



Mätning av friktion på vägmarkering

Jämförelse av olika metoder samt
utveckling av modell för mobil mätning

Carina Fors
Sven-Olof Lundkvist

Mätning av friktion på vägmarkering

Jämförelse av olika metoder samt utveckling av modell för mobil mätning

Carina Fors

Sven-Olof Lundkvist

Diarienummer: 2015/0246-8.2, 2015/0484-8.2

Omslagsbilder: Hejdlösa Bilder AB och Mohammad-Reza Yahya, VTI.

Tryck: LiU-Tryck, Linköping 2016

Förord

Trafikverkets nationella riktlinjer för krav vid upphandling föreskriver funktionskrav för vägmarkering, bland annat avseende friktion. Kraven anges i enheter som mäts med handhållna instrument, men för att det ska vara möjligt att effektivt övervaka vägmarkeringar på ett större vägnät behöver man kunna mäta funktionsparametrarna mobilt, det vill säga med mätinstrument monterade på fordon som kan utföra mätning medan de kör längs med vägen i ungefär samma hastighet som övrig trafik.

Föreliggande rapport beskriver, analyserar och värderar resultaten från två studier som handlar om metoder för att mäta vägmarkeringars friktion mobilt. I den första studien har tre olika mobila metoder jämförts med en handhållen metod. I den andra studien har en mobil metod vidareutvecklats.

Mobila mätningar har gjorts av Ramböll RST, Roadfriction AB och Olsense Technology AS. Mätningar med handhållet instrument har gjorts av VTI. Tack till Berne Nielsen, Ramböll, Christian Nilsson, Ramböll, Sven-Åke Lindén, Road Friction AB, Vidar Jansen, Olsense Technology, samt Håkan Wilhelmsson och Mohammad-Reza Yahya, VTI, som har försett projektet med mätdata.

Den första studien finansierades av *Nordiskt Möte för Förbättrad Vägutrustning* (NMF) och den andra studien finansierades av Trafikverket, där Lars Petersson var kontaktperson.

Tack till alla som har bidragit till projektets genomföranden!

Linköping, juni 2016

Carina Fors
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts 8 juli 2016 av Leif Sjögren. Carina Fors har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Anna Anund har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 15 augusti 2016. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

Internal peer review was performed on 8 July 2016 by Leif Sjögren. Carina Fors has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Anna Anund examined and approved the report for publication on 15 August 2016. The conclusions and recommendations expressed are the author's/authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	7
Summary	9
1. Inledning	11
1.1. Syfte	11
1.2. Friktionsmätning	11
1.2.1. British pendulum, pendelmetoden	12
1.2.2. Skidometerprincipen	12
1.2.3. Modellbaserad mätmetod	12
1.3. Tidigare modeller för mobil mätning av friktion	12
1.3.1. Makrotextur, Mean Profile Depth	13
1.3.2. Retroreflexion	13
1.3.3. Skattning av vägmarkeringars friktion i gånghastighet	13
2. Mätinstrument	15
2.1.1. Portable Friction Tester (PFT)	15
2.1.2. Road Friction Tester (RFT)	15
2.1.3. Traction Watcher One (TWO)	16
2.1.4. Road Marking Tester (RMT)	17
3. Studie 1: Jämförelse av metoder för friktionsmätning på vägmarkering	18
3.1. Mätinstrument	18
3.2. Mätobjekt	18
3.3. Mätningar och förbearbetning av mätdata	19
3.3.1. PFT-mätningar	19
3.3.2. RFT-mätningar	19
3.3.3. TWO-mätningar	20
3.3.4. RMT-mätningar	22
3.4. Jämförelse av metoder	24
3.4.1. Friktionens medelvärde	25
3.4.2. Jämförelse mellan PFT och mobila metoder	27
3.4.3. Jämförelse mellan metoder som kan mäta i högre hastigheter	30
3.4.4. Inverkan av mät hastighet – RFT och TWO	33
3.5. Diskussion	38
4. Studie 2: Utveckling av modell för mobil mätning	42
4.1. Mätinstrument	42
4.2. Mätningar och mätobjekt	42
4.3. Datakvalitet och mätosäkerheter	43
4.4. Förbearbetning av friktionsdata	44
4.4.1. Reducering av mätbrus	44
4.4.2. Jämförelse av upprepade mätningar och urval av data	45
4.4.3. Bestämning av friktion, heldragna markeringar	46
4.4.4. Bestämning av friktion, intermittenta markeringar	47
4.5. Förbearbetning av retroreflexions- och MPD-data	48
4.6. Modeller	49
4.6.1. Modellansats	49
4.6.2. Dataset	49
4.6.3. Samband mellan friktion och retroreflexion	49

4.6.4. Samband mellan friktion och MPD	51
4.6.5. Framtagande av modell.....	53
4.7. Diskussion.....	55
5. Sammanfattande slutsatser	58
Referenser	61
Bilaga 1. Modell för predicering av friktion baserad på mätningar på provfältet, studie 1	63
Bilaga 2. Ytterligare jämförelser mellan metoder, studie 1.....	65
Bilaga 3. Mätobjekt, studie 2.....	67

Sammanfattning

Mätning av friktion på vägmarkering – Jämförelse av olika metoder samt utveckling av modell för mobil mätning

av Carina Fors (VTI) och Sven-Olof Lundkvist (VTI)

För vägmarkering finns funktionskrav gällande bland annat markeringens friktion, vilken anges i enheter som avser friktion uppmätt med handhållna instrument. Sådana instrument lämpar sig emellertid inte för mätning av friktion över längre sträckor, eftersom det skulle vara alltför tidskrävande och kostsamt. För att på ett effektivt sätt kunna övervaka ett större vägnät och kontrollera att funktionskraven uppfylls behövs mobila mätmetoder, det vill säga metoder som baseras på instrument monterade på fordon och som möjliggör mätning i trafikhastighet. Vidare är friktionen som uppstår mellan fordon och vägyta hastighetsberoende. Den friktion som kan mätas med handhållna instrument avser friktion i lägre hastigheter, medan det ur trafiksäkerhetssynpunkt snarare är friktion i högre hastigheter som är mest relevant.

Föreliggande rapport beskriver resultaten från två studier som handlar om metoder för att mäta eller uppskatta vägmarkeringars friktion mobilt. I den första studien har tre olika mobila metoder, *Road Friction Tester* (RFT), *Traction Watcher One* (TWO) och *Road Marking Tester* (RMT), jämförts med den handhållna metoden *Portable Friction Tester* (PFT). I den andra studien har en skattningsmodell för friktion i högre hastigheter, baserad på mätningar av vägmarkeringens retroreflexion och textur, tagits fram.

Den första studien visade att de olika metoderna ger olika resultat, vilket kan förväntas eftersom storheten friktionstal inte har någon entydig definition utan delvis beror på mätinstrumentets egenskaper. Vid mätning i lägre hastigheter fanns det mellan PFT och RFT respektive TWO förhållandevis tydliga samband (signifikant, korrelationskoefficient r : 0,86–0,89), medan sambandet mellan PFT och RMT var något svagare (signifikant, korrelationskoefficient r : 0,65–0,71). Vid mätning i högre hastigheter var sambandet mellan RFT och TWO relativt tydligt (signifikant, korrelationskoefficient r : 0,80), medan sambanden mellan RMT och RFT respektive TWO var ganska svaga (signifikant, korrelationskoefficient r : 0,31–0,61). Ett genomgående resultat var att TWO gav lägre friktionsvärden än övriga metoder. Det kunde också konstateras att mätastigheten hos RFT och TWO hade en viss inverkan på den uppmätta friktionen.

I den andra studien användes TWO som referensmetod för att ta fram en skattningsmodell för friktion i högre hastigheter. Resultaten visade att friktionen till viss del kan prediceras från materialets retroreflexion och textur, men att sambanden inte är tillräckligt starka för att en modell som baseras på (enbart) dessa två parametrar ska vara användbar i praktiken. En begränsning hos studien är att det inte finns någon standardiserad metod för friktionsmätning på vägmarkering i högre hastigheter. Referensmetoden som användes, TWO, är egentligen avsedd för mätning på vägytor och inte vägmarkering, vilket innebär en osäkerhet i instrumentets förmåga att mäta vägmarkeringars friktion, som kan ha påverkat möjligheterna att ta fram en bra skattningsmodell.

Summary

Friction assessment of road markings – A comparison of different methods and development of a model for mobile assessment

by Carina Fors (VTI) and Sven-Olof Lundkvist (VTI)

For road markings, there is a performance requirement regarding friction, which is given in units obtained with handheld instruments. Such instruments are not suitable for assessment of friction on longer stretches of road, since it would be too time consuming and expensive. In order to be able to monitor a large road network and to assess whether the performance requirements are fulfilled, mobile measurement methods are needed, i.e. methods based on instruments mounted on vehicles. Besides, the friction that occurs between the tyres of a vehicle and the road surface is speed dependent. Handheld instruments reflect the friction that occurs in low speeds, while from a traffic safety perspective, friction in higher speeds is most relevant.

The present report describes the results from two studies about methods for mobile assessment or estimation of road marking friction. In the first study, three different mobile methods, *Road Friction Tester* (RFT), *Traction Watcher One* (TWO) and *Road Marking Tester* (RMT), were compared to the handheld method *Portable Friction Tester* (PFT). In the second study, a prediction model for friction in higher speeds was developed, based on measurements of the coefficient of retroreflected luminance and the texture of the road marking.

The first study showed that the different methods give different results, which is expected since the physical quantity *coefficient of friction* does not have a unique definition but is dependent on the properties of the instrument. In lower speeds, there were significant relationships between PFT and RFT, and between PFT and TWO (correlation coefficient 0,89 and 0,86, respectively). The relationships between PFT and RMT were somewhat weaker, although significant (correlation coefficients 0,65–0,71). In higher speeds, there was a significant relationship between RFT and TWO (correlation coefficient 0,80). The relationships between RMT and RFT, and between RMT and TWO, were weaker but significant (correlation coefficients 0,86–0,89). TWO gave lower friction values than the other methods. Measurement speed had an influence on the results obtained with RFT and TWO.

In the second study, TWO was used as a reference when developing a prediction model for friction in higher speeds. The results showed that friction to some extent can be predicted from the coefficient of retroreflected luminance and the texture of the marking, but that the relationship is not strong enough for the model to be applicable. A limitation of the study is that there is no standardized method for measurement of road marking friction in higher speeds available. The reference method used, TWO, is developed for friction assessment of road surfaces and not for road markings, which implies that the ability of the instrument to assess road marking friction is somewhat uncertain.

1. Inledning

Trafikverkets nationella riktlinjer för krav vid upphandling föreskriver funktionskrav för vägmarkering, bland annat avseende friktion. I gällande funktionskrav anges friktion i både SRT-enheter och PFT-enheter. Det förstnämnda avser friktion mätt med det handhållna instrumentet *Skid Resistance Tester* (SRT), vilket utgör standardinstrument för mätning av friktion på vägmarkering (EN 1436). En nackdel med SRT är att mätningarna är opraktiska: de kräver en kunnig operatör, de tar förhållandevis lång tid att genomföra och instrumentet är inte särskilt väl anpassat för vägmiljön (avsett att placeras på plan bordsyta i labmiljö). *Portable Friction Tester* (PFT) är liksom SRT ett handhållet/handmanövrerat instrument, men är snabbare och enklare att använda än SRT. En ytterligare fördel med PFT är att man enkelt kan få ett medelvärde över en större yta, medan SRT mäter i endast en punkt. En tidigare studie har visat på en god överensstämmelse mellan SRT- och PFT-mätningar på vägmarkeringar (Wälivaara 2007).

Varken SRT eller PFT lämpar sig emellertid för mätning av friktion över längre sträckor, dels för att det är alltför tidskrävande och kostsamt med handhållen mätning, dels av säkerhetsskäl då instrumenten kräver att en operatör befinner sig på vägen. För att kunna utföra mätningar och effektivt övervaka ett större vägnät, vilket är nödvändigt för att kunna kontrollera att funktionskraven uppfylls, behövs mobila mätmetoder, dvs. metoder som baseras på instrument monterade på fordon och som möjliggör mätning i trafikshastighet. Dessutom är den (dynamiska) friktionen hastighetsberoende. Den friktion som kan mätas med SRT eller PFT kan inte enkelt extrapoleras att gälla för högre hastigheter än 50 km/h. Om man vill veta vilken friktion som uppstår mellan däck och vägyta för ett fordon som kör i högre hastighet är det nödvändigt att mäta denna med en valid metod. Ur trafiksäkerhetssynpunkt har sannolikt friktionen i högre hastigheter större relevans än friktion i lägre hastigheter, eftersom det främst är i högre hastigheter en otillräcklig friktion kan utgöra en risk för allvarliga olyckor.

1.1. Syfte

Syftet med denna rapport är att beskriva, analysera och värdera resultaten från två studier om mätmetoder för friktionsmätning på vägmarkering. Analysen ska ge svar på frågor som; mäter de olika mätarna tillräckligt lika, finns det samband, vad skiljer och påverkar resultaten, kan metoderna ersätta varandra och går det att med detta underlag prediktera friktion vid högre hastigheter?

I den första studien (Studie 1, kapitel 3) jämfördes de tre mobila metoderna *Road Friction Tester* (RFT), *Traction Watcher One* (TWO) och *Road Marking Tester* (RMT) med den handhållna metoden *Portable Friction Tester* (PFT). Syftet med denna studie var att undersöka hur mätresultaten från respektive metod förhåller sig till varandra, samt att beskriva metodernas egenskaper och deras förutsättningar att användas för friktionsmätning på vägmarkering. Den andra studien (Studie 2, kapitel 4) syftade till att ta fram en modell, baserad på mätning av vägmarkeringens retroreflexion och textur, för skattning av friktion i högre hastighet. Studie 2 utgör ett komplement till två tidigare studier där man tagit fram modeller för skattning av friktion i lägre hastigheter (Lundkvist, Johansen och Nielsen 2008; Lundkvist och Nielsen 2009).

1.2. Friktionsmätning

Friktionen är enkelt uttryckt den motverkande kraft som uppkommer då två ytor som är i kontakt rör sig relativt varandra. I praktiken är friktion en förhållandevis komplex storhet – dels kan friktion uppkomma genom olika mekanismer (ojämnheter, adhesion, deformation, tribologiska egenskaper och slitage), dels beror friktionen på om de två ytorna är i rörelse eller vila, samt med vilken kraft de pressas mot varandra. Vilken friktion som mäts upp för en viss yta beror därför till stor del på vilken mätmetod som har använts.

Man skiljer mellan *statisk* och *dynamisk* friktion. I trafiksammanhang är det vanligtvis den dynamiska friktionen som är av intresse, dvs. den friktion som uppstår när de två ytorna – t.ex. en däckyta mot en

vägyta – är i rörelse relativt varandra. Man kan säga att uttrycket *friktion* betecknar den fysikaliska egenskapen som man sedan försöker mäta med en standardiserad metod uttryckt som vägytans *friktionstal*, *halkmotstånd* eller *slirighet*.

Nedan beskrivs tre metoder för att mäta dynamisk friktion.

1.2.1. British pendulum, pendelmetoden

Den ”brittiska pendeln” benämns även *Portable Skid Resistance Tester* (SRT) och är ett standardiserat instrument (SS EN 13036-4) för att mäta friktion på till exempel golvytor och vägytor. Instrumentet består av en ca 50 cm lång pendelarm som är fäst i ett stativ. I änden av armen sitter en ”fot” med gummiyta på undersidan. Mätningen av friktion görs genom att pendelarmen vinklas upp 90 grader och sedan släpps så att foten med gummiytan glider mot underlaget. Beroende på hur mycket foten bromsas av underlaget kommer pendeln att svinga upp till en viss höjd, vilken räknas om till ett mått på underlagets friktion.

SRT utgör standardinstrument för mätning av friktion på vägmarkering, enligt den europeiska standarden EN 1436 och ska representera friktionen i 50 km/h.

1.2.2. Skiddometerprincipen

Skiddometerprincipen innebär att den longitudinella friktionen mäts med ett instrument som rör sig över ytan med en given hastighet. Instrumentet är försett med ett extra hjul (mätthjul) som tvingas rotera med en periferihastighet som är lägre än instrumentets övriga hjul. Hur mycket mätthjulet bromsas anges med storheten *slip*, där 0 % slip motsvarar ett frirullande hjul och 100 % slip motsvarar ett helt låst hjul. Hos de instrument som används för att mäta friktionen på vägytor är slipet vanligtvis runt 15–20 %. Mätthjulet belastas så att dess normalkraft mot vägytan hålls inom givna gränser. Friktionstalet (friktionsvärdet) definieras som kvoten av den horisontella bromskraft som uppstår mellan mätthjulets däck och vägytan, och den uppmätta vertikala normalkraften hos mätthjulet.

Egenskaperna hos mätthjulets däck har betydelse för den uppmätta friktionen. Parametrar såsom dimension, mönster och ringtryck är därför specificerade för varje typ av instrument. Däckets och vägytans temperatur samt eventuell smörjfilm mellan däck och vägbana är också väsentliga för mätresultatet. Ytan begjuts vanligtvis med en tunn vattenfilm innan friktionsmätningen genomförs.

Trafikverket föreskriver att vägytors friktion ska mätas med skiddometerprincipen, se kravdokumentet *Bestämning av friktion på belagd väg* (Trafikverket 2014a). Vid mätning av vägytor är mätthjulet placerat under eller bakom ett fordon som framförs i en given hastighet. Vid en sådan mätning kan den registrerade friktionen relateras till mätthastigheten.

1.2.3. Modellbaserad mätmetod

Modellbaserade metoder innebär att friktionen mäts indirekt, genom mätning av andra egenskaper hos ytan. Med hjälp av en matematisk modell skattas friktionen utifrån de uppmätta parametrarna. I kapitel 1.3 beskrivs tidigare framtagna modeller för att skatta friktionen hos vägmarkeringar.

1.3. Tidigare modeller för mobil mätning av friktion

De tidigare modellerna för mobil mätning av vägmarkeringars friktion bygger på följande antaganden (Lundkvist, Johansen och Nielsen 2008; Lundkvist och Nielsen 2009):

- En yta med grov textur bör ha högre friktion än en jämn yta.
- En yta med hög retroreflexion har sannolikt många pärlor på ytan, vilket sannolikt minskar friktionen.

Både makrotextur och retroreflexion kan mätas mobilt vilket beskrivs nedan.

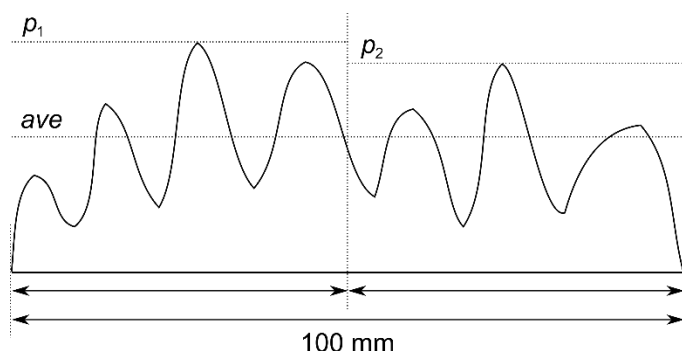
1.3.1. Makrotextur, Mean Profile Depth

Makrotexturen mäts med en lasersensor (optikator) och anges i måttet *Mean Profile Depth* (MPD). MPD definieras och beräknas enligt (EN ISO 2004). I ett första steg beräknas *Mean Segment Depth* (MSD), vilket definieras som medelprofildjupet för ett en decimeter långt segment:

$$MSD = \frac{p_1 + p_2}{2} - ave$$

med beteckningar enligt Figur 1. MPD beräknas sedan som det aritmetiska medelvärdet av MSD över en viss sträcka. Enheten för MPD är mm.

MPD är ett mått på ytans *makrotextur*, vilket avser textur i storleksordningen (våglängd) 0,5–50 mm.



Figur 1. Beräkning av MPD. Varje segment om 100 mm delas i två lika långa delar, där p_x är maxvärdet i respektive del. Ave är medelnivån över profilen.

1.3.2. Retroreflexion

Retroreflexionen, R_L , beskriver vägmarkeringens synbarhet i fordonsbelysning och definieras som:

Kvoten mellan vägmarkeringens luminans i observatörens (förarens) riktning och belysningsstyrkan hos det infallande ljuset (fordonsbelysningen) i planet som är vinkelrät mot ljusets riktning.

Definitioner och beräkningsanvisningar ges av SS EN 1436:2007+A1:2008 (SIS 2008). Kortfattat simulerar mätinstrumentet en situation där siktsträckan till vägmarkeringen är 30 m för en personbilsförare vars ögonhöjd över vägbanan är 1,2 m och där fordonets strålkastare är monterade 0,65 m över vägbanan. Enheten för R_L är $\text{mcd}/\text{m}^2/\text{lx}$.

1.3.3. Skattning av vägmarkeringars friktion i gånghastighet

I rapporten *Mobil funktionskontroll av vägmarkeringar* (Lundkvist, Johansen och Nielsen 2008) beskrivs hur MPD och retroreflexion kan användas för att skatta vägmarkeringars friktion i gånghastighet, mätt med instrumentet *Portable Friction Tester* (PFT). Resultaten visade bland annat följande:

- Nya och gamla markeringars (plana) friktion kunde inte beskrivas på ett bra sätt med en och samma modell. Äldre markeringars friktion bestämdes huvudsakligen av retroreflexionen, medan nya markeringars friktion i första hand var relaterad till texturen:

$$\mu_{plan,gammal} = 0,91 - 0,0011 \cdot R_{L-torr} + 0,16 \cdot MPD$$

$$\mu_{plan,ny} = 0,39 + 0,26 \cdot MPD$$

- Profilerade vägmarkeringar uppfyllde alltid kraven på friktion och därför gjordes ingen modell för dessa.

Av praktiska skäl föreslogs dock en och samma modell för nya och gamla plana markeringar:

$$\mu_{plan} = 0,90 - 0,0012 \cdot R_{L-torr} + 0,11 \cdot MPD,$$

där precisionen i modellen var $\pm 0,15$. Det vill säga, markeringar med en predicerad friktion på 0,60 eller högre hade med 95 % sannolikhet en verklig friktion på 0,45 eller högre, vilket var gällande funktionskrav. Vidare konstaterades att modellen överskattade friktionen hos nya markeringar. Slutsatsen från studien var att friktionen bedömdes kunna mätas mobilt, men att sambandet mellan friktion, retroreflexion och MPD behöver studeras ytterligare.

En vidareutveckling av modellen ovan finns beskriven i rapporten *Utveckling av Road Marking Tester – Status RMT version 2* (Lundkvist och Nielsen 2009). Separata modeller för nya och gamla plana markeringar föreslogs, där modellen för gamla markeringar stämde väl överens med den som togs fram i det tidigare projektet, med mindre justeringar på grund av att en ny optikator användes:

$$\mu_{plan,gammal} = 0,95 - 0,0011 \cdot R_{L-torr} + 0,15 \cdot MPD$$

Korrelationskoefficienten mellan prediktions- och mätvärden var $r = 0,92$, vilket gav ett 90 % prediktionsintervall på $\pm 0,11$.

För nya plana markeringar togs en helt ny modell fram:

$$\mu_{plan,ny} = 0,74 - 0,0013 \cdot R_{L-torr} + 0,088 \cdot MPD$$

Korrelationskoefficienten mellan prediktions- och mätvärden var $r = 0,86$, vilket gav ett 90 % prediktionsintervall på $\pm 0,05$.

Båda modellerna togs fram baserat på förhållandevis få mätningar (9 respektive 11) och det rekommenderades att de verifieras med ytterligare mätningar. Det gjordes även mätningar på ett mindre antal profilerade markeringar. Det konstaterades att nya sådana markeringar kan ha låg friktion och att en modell för detta borde utvecklas.

2. Mätinstrument

I de två studierna har fyra olika mätinstrument använts: *Portable Friction Tester* (PFT), *Road Friction Tester* (RFT), *Traction Watcher One* (TWO) och *Road Marking Tester* (RMT).

