



Krav på belagda väg-, cykel- och gångbanors friktionsegenskaper vid barmarksförhållanden

Underlag och rekommendationer

Leif Sjögren
Anna Niska
Mattias Hjort
Peter Andrén
Thomas Lundberg

Krav på belagda väg-, cykel- och gångbanors friktionsegenskaper vid barmarksförhållanden

Underlag och rekommendationer

Leif Sjögren

Anna Niska

Mattias Hjort

Peter Andrén

Thomas Lundberg

Författare: Leif Sjögren (VTI), Anna Niska (VTI), Mattias Hjort (VTI), Peter Andrén (VTI), Thomas Lundberg (VTI)
Diarienummer: 2015/0280-9.1
Publikation: VTI rapport 980
Omslagsbilder: [Mostphotos.com](https://mostphotos.com); Mickes fotosida och Magnus Binnerstam;
Utgiven av VTI, 2020

Referat

Syftet med denna rapport är att ge Transportstyrelsen underlag och rekommendationer för beslut på krav av tillräckligt väggrepp och friktion. I och med Transportstyrelsens utökade bemyndigande att föreskriva om tekniska egenskapskrav för vägar och gator behövs ett uppdaterat underlag om läget. Kravet ska gälla för nya vägar, det vill säga vid trafikpåsläpp. I vägar inbegrips alla belagda vägar inklusive gång- och cykelvägar. Även vägar som inte är statligt kontrollerade ingår, till exempel kommunala vägar.

I rapporten redovisas en sammanfattning av befintliga underlag för gällande krav och gränsvärden, historisk tillbakablick, omvärldsbevakning och faktorer att ta hänsyn till samt rekommendationer för mätmetod, mått och gränsvärden med hänsyn till konsekvenser och genomförbarhet. Man kan konstatera att det ofta saknas evidensbaserat underlag för gällande regler och gränsvärden. Däckvägfriktion är en komplicerad egenskap som är svår att mäta då den beror på så många faktorer. Rekommendationerna blir därför ofta att använda gällande metoder och gränsvärden. För bilvägar föreslås att fortsatt använda skidometerprincipen och SFT (Surface Friction Tester) med specifikationer enligt tidigare standard. För vägmarkeringar föreslås att använda SFT där det går, annars PFT (Portabel Friction Tester) och för gång- och cykelvägar föreslås att använda PFT. Som gränsvärden rekommenderas att använda 0,50 vid 70 km/h (som tidigare). Från jämförande mätningarna kan man konstatera att 0,55 vid måthastigheten 40 km/h motsvaras av 0,50 vid 70 km/h. Vidare pekar mätningar på att PFT och SFT mätdata direkt kan ersätta varandra med vissa förbehåll. För att kontrollera väggreppet ännu bättre är det rimligt att ställa krav på makrotexturen, som ett komplement till friktionsmätningen vid högre tillåtna farter, till exempel över 70 km/h.

Titel: Krav på belagda väg-, cykel- och gångbanors friktionsegenskaper vid barmarksförhållanden. Underlag och rekommendationer.

Författare: Leif Sjögren (VTI, <http://orcid.org/0000-0002-2397-0769>)
Anna Niska (VTI, <http://orcid.org/0000-0003-1162-2633>)
Mattias Hjort (VTI, <http://orcid.org/0000-0002-8242-3407>)
Peter Andrén (VTI, <http://orcid.org/0000-0002-4317-6351>)
Thomas Lundberg (VTI, <http://orcid.org/0000-0002-9893-0067>)

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

Serie och nr: VTI rapport 980

Utgivningsår: 2020

VTI:s diarienumr: 2015/0280–9.1

ISSN: 0347-6030

Projektnamn: Förstudie, krav på nya vägytors friktion

Uppdragsgivare: Transportstyrelsen

Nyckelord: Friktion, väggrepp, halka, vägyta, cykel-och gångbana, säkerhet, mätning

Språk: Svenska

Antal sidor: 95 inkl. bilagor

Abstract

The report presents a summary of existing data for current requirements and limit values, historical feedback, external monitoring and background facts, as well as recommendations for measurement method, measures and limit values with regard to consequences and feasibility. It can be noted that evidence-based proof is often lacking for current rules and limit values. Tire road friction is a complicated property that is difficult to measure as it depends on so many factors. Therefore, the recommendations will often be to use current methods and limit values. For motorways it is proposed to continue to use the skiddometer principle and SFT (Surface Friction Tester) with specifications according to the previous standard. For road markings it is proposed to use SFT where possible, otherwise PFT (Portable Friction Tester) and for pedestrian and cycle paths it is proposed to use PFT. As a limit value it is recommended to use 0.50 at 70 km / h (as before). From comparative measurements it can be stated that 0.55 at the measuring speed 40 km / h corresponds to 0.50 at 70 km / h. Furthermore, measurements indicate that PFT and SFT measurement data can directly replace each other with certain reservations. In order to control the grip even better, it is reasonable to place demands on the macro texture, as a complement to the friction measurement at higher permissible speeds, for example above 70 km / h.

Title:	Requirements for the frictional properties of paved road, bicycle and pedestrian paths in bare ground conditions; facts and recommendations
Author:	Leif Sjögren (VTI, http://orcid.org/0000-0002-2397-0769) Anna Niska (VTI, http://orcid.org/0000-0003-1162-2633) Mattias Hjort (VTI, http://orcid.org/0000-0002-8242-3407) Peter Andrén (VTI, http://orcid.org/0000-0002-4317-6351) Thomas Lundberg (VTI, http://orcid.org/0000-0002-9893-0067)
Publisher:	Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) www.vti.se
Publication No.:	VTI rapport 980
Published:	2020
Reg. No., VTI:	2015/0280–9.1
ISSN:	0347-6030
Project:	Pilot study regarding demands on friction of new paved road surfaces
Commissioned by:	Swedish Transport Agency
Keywords:	Friction, road grip, skidding, road surface, cycle paths, safety, measuring
Language:	Swedish
No. of pages:	95 incl. Appendices.

Förord

I och med Transportstyrelsens utökade bemyndigande att föreskriva om tekniska egenskapskrav för vägar och gator behövs ett uppdaterat underlag om läget för att kunna formulera krav och mätmetoder vid kontroll av funktionen. VTI har fått uppdraget att utreda och ge underlag och förslag till nya krav. En projektgrupp bestående av experter från VTI, forskningsledare Leif Sjögren (specialist vägyte-tillstånd), forskningsledare Mattias Hjort (specialist friktionsfrågor och fordon), forskningsledare Anna Niska (specialist gång- och cykeltrafik), senior forskare Anna Arvidsson (specialist vintervägs-förhållanden samt hantering av rutiner vid friktionsmätning), senior forskare Olle Ericsson (statistiker), forskningsingenjör Thomas Lundberg (specialist vägytemätning, sammanställning och analys av friktionsdata), forskare Peter Andrén, (ansvarig för sammanställning av historiska rapporter och Trafikverkets regler och krav) och laboratoriechef Håkan Carlsson (generellt om rutinmätning) har granskat sitt specifika område och gett underlag till denna rapport. Ett stort tack till friktionsexperten Olle Nordström (pensionerad VTI-medarbetare) för värdefulla bidrag vid intervju. Vidare ett tack till Sven-Åke Lindén, Roadfriction AB för support med friktionsdata. Forskningsingenjör Harry Sörensen, VTI har ansvarat för teknik och funktion hos friktionsmätutrustningen och viss analys av mätdata. Forskningsingenjör Carl Södergren, VTI har utfört många av VTI:s friktionsmätningar och levererat dataunderlag. Vidare har Fredrik Lindström, Nationell Samordnare för vägytemätning hos Trafikverket bidragit med synpunkter och friktionsdata. Karin Edvardsson och Per Andersson har via remissrundor granskat rapporten och gett förslag på förtydliganden. Leif Sjögren, VTI har varit redaktör och projektledare. Ett stort tack till alla som bidragit med underlag och hjälpt till att få rapporten klar.

Linköping, juni 2020

Leif Sjögren
Projektledare

Kvalitetsgranskning

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

Quality review

An internal peer review was conducted on 3 June 2019 by Anna Arvidsson. Leif Sjögren has made adjustments to the final manuscript of the report. Research Director Anita Ihs has thereafter reviewed and approved the report for publication on 3 June 2019. The conclusions and recommendations expressed are the authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	9
Summary	13
1. Introduktion och syfte.....	15
1.1. Definition av några viktiga begrepp.....	15
2. Metod.....	17
3. Friktion och friktionsmätare.....	18
3.1. Reflexioner angående friktionsmätning	19
3.1.1. Gränsvärden och avrundning	20
3.2. Friktionsmätare i Sverige	21
3.2.1. Surface friction tester	21
3.2.2. Portabel friction tester och The British Pendulum	22
4. Friktionens betydelse för trafiksäkerheten på bilvägar.....	25
4.1. Split friction	25
4.2. Stoppsträcka	26
4.3. Kurvtagning	27
4.4. Samband mellan friktionsnivåer och olyckor.....	27
4.4.1. Storbritannien.....	28
4.4.2. Nederländerna	30
4.4.3. Tyskland.....	31
4.4.4. Frankrike	32
4.4.5. Danmark.....	33
5. Underlag och motiv för gällande mätmetoder och gränsvärden	34
5.1. Historik.....	34
5.2. Aktuella friktionskrav	34
5.3. Makrotextur och dess samband med friktion	35
5.4. Däckmönstrets betydelse för friktionen	36
5.5. Normalnivåer för friktion.....	38
5.5.1. Friktionsnivåer på nya beläggningar	38
5.5.2. Friktionsnivåer på vägar i bruk	40
5.5.3. Hastighetens betydelse för friktionstalet.....	41
6. Särskilda hänsynstagande till vissa fordon och ytor; gång och cykelvägar, motorcyklar och vägmarkeringar	43
6.1. Gång- och cykelvägar	43
6.1.1. Friktionskrav för fotgängares och cyklisters säkerhet	43
6.1.2. Vad är tillfredsställande friktion för en cyklist/fotgängare?	45
6.1.3. Friktionsmätning på gång- och cykelytor	46
6.1.4. Friktionssänkande faktorer på gång- och cykelytor	47
6.2. Motorcykel	48
6.3. Vägmarkeringar	49
6.4. Blödande beläggning.....	49
7. Omvärldsbevakning gällande friktionskrav och mätmetoder	51
7.1. Friktionsmätare i Europa.....	51
7.2. Europeiska standarder rörande friktion på väg	51

