VTI rapport 863
Utgivningsår 2015
www.vti.se/publikationer

Objektiv mätmetod för tillståndsbedömning av grusväglag

Karin Edvardsson
Thomas Lundberg
Leif Sjögren

VTI rapport 863 | Objektiv mätmetod för tillståndsbedömning av grusväglag

VTI rapport 863

Objektiv mätmetod för tillståndsbedömning av grusväglag

Karin Edvardsson

Thomas Lundberg

Leif Sjögren

Diarienr: 2012/0422-28
Omslagsbilder: Hejdlösa Bilder AB
Tryck: LiU-Tryck, Linköping 2015

Referat

Tillståndsmätningar på grusvägnätet görs idag subjektivt enligt Trafikverkets nuvarande metodbeskrivning. En objektiv och mobil mätmetodik för tillståndsbedömning av grusväglag samt inventering av dräneringstillstånd skulle innebära effektivare och mer tillförlitliga mätningar. En sådan metodik skulle också generera större möjligheter till bedömningar av optimal åtgärd och åtgärdstidpunkt och kunna ligga till grund för nya metod- och standardbeskrivningar samt definition av lägsta acceptabla standard, uttryckt med objektiva mått.

Projektet syftar till att utveckla en tillförlitlig, objektiv och mobil metodik för kontinuerlig mätning av tillståndsparametrarna ojämnheter, löst grus, damm och tvärfall på grusväg. Syftet är också att rekommendera en objektiv inventeringsmetod för dräneringstillståndet i en grusvägskonstruktion.

Resultatet visar att de objektiva tillståndsmått som bäst tycks beskriva efterfrågad funktionalitet på grusväg är acceleration (uttryckt som det kvadratiska medelvärdet, RMS) uppmätt med en applikation i smarttelefon vad gäller jämnhet, samt med laserutrustad mätbil uppmätt makrotextur (uttryckt som medelprofildjupet, MPD) vad gäller löst grus och laserpulsens genomsnittliga reflektionstid över vägens tvärprofil vad gäller damm. För bestämning av tvärfall på grusväg föreslås att detta beräknas, utifrån de 15 mittersta laserpunkterna uppmätt med mätbil; som regressionslinjens lutning mellan högsta och lägsta punkten.

Som en objektiv inventeringsmetod för dräneringstillståndet hos en grusväg föreslås dikesmätningar, som säkerställer tillfredställande dikesdjup, tvärfallsmätningar, mätningar av stödremsan, som säkerställer att det inte förekommer kanthäng etc. som förhindrar vattenavrinning från vägen, samt mätning av återkommande och/eller snabbt tillväxande ojämnheter.

Titel:	Objektiv mätmetod för tillståndsbedömning av grusväglag
Författare:	Karin Edvardsson (VTI) Thomas Lundberg (VTI) Leif Sjögren (VTI)
Utgivare:	VTI, Statens väg och transportforskningsinstitut www.vti.se
Serie och nr:	VTI rapport 863
Utgivningsår:	2015
VTI:s diarienr:	2012/0422-28
ISSN:	0347-6030
Projektnamn:	Objektiv mätmetod för tillståndsbedömning av grusväglag
Uppdragsgivare:	Trafikverket
Nyckelord:	Objektiv mätmetod, tillståndsbedömning, grusväg, damm, jämnhet, dränering
Språk:	Svenska
Antal sidor:	60

Abstract

Condition ratings on the gravel road network are of today made subjectively according to the Swedish Transport Administration's current method description. With an objective and mobile measuring methodology for condition assessment of the gravel road and inventory of its drainage conditions, assessments can be made more efficient and reliable. Such a methodology will generate new possibilities to make estimates of optimal maintenance actions and when in time they should be done. In addition, it can form the basis for new method descriptions and definition of gravel road standards; such as minimum acceptable road standard, expressed in objective terms.

The project aims to develop a reliable, objective and mobile methodology for continuous measurement of the road surface condition parameters evenness, loose gravel, dust and cross fall on gravel roads. It also aims to recommend an objective inventory method for evaluating the drainage condition of a gravel road construction.

The result shows that the objective condition indicators which best seem to describe the requested functionality on gravel roads are the acceleration (expressed as the root mean square value, RMS) measured using a smartphone application (regarding smoothness) and macro texture expressed as the mean profile depth MPD (regarding loose gravel) as well as the average laser pulse reflection over the road cross section (regarding dust) measured with a laser equipped measurement vehicle. To determine the cross fall of the gravel road surface, it is proposed that this is calculated as the regression line slope between the highest and lowest points; based on the 15 middle laser points measured with the laser equipped measurement vehicle.

As an objective inventory method for evaluating the drainage condition of a gravel road, measurements of ditches to ensure satisfactory ditch depth, measurements of cross fall, measurements of support strips to ensure absence of road edge overhang that prevent water runoff from the road, and measurements of periodic and/or rapidly proliferating roughness are proposed.

Title:	Objective measurement method for assessing the condition of gravel roads
Author:	Karin Edvardsson (VTI) Thomas Lundberg (VTI) Leif Sjögren (VTI))
Publisher:	Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) www.vti.se
Publication No.:	VTI rapport 863
Published:	2015
Reg. No., VTI:	2012/0422-28
ISSN:	0347-6030
Project:	Objective measurement method for assessing the condition of gravel roads
Commissioned by:	The Swedish Transport Administration
Keywords:	Objective measurement method, condition assessment, gravel road, dust, evenness, drainage
Language:	Swedish
No. of pages:	60

Förord

Denna rapport redovisar resultat från BVFF- (Bana Väg För Framtiden) projektet ”Objektiv mätmetod för tillståndsbedömning av grusväglag”. Resultaten baseras på mätningar utförda under våren–sommaren 2013 på provsträckor belägna i Driftområde (DO) Fagersta, där Svevia är entreprenör.

Projektet har finansierats av Trafikverket, med Helena Halvar Tall som kontaktperson, och VTI, med Anita Ihs som kontaktperson.

Karin Edvardsson har varit projektledare och svarat för slutförande, analys och dokumentation. Thomas Lundberg har administrerat fältarbete och datahantering. Peter Andrén har stått för bearbetning och synkronisering av data. Peter har också skapat ett program för visuell bedömning av grusväglag baserat på foton tagna var 20:e meter på provsträckorna. Fernando Cruz del Aguila har kalkylerat tvärfall baserat på en framtagen beräkningsmetod. Fältmätningarna har utförts av Terry McGarvey och Thomas Lundberg; VTI, samt Svante Johansson och Kristofer Johansson; Roadscanners. Stig Englundh har varit ansvarig för monteringen av skydd för stenskott samt dammätningsutrustningen (DustTrak) i VTIs mätbil. Krister Johansson, platschef på Svevia DO Fagersta, har hjälpt till att välja ut provsträckor och ansvarat för de underhållsåtgärder som utförts på dessa.

I projektets referensgrupp har följande personer ingått: Leif Sjögren, Göran Blomquist, Stig Englundh, Thomas Lundberg och Karin Edvardsson; alla vid VTI, samt Helena Halvar Tall och Magnus Ljungberg vid Trafikverket.

Ett varmt Tack riktas till alla som varit delaktiga i projektet!

Borlänge, maj 2015.

Karin Edvardsson
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Granskningsseminarium genomfört 20 april 2015 där Magnus Ljungberg var lektör. Karin Edvardsson har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Anita Ihs har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 4 maj 2015. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

Review seminar was carried out on 20 April 2015 where Magnus Ljungberg reviewed and commented on the report. Karin Edvardsson has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Anita Ihs examined and approved the report for publication on 4 May 2015. The conclusions and recommendations expressed are the author's/authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning **9**

Summary **11**

1. Inledning **13**

1.1. Syfte 14
1.2. Avgränsningar 14

2. Grusvägstillstånd **15**

2.1. Vägytetillståndsbedömning 15
2.2. Dräneringstillståndsbedömning 18

3. Metod **19**

3.1. Provsträckor 19
3.1.1. Underhållsåtgärder 20
3.2. Mätprogram 21
3.2.1. Utrustning 21
3.2.2. Tillståndsmått och mätmetodik 22

4. Resultat **27**

4.1. Tillståndsmått för bedömning av grusväglag 27
4.1.1. Jämnhet 27
4.1.2. Löst grus 32
4.1.3. Damm 36
4.1.4. Tvärfall och lagertjocklek 40
4.2. Tillståndsmått för inventering av dikesdjup 41

5. Diskussion **44**

5.1. Tillståndsmått 44
5.1.1. Tillståndsmått för bedömning av grusväglag 44
5.1.2. Tillståndsmått för inventering av dräneringstillstånd 45
5.2. Mätstrategier 47
5.3. Metodens användbarhet 48
5.4. Förslag till fortsatt arbete 49

6. Slutsatser **50**

Referenser **53**

Bilaga 1 Jämförelse mellan subjektiv bedömning och objektiv mätning av jämnhet **55**

Bilaga 2 Visualisering av tillståndsmätning **59**

Sammanfattning

Objektiv mätmetod för tillståndsbedömning av grusväglag

av Karin Edvardsson (VTI), Thomas Lundberg (VTI), och Leif Sjögren (VTI)

Tillståndsmätningar på grusvägnätet görs idag subjektivt enligt Trafikverkets nuvarande metodbeskrivning. En objektiv och mobil mätmetodik för tillståndsbedömning av grusväglag samt inventering av dräneringstillstånd skulle innebära effektivare och mer tillförlitliga mätningar. En sådan metodik skulle också generera större möjligheter till bedömningar av optimal åtgärd och åtgärds-tidpunkt och kunna ligga till grund för nya metod- och standardbeskrivningar samt definition av lägsta acceptabla standard, uttryckt med objektiva mått.

Projektet syftar till att utveckla en tillförlitlig, objektiv och mobil metodik för kontinuerlig mätning av tillståndsparametrarna ojämnheter, löst grus, damm och tvärfall på grusväg. Syftet är också att rekommendera en objektiv inventeringsmetod för dräneringstillståndet i en grusvägskonstruktion.

Resultatet visar att de objektiva tillståndsmått som bäst tycks beskriva efterfrågad funktionalitet på grusväg är acceleration (uttryckt som kvadratiskt medelvärde, RMS) uppmätt med en applikation i en smarttelefon vad gäller jämnhet, samt uppmätt med laserutrustad mätbil makrotextur (uttryckt som medelprofildjup, MPD) vad gäller löst grus och laserpulsens genomsnittliga reflektionstid över vägens tvärprofil vad gäller damm. För bestämning av tvärfall på grusväg föreslås att detta beräknas, utifrån de 15 mittersta laserpunkterna uppmätt med mätbil; som regressionslinjens lutning mellan högsta och lägsta punkten.

Som en objektiv inventeringsmetod för dräneringstillståndet hos en grusväg föreslås dikesmätningar som säkerställer tillfredställande dikesdjup, tvärfallsmätningar, mätningar av stödremsan som säkerställer att det inte förekommer kanthäng etc. som i sin tur förhindrar vattenavrinning från vägen, samt mätning av återkommande och/eller snabbt tillväxande ojämnheter. Görs dikesmätningarna under en torr period tidigt på våren kan närvaro av vatten eller hög växtlighet i dikena undvikas, vilket annars kan ge felaktiga värden genom att laserstrålarna träffar detta istället för den egentliga dikesbotten. Görs mätningarna på våren utgör de också underlag för att planera vilka åtgärder som behöver göras under barmarksperioden.

Eftersom grusväglagstillståndet är så snabbt föränderligt på en grusväg behövs en snabb och förenklad variant av vägytemätning om det ska vara kostnadseffektivt med dessa typer av mätningar på vägnätsnivå. Att använda en smarttelefon med en applikation för jämnhetsmätning är ett enkelt och kostnadseffektivt sätt att generera bestående tillståndsdata för grusvägnätet. Accelerationen, som uppmäts med hjälp av applikationen i smarttelefonen, är beroende av vilket fordon som används och dess hastighet. Däremot är det ändå rimligt att se dessa vertikala accelerationsvärden som ett mått på körkomfort och i en underhållsstandard ange att uppmätta spikvärden inte får överstiga gränsvärden enligt exempelvis befintliga vibrationsdirektiv 2002/44/EG och SS-ISO 2631-1.

Applikationen skulle kunna kompletteras med en knapp för att allmänheten ska kunna rapportera och märka ut skador på vägen eller kopplas ihop med entreprenörens GPS-uppkopplade inrapporterings-system för att märka ut speciellt intressanta platser, såsom platser för tjällyftning eller erosion. Görs mätningarna på våren, innan tjälen gått ur, erhålls även en digital utmärkning av tjälskador, såsom tjällyftningar och uppskjutande trummor. Dessa typer av skador är annars svåra att lokalisera när tjälen gått ur marken och marken gått tillbaka, det vill säga då åtgärder ska göras, om de skadade platserna inte märkts ut för hand vid tjällyftningen.

Summary

Objective measurement method for assessment of gravel road condition

by Karin Edvardsson (VTI), Thomas Lundberg (VTI), and Leif Sjögren (VTI)

Condition ratings on the gravel road network are of today made subjectively according to the Swedish Transport Administration's current method description. With an objective and mobile measuring methodology for condition assessment of the gravel road and inventory of its drainage conditions, assessments can be made more efficient and reliable. Such methodology will generate new possibilities to make estimates of optimal maintenance actions and when in time they should be done. In addition, it can form the basis for new method descriptions and definition of gravel road standards; such as minimum acceptable road standard, expressed in objective terms.

The project aims to develop a reliable, objective and mobile methodology for continuous measurement of the road surface condition parameters: evenness, loose gravel, dust and cross fall on gravel roads. It also aims to recommend an objective inventory method for evaluating the drainage condition of a gravel road construction.

The result shows that the objective condition indicators which best seem to describe the requested functionality on gravel roads are the acceleration (expressed as the root mean square value, RMS) measured using a smartphone application (regarding smoothness) as well as macro texture expressed as the mean profile depth MPD (regarding loose gravel), and the average laser pulse reflection over the road cross section (regarding dust) measured with a laser equipped measurement vehicle. To determine the cross fall of the gravel road surface, it is proposed that this is calculated as the regression line slope between the highest and lowest points; based on the 15 middle laser points measured with the RST-vehicle.

As an objective inventory method for evaluating the drainage condition of a gravel road, measurements of ditches to ensure satisfactory ditch depth, measurements of cross fall, measurements of support strips to ensure absence of road edge overhang that prevent water runoff from the road, and measurements of periodic and/or rapidly proliferating roughness are proposed. If measurements of ditch depth are done during a dry period in early spring, presence of water and high vegetation in the ditches is avoided, which otherwise may give false values due to the laser beams hitting this instead of the actual ditch bottom. If the measurements are made in the spring, they also provide a basis for seasonal maintenance planning.

Since gravel road condition is rapidly changing during the season, a quick and simplified version of road surface measurements is required if it should be cost effective with these types of measurements on the gravel road network. Using a smartphone with an application for measurements of evenness is a simple and cost effective way to generate persistent condition data for the gravel road network. The acceleration, measured using the smartphone application, depends on the vehicle used and its speed. However, it still seems reasonable to see these vertical acceleration values as measurements of driving comfort and, therefore, in a maintenance standard specify that measured spike values do not exceed limit values given in, for example, the existing vibration Directive 2002/44 /EC and ISO 2631-1.

The application could be supplemented with a button to allow the public to report and mark out damages to the road or be connected to the contractor's GPS-enabled reporting system, used to mark special points of interest, such as sites for frost heave or erosion. If the measurements are made in the spring, before the frost has left the ground, a digital mapping of frost damages, such as frost heave or elevated culverts, are also obtained. These types of damages are otherwise difficult to locate once the frost is gone from the soil and the ground has returned, i.e. when maintenance measures should be done, if the frost heave sites are not marked by hand.

1. Inledning

Ungefär 75 procent (300 000 km) av hela det svenska vägnätet och 20 procent (20 000 km) av det statliga vägnätet består av grusvägar. Grusvägnätet omfattar statliga, kommunala och enskilda vägar. Av de enskilda vägarna är ungefär 150 000 km skogsvägar. Dessa sköts av skogsägarna. Dessutom finns, runt om i Sverige, drygt 34 000 vägsamfälligheter som förvaltar enskilda vägar. Den låga trafikmängden på grusvägar medför dock krav på andra underhållsstandarder än på belagda vägar, t.ex. i form av en lägsta acceptabel standard. (Blomkvist, 2010; Lundström, 2010)

En acceptabel grusväg ska ha en jämn och bunden, slitstark vägyta som tillgodoser kraven på framkomlighet, trafikantkomfort och de kringboendes hälsa och miljö. De skadeparametrar som ofta förekommer på vägytan är ojämnheter (potthål, korrugering och hjulspår), löst grus och damm. Ojämnheterna skapas av fordonen som trafikerar vägen och är vanligare i kurviga och backiga avsnitt samt där vägöverbyggnaden har brister; exempelvis där det är otillräckligt tvärfall eller finmaterialet dammat bort så att slitlagret har överskott på sand. Om finmaterialet i slitlagret dammat bort leder detta också vanligen till att det grövre materialet slits loss och bildar strängar av löst grus i vägmitten och längs kanterna. Därför är det viktigt att tillståndsbedömningar av parametrarna ojämnheter, löst grus, damm och tvärfall görs regelbundet. Dessa tillståndsparametrar anses påverka trafiksäkerheten, åkkvaliteten beroende på ojämnheter, framkomligheten, bränsleförbrukningen och miljön för de som befinner sig på eller bredvid grusvägen. Det är också viktigt att kunna bedöma grusvägens dränerings-tillstånd. Om vattnet inte har förmåga att dräneras från vägkroppen uppstår höga vattenkvoter i överbyggnad och terrass. Innestängt vatten i överbyggnaden medför risk för skador, deformationer, bärighetsnedsättning, erosioner, översvämningar och i värsta fall bortspolning av vägen. (Enkell, 2003)

Tillståndsmätningar på grusvägnätet görs idag enligt Trafikverkets metodbeskrivning för bedömning av grusväglag (Trafikverket, 2014). Tillståndsparametrarna ojämnheter, löst grus, damm och tvärfall bedöms individuellt. Bestämning av tvärfall görs, enligt metodbeskrivningen, med rätskiva. Övriga parametrar bedöms subjektivt utifrån visuella inspektioner, där varje väg tilldelas ett eller flera tillståndsvärden 1, 2, 3 eller 4 baserat på dels skadornas svårighetsgrad och dels deras utbredning. Genom att man idag inte insamlar objektiva data över vägytetillståndet hos grusvägar saknas idag en övergripande syn över funktionaliteten hos det svenska grusvägnätet. För det belagda vägnätet samlas tillståndsdata i Trafikverkets managementsystem PMSv3, men här finns idag alltså inte motsvarande data för grusvägar. I dagsläget saknas dock en objektiv mätmetod för ändamålet liksom en objektiv inventeringsmetod för att utvärdera dräneringstillståndet hos en grusväg.

Med en objektiv och mobil mätmetodik för tillståndsbedömning av grusväglag skulle mätningarna kunna effektiviseras och deras tillförlitlighet ökas. En sådan metodik skulle också innebära att resultaten av tillståndsbedömningen inte blir beroende av individen som utfört dem och därmed ökar generaliserbarheten av resultaten. Dessutom blir mätningarna trafiksäkrare för den person som ska utföra dem. En objektiv mätmetodik för att beskriva och följa upp grusvägnätets funktionalitet utifrån väghållarens och användarens krav, skulle kunna ligga till grund för en ny metodbeskrivning för mobila vägytemätningar, definition av lägsta acceptabla standard och underlag till upphandlingar gällande vägkonstruktioner med grusslitlager. Eftersom tillståndet hos en grusväg är snabbt föränderligt, t.ex. vid hyvling eller kraftig nederbörd, är det av största vikt att en hållbar mätstrategi utvecklas som beaktar detta. Eventuellt skulle, som ett komplement, s.k. smarttelefon kunna användas för generell kartläggning av ojämnheter på lågtrafikerade vägar.

Objektiva, mobila metoder för inventering av vägytetillstånd samt dräneringstillstånd hos en grusväg ger indikationer på vart man behöver göra åtgärder och skulle kunna ge bättre möjligheter att göra bedömningar av optimal åtgärd och åtgärdstidpunkt. Modeller av grusvägars tillstånd och nedbrytning kan, i sin tur, ligga till grund för nya effektsamband och samhällsekonomiska modeller. Effekter av olika underhållsstrategier kan också lättare och mer effektivt studeras. Genom att man relativt snabbt

skulle kunna scanna av en grusväg, skulle problemavsnitt kunna identifieras. Exempelvis möjliggör detta en anpassning av erforderlig mängd dammbindningsmedel utifrån vägavsnittets benägenhet att damma. Detta skulle kunna minska livscykelkostnaden för grusvägen.

En objektiv inventeringsmetodik avseende dräneringstillståndet hos en grusväg skulle komma att underlätta valet av optimal underhållsstrategi och därmed minska vägens livscykelkostnader men även, i viss mån, rusta för att bättre kunna hantera konsekvenser av klimatförändring och högre trafiklaster.

