

Kontroll och uppföljning av entreprenader – del 1, dagens krav och metoder

Vägytemätning med mätbil



Thomas Lundberg, VTI

Christian Glantz, Ramböll

Nils-Gunnar Göransson, VTI



Kontroll och uppföljning av entreprenader – del 1, dagens krav och metoder

Vägytemätning med mätbil

Thomas Lundberg
Christian Glantz
Nils-Gunnar Göransson

Kontroll och uppföljning av entreprenader – del 1, dagens krav och metoder

Vägytemätning med mätbil

Thomas Lundberg

Christian Glantz

Nils-Gunnar Göransson

Författare: Thomas Lundberg, (VTI)
Christian Glantz, (Ramböll)
Nils-Gunnar Göransson, (VTI)
Diarienummer: 2012/0693-28
Publikation: VTI rapport 1017
Omslagsbilder: Thomas Lundberg, VTI
Utgiven av VTI, 2019

Referat

Trafikverket har som mål att öka antalet totalentreprenader. För att få en fungerande kontrollapparat kring entreprenaderna krävs metoder för att verifiera att ställda krav uppfylls under vägens garantitid. I denna undersökning riktar vi in oss på funktionella krav som ställs vid totalentreprenader och som kan kontrolleras med vägytemätning. Rapporten belyser vilka krav som finns och hur de kontrolleras men den tar även upp subjektivt bedömda krav som borde ersättas med en objektiv metod.

Vidare beskrivs viktiga aspekter vid genomförandet av en entreprenad, bl.a. är kontakten mellan mätleverantören och entreprenören ytterst viktig för att avgöra när, hur och var kontrollerna ska göras. En totalentreprenad innehåller ofta flera vägar, ramper och dylikt som kräver sin speciella planering och kontroll.

En genomgång görs av defekter som kan uppträda på totalentreprenader och i vilket skede de uppträder (byggskede/bruksskede). För många av de defekter som identifieras finns ingen etablerad objektiv mätmetod och därför sammanfattas möjliga metoder som kan användas men som bör utvecklas och verifieras.

Ytterligare en viktig aspekt vid totalentreprenader är hur kraven ställs och följs upp. Tydliga riktlinjer för kravställningen bör arbetas fram där det framgår vilken hänsyn som ska tas till exempelvis trafikmängd, dubbdäcksandel, hastighet och klimat.

Titel: Kontroll och uppföljning av entreprenader – del 1, dagens krav och metoder.
Vägytemätning med mätbil

Författare: Thomas Lundberg (VTI, www.orcid.org/0000-0002-9893-0067)
Christian Glantz (Ramböll)
Nils-Gunnar Göransson (VTI, www.orcid.org/0000-0002-0286-430X)

Utgivare: VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut
www.vti.se

Serie och nr: VTI rapport 1017

Utgivningsår: 2019

VTI:s diarienummer: 2012/0693-28

ISSN: 0347-6030

Projektnamn: Funktionsåtagande vägyta

Uppdragsgivare: Trafikverket och SBUF

Nyckelord: Totalentreprenad, vägytemätning, IRI, spårdjup, vägsador, funktionella krav

Språk: Svenska

Antal sidor: 61

Abstract

The Swedish Transport Administration aims to increase the number of design build contracts. To get a functioning control device around the contracts, well defined requirements must be set for the warranty period of the road. In this survey we focus on functional requirements that are set for design build contracts and which can be checked by means of a road surface testing. The report highlights what requirements are used and how they are checked, but it also takes up subjectively assessed requirements that should be replaced by an objective method.

Furthermore, important aspects of the implementation of a contract are described. The contact between the measuring supplier and the contractor is extremely important for determining when, how and where the controls are to be performed. A total contract often contains several roads, ramps and so forth, which requires its special planning and control routines.

A review is made of defects that can occur on design build contracts and at what stage they occur (construction stage/use stage). For many of the defects identified there is no established objective measurement method. Therefore, usable methods need to be further developed and verified.

Another important aspect of design build contract is how the requirements are set and followed up. Clear guidelines for the requirement setting should be worked out where it is decided which consideration should be taken, for example, for traffic volume, studded tires, signed speed and climate.

Title:	Control and follow-up of contracts - Part 1, current requirements and methods Road surface measurement
Author:	Thomas Lundberg (VTI, www.orcid.org/0000-0002-9893-0067) Christian Glantz (Ramböll) Nils-Gunnar Göransson (VTI, www.orcid.org/0000-0002-0286-430X)
Publisher:	Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) www.vti.se
Publication No.:	VTI rapport 1017
Published:	2019
Reg. No., VTI:	2012/0693-28
ISSN:	0347-6030
Project:	Functional testing of road surface
Commissioned by:	Swedish Transport Administration and SBUF
Keywords:	Design build contract, road surface measurement, IRI, rut depth, road damage, functional requirements
Language:	Swedish
No. of pages:	61

Förord

Detta projekt är finansierat av Trafikverket, SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond) och VTI. Trafikverket finansierar projektet via branschprogrammet BVFF (Bana Väg För Framtiden) och SBUF medfinansierar med NCC som ansvarig projektledare för sin del. Projektet drivs med Ramböll Sverige AB som konsult till VTI. Från NCC är Jonas Ekblad delaktig i projektet och från Trafikverket deltar Fredrik Lindström och Henrik Hamrin. De har gett mycket värdefull input till arbetet.

Inom VTI har Nils-Gunnar Göransson har bidragit med vägkunskap för att beskriva brister och skador på belagda vägar. Christian Glantz från Ramböll har försett projektet med värdefulla data från entreprenader, praktisk kunskap om mätningar på entreprenader och om utformning av kontrakt och hur det efterföljs. Utöver detta har Christian sammanställt resultat från mätningar utförda på totalentreprenader och underhållsobjekt.

Linköping, juni 2019

Thomas Lundberg
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts 14 februari 2019 av Anita Ihs. Thomas Lundberg har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Leif Sjögren har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 3 juni 2019. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

Internal peer review was performed on 14 February 2019 by Anita Ihs. Thomas Lundberg has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Leif Sjögren examined and approved the report for publication on 3 June 2019. The conclusions and recommendations expressed are the authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	9
Summary	11
1. Inledning	13
2. Begrepp	15
3. Syfte	18
4. Avgränsning.....	19
5. Metod.....	20
6. Genomförande av mätuppdrag.....	21
6.1. Förändringar i metodbeskrivning för mätning med mätbil	21
6.2. Tillgänglig information och tolkning av kravspecifikation.....	22
6.3. Mätning med mätbil	23
6.3.1. Förutsättningar för mätningens genomförande	23
6.3.2. Genomförande av mätning.....	23
6.4. Beräkning av storheter	24
6.4.1. Längsgående ojämnheter	24
6.4.2. Tvärgående ojämnheter.....	25
6.4.3. Textur.....	26
6.4.4. Sprickor.....	26
6.4.5. Linjeföring/geometri.....	26
6.5. Mätfel.....	27
6.5.1. Mätsystem.....	27
6.5.2. Mätoperatör.....	28
6.5.3. Händelser under mätning	28
6.6. Kvalitetssäkring av mätdata	29
6.6.1. Kontroll av mätsystem	29
6.6.2. Kontroll av mätvärden vid mätuppdrag	29
6.7. Redovisning av mätresultat.....	30
6.8. Uppföljande mätningar under garantitiden	30
6.9. Slutsats	31
7. Fel som kan uppträda vid ett beläggningsarbete	32
7.1. Allmänt.....	32
7.1.1. Riskfaktorer/Problem.....	32
7.1.2. Hjälpmedel för högre utläggningskvalitet.....	33
7.1.3. Funktion:.....	33
7.1.4. Sprickor:.....	34
7.1.5. Ojämnheter.....	34
7.1.6. Ytliga skador, övrigt	35
7.2. Skador och möjliga sätt att detektera dem	35
8. Genomgång av krav	37
8.1. Förutsättningar vid kravställning	37
8.2. Dagens kravställning.....	39
8.2.1. Kravens uppbyggnad	39
8.2.2. Tillståndsvariabler, mätmetoder och kravnivåer.....	39
8.3. Analys av dagens kravställning.....	41

8.3.1. Tillståndsvariabler.....	41
8.3.2. Mätmetoder.....	45
8.3.3. Kravnivåer	46
8.3.4. Slutsats och rekommendationer	51
8.4. Riktlinjer för hur kraven bör sättas?.....	52
9. Sammanfattning av slutsatser och rekommendationer	56
10.Fortsatt forskning och utveckling kring kontrollmetoder	58
Referenser	61

Sammanfattning

Kontroll och uppföljning av entreprenader – del 1, dagens krav och metoder. Vägytemätning med mätbil

av Thomas Lundberg (VTI), Christian Glantz (Ramböll) och Nils-Gunnar Göransson (VTI)

Denna rapport sammanfattar krav och kontrollmetoder som företrädesvis används vid totalentreprenader. En totalentreprenad är en entreprenadform som har funktionella krav där entreprenören tar ansvar för vägen under en viss tid. De metoder och krav som behandlas i rapporten gäller framförallt de som används vid vägytemätning med mätbil. De uppgifter som tagits fram kommer främst från Trafikverkets regelverk och tekniska dokument avseende entreprenader. Vidare är syftet med rapporten att identifiera brister och ge förslag på möjliga förbättringar vid kontroll och uppföljning av entreprenader.

De mätstorheter som vanligen kontrolleras i totalentreprenader är jämnhet i längs- och tvärled. Mätstorheterna beskrivs av måtten IRI (International Roughness Index) för den långsgående jämnheten och spår djup för den tvärgående. Tvärfallsavvikelse är också en egenskap som kontrolleras, men inte lika frekvent som jämnhet.

Det finns också flera krav som kontrolleras eller bedöms subjektivt som skulle kunna kontrolleras på ett objektivt sätt redan idag. Mätmetoderna är dock relativt nya och behöver verifieras och arbetas in för att få en bättre förståelse och acceptans i branschen. Det är också väldigt långa ledtider i beläggningsbranschen för acceptans av ny teknik och nya metoder. Trafikverket bör vara en pådrivare för att fasa ut subjektiva kontrollmetoder, där människor exponeras för risker ute på vägen, till förmån för objektiva oförstörande metoder. De kontroller som vi närmast tänker på är subjektiv bedömning av sprickbildning och andra ytskador som separationer, blödningar och lokala ojämnheter.

Det finns frågor att ta hänsyn till innan ett mätuppdrag utförs. Eftersom entreprenören inte alltid är insatt i mätmetoder och hur uppfyllandet av kraven verifieras bör en gemensam genomgång göras mellan mätoperatör och entreprenör där de fem frågorna nedan besvaras.

1. Vilken del av vägen (ramp, lokalväg, huvudväg) tillhör de olika platserna som ingår i entreprenaden?
2. Vilka krav ställs på respektive plats?
3. Är delobjektet lämpligt att mäta med mätbil?
4. Vilken mätbredd ska användas?
5. Finns det platser som behöver mätas innan trafikpåsläpp?

En gemensam guide borde arbetas fram för att säkerställa att kraven i entreprenaden kan kontrolleras och vilken mätteknik som ska användas, vilket blir en form av genomförbarhetskontroll. Denna guide skulle kunna öka förståelsen för mätmetoder och hur tekniken fungerar vilket i sin tur underlättar acceptansen av de nya metoderna.

Summary

Control and follow-up of contracts - Part 1, current requirements and methods. Road surface measurement with measuring vehicle

by Thomas Lundberg (VTI), Christian Glantz (Ramböll) and Nils-Gunnar Göransson (VTI)

This report summarizes methods and requirements that are preferably used in design build contracts. A design build contract is a form of contract that has functional requirements where the contractor takes responsibility for the road for a certain period of time. The methods and requirements discussed in the report relate mainly to those used in road surface measuring. The data and information presented mainly come from the Swedish Transport Administration's regulations and technical documents on construction work. Furthermore, the purpose of the report is to identify shortcomings and provide suggestions for possible improvements in the measurement of contracts.

The measurements commonly used in design build contracts are longitudinal and cross-sectional evenness. The measurement sizes are described by the IRI (International Roughness Index) measurement for the longitudinal smoothness and track depth of the transverse. Crossfall deviations from projected crossfall is also a property that is checked, but not as frequently as evenness.

There are also several requirements that are determined or assessed subjectively, which could be objectively controlled already today but where the measurement methods are relatively new and need to be verified and established to gain a better understanding and acceptance in the sector. There are very long lead times in the coating sector for acceptance of new technology and new methods. The Swedish Transport Administration should be a driver for phasing out subjective control methods in which people are exposed on the road in favor of objective non-destructive methods. The methods that we have in mind can detect cracking and other surface damage such as separations, bleeding and local irregularities.

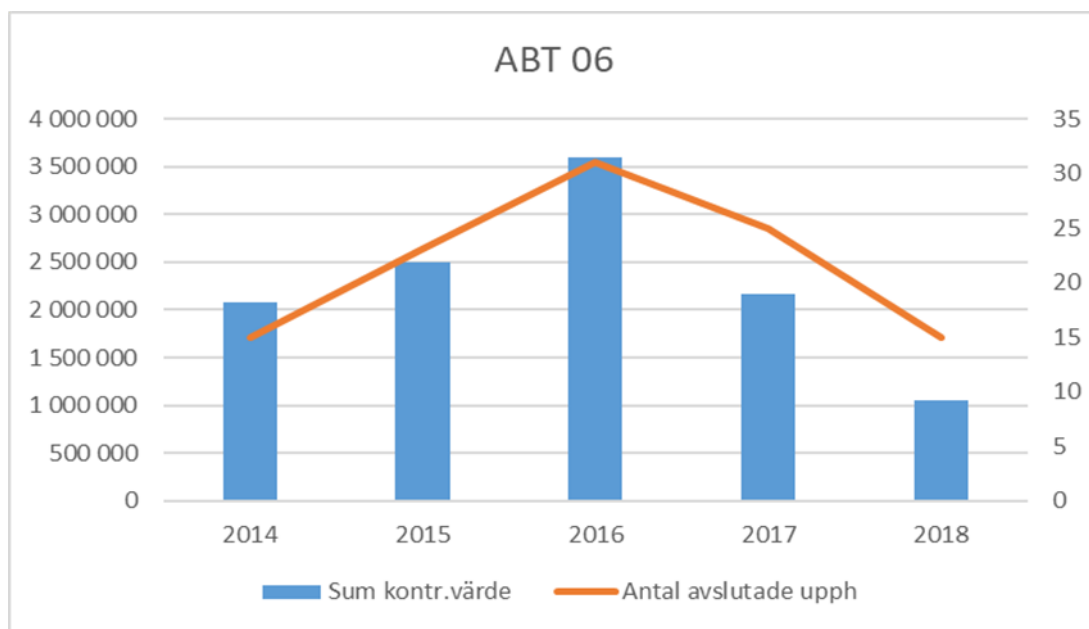
There are questions to consider before performing a control measurement. Since the contractor is not always familiar with the methods of measurement and how the requirements are verified, a joint review should be made between the measurement operator and the contractor when the five questions below are answered.

1. Which part of the road (ramp, local road, highway) belongs to the various sites that are part of the contract?
2. What is required for each place?
3. Are the different parts of the object suitable for measuring with a measuring vehicle?
4. Which measurement width should be used?
5. Are there any places that need to be measured before the road is opened for traffic?

A common guide should be worked out to ensure that the requirements of the contract can be controlled, and the adequate measurement technique is used, it becomes a form of feasibility check. This guide could increase understanding of measurement methods and how the technology works, facilitating acceptance of the new methods.

1. Inledning

Vägsektorns nyinvesteringar och underhåll har bakåt i tiden präglats av detaljerade krav där entreprenören har haft små friheter att välja lösningar och material. Trafikverket har som målsättning att renodla sin beställarroll och öka antalet totalentreprenader. Totalentreprenader kan genomföras med olika förutsättningar och de kan användas för såväl underhåll som investering. Det gemensamma i entreprenaden är att funktionskrav reglerar slutresultatet vilket ger en större frihet för entreprenören att både välja och konkurrera med egna lösningar. Man nämner ofta att totalentreprenader främjar innovationer. Kvalitet är också något som diskuteras i samband med totalentreprenader, entreprenörens egenkontroll blir viktig redan i byggskedet för att ge sig själv en möjlighet att klara funktionskraven. Två andra viktiga aspekter för byggandet är tidsplanering och budgethållning, som entreprenören också styr över på egen hand. I totalentreprenaderna använder man också incitament för att motivera entreprenören till att få lägre kostnader för arbetet genom att utföra ett extra bra arbete (jämn vägyta med homogen struktur) i syfte att erhålla bonus, bli färdig med objektet före angivet slutdatum eller att få en totalkostnad under angiven budget. Allt detta kommer både Trafikverket och vägens brukare till nytta. Incitamentsstyrningen är tänkt att bidra till nyttan för samhället.



Figur 1 Antal avslutade totalentreprenader 2014 – 2018 (okt) inom investering. Summa kontraktssvärde i tkr. Källa Trafikverket.

Det är ingen tydlig trend att antalet stora totalentreprenader (25–500 mkr) ökar inom Trafikverket. Åren 2014 till 2016 ökade antalet totalentreprenader och kontraktssumman relativt mycket för att avta 2017. Siffrorna för 2018 är hittills inte fullständiga då redovisningen avser t.o.m. oktober.

Idag används framförallt enkla indikatorer eller mätstorheter (första ordningens indikatorer) som funktionskrav. Vanligt är att använda spårdjup och IRI (International Roughness Index) för att kontrollera ytans jämnhet i tvär- och längsled. Det är väl inarbetade indikatorer som avgör ytans kvalitet men som skulle behöva kompletteras med en objektiv indikator för ytans struktur, t.ex. sprickor och ytskador. En homogen och ”lagom” struktur är viktig ur säkerhets- och beständighets-synpunkt. Ur livscykelperspektiv och med tanke på vägens totala påverkan på samhället skulle andra ordningens indikatorer behöva definieras och värderas. Med andra ordningens indikatorer menar vi t.ex. indikatorer för miljö (buller, luftkvalitet, partiklar, rullmotstånd), säkerhet, komfort och beständighet. Dagens krav är till största del riktade mot beständighet.

Detta är den första av tre rapporter som är planerad inom detta projekt. Denna rapport belyser framförallt dagens krav, mätrutiner och brister och defekter som kan uppstå vid ett beläggningsarbete.

Den andra rapporten beskriver mätnoggrannhet, mätfel och tillståndsutveckling. Den tredje rapporten ska vara mer inriktad på nya metoder och mått samt en demonstration av hur metoderna och måtten avspeglar sig på verkliga mätningar.

2. Begrepp

Begrepp	Förklaring
ABS	Asfaltbetong stenrik, högkvalitativ beläggning som främst används på det högtrafikerade vägnätet.
ABT	Asfaltbetong tät, en vanlig beläggningstyp på det medeltrafikerade vägnätet.
Beställare (entreprenör, kommunal, statlig väghållare)	Beställare är ett generellt begrepp för den organisation som är ägare eller förvaltare av anläggningen där entreprenaden ska utföras. Trafikverket är förvaltare av det statliga vägnätet, kommunerna förvaltar det kommunala vägnätet och en entreprenör kan vara förvaltare av totalentreprenad med drift- och underhållsansvar.
Funktionskrav	Ett funktionellt krav som t.ex. kan spegla vägens funktion och användarens upplevelse.
Garantibesiktning	En besiktning med syftet att undersöka vilka fel och brister som uppkommit under garantitiden. Beställaren påkallar garantibesiktningen som måste utföras innan garantitidens utgång.
Garantitid	Tiden mellan godkänd slutbesiktning och garantitidens slutpunkt.
Investeringsobjekt	En nybyggd vägsträcka eller en vägsträcka som genomgått en större ombyggnad, t.ex. 2+1-väg.
IRI	International Roughness Index, ett mått på en vägs ojämnheter i längsled. Längsprofilen mäts i vänster och höger hjulspår vilket utgör grunden för att beräkna IRI V och IRI H. Normalt används höger hjulspår i kravställning. Om endast IRI nämns i en text menas normalt IRI H.
Megatextur	Ett mått på ojämnheter på vägen med ett våglängdsinnehåll mellan 50 mm och 500 mm. Megatextur är till viss del komfortrelaterat och mäts därför i hjulspåren.
Metodbeskrivning	Det gamla begreppet för skrift som beskriver en metod eller förfaringssätt, t.ex. mätmetod. VVMB (Vägverket Metodbeskrivning) XXX (löpnummer) benämndes skriften under tiden före Trafikverkets start. De flesta VVMB har översatts till TDOK (teknisk beskrivning) men inte alla. Äldre entreprenader hänvisar till den metodbeskrivning eller teknisk beskrivning som var aktuell när handlingarna skrevs.
MPD	Mean Profile Depth, ett mått på vägytans makrotextur i våglängdsintervallet 0,5 mm till 50 mm. Måttet mäts i tre parallella spår, i hjulspåren och mellan hjulspåren och benämns MPD V, MPD M och MPD H.
Mätbil	Fordon utrustat med mätsystem för insamling av avsedda egenskaper.
Mätbredd	Avståndet mellan de yttersta använda mätpunkterna i tvärlängd för ett mätsystem.
Mätfel	Mätvärdets avvikelse från det sanna värdet. Mätfelet består av mätningens noggrannhet och precision, förarens skicklighet och omständigheter vid mätning. Mätfelet kan exempelvis uttryckas som en standardavvikelse.
Mätkonsult	Den organisation eller det företag som utför vägytemätning. I förekommande fall avses den konsult som utför kontrollen av en entreprenad.