7.3. Tyrosafe, ett EU projekt.....	51
7.4. Storbritannien.....	51
7.5. Tyskland.....	53
7.6. Norden.....	53
7.6.1. Norge	53
7.6.2. Danmark.....	53
8. Diskussion	56
8.1.1. Hur ser det ut i den närmaste omvärlden, till exempel Norden?.....	56
8.1.2. Finns det tydliga underlag för nuvarande gränser? Finns det anledning att ändra?	56
8.1.3. Ska det vara krav på friktionens maximalt tillåtna variation tvärs vägen?	57
8.1.4. Mätmetoder och tillämpning på olika typer av vägar och ytor	57
8.1.5. Friktionsmätning vid nybyggnation	59
8.1.6. Friktionsmätning på vägavsnitt i bruk	59
8.1.7. Hastigheter vid mätning	60
8.1.8. Val av gränsvärden	60
8.1.9. Avrundningsregel för gränsvärden vid kravställning och mätning.....	61
8.1.10. Särskilda rekommendationer för att möta motorcykeltrafikens speciella krav.....	61
9. Rekommendationer avseende mätmetod, mått och gränsvärden	62
Referenser	63
Bilaga 1 Krav på friktion; historik	
Bilaga 2 Friktionsforskning på VTI	
Bilaga 3 Historiska jämförande friktionsmätningar	
Bilaga 4 Standarder i Europeiska länder	
Bilaga 5 Kompletterande friktionsmätningar med SFT och PFT	

Sammanfattning

Krav på belagda väg-, gång- och cykelbanors friktionsegenskaper vid barmarksförhållanden; underlag och rekommendationer

av Leif Sjögren (VTI), Anna Niska (VTI), Mattias Hjorth (VTI), Thomas Lundberg (VTI) och Peter Andrén (VTI)

I och med Transportstyrelsens utökade bemyndigande att föreskriva om tekniska egenskapskrav för vägar, gator och cykelvägar behövs ett uppdaterat underlag om läget för att kunna formulera krav och mätmetoder vid kontroll av funktionen. Idag gäller *Vägverkets föreskrifter om tekniska egenskapskrav vid byggande på vägar och gator (vägregler)* (VVFS 2003:140) som Transportstyrelsen fick ”överta” från före detta Vägverket. Här finns flera krav och definitioner som inte passar för dagens vägnät. Denna rapport sammanfattar läget rörande krav på tillräcklig friktion vid barmark på svenska belagda vägar, där ingår även kommunala gator, gång- och cykelbanor samt vägmarkeringar. För vinterväglag gäller andra krav. I rapporten rekommenderas mätmetoder och gränsvärden tillsammans med en diskussion om konsekvenser för olika ställningstaganden. En del av rekommendationerna i rapporten svarar på samhällsrelaterade krav som Transportstyrelsen ansvarar för, till exempel vilka lägsta gränsvärden man kan acceptera och om dessa kan kontrolleras, medan andra är följdkrav och rekommendationer riktade till förvaltare som Trafikverket och kommuner.

Som huvudregel föreslår vi att bibehålla gränsvärdet 0,50 presenterat per 20 meter väg (med tydliga avrundningsregler) vid mätning i 70 km/h. Så länge inget underlag eller motiv finns föreslår vi att detta värde gäller för alla ytor, vägar, gator samt vägmarkeringar och som ingår i Transportstyrelsens mandat. Det finns dock två undantag, det ena är vägar med lägre skyltad hastighet än 70 km/h där gränsvärdet 0,55 föreslås tillsammans med mätthastighet 40 km/h och det andra är gång- och cykelvägar som också föreslås ha 0,55 som gränsvärde. Vid mätning i 40 km/h har gränsvärdet 0,55 visats sig motsvara 0,50 vid 70 km/h tillräckligt väl. Därav bör också gränsvärdet 0,55 gälla för gång- och cykelvägar. Det är dock okänt vad ett sådant gränsvärde innebär för kommunala gator, gång- och cykelvägar. Detta är ett område där det behövs mer undersökningar.

En anledning till att behålla det nuvarande gränsvärdet 0,50 är att det inte finns tillräckliga underlag varför och till vilket värde detta ska ändras. Vi har inte funnit någon definitiv källa till varför 0,50 valts som gränsvärde, men troligen har det en koppling till relationen friktion och bromssträcka. I avsnitt 4.4 finns en genomgång av friktionsnivåer och olyckor. Vidare finns en omfattande litteraturgenomgång av VTI:s tidigare historiska friktionsforskning med beröringspunkter till detta i Bilaga 1 och 2. Avrundningsregler och två värdesiffror föreslås för att undvika missförstånd vid redovisning och avstämning mot krav i till exempel entreprenader.

Tidpunkten när man ska utföra en kontrollmätning har visat sig vara betydande. I en nyligen genomförd undersökning av VTI (Arvidsson, 2019) rekommenderas att kontroll av friktion på en nylagd yta bör ske tidigast tre veckor efter trafikpåsläpp.

Föreslagna gränsvärden gäller förutsatt att nuvarande mätmetoder bibehålls, vilket för bilvägar innebär mätning med en Surface Friction Tester (SFT) eller motsvarande, utrustad med ett mönstrat däck. Ett underlag för hastighetskorrigering till 40 km/h presenteras i rapporten så att SFT kan användas på avsnitt där man inte kan hålla den standardiserade hastigheten 70 km/h. Vid en ändring av mätmetod, till exempel genom att byta till ett däck med slät yta, behövs nya underlag för att fastställa ett gränsvärde. Att använda ett däck utan mönster innebär att man får en mätning med en större osäkerhet där mängden vatten man begjuter med och vägytans makrotextur får en större inverkan.

För gång- och cykelvägar och vissa vägavsnitt där man inte kan använda SFT föreslår vi att man tillsvidare använder en PFT (Portable Friction Tester). En jämförelse mellan PFT och SFT presenteras

i rapporten. Överensstämmelsen mellan utrustningarna är god. En mobil metod för mätning av cykel- och gångbanors friktion bör utvecklas.

För att hantera vägavsnitt där bra väggrepp är särskilt viktigt, till exempel ramper, på- och avfarter, cirkulationsplatser och andra avsnitt med snäva kurvradier, så utgör den tillgängliga och totala teoretiska friktionen en viktig faktor vid designen. Detta hanteras av vägutformningsregler där man designar vägens lutning i förhållande till tillåten hastighet och aktuell kurvradie så att tillräcklig teoretisk friktion finns. Kontroll av aktuell friktion i dessa sektioner kan vara svår att mäta med SFT. En möjlighet är att mäta med PFT, men nackdelen är att man då måste stänga av vägavsnittet för annan trafik vid mätning.

Vi föreslår att en utredning görs för att avgöra om ett minimikrav på makrotextur ska införas för att säkra väggreppet på högfartsvägar, till exempel vägar med högre tillåten hastighet än 70 km/h. Flera forskare har visat att makrotexturen har betydelse för tillgängligt väggrepp vid höga farter och mikrotexturen vid låga farter. Friktionens hastighetsberoende är mer markant på beläggningar med slät textur än på beläggningar med skrovlig textur (Lilja med flera, 1974). I den rapporten säger man också att öka beläggningens makrotextur har större effekt än åtgärder som rör däckmönstret.

För motorcykel och liknande fordon som använder två hjul och höga hastigheter behöver det utredas om kraven ska ändras så de gäller för en kortare längd än 20 meter och i så fall till vilken. Samma sak behöver utredas för gång- och cykelvägar. Redan nu föreslår vi att gränsvärdet ska gälla hela vägytan inklusive vägmarkeringen, bland annat för att möta kraven från motorcyklar och andra tvåhjuliga fordon.

Rekommendationerna sammanfattas nedan:

1. Mätmetoder för bilvägar och gator ska vara ett mätsystem med skiddometer-principen som motsvarar Surface Friction Tester (SFT) med nuvarande specifikationer.
2. Mätsystemen ska vara kvalitetssäkrade och godkända och därför bör en kontrollmetod införas. Alla mätmetoder som används, särskilt vid kontroll av beläggningsutförande ska vara godkända via ett certifieringsförfarande.
3. För en effektiv övervakning av gång- och cykelvägnät behövs en ny mätmetod. Tillsvidare föreslås PFT användas, tills en ny mer lämplig metod finns. En sådan metod bör även hantera riskerna med löst rullgrus.
4. För vägmarkeringar föreslås PFT som mätmetod eller SFT där det är möjligt.
5. Avsnitt som inte kan mätas med SFT kan mätas med PFT till exempel på ramper och cirkulationsplatser.
6. Obligatorisk mätning på bilvägar ska ske minst i höger hjulspår. En undersökning behövs för att bestämma utformning och behov av friktionskrav tvärs vägen.
7. Tillsvidare föreslås att behålla 20 meter som presentation- eller redovisningsavstånd. Det är rimligt att detta avstånd ska vara olika beroende på tillåten hastighet och använda fordonstyper. En undersökning behövs för att visa vilken längd som är lämpligast och vad konsekvenserna i så fall blir.
8. Måthastighet vid mätning av bilvägar ska ske vid 70 km/h. För avsnitt som endast kan mätas i lägre fart till exempel i kommuner ska mätning ske i 40 km/h. Vid trafikplatser och liknande samt i städer och platser med skyltad hastighet under 70 km/h ska man mäta med hastigheten 40 km/h och då tillämpa ett gränsvärde på 0,55 (0,55 vid 40 km/h motsvarar 0,50 vid 70 km/h), se 8.1.7 och 5.5.3. Tillsvidare föreslås gränsvärdet 0,55 mätt med PFT på gång- och cykelvägar.

9. För bilvägar med en skyltad hastighet på 70 km/h eller mer bör krav på makrotexturen införas efter att man utrett konsekvenser och lämpliga krav.
10. Gränsvärde för godkänt avsnitt ska vara 0,50 eller högre, vid mätning i 70 km/h.
11. Gränsvärde för godkänt avsnitt ska vara 0,55 eller högre, vid mätning i 40 km/h.
12. Gränsvärde för vägmarkering bör vara 0,50 eller högre.
13. Gränsvärde för gång- och cykelvägar ska vara 0,55.
14. Avrundning sker alltid uppåt då värdesiffran efter de antal decimaler som avrundningen sker till är 5, 6, 7, 8 eller 9 och nedåt för 0, 1, 2, 3 eller 4.

Summary

Requirements for the frictional properties of paved road, bicycle and pedestrian paths in bare ground conditions; facts and recommendations

by Leif Sjögren (VTI), Mattias Hjorth (VTI), Anna Niska (VTI), Thomas Lundberg (VTI) and Peter Andrén (VTI)

With the Swedish Transport Agency's expanded authorization to prescribe requirements for technical properties of roads, streets and cycle paths an updated basis on the situation is needed to be able to formulate functional requirements and measurement methods. This report summarizes the situation regarding requirements and standards for enough friction on Swedish paved roads during summer road condition. Other requirements and standards apply when it is a winter road. The requirements cover state as well as municipal-paved roads but also paved walking and cycling paths. In the report, measurement methods and threshold values are recommended together with a discussion on the consequences for different approaches. Some of the recommendations respond to the Swedish Transport Agency's responsibility concerning limit values and measurement methods, while others are follow-up requirements that are more directed to service providers and the road managers, e.g. the Swedish Transport Administration.