1.1. Syfte

Projektet syftar till att utveckla en tillförlitlig, objektiv och mobil metodik för kontinuerlig mätning av tillståndsparametrarna ojämnheter, löst grus, damm och tvärfall på grusväg. Syftet är också att ta fram en objektiv inventeringsmetodik för dräneringstillståndet i en grusvägskonstruktion.

Specifikt syftar projektet till att:

- Föreslå lämpliga metoder/ mått för bestämning av ojämnheter, löst grus, damm och tvärfall på grusväg. Fastställa relevansen i befintliga objektiva mått för belagd väg så att de verkligen kan relateras till efterfrågad funktionalitet på grusväg.
- Se om det går att dela upp ojämnheter i potthål, korrugeringar och spårbildning.
- Föreslå en objektiv inventeringsmetod för dräneringstillståndet hos en grusväg.
- Utvärdera validiteten hos måtten genom jämförande mätningar med visuella tillstånds-mätningar enligt nuvarande metodbeskrivning för bedömning av grusväglag samt utvärdera repeterbarheten och reproducerbarheten hos metodiken genom att göra upprepade mätningar med samma respektive annat mätfordon.
- Innefatta GPS-koppling till olika delsträckor för att möjliggöra enkel identifiering av problemsträckor och möjliggöra olika underhållsåtgärder på olika sträckor.
- Föreslå lämpliga mått och strategier för mätning. Utrustningen bör generera kontinuerliga mätserier med lämplig upplösning. Metodiken bör beakta grusvägens föränderliga tillstånd som vinterväg, väg under tjällossning och sommarväg och ska kunna användas av väghållare, vägentreprenörer och forskare.
- Ge bättre förutsättningar för en ny metodbeskrivning för hur tillståndsmätningar av grusväglag ska utföras som baseras på den nya mätmetodiken.

1.2. Avgränsningar

Studien avgränsas till att gälla för nordiskt klimat, designpraxis, stenmaterial och underhålls-traditioner. Trots dessa begränsningar finns det skäl att tro att resultaten är giltiga för grusvägar i allmänhet, över hela världen. Projektet beaktar utveckling av mått och mätstrategier för nuvarande använda tillståndsparametrar (jämnhet, löst grus, damm och tvärfall) samt dräneringstillstånd. Däremot beaktas inga kostnader för olika mätstrategier och inga rekommendationer för standardnivåer enligt den objektiva grusväglagsbedömningen tas fram. Projektet kommer inte heller att generera modeller för hur nedbrytningen ser ut på provsträckorna över tid.

2. Grusvägstillstånd

Av det statliga Svenska vägnätet utgör ungefär 20 procent eller 20 000 km grusväg (Trafikverket, 2010). Vägar med grusslitlager, dvs. grusvägar, används idag på vägar med en årsdygnstrafik (ÅDT) upp till 250 fordon/dygn (www.trafikverket.se). Om vägen har närbelägen bebyggelse utgör dock 125 fordon/dygn ett maximalt värde. Det funktionella tillståndet på landets grusvägar påverkar väganvändarnas beteende, t.ex. genom att framtvinga en hastighetssänkning eller t.o.m. att annan väg väljs (Johansson, 2006). Det påverkar också användarnas ekonomi eftersom en väg i dåligt skick ökar restiden, fordons- och drivmedelskostnaderna och kan ge upphov till skada hos fraktat gods. Dessutom kommer tillståndet att ha betydelse för trafiksäkerheten (Zegeer et al., 1994).

År 1997 genomfördes en undersökning beträffande hur nöjda trafikanterna var med tillståndet hos grusvägarna (Alzubaidi, 2000). Resultatet visade att cirka 80 procent var missnöjda med tillståndet. Enligt tillståndsmätningar som gjordes enligt dåvarande metodbeskrivning 106:1996 (numera ersatt med TDOK 2014:0135) var 90 procent av vägarna i ett acceptabelt tillstånd. Vid nya undersökningar som utfördes 2005 hade andelen missnöjda trafikanter ökat till 85 procent. Enligt samma undersökning upplevde yrkeschaufför, till skillnad från privatbilister, damm som ett större problem än ojämnheter.

Den låga trafikmängden på grusvägar gör att vägarna inte anses lönsamma att underhålla med dagens samhällsekonomiska beräkningsmodeller. Eftersom det dock ofta inte finns alternativa vägar på det glesa grusvägnätet måste vägarna ändå ha en lägsta acceptabel standard som t.ex. möjliggör att folk tar sig till och från hemmet på ett säkert sätt. En lägsta acceptabel standard, en s.k. ”skamgräns” för hur dålig en väg anses få vara, innebär också säkerställande av en grundläggande framkomlighet, som upplevs vara komfortabel nog. En objektiv sådan standard saknas dock idag. Det behövs således en definiering av en lägsta acceptabel standard för grusvägar, baserad på vetenskapligt underbyggda analyser. Standarden bör kopplas till de fyra tillståndsvärdena tvärfall, ojämnheter, löst grus samt damm. Standarden skulle kunna definieras utifrån två olika nivåer: en miniminivå, som tillgodoser samhällets grundläggande transporter såsom polis-, brandkår-, räddningstjänst-, försvars- och sjuktransporter, och en grundläggande nivå, som tillgodoser medborgarnas, näringslivets och samhällets allmänna transportbehov och främjar samhällsutvecklingen. För att kunna definiera en lägsta acceptabel standard måste dock mer tillförlitliga objektiva tillståndsmått utvecklas. (Vägverket, 2008)

2.1. Vägytetillståndsbedömning

Tillståndsmätningar av grusväglag görs idag subjektivt enligt Trafikverkets metodbeskrivning ”Bedömning av grusväglag” (2014). Mätningar utförs enbart under barmarksperioden. Fyra olika företeelser bedöms var för sig:

- Tvärfall och vägkanter,
- Ojämnheter (potthål, korrugering),
- Löst grus, samt
- Damm

Vid mätningen tilldelas varje bedömd väg ett eller flera tillståndsvärden 1, 2, 3 eller 4 som baseras dels på skadornas svårighetsgrad, dels på deras utbredning. Mätningarna görs subjektivt, utifrån de referensbilder som presenteras i metodbeskrivningen, med undantag för bestämning av tvärfall och vägkanter som enligt metodbeskrivningen kan utföras med tvärfallsmätare och meterstock. Tillståndsvärde 1 eller 2 betyder att vägen har lågt eller måttligt behov av underhållsåtgärder, medan ett tillståndsvärde på 3 eller 4 visar på omedelbara behov av åtgärder. Enbart bristande tvärfall medför dock inga krav på åtgärder. Direkt efter hyvling kan också löst grus få förekomma på vägbanan.

En nackdel med den tillståndsbedömningsmetod som används idag är att den är subjektiv (Trafikverket, 2014). Om okulärbesiktningen görs av tränad/utbildad personal kommer kvaliteten på

utvärderingen av dräneringens tillstånd att förbättras (Aho och Saarenketo, 2006a). Att träna/utbilda personal för att göra dessa utvärderingar är dock förenat med en kostnad. Studier har visat att det finns ett statistiskt signifikant samband mellan okulär väglagsbedömning och uppmätta ojämnheter men att osäkerheten i den subjektiva bedömningen är stor (Carlsson, 1981). I synnerhet tycks det svårt att okulärt bedöma ojämnheter och löst grus (Van der Gryp och Van Zyl, 2007).

Det finns exempel på studier där en laserutrustad mätbil; Laser-RST (Road Surface Tester), använts för att göra objektiva vägytemätningar på grusväg. Laser-RST är ett mätsystem för registrering av vägytans jämnhet baserat på beröringsfri mätning med hjälp av laser- och datorteknik. Mätenheten består främst av 17 avståndsmätande lasergivare som täcker 3,20 meters vägbredd och är monterade utmed bilens front (Fig. 1). (Enkell, 2003)

Figur 1. En mätbil registrerar vägytans jämnhet med hjälp av lasergivare som är monterade utmed bildens front. (Foto: Stig Englundh).

Mätningen kan göras i normal trafikhastighet och ger mått på både längs- och tvärgående ojämnheter som spårdjup och IRI (International Roughness Index), tvärfall, backighet och horisontalkurvatur. Utöver detta registreras vägens längsprofil i båda hjulspåren och ett flertal andra jämnhetsmått beräknas. Det finns även andra liknande system för vägytemätningar. I dag används mätbilarna dock enbart för mätning av tillståndet på belagda vägar, eftersom tillståndet hos dessa inte är lika snabbt föränderligt som på en grusväg, men det är fullt möjligt att även mäta på grusvägar. (Enkell, 2003)

Johansson (2005) utförde mätningar på sex olika grusvägar i Norrbottens och Västernorrlands län med hjälp av en laserutrustad mätbil. Mätningar utfördes vid två olika tidpunkter. Den första mätningen skulle representera vägens tillstånd under tjällossningen och den andra mätningen vägens standard under sommaren då vägen torkat upp, vårbruket[1] utförts och vägen belastas av trafik och klimat. Dessa mätningar jämfördes sedan med förekomsten av bärighetsnedsättning på vägarna, dvs. om tillståndet under någon period var sådant att restriktioner för trafikering av tunga fordon krävdes. Resultatet visar att det inte finns någon entydig koppling mellan bärighet och IRI, spårdjup och tvärfall. Däremot visade resultatet att skevningen i innerkurvor generellt uppfyller kraven på 2,5 till 5,5 procent (Trafikverket, 2014), medan ytterkurvor ligger under detta intervall, vilket innebär för plana kurvor.

Även Sjögren (1998) menar att det, för att kunna göra tillståndsbedömningar med lasermätbil på grusvägar, skulle behöva göras fler och upprepade mätningar för att fastställa lämpliga mått samt noggrannheten hos dessa. Med hjälp av den längsprofil, beträffande ojämnheter, som erhålls kan ett

[1] Vattning, hyvling och dammbindning.

mått på omfattningen av korrugeringar och potthål erhållas. Med hjälp av mätningen av makrotexturen, dvs. ojämnheter 0,5 till 50 mm, skulle ett mått på förekomsten av löst grus kunna ges.

Ett problem med IRI-värden på grusvägar är att de, enligt Saarenketo (2006), inte kan mätas tillförlitligt med användning av lasersensorer. Tester visar å andra sidan att IRI-värden möjligtvis inte behöver vara den bästa indikatorn för körkomfort på lågtrafikerade vägar och att vertikala accelerationsvärden skulle kunna vara bättre indikatorer.

Några olika fordon för mobil mätning av dammhalter har också tagits fram (Fitz och Bufalino, 2002; Etyemezian et al., 2003; Johansson, 2007; Rushing och Tingle, 2007; Thenoux et al., 2007; Edvardsson och Magnusson, 2009). Fitz och Bufalino (2002) väljer att mäta på ett släp efter fordonet som genererar dammet, Etyemezian et al.(2003) samt Johansson (2007) placerar sitt partikelinsug bakom mätbilens framhjul medan Edvardsson och Magnusson (2009) placerar insuget bakom bilen (på bakrutan av en mätbil av kombimodell). Alla metoder tycks generera reproducerbara resultat med god validitet. Dammhalterna är dock beroende av typ av mätbil och dess hastighet. Hastighetsberoendet verkar dessutom inte vara linjärt och tycks också variera beroende på när på året mätningarna genomförs.

Ojämnheter kan mätas via accelerationen som de genererar i bilchassiet. Detta har gjorts i många enklare mätsystem genom åren. Det största problemet med denna metod är att accelerationen utöver effekten från ojämnheter påverkas av vilken hastighet man färdas i, var och hur accelerometern är placerad samt bilens dynamiska egenskaper (däck och fjädring). Smarttelefoner (smartphones) innehåller både accelerationsmätning och positioneringsmöjligheter och är relativt billiga att införskaffa och kan därför vara intressanta för mätning. Flera applikationer finns utvecklade, bland annat har VTI en applikation som numera är riktad för att mäta ojämnheter på cykelvägar. En annan svensk applikation kallas Roadroid. I Roadroid-metoden ingår kalibrering för olika biltyper och två varianter av mått. Det ena är direkt mätning av den vertikala accelerationen och den andra innebär en process av data efter mätningen för att normera mot en fordonsmodell och därmed försöka efterlikna International Roughness Index(IRI). Normalt beräknar man ett kvadratiskt medelvärde hos accelerationssignalen över en viss sträcka, t.ex. 20 eller 100 meter som ett mått på ojämnheter. Tekniken och dess begränsningar har bl.a. beskrivits av Niska och Sjögren (2014) samt Sjögren (2015).

De begränsade resurserna för lågtrafikerade vägars tillståndsskötsel ställer krav på att åtgärder fokuseras till rätt plats. All data bör samlas in på ett sådant sätt att exakt position på vägen blir känd (Aho och Saarenketo, 2006b). Modern positioneringsteknologi och informationssystem möjliggör fokusering av underhålls- och förstärkningsåtgärder till enbart de vägsektioner som behöver dem och definierar de optimala åtgärderna för dessa avsnitt. För att skapa ett bättre fokuserat system, där mer exakt information hanteras, bör en noggrannhet på 1–10 meter väljas, istället för att som idag arbeta med 20–100 m vägavsnitt. Dagens GPS (Globalt Positionerings System)-system klarar av att hantera en noggrannhet på 1–10 m. Nyckelfaktorn ligger i att hitta ett vägundersökningssystem som kan samla in och lagra vägtillståndsdata med korta distansintervall men som också har precisa positionerings-system. (Saarenketo, 2006)

Genom att automatiskt registrera vägtillståndet, via exempelvis inbyggda sensorsystem, såsom EPS (Elektroniskt Stabiliserings Program) och GPS eller smarttelefonapplikationer, sända över informationen via mobiltelefonnätet i realtid och sedan lagra data för varje vägsektion direkt på en karta, t.ex. en GIS-karta på en webhemsida, kan kunskapen om statusen på vägnätet tydliggöras (Saarenketo, 2006). Kartinformationen ger t.ex. möjlighet för väghållaren att effektivisera underhållet genom att en förbättrad planering möjliggörs Johansson et al., 2007). Olika underhållsåtgärder på olika delar av vägnätet kan t.ex. koordineras. Ett sådant system skulle också, på sikt, ge information om de vägavsnitt som har återkommande tillståndsbrister (Saarenketo, 2006). Då skulle driftåtgärder eller t.o.m. strukturella lösningar kunna fokuseras på dessa vägsektioner. Metoden kan också användas för

att kontrollera att vidtagna åtgärder ger önskad effekt, förutsatt att det finns en enkel undersökningsmetod så att insamling av data kan ske relativt ofta (Johansson et al., 2007). Kartinformationen skulle också ge skogsägare, åkerier och andra väganvändare möjligheten att erhålla information och kunna planera och optimera sina transporter och rutter (Saarenketo, 2006).

2.2. Dräneringstillståndsbedömning

Det strukturella tillståndet hos en grusväg är den mest kritiska parametern för dess tillgångsvärde (Johansson, 2006). En grusväg i ett dåligt strukturellt tillstånd kan t.o.m. orsaka akuta bärighetsproblem. I vägens strukturella tillstånd ingår tillståndet hos dräneringssystemet. Det största problemet för alla typer av vägar är vatten. Därför är det viktigt att vägytan utformas med tillräckligt tvärfall och att vattenavrinningssystem såsom diken och trummor hålls vid god vigör. Kraftigt regn kan t.ex. orsaka erosioner om dräneringssystemen är undermåliga Förbättring av det strukturella tillståndet kan också ha positiva effekter genom att tjällossningsproblemen minskas, vinterväglaget förbättras och kostnaden för vinterdriften minskas. (Berntsen och Saarenketo, 2005).

Genom att hålla dräneringssystemet i ett bra tillstånd är det möjligt att förlänga vägkonstruktionens livslängd med en faktor 1,5–2,6 (Berntsen och Saarenketo, 2005; Saarenketo, 2006). Genom att förhindra ett vattenöverskott i vägöverbyggnaden och underliggande terrass säkerställs vägens bärighet och därmed livslängd. Risken för erosion och plötsliga tillgänglighetsproblem minskas också. Dessutom minskas tjällossningsproblemen som i sin tur minskar nödvändigheten av att införa temporära lastrestriktioner pga. bärighetsnedsättning på vägar under tjällossningsperioden. Varje år drabbas ungefär 20 000 km väg av tjälrestriktioner, vars varaktighet i genomsnitt är ungefär 50 dygn (Potucek, 2003), till en kostnad som för enbart skogsbolagen uppskattas uppgå till mellan 700 och 900 miljoner kr per år (Arvidsson och Holmgren, 1999; Potucek, 2003). Trots att ett antal övervakningsmetoder för tjällossning finns på marknaden används i regel subjektiva visuella inspektioner och i Sverige finns idag inget systematiskt tillvägagångssätt för visuell övervakning/ registrering av tjällossningens skador (Saarenketo, 2006).

För att samla in tillförlitlig information om den aktuella vägen, dess tillstånd och uppbyggnad och tillståndet hos geologi och dränering i området kan flera olika metoder användas; såsom Georadarmätning (GPR), profilometertekniker för ojämnhetsinformation, visuell utvärderingsdata gällande dräneringstillstånd, bärighetsmätningar och provtagning från överbyggnader och undergrundsjord. Rörliga deflektionsmätningsenheter kan komma att finnas i framtiden och laserscanners som reproducerar vägytans form kommer att vara till stor hjälp när de också kan användas ekonomiskt på lågtrafikerade vägar. (Aho och Saarenketo, 2006b)

På våren kan GPR-data tillföra användbar information om tillståndet hos dräneringen. Genom att dessutom samla in digital video under tillståndsmätningen kan visuell data utvärderas igen efteråt om det skulle behövas. Videokameran riktas då så att dess bild även täcker in diket. GPS-data bör samlas in samtidigt som den digitala videon för att säkra att problemplatsernas positioner noteras korrekt. Detta tillvägagångssätt medför att all data kan kalibreras till likvärdiga standarder över åren. Då vägens överbyggnad och undergrund är ofrusna kan GPR-mätningar också användas för att ta reda på tjockleken hos slitlagret och bärlagret. Avsaknad av tillräckligt tjockt slitlager kan t.ex. medföra att tvärfallet inte går att forma till ca 4 procent, vilket i sin tur kan leda till vattenavrinningsproblem (Enkell, 2003). Undersökningar med GPR på grusvägar är dock inte alltid är så effektiv på sommaren då dammbindningsmedel tillsätts eftersom saltet som används som dammbindningsmedel påverkar signalen. (Aho och Saarenketo 2006a; Aho och Saarenketo, 2006b)

3. Metod

Nedan beskrivs provsträckor och, på dessa, utförda underhållsåtgärder samt använd mätmetodik och analyserade mått. Detaljerad beskrivning av mätutrustning ges däremot inte. Här hänvisas istället till befintliga metodbeskrivningar.

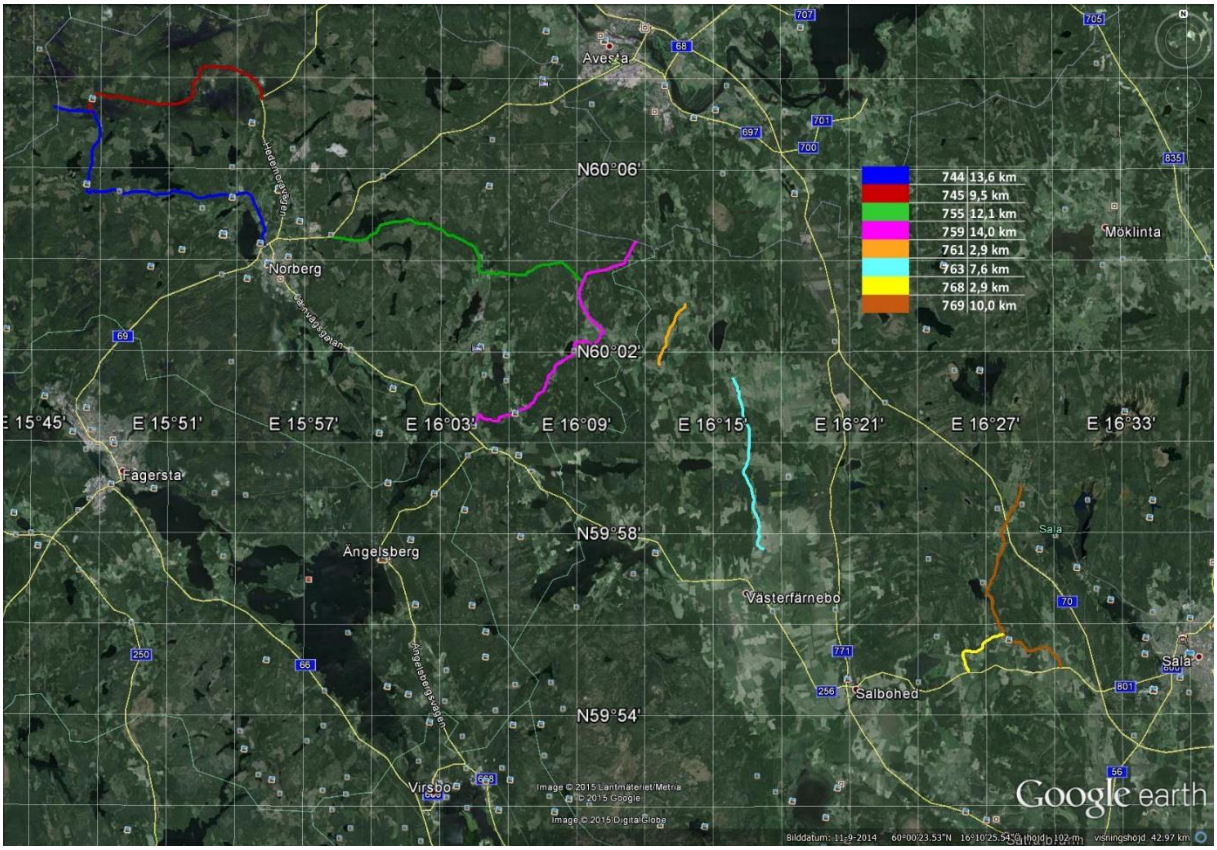
3.1. Provsträckor

Provsträckorna (8 st) beskrivs närmare i Tabell 1 nedan och visas på 1 Beskrivning av provsträckor (data från Trafikverkets PMSv3).