Begrepp	Förklaring
Mätoperatör	En eller flera mätoperatörer sköter mätningen med mätbilen. Vid vägytemätning är det normalt två mätoperatörer, en som kör bilen och den andra handhar mätsystemet.
Mätsystem	Utrustning ämnad för att samla in data. Mätsystemet består av sensorer som mäter avsedd egenskap och datorer för insamling och ev. bearbetning av data.
Mätöverfart	En mätning i en riktning på ett objekt eller delobjekt. Vid objektmätning utförs vanligen tre mätöverfarter för att beskriva tillståndet.
Objekt	Kan bestå av en eller flera delobjekt/platser. Ett större investeringsobjekt består normalt av, förutom av huvudvägen, anslutande vägar, ramper, lokalvägar etc. som tillsammans bildar objektet.
Objektmätning	Vägytemätning av ett objekt, delobjekt eller plats. Ofta med syfte att kontrollera utförd beläggningsåtgärd. Används för att kontrollera entreprenörens utförande på såväl underhålls- som investeringsobjekt. Jmf. med vägnätsmätning som avser ett större geografiskt område.
Plats / delobjekt	En del av ett objekt, t.ex. en väg, en ramp, cirkulationsplats eller anslutande väg.
Precision	En mätmetods eller mätsystems förmåga att leverera ett resultat med ett litet mätfel. Precision kan delas in i repeterbarhet och reproducerbarhet.
Repeterbarhet	Med repeterbarhet menas precisionen hos mätvärden som är bestämda på ett enhetligt sätt under lika betingelser.
Reproducerbarhet	Med reproducerbarhet menas precisionen hos mätvärden som är bestämda på ett enhetligt sätt men under olika betingelser.
Restvärde	Anläggningens värde efter garantitidens slut. Det finns ingen fastställd metod att mäta restvärde. En mätmetod kan vara tid till åtgärd.
Rätskiva	Rätskiva eller rätskena är en styv balk med viss förutbestämd längd som används för att bestämma storleken på ojämnheter hos vägytan. Mätmetoden är standardiserad i Europa, EN 13036-7 (CEN, 2003) och en alternativ metod finns hos Trafikverket (Trafikverket, 2014).
Sensor	En utrustning ämnad för att samla in en viss egenskap.
Slutbesiktning	Besiktning av ett åtgärdat eller nybyggt vägobjekt. Krav för entreprenaden stäms av.
Spårdjup	Vägens tvärprofil mäts normalt med 3,2 m mätbredd och med 17 diskreta punkter. Spårdjupet beräknas utifrån tvärprofilen. Ett brett körfält (> 3,5 m) beräknas med alla tillgängliga mätpunkter Spår 17, medan mätbredden reduceras till 2,6 m för smala körfält, Spår 15.
TB mall	Dokument "TB mall" är en mall med krav- och rådstexter. Den är avsedd som underlag och vägledning för framtagande av en teknisk beskrivning (TB) vid totalentreprenad baserad på ABT 06.
Teknisk beskrivning	Det nya begreppet för skrift som beskriver en metod eller förfaringssätt, t.ex. mätmetod. TDOK XXX (löpnummer) benämns skrifterna.

Begrepp	Förklaring
Totalentreprenad	En entreprenadform där utföraren väljer teknisk lösning som ska uppfylla funktionella eller prestandakrav som ställs av beställaren. Utformningen av kraven avgör hur styrd entreprenaden är. En entreprenadform som ska främja innovationer och nya smarta lösningar.
Trafikpåsläpp	Det ögonblick då trafiken släpps på efter t.ex. ett beläggningsarbete. Hela entreprenaden behöver inte vara klar men så pass färdig att den kan trafikeras. Ett underhållsobjekt brukar börja trafikeras succesivt varefter beläggningsarbetet är klart medan ett investeringsobjekt brukar färdigställas i sin helhet innan trafiken släpps på.
Underhållsobjekt	En vägsträcka som genomgått en underhållsåtgärd.
Uppföljning / Uppföljande mätning	En mätning avsedd för att kontrollera tillståndet hos en entreprenad under garantitiden. Mätningen utförs på samma sätt som vid slutbesiktningen.
Vägnätsmätning	Nationellt mätprogram för vägytemätning av tillståndet på Sveriges statligt belagda vägnät. Handlas normalt upp i femårsperioder, där två leverantörer eftersträvas.
Vägytemätning	Mätning med mätbil. Vanligtvis delas mätningen upp i objektmätning och vägnätsmätning.
Y	Ytbehandling, man skiljer på YXG och YXB (X står för antal lager) där G innebär att ytbehandlingen är lagd på bärlager av grus och B för bundet bärlager (t.ex. ABT eller liknande). Ytbehandling används främst på lågtrafikerat vägnät och i vissa fall medeltrafikerat vägnät.

3. Syfte

Denna rapport går ut på att belysa de krav som ställs i framförallt totalentreprenader och de kontrollmetoder som kan verifieras av vägytemätning med mätbil för att se om de är uppfyllda. Utöver att belysa dagens tillvägagångssätt vid objektmätning på entreprenader berörs också krav för vilka det inte finns en etablerad verifieringsmetod.

Syftet är också att beskriva hur processen att genomföra ett mätuppdrag med mätbil går till, från metod och förutsättningar till kvalitetskontroll och redovisning av en mätning.

Ett tredje syfte är att peka på de vanligaste skador, brister och problem som kan uppstå vid utförande och under brukstiden i en entreprenad samt ett möjligt sätt att detektera dem.

Med projektet vill vi också belysa vilka förutsättningar det finns för att sätta krav vid entreprenader och förslag på framtida riktlinjer för kravställning.

4. Avgränsning

I denna rapport avgränsar vi oss till att arbeta med de kontroller som är möjliga att göra med mätbil. I de fall vi berör metoder som inte lämpar sig för att kontrolleras med mätbil framgår det av beskrivningen. Huvudfokus kommer att läggas på totalentreprenader med funktionskrav. Eftersom det inte finns någon samlad databas för mätningar på entreprenader i Sverige medför det att tillgången till data är begränsad. Viss analys görs därför från de övergripande vägnätsmätningarna även om noggrannheten i dessa mätningar är lägre och informationen om beläggningsåtgärder har vissa brister. Slutsatser från en stor mängd data kan dock uppväga vissa av bristerna.

5. Metod

Den kunskap som vi tar fram i detta projekt är baserad på en rad moment, från kunskapsinsamling till sammanställning av egna erfarenheter. Vi delar in projektet i följande moment:

1. Kunskapssammanställning från rapporter, undersökningar och tekniska beskrivningar om funktionsentreprenader. Inriktning på sammanställningen ska vara kopplat till verifieringsmetoder och mätstorheter/indikatorer med focus på totalentreprenader. Mycket av informationen kommer från Trafikverkets tekniska dokument och styrdokument för totalentreprenader. Då flera personer i projektet är väl insatta i allt från mätning till databearbetning finns flera inslag av erfarenhetsmässig kunskapsåterföring involverad.
2. Identifiera möjliga objektiva verifieringsmetoder utförda med mätbil.
3. En allmän beskrivning av möjliga brister i beläggningsutförandet sammanställs. Hur visar sig dessa brister och vilka mätstorheter lämpar sig som en indikator för att detektera bristen? Detta kartlägger vi i såväl nybyggnadsskedet som i bruksskedet.

6. Genomförande av mätuppdrag

Föreliggande kapitel baseras i huvudsak på kunskaper och erfarenheter från konsult som utför vägytemätning med mätbil i syfte att utvärdera asfaltbelägningens kvalitet. I kapitlet beskrivs genomförandet av en mätning från beställning till redovisning, inkluderat beräkning av mätstorheter och kvalitetssäkring. Beskrivningen gäller för de mätstorheter som idag används för att utvärdera funktionskraven i totalentreprenader enligt den gällande metodbeskrivningen för vägytemätning av objekt. De mätstorheter som behandlas är *ojämnhet i längsled*, *ojämnhet i tvärled* samt *tvärfallsavvikelse*. Mätstorheten *tjällyft* ska enligt gällande mall också mätas med mätbil, men då denna i praktiken inte används i någon större utsträckning beskrivs den inte närmare här. I kapitel 6.1 redovisas hur metodbeskrivningen har förändrats genom åren och de viktigaste skillnaderna listas.

6.1. Förändringar i metodbeskrivning för mätning med mätbil

Eftersom totalentreprenader kontrakteras över en relativt lång period är det av största vikt att de metoder som används för uppföljning kan genomföras på samma sätt vid både början och i slutet av garantitiden. Nedan redovisas de metodbeskrivningar som har gällt från år 2004 fram till idag. Metoderna gäller för så kallad *objektmetning* vilket innebär mätning på begränsad sträcka med det huvudsakliga syftet att följa upp vägytekrav i entreprenader.

2004–2008 Metodbeskrivning 116 (Publ. 2004:65)

2009–2014 Metodbeskrivning 122 (Publ. 2009:79)

2015– TDOK 2014:0005, TDOK 2014:0003

Vägytemätning för utvärdering av funktionskrav i totalentreprenader ska alltså idag genomföras enligt Trafikverkets dokument Vägytemätning Objekt (TDOK 2014:0005). Beräkning av de olika mätstorheterna sker enligt Vägytemätning Mätstorheter (TDOK 2014:0003). I tidigare versioner har innehållet i dessa båda dokument återfunnits i samma dokument. De förändringar i mätförfarande och beräkning av storheter som skett sedan år 2004 och som kan inverka på resultatet redovisas nedan. Redovisningen omfattar endast de storheter som fram till idag använts som funktionskrav d.v.s. jämnhet i längs- och tvärled samt tvärfallsavvikelse.

- För beräkning av *tvärfall* används från och med år 2009 den så kallade spårbottnemetoden, vilket innebär att tvärfallet beräknas som lutningen för regressionslinjen genom sex mätpunkter placerade i hjulspåren för en personbil. I tidigare versioner har samtliga 17 mätpunkter använts i beräkningen. Skillnaden i tvärfall mellan de båda beräkningsmetoderna bör dock bli liten på en nylagd beläggning då det normalt inte förekommer några tvärgående ojämnheter. I metodbeskrivningarna finns även andra definierade metoder att beräkna tvärfall. I kravspecifikationen är det med andra ord viktigt att specificera vilken metod som ska användas.
- Från och med år 2009 ska mätbilen placeras i sidled så att alla mätpunkter hamnar innanför vägmarkering/räfflor och mätpunkt avsedd för längsprofil höger ska om möjligt placeras i höger personbilsspår. Saknas synliga hjulspår ska mätbilen placeras mitt i körfältet så att alla mätpunkter hamnar innanför vägmarkering/räfflor. I tidigare versioner togs ingen hänsyn till vägmarkering utan då gällde istället beläggningsskanten som yttre begränsning. I övrigt gällde samma instruktion som idag. I kapitel 6.5.2 redovisas hur olika sidolägesplacering kan inverka på slutresultatet.
- Från och med 2015 kan, efter överenskommelse med beställare, vissa ytor mätas med endast en mätöverfart (mot normala tre). Detta är tillåtet på exempelvis ramper samt körfält 2 på 2+1 vägar och vägar med skyltad hastighet 100 km/h eller högre.

Eftersom de mätsystem som används ska följa metodbeskrivningen har dessa inte heller förändrats i någon större utsträckning. Över tid har dock noggrannheten i vissa sensorer förbättrats. Dessutom genomförs kontinuerligt mindre utvecklingar i mjukvaran som behandlar inkommande data, vilket har medfört att mätsystemen även blivit stabilare. Sammantaget har detta troligtvis gjort mätningarna effektivare och mer noggranna.

6.2. Tillgänglig information och tolkning av kravspecifikation

I mallen för teknisk beskrivning av totalentreprenader (internt Trafikverksdokument, 2017-09-01), som används för att specificera omfattning, förutsättningar och krav, delas det aktuella projektet upp i olika grupper. En grupp är (enligt mallen) platser som har samma typ av kravställning och som används för att reducera upprepning av krav. En plats definieras i sin tur som en geografisk plats, sträcka, etc. Platser kan med andra ord vara en lokalväg som byggs eller ändras samtidigt som huvudvägen byggs, men kan också vara en ramp i en trafikplats. I den tekniska beskrivningen (TB:n) ska det finnas en tabell som anger vilka platser som tillhör vilken grupp. I huvudsak är det platser som tillhör grupp 1 som innefattas av funktionskrav baserat på mätning med mätbil. I kapitel 8.2 beskrivs gruppindelningen och dess krav närmare.

Innan en mätning genomförs är det en fördel om beställare (oftast entreprenören) och mätkonsulten tillsammans går igenom den aktuella kravspecifikationen. Följande frågeställningar bör utredas:

- *Vilken grupp tillhör de olika platserna som ingår i entreprenaden?* Detta är normalt tydligt specificerat i TB:n. Gränsen mellan två platser kan ibland vara otydlig, exempelvis då en ramp övergår i lokalväg. Här kan planritningen från förfrågningsunderlaget (FU) vara till viss hjälp, dock är det inte alltid tydligt här heller.
- *Vilka krav ställs på respektive plats?* Här är det viktigt att de platser som finns specificerade i gruppindelningen även återfinns i tabellen med krav. I annat fall kan det tolkas som att det inte är ställt några funktionskrav på platsen. Man ska även vara uppmärksam på ifall flera platser är hopslagna i kravställningen, exempelvis ramperna i en trafikplats. Detta kan få konsekvenser vid utvärderingen av resultatet.
- *Är delobjektet lämpligt att mäta med mätbil?* Nuvarande mall för TB tillåter att mäta med rätskena på platser där det inte finns möjlighet att mäta med mätbil, enligt Trafikverkets dokument TDOK 2014:0136 (Trafikverket, 2014). Sådana fall är framförallt då mätbilen inte kan mäta med tillräcklig hastighet eller där mätstorheterna inte är lämpliga att använda som funktionskrav, exempelvis cirkulationsplatser eller korta anslutande vägar.
- *Vilken mätbredd ska användas?* I nuvarande mall för TB finns inte angivet vilken mätbredd som ska användas för beräkning av ojämnhet i tvärled. Nuvarande metodbeskrivning föreskriver att mätning ska utföras så att vägmarkeringens höjd inte inverkar på någon mätstorhet samt att vid smala körfält kan, efter överenskommelse med beställare, en mätbredd på 2,60 meter användas istället för normala 3,20 meter. Körfält $\leq 3,50$ meter räknas normalt som smalt (definieras som avståndet mellan vägmarkeringens innerkanter). I kapitel 6.5.2 redovisas hur vägmarkeringens höjd kan inverka på resultatet och i kapitel 8.3.3 skillnaden mellan olika mätbredder.
- *Finns det platser som behöver mätas innan trafikpåsläpp?* Nuvarande krav på ojämnhet i tvärled är oftast ≤ 3 mm. Detta medför att beställaren gärna vill utföra mätningen innan trafiken släpps på för att undvika initiala deformationer och slitage. Är det dessutom en komplicerad trafiksituation finns det risk för att vissa platser måste trafikeras flera månader innan hela projektet är färdigställt. Beställare och mätkonsult bör gemensamt bestämma när respektive plats ska mätas.

Beställare och mätkonsult bör också gemensamt definiera början och slut på respektive plats. Detta är viktigt dels för att mätningarna under garantitiden ska kunna utföras på exakt samma sträcka och dels för att kunna beräkna funktionskravet tvärfallsavvikelse på ett korrekt sätt. Denna storhet kräver nämligen en så bra synkronisering som möjligt mellan uppmätt och projekterat tvärfall. Platser som från början har en svårdefinierad startsektion, exempelvis ramper där endast ytor med full bredd ska mätas, bör uppmärksammas särskilt. Detsamma gäller för gränsen mellan två olika platser vilken, som tidigare nämnts, kan vara otydlig i FU.

6.3. Mätning med mätbil

6.3.1. Förutsättningar för mätningens genomförande

Innan mätning kan genomföras krävs det att följande är uppfyllt:

- Vägbanan ska vara i sådant skick att mätningen inte påverkas. T.ex. kan mätning på blöt vägbana ge felaktiga mätvärden. Mätstorheterna påverkas i olika grad av vägbansens fuktighet, exempelvis påverkas tvärfall inte i någon större utsträckning medan textur kräver en helt torr yta.
- Vägkroppen ska vara fri från tjäle. En tjälad vägkropp kan ge upphov till ojämnheter på vägytan och påverka jämnhet i längsled.
- Vägbanan ska vara fri från hinder. Med detta menas att under hela mätningen ska mätbilen kunna sidolägesplaceras enligt metodbeskrivningen, d.v.s. mitt i körfältet på en nylagd yta. Mätningen ska även kunna utföras i minst 15 km/h eftersom vissa mätstorheter inte kan beräknas på ett korrekt sätt då denna hastighet understigs.
- Mätningen ska utföras på sådant sätt att övriga mätningar under garantitiden kan genomföras på samma sätt med avseende på sidoläge och objektets start- och slutsektioner.

För att mätningen ska hålla en hög kvalitet kräver genomförandet en dialog mellan mätkonsult och entreprenör om lämpligaste tidpunkt. Inte sällan har entreprenören anlitat underentreprenörer till vissa arbeten, vilket också kräver planering och samordning.

6.3.2. Genomförande av mätning

Mätningen genomförs i huvudsak enligt nedanstående ordning. Förfarandet kan dock skilja sig åt mellan olika mätkonsulter.

1. Utmärkning av förutbestämde start- och slutsektioner. Mätningen startas och avslutas på i princip tre olika sätt och hur utmärkningen görs bestäms av detta. Den mest noggranna metoden för att starta och avsluta en mätning är med hjälp av ett reflekterande material och en fotocell monterad på mätbilen. Mätningen kan också startas och avslutas med hjälp av koordinater som på förhand är förprogrammerade i mätsystemet. Det sista alternativet är att mätoperatören manuellt aktiverar starten och avslutet på mätningen. Valet av metod görs av mätkonsulten beroende på vilken noggrannhet som krävs och vilka trafiksäkerhetsmässiga aspekter som finns att ta hänsyn till. I metodbeskrivningen finns angivet repeterbarhetskrav på längdmätningen som ska uppfyllas. I tabellen nedan uppskattas normal precision vid de tre olika start/stopp-alternativen.

Tabell 1 Uppskattad precision vid olika metoder för start/stopp av mätning.

Metod	Precision
Fotocell	Inom 0,1 m
GPS	Normalt inom 1 m
Manuell knapptryckning	Normalt inom 3 m

2. Mätbilen ska ligga inom det hastighetsintervall som metodbeskrivningen föreskriver under hela mätsekvensen. Detta innebär att mätningen startar en viss given sträcka innan den förutbestämda startsektionen, så kallad insvängningstid. Vissa mätstorheter kräver data över en given sträcka före den aktuella sektionen för att bli korrekt återgivna. Då startsektionen nås nollställs längdmätningen med hjälp av någon av metoderna som nämndes i punkt 1.
3. Varje körfält mäts var för sig. Mätbilen placeras i sidled enligt kravet i metodbeskrivningen. Är det en nylagd yta placeras mätbilen mitt i det körfält som mäts medan om det finns synliga spårdjup placeras bilen så att mätpunkt för IRI Höger hamnar i höger personbilsspår, dock utan att träffa vägmarkering/räfflor. Mät hastigheten kan varieras längs sträckan (15–90 km/h) och beror av vägens kurvatur, skyltad hastighet och trafiksituationen. Under mätning samlas data från systemets sensorer in i täta intervall. Sensorerna mäter avståndet till vägytan och mätbilens lutning i längs- och tvärlängd. Dessutom finns sensorer som mäter bilens vertikala rörelser för att i efterhand kunna kompensera för detta. Mätvärdena visas direkt på en skärm i mätbilen vilket ger mätoperatören möjlighet att övervaka inkommande mätvärden (kan dock skilja sig åt beroende på utrustningstyp).
4. De platser och de körfält som ingår i mätuppdraget mäts med minst tre mätöverfarer. För varje körfält kontrolleras därefter repeterbarheten mot ställda krav i metodbeskrivningen. I kapitel 6.6 redovisas hur denna och övrig kvalitetssäkring genomförs.