2.1.1. Portable Friction Tester (PFT)

Portable Friction Tester (PFT) är ett handhållet instrument som bygger på skidometerprincipen (se kapitel 1.2.2). Instrumentet har två bärhjul och ett mät hjul med ett slip på 20 %, Figur 2. Däcket på mät hjulet har en slät yta av gummi. Instrumentet körs över mätytan i en given gånghastighet. Friktionen mäts kontinuerligt och instrumentet registrerar ett värde ungefär varannan centimeter. Eftersom instrumentet är förhållandevis litet kan det användas på mindre ytor där större mätfordon inte ryms.

PFT har en god reproducerbarhet och är operatörsoberoende. De friktionsvärden som uppmäts med PFT har ett linjärt förhållande till SRT-pendeln. För ytterligare detaljer, se Wälivaara (2007).

Vid mätning av våtfriktion (vilket var fallet i föreliggande studie) begjuts mätytan med en tunn vattenfilm innan mätningen görs.



Figur 2. Det handhållna instrumentet *Portable Friction Tester*, PFT. Foto: Mohammad-Reza Yahya, VTI.

2.1.2. Road Friction Tester (RFT)

Road Friction Tester (RFT) baseras på skidometerprincipen och består av en personbil där ett mät hjul är monterat undertill i bakre delen av fordonet, Figur 1. RFT kan mäta friktion i hastigheter mellan 10 och 130 km/h, med en upplösning på 1 m. Instrumentet har ett slip på 15 % och en hjullast på 120 kg. Mät hjulet består av ett mönstrat däck av typen Trelleborg T49 med dimensionen 4.00-8 71J, dvs. däckets bredd är 4 tum. Däckets kontaktyta mot vägen är ca 6–7 cm, beroende på slitagetillstånd. Mätytan begjuts med en vattenfilm på 0,5 mm.



Figur 3. Mätinstrumentet Road Friction Tester (RFT). Mät hjulet är monterat undertill på bilen (ej synligt på bilden). Bild: www.roadfriction.se.

2.1.3. Traction Watcher One (TWO)

Traction Watcher One (TWO) bygger liksom PFT och RFT på skiddometerprincipen. Instrumentet är monterat baktill på ett mätfordon, Figur 4. I föreliggande projekt gjordes en specialmontering så att instrumentet placerades i linje med fordonets högersida, vilket möjliggjorde mätning på vägmarkeringar även på vägar med smal vägren.

I föreliggande studier användes ett mätdäck av typen Trelleborg T49 med dimensionen 4.00-8 71J, dvs. samma typ som användes av RFT. Instrumentet har ett slip på 17,8 % och en hjullast på 60 kg. Samplingsfrekvensen är 100 Hz och instrumentet ger ett mätvärde per 0,5 m. TWO kan mäta i hastigheter mellan 5 och 110 km/h. Mätytan begjuts med en vattenfilm på 0,5 mm.



Figur 4. Mätinstrumentet Traction Watcher One (TWO). Hjulen sänks ned mot vägytan vid mätning. Foto: Carina Fors, VTI.

2.1.4. Road Marking Tester (RMT)

Road Marking Tester (RMT) är ett mobilt mätinstrument för utvärdering av vägmarkeringens funktionsparametrar. RMT opererar i hastigheter upp till 90 km/h och samplar då mätvärden med millimeternoggrannhet.

RMT möjliggör mobil och kontinuerlig mätning och utvärdering av samtliga parametrar som ställs krav på i Trafikverkets regelverk, dvs. retroreflexion för torra och våta markeringar, luminanskoefficient och friktion.

Friktionen skattas från mätningar av retroreflexion och MPD. Retroreflexionen mäts med en reflektometer (Delta, Danmark) medan MPD beräknas utifrån samplade mätvärden från en punktlaser.

Mätning med RMT utförs på en torr vägyta. Mer detaljer ges i (Lundkvist och Nielsen, 2009).



Figur 5. Det mobila mätsystemet Road Marking Tester (RMT). Instrumentet som mäter retroreflexion och MPD är monterat på sidan av fordonet. Foto: Berne Nielsen, Ramböll.

3. Studie 1: Jämförelse av metoder för friktionsmätning på vägmarkering

3.1. Mätinstrument

I denna delstudie gjordes mätningar med fyra instrument (se även kapitel 2):

- Portable Friction Tester (PFT), handhållen friktionsmätning
- Road Friction Tester (RFT), mobil friktionsmätning
- Traction Watcher One (TWO), mobil friktionsmätning
- Road Marking Tester (RMT), friktionsskattning från mobil mätning av retroreflexion¹ och texturprofil.

3.2. Mätobjekt

Mätningar gjordes på ett nylagt provfält för vägmarkeringar på väg E45, strax norr om Sunne i Värmlands län (Fors, Johansen och Lundkvist, 2015). På provfältet finns 81 olika material, där varje material är utlagt i sex spår tvärs körfältet, Figur 6. En sjunde markering ligger på vägreken. Varje linje är 2,5 m lång och 0,3 m bred. Avståndet mellan varje rad av linjer är 2 m. För vissa material saknas en eller flera linjer. Det totala antalet linjer på provfältet är 551 st.

De sju spåren numreras från vägreken mot mittlinjen, dvs. markeringen på vägreken benämns spår 1 och så vidare, till markeringen närmast mittlinjen som benämns som spår 7.



Figur 6. Provfältet där mätningarna gjordes. Markeringarna är utlagda i sju spår där markeringen på vägreken benämns spår 1 och markeringen närmast mittlinjen benämns spår 7. Foto: Mohammad-Reza Yahya, VTI.

¹ Mätningar av retroreflexion R_L gjordes med handhållet instrument och inte med RMT:s mobila motsvarighet, beroende på begränsningar i det mobila instrumentets upplösning.

Både vita och gula markeringar finns på provfältet. Fyra olika materialtyper förekommer: extruderad termoplast, sprayplast, färg och kallplast. Materialen på provfältet kan sägas vara representativa för de material som förekommer på vägar i Sverige och Norge.

Samtliga material utom ett är utlagda som plana markeringar. På ett flertal av materialen har man lagt ett tunt lager med friktionshöjande granulat på ytan, eftersom nylagda markeringar annars kan ha en mycket låg friktion (och därmed inte uppfyller funktionskraven).

3.3. Mätningar och förbearbetning av mätdata

Samtliga mätningar gjordes ca 2–4 veckor efter utläggning. Av praktiska och säkerhetsmässiga skäl var det inte möjligt att mäta med alla metoder i alla spår. Vilka mätningar som gjorts med respektive instrument beskrivs nedan.

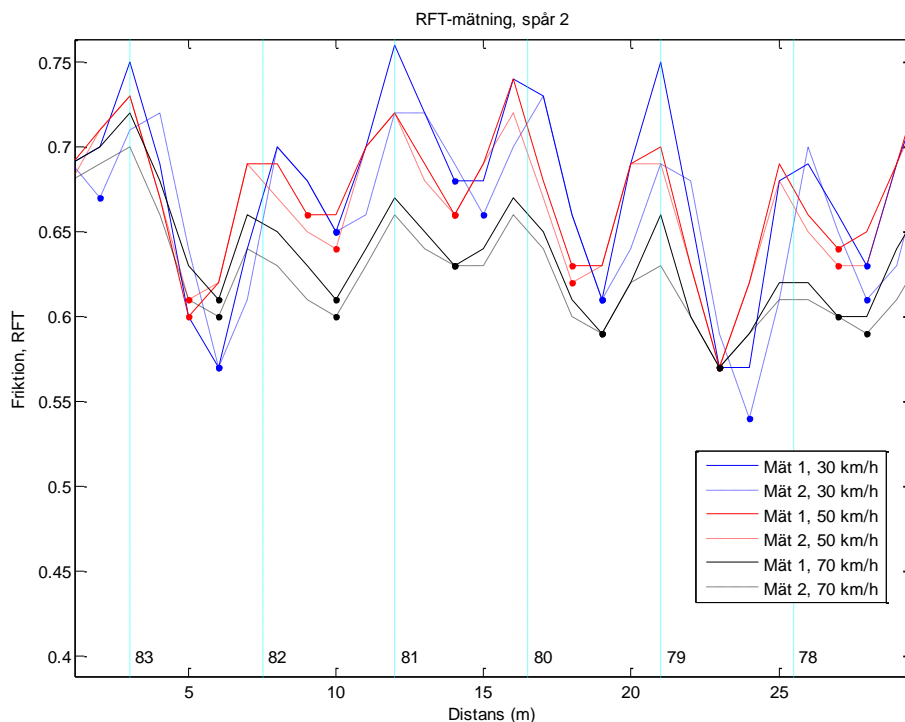
3.3.1. PFT-mätningar

Mätningar med PFT gjordes på samtliga markeringar på provfältet, 13–23 dagar efter utläggning. Friktionen mättes längs mitten på varje markering. Mätdata från de yttersta 0,5 m i varje ände av markeringen exkluderades i efterhand för att undvika påverkan från att instrumentet kan hoppa till vid kanten av markeringen. Dessutom exkluderades eventuella spikar i mätdata, som härrörde från småstenar eller avtryck från fordonshjul på markeringens yta. Återstående mätdata, dvs. ca 75 mätvärden per markering, medelvärdesbildades.

3.3.2. RFT-mätningar

Med RFT mättes friktionen kontinuerligt längs med hela provfältet i spår 2–6. Instrumentet ger ett mätvärde per meter, vilket innebär att vissa mätvärden visar markeringarnas friktion medan andra mätvärden härrör från beläggningen mellan raderna med markeringar, eller består av en blandning av markering och beläggning.

Mätvärdena som hör till markeringarna identifierades dels genom distansangivelsen från mätinstrumentet, dels genom att markeringarna förväntas ha lägre friktion än vägbeläggningen, Figur 7. Färgmarkeringar, vilka läggs i mycket tunna skikt, kan dock förväntas ha ungefär samma friktion som beläggningen och i de fallen identifierades markeringarnas friktion enbart från distansangivelsen.



Figur 7. Exempel på friktionsmätning med RFT. Markeringarnas friktion (runda markörer på kurvorna) identifieras dels genom distansangivelsen från instrumentet (x-axeln), dels genom att markeringens friktion vanligtvis är lägre än vägbeläggningens friktion. De vertikala linjerna markerar start och slut för varje "markeringscykel", dvs. markering + lucka före och efter. Siffrorna i nederkanten anger markeringarnas id-nummer.

Mätningar gjordes i tre hastigheter: 30, 50 och 70 km/h. För varje hastighet gjordes två mätningar. De två mätvärdena för varje markering och hastighet medelvärdesbildades, förutsatt att det skiljde mindre än 0,05 enheter mellan de två värdena. Om skillnaden var 0,05 eller större ansågs osäkerheten i mätningen vara alltför stor², och båda mätvärdena för markeringen exkluderades därför.

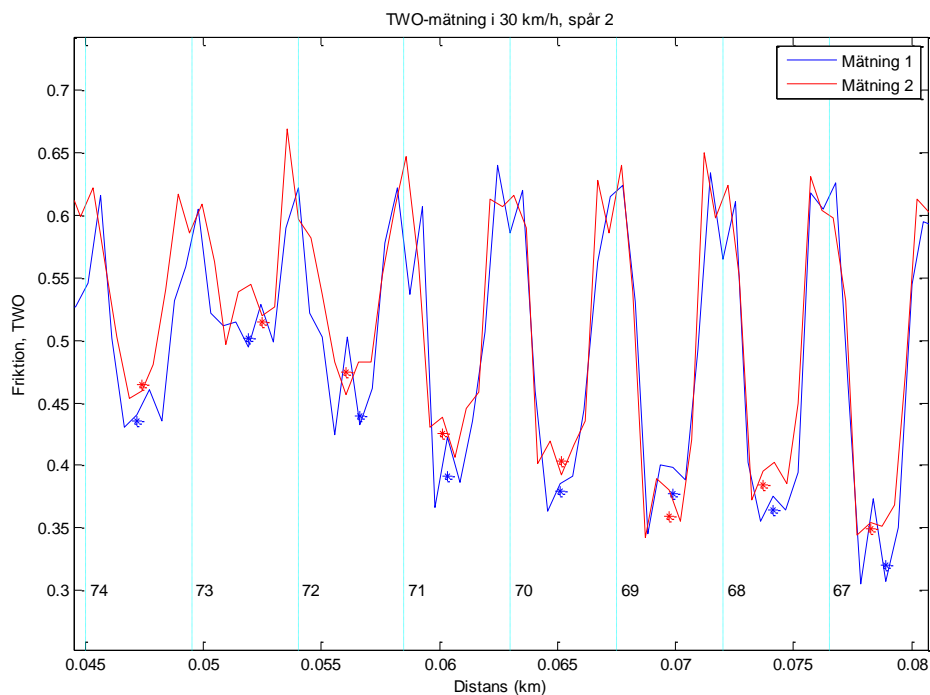
Totalt gjordes mätningar med RFT på 396 markeringar. Av dessa exkluderades 24 mätvärden för hastigheten 30 km/h, 15 mätvärden för hastigheten 50 km/h och 39 mätvärden för hastigheten 70 km/h, beroende på att det skiljde $\geq 0,05$ enheter mellan de upprepade mätningarna.

3.3.3. TWO-mätningar

Med TWO mättes friktionen kontinuerligt längs med hela provfältet, i spår 2–5. Instrumentet ger ett mätvärde per 50 centimeter, vilket innebär att vissa mätvärden visar markeringarnas friktion medan andra mätvärden härrör från beläggningen mellan raderna med markeringar, eller består av en blandning av markering och beläggning.

För varje markering identifierades de tre mätvärden som mest sannolikt visar markeringens friktion med hjälp av distansangivelsen. I de fall där markeringen förväntades ha betydligt lägre friktion än beläggningen (termoplaster) valdes de tre mätvärdena med lägst värden, se Figur 8. I annat fall identifierades markeringens friktion enbart utifrån distansangivelsen.

² Exklusionskriteriet är hämtat från Trafikverkets kravdokument för mätning av friktion på belagd väg (Trafikverket 2014a).



Figur 8. Exempel på friktionsmätning med TWO. Markeringarnas friktion (*-markörer i figuren) utgörs av medelvärdet av de tre lägsta värdena som mätts upp på respektive markering, vilka identifieras dels genom distansangivelsen från instrumentet (x-axeln), dels genom att markeringens friktion vanligtvis är lägre än vägbeläggningens friktion. De vertikala linjerna markerar start och slut för varje "markeringscykel", dvs. markering + lucka före och efter. Siffrorna i nederkanten anger markeringarnas id-nummer.

Mätningar gjordes i tre hastigheter: 30, 50 och 70 km/h. För varje hastighet gjordes två mätningar (för spår 4 i 70 km/h och för spår 5 i 50 km/h gjordes dock bara en mätning). De tre mätvärdena för varje markering och mätning medelvärdesbildades, och medelvärdena från de två upprepade mätningarna jämfördes. Om skillnaden var 0,05 enheter eller större ansågs osäkerheten i mätningen vara alltför stor, och båda mätvärdena för markeringen exkluderades. Om skillnaden var mindre än 0,05 enheter medelvärdesbildades de två medelvärdena.

I några fall i hastigheten 70 km/h fanns det inga tydliga minima i friktionskurvorna, varken i mätning 1 eller mätning 2, där det förväntades, dvs. på positioner där det låg termoplastmaterial. Dessa låg alltid i sekvens där flera intilliggande material saknade minima (vanligtvis var dessa sekvenser inte exakt lika långa för mätning 1 och mätning 2). I motsvarande mätningar i lägre hastigheter fanns dock tydliga minima. Den mest sannolika förklaringen är att mät hjulet befunnit sig helt eller delvis utanför spåret i dessa sekvenser (i de båda upprepade mätningarna). Eftersom mät hjulet är monterat baktill på mätfordonet kan inte operatören se hjulet medan mätningen pågår, vilket gör att det alltid finns en viss risk att hjulet inte är rätt positionerat längs med spåret. Vid högre mät hastigheter krävs det sannolikt en längre sträcka för att korrigera positionen, dvs. bortfallet riskerar att bli större i högre hastigheter. Eftersom det fanns en osäkerhet i huruvida mätvärdena från de aktuella segmenten är korrekta eller ej, exkluderades de från den fortsatta analysen.

Totalt gjordes mätningar med TWO på 306 markeringar. Av dessa exkluderades 61 mätvärden för hastigheten 30 km/h, 53 mätvärden för hastigheten 50 km/h och 90 mätvärden för hastigheten 70 km/h, beroende på att det skiljde $\geq 0,05$ enheter mellan de upprepade mätningarna. Ytterligare 5 (30 km/h), 86 (50 km/h) respektive 84 (70 km/h) mätvärden exkluderades på grund av att det ena eller båda mätvärdena saknades. Saknade mätvärden beror antingen på att instrumentet startats eller

stoppats för sent/tidigt i ändarna av provfältet, eller på att två hela mätningar – en för linje 4 i 70 km/h och en för linje 5 i 50 km/h – helt saknas. Utöver detta har ytterligare 18 mätvärden i hastigheten 70 km/h exkluderats, beroende på att instrumentet sannolikt befunnit sig helt eller delvis utanför markeringarna.

3.3.4. RMT-mätningar

Mätningar av RMT gjordes i spår 2–6, mellan 7 och 17 dagar efter utläggning, varvid mätdata gällande MPD extraherades. Mätdata från ca. 0,1 m av respektive ände för varje markering exkluderades i efterhand för att garantera att MPD-värden endast härrörde från markering. Samplingsfrekvens var ca 5 200 sampel per markering. På grund av att mätningen utfördes med mätbil och punktlaser kan sidoplacering variera något från mitten av varje markering.

MPD mättes på varje markering två gånger. Om skillnaden mellan de två upprepade mätningarna var mindre än 0,2 medelvärdesbildades de två värdena och resultatet användes i de fortsatta analyserna. Om det skiljde 0,2 enheter eller mer mellan de två mätningarna, eller om det ena mätvärdet saknades, exkluderades mätningen. Saknade värden beror på att mätinstrumentet befunnit sig utanför markeringen.

Mätningar av retroreflexion gjordes med handhållet instrument mellan 5 och 20 dagar efter utläggning. På varje markering gjordes tre mätningar, vilka medelvärdesbildades.

Friktionen beräknades med hjälp av de modeller som tidigare tagits fram, där referensmätningar gjorts med PFT, se kapitel 1.3. Två modeller användes, dels den generella modellen för plana markeringar, dels den som avser nya plana markeringar³ (Lundkvist, Johansen och Nielsen 2008):

$$\mu_{RMT-plan} = 0,90 - 0,0012 \cdot R_{L-torr} + 0,11 \cdot MPD$$

$$\mu_{RMT-plan,ny} = 0,39 + 0,26 \cdot MPD$$

Mätvärden från tre markeringar exkluderades beroende på att det mobila instrumentet befunnit sig utanför markeringen. Mätvärden från ytterligare 20 markeringar exkluderades beroende på att det skiljde 0,2 enheter eller mer mellan de upprepade mätningarna av MPD. Dessutom exkluderades samtliga mätvärden från det material som inte var lagt som en plan markering.

De beräknade friktionsvärdena jämfördes med PFT-mätningarna, för att få en uppfattning om hur väl modellerna predicerar friktionen i föreliggande projekt. Eftersom modellerna är framtagna från mätdata på enbart vita markeringar, gjordes separata jämförelser för vita och gula markeringar (vita och gula markeringar har bland annat olika reflexionsegenskaper och man kan därför inte förutsätta att samma modell ska gälla för båda typerna).

Resultaten visas i Tabell 1 och Figur 9. Den generella modellen tenderar att överskatta friktionen för både vita och gula markeringar, men effekten är mer uttalad för gula markeringar. Korrelationen är 0,68 för vita respektive 0,65 för gula markeringar, vilket är markant högre än om man slår ihop vita och gula markeringar, då korrelationen är 0,47. Prediktionsintervallen är jämförbara med det prediktionsintervall som erhöles vid framtagandet av modellen, vilket var $\pm 0,15$ (Lundkvist, Johansen och Nielsen 2008).

Friktion beräknad med modellen för nya plana markeringar uppvisar en något högre korrelation med friktion mätt med PFT, än den generella modellen, men korrelationerna är samtidigt lägre än den korrelation som erhöles vid framtagande av modellen, vilken var $r = 0,86$ (Lundkvist, Johansen och

³ Det finns en nyare modell för nya plana markeringar, baserad på förhållandevis få mätningar, se (Lundkvist och Nielsen 2009) och kapitel 1.3. Den uppvisade sämre överensstämmelse med PFT ($r_{alla} = 0,42$, $r_{vit} = 0,63$, $r_{gul} = 0,62$) än den äldre modellen, och därför har den äldre modellen använts här.

Nielsen 2008). Prediktionsintervallen för vita respektive gula markeringar är desamma för den generella modellen, medan prediktionsintervallet då man inkluderar alla markeringar är något snävare än för den generella modellen. Samtliga prediktionsintervall är större än det prediktionsintervall på $\pm 0,08$ som erhöles vid framtagandet av modellen (Lundkvist, Johansen och Nielsen 2008).

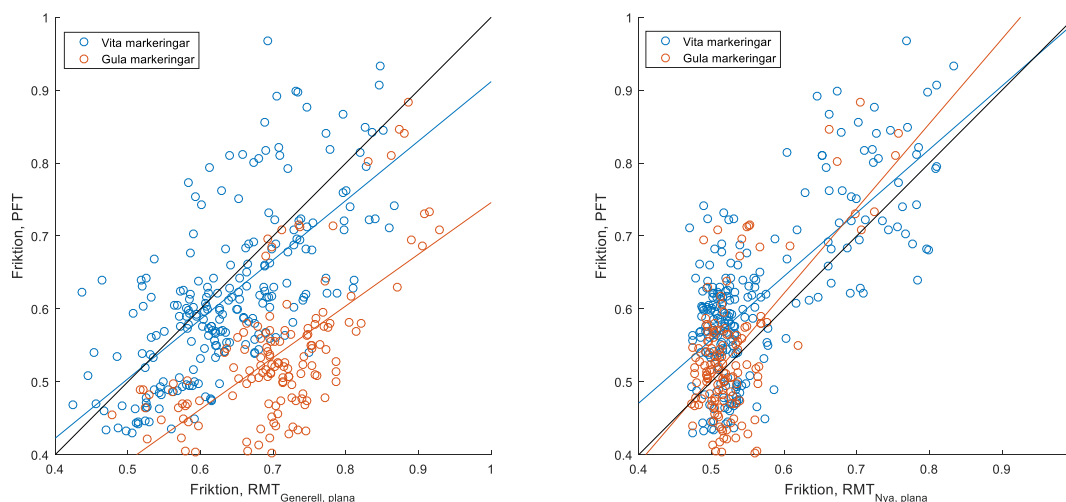
I modellen för nya plana markeringar ingår endast *MPD*, dvs. friktionen prediceras endast utifrån materialets textur. Materialen på provfältet består till största delen av termoplaster, där ytan är förhållandevis slät, men det finns även ett antal färgmarkeringar där ytan är grov. Detta avspeglas i Figur 9 där modellen tenderar att dela in markeringarna i två grupper, där den ena gruppen utgörs av material med lägre friktion (termoplaster) och den andra gruppen av material med högre friktion (färg). Inom gruppen med lägre friktion har modellen svårt att predicera friktionen med god noggrannhet – de flesta material med en friktion i intervallet 0,4–0,7 prediceras ha en friktion runt 0,5.

I de fortsatta analyserna används både den generella modellen och modellen för nya plana markeringar. Vita och gula markeringar analyseras även fortsättningsvis separat, eftersom jämförelserna i Tabell 1 visar att det skiljer en del i hur väl modellerna predicerar vita och gula markeringars friktion.

Tabell 1. Jämförelse mellan PFT-mätningar och beräknad friktion från RMT-mätningar.