Tabell 1. Beskrivning av provsträckor (data från Trafikverkets PMSv3).

Väg (nr)	Slitlager-typ	ÅDT / Andel tung trafik (dygnsfordon / %)	Väglängd (km)	Vägbredd[a] (m)	Bärighets-klass	Topografi	Rand-bebyggelse
744	Grus (/MJOG och ABT ca 4 km)	70 / 6 (>400 / >20 på ABT)	13,6	4 (6 på ABT)	BK1	Skogsmark	
745	Grus	45 / 4	9,5	3,8	BK1	Skogsmark	
755	Grus (/MJOG)	60 / 7 (>250 / >45)	12,1	4,5	BK2 (BK1)	Skogsmark	
759	Grus (/JIM/ Y1B)	40 / 5 (>300 / 45)	14,0	3,3 (6)	BK1	Skogsmark/ Åkermark	x
761	Grus	-	2,9	-	-	Skogsmark/ Åkermark	x
763	Grus	120 / 8	7,6	4,5	BK1	Skogsmark/ Åkermark	x
768	Y1B	200 / 14	2,9	4	BK1	Skogsmark/ (Åkermark)	x
769	Y1B (IM/BL)	150-450 / 7-37	10,0	4(-6)	BK1	Skogsmark/ Åkermark	x

[a] De vägbredder som finns angivna i Trafikverkets PMSv3 är smalare än de faktiska vägbredderna på sträckorna. Grusvägar breddar sig med tiden eftersom trafiken åstadkommer en utpressning av vägkanterna och kastar gruset åt sidorna och att sedan hyvelföraren drar in vägkanterna vid kantskärning.



Figur 2. Karta som visar provsträckor med vägnummer samt väglängd.(Källa: Google Earth)

3.1.1. Underhållsåtgärder

De underhållsåtgärder som utförts under mätsäsongen framgår av Tabell 2 nedan. Första mätningen gjordes innan vårbruket, dvs. innan vägen djuphyvlats och dammbundits. Detta gjordes dels för att få ett ”före”-värde och dels för att saltet annars riskerade störa mätningar med georadarutrustning (GPR) enligt Aho och Saarenketo (2006a och 2006b). Även mätningar av dikesdjup störs om de görs senare än under tidig vår, eftersom växtligheten då kommer att påverka signalen.

Tabell 2. De underhållsåtgärder som entreprenören Svevia gjort under mätsäsongen 2013 (fram t.o.m. augusti).

Väg (nr.)	Tidpunkt	Åtgärd
744	20:e maj	Dammbindning ca. 7500 liter kalciumkloridlösning (1 m^3/m väg). Ej hyvling/vattning.
	28:e juni	Vattning med vattenbil, hyvling samt komplettering ca. 1500 liter kalciumkloridlösning.
745	15:e maj	Dammbindning med kalciumklorid (1 m^3/m väg).
	27:e maj	Hyvling.
755	21:a maj	Hyvling samt dammbindning med kalciumklorid (1 m^3/m väg).
	19:e augusti	Hyvling (serier[a]).
759	21:a maj	Dammbindning med kalciumklorid (1 m^3/m väg).
	20:e maj	Hyvling.
761	20:e maj	Hyvling samt dammbindning med kalciumklorid (1 m^3/m väg).

Väg (nr.)	Tidpunkt	Åtgärd
763	20:e maj	Hyvling samt dammbindning med kalciumklorid (1 m^3/m väg).
	28:e juni	Hyvling (södra delen)
	19:e augusti	Hyvling (serier[a]).
768	14:e augusti	Potthålslagning med snabelbil.
769	27:e maj	Potthålslagning med snabelbil.
	13:e augusti	Potthålslagning med snabelbil.
	19:e augusti	Potthålslagning med snabelbil.

[a] Sträckan har hyvlats fläckvis efter behov.

3.2. Mätprogram

Mätningar gjordes på alla provsträckor enligt nedanstående mätprogram:

- mätomgång 1: 2013-05-15 (sol, ca.18 °C)
- mätomgång 2: 2013-07-01 (växlande molnighet, ca. 18 °C)
- mätomgång 3: 2013-08-21 (sol, ca.20 °C)

Väg 761 och 763 mättes två gånger i varje riktning samt både förmiddag och eftermiddag vid alla tre mättillfällen. Övriga sträckor mättes en gång i en riktning (söder till norr alt. väster till öster) vid varje mättillfälle.

3.2.1. Utrustning

Följande utrustning användes för mätningarnas genomförande:

- VTI-RST (se Fig. 1) utrustad med DustTrak för partikelmätning.
- Smarttelefon med applikation som mäter ojämnheter som accelerometervärden.
- Digital stillbildskamera monterad i VTI-RST, som per automatik tar en bild var 20:e meter, för visuell bedömning enligt TDOK 2014: 0135 (Trafikverket, 2014).
- Roadscanners mätbilar som mäter damm (som en energiamplitud med hjälp av laser), ojämnheter (med accelerometer) och dikesdjup (med laser) samt gör videoinspelning (Fig. 3). En av bilarna är också utrustad med georadar (GPR); som mäter lagertjocklekar; total överbyggnads- och slitlagertjocklek (Fig. 3 t.h.).

Figur 3. Foto på Roadscanners mätbilar, som använts för mätning av damm och ojämnheter. Högra bilden visar georadarutrustningen, monterad i fronten på en av mätbilarna, som användes för att mäta lagertjocklekar och dikesdjup.(Foto: Karin Edvardsson).

3.2.2. Tillståndsmått och mätmetodik

Från VTI-RST har använts insamlad data avseende:

- GPS-position
- löpande distans (m)
- tvärprofil (från vilket tvärfall beräknats)
- digital stillbild för var 20:e meter (från vilket subjektiv bedömning utförts i efterhand)
- IRI, vänster och höger hjulspår, våglängder 0,5–30 m (enhet mm/m)
- RMS, vänster och höger hjulspår, våglängder 0,5–100 m (enhet mm)
- MRMS, megatextur, vänster och höger hjulspår samt i mellan, våglängder 0,05–0,5 m (enhet mm)
- MPD, makrotextur, vänster och höger hjulspår samt i mellan, våglängder 0,005–0,05 m (enhet mm)
- damm, eg. volymkoncentrationen av PM10 (enhet mg/m3), uppmätt med TSI DustTrak™ enligt metodik beskriven av Edvardsson och Magnusson (2009)
- acceleration, vilket uppmätts medelst en smarttelefonapplikation (enhet m/s2).

Från Roadscanners mätbilar har använts insamlad data avseende:

- GPS-position
- löpande distans (m)
- video
- acceleration (enhet m/s2)
- IRI (enhet mm/m)
- spårdjup (enhet mm)
- damm, uppmätt med laser som laserpulsens reflektionstid som ett medelvärde över vägens tvärprofil, dvs. en längre tid betyder mindre damm (enhet sek)
- dikesdjup (enhet m)
- slitlagertjocklek, från georadarmätning (GPR) (enhet m)
- överbyggnadstjocklek, från GPR-mätning (enhet m).

Accelerationen, vilket är ett mått för magnituden av vibrationer/ojämnheter, uttrycks i enheten m/s2 och uppmäts i tre mot varandra vinkelräta riktningar; längsled (framåt–bakåt) [x], tvärled (sidled) [y] och vertikalt (uppåt–nedåt) [z]. Den vertikala komposanten av accelerationen är använd som mått i denna rapport. Eftersom accelerationen är både negativ och positiv (potthål/gupp) har medelvärdesbildningen skett av absolutvärdet av accelerationens amplitud.

MRMS, som är ett mått för megatextur dvs. ojämnheter mellan 50 och 500 mm, används som annat mått för ojämnheter. Ytterligare tänkbara mått för ojämnheter är de mått som rutinmässigt används på belagda vägar för att beskriva ojämnheter i längsled respektive tvärled; nämligen IRI (International Roughness Index) respektive spårdjup.

Som ett mått för löst grus har använts MPD som står för ”Mean Profile Depth” och är ett mått för makrotextur, dvs. ojämnheter mellan 5 och 50 mm. Även här kan megatexturen utgöra ett lämpligt mått.

Dikesmätningarna utgår från laserprofilmätningar som registrerar en tvärprofil av vägen och dess sidoområde. Därefter har ett beräkningsprogram programmerats att ta fram höjdpunktsnivåer för centrumlinje/vägmitt, vägkanter och djupaste punkten i diket. Kriterier för att ta fram dikesdjupet baseras på vägens genomsnittliga vägbredd. Dikesdjupet beräknas med endera centrumlinjen eller vägkant som referensnivå. Nivån för centrumlinjen kan dock påverkas av närvaron av/ störningar från dammpartiklar, varför höger vägkant valts som referensnivå. Programmet har satts till att söka vägkanter inom ett område om -2 till +2 m från en 1,5 m bred tänkt centerlinje, dvs. vägkanter har

sökts inom ett 5,5 meter brett område/vägbana. Innersläntlutningen är per definition minst 7 grader och dikesbotten/dikesdjupet är begränsat till värden från 0,1 till 2 m inom ett 9 m brett område från respektive vägkant. Ytterslänter beräknas ej. Programmet ger ett värde per meter för vardera sidan. I fall där diket innehåller mycket vegetation, vatten eller där vägkanten är kraftigt deformerad kan denne beräkningsmetodik fungera dåligt.

Tabell 3 nedan visar en sammanställning av insamlade parametrar och tillståndsmått samt deras bedömda/uppskattade påverkan på löst grus, dikesdjup, tvärfall, ojämnheter och damm (klassificering 0–5; där 0 betyder ingen bedömd påverkan och 5 betyder bedömd påverkan i mycket hög grad).

Tabell 3. Sammanställning av insamlade parametrar och tillståndsmått samt deras bedömda/uppskattade påverkan på löst grus, dikesdjup, tvärfall, ojämnheter och damm (klassificering 0-5; där 0 betyder ingen bedömd påverkan och 5 betyder bedömd påverkan i mycket hög grad).

	Förklaring	Enhet	Löst grus	Dikning	Tvärfall	Ojämnheter	Damm
Distans		(m)					
GPS_E	Koordinat East RST	(m)					
GPS_N	Koordinat North RST	(m)					
RST_ACC_L	Acceleration mätt med RST_vänster hjulspår (hastighetsberoende)	(m/s^2)	2	0	0	3	0
RST_ACC_R	Acceleration mätt med RST_höger hjulspår (hastighetsberoende)	(m/s^2)	2	0	0	3	0
APP_RMS	Acceleration mätt med ”Appen” (hastighetsberoende)	(m/s^2)	2	0	0	3	0
PM10	PM_{10}-partikelhalt uppmätt med DustTrak	(µg/m3)	2	1	1	0	5
IRI V	IRI i vänster hjulspår	(mm/m)	1	0	0	3	1
IRI H	IRI i höger hjulspår	(mm/m)	1	0	0	3	1
IRI HT	IRI i höger hjulspår för tung trafik	(mm/m)	1	0	0	3	1
LO L auto	Lokal ojämnhet vänster hjulspår för personbil	(m/s^2)	1	0	0	5	1
LO H auto	Lokal ojämnhet höger hjulspår för personbil	(m/s^2)	1	0	0	5	1
LO L truck	Lokal ojämnhet vänster hjulspår för lastbil	(m/s^2)	1	0	0	5	1
LO R truck	Lokal ojämnhet höger hjulspår för lastbil	(m/s^2)	1	0	0	5	1
MPD V (ord)	Makrotextur, MPD vänster hjulspår	(mm)	4	0	0	1	3
MPD M (ord)	Makrotextur, MPD mellan hjulspår	(mm)	4	0	0	1	3
MPD H (ord)	Makrotextur, MPD höger hjulspår	(mm)	4	0	0	1	3
MPD V (inv)	Makrotextur, Inverterad MPD vänster hjulspår (djup)	(mm)	4	0	0	1	3
MPD M (inv)	Makrotextur, Inverterad MPD mellan hjulspår (djup)	(mm)	4	0	0	1	3
MPD H (inv)	Makrotextur, Inverterad MPD höger hjulspår (djup)	(mm)	4	0	0	1	3
Megatextur V	Megatextur i vänster hjulspår (0,05–0,5 m)	(mm)	3	0	0	4	1
Megatextur M	Megatextur mellan hjulspår (0,05-0,5 m)	(mm)	3	0	0	4	1
Megatextur H	Megatextur i höger hjulspår (0,05–0,5 m)	(mm)	3	0	0	4	1
RMS_1 V	Ojämnheter i vänster hjulspår (0,5–1 m)	(mm)	2	0	0	4	1
RMS_1 H	Ojämnheter i höger hjulspår (0,5–1 m)	(mm)	2	0	0	4	1
RMS_1 HT	Ojämnheter i höger hjulspår för tung trafik (0,5–1 m)	(mm)	2	0	0	4	1

	Förklaring	Enhet	Löst grus	Dikning	Tvärfall	Ojämnheter	Damm
RMS_2 V	Ojämnheter i vänster hjulspår (1–3 m)	(mm)	1	0	0	3	1
RMS_2 H	Ojämnheter i höger hjulspår (1–3 m)	(mm)	1	0	0	3	1
RMS_2 HT	Ojämnheter i höger hjulspår för tung trafik (1–3 m)	(mm)	1	0	0	3	1
RMS_3 V	Ojämnheter i vänster hjulspår (3–10 m)	(mm)	0	0	0	2	0
RMS_3 H	Ojämnheter i höger hjulspår (3–10 m)	(mm)	0	0	0	2	0
RMS_3 HT	Ojämnheter i höger hjulspår för tung trafik(3–10 m)	(mm)	0	0	0	2	0
RMS_4 V	Ojämnheter i vänster hjulspår (10–30 m)	(mm)	0	0	0	2	0
RMS_4 H	Ojämnheter i höger hjulspår (10–30 m)	(mm)	0	0	0	2	0
RMS_4 HT	Ojämnheter i höger hjulspår för tung trafik(10–30 m)	(mm)	0	0	0	2	0
RSC_ACC_X	Acceleration mätt av RSC i längsled (hastighetsberoende)	(m/s^2)	0	0	0	0	0
RSC_ACC_Y	Acceleration mätt av RSC i tvärled (hastighetsberoende)	(m/s^2)	0	0	0	2	0
RSC_ACC_Z	Acceleration mätt av RSC i vertikal (hastighetsberoende)	(m/s^2)	2	0	0	3	0
DITCH_LEFT_X	Dikets lokalisering/ distans från vä-sidas centerlinje (punkt som RSC tagit ut som dikets lägsta punkt)	(m)	0	3	0	0	0
DITCH_LEFT_Y	Dikesdjup vänster sida	(m)	0	5	0	0	0
DITCH_RIGHT_X	Dikets lokalisering/ distans från hö-sidas centerlinje (punkt som RSC tagit ut som dikets lägsta punkt)	(m)	0	3	0	0	0
DITCH_RIGHT_Y	Dikesdjup höger sida	(m)	0	5	0	0	0
RSC_DUST_LEFT	Dammbildning 0–1 m till vänster om bilens mitt	(sek för ljusreflektion)	2	1	1	0	5
RSC_DUST_RIGHT	Dammbildning 0–1 m till höger om bilens mitt	(sek för ljusreflektion)	2	1	1	0	5
RSC_DUST_AVERAGE	Dammbildning medel (-1 till 1 m bakom bilens mitt)	(sek för ljusreflektion)	2	1	1	0	5
RSC_RUT_LEFT	Spårdjup vä-hjulspår	(mm)	0	0	0	0	0
RSC_RUT_RIGHT	Spårdjup hö-hjulspår	(mm)	0	0	0	0	0
RSC_RUT_MAX	Max spårdjup	(mm)	0	0	0	0	0
WEARING_COURSE	Slitlagertjocklek	(mm)	0	0	0	3	0
ROAD_DEPTH	Överbyggnadstjocklek	(mm)	0	0	0	2	0
SLP_1	Tvärfall höger sida (i mätriktningen)	(%)	0	0	5	0	2
SLP_2	Tvärfall vänster sida (mot mätriktning, beräknas och bör användas med försiktighet)	(%)	0	0	3	0	2

Insamlad mätdata har olika upplösning (eg. cm, dm, m, 20 m, etc.) och mäts också på olika ställen: framför bilen (visuella tillståndsbedömningar), i fronten på bilen (VTI-RST), bakom bilen (Roadscanners sveplaser) respektive bakom bilen med fördröjning (dammätning med DustTrak™). Olika upplösningar (eg. 1 m, 20 m och 100 m) har analyserats i syfte att försöka hitta en passande upplösning för grusväg. Subjektiva bedömningar, utifrån tagna, stillbilder har dock enbart gjorts för var 20:e meter. Analyserna med avseende på måttens överensstämmelse mot subjektiva bedömningar är därför gjord enbart för denna upplösning.

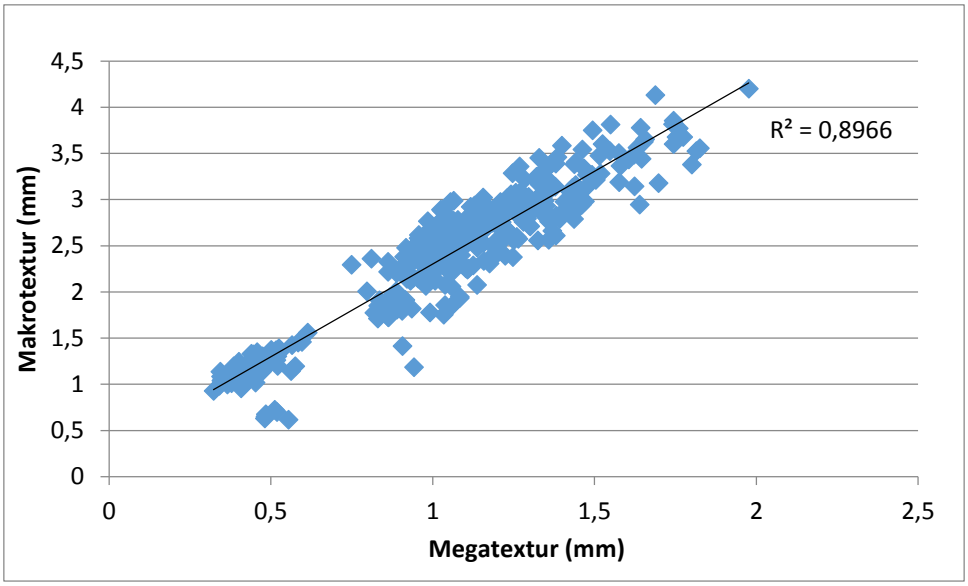
För att testa validiteten hos metoden för dikesdjupbestämning (se Kap. 4.2) gjordes förutom upprepade mätningar även stickprovskontroller längs väg nr. 761 (ungefär halva sträckan) för hand med hjälp av tumstock, vid samma tillfälle som den objektiva mätningen gjordes med mätbilen. Dikesdjupet mättes från dikesbotten till vägkant i vänster respektive höger dike. I de fall diken saknades eller då avrinning saknades; t.ex. på grund av kantöverhäng, sattes dikesdjupet till 0. Vid varje distansposition för stickprovskontroll gjordes, för jämförelse, 5 meters medelvärden (N=5) för de värden för dikesdjup som erhållits från mätbilen.

4. Resultat

4.1. Tillståndsmått för bedömning av grusväglag

Precis som på belagd väg tycks repeterbarheten hos tillståndsmätningar av vägytan med mätbil generellt vara god även på grusväg, dvs. trots det faktum att det inte går att köra i exakt samma spår vid olika överfarter så är mätresultaten för de olika tillståndsmåtten mycket likartade mellan olika överfarter vid samma tillfälle. Det är däremot svårt att hitta korrelation mellan olika tillståndsmått; t.ex. mellan ojämnhet och löst grus eller löst grus och damm.