Under mätning sparas rådata vilket exempelvis möjliggör beräkning av mätstorheter enligt andra standarder eller annat rapportintervall. Vid mätningen tas också digitala stillbilder över vägområdet vilka kan användas för en översiktlig bedömning av vägytan och vägområdet. Slutligen samlas koordinater i täta intervall vilket utgör en platsbestämning och möjliggör grafisk redovisning på utskrivna eller digitala kartor.

6.4. Beräkning av storheter

I detta kapitel ges en översiktlig beskrivning över storheterna som beräknas vid vägytemätning med mätbil. Detaljerade beskrivningar och definitioner återfinns i Trafikverkets dokument Vägytemätning Mätstorheter (Trafikverket, 2015-B). Samtliga mätstorheter som är definierade i dokumentet beskrivs här med undantag för digitala stillbilder och position. Tre av mätstorheterna används för utvärdering av funktionskrav (enligt TB) idag. Övriga beskrivs i syfte för att eventuellt ersätta eller förbättra befintliga funktionskrav.

6.4.1. Längsgående ojämnheter

Längsprofil

De längsgående profilerna återger vägytans längsgående ojämnheter i våglängdsintervallet 0,2–100 meter. Insamling sker i vänster (V) och höger (H) hjulspår samt till höger om höger hjulspår (HT). Den sistnämnda används i huvudsak för att beräkna ojämnheter för tung trafik som har ett större avstånd mellan hjulen. Storheten redovisas med ett relativt höjdvärde (mm) i intervall om 0,1 m och

utgör indata för beräkning av ojämnhetsmått IRI och Lokal ojämnheter. Längsprofilerna kan också användas för att analysera vilken typ av ojämnheter som finns för att dra slutsatser om orsaken till uppkomna problem.

IRI (International Roughness Index) – Gällande funktionskrav

Denna storhet är ett så kallat responsmått. Storheten ska återspegla hur det känns att färdas i en personbil i 80 km/h och är den storhet som allmänt används för att beskriva de längsgående ojämnheter på en vägyta. Mätvärdet beräknas ur den så kallade ”quarter car”-modellen vilken är en modell med ett hjul och chassi samt tillhörande fjäder- och dämpningskonstanter. Då modellen färdas över den inmätta längsprofilens ojämnheter rör sig denna upp och ner och summan av dessa rörelser är den vertikala responsen i modellen skapat av vägens ojämnheter. Storheten beräknas för både vänster (IRI V) och höger (IRI H) personbilsspår och redovisas som ett medelvärde över 20 m med enheten mm/m. Ju lägre IRI-värdet är desto jämnare är vägytan.

Lokal ojämnheter

Denna storhet återfinns först i den senaste metodbeskrivningen för vägytemätning och är framtagen för att ge utslag för ojämnheter med kort utbredning i längsled (Lundberg, et al., 2015). Dessa typer av ojämnheter riskerar att undertryckas av IRI eftersom denna storhet medelvärdesbildas över en alltför lång sträcka. I beräkningen används den inmätta längsprofilen och ”quarter car”-modellen. Ur modellen beräknas, istället för IRI, accelerationerna i både chassi och hjul då modellen använder den hastighet som är skyltad på den aktuella platsen. Storheten beräknas både för vänster och höger personbilsspår och redovisas som maximalt värde (beräknat per 0,1 m) över en 20 meter lång sträcka med enheten m/s^2 . Ju lägre värdet är desto jämnare är vägytan.

6.4.2. Tvärgående ojämnheter

Medeltvärprofil

Medeltvärprofilerna återger vägytans tvärgående form och ojämnheter och beräknas utifrån den eller de avståndsmätande sensorerna i mätsystemet (oftast 17 st.). Storheten beräknas per 0,1 m och redovisas med enheten millimeter som en medeltvärprofil över 1 meter, alternativt valfritt intervall beroende på redovisningens syfte. Tvärprofilerna utgör indata till beräkningen av spårdjup och tvärfall och kan redovisas som nolljusterad eller med lutning. Precis som längsprofilen kan medeltvärprofilerna användas för att analysera vilken typ av ojämnheter som finns för att kunna dra slutsatser kring eventuella problem.

Spårdjup – Gällande funktionskrav

Storheten anger ett värde på vägytans tvärgående ojämnheter beräknade enligt den så kallade trådprincipen. Indata till beräkningen är tvärprofiler per 0,1 m där en virtuell tråd sträcks mellan profilens ytterpunkter. Tråden spänns upp av profilens högsta punkter och spårdjupet beräknas som det största rätvinkliga avståndet mellan tråden och tvärprofilen. Värdet medelvärdesbildas över 20 meter och redovisas med enheten millimeter. Varianter av spårdjup kan beräknas där endast delar av tvärprofilen används. Exempelvis kan de yttersta mätpunkterna uteslutas, d.v.s. mätbredden minskas. Ett annat exempel är att endast högra eller vänstra halvan av tvärprofilen används. Då samtliga mätpunkter på tvärprofilen används nås en mätbredd på 3,20 meter (även kallat spårdjup max_{17}). Ifall de yttersta mätpunkterna utesluts blir mätbredden 2,60 meter (även kallat spårdjup max_{15}). Ju lägre spårdjupsvärdet är desto jämnare är vägytan.

6.4.3. Textur

Vägytans textur är en form av längsgående ojämnheter för väldigt korta våglängder. Textur delas normalt in i mikro-, makro- och megatextur där våglängdsintervallet går från 0–0,5 meter. Makro- och megatextur finns definierade i metodbeskrivningen för vägytemätning, men inte mikrotextur. Anledningen till detta är att det idag inte finns något tillförlitligt sätt att mäta mikrotextur i fart. Mikrotextur innehåller våglängder kortare än 0,5 millimeter och återspeglar därmed stenmaterialets skrovlighet. Egenskapen är viktigt för att skapa friktion mellan däck och vägyta, speciellt i lägre hastigheter.

Makrotextur

Storheten innehåller våglängder i intervallet 0,5–50 millimeter och återspeglar därmed asfaltbelägningens skrovlighet. Storheten ska beräknas som MPD (Mean Profile Depth) enligt ISO-standard 13473–1 (med vissa avsteg) och redovisas som ett medelvärde över 1 meter med enheten millimeter. Makrotextur mäts i tre parallella linjer längs vägen, i vänster (MPD V) och höger (MPD H) hjulspår samt mitt emellan hjulspår (MPD M). Varje beläggningstyp har sitt karaktäristiska värde beroende på belägningens sammansättning och stenstorlek. Makrotextur är en egenskap som ska finnas på en vägyta varför värdet ska återfinnas inom ett visst intervall, som skiljer sig mellan olika beläggningstyper.

Megatextur

Storheten innehåller våglängder i intervallet 50–500 millimeter och återspeglar därmed korta ojämnheter i vägytan. Storheten ska beräknas som ett RMS-värde och redovisas som ett medelvärde över 1 meter med enheten millimeter. Megatextur mäts i två parallella linjer längs vägen, i vänster (V) och höger (H) hjulspår. Till skillnad från både mikro- och makrotextur ska megatexturen vara så låg som möjlig, d.v.s. ju lägre värde desto jämnare upplevs vägytan.

6.4.4. Sprickor

Bestämning av sprickor finns definierat i nuvarande metodbeskrivning för vägytemätning men har inte använts i någon större utsträckning. Metodbeskrivningen anger inte någon specifik teknisk lösning utan endast att sprickor med bredd över 2,5 millimeter ska kunna detekteras samt att mätning ska kunna utföras i hastigheter upp till 80 km/h. Ytan som mäts ska vara minst 3,20 meter bred. Mätningen ska redovisas som andel sprucken yta per 20 m i fem zoner tvärs vägen.

6.4.5. Linjeföring/geometri

Gemensamt för dessa storheter är att de beskriver vägens linjeföring och därmed inte vägytans beskaffenhet i någon större utsträckning. Tvärfall är den storhet av de tre som i störst grad påverkar trafikanten och är underlag för en belägningsåtgärd. Kurvatur och backighet ger information om huruvida vägen är i behov av plan- och/eller profiljusteringar.

Tvärfall – Gällande funktionskrav

Tvärfall ska beräknas utifrån tvärprofilens form och lutning, d.v.s. i beräkningen används de inmätta tvärprofilerna tillsammans med information om mätbilens lutning i förhållande till horisonten. Tvärfall beräknas per 0,1 m och medelvärdesbildas över 1 meter med enheten %. Tvärfallsvärdet kan beräknas med tre olika metoder beroende på syftet med mätningen. De olika varianterna definieras som lutningen genom olika mätpunkter i tvärprofilen. Tvärfall är en egenskap som ska finnas på en väg varför värdet ska återfinnas inom ett visst intervall. I övergången mellan raksträcka och kurva (skevningsövergång) ska tvärfallet ur ett optimalt perspektiv ändras rätlinjigt över en given sträcka. Tvärfallet används för att beräkna funktionskravet *tvärfallsavvikelse* vilket i praktiken innebär

skillnaden mellan uppmätt och projekterat tvärfall. För att detta ska vara möjligt krävs att längdmätningen mellan dessa båda är synkroniserad.

Kurvatur

Kurvaturen anger krökningsradien på vägens linjeföring i plan, d.v.s. hur snäva vägens kurvor är. Storheten mäts med sensorer som registrerar mätbilens linjeföring i horisontalplanet. Värdet ska anges som medelvärdet av krökningsradien över 20 meter och redovisas med enheten 1/10 000 meter.

Backighet

Backigheten anger vägens längsgående lutning relativt horisontalplanet. Storheten mäts med sensorer som registrerar mätbilens lutning relativt horisontalplanet. Värdet beräknas som höjdskillnaden för en sträcka dividerat med sträckans horisontella längd och redovisas som ett medelvärde över 20 meter med enheten %.

6.5. Mätfel

Under en mätning uppstår situationer som ger upphov till mätfel av olika grad. Mätfelen beror av *mätssystemets* noggrannhet och precision, *mätoperatörens* skicklighet att sidolägesplacera bilen korrekt och repetera mätningen samt *situationer* som uppkommer under mätning. I kapitel 6.6 beskrivs närmare hur kvaliteten från mätningar säkerställs och vad som görs för att undvika mätfel i så hög grad som möjligt. Nedan redovisas de felkällor och situationer som kan ge upphov till mätfel vid mätningens genomförande.

6.5.1. Mätssystem

Kvaliteten på de mätsystem som används avgör storleken på mätfelet. Mätfelet som uppkommer på grund av mätsystemet är en kombination av sensorernas kvalitet och hur mjukvaran hanterar inkommande data för att beräkna storheterna.

För att få ett litet mätfel krävs att mätsystemets sensorer har hög noggrannhet. Med noggrannhet menas sensorns förmåga att ge resultat som ligger nära mätstorhetens sanna värde. Mätssystemet ska även ha en hög precision, d.v.s. en god överensstämmelse mellan ett antal värden vid upprepade mätningar. Precision kan delas in i repeterbarhet och reproducerbarhet. Med repeterbarhet menas precisionen hos mätvärden som är bestämda på ett enhetligt sätt under lika betingelser. Med reproducerbarhet menas precisionen hos mätvärden som är bestämda på ett enhetligt sätt men under olika betingelser. Olika betingelser kan i detta sammanhang vara annat mätsystem eller annan mätoperatör. Även annan tidpunkt kan sorteras in i den kategorin.

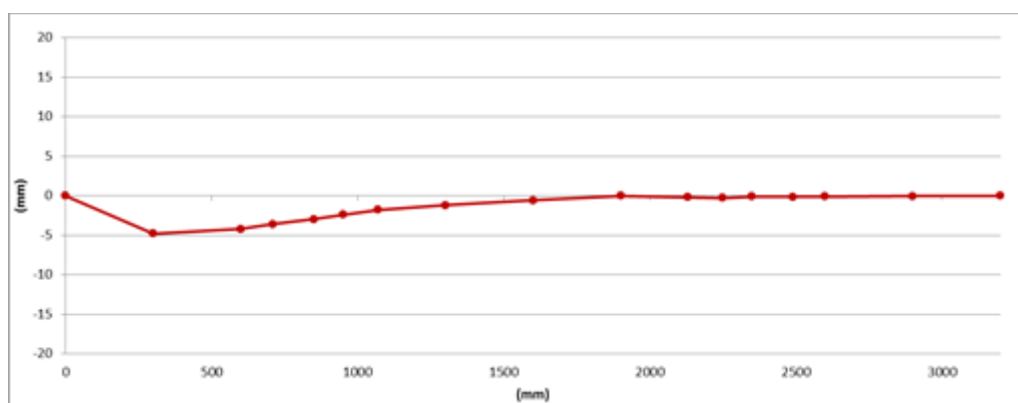
En förutsättning för ett litet mätfel är också att sensorerna är korrekt kalibrerade. En felaktigt kalibrerad sensor kan förvisso ge en god repeterbarhet men mätvärdet kan ligga långt ifrån det sanna värdet, d.v.s. noggrannheten är låg. Detta benämns ofta som systematisk avvikelse.

I praktiken ger de mätsystem som används i Sverige idag hög noggrannhet. Mätssystemen genomgår årliga tester där noggrannhet och precision testas. Även systematiska avvikelser fångas upp i dessa tester. De årliga testerna är en del av kvalitetssäkringen och beskrivs närmare i kapitel 6.6. En väsentlig del av utrustningen kan dock förändras relativt snabbt över tid, nämligen utrustningen för längdmätning. Noggrannheten för längdmätningen beror i stor grad på däckets ringtryck och temperatur vilka är egenskaper som förändras kontinuerligt. En korrekt längdmätning är viktigt för att kunna beräkna tvärfallsavvikelse på rätt sätt samt för att kunna jämföra mätvärden över tid. En längdmätning med mindre bra noggrannhet ger större mätfel ju längre sträckan är.

6.5.2. Mätoperatör

Mätfel uppkommer också på grund av mätoperatörens oförmåga att dels köra på ett korrekt sätt (sidolägesplacering) och dels kunna upprepa detta (hålla samma sidolägesplacering) ett givet antal gånger. De olika storheterna påverkas i olika grad av detta, där vissa storheter är mer känsliga än andra för sidolägesplaceringen av mätbilen.

Mätfel uppkommer också ifall mätoperatören sidolägesplacerar mätbilen så att någon mätpunkt träffar vägmarkeringen. Hur stort detta mätfel blir beror på vägmarkeringens höjd samt över hur lång sträcka mätpunkten träffar markeringen (och därmed även på om markeringen är heldragen eller intermitterent). En sliten intermitterent markering ger med andra ord ett mindre mätfel än en ny heldragen linje under förutsättning att sträckan är densamma. I Figur 2 visas ett exempel från ett verkligt objekt där mätpunkten längst till vänster träffat vägmarkeringen. Som synes ger mätfelet ett tillskott till spårdjupet.



Figur 2 Nolljusterad tvärprofil där mätpunkten längst till vänster träffat vägmarkeringen.

6.5.3. Händelser under mätning

Under en mätning kan situationer uppstå som inverkar på mätningen och därmed mätvärdena. I sådana situationer krävs för det mesta att den enskilda mätöverfarten raderas och mäts på nytt. Nedan redovisas situationer och händelser som kan uppstå vid en vägtemätning.

Samordning med beställare (entreprenör)

Ett mätuppdrag som utförs vid slutbesiktningen av en totalentreprenad med funktionskrav görs ofta innan trafikpåsläpp. För att undvika hindrande föremål krävs en samordning mellan mätkonsulten och beställaren om tidpunkt och vilka begränsningar mätningen har (låg mät hastighet, sidolägesplacering). I denna samordning är det viktigt att beställarens eventuella underkonsulter också är informerade. Trots samordning är det vanligt förekommande att hinder i olika omfattning finns vid mätningen i samband med slutbesiktningen.

Låg hastighet

Om mätbilen tvingas sänka hastigheten under 15 km/h är det stor risk att mätvärdena påverkas. Sådana händelser kan vara långsamtgående fordon, hinder på vägen som kräver undanmanöver, svängande bilar etc. Mätoperatören försöker i största grad anpassa hastigheten i god tid så att stopp och låga hastigheter undviks. Uppstår en sådan händelse krävs allt som oftast att den enskilda mätöverfarten görs om.

Hinder

Om det finns hinder på vägen så att den tänkta sidolägesplaceringen inte kan följas inverkar detta på mätvärdena och mätöverfarten måste göras om. Är det fråga om ett fast hinder, som finns under hela tiden vid tidpunkten för mätningen, tvingas en del av mätsträckan utelämnas i redovisningen. Fasta

hinder kan även förekomma i början och slutet på sträckan vilket innebär att de valda start- och slutsektionerna måste förskjutas. Alla typer av fasta hinder måste beaktas vid uppföljande mätningar.

Risk för låg hastighet och hinder uppstår då och då vid mätning i samband med slutbesiktning av en totalentreprenad. Inte sällan vill entreprenören genomföra mätningen innan trafikpåsläpp för att minimera effekter av efterpackning och riskera underkända värden för *ojämnhets i tvärled*. Även en tid efter trafikpåsläpp finns risk för att hinder förekommer då en del kompletterande arbeten kan förekomma, exempelvis räckesarbeten eller läggning av stödremsa.

6.6. Kvalitetssäkring av mätdata

För att minimera mätfelen finns en rad standardiserade kontroller och tester framtagna som ska fånga upp eventuella problem och göra tillförlitligheten till mätvärdena så stor som möjligt. Kontroller görs dels av mätsystemen och dels av mätvärdena vid varje enskilt mätuppdrag.

6.6.1. Kontroll av mätsystem

Mätsystemen kontrolleras dels av en oberoende part och dels av den enskilde mätkonsulten.

Kontroll av oberoende part

För att få utföra objektmätning på det statliga vägnätet enligt gällande metodbeskrivning krävs ett godkännande som fastslår att mätsystemet mäter korrekt samt att den enskilde mätkonsultens kvalitetsrutiner är tillräckliga. Detta finns beskrivet i Trafikverkets dokument *Tekniskt godkännande för objektmätning* (Trafikverket, 2015-A). Testet omfattar dels ett så kallat validitetstest, dels en årlig kontroll och dels ett godkännande av mätkonsultens kvalitetssystem. Validitetstestet innebär att ett av mätkonsultens mätsystem genomgår en testmätning där mätvärdena jämförs med referensvärden uppmätta med andra mätmetoder. Detta ska säkerställa att mätkonsultens mätsystem mäter med tillräcklig noggrannhet och precision. Det årliga testet innebär att varje utrustningsindivid som ska användas under mätsäsongen testas med avseende på noggrannhet och precision, dock i mindre omfattning än validitetstestet. Ett sådant godkännande är giltigt i 15 månader och utfärdas av Trafikverket. Slutligen ska mätkonsultens kvalitetssystem innehålla uppgifter om kontroller och kalibreringar som görs löpande under året samt uppgifter om utbildningsplan för mätoperatörerna.

Mätkonsultens egenkontroll

Varje mätkonsult ska enligt TDOK 2014:0706 ha ett godkänt kvalitetssystem som beskriver hur egenkontroll och kalibrering av mätsystemen genomförs. En obligatorisk del i detta är en daglig kontroll av mätsystem före mätningens början samt i de fall misstanke om fel föreligger. Kalibrering av sensorer ska dokumenteras och lagras under minst ett år.

Ovan beskrivna kontroller säkerställer att mätfel som beror av mätsystemen minimeras. De mätkonsulter som ska utföra mätning, enligt gällande metodbeskrivning, måste ha ett giltigt godkännande från Trafikverket som säkerställer mätsystemens noggrannhet, precision och rutiner för löpande egenkontroller.

6.6.2. Kontroll av mätvärden vid mätuppdrag

Utöver kvalitetssäkringen av mätsystemen finns också rutiner för hur mätfelen vid ett enskilt uppdrag minimeras. Syftet med dessa rutiner är framförallt att minska mätfelen som uppkommer på grund av mätoperatören.

Mätning enligt metodbeskrivning

Metodbeskrivningens syfte är att säkerställa att mätning sker på samma sätt och med tillräcklig noggrannhet vid varje enskilt mättillfälle. I metodbeskrivningen finns angivet hur mätbilen ska

placeras i sidled, hur mätning i speciella situationer ska genomföras (exempelvis ramper) samt hur mätdata ska kunna kopplas till den vägnätsmodell som används av Trafikverket. Dokumentet innehåller även instruktioner för hur mätningens repeterbarhet ska testas. Kontrollmetoden innebär att varje enskilt körfält mäts tre gånger. Mätvärdena från de tre mätöverfarterna jämförs därefter med varandra och krav finns på varje enskild mätöverfarts medelvärde och standardavvikelse jämfört med medianvärdena av de tre överfarterna. Kontrollen utförs för samtliga mätstorheter som ingår i mätuppdraget. Ifall någon mätstorhet för någon sträcka inte uppfyller kraven ska en fjärde mätöverfart genomföras och repeterbarhetstestet upprepas. Om kontrollen lyckas anses mätningen vara av så pass bra kvalitet att mätningen kan användas för att reglera entreprenaden.