	Färg	Regressionsekvation	Korrelationskoefficient	$PI_{\bar{x}90}^*$	n
Generell modell för plana markeringar	Vita	$\mu_{PFT} = 0,097 + 0,815 \cdot \mu_{RMT-Gen.plana}$	$r = 0,68$	$\pm 0,14$	227
	Gula	$\mu_{PFT} = 0,037 + 0,709 \cdot \mu_{RMT-Gen.plana}$	$r = 0,65$	$\pm 0,12$	139
	Alla	$\mu_{PFT} = 0,221 + 0,551 \cdot \mu_{RMT-Gen.plana}$	$r = 0,47$	$\pm 0,17$	366
Modell för plana, nya markeringar	Vita	$\mu_{PFT} = 0,123 + 0,870 \cdot \mu_{RMT-Nya.plana}$	$r = 0,71$	$\pm 0,14$	227
	Gula	$\mu_{PFT} = -0,077 + 1,163 \cdot \mu_{RMT-Nya.plana}$	$r = 0,65$	$\pm 0,12$	139
	Alla	$\mu_{PFT} = 0,046 + 0,978 \cdot \mu_{RMT-Nya.plana}$	$r = 0,71$	$\pm 0,14$	366

*) $PI_{\bar{x}90}$ definieras som det 90% prediktionsintervallet för medelvärdet av observationerna för den förklarande variabeln, avrundat uppåt till två decimaler. Samma definition användes i (Lundkvist, Johansen och Nielsen, 2008).



Figur 9. Sambanden mellan friktion mätt med PFT och friktion beräknad med den generella modellen (vänstra figuren) respektive friktion beräknad med modellen för nya plana markeringar (högra figuren). Blå markörer = vita markeringar, röda markörer = gula markeringar. De blå och röda linjerna visar regressionslinjerna, och den svarta linjen visar $y=x$.

3.4. Jämförelse av metoder

Tabell 2 visar antalet mätvärden per instrument, dvs. antalet markeringar för vilka det finns mätdata från respektive instrument (se även kapitel 3.3.2–3.3.4).

För RMT har både friktionen skattad med den generella modellen samt friktionen skattad med modellen för nya plana markeringar inkluderats i analyserna (se avsnitt 3.3.4). De två varianterna betecknas $RMT_{Gen, plana}$ respektive $RMT_{Nya, plana}$ i avsnitten nedan. När det gäller RFT och TWO anges vilken mätthastighet som avses, t.ex. $RFT_{30 km/h}$.

Tabell 2. Antalet markeringar för vilka det finns mätdata, per instrument.

Markering	PFT	RFT 30 km/h	RFT 50 km/h	RFT 70 km/h	TWO 30 km/h	TWO 50 km/h	TWO 70 km/h	RMT Gen, plana	RMT Nya, plana
Vita	344	237	241	223	158	113	81	227	234
Gula	204	135	140	134	92	64	43	139	140
Alla	548	372	381	357	250	177	124	366	374

För att jämföra de fyra metoderna gjordes flera olika analyser. Till att börja med gjordes en översiktlig jämförelse av friktionens medelvärde för de olika metoderna. Därefter jämfördes mätningar från den handhållna metoden PFT med mätningar från de tre mobila metoderna, vilket kan sägas vara studiens huvudsyfte. Utöver detta gjordes även en jämförelse av de metoder som kan mäta friktion i högre hastigheter, dvs. RFT, TWO och RMT. Slutligen undersöktes hur mätthastigheten påverkar mätresultaten från RFT och TWO.

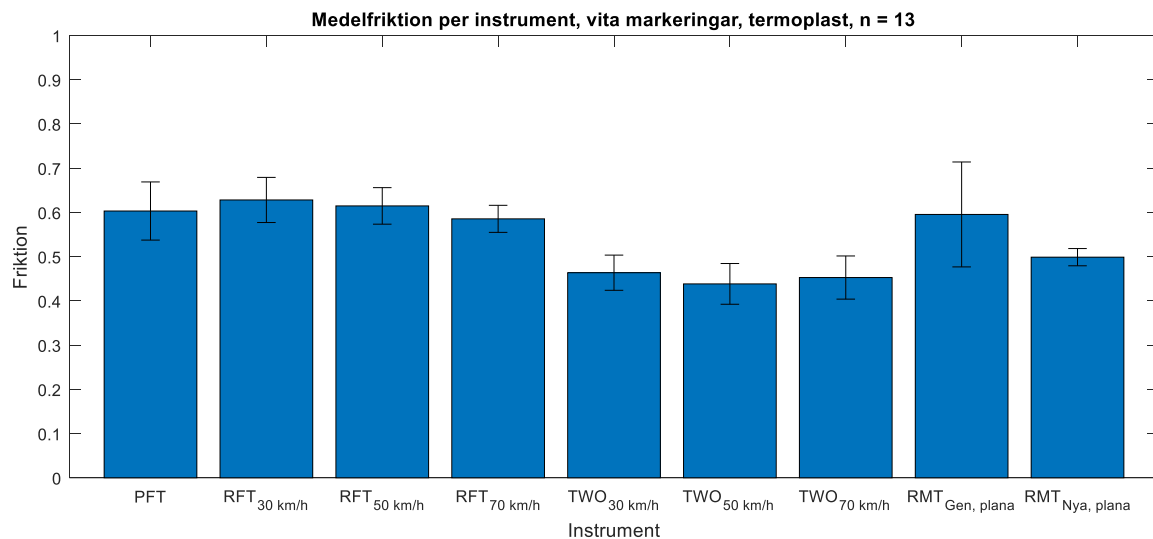
Jämförelserna gjordes med regressionsanalys, där mätvärdena anpassades till en rät linje med hjälp av minsta-kvadrat-metoden. Regressionsekvation (ekvationen som beskriver sambandet), 90 % prediktionsintervall, korrelationskoefficient och antal sampel för samtliga jämförelser redovisas för varje jämförelse. Korrelationsanalyser gjordes med signifikansnivån $\alpha = 0,05$. Signifikanta korrelationer betecknas med * i texten.

3.4.1. Friktionens medelvärde

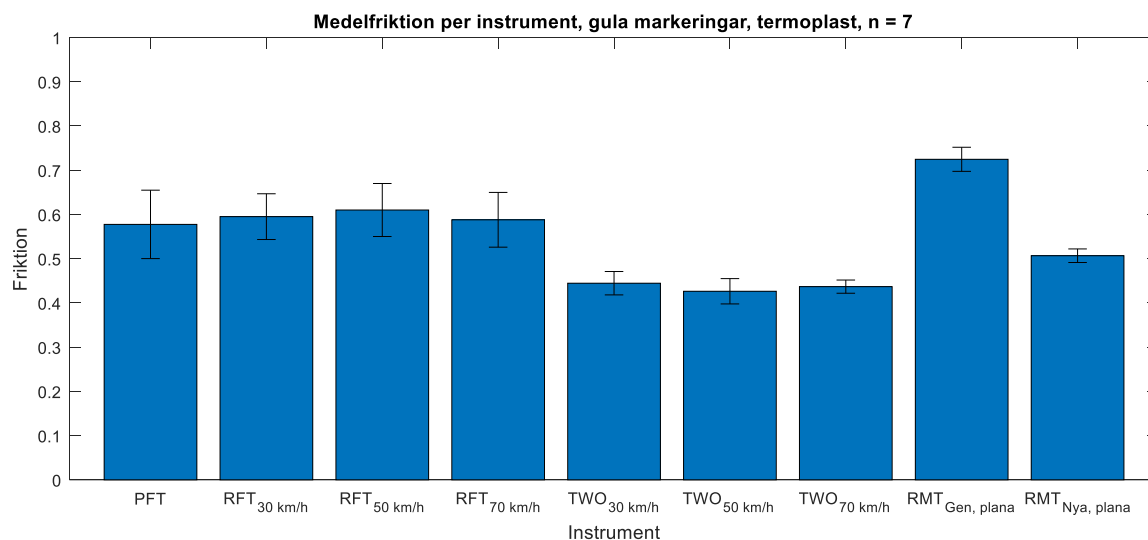
Medelvärden för friktionen för de markeringar där det finns mätvärden från samtliga instrument visas i Figur 10–Figur 13. Resultaten redovisas per färg (vit, gul) och materialtyp (termoplast, färg).

Medelvärdena baseras på förhållandevis få mätvärden, 2–13 st, vilket innebär att resultaten ska tolkas med viss försiktighet, men några iakttagelser kan ändå noteras:

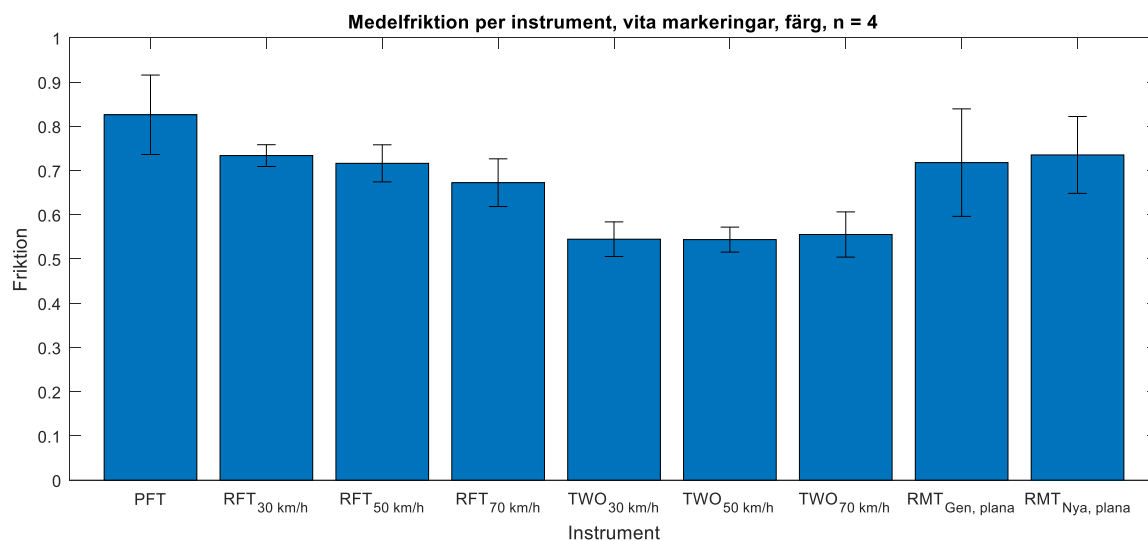
- för termoplaster har PFT och RFT ungefär samma medelvärden
- för färgmarkeringar ger PFT något högre medelvärden än RFT
- TWO ger markant lägre medelvärden än övriga metoder
- den generella RMT-modellen ger högre medelvärden än modellen för nya plana markeringar, för termoplaster och för gula markeringar
- det är tydligt att de olika metoderna ger olika resultat.



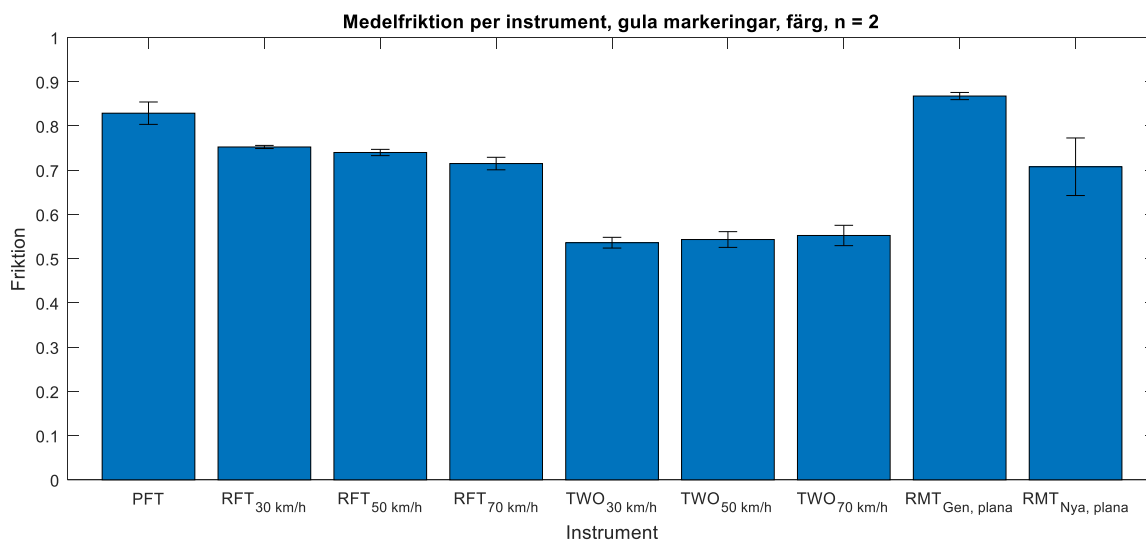
Figur 10. Medelfriktion per instrument för vita termoplastmarkeringar. Friktionen anges i respektive instruments enheter. Felstaplarna avser standardavvikelse. Antalet mätvärden är 13.



Figur 11. Medelfriktion per instrument för gula termoplastmarkeringar. Friktionen anges i respektive instruments enheter. Felstaplarna avser standardavvikelse. Antalet mätvärden är 7.



Figur 12. Medelfriktion per instrument för vita färgmarkeringar. Friktionen anges i respektive instruments enheter. Felstaplarna avser standardavvikelse. Antalet mätvärden är 4.



Figur 13. Medelfriktion per instrument för gula färgmarkeringar. Friktionen anges i respektive instruments enheter. Felstaplarna avser standardavvikelse. Antalet mätvärden är 2.

3.4.2. Jämförelse mellan PFT och mobila metoder

Ett huvudsakligt syfte med studien var att undersöka hur den handhållna metoden PFT förhåller sig till de tre mobila metoderna RFT, TWO och RMT. För RFT och TWO gjordes jämförelserna både för mät hastigheten 30 km/h och för mät hastigheten 70 km/h. Den lägre mät hastigheten kan förväntas vara mest jämförbar med PFT eftersom PFT avser friktion i lägre hastighet. Den högre mät hastigheten är av relevans eftersom Trafikverkets kravdokument för mätning av friktion på belagd väg föreskriver att mät hastigheten ska vara 70 km/h (Trafikverket, 2014a). Således jämfördes PFT med följande metoder:

- RFT, i mät hastigheten 30 km/h
- RFT, i mät hastigheten 70 km/h
- TWO, i mät hastigheten 30 km/h
- TWO, i mät hastigheten 70 km/h
- RMT, generell modell
- RMT, modell för nya plana markeringar.

Jämförelser mellan RFT och TWO i olika hastigheter finns i kapitel 3.4.4. Jämförelser mellan RMT och RFT och TWO i mät hastigheten 30 km/h finns i Bilaga 2.

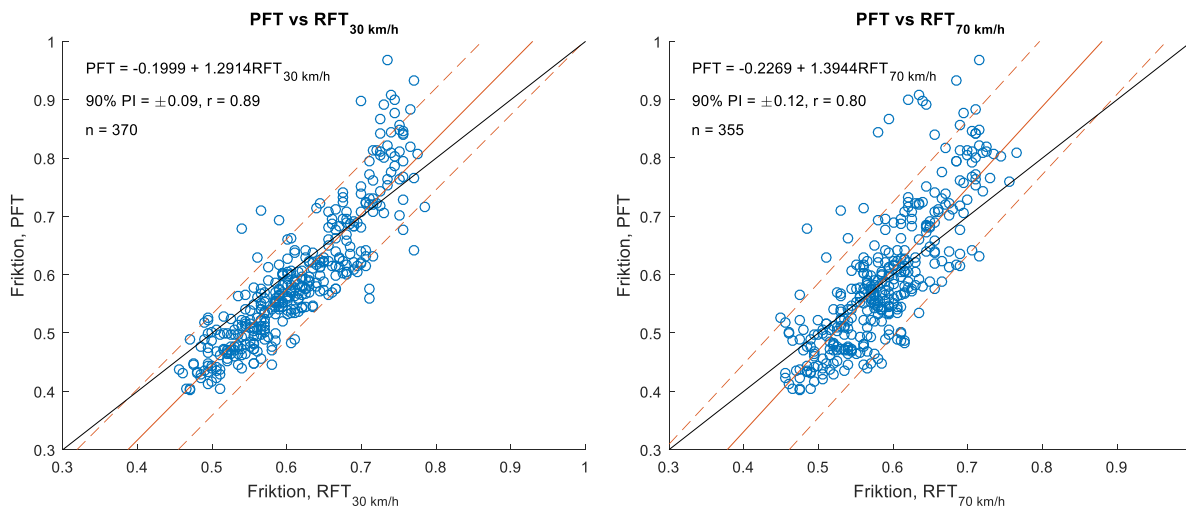
PFT och RFT

För PFT och RFT i mät hastigheten 30 km/h finns ett tydligt samband, Figur 14 (vänster). Korrelationskoefficienten är $r = 0,89^*$ och prediktionsintervallet är $\pm 0,09$. För friktionsvärden upp till ca 0,70 PFT-enheter kan sambandet betraktas som linjärt, men vid högre PFT-värden tenderar RFT att ge mer eller mindre konstanta värden.

Likaså finns ett förhållandevis tydligt samband mellan PFT och RFT i mät hastigheten 70 km/h, Figur 14. Regressionskvationerna är ganska lika för 30 respektive 70 km/h, men dock är

prediktionsintervallet större för den högre hastigheten: 0,12 jämfört med 0,09.
Korrelationskoefficienten är $r = 0,80^*$.

PFT ger värden över ett större intervall än RFT – från ca 0,40 till 0,90 jämfört med från ca 0,45 till 0,75. Med andra ord ger PFT lägre värden för låga friktionstal och högre värden för högre friktionstal, än RFT.

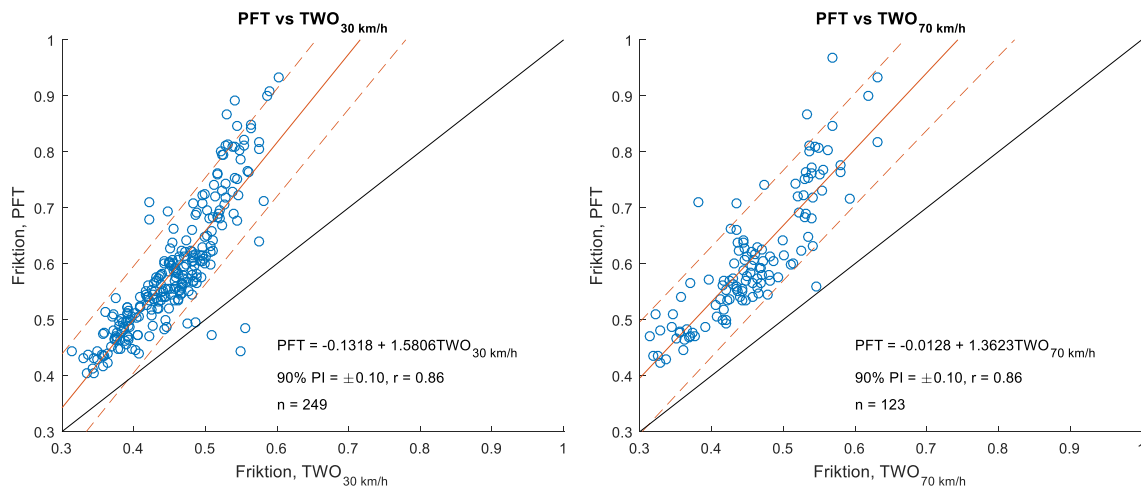


Figur 14. Jämförelse mellan PFT och $RFT_{30 \text{ km/h}}$ (vänster) samt mellan PFT och $RFT_{70 \text{ km/h}}$ (höger). Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.

PFT och TWO

Även mellan PFT och TWO finns ett tydligt samband i mät hastigheten 30 km/h, Figur 15 (vänster). I figuren har en linjär regressionsmodell använts, men möjligen skulle sambandet beskrivas bättre av en kvadratisk eller exponentiell modell. För mät hastigheten 70 km/h finns bara ungefär hälften så många observationer som för den lägre hastigheten, och sambandet är kanske något mindre tydligt, men uppvisar ändå ungefär samma mönster för mät hastigheten 30 km/h.

TWO ger i princip alltid lägre friktionsvärden än PFT. Vidare är TWO-värdena mer ”ihoptryckta”, dvs. skillnaden mellan de högsta och de lägsta värdena är mindre än motsvarande skillnad för PFT. För både 30 och 70 km/h är korrelationskoefficienten $r = 0,86^*$ och prediktionsintervallet $\pm 0,10$.



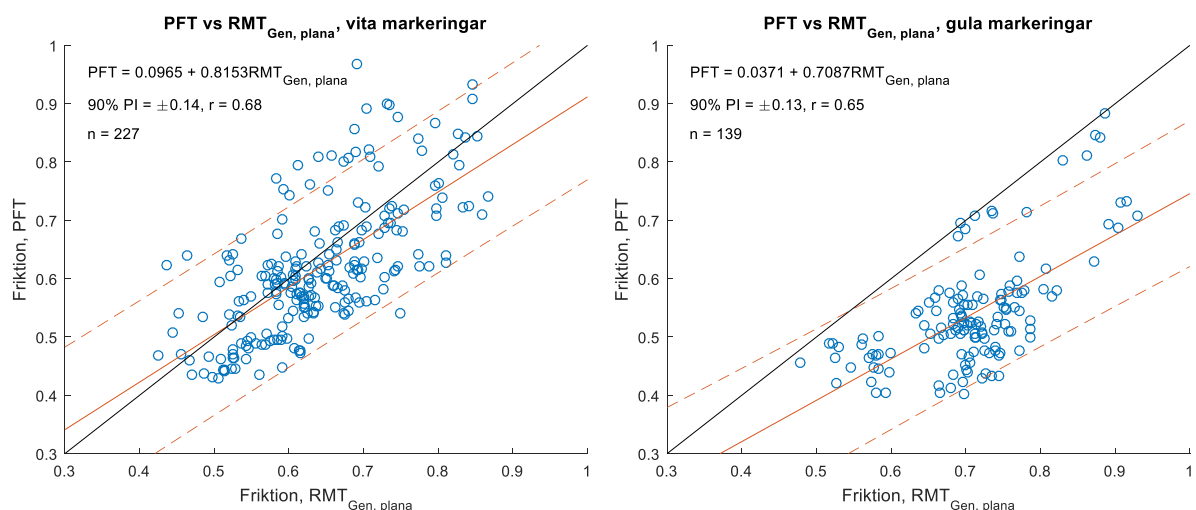
Figur 15. Jämförelse mellan PFT och $TWO_{30 \text{ km/h}}$ (vänster) samt mellan PFT och $TWO_{70 \text{ km/h}}$ (höger). Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.

PFT och RMT

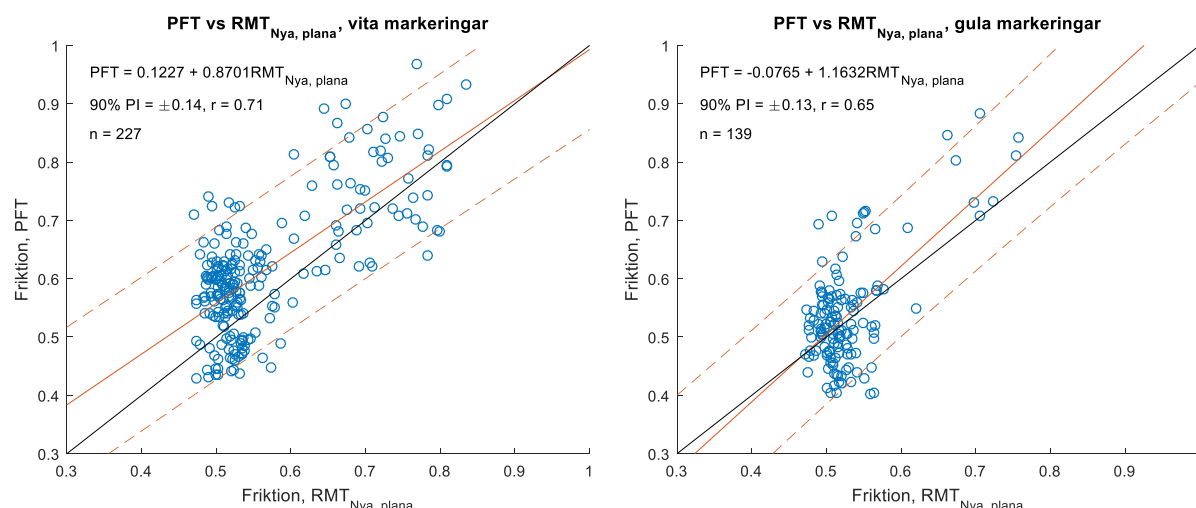
Sambandet mellan PFT och RMT har analyserats och diskuterats i kapitel 3.3.4, men då med ett lite annat syfte. Nedan presenteras sambanden mellan PFT och respektive modell, uppdelat i vita respektive gula markeringar, på samma sätt som för övriga jämförelser i detta avsnitt.