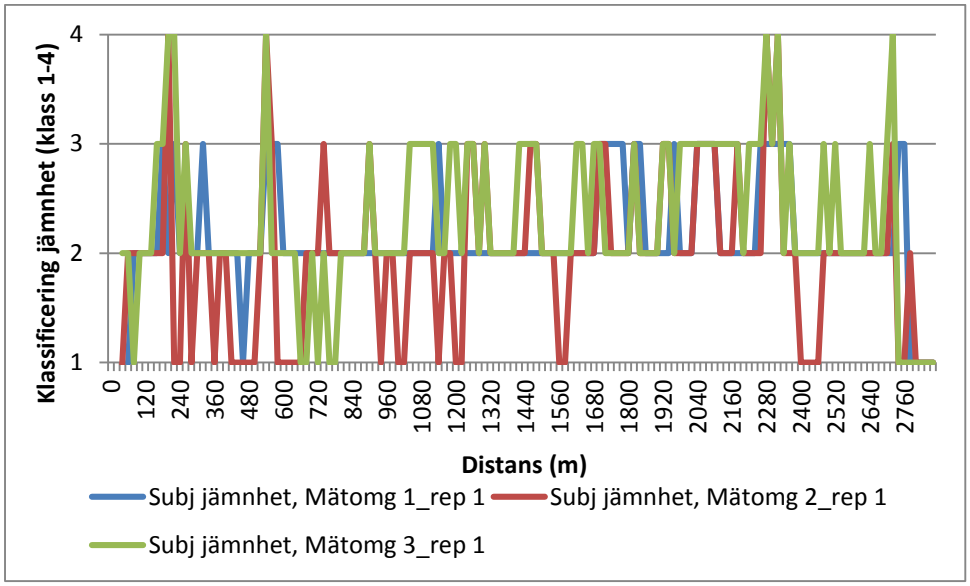
De egentligen enda tillståndsmått som visar god korrelation (R2= 0,90) är megatextur (MRMS-data) och makrotextur (MPD-data) (Fig. 4).



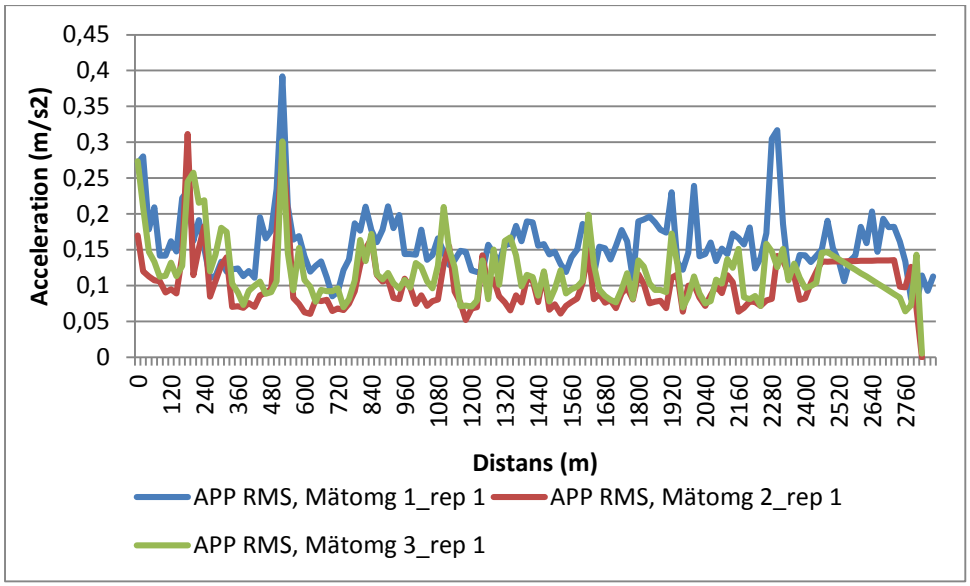
Figur 4. Korrelation mellan megatextur (MRMS-data) och makrotextur (MPD-data) på väg 763, mätomgång 1 den 15:e maj 2013.

4.1.1. Jämnhet

Resultatet av jämnhetsmätningarna visar på god överensstämmelse över tiden, dvs. ojämnheter förekommer på samma platser längs vägen även över tid och subjektiva mätningar (bedömning utifrån foton) tycks relativt samstämmiga med objektiva mätningar (se Fig. 5–6, där väg 761 används som exempel). Av de tillståndsmått som använts (se Tabell 3) tycks accelerationsvärdet (RMS) från smarttelefonapplikationen korrelera bäst med den subjektiva bedömda jämnheten på vägsträckorna. På resultaten av jämnhetsmätningarna med applikationen (APP RMS) över tiden syns att grusvägen är mest ojämn vid den första mätningen (mätomgång 1 den 15:e maj) och minst ojämn vid den andra mätningen (mätomgång 2 den 1:a juli) (Fig. 6).

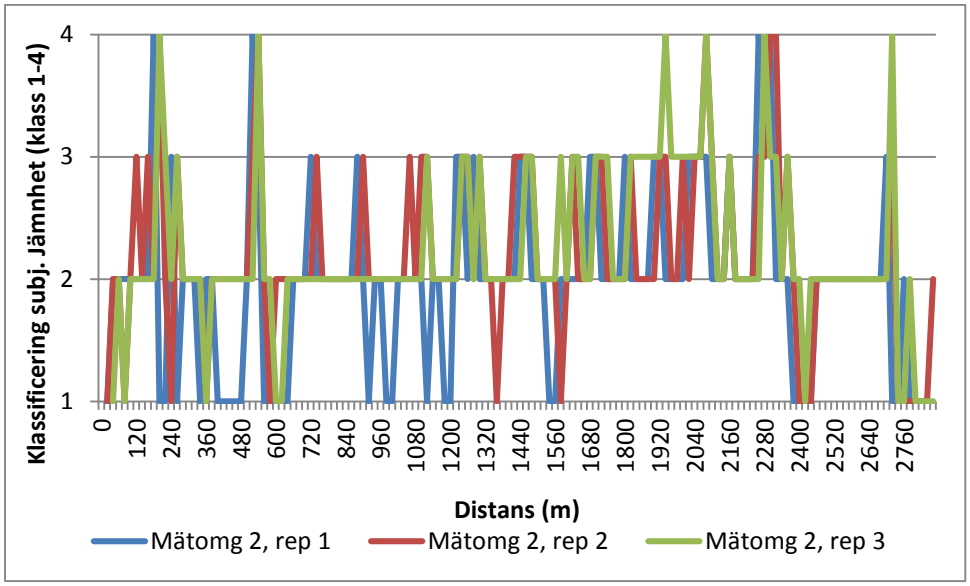


Figur 5. Subjektivt bedömd jämnhet på väg 761 utifrån foton tagna var 20:e meter, där klass 1 motsvarar en jämn väg och klass 4 en mycket ojämn väg. Jämnheten visas som variation över tiden; dvs. första repetitionen för respektive mätomgång. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.

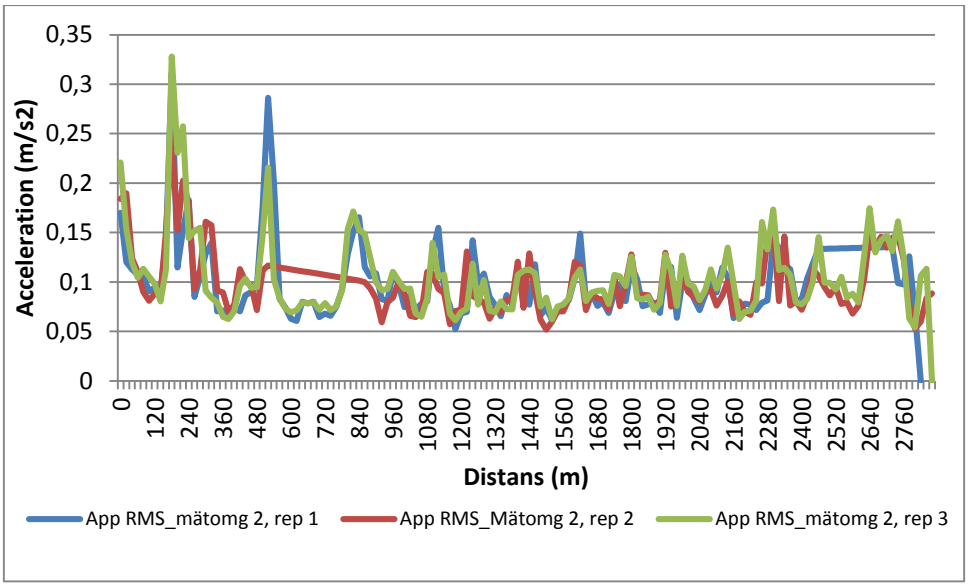


Figur 6. Jämnhet på väg 761 visad som accelerationsvärde (RMS) uppmätt med smarttelefonapplikation (APP RMS). Jämnheten visas som variation över tiden; dvs. första repetitionen för respektive mätomgång. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.

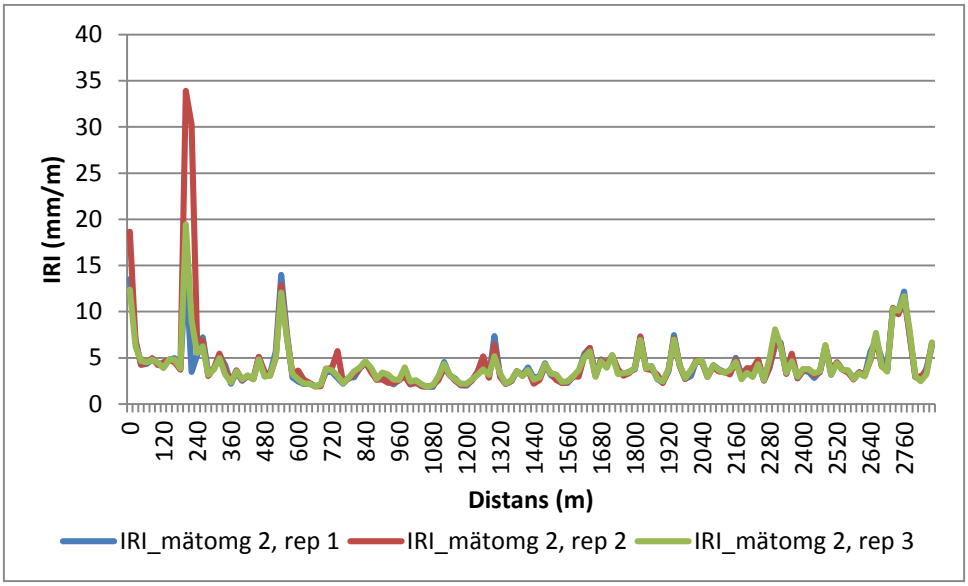
Flera olika tillståndsmått har analyserats med avseende på repeterbarhet och överensstämmelse med subjektivt bedömd ojämnhet. Figur 7 visar den subjektiva klassificeringen som gjorts utifrån stillbildsfoton tagna med mätbilens digitala stillbildskamera för var 20:e meter vid tre repeterade körningar längs väg 761 vid mätomgång 2; den 1:a juli 2013. Figur 8 visar motsvarande serier för accelerationen som mätts med smarttelefonapplikationen (APP RMS) och Figur 9 visar motsvarande serier för uppmätta IRI-värden längs grusvägen. Mätserier för parametrarna RMS, lokala ojämnheter och maximalt spårdjup som uppmätts med mätbil samt absolutbeloppet av accelerationen som uppmätts med två olika mätbilar redovisas i Bilaga 1. För de tre ”topparna” vad gäller ojämnheter (Fig. 7) på väg 761 redovisas stillbilder för respektive distans i Figur 10–12. Repeterbarheten för tillståndsmåtten tycks förhållandevis god frånsett driftstörningar i applikationen.



Figur 7. Subjektivt bedömd jämnhet på väg 761 utifrån foton tagna var 20:e meter, där klass 1 motsvarar en jämn väg och klass 4 en mycket ojämn väg. Figuren visar bedömd jämnhet för tre upprepade mätningar vid mätomgång 2; den 1:a juli 2013. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.



Figur 8. Jämnhet på väg 761 visad som accelerationsvärde (RMS) uppmätt med smarttelefonapplikation (APP RMS). Figuren visar accelerationsvärden för tre upprepade mätningar vid mätomgång 2; den 1:a juli 2013. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.



Figur 9. Jämnhet på väg 761 visad som IRI-värde. Figuren visar IRI-värden för tre upprepade mätningar vid mätomgång 2; den 1:a juli 2013. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.

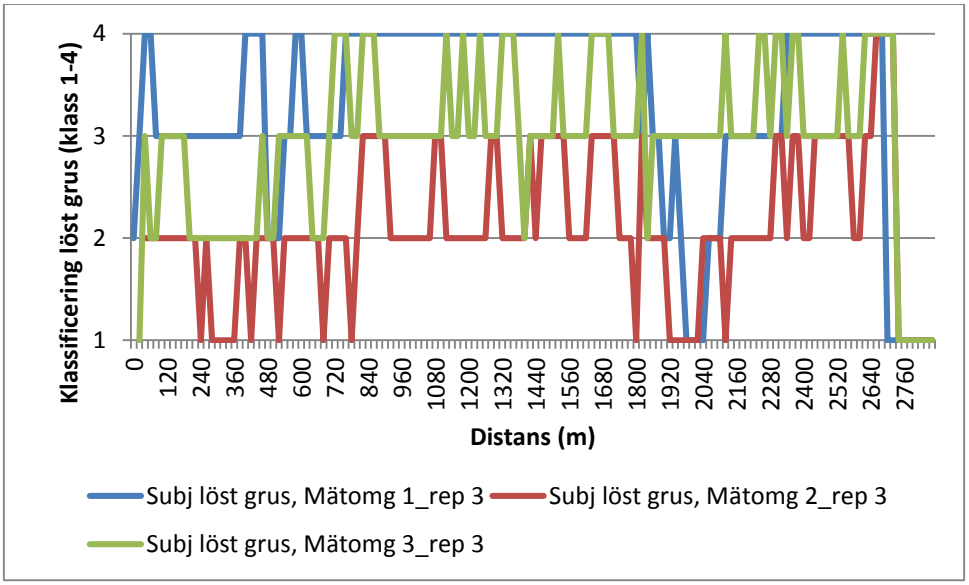
Figur 10. Stillbildsfoto för distans 180 m på väg 761, mätomgång 2 den 1:a juli 2013.

Figur 11. Stillbildsfoto för distans 520 m på väg 761, mätomgång 2 den 1:a juli 2013.

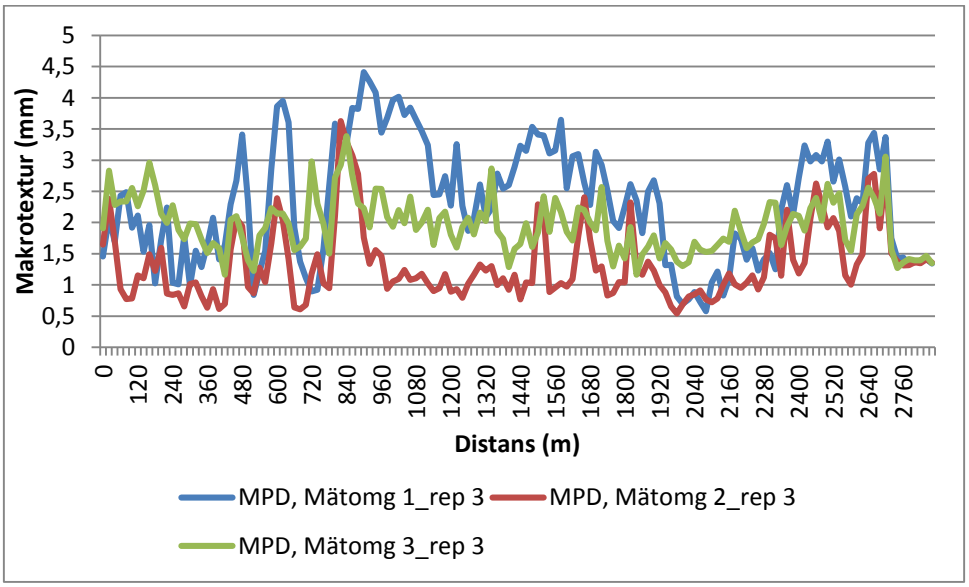
Figur 12. Stillbildsfoto för distans 2260 m på väg 761, mätomgång 2 den 1:a juli 2013.

4.1.2. Löst grus

Resultatet av mätningarna av mängden löst grus på vägbanan visar, i likhet med tillståndsmåttet för jämnhet, att lösgruset tenderar att förekomma på samma platser längs vägen över tid. Figur 13 visar resultatet av de subjektiva bedömningarna som gjorts utifrån foton för var 20:e meter på väg 761 och Figur 14 visar resultatet av objektiva mätningar som gjorts med lasermätbil på samma sträcka. Av de tillståndsmått som använts (se Tabell 3) tycks makrotexturvärdet (MPD) korrelera bäst med den subjektiva bedömningen på vägsträckorna. På resultaten i Figur 14 syns tydligt att grusvägytan är minst bunden vid den första mätningen (mätomgång 1 den 15:e maj) och mest bunden vid den andra mätningen (mätomgång 2 den 1:a juli).

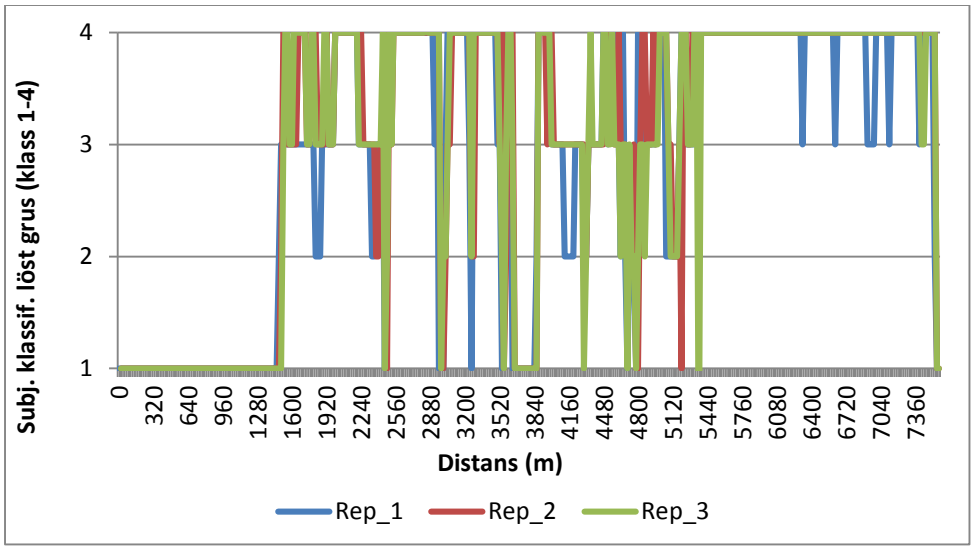


Figur 13. Subjektiv bedömning av mängden löst grus på väg 761 utifrån foton tagna var 20:e meter, där klass 1 motsvarar avsaknad av löst grus och klass 4 mycket löst grus (på hela vägbredden). Resultatet visas som variation över tiden; dvs. sista repetitionen för respektive mätomgång redovisas. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.

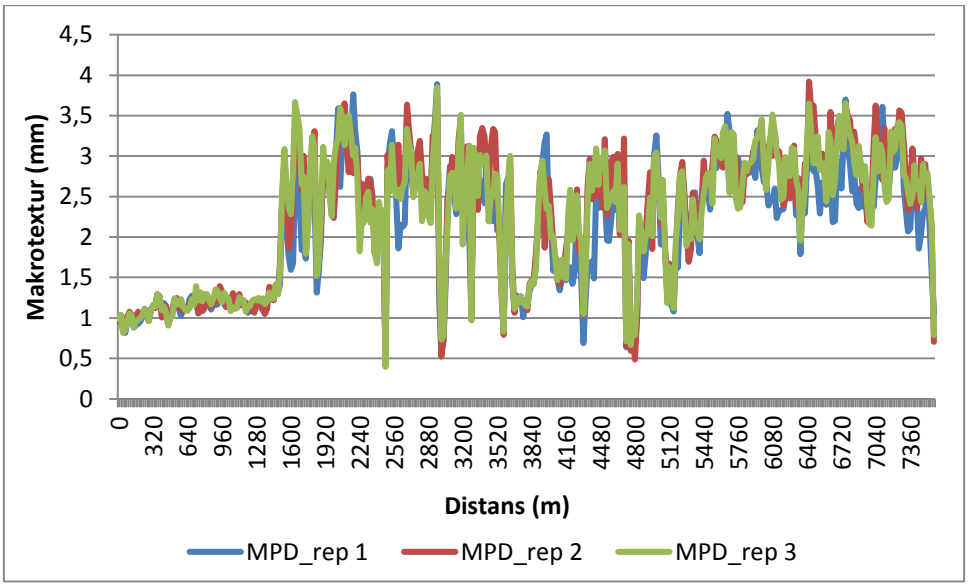


Figur 14. Mängden löst grus på väg 761 visad som uppmätt makrotextur (MPD). MPD-värden visas som variation över tiden; dvs. sista repetitionen för respektive mätomgång redovisas. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.