Ovan beskrivna kontroller och rutiner säkerställer att mätvärdena vid ett enskilt mätuppdrag är tillförlitliga. Att genomföra tre mätöverfarter med tillhörande repeterbarhetstest är ett kvitto för mätkonsulten att insamlade mätvärden är trovärdiga innan avetablering sker. De tre mätöverfarterna minskar också risken att vägmarkeringen inverkar på mätresultatet. I rapporten till beställaren redovisas nämligen medianvärdet per 20 meter vilket tar bort inverkan av enstaka mätfel.

6.7. Redovisning av mätresultat

I metodbeskrivningen finns specificerat hur redovisningen ska göras. Mätvärdena redovisas i både tabeller och diagram där värden som inte når upp till kravgränsen markeras. Mätvärdena redovisas efter en på förhand bestämd längdmätning, exempelvis efter entreprenadens längdmätning eller Trafikverkets NVDB-längd. Oavsett metod redovisas även koordinater för start- och slutsektionen vilket knyter mätningen till Trafikverkets vägnätsmodell.

I rapporten redovisas medelvärden över både 20 meter och 400 meter för varje mätstorhet och mätt körfält. Värdet som redovisas per 20 meter är medianvärdet av de tre godkända mätöverfarterna. Värdet som redovisas per 400 meter är i sin tur beräknat utifrån dessa 20 medianvärdena. För funktionskraven *ojämnhet i längsled (IRI)* och *ojämnhet i tvärlid (spårdjup)* ställs oftast krav på mätvärdena för båda dessa rapportintervall. För tvärfall ska tvärfallsavvikelse beräknas för varje 400 meterssträcka. En utförligare beskrivning av kraven finns i kapitel 8.2.

I rapporten redovisas också statistik över hur stor andel av värdena som inte uppfyller kravgränsen samt övrig statistik i form av medelvärden, standardavvikelse och percentilvärden.

För totalentreprenader med funktionskrav, där det ofta ingår flera delobjekt (platser) i mätuppdraget, ska en rapport för varje delobjekt upprättas. Detta eftersom kravställningen kan skilja sig åt mellan olika delobjekt.

6.8. Uppföljande mätningar under garantitiden

I totalentreprenader med funktionskrav ska uppföljande mätningar utföras med jämna mellanrum under och i slutet på garantitiden (garantibesiktningen). Normalt genomförs fem mätningar inkluderat mätningen vid slutbesiktningen. Mätningar under garantitiden utförs på samma sätt som vid slutbesiktningen med undantaget att sidolägesplaceringen är annorlunda på grund av den uppkomna spårbildningen.

Utöver att genomföra de uppföljande mätningarna enligt metodbeskrivningen, är fokus på att mätvärdena ska kunna jämföras med tidigare mätresultat samt att noggrannheten i storheterna är så bra som möjligt. För detta krävs följande:

- Konsistent mätmetod under garantitiden – en entreprenad kan pågå under en lång tid och olika versioner av mätsystem och programvaror kan påverka resultatet, om möjligt bör samma version av mätsystem och programvara användas.

- Sidolägesplaceringen är i hjulspåren så att uppmätta spårdjupsvärden är så nära de sanna spårdjupsvärdena som möjligt. En speciell uppmärksamhet bör tas till att inte vägmarkeringarna påverkar spårdjupsmätningen.
- Längden på sträckan stämmer överens med tidigare uppmätt längd. Detta för att möjliggöra en jämförelse av mätvärden över tid. Vid uppföljningsmätning av långa objekt ger även små relativa skillnader i längdmätning stora absoluta skillnader.
- Start- och slutsektionerna är desamma som vid tidigare mätningar. Detta för att möjliggöra en jämförelse av mätvärden över tid.

Kravställningen i totalentreprenader med funktionskrav har förändrats över tid. Att kunna jämföra mätvärden från olika mätningar är i gällande TB-mall inte något krav, dock kan det vara viktigt för entreprenören att ha möjligheten att följa utvecklingen och bedöma riskerna i varje enskilt projekt.

Sidolägesplaceringen vid mätningar på beläggningar med synliga hjulspår kan innebära en större risk för att någon mätpunkt träffar vägmarkeringen. Detta eftersom spårbildningen oftast tenderar att förskjutas mot kantlinjen i innerkurvor på grund av att trafiken genar. Metodbeskrivningen föreskriver dock att alla mätpunkter ska vara innanför vägmarkeringen, något som kan medföra att största spårdjupet (sanna värdet) eventuellt inte kan mätas. Detta beskrivs närmare i kapitel 6.3.2.

6.9. Slutsats

Nuvarande mätmetod för att kontrollera funktionskraven *ojämnhet i längsled* och *ojämnhet i tvärlad*, beräknat som *IRI* respektive *spårdjup*, fungerar tillfredsställande. I metoden finns inbyggda kontroller som säkerställer att mätfel som uppkommer på grund av mätsystem och mätoperatörer minimeras. Metoden lämpar sig mindre bra på små ytor på grund av tekniska begränsningar i mätsystemen. I dessa fall finns dock möjlighet att använda andra mätmetoder.

För att beräkna funktionskravet *tvärfallsavvikelse* används de inmätta tvärfallsvärdena som indata. Insamlingen av tvärfallsvärden med nuvarande metod fungerar också tillfredsställande, däremot är utvärderingen av tvärfallsavvikelse beroende av en nästintill perfekt synkronisering av längd mellan uppmätt och projekterat tvärfall. Detta försvåras av ovan nämnd problematik med hinder samt kalibreringen av mätsystemens längdmätning.

Inför mätning är det ofta otydligt i den tekniska beskrivningen vilka delar som ska mätas med mätbil och vilka som ska mätas med andra metoder. Även gränsen mellan de ingående delobjekten kan vara svår att tolka. Kravställningen på respektive delobjekt behöver emellanåt också tydliggöras.

Vid mätning inför slutbesiktning förekommer ofta hinder som kan inverka på mätvärdena och ökar tidsåtgången för mätuppdraget, detta trots att mätkonsult och beställare från början varit överens om tidpunkt och förutsättningar för mätningen. Anledningen till att mätning genomförs före trafikpåsläpp är allt som oftast att entreprenören vill minimera riskerna att bli underkänd, då de vid slutbesiktning måste uppfylla relativt hårda krav avseende *ojämnhet i tvärlad*.

7. Fel som kan uppträda vid ett beläggningsarbete

Problem som kan uppstå vid ombyggnation då vägen breddas tas inte upp i detta kapitel, ej heller defekter som endast härrör sig till smala vägar.

7.1. Allmänt

Det fundamentala för en vägkonstruktion är att den ska klara av att motstå belastningen från den tunga trafiken. Såväl obundna som bundna lager måste vara tillräckligt packade och vara av rätt kvalitet och tjocklek, samtidigt ska de inte vara separerade. Dessutom får inte jord och annat spill förekomma. Ytans jämnhet inför bundet lager är av stor vikt. Utsätts slitlagret för många fordon utrustade med dubbdäck under vintertid är även det en mycket viktig faktor att ta hänsyn till.

Kvaliteten på en ny beläggning kan variera på grund av separationer i asfaltmassan eller andra fel vid tillverkning/utförande, med öppna partier och/eller täta partier (s.k. blödning) som följd. Separationer kan uppstå vid verket, vid tömning i varmhållningsficka, vid lastning till transport, vid tippning i tråg, och/eller vid utläggning.

Proportioneringen med rätt mängd bindemedel av rätt typ samt ett stenmaterial med rätt sammansättning och kvalitet är en bas för att uppnå lång livslängd. Alla asfaltbundna lager måste vara stabila efter utförandet. Blandningen i asfaltverket måste vara tillfyllest och skett vid rätt temperatur. Varmhållningen måste vara korrekt från verket, under transporten fram till utläggningen och sedermera vältningen.

Klistringen mellan asfaltbundna lager måste utföras noggrant. Rätt emulsion av god kvalitet sprids jämnt och i rätt mängd. Spridaren måste vara väl genomgången med avseende på varmhållning, spridningshastighet, tryck och spridarmunstyckenas kondition. Tillåts trafik, även byggtrafik inkluderad, på bundet lager måste ytan vara väl rengjord och rätt klistrad innan nästkommande lager utförs. Även transporter på klistrad yta kan göra att bortnötning uppstår.

Det är viktigt med intrimmad logistik vid leveranser av ny massa. Eventuellt massaspill framför läggaren skall omedelbart tas bort för att inte förorsaka ojämnheter och/eller hålrumspöblem. Handhavandet av asfaltläggarens tråg måste ske så att inte separationer uppstår (lagom mängd massa hela tiden och att inte trågsidorna lyfts under produktion). Rätt inställd skrid och att läggarens skruv inte överbelastas är vitalt för ett fullgott resultat. Kontinuerlig kontroll av tjockleken på utlagt lager måste också utföras.

Det är extra viktigt med jämn tjocklek vid utförande av TSK, tunnskiktbeläggning. Bitumenemulsionen ska koka upp och tränga in i slitlagret. Vid ojämnt lager sker detta oregelbundet vilket får till följd att stensläpp sedermera kan uppstå eller det motsatta, en ökad blödningsrisk.

Fogar vältras väl, gärna med kantpackare utmed de långsgående fogarna. Lösa stenar får ej förekomma inför utförandet av intilliggande drag. Senare tätning/försegling av utförd fog är av stor betydelse för att undvika fogsprickor.

7.1.1. Riskfaktorer/Problem

I punktform presenteras nedan riskfaktorer och/eller problem som kan uppstå vid utförande av asfaltbeläggningslager.

- Tvärgående fog: Bristfällig rensning och/eller klistring med emulsion eller att inte plastfolie använts vid avslutningen av läggning inför fortsättningen.
- Läggning i regn/låg utetemperatur ger allmänt sämre kvalitet.
- För hög hastighet på läggaren ger undermåligt resultat.

- Vid vältning finns risk för att asfalt fastnar på trumman (valsblock) vilket resulterar i att material kommer att fattas sporadiskt eller i ränder utmed den färdiga ytan.
- Vältsprickor kan uppstå vid för tunna lager som dessutom kan ha ojämna tjocklekar. Även ett underlag med dålig bärighet kan bidra, när inte ”svar” från underlaget erhålles.
- Längsgående fog: Placeras/hamnar i närheten av, eller mitt över, underliggande fog vid flera tidigare utförda lager. Placeras/hamnar i kommande hjulspår, följer alltså inte filmarkering. Är ej rak. Nivåskillnad uppstår mot intilliggande beläggningsdrag.
- För tidigt trafikpåsläpp (fortfarande varm beläggning) ger deformationer, som även kan påverka beläggningskant inför det kommande draget, kant i kant.
- Spill från fordon (diesel eller olja). Kan även vara spill av ”släppmedel” som används för att förhindra att asfalten fastnar på redskap/maskiner/lastbilsflak. Kan ge upphov till att beläggningen ”löses upp”, vidhäftningen mellan bindemedel och ballast försämras.

7.1.2. Hjälpmiddel för högre utläggningens kvalitet

Nedan presenteras två hjälpmedel som visat sig vara användbara för att uppnå bra utförandekvalitet.

Värmekamera placeras bakåtriktad på läggarens skärmtak. Den används för att kontrollera om massan har en jämn och tillräckligt hög temperatur. Om så inte är fallet vidtages nödvändiga åtgärder.

’Shuttle Buggy’ är en maskin som fylls med asfaltmassa från lastbil innan utläggningen. Den kan i normalfallet matas med ca 15 ton och fylls efterhand. Funktionen bygger på en homogenisering och varmhållning av massan och sedermera kontinuerlig matning av massa till läggaren. Det ger en stor fördel, eftersom massan annars kan svalna ojämnt när den ligger en längre tid på lastbil. Här är den både homogeniserad och varmhållen vilket resulterar i en homogen och jämn yta. Asfaltläggaren blir heller inte stillastående för påfyllning av asfaltmassa, vilket är positivt.

7.1.3. Funktion:

I punktform presenteras nedan viktiga parametrar som måste tas hänsyn till för att uppnå en livslängd som kan anses tillfyllest för aktuell väg.

- Deformationsresistens (bärighet, plastisk deformation): Mest avgörande är förmågan att uppta belastningen från tunga fordon, klimatet, asfaltmassans sammansättning och bindemedelstyp.
- Nöttningsresistens: Dubbdäcksförsedda fordon påverkar slitlagret i form av nötning och/eller bortslitning av stenpartiklar, vilket i första hand leder till spårbildning. Mest avgörande är beläggningstyp, stenmaterialkvalitet, stenstorlek, utförandekvalitet, antal dubbdäckspassager och klimatfaktorer.
- Dimensionering: Se till att vägen kommer att motstå de påkänningar som orsakas av den tunga trafiken. Töjningar i bundna lagrens underkant samt tryckspänningar i de obundna lagren.
- Utmattningsresistens: Motstå den nedbrytning som orsakas av den tunga trafikens upprepade överfarer. Sprickor i eller i kanten av spår som sedermera kan övergå i krackelering är tecken på utmattning.
- Flexibilitet: Förmåga att stå emot rörelser (ofta inte kritiskt på högtrafikerade vägar med starka konstruktioner).
- Jämnhet i längsled: En ojämn väg har ofta sämre undergrundsförhållanden och/eller en svag underliggande vägkonstruktion.
- Vattenbeständighet: Bindemedlets förmåga att binda enskilda stenpartiklar till varandra.

- Vattentätthet. Vatten ska inte tillåtas tränga ner i beläggningslagren/konstruktionen.
- Åldringsresistens: Ställer stora krav på bindemedlets egenskaper. Tjocka bindemedelshinnor och relativt täta beläggningslager är positivt.
- Ytavvattning: Undvika stående vatten (lågpunkter, otillräckligt tvärfall, kan även uppstå vid övergångar från bombering till skevning och vice versa). Vatten ska ledas undan för att förhindra riskområden för vattenplaning.
- Friktion: God friktion skall råda på framförallt vägar med hög tillåten hastighet. Inga feta partier med mycket låg texturnivå får förekomma.
- Ljusreflektion: Fördel med en ljus beläggning som har en god retroreflektion (ljuset från bilars strålkastare tillgodogörs bättre).
- Buller: Lågbullrande egenskaper prioriteras i första hand på högtrafikerade trafikleder inom/genom tätbebyggt område.

7.1.4. Sprickor:

I punktform presenteras nedan de typer av sprickor som kan uppstå när ett vägavsnitt tagits i bruk.

- Sprickor i hjulspår: Är belastningsrelaterade och uppträder mitt i hjulspår eller parallellt i spårets utkant/er.
- Krackelering: En utveckling av belastningsrelaterade sprickor, där längsgående sprickor sammanbundits med små tvärgående sprickor till ett mönster. Detta mönster kan även uppstå utan att tydliga längsgående sprickor uppstått. I detta fall har ”mikro”-sprickor funnits som är mycket svåra att upptäcka vid en översiktlig besiktning.
- Tvärgående sprickor: Ofta regelbundet återkommande som sedermera ofta sträcker sig över hela vägens bredd. Orsaken är oftast den krympning som sker i asfaltkonstruktionen under kalla perioder. Om stabilisering med cement använts längre ner i konstruktionen eller i undergrunden kan detta leda till den här typen av sprickuppkomst eftersom den här typen av material inte har samma mått av flexibilitet.
- Tjälprickor: Uppstår vid ojämna tjällyftningar i väggroppen och/eller i undergrunden. Uppträder oftast som längsgående sprickor i eller i närheten av vägmitt eller i väggkant. Vanligen är den här typen av sprickor både breda och djupa.
- Fogsprickor: Följer den längsgående skarven mellan två läggingsdrag.
- Kantsprickor: Förekommer sällan på de vägar som behandlas i rapporten. Smala vägar där den tunga trafiken passerar närmare än 0,5 m från väggkanten med dåligt sidostöd, dålig dränering eller uppkomna tjälskador är i riskzonen.

7.1.5. Ojämnheter

I punktform presenteras nedan de typer av ojämnheter som kan uppstå under brukarskedet.

- Sättningar: Uppstår oftast när besvärliga undergrundförhållanden förelegat. Dessutom kan förändring av grundvattennivån eller bristande kvalitet vid byggandet utgöra orsaken till förekomsten. Tvärgående lokala sättningar kan uppstå när trummor för avvattning eller olika typer av passager förekommer.
- Ojämna tjällyftningar: Förekommer sällan på de vägar som behandlas i rapporten. Skulle dock den här typen ojämnheter uppstå krävs det att en rejäl rehabiliteringsplan upprättas.

- Uppfrysande block: Förekommer sällan på de vägar som behandlas i rapporten. Problemen är lokalt begränsade. Orsaken kan även vara att oönskat material såsom ”lerklumpar” byggts in under utförandeskedet.

7.1.6. Ytliga skador, övrigt

Avslutningsvis presenteras i punktform de typer av ytliga skador som inte behandlats ingående under föregående rubriker.

- Separation: Tydliga variationer i ytans textur. Kan upptäckas redan i utläggningsfasen. I vissa fall framträder dock inte de separerade ytorna förrän efter en eller två års vintersäsonger med trafik av dubbdäcksförsedda fordon.
- Blödande beläggning: Mycket slät yta (låg textur) orsakad av felaktigt utförande eller felaktig sammansättning och/eller homogenisering av asfaltmassan.
- Stensläpp: Utglesning av stenmaterial när vidhäftningsproblem mellan stenmaterial och bitumen föreligger. Ofta är orsaken separation med anhopningar av grov sten som är extra utsatt för att släppa från beläggningen.
- Potthål (slaghål): Uppträder både enskilt eller i stor omfattning. Den enskilda storleken överstiger 100 mm i diameter.
- Åldrad beläggningssyta: Förekommer sällan på de vägar som behandlas i rapporten. Skadan/problemet uppkommer först efter 15–20 år och då främst på lågtrafikerade ytor. Skulle dock den här typen av defekt uppstå bör en försegling utföras i god tid.

7.2. Skador och möjliga sätt att detektera dem

I kapitel 7.1.1 till 7.1.6 presenteras en rad olika skador som kan uppstå, dels i samband med förberedelser och läggning men även i bruksskedet. Här sammanfattas de tillsammans med möjliga sätt att detektera dem.

Defekt/skada	Nybyggnads-skede	Bruks-skede	Möjligt sätt att detektera	Kräver ny teknik
Sprickor (delas upp i flera olika typer, i hjulspår, krackelering, tvärgående, tjälsprickor, fogsprickor) kantsprickor	Nej	Ja	Dagens teknik klarar inte att identifiera sprickor. I och för sig medför sprickbildning i vägen en ojämna vägyta men en ojämn vägyta kan också ha andra orsaker.	Ja, mått finns beskrivet (Trafikverket, 2015-B) men inte kravgränser. Teknik med linjelaser och bildbehandling används i andra delar av världen och planer finns på att använda den tekniken i Sverige.
Sättningar	Nej	Ja	Kan detekteras med hög noggrannhet från mätning av vägens längsprofil om sättningen är kortare än 100 m.	Nej, metodbeskrivning saknas och kravnivåer likaså.
Ojäma tjällyft	Nej	Ja	Uppträder som en lokal företeelse och kan därför upptäckas med måttet lokal ojämnhet.	Nej, metod finns beskriven i TDOK (Trafikverket, 2015-B) och förslag till kravvärden finns i VTI-rapport (Lundberg, et al., 2015).
Uppfrysande block	Nej	Ja	Se ovan.	Se ovan.