Sambanden mellan PFT och RMT är svagare än motsvarande samband mellan PFT och RFT respektive TWO. För den generella RMT-modellen ($RMT_{\text{Gen, plana}}$) finns en tydlig tendens till ett linjärt samband med PFT, men spridningen runt regressionslinjen är förhållandevis stor, Figur 16. För vita markeringar är korrelationskoefficienten $r = 0,68^*$ och prediktionsintervallet $\pm 0,14$. För gula markeringar är motsvarande värden $0,65^*$ respektive $\pm 0,13$.

För RMT-modellen för nya plana markeringar ($RMT_{\text{Nya, plana}}$) ser det lite annorlunda ut. Observationer som med PFT har en friktion på mellan 0,40 och 0,70 får med $RMT_{\text{Nya, plana}}$ ett friktionsvärde på ungefär 0,50, Figur 17. Dvs. $RMT_{\text{Nya, plana}}$ tenderar att gruppera observationerna i låg respektive hög friktion, men har relativt dålig precision inom grupperna. För vita markeringar är korrelationskoefficienten $r = 0,71^*$ och prediktionsintervallet $\pm 0,14$. För gula markeringar är motsvarande värden $0,65^*$ respektive $\pm 0,13$.



Figur 16. Jämförelse mellan PFT och $RMT_{Gen, plana}$, för vita (vänster) respektive gula (höger) markeringar. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.



Figur 17. Jämförelse mellan PFT och $RMT_{Nya, plana}$, för vita (vänster) respektive gula (höger) markeringar. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.

3.4.3. Jämförelse mellan metoder som kan mäta i högre hastigheter

När det gäller RFT och TWO kan mätningen göras i en högre hastighet och mätvärdena avspeglar då också friktionen i en högre hastighet. RMT däremot, kan sägas mäta friktionen i gånghastighet, eftersom modellerna som används vid beräkning av friktion baseras på PFT. Själva mätningen kan dock utföras i högre hastighet. Av det skälet är det relevant att jämföra RMT med RFT och TWO, eftersom alla tre metoder har potential att kunna användas för rutinmässiga mätningar av friktion i större omfattning.

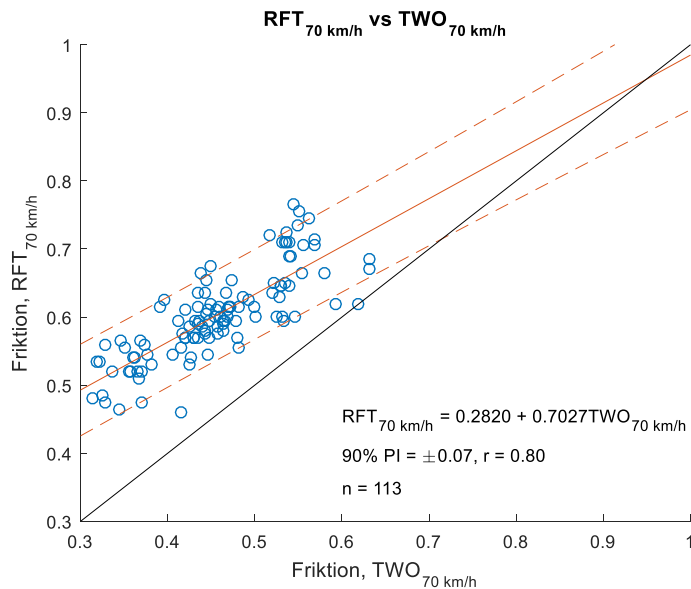
Med andra ord jämfördes följande metoder:

- RFT, i mät hastigheten 70 km/h
- TWO, i mät hastigheten 70 km/h

- RMT, generell modell och modell för nya plana markeringar.

RFT och TWO

RFT och TWO uppvisar ett relativt tydligt samband i mät hastigheten 70 km/h, Figur 18. Korrelationskoefficienten är $r = 0,80^*$ och prediktionsintervallet är $\pm 0,07$. RFT ger dock väsentligt högre friktionsvärden än TWO. Effekten är störst vid låga friktionstal, där ett RFT-värde på 0,50 ungefär motsvarar ett TWO-värde på 0,30.



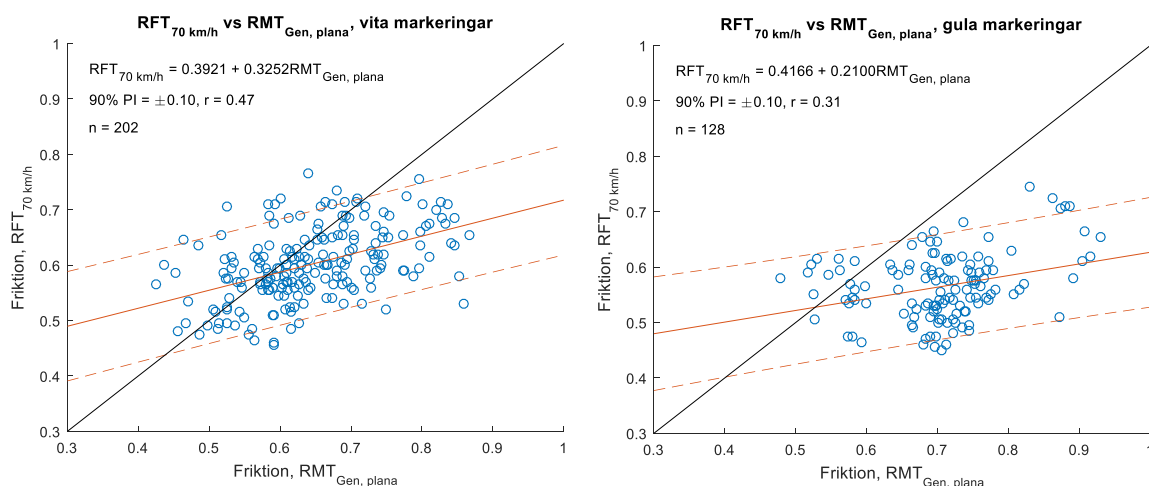
Figur 18. Jämförelse mellan $RFT_{70 \text{ km/h}}$ och $TWO_{70 \text{ km/h}}$. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.

RFT och RMT

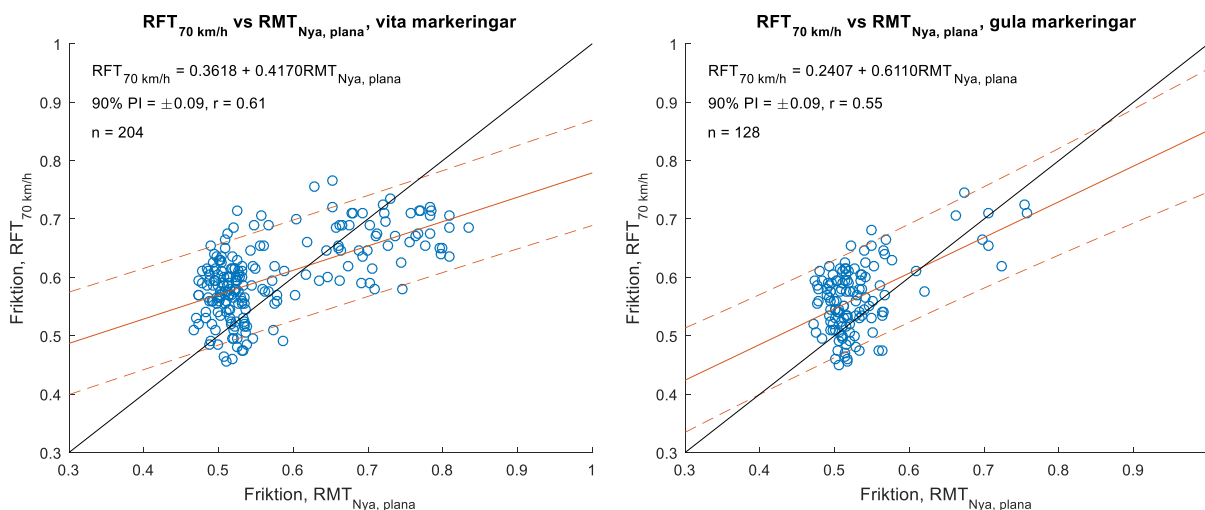
Sambandet mellan RFT och RMT är förhållandevis svagt, både för vita och för gula markeringar, och för båda RMT-modellerna, Figur 19–Figur 20. Den ena metoden ger ibland högre värden och ibland lägre värden än den andra metoden.

För den generella RMT-modellen ($RMT_{\text{Gen, plana}}$) är korrelationskoefficienterna $r = 0,47^*$ respektive $r = 0,31^*$ och prediktionsintervallen $\pm 0,10$, Figur 19. För både vita och gula markeringar finns en relativt stor spridning runt regressionslinjen. Vidare kan det noteras att RMT-värdena sträcker sig över ett större intervall än RFT-värdena. Skillnaden mellan högsta och lägsta värde från $RMT_{\text{Gen, plana}}$ är ca 0,45 enheter medan motsvarande skillnad för RFT är ca 0,30 enheter.

När det gäller RMT-modellen för nya plana markeringar ($RMT_{\text{Nya, plana}}$) ser sambandet med RFT lite annorlunda ut än motsvarande samband för den generella RMT-modellen. Med $RMT_{\text{Nya, plana}}$ får majoriteten av markeringarna ett friktionsvärde på runt 0,50 enheter, medan RFT ger friktionstal på mellan 0,40 och 0,60 för de markeringarna. $RMT_{\text{Nya, plana}}$ ger dock en lite större skillnad mellan de allra högsta och de allra lägsta friktionsvärdena, än RFT. Korrelationskoefficienterna $r = 0,61^*$ respektive $r = 0,55^*$ och prediktionsintervallen $\pm 0,09$. Sambanden är så svaga att mer än 50 % av variansen i mätningarna förklaras av slumpfel, vilket resulterar i relativt stora prediktionsintervall, framförallt om den generella modellen används.



Figur 19. Jämförelse mellan $RFT_{70\text{ km/h}}$ och $RMT_{Gen, plana}$, för vita (vänster) respektive gula (höger) markeringar. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.



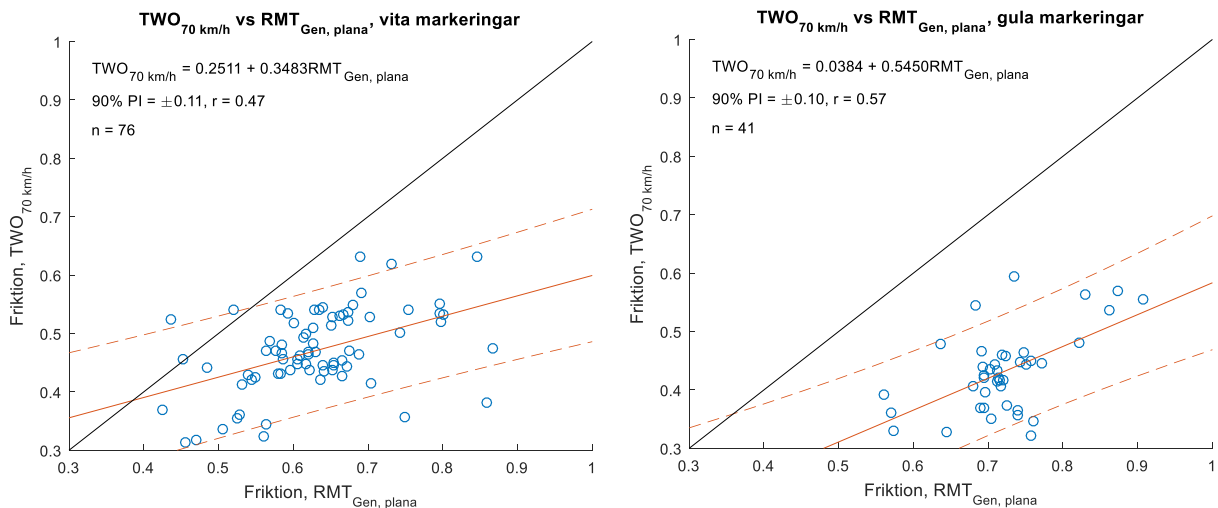
Figur 20. Jämförelse mellan $RFT_{70\text{ km/h}}$ och $RMT_{Nya, plana}$, för vita (vänster) respektive gula (höger) markeringar. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.

TWO och RMT

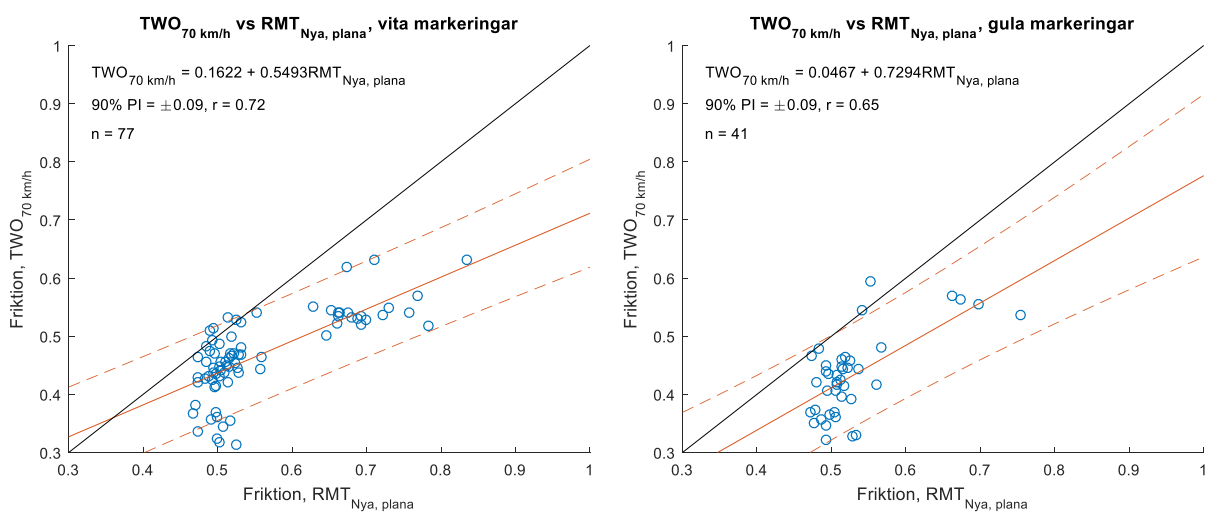
Liksom för sambanden mellan RFT och RMT är sambanden mellan TWO och RMT förhållandevis svaga, Figur 21–Figur 22. Dock är det senare sambandet mer konsekvent: TWO ger i princip alltid lägre friktionsvärden än RMT. I övrigt är mönstren ganska lika för sambanden mellan TWO och RMT och sambanden mellan RFT och RMT. För jämförelsen med den generella RMT-modellen ($RMT_{Gen, plana}$) är spridningen runt regressionslinjen ganska stor. Korrelationskoefficienterna är $r = 0,47^*$ respektive $r = 0,57^*$ och prediktionsintervallen är $\pm 0,11$ respektive $\pm 0,10$. Med RMT-modellen för nya plana markeringar ($RMT_{Nya, plana}$) får de flesta observationerna ett friktionsvärde på ca 0,5 enheter, medan ett mindre antal observationer får värden runt 0,70. För TWO finns ingen sådan tydlig

gruppering. Korrelationskoefficienterna är $r = 0,72^*$ respektive $r = 0,65^*$ och prediktionsintervallen är $\pm 0,09$.

Det bör dock noteras att sambanden mellan TWO och RMT baseras på betydligt färre observationer än sambanden mellan RFT och RMT.



Figur 21. Jämförelse mellan $TWO_{70 \text{ km/h}}$ och $RMT_{Gen, plana}$, för vita (vänster) respektive gula (höger) markeringar. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.



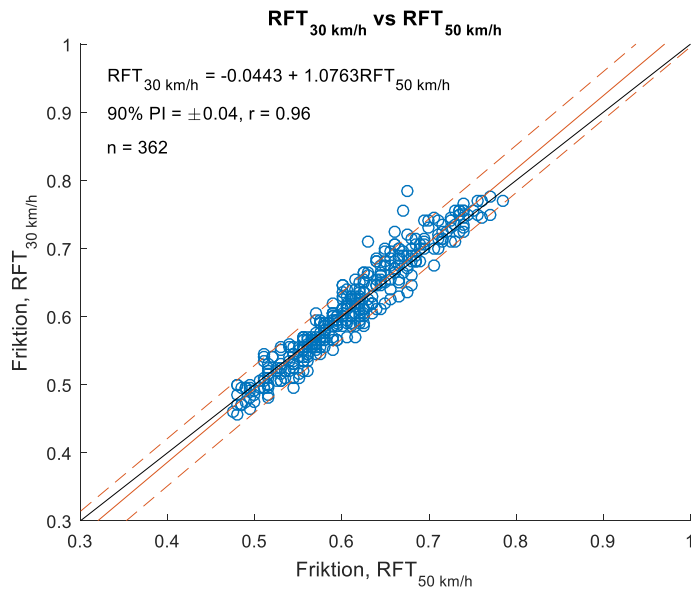
Figur 22. Jämförelse mellan $TWO_{70 \text{ km/h}}$ och $RMT_{Nya, plana}$, för vita (vänster) respektive gula (höger) markeringar. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.

3.4.4. Inverkan av mät hastighet – RFT och TWO

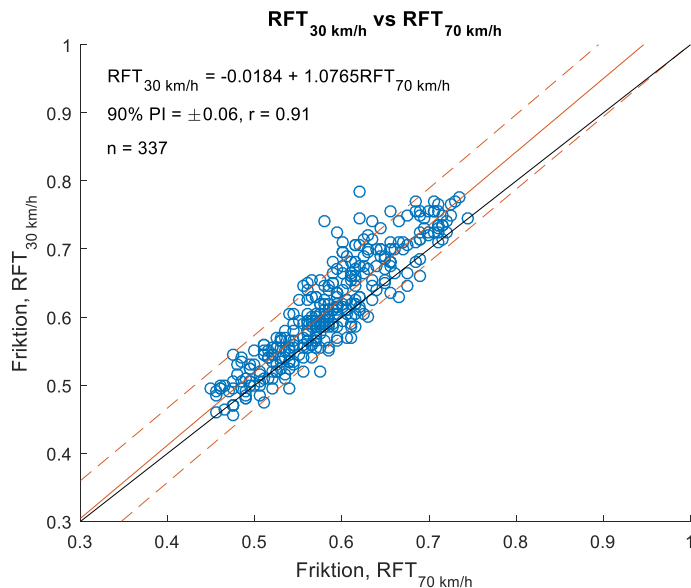
Med RFT och TWO gjordes mätningar i tre hastigheter: 30, 50 och 70 km/h. Friktionsvärdena för olika hastigheter jämfördes för respektive instrument, och därefter jämfördes de två instrumenten för respektive hastighet.

RFT – mät hastighet 30, 50 och 70 km/h

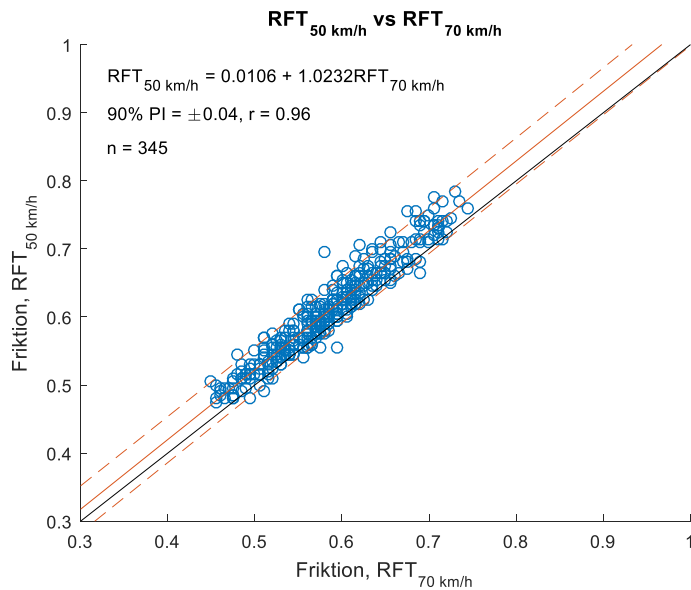
Figur 23–Figur 25 visar sambanden mellan mätningar i olika hastigheter med RFT. Korrelationskoefficienten är i samtliga fall högre än 0,9 (signifikant). Från figurerna och tabellen kan man utläsa att friktionen tenderar att bli något lägre då mät hastigheten ökar. Effekten är större vid höga friktionsvärden och vid högre hastigheter.



Figur 23. Sambandet mellan friktion mätt i 30 km/h respektive 50 km/h med RFT. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.



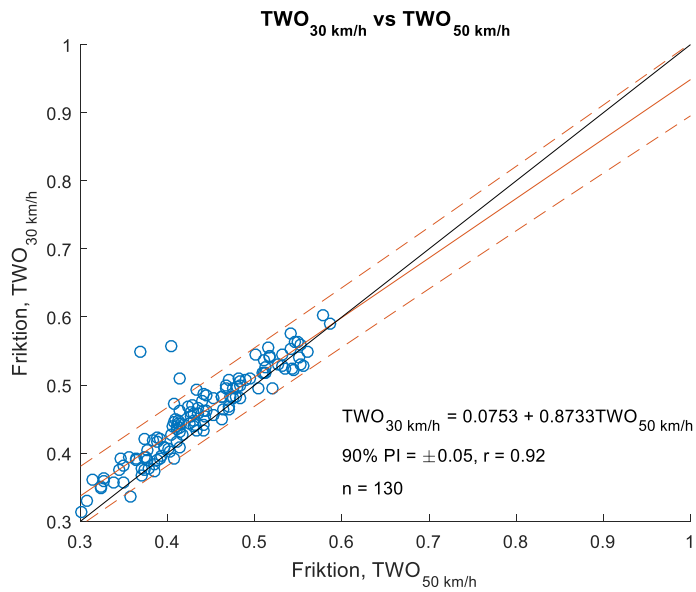
Figur 24. Sambandet mellan friktion mätt i 30 km/h respektive 70 km/h med RFT. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.



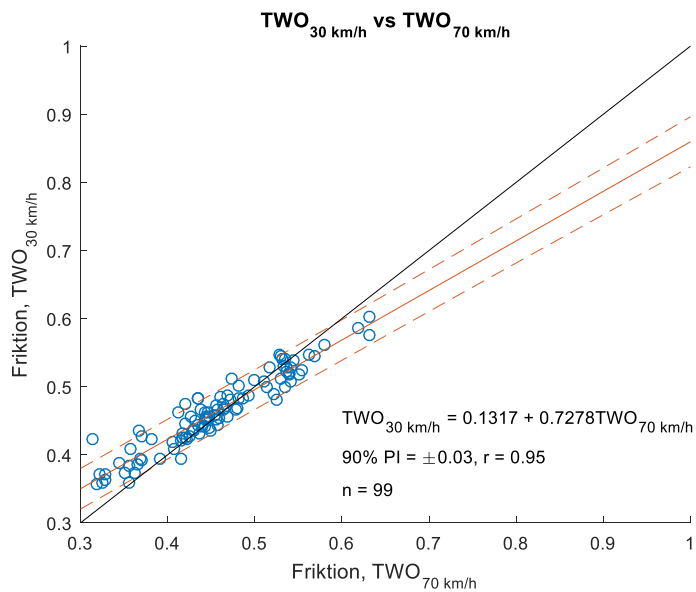
Figur 25. Sambandet mellan friktion mätt i 50 km/h respektive 70 km/h med RFT. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.