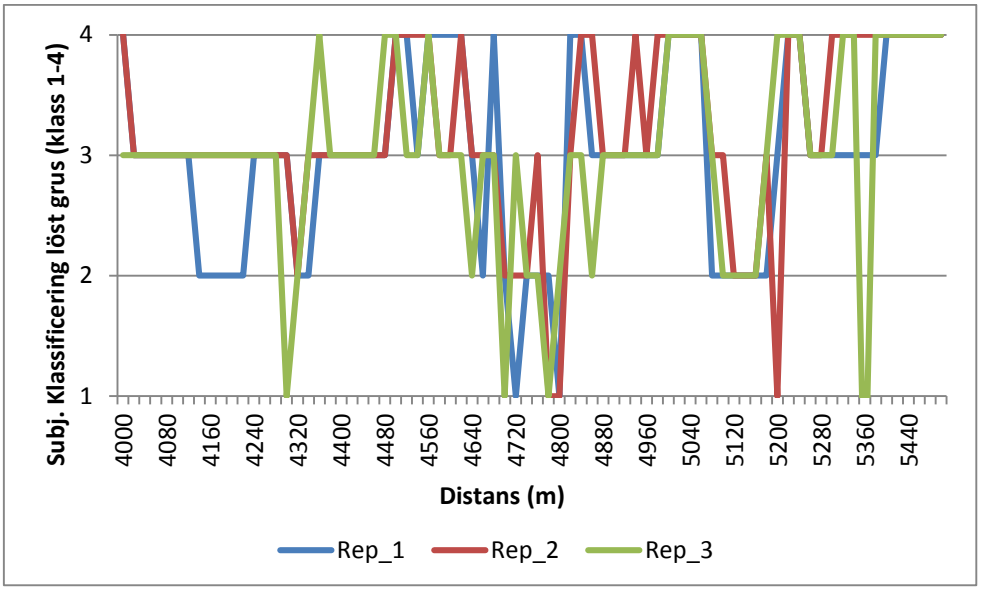
I Figur 15 visas resultatet av den subjektiva klassificeringen av mängden löst grus på väg 763 som gjorts utifrån stillbildsfoton tagna för var 20:e meter vid tre repeterade körningar vid mätomgång 1 den 15:e maj 2013. För jämförelse visas i Figur 16 motsvarande serier för uppmätta makrotexturvärden (MPD) längs grusvägen. För att få en tydligare bild av repeterbarheten och validiteten hos metoden har en detaljstudie av distans 4 000–5 500 m gjorts (Fig. 17–18). Resultaten antyder en god repeterbarhet för makrotexturmätning av grusväglag och en relativt god validitet jämfört med subjektiva bedömningar.



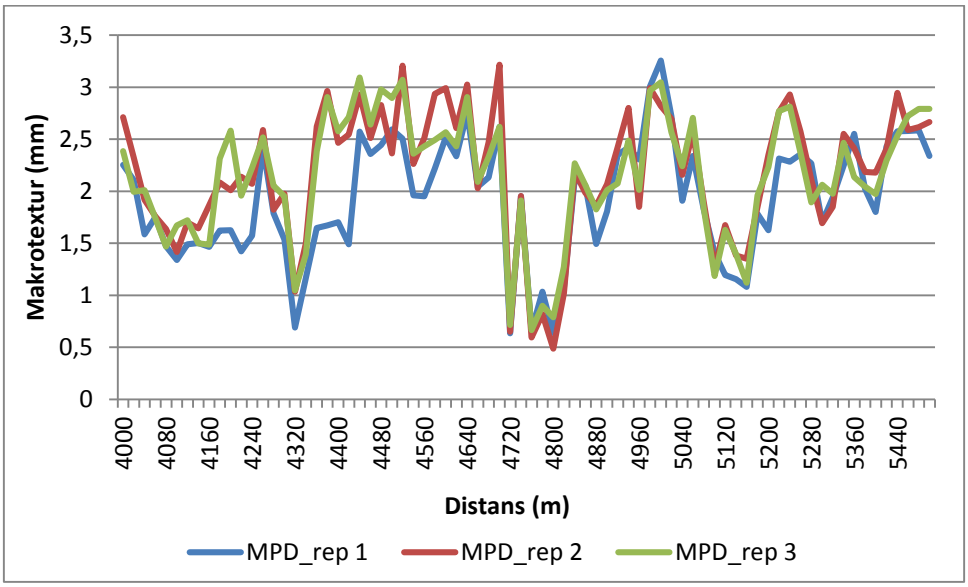
Figur 15. Subjektiv bedömning av mängden löst grus på väg 763 utifrån foton tagna var 20:e meter, där klass 1 motsvarar avsaknad av löst grus och klass 4 mycket löst grus (på hela vägbredden). Figuren visar bedömd mängd löst grus för tre upprepade mätningar (rep 1 kl. 9.00, rep 2 och 3 kl. 14.00) vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013. Distans 0–1 480 meter är belagd.



Figur 16. Mängden löst grus på väg 763 visad i form av makrotextur (som MPD-värde). Figuren visar MPD-värden för tre upprepade mätningar (rep 1 kl. 9.00, rep 2 och 3 kl. 14.00) vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013. Distans 0–1 480 meter är belagd.



Figur 17. Detaljstudie avseende mängden löst grus på distans 4 000–-5 500 m på väg 763 vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013 (rep 1 kl. 9.00, rep 2 och 3 kl. 14.00). Subjektiv bedömning där klass 1 motsvarar avsaknad av löst grus och klass 4 mycket löst grus (på hela vägbredden).



Figur 18. Detaljstudie avseende uppmätt makrotextur (MPD) på distans 4 000–5 500 m på väg 763 vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013 (rep 1 kl. 9.00, rep 2 och 3 kl. 14.00).

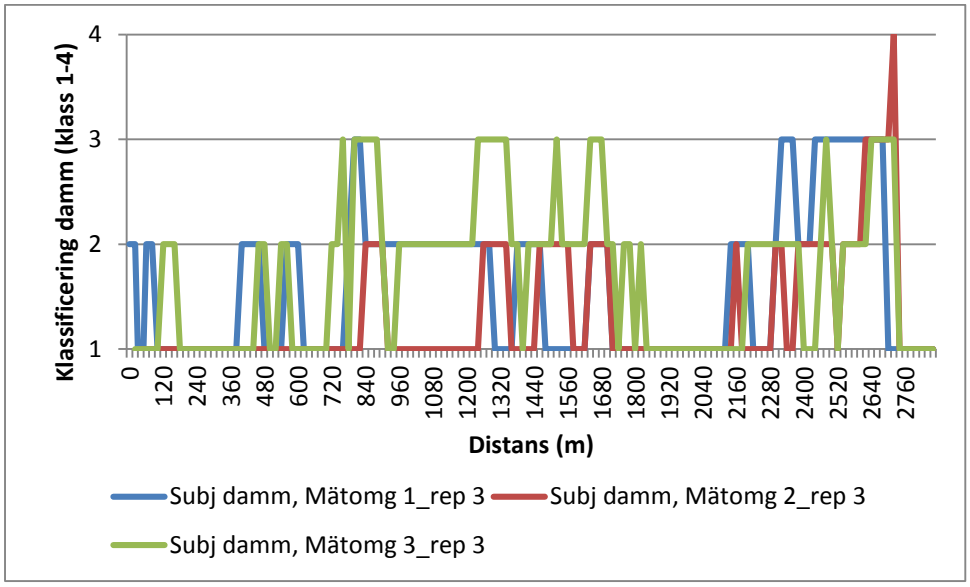
I Figur 19 respektive 20 nedan ses stillbildsfoton för distansen längs vägen (763) som har det lägsta respektive högsta MPD-värdet enligt vägytemätningen (Fig. 18).

Figur 19. Stillbildsfoto för distans 4 800 m på väg 763 (lägst MPD-värde), mätomgång 1 den 15:e maj 2013.

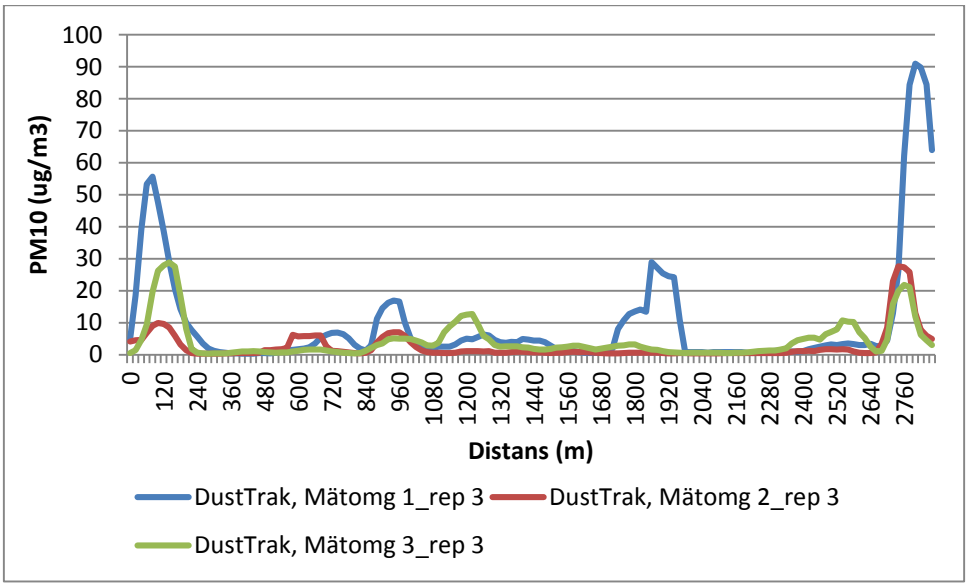
Figur 20. Stillbildsfoto för distans 5 000 m på väg 763 (högst MPD-värde), mätomgång 1 den 15:e maj 2013.

4.1.3. Damm

Sett över säsongen visar mätningarna att dammhalterna varierar på samma sätt, dvs. samma vägsträckor dammar lite respektive mycket över tid, men att halterna är olika stora beroende på tidpunkt (Fig. 21–22). Dammhalterna är högst vid mätomgången som görs på våren innan grusvägen dammbundits medan de är lägst direkt efter dammbindning och därefter ökar halterna igen över sommaren.



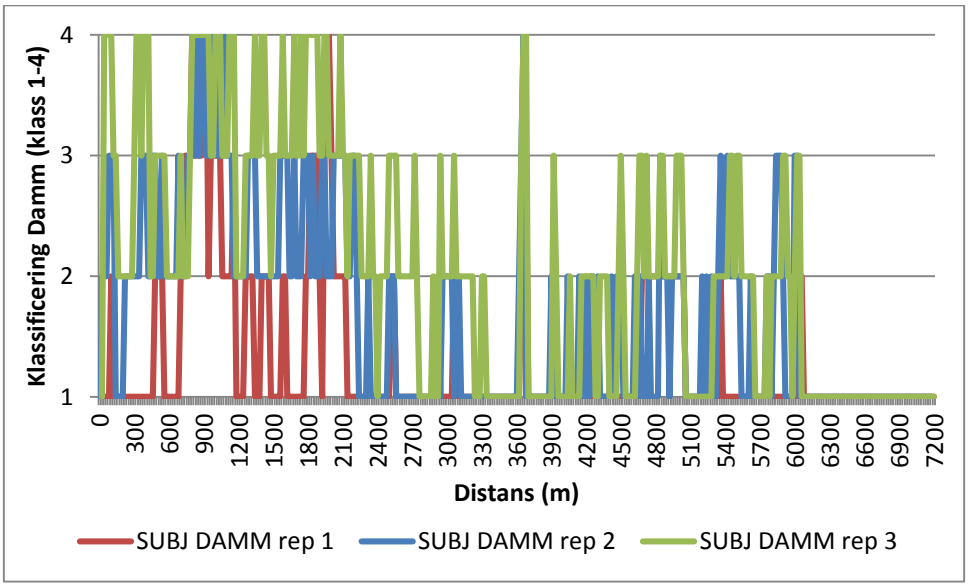
Figur 21. Subjektiv bedömning av mängden damm på väg 761 utifrån foton tagna var 20:e meter, där klass 1 motsvarar avsaknad av damm och klass 4 mycket damm. Resultatet visas som variation över tiden; dvs. sista repetitionen för respektive mätomgång redovisas. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.



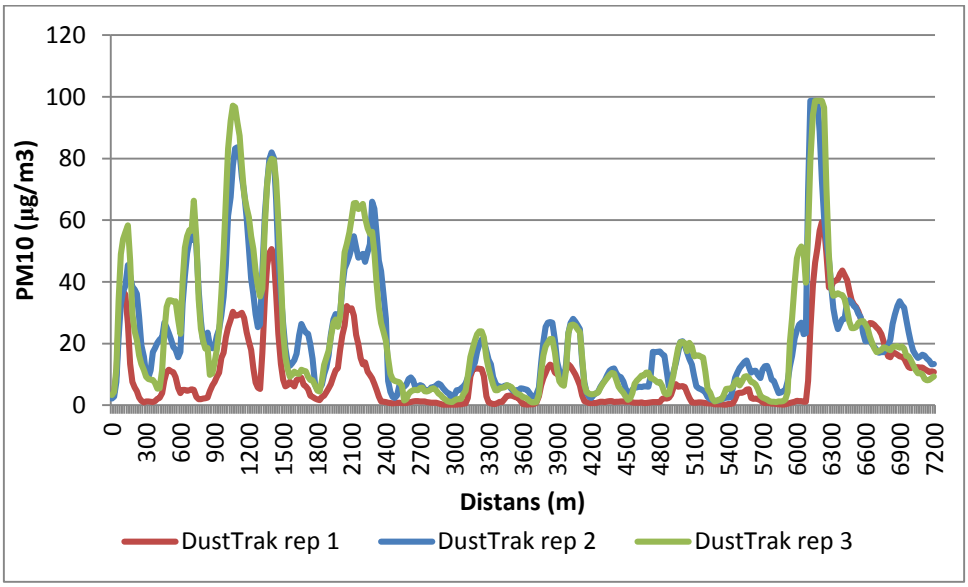
Figur 22. Mängden damm på väg 761 visad som PM10-halt (uppmätt med DustTrak påkopplad på mätbilen). PM_{10}-halterna visas som variation över tiden; dvs. sista repetitionen för respektive mätomgång redovisas. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.

Båda de testade måtten (eg. TSI DustTrak™ respektive Roadscanners laser) för att mäta damm visar på relativt god validitet och repeterbarhet (Fig. 23–25). Däremot tycks DustTraks PM10-värden ligga

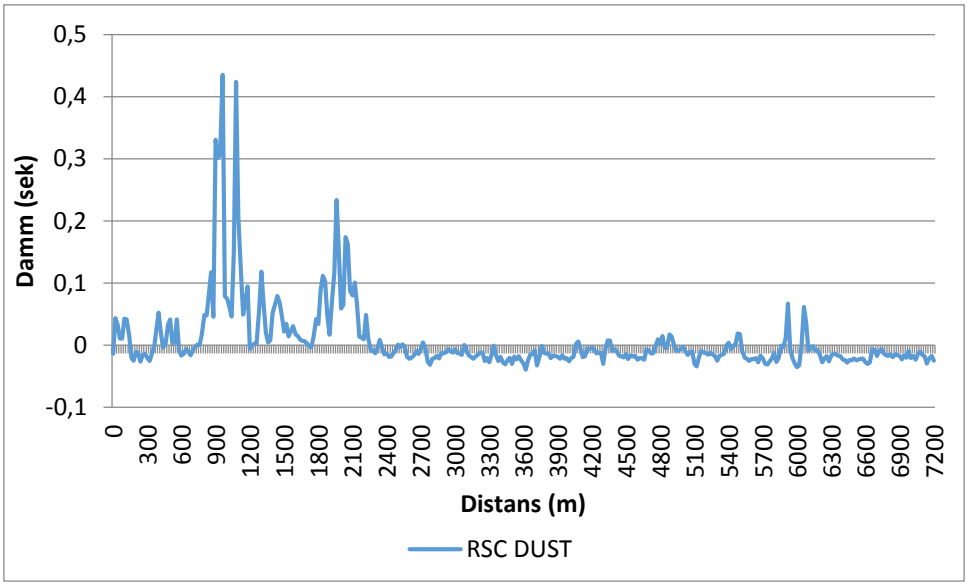
förskjutna något i tiden då det med denna metod tar några sekunder från det att dammet genereras på vägen till dess att mätutrustningen registrerar det.



Figur 23. Subjektiv bedömning av mängden damm på väg 763 utifrån foton tagna var 20:e meter, där klass 1 motsvarar avsaknad av damm och klass 4 mycket damm. Figuren visar bedömd mängd damm för tre upprepade mätningar (rep 1 kl. 9.00, rep 2 och 3 kl. 14.00) vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013. Distans 3700-3900 samt 6 060–7 200 meter är belagd.



Figur 24. PM_{10}-värden (uppmätta med DustTrak påkopplad på mätbilen) för tre upprepade mätningar (rep 1 kl. 9.00, rep 2 och 3 kl. 14.00) på väg 763 vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013. Distans 3 700–3 900 samt 6 060–7 200 meter är belagd.



Figur 25. Mängden damm på väg 763 visad i form av mätning med laser (utförd av Roadscanners) vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013. Distans 3 700–3 900 samt 6 060–7 200 meter är belagd.

För jämförelse visas i Figur 26-28 nedan stillbildsfoton för distanserna 1080 m, 6000 m respektive 6160 m längs vägen (763).

Figur 26. Stillbildsfoto för distans 1 080 meter på väg 763, mätomgång 1 den 15:e maj.

Figur 27. Stillbildsfoto för distans 6 000 meter på väg 763, mätomgång 1 den 15:e maj.

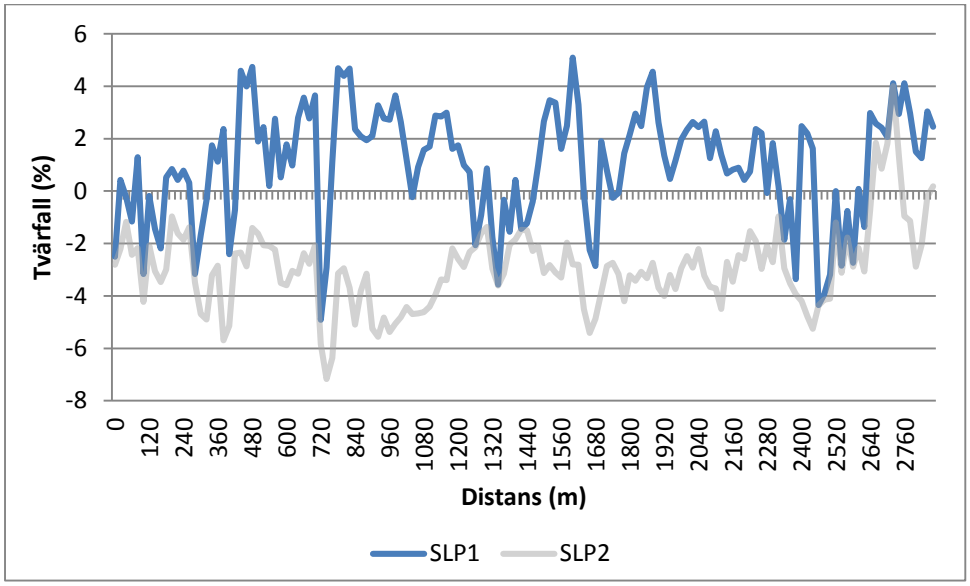
Figur 28. Stillbildsfoto för distans 6 160 meter på väg 763, mätomgång 1 den 15:e maj.

