

Framtida vägytemätningar vid kontroll av entreprenadarbeten

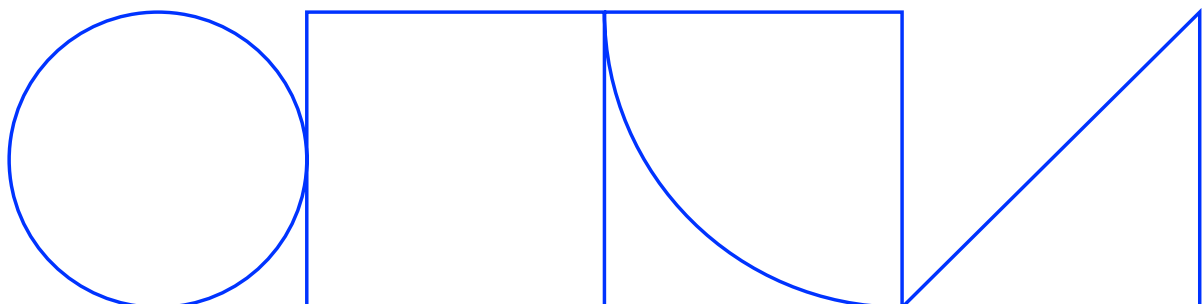
Objektiva metoder vid kontroll av entreprenader. Vägytans tillstånd

Thomas Lundberg*
Claudia Bratu*
Jenny Eriksson*
Christian Glantz**
Per Grönlund**

* Statens väg- och transportforskningsinstitut

** Ramboll

2025-01-22



Sammanfattning

Denna rapport fokuserar på objektiv kontroll av funktionella åtaganden och tillståndsvärdering av vägytan, med syfte att utveckla metoder och verktyg för att mäta och bedöma vägytors skick och funktion. Projektet, finansierat av Trafikverket och SBUF, har drivits i samarbete med Ramboll och NCC, och bygger vidare på tidigare arbeten inom området.

En viktig del av projektet har varit att integrera tekniska och funktionella krav för att skapa en helhetsbild av vägytans utveckling och status, med målet att förbättra långsiktig hållbarhet och effektivitet inom väginfrastruktur. Rapporten redogör för bakgrunden till behovet av nya mått som beskriver funktioner som inte tidigare kontrollerats på ett objektivt sätt på en funktionsentreprenad. Vidare redogörs för tillvägagångssättet för att mäta och beräkna dessa och hur tillämpningen av metoderna kan presenteras i en totalentreprenadkontext.

En viktig del av rapporten berör de nya måttens noggrannhet vilket behöver bestämmas för att i en förlängning kunna ställa skarpa krav. De nya måtten har demonstrerats i ett fältförsök, vilket ger praktiska exempel på hur långt framme måtten är för att kunna tillämpas effektivt.

Rapporten behandlar även initialvärden vid nya beläggningar samt den normala utvecklingstakten för spårdjup. Spårdjupet är centralt för att bedöma vägytors prestanda över tid och för att säkerställa att beläggningar uppfyller förväntade krav på hållbarhet och funktion i en totalentreprenad. Förståelsen av dessa initiala värden och deras utveckling utgör en viktig grund för projektering och planering inom väginfrastruktur.

Huvudrapporten följer direkt efter denna sammanfattning och den efterföljs av en beskrivning av arbetet finansierat av SBUF.

Objektiva metoder vid kontroll av entreprenader

Vägytans tillstånd

Thomas Lundberg
Claudia Bratu
Jenny Eriksson
Christian Glantz
Per Grönlund

vti



VTI rapport 1246
Utgivningsår 2025
vti.se/publikationer

Objektiva metoder vid kontroll av entreprenader

Vägytans tillstånd

Thomas Lundberg

Claudia Bratu

Jenny Eriksson

Christian Glantz

Per Grönlund



Om inget annat anges är publikationen licensierad enligt [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/), omslaget omfattas inte av licensen./Unless otherwise stated, the publication is licensed under [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/), the cover is not included in the license.

Författare: Thomas Lundberg (VTI), Claudia Bratu (VTI), Jenny Eriksson (VTI),
Christian Glantz (Ramboll) och Per Grönlund (Ramboll)
Diarienummer: 2019/0061-9.1
Publikation: VTI rapport 1246
Utgiven av VTI 2025

Publikationsuppgifter – Publication Information

Titel/Title

Objektiva metoder vid kontroll av entreprenader. Vägytans tillstånd/Objective Methods for Monitoring Contractor Performance. Pavement Condition

Författare/Author

Thomas Lundberg (VTI, orcid.org/0000-0002-9893-0067)

Claudia Bratu (VTI, orcid.org/0009-0008-1782-3421)

Jenny Eriksson (VTI, orcid.org/0000-0001-6707-6569)

Christian Glantz (Ramboll)

Per Grönlund (Ramboll)

Utgivare/Publisher

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut/
Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)
www.vti.se/

Serie och nr/Publication No.

VTI rapport 1246

Utgivningsår/Published

2025

VTI:s diarienummer/Reg. No., VTI

2019/0061-9.1

ISSN

0347-6030

Projektnamn/Project

Objektiv kontroll vid funktionsåtaganden, tillståndsvärdering av vägytan/Objective control in functional requirements, condition assessment of the road surface

Uppdragsgivare/Commissioned by

Trafikverket och Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF)/Swedish Transport Administration and The Development Fund of the Swedish Construction Industry

Språk/Language

Svenska/Swedish

Kort sammanfattning

Denna rapport fokuserar på objektiv kontroll av funktionella åtaganden och tillståndsvärdering av vägytan, med syfte att utveckla metoder och verktyg för att mäta och bedöma vägytors skick och funktion. Projektet, finansierat av Trafikverket och SBUF, har drivits i samarbete med Ramboll och NCC, och bygger vidare på tidigare arbeten inom området.

En viktig del av projektet har varit att integrera tekniska och funktionella krav för att skapa en helhetsbild av vägytans utveckling och status, med målet att förbättra långsiktig hållbarhet och effektivitet inom väginfrastruktur. Rapporten redogör för bakgrunden till behovet av nya mått som beskriver funktioner som inte tidigare kontrollerats på ett objektivt sätt på en funktionsentreprenad. Vidare redogörs för tillvägagångssättet för att mäta och beräkna dessa och hur tillämpningen av metoderna kan presenteras i en totalentreprenadkontext.

En viktig del av rapporten berör de nya måttens noggrannhet vilket behöver bestämmas för att i en förlängning kunna ställa skarpa krav. De nya måtten har demonstrerats i ett fältförsök, vilket ger praktiska exempel på hur långt framme måtten är för att kunna tillämpas effektivt.

Rapporten behandlar även initialvärden vid nya beläggningar samt den normala utvecklingstakten för spårdjup. Spårdjupet är centralt för att bedöma vägytors prestanda över tid och för att säkerställa att beläggningar uppfyller förväntade krav på hållbarhet och funktion i en totalentreprenad. Förståelsen av dessa initiala värden och deras utveckling utgör en viktig grund för projektering och planering inom väginfrastruktur.

Nyckelord

Vägytemätning, funktionella krav, tekniska krav, totalentreprenad, vägytans tillstånd, tillståndsutveckling

Abstract

This report focuses on the objective assessment of functional requirements and condition evaluation of road surfaces, aiming to develop methods and tools for measuring and assessing the condition and functionality of road surfaces. The project, funded by the Swedish Transport Administration (Trafikverket) and the Development Fund of the Swedish Construction Industry (SBUF), has been conducted in collaboration with Ramboll and NCC, building on previous work in the field.

An important part of the project has been the integration of technical and functional requirements to create a comprehensive overview of road surface development and status, with the goal of improving long-term sustainability and efficiency within road infrastructure. The report outlines the background to the need for new metrics describing functions that had not previously been objectively assessed within a performance-based contract. Furthermore, it describes the approach to measuring and calculating these metrics and how the application of the methods can be presented in a design-build contract context.

A key part of the report addresses the precision of the new metrics, which needs to be determined to eventually set formal requirements. The new metrics have been demonstrated in a field trial, providing practical examples of how far along these metrics are in being effectively applied.

The report also addresses initial values for new pavements as well as the normal progression rates for rut depth. Rut depth is central to assessing the performance of road surfaces over time and ensuring that pavements meet the expected requirements for durability and functionality in a design build contract. Understanding these initial values and their development trends constitutes an important foundation for design and planning within road infrastructure.

Keywords

Road surface measurement, design build requirements, technical requirements, design-build, road surface condition, condition development

Innehållsförteckning

Publikationsuppgifter – Publication Information	3
Kort sammanfattning.....	4
Abstract.....	5
Sammanfattning	9
Summary	11
Förord.....	14
1. Inledning och bakgrund	15
2. Begrepp	17
3. Syfte	21
4. Avgränsningar	22
5. Metod.....	23
6. Kravställning i entreprenader med funktionskrav i andra nordiska länder.....	24
6.1. Danmark.....	24
6.2. Norge.....	25
6.3. Övriga länder.....	25
7. Beskrivning av mätmetoder och mått	26
7.1. Sprickdetektering	26
7.1.1. Beskrivning av mätteknik	26
7.1.2. Beskrivning av detektering av sprickor	27
7.1.3. Exempel från genomfört projekt.....	28
7.2. Ytskador.....	31
7.2.1. Beskrivning av mätteknik	32
7.2.2. Beskrivning av detektering av ytskador.....	32
7.2.3. Exempel på ytskademått från genomfört projekt.....	36
7.3. Sättningar	42
7.3.1. Vägytemodell från mätning med lidar. Beskrivning av mätteknik.....	42
7.3.2. Beskrivning av beräkning av sättningar.....	43
7.3.3. Exempel på sättningsmätningar	44
7.4. Vattenavrinning.....	46
7.4.1. Beskrivning av mätteknik	46
7.4.2. Beskrivning av beräkningar	47
7.4.3. Exempel	48
7.5. Lokala ojämnheter.....	50
7.5.1. Beskrivning av mätteknik	51
7.5.2. Beskrivning av beräkning	51
7.5.3. Exempel	52
8. Repeterbarhet och validitet för föreslagna mått	55
8.1. Sprickdetektering	55
8.1.1. Repeterbarhet, mätdata från tekniska tester	55
8.1.2. Repeterbarhet, data från dedikerade mätningar med LCMS.....	57
8.1.3. Analys av samband mellan sprickindex och sprickprocent	63
8.2. Ytskador.....	65

8.2.1. Precision, MPD och megatextur	65
8.2.2. Separation beräknat från dedikerade mätningar.....	67
8.2.3. Stensläpp.....	72
8.2.4. Övriga ytskador.....	78
8.3. Sättningar	78
8.3.1. Precision.....	79
8.4. Vattenavrinning.....	80
8.4.1. Precision, tvärfall, backighet, snedlutning och vattenarea.....	81
8.5. Lokala ojämnheter.....	83
8.6. Andra metoder för spårdjup	84
8.6.1. Dynamisk mätbredd för tvärgående ojämnheter.....	84
8.6.2. Dynamiskt spårdjup	87
9. Demonstration av föreslagna mått.....	89
9.1. Beskrivning av genomförande	89
9.1.1. Deltagare och genomförande	89
9.1.2. De valda objekten och måtten som ska utvärderas	89
9.1.3. Upplägg av protokollet för utvärderingen.....	91
9.1.4. Bortfall och databearbetning.....	92
9.2. Resultat från utvärderingen.....	92
9.2.1. Sprickor.....	92
9.2.2. Stensläpp (ytskada).....	93
9.2.3. Underhållsindex	95
9.2.4. Sättningar	97
9.2.5. Vattenavrinning	100
9.2.6. Lokala ojämnheter och korta rätskenevärden	102
9.3. Sammanfattning och diskussion.....	104
10. Initialvärden och historisk utveckling.....	106
10.1. Statistik för nya beläggningar	106
10.2. Historisk utveckling av spårdjup.....	107
10.2.1. Databearbetning.....	107
10.2.2. Filtrering av data.....	108
10.2.3. Inverkan av olika faktorer på spårdjupsutvecklingen	108
11. Vägledning vid kravställning i entreprenader med funktionskrav	111
11.1. När bör en kontroll utföras?	111
11.2. Faktorer som påverkar kravställningen.....	112
11.2.1. A – Nybyggnad eller ombyggnad	112
11.2.2. B – Restvärde.....	113
11.2.3. C – Normal nedbrytningstakt.....	113
11.2.4. D – Speciella förhållanden.....	116
11.2.5. E – Kravställning anpassad för körfältsbredd	116
12. Uppföljning av en entreprenad	118
12.1. Totalentreprenad	118
12.2. Uppföljning av garantiåtagande	118
13. Slutsatser.....	119
14. Diskussion	123
För lite data per 100 meter.....	134

Filtrering av felaktiga värden.....	134
Saknade värden.....	134
Statistik över mätserierna.....	135
Omkodningar.....	141
Resultat från en linjär, stegvis regressionsanalys, hela materialet.....	142
Resultat från en linjär, stegvis regressionsanalys, beläggningstyp ABS.....	143
Resultat från en linjär, stegvis regressionsanalys, beläggningstyp ABT.....	145
Resultat från en linjär, stegvis regressionsanalys, beläggningstyp TSK.....	146

Sammanfattning

Trafikverket upphandlar ofta investeringsobjekt som funktionsentreprenader, där entreprenören ansvarar för konstruktion och byggnation samt efterföljande underhåll under en given tidsperiod, vanligtvis tio år. Entreprenören måste uppfylla vissa funktionskrav under den period som de ansvarar för vägen. Traditionellt har funktionskraven, som kan kontrolleras med vägytemätning, fokuserat på spårdjup och IRI (International Roughness Index) och i vissa fall tvärfall. De kraven reglerar de mest grundläggande egenskaperna. Arbetet i denna rapport har identifierat flera objektiva metoder som kan användas för att kontrollera vägkvaliteten och säkerställa god komfort, säkerhet och en beständig väg med lång hållbarhet. De nya måtten ersätter inte de befintliga, de kompletterar dem. De mått som föreslås och deras respektive olika mätmetoder redovisas nedan:

1. Förekomst av sprickor

- a. Automatiserad detektering: Laser Crack Measurement System (LCMS) kan användas för att detektera sprickor med hög upplösning. Andra metoder med samma teknik kan användas. Sprickorna detekteras genom bildanalys samt höjddata från lasern. Vid indikation från det automatiserade systemet krävs stöd från okulär besiktning, från antingen bilder eller i fält, för att säkerställa resultatet. Metodbeskrivning för måttet finns (Trafikverket, 2020B).

2. Förekomst av ytskador

- a. Mätning av Mean Profile Depth (MPD) för att bedöma homogeniteten och rätt kvalitet i asfaltmassan. Måttet är standardiserat (International Organization for Standardization (ISO), 2019) och en metod för kontroll finns beskriven i (Trafikverket, 2017). Mätningen utförs vid en normal vägytemätning.
- b. Detektering av stensläpp med LCMS och beräkning av Ravelling Index (RI). En relativt oprövad metod som behöver testas mer innan den kan sättas i bruk. Den är dessutom knuten till en specifik leverantör och dess mjukvara.
- c. Detektering av slaghål med LCMS baserat på höjddata och bilder eller måttet lokal ojämnhet (LO) som kan beräknas från en ordinär vägytemätning. Metoden med LCMS-systemet är återigen knuten till en specifik leverantör och dess mjukvara. LO beskrivs i (Trafikverket, 2020B)
- d. Beskrivning av det allmänna skicket på vägen sammanfattas med ett index, Underhållsindex (UI) (Lundberg, et al., 2020). Det baseras på variabler som normalt samlas in vid vägytemätning, MPD, megatextur och LO. Oprövad metod som kräver utveckling och anpassning.

3. Förekomst av sättningar

- a. Simulering av en lång rätskena på en inmätt längsprofil används för att identifiera svackor. Sättningar identifieras genom att jämföra årsvisa mätningar med första mätningen eller en projekterad längsprofil. De områden som får en ökande differens med tiden har sättningsproblem. En metod som beskriver principerna för rätskeneberäkningen finns för godkännande hos Trafikverket. Indata till beräkning av rätskena är längsprofil (Trafikverket, 2020B) som erhålls vid en normal vägytemätning.
- b. Skapa en 3D-modell av vägytan från områdesmätning. Modellen används för att beräkna höjdskillnader mellan mätningen och projekterad yta, eller en nollmätning (en områdesmätning av vägen vid trafikpåsläpp).

4. Avvattning

- a. Snedlutningen säkerställer att vägen är byggd så att vatten kan rinna ner i diken eller avvattningssystem. Beräkning görs av resulterande lutning baserat på tvärfall och längsgående lutning (backighet). Tvärfall och backighet mäts vid en normal vägytemätning som beskrivs i (Trafikverket, 2020B).
- b. Vattenarean visar hur den teoretiska tvärsnittsarean för tvärprofilen som kan hålla vatten. Beräkning av teoretisk vattenarea baseras på tvärprofil och tvärfall som samlas in vid en normal vägytemätning. Beräkning av vattenarea är beskriven i en CEN standard (CEN, 2025) och indata till beräkningen (tvärfall och tvärprofil) beskrivs i (Trafikverket, 2020B).

5. Lokala ojämnheter

- a. Beräkning av lokala ojämnheter med hjälp av en simulerad rätskena på längsprofilen. Rätskenans längd kan väljas vid beräkningen, normalt används 3 eller 5 meters längd. En metod som beskriver principerna för rätskeneberäkningen finns för godkännande hos Trafikverket. Indata till beräkning av rätskena är längsprofil (Trafikverket, 2020B) som erhålls vid en normal vägytemätning.
- b. Lokal ojämnheter (LO): Beräkning av accelerationer i chassi och hjul för att identifiera korta ojämnheter. Metoden använder en kvartsbilsmodell där hjulets och chassits acceleration bestäms när den "färdas" på en längsprofil. Olika fordon kan simuleras, personbil och lastbil. Metoden och indata till metoden finns beskriven i (Trafikverket, 2020B).

Repetierbarhet och validitet för de föreslagna måtten har analyserats från upprepade mätningar samt i vissa fall jämförelser med subjektiva bedömningar. Resultaten visar att de nya måtten har god och i vissa fall acceptabel repetierbarhet och kan börja testas vid kontroll av entreprenader. Lokala ojämnheter, avvattning och sättningar är de mått som uppvisar bäst resultat. Sprickmätning och ytdefekter eller ytskador kräver en mer övervakad introduktion.

En demonstration av måtten genomfördes med inbjudna Trafikverksrepresentanter och entreprenörer. Demonstrationen genomfördes som en okulär besiktningsrunda på vägar som dessförinnan hade mätts med mätbil. I ett fältförsök bedömde deltagarna måttens användbarhet genom en enkät. Resultaten visade att vissa av måtten är användbara för att identifiera skador och defekter medan andra behöver utvecklas. De mått som bäst stämmer överens med observationer i fält var lokala ojämnheter, avvattning av vägytan och detektering av svackor (som underlag för att beskriva sättningsproblem). Sprickmätning fungerade tillfredsställande på ett par sträckor men på andra sträckor tolkades beläggningens grova textur som sprickor av det automatiska systemet, därför bör metoden användas för att indikera om det finns sprickor på ett objekt och kompletteras med en okulär verifiering från bilder eller fysiskt på vägen. I och med att en ytskada eller ytdefekt är olika i olika skeden under beläggningens livslängd, så bör olika mått som fångar dessa egenskaper användas i olika skeden eller tidsintervall under vägens livscykel. En ytskada är ett samlingsbegrepp för olika defekter som kan uppstå på vägytan. Det finns en metod för att identifiera en separerad massa efter ett beläggningsarbete (Trafikverket, 2017), baserad på mätning av MPD. Den har inte berörts i någon större omfattning i rapporten. Utöver den metoden beskrivs flera andra metoder i rapporten som behöver testas mer och som är knuten till en specifik programvara och hårdvara. En tredje variant av ytskadedetektion är ett index (Underhållsindex) som också bör testas i större omfattning för att avgöra användbarheten.

Den väg framåt som rekommenderas är att undersöka de nya måttens användbarhet. Det kräver ett stort engagemang från Trafikverket som dels behöver beskriva de mått som inte har en teknisk beskrivning men också genom att införa måtten på prov i verkliga objekt. Resultaten från dessa tester bör sedan ligga till grund för utvärdering och kravställning.

Summary

The Swedish Transport Administration often procures investment projects as design build contracts, where the contractor is responsible for the design, construction, and subsequent maintenance over a given period, usually ten years. The contractor must meet certain functional requirements during the period they are responsible for the road. Traditionally, the functional requirements, which can be monitored through road surface measurements, have focused on rut depth and IRI (International Roughness Index), and in some cases crossfall. These requirements regulate the most basic characteristics. The work in this report has identified several objective methods that can be used to monitor road quality and ensure good comfort, safety, and a durable road with long-lasting functionality. The new methods do not replace the existing ones, it's a complement. The measures proposed and their respective measurement methods are outlined below:

1. Crack occurrence
 - a. Automated detection: The Laser Crack Measurement System (LCMS) can be used for detecting cracks with high resolution. Other methods using the same technology may also be applied. Cracks are detected through image analysis and elevation data from the lasers. When indications are found by the automated system, they require verification through visual inspection, either from images or in the field, to confirm or correct the results. A method description for this measure exists (Trafikverket, 2020B).
2. Surface defect occurrence
 - a. Measurement of Mean Profile Depth (MPD) to assess the homogeneity and quality of asphalt mix. The measure is standardized (International Organization for Standardization (ISO), 2019), and a control method is described in (Trafikverket, 2017). The measurement is conducted during regular road surface measurement.
 - b. Detection of stone loss with LCMS and calculation of Ravelling Index (RI). A relatively untested method requires more trials before implementation. It is also tied to a specific provider and its software.
 - c. Detection of potholes with LCMS based on height data and images or using the localized unevenness (LO) measure, which can be calculated from regular road surface measurement. Again, the LCMS method is tied to a specific provider and its software. LO is described in (Trafikverket, 2020B).
 - d. Assessment of the general road condition summarized with an index, Maintenance Index (UI) (Lundberg, et al., 2020). This index is based on variables typically collected during road surface measurement, such as MPD, megatexture, and LO. The method is untested and requires further development and adaptation.
3. Subsidence occurrence
 - a. Simulation of a long straight edge on a measured longitudinal profile is used to identify sags. Subsidence is identified by comparing annual measurements with either the initial measurement or a projected longitudinal profile. Areas showing an increasing difference over time exhibit subsidence problems. A method describing the principles of the straight edge calculation is available for approval by The Swedish Transport Administration. Input data for the straight edge calculation is the longitudinal profile (Trafikverket, 2020B), obtained during regular road surface measurement.
 - b. Creating a 3D model of the road surface from mobile mapping data. The model is used to calculate height differences between the measurement and the projected

surface or an initial measurement (an area measurement of the road at traffic commencement).

4. Drainage

- a. The crossfall ensures that the road is constructed so water can flow into ditches or drainage systems. The resulting slope is calculated based on crossfall and longitudinal slope (hilliness). Crossfall and hilliness are measured during regular road surface measurements, as described in (Trafikverket, 2020B).
- b. Water area shows the theoretical cross-sectional area of the transversal profile that can hold water. Calculations of theoretical water area are based on the transversal profile and crossfall, collected during regular road surface measurements. Calculations of water area is described in a CEN standard (CEN, 2025), and the input data for the calculation (crossfall and transverse profile) is described in (Trafikverket, 2020B).

5. Localized unevenness (LO)

- a. Calculation of LO using a simulated straight edge on the longitudinal profile. The length of the straight edge can be chosen during the calculation; typically, lengths of 3 or 5 meters are used. A method describing the principles of the straight edge calculation is available for approval by The Swedish Transport Administration. Input data for the straight edge calculation is the longitudinal profile (Trafikverket, 2020B), obtained during regular road surface measurement.
- b. Localized unevenness (LO): Calculation of chassis and wheel accelerations to identify short unevenness. The method uses a quarter car model where the wheel and chassis accelerations are determined when "traveling" on a longitudinal profile. Different vehicles can be simulated, such as passenger cars and trucks. The method and needed input data are described in (Trafikverket, 2020B).

The repeatability and validity of the proposed measures have been analyzed through repeated measurements and, in some cases, comparisons with subjective inspections. The results show that the new measurements have good and, in some cases, acceptable repeatability and can be tested when monitoring contracts. Localized unevenness, road surface drainage and subsidence detection are the measures that show the best results. Crack measurement and surface defects or damage require a more supervised introduction.

A demonstration of the measures was conducted with invited representatives from The Swedish Transport Administration and contractors. The demonstration was carried out as a visual inspection on roads previously measured with a measurement vehicle. The evaluation was based on how well the proposed measures reflected the observed conditions. Participants assessed the measures through a survey, and the results showed that some measures effectively identified defects, while others require further development. The measures that achieved the best correlation between field observations and the respective measures were localized unevenness, road surface drainage, and subsidence detection. Crack measurement was satisfactory at some sections, but at other sections the coarse texture was interpreted as a crack by the automated system; therefore, the method should be used to indicate cracks on an object and complemented with visual verification, either from images or on-site. Since a surface defect or damage manifests differently at various stages during the pavement's service life, different measures should be used at different stages or time intervals. A surface defect is a collective term for various types of imperfections that may occur on the pavement surface. A method for identifying a separated pavement after paving (Trafikverket, 2017) exists, based on MPD measurement. This method has not been extensively covered in the report. Beyond this, several other methods tied to a specific software and hardware are described in the report. These methods need further testing. A third

variant of surface damage detection, an index (Maintenance Index), should also be tested more extensively to determine its functionality.

The recommended way forward is to explore the usability of the new measures. This requires significant commitment from The Swedish Transport Administration, partly by describing measures without a technical description and by introducing the measures on a trial basis in real projects. The results of these tests should then serve as the basis for evaluation and setting requirements.

Förord

Detta projekt har möjliggjorts genom finansiering av Trafikverket och Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF, projekt 13899). Projektet har drivits tillsammans med Ramboll som en projektpartner och NCC för delar som rör SBUF. Rapporten är den tredje från detta projekt, de två tidigare finns i referenslistan (Lundberg, et al., 2019A; Lundberg, et al., 2019B).

Två personer som bidragit med analys och kloka inspel är Peter Andrén (Andréns Datamani) och Per Henriksson (VTI). Trafikverkets handläggare har varit Fredrik Lindström och kontakten via SBUF var Jonas Ekblad (NCC).

Linköping, juni 2025

Thomas Lundberg
Projektledare

Granskare/Examiner

Jonas Ekblad, NCC.

De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning./The conclusions and recommendations in the report are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of VTI as a government agency.

Publikationen godkänd för publicering/Publication approved for publication

Lina Nordin, VTI.

1. Inledning och bakgrund

När Trafikverket bygger en ny väg är det vanligt att den utförs som en totalentreprenad med funktionskrav över en längre period, normalt 10 år. Totalentreprenad innebär att entreprenören projekterar, väljer konstruktion och utförande (inom givna gränser), bygger och tar över väghållaransvaret under den givna tidsperioden. De vanligaste funktionskraven är spårddjup och IRI (International Roughness Index), men även tvärfallsavvikelse (jämförelse mellan projekterat tvärfall och uppmätt tvärfall på färdig väg) brukar kontrolleras vid trafikpåsläpp. Dessa variabler mäts genom vägytemätning med mätbil. Det kan också finnas funktionskrav för mjuka parametrar, som exempelvis att sprickor ej får uppkomma under funktionstiden. Dessa krav bedöms subjektivt. Potentialen i att använda vägytemätning för att kontrollera en funktionsentreprenad är inte fullt utnyttjad. Andra krav, som är viktiga ur såväl användar- och säkerhetsperspektiv som beständighetsperspektiv är möjliga att använda för att säkerställa att Trafikverket får en väg av hög funktionell kvalitet.

Detta är den tredje rapporten från projektet Funktionskrav. Tidigare rapporter (Lundberg, et al., 2019A; Lundberg, et al., 2019B) avhandlade följande:

Rapport 1: Rapporten beskriver de krav som gällde 2019 när rapporten gavs ut. De kraven är för övrigt väldigt lika dagens krav (2025). Gällande vägytans tillstånd är IRI och spårddjup de absolut vanligaste variablerna som krävstills. Vidare sammanfattar rapporten hur ett mätuppdrag går till och vad entreprenören och mätkonsulten ska tänka på vid planering och genomförande av mätuppdrag. Rapporten förklarar även hur variablerna mäts och beräknas och vilka felkällor som kan påverka resultatet. Något som belyses är vikten av att använda samma typ av mätutrustning under funktionstiden för att undvika att en bias uppstår till följd av olika generationers utrustningar. Rapporten sammanfattar också vilka skador som kan uppstå inom en funktionsentreprenad och när de uppstår, byggskedet eller bruksskedet samt vilken mätteknik och variabler som bör användas för att upptäcka skadan. Slutligen ger rapporten förslag på variabler som saknas i dagens kravställning och som är värda att arbeta vidare med.

Rapport 2: Rapporten beskriver storleken på mätfel och med vilken noggrannhet data från en objektmätning, baserad på vägytemätning, kan samlas in. För att minimera felkällor och öka tilltron till mätningen utförs tre repetitioner (med repeterbarhetskrav) vid objektmätning med mätbil. Rapporten visar på en relativt liten vinst med att utföra tre mätningar i förhållande till om en mätning skulle utföras. Det är mer en förtroendefråga som gör att tre mätningar utförs i stället för en. Vid mätningar uppkommer alltid mätfel. Mätfel beräknade från en stor mängd objektmätningar har använts för att uppskatta sannolikheten att underkänna en sektion som egentligen är korrekt och vice versa. Resultatet visar att sannolikheterna att felaktigt underkänna en sträcka är generellt mycket liten för IRI och liten för spårddjup.

En annan slutsats i rapporten är den undersökning som visar fördelarna med att bygga en väg eller lägga en ny beläggning (underhållsåtgärd) med hög kvalitet. Generellt finns ett samband mellan låga initialvärden för IRI och spårddjup och nedbrytningstakt. Ett väl utfört anläggningsarbete med låga initialvärden för IRI och spårddjup har generellt en längre livslängd huvudsakligen till följd av en låg nedbrytningstakt. Vi ser också att en nybyggd väg (investeringsobjekt) generellt har bättre jämnhet i längsled än ett underhållsobjekt men att standarden i ojämnheter i tvärlängd är likvärdiga.

Slutligen beskriver rapporten översiktlig statistik för IRI, spårddjup och Mean Profile Depth (MPD) för nya beläggningar, där mätning skett inom 6 månader efter beläggningens åtgärd. Den sammanställningen visar normalvärden för en entreprenad.

Denna rapport, den tredje, fokuserar på vilka nya krav som kan användas för att övervaka och reglera en funktionsentreprenad. Arbetssättet för att utveckla nya mätetal kan beskrivas som:

- Definiera en variabel som säkerställer en god funktion och/eller beständighet för vägavsnittet.

- Definiera variabeln så att den kan mätas med en teknik som är allmänt tillgänglig.
- Undersöka om variabeln kan mätas med tillräcklig noggrannhet och att den är valid.
- Kontrollera användningen av variabeln på verkliga entreprenader innan metoden fastställs. Denna punkt kan leda till justeringar av metoden.
- Göra en teknisk beskrivning av variabeln och avgöra hur och när under entreprenaden den ska användas.
- Fastställa gränsvärden som kan användas för att reglera en entreprenad.
- Sprida kunskap om variabeln, metoden och intentionen med användningen.
- Inkludera variabeln och föreslagna gränsvärden i väghållarens mall för att skriva funktionskrav för en entreprenad.
- Publicera en teknisk beskrivning av variabeln.

2. Begrepp

360-bild	Bilderna från 360-kamerorna sätts ihop till en sfärisk bild. Den sfäriska bilden går att kombinera med områdesdata för att färgsätta ett punktmoln med verkliga färger.
360-kamera	En kameraenhet sammansatt av flera kameror som är riktade så att vägens omgivning täcks in med överlapp. En vanlig konfiguration har sex kameror, fem i horisontalplanet och en riktad rakt upp.
ABD	Asfaltbetong dränerande, en beläggningstyp som läggs för att minska buller och dränera körbanan.
ABS	Asfaltbetong stenrik, en beläggningstyp som läggs på högtrafikerade vägar. Vanligaste maximal stenstorlek är 11 och 16 mm. En äldre benämning är HABS.
ABT	Asfaltbetong tät, en beläggningstyp som läggs på mellantrafikerade vägar. Beläggningen används också för justering innan en åtgärd. Vanligaste maximal stenstorlek är 11 och 16 mm. Äldre benämningar är HABT eller MABT.
IMU	Inertial Measurement Unit. En tröghetsplattform som används för att beskriva ett fordonets rörelser, nick-, roll- och girvinklar. Systemet används också för att beskriva fordonets bana när satellitmottagning är dålig eller saknas, t.ex. tunnlar. Normalt kombineras IMU och GNSS i en enhet.
Garantibesiktning	Besiktning av en vägs tillstånd en viss tid efter slutbesiktningen i syfte att avgöra om vägens tillstånd uppfyller kravställning och följer en normal tillståndsförändring.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Mätssystem för positionering av mätbilen. Normalt kombineras olika satellitsystem för att få en god noggrannhet.
IRI	International Roughness Index, ett mått som beskriver vägens längsgående ojämnheter i våglängdsintervallet 0,5 m till ca 30 m till 50 m. Måttet är standardiserat inom CEN (CEN, 2019). Måttet uttrycks i enheten mm/m.
Kulkvarnsvärde	Ett mått på slitstyrkan hos stenmaterialet i beläggningen, lågt värde indikerar slitstarkt stenmaterial.
LCMS	En mätgivare från en speciell leverantör som har möjlighet att mäta sprickbildningen hos vägytan, tack vare en högupplöst laserlinje för höjdmätning och bilder för mönsterigenkänning.
Lidar	Light Detection and Ranging, Lidar är en roterande enhet (skanner) som mäter avståndet till ett mål. Avståndet mäts genom att skicka en kort laserpuls och registrera tidsförloppet mellan utgående ljuspuls och detekteringen av den reflekterade ljuspulsen.
Linjelaser	Utrustning som mäter avståndet längs en projicerad linje i tvärlängd, normalt med hög täthet mellan mätpunkterna. Utrustningen benämns också heltäckande laser.
Lokal ojämnheter (LO)	En oönskad ojämnheter i längsled hos vägen. Ojämnheten kan vara såväl upp- som nedåtgående. Ojämnheten ger upphov till rörelser i fordonet

	och kvantifieras genom en fordonmodell. Upplevelsen av ojämnheten är beroende av hastigheten hos fordonet, och den beskriver normalt ojämnheter med en utbredning mellan 0,2 m och 10 m i längsled.
Längsprofil	En avbildning av vägytans längsgående profil i våglängdsintervallet 0,2 m till 100 m. Längsprofilen används för att bestämma vägens jämnhet i längsled.
Maximal stenstorlek	Beläggningsens maximala stenstorlek. En beläggning benämns ofta med sin förkortning följt av den maximala stenstorleken, t.ex. ABS16, för en asfaltbetong stenrik med maximal stenstorlek 16 mm.
Mean Profile Depth	Förkortas MPD. Ett standardiserat mått (International Organization for Standardization (ISO), 2019) som beskriver vägens makrotextur (ojämnheter i våglängdsområde 0,5 mm till 50 mm).
Megatextur	Förkortas MTX i denna rapport. Ett standardiserat mått (International Standardisation Organisation (ISO), 2025) som beskriver vägens megatextur (ojämnheter i våglängdsområde 50 mm till 500 mm).
Mätbil	Fordon utrustat för vägytemätning.
Objektmätning	Vägytemätning av en avgränsad sträcka ofta med syfte att kontrollera en entreprenad eller att beskriva tillståndet före en beläggningsåtgärd. Mätning utförs enligt TDOK 2015:0005 (Trafikverket, 2015A).
Områdesmätning	Ett samlingsbegrepp för Lidar-skanning och 360-bildinsamling för att kartlägga vägen och området kring vägen. Områdesmätningen kan kombineras med vägytemätning eller göras separat.
PMSv4	PMS står för Pavement Management System. Detta är den fjärde versionen av Trafikverkets databas där vägytemätning sedan 1987 samlas och presenteras i ett offentligt webgränssnitt. Förutom vägytans tillstånd kopplas beläggningsåtgärder och allmän information om vägen hämtat från PMS-beläggning och NVDB (nationell vägdatabas.)
Punkt laser	En avståndsmätande utrustning som mäter avståndet mellan mätbil och vägytan med hög noggrannhet och hög frekvens.
Punktmoln	Resultatet från en områdesmätning. Data består av en stor mängd koordinatsatta punkter. Olika koordinatsystem kan användas för att beskriva punkternas position. I Sverige används normalt SWEREF 99 TM för nordliga (N) och östliga koordinater (E) och höjdsystemet RH 2000.
Restvärde	Restvärde definieras i denna rapport som antal år till nästa underhållsåtgärd.
Slutbesiktning	Besiktning av en total- eller utförandeentreprenad efter att arbetet är färdigställt.
Sprickindex (SI)	SI är en metod som används för att sammanväga och bedöma sprickors förekomst och svårighetsgrad längs en sträcka genom att okulärt inventera sprickornas längd, typ och svårighetsgrad och sammanväga dem till ett indexvärde.
Sprickprocent	Sprickprocent är andelen sprucken yta som mäts genom automatiserad detektering av sprickor med hjälp av heltäckande laser och LCMS, där

	yta delas upp i rutnät och varje ruta med sprickor bidrar till den totala andelen.
Spårdjup	Spårdjup är ett mått som beskriver vägens ojämnheter i tvärled. Måttet uttrycks i enheten mm. I rapporten används spår 17 och 15 som beteckning för spårdjup beräknat med mätbredd 3,2 meter respektive 2,6 meter.
Stensläpp	Sker när ballasten lossnar från beläggningen. De enskilda stenarnas (grus) vidhäftning har försämrats på grund av en kombination av åldrande bitumen, trafikbelastning/dubbdäck, frys-tö-cykler, underskott av bitumen (separerad yta). Stensläpp startar oftast i vägens sämsta avsnitt.
Sättningssvacka	En oönskad nedåtgående avvikelse i längsled av profillinjen mot ursprunglig eller projekterad profillinje. Sättningssvackans utbredning i längsled kan vara allt från 1 m upp till 100 m.
Texturprofil	En mätning av vägytans struktur i våglängdsintervallet 2 mm till 500 mm. Texturprofilen kan samlas in i olika laterala positioner vid en enskild mätning.
Totalentreprenad	I detta projekt används begreppet totalentreprenad för entreprenadformen där entreprenören ansvarar för projektering och utförandet. Vid en totalentreprenad med funktionskrav ansvarar även entreprenören för underhållet en viss tid innan överlämnandet till väghållaren.
TSK	Tunnskiktsbeläggning kombination, en tunn beläggning, ofta av hög kvalitet. En billigare åtgärd men i övrigt liknande uppbyggnad som ABS.
Tvärfall	Ett mått som beskriver körfältets lutning i tvärled, uttryckt i procent. Olika definitioner finns för beräkning av tvärfall. Den definition som används vid en objektmätning är spårbottnetvärfall (Trafikverket, 2020B).
Tvärprofil	Vägytans form i tvärled inom ett körfält, beskriven av lasersensorer. Tvärprofilen används som underlag för att beskriva olika mått som används för att avgöra vägens tillstånd. Spårdjup är det vanligaste måttet beräknat från tvärprofilen.
Underhållsentreprenad	I denna rapport används begreppet underhållsentreprenad då entreprenören åtgärdar en gammal väg. Det kan göras med givna förutsättningar (utförandeentreprenad), som beläggningstyp, mängder m.m. eller som en totalentreprenad.
Vägnätsmätning	Vägytemätning av ett stort sammanhängande område eller vägnät. Sveriges statliga vägar mäts årligen eller vartannat år med vägnätsmätning. Mätning utförs enligt TDOK 2014:0004 (dokumentet är i dagsläget, 2025, ej publicerat).
Vägtyp	En klassning av vägen i olika kategorier enligt definition i PMSv4 (Trafikverket). Vid databearbetningen i denna rapport beskrivs vägtyp med ett tal, se nedan. 0 = Ingen beskrivning 1 = Motorväg 2 = Motortrafikled 3 = Motortrafikled mötesfri 4 = 4-fältsväg

5 = Vanligväg
6 = Vanligväg mötesfri

Vägytemätning	Mätning med mätbil av variabler definierade i TDOK 2014:0003 (Trafikverket, 2020B). Kan utföras med enbart punktlaser eller en kombination av punktlaser och linjelaser.
Ytskada	Definierar en skada i vägytan. En ytskada börjar ofta med stensläpp eller som en spricka. Den initiala skadan utvecklas till en allvarlig skada genom en kombination av nötning och belastning från trafiken, materialegenskaper (åldrat bitumen) och klimatets påverkan (vatten och nedfrysning). En långt gången ytskada kan utvecklas till ett potthål/slaghål.
ÅDT	Årsmedeldygnstrafik, avser det genomsnittliga trafikflödet (antal fordon) per dygn under ett helt år. Olika trafikslag, som personbilar och tunga fordon, ingår i ÅDT.

3. Syfte

Trafikverket upphandlar ofta så kallade investeringsobjekt som en funktionsentreprenad där entreprenören väljer hur vägen ska konstrueras och byggas. Entreprenaden regleras genom funktionskrav från trafikpåsläpp till slutet av funktionstiden. En vanlig längd för den tid entreprenören ska sköta vägen är tio år. Idag kontrolleras vanligen funktionskraven med vägytemätning i form av spår djup och IRI, och i vissa fall tvärfallsavvikelse, kompletterat med okulär bedömning av t.ex. sprickor och stensläpp/ytskador. Denna rapport syftar till att identifiera och belysa fler möjligheter att kontrollera egenskaper hos en nybyggd väg genom vägytemätning, från trafiköppning till garantibesiktning. De variabler som identifieras ska

- beskrivas
- precisionen, repeter- och reproducerbarheten bestämmas
- testas på verkligt objekt/entreprenad.

Rapporten ska vara ett underlag för Trafikverket, med syfte att besluta om variablerna ska införas som kontrollfunktioner i en totalentreprenad.

Krav ställs typiskt vid trafiköppning och sedan under garantitid. Som vägledning sammanställs initialvärden från gjorda mätningar. Vidare ska storleken den årliga utvecklingstakten för spår djup beskrivas med hänsyn till följande faktorer:

- Dubbdäcksandel
- Beläggningstyp
- Maximal stenstorlek i belägningen
- Kulkvarnsvärde
- ÅDT
- Vägtyp.

4. Avgränsningar

Rapporten avgränsas till kontroll av egenskaper som är möjliga att mäta genom vägytemätning. Huvudfokus för analysen är totalentreprenader med funktionskrav men för detta används även erfarenheter från underhållsbeläggningar. Eftersom det inte finns någon samlad databas för mätningar av enskilda entreprenader i Sverige medför det att tillgången till data är begränsad. Viss analys görs därför från övergripande vägnätsmätningar även om noggrannheten i dessa mätningar är lägre jämfört med objektmetningar. Genom att använda data från vägnätsmätningar blir datamängden större, vilket oftast uppväger kvalitetsbrister. Vid totalentreprenader är informationen om utförd åtgärd ofta bristfällig eller saknad i Trafikverkets beläggningsdatabas, vilket ytterligare minskar tillgången till tillförlitliga datamängder. Det finns olika system som kan mäta de egenskaper som beskrivs i rapporten, när det gäller sprickor och till viss del ytskador har endast LCMS-systemet använts som datakälla.

5. Metod

För att genomföra arbetet i denna rapport har vi utgått från tillgänglig kunskap och data och strukturerat analysen kring mätbara parametrar som påverkar vägens funktion. Metoden innefattar också analys av data från vägnätsmätningar och entreprenadspecifika mätningar där sådana finns tillgängliga för att ge ökad kunskap om vägsitage som vägledning för en entreprenör och Trafikverket. Även om datakvaliteten kan variera mellan dessa källor, har prioriteringen varit att inkludera större datamängder för att möjliggöra mer övergripande slutsatser.

Fokus har lagts på att identifiera de nya mätbara egenskaper som har störst relevans att användas som funktionskrav vid kontroll och uppföljning av en entreprenad. För att säkerställa en robust analys har vi även studerat de nya variabelernas precision och demonstrerat dem för en utvald grupp från Trafikverket och entreprenörer.

6. Kravställning i entreprenader med funktionskrav i andra nordiska länder

Användningen av funktionsentreprenader varierar mellan de nordiska länderna. Bland de nordiska länderna har Danmark och Norge mest erfarenhet av denna typ av vägbyggen utöver Sverige. Sverige har längst erfarenhet av funktionsentreprenader och arbetar oftast med en kontraktstid på omkring tio år. I dagsläget ställs det i Sverige i huvudsak krav på ett begränsat antal mätbara egenskaper på vägytan: IRI, spår djup och tvärfall.

Sammanfattningsvis kan man säga att det är mest i Sverige kontraktsformen används och här i relativt stor utsträckning för investeringsobjekt.

6.1. Danmark

Danmark har begränsad erfarenhet av funktionsentreprenader inom statlig vägverksamhet, men har genomfört några försöksprojekt. I ett kontrakt från 2017 ställdes krav på både ny beläggning och det efterföljande underhållet, som inleddes efter den femåriga garantitidens slut. Åtagandet, inklusive garantitid, omfattade en tioårsperiod. Kraven inkluderade bland annat:

- Maximal avvikelse i tvärfall: 5 promille
- Spår djup: högst 10 mm inom varje 10 meter väg
- IRI: högst 1,4 mm/m inom varje 100 meter väg
- Friktion: minst 0,40 inom varje 100 meter väg
- Bärighet: ska motsvara förväntat värde för kvarvarande livslängd
- Inga trafiksäkerhetshotande skador (till exempel pothål)
- Lappning: högst 5 procent av vägytan
- Ytskadevärde vid besiktning: högst 1,5¹
- Vägmarkeringar: retroreflektion minst 90 mcd/lux/m²

Formuleringen "inom varje x meter väg" innebär att vägen delas in i sektioner av angiven längd och att kravet provas för medelvärdet av varje enskild sektion.

En viktig erfarenhet från det danska projektet var vikten av tydliga definitioner för var och hur kraven ska tillämpas. Ett exempel gäller kravet att högst fem procent av vägytan får vara lappad. Vad innebär kravet i praktiken? I ett tänkbart scenario kan en tungt trafikerad körfil ha upp till 14 procent lappning, medan övriga två filer är helt intakta. Det totala genomsnittet ligger då inom gränsvärdet, men det är oklart om kravet avser genomsnittet eller varje fil individuellt. Detsamma gäller om det avser vägen uppdelat per körriktning eller lappningen över hela vägens bredd. Oklarheter kan skapa tolkningsproblem och därmed försvåra både uppföljning och samarbete.

En jämförelse mellan de danska och svenska kraven visar att det finns likheter, men att olika kravnivåer används. I Sverige används normalt kravnivåer från underhållsstandarden (Trafikverket, 2012) för kontroll av tillståndet under funktionstiden. Kraven i underhållsstandarden baseras på skyltad hastighet och ÅDT.

¹ Metod ej definierad. På statliga vägar överskrids sällan 1,0.

6.2. Norge

I Norge finns entreprenader med funktionskrav inom det som kallas *OPS – Offentlig-Privat Samverkan*. OPS är en genomförandemodell där Statens Vegvesen fungerar som byggherre, medan ett privat företag tecknar avtal med staten om genomförandet. Det innebär att staten beställer en tjänst som utförs av en privat aktör. I Norge har många andra projekt genomförts inom OPS-modellens ramar, bland annat projekt rörande skolor och sjukhus. För vägprojekt inom OPS-modellen innebär det att ett privat företag får helhetsansvar för en vägsträcka, från planering och byggnation till drift och underhåll. Vägprojekt av denna typ är hittills ovanliga, men flera större projekt är påbörjade och modellen är en del av regeringens reformarbete inom transportsektorn, i syfte att öka den samhällsekonomiska lönsamheten inom sektorn.

Den upphandlande myndigheten beskriver uppgiften med funktionskrav och definierar vilka standarder och kvaliteter som ska levereras. Leverantören ges inom detta ramverk frihet och totalansvar för att utveckla, bygga, driva och underhålla projektet – vanligtvis i 20 till 30 år. När avtalstiden löper ut tar den upphandlande myndigheten över ansvaret för drift och underhåll, om det inte finns en option på förlängning (Statens vegvesen, n.d.).

Statens Vegvesen har hittills genomfört fyra OPS-vägprojekt som är i drift, och ytterligare två är planerade. Den första vägen trafiköppnades 2005. Erfarenheterna av kontraktsformen beskrivs hittills som goda (Statens vegvesen, 2020).

Ett aktuellt projekt är E10 / rv. 85 Tjeldsund – Gullsfjordbotn – Langvassbukta, även kallat *OPS Hålogalandsvegen*, ett historiskt stort vägbyggnadsprojekt med syftet att förbättra framkomlighet och trafiksäkerhet i regionen. Totalt kommer 82 kilometer väg att byggas enligt OPS-modellen. (Statens vegvesen, 2025)

Vid färdigställandet gäller samma krav som normalt gäller för norska riksvägar enligt *D2_R610 Standard for drift- og vedlikehold av riksveger* (Statens vegvesen, 2014). Kraven omfattar bland annat förekomst av ytskador, jämnhet (IRI), spår djup, friktion och tvärfall. Därutöver tillkommer krav rörande bärighet, robusthet, sättningar, erosion, samt förekomst av räcken, skyltar och vägmarkeringar. För tunnlar och broar tillämpas specifika krav anpassat för dessa strukturer. Under driftstiden och vid överlämnandet till Statens Vegvesen ställs särskilda krav på spår djup och IRI (Statens vegvesen, 2021A; Statens vegvesen, 2021B).

6.3. Övriga länder

Island använder i nuläget inte funktionsentreprenader. För Finland finns för närvarande ingen tillgänglig information om användning av funktionsentreprenader.

7. Beskrivning av mätmetoder och mått

En utökning av objektiv kontroll genom vägytemätning på en totalentreprenad kan ha flera syften, att ersätta en tidigare subjektivt bedömd egenskap med en metod som är oberoende av mänsklig tolkning, som sprickor, eller att kontrollera egenskaper som anses viktiga ur ett säkerhets- eller beständighetsperspektiv men som inte kontrolleras idag. Säkerheten avser såväl momentet då mätningen utförs (undvika att ha personer i vägområdet) som trafikantens perspektiv. I detta kapitel beskrivs möjligheter att använda data från vägytemätning i dessa syften.

Genomgången omfattar främst mått på vägytans egenskaper som idag inte allmänt används eller baseras på subjektiva mätmetoder:

- Sprickdetektering
- Ytskador (separation, stensläpp, blödning, åldrad beläggning, slaghål)
- Sättningar
- Vattenavrinning
- Lokala ojämnheter

För dessa beskrivs nedan, mättekniken, hur måtten beräknas. Dessutom exemplifieras måtten från gjorda mätningar.

7.1. Sprickdetektering

Denna metod bygger på en automatiserad detektering av sprickor som samlas in genom mätning med heltäckande laser. Enligt Trafikverkets gällande metodbeskrivning, TDOK 2014:0003 (Trafikverket, 2020B) behöver den heltäckande lasern ha en upplösning som är tillräckligt hög för att kunna detektera sprickor som har en bredd på minst 2,5 mm. Sprickor kan detekteras okulärt från bilder eller med programvaror som möjliggör en automatiserad detektering. En kombination av manuell och automatiserad detektering är också möjlig, och är framför allt lämplig på korta sträckor (upp till en eller ett par km) där resultatet ska användas för reglering av eventuella vitesbelopp.

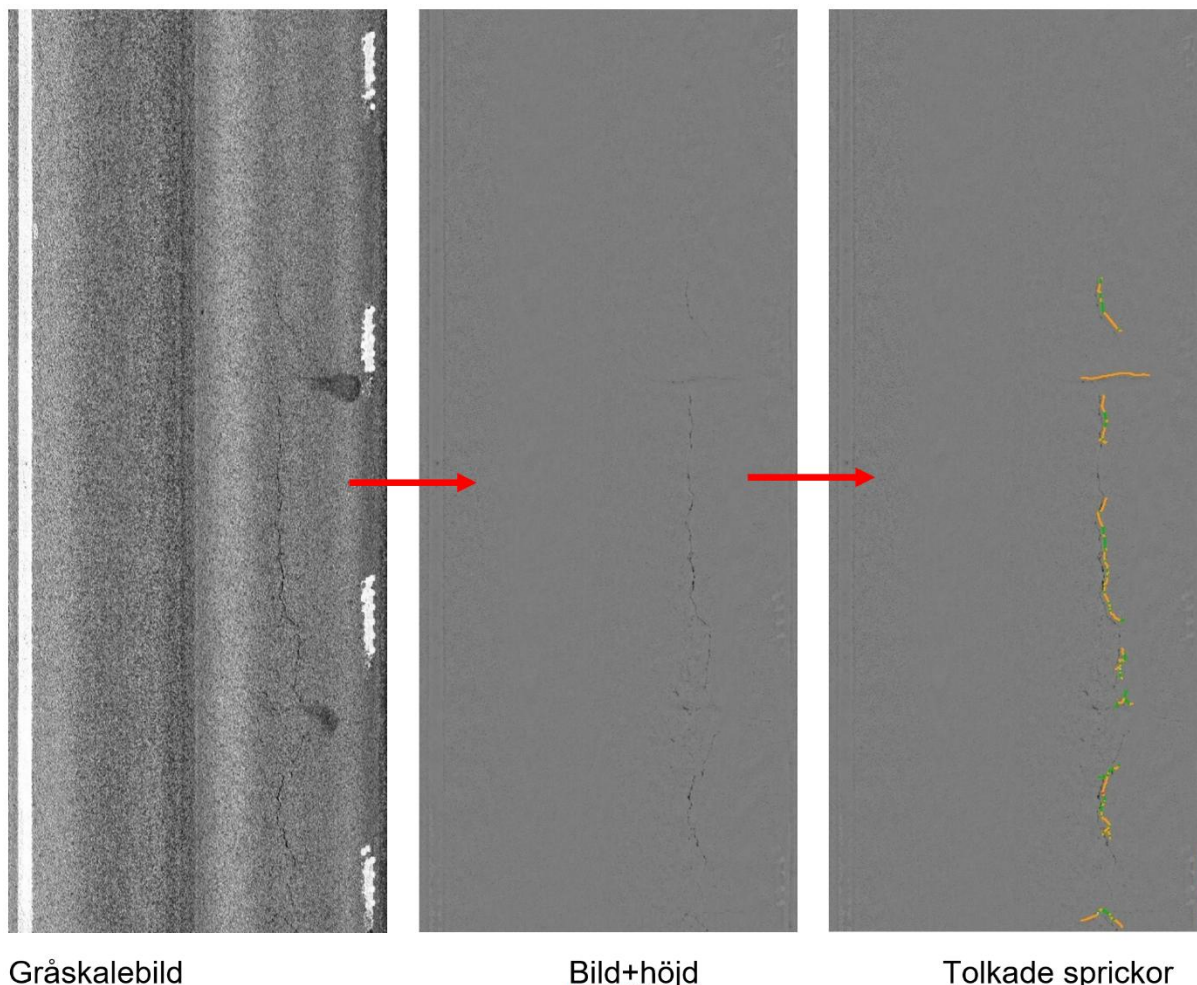
7.1.1. Beskrivning av mätteknik

Mättekniken för automatiserad detektering av sprickor bygger på inmätning av vägytan med en eller flera lasrar som täcker minst körfältets bredd. I Trafikverkets gällande metodbeskrivning (Trafikverket, 2020B) ska mätbredden vara minst 3,8 meter. Laserkamerornas upplösning måste vara tillräckligt hög för att även smala och grunda sprickor ska kunna detekteras. I praktiken innebär detta att upplösningen i tvärled bör vara ca 1 mm. I längsled är upplösningen även beroende av sensorns mät hastighet, det vill säga med vilken frekvens som lasern kan avläsa värden. För att kunna detektera tvärgående sprickor krävs en upplösning i längsled på ca 1 mm, medan för längsgående sprickor krävs en något lägre upplösning. I praktiken innebär det att de flesta sprickor kan detekteras med en något lägre upplösning i längsled, exempelvis 5 mm, men att man då riskerar att missa sprickor som är helt tvärgående.

Sensorerna som används i detta projekt är av typen Laser Crack Measurement System (LCMS). Systemet består av två linjelaserkameror som tillsammans ger en mätbredd på 4 m fördelat på 4 096 punkter. Upplösningen i tvärled är därmed ca 1 mm. Upplösningen i längsled kan väljas av användaren och i den senaste versionen av sensorn (LCMS2) är högsta upplösningen 1 mm vid hastigheter upp till 100 km/h.

7.1.2. Beskrivning av detektering av sprickor

LCMS använder bildanalys i kombination med lasersensorns höjddata för att detektera sprickor. De processade bilderna är i gråskala med storleken 4×10 meter. Från dessa görs en tolkning av sprickor baserat på form och mönster. Från lasersensorns höjddata tolkas avvikelser från en plan yta vilken därefter kombineras med resultatet från bildtolkningen. I Figur 1 visas den stegvisa processen för sprickdetekteringen. I figurens vänstra bild visas gråskalebilden som genereras var 10:e meter. I den mittersta bilden har höjdinformationen lagts till vilket sällar bort sprickor utan djup. Av denna anledning är merparten av bilden i samma gråskala, förutom de pixlar där sprickor förekommer. I den högra bilden visas resultatet från tolkningen i form av färger, där användaren kan definiera färgens betydelse (till exempel djup och bredd).



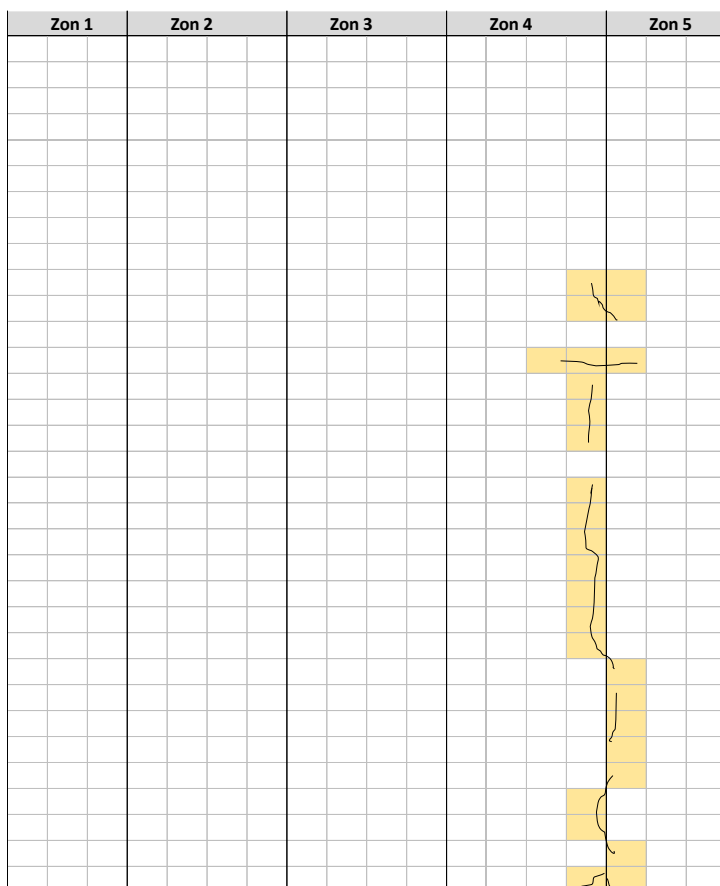
Figur 1 Den stegvisa processen för tolkning av sprickor med LCMS-systemet.

Tolkningen av höjddata innebär egentligen att vägytans textur analyseras. Olika beläggningstyper är olika grova vilket beskrivs med olika texturnivåer. För att kunna bestämma ifall de mätta höjderna avviker från en normerad nivå (att bestämma att det som studeras är en spricka) måste en normal texturnivå bestämmas, vilken sen får gälla som referensnivå för att hitta sprickor. Den ”normala” texturnivån bestäms automatiskt för varje enskild gråskalebild om 4×10 meter.