TWO – mät hastighet 30, 50 och 70 km/h

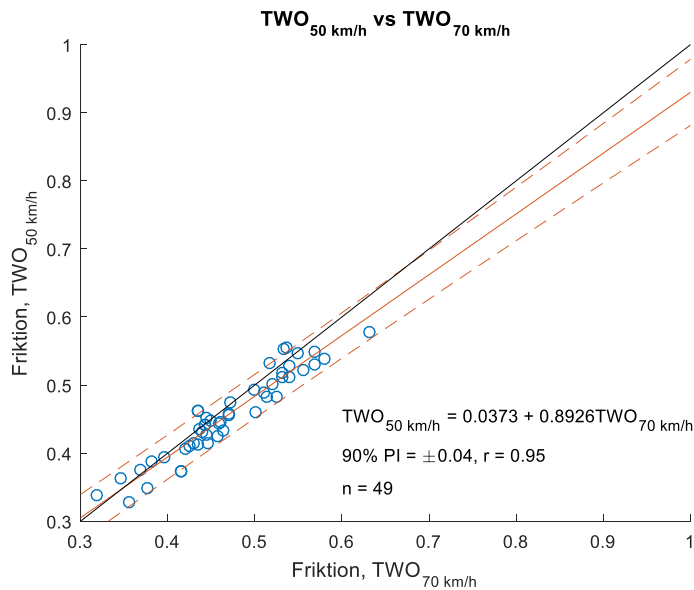
Figur 26–Figur 28 visar sambanden mellan TWO-mätningar i olika hastigheter. Liksom för RFT är korrelationen mellan mätningar i olika hastigheter i samtliga fall $>0,9$ (signifikant). Det går dock inte att dra någon generell slutsats om sambandet mellan mät hastighet och uppmätt friktion. Om man jämför 30 och 50 km/h tenderar friktionen att vara något lägre för den högre mät hastigheten. Om man istället jämför 30 och 70 km/h tenderar friktionen att vara något lägre för den högre mät hastigheten, för låga friktionstal, men något högre för höga friktionstal, jämfört med den lägre mät hastigheten. Om man jämför 50 och 70 km/h tenderar friktionen att vara något högre i den högre mät hastigheten. Det bör noteras att dessa samband baseras på betydligt färre mätvärden än för RFT, och att osäkerheten därför är större.



Figur 26. Sambandet mellan friktion mätt i 30 km/h respektive 50 km/h med TWO. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.



Figur 27. Sambandet mellan friktion mätt i 30 km/h respektive 70 km/h med TWO. Röd kurva: regressionslinje. Svart kurva: $y = x$.

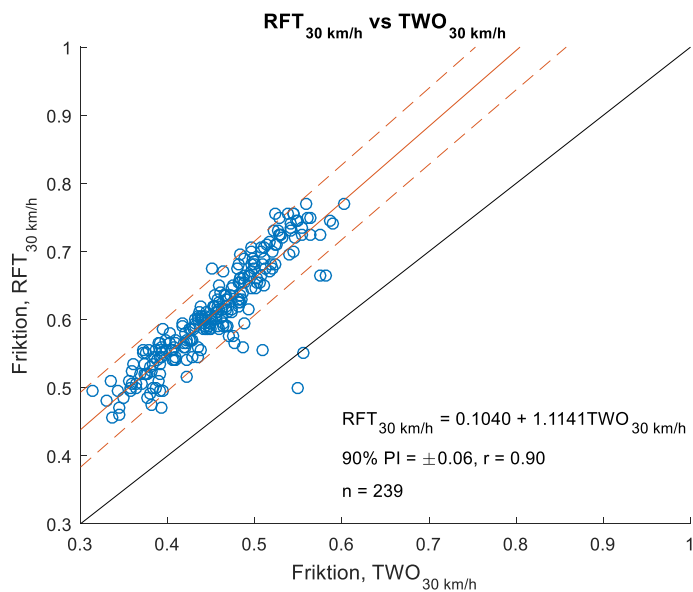


Figur 28. Sambandet mellan friktion mätt i 50 km/h respektive 70 km/h med TWO. Röd kurva: regressionslinje. Svart kurva: $y = x$.

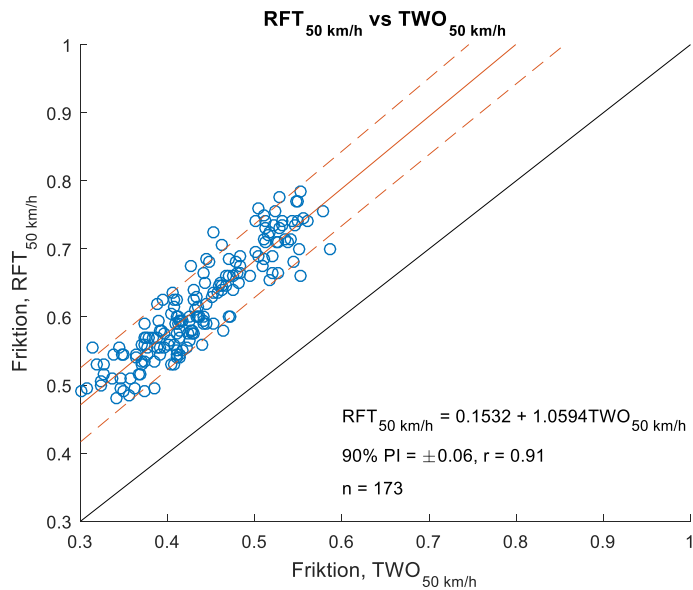
Jämförelse mellan RFT och TWO

RFT och TWO uppvisar ett tydligt linjärt samband, framför allt i mät hastigheterna 30 och 50 km/h, Figur 29–Figur 30. Regressionsekvationerna vid dessa två hastigheter är ganska lika, korrelationskoefficienterna är ca 0,9 (signifikant) och prediktionsintervallen är $\pm 0,06$. TWO ger konsekvent ca 0,15–0,18 enheter lägre värden än RFT.

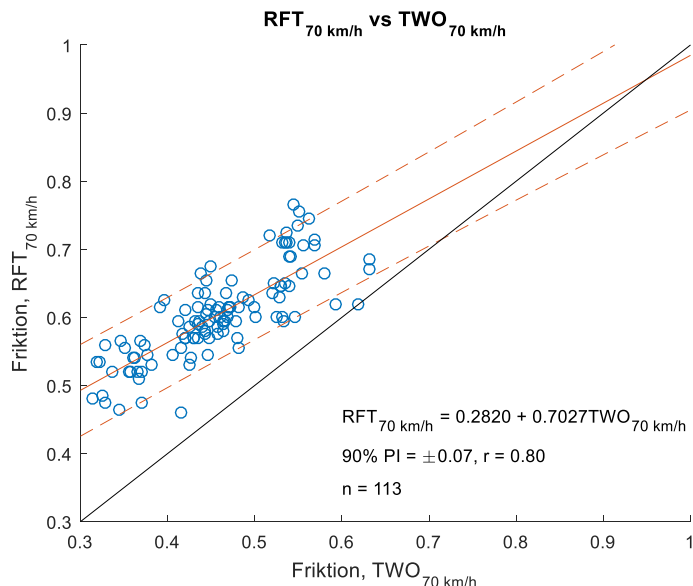
För mät hastigheten 70 km/h är antalet observationer lägre, och sambandet är något mer osäkert, men även här beskrivs sambandet relativt väl med en linjär modell. Liksom i de lägre hastigheterna ger TWO betydligt lägre värden än RFT, men det finns en tendens till att skillnaden minskar då friktionen ökar. Korrelationskoefficienten är 0,80* och prediktionsintervallet är $\pm 0,06$.



Figur 29. Jämförelse mellan $RFT_{30\text{ km/h}}$ och $TWO_{30\text{ km/h}}$. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y = x$.



Figur 30. Jämförelse mellan $RFT_{50 \text{ km/h}}$ och $TWO_{50 \text{ km/h}}$. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.



Figur 31. Jämförelse mellan $RFT_{70 \text{ km/h}}$ och $TWO_{70 \text{ km/h}}$. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.

3.5. Diskussion

Det huvudsakliga syftet med den första delstudien var att jämföra de tre mobila metoderna *Road Friction Tester* (RFT), *Traction Watcher One* (TWO) och *Road Marking Tester* (RMT) med den handhållna metoden *Portable Friction Tester* (PFT), för att undersöka de tre mobila metodernas förutsättningar att ersätta eller komplettera PFT:n för friktionsmätning på vägmarkering.

Resultaten från jämförelserna kan sammanfattas i följande punkter:

- **De olika metoderna ger olika resultat.** Detta är egentligen inte ett oväntat resultat – storheten *friktionstal* har ingen entydig definition utan beror delvis på mätinstrumentets egenskaper. För att resultaten från olika mätningar ska vara jämförbara måste därför ett visst

specifikt mätinstrument användas eller, om olika instrument används, så måste det finnas ett tydligt och känt samband mellan resultaten från de olika instrumenten.

- **PFT uppvisar förhållandevis tydliga samband med RFT och TWO.** Korrelationen mellan instrumenten är omkring 0,80–0,90 och prediktionsintervallen $\pm 0,10$ – $0,12$. Möjligen skulle sambanden beskrivas bäst med kvadratiska eller exponentiella modeller, då PFT ger en snabbare ökning i friktion för höga friktionstal, än de två andra metoderna.
- **Det finns ett visst samband mellan PFT och de två RMT-modellerna.** RMT-modellerna har utvecklats utifrån PFT-mätningar och ett samband kan därför förväntas. Resultaten visade att det finns ett samband, men att det är något svagare än motsvarande samband mellan PFT och de två andra mobila metoderna RFT och TWO.
- **Sambanden mellan de två RMT-modellerna och RFT/TWO i högre mäthastighet är relativt svaga.** RFT och TWO bygger på en annan mätprincip än RMT, och metoderna mäter friktion i olika hastighet. Att sambanden mellan metoderna är relativt svaga (korrelationskoefficient ca 0,30–0,70) är därför inte oväntat.
- **TWO ger lägre friktionsvärden än övriga metoder.** TWO ger konsekvent lägre friktionsvärden än övriga metoder. I vissa fall är skillnaden mot andra instrument oberoende av friktionens värde, medan skillnaden i andra fall varierar med friktionen.
- **Mäthastigheten hos RFT och TWO har en viss inverkan på resultatet.** Med RFT tenderar friktionen att bli något lägre då mäthastigheten ökar. Även friktion mätt med TWO har ett hastighetsberoende, dock inget entydigt sådant.

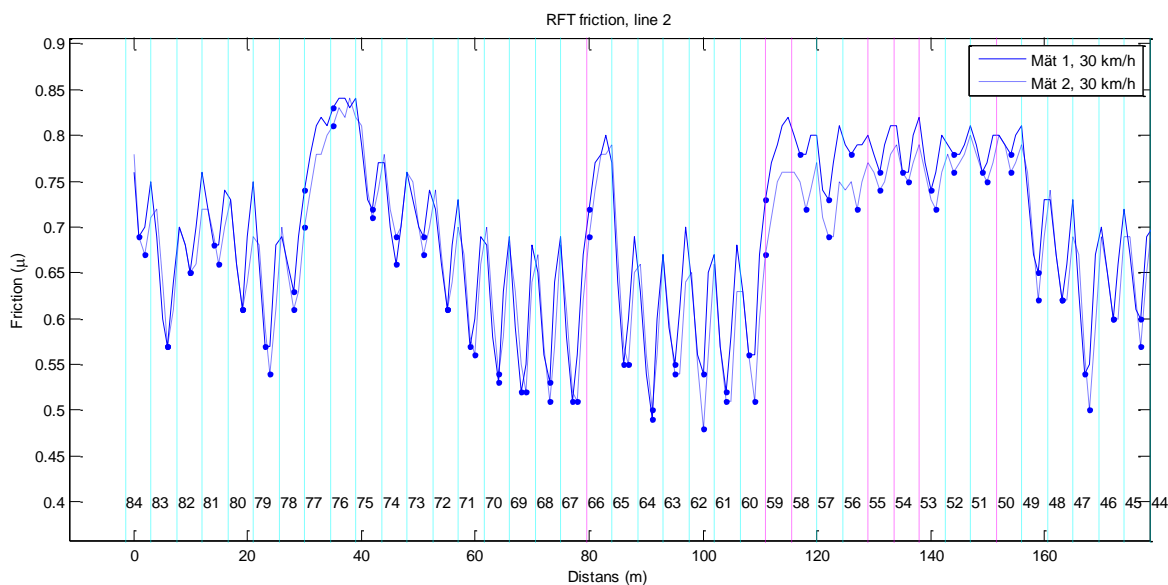
Nedan diskuteras de tre mobila metoderna var för sig.

RFT

Friktion uppmätt med RFT uppvisar en förhållandevis god överensstämmelse med PFT, framför allt i mäthastigheten 30 km/h. I teorin skulle RFT därför kunna vara en god kandidat till att ersätta eller komplettera PFT för rutinmässig mätning av vägmarkeringars friktion.

I praktiken begränsas dock instrumentets lämplighet för vägmarkeringsmätning av dess utformning. RFT används i huvudsak för att mäta friktion på vägytor, och instrumentet är således anpassat för det ändamålet. Mäthjulets placering undertill, nära mitten av mätfordonet gör att det inte passar särskilt väl för mätning på längsgående vägmarkeringar, framför allt inte på kantlinjer, eftersom fordonet behöver ett visst utrymme i sidled. Vidare är det inte känt hur väl det ca 6–7 cm breda mäthjulet fungerar på smala vägmarkeringar. I föreliggande studie var markeringarna 30 cm breda, dvs. hela däcksbredden kunde hållas inom markeringen, men på smalare markeringar är det möjligt att mätningen kan komma att påverkas av den intilliggande vägbeläggningen.

En ytterligare möjlig begränsning hos instrumentet är att det vid bearbetningen av RFT-data noterades att mätvärdet i en viss punkt tenderar att påverkas av mätvärdena i punkterna närmast före. Ett exempel visas i Figur 32. Topparna i kurvan bör motsvara beläggningens friktion, vilken förväntas vara ungefär densamma längs med hela provfältet. Figuren visar dock att beläggningens friktionsvärden tycks påverkas av sträckan närmast före. På position 77, 76 och 66 saknas vägmarkeringsmaterial och därmed är ”luckan” med beläggning förhållandevis lång. Beläggningens friktionsvärden är på de positionerna betydligt högre än t.ex. mellan material 65–60. På positionerna 59, 58, 55, 54, 53 och 50 ligger material av typen färg eller kallplast, vilka har högre friktion än termoplast som utgör övriga material. Här är även beläggningens friktion högre. Det är okänt om och i så fall hur detta påverkar markeringarnas friktionsvärden.



Figur 32. Exempel på RFT-mätning. Topparna i kurvan bör motsvara beläggningsfriktion, vilken förväntas vara ungefär densamma längs med hela provfältet.

TWO

TWO bygger på samma mätprincip som RFT, men har på grund av sin fysiska utformning bättre förutsättningar att kunna användas för friktionsmätning på vägmarkeringar. Mät hjulet är monterat i linje med fordonets högra sida, vilket möjliggör mätning på kantlinjer även där vägrenen är smal. Dock visade mätningarna på provfältet på vissa problem med att kunna samla in mätdata av god kvalitet. Omkring 20–30 % (beroende på mät hastighet) av insamlade data exkluderades på grund av att de upprepade mätningarna hade dålig överensstämmelse, vilket sannolikt åtminstone delvis förklaras av att mät hjulet befunnit sig utanför vägmarkeringen i en av de två upprepade mätningarna. Ytterligare 6 % exkluderades i mät hastigheten 70 km/h beroende på att mät hjulet sannolikt befunnit sig utanför markeringen i båda mätningarna. Svårigheterna att hålla mät hjulet i rätt position förklaras troligen av att mät fordonet är ganska stort (minibuss), där föraren sitter långt ifrån mät hjulet och inte kan se det. En tänkbar lösning är att komplettera fordonet med någon form av kamerasystem.

Jämförelsen av de olika metoderna visade att TWO konsekvent ger markant lägre friktionsvärden än övriga metoder. Detta innebär att det krävs en viss försiktighet vid tolkningen av TWO-data och att man behöver räkna om TWO-värdena med hjälp av en omvandlingsformel för att resultaten ska vara jämförbara med till exempel resultaten från PFT (omvandlingsformler behövs visserligen för alla instrument, men överensstämmelsen i uppmätta friktionsvärden är betydligt större mellan t.ex. PFT och RFT, än mellan PFT och TWO). De regressionskvationer som presenteras i Figur 15 skulle kunna utgöra omvandlingsformler, men möjligen går det att ta fram bättre modeller med någon icke-linjär ansats.

Vid bearbetningen av TWO-data noterades en tendens till periodiskt brus i mätdata, vilket analyserades ytterligare i delstudie 2, se kapitel 4.4.1. Vad detta brus beror på bör undersökas närmare och eventuellt åtgärdas innan metoden kan komma ifråga för rutinmässig mätning av vägmarkeringars friktion.

RMT

RMT är det av de tre mobila instrumenten som till sin fysiska utformning har bäst förutsättningar att fungera bra för friktionsmätning på vägmarkeringar. Instrumentet sitter på fordonets sida och föraren

får hjälp med att hålla rätt position via ett kamerasystem. Vidare är sensorerna kontaktlösa vilket potentiellt sett kan ha fördelar i en vägmiljö där det kan finnas störningar av olika slag.

Den huvudsakliga nackdelen med RMT är att de nuvarande modellerna har något svaga samband med övriga metoder för att mäta friktion. Den mest troliga förklaringen är att det finns fler faktorer som påverkar materialets friktion än de faktorer som ingår i modellerna, dvs. retroreflexion och MPD.

Till en mindre del kan de något svaga sambanden med övriga metoder möjligen förklaras av att RMT-systemet har vidareutvecklats och modifierats något sedan modellerna togs fram (lasersensorn har bytts ut, (Lundkvist, S-O. och Nielsen, B. 2009)), samt att retroreflexionen mättes handhållet istället för mobilt i föreliggande studie (modellerna har utvecklats baserat på mobila mätningar). Vidare är de ursprungliga modellerna inte utvecklade för gula markeringar och det är tydligt i kapitel 3.3.4 att separata modeller behövs för gula markeringar. För att undersöka hur stor påverkan dessa faktorer hade på modellernas förmåga att predicera friktionen togs nya modeller fram, baserat på mätdata från föreliggande projekt. Modellerna utgick från samma ansats som de befintliga modellerna, dvs. linjära modeller med retroreflexion och MPD som förklarande variabler. Modellerna presenteras i bilaga 1 (benämns nedan provfältsmoeller), och de uppvisar något högre korrelationskoefficienter och något snävare prediktionsintervall, än när de tidigare modellerna (Lundkvist, Johansen och Nielsen 2008) tillämpas på mätdata från provfältet (vilket kan förväntas, eftersom provfältsmoellerna är anpassade just efter mätdata från provfältet). Om man istället jämför med de korrelationer och prediktionsintervall som erhöles vid framtagandet av de tidigare modellerna, uppvisar modellen för nya plana markeringar ett bättre resultat än provfältsmoellerna ($r = 0,86^*$, 90 % prediktionsintervall $\pm 0,08$, jämfört med $r_{vita} = 0,80^*$ och $r_{gula} = 0,76^*$ samt $PI_{vita} \pm 0,12$ och $PI_{gula} \pm 0,11$ för provfältsmoellerna), medan den generella modellen ger ungefär samma korrelation som provfältsmoellerna, men något större prediktionsintervall ($r = 0,79^*$, 90 % prediktionsintervall $\pm 0,15$). Det kan noteras att den befintliga modellen för nya plana markeringar endast har MPD som förklaringsvariabel, medan provfältsmoellerna baseras både på retroreflexion och på MPD (liksom den befintliga generella modellen). Provfältsmoellerna visar på två saker: dels kan det bekräftas att eventuella modifieringar av RMT-systemet och de handhållna mätningarna av retroreflexion har en förhållandevis liten inverkan på resultaten i föreliggande studie, dels visar dessa modeller liksom tidigare modeller att materialets friktion inte helt och hållet kan beskrivas av dess retroreflexion och MPD, utan att det finns andra faktorer som påverkar.

Det är svårt att säga vilken av de två RMT-modellerna som fungerar bäst. Den generella modellen har en förhållandevis stor spridning runt regressionslinjen för hela det aktuella friktionsintervallet, medan modellen för nya plana markeringar tenderar att gruppera ihop mätvärdena i två kategorier: låg friktion (termoplast) och hög friktion (färg). Möjligen skulle det gå att förbättra precisionen i modellerna genom att ta fram separata modeller för termoplast respektive färg.

4. Studie 2: Utveckling av modell för mobil mätning

4.1. Mätinstrument

I denna studie användes två instrument:

- Road Marking Tester (RMT)
- Traction Watcher One (TWO), i mät hastigheten 70 km/h.

Med RMT mättes retroreflexion och MPD. Instrumentet gav medelvärden för de två variablerna per 10 m. TWO användes som referensinstrument. Vid mätningen valdes instrumentets högsta möjliga upplösning, vilket innebär att instrumentet gav ett mätvärde per 0,5 m.

För ytterligare detaljer om mätinstrumenten, se kapitel 2.

4.2. Mätningar och mätobjekt

Mätdata samlades in från vägmarkeringar med olika karaktäristik med avseende på profilering, ålder, bredd, intermittens och material. Tabell 3 visar de typer av markeringar som ingick i urvalet, samt antalet objekt per kombination. Totalt gjordes mätningar på 44 objekt. I Bilaga 3 finns en förteckning över de enskilda objekten.

Urvalet begränsades geografiskt till Jönköpings län, Östergötlands län och Södermanlands län. Det innebär att markeringstyper som inte finns i dessa län inte har ingått i urvalet. Bland annat saknas objekt med färgmarkeringar, eftersom de i de aktuella länen endast finns på mindre vägar som helt saknar vägren och där det därmed inte var möjligt att mäta friktion.

De profilerade markeringarna inkluderade flera olika profileringar. De flesta var av typen droppflex eller trappflex, men även longflex och rillad markering förekom.

Mätproceduren utgick delvis från Trafikverkets kravdokument *TDOK 2014:0134 Bestämning av friktion på belagd väg* (Trafikverket 2014a). Det innebär att mätsträckornas längd valdes till 400 m, enligt kravdokumentets rekommendation. I några fall fick sträckorna kortas något beroende på att det inte fanns en 400 m lång sträcka med den aktuella markeringstypen. Sträckorna var förhållandevis raka.

Mätningarna gjordes i september. Mätningarna av retroreflexion och textur gjordes alltid före mätningarna av friktion. Av praktiska skäl kunde inte mätningarna med TWO och RMT göras vid samma tillfälle, men det eftersträvades att hålla tiden mellan RMT- och TWO-mätning så kort som möjligt. Som mest skiljde det 10 dagar mellan de två mätningarna. RMT-mätningar gjordes alltid i torrt väglag, medan TWO-mätningar tillåter en viss grad av fukt/väta eftersom markeringen ändå väts i samband med mätningen.

TWO-mätningar gjordes alltid i mät hastigheten 70 km/h. På varje objekt gjordes tre upprepade mätningar (vid samma mättillfälle) med TWO och två upprepade mätningar med RMT.

Tabell 3. Markeringstyper som ingick i urvalet av objekt, samt antalet objekt per typ.

Material	Typ	Ålder	Utformning	Bredd	Antal objekt
Termoplast	Plan	Ny	Intermittent	10–15	4
			Heldragen	10–15	3
		20–30		3	
		Intermittent	10–15	6	
			20–30	2	
		Profilerad	Ny	Heldragen	20–30
	Intermittent			10–15	3
	Gammal		Heldragen	10–15	2
				20–30	10
	Intermittent	10–15	5		
Färg med stora glaspärlor		Plan	Ny	Intermittent	10–15
	Gammal		Heldragen	20–30	4

4.3. Datakvalitet och mätosäkerheter

För att det ska vara möjligt att ta fram en modell med god noggrannhet måste de mätningar modellen baseras på vara av god kvalitet. Detta är relaterat till två aspekter hos mätinstrumentet:

- *Reproducerbarhet*: Instrumentets förmåga att vid upprepad mätning ge samma resultat, oberoende av vilket exemplar av instrumentet som används och oberoende av vem som utför mätningen.
- *Validitet*: Instrumentets förmåga att mäta det man avser att mäta, dvs. korrelationen mellan den teoretiska definitionen och de uppmätta värdena.