4.1.4. Tvärfall och lagertjocklek

Eftersom grusvägar i regel är smalare än belagda vägar behöver tvärfallet på grusvägar definieras på ett annorlunda sätt. I och med att många grusvägar är så kallade tvåspårsvägar där mätbilen mätt ganska nära ”mitt i vägen” skulle det tvärfallsvärde som mäts vara ganska nära noll (dvs. måttet skulle säga att vägen saknar lutning) även om det egentliga tvärfallet skulle ha godkänd procentuell lutning. Ett nytt tvärfallsvärde programmerades därför enligt följande definition:

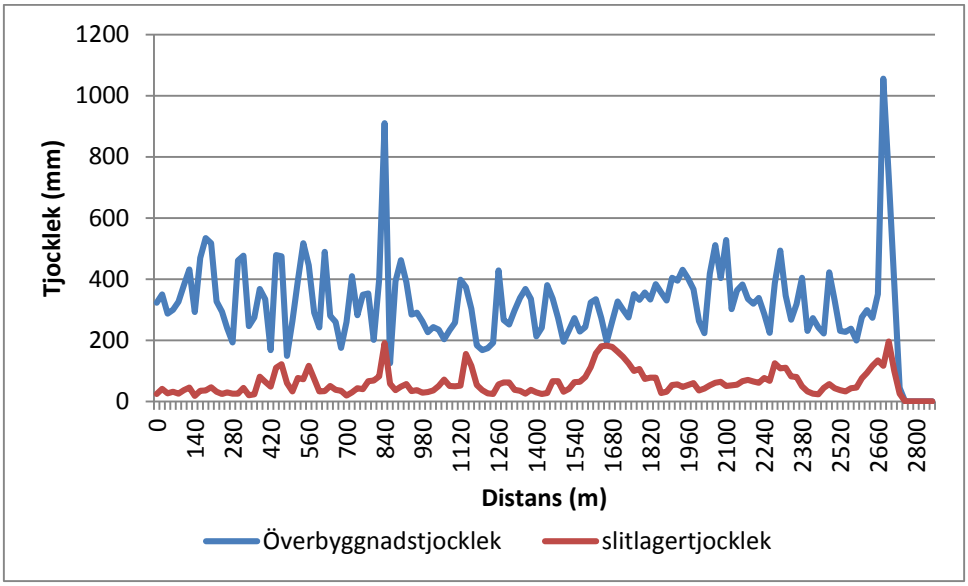
1. Utgå från medeltvärprofilen och rotera den med det tvärfallsvärde som uppmäts (således erhålls en geometriskt ”riktig” tvärprofil).
2. Sök upp den högsta punkten i profilen.
3. Beräkna lutningen från denna punkt (2) och beräkna lutningen åt höger resp. vänster. Då erhålls tvärfallet för båda körriktningarna.
4. Om det är enkelsidigt tvärfall kommer detta ändå att fungera eftersom tvärfallet beräknas för utifrån alla de 15 mittersta lasermätpunkterna (eftersom grusvägar ofta är relativt smala används inte alla 17 mätpunkter). I detta fall erhålls endast ett tvärfallsvärde.
5. Tvärfallet beräknas både med regressionslinjens lutning och som lutningen mellan högsta och lägsta punkten.

Figur 29 nedan visar ett exempel på uppmätt tvärfall på en av provsträckorna (väg 761). SLP1 visar uppmätt tvärfall på höger sida (i mätriktningen). SLP2 visar uppmätt tvärfall på vänster sida (mot mätriktningen). Det senare beräknas utifrån grundmätdata och bör användas med försiktighet.

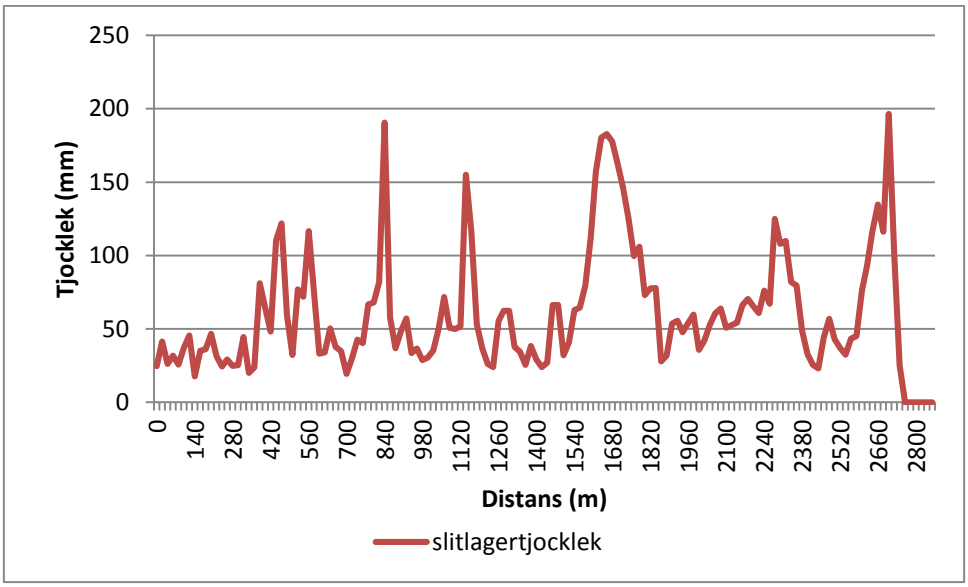


Figur 29. Uppmätt tvärfall på väg 761 vid mätomgång 1 den 15:e maj. SLP1 visar uppmätt tvärfall på höger sida och SLP2 visar uppmätt tvärfall på vänster sida. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.

Enligt teorin kan underskott av slitlagertjocklek (< 5 cm) leda till otillräckligt tvärfall eftersom det då är svårt att hyvla upp vägbanan till en 4 procentig bombering (Enkell, 2003). I Figur 30 nedan ses slitlager- respektive överbyggnadstjocklek för väg 761. Figur 31 visar enbart slitlagertjocklek på samma sträcka.



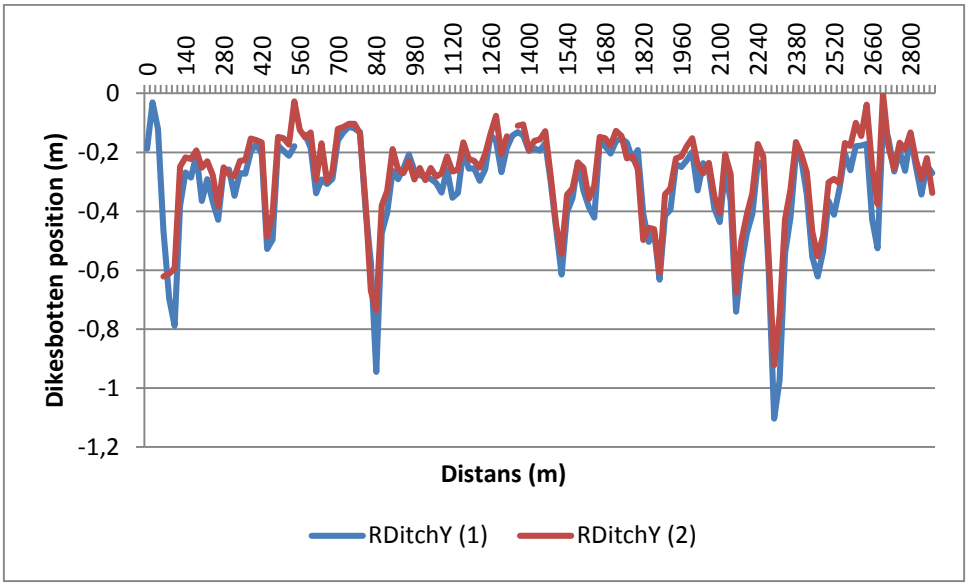
Figur 30. Överbyggnads- respektive slitlagertjocklek på väg 761, uppmätt med GPR vid mätomgång 1 den 15:e maj 2013. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.

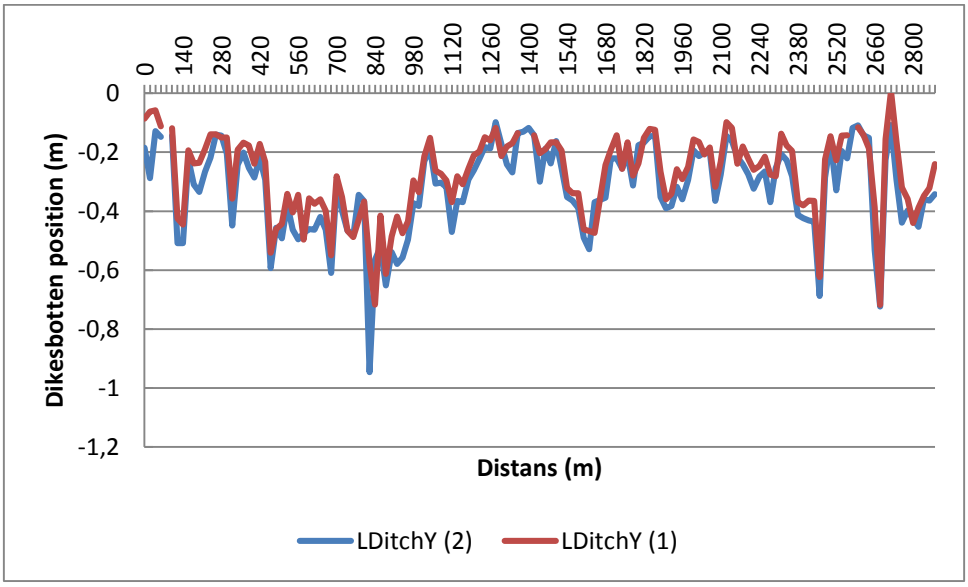


Figur 31. Slitlagertjocklek på väg 761, uppmätt med GPR vid mätomgång 1 den 15:e maj 2013. Distans 2 740–2 860 meter är belagd.

4.2. Tillståndsmått för inventering av dikesdjup

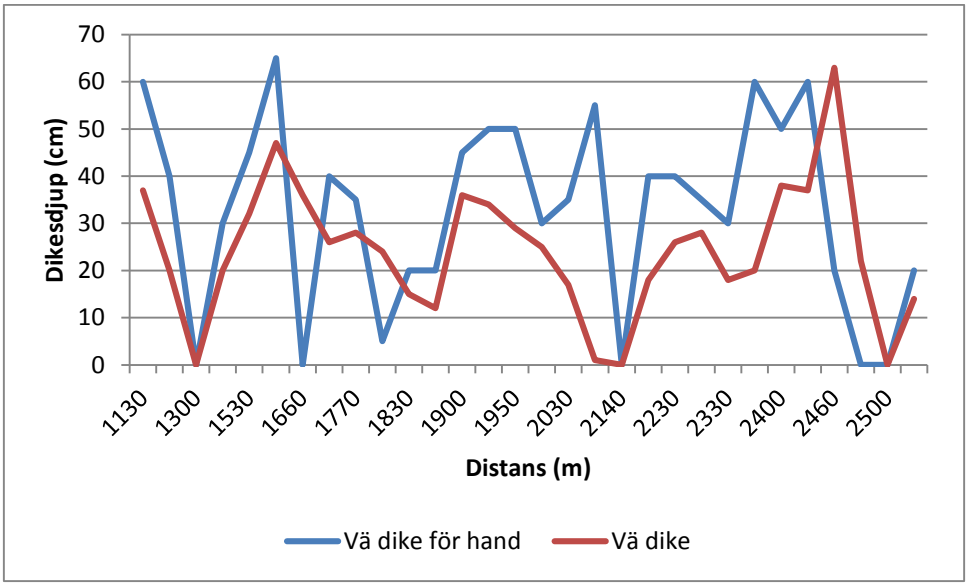
Figur 32 visar repeterbarheten hos metoden för dikesmätning vid upprepad överfart norrgående på väg 761 vid mätomgång 1 den 15:e maj 2013. Figur 32 a visar dikesbottenposition i y-led för vänster dike och Figur 32 b för höger dike.



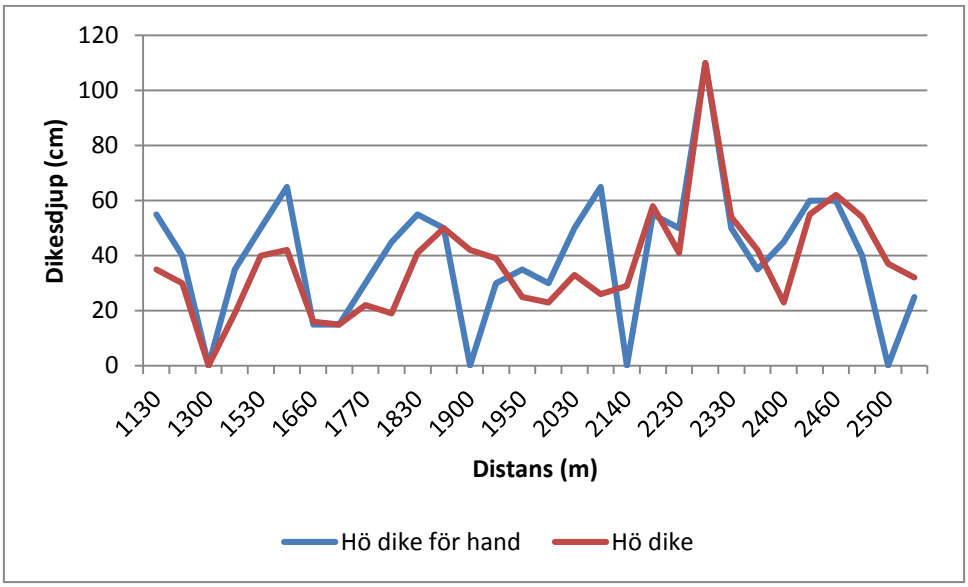


Figur 32. a (övre)+b (nedre). Repeterbarheten hos dikesmätningen av väg 761, mätomgång 1; 15:e maj 2013. Diagrammen ger höger (a) respektive vänster (b) dikesbottenposition i y-led för varje 20 m (medelvärde).

För att undersöka den objektiva mätmetodens validitet avseende dikesdjup jämfördes resultatet med mätningar som gjordes stickprovskontroller längs vägen för hand med hjälp av tumstock (Fig. 33–34).



Figur 33. Metodens validitet. Mätning av vänster dike för hand med tumstock (stickprovskontroll) respektive mätning med lasermätbil, norrgående på väg 761 (mätomgång 1 15:e maj 2013).



Figur 34. Metodens validitet. Mätning av höger dike för hand med tumstock (stickprovskontroll) respektive mätning med lasermätbil, norrgående på väg 761 (mätomgång 1 15:e maj 2013).

Det tycks kunna skilja i alla fall uppåt 20 cm i dikesdjup både mellan repeterade mätningar med lasermätbilen respektive mellan lasermätbilmätningar och mätningar för hand (Fig. 32–34), även om mätningar av höger dike tycks ha något bättre validitet än mätningar av vänster dike (Fig. 33–34).

5. Diskussion

5.1. Tillståndsmått

Uppmätta objektiva tillståndsmått visar generellt på god repeterbarhet och validitet, vilket motiverar att objektiva mätningar skulle kunna användas även på grusväg beaktat att tillståndet i högre grad kommer att variera under säsongen. Ett managementsystem, såsom PMSv3 skulle således ge mer av en ögonblicksbild av vägtillståndet, vilket medför att det är viktigt att specificera när mätningen görs, alternativt att de kan göras ofta. Resultaten tyder dock på att tillståndsförsämringar återkommer på samma platser/sträckor under säsongen (se ex. Fig. 6, 14 och 22) och att det således ändå på detta sätt går att identifiera problemsträckor. Det kan alltså vara värt att, i sammanhanget, poängtera att trots att vägen djuphyvlats så uppkommer ojämnheterna på samma ställen längs vägen (Fig. 6).

Av provsträckorna används endast väg nr 761 och 763 som exempel i resultatdelen. Väg nr 744 och 745 hade så stora mängder löst grus och så höga halter damm att det motsvarade klass fyra (Trafikverket, 2014) över hela dessa sträckor vid första mättillfället, dvs. innan dammbindning. Övriga provsträckor var väldigt jämna och välbundna över lag vilket gör det svårt att utvärdera de olika tillståndsmåtten på dessa sträckor. Väg nr 761 samt 763 är kortare sträckor vilket gör dem enklare att analysera, och de mättes också ett större antal gånger. Detta tillsammans med det faktum att de inte tycks lika väl underhållna, dvs. att de i olika grad har vägyteskador, gör dem bättre lämpade för exemplifiering. Att dessa två sträckor inte är lika välunderhållna kan delvis bero på att de har mindre trafik än övriga provsträckor.

5.1.1. Tillståndsmått för bedömning av grusväglag

De objektiva tillståndsmått som bäst tycks beskriva efterfrågad funktionalitet på grusväg är acceleration (RMS) uppmätt med smarttelefonapplikation avseende jämnhet, makrotextur (MPD) avseende löst grus samt laserpulsens genomsnittliga reflektionstid över vägens tvärprofil avseende damm. Som alternativ till det sistnämnda kan volymkoncentrationen av PM_{10}, mätt med TSI DustTrak™ monterad på mätbil, användas.

Eftersom DustTraks PM_{10}-värden tycks ligga förskjutna något i tiden p.g.a. att det tar några sekunder från det att dammet genereras på vägen till dess att mätutrustningen registrerar det (Fig. 23–25), blir detta mått troligen för ospecifikt om man vill ha en upplösning på minst 20 m. Roadscanners mätmetod med laser har bättre precision i upplösningen. Eftersom fördröjningen med DustTrak-metoden tycks vara i samma storleksordning för olika mätningar, förutsatt ungefär samma körhastighet, är det dock tänkbart att det skulle kunna gå att kompensera för detta.

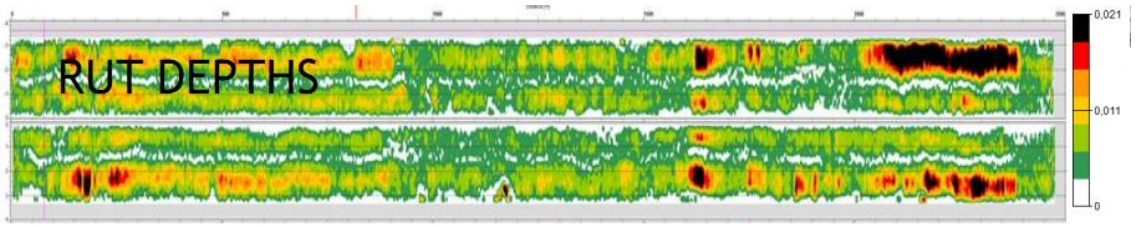
Med tanke på att makrotexturvärdet (MPD) korrelerar så bra med megatexturvärdet (MRMS) (Fig. 4) är det också tänkbart att använda detta som tillståndsmått för löst grus.

Det verkar rimligt att vägen är i sämst skick innan vägen ställs i ordning vid vårbruket, för att sedan vara i bäst skick direkt efter vårbruket och därefter försämras under sommaren; förutsatt att inga underhållsåtgärder sker. Denna utvecklingstendens syns tydligt när det gäller jämnhet mätt med smarttelefonapplikationen (Fig. 6) och kanske ännu tydligare vad gäller MPD (löst grus, Fig. 14) och uppmätta PM_{10}-halter (damm, Fig. 22). Tendensen är dock inte lika tydlig i de subjektiva bedömningarna på motsvarande sträckor (Fig. 5, 13 respektive 21). Detta tyder på att de objektiva måtten faktiskt har bättre validitet än subjektiva bedömningar.

Ett bekymmer med använda mått för ojämnheter (acceleration, APP RMS) är att de är fordons- och hastighetsberoende, dvs. mätvärdet som erhålls kommer att påverkas av vilket fordon som kör och hastigheten på detta fordon. Detta beroende tycks heller inte kunna elimineras genom att derivera signalen. APP RMS värdet tycks dock i mindre utsträckning än mätbilens accelerationsvärde vara hastighetsberoende eftersom amplitudvariationerna över samma gupp var mindre för APP RMS än för

mätbilarnas RMS-värde. Ett ytterligare bekymmer med den smarttelefonapplikation som användes är dock att resultatet tycks vara beroende av vilken telefon som används.

Det kan vara så att måttet Ojämnheter är ett alltför grovt och ospecificerat mått eftersom ojämnheter; såsom potthål, korrugeringar, sättningar och spårbildning ter sig olika, har olika orsaker och också, i viss mån, bör åtgärdas med olika ansats. Om det är önskvärt att differentiera olika typer av ojämnheter tycks det vara möjligt att lägga till spårdjup som en egen tillståndsparameter. Vid sådan differentiering, eller egentligen alltid när ett flertal parametrar önskas analyseras, är det dock en god idé att använda sig av något visualiseringsprogram kopplat till en vägkarta/GIS-program för att generera bättre överblick (Fig. 35, se även Bilaga 2).



Figur 35. Visualisering av vägsträcka med utmärkning (färg) för spårdjupsskillnader (Road Doctor ©Roadscanners).

5.1.2. Tillståndsmått för inventering av dräneringstillstånd

Att bestämma dikesdjupet tycks kunna utgöra en lämplig inventeringsmetod för en delmängd av dräneringstillståndet hos en grusväg. För att göra metodiken mer tillämpbar skulle dock några justeringar till nu använda metodik behöva göras. Eftersom programmet beräknar lågpunkten inom definierat område tas ingen hänsyn till att avrinning från vägyta är obefintlig fram till denna punkt (jfr. Fig. 36). Vissa punkter som satts till 0 vid mätningen som gjorts för hand övervärderas därför vid den mobila mätningen. Detta kan givetvis relativt enkelt justeras genom att programmet definieras om för att ta hänsyn till detta. Det kan t.o.m. vara så att det ideala vore att ha ett specifikt mått för stödremsan, som tydligt visar på behovet av att ta bort kantöverhäng som förhindrar vattenavrinning från vägytan. Detta skulle också kunna användas på det belagda vägnätet.

Figur 36. Ytuppmjukning vid kantöverhäng och avsaknad av dike. (Foto: Karin Edvardsson).

I de fall diket varit igensatt eller haft stående vatten är det tydligt att dikesdjupet ger ett lägre värde än det som uppmätts för hand. Det är därför viktigt att mätningen görs vid sådan tidpunkt att växtlighet och stående vatten undviks i så stor utsträckning som möjligt.