Vid detektering av sprickor bör det också finnas möjlighet att radera sprickor som inte ska ingå i det slutliga resultatet. Exempel på sådana är sprickor som befinner sig utanför den yta som ska omfattas av mätningen samt sprickor som är alltför korta eller inte tillräckligt djupa och breda. Sprickor som befinner sig utanför den yta som specificeras i TDOK (Trafikverket, 2020B), men som kommer med på grund av att mätbredden är upp till fyra meter, exkluderas innan eller efter spricktolkningen med

hjälp av begränsningslinjer². En typisk begränsningslinje är vägmarkering vilken är relativt enkel att detektera med automatik för mätsystem av denna typ. I de fall där vägmarkeringen är sliten kan den inte detekteras med automatik med tillräcklig säkerhet, då kan i stället beläggningens kant detekteras som begränsningslinje. Detta görs också relativt enkelt i de flesta fall med LCMS-systemet. För att radera sprickor som inte är tillräckligt långa/djupa/breda, kan minsta värden som ska användas för att defekten ska tolkas som en spricka specificeras innan tolkningen. Alternativt går det att radera detekterade sprickor efter första tolkningen.

Resultatet från spricktolkningen ska enligt Trafikverkets metod redovisas som andelen sprucken yta per 20 meter. Detta görs genom att dela in ytan i ett rutnät där varje ruta är 0,1×0,1 meter. Varje ruta som innehåller en eller flera sprickor räknas som sprucken. Innehåller samtliga rutor en spricka blir således resultatet 100 procent. Rutnätet delas också in i fem zoner tvärs vägen. Syftet med detta är att kunna få en uppfattning om var sprickor uppkommit i körfältet, vilket i sin tur ger information om orsaken till sprickans uppkomst. I Figur 2 visas principen för redovisning av sprickor i rutnät.



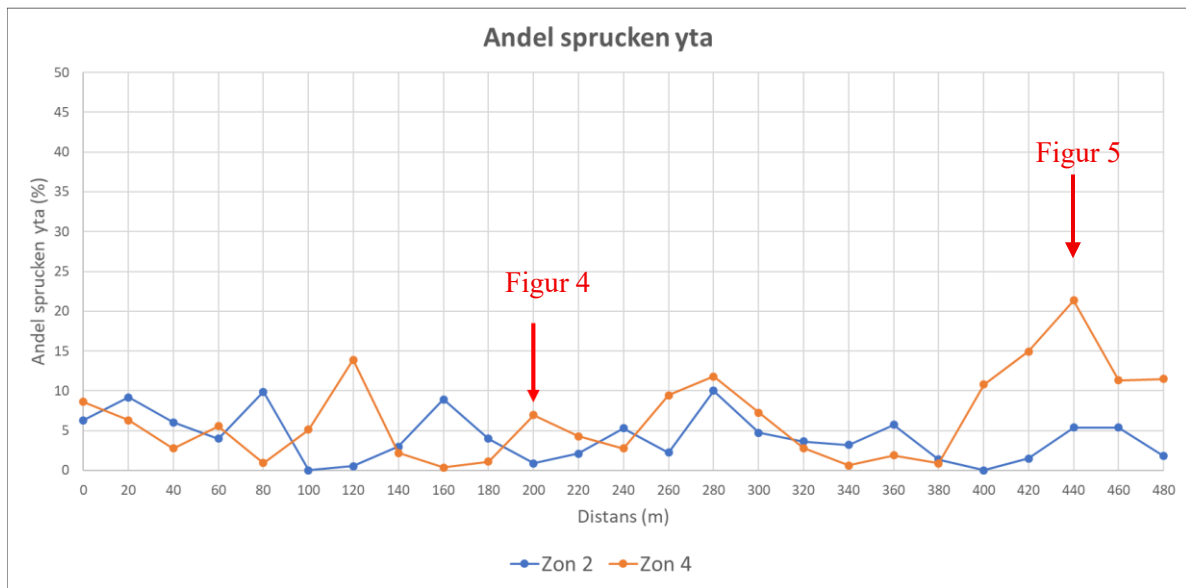
Figur 2 Exempel på redovisning av sprickor. I detta exempel har antalet rutor reducerats för att förenkla visualiseringen. Mätetalet för zon 4 blir således 17 rutor dividerat med antal rutor i zonen, uttryckt i procent (13 %).

7.1.3. Exempel från genomfört projekt

I Figur 3 visas ett exempel på redovisning av sprickor enligt Trafikverkets rutnätsmetod. I detta fall redovisas andelen sprucken yta per 20 meter för zonerna 2 och 4 (zonerna för hjulspåren). I Figur 4

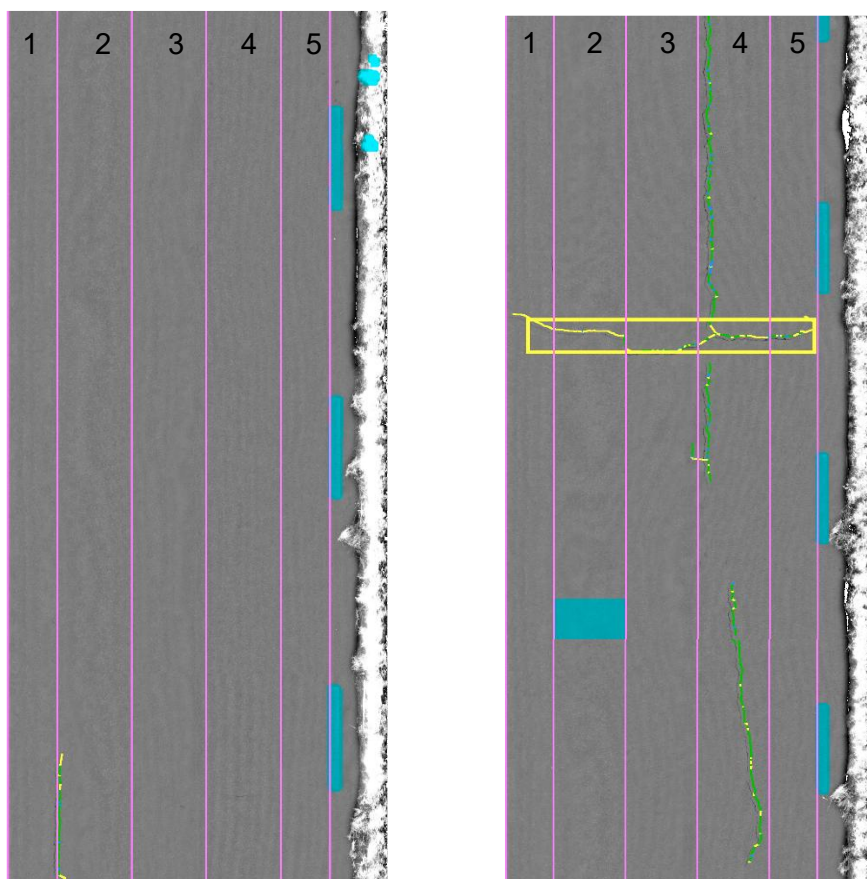
² En begränsning av det område som ska analyseras.

och Figur 5 visas sedan hur sprickor tolkats inom sektion 200–220 meter respektive 440 m (markerat med röda pilar i diagrammet).



Figur 3 Andel sprucken yta i zonerna för vänster (zon 2) och höger hjulspår (zon 4).

De cerisa vertikala linjerna i Figur 4 symboliserar gränserna mellan sprickzonerna. I Figur 4 finns en längsgående spricka i zon 4, det vill säga höger hjulspår. Detta har genererat en sprucken yta på ca sju procent för denna zon. I zon två förekommer endast en tvärgående spricka samt en kort längsgående spricka i början av intervallet. I bilden ses också att vägmarkeringen till höger har detekterats i tolkningen (markerat med turkos färg). Den vita ytan längst till höger i bild är gräs som i detta fall har växt in över stödremsan. Trots att sträckan innehåller relativt mycket sprickor kan andelen sprucken yta upplevas som lågt.



Figur 4 Automatiserad tolkning av sprickor för distans 200–220 m. 20 m-sträckan är uppdelad i två bilder för att återge en högre detaljgrad (vänstra bilden 200–210 m, högra bilden 210–220 m).

I Figur 5 visas en bild från distans 440 meter där grov sprickbildning finns på den högra sidan av körfältet. I Figur 3 kan vi se att detta resulterar i 20 procent sprucken yta för zon 4 (höger hjulspår). Den aktuella 20 meterssträckan redovisas som en röd rektangel i figuren nedan.



Figur 5 Bild från distans 440 m. Den röda rektangeln visar ungefär den aktuella 20 m-sektionens utbredning i längs- och tvärled.

I detta exempel är sprickan i höger hjulspår för distans 440 meter relativt bred och skulle troligtvis graderats med svårighetsgrad "svår" om en okulär bedömning enligt *Bära eller brista* (Wågberg, 2003) gjorts. Om mer information om sprickor (exempelvis bredd och djup) användes i det automatiserade systemet skulle även svårighetsgrad kunna läsas ut av väghållaren.

7.2. Ytskador

Det finns idag ingen vedertagen definition av ytskador på asfaltbeläggningar. Det finns flera typer av ytskador och orsaken till deras uppkomst skiljer sig också åt. Gemensamt är dock att skadorna syns på ytan och orsaken till skadan går också i de flesta fall att avgöra genom att studera ytan. I handboken *Bära eller brista* (Wågberg, 2003) finns fem olika skadetyper beskrivna vilka är en form av definition av ytskada. Dessa används även i denna rapport och inkluderas i begreppet ytskada:

- **Separation:** Innebär att det grövre stenmaterialet i asfaltmassan skiljs från finmaterialet. Den ursprungliga korngraderingen och bindemedelshalten förändras och asfaltmassan blir därmed mindre homogen. Denna skada uppkommer redan vid utläggningen av asfaltmassan och uppträder många gånger vid så kallade lassbyten, det vill säga då det sista materialet i lastbilsflaket som kallnat används. Även vid återvinning av asfaltmassa på plats (remixing) finns det risk för separationer då gammal asfalt blandas med nytillverkad massa. Idag är det relativt vanligt att asfaltmassan får passera maskiner som förbättrar homogeniteten och bibehåller rätt temperatur innan den läggs ut på vägen. Separationer som uppkommer vid utläggning är många gånger orsak till andra typer av ytskador.
- **Stensläpp:** Innebär att stenar släpper från beläggningen. Orsaken kan vara dålig vidhäftning, åldrat bitumen, separationer som uppstått vid utläggning eller mekaniska skador orsakade av till exempel snöplog.

- **Blödning:** Innebär en anrikning av bitumen i ytan som uppträder framför allt på ytbehandlingar, men kan likväl uppkomma på massabeläggningar i sällsynta fall. Orsaken är oftast att förhållandet bindemedelsmängd och ballast är felaktigt i kombination med stor trafikmängd och hög temperatur.
- **Åldrande beläggning:** Innebär att bituminet i beläggningen åldras vilket så småningom leder till stensläpp och slaghål. Åldring uppträder vanligtvis på lågtrafikerade vägnät och startar 15–20 år efter att beläggningen är ny. Orsaken till åldring är att bindemedlet oxiderar under långvarig exponering av solen och luften.
- **Slaghål:** Innebär att hål uppstått i beläggningen. Orsaken är en konsekvens av dålig vidhäftning, krackelering eller separation.

Metoder för att mäta omfattning och svårhetsgrad av ytskador har hittills mestadels gjorts genom en systematisk okulär bedömning, exempelvis enligt metod beskriven i Bära eller brista. Utöver den okulära metoden finns ett par metoder för att bedöma separationer i nya beläggningar. Det är dels en volymetrisk mätning med sand eller glaspärlor vilken utförs manuellt och punktvis på ett avlyst område s.k. sand patch (CEN, 2001) och det är dels mätning av makrotextur med laserbaserad teknik (International Organization for Standardization (ISO), 2019; Trafikverket, 2020B).

Ytskador har det gemensamt att de förändrar beläggningens makrotextur. Texturen förändras antingen i förhållande till dess ursprungsvärde, exempelvis vid stensläpp, eller i förhållande till vad som är önskvärt, exempelvis vid separationer.

7.2.1. Beskrivning av mätteknik

Mättekniken för detektering av ytskador i detta projekt sker dels med ovan beskrivna linjelasersystem av typen LCMS och dels med de traditionella punktlasarna som använts under lång tid i Sverige. Varje enskild punktlaser samlar kontinuerligt mätvärden i en linje längs vägen med en hög frekvens så att beläggningens textur kan bestämmas. I praktiken innebär det att mätvärden samlas minst varje millimeter i hastigheter upp till 90 km/h. Punktlasarna som används för att mäta textur måste ha en frekvens som är lika med eller större än 25 kHz för att uppfylla standarden för makrotexturmätning (International Organization for Standardization (ISO), 2019). Enligt Trafikverkets tekniska beskrivningar (Trafikverket, 2020B) ska textur mätas i tre linjer; i mätbilens centrum samt ca 0,75 meter på ömse sidor om centrum. Därmed mäts textur i mitten av körfältet samt i dess hjulspår.

7.2.2. Beskrivning av detektering av ytskador

Som nämndes i kapitel 7.2 kan ytskador uppträda både då beläggningen är ny och då den har åldrats. I detta projekt är ambitionen också att testa olika mättekniker för att detektera ytskador. Av dessa anledningar är de metoder som avses utvärderas uppdelade på mätteknik och typ av ytskada. I Tabell 1 ges en översikt över vilka metoder som testas i detta projekt tillsammans med en enkel beskrivning. Varje metod beskrivs mer i detalj nedan.

Tabell 1 Sammanställning av metoder för detektering av ytskador som testas i detta projekt.

Skadetyper	Mätmetod	Tidpunkt	Beskrivning
Separation	Linjelaser	Slutbesiktning	Måttet Mean Texture Depth (MTD)
	Punktlaser	Slutbesiktning	Måttet Mean Profile Depth (MPD)
Stensläpp	Linjelaser	Garantitiden	Algoritmen för stensläpp i lasertillverkarens programvara

Skadetyper	Mätmetod	Tidpunkt	Beskrivning
	Punktlaser	Garantitiden	Mått baserat på statistisk analys av Mean Profile Depth (MPD)
	Punktlaser	Garantitiden	Analys av texturprofilen. Metoden kräver en mätning vid trafikpåsläpp för att avgöra beläggningens normala håligheter.
Slaghål	Linjelaser	Garantitiden	Algoritmen för slaghål i lasertillverkarens programvara
Ytskada generell	Punktlaser	Garantitiden	Sammanslaget index för ytskada baserat på måtten MPD, Megatextur och Lokal ojämnheter

Beskrivning av metodik för detektering av **separationer**

Med linjelaser (LCMS)

Mätning med linjelaser möjliggör en närmast heltäckande bild av ytan. Principen är densamma som för punktlasar, nämligen att mätvärden samlas med hög frekvens och noggrannhet vilket gör att ytans textur kan bestämmas. I lasertillverkarens programvara finns inga algoritmer för att detektera separationer, men möjlighet finns att medelvärdesbilda de insamlade värden både i längs- och tvärled på ett flexibelt sätt. Måttet som beräknas är Mean Texture Depth (MTD) vilket kan förklaras som en digital variant av den manuella volymetriska metoden med sand eller glaspärlor som beskrevs i tidigare kapitel.

Med punktlaser

Mätning genomförs enligt en metod som är beskriven i Trafikverkets dokument "Kontroll av nya beläggningars makrotextur med mätbil" (Trafikverket, 2017). Metoden togs fram för några år sedan i syfte att kontrollera nya beläggningars homogenitet. I metoden kontrolleras makrotexturen, beräknat som Mean Profile Depth (MPD), för tre linjer tvärs vägen med avseende på minsta och högsta värde samt variationskoefficienten. Metoden ska därmed upptäcka ytor med risk för låg friktion (låg textur), ytor med risk för framtida stensläpp (hög textur) samt separationer (hög variationskoefficient). Eftersom förväntade texturvärden är starkt beroende av aktuell beläggningstyp sätts kravgränserna med hänsyn till beläggningstypens normala texturvärden samt normala variation.

Beskrivning av metodik för detektering av **stensläpp**:

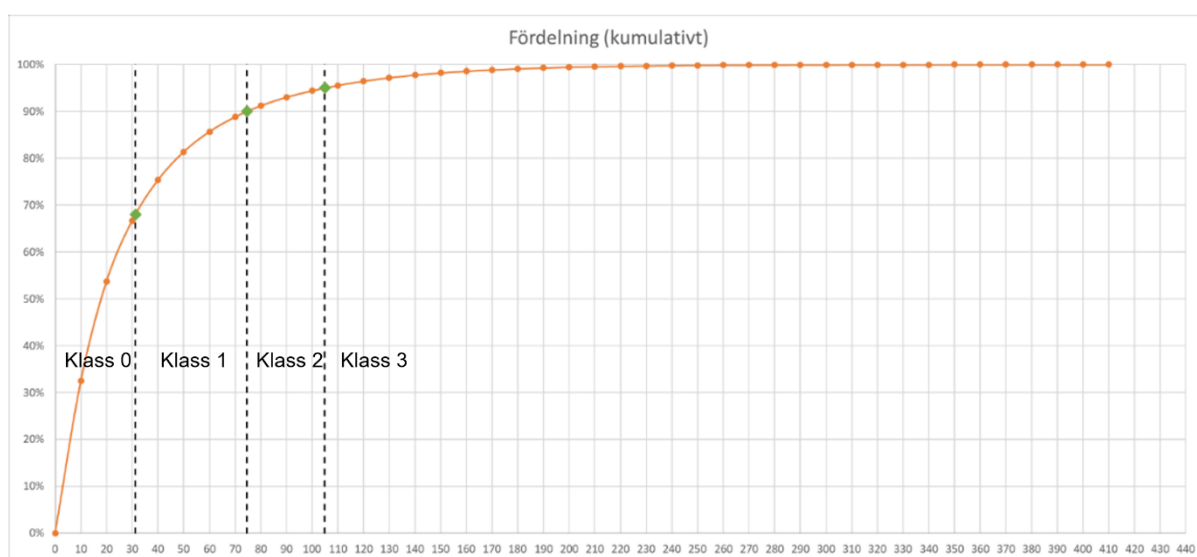
Med linjelaser (LCMS)

Precis som för sprickor och separationer ger den heltäckande linjelasern möjlighet att mäta och analysera hela belagda ytan. Lasertillverkaren har en inbyggd metod för detektering av stensläpp där resultatet kan presenteras med olika mått. Det första steget i metodiken liknar metoden som används för sprickor, nämligen att en "referensnivå" för den aktuella tiometerssektionen bestäms. Referensnivån beror framför allt på beläggningens textur. I nästa steg delas tiometerssektionen in i ett rutnät om 250×250 mm där volymen mellan referensnivån och den inmätta ytan bestäms för varje ruta (benämns AVC-värde). Med hjälp av de insamlade bilderna, processade med höjdinformation (se mittersta bilden i Figur 1), detekteras så kallade "ravelling spots" (RPI-värde), alltså ytor med stensläpp. För att beräkna ett mått av mängden stensläpp beräknas återigen AVC-värdet men denna gång utan ravelling spots. Skillnaden mellan AVC-värdet för hela ytan och AVC-värdet utan ravelling spots ger då volymen av de stenar som lossnat från beläggningen. Detta värde benämns Ravelling Index (RI-värde), och beskriver ett medelvärde för 10 meterssektionen.

För att kunna använda RI-värdet behöver det klassificeras utifrån den aktuella sträckans beläggningsegenskaper, exempelvis har beläggningstyp, stenstorlek och ålder betydelse för storleken på RI-värdet. Ett område med stensläpp som okulärt bedöms vara av samma allvarlighetsgrad kan med andra ord få olika RI-värde på olika typer av beläggningar. I detta projekt används följande metodik för att klassificera de beräknade RI-värdena:

- Mätbredd sätts till 3,25 meter där centrum utgörs av tvärprofilens mittersta mätpunkt
- Beräkningarna utgår från ett rutnät med storleken 250×250 mm, vilket ger 13 rutor i tvärled
- För varje ruta bestäms ett RI-värde, enligt beskrivningen ovan.
- För att göra mängden data mer hanterbar sparas det största RI-värdet över en meter i längsled för respektive ruta. Detta ger ett rutnät på 250×1000 mm där varje ruta innehåller det största RI-värdet inom denna yta.
- RI-värdena från ovanstående punkt klassas i fyra klasser genom att bestämma fördelningen av RI-värdena. Det är endast rutor som har ett RI-värde som används i beräkningen, d.v.s. de rutor där RI-värdet är noll tas inte med i bestämningen av fördelningen. De fyra klasserna väljs enligt följande:
 - Klass 0: Minimivärde till 68-percentil
 - Klass 1: 68 till 90-percentil
 - Klass 2: 90 till 95-percentil
 - Klass 3: 95 till 100-percentil

I Figur 6 visas ett exempel på hur fördelningen ser ut för ett av de ingående objekten i projektet. I exemplet innebär det att de rutor som har RI-värden <31 hamnar i klass 0 och därmed inte klassas som stensläpp. RI-värden mellan 31 och 75 hamnar i klass 1, RI-värden mellan 75 och 105 hamnar i klass 2 och RI-värden >105 hamnar i klass 3. För varje 20 meterssektion bestäms också hur stor andel av ytan som är klassad att innehålla stensläpp. Denna beräkning baseras på de klassade värden, det vill säga antalet rutor med klassningen 1-3 i förhållande till det totala antalet rutor. Beräkningen är alltså oberoende av klassningen (allvarlighetsgraden). Andelen stensläpp (%) definieras som andelen rutor med RI i klass 1 och högre av totala antalet rutor (% av ytan med stensläpp).



Figur 6 Exempel på kumulativ fördelning (%) av RI-värden > 0 för klassning av stensläpp. De gröna punkterna motsvarar 68-percentilen, 90-percentilen samt 95-percentilen. X-axeln visar RI-värdet.

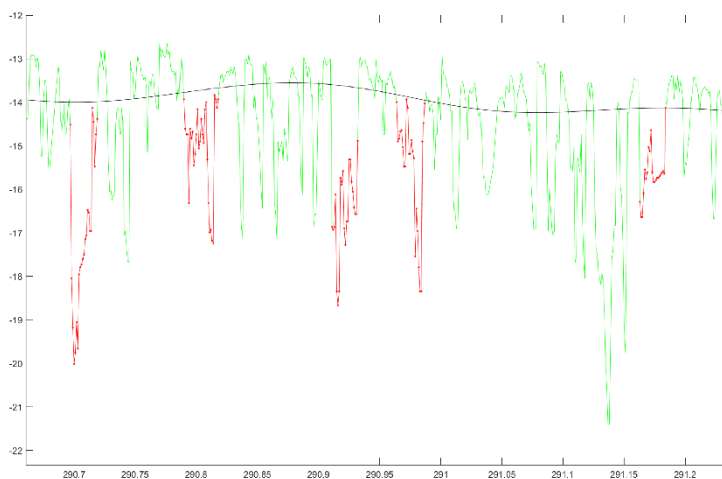
RI-värden över 31 enheter visar någon typ av stensläpp. För att veta hur stor andel av 10 meterssektionen som har stensläpp måste andelen ytor med RI = 0 vara känt.

Med punktlaser, Ytskada MPD

Mätning genomförs enligt en metod som finns beskriven i VTI-rapport 719 (Lundberg, et al., 2015). Metoden går ut på att beräkna ett glidande medelvärde per 20 meter för makrotextur, (MPD), separat längs tre linjer där makrotextur mäts. Kvoten mellan nästkommande enmetersvärde för MPD och det glidande 20 metersvärdet bestäms. Ett kvotvärde nära 1,0 indikerar en homogen beläggning medan ett högre värde pekar på en defekt eller avvikelse i ytan för den aktuella 1 meterssektionen.

Med punktlaser

Mätning av vägens texturprofil kan utföras vid normal objekt- och vägytemätning. Vid mätningen samlas en högupplöst ofiltrerad texturprofil in, vanligtvis separat för tre punktlasrar. Profilen är avsedd för beräkning av MPD och megatextur. Texturprofilen ansätts en anpassad linje som följer vägens textur, se den svarta linjen i Figur 7. De delar av texturprofilen som sammanhängande har ett värde under den anpassade linjen med tillräcklig bredd och djup tolkas som att en sten har släppt (markerat med röd färg i figuren). Djup och bredd måste anpassas efter beläggningstyp och maximal stenstorlek. Från första mätningen på den nya ytan bestäms ett grundvärde för ytans normala förekomst av håligheter. Från de efterföljande mätningar jämförs resultatet med den första mätningen på aktuell beläggning och på så sätt kan andelen stensläpp tolkas.



Figur 7 Texturprofil (grön och röd profil) med en anpassad linje (svart) som följer ytans i grova drag. Den röda delen i profilen visar vilka områden som indikerar stensläpp. X-axeln visar distans i längsled i enheten meter och Y-axeln vägens relativa höjdprofil i mm. Denna metod redovisas inte vidare i denna rapport.

Beskrivning av metodik för detektering av **slaghål**

Med linjelaser (LCMS)

Lasertillverkaren har en inbyggd algoritm för detektering av slaghål där höjdvärden kombineras med bilder av vägytan. Det finns viss möjlighet för användaren att definiera formen på slaghål som ska detekteras samt gränsvärden för dess storleken för att tolkas som slaghål.

Beskrivning av metodik för detektering av **generell ytskada**

Med punktlaser

Måttet är tänkt att detektera skador i asfaltytan utan att precisera vilken skada det rör sig om. För detta ändamål används texturvärdena, dels makrotextur beräknat som MPD, dels megatextur beräknat som RMS-värde (root mean square). Båda dessa mått beräknas enligt den standard som gäller i Sverige (Trafikverket, 2020B; International Organization for Standardization (ISO), 2019; International Standardisation Organisation (ISO), 2025). Slutligen används även måttet lokal ojämnhet. Detta mått följer även den svenska standarden och ska beskriva de accelerationer som uppstår i chassi och hjul när ett fordon passerar en ojämnhet med kort utbredning i längsled. Beräkningen av det slutliga måttet *Underhållsindex (UI)* görs genom att sammanväga ett flertal olika beräkningar från ovan beskrivna mått. En detaljerad beskrivning av måttet finns i VTI Rapport 1055 (Lundberg, et al., 2020).

7.2.3. Exempel på ytskademått från genomfört projekt

Nedanstående exempel är hämtade från ett internt utvecklingsprojekt (Ramboll) i samband med genomförda beläggningsåtgärder. Exempel ges för måtten på:

- Separation
- Stensläpp
- Slaghål
- Generell ytskada.

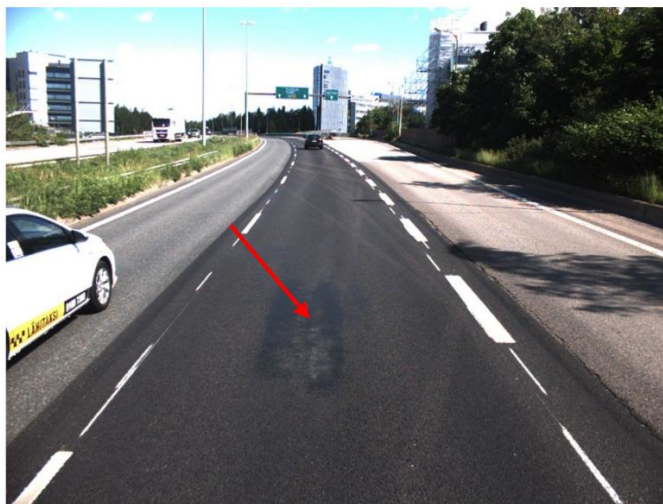
Separation

Nedan ges exempel på beräkningar av separationer i nya beläggningar, vid tidpunkten för slutbesiktning.

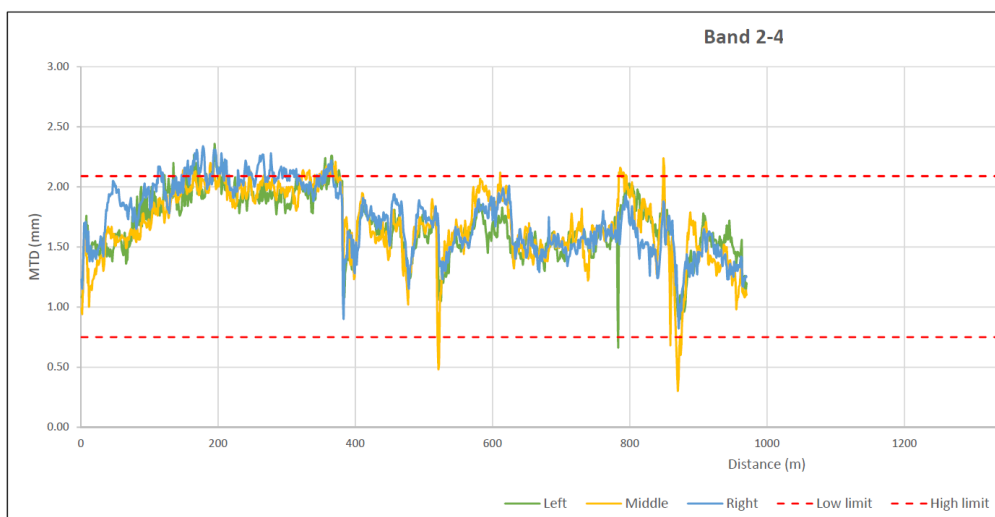
Linjelaser (LCMS)

Exemplet är hämtat från ett utvecklingsprojekt där en ny metod för identifiering av heterogena ytor skulle tas fram. I projektet användes ett av texturmåtten som kan beräknas med linjelasersystemet nämligen Mean Texture Depth (MTD). Ett MTD-värde beräknades för en yta om 1×1 meter. Utvärderingen av homogenitet baserades därefter på minsta och största värde samt standardavvikelse över 100 meter. I Figur 8 och Figur 9 visas exempel från en av de utvärderade sträckorna i projektet.

Dist	MTD		
	Left	Middle	Right
507	1.62	1.68	1.75
508	1.67	1.66	1.73
509	1.61	1.67	1.72
510	1.63	1.69	1.72
511	1.62	1.85	1.69
512	1.75	1.90	1.69
513	1.74	1.85	1.66
514	1.75	1.83	1.72
515	1.78	1.73	1.72
516	1.82	1.68	1.80
517	1.73	1.77	1.84
518	1.65	1.72	1.74
519	1.63	1.10	1.68
520	1.55	0.70	1.78
521	1.18	0.48	1.68
522	1.06	0.53	1.42
523	1.22	1.01	1.34
524	1.06	1.12	1.38
525	1.05	1.11	1.38
526	1.34	1.27	1.28



Figur 8 MTD-värden per 1×1 meter för en ny beläggning. De röda rutorna indikerar låg textur medan blå rutorna indikerar hög textur. Bilden till höger visar området med låg textur vid distans ca 520 meter.



Figur 9 Redovisning av MTD-värden från objektet i Figur 8. Röda streckade linjer anger gränser för minsta och största tillåtna värden. Left innebär området runt vänster hjulspår, middle området mellan hjulspåren och right området kring höger hjulspår.

Punktlasar

Exemplet (se Tabell 2) är hämtat från utvärdering av en underhållsbeläggning i Sverige. Beräkning och redovisning har gjorts enligt Trafikverkets metod för kontroll av makrotextur på nya beläggningar (Trafikverket, 2017). Metoden påminner i stor utsträckning om föregående exempel där minsta och största värde används tillsammans med variationskoefficienten för att utvärdera homogeniteten. Den största skillnaden mellan metoderna är att med linjelasern kan hela ytan mätas in medan punktlasarna kan endast ge en utsaga om de linjer där lasrarna skannar av ytan.

Tabell 2 Redovisning av MPD-värden i tabell. Gulmarkerade celler visar att uppmätta värden är under minsta tillåtna värde i höger hjulspår. Enligt metoden klassas då hela 20 meterssträckan som underkänd. MPD-värden beskrivs i mm, variationskoefficienten är dimensionslös.

Gränsv.	Låga MPD: 0.55		Höga MPD: 2.38		Variation: 0.36		Underkänd
Distans [m]	MPD Vänster	MPD Mitt	MPD Höger	Var.koeff Vänster	Var.koeff Mitt	Var.koeff Höger	Kommentar
4120	1.57	1.41	1.18	0.10	0.10	0.09	
4140	1.43	1.27	1.01	0.11	0.10	0.16	
4160	1.02	1.30	1.02	0.20	0.12	0.14	
4180	1.29	1.34	0.91	0.17	0.13	0.14	
4200	1.31	1.36	0.61	0.14	0.13	0.14	
4220	0.94	1.37	0.48	0.26	0.13	0.19	
4240	0.76	1.41	0.48	0.16	0.11	0.33	
4260	1.00	1.24	0.73	0.12	0.16	0.21	
4280	0.89	1.29	0.89	0.20	0.17	0.19	

Stensläpp

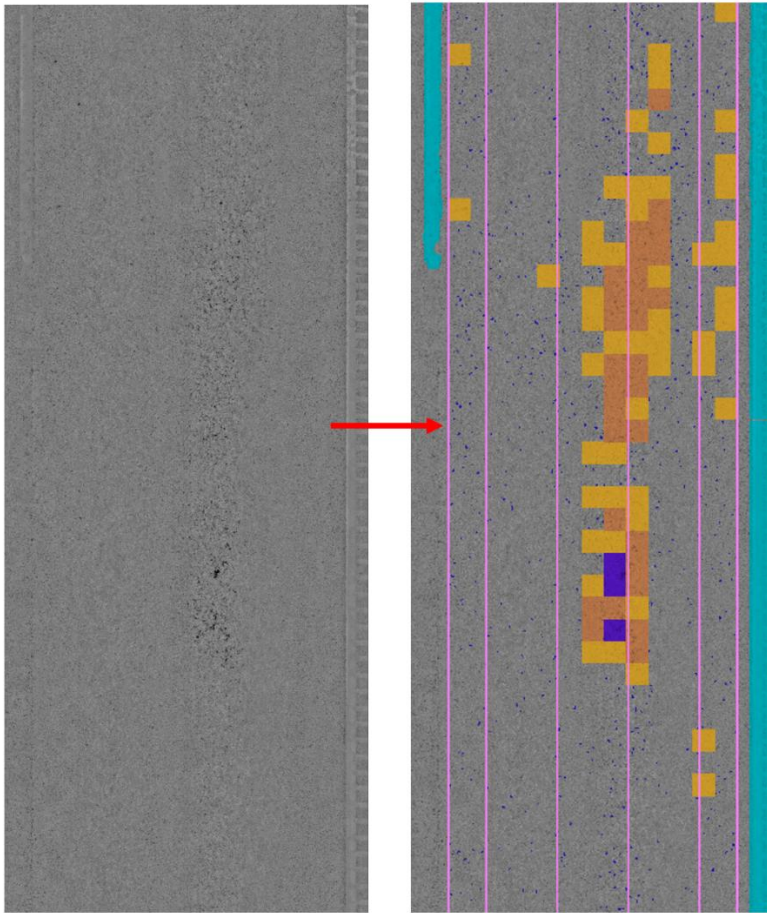
Nedan ges exempel på beräkningar av stensläpp i äldre beläggningar, vid tidpunkten för garantibesiktning.

Linjelaser (LCMS)

Exemplet är hämtat från en sträcka där en underhållsbeläggning skulle genomföras på grund av åldrad beläggning. Ytan hade tydliga tendenser att ha stensläpp men var också allmänt åldrad vilket innebar att enstaka stenar släppt även från ytor som inte kunde klassas som ytor med fullt utvecklad stensläpp. För beräkning av mängden stensläpp, samt dess lokalisering, användes lasertillverkarens algoritm som beskrevs i detalj ovan (kapitel 7.2.2). I Figur 10 visas en bild från ett område med stensläpp, i Figur 11 finns motsvarande bilder från LCMS-kamerorna.



Figur 10 Bild på område med stensläpp mellan hjulspåren.



Figur 11 LCMS-bilder från ovanstående område (Figur 10) med stensläpp. I den högra bilden visas de ytor som tolkats som stensläpp, ju mörkare färg desto mer stensläpp.

Resultatet från beräkningen av stensläpp, Ravelling Index (RI), gavs som ett värde. För att kunna jämföra resultatet från sträckor med varierande beläggningstyp och ålder gjordes en klassning av RI-värdet baserat på såväl sträckans textur som på en okulär besiktning. Besiktningen gjordes enkom för att kunna utvärdera den objektiva mätningen. Anledningen till detta var att nivån för RI-värdena varierade beroende på beläggningsens egenskaper och tillstånd. En yta med stensläpp för en beläggning kunde ge samma RI-värde som en yta utan stensläpp för en annan beläggning. Klassningen gjordes i fyra kategorier där noll innebar ingen stensläpp och 1–3 ökande mängd stensläpp. Klassindelningen underlättade även tolkningen av resultatet av hela sträckan. RI-värdet presenterades för en yta med bredden 250 mm och längden 1 000 mm.

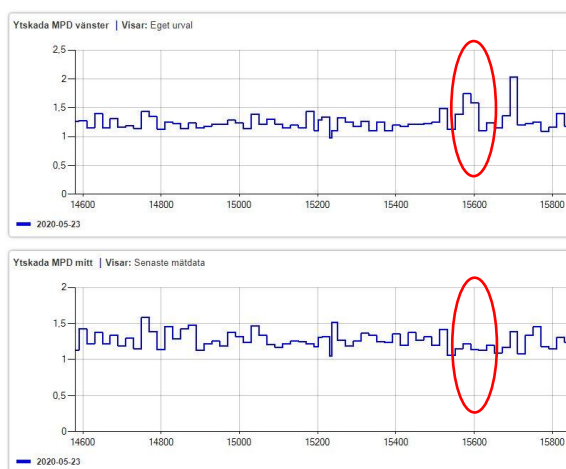
Punktlaser

Beräkningsmetoden finns redovisat som ett mått i Trafikverkets webbaserade system för information om belagda vägar (PMSv4, <https://pmsv4.trafikverket.se/>), där det är benämnt som ”under utvärdering”. Måttet benämns i PMSv4 som ”Ytskada MPD” och ska således inte enbart detektera stensläpp utan även andra skador, dock utan att precisera vilken skada. Exemplet är hämtat från en sträcka där senaste åtgärd gjordes för ca 20 år sedan. I Figur 12 finns områden med stensläpp, framför allt på vänster sida av körfältet.



Figur 12 Sträcka på länsväg 108 med åldrad beläggning och stensläpp.

I Figur 13 visas det beräknade måttet för vänster hjulspår och mellan hjulspåren. Vi ser att ett antal förhöjda värden finns för vänster hjulspår men inte för mätningen mellan hjulspåren. Detta stämmer bra överens med det som kan ses i bilden. Precis som för linjelasers RI-värden krävs någon form av anpassning till befintlig beläggningstyp och dess egenskaper.



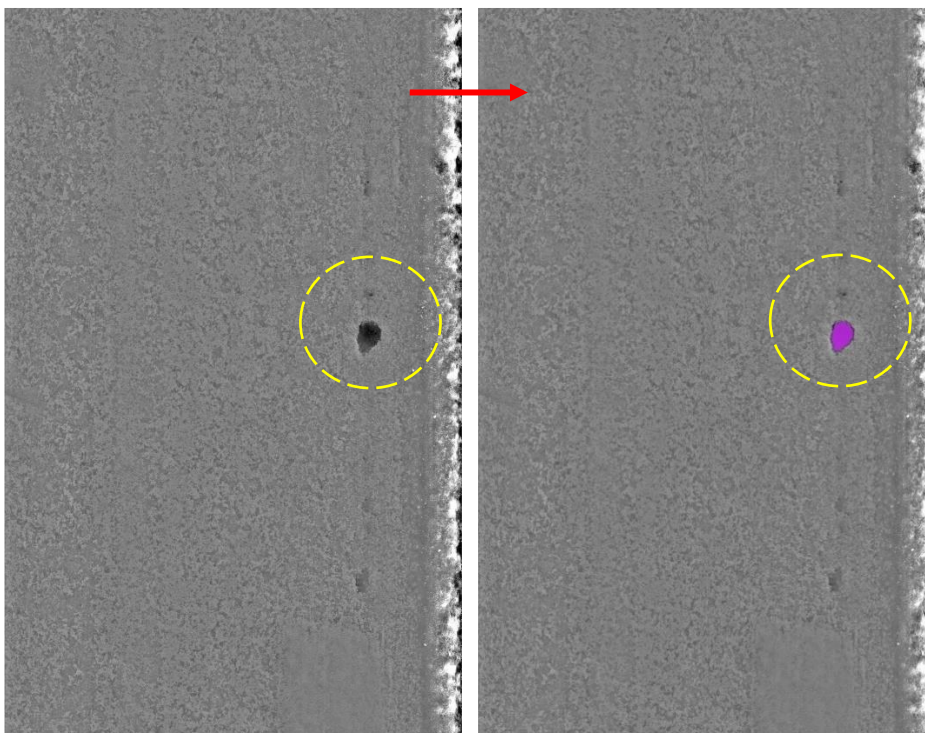
Figur 13 Måttet Ytskada MPD för vänster hjulspår (överst) och mellan hjulspåren (nederst). Inringat område motsvarar ungefär sträckan som visas i föregående bild. Y-skala dimensionslös och X-skala i m.

Slaghål

Nedan ges exempel på detektering av slaghål, även kallat potthål, vid tidpunkten för garantibesiktning.

Linjelaser (LCMS)

Exemplet är hämtat från ett utvecklingsprojekt om ytskador (Lundberg, et al., 2020) där en mindre väg med omfattande skador mättes. Figur 14 visar (den vänstra bilden) ett tydligt slaghål. Med hjälp av den inbyggda algoritmen i lasertillverkarens programvara kan hålet detekteras med automatik (Figur 14, högra bilden). Användaren kan specificera minsta storlek, form och djup för att det ska klassas som slaghål.



Figur 14 Exempel på detektering av slaghål med hjälp av linjelaser. Den svarta cirkeln i den vänstra bilden har tolkats som ett slaghål, vilket indikeras med cerise färg.

Generell ytskada

Nedan ges tre exempel på beräkning av måttet ”generell ytskada” vilket är tänkt att i första hand användas vid urvalet av sträckor som kräver underhållsåtgärd. Måttet specificerar inte vilken typ av ytskada som förekommer och kan därmed eventuellt vara svårt att använda för reglering i en entreprenad.

Punktlaser

Dessa tre exempel är hämtade från ett utvecklingsprojekt (Lundberg, et al., 2020) om ytskador. I det sammanvägda indexet, benämnt underhållsindex (UI), ingår mätdata för makrotextur (MPD), megatextur och lokal ojämnheter. Det slutliga värdet på UI gäller för hela den mätta sträckan i exemplen som visas i Figur 15 nedan, där tre olika sträckor med skiftande underhållsbehov, från akut till inget behov, presenteras.



Figur 15 Tre sträckor med beräknat Underhållsindex, från vänster UI 0,00 (inget behov), 3,55 (måttligt behov) och 8,79 (akut behov).

I detta fall ger den oskadade vägen längst till vänster ett UI-värde på 0,00 vilket indikerar att det inte förekommer några ytskador. Detta bekräftas också av de bilder som finns av vägen. I den mittersta och högra bilden förekommer det betydligt fler ytskador jämfört med den vänstra och skador är dessutom

av olika typ. Även de förseglade ytorna som förekommer i det mittersta exemplet kan inverka på UI-värdet, då makrotexturvariation påverkar indexet.

7.3. Sättningar

Med sättningar avses större avvikelser från den projekterade höjdprofilen. En typisk orsak till att sättningar kan uppkomma är att undergrunden och/eller överbyggnaden är alltför svag, vilket orsakar ojämnheter eller längre sammanhängande sträckor där hela vägen sjunker. Om det finns risker för sättningar på en sträckning, t.ex. på grund av avvikande undergrund, tas hänsyn till detta i projekteringsfasen. Det är med andra ord endast ett fåtal vägar som ligger i riskzonen för att sättningar ska uppkomma.

I tidigare kravställning av totalentreprenader har en kontroll av sättningar funnits med. Kontrollmetoden innebar att höjdvärdet för vägens mitt mättes in med totalstation var 20:e meter. Punkterna jämfördes därefter med projekterad höjdprofil där en viss avvikelse accepterades. Metoden var både tidskrävande och omständlig, då en omfattande trafikomledning eller motsvarande krävdes för att uppfylla säkerhetskraven för personalen på vägen.

I detta projekt testas två olika metoder för att kontrollera sättningar, båda med utgångspunkt från insamlade data med vägytemätbil:

- Simulerad lång rätskiva från längsprofil med punktlaser

7.3.1. Vägytemodell från mätning med lidar. Beskrivning av mätteknik

Metod Lång rätskena

Simuleringen baseras på längsprofilen som mäts vid vägytemätning enligt TDOK 2014:0003 (Trafikverket, 2020B) där det även specificeras hur många längsprofiler som minst ska samlas in vid varje enskild mätning. Längsprofilmätning är en beprövad metod som valideras i samband med att en leverantör godkänns av Trafikverket enligt TDOK 2014:0706 (Trafikverket, 2015B).

Metod Vägytemodell

I denna metod används insamlat laserpunktmoln i kombination med insamlade koordinater för att skapa en modell av vägytan i tre dimensioner. Metoden kräver att koordinater kan bestämmas med hög noggrannhet för att koordinatsätta punktmolnet i plan och höjd. I första hand används en tröghetsplattform, även kallad IMU (Inertial Measurement Unit), monterad på mätfordonet. Tröghetsplattformen tar emot GNSS-signaler (Global Navigation Satellite System) och korrigerar dessa till en hög noggrannhet, oftast med hjälp av de fasta basstationer som Lantmäteriet tillhandahåller. I detta moment används också övrig information från tröghetsplattformen såsom bilens lutningar och rörelser i alla tre dimensioner. Kvaliteten på positioneringen av framräknat punktmoln är starkt beroende av såväl en noggrann kalibrering som GNSS-förutsättningar vid mättillfälle. För att minska mätosäkerheten i framtaget punktmoln rekommenderas att sträckan körs flera gånger så att överlappande data kan användas för att skapa ett utjämnat sammanhängande punktmoln med lägre mätosäkerhet än vad en individuell skanning skulle ge.

Det slutliga resultatet blir en 3D-modell av vägytan med den läges- och höjdinformation som krävs för att kontrollera sättningar.

Normalt behövs ingen ytterligare mätning men för att ytterligare öka säkerheten i mätningen kan modellen förankras mot så kallade markstöd, vilket är fasta inmätta punkter utspridda längs vägen. Behovet av detta beror på GNSS-täckning vid mättillfället och vägens geometri.

7.3.2. Beskrivning av beräkning av sättningar

Metod Lång rätskena

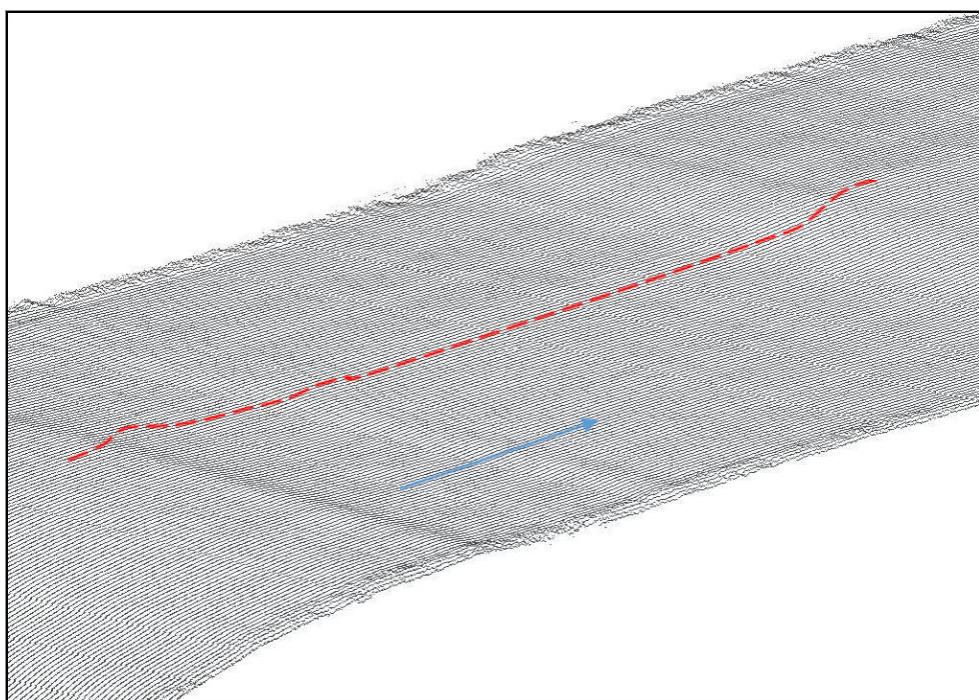
I ett första steg filtreras den insamlade längsprofilen så att den innehåller våglängder upp till 100 meter. Längsprofilen samlas in per 100 mm, vilket blir ett naturligt lågpasfilter på 200 mm. Längsprofilen utgör indata till en simulering av en rätskena som ”läggs” på profilen. Rättskenans längd sätts till 10, 50 och 100 meter och maximalt avstånd från skenans underkant till längsprofilen bestäms. Rättskenan flyttas fram en decimeter i taget längs vägen och det maximala rättskenevärdet anges per sektion, t.ex. 20 m. För att avgöra om det är en sättning kan samma rättskeneberäkning utföras med den projekterade höjdprofilen som indata³. Genom att jämföra resultatet av rättskeneberäkningarna mellan mätningen och projekterade data kan sättningar identifieras.

Metod Vägytemodell

Projekterad vägytemodell används som referens vid jämförelse med framtida insamlade data. Från insamlat punktmoln klassificeras punkter som representerar vägytan. Höjddifferens mot projekterad modell beräknas för varje laserpunkt på vägytan.

För att reducera eventuellt brus i data beräknas medelvärde av höjddifferenser för laserpunkter i en bestämd rutindelning, t.ex. 0,5 meters rutor. Resultatet blir en differensmodell över hela vägytan där det även är möjligt att beräkna sammanhängande ytor med värden över en satt toleransnivå.

I Figur 16 visas ett exempel på en vägytemodell där de längsgående sättningarna har förstärkts med hjälp av en röd streckad linje. Ytan mellan linjens vänstra och högra del är lägre än omgivande delar. För att avgöra om detta är en sättning måste vägavsnittet jämföras med den projekterade höjden. Avvikelser från den projekterade höjden kan bestämmas i en eller flera linjer.



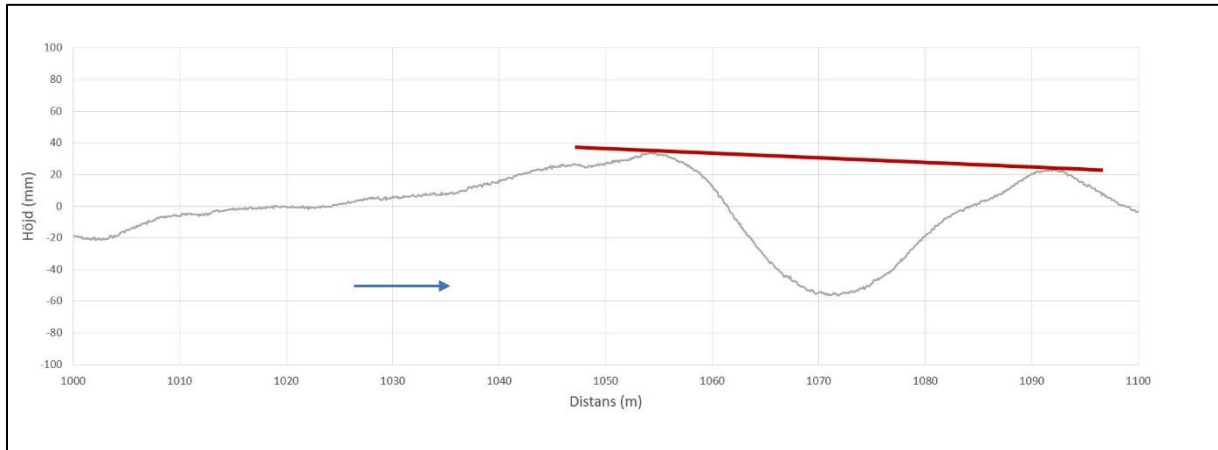
Figur 16 Exempel på vägytemodell. Röd linje är till stöd för att visualisera sättningarna. Blå pil visar körriktningen.

³ En lång rätskena kan indikera sättning på mindre vägar med skarpa krön eller naturliga svackor.

7.3.3. Exempel på sättningmätningar

Metod Lång rätskena

Metoden Lång rätskena använder en eller flera längsprofiler, se Figur 17. I detta exempel visas en relativt kraftig sättning som även ger utslag på längsgående ojämnhet (IRI). I exemplet har en 50 m lång rätskena lagts på profilen och därmed kan avståndet från rätskenan till vägytan bestämmas.

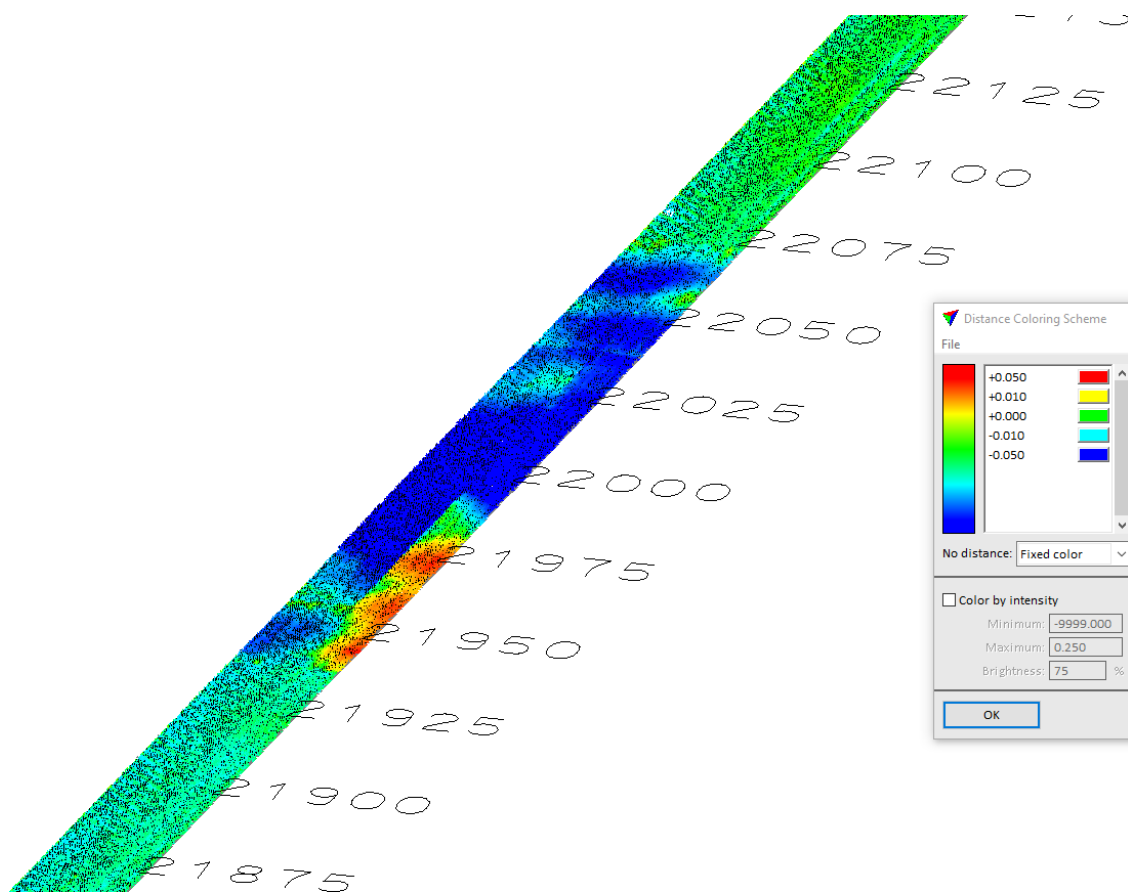


Figur 17 Exempel på längsprofil med simulerad 50 meter rätskena (röd). Blå pil visar korrigeringsriktningen.

I Figur 17 faller längsprofilen ca 80 mm över en sträcka på 20 m för att sedan återgå till normalhöjden över nästa 20 m.

Metod Vägytemodell

I exemplet nedan (se Figur 18) har data från 2022 använts som referensmodell till data från 2024. I differensbilden (se Figur 18) ses en sättning i blåa nyanser. I bilderna från PMSv4 (se Figur 19) ser man att det har skett ett försök att reducera sättningen med en lagning.

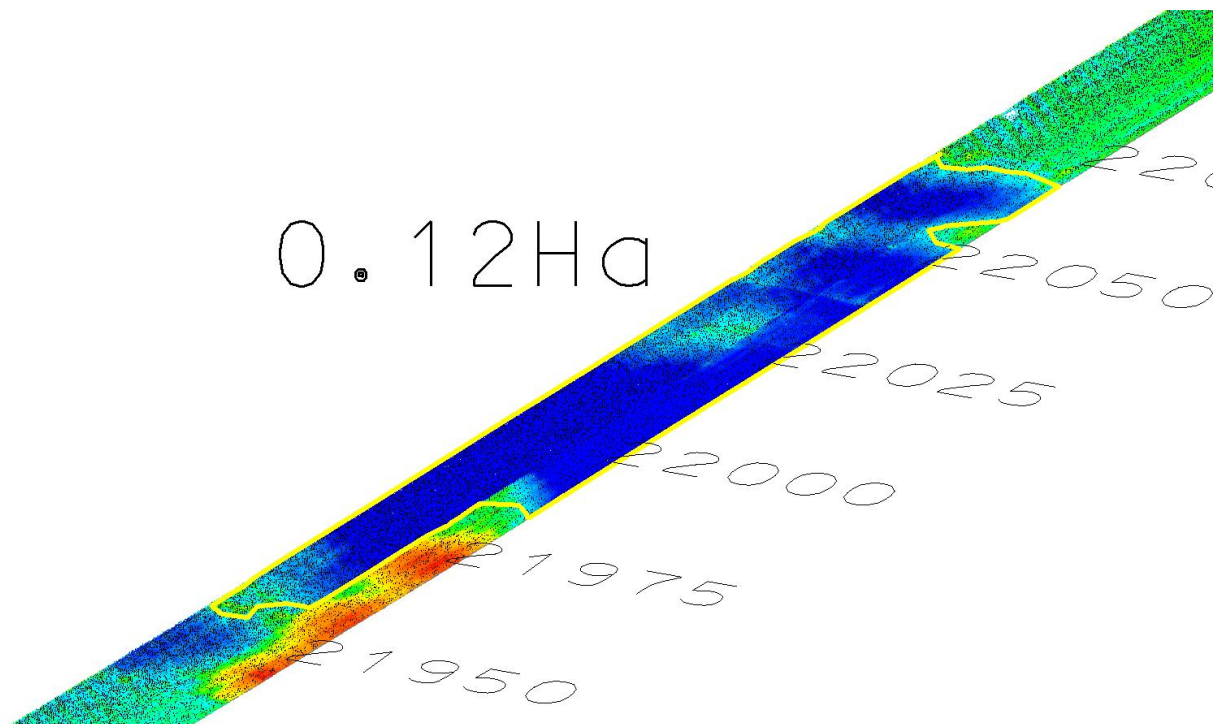


Figur 18 Differens av vägmodeller 2024 och 2022. Färgskalan visar differenser, rött innebär positiv differens i fallande skala till blått för negativ differens (sättning).



Figur 19 Bilder från mätning 2024 (till vänster) och 2022 (till höger). Vägen har lagats (mörkt parti) vid mätningen 2024. Källa: Trafikverket, PMSv4.

Storleken på ytan där differensen är större än 2 cm har använts som toleransmått för exemplet i Figur 20, se det gulmarkerade området (Figur 20).



Figur 20 Differens av två vägmodeller där sättningsområdet ≥ 2 cm är inringat med gul linje.