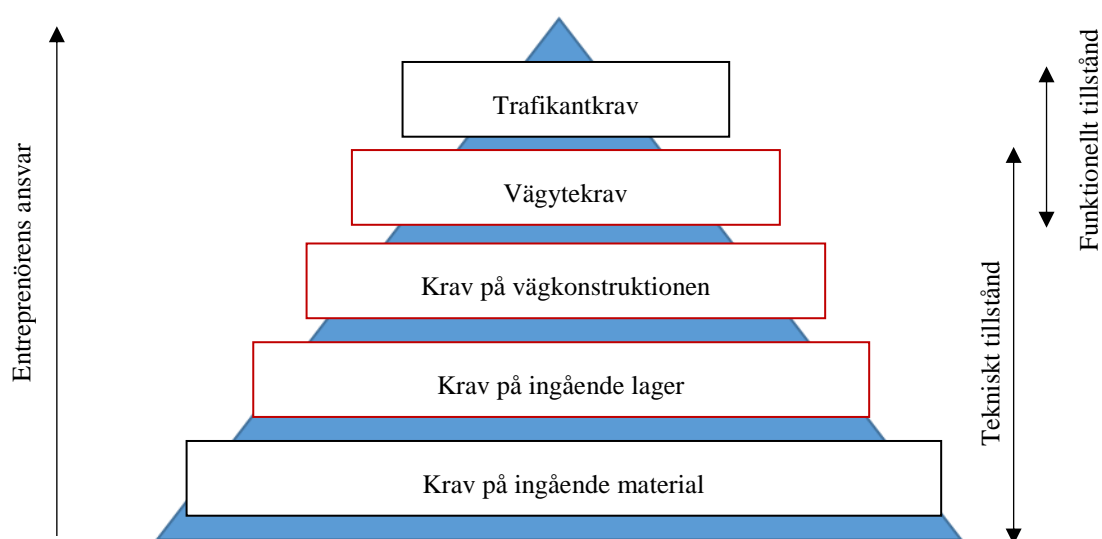
Defekt/skada	Nybyggnads-skede	Bruks-skede	Möjligt sätt att detektera	Kräver ny teknik
Separation	Ja	Ja	MPD beskriver de egenskaper som karaktäriserar separerade ytor.	Nej, för nybyggnads-kontroll finns teknisk beskrivning (Trafikverket, 2017-A). Under bruksskedet finns föreslagna metoder och gränsvärden i VTI rapport (Lundberg, et al., 2015). Ny teknik med linjelaser finns också som ska göra det möjligt att på ett säkrare sätt hitta denna skadetyper.
Blödande beläggning	Nej	Ja	Möjligheter finns att använda MPD eftersom en blödning uppträder som en separerad yta med överskott av bindemedel.	Nej, underhålls-standarden (Trafikverket, 2012-A) har gränsvärden baserat på skyltad hastighet och trafikmängd.
Stensläpp	Nej	Ja	Möjligheter finns med MPD eftersom stensläpp ger en grövre yta. Skadan uppträder där ytan är separerad med underskott av bindemedel eller vid undermålig packning.	Ja och nej, metod och krav finns beskrivna i en VTI rapport (Lundberg, et al., 2015). Den har inte testats fullt ut. Ny teknik med linjelaser finns också som ska göra det möjligt att på ett säkrare sätt hitta denna skadetyper.
Potthål	Nej	Ja	Möjligheter finns med megatextur och lokal ojämnhet. Skadorna kan endast detekteras i de linjer där mätstorheterna samlas in.	Se ovan.
Åldrad beläggningssyta	Nej	Ja	Möjligheter finns med MPD eftersom en åldrad yta oftast ger en grövre yta men den är svår att urskilja som åldrad. Denna skadetyper uppträder oftast i kombination med en rad av ovanstående skadetyper.	Se ovan.

8. Genomgång av krav

8.1. Förutsättningar vid kravställning

Kravställningen i totalentreprenader ska vara sådan att utföraren (entreprenören) har möjlighet att välja material och dimensionera konstruktionen så att vägens funktion uppfylls under hela garantitiden. I första hand är det funktionen för trafikanten som ska bedömas eftersom det är denne som använder vägen. Då garantitiden löper ut ska beställaren (väghållaren) även kunna bedöma vägens tekniska tillstånd och därmed uppskatta resterande värde (restvärde). I VTI rapport 560 (Nilsson, et al., 2006) redovisas vägens tillstånd som en funktion av årskostnad för både trafikanten och väghållaren. För väghållaren blir årskostnaden låg då det funktionella tillståndet är lågt, d.v.s. låga kostnader för underhåll och förbättringar av vägen. För trafikanten är dock sambandet det omvända, ju sämre tillstånd desto större årskostnad. Detta på grund av att bränsleförbrukning, däckslitage, fordons slitage m.m. ökar ju sämre vägen är. Sammanvägs dessa två nås den lägsta totala årskostnaden vid ett ”halvbra” tillstånd, d.v.s. vägens funktionella tillstånd är godtagbart för trafikanten samtidigt som väghållaren lägger lagom mycket pengar på underhåll. Detta kan ses som det samhällsekonomiskt bästa läget.

Kravställningen ska fungera i ett juridiskt, ekonomiskt och tekniskt perspektiv. I VTI rapport 740 (Karlsson & Wennström, 2012) visas en så kallad kravpyramid, se Figur 3, där kraven längst ner i pyramiden ställs på ingående *material*. Nästkommande nivåer är i tur och ordning krav på ingående *lager*, krav på *vägkonstruktionen* samt krav på *vägytan*. Längst upp i pyramiden finns *trafikantkraven*. Ju högre upp i pyramiden man kommer desto mer ansvar har entreprenören. Funktionskraven i totalentreprenader har fram till idag omfattat mitten av kravpyramiden, d.v.s. den understa och översta nivån används inte. På de kravnivåer som används är kraven mätbara och både väghållare och entreprenör kan bedöma de ekonomiska förutsättningarna. Detta brukar normalt innebära att de även är hållbara i ett juridiskt perspektiv, dock med förbehållet att mätmetoderna ska vara väl specificerade och objektiva. I VTI rapport 740 (Karlsson & Wennström, 2012) nämns också att väghållaren ska kunna verifiera de krav som ställs och entreprenören ska kunna uppfylla kraven till en rimlig risknivå. Återigen ställer detta krav på att mätmetoderna som används ska vara objektiva samt att sätta kravnivåer ska vara rimliga.



Figur 3 Kravpyramid (källa VTI Rapport 740 (Karlsson & Wennström, 2012)).

I VTI rapport 560 (Nilsson, et al., 2006) används begreppen *tekniskt tillstånd* respektive *funktionellt tillstånd*. De tekniska tillstånden omfattar kraven på vägytan samt nivåerna därunder i kravpyramiden.

De funktionella tillstånden är de krav som kan mätas på vägytan och hos trafikanten, d.v.s. de två översta nivåerna i kravpyramiden. Funktionellt tillstånd beskrivs alltså med de tillståndsvariabler som främst påverkar trafikanten medan det tekniska tillståndet beskrivs utifrån tillståndsvariabler som främst påverkar vägnätets beständighet. Generellt leder dåligt tekniskt tillstånd på sikt till dåligt funktionellt tillstånd. Vissa tillståndsvariabler befinner sig i gråzonen mellan att beskriva ett tekniskt eller funktionellt tillstånd. Både spårdjup och sprickbildning är exempel på detta då de behöver förekomma i relativt stor omfattning för att trafikanten ska uppleva att funktionen försämrats. Å andra sidan indikerar de vid mindre omfattning att vägkonstruktionen kan vara för svag, d.v.s. det tekniska tillståndet är mindre bra.

Tillståndsvariabler på olika nivå i kravpyramiden kan i slutändan beskriva samma brist. Ett exempel är funktionskraven på väg 610 i Hallands län vilka har utvärderats i VTI rapport 740 (Karlsson & Wennström, 2012). I detta fall fanns krav på både tekniskt tillstånd på vägkonstruktionen (bärighet) samt på funktionellt tillstånd på vägytan (spårdjup, ojämnheter i längsled och sprickbildning). På vissa delsträckor på detta objekt var det problem med vatten i konstruktionen vilket försämrade konstruktionens bärighet, något som också visade sig som ett lägre bärighetsindex. Samma sträckor visade också en snabbare utvecklingstakt av spårbildning och ojämnheter i längsled. Den sämre bärigheten ledde även till mer allvarlig sprickbildning. Nedbrytningen av en vägkonstruktion är komplex och det är oftast olika faktorer som samverkar och ger upphov till tekniska och funktionella brister. Detta innebär, precis som i exemplet ovan, att en försämrad egenskap eller brist kan leda till att flertalet olika funktioner påverkas. Det omvända kan också förekomma, d.v.s. att en försämrad funktion kan ha orsakats av flertalet olika brister. Vid utvärdering av en totalentreprenad ska detta tas i beaktande. Kravställningen som används ska fånga upp samtliga tänkbara brister men utan att vara redundant.

Brister i en vägkonstruktion kan uppkomma dels vid utförandet och dels under tiden som vägen används. I totalentreprenaden på väg 610 (Karlsson & Wennström, 2012) ställdes olika krav i olika skeden under garantitiden. Kraven vid slutbesiktning var utformade för att upptäcka brister i entreprenörens utförande medan kraven vid garantibesiktning var utformade för att upptäcka brister som uppkommit på grund av trafikbelastning och klimatpåverkan. Kraven på väg 610 vid slutbesiktning kan därmed sorteras in längre ner i kravpyramiden, d.v.s. de var utformade för att beskriva det tekniska tillståndet på vägkonstruktionen och ingående lager. Vid denna tidpunkt fanns dock även krav som skulle fånga upp bristande funktion, exempelvis friktion och ojämnheter i längsled, vilka kan sorteras in längre upp i kravpyramiden. Vid garantibesiktningen var kravställningen något annorlunda. Nu var fokus på att fånga upp brister som uppkommit under de åren som vägen använts. Exempel på detta är spårbildning, ojämnheter i längsled, sprickbildning och stensläpp. Dessa krav beskriver det funktionella tillståndet och kan i kravpyramiden sorteras in under vägytekrav.

Sammanfattningsvis bör kravställningen i totalentreprenader med funktionskrav utformas med följande i åtanke:

- De mätmetoder som används ska vara *objektiva, tillförlitliga* och *stabila* över tid. Det är också en fördel om de är *kostnadseffektiva*, d.v.s. de går relativt snabbt att genomföra med så lite störningar för trafikanterna som möjligt, samt att de kan utföras på ett *trafiksäkert* sätt.
- De tillståndsvariabler (mätstorheter) som används för att beskriva tillståndet ska fånga upp de egenskaper som påverkar vägens funktion och därmed trafikanterna. Det är också en fördel för väghållaren om de kan beskriva det tekniska tillståndet vid garantitidens slut.
- De tillståndsvariabler som används ska ge entreprenören möjlighet att själv välja en teknisk lösning så att funktionen uppfylls. Detta ger förutsättningar för teknikutveckling och på sikt mer kostnadseffektiva vägkonstruktioner.
- De kravnivåer som används ska gå att uppfylla med en rimlig risk för entreprenören. Vidare ska kravnivåerna vara satta så att restvärdet för väghållaren är i rimlig proportion till garantitidens längd.

8.2. Dagens kravställning

8.2.1. Kravens uppbyggnad

I mallen för den tekniska beskrivningen (internt Trafikverksdokument, 2017-09-01) anges att de ingående delarna i ett vägprojekt ska delas in i grupper baserat på bland annat vägtyp och användning. I den första gruppen, grupp 1, kravställs allmänna statliga vägar, i grupp 2 kravställs kommunala vägar samt allmänna gång- och cykelvägar, i grupp 3 enskilda vägar och slutligen i grupp 4 skogsbilvägar och liknande. Varje grupp har sin specifika uppsättning av standardkrav som blir färre och enklare ju längre ner i gruppordningen man kommer. *I denna rapport fokuseras endast på de krav som specificeras för delobjekt i grupp 1.* I grupp 2 och neråt ställs i huvudsak krav på tekniska lösningar.

Kravställningen är efter gruppindelningen uppdelad i krav på respektive del i konstruktionen enligt följande:

DB1. Överbyggnad

DB11. Ytlager i trafikeringsområde

DB11b Vägbanan

... osv.

DB12. Lager under trafikeringsområde

DB12b Bundet lager

... osv.

För varje krav finns dels en *funktion* specificerad, d.v.s. vilken kravnivå som gäller, och dels en *kontroll*, d.v.s. vilken metod som ska användas för att mäta funktionen. Konstruktionsdelar inom respektive kategori kravställs på olika sätt och med olika metoder. *I denna rapport fokuseras endast på de krav som specificeras i kategorierna DB1. Överbyggnad samt DB11b. Vägbanan/Bundet slitlager.* Detta eftersom det är dessa krav som är, eller kan bli, aktuella att mäta med mätbil.

8.2.2. Tillståndsvariabler, mätmetoder och kravnivåer

I gällande mall för teknisk beskrivning finns kraven i Tabell 2 specificerade för vägar i grupp 1 i kategorierna DB1. Överbyggnad och DB11b. Vägbanan/Bundet slitlager, Tabell 3:

Tabell 2 Krav för överbyggnad, DB1.

	Funktion	Kontroll	Kravnivå
Maximalt tjällyft	Maximalt tillåtet tjällyft	Avgörs av konsult/beställare	Maximalt tillåtet tjällyft (mm) anpassas för varje objekt.
Livslängd	Dimensionerande teknisk livslängd för resp. lager i konstruktionen	-	Mellan 20 och 80 år beroende på lager i konstruktionen
Bärlighet	Utformad och utförd till full bärlighet (BK1)	Mätning med fallviktsapparat enl. TRVMB 112 (Trafikverket, 2012-B) och utvärdering enligt TRVMB 114 (Trafikverket, 2012-C).	Inget krav specificerat
Tjällyftning, tjälsprickor	Ojämna tjällyft och tjälsprickor får inte förekomma	Ojämna tjällyft och tjälsprickor enl. TDOK 2013:0699 (Trafikverket, 2017-B). Ojämna tjällyft enligt kap. 4.2 (automatiserad metod, inventeringsklass 3). Tjälsprickor okulär inventering enligt klass 3	Får inte förekomma

Tabell 3 Krav för Vägbanan/Bundet slitlager, DB11b.

	Funktion	Kontroll	Kravnivå
Friktion	Friktionstal över specificerad nivå.	Mätning enl. metodbeskrivning för friktionsmätning TDOK 2014:0134 (Trafikverket, 2015-D)	Friktionstalet ska vara ≥ 0.50 . I sidled får friktionstalet inte skilja med mer än 0.25 vid något tillfälle.
Stensläpp och bruksförluster	Får inte förekomma	Mätning enl. Sand-patch metoden SS-EN 13036-1, (SIS, 2010)	Skillnaden mellan oskadat och skadat parti får högst vara 20 %
Pothål	Får inte förekomma	Ej specificerat	Får inte förekomma
Jämnhet i längsled	Jämnhetstal under specificerad nivå	Mätning enl. metodbeskrivning för mätning med mätbil TDOK 2014:0005 (Trafikverket, 2015-C) alt. metodbeskrivning för mätning med rätskiva TDOK 2014:0136 (Trafikverket, 2014)	Vid mätning med mätbil: För nybyggnadsprojekt vid slutbesiktning bestäms kravet utifrån hastighet och trafikmängd. I projekt med åtgärd på befintlig väg ska tillståndsutveckling beaktas. Vid garanti-besiktning bestäms kravet av beställare/konsult. Vid mätning med rätskiva: Krav specificerad i TB baserat på hastighet.

	Funktion	Kontroll	Kravnivå
Jämnhet i tvärled	Jämnhetstal under specificerad nivå	Mätning med mätbil (TDOK 2014:0005) alt. metodbeskrivning för mätning med rätskiva (TDOK 2014:0136)	Vid mätning med mätbil: Fasta krav baserat på Nybyggnad eller Underhåll/Bärighetsförbättring. Vid garantibesiktning bestäms kravet av beställare/konsult. Vid mätning med rätskiva: Samma krav som vid mätning i längsled.
Tvärfall	Maximal tvärfallsavvikelse	Mätning enl. metodbeskrivning för mätning med mätbil ((TDOK 2014:0005) alt. metodbeskrivning för mätning med rätskiva (TDOK 2014:0136)	Tvärfallsavvikelsen (skillnaden mellan uppmätt och projekterat tvärfall) ska ligga inom gränser som beror på hastighet och trafikmängd. Kontrolleras endast vid slutbesiktning.
Sprickor	Ej större än specificerat sprickindex	Enligt VTI meddelande 916:2001 (Wågberg, 2001) samt handboken "Bära eller Brista" (okulär inventering) (Wågberg, 2003)	Sprickindex får inte vara större än 5
Lokala ojämnheter	Jämnhetstal under specificerad nivå	3 m lång rätskiva. Metod ej specificerad.	6 mm
Broskarv (± 6 m från broskarv)	Jämnhetstal under specificerad nivå	5 m lång rätskiva, läggs i vägens längdriktning	6 mm och 10 mm

8.3. Analys av dagens kravställning

I nedanstående kapitel analyseras dagens kravställning med utgångspunkt från slutsatserna i kapitel 6, 7 och 8.1. Syftet med analysen är att värdera hur väl kraven beskriver vägens funktionella och tekniska tillstånd, ifall mätmetoderna är tillräckligt bra samt ifall kravnivåerna är rimliga och väl underbyggda. Analysen delas in i *tillståndsvariabler*, *mätmetoder* och *kravnivåer* där svagheter och styrkor bedöms för respektive område.

8.3.1. Tillståndsvariabler

Utvärdering av tillståndsvariabler för bedömning av funktionellt tillstånd.

I VTI rapport 560 (Nilsson, et al., 2006) redovisas hur en vägs material- och konstruktionsegenskaper inverkar på olika funktionella egenskaper. Tabellen återges nedan, dock har indelningen i olika våglängdsområde för jämnhet i längsled tagits bort.

Tabell 4 Bedömning av olika material- och konstruktionsegenskapers betydelse för vägytans funktionella egenskaper (+ viss betydelse, ++ stor betydelse, +++ störst betydelse) Källa: VTI rapport 560 (Nilsson, et al., 2006).

	Friktion	Rullmotstånd	Däckslitage	Buller	Vibrationer	Krängningar	Stötar	Ytavvattning	Synbarhet	Vattendjup	Is på vägen	Snö på vägen
Mikrotextur	+++	+	++	+								
Makrotextur	+++	++	++	+++				++	++		+	
Megatextur	+	++	+	++	++	+	+	+		++		
Kantdeformation/häng						++						
Spårdjup			+			+		++		++	++	++
Spårform			+			+		++		++	++	++
Längsgående ojämnheter		+		+	++	++				+	+	+
Tvärfallsförändringar		+	+			+++						
Lokala ojämnheter			+				+++					
Backighet			+++					++		+		
Kurvatur		+	+++			+						
Tvärfall		+	+			(+)		+++		+++	+	
Genomsläpplighet				+++				++	++	++	+	
Styvhet		+	+	+								
Beläggningsfärg									+			

Nedan följer ett par kommentarer till Tabell 4.

Friktion: **Mikro-** och **makrotextur** har betydelse för vägens friktion. I dagens kravställning ska friktionen mätas med speciell utrustning där ett mätjul har kontakt med vägytan (skiddometerprincipen). Det kan ändå finnas vinning med att beskriva makrotexturnivån för bedömning av friktionen då den ger en bra förklaring till högfartsfriktion medan skiddometerprincipen främst anses beskriva lågfartsfriktion.

Däckslitage: **Mikro-** och **makrotextur** bedöms ha stor betydelse för däckslitage. Störst betydelse anses **backighet** och **kurvatur** ha, men då dessa egenskaper i stort sett alltid är förutbestämda i ett projekt kan krav inte heller ställas på detta.

De funktionella egenskaperna som beskrivs ovan har i sin tur olika effekt på fordonskostnader, miljökostnader och trafikanten. I VTI rapport 560 (Nilsson, et al., 2006) redovisas de funktionella egenskapernas effekt på samma sätt som i Tabell 4 ovan, detta återges i tabellen nedan. Bedömningen kan ses som en viktning av de funktionella egenskaperna. Exempelvis har synbarhet inte någon betydelse för varken fordonskostnader eller miljöeffekter/kostnader samt endast viss betydelse för restid, trafiksäkerhet och komfort. Denna funktionella egenskap kan därmed anses vara mindre viktigt att mäta i en totalentreprenad. Exempel på det motsatta är vibrationer som har störst betydelse för komfort, stor betydelse för restid och viss betydelse för fordonskostnader (reparationer), trafiksäkerhet och externt buller. Denna funktionella egenskap kan därmed anses vara viktig att mäta i en totalentreprenad.

Tabell 5 Bedömning av vägytans funktionella egenskapers betydelse för olika trafikeffekter (+ viss betydelse, ++ stor betydelse, +++ störst betydelse). Källa: VTI rapport 560 (Nilsson, et al., 2006).

	Fordonskostnader			Miljöeffekter/kostnader						
	Bränsle- förbrukning	Däckslitage	Reparationer	Restid	Trafiksäkerhet	Komfort	Avgaser	Saltförbrukning	Partiklar	Extern buller
Friktion				+	+++	++				
Rullmotstånd	+++	+					+++		+	
Däckslitage		+++							+	
Buller				+	+	++				+++
Vibrationer			+	++	+	+++				+
Krängningar			+	+	++	++				
Stötar			++		++	+				
Ytavvattning	+			+	+			+		
Synbarhet				+	+	+				
Vattendjup	+			++	++	+				
Is på vägen				+	++	+		+		
Snö på vägen	+			+	++	+		+		

Utifrån ovanstående viktning av de funktionella egenskaperna är följande material- och konstruktionsegenskaper, utöver de som redan mäts, av betydelse för det funktionella tillståndet:

- Makrotextur med avseende på rullmotstånd, däckslitage, buller och ytavvattning.
- Megatextur med avseende på rullmotstånd, buller, vibrationer och vattendjup.
- Tvärfall/tvärfallsförändring med avseende på krängningar, ytavvattning och vattendjup. Observera att tvärfall redan ingår som en funktionsparameter, dock endast vid slutbesiktningen.