We suggest that the friction limit value 0.50 (with clear rounding rules) is still used and applies to the entire surface. One reason to keep the limit value is that there is insufficient evidence if and why and to what value this should be changed. In appendix 1 and 2 a comprehensive historical investigation is done regarding this. Considering there is no other knowledge or motivation available, we propose that this value applies to all surfaces, roads, streets, walkways and cycle paths and road markings and which are included in the Transport Agency's mandate.

A prerequisite for using this limit value is also to continue to use previous measurement methods.

For roads, Surface Friction Tester (SFT), or equivalent, apply with a patterned tire. In case of a change of measurement method e.g. switching to a smooth tire requires new tests to determine a new limit value. Using a smooth tire means that you get a more uncertain measurement as it is strongly influenced by the amount of water you are using while measuring. For walking and cycling routes and some road sections where you cannot use Surface friction tester, we suggest that PFT, (Portable Friction Tester) can be alternatively used. A comparison between PFT and SFT is therefore made. Furthermore, there is a correction so that SFT can be used on sections where you cannot keep the standardized speed 70 km / h but can instead use 40 km /h.

Proposed limit values apply provided that previous measurement methods are used, which for car roads means measuring with SFT (or equivalent) equipped with a patterned tire. A comparison for speed correction is made so that SFT can be used on sections where you cannot keep the standardized speed 70 km / h but instead 40 km / h. In case of a change of measurement method e.g. switching to a smooth tire with no pattern requires that new tests are done to determine a new limit value. Using a smooth tire means that you get a more uncertain measurement than with a pattern, since it is strongly influenced by the amount of water you are using and which macrotexture the road surface has. For walking and cycling routes and some road sections where you cannot use SFT, we suggest using the PFT. A comparison between PFT and SFT is therefore made. In order to handle road sections where the grip may be of especially great importance, for example ramps and sections with small curvature radius, we rely on that this is taken care of by the road design rules in which the road slope in relation to the permitted speed and the current radius of curvature is designed so that enough theoretical friction exists. We propose that an investigation should be made to determine whether a mini-requirement on macrotexture should be introduced to secure the grip on high-speed roads, for example roads with a higher permitted speed than 70 km / h. Research have shown that the macrotexture is

important at high speeds and the microtexture at low speeds considering the available grip. For motorcycles and similar traffic that uses two wheels and high speeds, it is necessary to investigate whether to shorten the friction data reporting length and in such case to what length. Perhaps shorter sections than 20 meters are important to detect for two wheelers? The same needs to be investigated for walking and cycle paths. Currently we propose that the limit value should apply to the entire road surface including the road markings to meet requirements from MC. The recommendations are summarized below:

1. Measurement methods for motorways and streets shall be a measurement system with the skiddometer principle corresponding to the Surface Friction Tester (SFT) with current specifications.
2. Measurement systems must be quality assured and approved and a control method should therefore be introduced. All measurement methods used, especially when doing performance testing, must be approved through a certification procedure.
3. For efficient monitoring of pedestrian and bicycle road networks a new measurement method is needed. For the time being, it is proposed that PFT be used until a new more suitable method is available. Such a method should also deal with the risks of loose rolling gravel.
4. For road markings, PFT is proposed as a measurement method or SFT where possible.
5. Sections that cannot be measured with SFT can be measured with PFT for example on ramps and circulation sites.
6. Compulsory measurement on motorways must be done at least in the right-hand lane. An examination is needed to determine the design and need for friction requirements across the road.
7. For the time being, it is proposed to keep 20 meters as a presentation or accounting distance. It is reasonable that this distance should be different depending on the speed allowed and vehicle types used. A study is needed to show which length is most suitable and what the consequences will be.
8. Measuring speed when measuring motorways shall be at 70 km / h. For sections that can only be measured at lower speeds, for example in municipalities, measurement should be done at 40 km / h. In traffic areas and the like, and in cities and places with signage speeds below 70 km / h, the speed should be measured at 40 km / h and then apply a limit value of 0.55 (0.55 at 40 km / h corresponds to 0.50 at 70 km / h), see 8.1.7 and 5.5.3. For the time being, it is proposed that the limit value 0.55 measured with PFT is used on walking areas and bicycle paths.
9. For motorways with a sign posted speed of 70 km / h or more, macro texture requirements should be introduced after assessing consequences and appropriate requirements.
10. The limit value for the approved section shall be 0.50 or higher, when measuring at 70 km / h.
11. The limit value for the approved section shall be 0.55 or higher, when measuring at 40 km / h.
12. The road marking limit value should be 0.50 or higher.
13. Limit value for pedestrian and cycle paths shall be 0.55.
14. Rounding always occurs upwards when the value figure after the number of decimals to which the rounding occurs is 5, 6, 7, 8 or 9 and downwards for 0, 1, 2, 3 or 4.

1. Introduktion och syfte

I och med Transportstyrelsens utökade bemyndigande att föreskriva om tekniska egenskapskrav för vägar och gator behövs ett uppdaterat underlag om läget för att kunna formulera krav och mätmetoder vid kontroll av funktionen. Denna rapport sammanfattar läget rörande krav på tillräcklig friktion på svenska vägar med barmark. Med barmark menas väglaget då det inte är belagt med snö och is dvs. tillståndet hos vägytan under sommaren. De nya kraven ska täcka statliga och kommunala vägar, men även gång- och cykelvägar. Transportstyrelsen vill därför ha svar på vilket gränsvärde som ska gälla för friktion på svenska statliga och kommunala belagda vägar vid barmark. Finns det en mätmetod som kan kontrollera de nya kraven? Sedan tidigare har Trafikverket gränsvärde för statliga belagda vägar.

I följande rapport rekommenderas mätmetoder och gränsvärden tillsammans med en diskussion om konsekvenser för olika ställningstaganden. Ännu så länge gäller före detta Vägverkets föreskrifter och numera Trafikverkets, (Trafikverket, 2003 och 2010) som säger att: ”Vägar skall vara så utformade och utförda att sannolikheten för att olyckor inträffar blir låg, att inträffade olyckor får begränsade konsekvenser samt att, i de fall människor skadas, olyckornas följder kan minskas genom att skadade kan tas om hand på ett säkert sätt”.

En av de viktigaste egenskaperna för att avgöra hur trafiksäker en vägyta är kan benämnas väggrepp, vilket är en övergripande definition där friktion är en del. I väggrepp ingår även vägytans geometri som lutningar och kurvor men också däck- och fordonsegenskaper (Trafikverket, 2015 a-e)). Kraven som är aktuella i föreliggande rapport gäller endast för friktionsegenskaper vid nybyggnation eller ombyggnation av vägar vid barmark. Kraven ska gälla för både statligt, enskilda och kommunalt förvaldade vägar och gång- och cykelvägar.

För att komma fram till rekommendationer för kravställande på friktion har vi fokuserat på och studerat följande frågeställningar:

- Finns det dokumenterade underlag (bevis eller evidens) för nuvarande gräns, som är 0,5(0). Finns det anledning att ändra gränsen?
- Ska det vara krav på friktionens maximalt tillåtna variation tvärs vägen?
- Friktionens betydelse för trafiksäkerheten bland annat med hänsyn till olika fordon och moderna säkerhetssystem.
- Vad gäller för friktion och halkrisk på gång- och cykelvägar? Vad kan rekommenderas?
- Vilka krav finns i den närmaste omvärlden, t.ex. Norden?
- Vilka konsekvenser kan krav få då de också ska gälla kommunala gator och enskilda vägar?

1.1. Definition av några viktiga begrepp

- *Friktion* är den kraft som strävar att motverka den relativa rörelsen mellan två ytor som är i kontakt med varandra.
- *Friktionstalet (friktionsvärdet)* är kvoten av den horisontella bromskraften och den uppmätta vertikala normalkraften hos mät hjulet (hjulbelastningen) rapporterat enligt en specifik mätmetod.
- *Vägfriktionen eller halkrisk (skid resistance)* är kvantifiering av friktionen mellan däck och vägyta då den mäts med en standardiserad mätmetod.
- *Väggrepp*, i detta begrepp ingår även vägytans geometri som lutningar och kurvor men också däck- och fordonsegenskaper.

- Den *totala friktionen* är summan av friktionen tvärs och längs vägen. En väg och dess olika sektioner, ramper och trafikplatser designas och utformas med tvärlutning och kurvradier specificerade med hänsyn till att det finns en tillräcklig friktion tvärs färdriktningen. Denna tillsammans med den längsgående friktionen utgör den totala friktionen.
- *Skidometerprincipen* innebär att mät hjulet bromsas så att det roterar långsammare än ett frirullande hjul med en storlek av 15 ± 2 % slip. Detta slip anses vid normala hastigheter utnyttja den maximalt möjliga friktionen.
- *Slipet* är den relativa hastigheten mellan mät hjulet och beläggningen, dvs. mät hjulets glidhastighet mot underlaget i förhållande till framdrivningshastigheten. Om mät hjulet frirullar är slipet 0 % och om mät hjulet är låst är slipet 100 %. Undersökningar har visat att man erhåller maximal bromskraft vid ett slip av ca 15 %.
- *Normalkraften* är den vertikala sammanlagda statiska och dynamiska kraften som mät hjulet belastar vägytan med under mätning.
- *Makrotextur* är skrovligheter i vägytan vilka kan beskrivas som våglängder med en utbredning mellan 0,5 och 50 mm.
- *Mikrotextur* är skrovligheter i vägytans aggregat t.ex. ojämnheter i ytan hos stenmaterialet och kan beskrivas som våglängder med en utbredning mindre än 0,5 mm.
- *MPD Mean Profile Depth* är ett standardiserat mått på makrotexturen på en beläggnings yta.
- *Split friction* är skillnaden mellan friktionen i de båda hjulspåren.

2. Metod

Flera olika informationskällor har använts i projektet. Projektgruppens experter har bidragit med sina erfarenheter och information från sina nätverk. Information har samlats in från tidigare utförda projekt, både nationella och internationella, framförallt där VTI deltagit. En omfattande litteratursökning har skett i VTI:s så gott som samtliga rapporter, vilket är mer än 4 000 genom åren. Tack vare tillgången till digitaliserade versioner av dessa rapporter har en fulltextsökning varit möjlig, se Bilaga 2. Vidare har en genomgång av ett urval externa vetenskapliga rapporter, artiklar och projektresultat gjorts. En genomgång av regelverkens utveckling genom tiderna har gjorts via studier av före detta Vägverket och Trafikverkets historiska regeldokument, se Bilaga 1.