7.4. Vattenavrinning

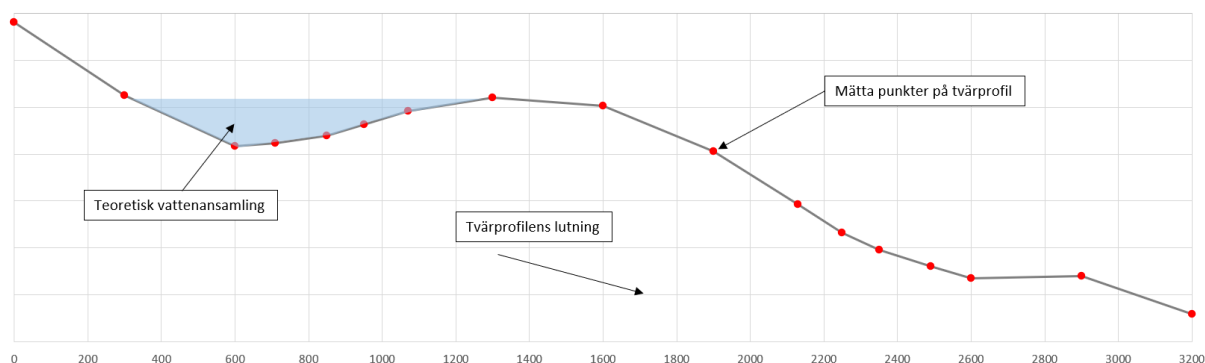
Kontrollmetoder som testar egenskaper som påverkar vattenavrinning finns redan i nuvarande regelverk. Dels görs en kontroll av tvärfallsavvikelse, där vägens tvärfall jämförs mot projekterat tvärfall, dels kontrolleras så kallad resulterande lutning, vilken är en kombination av längsgående och tvärgående lutning. Precis som i fallet med sättningar är detta egenskaper som behandlas redan i vägens projekteringsstadium. Kontrollmetoderna för tvärfallsavvikelse och snedlutning är dock mindre bra beskrivna och det finns ett behov av att förtydliga beräkningsgången för båda dessa egenskaper. Egenskaperna testas dessutom endast vid slutbesiktningen vilket gör att det spårdjup som uppstår under garantitiden inte tas hänsyn till i bruksskedet. Ett stort spårdjup på ett vägavsnitt där både längsgående och tvärgående lutning är låg riskerar att få en ansamling av vatten. Som tillägg till dessa tidigare metoder redovisas även vattenarea från punktlasermätningar (vägytemätning) och simulerade vattenflöden beräknade från lidarns vägytemodell.

7.4.1. Beskrivning av mätteknik

För att kunna bestämma vattenavrinning krävs information om vägens tvärgående och längsgående lutning samt dess ojämnheter. Nu finns också mätteknik som möjliggör insamling av breda tvärprofiler, upp till 6,5 meter. En analys av dem möjliggör upptäckt av uppväxande grässvålar längs vägen, som förhindrar att vattnet kan lämna vägbanan ner mot diket.

Metod punktlaser

Både tvärgående och längsgående lutning mäts med hjälp av en tröghetsplattform som registrerar bilens lutning mot horisonten i tvär- och längsled. Då den tvärgående lutningen adderas till de insamlade tvärprofilerna från bilens lasrar fås en tvärprofil som har en korrekt lutning. Till dessa profiler kan den längsgående lutningen adderas. I nuvarande metodbeskrivning specificeras tvärprofilens mätbredd till 3,2 meter. I Figur 21 visas en lutad tvärprofil där även en teoretisk vattenansamling i hjulspåren illustreras. Vid låg längsgående lutning eller vid kraftigt regn finns det risk för vattenansamling i det vänstra hjulspåret vid den sektionen. Tvärprofilerna medelvärdesbildas normalt över 1 meter i längsled, baserat på insamling varje decimeter.



Figur 21 Exempel på vattenansamling i vänster hjulspår. X-axeln visar avståndet i mm tvärs vägens riktning.

De lutade tvärprofilerna beskrivna ovan är inte georefererade, vilket innebär att de inte är bestämda med plankoordinater och absoluta höjder. För att bestämma vattenavrinningen är detta inte nödvändigt eftersom det endast är vägytans lutning som är av intresse.

Metod lidar

I exemplet med den georefererade vägytan används ett punktmoln, samma typ av data som finns beskriven i kapitlet om sättningar (7.3.1). Punktmolnet skapas med hjälp av Lidar som är efterkorrigerat med hjälp av insamlade koordinater och bilens tröghetsnavigeringssystem. Ett punktmoln har rätt geometri rörande både väg och omgivande terräng, vilket innebär att det går att detektera ansamlingar av vatten eller vattenvägar längs vägen från punktmolnet.

7.4.2. Beskrivning av beräkningar

Tvärfallsavvikelse

Beräkningen baseras på den befintliga metodbeskrivningen för bestämning av tvärfall med rätskena (Trafikverket, 2014). I denna mäts den tvärgående lutningen med en rätskena i ett antal sektioner längs sträckan varpå det uppmätta tvärfallet jämförs med det projekterade i samma sektion. För att förtydliga beräkningsgången och anpassa metodiken till tvärfallsmätning med mätbil gjordes det, för ett antal år sedan, ett utkast till en ny metodbeskrivning som är tillämpbar för mätning med mätbil.

Beräkningsmetodiken i detta utkast kan beskrivas enligt följande:

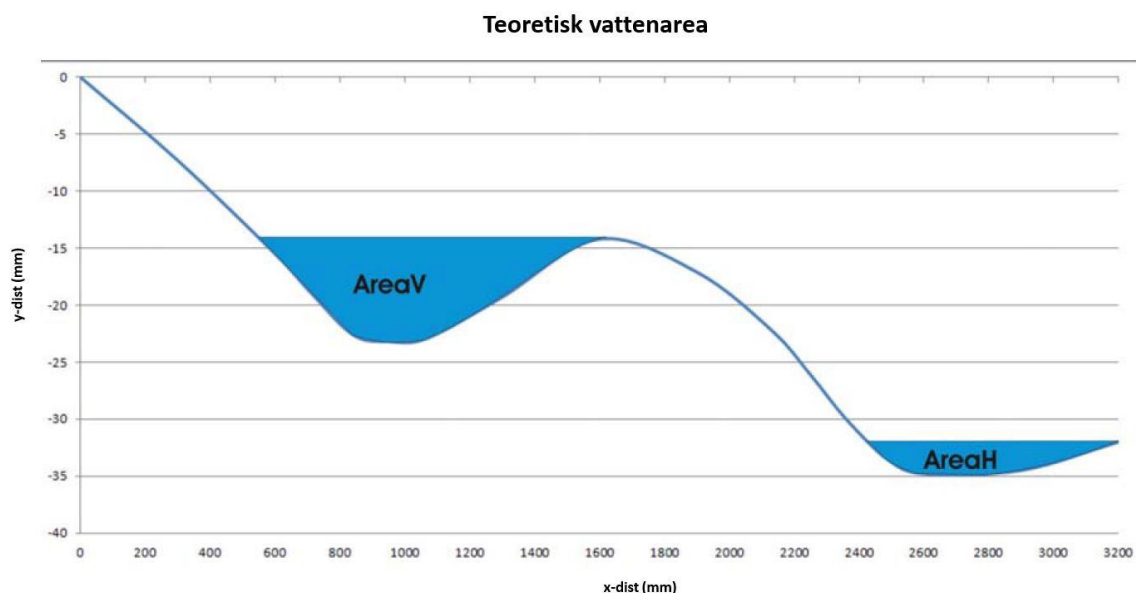
1. Uppmätt tvärfall medelvärdesbildas över en meter för varje körfält som ingår i projektet.
2. Enmetersvärdena synkroniseras med projekterat tvärfall i längsled så att mätt längd och startsektion överensstämmer.
3. Både uppmätt och projekterat tvärfall medelvärdesbildas över 20 meter.
4. Avvikelsen mellan projekterat tvärfall och uppmätt tvärfall bestäms för varje 20 meterssträcka. Om uppmätt tvärfall är högre (större lutning) än projekterat tvärfall, till exempel då projekterat tvärfall är -2,5 procent medan uppmätt är -3,0 procent, ges den beräknade avvikelsen ett positivt tecken (+). Är uppmätt tvärfall lägre än projekterat ges avvikelsen ett negativt tecken (-).
5. De beräknade avvikelserna medelvärdesbildas över 400 meter och standardavvikelsen av 20-metersvärdena över samma sträcka bestäms.
6. 400 metersvärdena jämförs med kravgränser i form av tvärfallsavvikelse och standardavvikelse.

Snedlutning

Beräkningen kombinerar värdena för tvärfall (a) och längsgående lutning (b). Resultanten beräknas som $\sqrt{(a^2 + b^2)}$. En sträcka med -2,5 procent tvärfall och 1,0 procent längsgående lutning ger således en resulterande snedlutning på 2,69 procent. I beräkningen används uppmätt tvärfall och längsgående lutning (backighet). I samband med mätningen bör noggrannheten i framför allt den längsgående lutningen verifieras då den, beroende på mätsystem, kan avvika från verkligt värde. Kravet på mätutrustningen som mäter längsgående lutning är $\pm 0,5$ procentenheter (2 standardavvikelser) (Trafikverket, 2020B), men bör vara noggrannare än så för att säkerställa att tillförlitliga och korrekta värden beräknas. Indata till beräkningen är medelvärdesbildad data per 1 meter.

Vattenarea

Beräkningen baseras på VTI-rapport 718 (Sjögren & Lundberg, 2011) och beskriver den teoretiska vattenarea som kan ansamlas i en tvärsektion. I beräkningen används den 3,20 meter breda tvärprofilen tillsammans med ytlinjetvärfallet för att bestämma hur mycket vatten som kan ansamlas i hjulspåren utan hänsyn till den längsgående lutningen. Den teoretiska arean beräknas per dm som tvärsnittsarean i respektive hjulspår som därefter summeras och medelvärdesbildas över 20 meter, se Figur 22.

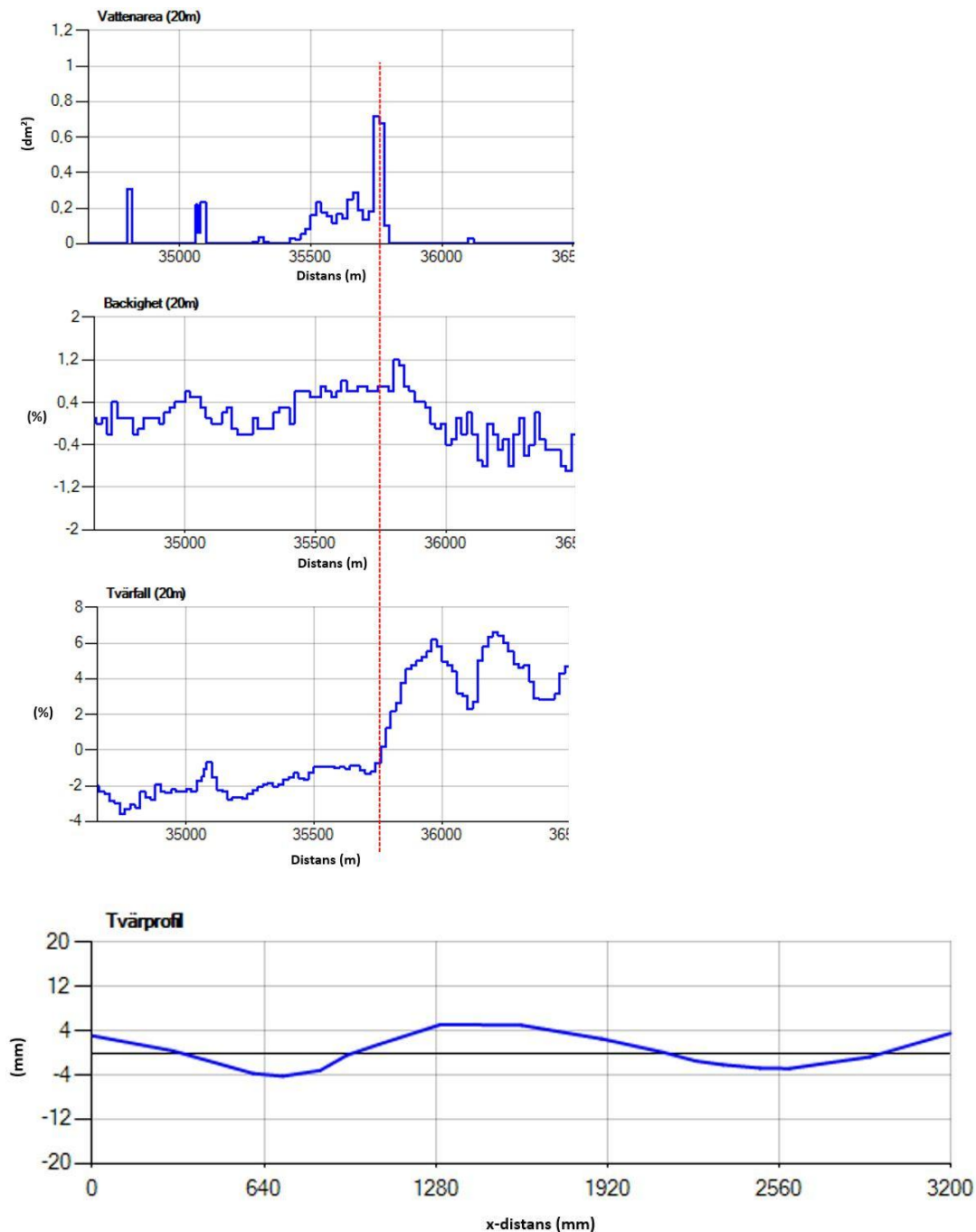


Figur 22 Teoretisk vattenarea. Y-axel i mm visar vägytans höjd och X-axel i mm visar vägens tvärprofil. Källa: VTI rapport 718.

7.4.3. Exempel

Metod vägytemätning

Nedanstående exempel (se Figur 23) är hämtat från en sträcka där längsgående och tvärgående lutning är relativt låga och där spårjupet är ca 9 mm. Spårjupets nivå föranleder inte en åtgärd, men däremot finns det risk för stillastående vatten (risk för vattenplaning). Den översta grafen visar den beräknade vattenarean, i detta fall utan att ta hänsyn till den längsgående lutningen. Den mellersta grafen visar längsgående lutning (backighet) och den nedersta grafen visar tvärgående lutning (tvärfall). Till höger visas tvärprofilen i sektionen som markeras av den röda streckade linjen. Observera att tvärprofilen inte innehåller information om den tvärgående lutningen.

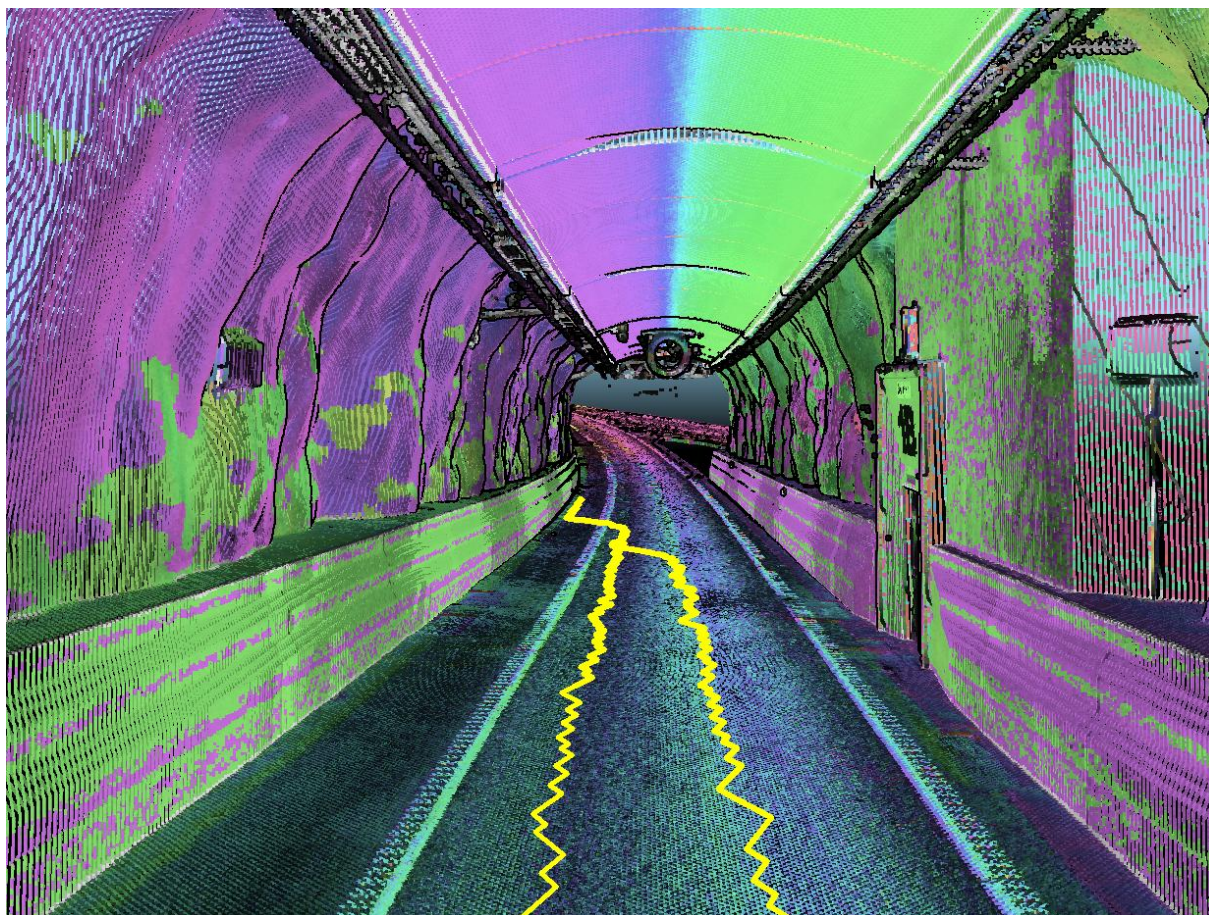


Figur 23 Exempel på beräkning av vattenarea tillsammans med värden för längs- och tvärgående lutning samt tvårprofil.

Den beräknade vattenarean blir i detta fall ca $0,2 \text{ dm}^2$ där den tvärgående lutningen är ca -1 procent. Vid övergången till positivt tvärfall ökar vattenarean till ca $0,7 \text{ dm}^2$ där den tvärgående lutningen är 0 procent. Spårjupet, eller närmare bestämt tvårprofilens form, avgör hur mycket av vattnet som stannar kvar på ytan vid en given tvärgående lutning resulterande i den slutliga vattenarean. I beräkningen ingår inte den längsgående lutningen som i detta exempel är ca 0,7 procent i området med högre vattenarea. Det vatten som ansamlas i hjulspåren kommer att rinna längs vägen och så småningom ut i diket i ett område där den tvärgående lutningen är tillräckligt hög. Vid kraftigt regn kommer dock hjulspåren att vara fyllda med vatten, även då den längsgående lutningen är tillräckligt hög. Om den längsgående lutningen hade varit nära 0 procent hade vattnet funnits kvar även efter att det slutat regna.

Metod vägytemodell

En noggrann vägytemodell i tre dimensioner byggs upp från insamlad punktmoln. Därefter simuleras nederbörd för att visuellt se vilken väg vattnet tar. Simuleringen tar hänsyn till både längsgående och tvärgående lutning i modellen. Vid simulering är det möjligt att se om vattnet rör sig längre sträckor på vägytan eller om det finns lokala lågpunkter på vägytan där vattenansamlingar kan uppstå. I exemplet nedan (Figur 24), är det möjligt att se att vattnet rör sig efter vägen en längre sträcka innan det rör sig ut till sidan av vägen. Exemplet är taget från en tunnel där spårbildning och otillräckligt tvärfall håller kvar vattnet på vägytan. Hjulspåren är synliga i punktmolnet, som färgats i en kombination av intensitetsvärden och normalvektorer för varje punkt. Beräkningar från punktmolnet kan göras för att kvantifiera vattenvolymen, t.ex. för en 20-meterssektion.



Figur 24 Visualisering av ett punktmoln med rinnande vatten (gul färg).

7.5. Lokala ojämnheter

Med lokal ojämnheter avses en ojämnheter med en kort utbredning i längsled. Exempel på detta är broskarvar, slaghål, blockuppfrysningar och tvärgående beläggningsskarvar. I vissa entreprenader ställs det krav på att lokala ojämnheter inte får vara större än 6 mm mätt med en 3 meter lång rätskena, dock anges det inte i vilken omfattning mätningen ska utföras och inte heller vilken definierad metod som ska följas. Det finns etablerade metoder att beräkna lokala ojämnheter med hjälp av data från mätbil.

Bestämning av lokal ojämnheter baseras på mätning med punktlaser och omfattar två mått: Metod rätskena och Metod lokal ojämnheter (LO).

7.5.1. Beskrivning av mätteknik

Båda metoderna använder vägens längsprofil som samlas in kontinuerligt längs sträckan. Det är ett krav att mäta längsgående ojämnheter vid kontroll av entreprenader, vilket innebär att indata till metoden samlas in vid en normal objektmätning. Längsprofilens upplösning och noggrannhet finns specificerade i TDOK 2014:0003 (Trafikverket, 2020B) där det också finns angivet hur många längsprofiler som minst ska samlas in vid varje enskild mätning.

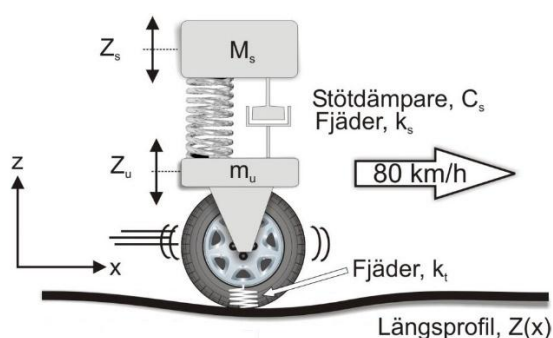
7.5.2. Beskrivning av beräkning

Metod Rättskena

Beräkningen utgår från den insamlade längsprofilen. Längsprofilen innehåller information om våglängder upp till 100 meter. En modell av en simulerad rättskena med en specificerad längd läggs på längsprofilen varpå det maximala avståndet mellan rättskenans underkant och längsprofilen bestäms. Längden på rättskenan avgör vilka våglängder som längsprofilen måste innehålla för att ett tillförlitligt resultat ska uppnås. En rekommendation är att använda en ofiltrerad längsprofil eller en längsprofil som innehåller våglängder upp till 100 m. Den digitala rättskenan flyttas därefter framåt en decimeter och beräkningen upprepas, på samma sätt fortsätter man till slutet av längsprofilen. Det största värdet som återfinns inom en specificerad längd redovisas (ofta 20 m). Metoden kan appliceras på en eller flera parallella längsprofiler, då används resultatet från varje längsprofil separat.

Metod Lokal ojämnhet (LO)

Även denna beräkning utgår från den insamlade längsprofilen men baseras på kvartsbilmodellen⁴ som används för beräkning av IRI. Ur kvartsbilmodellen, se Figur 25, beräknas accelerationerna i chassi (M_s) och hjul (m_u), vilka representerar de krafter som uppstår i respektive del i kvartsbilmodellen då den färdas på längsprofilen. För att återspegla att accelerationerna blir olika då hastigheten varierar beräknas värdena med vägens skyltade hastighet som indata (maximalt 80 km/h för tung trafik). I beräkningen används längsprofilerna i både vänster och höger hjulspår som vägbeskrivning. Slutligen används olika konstanter för personbilar och tunga fordon i modellen, i praktiken olika massor och olika styvhet på fjädring och dämpare. Resultatet blir således fyra olika värden (LO_{chassiPB} , LO_{hjulPB} , LO_{chassiLB} , LO_{hjulLB} , PB-personbil, LB-lastbil) där varje värde representerar det högsta värdet inom en 20 meterssträcka från simuleringen av längsprofilen med upplösningen 0,1 meter. Beräkningen beskrivs i (Trafikverket, 2020B; Lundberg, et al., 2015).



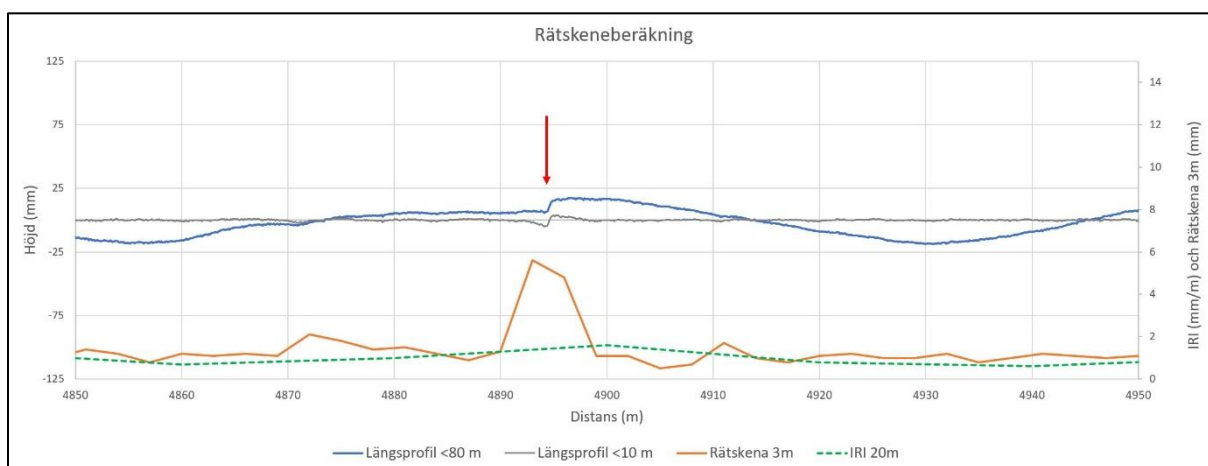
Figur 25 Kvartsbilmodellen. Källa: TDOK 2014:0003.

⁴ Kvartsbilmodell – en modell av en kvarts bil med parametrar för däck, fjädring och dämpare samt massor (fjädrad och ofjädrad). Modellen ”körs” på längsprofilen och genererar rörelser för fjädrad och ofjädrad massa.

7.5.3. Exempel

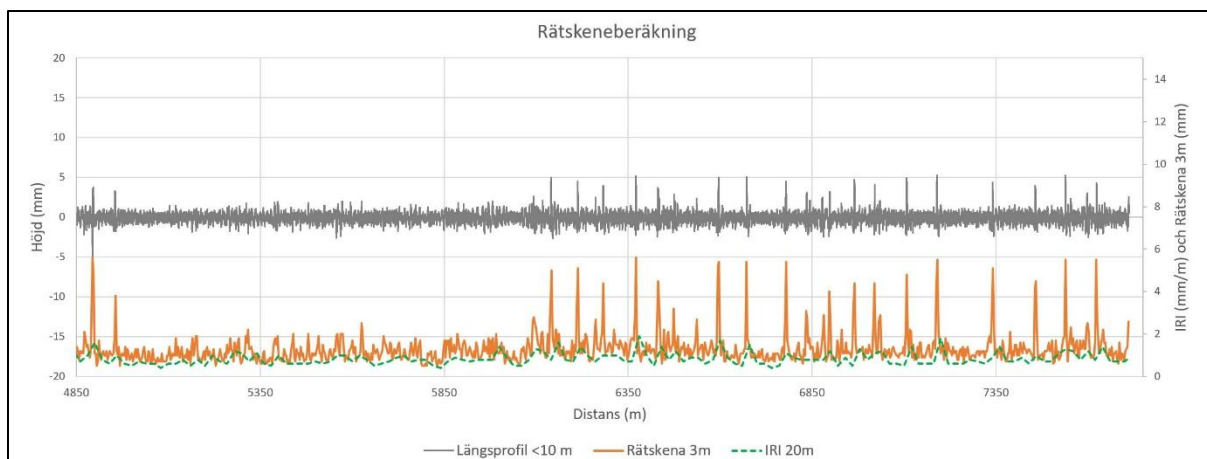
Rätskena

I detta exempel visas rätskenevärden och längsprofil beräknade för en underhållsbeläggning där tvärgående skarvar ger en okomfortabel upplevelse. I Figur 26 visas längsprofilen för ett 100 meter långt avsnitt av objektet. Vid den röda pilen finns en beläggningsskarv, som syns tydligt som ett hack i längsprofilen. De beräknade rätskenevärdena visas som en orange linje i figuren och värdet ökar där skarven är belägen. Längsprofilen visas som blå och grå linjer där våglängder över 10 meter har filterats bort för den grå linjen, motsvarande filtergräns för den blå är 80 meter. Den gröna streckade linjen visar IRI-värden som är medelvärdesbildade över 20 meter. Skarven ger inte någon nämnbar inverkan på IRI-värdet, som jämnas ut på grund av att värdet medelvärdesbildas över en längre sträcka. Figur 26 illustrerar hur den lokala ojämnheten fångas av rätskenan.



Figur 26 Längsprofil (blå och grå), rätskenevärden (orange) och IRI-värden (grön streckad) för en sträcka med en beläggningsskarv.

I Figur 27 visas ett utsnitt från en längre sträcka av objektet, i detta fall 2 900 meter. Längsprofilen är filterad så att endast våglängder <10 meter finns med och redovisas som en grå linje. Rättskene- och IRI-värden redovisas, som i förra figuren med grön streckad linje respektive orange heldragen linje. Spikarna som syns i längsprofilen på andra halvan av avsnittet har uppkommit på grund av tvärgående skarvar. Skarvarna har troligtvis uppkommit då lastbilen med asfaltmassa stött emot läggaren, som då kommer i rörelse och ger ett veck i beläggningen. Vecken ger förhöjda rätskenevärden och syns även i IRI-värdena. Precis som i förra exemplet slätas de dock ut på grund av det längre intervallet som IRI medelvärdesbildas över.

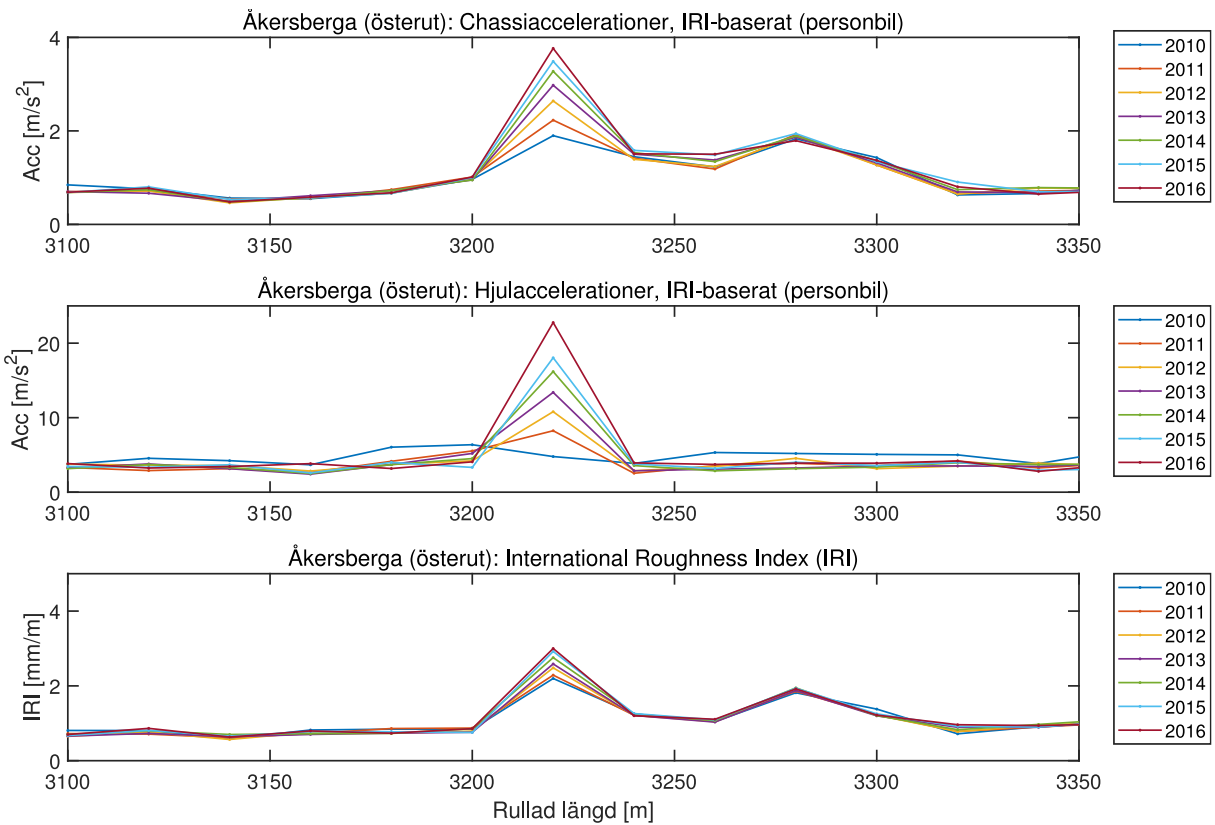


Figur 27 Längsprofil (grå), rättskenevärden (orange) och IRI-värden (grön streckad) för en längre sträcka där tvärgående ”veck” förekommer på andra halvan av sträckan.

Exemplet illustrerar att den simulerade rättskenan kan användas för att detektera lokala ojämnheter utifrån insamlad längsprofil från mätbil.

Lokal ojämnhet (LO)

Den stora skillnaden med att använda LO-måttet mot IRI är att maxvärdet av LO registreras vid beräkningen medan IRI-värdet normalt medelvärdesbildas över 20 eller 100 meter samt att 80 km/h används som modellens hastighet medan skyltad hastighet används för LO. En ojämnhet med kort utbredning i längsled ger normalt ett väldigt stort utslag och kan därmed enklare detekteras med LO-måttet. Nedan följer ett exempel där LO_{chassiPB} samt LO_{hjulPB} identifierar en ojämnhet, se Figur 28. Identifieringen sker även med IRI-måttet. LO för chassit och IRI får en likvärdig höjning av nivån vid ojämnheten (ca 3–4 ggr högre) relativt värdet innan ojämnheten medan LO för hjulet höjs ca 5–8 gånger. Exemplet är hämtat från en mätserie över sju år, 2010 till 2016. I detta fall ser vi också en tydlig årlig trend att vägen försämras.



Figur 28 Ett exempel hur måtten LO för chassi och hjul samt IRI detekterar en ojämnhet med relativt kort utbredning i längsled.

8. Repeterbarhet och validitet för föreslagna mått

I syfte att avgöra måttens tillförlitlighet har en sammanställning av upprepade mätningar gjorts. När ett krav ska ställas på ett mått bör spridningen beaktas, till exempel genom att öka toleransen eller kravnivån om måttet har en stor standardavvikelse relativt mätvärdets storlek. Kravgränsen tar därmed hänsyn till mätmetodens mätosäkerhet.

Vid analysen av repeterbarhet och validitet har följande datakällor använts:

1. En datakälla är de tekniska testerna som utförs i samband med att VTI kontrollerar leverantörer av vägmättjänsten åt Trafikverket och det finska Trafikverket (Lundberg, 2019). Vid dessa mätningar utförs 15 eller 10 repetitioner på sträckor som är 1 200 meter långa, jämnt fördelat på tre hastigheter, 30 km/h, 50 km/h och 70 km/h. Data samlas in per 20 meter på fem sträckor.
2. En andra datakälla till detta kapitel är det svenska LTPP-programmet (Göransson, 2018). För sprickmätning kommer data från en subjektiv okulärbesiktning då varje spricka längs vägen inventeras och ritas in på en skiss. LCMS-systemet används också som källa för sprickdata i projektet.
3. En tredje datakälla är upprepade mätningar från dedikerade mätningar, inom projektet, av utvalda objekt med förekomst av den egenskap som undersöks. Dessa mätningar utfördes med minst två överfarter för att kontrollera repeterbarheten. Vissa sträckor mättes även med två olika mätbilar av samma sort för att kunna studera reproducerbarhet

I de fall lådagran används för att beskriva spridningen i data ska diagrammet tolkas som att varje låda anger spannet 25- till 75-percentilen. Strecket i mitten anger medianvärdet och krysset anger medelvärdet. ”Morrhårens” begränsningar anger maximal och minimal datapunkt som finns inom 1,5 gånger kvartilavståndet (lådans längd) från lådans kanter (25- och 75-percentil). Allt utanför denna gräns anses vara extremvärden och markeras med en diamant.

8.1. Sprickdetektering

Datakällor:

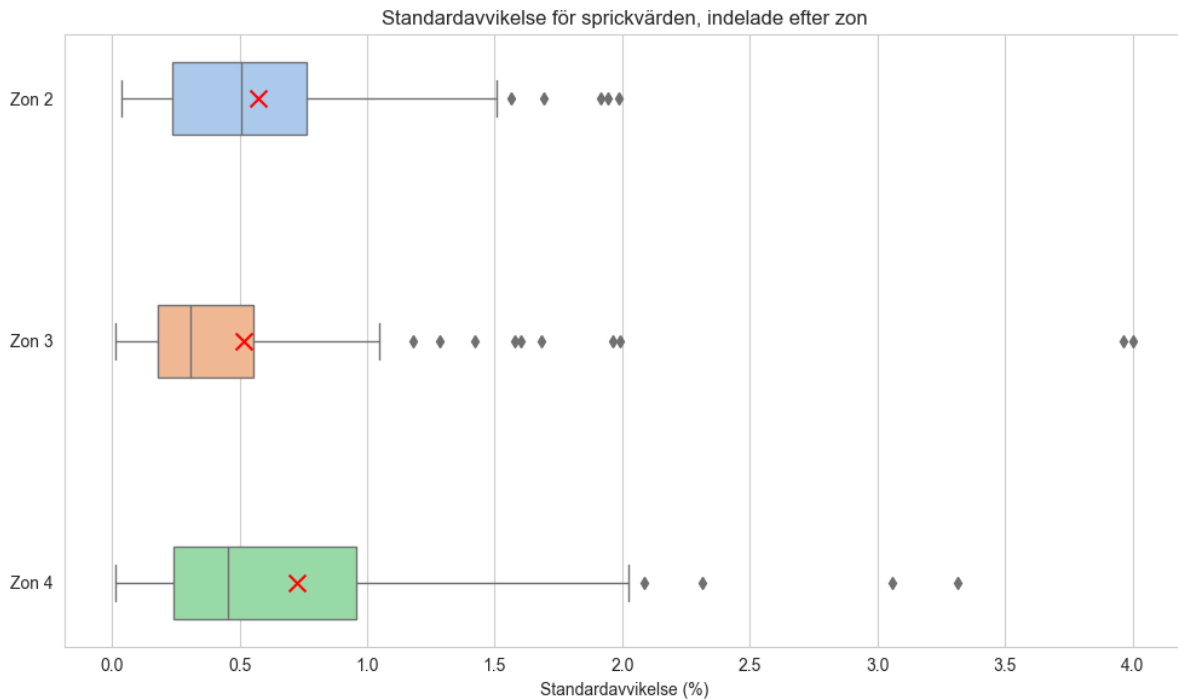
- Data från tekniska tester vid Trafikverkets kontroll av leverantörer (LCMS-systemet).
- Data från svenska LTPP-programmet (Göransson, 2018). Data kommer från en subjektiv okulärbesiktning då varje spricka längs vägen inventeras och ritas in på en skiss. Samma sträcka har mätts med LCMS-systemet i syfte att detektera sprickor.
- Upprepade mätningar med LCMS-systemet.

8.1.1. Repeterbarhet, mätdata från tekniska tester

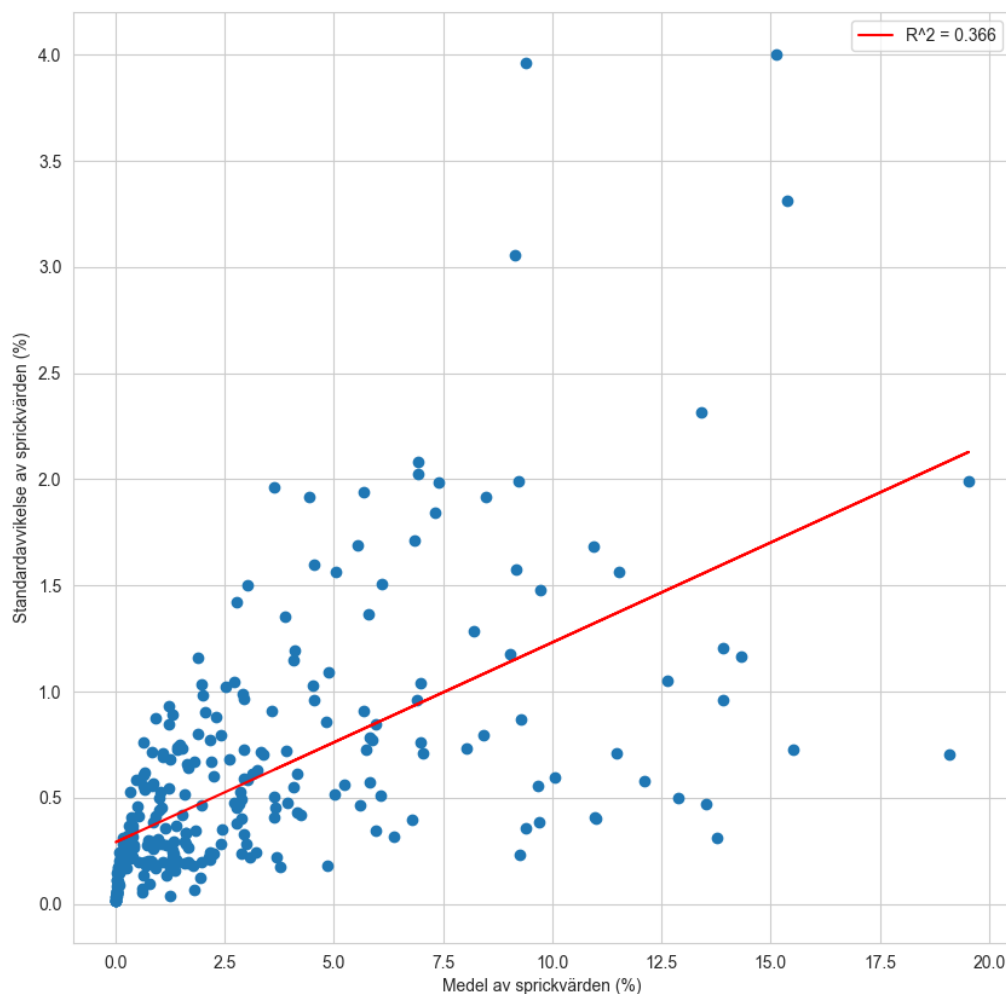
För beräkning av repeterbarhet för sprickdetektering användes data enligt punkt 1 i kapitel 8. Samtliga mätningar utfördes av en leverantör till Trafikverket.

För de 15 repetitionerna per sträcka beräknas standardavvikelsen per 20 meter. I beräkningen har områden med inga sprickor uteslutits eftersom dessa alltid ger en standardavvikelse lika med noll, och därmed bidrar till ett skevt resultat. Dessa områden har identifierats genom att samtliga 15 repetitioner anger noll procent sprickor. Med denna metod har 15 procent av värdena uteslutits. Fördelningen av standardavvikelserna visas i Figur 29. Zon 2–4 har valts ut för denna analys eftersom de motsvarar de mest intressanta delarna av vägen, höger och vänster spår samt området däremellan. Zon 2–4 är dessutom de zoner Trafikverket valt att presentera i PMSv4 och som används i verksamheten. Mängden extremvärden, särskilt i zon 3 och 4, indikerar att det finns sektioner där mätnoggrannheten är sämre.

Generellt ökar standardavvikelsen på sträckor med mycket sprickor, se Figur 30. Detta är normalt för de flesta variabler som samlas in vid vägytemätning. En sektion med enstaka sprickor ger mindre utrymme för ett varierat resultat och vice versa. Det finns också flera sektioner där en större mängd sprickor fortfarande har en låg spridning. Detta indikerar att det också finns områden med många sprickor som identifieras med god mätnoggrannhet. Det finns ingen anledning att tro att standardavvikelsen generellt skiljer mellan zoner varför ingen zondelning görs i Figur 33.



Figur 29 Fördelningen av standardavvikelsen för de upprepade sprickdetekteringarna.



Figur 30 Standardavvikelsen för zon 2-4 plottat mot medelsprickvärdet. Större mängd sprickor på vägen ger också en högre risk för sämre repeterbarhet. Regressionslinjen har ett R^2 -värde på 0,37.

Givet den relativt stora spridningen i Figur 30 är det inte tydlig om repeterbarhetsstandardavvikelsen bäst skattas som konstant eller en funktion av medelvärdet. Undantar man de allra lägsta mätningarna är en preliminär skattning av repeterbarhetsstandardavvikelsen kring 1 %. Det bör dock noteras att skattningen är relativt osäker då erfarenheten från repeterade mätningar är begränsad.

8.1.2. Repeterbarhet, data från dedikerade mätningar med LCMS

I projektet finns fem objekt vilka har mätts upprepade gånger, antingen med samma mätsystem (objekt M1, M2 och H2) eller med ett annat system av samma typ (objekt E6 och H4). För dessa beräknas medelvärde, korrelation och spridning (95-percentil för differensen mellan de två mätningarna för alla enskilda 20-m sträckor). En systematisk avvikelse beräknas om olika mätsystem har använts. I utvärderingen aggregeras den uppskattade arean av sprickor till ett medelvärde per 20 meter i längsled. Som referens kan nämnas att en 20 meters sektion har en yta av 80 m² vilket innebär att 1,0 m² sprickor utgör 1,25 procent sprucken yta. I den automatiserade tolkningen av sprickor, från LCMS-systemet, som genomförts i exemplen nedan har samma inställningar för att tolka sprickor använts, vilket innebär att objektspecifika justeringar inte har gjorts. Objektspecifika inställningar kan ge ett

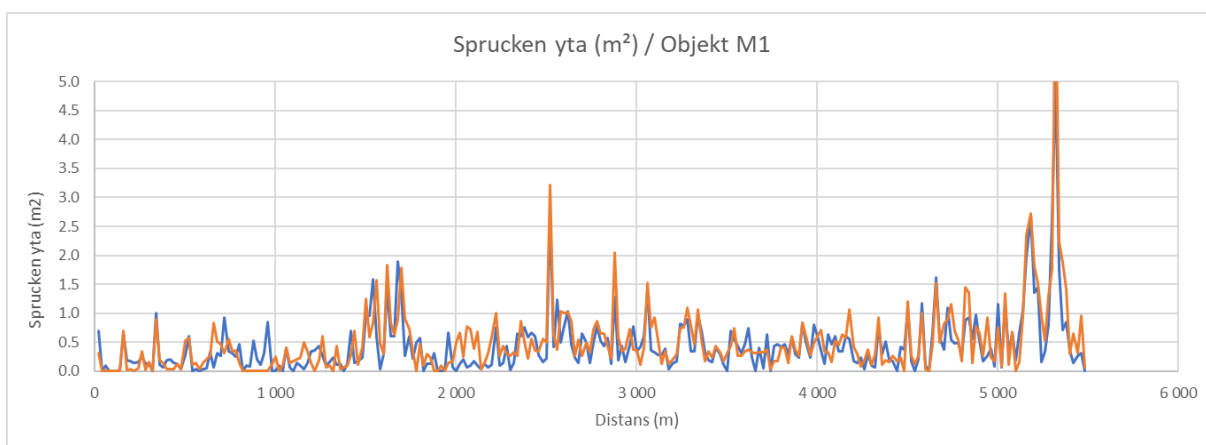
mer noggrant resultat för det specifika objektet. Oftast handlar det om att anpassa inställningarna efter belägningens textur.

Utvärdering samma mätsystem

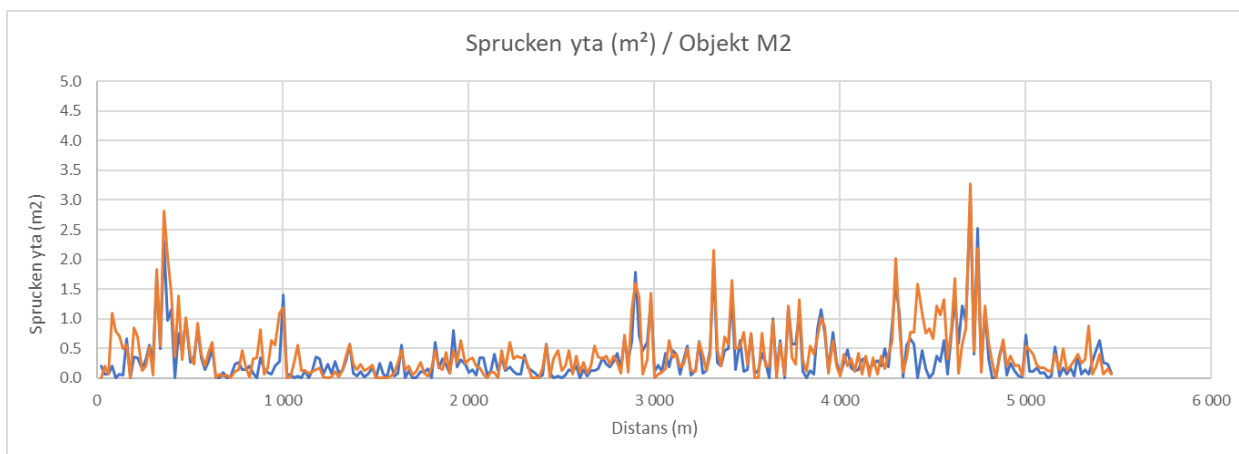
I Tabell 3 sammanfattas resultatet för två objekt vilka har mätts med samma mätsystem och vid samma tillfälle (objekt M1 och M2). Repeterbarheten för objekt M1 och M2 är relativt god, då medelvärdena är likvärdiga och korrelationen ligger mellan 0,8 och 0,9. Figur 31 till Figur 34 visar jämförelser mellan mätningar, dels som linjediagram, dels då mätningarna är plottade mot varandra.

Tabell 3 Information om och resultat av repeterbarhet för objekt M1 och M2.

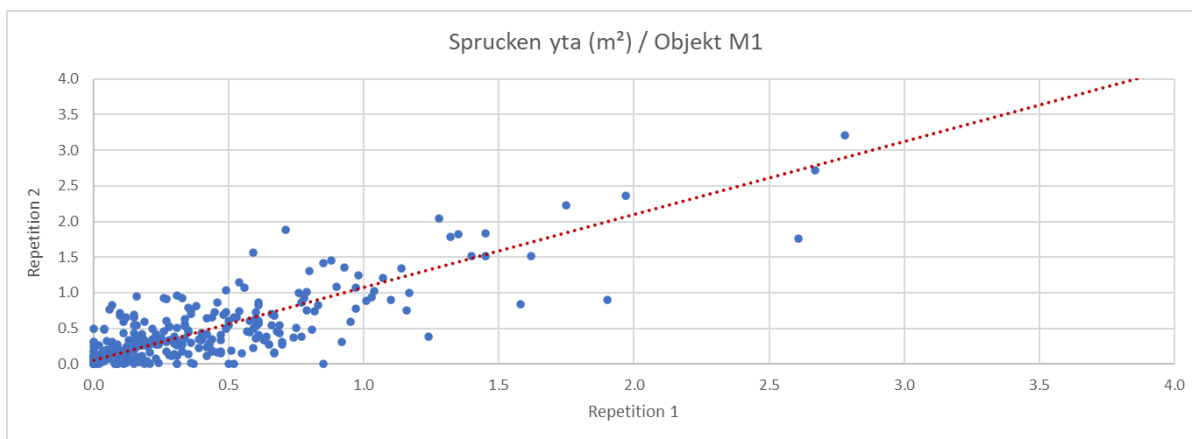
Objekt	Beläggn.- typ	Beläggn.- år	Längd (m)	Medelvärde Repetition 1 (m ²)	Medelvärde Repetition 2 (m ²)	Korrelations- koefficient	95-percentil av differens (m ²)
M1	ABT16	2008	5 480	0,4	0,5	0,86	0,65
M2	ABT16	2008	5 480	0,3	0,4	0,83	0,64



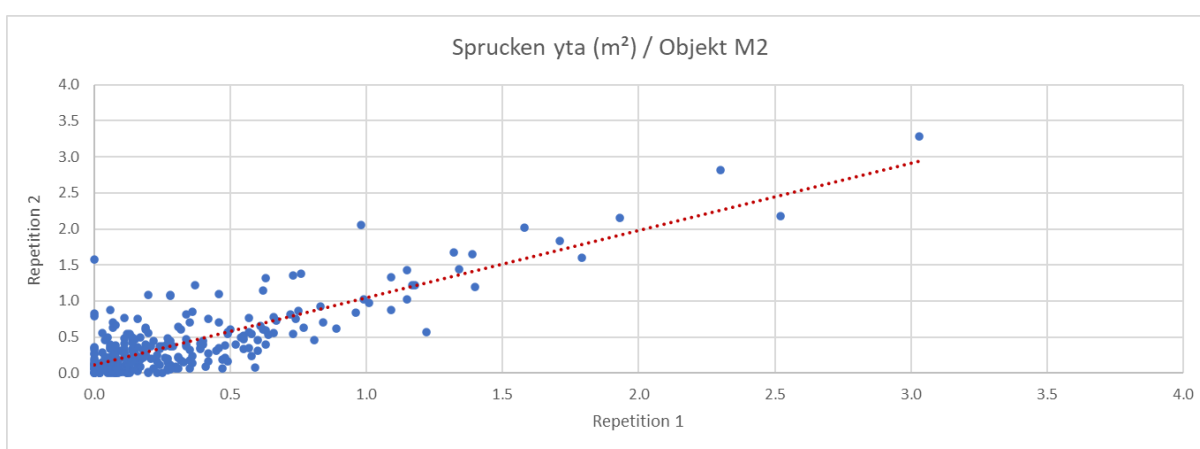
Figur 31 Area som klassats innehålla sprickor (sprucken yta) för två upprepade mätningar (orange resp. blå linje) per 20 meter, samma mätsystem, objekt M1.



Figur 32 Area som klassats innehålla sprickor (sprucken yta) för två upprepade mätningar (orange resp. blå linje) per 20 meter, samma mätsystem, objekt M2.



Figur 33 Linjär regressionsanalys för två upprepade mätningar av sprickor, samma mätsystem, objekt M1.



Figur 34 Linjär regressionsanalys för två upprepade mätningar av sprickor, samma mätsystem, objekt M2.

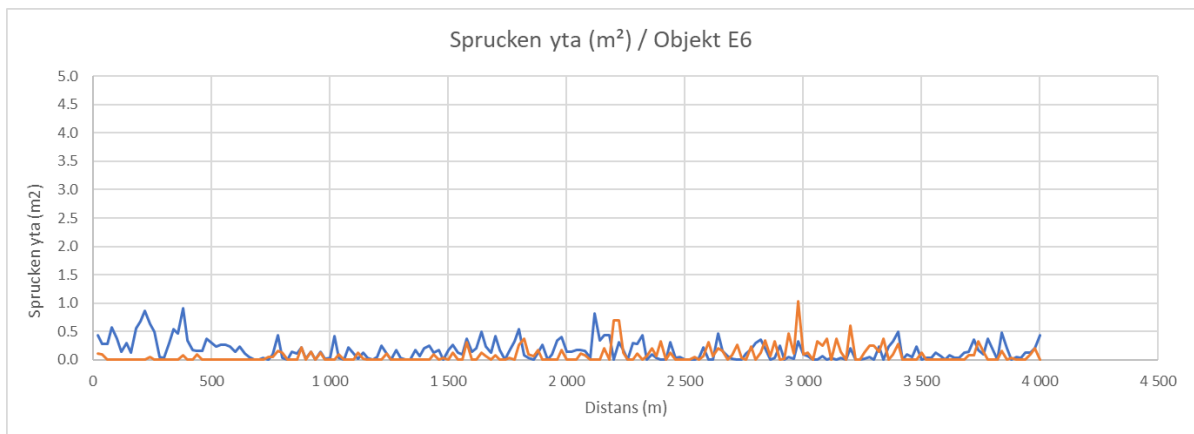
Utvärdering olika mätsystem

I Tabell 4 sammanfattas resultatet för två objekt vilka har mätts med två olika mätsystem (båda LCMS⁵) med några veckors mellanrum (E6 och H4). För objekt E6 och H4 är resultatet betydligt sämre jämfört med M1 och M2 (samma system). För objekt H4 ger mätsystem B avsevärt mer sprickor på större delen av sträckan. För objekt E6 är mängden sprickor låg men skillnaden mellan de båda mätningarna är dock betydande. Figur 35 till Figur 38 visar jämförelser mellan de två olika mätningarna, dels som linjediagram, dels då mätningarna är plottade mot varandra.

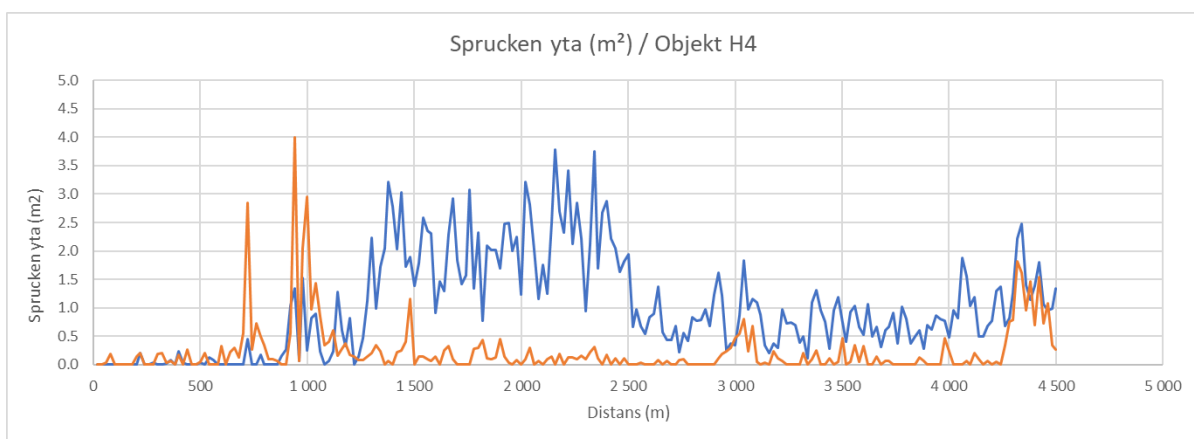
Tabell 4 Information och resultat av reproducerbarhet för objekt E6 och H4.

Objekt	Beläggn.-typ	Beläggn.-år	Längd (m)	Medelvärde Mätsystem A (m ²)	Medelvärde Mätsystem B (m ²)	Korrel.-koeff.	95-percentil av differens (m ²)	Systematisk skillnad? (m ²)
E6	ABS16	2012	4 000	0,1	0,2	0,01	0,54	-0,09
H4	ABS16	2010	4 800	0,2	1,0	0,05	2,71	-0,77

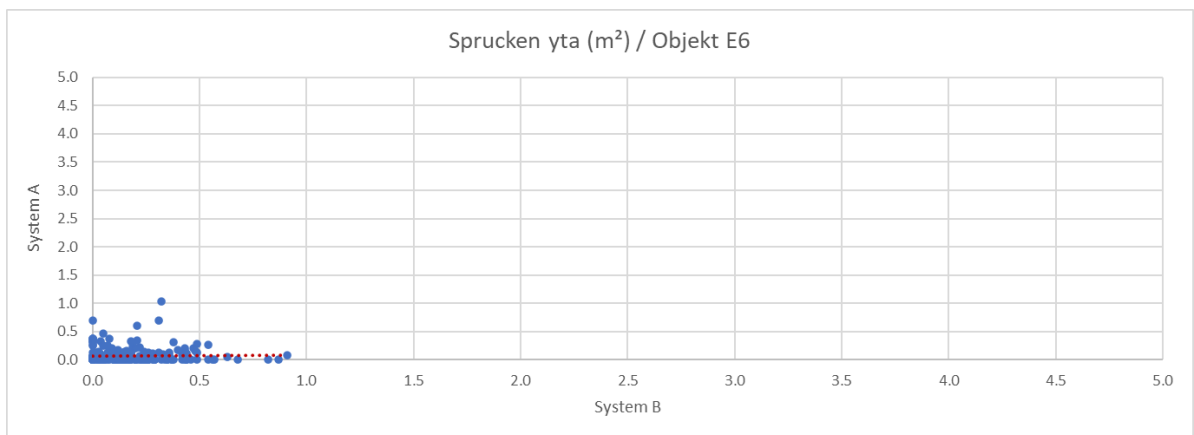
⁵ Två olika LCMS-system men av olika typ, LCMS1 och LCMS2, där LCMS2 är den version som säljs idag (2025).