När det gäller RMT-systemet görs en årlig validering⁴ av instrumentets förmåga att mäta retroreflexion. Den absoluta medelavvikelsen från handhållet referensinstrument har för åren 2014 och 2016 varit 4,1–8,0 % och det systematiska mätfelet 0,7–7,5 %. Intervallen avser lägsta och högsta värde för de RMT-instrument som har deltagit i valideringen – år 2014 var det två instrument och 2016 tre – och de ger därmed en indikation på instrumentens reliabilitet. Beträffande MPD görs ingen motsvarande validering.

När det gäller instrumentet TWO är detta inte specifikt utvecklat för vägmarkeringar och instrumentets validitet för detta ändamål är inte känt (utöver vad som presenteras i kapitel 3). Instrumentet har ett intyg utfärdat 2011 från den amerikanska organisationen *Federal Aviation Administration* (FAA) om

⁴ Valideringen organiseras av VTI enligt beskrivning i *TDOK 2013:0461 Mobil kontroll av vägmarkering* (Trafikverket 2014b) och omfattar tio teststräckor om 100 m. Resultaten redovisas för respektive deltagande företag. Ingen offentlig rapport publiceras.

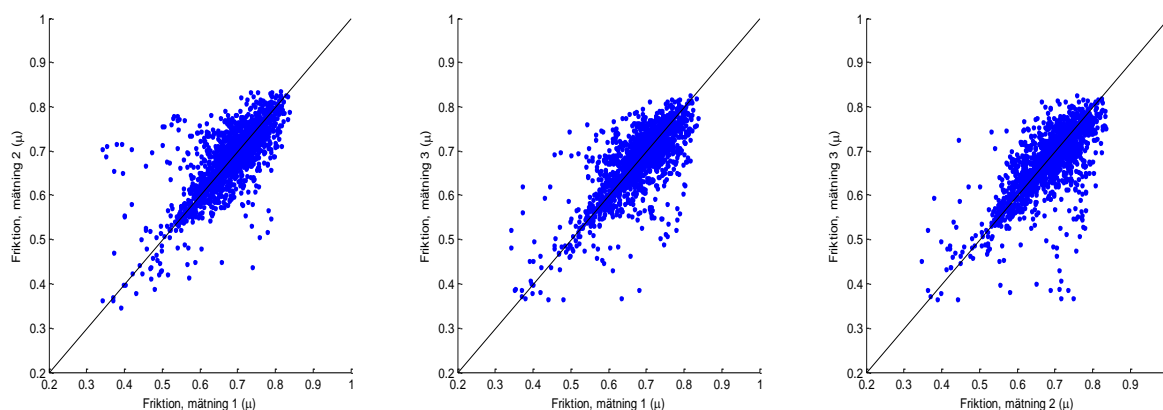
att det är godkänt för friktionsmätningar på flygplatser. Det är även godkänt av *Statens vegvesen* för mätning av vinterfriktion.

Mätningar i en verklig trafikmiljö innebär att man kan förvänta sig ett visst mätfel, framför allt då mätningen sker mobilt. Felkällor kan till exempel vara smuts på markeringen eller sensorn, ogynnsamma ljusförhållanden eller vibrationer. En ytterligare faktor att ta hänsyn till är att vid mätning av en vägmarkerings egenskaper så mäts inte nödvändigtvis egenskaperna över hela ytan. Till exempel mäts MPD med en punktlaser längs en smal linje. TWO mäter friktionen med ett mätdäck som har en kontaktyta mot vägen på 6–7 cm. Eftersom längsgående vägmarkeringar kan vara upp till 30 cm breda är det möjligt att en viss variation i mätningarna kan uppstå beroende på var på markeringen man mäter.

För att öka tillförlitligheten i mätdata gjordes tre upprepade mätningar med TWO och två upprepade mätningar med RMT. Innan modelleringen inleddes gjordes en viss förbearbetning och kvalitetskontroll av insamlat mätdata, se kapitel 4.4 och 4.5.

4.4. Förbearbetning av friktionsdata

En visuell bedömning visade att friktionsmätningarna innehöll en del mätbrus samt att de tre upprepade mätningarna på samma objekt ibland skiljde sig åt på delar av mätsträckan. Figur 33 visar jämförelser mellan de tre mätningarna för obehandlat friktionsdata. Varje datapunkt motsvarar den genomsnittliga friktionen över en mätsträcka om 10 m. Standardavvikelsen för skillnaden mellan två mätningar var 0,053–0,056. Korrelationskoefficienten var 0,72–0,75. Antalet mätpunkter var 1678–1704.



Figur 33. Upprepad mätning av friktion (obehandlade data). Varje datapunkt motsvarar ett genomsnittligt friktionsvärde över 10 m. Vänster: mätning 1 mot mätning 2, korrelationskoefficient $r=0,74$, 1704 mätpunkter. Mitten: mätning 1 mot mätning 3, korrelationskoefficient $r=0,75$, 1685 mätpunkter. Höger: mätning 2 mot mätning 3, korrelationskoefficient $r=0,72$, 1678 mätpunkter.

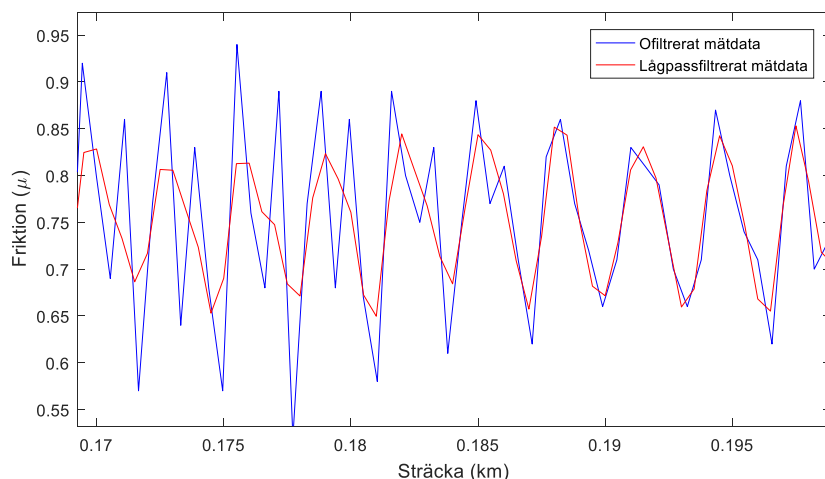
Förbearbetningen omfattade tre delar. I ett första steg lågpasfilterades mätsignalerna för att reducera mätbruset. I ett andra steg jämfördes de tre mätningarna för varje objekt och avvikande mätningar exkluderades. I det tredje och sista steget bestämdes det mest sannolika genomsnittliga friktionsvärdet för varje objekt genom att analysera fördelningskurvan över mätvärdena.

4.4.1. Reducering av mätbrus

Det noterades att samtliga mätsekvenser innehöll ett periodiskt brus med en våglängd om ca 1,25–1,5 m. Ett exempel visas i Figur 34. Eftersom bruset fanns i samtliga mätsekvenser – oavsett om markeringen var plan, profilerad, heldragen eller intermitterant – är det inte sannolikt att bruset utgör

verkliga variationer i friktionen, utan att det är en störning. Möjligen kan det bero på någon form av resonansfenomen hos mätutrustningen.

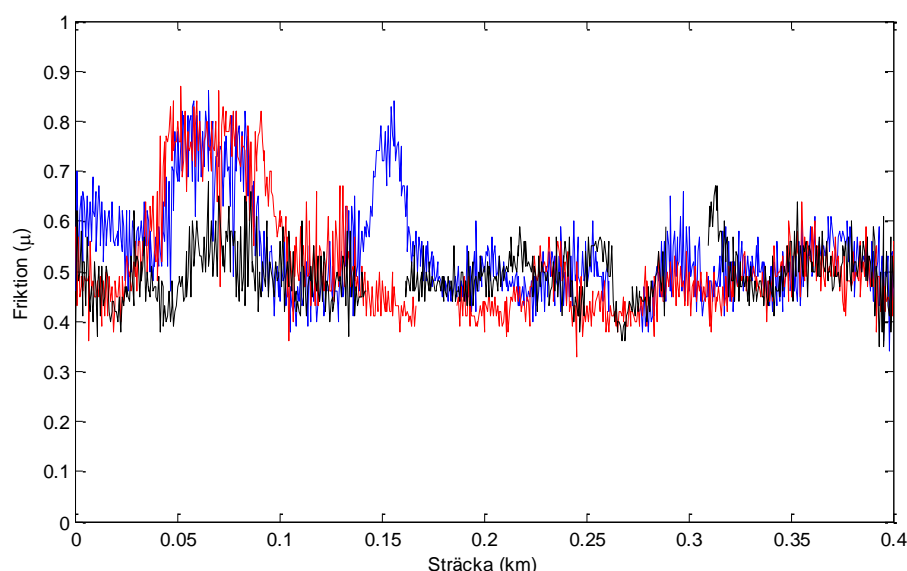
Bruset reducerades genom att lågpasfiltrera mätdata med ett fjärde ordningens nollfas butterworthfilter med gränshfrekvens 0,6 Hz.



Figur 34. Exempel på ofiltrerat (blå kurva) och filtrerat (röd kurva) mätdata för en intermitterent markering. Fram till ca 0,185 km är det ofiltrerade mätdata tydligt påverkat av det periodiska mätbruset, vilket reduceras genom lågpasfiltreringen. Den filtrerade kurvans lokala minima motsvarar markeringarnas friktion, medan lokala maxima motsvarar vägbeläggningen mellan markeringarna.

4.4.2. Jämförelse av upprepade mätningar och urval av data

I vissa fall fanns en viss skillnad mellan de upprepade mätningarna på samma objekt. Ett exempel visas i Figur 35.



Figur 35. Exempel på skillnader mellan de tre upprepade mätningarna på samma objekt. Objektet är en 30 cm bred heldragen plan markering.

Det är svårt att med säkerhet säga vad skillnaderna beror på. En tänkbar förklaring är att mätoperatören inte har lyckats hålla instrumentet på markeringen, t.ex. när markeringen eller vägrenen

var smal. För breda markeringar är det möjligt att friktionen varierar tvärs markeringen, t.ex. kan det vara större slitage närmast körfältet. Mätresultaten blir då beroende av instrumentets placering på markeringen.

För att undersöka hur de upprepade mätningarna förhöll sig till varandra och för att exkludera avvikande mätningar gjordes följande:

- I ett första steg undersöktes om skillnaderna mellan upprepade mätningar kunde förklaras av att mätningarna startats vid olika positioner, dvs. att de var dåligt synkade i längsled. Detta gjordes genom att beräkna korskorrelationen mellan varje par av mätningar.

Resultaten visade att det i sämsta fall skiljde ett par meter i startposition och effekten av detta anses därför vara försumbar.

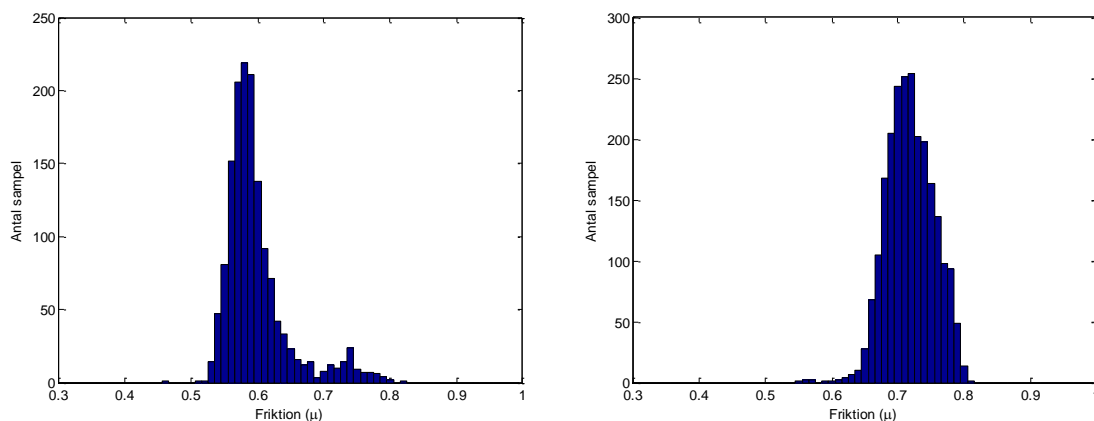
- Mätningar vars friktionsmedelvärde avvek mer än 0,05 enheter från övriga två mätningar exkluderades. Detta kriterium är hämtat från Trafikverkets kravdokument *TDOK 2014:0134 Bestämning av friktion på belagd väg* (Trafikverket 2014a) som anger att det får skilja maximalt 0,05 enheter mellan medelvärdena för upprepade mätningar för att de ska anses vara godkända.

Totalt exkluderades fyra mätningar av detta skäl. Samtliga dessa var heldragna markeringar.

Eftersom friktionsmätningarna konstaterades innehålla en del störningar drogs slutsatsen att det inte var lämpligt att bygga modellen utifrån korta segment (t.ex. 10 m eller 50 m) eftersom osäkerheterna då blir alltför stora. Istället eftersträvades att hitta det mest representativa värdet för hela 400 meterssträckan.

4.4.3. Bestämning av friktion, heldragna markeringar

För varje objekt beräknades en fördelningskurva, baserat på de lågpasfilterade (kapitel 4.4.1) och icke exkluderade mätningarna (kapitel 4.4.2). Samtliga mätningar från varje objekt slogs samman till en fördelningskurva. Två exempel visas i Figur 36.



Figur 36. Fördelningskurvor för två olika objekt. Vänster: den höga toppen motsvarar vägmarkeringens friktion och den låga toppen motsvarar beläggningens friktion, dvs. mätjulet har sannolikt befunnit sig utanför markeringen en kortare del av sträckan. Höger: fördelningskurvan består av endast en topp, vilken sannolikt motsvarar vägmarkeringens friktion.

Fördelningskurvorna förväntas visa en tydlig topp som motsvarar vägmarkeringens friktion, och eventuellt en mindre topp med högre friktionsvärde som motsvarar beläggningens friktion. Om

markeringen är mycket sliten är det sannolikt så att markeringens och beläggnings toppar överlappar.

Toppen som motsvarar vägmarkeringens friktion antogs vara det mest representativa värdet för objektets friktion och det är det värdet som sedan användes vid framtagande av modellen.

Genom att bestämma vägmarkeringens friktion från fördelningskurvan istället för att till exempel beräkna medel- eller medianvärde minimeras påverkan från störningar och eventuella mätvärden från beläggnings.

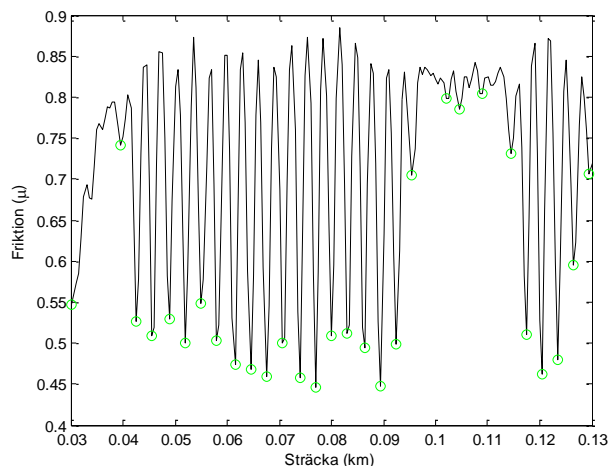
Objekt 42 exkluderades från datasetet beroende på att friktionsvärdena varierade kraftigt över sträckan, samt att de tre upprepade mätningarna hade mycket dålig överensstämmelse. Det bedömdes därför inte vara möjligt att ta fram ett representativt friktionsvärde för den sträckan.

4.4.4. Bestämning av friktion, intermittenta markeringar

En intermittent kantmarkering består vanligtvis av en meter markering följt av en två meter lång lucka. Med ett samplingsintervall på 0,5 m innebär detta att i genomsnitt vart sjätte mätvärde utgör markeringens friktion (förutsatt att operatören lyckats hålla instrumentet på markeringen), medan övriga mätvärden antingen avspeglar beläggnings (luckans) friktion eller en blandning av markeringens och beläggnings friktion.

Eftersom det är en förhållandevis liten andel av mätvärdena som utgör markeringens friktion samtidigt som många mätvärden består av en blandning av markering och beläggning går det inte att identifiera ett representativt värde för markeringens friktion på samma sätt som för heldragna markeringar. Fördelningskurvan får ingen tydlig topp som motsvarar markeringens friktion, när hela mätningen inkluderas.

För att bestämma markeringens friktion identifierades först lokala minima i mätsekvenserna. Endast minima separerade med minst 4 sampel inkluderades (förväntat avstånd mellan minima som motsvarar markeringens friktion är 6 sampel). Ett exempel visas i Figur 37.



Figur 37. Exempel på friktionsmätning på en intermittent markering. Minimivärdena (grönmarkerade) motsvarar i huvudsak markeringens friktion, medan övriga värden utgör beläggnings friktion, eller en blandning av markeringens och beläggnings friktion. I vissa fall kan minimivärdena motsvara beläggnings friktion, vilket tycks ha inträffat vid ca 0,1–0,11 km, där instrumentet sannolikt befunnit sig utanför markeringen.

Därefter tillämpades samma metod som för de heldragna markeringarna, dvs. fördelningskurvan för de identifierade minimivärdena (från alla tre mätningar sammanslaget) beräknades och det mest representativa värdet för markeringens friktion antogs utgöras av fördelningskurvas topp alternativt,

om kurvan bestod av två toppar, den med lägst friktionsvärde. I några få fall var friktionstoppen bred och bestod av flera mindre toppar. I de fallen valdes mitten av toppen som friktionsvärde.

Det bör noteras att noggrannheten i det mest representativa friktionsvärdet är sämre för intermittenta markeringar än för heldragna, beroende på att de förstnämnda baseras på färre mätvärden.

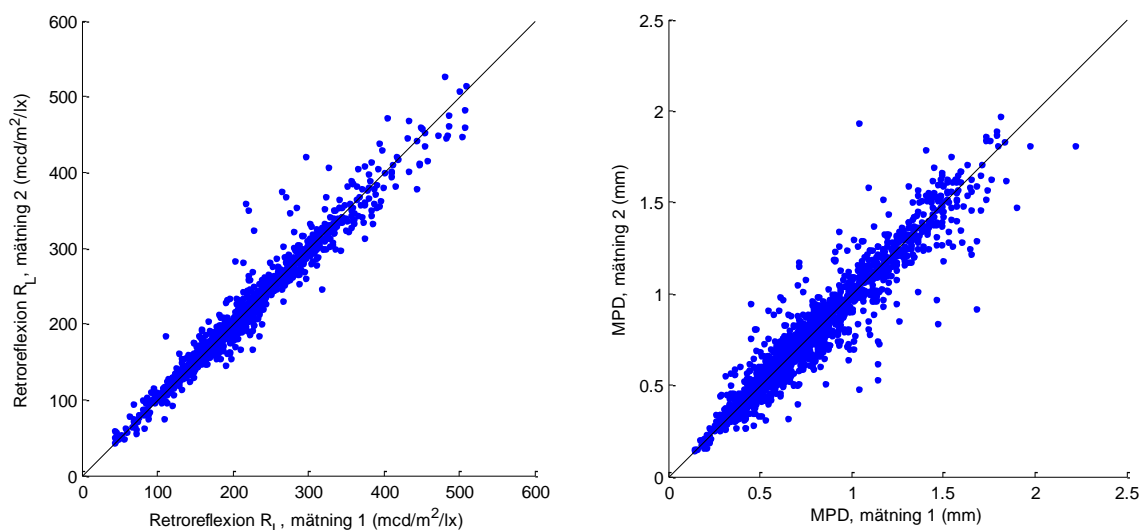
4.5. Förbearbetning av retroreflexions- och MPD-data

Vid genereringen av datafiler för retroreflexion och MPD sker en viss förbehandling, där felaktiga data exkluderas (t.ex. då instrumentet med stor sannolikhet befunnit sig utanför markeringen). Bortfallet var 0,8 % för R_L och 0,4 % för MPD. För R_L saknades dessutom hela mätning 2 för tre av objekten.

De upprepade mätningarna av retroreflexion och MPD stämde i de flesta fall väl överens. Jämförelser mellan de två mätningarna visas i Figur 38. Varje datapunkt motsvarar mätvärden över en mätsträcka om 10 m. För R_L är standardavvikelsen för skillnaden mellan de två mätningarna $14,6 \text{ mcd/m}^2/\text{lx}$ och korrelationskoefficienten är 0,98. Totalt antal mätpunkter är 1 588. För MPD är standardavvikelsen för skillnaden mellan de två mätningarna $0,103 \text{ mm}$ och korrelationskoefficienten är 0,96. Totalt antal mätpunkter är 1 718.

Både R_L och MPD bedömdes vara av god kvalitet och därför gjordes ingen ytterligare förbearbetning. Samtliga värden från de två upprepade mätningarna medelvärdesbildades och användes vid modelleringen. I de fall mätning 2 saknades för R_L användes medelvärdet för den första mätningen.

I idealfallet är markeringens egenskaper homogena över objektet, vilket ger mest stabila och tillförlitliga data. I praktiken finns det dock ofta en viss variation, som tenderar att öka med objektets längd. Det noterades att flera av objekten där markeringen bestod av färg med stora glaspärlor hade betydligt kraftigare variationer i R_L och/eller MPD än markeringarna som bestod av termoplast. Till exempel varierade R_L med mer än 200 enheter för tre av de fem objekten med stora glaspärlor. På grund av detta hanterades objekten med stora glaspärlor separat, vid framtagandet av modeller.



Figur 38. Upprepad mätning av retroreflexion R_L (vänstra figuren) och MPD (högra figuren). Varje datapunkt motsvarar den genomsnittliga retroreflexionen över 10 m. Totalt antal mätpunkter är 1 588 för R_L och 1 718 för MPD.

4.6. Modellering

4.6.1. Modellansats

Modelleringen bygger på antagandena att en yta med grov textur bör ha högre friktion, samt att en yta med hög retroreflexion (stor antal glaspärlor på ytan) bör ha lägre friktion, se även kapitel 1.3.

Tidigare har en linjär modellansats använts, vilken kan beskrivas enligt:

$$\mu = a_0 + a_1 R_L + a_2 MPD$$

där μ = friktion, R_L = retroreflexion för torra markeringar och MPD = *mean profile depth*.

I föreliggande projekt har modelleringen utgått från den linjära modellansatsen, men inte begränsats till den. En bedömning har gjorts om huruvida den linjära modellen är mest lämplig, eller om det kan finnas andra ansatser som bättre beskriver sambandet.

Av praktiska skäl är det bra om det går att finna *en* modell för samtliga typer av markeringar, eftersom mätoperatören då inte behöver göra en bedömning av vilken typ av markering det rör sig om, utan kan mäta på samma sätt oavsett markeringstyp. Utgångspunkten har därför varit att ta fram en generell modell för alla typer av markeringar, men att samtidigt göra en bedömning av huruvida markeringstypen påverkar resultaten, för att eventuellt kunna göra olika modeller för olika markeringar om det så krävs.

Modelleringen gjordes i Matlab R2016a (MathWorks, USA). Skattningen av modellens parametrar a_i gjordes med minsta-kvadrat-metoden. Korrelationsanalyser gjordes med signifikansnivån $\alpha = 0,05$.