En tilläggsbeställning har gjorts till det ursprungliga arbetet för att ta fram praktiska mätresultat som underlag för vissa rekommendationer till kravställningar. Dessa mätningar är gjorda i ett pågående projekt finansierat av BVFF¹ som innebär utveckling av en metod för kontroll av mätutrustning. Mätningarna är gjorda under kontrollerade förhållande på olika provytor vid en testanläggning i Nantes som sköts av IFSTTAR (The French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks).

¹ Branschprogrammet Bana Väg För Framtiden <http://www.bvff.se>

3. Friktion och friktionsmätare

Friktion är den kraft som strävar att motverka den relativa rörelsen mellan två ytor som är i kontakt med varandra. Den kan beskrivas som bestående av två huvudkomponenter, den motståndskraft som uppkommer genom ojämnheter som orsakar deformationer i däckets gummi (hysteres) och adhesionen mellan två material som är i kontakt med varandra. Ibland talar man också om ihakning som ytterligare en komponent. Ihakning handlar till exempel om nabbar på däckets och dess ihakning i vägytan. (Hjorth, 2014). Friktion är alltså inte en materialegenskap. Friktionen beror på vägen såväl som fordonet, och faktorer som inverkar är bland andra beläggningstyp, väglagsförhållanden, fordonshastighet, samt däckens egenskaper. För en viss beläggning är friktionen generellt lägre på våt än på torr vägbana, och minskar med ökande hastighet. Det är speciellt bromsning med låst hjul som visar på ett kraftigt hastighetsberoende. Bromsning med optimalt slip (maximala bromskraften), vilket är mer relevant för dagens fordon med ABS-bromsar, uppvisar normalt en mindre variation med hastigheten (Henry, 2000) och (Flintsch, 2012). Kommunala vägar och gång- och cykelvägar har i princip en vägyta som liknar statliga belagda vägar. Den stora skillnaden är att på kommunala bilvägar är den tillåtna hastigheten ofta lägre än 70 km/h. Hastigheten har en betydande roll i om olyckor sker och hur allvarliga de blir med avseende på personskador. I lägre farter fungerar bilars säkerhetssystem väl och ofta blir det ”bara” materiella skador vid en olycka. Färre i stadsmiljö är förstås risken med oskyddade trafikanter och avsnitt där de konfronteras med fordon, till exempel övergångsställen (Niska, 2013). Vidare avviker gång- och cykelvägar på så sätt att man ofta väljer en beläggning av plattor av sten eller cement som kan ha en låg friktion vid exempelvis vått väglag.

Att mäta vägbanors friktionsegenskaper är inte enkelt, då det beror på så många faktorer. Den friktion vi är intresserade av här uppstår endast vid kontakt och rörelse mellan däck och vägbana (dynamisk friktion). Denna friktion är bland annat beroende av faktorer enligt nedan:

- hastigheten
- vägytans beskaffenhet, geometri och kondition (mikro- och makrotextur)
- vägytans och däckets temperatur
- däckets/däckens utformning och kondition (tryck, gummikvalitet, mönster, dimension och uppbyggnad)
- om vägytan är våt eller torr, vattentjocklek och vilka partiklar som finns i vattnet
- däckets/däckens rullriktning (bromsning eller sladd)
- kontaktytan och grad av bromsning eller vinkel mot färdriktningen
- den dynamiska vertikala kraften.

Det finns ytterligare beroende faktorer som till exempel var på vägen man ska mäta? Är det tillräckligt att mäta i höger hjulspår eller måste man mäta i båda hjulspåren och ska man mäta mellan hjulspår också? Ännu finns ingen mätmetod som kan täcka hela körbanorna. Traditionell friktionsmätning och övervakning inklusive krav handlar om den dynamiska friktionen. På engelska uttrycks detta som skid resistance, vilket på svenska blir halk- eller sladdmotstånd. För att klara detta använder man mätsystem som är standardiserade dvs. de uppräknade faktorerna i punktsatserna ovan hålls så konstanta som möjligt så att man kan få ett repeterbart mätvärde som indikerar storleken på ”friktionen”.

För ett säkert framförande av fordon: bil, cykel, motorcykel och tunga fordonskombinationer, behövs ett tillräckligt väggrepp. Fordonstillverkare tänker förstås på detta och utvecklar sina fordon därefter. Friktion handlar om ett dynamiskt förlopp och samspelet mellan två ytor och är beror av många faktorer, bland annat vägytans tillstånd. Man kan konstatera att det råder ett komplicerat förhållande

mellan halkrisk, vägbanans friktion och olyckor, inte minst med hänsyn till säkerhetssystem i fordon och olika förarens skicklighet att hantera en situation.

Enskilda fordon kan känna av att det är halt på en plats vid ett särskilt tillfälle, vilket kan utnyttjas genom att sända informationen till övriga trafikanter, direkt mellan fordon och/eller via en central. Många projekt, till exempel INTRO (Schönberg, 2005) och RSI (Casselgren & Karim 2018, Casselgren, 2018), har genomförts för att demonstrera eller utnyttja dessa metoder. I många fall finns sensorer som standard i fordonen som kan nyttjas, i andra fall så handlar det om att lägga till en extern sensor. Dessa system är dock inte lämpliga för mätning vid godkännande av en vägyta vid nybyggnad. Generellt kan man säga att friktionen/halkrisken sett över hela vägnätet vid barmark inte är ett problem, speciellt inte vid nybyggnation. Problemet är att det under vissa förhållanden s

om vid varmt väder och på utsatta platser, kan uppstå fläckvis halka. Ibland kan denna uppkomma relativt snabbt under en kort tid av en dag. Detta verkar särskilt vara fallet för nya beläggningar där bituminet kan bli mjukt och tryckas upp till ytan så ett överskott uppkommer, så kallad "blödning". Detta överskott kan ibland ge effekten av ett smörjmedel, särskilt i kombination med vått väglag. För denna typ av problem behöver övervakningen ökas med daglig visuell bedömning, vars förträfflighet inte får underskattas, men också med alternativ såsom information från till exempel vardagstrafikanten eller direkt från fordonen som trafikerar vägen.

3.1. Reflexioner angående friktionsmätning

Som man inser av föregående avsnitt måste man specificera sin mätutrustning väldigt noga och förstå att det är ett friktionsvärde med just den aktuella utrustningen och valda förutsättningar som gäller.

Friktion mellan däck och vägbana är som sagt en förutsättning för att ett fordon ska kunna färdas på vägen, dvs. för att fordonet ska kunna ändra hastighet och färdriktning. Ur trafiksäkerhetssynpunkt är det främst friktionens inverkan på fordonets broms-, accelerations- och styregenskaper som anses viktiga. Vid barmarksförhållanden idag så anses friktionen inte vara en begränsande faktor vid acceleration för ett normalt fordon. Att rekommendera övervakningsmetoder och tillhörande gränsvärden för friktion är därför svårt. Det krävs att man tar hänsyn till olika möjligheter beroende på syftet och för vilken typ av väg en övervakning ska ske. Den här rapporten behandlar belagda bilvägar och gång- och cykelvägar vid barmark. En viktig förändring är att ett tillägg behövs så att man kan mäta i en lägre fart än 70 km/h, som är den hastighet standarden föreskriver idag, för att klara till exempel kommunala gator. Övervakning behövs för att varna för risker, för att finna avsnitt som måste åtgärdas, för att avgöra om utförande av ny beläggning är godkänd samt för fortsatt forskning om friktion. Dessa anledningar ställer olika krav på övervakningen.

Eftersom hala avsnitt på barmark oftast sker på grund av blödningsar vid varmt väder och detta kan uppstå på mycket kort tid, är det svårt att övervaka med traditionella mätmetoder. Detta betyder att mer frekventa dagliga inspektionsmetoder måste utvecklas som att till exempel börja använda delad information från trafiken och trafikanter (crowdsourcing). Vidare är det svårt att separera vattenplaningsrisker från friktion. Avsnitt med dåligt dränerade eller täta ytor har större risk för lågt väggrepp vid regn. Det betyder att avvattning, dränering och makrotextur får här en viktig roll. Bilvägar med höga hastigheter till exempel över 70 km/h bör därför ha krav på tillräcklig makrotextur.

En anledning att vi har krav på mönsterdjup hos däck är just möjligheten att kunna avleda vatten vid höga farter. Makrotexturen får en ökad betydelse för väggreppet vid högre hastigheter. På frekvent trafikerade avsnitt, framförallt i kommuner, finns problem med polering. Även om man använder en beläggning med hög makrotextur kan det användas stenmaterialet vara av en så hög kvalitet (till exempel porfyr) så att det poleras på topparna av den ständigt bromsande, accelererande och svängande trafiken. Detta har skett i Stockholm i Eugeniatunneln, trots uppmätt hög makrotextur har poleringen av stentopparna lett till en hal beläggning. Tribologiska fenomen och smörjande effekter på ytan bidrar säkert också en del till minskad friktion. I England har man valt att ha olika krav på

friktionen för särskilt utsatta sektioner, trafikplatser, cirkulationsplatser och ramper. Det är ett förhållningssätt som vi kanske också borde ha i Sverige. I vissa amerikanska stater prövar man att använda så kallade HFST (High Friction Surfaces Treatment) på dessa platser (Musey med flera, 2017)). HFST är relativt kostsamt och används dock sparsamt och passar ännu inte så bra för svenska förhållande.

Riktlinjer för vägutformningen som linjeföring och lutningar, är utformade med hänsyn till friktion och kurvradier. Det finns diskussioner om dessa regler är tillräckligt anpassade för vår nuvarande fordonsflotta med tyngre och längre fordon med nya axelkonfigurationer och singel- eller dubbelmontage av däck. Här handlar det om en kombination av hastighet, kurvradie, lutning och friktion.

En fullständig övervakning av friktion på alla ytor där fordon åker, är inte rimligt att utföra med mätfordon. En kompromiss måste göras. Traditionellt har man, till exempel vid vägytemätningar, begränsat sig till att mäta i höger hjulspår, vilket är det spår man ansåg som mest slitet av påverkan från trafiken. Vid nybyggnation förväntar man sig inte så stor friktionsvariation tvärs vägen att flera spår behöver mätas. Mer viktigt är att välja rätt tidpunkt att mäta, eftersom friktionen ändras relativt mycket den första tiden efter trafikpåsläpp. I ett nyligen avslutat projekt följdes nya beläggningars friktionsutveckling upp och noterbart var att friktionen förändras ganska mycket de första veckorna efter trafikpåsläpp. Detta påverkar förstås kraven vid utförandekontroll och när och hur dessa ska ske (Arvidsson med flera, 2019).

För en relativt oskyddad trafikant till exempel motorcyklar är risken för en allvarlig olycka och konsekvenserna större vid höga farter. Motorcyklar har endast två hjulkontakter med vägbanan och är därmed känsligare för olika spårs friktion längs vägen.