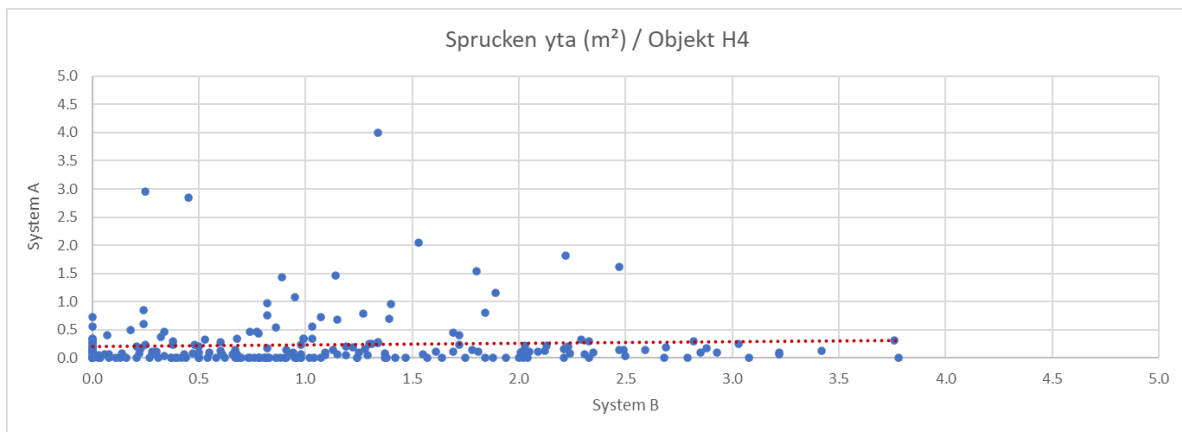
Figur 35 Area som klassats innehålla sprickor (sprucken yta) för två upprepade mätningar (orange resp. blå linje) per 20 meter, olika mätsystem, objekt E6.



Figur 36 Area som klassats innehålla sprickor (sprucken yta) för två upprepade mätningar (orange resp. blå linje) per 20 meter, olika mätsystem, objekt H4.



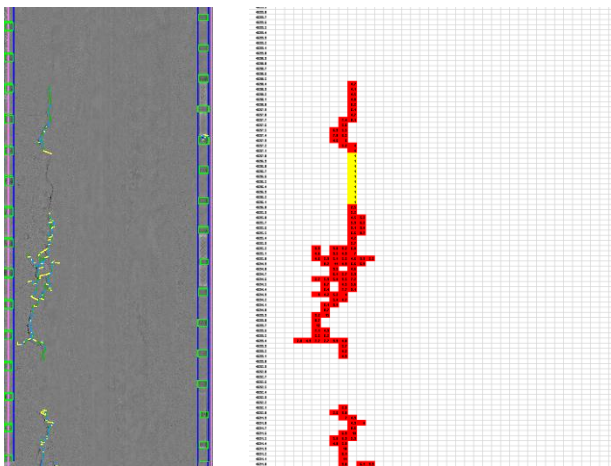
Figur 37 Linjär regressionsanalys för två upprepade mätningar av sprickor, olika mätsystem, objekt E6. Regressionslinjen är rödprickad.



Figur 38 Linjär regressionsanalys för två upprepade mätningar av sprickor, olika mätsystem, objekt H4. Regressionslinjen är rödprickad.

Manuell jämfört med automatiserad tolkning

För att utvärdera den automatiska tolkningen med manuell tolkning från samma bild⁶ (från LCMS-systemet), har ett test gjorts för objekten M2 och H2. Den manuella tolkningen görs från bilder, genom att markera de rutor där sprickor förekommer och därefter beräkna arean per 20 meter. Exempel på bilder visas till vänster i Figur 39. Röd ruta i bilden till höger innebär att sprickan tolkats korrekt med automatik medan gul ruta innebär att en manuell markering gjorts (fler manuella registreringar har gjorts men de täcks av den automatiserade tolkningen).



Figur 39 Exempel på bild (till vänster) som använts för manuell tolkning av sprickor (bilden är beskuren i längsled). Bilden till höger beskriver automatiskt tolkade sprickor med röd färg och manuellt tolkade rutor med gult.

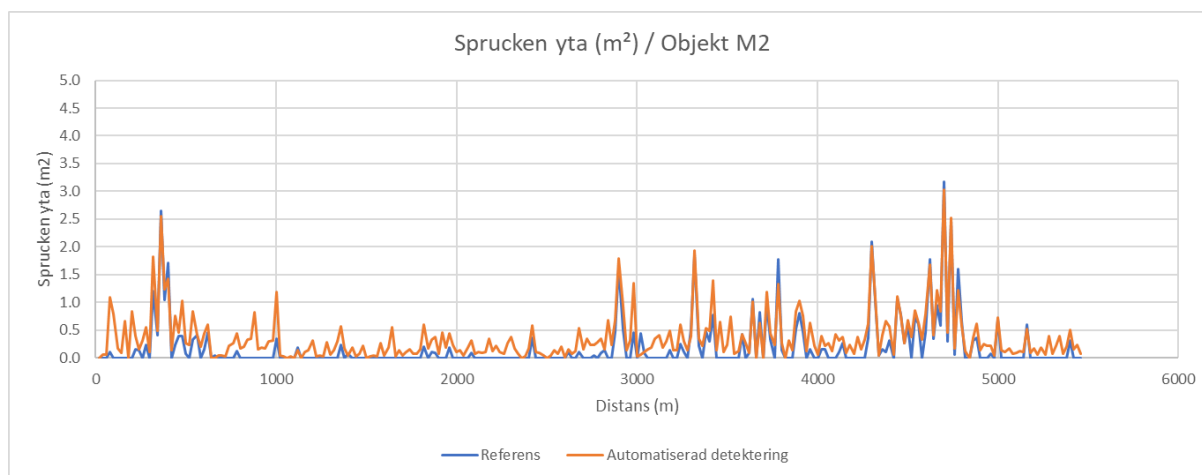
Jämförelsen av resultatet för automatiserad och manuell tolkning visar en relativt god korrelation (se Tabell 5, Figur 42 och Figur 43), dock överskattas mängden sprickor för det ena objektet medan mängden underskattas för det andra, se Figur 40 och Figur 41. För objekt M2, där mängden sprickor blir större med den automatiserade tolkningen, beror skillnaden delvis på att falska sprickor har detekterats i bullerräfflingen (profilerad kantlinje) på höger sida av körfältet. Falska sprickor har också tolkats i områden där beläggningen är grövre än omkringliggande yta. För objekt H2, där mängden sprickor blir lägre med den automatiserade tolkningen, beror skillnaden i huvudsak på att tunna, och troligtvis ej så djupa, sprickor inte registreras som en spricka i den automatiserade tolkningen. Det är

⁶ Samma bild innebär att den bild som kommer innan det automatiska processteget sparas och utvärderas manuellt. Manuell tolkning kan ej ta hänsyn till djup.

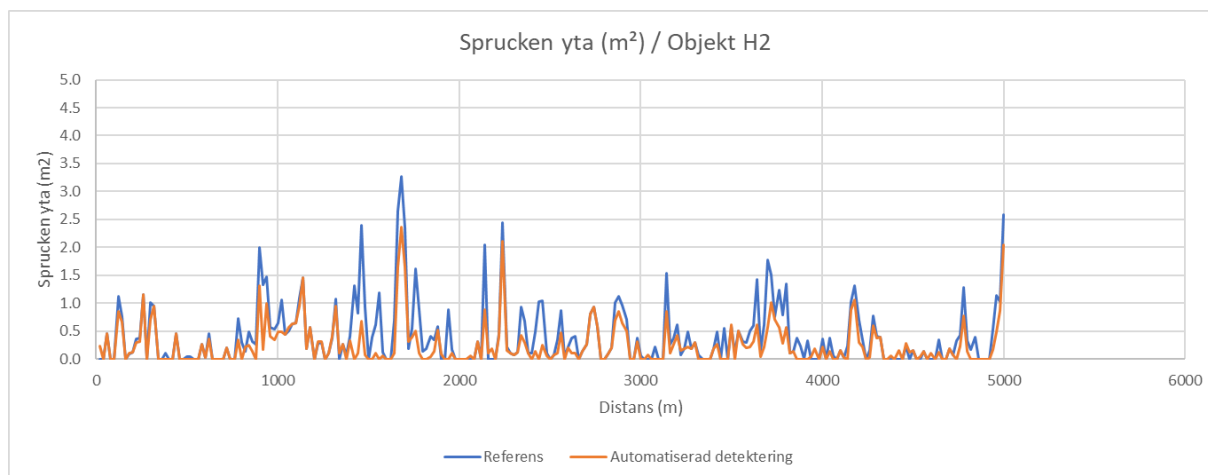
utifrån bilderna svårt att bedöma allvarlighetsgraden för dessa sprickor, dock syns de relativt tydligt i bilderna. Den automatiserade metoden har ett krav på bredd och djup som måste uppfyllas för en registrering av sprickor vilket inte kan avgöras manuellt.

Tabell 5. Jämförelse av manuell och automatisk tolkning av sprickor för objekt M2 och H2.

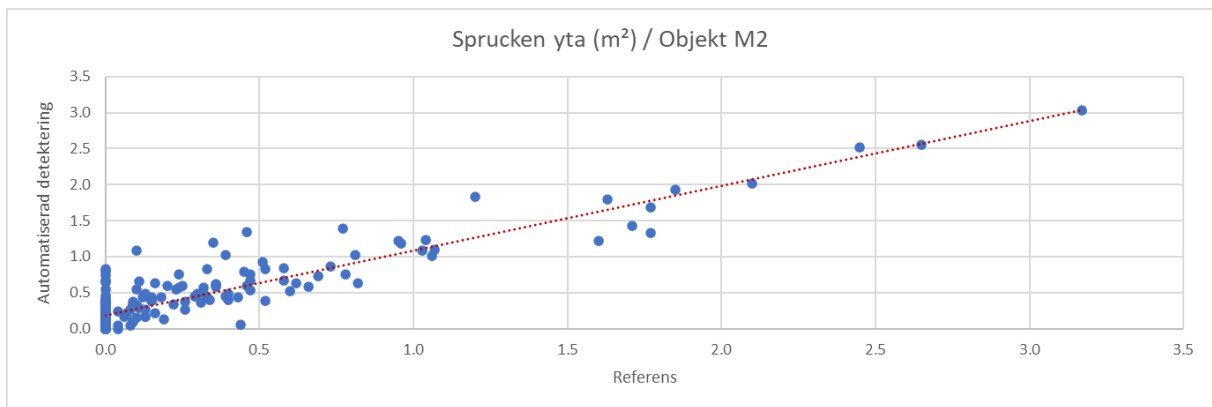
Objekt	Beläggn.- typ	Beläggn.- år	Längd (m)	Medelvärde Auto- tolkning (m ²)	Medelvärde Manuell tolkning (m ²)	Korrelations- koefficient (m ²)	95- percentil av differens (m ²)	Systematisk skillnad (m ²)
M2	ABT16	2008	5 480	0,4	0,2	0,91	0,57	0,17
H2	ABS11	2004	5 000	0,3	0,4	0,86	0,83	-0,16



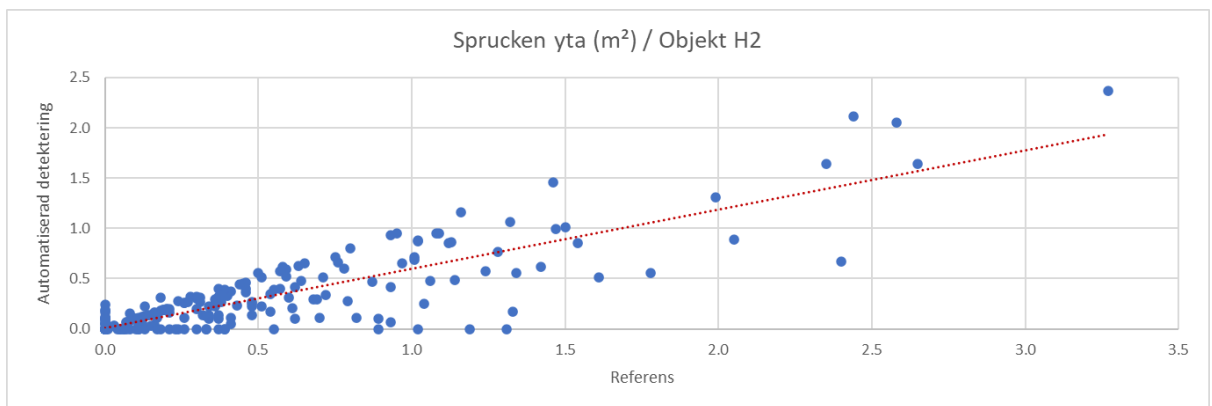
Figur 40 Area som klassats innehålla sprickor (sprucken yta) vid manuell (blå linje) respektive automatiserad (orange linje) per 20 meter, tolkning av objekt M2.



Figur 41 Area som klassats innehålla sprickor (sprucken yta) vid manuell (blå linje) respektive automatiserad (orange linje) per 20 meter, tolkning av objekt H2.



Figur 42 Linjär regressionsanalys för manuell och automatiserad tolkning av sprickor, objekt M2.



Figur 43 Linjär regressionsanalys för manuell och automatiserad tolkning av sprickor, objekt H2.

8.1.3. Analys av samband mellan sprickindex och sprickprocent

För att sprickprocent mätt med LCMS-systemet ska kunna användas som en objektiv metod för att bedöma sprickors omfattning i till exempel en totalentreprenad i stället för dagens sprickindex (SI) så måste det finnas en förståelse för hur väl dessa mått stämmer överens. Därför har det gjorts en ansats att hitta ett samband mellan SI och sprickprocent. Data är hämtat från LTPP-projektet. Resultatet av analysen presenteras kortfattat nedan.

Metod

Data för sprickprocent har samlats in från sex olika vägar runt om i landet där okulära bedömningar av SI görs årligen. 53 datapunkter används, där varje punkt utgör en sträcka av 100 meter, vilket är den längd som SI beräknas på. 100 meterssträckan beskriver tillståndet för vägens båda riktningar. För att göra datakällorna jämförbara medelvärdesbildas sprickprocenten över vägens båda riktningar, vilket motsvarar hur SI sammanställs.

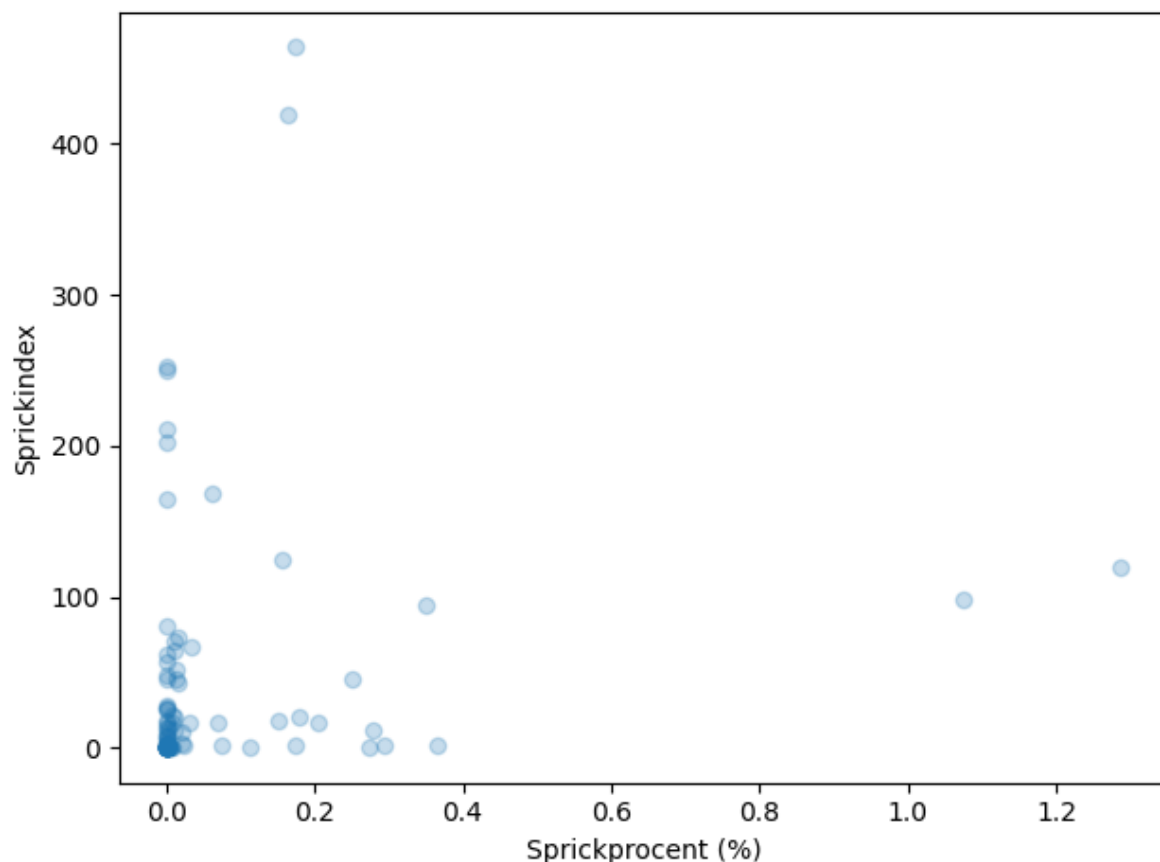
Olika metoder har använts för att undersöka samband mellan de två måtten, däribland:

- Visualisering av datapunkter
- Korrelationsanalys och linjär regression

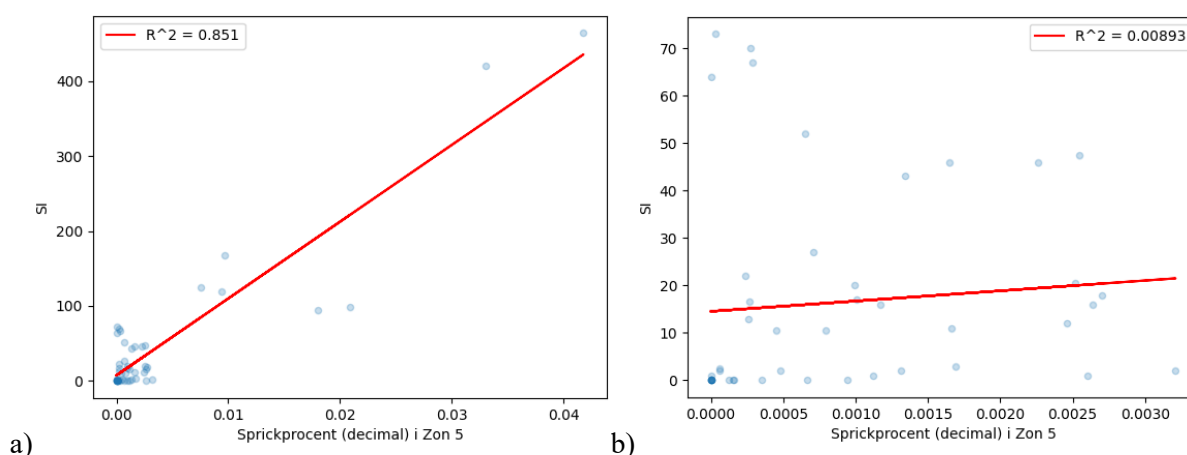
Resultat

En visualisering av datapunkterna visar att det inte finns något tydligt samband mellan SI och sprickprocent, se Figur 44. Korrelationsanalyser visar att SI och sprickprocent generellt har en låg korrelation (0,44), förutom för zon 5 där korrelationen är oväntat högre (0,92), men sambandet

domineras av ett fåtal punkter med höga SI-värden och är i övrigt inte starkt, se Figur 45. Om de sju SI-punkter som har värde över 80 filtreras bort fås i stället en korrelation på 0,094.



Figur 44 Visualisering av datapunkterna i ett punktdiagram. X-axeln beskriver vägvägnittets sprickor mätta i sprickprocent, baserat enbart på zon 2-4). Y-axeln beskriver samma vägvägnitts sprickor representerade i SI. Spridningen av punkterna är stor och följer inget tydligt mönster.



Figur 45 Uteslutning av ett fåtal punkter ger stor skillnad i korrelation. a) R^2 -värde för alla punkter i zon 5 är 0,85. b) R^2 -värde för alla punkter utom de sju med högst SI i zon 5 är 0,0089.

Slutsatsen är att det inte finns något tydligt samband mellan SI och sprickprocent baserat på den tillgängliga data och de analyser som utförts. Det kan vara nödvändigt att undersöka andra faktorer eller använda mer avancerade analyser för att hitta ett mer pålitligt samband mellan de två måtten.

Anledningen till de svaga kan vara att det faktiskt är grundläggande skillnader mellan de två måtten samt brister i datasetet.

Grundläggande skillnader mellan måtten

Det finns troliga orsaker till svårigheten att finna ett samband mellan sprickprocent och SI. Även om SI och sprickprocent är tänkta att mäta samma sak så används olika metoder och kriterier för att bedöma och kvantifiera sprickor. Tabell 6 visar de troligaste orsakerna till skillnaden mellan måtten.

Tabell 6 Skillnader mellan metoderna för att beräkna SI respektive sprickprocent.

SI	Sprickprocent
Subjektivt mått. Beroende av väder, solsken och riktning (solen i nacken eller framifrån).	Objektivt mått.
Tar hänsyn till var sprickan uppstått (ger olika vikt för SI).	Tar inte hänsyn till var sprickan uppstått. Normalt används zonindelning som ger separat resultat för olika delar av vägytan.
Tar hänsyn till storlek och omfattning av sprickor, såsom sprickvidd och spricktyp.	Alla sprickor som registreras är likvärdiga.
Baseras på längd, även en kort spricka registreras med minimilängd en meter. Parallella sprickor räknas ej.	Baserat på area, med minimiarea för spricka 1×1 decimeter. Mängden sprickor inom rutan har ingen betydelse.
Lagade sprickor inkluderas i beräkningen.	Lagade sprickor inkluderas inte i beräkningen.
Alla synliga sprickor inkluderas i beräkningen.	Endast sprickor med en viss vidd och djup inkluderas i beräkningen.

Ovanstående skillnader mellan metoderna gör att två vägar med samma SI kan ha olika sprickprocent och vice versa, vilket innebär att det inte nödvändigtvis finns en samstämmighet mellan måtten. Både SI och sprickprocent har sina fördelar och begränsningar, och det går inte att säga att det ena är mer korrekt än det andra.

Brister i data

Det finns ett par delar i denna undersökning som skulle kunna ge ett säkrare resultat.

- En större datamängd med bättre spridning av olika nivåer på SI och sprickprocent. Ändå valdes sex objekt från LTPP-programmet med viss sprickbildning.
- Mätningen borde göras inom ett kortare tidsspann för att undvika att driftåtgärder görs mellan inventeringstillfällena. I och med att objekten har en viss sprickbildning är sannolikheten stor att driftåtgärder görs. Data samlades in i maj (SI) och juli (sprickprocent).

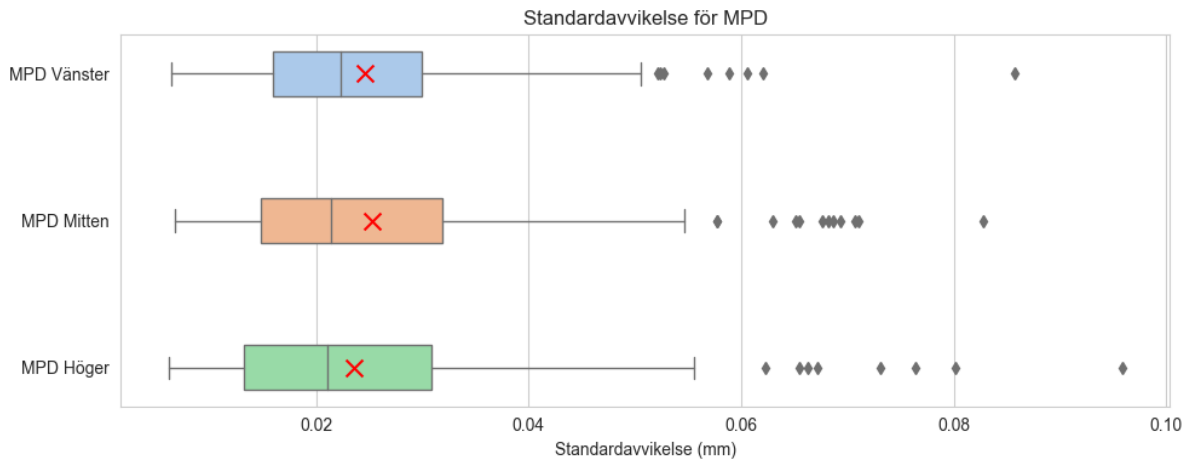
8.2. Ytskador

Nedan beskrivs en analys av de mått som relaterar till olika typer av ytskador eller ytliga defekter som potthål, separation och stensläpp.

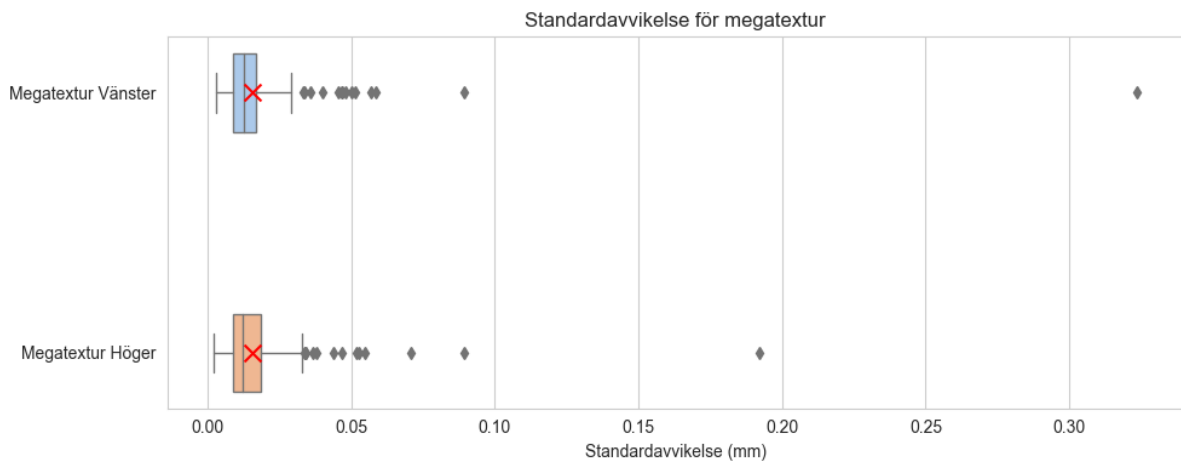
8.2.1. Precision, MPD och megatextur

För beräkning av standardavvikelse för MPD och megatextur användes data enligt punkt 1 i kapitel 8. Samtliga mätningar utfördes av en leverantör till Trafikverket.

Figur 46 och Figur 47 visar fördelningen av standardavvikelse för MPD och megatextur (RMS). Standardavvikelsen för MPD är stabil och alltid under 0,1 mm. För megatextur är standardavvikelsen oftast mycket låg, under 0,025 mm, men det finns enstaka segment som sticker ut.

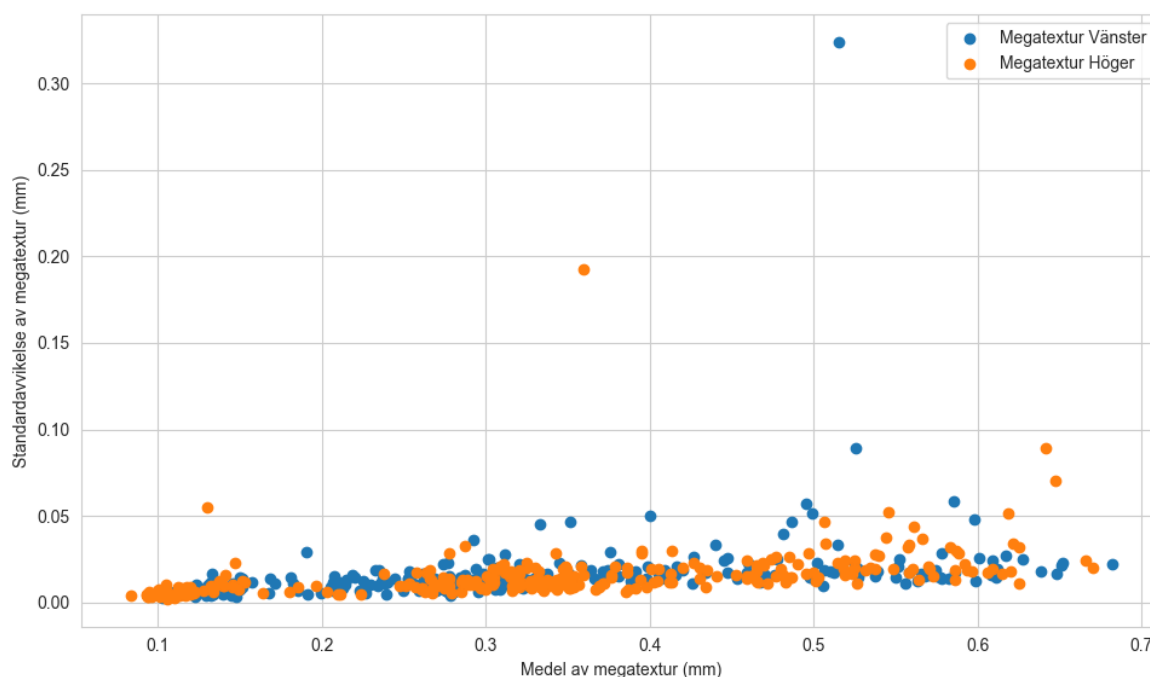


Figur 46 Fördelningen av standardavvikelsen för MPD (Mean Profile Depth) i vänster och höger hjulspår samt mitten.



Figur 47 Fördelningen av standardavvikelsen för megatextur i vänster och höger hjulspår.

Standardavvikelsen för megatextur ökar med höga megatexturvärden, även om standardavvikelsen är låg över hela skalan, se Figur 48. Följdenligt blir också extremvärdena större för större värden. Tendenserna för MPD är desamma.



Figur 48. Standardavvikelsen plottat mot medelvärdet för megatextur (mm). Uppkomsten av de enskilda extremvärden som finns har till synes inte något samband med hur ojämn vägytan är, eller vilket hjulspår som mäts.

Generellt är repeterbarheten uttryckt i standardavvikelse låg eller mycket låg. På 20 metersnivå är den genomsnittliga standardavvikelsen 0,025 mm för MPD och 0,016 mm för megatextur.

8.2.2. Separation beräknat från dedikerade mätningar

Texturmätning från mätbil kan användas för att beskriva vägytans egenskaper. Med rätt tolkning kan resultatet kopplas till avvikelser eller defekter hos en väg. Det finns olika metoder som kan användas för att mäta ytans textur.

I projektet har fyra objekt mätts med samma mätsystem (vägytemätbil med LCMS-teknik och punktlaser) upprepade gånger. Objekten mättes ett par veckor efter att en heltäckande underhållsåtgärd genomförts. För dessa fyra objekt beräknas medelvärde, korrelation och spridning (uttryckt som 95-percentilen av differenserna) för två mått: Mean Texture Depth (MTD) som mäts med LCMS-systemet och Mean Profile Depth (MPD) (International Organization for Standardization (ISO), 2019) som mäts med punktlaser. I utvärderingen används medelvärden över 20 meter.

MTD

MTD mäts i tre zoner tvärs vägen, vänster, mitten och höger. Resultatet visar att repeterbarheten för MTD är god. Korrelationen mellan mätningarna är hög och 95-percentilen av differensen är låg, alltid under 0,15 mm, se Tabell 7.

Tabell 7 Repeterbarhet för objekt W5-W8 för måttet MTD.

Objekt	Beläggings-typ	År	Längd (m)	Linje	Medelvärde Repetition 1 (mm)	Medelvärde Repetition 2 (mm)	Korrelationskoefficient	95-percentil av differens (mm)
W5	ABS11	2021	7 700	Vänster	1,16	1,17	0,87	0,08
				Mitten	1,13	1,13	0,96	0,04
				Höger	1,14	1,15	0,93	0,06
W6	ABS11	2021	7 540	Vänster	1,18	1,14	0,92	0,13
				Mitten	1,15	1,14	0,98	0,05
				Höger	1,15	1,14	0,96	0,07
W7	ABS11	2021	11 900	Vänster	0,99	0,98	0,94	0,06
				Mitten	0,99	0,99	0,97	0,04
				Höger	1,02	1,01	0,96	0,06
W8	ABS11	2021	11 900	Vänster	1,30	1,27	0,97	0,11
				Mitten	1,24	1,24	0,99	0,06
				Höger	1,32	1,30	0,96	0,12

MPD

MPD mäts i tre spår tvärs vägen, vänster, mitten och höger. I Tabell 8 nedan visas att repeterbarheten för MPD är god. Korrelationen mellan mätningarna är hög och 95-percentilen av differensen är låg, alltid under eller lika med 0,10 mm. Måttet samt kraven på mätutrustningen har varit standardiserade sedan 1997 (måttet (International Organization for Standardization (ISO), 1997)) och 2002 (krav på utrustning (International Organization for Standardization, 2002)), vilket säkerställer en enhetlig mätteknik och beräkningsgång med jämförbarhet mellan olika system.

Tabell 8 Repeterbarhet för objekt W5-W8 för metod MPD.

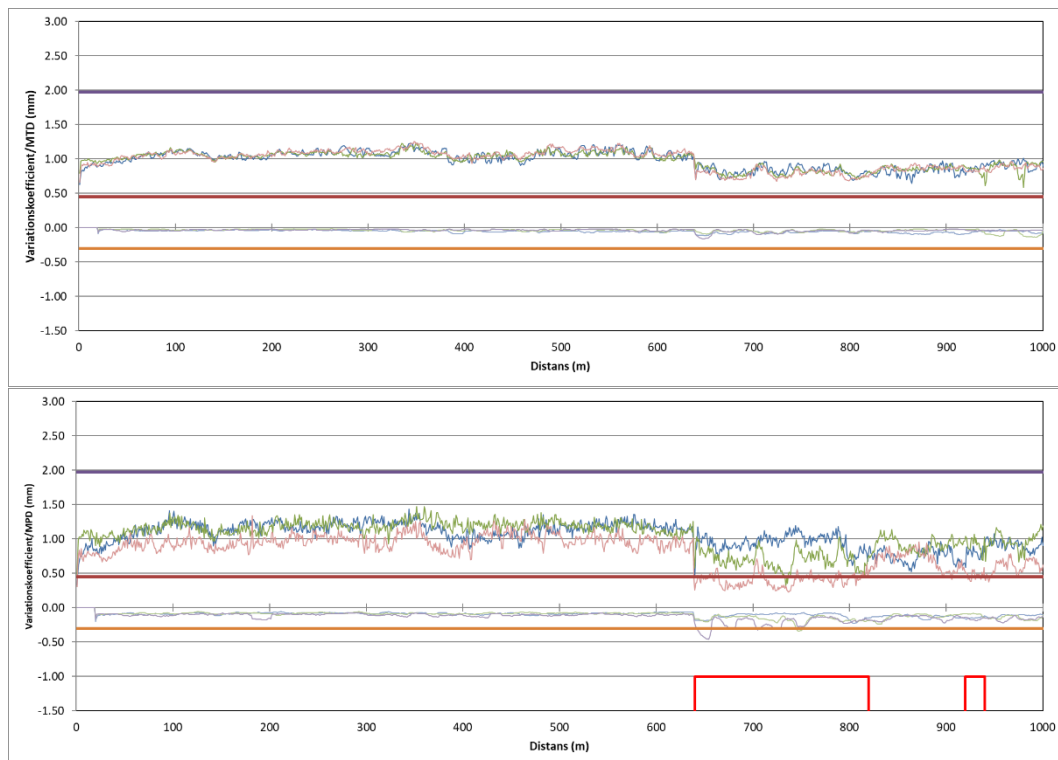
Objekt	Beläggn.- typ	Beläggn.-år	Längd (m)	Linje	Medelvärde Repetition 1 (mm)	Medelvärde Repetition 2 (mm)	Korrelationskoefficient	95 percentil av differens (mm)
W5	ABS11	2021	7 700	Vänster	1,30	1,28	0,86	0,07
				Mitten	1,26	1,26	0,93	0,10
				Höger	1,17	1,17	0,96	0,06
W6	ABS11	2021	7 540	Vänster	1,27	1,26	0,96	0,08
				Mitten	1,23	1,23	0,97	0,07
				Höger	1,16	1,16	0,97	0,06

Objekt	Belägg.- typ	Belägg.-år	Längd (m)	Linje	Medelvärde Repetition 1 (mm)	Medelvärde Repetition 2 (mm)	Korrelationskoefficient	95 percentil av differens (mm)
W7	ABS11	2021	11 900	Vänster	1,06	1,07	0,94	0,09
				Mitten	1,14	1,13	0,89	0,08
				Höger	0,93	0,92	0,95	0,08
W8	ABS11	2021	11 900	Vänster	1,25	1,27	0,94	0,10
				Mitten	1,30	1,30	0,95	0,08
				Höger	1,12	1,12	0,96	0,06

Våglängdsområdet för textur sträcker sig från 0,5 meter ner till mikrometernivå. Området delas in i mikrotextur, våglängder under 0,5 mm, makrotextur, 0,5 till 50 mm och megatextur 50 till 500 mm. Att mäta makrotextur med laser är den absolut vanligaste metoden, utöver den finns den så kallade sand patch-metoden (CEN, 2001), en volymetrisk metod som görs statiskt och punktvis på vägytan. Någon jämförelse mellan mätmetoderna görs inte i denna rapport eftersom sand patch utförs fläckvis och är till viss mån operatörsberoende. Syftet i denna rapport är att bedöma om makrotexturmätning kan användas för att bedöma separationer i nya asfaltbeläggningar på ett godtagbart sätt. För detta ändamål har VTI på uppdrag av Trafikverket i tidigare projekt (Lundberg, 2012) tagit fram beräkningsmetoder och en rapportmall (Trafikverket, 2017). Mallen har använts i begränsad omfattning vid reglering av underhållsbeläggningar (dock utan vitesföreläggande).

Jämförelse av MPD och MTD

För att jämföra MTD och MPD i detta projekt användes upprepade mätningar från fyra underhållsobjekt. I rapportmallen kontrolleras att de uppmätta värdena inte är för höga, låga eller varierar för mycket. Hög texturvärden visar på en öppen yta, vilket i ett senare skede kan orsaka stensläpp. Låga texturvärden visar på en tät yta, vilket kan orsaka låg friktion. En stor variation för texturvärdena innebär en heterogen yta, vilket tyder på separationer i beläggningssmassan, något som i sin tur kan förkorta livslängden. En första iakttagelse vid denna jämförelse är att värdena för MTD inte varierar lika mycket som för MPD. Medelvärdet är ungefär detsamma för båda måtten (se Tabell 7 och Tabell 8), men den så kallade variationskoefficienten (som inte redovisas i tabellen) är runt fem procent för MTD medan den för MPD är cirka tio procent. I Figur 49 visas ett exempel från rapportmallen där MTD-mätningen har betydligt lägre variation än mätningen av MPD.



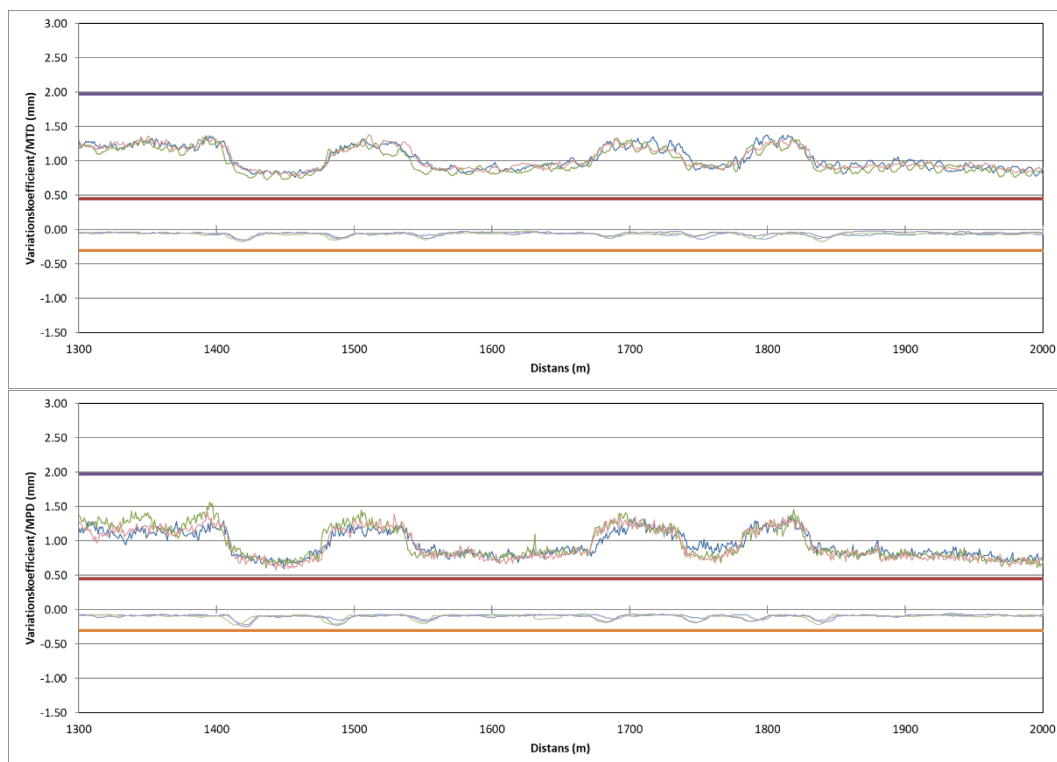
Figur 49 I övre bilden visas MTD-värden för ett 1 000 meter långt avsnitt. I den nedre visas motsvarande avsnitt för MPD-värden. De röda och lila heldragna parallella linjerna visar lägsta och högsta tillåtna nivå för texturen på aktuell beläggningstyp. Orange heldragen linje visar gränsvärdet för tillåten variationskoefficient. De brusiga linjerna runt 1,00 mm visar MTD och MPD-värdena. De grå linjerna mellan 0 och -0,5 mm visar variationskoefficienten (multiplicerad med -1, för att inte skriva över texturmåtten). Slutligen indikerar de röda linjerna i nedre delen av diagrammen underkända sektioner.

Vid sektion 620 meter till 640 meter i Figur 49 indikerar de röda boxarna i nedre delen av det högra diagrammet att sträckan är underkänd avseende MPD-mätningen. De gäller för såväl låga texturvärden som för variationskoefficienten. Motsvarande sträcka mätt med LCMS-systemet för variabeln MTD indikerar inga avvikelser. Andra gränsvärden bör troligen användas för MTD.



Figur 50 Bild från distans 630 meter. På höger sida finns en ansamling av bitumen i ytan.

I Figur 50 visas en bild av den underkända ytan. Bilden är tagen vid distans 630 meter. Där finns en ansamling av bitumen i ytan (separerad beläggning) på den högra sidan av körfältet. Detta syns tydligt för MPD-måttet i den högra bilden i Figur 49, medan det är mer otydligt för MTD i den vänstra bilden där skillnaden mellan de tre mätlinjerna fortfarande är väldigt liten. Att variationen i MTD-värdena är mindre än variationen i MPD-värdena kan bero på att MTD representerar en yta om 1×1 meter, medan MPD-värdena representerar en tunn linje. Eftersom MTD beräknas från en linjelaser som inte uppfyller kraven för mätning av makrotextur så måste data filtreras för att rensa bort brus. Hur filtreringen sker i LCMS-systemet är inte känt. Det är svårt att detektera lokala variationer på en yta under 1×1 meter. I Figur 51 visas ytterligare ett utsnitt från ett av objekten. Detta illustrerar hur väl variationer i textur över en längre sträcka fångas av båda måtten (grön, blå och rosa linje).



Figur 51 I den övre bilden visas MTD-värden för ett 700 meter långt vägnitt. I den nedre visas motsvarande avsnitt för MPD-värden. De brusiga linjerna (grön, blå och rosa) visar MTD respektive MPD-värdena som varierar runt 1 mm. (Övriga linjer finns förklarade i texten till Figur 49.)

Korrelationen mellan MPD och MTD är relativt god ifall man använder medelvärden över 20 meter i beräkningen. För de fyra objekt som använts i detta exempel har korrelationskoefficienten ett medelvärde på 0,80.

En separerad yta bedöms normalt okulärt och endast om det föreligger allvarliga brister hos beläggningen vidtas åtgärder. Bristen ska vara av sådan allvarlig karaktär att det får en betydande effekt på beläggningens livslängd alternativt vara betydligt sämre än vad som kan ses som normal kvalitet. För att kunna avgöra om måtten MPD och MTD detekterar separerade ytor som i ett senare skede ger upphov till stensläpp, sprickbildning och liknande defekter bör en långtidsstudie utföras för att studera detta. Om inte stensläpp visar sig på underkända ytor efter ett visst antal år bör kravgränserna ses över.

8.2.3. Stensläpp

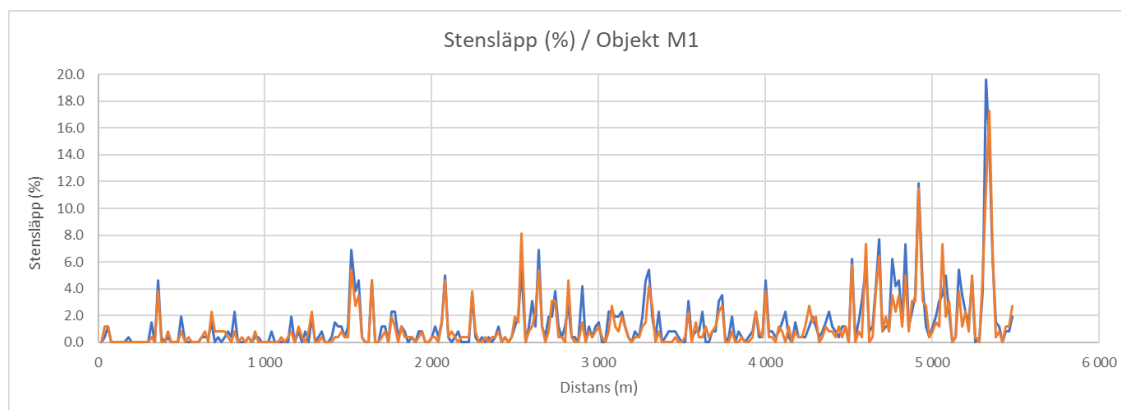
Mätning med linjelaser (LCMS algoritmen)

I denna utvärdering används data från fyra objekt vilka har mätts upprepade gånger, antingen med samma mätsystem eller med ett annat mätsystem av samma typ. För dessa fyra objekt beräknas medelvärde, korrelation och spridning (95-percentil av differenserna). Den systematiska avvikelserna beräknas om olika mätsystem använts. Stensläppet kvantifieras av andelen yta som systemet detekterar som stensläpp per 20 meter.

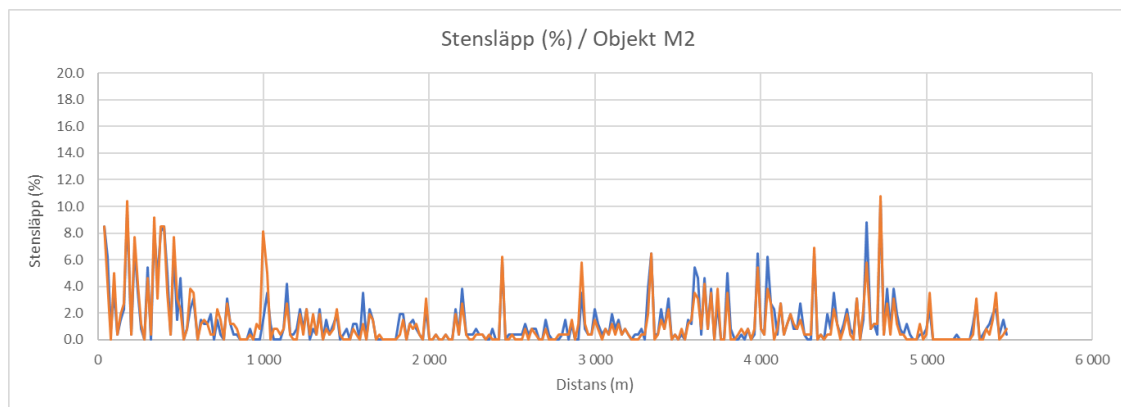
I Tabell 9 och Figur 52 till Figur 55 sammanfattas resultatet för två objekt vilka har mätts med samma mätsystem vid samma tillfälle (objekt M1 och M2).

Tabell 9 Repeterbarhet för objekt M1 och M2.

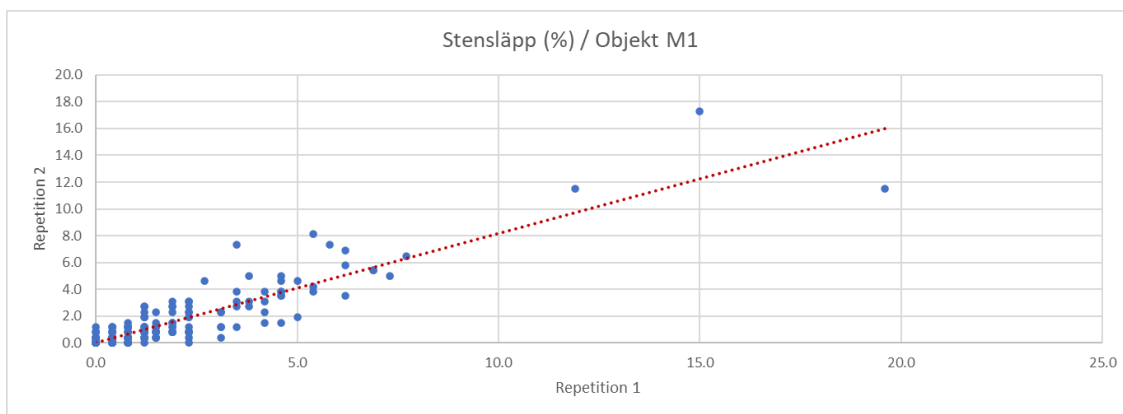
Objekt	Beläggstyp	Beläggår	Längd (m)	Medelvärde Repetition 1 (%)	Medelvärde Repetition 2 (%)	Korrelationskoefficient	95-percentil av differens (%)
M1	ABT16	2008	5 480	1,2	1,4	0,90	1,9
M2	ABT16	2008	5 480	1,3	1,3	0,92	1,5



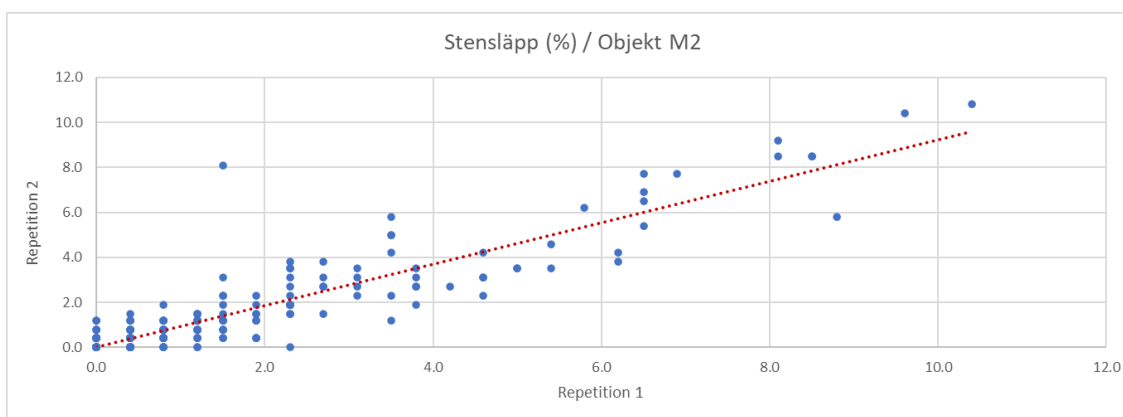
Figur 52 Andel yta som bedöms innehålla stensläpp för två upprepade mätningar, samma mätsystem, objekt M1.



Figur 53 Andel yta som bedöms innehålla stensläpp för upprepade mätningar, samma mätsystem, objekt M2.



Figur 54 Linjär regressionsanalys för upprepade mätningar av stensläpp, samma mätsystem, objekt M1.



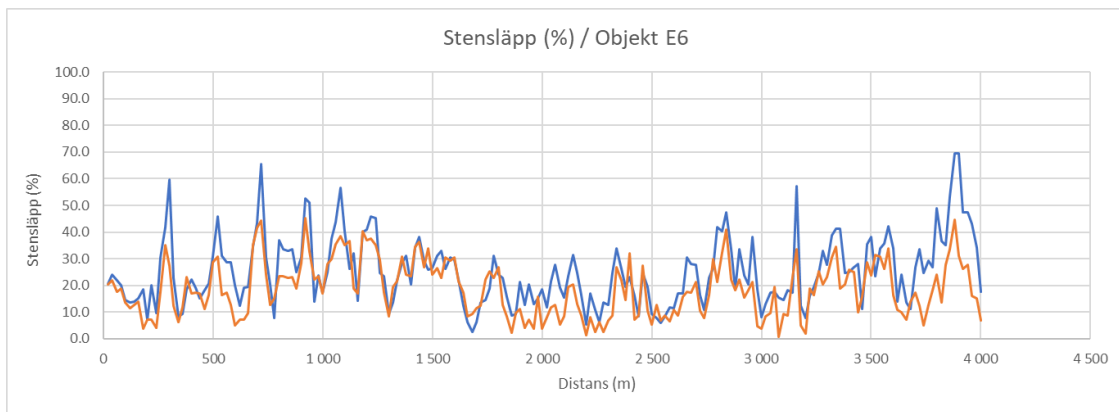
Figur 55 Linjär regressionsanalys för upprepade mätningar av stensläpp, samma mätsystem, objekt M2.

Repetierbarheten för stensläpp är acceptabel, partier med stor yta stensläpp identifieras i båda mätningarna. I medeltal är repeterbarheten uttryckt som standardavvikelse 0,75 %.

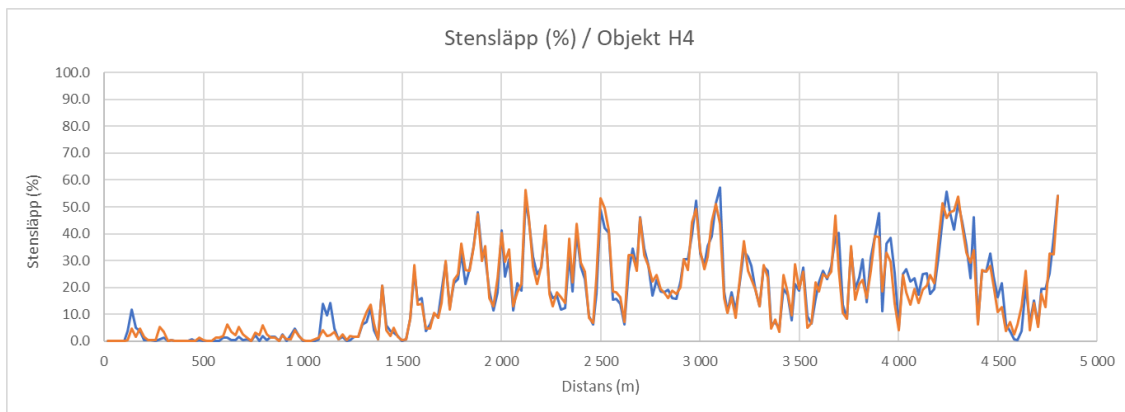
I Tabell 10 och Figur 56 till Figur 59 sammanfattas resultatet för två objekt som har mätts med olika mätsystem med några veckors mellanrum (E6 och H4).

Tabell 10 Reproducerbarhet för objekt E6 och H4.

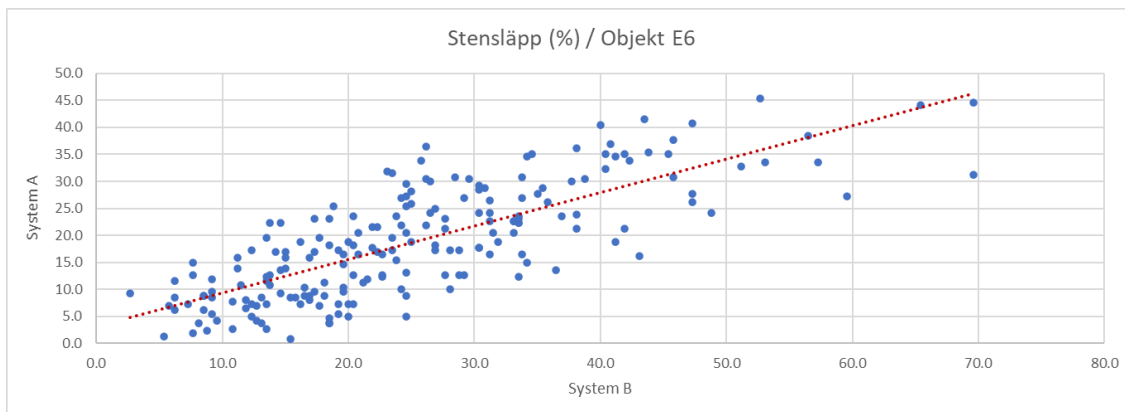
Objekt	Beläggstyp	Beläggensår	Längd (m)	Medelvärde Mätssystem A (%)	Medelvärde Mätssystem B (%)	Korrelationskoefficient	95 percentil av differens (%)	Systematisk avvikelse (%)
E6	ABS16	2012	4000	18,8	25,2	0,78	21,2	-6,42
H4	ABS16	2010	4800	17,3	17,4	0,97	8,8	-0,15



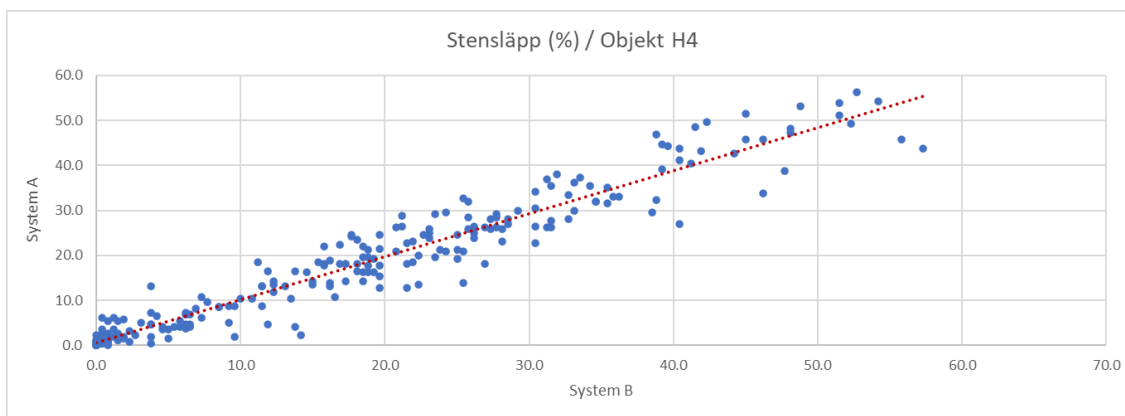
Figur 56 Andel yta som klassats innehålla stensläpp för mätningar med olika mätsystem, objekt E6.



Figur 57 Andel yta som klassats innehålla stensläpp för mätningar med olika mätsystem, objekt H4.



Figur 58 Linjär regressionsanalys mellan två olika mätsystem, objekt E6.



Figur 59 Linjär regressionsanalys mellan två olika mätsystem, objekt H4.

Repetierbarheten för mätning av stensläpp med LCMS-systemet är relativt god. Mätningarna ger ungefär samma medelvärde och en korrelationskoefficient på $>0,90$. Reproducerbarheten är på samma sätt relativt god för det ena objektet, H4, se Figur 59, där lutningen på det linjära regressions sambandet är nära 1 och skärningspunkten nära 0, d.v.s. mätningarna är i genomsnitt relativt samstämmiga. Resultatet från det andra objektet, E6, är däremot sämre, se Figur 58. System B ger nästan dubbelt så stor yta klassad som stensläpp jämfört med system A. I medeltal är reproducerbarheten uttryckt som standardavvikelse 5,5 %.

Kontroll av validitet, nämligen hur väl de beräknade värdena överensstämmer med verkligt observerat stensläpp, har inte utförts i projektet eftersom det idag inte finns någon objektiv metod för detta. Den metod som rekommenderas i nuläget är en subjektiv okulär besiktning enligt Bära eller brista (Wågberg, 2003).