4.6.2. Dataset

Vid modelleringen användes de värden på friktion, R_L och MPD som beräknats för varje objekt i kapitel 4.4 och 4.5, dvs. ett värde per variabel och objekt. Totalt bestod datasetet av 43 objekt, där 5 var plana heldragna markeringar, 12 var plana intermittenta markeringar, 13 var profilerade heldragna markeringar, 8 var profilerade intermittenta markeringar och 5 bestod av färg med stora glaspärlor.

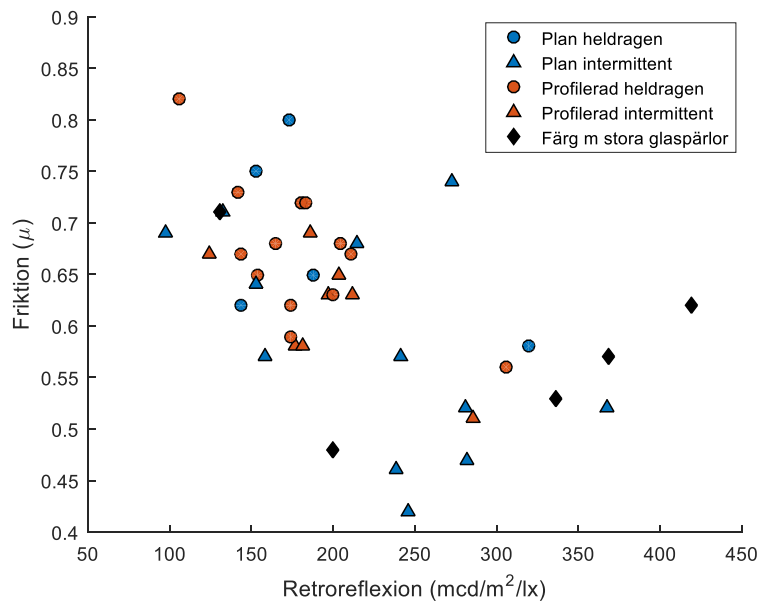
Eftersom flera av objekten med stora glaspärlor hade kraftigt varierande retroreflexion och/eller MPD (se även kapitel 4.5) exkluderades dessa vid modelleringen. De var för få för att det skulle gå att ta fram en separat modell, men de analyseras ändå i viss utsträckning nedan.

Utöver de mätdata som samlades in i föreliggande studie har även mätdata insamlade med TWO och RMT i studie 1 (se kapitel 3) använts i vissa analyser, för att få ett större dataunderlag. I de fall mätdata från studie 1 har använts har data från TWO enbart omfattat mätningar i hastigheten 70 km/h (dvs. samma hastighet som för mätningarna i studie 2). Eftersom mätningarna i studie 1 inte är helt jämförbara med mätningarna i föreliggande studie med avseende på objektslängd, objektstyp och mätmetod för retroreflexion har de analyserats separat, i huvudsak med syfte att verifiera de resultat som erhållits i studie 2.

4.6.3. Samband mellan friktion och retroreflexion

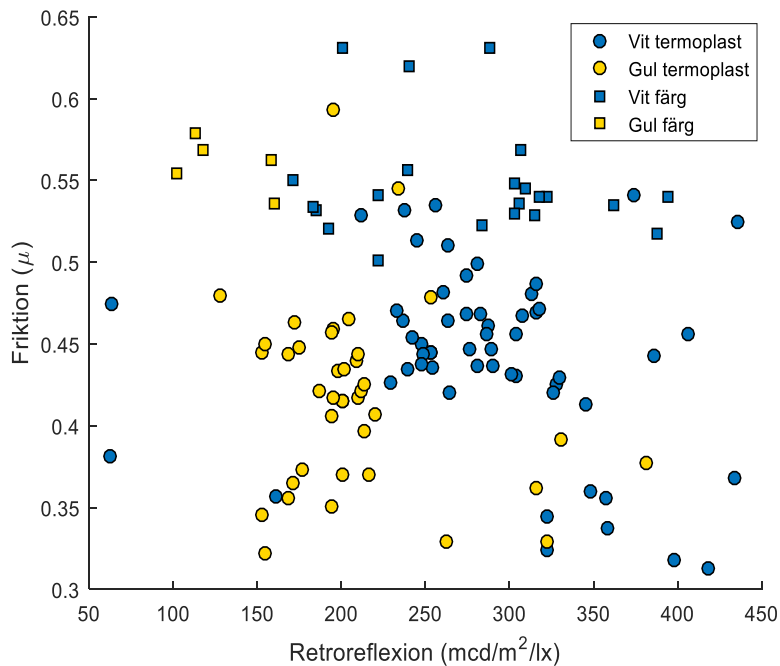
Figur 39 visar sambandet mellan friktion och retroreflexion för de 38 termoplastobjekten som ingick i analysen. Figuren visar att det finns ett visst stöd för hypotesen att friktionen förväntas minska då retroreflexionen ökar. Korrelationskoefficienten är $r = -0,61$ med $p < 0,001$, dvs. korrelationen är signifikant skild från 0. I figuren visas även objekten som bestod av färg med stora glaspärlor, men de har inte inkluderats vid beräkningen av korrelationskoefficient.

Eftersom det finns förhållandevis få objekt av varje typ (plan/profilerad, heldragen/intermittent) görs inga separata analyser per typ.



Figur 39. Samband mellan friktion och retroreflexion, för de 38 objekt som ingick i analysen (röda och blåa markeringar). I figuren visas även de fem objekt som bestod av färg med stora glaspärlor (svarta markeringar).

Sambandet mellan retroreflexion och friktion som kan ses i Figur 39 kan dock inte verifieras med mätdata från provfältet, se Figur 40. Korrelationskoefficienten är $r = -0,07$ och inte signifikant skild från 0 ($p = 0,44$) för alla mätvärden sammantaget. Inte heller om man analyserar de olika typerna separat (vit/gul, termoplast/färg) finns någon signifikant korrelation, Tabell 4. Man ska här komma ihåg att mätdata från provfältet skiljer sig en del från de som visas i Figur 39: mätobjekten är betydligt kortare, samtliga markeringar är nya, samtliga är plana, förutom vita markeringar finns även gula markeringar och det finns både termoplaster och färgmarkeringar. Man kan därför inte förvänta sig att sambandet i Figur 40 ska vara identiskt med det i Figur 39, men det är problematiskt ur ett modelleringsperspektiv att det inte tycks finnas något samband alls mellan friktion och retroreflexion för mätdata från provfältet.



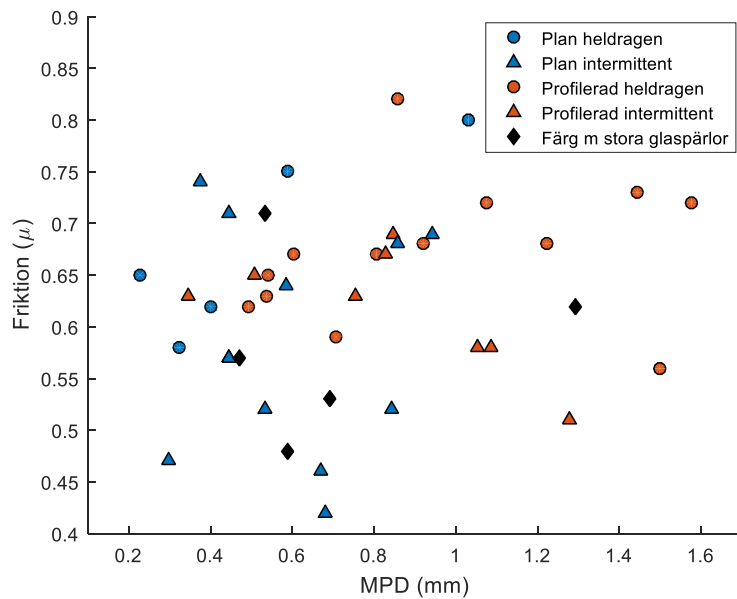
Figur 40. Samband mellan friktion ($TWO_{70 \text{ km/h}}$) och retroreflexion, för mätdata från provfältet.

Tabell 4. Korrelationskoefficienter och p -värden för sambanden i Figur 40.

	Termoplast, vit	Termoplast, gul	Färg, vit	Färg, gul	Alla
Korrelationskoefficient	-0,21	-0,22	-0,16	-0,51	-0,07
p -värde	0,11	0,16	0,48	0,38	0,44
n	57	38	22	5	123

4.6.4. Samband mellan friktion och MPD

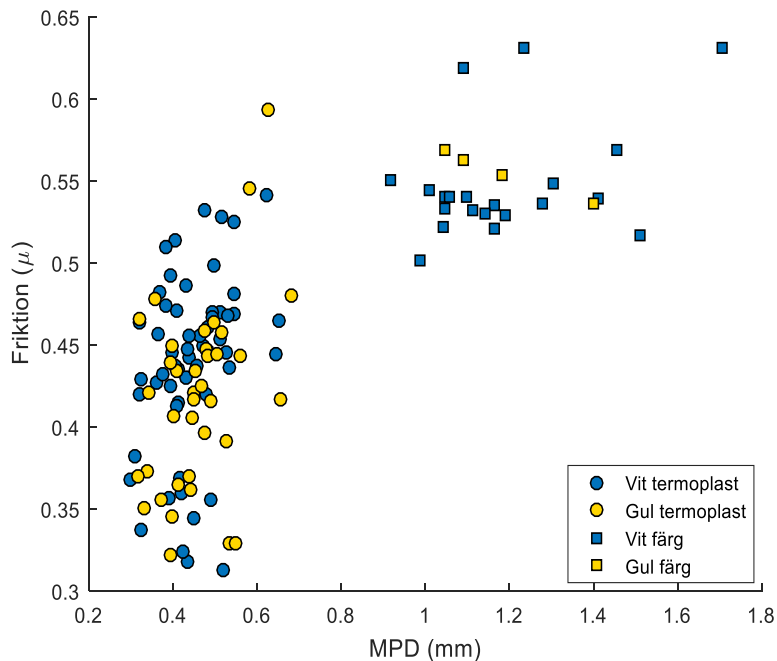
Figur 41 visar sambandet mellan friktion om MPD för de 38 termoplastobjekten. Hypotesen att friktionen förväntas öka då MPD ökar stöds inte av figuren. Korrelationskoefficienten är $r = 0,19$ med $p = 0,25$, dvs. korrelationen är ej signifikant skild från 0. I figuren visas även objekten som bestod av färg med stora glaspärlor, men de har inte inkluderats vid beräkningen av korrelationskoefficient.



Figur 41. Samband mellan friktion och MPD, för de 38 objekt som ingick i analysen (röda och blåa markeringar). I figuren visas även de fem objekt som bestod av färg med stora glaspärlor (svarta markeringar).

Motsvarande samband för mätdata från provfältet visas i Figur 42. Till skillnad från Figur 41 finns ett visst samband mellan MPD och friktion. För alla mätvärden sammantaget är korrelationskoefficienten 0,71 (signifikant skild från 0). I figuren går det att se en tydlig gruppering mellan olika typer av material – termoplaster tenderar att ha både låg friktion och lågt MPD-värde, medan färger har hög friktion och högt MPD-värde. Inom respektive typ är sambanden förhållandevis svaga, men signifikant skilda från 0 för alla typer utom vit färg (det kan dock noteras att gul färg, som har en hög korrelation, baseras på mycket få observationer).

Även om Figur 41 och Figur 42 är till synes ganska olika är det inte omöjligt att mönstret som finns i Figur 42 även gäller för Figur 41. Det vill säga att markeringar med låga MPD-värden antingen har hög eller låg friktion, medan markeringar med höga MPD-värden alltid har en ganska hög friktion. Det finns i princip inga observationer med $MPD > 0,7$ som har ett friktionsvärde på $< 0,5$, varken i Figur 41 eller i Figur 42.



Figur 42. Samband mellan friktion ($TWO_{70 \text{ km/h}}$) och MPD, för mätdata från provfältet.

Tabell 5. Korrelationskoefficienter och p -värden för sambanden i Figur 42. Samband som är signifikant skilda från 0 markeras med *.

	Termoplast, vit	Termoplast, gul	Färg, vit	Färg, gul	Alla
Korrelationskoefficient	0,32	0,40	0,38	-0,99	0,71
p -värde	0,02*	0,01*	0,09	<0,01*	<0,001*
n	56	37	21	4	118

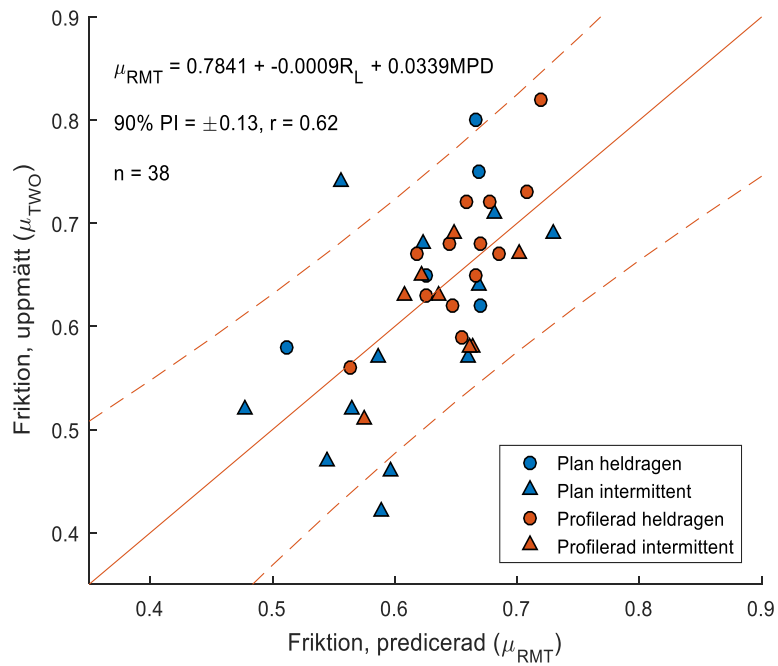
4.6.5. Framtagande av modell

En linjär modell för att predicera friktion utifrån retroreflexion och MPD, baserat på de 38 termoplastobjekten som ingick i analysen, får med konventionell minsta-kvadratanpassning följande form:

$$\mu_{RMT} = 0,7841 - 0,0009R_L + 0,0339MPD$$

Korrelationskoefficienten är $r = 0,62$ (signifikant skild från 0, $p < 0,001$) och 90 % prediktionsintervall är $\pm 0,13$. Det vill säga, det finns ett samband mellan uppmätt och predicerad friktion, men det är förhållandevis svagt.

Utifrån observationerna (Figur 39 och Figur 41) finns ingen uppenbar alternativ modellansats som kan förväntas ge ett bättre resultat. Jämförelsen med mätdata från studie 1 kan möjligen tala för att man kan behöva olika modeller för olika markeringstyper, men i föreliggande studie finns inte tillräckligt många observationer för en sådan analys. Utifrån förutsättningarna är modellen ovan därför att betrakta som studiens slutgiltiga resultat.



Figur 43. Predicerad och uppmätt friktion. Samtliga fyra markeringstyper (plan/profilerad, heldragen/intermittent) ingår i modellen. Röda streckade kurvor: prediktionsintervall.

4.7. Diskussion

Syftet med föreliggande studie var att ta fram en modell, baserad på mätning av vägmarkeringens retroreflexion och textur, för skattning av friktion i högre hastighet. Som referensinstrument användes den mobila metoden *Traction Watcher One* (TWO).

Modellen som togs fram uppvisade ett förhållandevis svagt samband mellan uppmätt och predicerad friktion (korrelationskoefficient $r = 0,62$). Sambandet är svagare än för de modeller som tagits fram i ett tidigare projekt, där PFT användes som referensinstrument (Lundkvist, Johansen, & Nielsen 2008). En möjlig delförklaring kan vara att de tidigare modellerna baserades på ett betydligt större antal observationer, vilket kan förväntas ge tydligare och mer tillförlitliga resultat. Det finns ytterligare ett par aspekter i föreliggande studie som är viktiga att diskutera: val av referensmetod, urval av mätobjekt, samt modellering/modellansats.

I valet av referensmetod var det önskvärt att välja en metod som mäter friktion enligt Trafikverkets kravdokument *Bestämning av friktion på belagd väg* (Trafikverket 2014a). Detta dokument avser friktion hos själva vägbeläggningen, men då vägmarkeringar utgör en del av vägytan är det rimligt att de krav och mätmetoder som används är desamma för vägmarkering som för vägbeläggning. Ett problem är dock att de instrument som kan mäta friktion enligt nämnda kravdokument är anpassade för mätning på just vägbeläggning, men inte för mätning på till exempel kantlinjer. Ett exempel på ett sådant instrument är VTI:s mätfordon *Saab Friction Tester* (SFT), där mät hjulet är monterat undertill i fordonets bakre del. Att anpassa SFT för mätning på kantlinjer skulle kräva en omfattande ombyggnation som inte var möjlig att genomföra inom ramen för föreliggande projekt. Istället valdes det norsktillverkade instrumentet *Traction Watcher One* (TWO) som referensinstrument. Utformningen hos TWO, där mät hjulet är monterat bakom fordonet och justerbart i sidled, tillåter mätning även på kantlinjer. Dock följer inte instrumentet den svenska mätstandarden i ovan nämnda kravdokument, vilket givetvis är en begränsning. Men eftersom detta var det enda för oss kända instrumentet som överhuvudtaget kunde göra friktionsmätningar på vägmarkeringar i högre hastighet föreföll det ändå vara det bästa alternativet för föreliggande studie.

Jämförelsen mellan TWO och övriga instrument i studie 1 visade att TWO ger betydligt lägre friktionsvärden än till exempel RFT som mäter enligt det svenska kravdokumentet. Sambanden mellan TWO och RFT är dock ganska tydliga baserat på de mätningar som gjordes på provfältet, vilket innebär att det finns goda förutsättningar att ta fram en omvandlingsformel för att räkna om friktionsvärden mätta med TWO så att de blir jämförbara med metoder som mäter enligt det svenska kravdokumentet (en sådan omvandlingsformel skulle dock behöva baseras på fler markeringstyper än de som förekommer på provfältet).

Vid analysen av mätdata noterades två möjliga problem hos TWO. Dels finns en viss osäkerhet i mätdata beroende på att det kan vara svårt att avgöra om mät hjulet befunnit sig på vägmarkeringen eller på beläggningen. I studie 2 kompletterades mätsystemet med en bakåtriktad kamera för att underlätta för mätoperatören att hålla mät hjulet i rätt position, vilket sannolikt förbättrade precisionen men det finns ändå många segment där de upprepade mätningarna inte stämmer överens. Att det gjordes tre upprepade mätningar på varje objekt ökar dock tillförlitligheten i mätdata, eftersom avvikande segment kan exkluderas. Vidare bestämdes det mest representativa friktionsvärdet per objekt genom att analysera fördelningen för mätdata, och inte genom att beräkna till exempel medel- eller medianvärde, vilka kan påverkas av mätbrus och felaktiga mätvärden.

Det andra problemet med TWO-mätningarna var att det i samtliga mätningar fanns ett periodiskt brus, som i vissa fall påverkade mätvärdena väsentligt (se Figur 34). I föreliggande studie filterades mätsignalerna för att reducera bruset, men om instrumentet ska användas för framtida vägmarkeringsmätningar bör orsaken till bruset identifieras och åtgärdas.

För intermittenta markeringar tillkommer en ytterligare osäkerhet i mätdata, eftersom friktionsvärden som härrör från markeringarna måste separeras från de värden som härrör från beläggningen mellan

markeringarna. I vissa fall var skillnaderna i friktion mellan beläggning och markering mycket tydliga, medan det i andra fall var svårare att avgöra vilka mätvärden som kommer från markeringarna.

Att det krävdes förhållandevis mycket förbehandling av TWO-data är en nackdel med metoden. Eftersom det inte finns något facit över vad som är ”korrekt” mätdata finns alltid en risk för att man inför nya fel vid förbehandlingen, till exempel på grund av felaktiga antaganden.

Urvalet av mätobjekt omfattade markeringar av flera olika typer: heldragna och intermittenta, plana och profilerade, nya och gamla, samt smala och breda. Tanken var att urvalet skulle vara någorlunda representativt för de markeringstyper som förekommer på de svenska vägarna, men samtidigt ha ett visst fokus på de markeringstyper där man förväntar sig låg friktion: nämligen nya markeringar och i någon utsträckning även gamla plana markeringar. En tidigare studie har visat att gamla profilerade markeringar alltid uppfyller gällande krav på friktion och de är därför av något mindre intresse (Lundkvist, Johansen, & Nielsen 2008). Emellertid visade det sig vara svårt att hitta mätobjekt med nylagda markeringar. Det var förhållandevis få vägar som försågs med nya markeringar i Jönköpings län, Östergötlands län och Södermanlands län under 2015, och därför ingick endast nio objekt med nylagda markeringar i urvalet. Av de nio objekten var det inget som hade riktigt låg friktion. Lägsta uppmätta värde var 0,42 TWO-enheter, medan det på provfältet fanns ett flertal objekt med friktionsvärden på 0,3–0,4 TWO-enheter. Ur ett modelleringsperspektiv är det en begränsning att inte hela det friktionsintervall som är av intresse fanns representerat i urvalet av mätobjekt.

Varje mätobjekt var 400 m långt och över en så pass lång sträcka är det tänkbart att det kan finnas vissa variationer i materialets egenskaper. Från början fanns därför en tanke om att varje objekt skulle kunna delas in i flera kortare segment, vilket skulle ha gett ett större dataunderlag. Osäkerheterna i TWO-data gjorde dock att ingen sådan indelning gjordes, utan istället beräknades ett mätvärde per objekt.

Urvalet och antalet observationer har betydelse vid framtagandet av modell. Antalet observationer i föreliggande studie – 38 stycken – är med tanke på den stora spridningen för få för att man ska kunna ta fram en tillförlitlig modell. Å andra sidan indikerar den stora spridningen att det inte kommer vara möjligt att ta fram en modell med god precision, oavsett datamängd. En möjlighet att förbättra precisionen skulle kunna vara att ta fram olika modeller för olika typer av markeringar, vilket gjordes i den tidigare studien (Lundkvist, Johansen, & Nielsen 2008). Vid jämförelsen mellan data från föreliggande studie och data från provfältet (Figur 39–Figur 42) noterades att det fanns vissa skillnader i sambanden mellan friktion och förklaringsvariabler. Vidare noterades det att objekten bestående av färg med stora glaspärlor hade en avvikande karakteristik och de exkluderades därför vid modelleringen. Dessa iakttagelser skulle kunna tala för att olika markeringstyper bör ha olika modeller. I föreliggande studie fanns dock inte tillräckligt med mätdata för att kunna göra en sådan analys.

I en relativt nyligen publicerad VTI-rapport har man undersökt möjligheterna att identifiera låg friktion hos vägbeläggningen via mätningar av ytans textur (Lundberg m. fl. 2015). Studien baseras på ett mycket stort antal mätpunkter (1 m-värden) och slutsatsen var att de sträckor som har låga friktionsvärden (<0,5) huvudsakligen återfinns på sträckor där MPD-värdena är låga, men att det samtidigt inte går att beskriva sambandet mellan friktion om MPD med en enkel modell. Låga MPD-värden innebär inte nödvändigtvis att friktionen är låg. Ett liknande mönster kan noteras för sambandet mellan MPD och friktion från mätningarna på provfältet, se Figur 42.

De nationella riktlinjerna för krav vid upphandling föreskriver att vägmarkeringar ska ha en friktion på minst 0,50 PFT-enheter, vilket motsvarar ca 0,38 TWO-enheter enligt Figur 15. Modellen som togs fram i föreliggande studie har ett prediktionsintervall⁵ på $\pm 0,13$, vilket innebär att den skattade

⁵ Det angivna prediktionsintervallet avser observationernas medelvärde. För låga friktionsvärden är prediktionsintervallet större, se Figur 43.

friktionen bör vara minst 0,51 för att man någorlunda säkert ska kunna säga att mätobjektet uppfyller kraven. Med en sådan säkerhetsmarginal finns det samtidigt en stor risk att man felaktigt underkänner mätobjekt. Det är med andra ord svårt att göra en rättvis bedömning med den framtagna modellen, och slutsatsen är därför att den inte är tillräckligt bra för att vara användbar i praktiken. Osäkerheten i modellen förklaras sannolikt både av att det finns vissa oklarheter och osäkerheter i de mätdata som erhålls från TWO, och att det finns fler faktorer – än så länge okända – utöver retroreflexion och MPD som påverkar materialets friktion.

