien tiiviyn reaalitietoisessa mittauksessa on tutkimuksissa havaittu heikkoa korrelaatiota verrattaessa tuloksia perinteisiin tiiviyn mittauksiin (N. Sekki 2019).

5.2 Standardointi

Päällystysprosessin digitalisoituminen vaatii standardien laatimista, jonka tulisi tapahtua yhteistyössä kansainvälisten toimijoiden kanssa. Etenkin yhteistyö hollantilaisen ASPARI-hankkeen sekä saksalaisten QSBW 4.0:n ja MiC 4.0:n kehittäjien kanssa olisi erittäin tärkeää, sillä ne ovat pisimmällä päällystysprosessien kokonaisvaltaisessa digitalisoinnissa. Lisäksi Saksassa pitävät pääkonttoria useat merkittävät asfalttikoneiden, mittaus- ja koneohjausjärjestelmien sekä tuotannonohjausjärjestelmien valmistajat (esim. Wirtgen/Vögele, MOBA, BPO Asphalt). Kyseiset yritykset kehittävät tuotteitaan vastaamaan QSBW 4.0:n ja MiC 4.0:n vaatimuksia ja Suomessa toimivalla urakoitsijoillakin on mainittujen kone-, laite- tai ohjelmistokehittäjän kanssa asiakassuhde. Osallistuminen kansainvälisesti standardien kehittämiseen mahdollistaisi suomalaisten erityispiirteiden huomioimisen niissä.

5.3 Avoimet rajapinnat

Standardit mahdollistavat avoimien rajapintojen hyödyntämisen. Avoimien rajapintojen avulla päällystystyössä toimivat eri yksiköt (esim. kuorma-autot, levittimet ja jyrät) voivat kommunikoida keskenään standardien mukaisella konekielellä. Tämä mahdollistaa päällystysprosessin kokonaisvaltaisen hallinnan. Esimerkiksi toiminnanohjausjärjestelmiä kehittävien suomalaisten yritysten tulisi huomioida tämä. Kuva 12 on esitetty visualisointi nykytilanteesta ja siirtymisestä avoimiin rajapintoihin tulevaisuudessa.



Kuva 12. Siirtyminen erillisistä ja suljetuista systeemeistä keskenään kommunikoiiviin koneisiin ja avoimiin rajapintoihin (muokattu lähteestä ASPARi, 2022).

5.4 Pilottiprojekti

Tehokas keino viedä digitalisaatiokehitystä eteenpäin olisi toteuttaa pilottiprojekti, jossa kokeillaan laajemmin toteumatiedon automaattista keräämistä ja raportointia. Mallia pilotointiin voisi ottaa Saksan Baden-Württembergin osavaltiossa toteutusta kehitysprojektista, jossa päälystystöiden tilaaja yhdessä urakoitsijoiden, mittalaitetoimittajien ja toiminnanohjausjärjestelmiä valmistavien yritysten kanssa kehitti päälystystöihin liittyvien prosessien automatisointia ja eri vaiheissa syntyvän informaation sujuvaa jakamista. Tästä laadittua QSBW 4.0 -toimintamallia käsiteltiin luvussa 1.2.1. Vastaavanlaisen pilottiprojektin toteuttamiseen vaaditaan laajaa yhteistyötä päälystealan eri toimijoiden välillä. Sen vuoksi pilotissa olisi hyvä olla mukana 2–4 ryhmittymää, joissa kussakin olisi mukana ainakin urakoitsija, mittalaitetoimittaja ja toiminnanohjausjärjestelmien kehittäjä. Lisäksi pilottiprojektin yhteydessä tulisi toteuttaa tutkimusta esimerkiksi jonkin korkeakoulun toimesta (diplomityö tai vastaava).

Pilottiprojektin tavoitteena olisi kokeilla manuaalisten työvaiheiden automatisointia (mm. mittaukset, kirjaukset, raportointi), päälystysprosessin eri työvaiheiden optimointia sekä niissä syntyvän datan reaaliaikainen jakamista päälystysprosessin eri toimijoiden kanssa. Pilottiprojektissa laadittaisiin kustannus-hyöty-analyyseja, joiden pohjalta voitaisiin arvioida teknillistaloudellisesti kannattava digitalisaation aste päälystystöissä.