Punktlasar (statistisk analys av MPD)

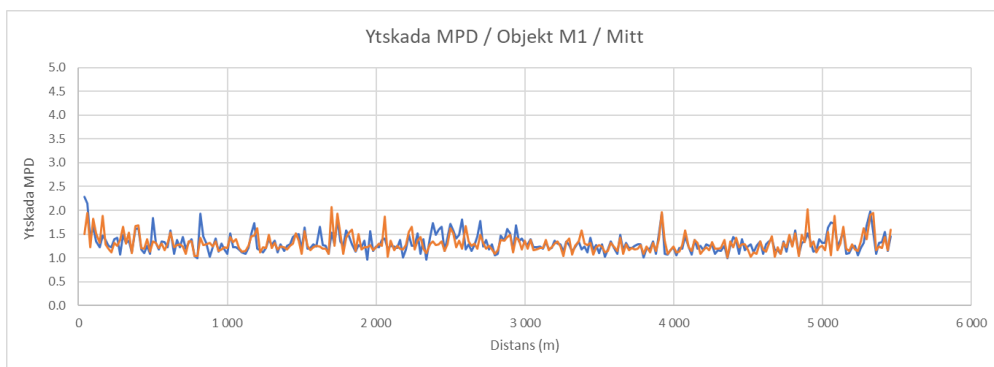
Data från samma objekt, som i kapitlet ovan, har också använts för att kontrollera repeterbarhet och reproducerbarhet för stensläpp beräknat från MPD (punktlasar) i tre linjer. Måttet kallas nedan för ”Ytskada MPD” (Lundberg, et al., 2015). Beräkningsprincipen för måttet finns beskrivet i kapitel 7.2.2.

Tabell 11 och Tabell 12 visar att medelvärdena är likvärdiga både vid upprepning med samma mätsystem och vid mätning med olika mätsystem. De systematiska avvikelserna är små. Korrelationskoefficienten är relativt låg och spridningen relativt medelvärdet är hög. Detta kan bero på att man i beräkningsmetodiken använder enskilda enmetersvärden, vilket gör beräkningen känslig för synkronisering i längsled. Utöver det används den maximala kvoten som återfinns inom ett 20-metersintervall. Om ett medelvärde av kvoterna inom 20-metersintervallet hade använts skulle troligtvis korrelationen blivit högre och spridningen lägre. Dock skulle syftet med metoden tappas, att kunna detektera lokalt avvikande defekter hos vägytan.

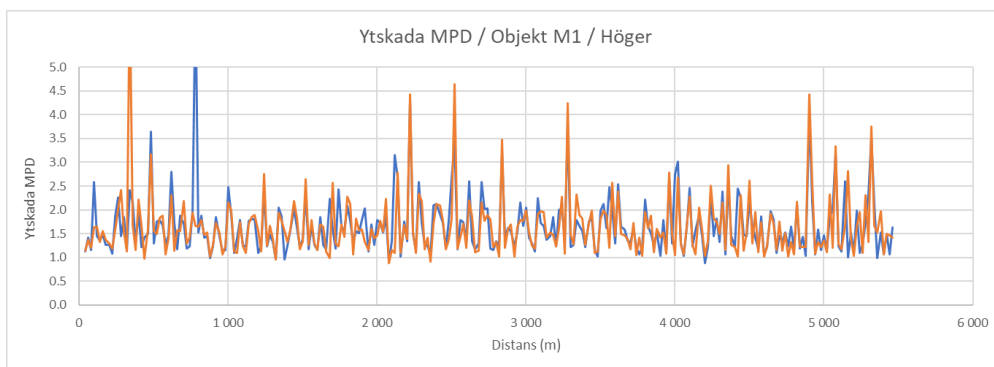
Tabell 11 Repeterbarhet för objekt M1 och M2 för måttet Ytskada MPD.

Objekt	Linje	Medelvärde Repetition 1	Medelvärde Repetition 2	Korrelations- koefficient	95-percentil av differens
M1	Vänster	1,6	1,6	0,79	0,53
	Mitten	1,3	1,3	0,63	0,40
	Höger	1,7	1,7	0,65	0,95
M2	Vänster	1,5	1,5	0,86	0,43

Objekt	Linje	Medelvärde Repetition 1	Medelvärde Repetition 2	Korrelations- koefficient	95-percentil av differens
	Mitten	1,4	1,4	0,45	0,40
	Höger	1,7	1,7	0,33	0,83



Figur 60 Mättet Ytskada MPD baserat på MPD från positionen mellan hjulspåren för upprepad mätning med samma mätsystem, objekt M1.



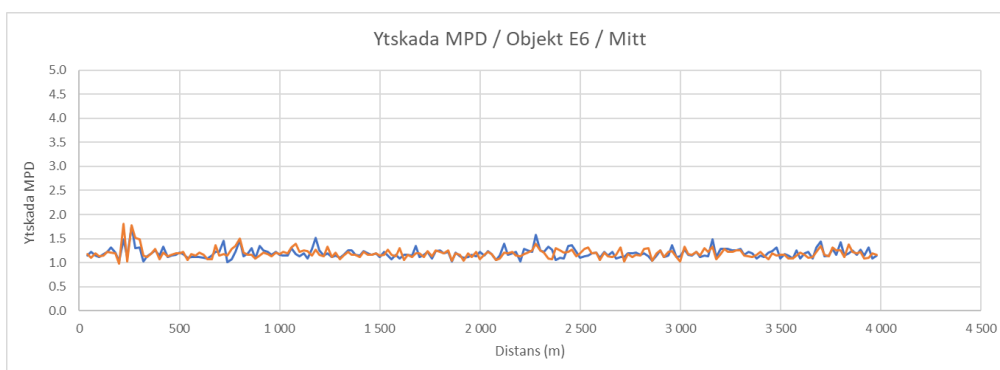
Figur 61 Mättet Ytskada MPD baserat på MPD från höger hjulspår för upprepad mätning med samma mätsystem, objekt M1.

På objekt M1 förekommer regelbundna höga värden i det högra hjulspåret (se Figur 61) medan kvoterna pendlar mellan 1,0 och 1,5 mellan hjulspåren (se Figur 60). Detta beror på att vägytan är fläckvis förseglad i hjulspåren, för att förebygga de stensläpp och sprickor som förekommer längs objektet. Eftersom de områden som förseglades fick ett förhöjt MPD-värde än kringliggande ytor, blir Ytskada MPD hög (hög kvot). Detta visar sig som spikar i diagrammet, se Figur 61.

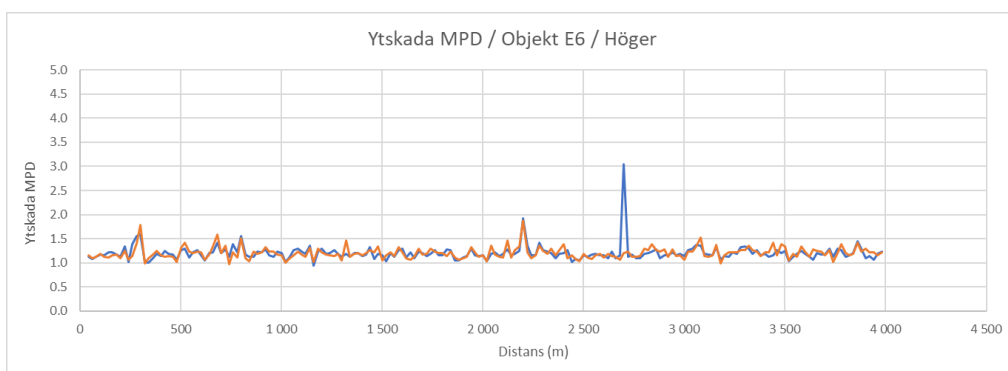
Tabell 12 Reproducerbarhet för objekt E6 och H4 för mättet Ytskada MPD.

Objekt	Linje	Medelvärde Mätsystem A	Medelvärde Mätsystem B	Korrelations- koefficient	95-percentil av differens	Systematisk avvikelse
E6	Vänster	1,2	1,2	0,58	0,23	0,01
	Mitten	1,2	1,2	0,57	0,21	0,00
	Höger	1,2	1,2	0,47	0,18	0,00
H4	Vänster	1,3	1,3	0,26	0,37	-0,01
	Mitten	1,3	1,3	0,45	0,42	0,00

Objekt	Linje	Medelvärde Mätssystem A	Medelvärde Mätssystem B	Korrelations- koefficient	95-percentil av differens	Systematisk avvikelse
	Höger	1,3	1,3	0,40	0,34	0,00



Figur 62 Mättet Ytskada MPD baserat på MPD från positionen mellan hjulspåren för mätningar med olika mätsystem, objekt E6.



Figur 63 Mättet Ytskada MPD baserat på MPD från höger hjulspår för mätningar med olika mätsystem, objekt E6.

Reproducerbarheten presenteras grafiskt i Figur 62 och Figur 63. Mätningarna är gjorda med ett par veckors mellanrum. I stora drag ser överensstämmelsen bra ut, de flesta avvikande höga kvoter återfinns i båda mätserierna.

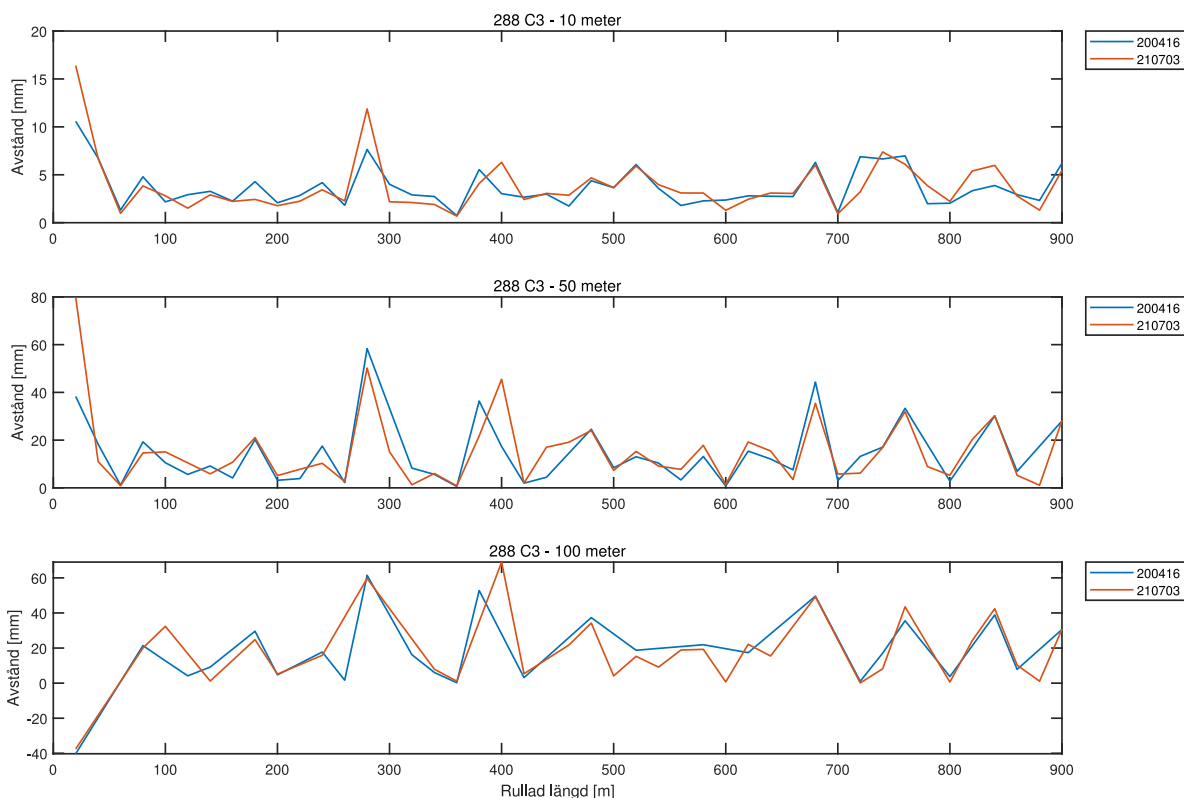
8.2.4. Övriga ytskador

På samma sätt som Ytskada MPD beräknas (kapitel 8.2.3) kan också Ytskada megatextur beräknas (Lundberg, et al., 2015). Principen är densamma för de båda måtten och skillnaden med att använda megatexturmåttet är att skador med längre utbredning i längsled (större skador) detekteras, t.ex. potthål, dåliga broskarvar eller beläggningsskarvar och liknande. Ytterligare en approach är Underhållsindex (UI) (Lundberg, et al., 2020), ett index beräknat från MPD, megatextur och lokala ojämnheter. Indexet är som namnet anger, mer förknippat med underhållsplanering, där olika typer av skador, från mindre separationer till lokala ojämnheter vägs in.

8.3. Sättningar

För att demonstrera hur tekniken att detektera sättningar med simulerad lång rätskena fungerar har en sträcka valts ut som har haft problem med sättningar, väg C288. Delar av den vägen har haft sättningar som krävt åtgärder. Den analys som gjorts baseras på årliga mätningar från vägnätsmätning och dedikerade objektmätningar. Den teknik som används beskrivs i kapitel 7.3.2. Längsprofildata för höger hjulspår har använts som indata till beräkningen av den långa rätskenan. Längderna på rätskenan

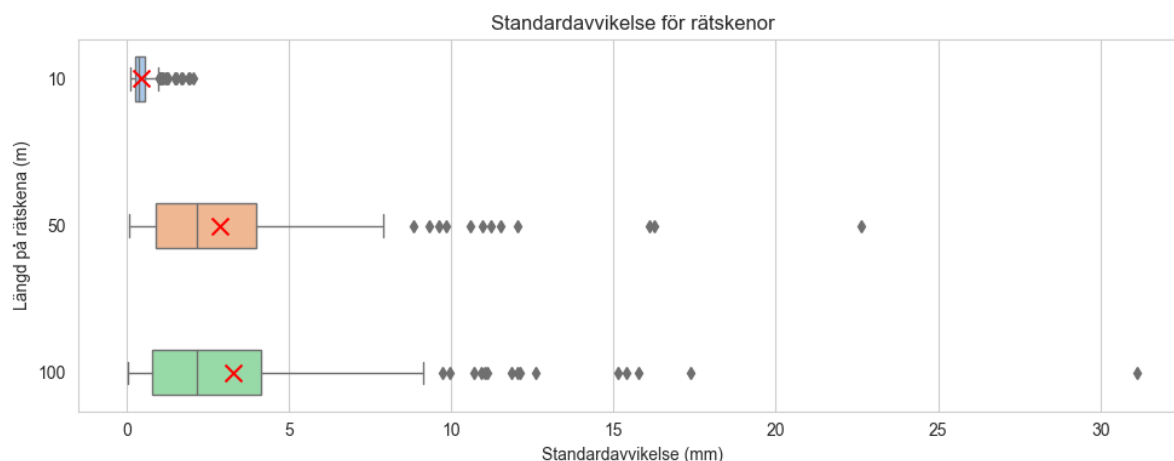
som använts är 10, 50 och 100 meter. De kortare varianterna av en rätskena, 3 och 5 meter faller in under lokala ojämnheter, så de tas upp i kapitel 8.5. De olika längderna kan användas för att detektera olika egenskaper, där problem i undergrunden troligen orsakar en sättning med längre utbredning medan ett mer yligt problem har en relativt kort utbredning. Undantag finns förstås, till exempel en trasig trumma under vägen kan ligga djupt ner i konstruktionen men ändå orsaka en sättning med kort utbredning. Figur 64 visar beräknade rätskenevärden för längderna 10, 50 och 100 meter från mätningar utförda 2020 och 2021. Svackan vid distans 280 meter ökar kraftigt när 10 meters rätskena används, resultatet från den 100 meter långa rätskenan ger ingen märkbar skillnad mellan åren.



Figur 64 Rätskenevärden för längderna 10, 50 och 100 meter på väg C288, mätningar gjorda 2020 och 2021.

8.3.1. Precision

För att kunna sätta ett gränsvärde för ett krav på sättning måste metodens precision vara bestämd. Data för analys av noggrannheten kommer från punkt 1 i kapitel 8. Från längsprofilerna beräknas rätskenevärden var 20 meter längs teststräckorna. De längder som testats är 10 meter, 50 meter och 100 meter. Figur 65 beskriver fördelningen av standardavvikelsen på 20 metersnivå av de 15 repetitionerna.



Figur 65 Fördelningen av standardavvikelsen för rätskenevärden beräknade med olika längder på rätskenan (data per 20 m).

Utvärderingen visar att osäkerheten ökar med en ökande längd på rätskenan. En längsprofil ska innehålla våglängder mellan 0,2 meter upp till 100 meter. Det finns inga krav att längsprofilen ska filtreras på ett visst sätt innan den levereras. Vissa leverantörer väljer därför att inte filtrera profilerna medan andra filtrerar. Detta kan ge upphov till vissa skillnader beroende på filtrets karaktäristik. Denna osäkerhet gör att den 100 meter långa rätskenan inte kommer att rekommenderas.

Osäkerheten för 95 percentilen av alla standardavvikelser för den,

- 10 meter långa rätskenan är 0,83 mm.
- 50 meter långa rätskenan är 6,0 mm.

Förslag:

Standardavvikelsen för repeterbarheten för respektive rätskena är:

- 10 m rätskena 0,47 mm
- 50 meter 2,87 mm.

Dessa avvikelser måste beaktas om och när kravnivåerna bestäms.

8.4. Vattenavrinning

I avvattning ingår måtten vattenarea⁷ och snedlutning, som i sin tur beräknas utifrån mätning av vägens tvärprofil, tvärfall och backighet. De krav som ställs på medeltvärprofilen i TDOK 2014:0706 (Trafikverket, 2015B) säger att en godkänd leverantör av vägytemädata i Sverige ska kunna mäta en medeltvärprofil per 20 meter som i 85 % av fallen har en likhet med en etablerad referens inom $\pm 0,5$ mm. Detta i sig innebär att tvärprofilens noggrannhet är mycket god och ger obetydliga felkällor till vattenarea.

Kapitlet behandlar också en tredimensionell metod för att uppskatta hur nederbörd transporteras på vägen, baserad på punktmolnsdata.

⁷ Vattenarean anges normalt i enheten dm^2 . En 20 metersträcka med 1 dm^2 i vattenarea håller ca 200 liter vatten (ett normalstort badkar är på 200 till 300 liter).

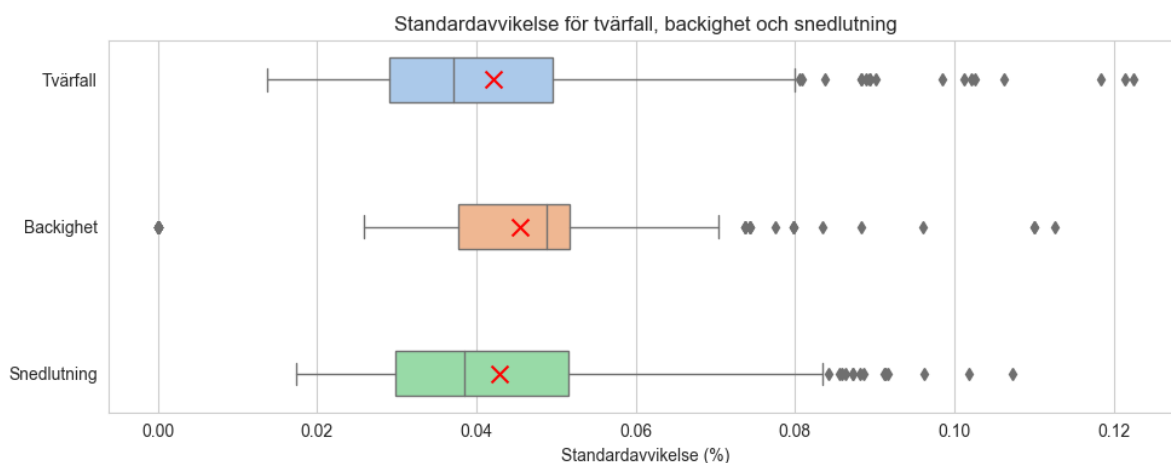
8.4.1. Precision, tvärfall, backighet, snedlutning och vattenarea

För beräkning av standardavvikelser för tvärfall, backighet och kombinationen av dessa, den så kallade snedlutningen, användes data enligt punkt 1 i kapitel 8. Samtliga mätningar utfördes av en leverantör till Trafikverket.

För beräkning av vattenarean användes medeltvärprofil- och tvärfallsdata från samma mätning som ovan.

Figur 66 visar standardavvikelse för tvärfall, backighet och snedlutning. Kraven på repeterbarhet för backighet och tvärfall anges i TDOK 2014:0706. För både tvärfall och backighet innebär detta att den 75-percentilen ska ligga under 0,2 procent. I detta fall är 75-percentilen 0,050 procent för tvärfall och 0,052 procent för backighet. Figur 66 visar att högsta standardavvikelsen är 0,122 procent för tvärfall och 0,113 procent för backighet. Det innebär att samtliga mätpunkter ligger inom kravet för repeterbarhet. Snedlutning är ej kravsatt, men då det är en funktion av tvärfall och backighet har måttet tillräcklig precision.

Resultatet av snedlutningens standardavvikelse visar att den oftast ligger under 0,1 procent, men enstaka områden kan ha större variation.



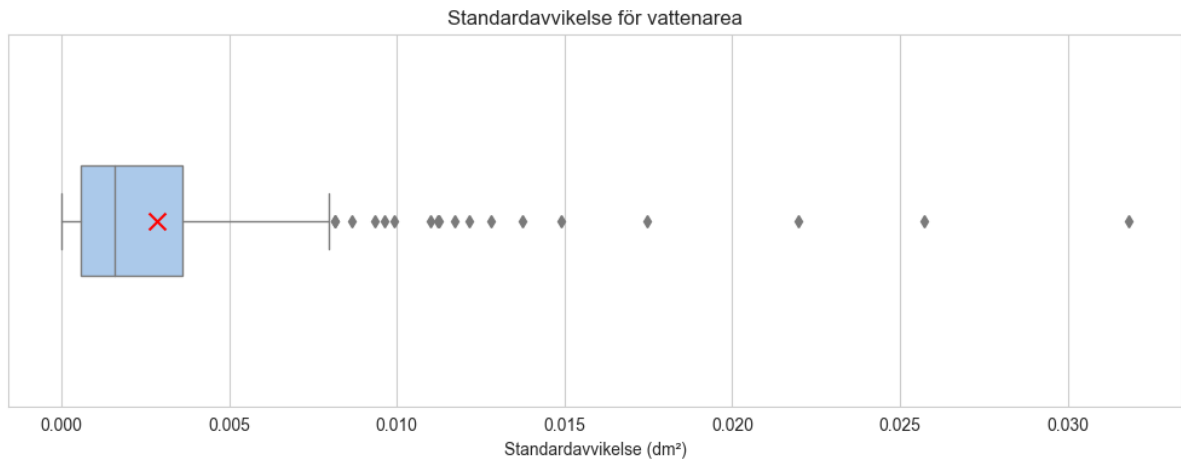
Figur 66 Fördelning av standardavvikelse för tvärfall, backighet och snedlutning. 75-percentilen anges av lådans övre gräns.

Repeterbarhetsstandardavvikelser för respektive mått är:

- tvärfall 0,04 %
- backighet 0,05 %
- snedlutning 0,04 %.

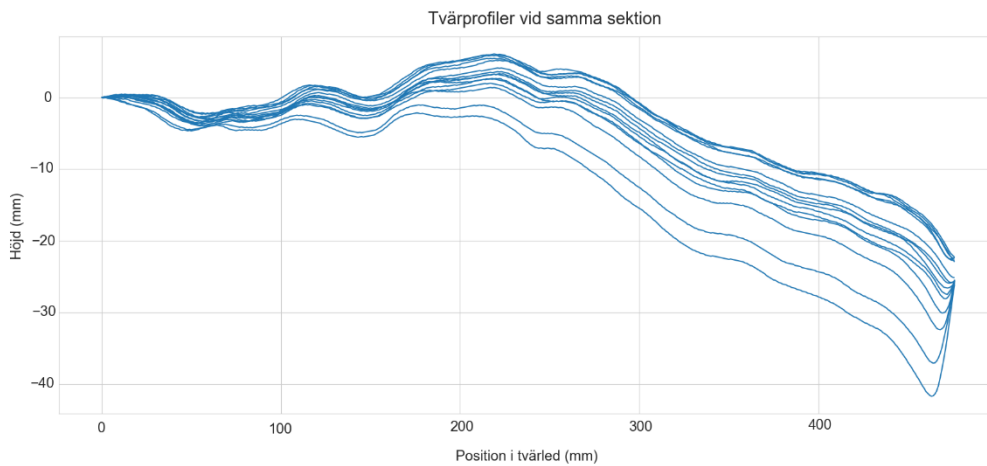
I Figur 67 nedan visas standardavvikelsen för den beräknade vattenarean. Standardavvikelsen är generellt under 0,005 dm², men kan vara över 0,03 dm².

Figur 68 visar de 15 tvärprofiler som har gett upphov till den största standardavvikelsen. Där syns att vissa tvärprofiler får med en djup grop på högersidan, orsakat av att fordonet hade ett sidoläge längre åt höger än vid övriga mätningar.



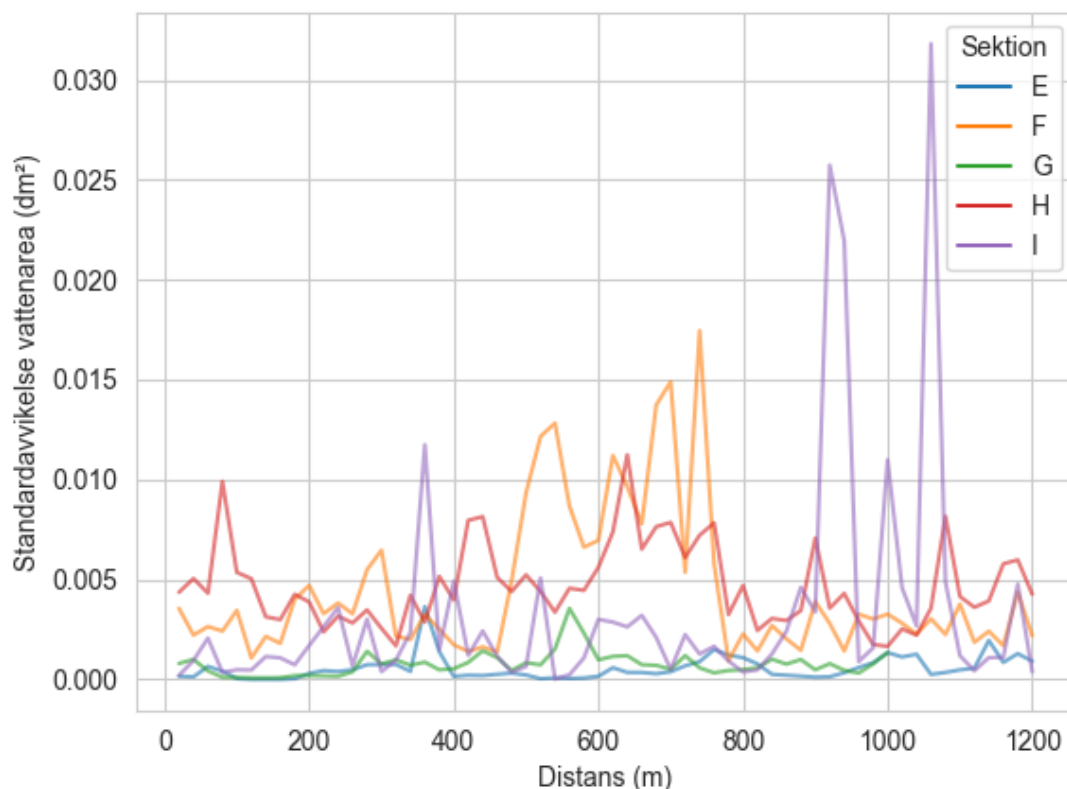
Figur 67 Lådagram av standardavvikelsen för beräknad vattenarea.

Repetierbarhetsstandardavvikelsen för vattenarea är 0,002 dm².



Figur 68 Profilsamlingen som ger störst utslag på standardavvikelsen. De olika profilerna har olika sidoläge, vilket gör stor skillnad för den beräknade vattenarean. X- och Y-axeln i mm.

I Figur 69 visas standardavvikelsen över sträckornas längd. Hög variation i vattenarea är ofta lokaliserad till enskilda sektioner, ofta i kombination av en skevningsövergång och stora spårdjup.

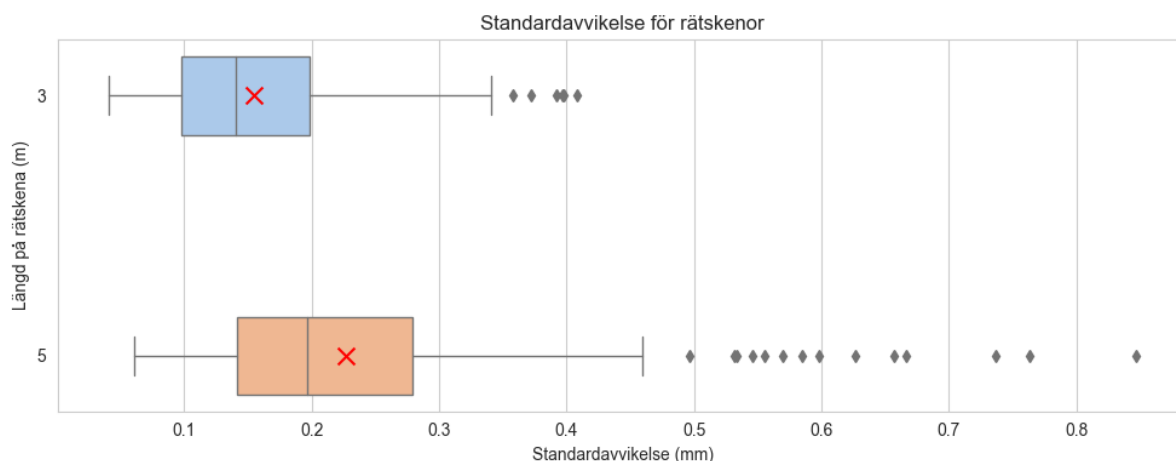


Figur 69 Standardavvikelsen för vattenarean över sträckans längd för fem teststräckor (benämnda E till I).

8.5. Lokala ojämnheter

För beräkning av standardavvikelser för de lokala ojämnhetsmåten användes data enligt punkt 1 i kapitel 8. Samtliga mätningar utfördes av en leverantör till Trafikverket.

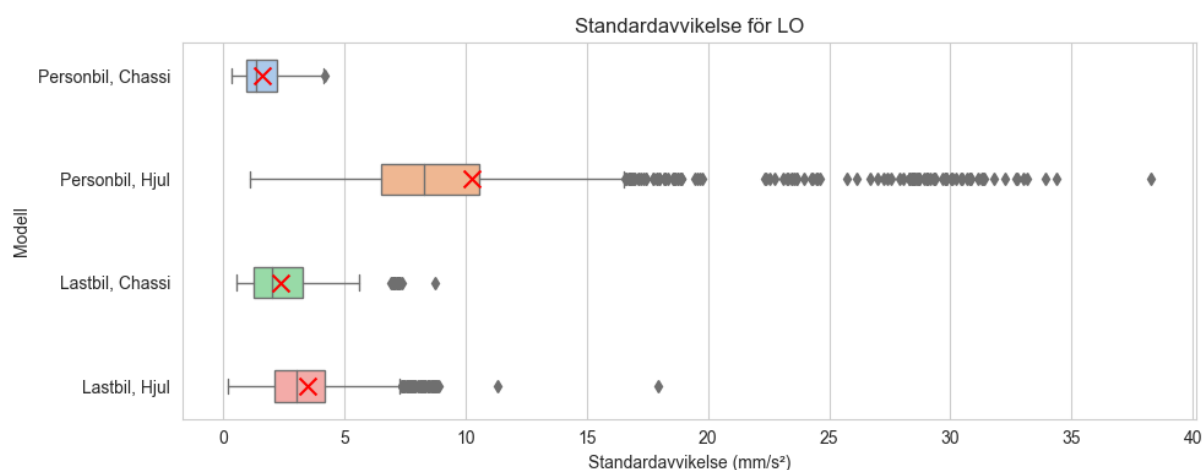
Två olika mått föreslås som alternativ för att beskriva lokala ojämnheter, beräknade rätskenevärden (med rätskenelängd 3 eller 5 meter) eller måttet lokala ojämnheter (LO), i någon av de fyra varianterna $LO_{chassiPB}$, LO_{hjulPB} , $LO_{chassiLB}$ eller LO_{hjulLB} . Figur 70 visar standardavvikelsen för de två rätskenemåtten och Figur 71 visar standardavvikelsen för de fyra LO-måtten. Standardavvikelsen är låg för rätskenemåtten, den 75:e percentilen ligger på 0,2 mm för 3 meters rätskena och 0,28 mm för 5 meters rätskena. LO_{hjulPB} visar på betydligt större standardavvikelse än de andra måtten, vilket är naturligt då accelerationerna i personbilshjulet normalt är betydligt högre än chassiaccelerationerna och accelerationen i lastbilens hjul. I rapporten (Lundberg, et al., 2015) beskrevs fördelningen av accelerationerna för de fyra olika LO-måtten för ett helt län. Ur den fördelningen går det att utläsa att accelerationerna är störst för LO-måttet LO_{hjulPB} och i fallande skala LO_{hjulLB} , $LO_{chassiLB}$ och $LO_{chassiPB}$. Dämpare och fjädring tar upp det mesta av energin när en personbil passerar en ojämnheter (hjulet accelererar kraftigt) medan en lastbil, som är betydligt tyngre, har styvare fjädring och en annan tröghet i kvartsbilsmodellen, får i genomsnitt högre chassiaccelerationer än personbilen.



Figur 70 Fördelningen av standardavvikelsen för rätskenevärden (3 och 5 meter långa).

Repetierbarhetsstandardavvikelse för respektive rätskena är:

- 3 m-skena 0,15 mm
- 5 m-skena 0,25 mm.



Figur 71 Fördelningen av standardavvikelsen för värden på lokala ojämnheter, uppdelat på olika fordonstyper och på hjul/chassi.

Repetierbarhetsstandardavvikelse för de olika mätetalen är:

- $LO_{chassiPB}$ 2 mm/s²
- LO_{hjulPB} 10 mm/s²
- $LO_{chassiLB}$ 3 mm/s²
- LO_{hjulLB} 3 mm/s².

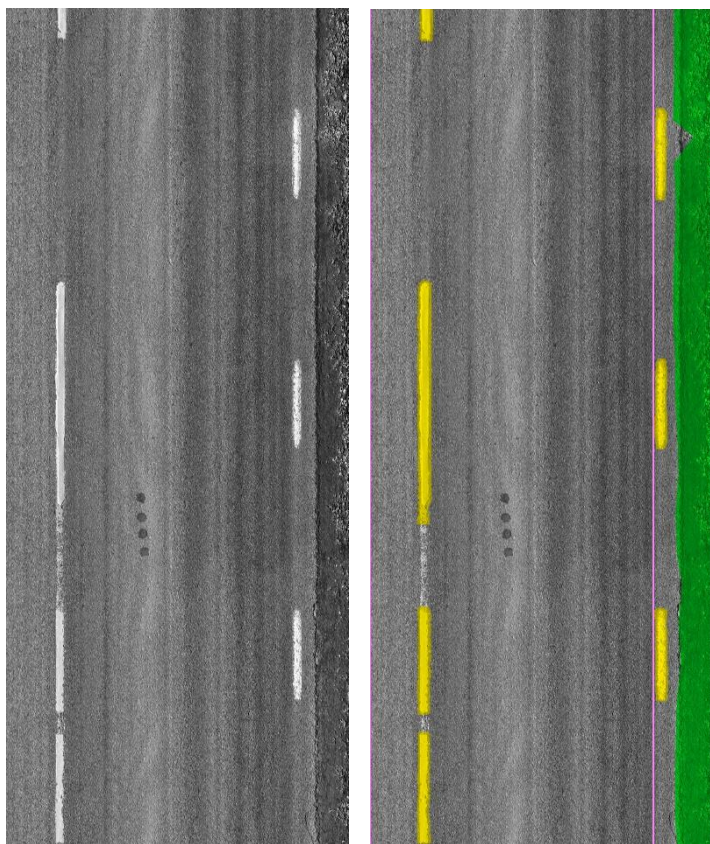
8.6. Andra metoder för spårdjup

8.6.1. Dynamisk mätbredd för tvärgående ojämnheter

Till skillnad från traditionella mätsystem med ett fåtal mätpunkter ger de nya mätsystemen med skannande laser eller linjelaser en möjlighet att detektera både vägmarkeringar och beläggningskanter. Denna information, tillsammans med hög punkttäthet, ger förutsättningar att beräkna spårdjup i

körfältet utan inverkan från vägmarkering eller företeelser utanför beläggningskanten. Detta benämns dynamiskt spårdjup, ett spårdjup beräknat från en tvärprofil med en mätbredd som varierar med vägens verkliga körfältsbredd. För att med säkerhet undvika att inkludera vägmarkeringarnas höjd i tvärprofilen tas 50 mm bort närmast vägmarkeringarna, det vill säga ett 3 200 mm brett körfält får en mätbredd av 3 100 mm. Detta kan vara användbart i exempelvis totalentreprenader med funktionskrav på spårdjup för att säkerställa att det maximala spårdjupet inom körfältet detekteras, men också för att undvika eventuell inverkan från vägmarkeringens höjd. Beräkningsprincipen för det dynamiska spårdjupet är samma som för det normala spårdjupet (Trafikverket, 2020B).

I Figur 72 visas ett exempel från en mätning av ett smalt körfält där de yttre delarna av mätningen täcker motgående körfält och ytan utanför beläggningskanten (vänstra bilden). I den högra bilden visas de med automatik detekterade vägmarkeringarna (gul färg) och delen utanför beläggningskanten (grön färg). Den cerisa linjen är den högra begränsningslinjen för hur långt ut mot vägrenen data ska användas.



Figur 72 Exempel på automatiserad detektering av vägmarkering och beläggningskant

Noggrannheten i att detektera vägmarkering och beläggningskant beror på hur tydliga dessa är. En sliten vägmarkering är följaktligen svårare att detektera än en ny vägmarkering. En beläggningskant som är ojämn och där höjdskillnaden mellan beläggningskanten och stödremsan/växtligheten är liten är svårare att detektera än en rak beläggningskant med en tydlig höjdskillnad mot stödremsan. För att testa precisionen i denna detektering har en slinga med varierande vägtyper mätts tre gånger. Vid mätningarna har mätbilen placerats i sidled som brukligt vid vägnätsövergripande mätning (i hjulspåren då dessa är synliga). Beroende på körfältsbredd och hjulspårens placering medför en sådan placering att både mittlinje och kantlinje/beläggningskant inte alltid täcks in. Mätningarna har analyserats med följande inställningar:

- Sektioner om 10 m används.
- Innerkant av vägmarkering detekteras.

- Om vägmarkering detekteras flyttas begränsningslinjen 50 mm mot centrum av körfältet, från positionen där markeringen detekterades.
- Om vägmarkering endast detekteras på en sida genomförs ovanstående punkt för sidan där markering detekteras medan begränsningslinjen för andra sidan placeras 3200 mm till höger eller vänster om detekterad begränsningslinje.
- Om ingen vägmarkering detekteras placeras begränsningslinjerna med ett avstånd på 3200 mm mellan varandra och med centrum i mätbilens centrumpunkt.
- Rondeller och 90-graders svängar har uteslutits ur beräkningarna.

I syftet att utvärdera repeterbarheten i den automatiserade detekteringen av vägmarkering har endast sektioner där både mittlinje och kantlinje detekterats i samtliga repetitioner använts. Detta eftersom avståndet mellan båda linjerna används för att bestämma repeterbarheten. De sektioner där någon av de tre mätningarna har ett beräknat avstånd på 3 200 mm mellan begränsningslinjerna har uteslutits i sammanställningen. För dessa sektioner antas att endast en vägmarkering har detekterats.

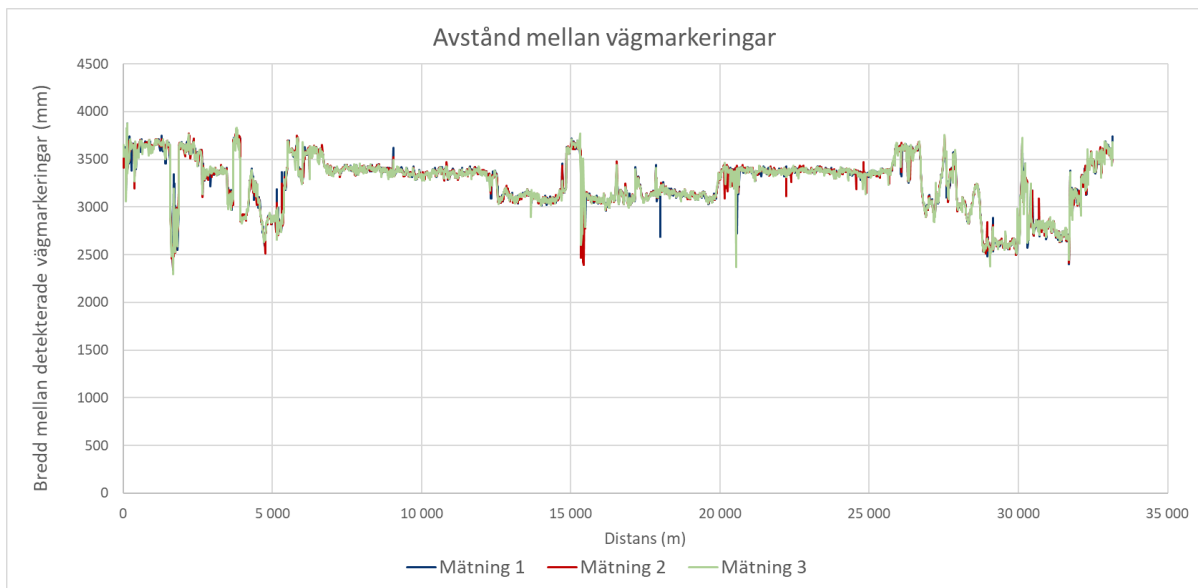
Den totala längden på slingan var ca 60 km och med ovan beskrivna filtrering återstod ca 33 km för bestämning av repeterbarhet. Orsaken till att knappt hälften av sträckan (ca 27 km) valdes bort från analysen är:

- Körfälten är för breda för att vägmarkeringarna ska rymmas inom mätbredden (ej synliga för systemet).
- Mätbilens sidoläge. Hjulspåren ligger förskjutna i sidled så att endast en vägmarkering ryms inom mätbredden.
- Mittlinje saknas.
- Vägmarkeringarna har varit för slitna för att kunna detekteras.
- Kombination av ovanstående.

I Tabell 13 redovisas skillnader i detekterad körfältsbredd mellan de tre olika mätningarna. I kolumnen max redovisas maximal avvikelse för de tre repetitionernas medel, median och olika percentiler för varje 10 meterssektion. Figur 73 visar detekterad bredd för repetitionerna.

Tabell 13 Differens (cm) detekterad bredd mellan vägmarkeringar för 10 meterssträckor mellan tre olika mätningar.

	1 mot 2	1 mot 3	2 mot 3	Max
medel	2,0	2,9	2,7	3,8
median	1,0	1,6	1,5	2,3
80-perc	2,5	3,7	3,3	4,7
90-perc	4,1	5,9	5,3	7,1
95-perc	6,3	9,1	8,4	11,6
99-perc	20,0	24,0	23,3	29,7



Figur 73 Detekterad bredd (mm) per 10m-sektion för tre mätningar.

Resultatet visar att den genomsnittliga skillnaden i detekterad bredd ligger mellan 2 cm och 2,9 cm för de tre mätningarna och att 95 procent av skillnaden av 10 meterssektionerna i detekterad bredd ligger under 11,6 cm. Orsaken till skillnaderna har ej undersökts. Mätningarna är utförda på ett vägnät med olika vägtyper och markeringar samt annan vägutrustning som kan inverka på resultatet. På vägnätsnivå är en automatiserad bestämning av mätbredd nödvändig men vid mätning av enskilda objekt, med en homogen körfältsbredd, är det lättare att upptäcka och korrigera för isolerade orimliga avvikelser.

Felkällor vid bestämning av körfältsbredd kan vara en eller flera av nedanstående.

- Vägmarkeringen slits och kan därmed ej detekteras av systemet.
- Dammbildning minskar kontrasten mellan vägens beläggning och markeringen så att systemet ej kan identifiera markeringen.
- Fukt och solljus kan försvåra detekteringen av markeringen.
- Olika kombinationer parallella vägmarkeringar, heldragen och streckad mittlinje.

8.6.2. Dynamiskt spårdjup

Ett dynamiskt beräknat spårdjup kommer introduceras i Sverige från och med säsongen 2026. Det kommer inte ersätta det traditionella spårdjupet utan användas som ett alternativ och till början för utvärdering. Syftet med införandet av dynamiskt spårdjup är att skapa ett spårdjup med mindre felkällor för att få säkrare trender för hur spårbildningen utvecklas på vägnätet (oberoende av mätbilens sidoläge). Beräkningen av det dynamiska spårdjupet bygger på en tvärprofil som tas fram enligt förgående kapitel. En preliminär beskrivning av dynamiskt spårdjup finns, dock ej publicerad (2025). Principerna kan sammanfattas med nedanstående punkter.

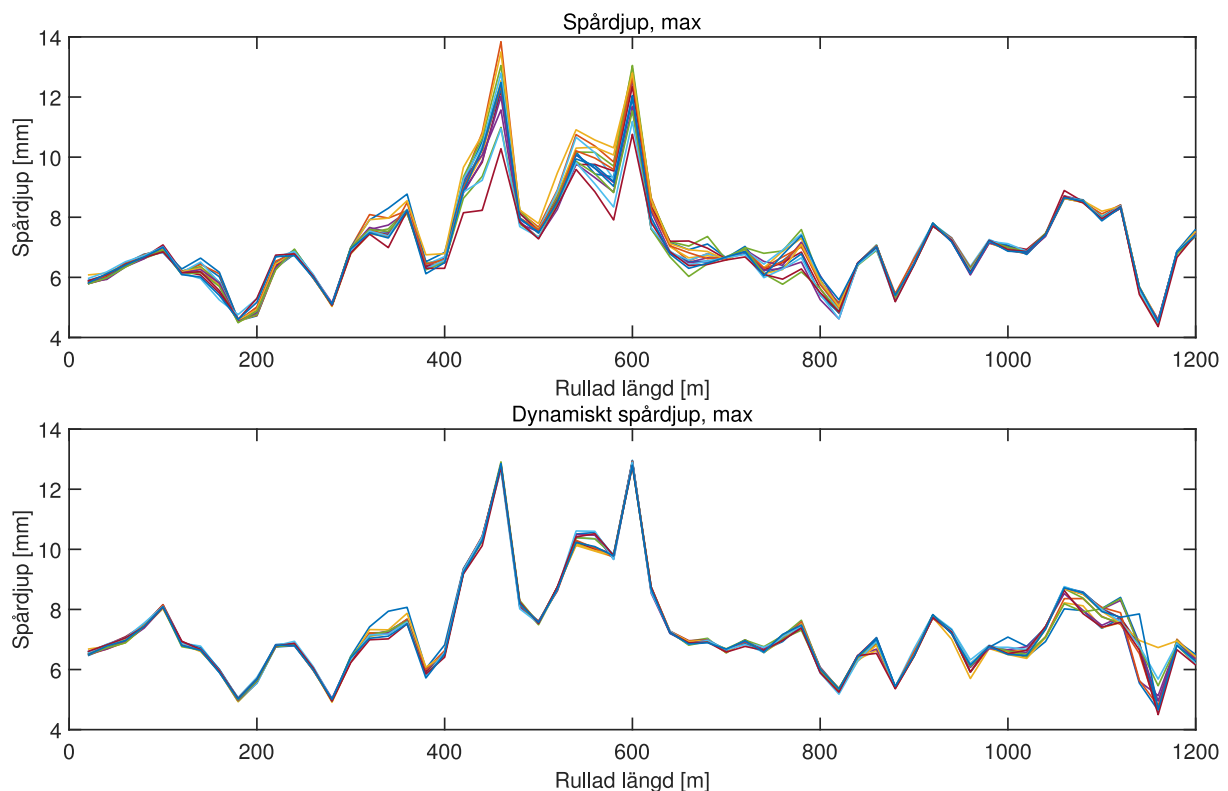
- För vägar *med mittlinje* detekteras positionerna för innerkant på mittlinje och kantlinje. Dessa positioner flyttas därefter fem cm inåt och mätbredden definieras från dessa positioner. Detekterade positioner benämns begränsningspunkter.
- För vägar *utan mittlinje* detekteras positionen för kantlinjen och begränsningspunkten flyttas även i detta fall fem cm inåt. Mätbredden definieras som ytan 320 cm till vänster begränsningspunkten.

- För vägar där *inga vägmarkeringar* kan detekteras används positionen för beläggningsskanten och begränsningspunkten väljs 20 cm inåt. Mätbredden definieras som 320 cm till vänster om begränsningspunkten.
- För vägar där varken vägmarkering eller beläggningsskant kan detekteras definieras mätbredden som 320 cm med utgångspunkt från mätbilens centrumpunkt.
- Olika kombinationer kan sedan uppträda, t.ex. då mittlinje finns men kantlinjen är bortsliten. I detta fall träder detektion av beläggningsskant in och definierar den högra begränsningspunkten.
- Spår djupet beräknas därefter på den mätbredd som definieras av begränsningspunkterna.

Ett exempel på effekten av dynamiskt spår djup visas i Figur 74. Data kommer från kategori 1 i kapitel 8. Den övre figuren visar spår djupet beräknat med fast sidoläge och den nedre visar spår djupet beräknat från en tvärprofil som väljs dynamiskt med utgångspunkt från vägmarkeringarna. Generellt är spridningen mellan de 15 repetitionerna mindre med det dynamiska spår djupet men vid partiet kring 1 100 meter har det dynamiska spår djupet större spridning. Det kan finnas flera olika orsaker till den ökade spridningen vid sektion 1 100 meter, den troligaste är att det är en vägmarkering som är sliten och svår att detektera. Standardavvikelsen per 20 m beräknat från beräkning av,

- spår djup max är 0,24 mm
- dynamiskt spår djup är 0,11 mm

På denna sträcka halverades spridningen.



Figur 74 Jämförelse av spår djup beräknat med traditionell metod (fast sidoläge) och dynamiskt spår djup (sidoläge inom vägmarkeringar).

9. Demonstration av föreslagna mått

De mått som lyfts fram i denna rapport behövde förankras hos Trafikverket och i entreprenörsleden. Samtidigt behövde projektgruppen återkoppling på måttens användbarhet och tillförlitlighet. Med dessa ambitioner bjöds flera personer från Trafikverket och de större entreprenörerna in till en demonstration av måtten. Två inbjudna arbetar på Trafikverket som ansvariga för beläggningsplanering och får anses som experter på att bedöma vägars tillstånd. De andra inbjudna var personer med djup insikt och kunskap om vägytans tillstånd och vägytemätning.

9.1. Beskrivning av genomförande

9.1.1. Deltagare och genomförande

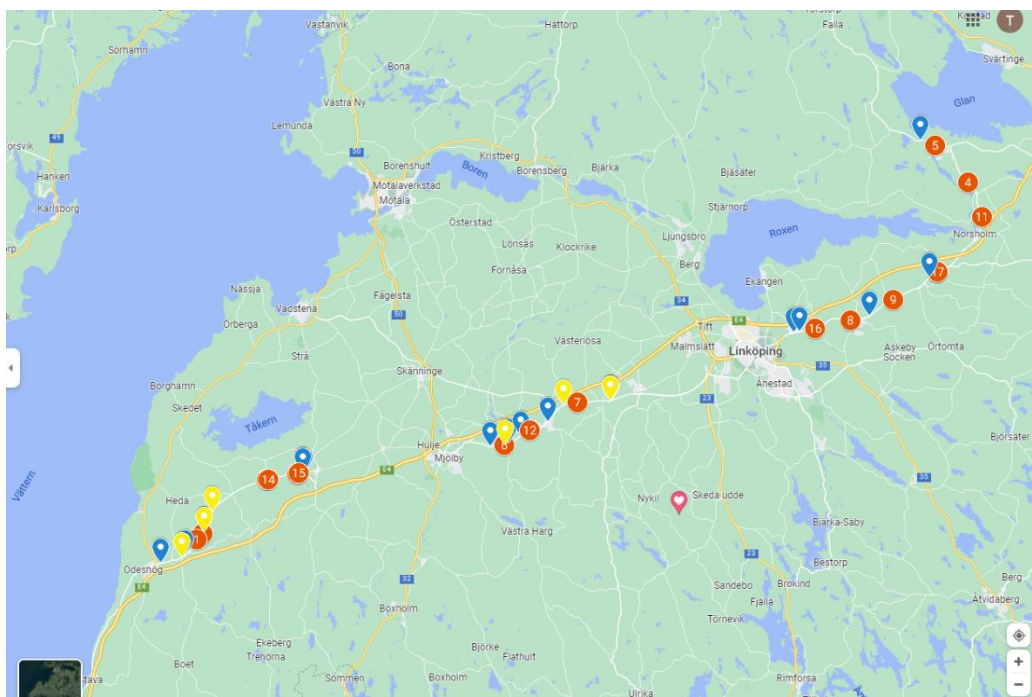
Under hösten 2022 arrangerade VTI och Ramboll en träff med deltagare från flera olika aktörer, inklusive NCC, Skanska och Trafikverket. Två av personerna från Trafikverket arbetar professionellt med beläggningsplanering där besiktning i fält ingår som ett moment och resterande personer har god eller mycket god kunskap om beläggningar och underhållsfrågor. Syftet med träffen var att genomföra en besiktningssrunda där deltagarna besökte förutbestämda objekt och bedömde olika mått, som hade mätts in före besiktningen. Målet med träffen var att utvärdera hur väl de föreslagna måtten speglade vad som kan observeras okulärt och i termer av upplevelsen i bilen. Under besiktningssundan uppmanades deltagarna att sammanfatta sina bedömningar i ett protokoll, se Bilaga 1. Det upprättades en TA-plan och en lastbil med TMA-skydd användes vid besiktning i fält. Totalt deltog elva personer i träffen, varav nio hade möjlighet att fylla i protokollet för utvärderingen. Träffen inleddes av en presentation av måtten med fokus på beräkningsprincip och vilka egenskaper som måtten anses beskriva samt statistik för normala nivåer för måtten.

9.1.2. De valda objekten och måtten som ska utvärderas

De olika testvägarna fanns i Östergötland och var följande:

- E918 (gamla E4 Väderstad - Ödeshög)
- E796 (gamla E4 Linköping - Norsholm)
- E215 (primär länsväg Norsholm - Finspång)
- E636 (gamla E4 Linköping - Mantorp)

På dessa vägar fanns objekt/platser som delades in i olika kategorier baserat på om de är intressanta för ett eller fler mått. Figur 75 visar objektens läge och Tabell 14 vilka mått som varit intressanta att studera och bedöma. I sammanställningen tas endast svar med från de vägar som ansetts relevanta för ett visst mått och som rymdes inom den tid som förfogades.



Figur 75 De valda objekten, där gula nålar visar lokala ojämnheter, rätskenevärden och underhållsindex (UI), blå visar sättningar och röda ringar med siffror visar sträckor med sprickor/ytskador samt vattenavrinning. Karta från Google Maps.

Tabell 14 Sammanställning av vilka mått som studerades tillsammans med vägbeteckning, beläggningstyp och ålder. LO = Lokala ojämnheter, UI = Underhållsindex.

Vägsträcka/ plats	Beläggning	Bel.åld	Bel	Kommentar	Sprickor	Ytskador	Sättningar	Vatten- avrinning	LO	Rätskene- värden	UI
796 3_sp	ABS16	8	2014		X						
918 1_sp	F ⁸ (HABT)	3	2019	1988 på bel.	X						
636 3_st	ABS16	1	2021	2011 (skarv) ⁹		X					
918 1_st	F (HABT)	3	2019	1987 på bel.		X					
796 4_st_l_mp	ABT16	12	2010			X					
636 2_av	ABT16	1	2021					X			
918 3_av	F (HABT)	3	2019	1988 på bel.				X			
918 4_av	F (HABT)	3	2019	1988 på bel.				X			
636 A	ABS	1	2021	2012 (skarv)			X		X	X	X
636 B	ABS	11	2011				X		X	X	X
636 E	ABT	1	2021				X		X	X	X
636 G	ABS	7	2015				X		X	X	X
918 väst B	F	3	2019				X		X	X	X
918 väst C	F	3	2019				X		X	X	X
918 öst A	ABT	6	2016				X		X	X	X
918 öst B	ABT	4	2018				X		X	X	X
796 öst D	F	3	2019				X		X	X	X

⁸ F innebär försegling, i detta fall omfattande, kommentarsfältet anger underliggande beläggning i de fall det finns angivet.

⁹ ”Skarv” innebär att måttet beskriver området kring övergången mellan en nyare och äldre beläggning.

9.1.3. Upplägg av protokollet för utvärderingen

I protokollet bedömdes vägarna efter ett antal olika kategorier av mått. Dessa kategorier och de relevanta objektiva måtten som skulle bedömas presenteras i Tabell 15. Olika mått utvärderades på olika sätt i protokollet, dels genom en gradering, dels en bedömning om vägvägnittet skulle underkännas enligt olika besiktningskategorier, dels genom frågor (se Bilaga 1). För varje besiktningsplats fanns en beskrivning av testområdet som underlag för bedömaren, se Bilaga 6. Sprickor, ytskador och vattenavrinning utvärderades genom att deltagarna fick rimlighetsbedöma om de objektiva måttens mätvärden motsvarar det som en okulär besiktning ger med en skala 1–5, där 5 är bra. Sättningar utvärderades genom att deltagarna dels fick svara på om de tyckte att måtten (rätskena 10, 50, 100 m) var representativa för vägen (ja/nej), dels fick bedöma om vägen skulle ha varit underkänd vid olika typer av besiktningar. De fem besiktningskategorierna inkluderade totalentreprenad (efter nybyggnad/nytt slitlager eller under funktionstiden), underhållsbesiktning (efter nybyggnad/nytt slitlager eller under funktionstiden) och slutligen garantibesiktning under funktionstiden. Ojämnheter och sammanslaget underhållsbehov utvärderades även de med bedömning kring huruvida vägen skulle ha varit underkänd vid olika typer av besiktningar. Notera att deltagarna svarat på frågan: ”Skulle vägen varit underkänd vid okulär besiktning?” och inte frågan ”Borde vägen vara underkänd?”.

Tabell 15 Kategorier av skador eller problem på vägen och de respektive mått som undersökts för varje kategori.

Subjektiv bedömning (baseras på protokollet)	Objektiva mått (uppmätta med mätbil)
Sprickor	Sprickdetektion via LCMS
Ytskador (tre mått LCMS, Ytskada Mega, Ytskada MPD)	Stensläppdetektion via LCMS, Megatextur, MPD
Sättningar	Rätskenor 10, 50, 100 meter
Vattenavrinning (avvattning/vattenarea)	Vattenarea/snedlutning
Lokala ojämnheter (LO)	Lokala ojämnheter (LO) ($LO_{chassiPB}$, LO_{hjulPB} , $LO_{chassiLB}$, LO_{hjulLB} , se avsnitt 7.5.2) och Rätskenor 3 och 5 meter
Underhållsindex	Underhållsindex (UI)

För utvärdering av sprick- och stensläppdetektion tillhandahölls bilder där de detekterade skadorna markerats, se ett exempel på markering av sprickor i Figur 4. För stensläpp användes bilder som visade RI-värdet (Ravelling Index) för varje meter beläggning med 13 rutor i bredd, likt beskrivningen i kapitel 7.2.2.

För utvärdering av megatextur och MPD som ytskademått tillhandahölls mätvärden med en meters upplösning i längsled i ett diagram. Megatextur och MPD bedömdes i regel parallellt på samma sträckor.

Rätskenevärden, både de som används som indikatorer på sättningar (10, 50 och 100 meter) och de som avser lokala ojämnheter (3 och 5 meter), tillhandahölls per 20 meter i längsled i ett diagram. Detsamma gäller för måttet underhållsindex (UI) (Lundberg, et al., 2020).