5. Sammanfattande slutsatser

Funktionskrav för vägmarkeringar omfattar gränsvärden för friktion, retroreflexion och luminanskoefficient. För att det ska vara möjligt att kontrollera att kraven uppfylls behövs mätinstrument som effektivt i trafikfart kan övervaka större vägnät. Nuvarande standardinstrument för friktionsmätning är handhållna och inte särskilt väl lämpade för mätningar i större omfattning. Därför behövs en utveckling av metoder som kan mäta mobilt. Som en del av denna utveckling har två studier genomförts vilka redovisats i föreliggande rapport. Tre mobila metoder för friktionsmätning, RFT, TWO och RMT, har jämförts med det handhållna instrumentet PFT. I den andra studien har en skattningsmodell för friktion i högre hastighet tagits fram, baserad på retroreflexion och makrotexturmåttet MPD. Resultaten från de två studierna kan sammanfattas i följande punkter:

- De fyra undersökta mätmetoderna PFT, RFT, TWO och RMT ger olika resultat.
- PFT uppvisar förhållandevis tydliga samband med RFT och TWO.
- Det finns ett visst samband mellan PFT och de två RMT-modellerna.
- Sambanden mellan de två RMT-modellerna och RFT/TWO i högre mät hastighet är relativt svaga.
- TWO ger lägre friktionsvärden än övriga metoder.
- Mät hastigheten hos RFT och TWO har en viss inverkan på resultatet.
- RFT kan i sin nuvarande utformning inte användas för mätning på kantlinjer.
- Ingen av de tre mobila metoderna kan utifrån resultaten i föreliggande studie anses vara en fullgod ersättare till PFT eller SRT, åtminstone inte om man med god noggrannhet vill kunna bestämma friktionen hos en vägmarkering enligt gällande regelverk. De mobila metoderna kan dock fungera bra i tillämpningar där man kan nöja sig med en uppskattning av markeringens friktion.
- Den framtagna modellen för att predicera friktion i högre hastighet inte är tillräckligt bra för att vara användbar i praktiken.
- Friktionen hos en vägmarkering har ett visst samband med markeringens retroreflexion och makrotextur (MPD), men kan inte helt och hållet beskrivas av dessa två variabler.
- En praktisk utmaning vid friktionsmätning på vägmarkering i högre hastigheter är att lyckas hålla mätsensorn på vägmarkeringen. En ytterligare utmaning är att kunna separera mätvärden som härrör från vägmarkeringen från mätvärden som härrör från beläggningsen, framför allt när det handlar om intermittenta markeringar.
- Resultaten är i linje med de resultat som presenteras i (Lundberg et al. 2015), där det konstateras att makrotexturen uttryckt som MPD inte kan ersätta friktionsmätning (vid mätning på vägbeläggning), men att makrotexturen däremot kan vara ett komplement till traditionell friktionsmätning för att avgöra halkrisk vid högre farter dvs. mer än ca 70 km/h på vanlig vägbeläggning.

För framtiden kan man tänka sig vidareutveckling och förbättringar av befintliga metoder för att göra dem bättre anpassade till mätning på vägmarkering. Ett exempel skulle kunna vara att placera

ett instrument baserat på skidometerprincipen på sidan av mätfordonet så att man lättare kommer åt att mäta på vägmarkeringen. Det pågår också utveckling av nya metoder, som bygger på kontaktlös och indirekt mätning av friktionen via spektralanalys av reflekterat ljus och dess diffusa spridning, men det dröjer sannolikt några år innan de introduceras på marknaden.

Referenser

- EN ISO (2004). *Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 1: Determination of Mean Profile Depth*. International Standards Organization (ISO 13473-1:1997), Geneve, Schweiz.
- Fors, C., Johansen, T. C. och Lundkvist, S-O. (2015). *Nordic certification system for road marking materials – Version 1:2015*. VTI Notat 14A-2015. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, Sverige.
- Lundberg, T., Ekblad, J., Göransson, N-G., Sjögren, L. och Arvidsson, A. (2015). *Makrotexturens möjlighet att identifiera låg friktion*. VTI Rapport 877. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, Sverige.
- Lundkvist, S-O., Johansen, T. C. och Nielsen, B. (2008). *Mobil funktionskontroll av vägmarkeringar*. VTI Rapport 611. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, Sverige.
- Lundkvist, S-O. och Nielsen, B. (2009). *Utveckling av Road Marking Tester – Status RMT version 2*. VTI Notat 20-2009. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, Sverige.
- SIS (2008). *Vägutrustning – Vägmarkeringar – Funktionskrav, SS EN 1436:2007+A1:2008*. Swedish Standards Institute (SIS), Stockholm, Sverige.
- Trafikverket (2014a). *Bestämning av friktion på belagd väg*. Trafikverket TDOK 2014:0134. Trafikverket, Borlänge, Sverige.
- Trafikverket (2014b). *Mobil kontroll av vägmarkering*. Trafikverket TDOK 2013:0461. Trafikverket, Borlänge, Sverige.
- Wälivaara, B. (2007). *Validering av VTI-PFT version 4 – Mätningar på plana och profilerade vägmarkeringar*. VTI Notat 16-2007. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, Sverige.

Bilaga 1. Modell för predicering av friktion baserad på mätningar på provfältet, studie 1

Modeller för att predicera friktion i gånghastighet baserat på mätningarna på provfältet ges i Tabell 6. Samma modellantagande som i tidigare modeller (se kapitel 1.3), dvs. ett linjärt samband mellan friktion, retroreflexion och MPD, har använts. Sambanden mellan uppmätt friktion och predicerad friktion visas i Figur 44.

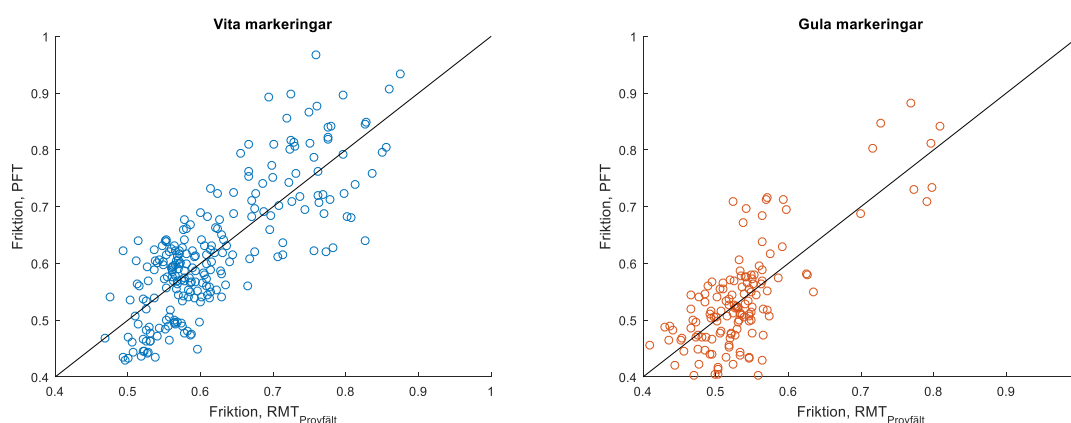
Dessa modeller uppvisar något högre korrelationskoefficienter och något snävare prediktionsintervall, än när de tidigare modellerna (Lundkvist, Johansen och Nielsen 2008) tillämpas på mätdata från provfältet (vilket kan förväntas, eftersom modellerna nedan är anpassade efter mätdata från provfältet). Om man istället jämför med de korrelationer och prediktionsintervall som erhöles vid framtagandet av de tidigare modellerna, uppvisar modellen för nya plana markeringar något bättre resultat än modellerna nedan ($r = 0,86$, 90 % prediktionsintervall $\pm 0,08$), medan den generella modellen ger ungefär samma korrelation som modellerna nedan, men något större prediktionsintervall ($r = 0,79$, 90 % prediktionsintervall $\pm 0,15$)

Det bör noteras att retroreflexionen i modellerna nedan avser retroreflexion mätt med handhållet instrument. Vid framtagandet av de tidigare modellerna mättes retroreflexionen mobil.

Tabell 6. Friktionsmodeller för vita, gula och samtliga markeringar, baserat på mätdata från provfältet.

Markeringar	Regressionsekvation	Korrelationskoefficient	$PI_{\bar{x}90}^\dagger$	n
Vita	$\hat{\mu}_{vit} = 0,645 - 0,0006 \cdot R_{L-torr} + 0,205 \cdot MPD$	$r = 0,80^*$	$\pm 0,12$	230
Gula	$\hat{\mu}_{gul} = 0,521 - 0,0006 \cdot R_{L-torr} + 0,264 \cdot MPD$	$r = 0,76^*$	$\pm 0,11$	139
Alla	$\hat{\mu}_{alla} = 0,519 - 0,0003 \cdot R_{L-torr} + 0,245 \cdot MPD$	$r = 0,75^*$	$\pm 0,13$	369

[†] $PI_{\bar{x}90}$ definieras som det 90% prediktionsintervallet för medelvärdet av observationerna för den förklarande variabeln, avrundat uppåt till två decimaler. Samma definition användes i (Lundkvist, Johansen och Nielsen, 2008).

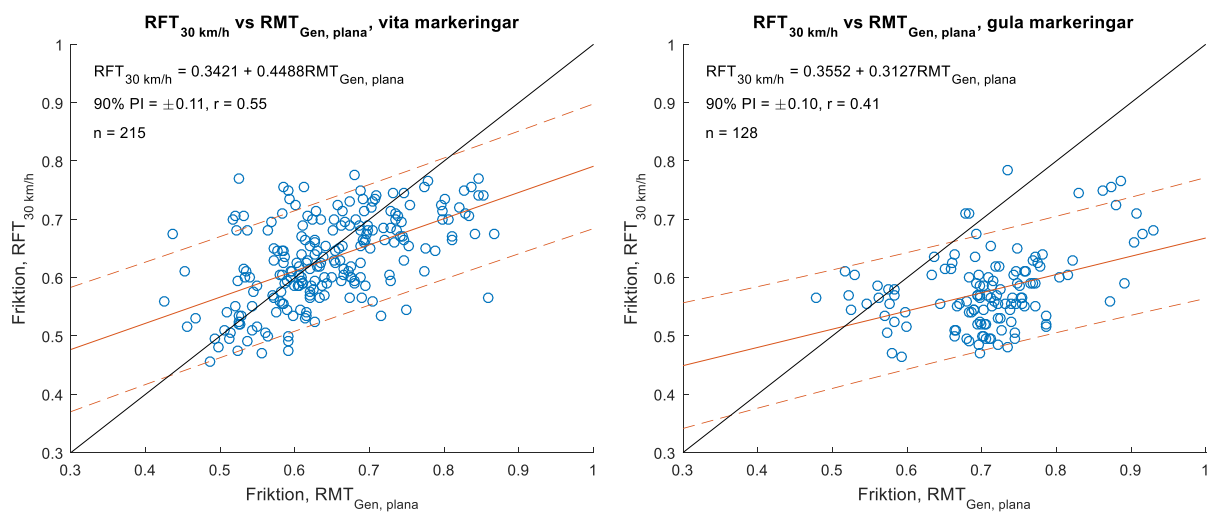


Figur 44. Samband mellan predicerad och uppmätt friktion, för vita (vänster) respektive gula (höger) markeringar.

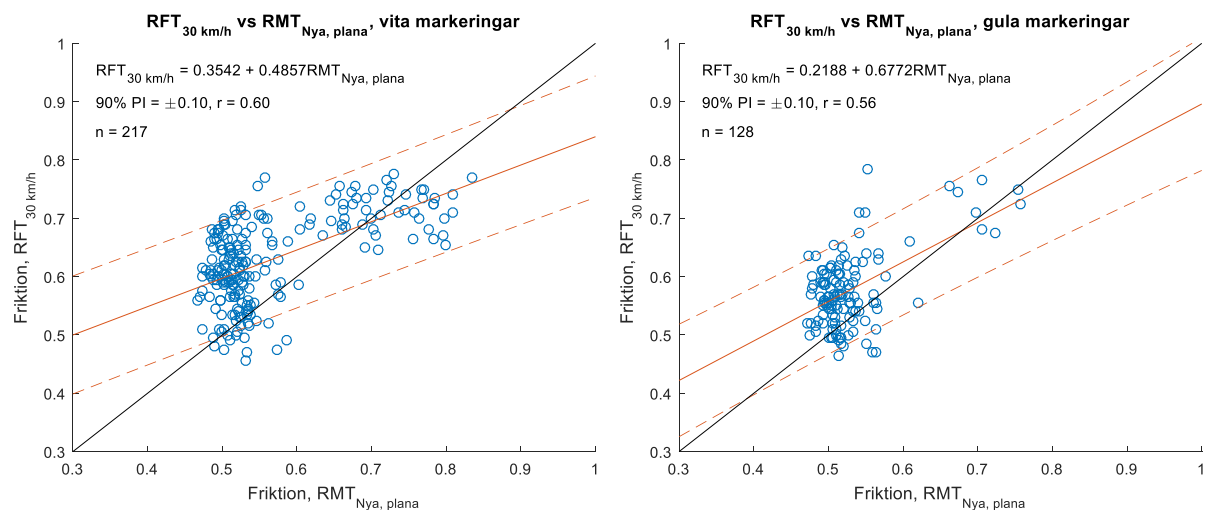
Bilaga 2. Ytterligare jämförelser mellan metoder, studie 1

Nedan presenteras följande jämförelser:

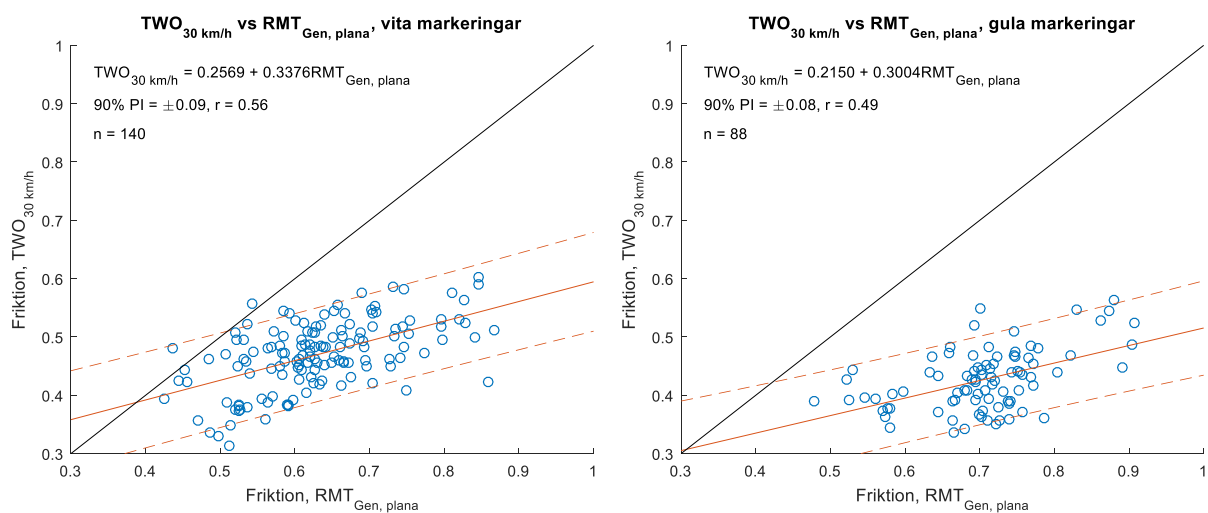
- $RFT_{30\text{km/h}}$ och $RMT_{\text{Gen, plana}}$
- $RFT_{30\text{km/h}}$ och $RMT_{\text{Nya, plana}}$
- $TWO_{30\text{km/h}}$ och $RMT_{\text{Gen, plana}}$
- $TWO_{30\text{km/h}}$ och $RMT_{\text{Nya, plana}}$



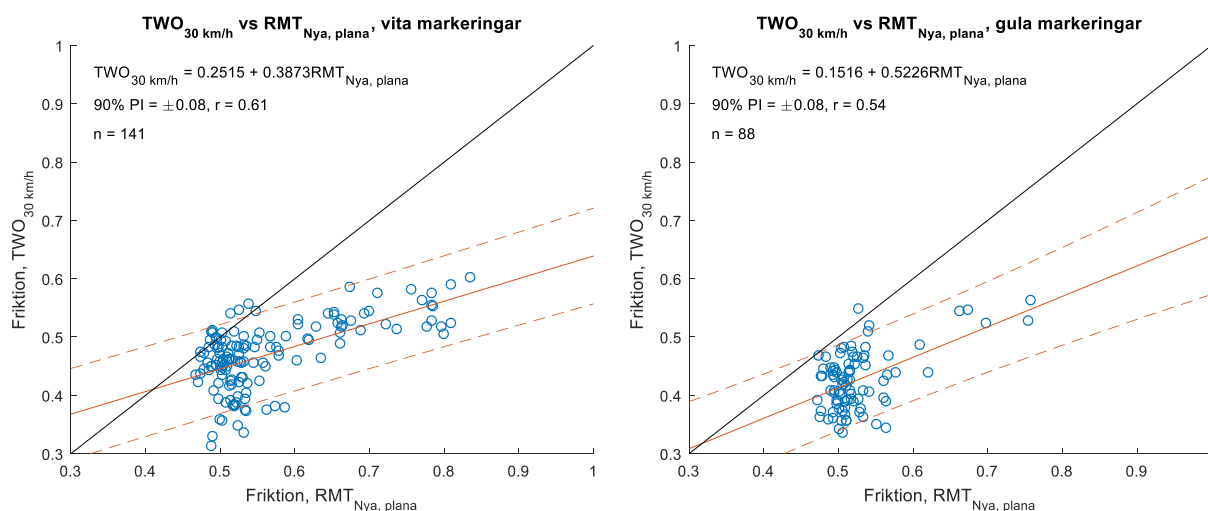
Figur 45. Jämförelse mellan $RFT_{30\text{ km/h}}$ och $RMT_{\text{Gen, plana}}$, för vita (vänster) respektive gula (höger) markeringar. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.



Figur 46. Jämförelse mellan $RFT_{30\text{ km/h}}$ och $RMT_{\text{Nya, plana}}$, för vita (vänster) respektive gula (höger) markeringar. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.



Figur 47. Jämförelse mellan $TWO_{30 \text{ km/h}}$ och $RMT_{Gen, plana}$, för vita (vänster) respektive gula (höger) markeringar. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.



Figur 48. Jämförelse mellan $TWO_{30 \text{ km/h}}$ och $RMT_{Nya, plana}$, för vita (vänster) respektive gula (höger) markeringar. Blå markeringar: observationer. Röd heldragen kurva: regressionslinje. Röd streckad kurva: prediktionsintervall. Svart kurva: $y=x$.

Bilaga 3. Mätobjekt, studie 2

Tabell 7 visar en förteckning över de mätobjekt som ingick i studien. Objekt 1–9 ligger i Jönköpings län, objekt 21–33 samt 35–40 ligger i Södermanlands län och objekt 41–53 samt 57–59 ligger i Östergötlands län. Samtliga objekt utgörs av kantlinjer.

Det saknas i vissa fall information om typ av profilering. Detta beror i några fall på att markeringen var så pass sliten att det inte gick att avgöra vilken typ av profilering det var och i andra fall på att det var en blandning av två typer. Det saknas även notering om typ av profilering för några av de nylagda markeringarna, vilket beror på att sträckorna valdes ut innan markeringen var lagd.

Markeringar utförda med färg med stora glaspärlor låg i de flesta fall ovanpå en gammal profilerad markering.

Tabell 7. Förteckning över mätobjekten.

Objekt	Väg	Plats	Material	Ålder	Utförning	Typ	Bredd	Kommentar
1	580	S Boxholm	Termoplast	Ny	Intermittent	Plan	10	
2	32	Ö Aneby	Termoplast	Ny	Intermittent	Profilerad, rutrillad	10	
3	40	Ö Eksjö	Termoplast	Gammal	Intermittent	Profilerad, trappflex	15	
4	32	S Eksjö	Termoplast	Gammal	Intermittent	Profilerad, trappflex ovanpå rillad	15	
5	30	S Lammhult	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, rutrillad	20	
6	27	S Rydaholm	Termoplast	Ny	Intermittent	Profilerad	15	
7	27	S Värnamo	Termoplast	Gammal	Intermittent	Profilerad, -	15	
8	127	NÖ Värnamo	Termoplast	Gammal	Intermittent	Profilerad, rutrillad	10	
9	834	S Nässjö	Termoplast	Ny	Intermittent	Plan	10	
21	1179	NV Norrköping	Termoplast	Gammal	Heldragen	Plan	30	
22	1179	NV Norrköping	Termoplast	Gammal	Intermittent	Plan	15	
23	51	NV Norrköping	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, droppflex	20	Sliten markering.
24	55	N Norrköping	Termoplast	Gammal	Heldragen	Plan	20	
25	55	N Norrköping	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, droppflex	20	
26	55	Ö Katrineholm	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, trappflex	20	
27	55	N Flen	Termoplast	Gammal	Intermittent	Plan	15	Sliten markering.
28	55	N Malmköping	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, droppflex	20	

Objekt	Väg	Plats	Material	Ålder	Utförning	Typ	Bredd	Kommentar
29	55	N Malmköping	Termoplast	Gammal	Intermittent	Plan	15	
30	55	N Malmköping	Termoplast	Gammal	Heldragen	Plan	15	
31	E20	V Strängnäs	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, trappflex	30	
32	E20	Ö Eskilstuna	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, -	30	Betongväg. Sliten markering.
33	E20	Ö Eskilstuna	Färg med stora glaspärlor	Gammal	Heldragen	Plan	30	Betongväg
35	53	S Eskilstuna	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, trappflex	10	
36	53	V Malmköping	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, longflex	15	
37	221	N Bettna	Färg med stora glaspärlor	Ny	Intermittent	Plan	10	
38	E4	V Nyköping	Färg med stora glaspärlor	Gammal	Heldragen	Plan	30	
39	E4	Ö Nyköping	Termoplast	Ny	Heldragen	Profilerad, -	30	
40	E4	N Norrköping	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, -	30	Sliten markering
41	636	Ö Mjölby	Termoplast	Ny	Intermittent	Profilerad, fylld trappflex	15	
42	206	Ö Skänninge	Termoplast	Gammal	Heldragen	Plan	10	
43	1028	N Vikingstad	Termoplast	Gammal	Intermittent	Plan	10	
44	636	Ö Vikingstad	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, trappflex	20	
45	34	S Skeda udde	Termoplast	Gammal	Intermittent	Profilerad, -	15	Sliten markering
46	709	Linköping	Termoplast	Ny	Intermittent	Plan	10	
47	709	Linköping	Termoplast	Gammal	Intermittent	Plan	10	

Objekt	Väg	Plats	Material	Ålder	Utförning	Typ	Bredd	Kommentar
48	E4.04	V Linköping	Termoplast	Gammal	Intermittent	Plan	30	
49	34	NV Linköping	Termoplast	Gammal	Heldragen	Profilerad, droppflex	20	
50	1050	Ö Fornåsa	Termoplast	Gammal	Intermittent	Plan	10	
51	34	V Ljungsbro	Termoplast	Gammal	Intermittent	Plan	30	
52	1116	NV Ljungsbro	Termoplast	Ny	Intermittent	Plan	10	
53	1136	S Vreta Kloster	Termoplast	Gammal	Heldragen	Plan	10	Sliten markering
57	796	Ö Linghem	Termoplast	Gammal	Heldragen	Plan	30	
58	E4	Ö Linköping	Färg med stora glaspärlor	Gammal	Heldragen	Plan	30	
59	E4	Ö Linköping	Färg med stora glaspärlor	Gammal	Heldragen	Plan (gammal trappflex under)	30	

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
Medicon Village AB
SE-223 81 LUND
PHONE +46 (0)46-540 75 00