Utvärdering av tillståndsvariabler för bedömning av tekniskt tillstånd.

Till skillnad från det funktionella tillståndet, där vägens material- och konstruktionsegenskaper påverkar olika funktionella egenskaper som i sin tur ger olika trafikeffekter, syftar utvärderingen av det tekniska tillståndet till att mäta och bedöma vägkonstruktionens motståndskraft mot klimat och trafik. Som tidigare nämnts innefattar det tekniska tillståndet vägytan, vägkonstruktionens, de ingående lagrens samt de ingående materialens standard. Utvärderingen av det tekniska tillståndet syftar först och främst till att ge vägghållaren en bild av vägens styrka och återstående tid till underhåll samt vara ett styrmedel för vägghållaren så att vägens kvarstående livslängd efter garantitidens slut är på en normal nivå.

Mätning av det tekniska tillståndet kan göras med en rad olika mått och mätmetoder. Samtliga av de mått som idag används för att utvärdera totalentreprenader beskriver på något sätt det tekniska tillståndet. De flesta av dem är framtagna för att bedöma vägytan och få av dem för att bedöma vägens konstruktion, ingående lager och ingående material. Dock är ett av syftena med totalentreprenader att främja innovation och låta utföraren själv välja kvalitet på material, dimensionera de ingående lagren o.s.v. Därmed bör kraven i totalentreprenader i första hand utformas så att vägytans standard och vägkonstruktionens styrka bedöms. Detta ger också indirekt svar på huruvida de ingående lagren och materialen är tillräckligt bra.

I Trafikverkets dokument Underhållsstandard belagd väg (Trafikverket, 2012-A) redovisas vilka mätstorheter och vilka gränsvärden som gäller för när en underhållsåtgärd bör utföras. De mätstorheter som beskrivs är:

- jämnhet i längsled (IRI)
- jämnhet i tvärlid (spårdjup)
- kantdjup
- textur.

Samtliga dessa mätstorheter beskriver vägytans standard, dock kan alla förutom texturen användas för att indikera standarden för vägens konstruktion. Ett stort spårdjup kan exempelvis orsakas av slitage (vägytan) och/eller av dålig bärighet (vägens konstruktion). Av de fyra mätstorheterna i underhållsstandardens är det bara jämnhet i längsled och tvärlid som idag utvärderas i totalentreprenader medan man också använder kantdjup vid arbetet med underhållsplanering. Å andra sidan utvärderas betydligt fler parametrar i totalentreprenader än vad som används för att bedöma när en underhållsåtgärd är nödvändig. Sprickor och tjällyft är exempel på sådana mätstorheter.

Att endast använda tre av de fyra mätstorheter som anges i Underhållsstandard belagd väg är inte tillräckligt för att avgöra underhållsbehovet. Det bekräftas av det faktiska utfallet av orsaker till åtgärder. Endast ca 50 % av åtgärderna genomfördes på grund av att en eller flera av de tre mätstorheter i Underhållsstandard belagd väg var över gränsvärdena (Lindström, 2017). Resterande 50 % av åtgärderna genomfördes på grund av andra brister. Dessa brister utgörs, enligt samma studie, av framförallt ytskador (stensläpp, potthål, åldrad beläggning), tjälrelaterade skador samt låg bärighet.

Utifrån ovanstående analys kan konstateras att följande mätstorheter, utöver de som redan mäts, är av betydelse för att kunna bedöma det tekniska tillståndet:

- kantdjup med avseende på kravet i Underhållsstandard belagd väg
- textur med avseende på kravet i Underhållsstandard belagd väg
- bärighet, kravnivåer saknas.

8.3.2. Mätmetoder

I Tabell 6 värderas mätmetoden för respektive tillståndsvariabel i en skala från 1–3 där 1 anger att metoden till låg grad uppfyller fyra valda kriterier och 3 anger att metoden till hög grad gör det¹. De fyra kriterierna definieras enligt följande:

Noggrannhet: Mätmetodens förmåga att mäta nära ”det sanna värdet”. I detta ingår även att metoden ska ha god precision.

Objektivitet: Huruvida mätmetoden är objektiv, d.v.s. ifall personen som utför mätningen inverkar på mätvärdena i liten eller stor utsträckning.

Kostnadseffektivitet: I detta sammanhang en sammanvägning av tidsåtgången för mätningen och hur stor andel av vägytan som bedöms med metoden. En långsam metod där endast delar av vägytan kontrolleras (stickprov) bedöms alltså ha låg kostnadseffektivitet. Det omvända innebär att metoden är snabb och kontinuerlig. Tid för bearbetning och beräkning tas också hänsyn till.

Trafiksäkerhet: Här bedöms ifall mätmetoden kräver oskyddad personal på vägen och/eller om denna färdas långsamt längs sträckan. Det ska dock poängteras att godkända TA-planer krävs för sådana mätningar vilket ska säkerställa att arbetet sker på ett trafiksäkert sätt.

Tabell 6 Värdering av tillståndsvariabel i fyra olika kriterier, 3 uppfyller i hög grad, DBI.

Överbyggnad.

	Noggrannhet	Objektivitet	Kostnads- effektivitet	Trafiksäkerhet
Maximalt tjällyft ²³	-	-	-	-
Livslängd ³⁷⁾	-	-	-	-
Bärighet	3	3	2	2
Tjällyft	3 ⁴	3	3	3
Tjälspäckor	1	1	1	1

¹ Notera att värderingen endast omfattar själva mätmetoden och inte huruvida resultatet/mätvärdena ifrån denna är lämpliga att använda för utvärdering av tillståndsvariabeln.

² Inga krav finns specificerad

³ Utförs genom beräkningar/modeller.

⁴ Metoden är inte använd i någon större utsträckning. Det är osäkert huruvida synkroniseringen av längdmätning mellan IRI på vinter och IRI på sommar inverkar på resultatet. Metoden för att mäta IRI har dock hög noggrannhet.

Tabell 7 Värdering av tillståndsvariabel i fyra olika kriterier, 3 uppfyller i hög grad, DB11b. Vägbanan/Bundet slitlager.

	Noggrannhet	Objektivitet	Kostnads- effektivitet	Trafiksäkerhet
Friktion	3	3	3	3
Stensläpp/bruksförluster	1	1	1	1
Potthål ⁵	-	-	-	-
Jämnhet i längsled (Mätbil/Rätskiva)	3/2	3/2	3/1	3/1
Jämnhet i tvärlid (Mätbil/Rätskiva)	3/2	3/2	3/1	3/1
Tvärfall (Mätbil/Rätskiva)	3 ⁶ /2	3/2	3/1	3/1
Sprickor	1	1	1	1
Lokala ojämnheter ⁷	2	2	1	1

Sammanfattningsvis kan konstateras att mätningar som görs med mätsystem som är monterade på ett fordon, där mätning sker snabbt och trafiksäkert med hög noggrannhet, uppfyller kriterierna bäst. Dessa metoder är också de mest objektiva. Mätningar som görs med rätskiva är relativt långsamma, täcker inte hela ytan och har inte samma noggrannhet som ovan nämnda metoder. Å andra sidan är de objektiva. Slutligen är de subjektiva metoderna, som okulär besiktning, de som sämst uppfyller kriterierna. Förvisso är besiktningen standardiserad, vilket ska minska inslaget av subjektivitet, men det får ändå anses att resultatet i hög grad påverkas av personen som utför mätningen. Framförallt då resultatet ska användas för att utvärdera en kravnivå.

I VTI rapport 740 (Karlsson & Wennström, 2012) anges i slutsatserna att objektivitet och precision är viktiga förutsättningar för mätningar som ligger till grund för ekonomisk reglering. I rapporten nämns att om det finns osäkerhet i mätvärdena leder detta till risker och att detta i sin tur leder till högre kostnader för både beställare och entreprenör.

8.3.3. Kravnivåer

I Tabell 8 nedan redovisas respektive tillståndsvariabel med avseende på hur kravnivån sätts, ifall kravet gäller både vid slutbesiktning och/eller garantibesiktning samt ifall nivån på kravet förändras under garantitiden. Respektive redovisat svar innebär följande:

TB Mall: Anger att kravnivå är specificerad i mallen för den tekniska beskrivningen, d.v.s. nivån är densamma oavsett projekt.

⁵ Mätmetod inte specificerad.

⁶ För att beräkna tvärfallsavvikelse krävs en väl synkroniserad längdmätning mellan uppmätt och projekterat tvärfall. En ej synkroniserad längdmätning påverkar resultatet negativt. Metoden för att mäta tvärfall har dock hög noggrannhet.

⁷ Mätmetod inte specificerad, omfattningen är inte specificerad.

Vägledande dokument: Anger att kravnivå ska väljas utifrån ett vägledande dokument, exempelvis bitumenbundna lager (Trafikverket, 2015-E).

Beställare/Konsult: Anger att kravnivån väljs av projekterande konsult (eventuellt i samråd med beställaren) utan vägledning av rådgivande dokument.

Slutbesiktning: Anger att kravet gäller vid slutbesiktningen, d.v.s. direkt efter färdigställandet.

Garantibesiktning: Anger att kravet gäller vid garantibesiktning, d.v.s. vid garantitidens slut.

Olika krav vid slutbesiktning och garantibesiktning: Anger att nivå på kravet förändras under garantitiden.

Tabell 8 Kravställning för olika tidpunkter, DB1. Överbyggnad.

	Kravnivå	Tidpunkt	Olika krav vid slutbesiktning och garantibesiktning
Maximalt tjällyft	Vägledande dokument	Slutbesiktning	Nej
		Garantibesiktning	
Livslängd	TB Mall	Slutbesiktning	Nej
		Garantibesiktning	
Bärighet ⁸	-	Slutbesiktning	-
		Garantibesiktning	
Tjällyft	TB Mall	Slutbesiktning	Nej
		Garantibesiktning	
Tjälspäckor	TB Mall	Slutbesiktning	Nej
		Garantibesiktning	

⁸ Ingen kravnivå finns angiven

Tabell 9 Kravställning för olika tidpunkter, DB11b. Vägbanas/Bundet slitlager.

	Kravnivå	Tidpunkt	Olika krav vid slutbesiktning och garantibesiktning
Friktion	TB Mall	Slutbesiktning Garantibesiktning	Nej
Stensläpp /bruksförluster	TB Mall	Slutbesiktning Garantibesiktning	Nej
Potthål	TB Mall	Slutbesiktning Garantibesiktning	Nej
Jämnhet i längsled (Mätbil/Rätskiva)	Vägledande dokument Beställare/konsult	Slutbesiktning Garantibesiktning	Ja
Jämnhet i tvärled (Mätbil/Rätskiva)	Vägledande dokument Beställare/konsult	Slutbesiktning Garantibesiktning	Ja
Tvärfall (Mätbil/Rätskiva)	Vägledande dokument	Slutbesiktning	-
Sprickor	TB Mall	Slutbesiktning Garantibesiktning	Nej
Lokala ojämnheter	TB Mall	Slutbesiktning Garantibesiktning	Nej

Utifrån ovanstående kan konstateras att nivån på många av kraven anges redan i mallen för den tekniska beskrivningen vilket innebär att kravet är detsamma oavsett typ av projekt, trafikbelastning och klimatförhållanden. Gemensamt för dessa tillståndsvariabler är att de kan sägas tillhöra kategorin ytskador. Denna skadetyper uppstår mestadels på grund av brister i utförandet och/eller dimensioneringen och får anses relativt oberoende av var i landet objektet är beläget och den trafik som belastar ytan. Dubbdäcksanvändning och ett klimat med många upprepade tö-cykler ökar dock risken för bruksförluster och potthål. Kravnivåerna för sprickor, både belastningsrelaterade och klimatrelaterade, är även de angivna redan i mallen för den tekniska beskrivningen. Risken för sprickbildning är i hög grad beroende av både trafikmängd och klimatförhållande, men Trafikverkets förhållningssätt är att sprickor inte ska förekomma om vägen ifråga är korrekt dimensionerad och byggd.

Samtliga tillståndsvariabler ska kontrolleras både vid slutbesiktningen och vid garantibesiktningen, med undantaget för tvärfallsavvikelse som endast ska kontrolleras vid slutbesiktningen. Vid slutbesiktningen kontrolleras i praktiken dock inte de tillståndsvariabler som med största sannolikhet inte förekommer på en ny vägbeläggning. I projektet som utvärderas i VTI rapport 740 (Karlsson & Wennström, 2012) var kravspecifikationen uppbyggd på så sätt att sådana variabler som uppenbarligen inte förekommer på en ny beläggning, exempelvis stensläpp och sprickor, inte heller kravställdes vid slutbesiktningen. Även jämnhet i tvärled var en sådan variabel som endast hade ett kravvärde vid garantibesiktningen. Om ”onödiga” kontroller minimeras minskar även kostnaden för kontrollerna samtidigt som ett väl definierat kontrollprogram ger kalkylerbara anbudspriser. Ett krav på en variabel redan vid slutbesiktningen kan dock eventuellt leda till att entreprenören lägger extra resurser på detta vilket ökar chansen för en ännu bättre slutprodukt.

Tillståndsvariablerna ojämnheter i längsled och ojämnheter i tvärlängd har olika kravnivåer vid slutbesiktning respektive garantibesiktning. För jämnheter i längsled finns, vid slutbesiktningen, tabeller i bitumenbundna lager som anger kravnivåer för nybyggda vägar. Kravnivån är här anpassad efter referenshastigheten på vägen. För jämnheter i tvärlängd finns i samma dokument kravnivåer vid slutbesiktning för både nybyggnadsprojekt och underhålls/förstärkningsprojekt. Det som saknas i dokumentet är därmed kravnivå för jämnheter i längsled vid underhålls/förstärkningsprojekt samt kravnivåer för både jämnheter i längsled och tvärlängd vid garantibesiktningen. Här är det upp till den projekterande konsulten, eventuellt i samråd med beställaren, att sätta rimliga krav med trafikmängd och klimatförhållande i åtanke. För att sätta en rimlig kravnivå på jämnheter i längsled vid underhålls/förstärkningsprojekt krävs dessutom kännedom om vägens befintliga jämnheter och vilken jämnheter som kan åstadkommas med åtgärden som beställaren har tänkt sig. I gällande mall för teknisk beskrivning anges för både jämnheter i längsled och tvärlängd att;

Vid kravställning för åtgärder på befintlig väg beakta tillståndsutveckling enligt PMSV3 och annan uppföljning.

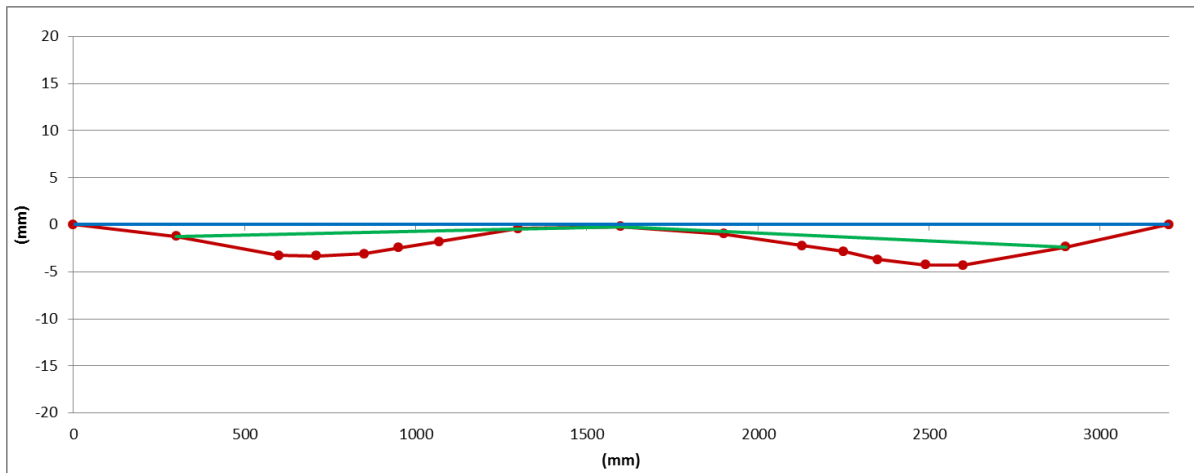
Innan dessa kravnivåer väljs ska alltså tillståndsutvecklingen för befintlig väg analyseras. Detta kan vara relativt svårt eftersom man även ska bedöma hur den tänkta åtgärden påverkar utvecklingen.

Att sätta rätt kravnivå kan tyckas vara en enkel sak, men det kan faktiskt styra både vägens livslängd och kostnad för beställaren. Kravnivån inverkar eller påverkar följande:

- *Vägens restvärde vid garantitidens slut.* Som nämndes i inledningen på kapitlet ska vägen ur en samhällsekonomisk synvinkel uppnå ett ”halvbra” tillstånd under garantitiden. En väg med hög funktionell standard är dyr att bygga och underhålla medan det motsatta innebär att vägen eventuellt måste underhållas redan vid garantitidens slut. Vid val av kravnivå är det med andra ord viktigt att denna väljs på så sätt att vägens tillstånd försämras ”normalt”. En alltför snäll kravnivå innebär att vägens restvärde är lågt vid garantitidens slut medan en alltför tuff kravnivå innebär att beställaren sannolikt betalat dyrt för åtgärden.
- *Entreprenörens risk i projektet.* Kravnivån måste väljas så att entreprenören tar en rimlig risk i projektet. Om en alltför tuff kravnivå väljs, och entreprenören därmed tar en hög risk, kommer beställaren att få betala dyrt för åtgärden. Om en alltför snäll kravnivå väljs tar entreprenören en liten risk och kan därmed välja sämre lösningar. Beställaren kommer då att få en väg med lågt restvärde vid garantitidens slut.
- *Kravnivå i förhållande till tänkt åtgärd.* I totalentreprenader är det upp till entreprenören att välja en teknisk lösning, men beställaren har redan i ett tidigt skede budgeterat med en förväntad typlösning utifrån vägens trafikmängd, befintliga tillstånd och skadeorsaker. Den kravnivå som då väljs måste vara anpassad till omfattningen av de tänkta åtgärderna. Om beställaren i detta läge väljer en alltför tuff kravnivå riskerar han att få betala dyrt för projektet eftersom entreprenören räknar med att behöva göra omfattande åtgärder för att kunna uppfylla kravnivån.

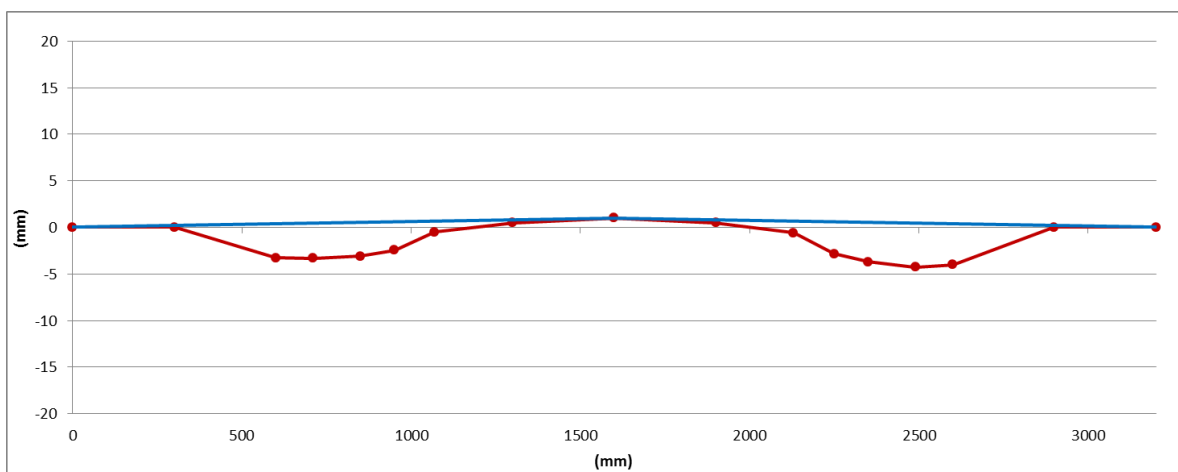
För tillståndsvariabeln jämnheter i tvärlängd ska, som nämndes tidigare, den projekterande konsulten bestämma kravnivå vid garantibesiktningen. Eftersom jämnheter i tvärlängd är en tillståndsvariabel som förändras relativt mycket på grund av slitage och deformationer från trafik så styr denna i stor grad när en underhållsåtgärd måste genomföras, framförallt på det högttrafikerade vägnätet. Den kravnivå som väljs kommer med andra ord att ha stor betydelse för vägens restvärde vid garantibesiktningen. I Bitumenbundna lager Tabell 10–8 (Trafikverket, 2015-E) anges vilken mätbredd som ska gälla vid mätning av denna storhet. Mätbredden beror på körfältets bredd, där den ordinarie mätbredden 3,20 meter ska användas då körfältsbredden är $\geq 3,50$ meter. Är körfältsbredden $< 3,50$ meter ska den smalare mätbredden 2,60 meter användas. Orsaken till att en smalare mätbredd används är att vägmarkeringen annars riskerar att inverka på mätvärdena (se kapitel 6.5.2). En smalare mätbredd innebär å andra sidan att hela körfältets tvärgående form inte kan mätas på bästa sätt. I Figur 4 visas en

tvärprofil där ojämnheter i tvärled bestäms med en mätbredd på 3,20 meter respektive 2,60 meter. Ojämnheter i tvärled uttrycks som spår djup och beräknas enligt den så kallade trådprincipen vilket innebär att en virtuell tråd med den längd (mätbredd) som ska användas spänns över tvärprofilen. Största avståndet från tråden till tvärprofilen utgör spår djupet. I figuren syns tydligt att spår djupet som beräknas för den smalare mätbredden är mindre, detta eftersom hela tvärprofilens form inte tas med i beräkningen.