Värden för de fyra lokala ojämnhetsmått ($LO_{chassiPB}$, LO_{hjulPB} , $LO_{chassiLB}$, LO_{hjulLB}) tillhandahölls i ett diagram med en meters upplösning. Utvärderingen utfördes i huvudsak okulärt. Lokala ojämnheter utvärderades även genom överfart med bil där bedömarna var passagerare. Syftet med måttet är bland annat att beskriva obehag som uppstår för förare och passagerare vid överfart med ett fordon, till skillnad från de andra måtten som främst handlar om vägens tekniska tillstånd.

För att utvärdera måtten snedlutning och vattenarea tillhandahölls ett diagram som visade dessa två mått där snedlutningen presenterades per meter och vattenarean per 20 meter i längsled.

9.1.4. Bortfall och databearbetning

Bortfall kan förekomma på flera olika nivåer bland protokollsvaren. Några deltagare lämnade enbart in svar för vissa objekt. Även om en deltagare lämnade in ett protokoll för ett objekt kan den vara ofullständig om en del bedömningar saknas. Samtliga figurer från utvärderingen har N=9, där andelen ”inget svar” också redovisas.

En brist i upplägget av protokollet är att det inte går att skilja om det var en godkänd besiktning (=blankt svar) eller om deltagaren har avstått att svara på frågan eller bedömningen (=ej fyllt i). I de flesta fall där deltagarna har lämnat in ett ifyllt protokoll kan ett blankt svar antas vara ett godkänt vägvagnsnitt. I svårbedömda fall kan deltagarna ha avstått från att svara och i stället kompletterat med fritextkommentarer. För att särskilja dessa två fall benämns de som ”ingen åsikt” (ibland ”godkänd/ingen åsikt”) och ”inget svar”.

Sträcka 636 C har utelämnats ur analysen med anledningen att endast två deltagare fyllt i information kring denna sträcka. Sträckan skulle ha använts vid bedömningarna av lokala ojämnheter och underhållsindex. Vägen var i gott skick och hade mycket låga värden för både lokala ojämnheter och underhållsindex.

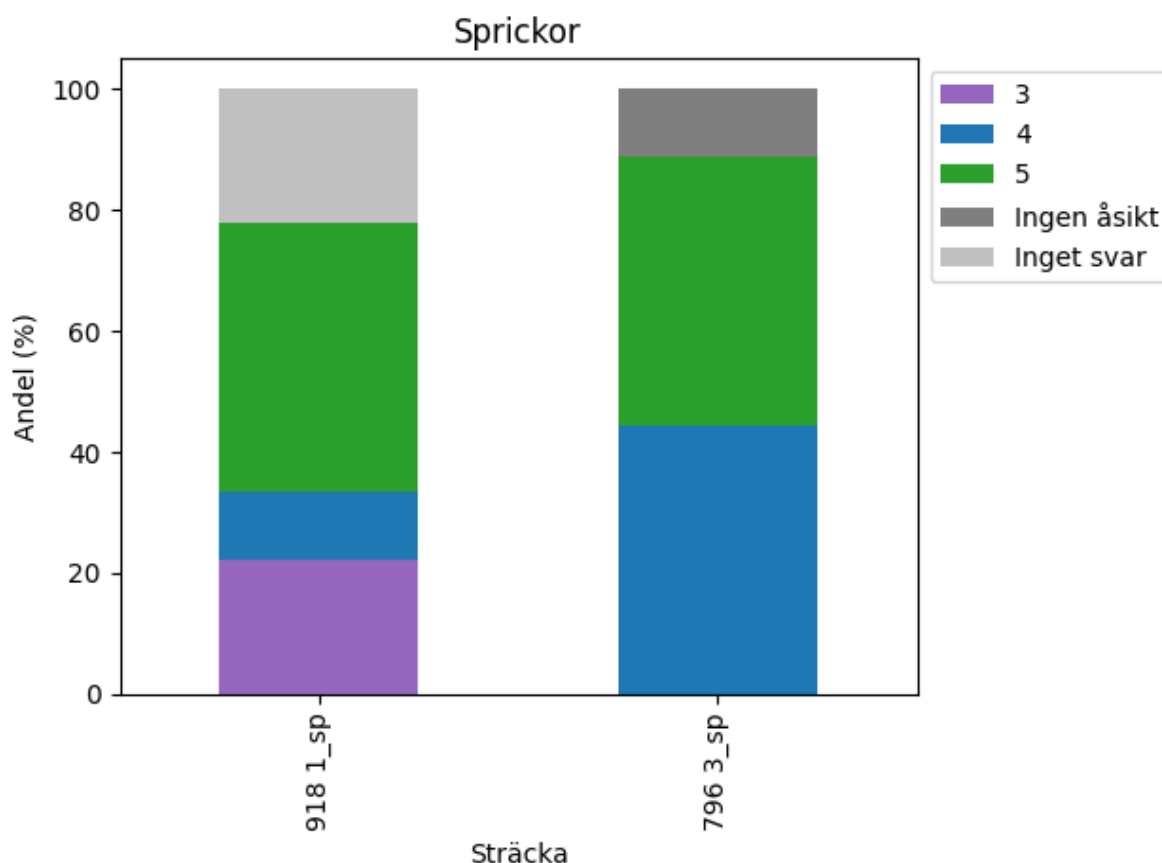
9.2. Resultat från utvärderingen

Nedan redovisas resultat från utvärderingen av de olika måtten. I de fall inget svar har noterats i protokollet har detta klassats som ”ingen åsikt” om bedömaren har i övrigt lämnat svar angående vägen i fråga. Om bedömaren inte lämnat någon information om vägen i fråga har detta klassats som ”inget svar”.

På grund av hur vissa av frågorna i enkäten var utformade, till exempel ”Skulle vägen varit underkänd vid okulär besiktning?” med enbart en ruta att fylla i, innebär en otydlighet i hur en icke-ifylld ruta ska tolkas. I detta fall kan en icke-ifylld ruta innebära en av tre saker: att vägen inte skulle vara underkänd vid besiktning, att bedömaren inte har haft en åsikt, eller att bedömaren inte lämnat in ett svar. I resultatredovisningen har därför en icke ifylld ruta klassats som ”godkänd/ingen åsikt”, såvida inget har fyllts för aktuell väg, då det likt tidigare resonemang klassats som ”inget svar”.

9.2.1. Sprickor

Det fanns endast två objekt tillgängliga, 796_3_sp och 918_1_sp för bedömningen av sprickmåttet. För 796 fanns det fogsprickor samt tvärgående sprickor och för 918 förekom det sprickor i gammal beläggning, snabellagad, men spruckit igenom igen. Till sin hjälp hade deltagarna bildstöd (se Bilaga 6) som visade var sprickorna hade detekterats med hjälp av LCMS. I Figur 76 visas bedömningen från deltagarna. Ingen gav bedömningen 1 eller 2. Av de som svarat uppvisar det objektiva måttet på god överensstämmelse, där väg 918 har något lägre bedömning än väg 796 av de som svarat. I fritextkommentarerna finns indikationer att det objektiva måttet uppvisat sprickor i områden där ingen spricka faktiskt existerar, som exempelvis när stenar har lossnat från beläggningen.



Figur 76 Bedömning av hur väl det objektiva måttet sprickor överensstämmer med en okulär besiktning. Resultat från utvärderingen är uppdelat per sträcka.

Medelbetyget för LCMS-måttet var 4,4 (5 motsvarar bra på bedömningskalan) då svaren ”ingen åsikt” och ”inget svar” uteslutits.

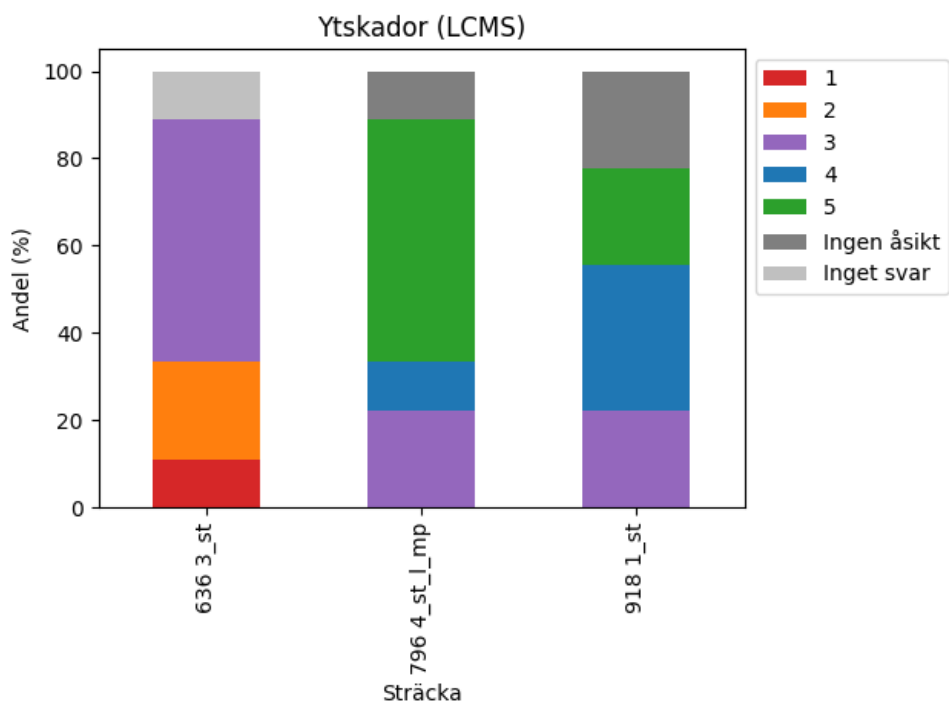
9.2.2. Stensläpp (ytskada)

För ytskador av typen stensläpp fanns tre objekt tillgängliga, 636_3_st, 796_4_st_1_mp och 918_1_st. Det första objektet (636) hade ett område som sträckte sig över en beläggningsskarv mellan en ny och gammal beläggning. För detta objekt var stensläpp uppmätt för den nya beläggningen men inte för den gamla. För 796 förekom det stensläpp vid en dygnsskarv (troligtvis kall asfalt i sista lasset för dagen) och för 918 uppmättes stensläpp utanför hjulspår på gammal beläggning.

I protokollet fanns tre olika mått för ytskador av typen stensläpp, LCMS, Mega och MPD som skulle bedömas. Mega, det vill säga megatextur, utesluts ur resultatredovisningen eftersom svarsfrekvensen var mycket låg och svar saknas helt för en del av de utvalda sträckorna.

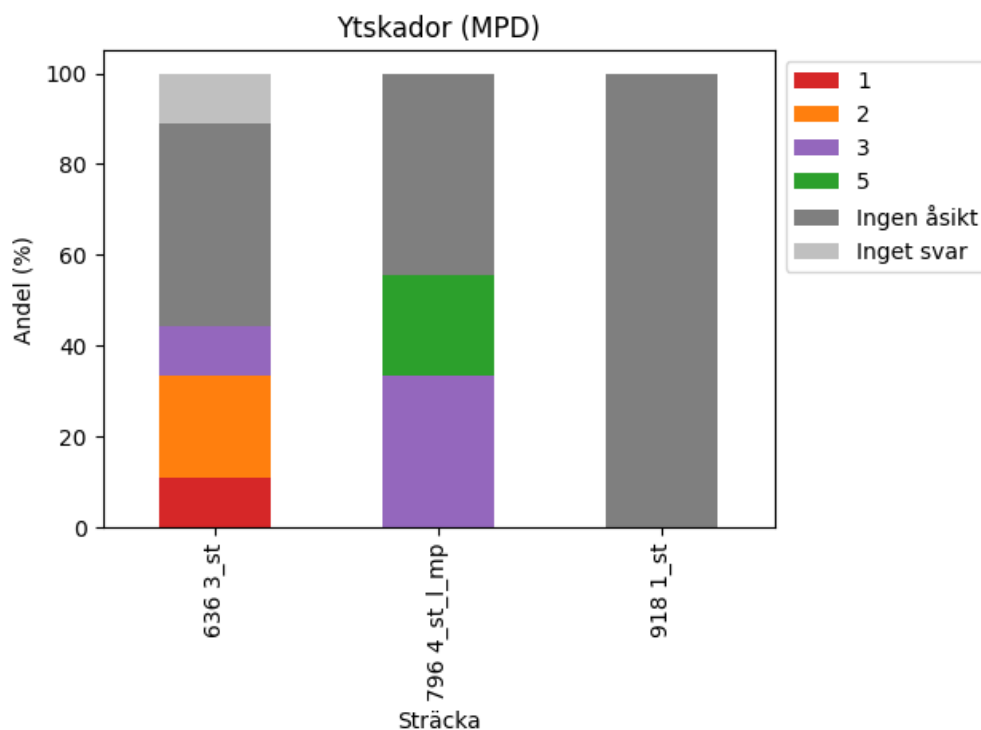
Figur 77 och Figur 78 visar bedömarnas åsikter om hur väl underlaget från LCMS och MPD representerar de ytskador som finns på vägen. De var få som svarade på hur väl MPD uppfattar ytskador, men baserat på de bedömningar som finns verkar det finnas en likvärdig värdering av bedömningen för både LCMS och MPD.

Över lag har LCMS fått mer positiva omdömen än MPD. Vid sträcka 636_3_st framkommer det i fritextkommentarerna för LCMS att vissa avvikelser i data inte går att återfinna samt att en del skador inte fångats av mätdata. Det påpekas även i samband med objektet 918_1_st att metoden fångar stensläpp bra, men alla uppmätta stensläpp behöver nödvändigtvis inte indikera ett underhållsbehov, eftersom indikationerna beror på beläggningstypen.



Figur 77 Bedömning av hur väl det objektiva måttet (LCMS) överensstämmer med en okulär besiktning gällande ytskador. Resultat från utvärderingen är uppdelat per sträcka.

Medelbetyget för de som svarade var 3,63 för ytskador med LCMS (5 motsvarar bra på skalan) då svaren ”ingen åsikt” och ”inget svar” uteslutits.

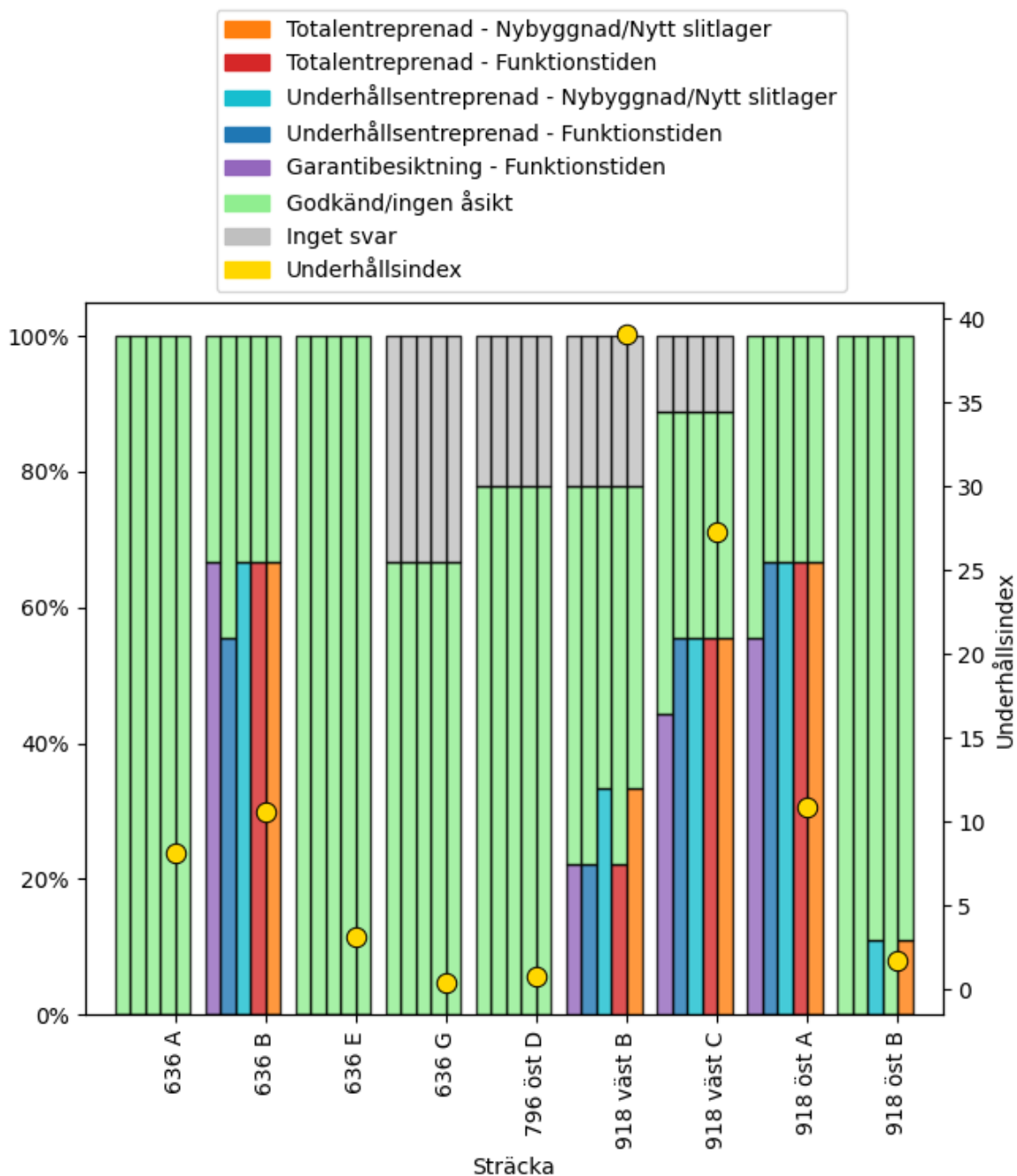


Figur 78 Bedömning av hur väl det objektiva måttet (MPD) överensstämmer med en okulär besiktning gällande ytskador. Resultat från utvärderingen är uppdelat per sträcka.

Bortfallet var betydande för MPD men medelbetyget från de som svarade var 2,9 då svaren ”ingen åsikt” och ”inget svar” uteslutits.

9.2.3. Underhållsindex

Underhållsindex, som beskrivs mer utförligt i (Lundberg, et al., 2020) och kapitel 7.2.2, är ett sammanslaget mått för att beskriva generella och lite grövre ytskador än stensläpp. En figur i protokollet användes som underlag för att deltagarna skulle få en känsla för måttet vid okulärbesiktningen. Figur 79 visar fördelningen mellan antalet underkända besiktningstillfällen och det beräknade underhållsindex för vägavsnittet. Väg 918 väst C väljs som ett exempel på hur detta ska tolkas. Här var värdet för underhållsindex ca 27, och omkring hälften av deltagarna har röstat för fullt underkännande av vägen. Den andra hälften har röstat för inget underkännande eller ingen åsikt. En liten grupp skulle ha godkänt vägen vid garantibesiktning men underkänt den för andra mått på samma sträcka. Om i stället 636 A med ett underhållsindex på ca 8 studeras kan man utläsa att alla deltagare är helt överens om att sträckan är godkänd eller inte har någon åsikt. Noterbart är många har godkänt sträckan eller inte har någon åsikt, även vid höga indexvärden, som för exempelvis sträcka 918 väst B. Här bör man vara medveten om att det inte är möjligt att skilja på ”godkänt” från ”ingen åsikt”, det vill säga, att deltagaren inte svarat i frågan.



Figur 79 Andel (%) underkända besiktningar uppdelade efter hypotetiskt besiktningstillfälle, samt sträckornas beräknade underhållsindex.

I figuren kan man också utläsa att högt underhållsindex inte nödvändigtvis betyder stor andel underkännande och vice versa. Detta styrks av korrelationsvärdet som ger ett ganska svagt samband (0,58). Fritextkommentarerna refererar sällan till underhållsindex, men när de väl gör det, handlar det oftast om att värdet upplevs som antingen för högt eller för lågt, eller att själva måttet är svårförståeligt.

9.2.4. Sättningar

För sättningar fanns det nio sträckor tillgängliga För att upptäcka sättningar beräknades värden för rätskenor med längderna 10, 50 och 100 meter från vägens längsprofil. I Tabell 16 finns de vägsträckor som har höga värden och som hade valts ut för okulärbesiktning och bedömning vid passage i fart.

Tabell 16. Värden för rätskena för 10, 50 respektive 100 meter uppdelat per vägsträcka.

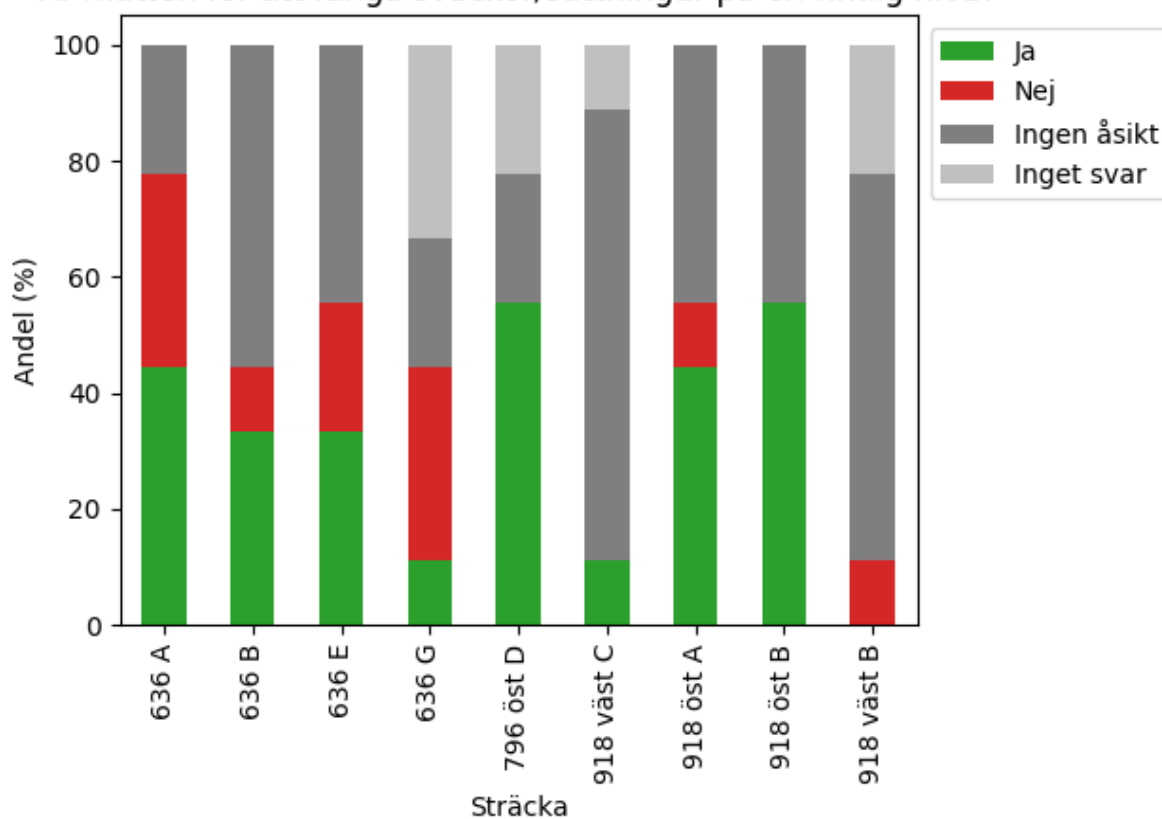
Vägsträcka	Rätskena 10 m (mm)	Rätskena 50 m (mm)	Rätskena 100 m (mm)
636 A	9,95	61,09	63,69
636 B	10,67	10,74	18,39
636 E	12,68	101,78	105,34
636 G	16,01	123,03	136,80
918 väst B	7,36	27,50	43,98
918 väst C	19,56	31,67	31,67
918 öst A	32,91	92,60	104,11
918 öst B	30,77	126,08	150,74
796 öst D	20,18	58,19	65,12

Rätskenevärdena användes som underlag när deltagarna fick i uppdrag att dels bedöma om dessa mått är användbara för att fånga sättningar, dels ange om vägen skulle vara underkänd eller inte. I Figur 80 visas svaren från deltagarna om huruvida måttet kan fånga svackor eller inte, uppdelade per sträcka. För denna fråga i protokollet var det vanligt att deltagarna inte hade någon åsikt, mellan 22 och 78 procent. Om man bortser från de som inte hade någon åsikt eller inte svarat alls skapas två grupperingar av sträckor: en grupp där måttet verkar fylla sin funktion och en grupp där det inte gör det. Gruppen där måttet inte verkar fylla sin funktion består av (det vill säga de som svarat ”nej” eller där svaren är tvetydiga): 636 A, 636 E, 636 G, 918 väst B och väst C. Dessa sträckor studeras närmre.

I många fritextkommentarer för 918 väst B framkom att svackan inte syns visuellt men känns från bilen, vilket tolkas som att det uppmätta värdet från rätskenorna indikerat sättningen korrekt. Kommentarererna för sträckorna 636 A och 636 E samt 918 väst C, handlar mer om andra aspekter än de beräknade värdena från rätskenorna, vilket gör det svårt att avgöra varför deltagarna är oense om hur väl måtten representerar vägen. Enligt en majoritet av deltagarna fanns det en svacka på sträckan 636 G, men utslaget för rätskenemåttet ansågs vara alltför högt. Ingen ansåg att svackan utgjorde något problem och deltagarna angav att svackan var mycket mild, vilket antyder att det uppmätta värdet från rätskenorna inte återspeglar ett underhållsbehov men att den finns¹⁰.

¹⁰ En sättning som upptäcks med en 100 meter lång rätskena kan vara projekterad. Sättningen blir normalt först ett problem om tillväxttakten ökar (strukturella problem och i vissa fall rasrisk).

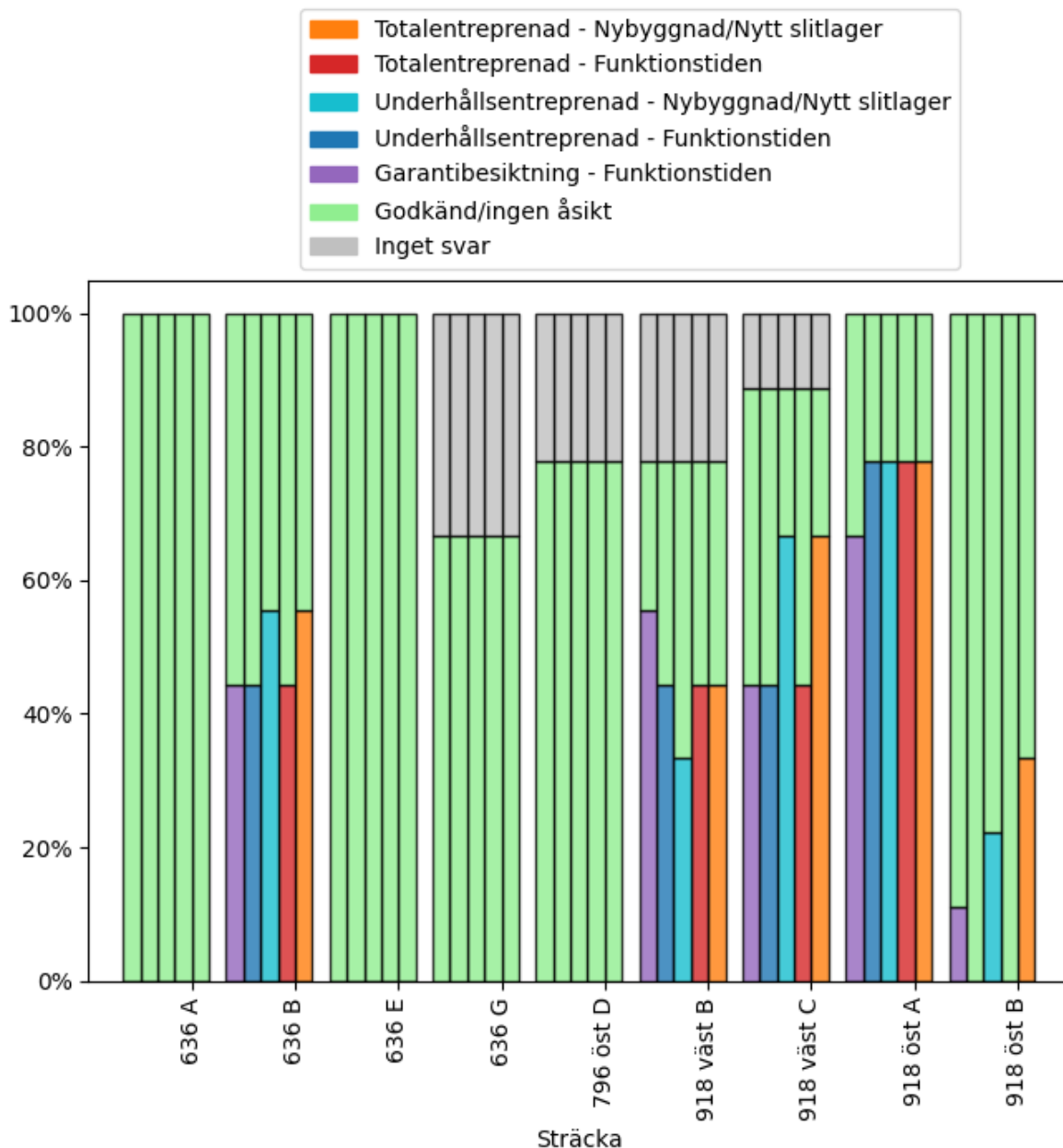
Är måtten för att fånga svackor/sättningar på en rimlig nivå?



Figur 80 Bedömning av hur väl det objektiva måttet (i detta fall värden från rätskenor på 10, 50 och 100 m.) överensstämmer med okulärbesiktning samt upplevelsen i bilen. Svaren är uppdelade per sträcka.

Medelbetyget var 66 % ”Ja”. Samtidigt kan man notera att bortfallet är stor.

Figur 81 visar besiktningresultaten för de olika sträckorna. Fyra av sträckorna, 636 A, 636 E, 636 G, 796 öst D bedömdes som godkända medan de övriga hade fått bedömning underkänt av minst en person och minst tre typer av besiktningar. Vid jämförelse med Figur 80 ovan noteras att det finns sträckor där en majoritet av ja-svar har lett till underkännande likväl som godkännande, som exempelvis 918 öst A och 796 öst D, och samma sak för sträckor med en majoritet av nekande svar, såsom för 918 väst B och 636 G.



Figur 81 Andel (%) underkända besiktningar av sättningar uppdelade efter olika syften/typer av besiktningar. Allt utom grön (godkänd/ingen åsikt) och grå färg (inget svar) är underkänt.

Det råder konsensus kring att fyra av vägarna är underkända. Man kan dock se att för övriga vägar är svaren polariserade med ungefär hälften som godkänner respektive underkänner.

Tabell 17 visar korrelationen mellan de olika rätskenevärdena samt hur många besiktningar som skulle ha blivit underkända, beräknat över alla enkätsvar. Värdena för rätskenor för 50 och 100 meter visar på en stark korrelation (0,992), vilket ska tolkas som att båda måtten förklarar samma sak. Rätskenan för 10 meter uppvisar relativt svag korrelation gentemot 50 och 100 meter, vilket ska tolkas som att den fångar upp andra aspekter än dessa två. Jämförelsen mellan underkända besiktningar och rätskenorna av längd 50 och 100 meter visar på svag korrelation som dessutom var negativ. En förklaring till detta är att sträckor med höga värden för långa rätskenor har inga underkännanden, och dessa sträckor utgör hälften av det insamlade materialet.

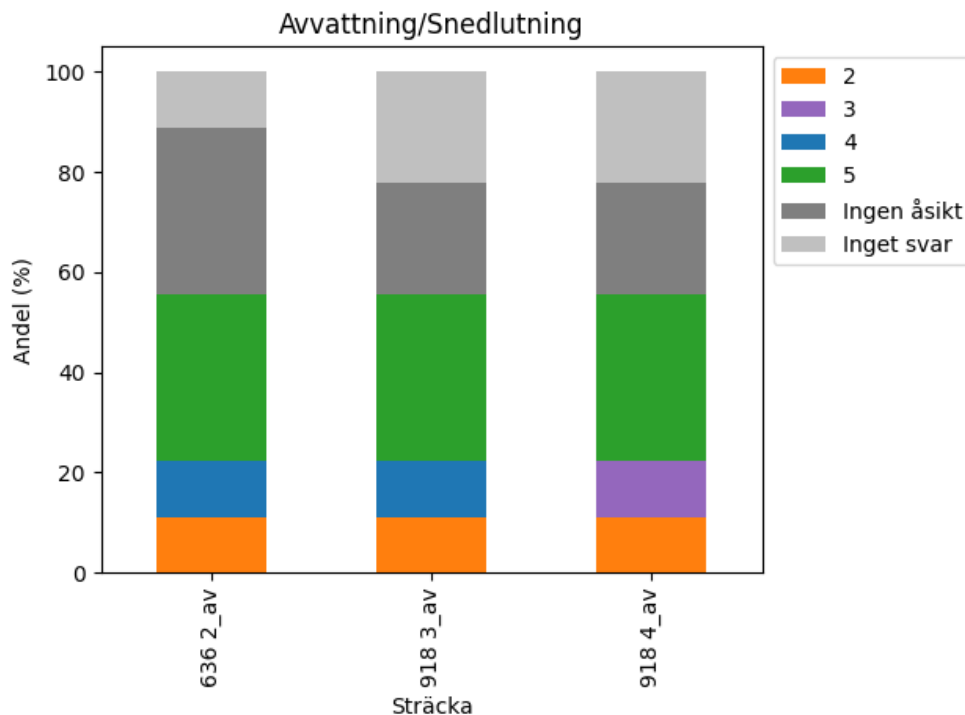
Tabell 17 Korrelationsmatris för olika rätskenevärden (10, 50, 100 meter) gentemot andelen underkända (medel över alla besiktningskategorier).

Rätskenor	10 m	50 m	100 m	Medelandel underkända
10 m	1,000	0,386	0,411	0,281
50 m	0,386	1,000	0,992	-0,627
100 m	0,411	0,992	1,000	-0,593
Medelandel underkända	0,281	-0,627	-0,593	1,000

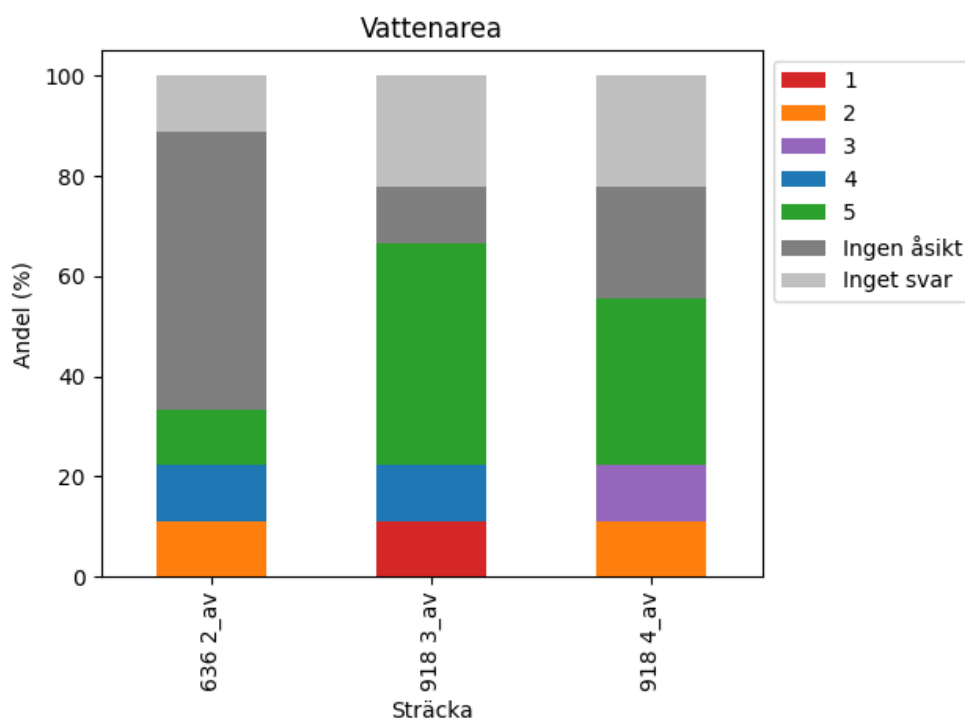
Från fritextkommentarerna har det framkommit att måtten klarar av att fånga problem som sannolikt inte skulle ha upptäckts under okulär besiktning. En annan genomgående trend är även att besiktarnas åsikter är att måtten ibland ger överdrivna utslag eller till och med felaktigt positiva resultat. En sättnings är ofta inget problem i sig, då den är långvågig och knappast uppfattas av trafikanten, den blir ett problem först om sättningsen ökar till den gräns då den påverkar vägens strukturella egenskaper, därför är bedömningen om underhållsbehov som gjordes i detta kapitel svårtolkat.

9.2.5. Vattenavrinning

Snedlutning och vattenarea är båda mått som beskriver riskerna för stående vatten på vägbanan och presenteras därför tillsammans. I protokollet benämndes snedlutning som avvattning. Deltagarna fick i uppgift att efter bästa förmåga bedöma hur väl de båda måtten överensstämde med verkligheten och vägens avrinningsförmåga. Till stöd för bedömningen fick de figurer som beskrev den beräknade snedlutningen och vattenarean för olika delar av vägen. För vattenavrinning fanns tre objekt tillgängliga, 636_av, 918_3_av och 918_4_av. I fritextkommentarerna har det framkommit att några av deltagarna har haft svårt att skilja på de två måtten, troligen på grund av ordvalet i protokollet. Figur 82 och Figur 83 visar hur deltagarna har bedömt de två måtten. De flesta av de svarande var positiva till hur de båda objektiva måtten bedömt vattenavrinningen. För denna besiktning var fritextsvaren relativt få. Flest kommentarer fick sträckan 636_2_av där många angav att det var svårt att bedöma både snedlutning och vattenarea okulärt, vilket kan vara en anledning till den låga svarsfrekvensen på denna sträcka.



Figur 82 Bedömning av hur väl det objektiva måttet snedlutning överensstämmer med en okulär besiktning gällande avvattning/snedlutning. Resultat från utvärderingen är uppdelat per sträcka.



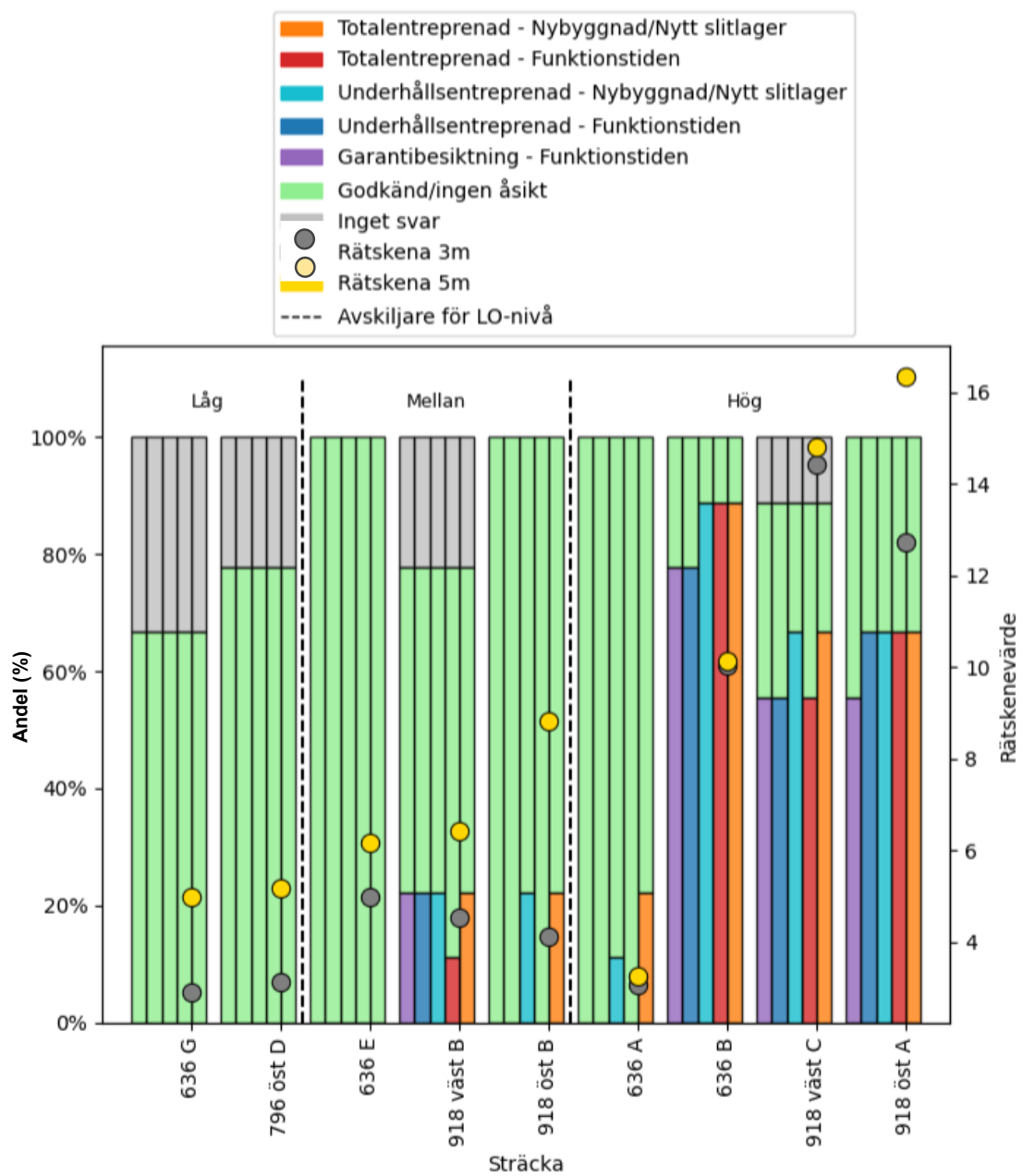
Figur 83 Bedömning av hur väl det objektiva måttet vattenarea överensstämmer med en okulär besiktning gällande vattensamling på väg. Resultat från utvärderingen är uppdelat per sträcka.

För snedlutning var medelbetyget 4,13 från de som svarat då svaren ”ingen åsikt” och ”inget svar” uteslutits. För vattenarea var medelbetyget 3,67. Man kan dock notera att bortfallet var relativt stort för båda dessa mått.

9.2.6. Lokala ojämnheter och korta rätskenevärden

Det finns i dagsläget ingen fastställd metod för att kvantifiera ojämnheter med kort utbredning i längsled. I detta projekt undersöks ett mått baserat på en kvartsbilsmodell för beräkning av jämnheter i längsled samt värden för korta rätskenor, 3 och 5 meter som alternativ. Måttet som är baserat på kvartsbilsmodellen beräknas på flera sätt, med hjälp av olika parametrar. Från modellen beräknas hur chassi och hjul accelererar när den "färdas" över en inmätt längsprofil. I denna besiktningsomgång presenterades fyra olika värden för lokala ojämnheter per sträcka, $LO_{chassiPB}$, LO_{hjulPB} , $LO_{chassiLB}$, LO_{hjulLB} (PB-personbil, LB-lastbil). Alla beräkningar baserades på en modellhastighet av 70 km/h (simulerar att fordonsmodellen färdas i 70 km/h på objekten). Bedömning av dessa fyra mått presenterades i en figur i protokollet som deltagarna använde som underlag vid besiktningen. Eftersom alla fyra mått bedömdes tillsammans kan inte en jämförelse göras mellan dessa mått. Måtten har varierande skalor, men följer ofta varandra. Genom att dela in måtten för lokala ojämnheter i kategorierna "lågt", "mellan" och "högt", kan en utvärdering göras mellan de objektiva måtten och okulärbesiktningen. Protokollsvaren presenteras i förhållande till denna information. Figur 84 nedan visar andelen underkända besiktningar per sträcka uppdelat på kategorierna "lågt" (till vänster), "mellan" (mitten) och "högt" (till höger), samt varje sträckas rätskenevärden.

Tabell 18 visar korrelationen mellan lokala ojämnheter, rätskenevärden samt andelen deltagare som underkänt sträckan. Korrelationsvärdet mellan de tre olika nivåerna för lokala ojämnheter och andelen underkända sträckor utifrån olika besiktningsbedömningar är 0,73, vilket överensstämmer väl med det som ses i figuren – att det finns ett starkt samband på vissa sträckor men liten på andra, till exempel på sträcka 636 A där lokala ojämnheter är hög men deltagarna gör bedömningen att sträckan är i acceptabelt skick. Korrelationen mellan andelen underkända fall och rätskenevärdena är högre än för lokala ojämnheter, upp till 0,90 för den kortaste rätskenan på tre meter. Värt att notera är att rätskenan på tre meter och fem meter har ett starkt samband.



Figur 84 Andel (%) underkända besiktningar uppdelade efter ett bedömt besiktningstillfälle. Sträckorna är ordnade efter nivån på lokala ojämnheter som är separerade med vertikala streckade linjer. Ordning från vänster till höger har vi nivåerna lågt, mellan och högt.

Tabell 18 Korrelationsmatris för lokala ojämnheter (LO-nivå) och rätskenevärden (3 och 5 meter) gentemot andelen underkända (medel över alla besiktningskategorier).

	LO-nivå	Rätskena 3 m	Rätskena 5 m	Medelandel underkända
LO-nivå	1,000	0,696	0,578	0,731
Rätskena 3 m	0,696	1,000	0,940	0,899
Rätskena 5 m	0,578	0,940	1,000	0,807
Medelandel underkända	0,731	0,899	0,807	1,000

I detta fall är fritextkommentarerna från deltagarna extra intressanta att studera då ett högt värde på lokala ojämnheter inte resulterat i ett underkännande av vägen. Dessa sträckor är 636 A, 636 E och 918 öst B. I fallet 636 A beskrivs det att det finns en skarv som anses vara acceptabel även om den känns i bilen och denna var svår att se okulärt. På sträckan 636 E uppges liknande orsaker, det finns en något dåligt förseglad skarv men det uppges inte vara tillräckligt för ett underkännande. För sträckan 918 öst B var det däremot svårt att se ojämnheten okulärt men den kändes i bilen.

9.3. Sammanfattning och diskussion

En begränsning med denna demonstrationsstudie är att det finns en betydande mängd bortfall av protokollsvar för många mått, samt en del svarsalternativ där det är oklart vad svaret betyder så måste extra hänsyn tas till de fritextsvar som deltagarna har lämnat.

Sprickprocent som är beräknad via LCMS är enligt bedömningen från protokollen ett bra mått, även om tillförlitligheten behöver förbättras för att minska mängden felaktigt positiva resultat. Detsamma gäller även för detektionen av stensläpp (ytskador) som använder en liknande metod. Vid jämförelse av detektion av stensläpp (ytskador) går det inte att fastställa huruvida det LCMS-baserade måttet fungerar bättre än MPD-värden på grund av den låga svarefrekvensen för MPD-utvärderingen. Måttet Mega, det vill säga megatextur, kunde inte utvärderas på grund av för få svar från deltagarna.

De tre mått (rätskena 10, 50 och 100 m) som används för att upptäcka svackor i beläggningen (t.ex. orsakade av sättningar) verkar tillräckligt bra för att hitta dessa. Den metod som bör användas för kontroll av en entreprenad bör dock fokusera på att mäta tillväxttakten på svackan, först då kan vi tala om sättningar. Korrelationen för de uppmätta mätvärdena gentemot deltagarnas underkännande av vägen mycket låg, vilket förklaras av avsaknaden av mätning av tillväxttakt i kombination med att en svacka med lång utbredning (större än 20 meter) är svår att upptäcka vid en okulär inspektion. Jämför med IRI, som omfattar våglängder mellan 0,5 meter och 30 meter, som på vissa sträckor ger oförklarligt höga värden för en besiktningsman. Måtten kan alltså användas för att upptäcka sättningar. Korrelationen mellan rätskenor av längd 50 och 100 meter är hög vilket visar på att det kan räcka att använda enbart ett av dessa mått. Längden 50 m rekommenderas att arbeta vidare med eftersom ingående data, längsprofil, kan vara ofiltrerad eller filtrerad med 100 meters högpasfilter. En filtrerad profil påverkar våglängder vid brytfrekvensen, i detta fall 100 meter, på grund av filtrets branthet. Detta påverkar i sin tur rätskenevärdet för 100 meters längd. Korrelationen mellan rätskenor av längd 10 meter och längre rätskenor är låg, vilket indikerar att dessa två mått inte fångar samma typ eller storlek av sättningar.

Både snedlutning och vattenarea, som båda påverkar vattenavrinningen, fick generellt sett godkänt betyg av deltagarna. Ytterligare bedömningar skulle dock vara bra för att säkerställa att måtten fungerar som avsett. Speciellt kan det behövas en bedömning kring snedlutningen eftersom

terminologin var otydlig i protokollet, vilket skapade en osäkerhet för deltagarna att bedöma detta, men även dess relation till vattenarean.

Lokala ojämnheter utvärderades med hjälp av fler olika objektiva mått, lokala ojämnheter (i fyra olika varianter: LO_{chassiPB}, LO_{hjulPB}, LO_{chassiLB}, LO_{hjulLB}, PB-personbil, LB-lastbil) samt rätskenemåtten för längderna 3 och 5 meter. Rätskenemåtten korrelerar bättre med ett underkännande av vägen via okulärbesiktning än LO. I fritextsvaren för LO framkommer i de flesta fall att deltagarna tycker att sträckans ojämnheter inte syns okulärt, eller att ojämnheten inte är tillräckligt allvarig för att underkänna vägen, även fast samma sträcka besiktades för dessa mått. Det beror sannolikt på att principen för beräkningen av rätskenemåtten är känd medan deltagarna saknar erfarenhet av skalan för LO-måtten. Detta indikerar i sin tur att LO fångar något som inte fångas via okulärbesiktning. 5-metersrätskenan visade sig vara överflödig då 3-metersrätskenan överensstämde bäst med protokollsvaren¹¹. Jämförelsen mellan LO och rätskenorna blev svår att genomföra eftersom det fanns fyra olika varianter på LO-måttet. Om det lokala ojämnhetsmåtten ska användas bör man fundera på hur man ska hantera de olika varianterna. Tanken med lokal ojämnheter för chassiaccelerationen är en koppling till komfort medan hjulaccelerationen beskriver fordonsslitage. Beroende vad som eftersträvas kan olika mått användas.

Underhållsindex visade sig vara ett mått som var svårt för många av deltagarna att bedöma. I de få kommentarer som lämnats beskrivs det att värdet var för högt eller för lågt, eller att själva måttet är svårbedömt. Detta var väntat då det är ett sammansatt index av flera olika mått, där olika mått och sidoläget där de samlas in har olika vikt.

De mått som är svåra att identifiera vid en okulär besiktning bör definitivt ersättas av en objektiv metod, men först då nivån på skadan eller defekten har en direkt koppling till ett visst problem. Här ingår vattenavrinning, snedlutning, sättningar och i viss mån lokala ojämnheter. De andra måtten, sprickor och ytskador samt sammansatta index bör i dagsläget användas som ett stöd för okulär besiktning, inte som en ersättning. Resultaten indikerar också att det inte alltid finns starkt konsensus av vad som utgör skada eller om givna skadenivåer kan betraktas som godkända eller inte vid besiktningar.

¹¹ Ju kortare utbredning i längsled en ojämnheter har desto enklare kan den upptäckas och bedömas vid en okulär besiktning.

10. Initialvärden och historisk utveckling

10.1. Statistik för nya beläggningar

Detta kapitel ger en bild av förväntade initiala spårdjups- och IRI-värden efter en beläggningståtgärd (övervägande underhåll). Data från PMSv4 har sammanställts för två tidsperioder, vägytemätningar gjorda åren 2015 till 2019 samt 2020 till 2024. Data har aggregerats till 100 meter. Vid urvalet har följande selekteringar och gallringar gjorts,

- Mätdatum ska vara inom 6 månader efter beläggningsdatum
- Mätningen ska vara gjord samma år som beläggningen lades.¹²
- Spårdjup 17 mätpunkter, 3,2 m bredd ska vara maximalt 7,5 mm. Högre värden antas bero på felaktigt registrerat beläggningsdatum.
- Sträckor med fiktivt beläggningsdatum exkluderas. Det fiktiva beläggningsdatumet beror på onormal förändring av variablerna som inte nödvändigtvis beror på ny beläggning¹³.

De vanligaste beläggningstyperna för högtrafikerade vägar och tillhörande maximal stenstorlek har sammanställts med antal observationer, medelvärde och standardavvikelse (av alla 100 metersvärden). De variabler som beskrivs är,

- spårdjup beräknat med 17 mätpunkter fördelat över mätbredd 3,2 m
- spårdjup beräknat med 15 mätpunkter fördelat över mätbredd 2,6 m
- IRI mätt i höger hjulspår

Efter selekteringen återstod 82 379 observationer (100 metersvärden). Det innebär att dataunderlaget omfattar drygt 8 200 km beläggning som har lagts under perioden 2015–2024 för undersökta beläggningskategorier.

ABD11 och TSK11 har få observationer och kommer inte analyseras vidare, se Tabell 26. I samma tabell ser vi också att underlaget (efter filtrering) omfattar ca 12 % mer körfältslängd 2020 till 2024 i jämförelse med föregående femårsperiod för de beläggningskategorier som undersökts. Den största ökningen står ABS16 för, en beläggningstyp som används på högtrafikerade vägar.

Varje beläggningskategori sammanfattas med medelvärde, standardavvikelse (för 100 m sträckor) och medianvärdet. Medianvärdet återspeglar sannolikt normaltillståndet efter åtgärd bäst då det är mindre känsligt för extremvärden. I Bilaga 3 finns hela resultatet redovisat.

De slutsatser som kan dras från sammanställningen är:

- Det finns inga större skillnader mellan de två tidsperioderna som data sammanställts för. Viss variation finns men tendenserna är desamma.
- För långsgående jämnhet, IRI, är det svårt att dra slutsatser kring nybyggnadsstatus från underhållståtgärder då IRI efter åtgärd är klart beroende av IRI innan underhållståtgärd, samt i vissa fall vägens geometri. För den intresserade kan ändå nivåerna för initiala IRI-värden studeras i Bilaga 3.

¹² Tidigare registrerades många beläggningar i slutet av året även om beläggningen lades tidigare. Dessa registreringar resulterade i att beläggningsdatum fick ett datum i december. I dagsläget görs registreringen oftast succesivt efter utfört jobb.

¹³ En fiktiv åtgärd registreras om tillståndet förbättras utan att en åtgärd är registrerad. Orsaken kan till exempel vara en utförd driftåtgärd.

- Även initialspår djupet är betydligt sämre för ABT 11 än de flesta andra beläggningstyperna. ABT 11 läggs generellt på vägar med sämre standard än övriga beläggningstyper. Åtgärder utan föreliggande justering finns i denna kategori och vägar med en mer växlande geometri vilket ger sämre förutsättningar att uppnå en bra jämnhet, framför allt i längsled.
- Medianvärdet för initialspåret för huvuddelen av beläggningarna ligger runt 2,4 – 2,6 mm för måtbredd 3,2 meter och omkring 2,1 till 2,3 mm för måtbredd 2,6 meter.

Nybyggnadskraven för spår djup (Trafikverket, 2020A) reglerar ett initialspår djup per 20 m på 3,0 mm för nybyggnad och 4,0 mm för underhållsobjekt.

10.2. Historisk utveckling av spår djup

Nedan presenteras statistik över den historiska utvecklingen av spår djup på det statliga svenska vägnätet. Data är medelvärdesbildade till 100 meter i sammanställningen. Data för analysen är hämtade från PMSv4 enligt följande kriterier:

- Mätningar utförda 2014 och senare
- Enbart beläggningstyperna ABS (ABS/HABS), ABT (ABT/HABT) och TSK
- Samtliga belagda statliga vägar.

10.2.1. Databearbetning

För att kunna följa utvecklingen på en enskild vägsträcka måste mätningarna delas upp så de följer en beläggningstyp. Detta hanteras främst genom beläggningens objektnummer, vilket förväntas ändras då vägen får en ny beläggning. Eftersom flera beläggningar kan ha samma objektnummer är det nödvändigt att även inkludera beläggningstyp, stenstorlek och kulkvarnsvärde som differentierande faktorer.

I PMSv4 finns information om ”fiktiva beläggningsdatum”, vilket avser datum där man utifrån insamlade mätdata kan dra slutsatsen att en beläggningstyp har genomförts, även om ingen åtgärd är officiellt registrerad.¹⁴ Utöver beläggningsdatum, som avser en ”verklig” beläggningstyp, har mätdata också delats upp baserat på dessa fiktiva beläggningsdatum för att möjliggöra separation av en mätserie till flera, i de fall då en åtgärd misstänks ha utförts utan registrering.

För att vidare separera data till enskilda 100 meterssträckor används även geografisk information. Det inkluderar län, vägnummer, riktning, körfält, vägrull, länkrull samt löpande längd avrundat till 100 meter¹⁵.

Sammanfattningsvis delas data upp i mätserier med hänsyn till beläggningens objektnummer, län, vägnummer, beläggningstyp, stenstorlek, kulkvarnsvärde, löpande längd, körfält, riktning, vägrull och länkrull samt fiktivt beläggningsdatum. Efter dessa justeringar antas varje 100 metersmätvärde avse en och samma geografiska 100 meterssträcka inom samma beläggningssamfund, som inte har genomgått några betydande förändringar, även om mindre driftåtgärder fortfarande kan förekomma.

Med den här indelningen kan 20 metersdata aggregeras till 100 metersnivå och presenteras som en mätserie över samma 100 meterssegment under flera år. Att genomföra analysen på 100 metersnivå i

¹⁴ Källa <https://pmsv4.trafikverket.se/about-vars>. ”Fiktiva beläggning är något som räknas ut i prognosberäkningen. Det görs när tillståndet är så pass mycket bättre ett år än det föregående utan att en åtgärd registrerats (så man antar att en åtgärd måste ha utförts) ELLER att det finns en åtgärd registrerad men den har antingen Beläggningsslag=Försegling ELLER den har INTE Täckning=Heltäckande. De här två undantagen är satta för att inte de framräknade framtida prognoserna ska baseras på att hela vägsträckan åtgärdats så tillståndet borde vara riktigt bra, när det sannolikt inte är så.”

¹⁵ Dessa termer förklaras på sidan <https://pmsv4.trafikverket.se/about-vars>.

stället för 20 metersnivå har flera fördelar. För det första kan 20 metersdata vara något brusig vilket jämnas ut genom medelvärdesbildning, och för det andra kan det mildra effekten av eventuell förskjutning i längsled mellan mättillfällena.

Efter att ha aggregerat 20 metersdata kvarstår ungefär 6,4 miljoner 100 meterssträckor från olika mättillfällena, vilket resulterar i cirka 1,3 miljoner mätserier för unika 100 meterssträckor.

Slutligen, för varje mätserie av varje unik 100 meterssträcka beräknas utvecklingen mellan mättillfällena. Denna utveckling generaliseras till en årlig utveckling genom att dividera med antalet dagar sedan det senaste mättillfället och sedan multiplicera med 365 dagar. Från värdena i utvecklingsserien för varje unik 100 meterssträcka tas ett medelvärde, vilket resulterar i ett enskilt värde för varje unik 100 metersserie. Det är värt att notera att samma 100 meterssträcka kan ha haft flera beläggningar över åren och kan därigenom ha flera mätpunkter. Det innebär bland annat att beläggningar med kortare livslängd har en större representation i detta dataset. I och med att undersökningsperioden är så pass kort (10 år), bedöms detta inte påverka resultatet nämnvärt, då en normal underhållscykel ligger från 10 år och uppåt för huvuddelen av de statliga vägarna.

10.2.2. Filtrering av data

Av de 1,3 miljoner mätserier som erhållits kan inte alla användas. Mätserierna modifieras och rensas med följande kriterier:

- Alla enskilda mätningar som inte har minst 80 meter data tas bort ur mätserierna.
- Beräknad utveckling från föregående år som överstiger eller understiger ett gränsvärde utesluts för mätserien.
- Mätserier där vital information om vägen saknas utesluts ur analysen.

Efter att alla ovanstående krav har applicerats återstår cirka 400 000 mätserier med spårdjupsutveckling. Dessa kvarvarande mätserier baseras analysen på.