Utöver slitna polerade spår finns vägmarkeringar som kan ha avvikande friktion mot vägbanan. Idag finns en nordisk utarbetad metod att mäta och godkänna nyproducerade vägmarkeringar. Friktionen kan då mätas med en portabel friktionsmätare (PFT). Denna är handdragen och inte lämplig för längre sträckor. PFT:n kan också vara lämplig att använda i cirkulationsplatser och avsnitt där den vanliga mätbilen inte kan mäta. Angående krav på friktion och hänsyn till motorcykeltrafikens säkerhet kan man överväga att mätdata längs vägen ska levereras tätare än 20 meter till exempel varje meter eller med 5 meters intervaller. Detsamma gäller för gång- och cykelvägar. Detta kan ge en möjlighet att upptäcka kortare sträckor eller fläckar med låg friktion. Om man för ett tekniskt resonemang så motsvarar en 20 meters sträcka vid 70 km/h ungefär en sekunds åktid. Frågan är om det är tillräckligt lång tid för att hinna orsaka instabilitet vid exempelvis inbromsning eller acceleration för en tvåhjuling? En utredning behövs som också studerar hur gränsvärdet påverkas av en kortare presentationslängd. Den ökade datamängden är inget problem, men precisionen i mätsystemen kan påverkas och måste också utredas.

För gång och cykelvägar används idag samma krav som för bilvägar. Problemet är att det är inte praktiskt möjligt att mäta med en mätbil på cykelvägar. Därför används PFT:n även här. Tyvärr kan inte PFT:n effektivt mäta längre sträckor än ca 100 meter i taget. För att öka kunskapen om verklig friktion på cykelbanor behövs en mera övergripande mätning. Med den ökande andelen av el-cyklar så innebär det att de faktiska toppfarterna är kring 25 km/h vilket troligen är högre än tidigare. I samband med detta är det önskvärt att få ett underlag om faktisk friktion på cykelvägnätet. Vid en förfrågan hos aktörer i Europa framkom att ingen hade kännedom om existensen av en lämplig specifik friktionsmätare för cykelbanor.

3.1.1. Gränsvärden och avrundning

Då friktionsmätning används för utförandekontroll och i sammanhang där betydande ekonomiska risker finns inblandade kommer alltid själva mätförfarandet att ifrågasättas (beroende på mätresultat). En del i detta har i praktiken visat sig vara hur avrundning ska ske av mätresultat. I senare skrifter

använder Trafikverket 2 decimaler när man anger friktionskraven. Någon gång kring 2008 ändrade Trafikverket till två decimaler men specificerade tyvärr inte någon avrundningsregel. Till exempel så skriver Trafikverket i sin Tekniska Beskrivning (TB-mall) för totalentreprenader, som finns som rådgivande underlag, att vägar ska ha ett friktionstal för respektive 20 meters sträcka som är lika med eller större än 0,50. Vidare att friktionstalet inte får variera mer än 0,25 vid något tillfälle och att för områden med en yta mindre än 2,0 m² av vägbanan samt vägmarkering ska friktionstalets medelvärde över en 1,0 meters sträcka överstiga 0,45. 0,5 eller 0,50 är dock samma värde, en avrundningsregel krävs. Lämpligen används följande regel (motsvarar regler som används av Trafikverket vid upphandling av vägytemätningsjänst). Avrundning sker alltid uppåt då värdesiffran efter de antal decimaler som avrundningen sker till är 5, 6, 7, 8 eller 9 och nedåt för 0, 1, 2, 3 eller 4, se exempel:

Avrundning av 0,455 till två decimaler görs till 0,46.

Avrundning av 0,4549 till två decimaler görs till 0,45.

Avrundningen utförs till det antal decimaler som används i formuleringen av kravet, se exempel:

Om resultatet är 0,45 och kravet är $\geq 0,5$ så uppfylls kravet.

Om resultatet är 0,45 och kravet är $\geq 0,50$ så uppfylls inte kravet.

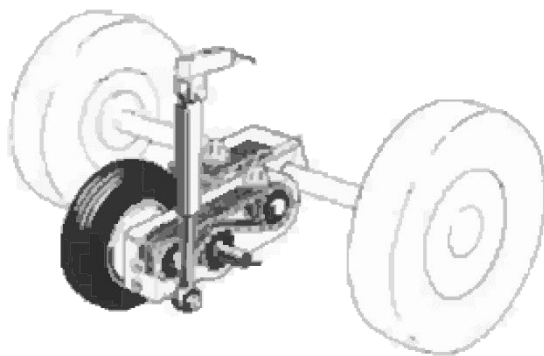
Vi rekommendera därför att kravet uttrycks som 0,50 och med ovanstående avrundningsregler.

3.2. Friktionsmätare i Sverige

I Sverige finns några typer av mätare ämnade för vägar och vägmaterialfriktion. Sedan länge finns Surface Friction Tester (SFT) som är en vidareutveckling av den på VTI utvecklade BV11 (Bromsmätvagn). BV11 bestod av en mätanordning monterad på en släpvagn. SFT är i princip denna anordning inbyggd i en bil. Ursprungligen byggdes den som ett samarbete mellan VTI och Saab i Linköping. De första mätarna byggdes på Saab-bilar och benämndes då Saab Friction Tester. Idag finns inga BV11 kvar för mätning av bilvägar däremot Surface Friction Tester. Idag kan vilket bilmärke som helst användas att bära systemet och görs så. De två företag som erbjöd SFT är numera (2018) i hopslagna till ett. SFT används utöver bilvägar också för flygfältsområden. Här är specifikationerna inte samma som för bilvägar. Vidare finns en statisk internationell mätare som ofta anses som en standardreferens, The British Pendulum Tester (Skid Resistance Tester). Ett mobilt alternativ är den av VTI utvecklade Portable Friction Tester (PFT), en handdragen mätare som bygger på skiddometerprincipen, se Figur 2.

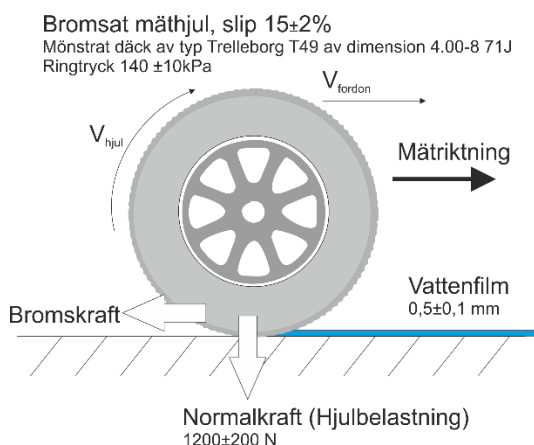
3.2.1. Surface friction tester

När man vill kvantifiera och beskriva en vägytas friktionsegenskaper måste man använda en standardiserad mätmetod. I Sverige används för bilvägar en så kallad "Surface Friction Tester", se Figur 1.



Figur 1 Den nuvarande svenska mätmetoden, Surface Friction Tester (SFT). Teckning från Saab Friction Tester manual, foto: Leif Sjögren.

SFT använder skiddometerprincipen, se Figur 2. SFT använder ett mönstrat däck och en vattenfilm, vid barmarksmätning och ett annat däck och utan vatten vid vinterväglag. Vanligtvis är hastigheten vid mätning 70 km/h. Detta finns beskrivet i Trafikverkets tekniska dokument, Trafikverket, 2014-a)



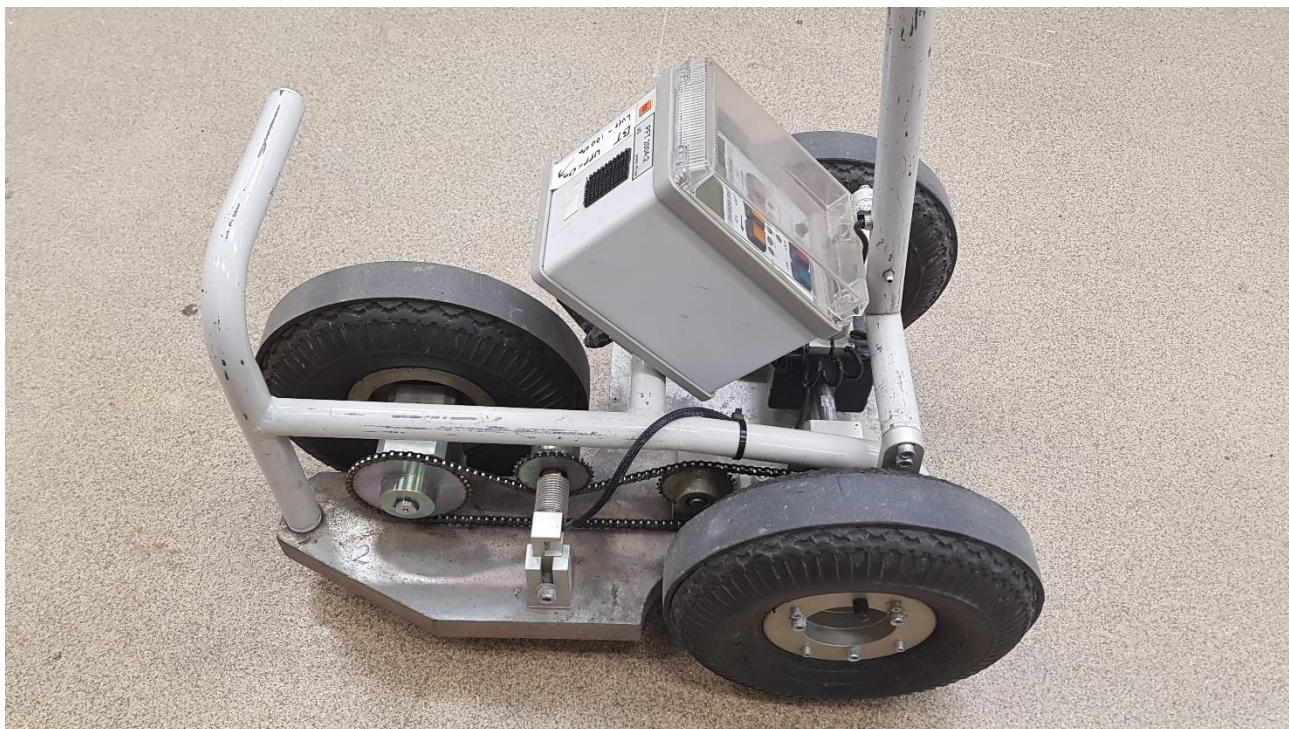
Figur 2 Skiddometerprincipen som används i Sverige vid friktionsmätning av vägar. Teckning: Leif Sjögren.