Figur 4 Spår djup för mätbredd 3,20 meter (blå linje) respektive 2,60 meter (grön linje). Röd linje är inmätt tvärprofil.

I de fall som den smalare mätbredden ska användas måste således också kravnivån anpassas efter detta, något som dock inte görs idag. Väghållaren riskerar därmed att få en väg med lägre restvärde vid garantitidens slut då entreprenören i praktiken kan dimensionera och bygga en svagare konstruktion men ändå klara kravnivån. Skillnaden i spår djup mellan den ordinarie mätbredden och den smalare är inte konstant utan beror på tvärprofilens form. *Generellt* ger en smalare körfältsbredd mindre skillnad i spår djup, för de två olika mätbredderna, eftersom trafiken inte kan breda ut sig lika mycket i sidled. Därmed ökar chanserna att fånga hela ojämnheten i tvärprofilen. En spår bildning med smala spår, som exempelvis avnötning från dubbdäck, ger också en mindre skillnad i spår djup eftersom de största ojämnheter ryms inom den smalare mätbreddens område. I Figur 5 visas exempel på när spår djupet är detsamma oavsett mätbredd.



Figur 5 Tvärprofil där spår djupet är samma oavsett mätbredd. De ojämnheter som finns på tvärprofilen ryms även inom den smalare mätbredden.

8.3.4. Slutsats och rekommendationer

Mätstorheter

- Ett mått som beskriver beläggningsens makrotextur bör införas, lämpligen MPD eftersom detta mått är standardiserat (ISO 13473–1:1997) och används vid övrig vägytemätning. Vid slutbesiktningen, d.v.s. då beläggningsen är ny, kan beräkning och krav göras enligt Trafikverkets dokument TDOK 2016:0271 *Kontroll av nya beläggningsars makrotextur med mätbil* (Trafikverket, 2017-A). Detta dokument ställer krav på beläggningsens lägsta och högsta tillåtna MPD-värden samt utvärderar beläggningsytans homogenitet. Under garantitiden kan texturen kontrolleras mot kraven i Underhållsstandard belagd väg vilken ställer krav på minsta tillåtna värde. MPD är ett mått som mäts med mätbil varför ingen extra mätning behövs. Det saknas däremot en metod för att upptäcka och kvantifiera separerade ytor, t.ex. lassbytes-separationer,
- Ett mått som beskriver beläggningsens megatextur bör införas. I dagens kravställning finns krav på lokal ojämnheter vilket ska mätas med rätskiva. I Trafikverkets dokument TDOK 2014:0003 *Vägytemätning Mätstorheter* (Trafikverket, 2015-B) finns måttet megatextur definierat vilket beräknar avvikelser från en plan yta för våglängder mellan 50 millimeter och 500 millimeter redovisat som ett RMS-värde. I samma dokument finns även måttet Lokal ojämnheter vilket beräknar vertikala accelerationer i fordonets chassi och vars syfte är att fånga upp korta ojämnheter. Båda de sistnämnda mäts med mätbil varför ingen extra mätning är nödvändig. En analys och sammanvägning av de alternativa metoderna för att mäta megatextur bör göras så att det funktionella och tekniska tillståndet utvärderas på bästa sätt. Det går även att använda mätbilens längsprofil som indata till beräkning av digitalt rätskenevärde som motsvarar den traditionella metoden.

Mätmetoder

- Alternativ för de subjektiva mätningarna bör undersökas. Detta gäller i första hand sprickbildning och stensläpp/bruksförluster. De alternativa metoderna bör inriktas på att minska graden av subjektivitet samt förbättra effektiviteten så att vägen inte behöver stängas av vid kontrollen. Här pågår ett projekt inom BVFF⁹ som arbetar med objektiva mått för sprickor och ytskador (Hållbart underhåll - ytskador) som beräknas vara klart 2019.
- Dagens kontrollmetod för stensläpp/bruksförluster bör kunna ersättas med måttet MPD. I VTI rapport 719 *Svenska vägtillståndsmått då, nu, och imorgon - Del 3* (Lundberg, et al., 2015) beskrivs en metod som syftar till motsvarande utvärdering av oskadade/skadade partier. Metoden innebär att mätbil används varför ingen extra mätning är nödvändig.
- Mätmetoden för lokal ojämnheter bör kompletteras så att omfattningen och metodiken för mätningen framgår.

Kravnivåer

- Vägledning för kravnivåer vid garantibesiktning bör införas. Idag sätts kravnivån godtyckligt av beställare och/eller konsult vilket kan bidra till skillnader mellan projekt som har likvärdiga trafik- och klimatförutsättningar. Detta gäller för de variabler vars kravnivå är olika för slutbesiktning respektive garantibesiktning d.v.s. jämnheter i längsled och jämnheter i tvärlängd.

⁹ Bana Väg För Framtiden – Branschprogram med vision att skapa en ekonomiskt och miljömässigt hållbar väg- och banteknik genom att integrera avancerad forskning och utbildning med ett innovations- och policy-perspektiv.

Kravnivån för mätning med rätskiva bör också införas. I kapitel 8.4 ges förslag till hur en sådan vägledning bör utformas.

- Vägledning för kravnivå då befintliga vägar åtgärdas bör införas. Detta gäller både vid slutbesiktning och vid garantibesiktning eftersom vägens skick innan åtgärd inverkar på mätvärdena under hela denna period.
- Kravnivån för jämnhet i tvärled vid garantibesiktning bör sättas utifrån vilken mätbredd som används. Mätbredden bör vara fastställd i projektet redan från start, exempelvis genom att använda information från typsektioner. Alternativt kan två olika kravnivåer beroende på mätbredd specificeras.
- För fallviktsmätning bör det definieras vilket eller vilka mått som är lämpliga för bedömning av vägkonstruktionens bärighet. Kravnivån på dessa mått bör också utredas.
- Kravnivå på tvärfall i kombination med spår djup och eventuellt längsgående lutning bör införas vid garantibesiktningen i syfte att bedöma ytavvattning och vattendjup.
- Det är viktigt att göra en konsekvent bedömning av att entreprenadens krav ställs vid en relevant tidpunkt då det finns en möjlighet att defekten kan uppträda.

8.4. Riktlinjer för hur kraven bör sättas?

Med utgångspunkt från slutsatserna i föregående kapitel (8.3.4) bör kravställning i ett projekt beakta följande:

- Innebär projektet Nybyggnad eller Ombyggnad/Förstärkning/Underhåll (ej nybyggnad)? Detta inverkar både på kravnivån vid slutbesiktning och på kravnivån vid garantibesiktning. En befintlig väg kräver analyser av tillstånd innan åtgärd och förväntad utveckling med hänsyn till planerad åtgärd.
- Vad är en rimlig kravnivå med hänsyn till den samhällsekonomiska nyttan? Kraven ska varken vara för snälla eller för tuffa för att få en balans mellan tekniskt och funktionellt tillstånd.
- Vad är en rimlig nivå med hänsyn till ett förväntat restvärde vid garantitidens slut? Garantitiden är fastslagen i projektet och i förhållande till denna bör vägen ha en rimlig återstående tid till nästa åtgärd.
- Finns det klimat- och/eller trafikförhållande som kräver extra hänsynstagande? Detta kan exempelvis vara strängt vinterklimat, backe i söderläge eller trafikplatser med förväntad långsamtgående trafik.

Nedan föreslås riktlinjer för kravställning vid olika skeden i en entreprenad samt med hänsyn till om projektet innebär nybyggnad eller inte. Riktlinjerna gäller för de krav som inte är direkt specificerade i dagens mall, d.v.s. jämnhet i längsled och jämnhet i tvärled. Ifall andra variabler införs bör det undersökas om dessa också ska innefattas av dessa riktlinjer. I Figur 6 och Figur 7 sammanfattas riktlinjerna i en schematisk skiss.

Nybyggnadsprojekt / Slutbesiktning

Kravställning i dessa projekt bör utgå från standardiserade krav, lämpligen befintliga krav i Bitumenbundna lager (Trafikverket, 2015-E). Inga förändringar på grund av klimat- och/eller trafikpåverkan anses nödvändiga.

Nybyggnadsprojekt / Garantibesiktning

Kravställningen bör utgå från en standardiserad tabell som tar hänsyn till referenshastighet och årsdygnstrafik. Vid framtagande av en sådan tabell bör den befintliga tabellen i Underhållsstandard

belagd väg (Trafikverket, 2012-A) utgöra grund för kravnivåerna. På så sätt anpassas kravnivån efter restvärdet.

För varje projekt bör en bedömning göras om kraven behöver justeras med hänsyn till klimat- och/eller påverkan av tung trafik som antingen ökar eller minskar tillståndsutvecklingen från det normala.

Ej nybyggnadsprojekt / Slutbesiktning

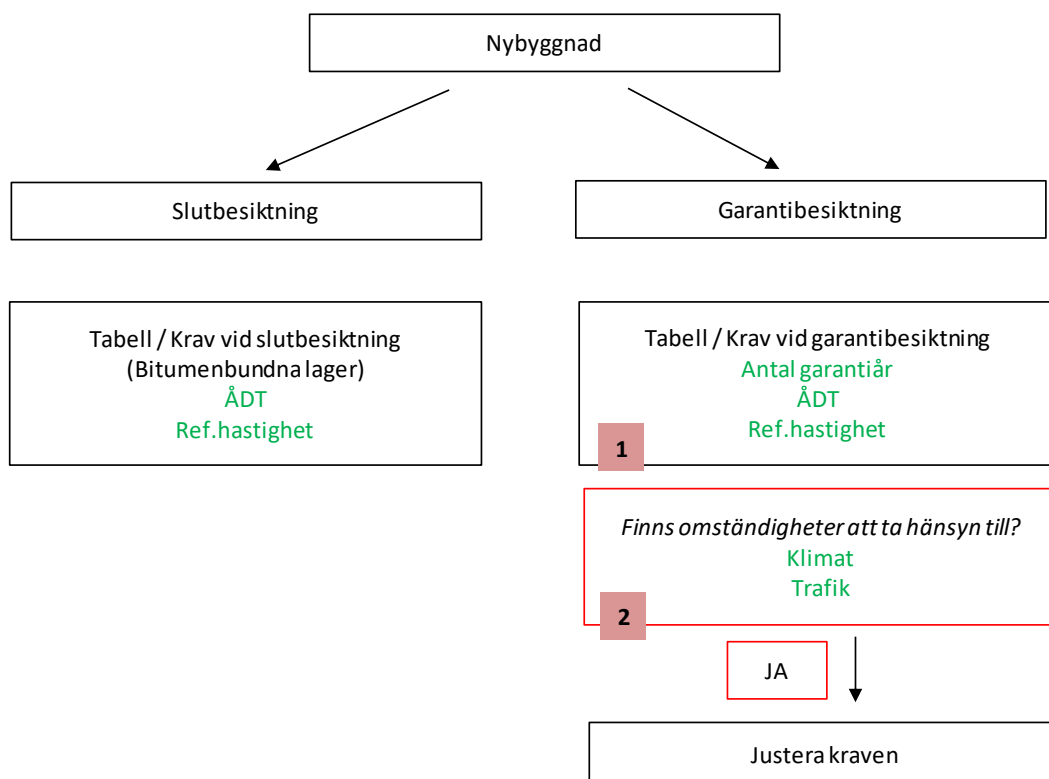
Kravställning i dessa projekt bör utgå från standardiserade krav, lämpligen befintliga krav i Bitumenbundna lager (Trafikverket, 2015-E) för nybyggnadsprojekt. Inga förändringar på grund av klimat- och/eller trafikpåverkan anses nödvändig.

För varje projekt bör en bedömning av åtgärdens omfattning och tillstånd innan åtgärd göras. Kravnivån bör ändras så att denna anpassas till projektet och därmed blir samhällsekonomiskt försvarbar. Vid val av kravnivå bör även restvärdet beaktas så att detta hamnar på en acceptabel nivå.

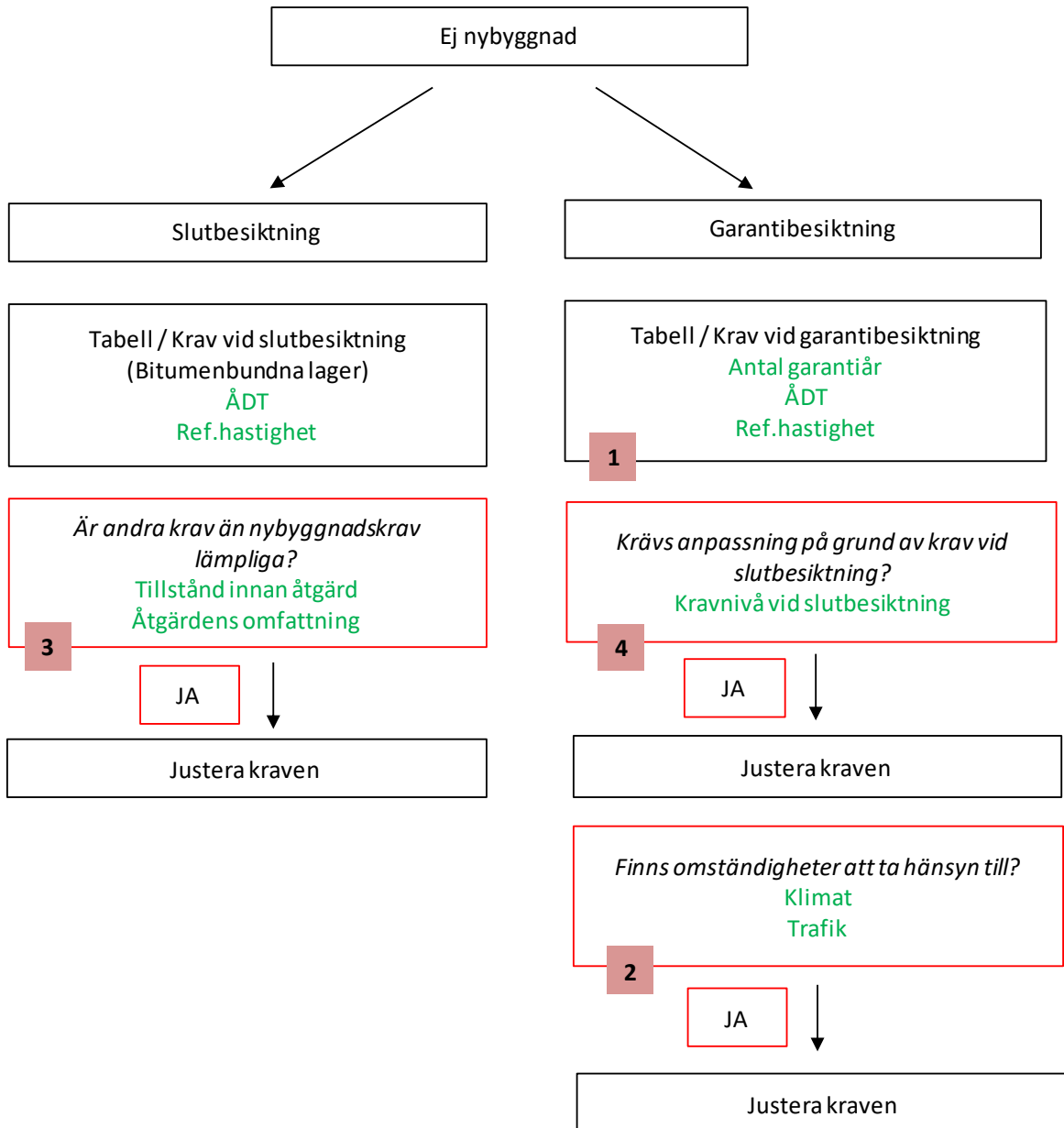
Ej nybyggnadsprojekt / Garantibesiktning

Kravställningen bör utgå från en standardiserad tabell som tar hänsyn till referenshastighet och årsdygnstrafik. Vid framtagande av en sådan tabell bör den befintliga tabellen i Underhållsstandard belagd väg (Trafikverket, 2012-A) utgöra grund för kravnivåerna. På så sätt anpassas kravnivån efter restvärdet.

En bedömning bör göras huruvida kravnivån behöver ändras med hänsyn till den valda kravnivån vid slutbesiktning samt om kraven behöver ändras med hänsyn till klimat- och/eller trafikpåverkan som antingen ökar eller minskar tillståndsutvecklingen från det normala.



Figur 6 Schematisk skiss för riktlinjer vid val av krav för nybyggnadsprojekt.



Figur 7 Schematisk skiss för riktlinjer vid val av krav för icke nybyggnadsprojekt.

Ovanstående förslag på riktlinjer innebär att ett antal nya tabeller och råd behöver arbetas fram. Nedan redogörs för dessa.

1 – Tabell / Krav vid garantibesiktning

Detta innebär att en tabell med kravnivåer vid garantitidens slut tas fram. Kravnivån bör ta hänsyn till garantitidens längd (ifall detta avviker mot normala 10 år), trafikmängd och referenshastighet. De valda kravnivåerna bör anpassas efter en normal tillståndsförsämring samt de värden som redan idag finns i Underhållsstandard belagd väg (ref). Tabellen behöver inte ta hänsyn till om projektet är nybyggnad eller inte, detta beaktas i ett senare skede. För att bestämma lämpliga kravnivåer krävs en analys av normal tillståndsförsämring, med avseende på trafikmängd och referenshastighet, samt en utvärdering av lämpligt restvärde efter garantitidens slut.

2 – Finns omständigheter att ta hänsyn till?

Detta innebär att en rådtext tas fram i vilka olika faktorer som kan inverka på tillståndsförsämringen listas. Exempel på sådana faktorer är långsamtgående trafik eller strängt vinterklimat med inverkan från tjälrörelser. Rådtexten bör kompletteras med riktlinjer för hur mycket ordinarie kravnivå ska justeras.

3 – Är andra krav än nybyggnadskrav lämpliga?

Detta innebär att en rådtext tas fram i vilken ett tillvägagångssätt för utvärdering av tillstånd innan åtgärd och åtgärdens omfattning specificeras. För bedömning av tillstånd innan åtgärd bör i första hand tillståndsdata för den aktuella sträckan analyseras där även historiska data inkluderas. Data kan hämtas antingen från Trafikverkets managementsystem PMSv3 eller från en riktad mätning för det aktuella projektet. Analysen av tillstånd innan åtgärd bör ge svar på i vilket skick den aktuella sträckan är i samt svara på hur tillståndet har förändrats över åren. Observera att en sådan analys eventuellt redan är genomförd i den vägtekniska undersökningen som normalt är en del av förfrågningsunderlaget i en totalentreprenad. För att kunna bestämma kravnivå krävs också att åtgärdens omfattning tas i beaktande. Projekt som inte innebär nybyggnad kan vara av olika karaktär och omfatta allt från enlagersbeläggning till omfattande förstärkning och/eller breddning. Ju mer omfattande åtgärden är desto hårdare krav kan generellt ställas. Är vägens tillstånd innan åtgärd relativt bra kan till och med nybyggnadskrav övervägas. För enklare åtgärder (enlagersbeläggningar) finns programvaror som analyserar långsgående ojämnheter och simulerar valda åtgärder. Rådtexten bör kompletteras med riktlinjer för hur mycket ordinarie kravnivå ska justeras.

4 – Krävs anpassning på grund av krav vid slutbesiktning?

Detta innebär att en rådtext arbetas fram som tar hänsyn till vilken kravnivå som valts vid slutbesiktning. Kravnivån vid garantibesiktning måste anpassas till kravnivån vid slutbesiktningen och följa en normal tillståndsförsämring.

9. Sammanfattning av slutsatser och rekommendationer

Allmänt

Totalentreprenad är en form av entreprenad som förväntas främja innovationer och ge entreprenören frihetsgrader i vägens byggskede. En totalentreprenad kan regleras av funktionella krav som företrädesvis bör kontrolleras med objektiva mätmetoder. I denna rapport sammanfattar vi de metoder och krav som regleras genom mätning med mätbil (vägytemätning) samt identifierar brister och saknad kunskap för att få en mer enhetlig hantering av entreprenaderna.