En detaljbeskrivning av kriterierna samt en uppskattning av informationsförlusten i varje steg beskrivs i Bilaga 4.

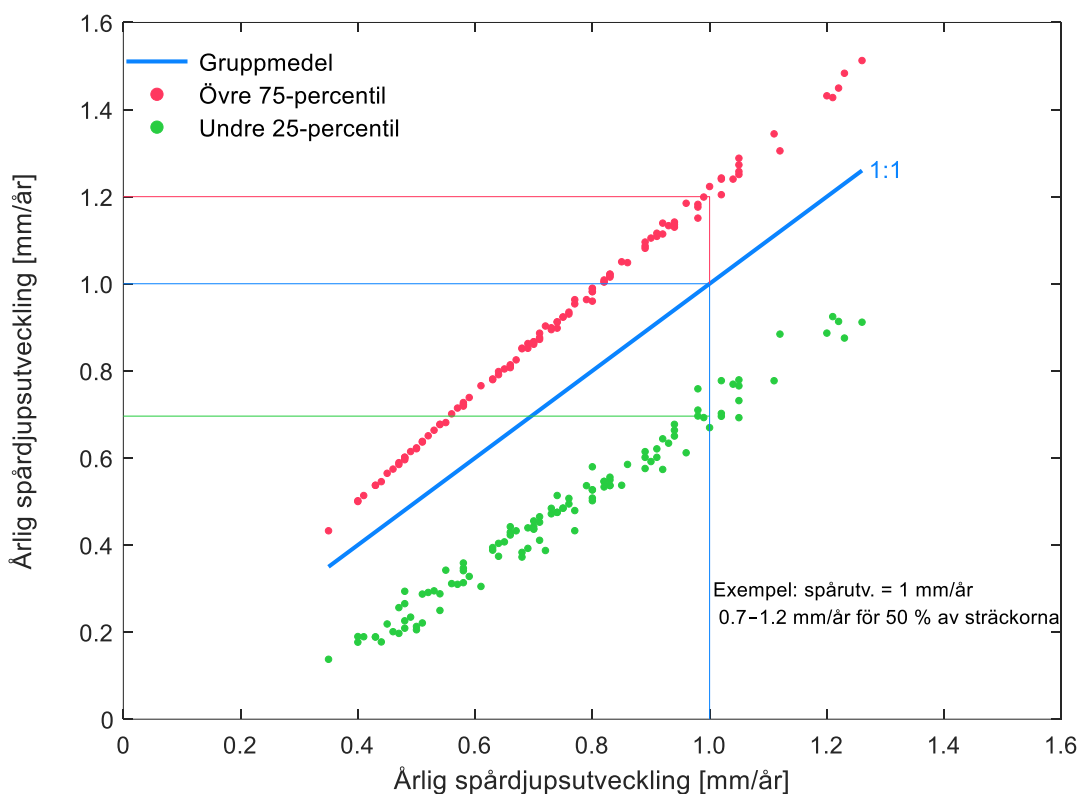
10.2.3. Inverkan av olika faktorer på spårdjupsutvecklingen

För att kunna konstruera vägar som är hållbara och som kräver minimalt underhåll är det viktigt att förstå hur olika faktorer påverkar vägens nedbrytning. Tidigare studier av spårdjupsutvecklingen har beskrivits med linjära samband över tid (Eriksson, 2023).

En analys har utförts av sambandet mellan utvalda variabler som påverkar eller kan förklara spårdjupsutvecklingen. Analysen bygger på att dela in beräknad medelutveckling av spårdjup för enskilda 100 meterssträckor i klasser för de oberoende variablerna. Som tidigare nämnts är de valda variablerna beläggningstyp, stenstorlek, kulkvarnsvärde, ÅDT, dubbdäcksanvändning och vägtyp. ÅDT för tunga fordon, är också relevant men ytterligare en uppdelning skulle betydligt minska antal observationer i varje klass och dessutom finns en stark korrelation med ÅDT för den totala mängden fordon. Anledningen till att vi valt att studera just spårdjup och inte IRI är att spårdjup ofta är orsak för åtgärd på de vägar som omfattas av denna rapport. Ett medelvärde av den spårdjupsutveckling som faller inom de klasser som valts blir resultatet. Hela sammanställningen presenteras i Bilaga 2. Ett exempel,

- En ABS16 med ÅDT mellan 6 000 och 7 000, stenmaterialets kulkvarnsvärde 6-7, på en motorväg och en dubbdäcksandel på mellan 25 % och 50 % har en medelutveckling för spårdjupet på 0,83 mm/år, ökar dubbdäcksandelen till mellan 50 % och 70 % ligger medelutvecklingen på 0,89 mm/år.

Bilaga 2 kan användas för att få en vägledning till hur spårbildningen kan förväntas vara i medeltal för en viss kategori väg med vissa egenskaper. Observera att spridningen är relativt stor inom varje grupp. Detta illustreras i Figur 85, som visar samtliga bestämda gruppmedelvärden för årlig spårdjupsutveckling och gränser för 50 % av mätvärden inom respektive grupp (d.v.s. samma omfattning som i tidigare lådagram, mittre 50 %). Fördelningen för spårdjupsökning antas vara lognormal. Vid en given nivå på gruppmedel kan 25 % av sträckorna antas ligga över 75-percentilen (högre spårdjupsutveckling) och 25 % under 25-percentilen (lägre spårdjupsutveckling). I figuren visas även ett exempel för att antaget gruppmedelvärde på 1,0 mm/år.



Figur 85 Uppmätt årlig spårdjupsutveckling och 50 %-fördelningsintervall.

Vid gruppmedelnivån 1,0 mm/år ligger 50 % av sträckorna inom 0,7-1,2 mm/år, och hälften av vägsträckorna har antingen högre eller lägre spårdjupsutveckling.

För att undersöka vilka faktorer som påverkar spårdjupsutveckling har en statistisk analys utförts på det empiriska underlaget i Bilaga 2. Grundmodellen har samma faktorer som de beskrivande data redovisade ovan och i Bilaga 2:

$$s = \beta_0 + \beta_1 \times bel + \beta_2 \times max + \beta_3 \times AN + \beta_4 \times ADT + \beta_5 \times dd + \beta_6 \times vt + \varepsilon \quad (1)$$

Där s är årlig spårdjupsutveckling, bel är beläggningstyp, max är största stenstorlek, AN är kulkvarnsvärde, ADT är årsmedeldygnstrafik, dd är dubbdäcksandel, vt är vägtyp och ε är felterm. De statistiska koefficienterna β_0 - β_6 bestäms genom en linjär, stegvis regressionsanalys utförd på resultatet från Bilaga 2, Tabell 25. Analysen är gjord för hela materialet samt uppdelat på beläggningstyp. En stegvis regressionsanalys försöker hitta de variabler som signifikant bidrar till modellens förklaringsgrad och lämnar övriga variabler utanför, vilket förkortar och förenklar regressionsmodellen. Det finns tillräckligt med data för hela materialet, och beläggningstyperna ABT och ABS för att erhålla ett signifikant resultat. För en separat analys av TSK har inte antalet observationer varit tillräckliga för att få ett signifikant resultat. Analysen beskrivs i sin helhet i Bilaga

5. Resultaten från analysen sammanfattas i Tabell 19 där de bestämda koefficienterna ges för hela materialet, och ABS och ABT specifikt.

Tabell 19 Sammanfattning av stegvis regression för spårdjupsutveckling.

Underlag	β_0	β_1 Bel.typ	β_2 Stenmax	β_3 Kulkvarn	β_4 ÅDT	β_5 dubbdäck	β_6 vägtyp
Hela	0,539	-0,097 (TSK)	ej sign.	ej sign.	0,062	0,08	-0,268 vanlig väg -0,392 motorväg
ABS	0,353	ej inkl.	ej sign.	ej sign.	0,044	0,08	0,265 vanlig mötesfri väg
ABT	0,206	ej inkl.	ej sign.	ej sign.	0,085	0,08	

För alla kategorier ökar spårbildningen med ökad trafik och dubbdäcksanvändning. För hela underlaget (Hela) är spårbildningen något lägre på TSK-beläggningar, likaså för vägtyperna *vanlig väg* och *motorväg*. I inget fall har stenmaterialets egenskaper någon förklaringsgrad utan exkluderas i alla stegvisa regressioner. För ABT beror spårdjupsutvecklingen bara på trafikmängd och dubbdäcksanvändning.

11. Vägledning vid kravställning i entreprenader med funktionskrav

Detta kapitel berör totalentreprenader för investeringsobjekt med de förutsättningar som Trafikverket hittills använt i genomförda projekt, vilket innebär tio års garantitid och att inga omfattande beläggningsåtgärder ska vara nödvändiga inom denna tidsram.

11.1. När bör en kontroll utföras?

Vissa mått är lämpliga att använda för reglering direkt vid trafikpåsläpp, andra först en tid efter objektet har trafikerat vägen en tid. Tabell 20 beskriver författarnas rekommendationer för lämplig kontrolltidpunkt samt vilken teknik och vilka mått som är lämpliga.

Tabell 20 Kontrolltillfälle för måtten.

Skadetyper	Mätmetod	Tidpunkt	Beskrivning
Sprickor	LCMS	Garantitiden, > 5 år	Bör kompletteras med en okulär besiktning för att säkerställa resultatet. Sprickprocent per zon (kan även kombineras med en mer detaljerad analys från LCMS-systemet vid behov)
Separation	Linjelaser	Slutbesiktning	Bör kompletteras med en okulär besiktning för att säkerställa resultatet. Måttet Mean Texture Depth (MTD)
	Punktlaser	Slutbesiktning	Metod och kravnivåer finns i TDOK. Mer erfarenhet behövs från verkliga objekt. Måttet Mean Profile Depth (MPD)
Stensläpp	Linjelaser	Garantitiden	Bör kompletteras med en okulär besiktning för att säkerställa resultatet. Algoritmen för stensläpp i lasertillverkarens programvara
	Punktlaser	Garantitiden	Bör kompletteras med en okulär besiktning för att säkerställa resultatet. Mått baserat på statistisk analys av Mean Profile Depth (MPD)
	Punktlaser	Garantitiden	Endast använt i enstaka forskningsprojekt, dock med tillfredställande resultat. Mer erfarenhet krävs. Analys av texturprofilen. Metoden kräver en mätning vid trafikpåsläpp för att avgöra beläggningsens normala håligheter.
Slaghål	Linjelaser	Garantitiden	Bör kompletteras med en okulär besiktning för att säkerställa resultatet. Algoritmen för slaghål i lasertillverkarens programvara
Ytskada generell	Punktlaser	Garantitiden	Rekommenderas inte för nybyggnads totalentreprenad. Sammanslaget index för ytskada baserat på måtten MPD, Megatextur och Lokal ojämnheter
Vattenavrinning	Punktlaser/ linjelaser	Slutbesiktning/ garantitiden	Måtten är färdiga att användas, de beräknas från mått som är kvalitetssäkrade vid Trafikverkets tekniska tester (Lundberg, 2019). Kravgränser måste dock sättas.

Skadetyyp	Mätmetod	Tidpunkt	Beskrivning
			Måttet för snedlutning används vid slutbesiktning medan vattenarea används under garantitiden.
Sättningar	Punktlaser	Garantitiden	Måtten är färdiga att användas, de beräknas från mått som är kvalitetssäkrade vid Trafikverkets tekniska tester (Lundberg, 2019). Kravgränser måste dock sättas. Rättskena med längden 50 m rekommenderas.
LO	Punktlaser	Slutbesiktning/ garantitiden	Måtten är färdiga att användas, de beräknas från mått som är kvalitetssäkrade vid Trafikverkets tekniska tester (Lundberg, 2019). Kravgränser måste dock sättas. Av de två val mellan mått som kan göras visar denna rapport att rättskenan har bättre överensstämmelse med vad som kan observeras på vägytan. LO är ändå det mått som rekommenderas baserat på att det beskriver de accelerationer som trafikanten och gods utsätts för vid färd i fordon (LO _{chassi}) samtidigt som det ger indikationer på fordons slitage (LO _{hjul}). ¹⁶

11.2. Faktorer som påverkar kravställningen

I den första delen i detta projekt (Lundberg, et al., 2019A) poängterades vikten av att sätta rätt kravnivå i varje enskilt projekt. Vid kravställningen utgår man oftast från att vägen bryts ner i normal takt och kravnivån sätts så att det finns några år kvar mellan garantitidens slut och nästa underhållsåtgärd. Om en kravnivå sätts som är svår att uppnå kommer projektet fördyras eftersom entreprenören behöver en säkerhetsmarginal, t.ex. genom att använda ett tjockare lager eller material av högre kvalitet. Om alltför låga krav sätts riskerar Trafikverket att få en alltför dålig konstruktion med en förkortad livslängd. Slutligen ska kravnivån också harmonisera med den projekterade lösning som vägghållaren kalkylerat med under projektets gång. Följande aspekter måste tas hänsyn till vid val av kravnivå:

- A. Är det ett nybyggnadsprojekt eller ombyggnad av befintlig väg?
- B. Vilket restvärde ska vägen ha efter garantitidens slut (hur många år är det kvar till nästa underhållsåtgärd)?
- C. Vilken är den normala nedbrytningen för det aktuella objektet, det vill säga vilken standard är samhällsekonomiskt försvarbar att godta?
- D. Finns det speciella förhållanden med avseende på trafikbelastning, klimat, långsamtgående trafik, dubbdäcksandel, räcken, hastighet, etc. att ta hänsyn till?
- E. Behövs speciella krav för kontroll av tvärgående jämnhet på vägar med smala körfält?

11.2.1. A – Nybyggnad eller ombyggnad

Totalentreprenader är vanligast förekommande på det större vägnätet. I vissa fall byggs en helt ny väg och i vissa fall byggs en befintlig väg om eller förstärks. En kombination av dessa varianter kan också förekomma. Totalentreprenader på mindre vägar är relativt ovanliga då de sällan är föremål för någon

¹⁶ LO-modellen ansätts i skyltad hastighet vilket medför att fordonsmodellen ger upphov till accelerationer i närheten av verkliga accelerationer. En rättskena får samma värde oavsett skyltad hastighet, för detta mått måste gränsvärden bestämmas med avseende på skyltad hastighet, likt IRI.

större åtgärd. Det faktum att det är de större vägarna som handlas upp som totalentreprenader innebär att kravnivån oftast kan utgå från de nybyggnadskrav som är specificerade i Trafikverkets dokument (Trafikverket, 2020A). Rekommendationerna för krav vid slutbesiktning sammanfattas nedan.

Vid slutbesiktning bör nybyggnadskrav användas för ojämnheter i längsled (IRI), ojämnheter i tvärlängd och tvärfallsavvikelse.

Undantag för ojämnheter i längsled (IRI) kan göras om det aktuella objektets tillstånd avseende ojämnheter i längsled är dåligt och planerad åtgärd är mindre omfattande. En kravnivå anpassad för underhåll bör användas i dessa fall.

11.2.2. B – Restvärde

Det bör finnas en minsta tid mellan garantitidens slut och nästa underhållsåtgärd. På så sätt ges väghållaren en chans att planera för nästa åtgärd, vilket oftast sker i perioder om tre år. Dessutom byggs en viss "säkerhet" in i entreprenaden ifall tillståndsutvecklingen blir sämre än förväntat. I undantagsfall kan det dock förekomma projekt där den normala underhållsperioden sammanfaller med längden på garantitiden. Exempel på detta är högttrafikerade motorleder i närheten av större städer vilka behöver åtgärdas med kortare intervall än övriga vägar. Det är viktigt att väghållaren är medveten om detta så att underhållsåtgärden kan planeras direkt efter att garantitiden löper ut. I dessa fall kan också en kortare garantitid övervägas. Det omvända fallet kan givetvis också förekomma, nämligen att tiden mellan garantitidens slut och nästa underhållsåtgärd är relativt lång. Detta kan förekomma på lågttrafikerade vägar där spårdjupstillväxten är liten. Rekommendation för planering av restvärde sammanfattas nedan.

Minst tre års restvärde bör eftersträvas. Restvärdet baseras på förväntad spårdjupsutveckling och nivå enligt underhållsstandard (se avsnitt 11.2.3). Kortare restlevnadstid kan accepteras på objekt som normalt har en underhållsperiod på ca tio år, exempelvis högttrafikerade motorleder belägna vid större städer. I dessa fall bör väghållaren vara medveten om att underhåll kan komma att krävas direkt efter att garantitiden löper ut. Alternativt kan en kortare garantitid övervägas.

11.2.3. C – Normal nedbrytningstakt

En väg bryts kontinuerligt ned av trafikbelastningen och klimatet. Vid val av kravnivå i totalentreprenader är det viktigt att kunna göra en prognos över nedbrytningstakten så att kravet blir rimligt i förhållande till den projekterade lösningen. Garantitiden i totalentreprenader är så pass kort i förhållande till vägens livslängd att vissa tillståndsp parametrar kommer att förändras relativt lite eller inte alls. För andra tillståndsp parametrar är förändringen desto större, vilket innebär att de blir trigglade av nästa åtgärd. Nedan följer en vägledning för att kravställa en entreprenad.

Längsgående ojämnheter, IRI

Denna tillståndsp parameter förändras relativt lite såvida inte vägen i fråga har problem med ojämna tjällyft eller om det uppstår sprickbildning i större omfattning. För större vägar är IRI sällan orsak till åtgärd. På det mindre vägnätet är det ett motsatt förhållande. Eftersom jämnheter i längsled är viktig ur komfort- och säkerhetssynpunkt är befintliga krav vid slutbesiktning indelade efter referenshastighet och trafikmängd. Kraven under garantitiden bör följa denna indelning samt ta hänsyn till förväntat värde efter åtgärd, normal förändring och restlevnadstid. För att undersöka den normala förändringen har ett datauttag från PMSv4 gjorts där prognosverktyget för IRI årlig tillväxt använts. Uttaget begränsas till att omfatta europa-, riks- och primära länsvägar. Den årliga tillväxten blir i medeltal 0,05 mm/m/år för samtliga vägar. En viss variation kan dock ses i sammanställningen. Dels är tillväxten något högre på primära länsvägar, ca 0,06 mm/m/år och dels är tillväxten högre i län på nordligare breddgrader. Tillväxten varierar mellan 0,03 och 0,09 mm/m/år beroende på vägkategori och län. Med utgångspunkt i kraven vid slutbesiktning, en förväntad årlig tillväxt på 0,05 mm/m/år och en garantitid

på 10 år kan värdena i Tabell 21 användas för att bestämma kravet på IRI vid garantitiden slut, då hänsyn är tagen till tre års marginal till nästa underhållsåtgärd.

Tabell 21 Krav för IRI vid garantitidens slut. Tabellen gäller för projekt med garantitid 10 år. 20 m avser krav för 20 meter. 400 m avser krav för 400 meter. s avser standardavvikelsen av 20-metersvärden för en 400 meterssträcka.

Referens- hastighet (km/h)	120			110			100		
	20 m	400 m	s ≤	20 m	400 m	s ≤	20 m	400 m	s ≤
ÅDT	20 m	400 m	s ≤	20 m	400 m	s ≤	20 m	400 m	s ≤
0-249	1,9	1,4-0,4s	0,4	3,0	1,6-0,4s	0,5	3,2	1,8-0,4s	0,6
250-499	1,9	1,4-0,4s	0,4	2,8	1,6-0,4s	0,5	3,1	1,8-0,4s	0,6
500-999	1,9	1,4-0,4s	0,4	2,7	1,6-0,4s	0,5	2,9	1,8-0,4s	0,6
1000-1999	1,9	1,4-0,4s	0,4	2,3	1,6-0,4s	0,5	2,5	1,8-0,4s	0,6
2000-3999	1,9	1,4-0,4s	0,4	2,1	1,6-0,4s	0,5	2,3	1,8-0,4s	0,6
4000-7999	1,9	1,4-0,4s	0,4	2,0	1,5-0,4s	0,4	2,3	1,6-0,4s	0,5
≥8000	1,9	1,4-0,4s	0,4	2,0	1,5-0,4s	0,4	2,3	1,6-0,4s	0,5

Referens- hastighet (km/h)	90			80			70		
	20m	400m	s ≤	20m	400m	s ≤	20m	400m	s ≤
ÅDT	20m	400m	s ≤	20m	400m	s ≤	20m	400m	s ≤
0-249	3,6	2,0-0,4s	0,6	4,0	2,2-0,4s	0,7	4,5	2,5-0,4s	0,7
250-499	3,4	2,0-0,4s	0,6	3,8	2,2-0,4s	0,7	4,3	2,5-0,4s	0,7
500-999	3,2	2,0-0,4s	0,6	3,6	2,2-0,4s	0,7	4,0	2,5-0,4s	0,7
1000-1999	2,8	2,0-0,4s	0,6	3,1	2,2-0,4s	0,7	3,5	2,5-0,4s	0,7
2000-3999	2,6	2,0-0,4s	0,6	2,6	2,2-0,4s	0,7	3,2	2,5-0,4s	0,7
4000-7999	2,5	1,8-0,4s	0,6	2,6	2,0-0,4s	0,6	3,1	2,2-0,4s	0,7
≥8000	2,5	1,8-0,4s	0,6	2,6	2,0-0,4s	0,6	3,1	2,2-0,4s	0,7

Referens- hastighet (km/h)	60			50		
	20m	400m	s ≤	20m	400m	s ≤
ÅDT	20m	400m	s ≤	20m	400m	s ≤
0-249	4,6	3,0-0,4s	0,8	4,7	3,0-0,4s	0,8
250-499	4,4	3,0-0,4s	0,8	4,5	3,0-0,4s	0,8
500-999	4,1	3,0-0,4s	0,8	4,2	3,0-0,4s	0,8
1000-1999	3,8	3,0-0,4s	0,8	3,9	3,0-0,4s	0,8
2000-3999	3,7	3,0-0,4s	0,8	3,8	3,0-0,4s	0,8
4000-7999	3,6	2,5-0,4s	0,7	3,7	3,0-0,4s	0,8
≥8000	3,6	2,5-0,4s	0,7	3,7	3,0-0,4s	0,8

För projekt med annan garantitid än 10 år bör kravet justeras upp eller ner med den förväntade årliga förändringen multiplicerat med antal års skillnad i förhållande till kravet vid 10 år, se Ekvation 4 och 5.

$$IRI_{20m, x \text{ år}} = IRI_{20m, 10 \text{ år}} + 0,05 \times (\text{garantitid}-10) \quad (2)$$

där,

$IRI_{20m, x \text{ år}}$ är krav för IRI per 20 meter vid x år.

$IRI_{20m, 10 \text{ år}}$ är krav för IRI per 400 meter vid slutbesiktning efter 10 år (Tabell 21).

0,05 är en konstant i mm/m.

$$IRI_{400m, x \text{ år}} = IRI_{400m, 10 \text{ år}} + 0,04^{17} \times (\text{garantitid}-10), S_{x \text{ år}} = S_{10 \text{ år}} \quad (3)$$

där,

$IRI_{400m, x \text{ år}}$ är krav för IRI per 400 meter vid x år.

$IRI_{400m, 10 \text{ år}}$ är krav för IRI per 400 meter vid slutbesiktning efter 10 år (Tabell 21).

0,04 är en konstant i mm/m.

s står för standardavvikelse

För projekt där krav vid slutbesiktning valts efter underhåll kan krav vid garantibesiktning väljas enligt följande (Ekvation 6 och 7):

$$IRI_{20m, \text{underhåll, garantitiden}} = IRI_{20m, \text{nybyggnad, garantitiden}} + 0,2 \quad (4)$$

där,

$IRI_{20m, \text{underhåll, garantitiden}}$ är krav för IRI per 20 meter vid garantibesiktning på entreprenader som har krav definierade enligt underhåll¹⁸.

$IRI_{20m, \text{nybyggnad, garantitiden}}$ är krav för IRI per 20 meter vid garantitidens slut för nybyggnad.

0,2 är en konstant i mm.

$$IRI_{400m, \text{underhåll, garantitiden}} = IRI_{400m, \text{nybyggnad, garantitiden}} + 0,1; S_{\text{underhåll}} = S_{\text{nybyggnad}} \quad (5)$$

där,

$IRI_{400m, \text{underhåll, garantitiden}}$ är krav för IRI per 400 meter vid garantibesiktning på entreprenader som har krav definierade enligt underhållsstandard¹⁹.

$IRI_{400m, \text{nybyggnad, garantitiden}}$ är krav för IRI per 400 meter vid garantitidens slut för nybyggnad.

0,1 är en konstant i mm.

$S_{\text{underhåll}}$ är standardavvikelsen per 400 meter för krav satta enligt underhållsstandard.

$S_{\text{nybyggnad}}$ är standardavvikelsen per 400 meter för krav satta enligt nybyggnad.

Tvärgående ojämnheter

Spårdjup uppkomna på grund av slitage och deformation är den vanligaste orsaken till underhållsåtgärd på det större vägnätet. Eftersom totalentreprenader oftast genomförs på denna vägtyp blir det oftast spårdjupet som avgör om entreprenören klarar kraven under garantitiden. Kravet vid garantitidens slut bör väljas med hänsyn till en normal årlig förändring samt så att minst 3 års restvärde återstår. Kapitel 10 ger en vägledning till normal årlig förändring av spårdjup. Ekvation 8 och 9 ger förslag på två tillvägagångssätt. Minsta spårdjupskrav kan sättas utifrån förväntad årlig förändring och största spårdjupskrav baserat på underhållsstandard, för den kategori väg som avses.

$$\text{Minsta spårdjupskrav}_{20m} = 2,5 + (\text{årlig förändring} \times \text{garantitid}) \quad (6)$$

¹⁷ Antaget samma förhållande mellan krav 20 m och 400 m (Tabell 21).

¹⁸ Krav för underhåll kan variera från objekt till objekt, underhållsstandard (Trafikverket, 2012) kan väljas som sämsta tillåtna standard.

¹⁹ Krav för underhåll kan variera från objekt till objekt, underhållsstandard (Trafikverket, 2012) kan väljas som sämsta tillåtna standard.

där,
2,5 mm anger ett normalt initialspår (se Bilaga 3)

$$\text{Största spår djupskrav}_{20m} = \text{Krav}_{\text{underhållsstandard}} - (3 \times \text{årlig förändring}) \quad (7)$$

där, 3 anger antal år mellan garantitidens slut och när nästa underhållsåtgärd måste genomföras.

Krav enligt underhållsstandard kan hittas i Trafikverkets dokument "Underhållsstandard belagd väg" (Trafikverket, 2012). För en väg med referenshastighet 100 km/h, ÅDT > 4000 och en förväntad årlig förändring på 0,8 mm bör därmed spår djupskravet vara mellan 10 mm och 12 mm ifall garantitiden är 10 år.

Den årliga förändringen kan bestämmas genom något av följande alternativ:

- Beräkna den historiska spår djupsutvecklingen för den aktuella vägen (endast underhåll).
- Använd en spår djupsutveckling för vägar av samma typ med liknande trafikbelastning, geografisk placering och klimat (se Bilaga 2) (totalentreprenad, nybyggnad).

Den årliga förändringen för hela objektet bör i normala fall vara ≤ 1 mm, undantag kan förekomma för högtrafikerade och spår bundna vägar.

Kraven för 400 m sträckor kan väljas enligt:

$$\text{Spår djup}_{400m} = \text{Spår djup}_{20m} - 1$$

där,
-1 anger den normala skillnaden mellan ett krav för 20 och 400 metersvärden.

Sprickor, stensläpp och slaghål

Detta är skador som uppstår på grund av otillräcklig bärighet (sprickor) och åldrad/inhomogen asfaltmassa (stensläpp och slaghål). Dessa skador ska inte förekomma alls på projekt där garantitiden är 10 år eller mindre.

11.2.4. D – Speciella förhållanden

I vissa projekt förekommer speciella förhållanden som kan påverka nedbrytningen av vägen på ett sätt som avviker från det normala. Exempel på detta är hög andel tung trafik, smala körfält, långsamtgående trafik, hög andel dubbdäck, tjälkänsliga områden etc. Den generella rekommendationen är att kravgränserna inte bör ändras på grund av detta. Detta eftersom den anlitate entreprenören ska dimensionera vägen efter de förutsättningar som är givna i förfrågningsunderlaget, både med avseende på tjocklek på ingående lager i överbyggnaden och med avseende på beläggningstyp, stenkvalitet o.s.v. Vid val av beläggningstyp finns exempelvis redan justeringsfaktorer för andel dubbdäck och körfältsbredd. Om projektet och dess beställare, på grund av speciella förhållanden, accepterar en lägre standard än normalt kan kravgränserna ändras. Ett alternativ kan även vara att förkorta garantitiden med bibehållna kravgränser. Storleken på förändringen måste bestämmas i varje enskilt projekt med de specifika förhållandena som råder i just det projektet.

11.2.5. E – Kravställning anpassad för körfältsbredd

Vid beräkning av spår djup används normalt en mätbredd på 3,20 meter (benämns Spår max 17). Det finns dock en viss risk att vägmarkeringarnas tjocklek inverkar på de mätta spår djupsvärdena ifall körfälten är smala. Enligt Bitumenbundna lager (Trafikverket, 2020A) ska mätbredden minskas till 2,60 meter (beräknat spår djup från mätbredd 2,60 meter benämns Spår max 15) ifall körfältsbredden $\leq 3,50$ meter. Detta medför dock att de beräknade spår djupsvärdena oftast blir lägre eftersom mätningen inte fångar hela "spårbilden". Dagens krav är satta efter mätning med mätbredd 3,20 meter och eftersom spår djupsvärdena blir lägre med en smalare mätbredd bör kravet på spår djup vid garantitidens slut justeras nedåt. För att kontrollera hur stor skillnaden mellan spår djup beräknat med

de olika mätbredderna är har datauttag från PMSv4 gjorts. Uttagen omfattar vägar i vägkategori "Europavägar", "Riksvägar" och "Primära länsvägar" med spår djup < 30 mm och varierande beläggningsålder. En sammanställning av resultatet presenteras i Tabell 22 där skillnaden mellan "Spår max 17" och "Spår max 15" visas. Tabellen anger det totala medelvärdet. Resultatet visar att skillnaden mellan mätbredderna är mindre ju lägre spår djupet är. Spår djupsnivån är i normalfallet förstås kopplad till beläggningsens ålder. I spannet där garantibesiktning av totalentreprenader normalt görs, d.v.s. 9-11 år, är differensen 1,54 mm.

Tabell 22 Skillnad mellan spår djup mätt med mätbredd 3,20 meter och mätbredd 2,60 meter för europavägar, riksvägar och primära länsvägar

Beläggningsålder (år)	Differens Spår_max_17 och Spår_max_15 (mm)
0-5	1,12
3-5	1,23
9-11	1,54
6-15	1,45

Kravet på ojämnheter i tvärled (spår djup) efter 10 år bör minskas med 1,5 mm vid en mätbredd på 2,60 m för både 20 meterssträckor och 400 meterssträckor, se Ekvation 8 och 9.

$$Spår djup_{20m, 2,60m} = Spår djup_{20m, 3,20m} - 1,5 \quad (8)$$

$$Spår djup_{400m, 2,60m} = Spår djup_{400m, 3,20m} - 1,5 \quad (9)$$

Vid trafikpåsläpp bör kravet minska med 0,4 mm, se Bilaga 3, Tabell 27 till Tabell 31. Tabell 27 till Tabell 31 ger ett bättre estimat på den initiala skillnaden mellan spår djupsmåtten beräknade med de olika mätbredderna än Tabell 22.

12. Uppföljning av en entreprenad

12.1. Totalentreprenad

Trenden idag (2025) är att fler och fler totalentreprenader regleras genom att använda data från de årliga vägnätsmätningarna för kontroll av vägens tillstånd. Tidigare har dedikerade objektmätningar (Trafikverket, 2015A) utförts vid specifika tidpunkter för att avgöra objektets tillstånd. Tidpunkter med tillhörande krav var bestämda i kontraktet för entreprenaden. Att använda vägnätsmätningen för avstämning och reglering av en entreprenad är ett osäkrare förfaringssätt, då det är förknippat med fler felkällor, framför allt sidolägets inverkan och att endast en överfart i ena riktningen görs på vissa vägkategorier. Är det en motorväg eller 2+1-väg görs dessutom inte mätning i körfält två varje år. Att använda objektmätning förfarandet ger förutom en heltäckande mätning i alla körfält även en ökad trovärdighet vid diskussioner eller tvister mellan beställare och utförare då mätleverantören kan uppvisa god repeterbarhet vid inmätningen.

12.2. Uppföljning av garantiåtagande

Trafikverket lägger årligen ner flera miljarder på beläggningsunderhåll. Oftast finns en garantitid för entreprenaden. Generellt styrs kontrollen aktuellt kontrakt och av avtalsregler enligt ABT06²⁰.

Projektledare eller byggledare åker ut och synar objekten när garantitiden är på väg att ta slut. Endast om skador eller avvikelser observeras utförs en garantibesiktning, annars inte. Normalt utförs det genom en okulär bedömning, eventuellt kompletterat med objektiva data, spårdjup och IRI från PMSv4.

Beroende på typ av avvikelse eller skada kompletteras den okulära undersökningen med olika mätningar, provtagning och analyser eller andra undersökningar. Detta bestäms vid garantibesiktningen. En eventuell tvist om vem som ska bära ansvaret (och kostnader) hanteras, som övriga tvister i en entreprenad, av ombud, jurister och slutligen domstol.

Vår rekommendation är att använda den senaste vägnätsmätningen för att stämma av om onormal nedbrytning har skett. En sådan funktion skulle kunna byggas in i PMSv4. Ett färdigt diagram skulle kunna genereras där vägens tillstånd efter garantitiden presenteras tillsammans med nivån för den normala nedbrytningen för aktuell vägkategori. Innan en normal utvecklingstakt av de nya variablerna som föreslås i denna rapport kan etableras måste en tillräckligt stor datamängd och tillräckligt lång tidsserie finnas. Mellan åren 2020 och 2025 finns mätdata för sprickor insamlat på vägnätssnivå²¹. Längsprofildata som används för rätskenor och LO finns tillgängligt från omkring 2000. MPD megatextur, tvärprofil och tvärfall på enmetersnivå finns från omkring 2010. Backighet finns tillgänglig på 20-metersnivå sedan 1980-talet. Det innebär att det finns goda förutsättningar att bilda sig erfarenhet av variablernas normala utvecklingstakt.

De variabler som bör användas är,

- Spårdjup max med mätbredd 3,2 och 2,6 meter (normalvärden enligt Bilaga 2)
- IRI i vänster och höger hjulspår (normal utvecklingstakt beskrivs med formel 6, kapitel 11.2.3)

²⁰ ABT 06 Allmänna Bestämmelser för totalentreprenader är avsedda att användas vid byggnads-, anläggnings- och installationsarbeten som utförs på totalentreprenad, dvs då entreprenören har funktionsansvar och i varierande grad svarar för projektering och utförande.




²¹ En ändring av inställningar i mjukvaran som beräknar sprickdata till Trafikverket skedde mellan 2020 och 2021, varför en studie bör baseras på åren 2021 till 2025.



13. Slutsatser

Sammantaget visar analysen att det finns nya metoder som kan börja testas vid uppföljning av entreprenader. Metoderna riktar in sig på säkerhet och komfort, till gagn för trafikanten, och vägens beständighet för en låg livscykelkostnad för väghållaren. En objektiv metod har många fördelar om den används på rätt sätt och är accepterad av såväl beställare som entreprenör. Med en objektiv metod kan man upptäcka problematiska delar av sträckor som är svåra eller omöjliga att upptäcka enbart med en okulär besiktning. Att införa och få acceptans för nya metoder är ofta en lång process som kräver ett driv från beställarsidan, så denna rapport är endast en grund för fortsatt dedikerat arbete med att utveckla kravställningen av entreprenader. Den största vinsten med just objektivitet är att undvika potentiella tvister mellan beställare och utförare. Att använda vägnätsmätning för reglering av en entreprenad ger inte den trovärdighet och kvalitet som fås vid en objektmätning, som har en kvalitetssäkrad utsaga för just den sträcka som testas.

Inledningsvis listades arbetssättet som krävs för att utveckla och undersöka nya variabler för grundläggande egenskaper som kan användas för reglering av en entreprenad. Projektet hade inte för avsikt att gå igenom hela kedjan från att definiera ett nytt mått till en implementering och skarp kravställning. Tabell 23 visar en genomgång av hur långt resultatet från denna rapport tagit oss.

Tabell 23 Sammanfattning av status för implementeringskedjan av nya kontrollmetoder vid en entreprenad.

Delmoment	Kommentar
 <p>Definiera en variabel som säkerställer en god funktion och/eller beständighet för vägvägnittet.</p>	<p>De nya variabler som föreslås är mätetal för sprickor, ytskador, sättningar, vattenavrinning och lokala ojämnheter. Egenskaper som är till nytta för trafikantens komfort och säkerhet är huvudsakligen lokala ojämnheter och vattenavrinning. De tre övriga variablerna, ytskador, sättningar och sprickor riktar sig mer mot vägens beständighet.</p>
 <p>Definiera variabeln så att den kan mätas med en teknik som är allmänt tillgänglig.</p>	<p>Tre av variablerna som föreslås kan mätas och beräknas från en normal vägytemätning: lokala ojämnheter, sättningar och vattenavrinning. Den fjärde variabeln, mätning av sprickor, sker normalt med LCMS-systemet, även om annan teknik skulle kunna användas. Den TDOK (Trafikverket, 2020B) som beskriver variabeln är teknikneutral. Den sista variabeln, ytskador, beskrivs med flera metoder, dels genom analys från LCMS-systemet och dels från ordinär vägytemätning.</p>
 <p>Undersöka om variabeln kan mätas med tillräcklig noggrannhet och att den är valid.</p>	<p>Sprickor Mätningen med LCMS-systemet fungerar tillfredställande. Det finns dock orosmoln då olika system gav olika resultat för en av sträckorna som testades. Rekommendationen är att använda den automatiska sprickmätningen för att indikera om sträckan är sprucken men att ta stöd av manuell granskning för att kvalitetssäkra detekteringen. I zon 1 och 5 (vägmitt och vägren) finns egenskaper som ett automatiserat system har svårt att hantera, därför bör zon 2 till 4 användas (hjulspåren och mellan dessa).</p> <p>Ytskador Flera metoder för att identifiera ytskador berörs i rapporten. De mättekniker som används har en tillräckligt god repeterbarhet, men det finns för lite erfarenhet av användningen av måtten för att kunna lita på eller förstå resultaten. Störst tilltro ges användningen av MPD som indikator på en separerad yta.</p> <p>Variablerna för sättningar, vattenavrinning och lokala ojämnheter beräknas från kvalitetssäkrade data, tvärfallsmätning, backighetsmätning, tvärprofilmätning och längsprofilmätning, så dessa metoder har en känd och tillräckligt bra noggrannhet och validitet.</p>

Delmoment	Kommentar
Kontrollera användningen av variabeln på verkliga entreprenader innan metoden fastställs. Denna punkt kan leda till justeringar av metoden. 	Alla nya variabler som beskrivs i denna rapport är i ett tidigt utvecklingskede vilket innebär att de inte är mogna att införas vid reglering av en entreprenad. En demonstration utfördes i projektet, med blandat resultat. En testperiod föreslås för att se hur användningen fungerar över tid.
Göra en teknisk beskrivning av variabeln och avgöra hur och när under entreprenaden den ska användas. 	Det finns en metodbeskrivning eller TDOK (Trafikverket, 2020B) som beskriver LO, sprickor, MPD, megatextur, tvärfall, backighet, längsprofil och tvärprofil. Europastandarden EN 13036-8:2025 beskriver vattenarea. En TDOK som beskriver hur ett rätskenevärde beräknas finns för godkännande hos Trafikverket. En TDOK som beskriver en hur en ny beläggning ska kontrolleras med hjälp av MPD finns också (Trafikverket, 2017). Den återstående beskrivningen som skulle behöva definieras och skapas är mätning av ytskador.
Fastställa gränsvärden som kan användas för att reglera en entreprenad.	En provperiod på ett flertal projekt bör initieras.
Sprida kunskap om variabeln, metoden och intentionen med användningen.	Metoderna bör presenteras i Metodgruppen oförstörande fältmätning och på nationella konferenser som Metoddagen, Trafikverkets Teknikdagar, m.m.
Inkludera variabeln och föreslagna gränsvärden i vägghållarens mall som används för att skriva funktionskrav för en entreprenad.	Detta är ett internt Trafikverksarbete, men stöd behövs från verkliga objekt.
Publicera en teknisk beskrivning av variabeln.	Den beskrivning som återstår att ta fram rör ytskador. Här behöver först en metod bestämmas.

Den demonstration som utfördes i projektet visar att måtten för att identifiera sättningar, lokala ojämnheter och avvattning fungerar tillfredsställande och skulle kunna börja testas i större skala. En förutsättning för en snabb acceptans är att måttet ska vara enkelt att förstå och att den egenskap som studeras verkligen ska gå att se på vägen. En lång sättning är mycket svår att upptäcka på vägen, vilket kan ge tveksamheter om måttet verkligen visar rätt sak, vilket minskar trovärdigheten. För sprickor föreslås att en entreprenad följs upp med automatisk sprickmätning som en screeningmetod för att avgöra om objektet har börjat spricka. Resultaten visar i dagsläget att metoden inte är tillräcklig tillförlitlig i alla situationer för att kunna användas för reglering av en entreprenad. I stället föreslås att en objektiv sprickidentifikation kombineras med en subjektiv inspektion, antingen via bilder eller ute på vägen. På så sätt ges större möjlighet att identifiera spruckna områden, något som annars är svårt okulärt från ett fordon. Slutligen är måttet ytskador ett kapitel för sig. Ytskador är ett brett begrepp som innefattar flera delgrupper. Grupp 1, separationer vid läggning av beläggningen. För detta finns en metod beskriven (Trafikverket, 2017) som baseras på MPD-mätning. Erfarenheten hittills visar dock att den används mycket sparsamt. Grupp 2, defekter som uppkommer under bruksskedet kan kontrolleras med flera olika metoder som behöver utvecklas och/eller testas på verkliga entreprenader för att få mer erfarenhet av metoderna. Mätning av ytskador i bruksskedet är den metod som ligger längst från en implementering. Grupp 3, är större skador som kan uppstå i ett senare skede av entreprenaden, t.ex. potthål eller ojämna broskarvar. Här finns mått som kan detektera dessa egenskaper även om denna typ av skada är ovanlig på en totalentreprenad.

Slutligen listas för- och nackdelar med metoderna samt förslag för när metoden ska användas, se Tabell 24. Tabellen beskriver också den metod som rekommenderas. Tabellen sammanfattar de erfarenheter som erhållits från arbetet med repeterbarhet och validitet för måtten samt den demonstration som gjordes.

Tabell 24 Lista över föreslagna mått/metoder för uppföljning av en entreprenad samt för- och nackdelar och när en kontroll bör göras.

Variabel	Fördelar	Nackdelar	När kontrollera	Rekommenderad metod
Sprickor	Objektiv värdering	Vissa situationer som en riktigt grov beläggning är svåra att bemästra per automatik. Mätningen kräver ett LCMS-system som inte finns på alla mätbilar som utför objektmätning.	När sprickor normalt börjar uppstå, efter ca 5 år.	LCMS eller liknande teknik (kombination av djupseende och bildtolkning).
Ytskador	Objektiv värdering	Olika typer av ytskador kräver olika metoder. Det behöver inte vara en nackdel. Troligen bör separationer vid läggning hanteras på ett sätt och ytskador som uppstår under driftstiden på ett annat. Alla mätbilar som utför objektmätning har inte LCMS-tekniken som är en möjlig mätteknik.	Vid trafikpåsläpp, för utförande-kvalitet. När de första problemen normalt uppstår, efter ca 5 år.	MPD vid trafikpåsläpp. LCMS-tekniken eller MPD, detta bör testas mer.
Avvattning	Svårt att upptäcka subjektivt (förutom vid nederbörd). En objektiv metod är därför bra. Måtten går att beräkna från en ordinär objektmätning.	Inga kända.	Snedlutning bör kontrolleras vid trafikpåsläpp. Vattenarea i kombination med snedlutning efter 5 år när viss spårbildning uppstår.	Vägytemätning (tvärprofil, tvärfall, backighet). Områdesmätning kan också användas, speciellt för att identifiera stående vatten eller flödesvägar längs vägen.
Lokala ojämnheter	Ett komplement till IRI för att kravställa skarvar och att hitta defekter i bruksskedet. Måtten går att beräkna från en ordinär objektmätning.	LO har fyra olika mått. Måtten kan vara svårtolkade, kräver längre tids erfarenhet för att förstå.	Vid trafikpåsläpp och under hela entreprenadstiden.	Längsprofilmätning. Det finns för- och nackdelar med de två tillgängliga metoderna, simulerad rätskena och LO. Rätskenan är enkel att förstå men kopplingen till komfort är sämre än för LO och vice versa.
Sättningar	Ett enkelt och lättbegripligt mått som kan beräknas från en normal objektmätning.	Sättningar kan vara längre än 50 meter eller 100 meter som är övre gränsen för den simulerade rätskenans längd.	Kan användas för avstämning mot projekterad planritning vid trafikpåsläpp (nollmätning). Under entreprenadstiden kan jämförelse med nollmätning göras för att kontrollera om vägen har sättningar.	Längsprofilmätning eller områdesmätning. Längsprofilmätning fungerar om sättningen är upp till 100 meter lång. Områdesmätningen kan även ge svar på längre sättningar.

En annan del av projektet har bäring på kravställning av spårdjup vid en entreprenad. Det är vanligt att nya vägar byggs med relativt smala körfält som en kostnadsbesparing. De krav som ställs på spårdjupet är framtagna för måtbredden 3,2 m. När körfältsbredden är 3,5 meter eller mindre ska måtbredd 2,6 meter användas. Resultatet från undersökningen visar att kravet för spårdjup bör minskas med 0,4 mm vid trafikpåsläpp då den smalare måtbredden används för kontroll av en entreprenad.

En annan del av projektet behandlar spårdjupsutvecklingen på det statliga vägnätet. Spårdjupsutvecklingen har beräknats för olika kategorier, där vägnätet är uppdelat i olika kategorier med avseende på, trafikmängd, beläggningstyp, maximal stenstorlek, kulkvarnsvärde, vägtyp och dubbdäcksanvändning. För varje kategori med minst 100 km data presenteras den genomsnittliga spårtillväxten. Spårutvecklingen beskriver den normala utvecklingstakten för kategorin, spridningen inom varje grupp är förstås stor. Resultatet från den delen (kapitel 10.2.3) ger väghållaren information som kan användas vid kravställning av en entreprenad och entreprenören för att planera och projektera samt bedöma risker för en entreprenad.

14. Diskussion

I arbetet med att utvärdera och använda de föreslagna måtten för kontroll av en entreprenad framkom flera centrala områden där förbättringar och ytterligare utvecklingsarbete är nödvändiga för att säkerställa hög trovärdighet, användarvänlighet och generaliserbarhet.

Det finns svårigheter i att införa ett nytt mått för att kontrollera en entreprenad. Långa ledtider till acceptans nås är normalt. En standardisering eller metodbeskrivning av mått och metoder är förstås en förutsättning för acceptans.

Demonstrationsstudien lyfte fram brister i utformningen och strukturen av protokollen som användes för bedömningarna. Framtida protokoll bör vara mer konsekventa och tydligt vägleda användarna genom varje steg i processen. Det är viktigt att inkludera fler svarsalternativ, såsom "ingen åsikt," för att minska risken för feltolkningar av uteblivna svar. Dessutom bör protokollen anpassas efter olika vägtyper och skadetyper för att säkerställa relevans och tydlighet i bedömningarna.

Rapporten pekar också på behovet av att integrera de föreslagna måtten i system som PMSv4. Att inkludera färdiga analyser och visuella representationer, såsom diagram, kan förbättra beslutsunderlagen och göra resultaten mer tillgängliga och accepterade för olika intressenter. I PMSv4 finns möjlighet att införa nya variabler på prov för att branschen ska kunna lära sig de nya måtten.

En viktig insikt från rapporten är att vissa mått kan identifiera tekniska egenheter, såsom sättningar, utan att nödvändigtvis indikera ett omedelbart behov av åtgärder. Det är därför nödvändigt att fortsätta undersöka sambanden mellan olika mått och praktiska krav på underhållsåtgärder.

Flera av de mått som föreslås kan beräknas från normala vägytemätningar, vilket inte blir kostnadsdrivande för inmätningen. Mer problematiskt blir det med de mått som kräver en viss sorts utrustning, t.ex. sprickmätning med LCMS-systemet, som endast används på vägnätsnivå i dagsläget, och innehas av två leverantörer.

En ny teknik som inte använts i större utsträckning till att kontrollera entreprenader är områdesmätning. Tekniken kräver en större insats för att processa och bearbeta data än normal vägytemätning, men om tekniken skulle börja användas kommer rutiner tas fram som strömlinjeformar och automatiserar analysen till den egenskap som efterfrågas, möjligheterna är många.

För att hantera de ovanstående utmaningarna och skapa ett mer effektivt, allsidigt och säkert system för uppföljning av entreprenader krävs en kombination av standardisering, teknisk innovation och bredare datainsamling. Genom att fortsätta utveckla och förbättra de föreslagna måtten och metoderna kan vi skapa en robust grund för framtida väganalys och underhåll, vilket i sin tur kan leda till säkrare och mer hållbara vägar, till gagn för väganvändaren och väghållaren.

Referenser

- Andrén, P., Eriksson, O. & Lundberg, T., 2014. *Prognosmodeller för tillståndsmått i Trafikverkets Pavement Management System: IRI och spårdjup*, VTI Rapport 812, Linköping: VTI.
- CEN, 2001. *13036-1:2003 Road and airfield surface characteristics - Test methods - Part 1: Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique*, u.o.: CEN.
- CEN, 2019. *13036-5:2019 Road and airfield surface characteristics — Test methods — Part 5: Determination of longitudinal unevenness indices*, u.o.: CEN.
- CEN, 2025. *13036-8:2025 Road and airfield surface characteristics — Test methods — Part 8: Determination of transverse unevenness and crossfall indices*, u.o.: CEN.
- Dinegdae, Y., Ahmed, A. W. & Erlingsson, S., 2024. *Calibrating ERAPave PP with field performance data*. Linköping, VTI.
- Eriksson, O., 2023. *Prognosmetoder för spårdjup och IRI: utökad metodbeskrivning och tillägsfrågor*, Linköping: VTI.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2001. *Road and airfield surface characteristics – Test methods – Part 1: Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique*. Geneva: CEN.
- Göransson, N.-G., 2018. *Uppföljning av vägars tekniska tillstånd: Lägesrapport för observationssträckor ingående i det svenska LTPP-projektet till och med december 2017*, Linköping: VTI.
- International Organization for Standardization (ISO), 1997. *ISO 13473-1:1997, Characterization of Pavement Texture Utilizing Surface Profiles - Part 1: Determination of Mean Profile Depth*, Geneva: ISO (Latest edition is from 2021).
- International Organization for Standardization (ISO), 2019. *ISO 13473-1:2019, Characterization of Pavement Texture Utilizing Surface Profiles - Part 1: Determination of Mean Profile Depth*. Geneva: ISO.
- International Organization for Standardization, 2002. *Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 3: Specifications and classification of profilometers*. Geneva: ISO.
- International Standardisation Organisation (ISO), 2025. *ISO 13473-5, Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 5: Determination of megatexture*. Geneva, ISO.
- Lundberg, T., 2012. *Kontrollmetod för nya vägbeläggningar - Makrotextur*, VTI notat 35–2012, Linköping: VTI.
- Lundberg, T., 2019. *Results from quality test of road condition measurements in Finland 2019 - Tests done in Östergötland, Sweden, week 38-40 2019*, Linköping: VTI.
- Lundberg, T., Glantz, C. & Göransson, N.-G., 2019A. *Kontroll och uppföljning av entreprenader – del 1, dagens krav och metoder. Vägytemätning med mätbil*, VTI rapport 1017, Linköping: VTI.
- Lundberg, T., Glantz, C., Wahlman, T. & Andrén, P., 2020. *Objektiv mätning av ytskador och sprickor i vägytan: vägytemätning med skannande laserteknik*, Linköping: VTI.
- Lundberg, T., O, E. & Glantz, C., 2019B. *Kontroll och uppföljning av entreprenader - del 2, tillståndsutveckling, mätfel och risker: Vägytemätning med mätbil*, VTI rapport 1018, Linköping: VTI.
- Lundberg, T., Sjögren, L. & Andrén, P., 2015. *Svenska tillståndsmått då, nu och i morgon. Del 3: I morgon - år 2010 och framåt*, VTI rapport 719, Linköping: VTI.

- Said, S., Hakim, H., E., O. & M., H., 2011. Prediction of flow rutting in asphalt concrete layers. *International Journal of Pavement Engineering*, 12(6), pp. 519-532.
- Sjögren, L. & Lundberg, T., 2011. *Svenska vägtillståndsmått då, nu och i morgon: del 2: nu - år 2005-2009*, Linköping: VTI.
- Skanska Norge AS, 2025. *Om projektet*. [Online]
Available at: <https://prosjekt.skanska.no/opshalogalandsvegen/om-prosjektet/>
[Använd 26 Juni 2025].
- Statens vegvesen, 2014. *Standard for drift og vedlikehold av riksveger*. [Online]
Available at: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-r610.pdf>
[Använd 26 Juni 2025].
- Statens vegvesen, 2020. *OPS-prosjekter i Statens vegvesen*. [Online]
Available at: <https://www.vegvesen.no/globalassets/vegprosjekter/undersider/ops-og-ppp/faktaark-ops-august-2020-norsk.pdf?v=4990ce>
[Använd 26 Juni 2025].
- Statens vegvesen, 2021A. *Prosjekt: E10/ rv. 85 Tjeldsund - Gullesfjordbotn - Langvassbukt, Kapittel D1.3 Beskrivelse drift*, u.o.: Statens vegvesen.
- Statens vegvesen, 2021B. *Prosjekt: E10/ rv. 85 Tjeldsund - Gullesfjordbotn - Langvassbukt, Kapittel D1.4 Krav ved overtakelse etter driftsfasen*, u.o.: Statens vegvesen.
- Statens vegvesen, 2025. *E10/rv. 85 Tjeldsund–Gullesfjordbotn–Langvassbukt - (OPS Hålogalandsvegen)*. [Online]
Available at: <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/prosjekt/halogalandsvegen/>
[Använd 26 Juni 2025].
- Statens vegvesen, u.d. *Offentlig Privat Samarbeid (OPS) i veiprojekter*. [Online]
Available at: <https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/ops-ppp/>
[Använd 26 Juni 2025].
- Sveriges Kommuner och Regioner, 2019. *Bära eller Brista*. [Online]
Available at: <https://skr.se/download/18.40c889381840e60521ab4dd4/1668152168830/B%C3%A4ra-eller-brista.pdf>
[Använd 28 Juni 2025].
- Trafikverket, 2012. *Underhållsstandard belagd väg 2011, Publikationsnummer: 2012:074*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2014. *Bestämning av ojämnheter och tvärfall med rätskiva*, Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2015A. *Vägytemätning Objekt, TDOK 2014:0005*. u.o.:Trafikverket.
- Trafikverket, 2015B. *Tekniskt godkännande för Objektmätning, TDOK 2014:0706*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2017. *Kontroll av nya beläggningsmakrotextur med mätbil, TDOK 2016:0271*. 1.0 red. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2020A. *Bitumenbundna lager, TDOK 2013:0529*, u.o.: Trafikverket.
- Trafikverket, 2020B. *Vägytemätning Mätstorheter, TDOK 2014:0003*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2021. *Beräkningar med PMS Objekt enligt TRVINFRA 00224*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2023. *Undersökning av däcktyp i Sverige - Vintern 2023 (januari-mars)*, Borlänge: Trafikverket.

Wågberg, L.-G., 2001. *Utveckling av nedbrytningsmodeller; Sprickinitiering och sprickpropagering*, Linköping: VTI.

Wågberg, L.-G., 2003. *Bära eller brista : handbok i tillståndsbedömning av belagda gator och vägar*, ISBN 91-7289-172-6. 2:a red. Stockholm: Svenska kommunförbundet.

Bilaga 1. Protokoll för okulär bedömning

Protokoll för sträcka: _____

Ange med ett kryss i de rutor som vägvsnittet skulle underkännas

LO

	Nybyggnad/nytt slitlager	Funktionstiden	Ange defekt
Totalentreprenad			
Underhållsentreprenad			
Garantibesiktning			

Rätskena

	Nybyggnad/nytt slitlager	Funktionstiden	Ange defekt
Totalentreprenad			
Underhållsentreprenad			
Garantibesiktning			

Underhållsindex

	Nybyggnad/nytt slitlager	Funktionstiden	Ange defekt
Totalentreprenad			
Underhållsentreprenad			
Garantibesiktning			

Sättning (ringa in ditt svar)

Är måtten för att fånga svackor (sättningar) på en rimlig nivå? JA NEJ

Motsvarar mätningens resultat det du ser på vägen?

Gradera i en skala från 1 till 5, 5 är bra

	Sprickor	Ytskador (LCMS)	Ytskador (Mega)	Ytskador (MPD)	Avvattning	Vattenarea

Kommentarer:

Bilaga 2. Spårdjupsutveckling för grupper över 100 km beläggning

Tabell 25 Spårdjupsutveckling för olika kombinationer av ÅDT, vägtyp, dubbdäcksanvändning, beläggningstyp, stenstorlek och kulkvarnsvärde. Utvecklingen är beskriven i medelvärde, standardavvikelse, 95-% konfidensintervall (förutsatt normalfördelning). Antal avser antalet 100 meterssträckor som ingår i varje grupp.