3.2.2. Portabel friction tester och The British Pendulum

För gång- och cykelvägar används oftast en PFT (Portable Friction Tester, se vidare avsnitt 6.1.3 samt (Sjögren, 2019)) eller friktionspendeln "The British Pendulum" – mer formellt kallad *Skid Resistance Tester*, SRT (SIS, 2011) vid friktionsmätning. Kravet på GC-vägars friktion ställs dock utifrån mätning med Surface friction tester. PFT² är en mer praktiskt lämpad metod. Denna motsvarar principen som används av SFT men är handdragen (skjuten) och med ett mindre, slätt däck. PFT:n är liten och smidig och enkel att använda för friktionsmätning i trånga utrymmen där ett större mätfordon inte lämpar sig. Med PFT:n gör man kontinuerlig mätning i gånghastighet genom att manuellt skjuta vagnen framför sig ungefär som en gräsklippare. Det främre av de tre hjulen har en annan utväxling, vilket innebär att det bromsas i förhållande till de två andra hjulen, referenshjulen. Friktionen mäts därför i termer av den kraft som är nödvändig för att upprätthålla referenshjulens rörelse. Den bromsande kraften beror av friktionen mellan mätdäcket och mätytan och kraften mäts med en

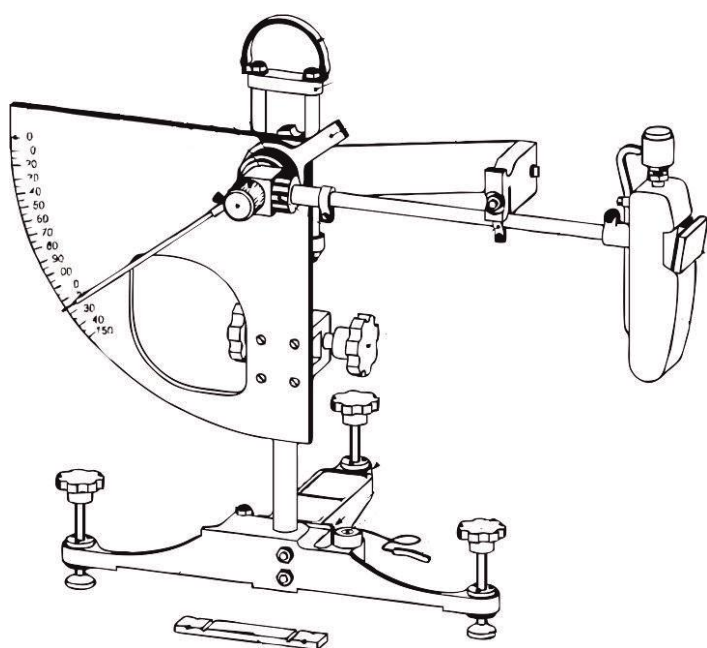
² PFT kan också betyda Pavement Friction Tester, en mätare, främst i USA som använder en annan princip byggd av Dynatest.

kraftgivare på kedjan mellan mät- och stödhjul. Den bromsande kraften, friktionskraften, divideras med lasten på mät hjulet (ca 13 kg) till en friktionskoefficient. Denna friktionskoefficient (vanligen mellan 0,10 och 1,20) är PFT:s friktionstal som också presenteras i teckenfönstret. Studier vid VTI (Lundkvist och Lindén, 1994, Centrell, 1995, Åström, 2000; Bengt Wällivara, 2007) har visat att friktionsvärden uppmätta med PFT:n kan översättas till de standardvärden som fås med "The British Pendulum. För att få en uppfattning om PFT:ns likhet med SFT har mätningar gjorts i detta projekt, se bilaga 5. Dessa mätningar visar på en god överensstämmelse mellan PFT och SFT. Undantaget är två målade ytor med tätt ytskick.



Figur 3 Portabel Friktionsmätare (PFT). Foto: Leif Sjögren.

The British Pendulum Tester (Skid Resistance Tester) har en gummiyta monterad i botten på en svängande pendel. När man ställt in rätt avstånd till mätobjektet lyfter man upp pendeln och släpper den. Den bromsas då upp av friktionen och en visare fastnar på maxutslaget och ett värde kan läsas av. Pendeln används dock sällan i praktiken eftersom metoden är tidskrävande och operatörsberoende och dessutom endast mäter friktionen på en mycket lite yta. Det avlästa pendelvärdet kallas för PTV (Pendulum Test Value) (SIS, 2011). Ofta kan man se olika benämningar för PTV som BPN (British Pendulum Number), SRV (Slipping Resistance Value) eller SRT (Skid Resistance Test) det sistnämnda används av Trafikverket.



Figur 4 The British Pendulum Tester (SIS,2011).

4. Friktionens betydelse för trafiksäkerheten på bilvägar

Vägar ska vara säkra och framförallt utformade så att man har ett väggrepp som är tillräckligt för att säkert framföra sitt fordon. Friktion är en del av väggreppet, där flera faktorer som hastighet och vägutformning med mera ingår. I takt med att fordon har utvecklats så att de kan framföras i högre farter så ökar betydelsen av att övervaka och känna till väggreppet inklusive friktionen, för drift och underhållsansvariga. Personbilsolyckorna med allvarligt skadade eller döda sker främst på vägar med tillåtna höga hastigheter. I (Gustavsson med flera 2012) beskrivs och bekräftas en validering av en modell som visar effekten på olyckor med ökad hastighet. Även om det medför att vägar med högre standard är säkrare så blir konsekvensen av en olycka på dessa vägar allvarligare och flera kan bli inblandade och allvarligt skadade. Av praktiska skäl kan man inte ständigt mäta hela vägytans tillstånd. En kompromiss måste göras. Det finns historiska beslut och val som inte alltid är dokumenterade. Fordon har utvecklats, både bilar och motorcyklar, som gör att man måste omvärdera kraven. Bilar har numera avancerade låsningsfria bromsar och antisladdsystem som påverkar. Även för motorcyklar finns antisladdsystem utvecklat. Detta påverkar förstås valet av krav. Att göra olycksstudier rörande olyckor kopplade till väggrepp/friktion är mycket svårt och kanske omöjligt. Faktorerna som påverkar en olyckshändelse är så många att det är svårt att isolera enskilda orsaker. Förare är olika skickliga att undvika en olycka och i statistiken har vi ingen aning om hur många olyckor som har undvikits tack vare detta. Antalet olyckor med allvarliga konsekvenser är relativt få och troligen är det svårt att avgöra vilka som beror på dålig friktion.

Friktionens betydelse för trafiksäkerheten blev historiskt tydlig då farterna ökade och vägmaterialet blev hårdare. Egenskaperna hos däck och dess betydelse för väggreppet blev då allt viktigare. Idag finns väl utvecklade integrerade system i fordonen som optimerar väggreppet, som antilåssystem vilket optimerar den utnyttjade bromskraften genom att se till att hjulen inte låses helt vid maximal bromsning (ABS) samt antisladdsystem som ser till att fördela bromskraften på vänster och höger sidas hjul så att sladd undviks. Kanske att förekomsten av dessa stödsystem och bristen på objektiva friktionsdata och dess koppling till olyckor medfört att risken för dåligt väggrepp har minskat och därmed inte haft den högsta prioriteringen vid val av övervakning i en allt mer kostnadseffektiv belägningsplanering. Innan dessa stödsystem fanns var dock friktionen en av de viktigaste parametrarna och de flesta länderna i Europa utvecklade mätsystem för att övervaka friktionen på vägarna. Detta blev tydligt då utvecklingen av en gemensam europeisk standard för friktionsmätning startade. Många olika system med varierade principer för mätning presenterades.

Friktionsmätning är speciell då den ännu så länge måste ske med kontakt mellan mät hjul och beläggning.

4.1. Split friction

Stor skillnad mellan friktionen i vänster och höger hjulspår (*split friction*) kan potentiellt leda till stabilitetsproblem vid inbromsning. Antisladdsystemen har för personbilar minskat stabilitetsproblemen vid sådana situationer. För tunga fordon finns krav på att fordonens bromssystem ska klara inbromsning vid specifika så kallade ”split friction” förhållanden, utan att det ska krävas allt för stor styrkorrektion av föraren. Detta regleras i UNECE Regulation 13 (UNECE, 2008)). Fordonet ska klara en inbromsning vid en hastighet av 50 km/h med ett friktionsförhållande på 2:1 mellan de två hjulspåren. Det bör poängteras att dessa tester görs med professionella testförare som är förberedda på split friction situationen. En oförberedd förare kan ha större problem att hantera situationen. Detta påvisades i en studie utförd av Chalmers och Volvo (Tagesson med flera., 2014), där man lät oförberedda förare utsättas för en automatisk panikinbromsning under split friction förhållanden. Deras hypotes var att automatiska panikinbromsningssystem (vilket är obligatoriskt för alla tunga fordon sedan 2014), kan vara särskilt känsliga för split friction förhållanden eftersom föraren inte är beredd på situationen och därför inte kan motstyra fordonet på ett optimalt sätt. Detta kan i sin tur leda till att fordonet driver i sidled (av vägen eller över i mötande körfält), vilket också leder till högre risk

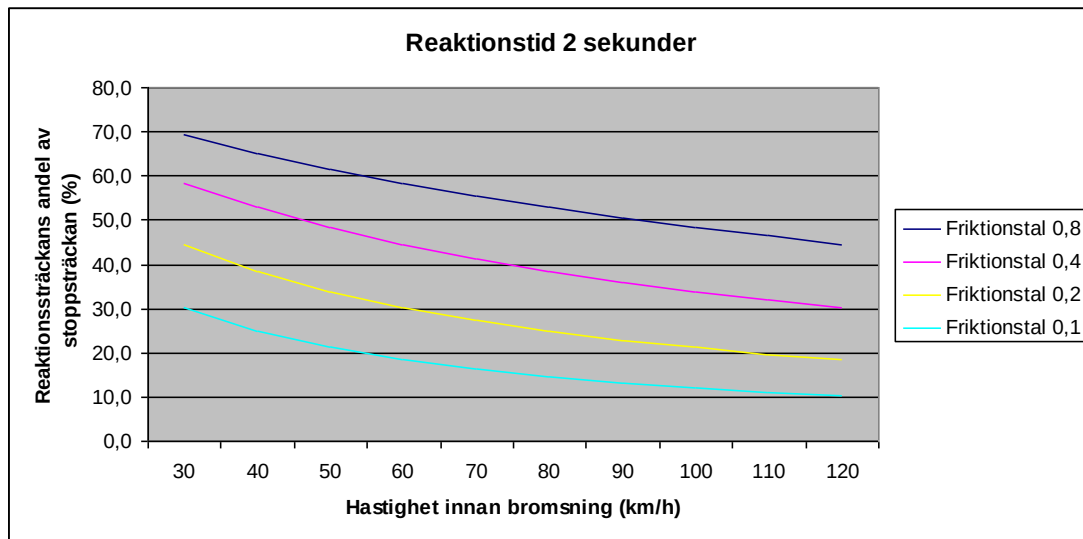
för en ”jack-knife” eller fällknivssituation (dvs. att ett fordon med släp viker sig som en fällkniv). Generellt så är tunga fordonens prestanda och stabilitet sämre vid låg friktion än vid hög. En ny studie av Kharrazi (2016) visar att exempelvis ”off tracking” ökar dramatiskt vid lägre friktion. Detta innebär att en efterföljande släpvagn vid kurvtagning och styrmanövrar inte följer samma spår som dragbilen, utan driver ut i sidled, vilket kräver ett större vägutrymme för att undvika en olycka. Tunga fordonens friktionsbehov är för närvarande under utredning i ett nationellt projekt lett av VTI (Kharrazi med flera., 2015).