Ett av målen med detta projekt är att ge förslag på hur vägytemätning kan användas på ett mer allsidigt sätt vid kontroll av entreprenader. Det finns alltid en osäkerhet kring hur vägens tillstånd utvecklas över en lång entreprenadstid och sannolikt är mer kontroller kostnadsdrivande eftersom entreprenören då måste ta höjd för riskerna att underkännas. Att introducera en ny kontrollmetod ger dessutom en extra osäkerhet eftersom erfarenhet saknas. Det finns ingen vinning med att införa mer kontroller i en entreprenad om den inte säkerställer att vägens skick, trafikantens komfort och säkerhet eller att miljön främjas till en rimlig kostnad.

De krav man bör ställa på den metod som används för att kontrollera en entreprenad är att den ska

- Omfatta och uppfylla avsedd funktionen, t.ex. kan trafikanten färdas säkert och komfortabelt på vägen. Det går inte att enbart se på de funktionella kraven, man måste också beakta beständighetsperspektivet (tekniskt tillstånd).
- Täcka väsentliga delar av vägytan, heltäckande eller delar av ytan. Hur stor del och vilken del av vägytan som kontrollmetoden ska omfatta är en avvägning mellan pris och vinning.
- Kontrolleras med ett intervall som möjliggör att defekter i vägen upptäcks i tid innan en skada utvecklar sig för långt.
- Vara stabil och konsistent under kontraktstiden. Mätssystem uppdateras och förändras med jämna mellanrum, detta får inte påverka de mätstorheter som ska kontrolleras.
- Vara objektiv. Subjektiva värderingar ger alltid utrymme för tolkningar och är svåra att kravställa. En objektiv metod, å andra sidan, bör vara accepterad av både beställare och entreprenör för att tvister ska undvikas.
- Undvika att exponera oskyddad personal på vägen, med andra ord vara säker.
- Vara en avvägning mellan att främja kvalitet och hålla nere kostnad. En mätmetod som är väldigt exakt men extremt dyr måste vägas mot en billigare mer oprecis metod.
- Ha tillräcklig noggrannhet och känd mätosäkerhet för att ge en tillförlitlig utsaga om kraven uppfylls.

Det tar mycket lång tid för en ny metod att få acceptans. Ju mer komplicerad och abstrakt metoden är desto svårare är det att få acceptans. Ser vi till då krav började ställas på IRI och spårdjup i entreprenader fanns inledningsvis många tvivel. I dag är det en vedertagen metod med mycket få klagomål.

Mätning

Nuvarande mätmetod för att kontrollera funktionskraven *ojämnhet i längsled* och *ojämnhet i tvärled*, beräknat som *IRI* respektive *Spårdjup*, fungerar tillfredsställande. I metoden finns inbyggda kontroller som säkerställer att mätfel som uppkommer på grund av mätsystem och mätoperatörer minimeras.

För att beräkna funktionskravet *tvärfallsavvikelse* används de uppmätta tvärfallsvärdena som indata. Insamlingen av tvärfallsvärden med nuvarande metod fungerar tillfredsställande, däremot är

utvärderingen av tvärfallsavvikelse beroende av en nästintill perfekt synkronisering av längd mellan uppmätt och projekterat tvärfall.

I den tekniska beskrivningen är det ofta otydligt vilka delar som ska mätas med mätbil och vilka som ska mätas med andra metoder. Även gränsen mellan de ingående delobjekten kan vara svår att tolka. Kravställningen på respektive delobjekt behöver emellanåt också tydliggöras. Dialogen mellan mätoperatören och entreprenören är viktig inför en mätning.

Nya mått och kravställning

En metod för att värdera ytans skick under garantitiden bör införas. Lämpligen bör MPD användas eftersom detta mått är standardiserat (ISO 13473-1:1997) och används vid övrig vägytemätning. Vid slutbesiktningen, d.v.s. då beläggningen är ny, kan beräkning och krav göras enligt Trafikverkets dokument TDOK 2016:0271 *Kontroll av nya beläggningsars makrotextur med mätbil* (Trafikverket, 2017-A).

En metod för att avgöra lokala ojämnheter såsom beläggningsskarvar och broskarvar bör införas. Det finns idag tre alternativ megatextur, Lokala ojämnheter och rätskena. I Trafikverkets dokument TDOK 2014:0003 *Vägytemätning Mätstorheter* (Trafikverket, 2015-B) finns måttet megatextur definierat vilket beräknar avvikelser från en plan yta för våglängder mellan 50 millimeter och 500 millimeter redovisat som ett RMS-värde. I samma dokument finns även måttet Lokal ojämnheter vilket beräknar vertikala accelerationer i fordonets chassi respektive hjul. En analys och utvärdering av dessa alternativa metoder bör göras så att det funktionella och tekniska tillståndet utvärderas på bästa sätt. Från ovanstående beskrivna rapport vet vi att måttet Lokal ojämnheter svarar väl mot upplevt obehag vid färd över ojämnheten. Samma starka koppling finns inte för megatexturen. Om komfort prioriteras bör Lokal ojämnheter användas och megatextur om det tekniska tillståndet är viktigast. Den tredje varianten är att simulera en rätskena då man beräknar avvikelser mellan den och uppmätt längsprofil från vägytemätning.

Alternativ för de subjektiva bedömningar som finns med i entreprenader bör undersökas. Detta gäller i första hand bedömning av sprickor och stensläpp/bruksförluster. Här pågår ett projekt inom BVFF som arbetar med objektiva mått för sprickor och ytskador (Hållbart underhåll - ytskador) som beräknas vara klart 2019. I VTI rapport 719 *Svenska vägtillståndsmått då, nu, och imorgon – Del 3* (Lundberg, et al., 2015) finns också beskrivet en alternativ metod för bedömning av stensläpp baserad på makrotextur (MPD).

Kravnivåer

En vägledning för hur kravnivåer vid garantibesiktning ska sättas bör tas fram. Likaså bör samma typ av vägledning finnas för kravnivåer vid slutbesiktning på projekt som innebär ombyggnad och/eller förstärkning av befintlig väg.

Idag är kravnivåerna desamma för spårdjup oavsett om 17 eller 15 mätpunkter används, trots att vi vet att 17 mätpunkter ger större mätvärden. De krav vi använder idag är utformade efter 17 mätpunkter så 15 mätpunkter gynnar entreprenören. Kravnivån för jämnheter i tvärled vid garantibesiktning bör sättas utifrån vilken mätbredd som används.

10. Fortsatt forskning och utveckling kring kontrollmetoder

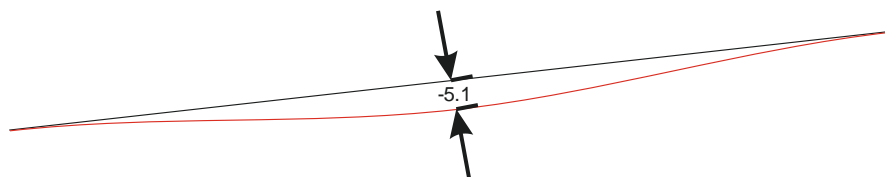
Mått och metoder

Flera av de krav som ställs idag bygger på en kontrollmetod där människor exponeras på vägen. Kontrollmetoden kan ersättas med vägytemätning, en trafiksäker metod. De flesta metoder där rätskena används går att beräkna från den data som fås vid vägytemätning. Man ska inte förkasta den fysiska rätskenan, den behövs på ytor som inte lämpar sig för vägytemätning (där inte mätbilen kan hålla tillräckligt hög och jämn hastighet). Fördelen med att använda en rätskena är att måttet är enkelt att förstå då det kan mätas med tumstock, linjal eller mätkil. Metoden får snabbt en acceptans men det finns ett subjektivt inslag i metoden då placeringen av rätskenan kan justeras av personalen som hanterar den, även om mätpositioner ska vara utvalda slumpmässigt. Ett rätskenemått kan istället beräknas från de längsprofiler som samlas in vid vägytemätning. Fördelen med detta är att kontrollen blir heltäckande i vägens längdriktning och det negativa är att kontrollen enbart görs i de sidolägen där längsprofilerna samlas in. I och med att de samlas in i hjulspåren blir kontrollen utförd där huvuddelen av trafikanterna färdas. En ytterligare fördel med att beräkna rätskenevärden från längsprofilerna är att en valfri längd på rätskenan kan simuleras, åtminstone upp till 50 m med millimeterprecision (Holen, 1995). En stor nackdel med ett rätskenemått är att storleksordningen på måttet inte nödvändigtvis avspeglar vad trafikanten upplever när den färdas över ojämnheten, detta beskrivs i VTI rapport 719 (Lundberg, et al., 2015). Med andra ord bör inte rätskenevärdet användas för att beskriva komfort.

I rapporten beskrivs istället en annan metod för att upptäcka lokala ojämnheter. En inmätt längsprofil utgör indata till en simulerad kvartsbilsmodell, som färdas i skyltad hastighet (med parametrar för en personbil och en lastbil), och accelerationer från olika delar av modellen beräknas. Beräkningen sker kontinuerligt längs profilerna och en acceleration för varje decimeter sparas. Dessa accelerationer används som mått på lokala ojämnheter. Accelerationen från modellens chassi används för att beskriva hur en förare/passagerare upplever vägens ojämnheter och accelerationen från modellens hjul används för att indikera fordonsslitage. Chassiaccelerationen stämmer mycket väl överens med hur förare/passagerare upplever ojämnheten medan en rätskena kan ge ett stort värde som inte upplevs okomfortabelt. Ett annat gupp som har samma storleksordning på rätskenevärdet kan upplevas mycket okomfortabelt, det beror på guppets form och i vilken hastighet fordonet färdas. Vi tror därför att en lokal ojämnheter, ur komfortsynpunkt, bäst beskrivs av chassiaccelerationen men att rätskenan lämpar sig bra för att ge exakt tekniska data om t.ex. en broskarv där höjdskillnader ska kontrolleras.

Det finns ett alternativ till lokal ojämnheter, nämligen megatextur. Megatextur beskriver våglängder hos vägen mellan 50 millimeter och 500 millimeter. Måttet upptäcker alltså större skador på vägytan än MPD och projekt pågår också för att försöka korrelera megatexturen mot manuellt inventerat sprickindex (Göransson, 2017).

En lång simulerad rätskena tror vi också fungerar bra om sättningar i konstruktionen ska kontrolleras. I ett arbetspapper har en utredning gjorts i västra Sverige på E6 i ett område känt för sättningar. Här kunde ett område med sättningar detekteras från längsprofilen med en 50 m lång rätskena. En ny beläggning på en entreprenad bör mätas vid slutbesiktningen och utgöra jämförelsegrund för mätningar under garantitiden. Alternativt kan mätningarna under garantitiden jämföras med bygghandlingar. Principen visas i Figur 8.



Figur 8 Princip för detektering av sättning. Svart linje symboliserar längsprofilmätning i nyskick och röd linje en längsprofil detekterad vid mätning under garantitid.

Sprickor och ytskador kan vara orsak till underhållsåtgärd och blir därmed viktigt att kunna identifiera vid en entreprenad med lång garantitid. I dagsläget ska det göras men med en metod som innebär många subjektiva inslag, en okulärbesiktning på en avskyltad väg (personer exponeras på vägen). Ny teknik med skannande laser som täcker hela körfältet är på stark frammarsch. Den möjliggör detektering av sprickor och ytskador på ett objektivet sätt. Ett pågående BVFF-projekt ska undersöka om tekniken fungerar. Projektet ska avrapporteras 2019. Det finns också lyckade försök att identifiera stensläpp utifrån punktlasermätning med dagens mätbilar (2018). Mätningarna har gjorts på dränerande beläggningar men borde fungera lika bra på både traditionella ABS- och ABT-beläggningar. Den metod som används baseras på inmätning av rådata, från de lasrar som används för makrotexturmätning. Lasrarna ger normalt ett mätvärde åtminstone varje millimeter. Genom att göra en ”nollmätning” på ett nytt slitlager kan beläggningens utseende avseende ytans normalstruktur bestämmas. Uppföljande mätningar sätts i relation till nollmätningen och utglesning (stensläpp) kan beräknas. Försöket har en bra överensstämmelse med manuell inventering utifrån foton.

Vidare finns också möjlighet att arbeta med MPD (Mean Profile Depth) som kan användas för att detektera grova ytor (t.ex. underskott av bindemedel eller stensläpp), dels vid slutbesiktning men också vid uppföljning av objektet under garantitiden. En metod är utarbetad för underhållsverksamheten och beskrivs i VTI rapport 719 (Lundberg, et al., 2015), där de gränsvärden som föreslås kan behöva justeras för att passa totalentreprenader.

I tidigare TB-mallar har krav ställts på vägens profil. Projekterad profilhöjd kontrolleras då mot mätbilens backighetsmätning i kombination med längsprofilmätning alternativt höjdbestämmning med GPS-mottagare/tröghetsplattform.

I nuvarande TB-mall ställs krav på tjällyft utifrån IRI-mätning med mätbil. IRI-kvot definieras som den största av kvoten av IRI sommar/vinter alternativt vinter/sommar. Detta finns beskrivet i TDOK 2013:0669, Inventering av tjälrelaterade skador på befintlig väg (Trafikverket, 2017-B). Det finns brister i dokumentet, t.ex. framgår det inte av dokumentet över hur långa sträckor IRI ska beräknas och kraven kontrolleras och det står att spår djup och tvärprofil ska mätas men det framgår inte hur detta ska användas.

Tabell 10 Gränsvärden för ojämn tjällyftning vid mätning med mätbil (TDOK 2013:0669).

IRI-kvot	Skadegrad
1,00 - 1,49	1
1,50 - 1,59	2
1,60 - 1,69	3
1,70 - 1,79	4
>1,8	5

Det finns också vissa egenskaper som endast testas om misstanke om brist uppstår, nivåskillnad mellan beläggningsdrag är en sådan egenskap. Om mätbilen placeras så den täcker den skarv som ska testas går det relativt enkelt att detektera nivåskillnaden, speciellt om beläggningen är ny (saknar spårbildning).

Framtiden

I Europa och stora delar av resten av världen är mätning av väggroppens styrka på snabb frammarsch. Många länder i vår närhet arbetar med tekniken och det är framförallt en teknik som dominerar

marknaden. Tanken är att kunna identifiera bärighetsbrister och svaga partier i en konstruktion i ett mycket tidigt skede, egentligen innan det syns på ytan. Detta skulle kunna identifiera dåligt utförda vägbyggen där potentiella problem kommer att uppstå under bruksfasen. Vi har inte kunnat hitta kravnivåer för entreprenader i några rapporter eller artiklar men det kan tänka sig vara ett utvecklingsområde för framtiden.

När vi ser att det initiala tillståndet har betydelse för vägens jämnhet under garantitiden bör diskussioner om bonussystem aktualiseras. I ett livscykelperspektiv vinner Trafikverket mycket på att vägen är välgjord då det ger en positiv inverkan på vägens livslängd (tid till åtgärd). Om ett bra utfört investeringsobjekt förlänger tid till åtgärd betalar sig ett bonussystem relativt snabbt.

En tanke som finns och som säkerligen kommer att testas i framtiden är att sätta funktionella krav för andra ordningens indikatorer istället för de direkta mätstorheter som fås från mätbilarna. En andra ordningens indikator kan vara en sammansättning av mätstorheter eller andra mätbara parametrar med syftet att beskriva en egenskap som t.ex. säkerhet, miljö, komfort eller tekniskt tillstånd. Beroende på hur indikatorerna sätts samman kan det finnas motstridigheter mellan olika indikatorer eftersom samma mätstorhet kan ingå i flera och vara gynnsam för en men ogynnsam för en annan. Det kan också bli svårt att komma underfund med hur vägen ska skötas/konstrueras för att uppfylla kraven, speciellt om indikatorerna blir för komplicerade. Målet måste emellertid vara att en jämn vägbana i alla ledder som håller för avsedd trafikbelastning och ger liten miljöpåverkan ger en positiv respons på indikatorerna. Hur som helst kommer detta med stor sannolikhet att testas i framtiden, frågan är bara när och hur.

I kommande rapport, del 3 (preliminärt 2020), kommer nya mått och metoder som beskrivs i rapporten testas praktiskt på utförda mätningar och förslag på krav kommer att presenteras. Vidare kommer riktlinjer presenteras som beskriver hur krav bör ställas vid slutbesiktning och under en garantitid. Kraven bör ta hänsyn till de faktorer som påverkar de mätstorheter som krävs och ta hänsyn till de förutsättningar som ges i entreprenaden.

Referenser

- CEN, 2003. *Road and airfield surface characteristics. Test methods. Irregularity measurement of pavement courses. The straightedge test, 13036-7*, u.o.: CEN.
- Göransson, N.-G., 2017. *Tillståndsuppföljning av observationssträckor: lägesrapport för LTPP-projektet till och med december 2016*, VTI notat 1-2017, Linköping: VTI.
- Holen, Å., 1995. *Simulerad rätskenemätning baserad på längsprofilmätning med Laser RST*, VTI-Notat 43-1995, Linköping: VTI.
- Karlsson, R. & Wennström, J., 2012. *Uppföljning av väg N610 - Totalentreprenad med funktionellt helhetsåtagande under sju år*, VTI rapport 740, Linköping: VTI.
- Lindström, F., 2017. *Experience from the Swedish Transport Administration, Erpug-2017*. Copenhagen, u.n.
- Lundberg, T., Sjögren, L. & Andréén, P., 2015. *Svenska tillståndsmått då, nu och i morgon. Del 3: I morgon - år 2010 och framåt*, VTI rapport 719, Linköping: VTI.
- Nilsson, J.-E.o.a., 2006. *Funktionsupphandling: sammanfattning av kunskapsläge och rekommendationer för fortsatt forskning*, VTI Rapport 560, Linköping: VTI.
- SIS, 2010. *Ytegenskaper för vägar och flygfält - Provningsmetoder - Del 1: Mätning av makrotexturens djup hos en beläggningsyta medelst en volymetrisk metod, SS-EN 13036-1*. u.o.:SIS.
- Trafikverket, 2012-A. *Underhållsstandard belagd väg 2011*, Publikationsnummer: 2012:074. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2012-B. *Deflektionsmätning vid provbelastning med fallviktsapparat, Metodbeskrivning 112*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2012-C. *Bearbetning av deflektionsmätdata, erhållna vid provbelastning av väg med FWD-apparat, Metodbeskrivning 114*, Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2014. *Bestämning av ojämnheter och tvärfall med rätskiva, TDOK 2014:0136*. 1.0 red. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2015-A. *Tekniskt godkännande för Objektmätning, TDOK 2014:0706*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2015-B. *Vägytemätning Mätstorheter, TDOK 2014:0003*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2015-C. *Vägytemätning Objekt, TDOK 2014:0005*. u.o.:Trafikverket.
- Trafikverket, 2015-D. *Bestämning av friktion på belagd väg, TDOK 2014:0134*. 2.0 red. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2015-E. *Bitumenbundna lager, TDOK 2013:0529*, u.o.: Trafikverket.
- Trafikverket, 2017-A. *Kontroll av nya beläggningsars makrotextur med mätbil, TDOK 2016:0271*. 1.0 red. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket, 2017-B. *Inventering av tjälrelaterade skador på befintlig väg, TDOK 2013:0669*. 2.0 red. Borlänge: Trafikverket.
- Wågberg, L.-G., 2001. *Utveckling av nedbrytningsmodeller: sprickinitiering och sprickpropagering, VTI meddelande 916*, 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.

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Huvuduppgiften är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Kvalitetssystemet och miljöledningssystemet är ISO-certifierat enligt ISO 9001 respektive 14001. Vissa provningsmetoder är dessutom ackrediterade av Swedac. VTI har omkring 200 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg, Borlänge och Lund.

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), is an independent and internationally prominent research institute in the transport sector. Its principal task is to conduct research and development related to infrastructure, traffic and transport. The institute holds the quality management systems certificate ISO 9001 and the environmental management systems certificate ISO 14001. Some of its test methods are also certified by Swedac. VTI has about 200 employees and is located in Linköping (head office), Stockholm, Gothenburg, Borlänge and Lund.

HEAD OFFICE
LINKÖPING
SE-581 95 LINKÖPING
PHONE +46 (0)13-20 40 00

STOCKHOLM
Box 55685
SE-102 15 STOCKHOLM
PHONE +46 (0)8-555 770 20

GOTHENBURG
Box 8072
SE-402 78 GOTHENBURG
PHONE +46 (0)31-750 26 00

BORLÄNGE
Box 920
SE-781 29 BORLÄNGE
PHONE +46 (0)243-44 68 60

LUND
Bruksgatan 8
SE-222 36 LUND
PHONE +46 (0)46-540 75 00