Lähdeluettelo

- /1/ Väylävirasto 2020a. TIEKARTTA INFRA-ALAN TUOTTAVUUTEEN. Väyläviraston julkaisu. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-771-0>
- /2/ Väylävirasto 2020b. Tienpäällystöiden digitalisaation kehittäminen. Verkkosivu. Saatavissa: <https://vayla.fi/hankkeet/digitalisaatiohanke/tieverkon-kunnonhallinta/tienpaallystystoiden-digitalisaation-kehittaminen>
- /3/ Thøgersen F. 2020. Sähköpostikeskustelu.
- /4/ Andersson C. 2009. Värmekamera. Metodgruppen för provning och kontroll av vägmaterial och vägytor. Miniseminarium om vägytemätning för bedömning av asfaltbeläggning. Saatavissa: <http://www.metodgruppen.nu/web/page.aspx?refid=22>
- /5/ Angerhofer P., Giehl N. 2020 & 2021. MOBA Automation. Haastattelu.
- /6/ Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg 2018. Handbook Quality Road Construction Baden-Württemberg 4.0 - QSBW 4.0 (Version 1.0)
- /7/ ASPARi 2022a. ASPARi host their 2nd Equipment Manufacturers Seminar in February 2022. Seminaariesitykset. Saatavissa: <https://en.aspari.nl/copy-of-equipment-manufacturers-onlin>
- /8/ ASPARi 2022b. Verkkosivusto. Saatavissa: <https://en.aspari.nl/>
- /9/ Embacher R. 2022. Minnesota Department of Transportation. Sähköpostikeskustelu
- /10/ NCC Industry Oy 2017. REAALIAIKAINEN RAPORTOINTI REMIX-PINTAUKSESSA, DIGIPILOTTIRAPORTTI. Saatavissa: https://vayla.fi/documents/25230764/0/Remix_Digipilottiraportti.pdf/0f86c1c8-6aed-4307-8af0-ef7b1ca87cc4
- /11/ NCC Industry Oy 2018a. DIGIBONUSTEHTÄVÄ: UREM-KOHEIDEN DIGITAALINEN SUUNNITTELU JA TOTEUMARAPORTOINTI NCC INDUSTRY OY, LOPPURAPORTTI. Saatavissa: https://vayla.fi/documents/25230764/35412264/Loppuraportti_UREM.pdf/d08b5baa-5821-4799-9d3a-254500deaec6/Loppuraportti_UREM.pdf?t=1550057177272
- /12/ NCC Industry Oy 2018b. DIGIBONUSTEHTÄVÄ: MPKJ NCC INDUSTRY OY, LOPPURAPORTTI. Saatavissa: <https://docplayer.fi/136873105-Digibonustehtava-mpkj-ncc-industry-oy-loppuraportti.html>
- /13/ NCC Industry Oy 2018c. DIGIBONUSTEHTÄVÄ: JYRSINTÄ NCC INDUSTRY OY, LOPPURAPORTTI. Saatavissa: <https://docplayer.fi/144960341-Digibonustehtava-jyrsinta-ncc-industry-oy-loppuraportti.html>
- /14/ TF-Technologies A/S 2019. MatManager™ User Manual. Saatavissa: <https://tf-technologies.com/paving-academy/matmanager-paving-quality-system>

-
- /15/ Väylävirasto 2023. Uusien päällysteiden laadunosoitusmittaukset, Väyläviraston ohjeita 4/2023. Saatavissa:
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-4_uusien_paallysteiden_web.pdf
- /16/ Matilainen J. 2020. Satelliittipaikannus kuluttajalaitteilla. Lumen 2/2020. Saatavissa:
<https://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=1f635c9e-8e2a-418b-b802-ae8d0919f69>
- /17/ Sekki N. 2019. Päällysteen tiiviyyden työnaikainen mittaaminen. Diplomityö. Saatavissa:
<https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/27409>



Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-405-059-3
www.vayla.fi