Dikesmätningar, som kan utgöra en objektiv inventeringsmetod för dräneringstillståndet hos en grusväg, kan alltså göras genom att lägsta punkten i varje laseruppmätt tvärprofil bestäms med hjälp av ett datorprogram för ändamålet. Görs detta under en torr period på våren innan växtligheten fått full växtkraft undviks störning orsakad av vatten eller hög växtlighet i dikena, vilket annars kan ge felaktiga värden genom att laserstrålarna träffar detta istället för den egentliga dikesbotten. Görs mätningarna på våren utgör de också underlag för att planera vilka åtgärder som behöver göras under barmarksperioden.

Tillsammans med tillståndsmåtten för tvärfall (se Kap. 4.1.4), höjden på stödremsan, mätningar av återkommande och/eller snabb tillväxt av ojämnheter (likt de man använder avseende IRI på det belagda vägnätet) samt georadarmätningar utgör dikesdjupet en indikation på dräneringstillståndet hos en grusväg.

För att utröna om underskott av slitlagertjocklek (< 5 cm) kan ses stå i samband med otillräckligt tvärfall (< 4 % på raksträcka) skulle tvärfallet (Fig. 29) behöva stämmas av mot vägens linjeföring. Det är svårt att dra slutsatser om korrelation mellan tvärfall och slitlagertjocklek (Fig. 29–31) utifrån enbart resultatdata från denna studie. Tvärfallet (vägens bombering) utformas inte förrän vid hyvlingen i samband med vårbruket medan georadarmätningar (GPR) avseende lagertjocklekar måste utföras innan vårbruket (dammbindning) för att saltet som används för dammbindning inte ska störa mätningarna.

5.2. Mätstrategier

Eftersom grusväglagstillståndet är så snabbt föränderligt på en grusväg, beroende på t.ex. väderlek, behövs en snabb och förenklad variant av vägytemätning om det ska vara kostnadseffektivt med dessa typer av mätningar på vägnätsnivå. En accelerationsmätningsmetod, där t.ex. en mobiltelefon skulle kunna användas, är dock möjligt för mätningar på vägnätsnivå, förutsatt att man kan komma tillrätta med de driftstörningar som metoden uppvisade (se ex. Fig. 8). Värdena är visserligen fordons- och hastighetsberoende, och kan således inte användas i absoluta tal om man inte på något sätt kan hitta en algoritm för att vikta för detta, men det skulle ändå vara möjligt att, i en underhållsstandard, specificera maxvärden (oavsett fordonstyp som uppmäter dem). Ett lägsta acceptabla tillstånd borde då kopplas till hälsa i form av de vibrationer kroppen utsätts för vid ojämnheter.

Accelerationen, som uppmäts med hjälp av smarttelefonapplikationen, är alltså beroende av vilket fordon som används och dess hastighet. Detta gör det svårt att, enbart baserat på detta mått, kunna sätta kravnivåer/gränsvärden. Däremot är det möjligt att se accelerationsvärdena som ett komfortmått och t.ex. ange att uppmätta spikvärden inte får överstiga gränsvärden enligt befintliga vibrationsdirektiv 2002/44/EG och SS-ISO 2631-1. Här av framgår exempelvis att vid exponering för helkroppsvibrationer som även innehåller stötar kan det maximala accelerationsvärdet i någon riktning (det maximala transienta vibrationsvärdet/ Maximum Transient Vibration Value-MTVV) uppmätas. Vertikala accelerationsvärden anses, även av tidigare studier, vara den bästa tillgängliga indikatorn för körkomfort på lågtrafikerade vägar (Saarenketo, 2006).

Att använda en smarttelefon med en applikation för jämnhetsmätning är ett enkelt och kostnadseffektivt sätt att generera bestående tillståndsdata för grusvägnätet. Genom att bilen som bär utrustningen kör i normalt färdläge, och rimligen t.ex. försöker undvika de största potthålen i vägbanan, så kommer måttet snarare att vara ett slags komfortmått än ett verkligt tillståndsmått. Detta är dock kanske det mest intressanta för både väghållare och väganvändare. På så sätt ges också ökat fokus på trafikanternas behov. Applikationen skulle kunna kompletteras med en tryckknapp för att entreprenören ska kunna märka ut speciellt intressanta platser, såsom platser för tjällyftning eller erosion, eller för att allmänheten ska kunna rapportera och märka ut skador på vägen. En upplösning på varje 20 m blir då troligen för grov. Om en upplösning på varje 5 m används skulle data kunna användas för att markera ut ”riskområden” (intresseområden för åtgärd).

En underhållsstandard borde vidare kunna utformas baserat på både magnitud och frekvens av accelerationstopparna (som absolutvärde) genom att t.ex. föreskriva max medelvärden över 100 m respektive 5–10 m, förutsatt att mätningar görs med personbil i vägens referenshastighet. I en underhållsstandard för grusväg bör också hänsyn tas till hur mycket det är rimligt/acceptabelt att fordon ska behöva sänka hastigheten pga. vägens försämrade tillstånd; t.ex. en maximal hastighetssänkning på 15 procent.

Genom att göra objektiva mätningar på våren, innan tjälen gått ur, erhålls en digital utmärkning (kartläggning) av tjälskador, såsom (återkommande) tjällyftningar och uppskjutande trummor. Dessa typer av skador är annars svåra att lokalisera senare under säsongen, när tjälen gått ur marken och då åtgärder ska göras, om de skadade platserna inte märkts ut för hand vid tjällyftningen. Väghållaren erhåller således en kontinuerlig profil av vägen, samtidigt som den korrekta platsen för underhålls-/förstärkningsåtgärder säkerställs. Vid behov av ytterligare information om platsen för urgrävning/åtgärd kan den automatiska fotodokumentationen från kameran i smarttelefonen utgöra ett utmärkt komplement till ojämnhetsmätningen.

Det är också rimligt att man låter göra dikesmätningar på objektnivå på sträckor där man har återkommande skador samt på vägnätsnivå åtminstone i samband med att ett nytt driftskontrakt skrivs, så att entreprenör och väghållare vet i vilket skick vägen är i början respektive slutet av varje kontraktsperiod.

Med beaktande av grusvägens föränderliga tillstånd under året föreslås följande mätmetodik:

Vägnätsnivå: Jämnheten (acceleration) bestäms på vägnätsnivå med hjälp av en accelerationsmätningsmetod, där t.ex. en smarttelefonapplikation genererar data på fem meters nivå . Första mätningen görs på våren innan tjälen gått ut marken. Därefter kan mätningar göras fortlöpande under barmarkssäsongen av exempelvis driftentreprenör. ”Triggernivåer” för behov av underhållsåtgärder bestäms utifrån en objektivt definierad lägsta acceptabla standard. Utöver detta görs dikesmätning på vägnätsnivå i samband med ny kontraktsperiod. Löst grus och damm bestäms subjektivt på 100 meters nivå.

Objektsnivå: Markerade riskområden och områden med återkommande skadeproblematik analyseras på objektnivå. På objektnivå mäts alla fyra tillståndsparametrar objektivt; ojämnheter, löst grus, damm och tvärfall samt föreslagna parametrar för indikering av dräneringstillstånd (dikesdjup, tvärfall och höjd på stödremsa) inklusive georadarundersökning. En otillfredställande vattenavrinning ger, i sin tur, uppkomst av andra vägyteskador såsom potthål (ojämnheter) varför återkommande och/eller snabbt tillväxande ojämnheter också kan vara en indikation på dräneringstillståndet. Dräneringstillståndet är heller inte lika snabbt föränderligt under säsongen som vägytetillståndet är.

-Dikesmätning och mätning av stödremsa, tillsammans med eventuell georadarundersökning, görs på objektnivå på våren; efter tjälen gått ur marken men innan vårbruket.

-Tvärfallet mäts innan vårbruket. Ett konstaterat felaktigt tvärfall kan då åtgärdas i samband med vårbruket.

-För löst grus (makrotextur) respektive damm är det kostnadseffektivt att göra sådana mätningar i samband med mätning av tvärfall eller dikesmätning.

5.3. Metodens användbarhet

Mätsystemet har olika användningsområden; det kan t.ex. handla om 1) kontraktskontroll, 2) tillståndsmätning (vägnätsnivå) eller 3) underhållsplanering. Bedömningen är dock att metodens användbarhet har övervikt mot förebyggande underhållshantering (drift) snarare än långsiktig avhjälpande underhållsplanering. Behovet av automatiserade och objektiva mätningar kan t.ex. handla om att Trafikverket objektivt vill kunna kontrollera att funktionen enligt kontrakt upprätthålls, att Trafikverket vill veta om rätt saker mäts eller om andra krav, alternativt skärpta krav, kan ställas på funktion eller att kunna ge mer stöd till beslutsfattande åt olika väghållare. En objektiv mätmetod kan vara av stor vikt även för vägentreprenören genom att metoden skulle förenkla underhållsplanering, budgetarbete och redovisning gentemot väghållaren.

Objektiva tillståndsdata för grusvägnätet skulle, i likhet med tillståndsdata för det belagda vägnätet kunna läggas i t.ex. PMSv3. För att ytterligare öka öppenheten skulle även tidigare riskanmälningar/ skaderapporteringar kunna registreras. Ett sådant register kommer, om möjligt, att ha än större betydelse i takt med att påföljden av de klimatförändringar vi står inför ökar, t.ex. i form av att risken för erosioner ökar.

I förlängningen skulle mätningar kunna leda till generering av prognosmodeller för nedbrytnings-hastighet samt mer kostnadseffektivt underhåll, t.ex. genom att man kan avgöra vid vilken storlek på ojämnheter som åtgärder bör göras för att undvika accelererad nedbrytning.

Enligt Saarenketo (2006) kommer dessa typer av nya mätteknologier, som innebär en förbättrad fokusering avseende både lokalisering, timing, problemdiagnoser och möjlighet till korrekta åtgärder för underhåll och förstärkning, att spela en större roll vid underhåll och förbättringar av det åldrande grusvägnätet. Det finns också potential att utveckla tekniken genom att inkorporera ytterligare ett antal parametrar som är av stor betydelse för grusvägens tillstånd och/eller långsiktiga underhållsbehov men som idag inte uppmäts på vägnätsnivå; exempelvis friktion (rullgrus), erosion och kantdeformation (kanthäng, kantöverhäng). Kantdeformationer är ofta en underhållsdrivande skada på det

lågtrafikerade vägnätet, såväl det belagda som icke-belagda. Kantdjupet, som beskriver deformationerna, kan samlas in redan idag med VTI-RST men kräver viss beräkning från grunddata.

5.4. Förslag till fortsatt arbete

Följande områden har identifierats som intressanta för fortsatta studier:

- Fortsatt utveckling av metodiken för accelerationsmätningar med applikation i smarttelefon.
- Koppla objektiva vägytemått till mått för, av väganvändare och upplevd färdkomfort. Detta skulle kunna ligga till grund för framtagning av en ”lägsta acceptabel standard” för grusväg.
- Koppla objektiva vägytemått till fordonskostnader, drivmedelskostnader, etc. för att erhålla bättre effektsamband för grusvägstillstånd.
- Undersöka chassiacceleration och hjulacceleration som tillståndsmått för jämnhet då dessa inte är fordonsberoende.
- Korrelera uppmätta parametrar; t.ex. tvärfall och kurvatur; jämnhet och dikesdjup; överbyggnadstjocklek och jämnhet; slitlagertjocklek och jämnhet/damm/löst grus/tvärfall. Genom de framtagna metoderna för att snabbt och mobilt mäta vägytetillstånd, slitlagrets tjocklek och dikesdjup ges möjlighet att utröna eventuella samband mellan dessa tillståndsmått.
- Insamlad GPS-data kan användas i simulatorn. Exempelvis skulle man på detta sätt kunna undersöka hur körmönstret påverkas av löst grus, i synnerhet på smala och kurviga vägar med små kurvradier.

6. Slutsatser

Studien har lett till följande slutsatser:

- Det objektiva tillståndsmått som föreslås för bestämning av ojämnheter på grusväg är acceleration mätt med en smarttelefonapplikation (APP RMS).
- Det objektiva tillståndsmått som föreslås för bestämning av mängden löst grus på grusväg är Mean Profile Deapth (MPD), dvs. bestämning av makrotextur.
- Det objektiva tillståndsmått som föreslås för bestämning av mängden damm på grusväg är laserpulsarnas reflektionstid som ett medelvärde över vägens tvärprofil alternativt volymkoncentrationen av PM_{10} mätt med TSI DustTrak™ monterad på mätbil.
- För bestämning av tvärfall på grusväg föreslås att detta beräknas, utifrån de 15 mittersta laserpunkterna uppmätt med mätbil; som regressionslinjens lutning och lutningen mellan högsta och lägsta punkten.
- Genom att använda Roadscanners metod för visualisering av spårdjupsskillnader (RoadDoctor, ©Roadscanners) är det möjligt att, i alla fall i viss mån, differentiera olika typer av ojämnheter. Detta kan vara lämpligt att utreda problemsträckor på detta sätt men det är tveksamt om det är nödvändigt, eller effektivt, på vägnätsnivå.
- De objektiva metoder som föreslås för inventering av dräneringstillståndet hos en grusväg är mätningar av dikesdjup med laser, eventuellt i kombination med videoinspelning, mätningar av tvärfallet (för att säkerställa att vägen har tillräcklig bombering), mätningar av höjden på stödremsan (för att säkerställa avsaknad av kantöverhäng som förhindrar vattenavrinning från vägytan), georadarmätningar och mätningar av återkommande och/eller snabb tillväxt av ojämnheter.
- Dikesmätningarna bör göras under en torr period tidigt på våren för att undvika att laserstrålarna träffar hög vegetation eller vatten istället för den egentliga dikesbotten, vilket annars riskerar att ge felaktiga värden. Görs mätningarna på våren utgör de också underlag för att planera vilka åtgärder som behöver göras under barmarksperioden.
- Föreslagna tillståndsmått har utvärderats mot visuella tillståndsbedömningar av grusväglag enligt nuvarande metodbeskrivning i syfte att fastställa att de verkligen kan relateras till efterfrågad funktionalitet på grusväg. Metoderna har också analyserats med avseende på repeterbarhet och reproducerbarhet.
- Eftersom grusväglagstillståndet är så snabbt föränderligt på en grusväg behövs en snabb och förenklad variant av vägytemätning om det ska vara kostnadseffektivt med dessa typer av mätningar på vägnätsnivå. Att använda en smarttelefon med en applikation för jämnhets-mätning är ett enkelt och kostnadseffektivt sätt att generera bestående tillståndsdata för grusvägnätet.
- Accelerationen, som uppmäts med hjälp av applikationen i smarttelefon, är beroende av vilket fordon som används och dess hastighet. Däremot är det ändå rimligt att se dessa vertikala accelerationsvärden som ett körkomfortmått och i en underhållsstandard ange en lägsta acceptabel standard, t.ex. att uppmätta spikvärden inte får överstiga gränsvärden enligt befintliga vibrationsdirektiv 2002/44/EG och SS-ISO 2631-1.
- Genom att ha GPS-koppling till tillståndsmätningarna möjliggörs differentierat vägunderhåll med god precision.
- Applikationen skulle kunna kompletteras med en knapp för att allmänheten ska kunna rapportera och märka ut skador på vägen eller kopplas ihop med entreprenörens GPS-

uppkopplade inrapporteringssystem för att märka ut speciellt intressanta platser, såsom platser för tjällyftning eller erosion. Görs mätningarna på våren, innan tjälen gått ur, erhålls även en digital utmärkning av tjälskador, såsom tjällyftningar och uppskjutande trummor. Dessa typer av skador är annars svåra att lokalisera när tjälen gått ur marken och marken gått tillbaka, dvs. då åtgärder ska göras, om de skadade platserna inte märkts ut för hand vid tjällyftningen.

Referenser

2002/44/EG. *Europaparlamentets och rådets direktiv 2002/44/EG av den 25 juni 2002 om minimikrav för arbetstagares hälsa och säkerhet vid exponering för risker som har samband med fysikalisk agens (vibration) i arbetet (sextonde särdirektivet enligt artikel 16.1 i direktiv 89/391/EEG) – Gemensamt uttalande från Europaparlamentet och rådet, nr L.* Europeiska gemenskapernas officiella tidning, 2002. L 177 (06/07/2002): sid 13-20.

Aho, S. och Saarenketo, T. (2006a). *Skötsel av dränering på lågtrafikerade vägar.* Praktiskt sammandrag. ROADEX III Report. www.roadex.org.

Aho, S. och Saarenketo, T. (2006b). *Utformning och utförande av åtgärder på vägar som lider av försvagning vid tjällossningen*. Praktiskt sammandrag. ROADEX III Report. www.roadex.org.

Alzubaidi, H. (1999). *Klimatets inverkan på underhåll av grusvägar*. Dokumentation av CDU seminarium på Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm den 9 november 1999. Stockholm.

Alzubaidi, H. (2000).

Arvidsson, P-Å. och Holmgren, M. (1999). *Vägstandardens inverkan på skogsnäringens transportarbete och försörjning av högkvalitativa råvaror*. Skogforsk rapport nr 439.

Berntsen, G. och Saarenketo, T. (2005). *Drainage on Low Traffic Volume Roads.* ROADEX II Rapport. www.roadex.org.

Blomkvist, P. (2010). *Om förvaltning av gemensamma resurser: Enskild väghållning och allmänningens dilemma I svensk historia 1200-2010.* KTH. ISBN 978-91-7415-698. Sid 10.

Carlsson, G. (1981). *Mätning av bensinförbrukning och vägojämnheter på grusvägar 1980*. VTI meddelande 295. Statens Väg- och Transportforskningsinstitut, Linköping.

Edvardsson, K. och Magnusson, R. (2009). *Monitoring f dust emission on gravel roads: Development of a mobile methodology and examination of horizontal diffusion*. Atmospheric environment 43, 889-896.

Edvardsson, K.; Gustafsson, A.; Magnusson, R. (2012). *Dust suppressants efficiency study: in situ measurements of dust generation on gravel roads.* International Journal of Pavement Engineering, Vol. 13, Issue 1, sid. 11-31.

Enkell, K. (2003). *Grus under maskineriet.* Svenska kommunförbundet. ISBN: 9789172891906.

Etyemezian, V.; Kuhns, H.; Gillies, J.; Green, M.; Pitchford, M.; Watson, J. (2003). *Vehicle-based road dust emission measurement: I – methods and calibration.* Atmospheric environment 37 (32), 4559-4571.

Fitz, D.R. och Bufalino, C. (2002). *Measurements of PM10 emission factors from paved roads using onboard particle sensors. In: 11th Annual Emission Inventory Conference: Emission Inventories – Partnering for the Future.* U.S. Environmental Protection Agency.

Johansson, K. (2005). *Vägytemätningar på grusvägar.* Luleå Tekniska Universitet (LTU), Teknisk Rapport, 2005:16.

Johansson, S. (2006). *Samhällsekonomisk påverkan av tillståndet hos lågtrafikerade vägar.* Resultat av litteraturstudier, intervjuer och beräkningar med en modell samt några förslag till skötselpolicies för vägar. Praktiskt sammandrag. ROADEX III Projekt. www.roadex.org.

Johansson, C. (2007). *Kvantifiering av relativa betydelsen av dubbdäck, sandning/ saltning och vägmaterial för PM10 halten längs vägarna.* ITM-rapport 172.

Johansson, S.; Johansson, K.; Ekedahl, F. (2007). *Policies for Forest Roads – Some Proposals.* ROADEX III Projekt. www.roadex.org.

Lundström, B. (2010). *Fickfakta 2010 – Trafikverket, järnvägar, vägar, trafik och transporter.* Trafikverket Publikation 2010:054. ISSN: 978-91-7467-026-4.

Niska, A. och Sjögren, L. (2014). *Mobilapp för mätning av cykelvägars ojämnheter, En studie av möjligheterna.* VTI rapport 839, Utgivningsår 2014.

Potucek, J. (2003). *Underlagsrapport Strategi för bärighet, drift och underhåll*. Vägverket Publikation 2003:99. ISSN 1401-9612.

Rushing, J. och Tingle, J.S. (2007). *Evaluation of product and application procedures for mitigating dust in temperate climates.* Transportation research Board 1989, 305-311.

Saarenketo, T. (2006). *Övervakning av lågtrafikerade vägar. Praktiskt sammandrag.* ROADEX III Rapport. www.roadex.org.

Sjögren, L. (1998). *RTS-mätningar på grusvägar*. Uppföljning av vägytans kvalitet. VTI notat 9-1998. Statens Väg- och Transportforskningsinstitut, Linköping.

Sjögren, L. (2015). *Tillståndsmätning med smartmobil; en översikt av läget.* Metoddagen, 5 februari 2015. (http://www.asfaltskolan.se/metoddagar/metoddag_15/met15.htm)

SS-ISO 2631-1. *Vibration och stöt – Vägledning för bedömning av helkroppsvibrationers inverkan på människan – Del 1: Allmänna krav.* Utgåva 1. 1998, Stockholm: SIS Swedish Standards Institute.