ÅDT	Vägtyp	Dubbdäcksanvändning (%)	Beläggningstyp	Stenstorlek	KKV	Spårdjupsutveckling			Antal
						Medel	Std	Konfidensintervall	
0 - 500	5	25 - 50	ABT	11	7 - 10	0,44	0.44	-0.43 - 1.31 *	2536
0 - 500	5	25 - 50	ABT	11	10 - 100	0,48	0.44	-0.38 - 1.34 *	4155
0 - 500	5	25 - 50	ABT	16	7 - 10	0,46	0.42	-0.36 - 1.28 *	1924
0 - 500	5	25 - 50	ABT	16	10 - 100	0,43	0.39	-0.33 - 1.19 *	2884
0 - 500	5	50 - 70	ABT	11	7 - 10	0,47	0.45	-0.41 - 1.36 *	5654
0 - 500	5	50 - 70	ABT	11	10 - 100	0,50	0.47	-0.42 - 1.43 *	7408
0 - 500	5	50 - 70	ABT	16	7 - 10	0,35	0.36	-0.36 - 1.06	2939
0 - 500	5	50 - 70	ABT	16	10 - 100	0,48	0.40	-0.30 - 1.26 *	1350
0 - 500	5	70 - 90	ABT	16	7 - 10	0,50	0.49	-0.45 - 1.46 *	1001
0 - 500	5	90 - 100	ABT	16	7 - 10	0,59	0.39	-0.17 - 1.34 *	1419
0 - 500	5	90 - 100	ABT	16	10 - 100	0,61	0.47	-0.31 - 1.52 *	1456
500 - 1000	5	25 - 50	ABT	11	7 - 10	0,43	0.39	-0.33 - 1.19 *	2025
500 - 1000	5	25 - 50	ABT	11	10 - 100	0,40	0.33	-0.25 - 1.05	1970
500 - 1000	5	25 - 50	ABT	16	7 - 10	0,40	0.36	-0.3 - 1.11	2290
500 - 1000	5	25 - 50	ABT	16	10 - 100	0,49	0.40	-0.30 - 1.28 *	2639
500 - 1000	5	50 - 70	ABT	11	7 - 10	0,54	0.46	-0.37 - 1.45 *	3846
500 - 1000	5	50 - 70	ABT	11	10 - 100	0,45	0.36	-0.26 - 1.16	5441
500 - 1000	5	50 - 70	ABT	16	7 - 10	0,41	0.35	-0.27 - 1.09	3270
500 - 1000	5	50 - 70	ABT	16	10 - 100	0,51	0.47	-0.41 - 1.44 *	2536
500 - 1000	5	70 - 90	ABT	16	7 - 10	0,68	0.46	-0.21 - 1.58 *	1891
500 - 1000	5	90 - 100	ABT	11	7 - 10	0,68	0.44	-0.17 - 1.54 *	1465
500 - 1000	5	90 - 100	ABT	16	7 - 10	0,72	0.50	-0.27 - 1.70 *	3834
500 - 1000	5	90 - 100	ABT	16	10 - 100	0,77	0.50	-0.22 - 1.75 *	2030
1000 - 2000	5	25 - 50	ABS	16	7 - 10	0,48	0.27	-0.04 - 1	1129
1000 - 2000	5	25 - 50	ABT	11	7 - 10	0,54	0.38	-0.22 - 1.29 *	2485
1000 - 2000	5	25 - 50	ABT	11	10 - 100	0,47	0.32	-0.16 - 1.1	1203
1000 - 2000	5	25 - 50	ABT	16	5 - 7	0,52	0.34	-0.16 - 1.19	1365
1000 - 2000	5	25 - 50	ABT	16	7 - 10	0,48	0.32	-0.14 - 1.1	6236
1000 - 2000	5	25 - 50	ABT	16	10 - 100	0,58	0.40	-0.21 - 1.36 *	1917
1000 - 2000	5	50 - 70	ABS	16	5 - 7	0,51	0.33	-0.14 - 1.16	1092
1000 - 2000	5	50 - 70	ABS	16	7 - 10	0,58	0.34	-0.09 - 1.25	1593
1000 - 2000	5	50 - 70	ABT	11	7 - 10	0,69	0.44	-0.17 - 1.56 *	4292
1000 - 2000	5	50 - 70	ABT	11	10 - 100	0,57	0.39	-0.21 - 1.34 *	4829
1000 - 2000	5	50 - 70	ABT	16	7 - 10	0,55	0.30	-0.03 - 1.13	5821
1000 - 2000	5	50 - 70	ABT	16	10 - 100	0,56	0.37	-0.16 - 1.28	3733
1000 - 2000	5	70 - 90	ABT	16	5 - 7	0,82	0.41	0.02 - 1.62 *	1270

ÅDT	Vägtyp	Dubbdäcks- användning (%)	Beläggings- typ	Sten- storlek	KKV	Spårdjupsutveckling			Antal
						Medel	Std	Konfidens- intervall	
1000 - 2000	5	70 - 90	ABT	16	7 - 10	0,63	0.35	-0.05 - 1.31	2263
1000 - 2000	5	90 - 100	ABT	16	5 - 7	0,71	0.35	0.02 - 1.40	1590
1000 - 2000	5	90 - 100	ABT	16	7 - 10	0,70	0.38	-0.04 - 1.44	5021
1000 - 2000	5	90 - 100	ABT	16	10 - 100	0,96	0.5	-0.02 - 1.93 *	1562
1000 - 2000	6	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,74	0.32	0.11 - 1.36	1700
2000 - 3000	5	25 - 50	ABS	11	7 - 10	0,64	0.34	-0.02 - 1.31	1892
2000 - 3000	5	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,65	0.35	-0.03 - 1.34	2402
2000 - 3000	5	25 - 50	ABS	16	7 - 10	0,63	0.34	-0.03 - 1.3	1675
2000 - 3000	5	25 - 50	ABT	16	5 - 7	0,66	0.33	0.01 - 1.32	1589
2000 - 3000	5	25 - 50	ABT	16	7 - 10	0,74	0.38	0.00 - 1.48	3354
2000 - 3000	5	25 - 50	ABT	16	10 - 100	0,71	0.37	-0.01 - 1.44	1114
2000 - 3000	5	50 - 70	ABS	11	5 - 7	0,74	0.38	0.00 - 1.49	1028
2000 - 3000	5	50 - 70	ABS	16	5 - 7	0,58	0.32	-0.05 - 1.22	2438
2000 - 3000	5	50 - 70	ABS	16	7 - 10	0,66	0.31	0.04 - 1.27	1481
2000 - 3000	5	50 - 70	ABT	11	7 - 10	0,64	0.39	-0.12 - 1.40 *	1852
2000 - 3000	5	50 - 70	ABT	11	10 - 100	0,67	0.34	0.00 - 1.33	2706
2000 - 3000	5	50 - 70	ABT	16	5 - 7	0,58	0.35	-0.10 - 1.27	1521
2000 - 3000	5	50 - 70	ABT	16	7 - 10	0,75	0.38	0.00 - 1.50	2721
2000 - 3000	5	90 - 100	ABT	16	5 - 7	0,83	0.39	0.07 - 1.59 *	2032
2000 - 3000	5	90 - 100	ABT	16	7 - 10	0,91	0.41	0.11 - 1.72 *	1069
2000 - 3000	6	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,94	0.41	0.15 - 1.74 *	2614
2000 - 3000	6	50 - 70	ABS	16	5 - 7	1,04	0.38	0.29 - 1.78	1118
2000 - 3000	6	50 - 70	TSK	16	5 - 7	0,80	0.31	0.20 - 1.40	1013
2000 - 3000	6	70 - 90	ABS	16	5 - 7	1,02	0.34	0.35 - 1.68	1180
2000 - 3000	6	90 - 100	ABS	16	5 - 7	1,05	0.38	0.30 - 1.79	1610
3000 - 4000	5	25 - 50	ABS	11	7 - 10	0,70	0.37	-0.02 - 1.43	1123
3000 - 4000	5	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,73	0.37	0.01 - 1.46	2098
3000 - 4000	5	25 - 50	ABS	16	7 - 10	0,80	0.43	-0.05 - 1.64 *	2769
3000 - 4000	5	25 - 50	ABT	16	7 - 10	0,76	0.38	0.01 - 1.51 *	1156
3000 - 4000	5	50 - 70	ABS	16	5 - 7	0,70	0.38	-0.05 - 1.45 *	2407
3000 - 4000	5	50 - 70	ABT	11	10 - 100	0,69	0.36	-0.01 - 1.40	1421
3000 - 4000	5	50 - 70	ABT	16	5 - 7	0,76	0.36	0.05 - 1.48	1003
3000 - 4000	5	50 - 70	ABT	16	7 - 10	0,91	0.44	0.06 - 1.77 *	1321
3000 - 4000	5	50 - 70	TSK	16	5 - 7	0,70	0.35	0.01 - 1.39	2041
3000 - 4000	5	90 - 100	ABT	16	7 - 10	0,89	0.39	0.11 - 1.66 *	1046
3000 - 4000	6	25 - 50	ABS	16	5 - 7	1,05	0.45	0.16 - 1.93 *	1224
3000 - 4000	6	50 - 70	ABS	16	5 - 7	0,92	0.39	0.16 - 1.68 *	2377
3000 - 4000	6	50 - 70	TSK	16	5 - 7	1,05	0.4	0.26 - 1.84 *	1605
3000 - 4000	6	70 - 90	ABS	16	5 - 7	1,12	0.33	0.48 - 1.77	1843
4000 - 5000	5	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,80	0.42	-0.03 - 1.63 *	2380
4000 - 5000	5	25 - 50	ABS	16	7 - 10	0,83	0.40	0.05 - 1.61 *	1234

ÅDT	Vägtyp	Dubbdäcks- användning (%)	Beläggings- typ	Sten- storlek	KKV	Spårdjupsutveckling			Antal
						Medel	Std	Konfidens- intervall	
4000 - 5000	5	50 - 70	ABS	16	5 - 7	0,80	0,39	0,03 - 1,57 *	1843
4000 - 5000	5	50 - 70	TSK	16	5 - 7	0,73	0,35	0,05 - 1,41	1045
4000 - 5000	5	90 - 100	ABT	16	5 - 7	1,11	0,47	0,19 - 2,03 *	1041
4000 - 5000	6	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,94	0,37	0,22 - 1,66	1853
4000 - 5000	6	25 - 50	TSK	16	5 - 7	0,98	0,31	0,38 - 1,58	1232
4000 - 5000	6	50 - 70	ABS	16	5 - 7	1,00	0,47	0,09 - 1,92 *	1956
4000 - 5000	6	50 - 70	TSK	16	5 - 7	0,98	0,38	0,23 - 1,73	1330
4000 - 5000	6	70 - 90	ABS	16	5 - 7	1,21	0,40	0,42 - 2,00 *	1722
4000 - 5000	6	90 - 100	ABS	16	5 - 7	1,23	0,5	0,24 - 2,22 *	1763
5000 - 6000	1	50 - 70	TSK	16	5 - 7	0,53	0,35	-0,16 - 1,23	1431
5000 - 6000	5	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,66	0,34	-0,02 - 1,33	1172
5000 - 6000	5	50 - 70	ABS	16	5 - 7	0,75	0,38	0,01 - 1,49	1498
5000 - 6000	5	50 - 70	TSK	16	5 - 7	0,82	0,39	0,06 - 1,58 *	1186
5000 - 6000	6	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,99	0,42	0,16 - 1,82 *	1099
6000 - 7000	1	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,83	0,42	-0,00 - 1,65 *	2870
6000 - 7000	1	50 - 70	ABS	16	5 - 7	0,89	0,45	0,01 - 1,77 *	1664
6000 - 7000	5	50 - 70	ABS	16	5 - 7	0,86	0,39	0,08 - 1,63 *	1040
6000 - 7000	6	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,92	0,5	-0,06 - 1,90 *	1032
7000 - 8000	1	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,94	0,39	0,18 - 1,69 *	2120
7000 - 8000	1	50 - 70	ABS	16	5 - 7	0,71	0,44	-0,16 - 1,58 *	2129
7000 - 8000	5	50 - 70	ABS	16	5 - 7	0,79	0,36	0,09 - 1,49	1045
8000 - 10000	1	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,82	0,39	0,06 - 1,58 *	2506
8000 - 10000	1	50 - 70	ABS	16	5 - 7	0,85	0,45	-0,04 - 1,75 *	4480
8000 - 10000	1	50 - 70	TSK	16	5 - 7	0,80	0,39	0,04 - 1,57 *	1602
8000 - 10000	1	70 - 90	ABS	16	5 - 7	1,20	0,44	0,34 - 2,07 *	2052
10000 - 15000	1	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,89	0,41	0,09 - 1,68 *	3298
10000 - 15000	1	50 - 70	ABS	16	5 - 7	1,02	0,45	0,14 - 1,91 *	5823
10000 - 15000	1	50 - 70	TSK	16	5 - 7	0,77	0,42	-0,06 - 1,60 *	4413
10000 - 15000	1	70 - 90	ABS	16	5 - 7	1,22	0,43	0,37 - 2,07 *	3019
15000 - 20000	1	25 - 50	ABS	16	5 - 7	0,83	0,42	0,00 - 1,65 *	3067
15000 - 20000	1	50 - 70	ABS	16	5 - 7	1,02	0,46	0,12 - 1,92 *	2469
15000 - 20000	1	50 - 70	TSK	16	5 - 7	0,90	0,44	0,04 - 1,76 *	2492
20000 - 72240	1	25 - 50	ABS	16	5 - 7	1,05	0,51	0,06 - 2,04 *	9102
20000 - 72240	1	50 - 70	ABS	11	5 - 7	0,93	0,42	0,10 - 1,76 *	1238
20000 - 72240	1	50 - 70	ABS	16	5 - 7	1,26	0,49	0,30 - 2,22 *	5681
20000 - 72240	1	50 - 70	TSK	16	5 - 7	0,98	0,40	0,19 - 1,76 *	2092

Bilaga 3 .Initiala värden för nya beläggningar, 0 till 6 månader gamla

Denna bilaga sammanställer data från alla statliga vägar som har mätts inom 6 månader från att den har lagts. Mätningarna kommer från Trafikverkets övergripande vägnätsmätningar från 2015 till 2024. Data redovisas separat för två perioder, 2015 till 2019 samt 2020 till 2024. De beläggningstyper som redovisas är ABS, ABT, TSK och ABD, vilket är de som normalt används på de entreprenader som denna rapport omfattar.

82 379 observationer (100 metersvärden) har sammanställts för olika beläggningstyper och maximal stenstorlek. Det innebär drygt 8 200 km beläggning.

Tabell 26 Antal observationer per undersökningsperiod och totalt, uppdelat på beläggningstyp och maximal stenstorlek.

Beläggningsgrupp	Mätperiod		Totalt
	2015–2019	2020–2024	
ABD11	14	67	81
ABS11	1 376	1 837	3 213
ABS16	12 859	18 353	31 212
ABT11	4 380	2 320	6 700
ABT16	13 403	14 355	27 758
TSK11	543	23	566
TSK16	6 219	6 630	12 849
Totalt	38 794	43 585	82 379

ABD11 och TSK11 har få observationer och kommer inte analyseras vidare, se Tabell 26. I tabellen ser vi också att underlaget omfattar ca 12 % fler sträckor 2020 till 2024 i jämförelse med föregående femårsperiod för de beläggningskategorier som undersökts. Den största ökningen står ABS16 för, en beläggningstyp som används på de högtrafikerade vägarna.

Varje beläggningskategori sammanfattas med medelvärde, standardavvikelse (för 100 m sträckor) och medianvärdet. Medianvärdet återspeglar sannolikt det verkliga normalförhållandet bäst då extremvärden sällas bort.

Tabell 27 till Tabell 31 visar resultatet av sammanställningen.

Tabell 27 Initialvärden för IRI och spår djup på vägar med beläggningstyp ABS11.

ABS 11 n=3 213	IRI (mm/m)	Spår (mm)	
		H	
Medel	H	17	15
2015–2019	1,06	3,8	3,5
2020–2024	1,06	2,9	2,3
Stdav.			
2015–2019	0,51	1,8	1,8
2020–2024	0,53	1,1	0,9
Median			
2015–2019	0,90	3,7	3,2
2020–2024	0,91	2,8	2,2

Tabell 28 Initialvärden för IRI och spår djup på vägar med beläggningstyp ABS16.

ABS 16 n=31 212	IRI (mm/m)	Spår (mm)	
		H	
Medel	H	17	15
2015–2019	0,97	2,7	2,2
2020–2024	0,99	2,8	2,4
Stdav.			
2015–2019	0,34	1,1	0,9
2020–2024	0,34	1,0	0,8
Median			
2015–2019	0,89	2,4	1,9
2020–2024	0,91	2,6	2,2

Tabell 29 Initialvärden för IRI och spår djup på vägar med beläggningstyp ABT11.

ABT 11 n=6 700	IRI (mm/m)	Spår (mm)	
		H	
Medel	H	17	15
2015–2019	2,07	3,4	2,9
2020–2024	2,23	3,4	2,7
Stdav.			
2015–2019	0,98	1,4	1,3
2020–2024	0,98	1,5	1,3
Median			
2015–2019	1,86	3,4	2,8
2020–2024	2,04	3,4	2,6

Tabell 30 Initialvärden för IRI och spår djup på vägar med beläggningstyp ABT16.

ABT 16 n=27 758	IRI (mm/m)	Spår (mm)	
Medel	H	17	15
2015–2019	1,06	2,5	2,1
2020–2024	1,24	2,6	2,2
Stdav.			
2015–2019	0,46	1,2	1,2
2020–2024	0,61	1,2	1,0
Median			
2015–2019	0,94	2,2	1,8
2020–2024	1,09	2,3	2,0

Tabell 31 Initialvärden för IRI och spår djup på vägar med beläggningstyp TSK16.

TSK 16 n=12 849	IRI (mm/m)	Spår (mm)	
Medel	H	17	15
2015–2019	0,86	2,8	2,3
2020–2024	0,90	2,9	2,4
Stdav.			
2015–2019	0,29	1,0	0,8
2020–2024	0,30	1,0	0,8
Median			
2015–2019	0,81	2,7	2,2
2020–2024	0,84	2,6	2,2

Bilaga 4. Spårdjupsutveckling för grupper över 100 km beläggning

Bilagan beskriver den databearbetning som görs för att sammanställa resultatet i kapitel 10.2 och Bilaga 2.

För lite data per 100 meter

I många fall saknas data för delar av en 100 meterssträcka. Detta kan bero på en mängd olika saker. En del av dessa orsakar svårigheter i analysen, till exempel att mätningar i korsande riktningar felaktigt inkluderas i datamängden för en 100 meterssträcka, eller felaktiga eller orimliga mätvärden på grund av inbromsningar inför korsningar. För att minska antalet av dessa svåranalyserade sträckor krävs att minst 80 meter data finns tillgängligt för att 100 meterssträckan ska inkluderas i analysen. Många 100 meterssträckor som inkluderar ett byte av beläggning mellan 1 och 80 meter in på 100 meterssträckan kommer således att uteslutas. I detta steg faller 6,5 % av alla 100 meterssträckor bort, vilket i sammanhanget anses vara en mindre mängd och har liten påverkan på antalet analyserbara mätserier.

Filtrering av felaktiga värden

I varje mätserie beräknas utvecklingen från år till år. Vissa av dessa årliga förändringar är orimliga och beror vanligtvis på svårigheter med att mäta vägen eller att en driftåtgärd gjorts. En skillnad i sidoposition från år till år kan få stor påverkan på spårdjupet, vilket observerats under stickprovundersökningar. Typiska orsaker till orimliga utvecklingsvärden är:

- felaktigt sidoläge.
- mätningar som skett med litet tidsmässigt mellanrum med olika uppmätta mätvärden (detta ger stora utslag då den genomsnittliga årliga förändringen beräknas).

Av den anledningen exkluderas alla värden för årlig spårdjupsutveckling utanför intervallet 0 till 2,5 mm/år. Värden utanför detta intervall anses felaktiga och de skulle ge stor inverkan på utvecklingstakten.

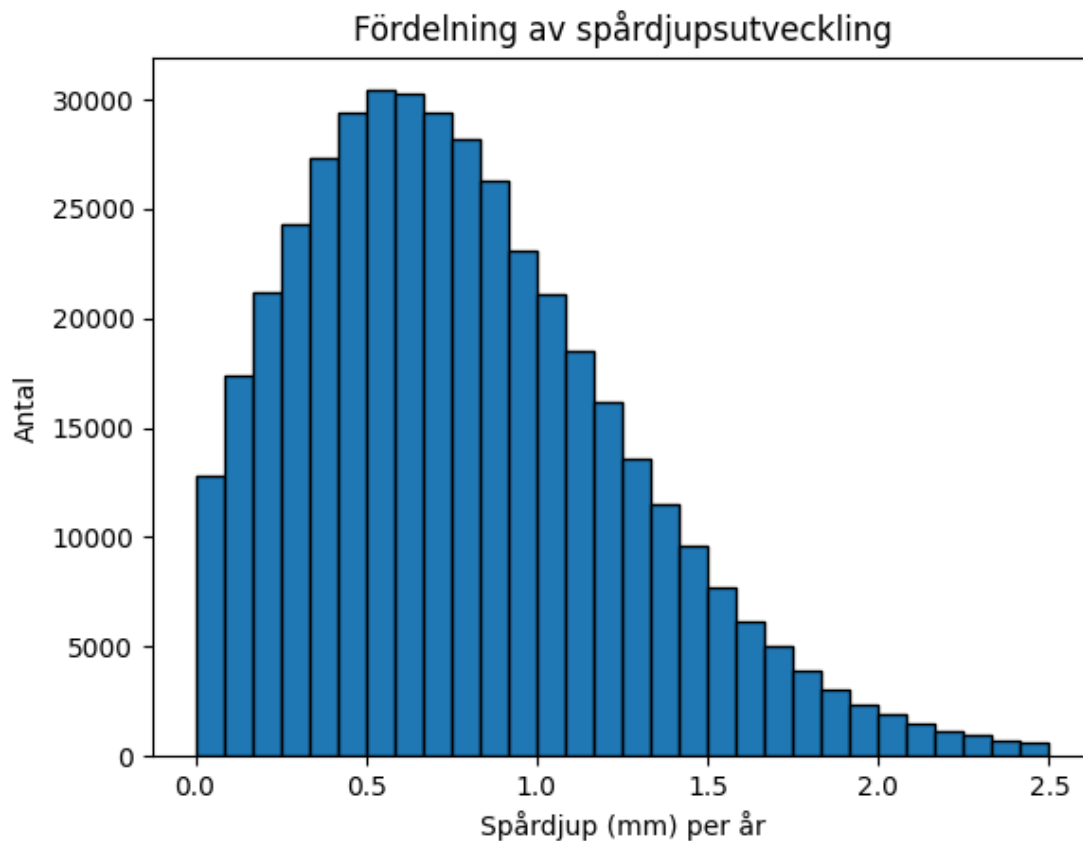
I detta skede försvinner 29,1 % av värdena som beskriver spårdjupsutveckling. Trots den betydande informationsförlusten minskar inte antalet mätserier märkbart eftersom varje mätserie vanligtvis omfattar utveckling över flera år. Denna gallring av data tar även bort stora verkliga förändringar, men att behålla de riktigt stora förändringarna skulle ge större konsekvenser för sammanställningen. För att säkert komma underfund med vilket år det är som är felaktigt så skulle en detaljerad analys av varje mätserie behöva göras, och även då måste kvalificerade gissningar göras. En sådan detaljgranskning är orimlig på ett så pass stort datamaterial.

Saknade värden

Det är vanligt att data för olika variabler saknas i PMSv4. För att kunna genomföra analysen behövs minst 80 meter valida data för varje 100 meterssegment. I denna analys har vi valt att, utöver spårdjupsvärden, även kräva att det också finns fullständig information om följande variabler, ÅDT, vägtyp, dubbdäcksanvändning i regionen, beläggningstyp, stenstorlek och kulkvarnsvärde, eftersom målet med analysen är att undersöka hur dessa påverkar spårdjupsutvecklingen. I detta steg exkluderas 59,7 % av de kvarvarande värdena. Majoriteten av dessa utesluts på grund av att kulkvarnsvärde saknas.

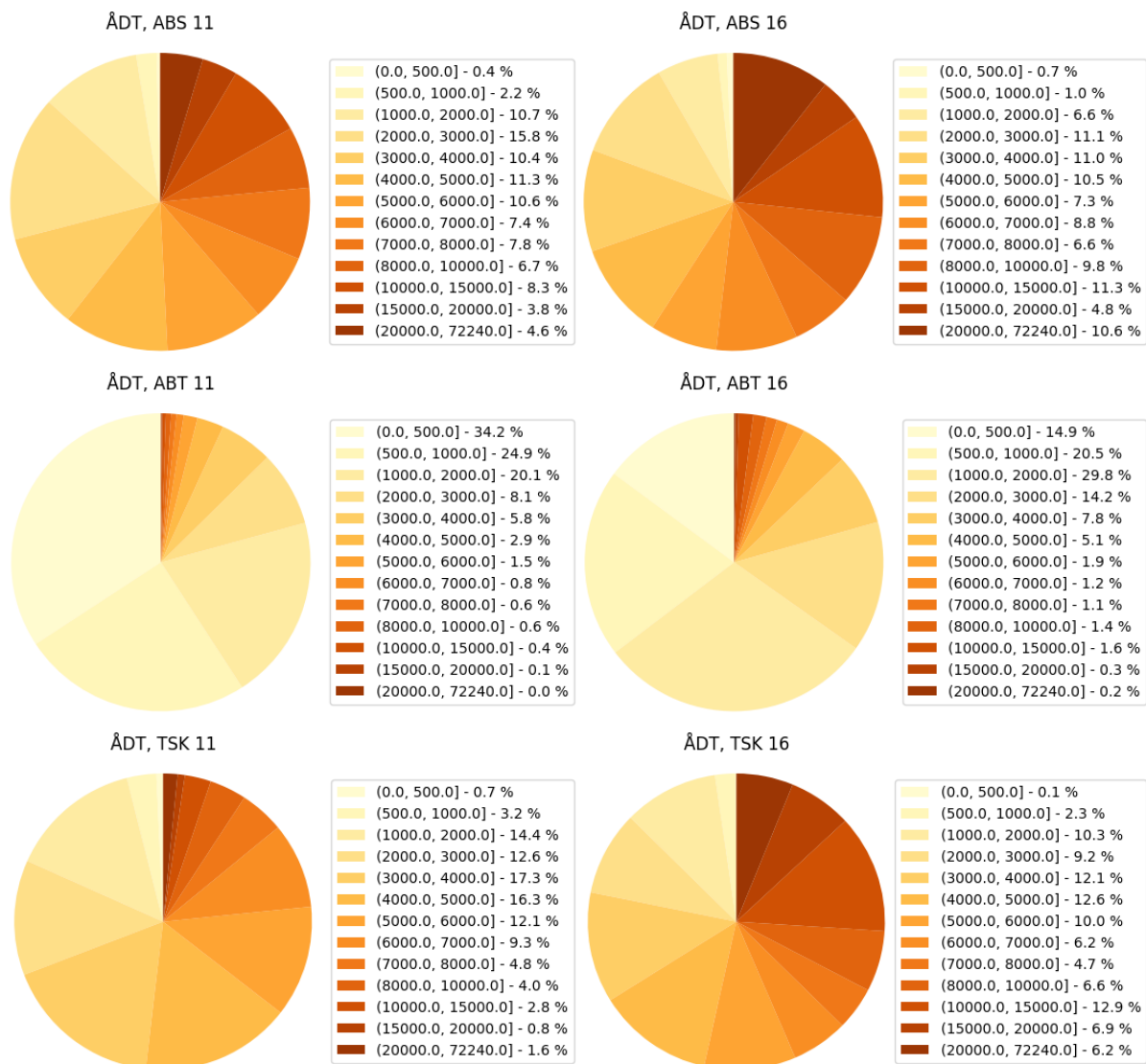
Statistik över mätserierna

Efter databearbetningen kvarstår 400 000 värden som beskriver utvecklingen för spårdjup. Fördelningen av dessa presenteras i Figur 86. Den begränsning av utvecklingstakt för spårdjup, som beskrivs tidigare i denna bilaga, ses tydligt i figuren.

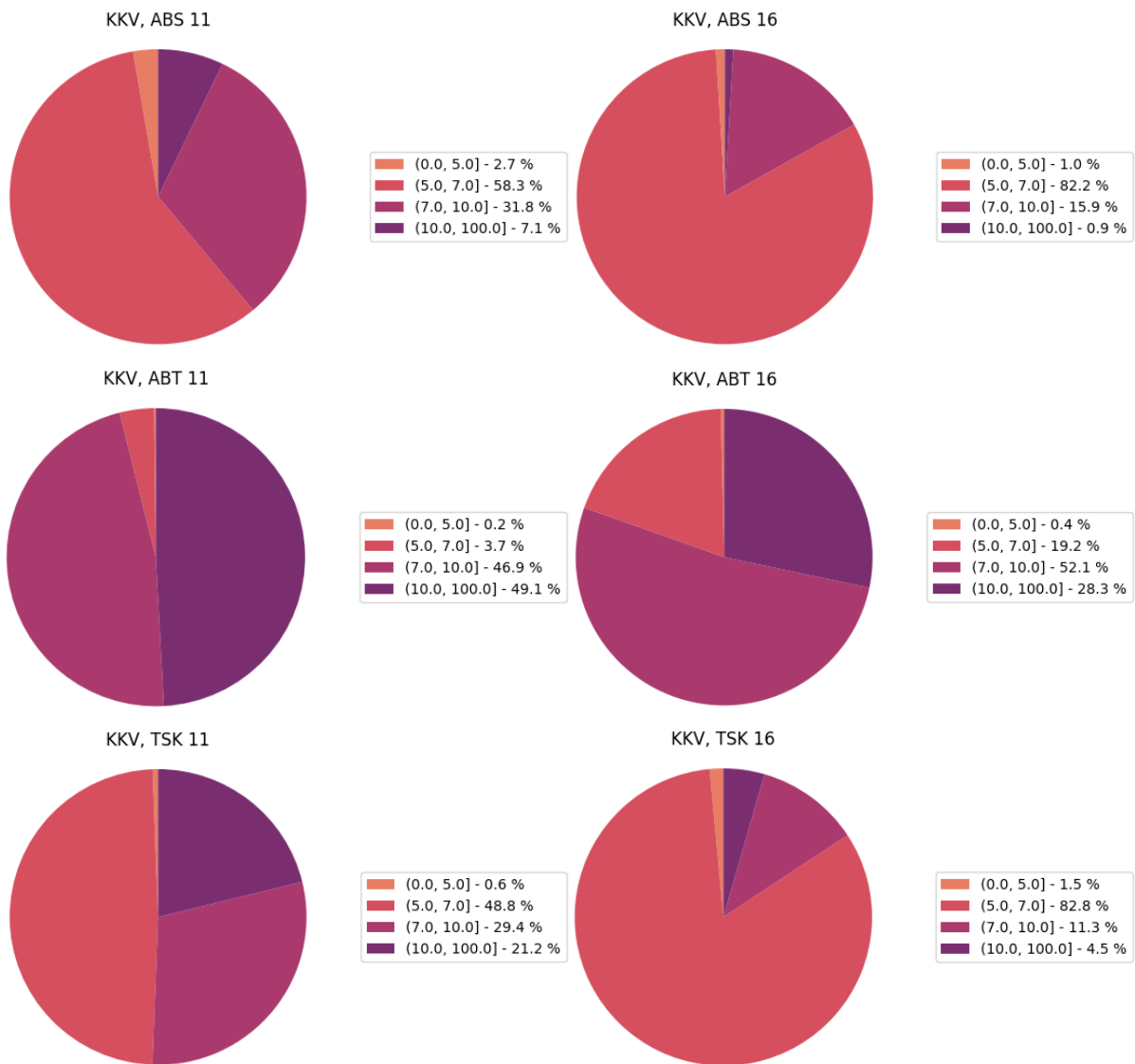


Figur 86 Fördelningen av utvecklingen per år för spårdjup per 100 meter.

De faktorer som har betydelse för utvecklingen av spårdjup är ÅDT, vägtyp, dubbdäcksanvändning i regionen (Trafikverket, 2023), beläggningstyp, stenstorlek och kulkvarnsvärde. Fördelningen av dessa faktorer för olika beläggningar, vilket här innebär beläggningstyp kombinerat med stenstorlek, visas i Figur 88 till Figur 90 för de 400 000 mätserierna med 100 metersvärden.

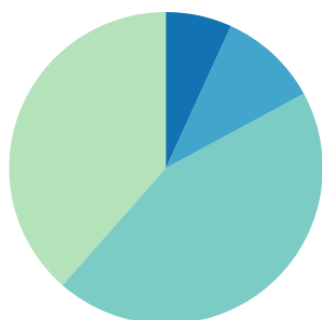


Figur 87 Andel 100 meterssträckor inom olika ÅDT-kategorier för olika beläggningar. Ljusa färger indikerar låg ÅDT medan mörka färger indikerar hög ÅDT. ÅDT ökar motsols. ÅDT är här indelat i kategorier, till exempel 0-500, 500-1000, ... och så vidare. (Större än den lägre klassen och lika med eller mindre än den högre klassen.)

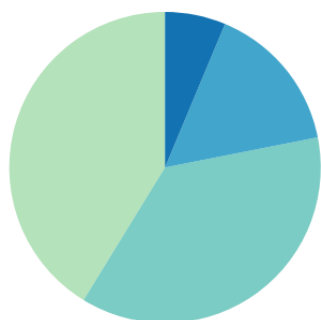


Figur 88 Fördelning av kulkvarnsvärde (KKV) för olika beläggningar. Ljusa färger indikerar lågt kulkvarnsvärde medan mörka färger indikerar högt kulkvarnsvärde. Kulkvarnsvärdet ökar motsols. Kulkvarnsvärdena är indelade i fyra kategorier. (Större än den lägre klassen och lika med eller mindre än den högre klassen.)

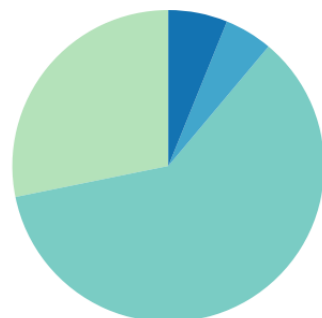
Dubbdäcksanvändning (%), ABS 11



Dubbdäcksanvändning (%), ABS 16



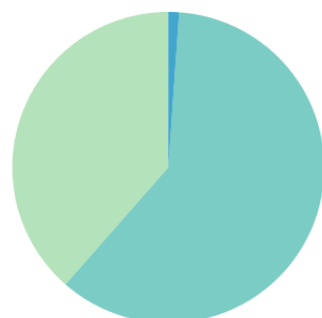
Dubbdäcksanvändning (%), ABT 11



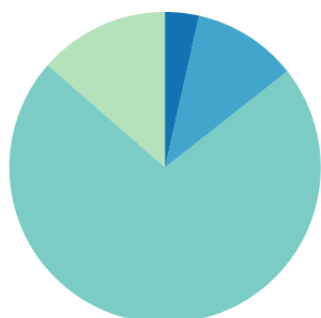
Dubbdäcksanvändning (%), ABT 16



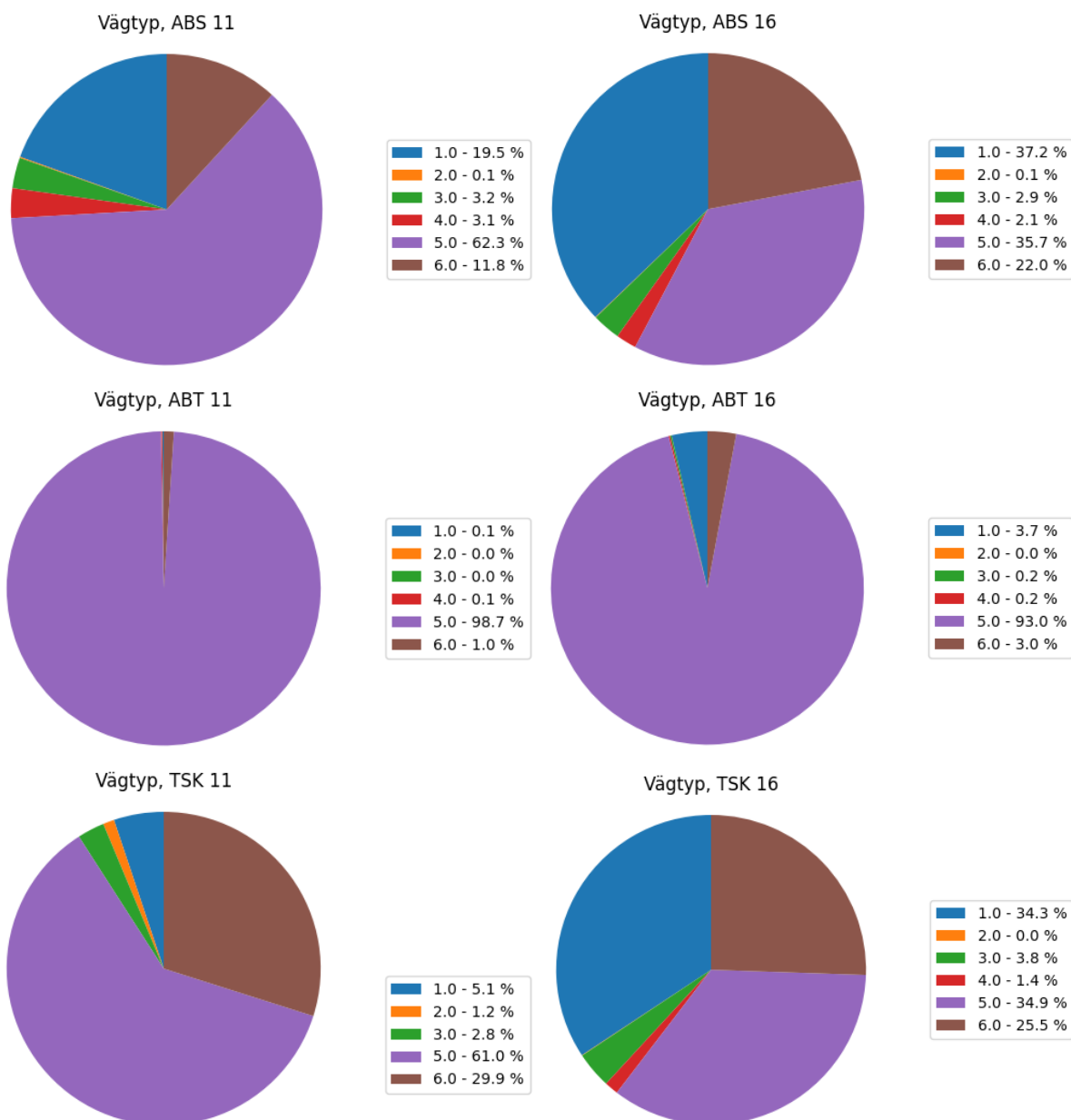
Dubbdäcksanvändning (%), TSK 11



Dubbdäcksanvändning (%), TSK 16



Figur 89 Fördelning av dubbdäcksanvändning på olika beläggningar. Ljusa färger indikerar låg dubbdäcksanvändning medan mörka färger indikerar hög dubbdäcksanvändning. Dubbdäcksanvändningen ökar motsols. Dubbdäcksanvändningen är indelad i fem bredare kategorier. Notera att dubbdäcksanvändningen varierar över tid. De värden som redovisas här är medelvärden över beläggningarnas livslängd. (Större än den lägre klassen och lika med eller mindre än den högre klassen.)



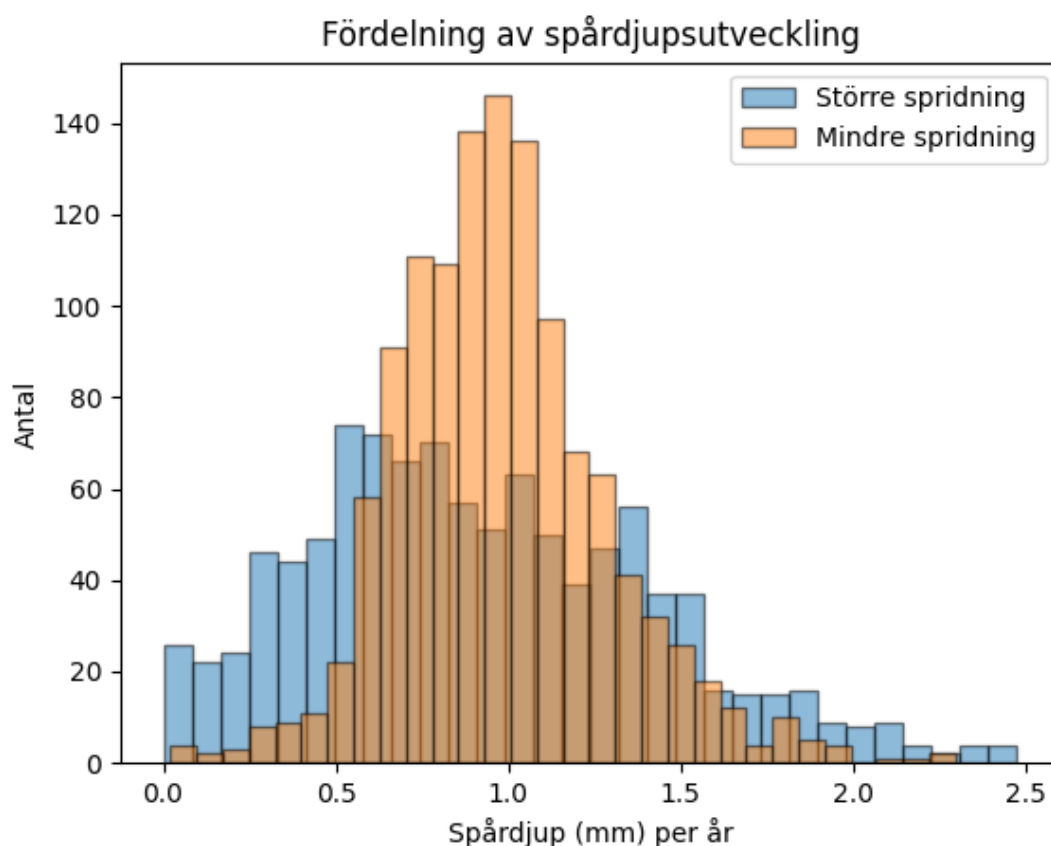
Figur 90 Fördelning av vägtyp för olika beläggningstyper. I PMSv4 kodas vägtyp med en siffra: 1 – Motorväg, 2 – Motortrafikled, 3 – Motortrafikled, mötesfri, 4 – Fyrfältsväg, 5 – Vanlig väg, 6 – Vanlig väg, mötesfri.

I Tabell 25 i bilaga 2 återfinns statistik över spårdjupsutvecklingen för varje unik kombination av de utvalda faktorerna. Endast grupper med minst 100 km data har inkluderats i tabellen för att säkerställa att presenterad utvecklingstakt är tillförlitlig. De grupper som saknas har således mindre än 100 km data. I tabellen har konfidensintervall beräknats utifrån antagandet att spårdjupsutvecklingen är normalfördelad även om datamängdens fördelning (Figur 86) inte blir normalfördelad med den begränsning som görs. För de flesta grupper är standardavvikelsen, och därmed även konfidensintervallet stort. Det visar att vägar har olika förutsättningar och att globala utvecklingsmodeller²² inte kan användas för att beskriva nedbrytningstakt för ett specifikt vägvagnsintervall. För att predicera ett enskilt objekt måste en lokal modell utvecklas för korta sträckor, t.ex.

²² En global modell beskriver utvecklingen för en grupp vägar definierade av t.ex. beläggningstyp, stenstorlek, kulkvarnsvärde och ÅDT.

100 meterssträckor, eftersom det kan finnas lokala variationer av tillståndsutvecklingen längs ett objekt (Andrén, et al., 2014).

Även om spridningen generellt är stor så finns det grupper som har betydligt större spridning än andra. De grupper där konfidensintervallet är större än 1,5 mm har markerats med en asterisk (*) i Bilaga 2. Figur 91 visar spridningen av spårdjupsutvecklingen mellan två grupper, en TSK16 med liten spridning och den andra, ABS16, som har stor spridning. Det kan utläsas av standardavvikelsen för utvecklingstakten i Bilaga 2.



Figur 91 Jämförelse av spridningen mellan två grupper. Båda grupper har data från beläggningar med kulkvarnsvärde 5-7 och stenstorlek 16 på mötesfria vägar (vägtyp 6) i områden där dubbdäcksanvändningen legat mellan 25-50 %. Det som skiljer dem åt är beläggningstyp samt ÅDT för vägen. Gruppen med större spridning är ABS med ÅDT mellan 6000-7000. Gruppen med mindre spridning är TSK med ÅDT mellan 4000-5000.

Båda dessa grupper innehåller över 100 km mätt väg och har mycket liknande förutsättningar och ungefär samma spårdjupsutveckling i medel. Trots detta skiljer sig spridningen markant. Utöver att de har olika beläggningstyper så är en noterbar skillnad att gruppen med större spridning är baserat på 27 olika objekt medan gruppen med mindre spridning innehåller enbart 8 objekt.

Bilaga 5. Linjär stegvis regressionsanalys av spårdjupsutveckling

Bilagan beskriver hur en linjär stegvis regressionsanalys av spårdjupsutvecklingen har utförts.

Omkodningar

Kodat 1=25-50 o.s.v.		Procent_dubb_ny			
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	25-50	40	35,4	35,7	35,7
	50-70	50	44,2	44,6	80,4
	70-90	9	8,0	8,0	88,4
	90-100	13	11,5	11,6	100,0
	Total	112	99,1	100,0	
Missing	System	1	,9		
Total		113	100,0		

Kodat 1=5-7 o.s.v.		KKV_ny			
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	5-7	61	54,0	54,0	54,0
	7-10	34	30,1	30,1	84,1
	10-100	18	15,9	15,9	100,0
	Total	113	100,0	100,0	

Kodat 1=0-500 o.s.v.		ÅDT_ny			
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	0-500	11	9,7	9,7	9,7
	500-1000	12	10,6	10,6	20,4
	1000-2000	18	15,9	15,9	36,3
	2000-3000	20	17,7	17,7	54,0
	3000-4000	14	12,4	12,4	66,4
	4000-5000	11	9,7	9,7	76,1
	5000-6000	5	4,4	4,4	80,5
	6000-7000	4	3,5	3,5	84,1
	7000-8000	3	2,7	2,7	86,7
	8000-10000	4	3,5	3,5	90,3
	10000-15000	4	3,5	3,5	93,8
	15000-20000	3	2,7	2,7	96,5
	20000-	4	3,5	3,5	100,0
	Total		113	100,0	100,0

0,1-variabler för vägtyp och beläggningstyp är skapade.

Resultat från en linjär, stegvis regressionsanalys, hela materialet

Här sammanställs regressionsanalysen på hela materialet, alla beläggningstyper inkluderas.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,704 ^a	,496	,491	,15297
2	,765 ^b	,585	,578	,13934
3	,819 ^c	,671	,662	,12468
4	,905 ^d	,819	,812	,09288
5	,915 ^e	,837	,829	,08865

a. Predictors: (Constant), Vägtyp_Vanlig

b. Predictors: (Constant), Vägtyp_Vanlig, Procent_dubb_ny

c. Predictors: (Constant), Vägtyp_Vanlig, Procent_dubb_ny, ÅDT_ny

d. Predictors: (Constant), Vägtyp_Vanlig, Procent_dubb_ny, ÅDT_ny, Vägtyp_MV

e. Predictors: (Constant), Vägtyp_Vanlig, Procent_dubb_ny, ÅDT_ny, Vägtyp_MV, Belägg_typ_TSK

De oberoende variablerna i modellen förklarar 84 % av variationen i spår djupet.

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,958	,025		38,623	<,001
	Vägtyp_Vanlig	-,317	,031	-,704	-10,399	<,001
2	(Constant)	,831	,035		23,937	<,001
	Vägtyp_Vanlig	-,324	,028	-,718	-11,627	<,001
	Procent_dubb_ny	,067	,014	,300	4,856	<,001
3	(Constant)	,596	,054		11,044	<,001
	Vägtyp_Vanlig	-,201	,034	-,446	-5,910	<,001
	Procent_dubb_ny	,076	,013	,338	6,069	<,001
	ÅDT_ny	,027	,005	,403	5,304	<,001
4	(Constant)	,530	,041		12,983	<,001
	Vägtyp_Vanlig	-,255	,026	-,565	-9,804	<,001
	Procent_dubb_ny	,079	,009	,352	8,479	<,001
	ÅDT_ny	,059	,005	,887	11,571	<,001
	Vägtyp_MV	-,383	,041	-,688	-9,360	<,001
5	(Constant)	,539	,039		13,805	<,001
	Vägtyp_Vanlig	-,268	,025	-,595	-10,687	<,001
	Procent_dubb_ny	,080	,009	,354	8,940	<,001
	ÅDT_ny	,062	,005	,919	12,462	<,001
	Vägtyp_MV	-,392	,039	-,704	-10,016	<,001
	Belägg_typ_TSK	-,097	,029	-,141	-3,386	<,001

a. Dependent Variable: Medel_spår

Regressionen av modellen kan sammanfattas som:

Variabel	Ostandardiserade koefficienter		Standardiserade koefficienter	t	Sig.
	B	Std-fel	Beta		
Konstant	0,539	0,039		13,805	<0,001
Vanlig vägtyp (=1, annars 0)	-0,268	0,025	-0,595	-10,687	<0,001
Andel av fordonen som har dubbdäck (1=25-50 osv.)	0,080	0,009	0,354	8,940	<0,001
ÅDT (1=0-500 osv.)	0,062	0,005	0,919	12,462	<0,001
Motorväg (=1, annars 0)	-0,392	0,039	-0,704	-10,016	<0,001
Beläggningstyp TSK (=1, annars 0)	-0,097	0,029	-1,141	-3,386	<0,001

Modellen är signifikant enligt en variansanalys (df=5; F=108,7; p<0,001) och den justerade förklaringsgraden ("Adjusted R Square") uppgår till 83 %.

Modellens utseende, baserat på de ostandardiserade beta-koefficienterna blir enligt följande:

$Spårddjupet = 0,539 - 0,268 (\text{om vanlig väg}) + 0,080 \times \text{dubbprocent} + 0,062 \times \text{ÅDT} - 0,392 (\text{om motorväg}) - 0,097 (\text{om TSK, annars } 0)$.

Spårddjupet ökar alltså med ökande andel fordon med dubbdäck och ÅDT medan det var lägre på TSK-vägar. En vanlig mötesfri väg ger upphov till större spårddjup än MV och vanlig väg.

Resultat från en linjär, stegvis regressionsanalys, beläggningstyp ABS

Här sammanställs regressionsanalysen för beläggningstyp ABS.

Alla variabler ingår i modellen:

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,886 ^a	,785	,754	,09647

a. Predictors: (Constant), Vägtyp_vanlig_mötesfri, Stenstorlek, Procent_dubb_ny, ÅDT_ny, KKV_ny, Vägtyp_MV

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,218	,205		1,065	,293
	ÅDT_ny	,045	,009	,691	4,828	<,001
	Procent_dubb_ny	,083	,018	,344	4,520	<,001
	KKV_ny	,051	,048	,098	1,076	,288
	Stenstorlek	,003	,011	,025	,330	,743
	Vägtyp_MV	,021	,060	,050	,353	,726
	Vägtyp_vanlig_mötesfri	,283	,039	,665	7,251	<,001

a. Dependent Variable: Medel_spår

Stegvis regressionsanalys:

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,747 ^a	,558	,549	,13068
2	,814 ^b	,663	,648	,11538
3	,832 ^c	,692	,671	,11156
4	,883 ^d	,779	,759	,09555
5	,882 ^e	,778	,764	,09460

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,987	,024		40,682	<,001
	Vägtyp_Vanlig	-,293	,038	-,747	-7,707	<,001
2	(Constant)	,835	,046		18,353	<,001
	Vägtyp_Vanlig	-,261	,035	-,666	-7,549	<,001
	Procent_dubb_ny	,080	,021	,334	3,780	<,001
3	(Constant)	,723	,070		10,267	<,001
	Vägtyp_Vanlig	-,222	,039	-,566	-5,747	<,001
	Procent_dubb_ny	,086	,021	,358	4,158	<,001
	ÅDT_ny	,013	,006	,196	2,051	,046
4	(Constant)	,383	,102		3,769	<,001
	Vägtyp_Vanlig	-,019	,059	-,049	-,326	,746
	Procent_dubb_ny	,079	,018	,329	4,444	<,001
	ÅDT_ny	,042	,009	,646	4,765	<,001
	Vägtyp_vanlig_mötesfri	,249	,060	,583	4,164	<,001
5	(Constant)	,353	,046		7,606	<,001
	Procent_dubb_ny	,080	,018	,331	4,529	<,001
	ÅDT_ny	,044	,005	,682	9,086	<,001
	Vägtyp_vanlig_mötesfri	,265	,033	,621	7,970	<,001

a. Dependent Variable: Medel_spår

Regressionen av modellen kan sammanfattas som:

Variabel	Ostandardiserade koefficienter		Standardiserade koefficienter	t	Sig.
	B	Std-fel	Beta		
Konstant	0,353	0,046		7,606	<0,001
Andel av fordonen som har dubbdäck (1=25-50 osv.)	0,080	0,018	0,331	4,529	<0,001
ÅDT (1=0-500 osv.)	0,044	0,005	0,682	9,086	<0,001
Vanlig vägtyp, mötesfri (=1, annars 0)	0,265	0,033	0,621	7,970	<0,001

Modellen är signifikant enligt en variansanalys (df=3; F=52,68; p<0,001) och den justerade förklaringsgraden ("Adjusted R Square") uppgår till 76 %.

Modellens utseende, baserat på de ostandardiserade beta-koefficienterna blir enligt följande:

$$\text{Spår djupet} = 0,353 + 0,080 \times \text{dubbprocent} + 0,044 \times \text{ÅDT} + 0,265 \text{ (om vanlig mötesfri väg, annars 0)}$$

Spår djupet ökar alltså med ökande andel fordon med dubbdäck och ÅDT. En vanlig mötesfri väg ger upphov till större spår djup än MV och vanlig väg.

Resultat från en linjär, stegvis regressionsanalys, beläggningstyp ABT

Här sammanställs regressionsanalysen för beläggningstyp ABT.

Alla variabler ingår i modellen

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,902 ^a	,813	,797	,07335

a. Predictors: (Constant), Stenstorlek, ÅDT_ny, Procent_dubb_ny, KKV_ny

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,096	,091		1,054	,297
	ÅDT_ny	,087	,008	,699	10,228	<,001
	Procent_dubb_ny	,079	,010	,548	8,218	<,001
	KKV_ny	,015	,017	,063	,886	,380
	Stenstorlek	,005	,005	,076	1,106	,274

a. Dependent Variable: Medel_spår

Stegvis regressionsanalys:

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,706 ^a	,499	,489	,11641
2	,898 ^b	,807	,799	,07308

a. Predictors: (Constant), ÅDT_ny

b. Predictors: (Constant), ÅDT_ny, Procent_dubb_ny

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,375	,038		9,895	<,001
	ÅDT_ny	,088	,013	,706	6,987	<,001
2	(Constant)	,206	,031		6,744	<,001
	ÅDT_ny	,085	,008	,688	10,831	<,001
	Procent_dubb_ny	,080	,009	,555	8,737	<,001

a. Dependent Variable: Medel_spår

Regressionen av modellen kan sammanfattas som:

Variabel	Ostandardiserade koefficienter		Standardiserade koefficienter	t	Sig.
	B	Std-fel	Beta		
Konstant	0,206	0,031		6,744	<0,001
ÅDT (1=0-500 osv.)	0,085	0,008	0,688	10,831	<0,001
Andel av fordonen som har dubbdäck (1=25-50 osv.)	0,080	0,009	0,555	8,737	<0,001

Modellen är signifikant enligt en variansanalys (df=2; F=100,1; p<0,001) och den justerade förklaringsgraden ("Adjusted R Square") uppgår till 80 %.

Modellens utseende, baserat på de ostandardiserade beta-koefficienterna blir enligt följande:

$$\text{Spår djupet} = 0,206 + 0,085 \times \text{ÅDT} + 0,080 \times \text{dubbprocent}$$

Spår djupet ökar alltså med ökande andel fordon med dubbdäck och ÅDT. Typ av väg hade inte betydelse för denna beläggningstyp.

Resultat från en linjär, stegvis regressionsanalys, beläggningstyp TSK

Här sammanställs regressionsanalysen för beläggningstyp TSK.

Alla variabler ingår i modellen (utom KKV och stenstorlek som är konstanter):

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,949 ^a	,901	,845	,05856

a. Predictors: (Constant), Vägtyp_vanlig_mötesfri, Vägtyp_Vanlig, Procent_dubb_ny, ÅDT_ny

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-,047	,201		-,232	,823
	ÅDT_ny	,073	,012	1,481	6,232	<,001
	Procent_dubb_ny	,036	,069	,070	,525	,616
	Vägtyp_Vanlig	,288	,069	,878	4,203	,004
	Vägtyp_vanlig_mötesfri	,554	,078	1,838	7,101	<,001

a. Dependent Variable: Medel_spår

Regressionen av modellen kan sammanfattas som:

Variabel	Ostandardiserade koefficienter		Standardiserade koefficienter	t	Sig.
	B	Std-fel	Beta		
Konstant	-0,047	0,201		-0,232	0,823
ÅDT (1=0-500 osv.)	0,073	0,012	1,481	6,232	<0,001
Andel av fordonen som har dubbdäck (1=25-50 osv.)	0,036	0,069	0,070	0,525	0,616
Vanlig vägtyp (=1, annars 0)	0,288	0,069	0,878	4,203	0,004
Vanlig vägtyp, mötesfri (=1, annars 0)	0,554	0,078	1,838	7,101	<0,001

Modellen är signifikant enligt en variansanalys (df=4; F=15,94,1; p=0,001) och den justerade förklaringsgraden ("Adjusted R Square") uppgår till 84 %.

Modellens utseende, baserat på de ostandardiserade beta-koefficienterna blir enligt följande:

$Spår djupet = -0,047 + 0,073 \times \text{ÅDT} + 0,036 \times \text{dubbprocent} + 0,288$ (om vanlig väg, annars 0) $+ 0,554$ (om vanlig mötesfri väg, annars 0).

Spår djupet ökar alltså med ökande ÅDT och om det rörde sig om andra vägar än MV. Dock var det inget signifikant samband mellan andelen fordon med dubbdäck och spår djup.

Stegvis regressionsanalys fungerade inte, antagligen beroende på ett för litet datamaterial.

Bilaga 6. Underlag för demonstration och okulär besiktning

I denna rapport finns två bilagor som användes vid den okulära besiktningen av vägarna då de nya måtten demonstrerades:

- Underlag från VTI, omfattade lokala ojämnheter, sättningar och underhållsindex.
- Underlag från Ramboll, omfattade avvattning, sprickor och ytskador.

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett internationellt framstående forskningsinstitut med uppdrag från regeringen att bedriva forskning och utveckling inom transportområdet, omfattande infrastruktur, trafik, transporter och trafikanter. Vi arbetar för att kunskapen om transportsektorn kontinuerligt ska förbättras och är på så sätt med och bidrar till att uppnå Sveriges transportpolitiska mål.

Verksamheten omfattar samtliga trafikslag och områdena väg- och banteknik, drift och underhåll, fordonsteknik, trafiksäkerhet, trafikanalys, människan i transportsystemet, miljö, planerings- och beslutsprocesser, transportekonomi samt transportsystem. Kunskapen som VTI tar fram ger beslutsunderlag till aktörer inom transportsektorn och tillämpas i många fall i såväl nationell som internationell transportpolitik.

VTI bedriver forskning på uppdrag i en tvärvetenskaplig organisation. Vi arbetar också med utredning och rådgivning, samt utför olika typer av tjänster inom mätning och provning. På institutet finns tekniskt avancerad forskningsutrustning av olika slag och körsimulatorer i världsklass. Dessutom finns ett laboratorium för vägmaterial, ett mättekniskt laboratorium och ett krocksäkerhetslaboratorium.

Transportbiblioteket vid VTI är en nationell resurs för informationsförsörjning och informationspridning för alla trafikslag inom transportforskningsområdet.

I Sverige samverkar VTI med ledande universitet och högskolor som bedriver närliggande forskning och utbildning. Vi medverkar även kontinuerligt i internationella forskningsprojekt, framförallt i Europa, och deltar aktivt i internationella nätverk.

VTI är en uppdragsmyndighet som lyder under regeringen och hör till Landsbygds- och infrastrukturdepartementet. Vårt kvalitetsledningssystem är certifierat enligt ISO 9001 och vårt miljöledningssystem enligt ISO 14001. Vissa provningsmetoder vid våra laboratorier är dessutom ackrediterade.

Vi är omkring 250 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg och Lund.

vti

Statens väg- och transportforskningsinstitut • www.vti.se • vti@vti.se • +46 (0)13-20 40 00

Till: SBUF
Från: NCC Industry
Datum: 22 januari 2025

Beskrivning av projekt 13899: Framtida vägytemätningar vid kontroll av entreprenadarbeten

Projektet var ett VTI-projekt (Statens väg- och transportforskningsinstitut) med huvudsaklig finansiering från Trafikverket via BVFF (Bana Väg För Framtiden) och en mindre kompletterande delfinansiering från SBUF via NCC Industry:

Trafikverket	1 450 kSEK
SBUF	550 kSEK
NCC/Skanska, in-kind	230 kSEK
Projektsumma	2 230 kSEK.

Arbetet har letts av och främst bedrivits vid VTI som även publicerat rapporteringen.

1. SBUF

SBUF har via NCC Industry bidragit med finansiering och projektarbete. Även Skanska har deltagit med arbete och referensgruppsarbete under projektet. Möten har organiserats av VTI.

I projektets inledning bearbetade NCC stora mängder (egna) vägytemätningar från identifierade totalentreprenader. Denna datamängd var en del av grundarbetet i projektet.

NCC och Skanska har deltagit i kontinuerliga referensgruppsmöten

Manuskript för projektrapport skickades för revision och kompletteringar 4:e juli 2025. I detta skede deltog även PEAB i SBUF:s referensgruppsarbete.

NCC genomförde en omfattande revision av och kompletteringar till manuskriptet. Under hösten genomförde VTI omfattande revideringar och kompletteringar inför slutlig intern granskning och efterföljande publicering på VTI:s hemsida (DiVA, 2:a december 2025).

Avslutande möte i SBUF:s referensgrupp hölls 8:e januari 2026 där NCC och PEAB deltog. Skanska kunde inte delta men hade meddelat kommentarer inför mötet.

2. REDOVISNING

Projektet redovisas i VTI-rapport publicerad hösten 2025:

<https://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:2018275/FULLTEXT01.pdf>

Till detta hölls en 2-dagars workshop med beskrivning av mått och med planerade vägsyner, 5–6 oktober 2022. I workshopen deltog representanter från Trafikverket, VTI, mätkonsulter och entreprenörer.