4.2. Stoppsträcka

Vid en inbromsning beror stoppsträckan på ett flertal faktorer:

- vägens egenskaper: vägbeläggning, linjeföring, ytemperatur, eventuell is/snöbeläggning etc.
- fordonets egenskaper: däck, bromsar, chassiegenskaper, viktfordelning, eventuella hjälpsystem som brake assist systems etc.
- förarbeteende: reaktionstid, hur föraren trycker på bromspedalen (snabbt, hårt, statiskt eller pumpande) etc.

Stoppsträckan kan separeras i två huvudsakliga delar: Stoppsträcka = reaktionssträcka + bromssträcka där reaktionssträckan är den sträcka som fordonet färdas med oförändrad hastighet under den tid det tar för föraren att reagera och flytta foten från gas- till bromspedal. Bromssträckan är den sträcka som fordonet färdas från det att föraren tryckt på bromspedalen tills fordonet är stillastående. Vid låga hastigheter och bra väggrepp utgör reaktionssträckan den största delen av stoppsträckan, se Figur 5. När hastigheten ökar, eller när det tillgängliga väggreppet (friktionen) minskar så får bromssträckan en allt större betydelse.



Figur 5 Andel av totala stoppsträckan som utgörs av reaktionssträckan för olika friktionstal och hastigheter, med en reaktionstid på 2 sekunder. Bromssträckan är beräknad enligt ECE 13.

Vägarna ska vara utformade så att förarens siktsträcka till framförvarande fordon är tillräcklig för att fordonet ska kunna bromsas till stillastående inom den givna siktsträckan. Riktlinjer för vägars och gators utformning (VGU) finns i ett flertal publikationer från Trafikverket och Sveriges Kommuner och Landsting (Trafikverket, 2015, a–e). Dessa riktlinjer är dock baserade på friktionsmätningar utförda i slutet av 1960-talet, och tar inte hänsyn till att ABS är standard i dagens fordon. Dessa regler är obligatoriska att användas inom Trafikverket. För kommunerna är VGU endast ett frivilligt och

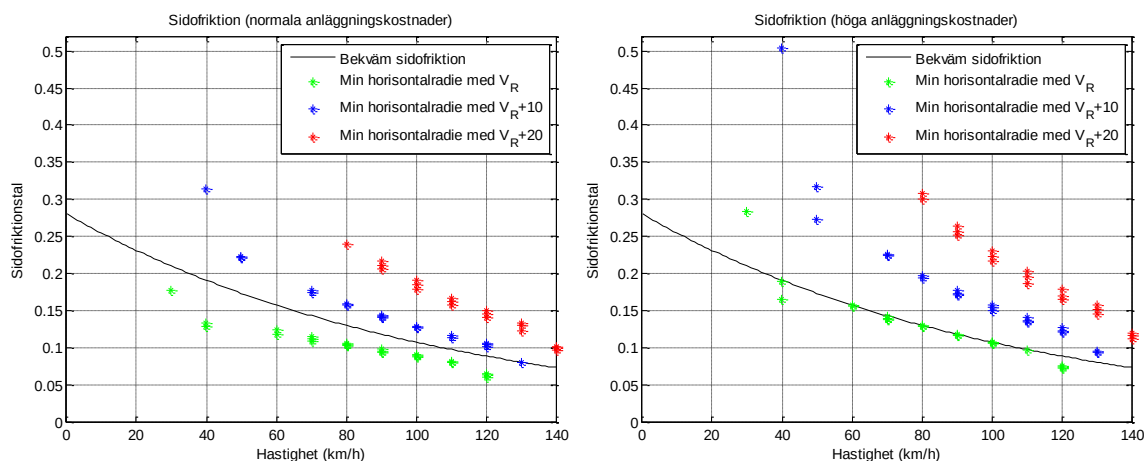
rådgivande dokument. VGU kommer fortsatt att användas som samlande beteckning för styrande dokument inom vägars och gators utformning.

4.3. Kurvtagning

Vid kurvtagning så används en del av den totala friktionen till sidofriktion, vilket minskar den friktion som är tillgänglig för bromsning.

Utan ABS-bromsar så är det dock så att sidokrafterna försvinner vid samtidig bromsning och styrning, vilket kan leda till en sladdsituation. Med ABS-bromsar kan man bibehålla sidokrafter och bromskrafter simultant. Krafternas storlek är dock begränsade av den totala tillgängliga friktionen.

Utformning av kurvor regleras av VGU (2015a-e), vilken specificerar de minsta horisontalradierna för vägar med olika referenshastigheter V_R och skevning. Dessa specifikationer bygger främst på de laterala krafter som anses bekväma (eller acceptabla). Utifrån de givna horisontalradierna går det att beräkna den sidofriktion som krävs för att köra längs vägen vid referenshastigheten. Man kan då beräkna den nödvändiga sidfriktionen från specifikationerna, vilket visas i Figur 6. Vägarne delats upp i två typer: de med normala anläggningskostnader och normala intrång och de med höga anläggningskostnader och/eller stora intrång.



Figur 6 Det sidofriktionstal som krävs för kurvtagning i olika hastigheter. VTI.

De bekväma sidoaccelerationsnivåerna i VGU bygger på rapporten "Färdtekniska grundvärden och linjeföring" (Bontell, 1983). Dessa är framtagna med utgångspunkt från att 0,1 g lateral acceleration är acceptabel vid höga färdhastigheter (100 km/h) och att man kan acceptera högre laterala accelerationer vid lägre hastigheter (0,2 g vid 40 km/h antogs). Följande formel för den sidofriktion som anses acceptabel vid olika hastigheter är baserad på detta:

$$f_s = 0,28 \cdot e^{-0,0096 \cdot v}$$

Det framgår av Figur 6 att den erforderade sidofriktionen i de flesta fall är under 0,3, även vid ett överskridande av hastighetsgränsen med 20 km/h.

4.4. Samband mellan friktionsnivåer och olyckor

I Sverige utförs inte några rutinmässiga mätningar för barmarksfriktionen på vägnätet. I en del andra länder har det utförts mer rutinmässiga friktionsmätningar för att hitta en koppling mellan friktion och olyckor. Det bör påpekas att olika länder använder olika metoder och mätutrustningar för att mäta friktion. Mätdata från olika utrustningar är oftast inte jämförbara.

I många länder samlas ett brett sortiment av olycksdata in och lagras, men friktionsuppgifter i allmänhet lagras inte tillsammans med olycksuppgifter i olycksdatabasen. Tillgången till olycksdata

skiljer sig också från land till land. Liksom olycksdatabaser upprätthålls av väghållare finns det ofta också en databas som upprätthålls av försäkringsbolag, men dessa är inte tillgängliga för allmänheten. I de flesta databaser finns tillräckligt med data för att indikera platser med förhöjd olycksrisk så kallade "Black spots".

Olycksstudier runt om i världen är konsekventa i sina slutsatser att olycksfrekvensen ökar på platser med låg friktion. På platser som har blivit åtgärdade för att förbättra friktionsvärdena har man funnit att olyckskvoterna minskar.

Wallman och Åberg (2001) gjorde en sammanställning över korrelationen mellan vägfriktion och trafiksäkerhet. De konstaterar i rapporten att ett flertal studier påvisar att förare generellt inte anpassar sin hastighet till rådande friktionsförhållanden, vilket bl.a. innebär att bromssträckorna förlängs vid minskad friktionsnivå.

Resultat från studier i Storbritannien, Nederländerna, Tyskland, Frankrike, Danmark och USA presenteras nedan. Värt att notera är att de flesta undersökningarna är gamla och utförda innan låsningsfria bromsar blev standard för personbilar.

4.4.1. Storbritannien

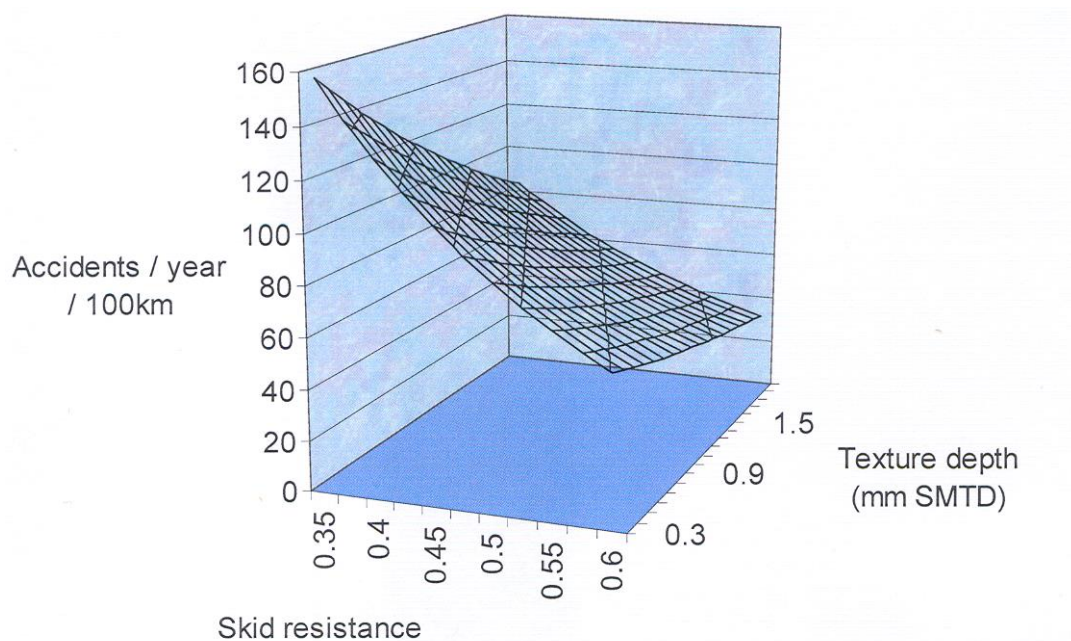
Storbritannien har sedan 1988 implementerat en policy för att hantera friktionen på riksvägar. Policyn baserades på undersökningar av sambandet mellan friktionen och risken för sladdolyckor pga. våt vägbana. Målet var att utjämna risken för denna typ av olyckor över hela vägnätet genom att ange lämpliga nivåer (kallade Investigatory Levels, ILs) på friktionen för olika lokaliseringar.