Thenoux, G.; Bellolio, J.P.; Halles, F. (2007). *Development of a methodology for measurement of vehicle dust generation on unpaved roads.* Transportation research record: Journal of the Transportation research Board 1989, 299-304.

Trafikverket (2010). *Fickfakta 2010 Trafikverket, järnvägar, vägar, trafik och transporter.* Publikation 2010:054.

Trafikverket (2014). *Bedömning av grusväglag*. TDOK 2014:0135.

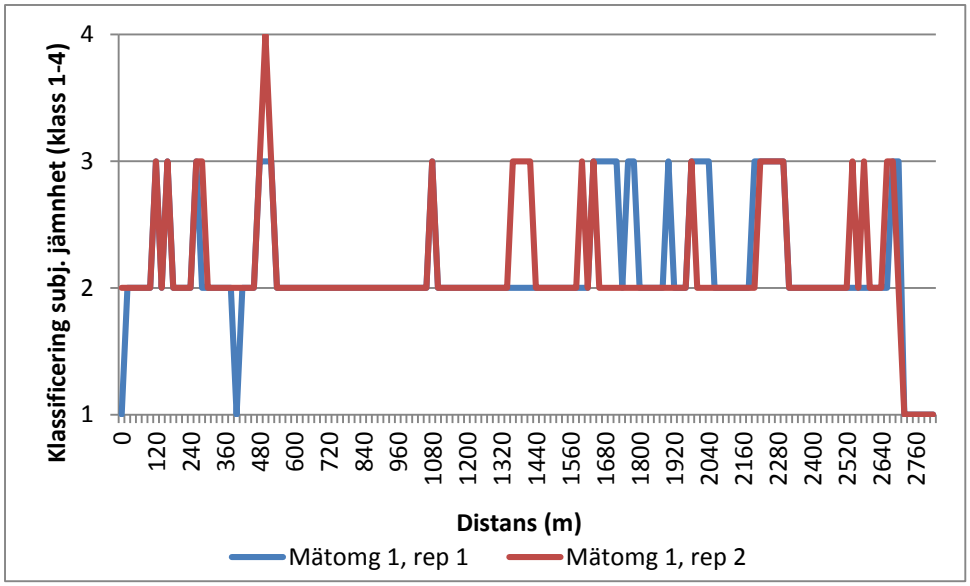
Trafikverket, PMSv3. https://pmsv3.trafikverket.se/Pages/StrackaUrval/StrackaUrvalView.aspx (hämtat 2013-09-19).

Van der Gryp, A. och Van Zyl, G. (2007). *Variability and Control of Gravel Road Visual Assessments.*Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1989 (2), 247-253.

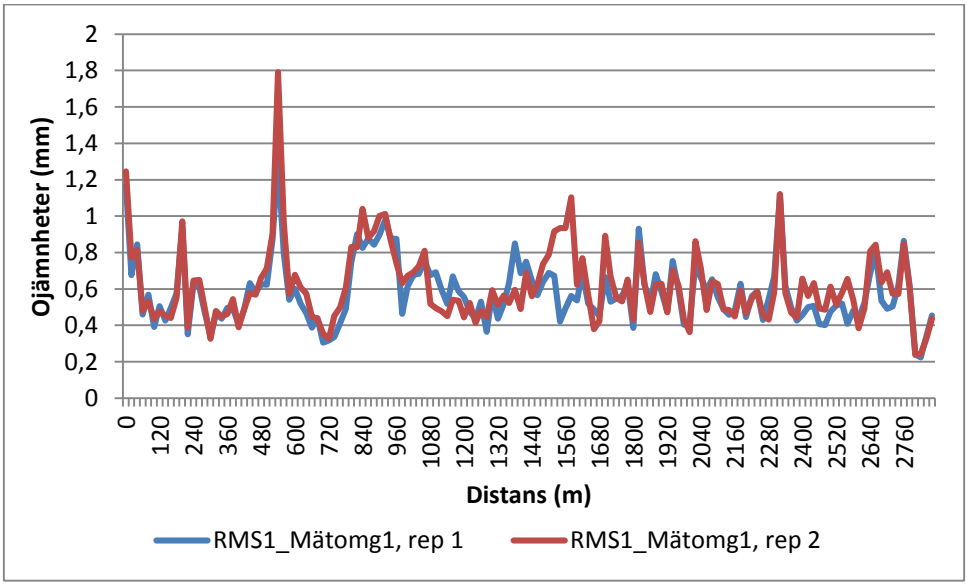
www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sa-skoter-vi-vagar1/Fragor-och-svar-om-skotsel-av-vag/4-Var-grusvag-dammar---vad-galler-/Dammbindning-av-grusvagar/. Hämtat 2012-02-09.

Zegeer, C.; Stewart, R.; Council, F; Neuman, T.R. (1994). *Accident Relationships of Roadway Width on Low-Volume Roads.* Transportation Research Record 1445, s. 1-10.

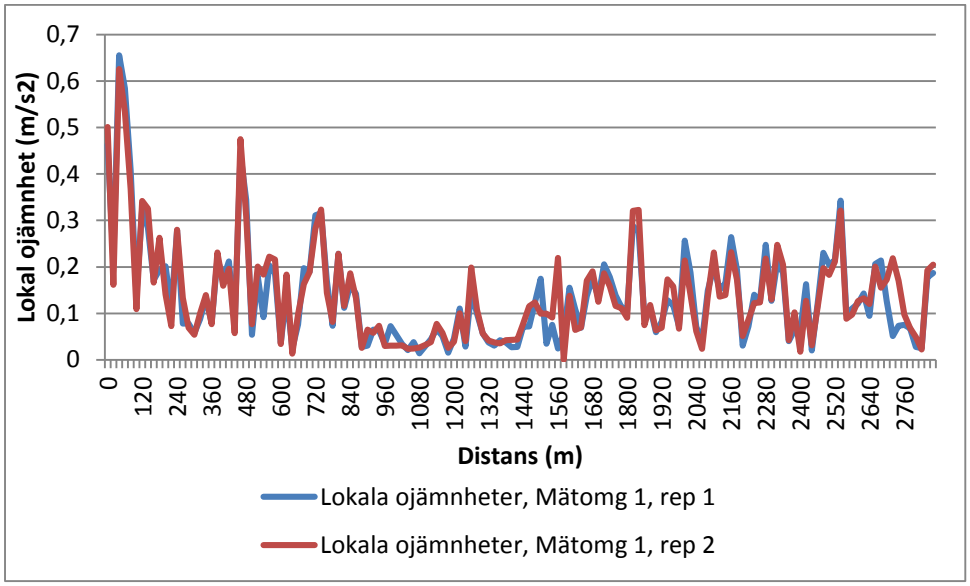
Bilaga 1 Jämförelse mellan subjektiv bedömning och objektiv mätning av jämnhet



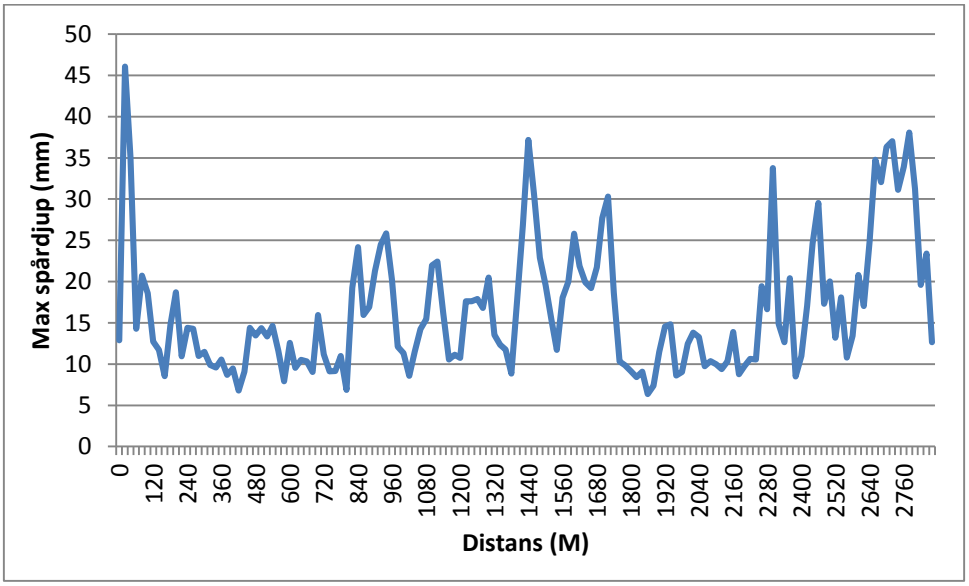
Figur i. Subjektivt bedömd jämnhet på väg 761 utifrån foton tagna var 20:e meter, där klass 1 motsvarar en jämn väg och klass 4 en mycket ojämn väg. Figuren visar bedömd jämnhet för två upprepade mätningar vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013. Distans 2740-2860 meter är belagd.



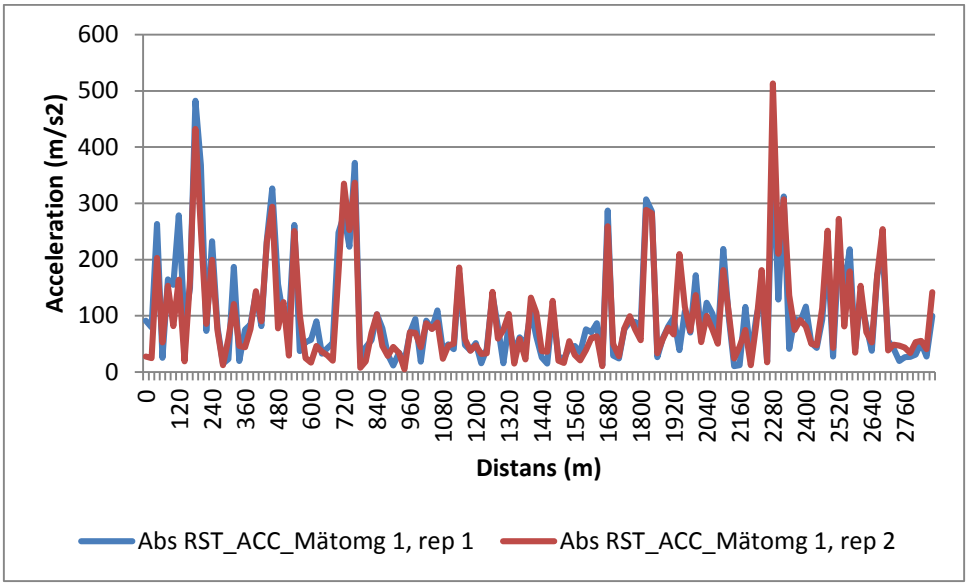
Figur ii. Jämnhet på väg 761 visad som RMS-värde uppmätt med lasermätbil. Figuren visar RMS-värden för två upprepade mätningar vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013. Distans 2740-2860 meter är belagd.



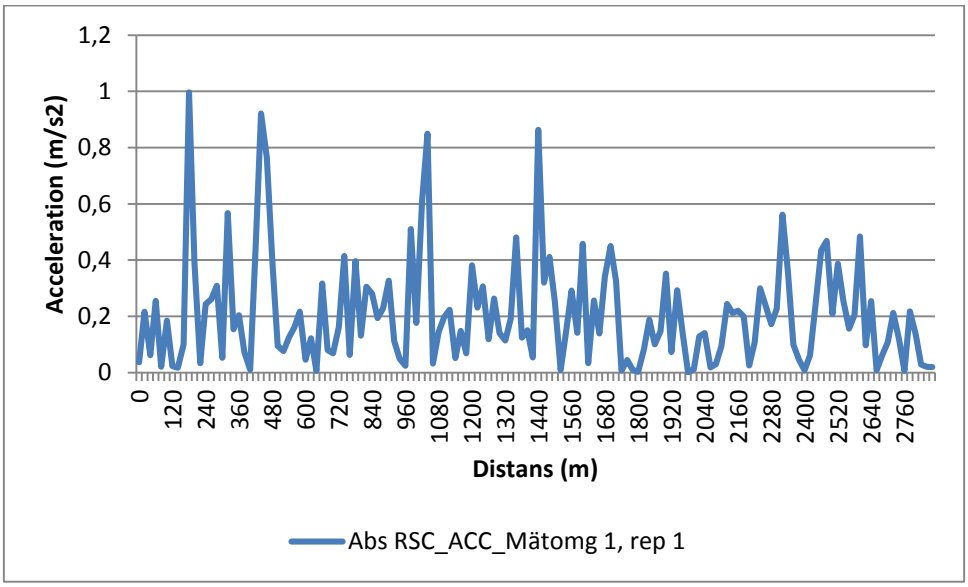
Figur iii. Jämnhet på väg 761 visad som lokala ojämnheter uppmätt med lasermätbil. Figuren visar värden för tre upprepade mätningar vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013. Distans 2740-2860 meter är belagd.



Figur iv. Jämnhet på väg 761 visad som maximalt spårdjup uppmätt med lasermätbil. Figuren visar maximalt spårdjup vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013. Distans 2740-2860 meter är belagd.

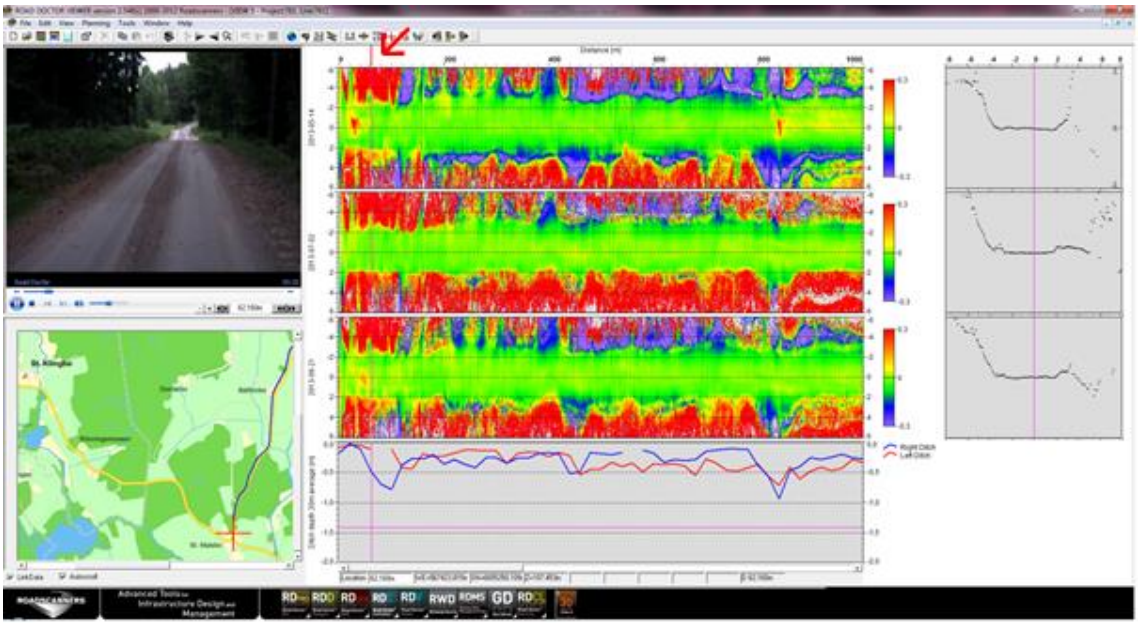


Figur v. Jämnhet på väg 761 visad som absolutvärdet av accelerationen uppmätt med VTIs RST-lasermätbil. Figuren visar accelerationsvärden för två upprepade mätningar vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013. Distans 2740-2860 meter är belagd.

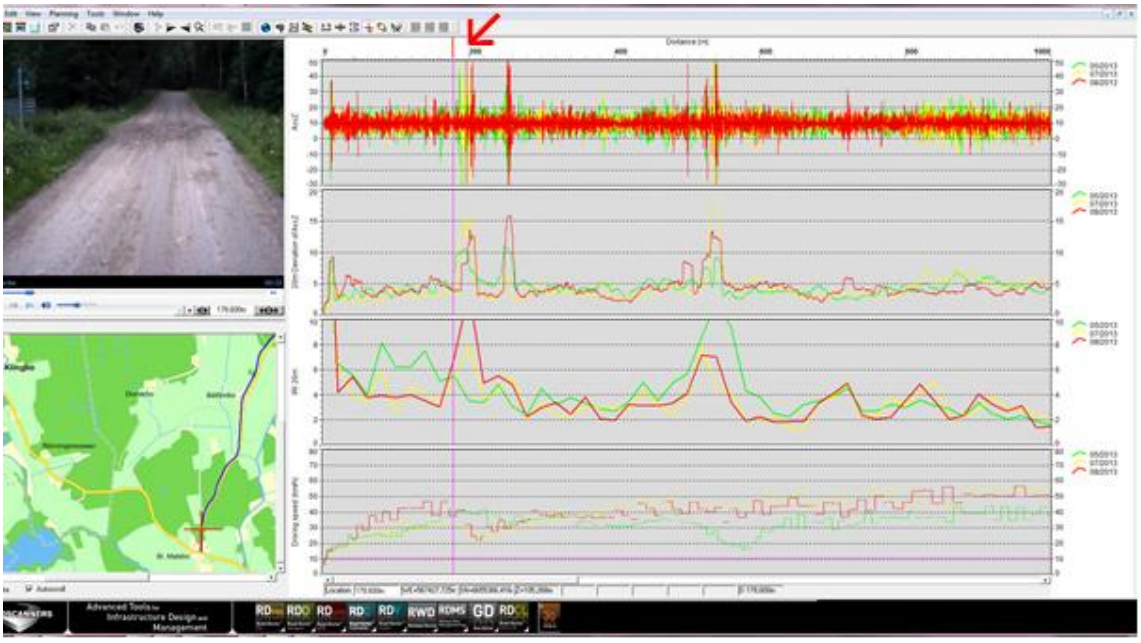


Figur vi. Jämnhet på väg 761 visad som absolutvärdet av accelerationen uppmätt med Roadscanners lasermätbil. Figuren visar erhållna accelerationsvärden vid mätomgång 1; den 15:e maj 2013. Distans 2740-2860 meter är belagd.

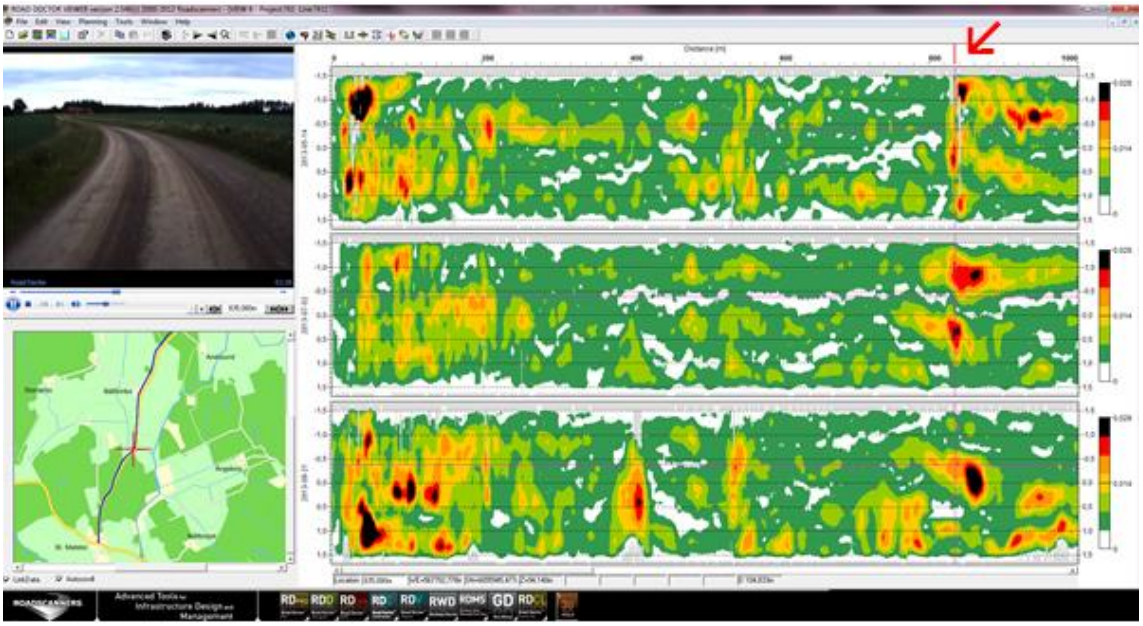
Bilaga 2 Visualisering av tillståndsmätning



Figur I. "Skärmdump" från programmet Road Doctor™ som illustrativt visar tvärsektioner och dikesdjup för väg 761. Pilen visar markören för läge längs vägen.



Figur II. "Skärmdump" från programmet Road Doctor™ som illustrativt visar ojämnheter för väg 761. Pilen visar markören för läge längs vägen.



Figur III. ”Skärmdump” från programmet Road Doctor™ som illustrativt visar spårdjup för väg 761. Pilen visar markören för läge längs vägen.

www.vti.se

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
Scheelevägen 2
SE-223 81 LUND
PHONE +46 (0)46-540 75 00

vti