Rutinmässiga mätningar av friktionen genomförs med SCRIM enligt ett rullande program som löper över tre år. I policyn anges rekommendationer på ILs samt processen för att undersöka platser där gränsvärdet underskrids. Dessutom specificeras egenskaper för beläggingsmaterial som ger erforderlig friktionsnivå vid olika situationer.

En översyn av Storbritanniens friktionspolicy för riksvägar har genomförts och lett till en revidering under 2004 (Viner med flera., 2004). Huvuddelen av översynen har utgjorts av en ny undersökning av sambandet mellan friktion och olyckor.

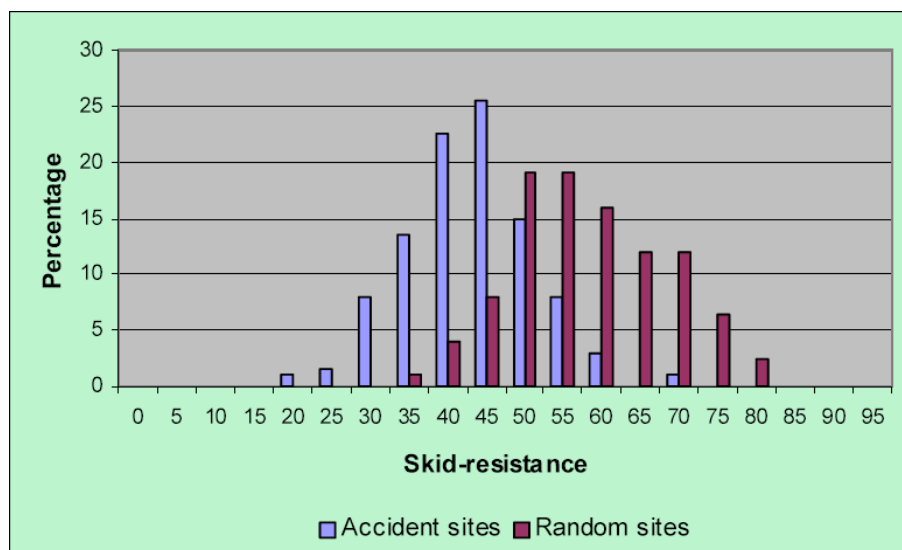
Det finns ett flertal faktorer utöver friktionen som har betydelse för olycksrisken och som skulle kunna påverka analyserna. För att beakta effekten av multipla faktorer på olyckskvoten så utvecklades olycksmodeller med hjälp av "Generalised Linear Modelling" (GLM). De relevanta variabler som testades var trafikflöde, friktion, texturdjup, höghastighetsfriktion, spårdjup, variationen i den longitudinella profilen, kurvatur och lutning. De variabler som befanns vara individuellt signifikanta för olyckskvoten kombinerades i en modell. Olycksmodellerna visar att texturdjupet är en signifikant variabel för ett antal olika kategorier av vägsträckor.

I Figur 7 visas den kombinerade effekten av friktion och texturdjup i olycksmodellen för vägsträckor på vanlig tvåfältsväg utan så kallade "händelser" såsom korsningar, kurvor eller backar. Uppenbart är att den högsta olycksrisken uppstår för en kombination av låg friktion och lågt texturdjup samt att olyckstrenden kopplad till friktionen är ännu mer uttalad för låga texturdjup.



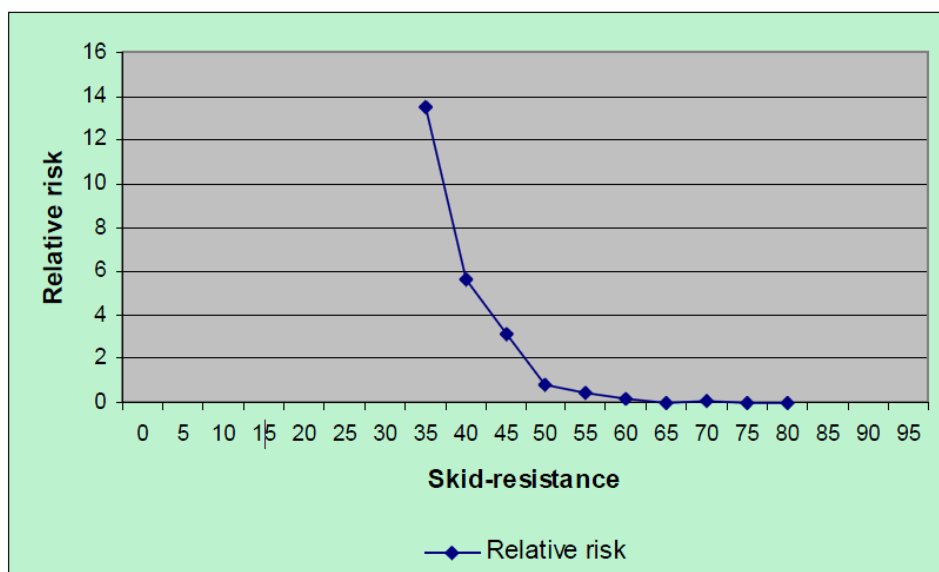
Figur 7 Olycksmodell för friktion och texturdjup på vanlig tvåfältsväg. (Viner med flera. 2004).

I en undersökning av Giles med flera. (1964) mättes friktion med SRT-pendeln på platser där det hade rapporterats att det inträffat frekventa sladdolyckor i vått väder. Som jämförelse gjordes mätningar även på ett urval av platser som valts ut slumpvis. Fördelningarna av mätningarna visas i Figur 8.



Figur 8 Fördelning av mätta SRT-värden på olycksplatser och slumpmässigt mätta platser (Giles med flera. 1964).

Den genomsnittliga friktionen på olycksplatser var 45 och på de slumpmässigt mätta platserna 60. Från fördelningarna i figuren kan den relativa olycksrisken för olika friktionsnivåer beräknas, vilket visas i Figur 9.



Figur 9 Funktionen mellan relativ olycksrisk och friktion (Giles med flera, 1964).

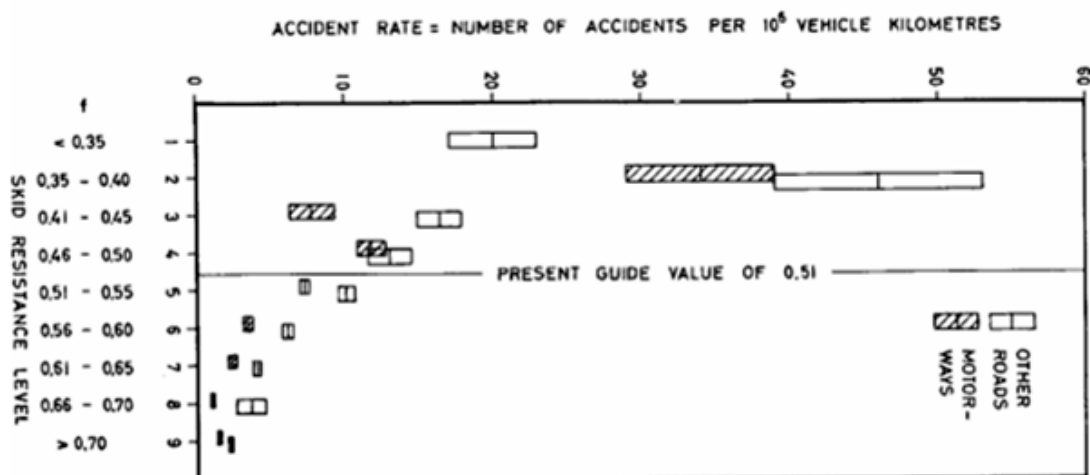
Men det finns också studier från vägavsnitt där endast en svag relation eller ingen relation alls har observerats mellan friktion och olycksrisk. Ett bra exempel på detta är motorvägar, där vägutformningen effektivt har minskat risken för potentiella konflikter mellan trafikanter.

Studier har också utförts för att bedöma förändringen i antalet olyckor som inträffar före och efter en ombeläggning, med förväntningen att ökad friktion kommer att ge färre olyckor. En sådan studie genomfördes på motorväg M4 i England för sammanlagt över 500 incidenter där olyckor registrerades under två år före och två år efter en ombeläggning som ökade friktionen. En analys av erhållna data visade att ombeläggningen ledde till en minskning med 28 % av olyckor vid torra förhållanden och med 63 % vid våta förhållanden. Totalt antal olyckor för det studerade området minskade med 45 %.

Liknande resultat uppnåddes i Ontario, Kanada. Ombeläggning av vägar med låga friktionsnivåer resulterade i betydande minskningar av antalet olyckor. Ombeläggning vid korsningar minskade antalet olyckor med 46 % totalt, 21 % vid torra förhållanden och 71 % vid våta förhållanden.

4.4.2. Nederländerna

I Nederländerna (Schultze med flera, 1976) studerades samtliga olyckor på det statliga vägnätet under en period av två år (1965 och 1966) och för samtliga olycksplatser bestämdes friktion genom mätning. Antalet olyckor per miljon fordonskilometer bestämdes för olika friktionsklasser, dessa presenteras i Figur 10. Studien visar ett starkt samband mellan friktion och olycksrisk.

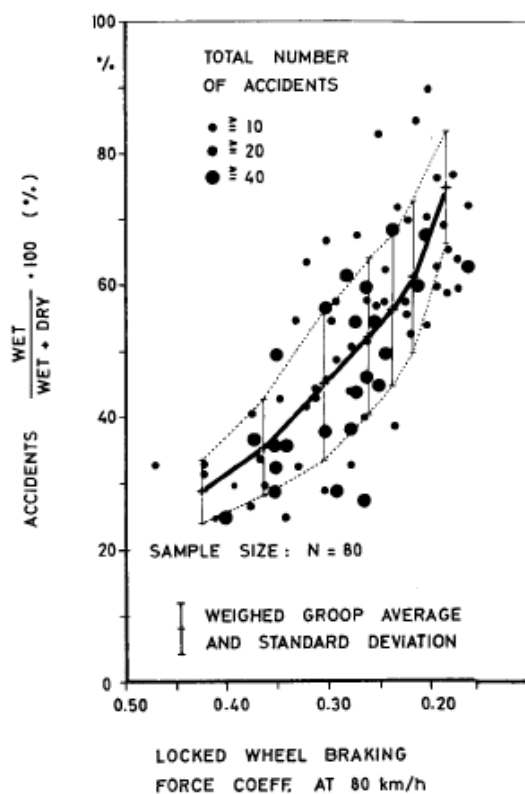


Figur 10 Antal olyckor per miljoner fordonskilometer för respektive friktionsklass från en nederländsk studie. Källa: Schultze med flera. 1976.

4.4.3. Tyskland

Andelen olyckor på våt vägbana i förhållande till totala antalet olyckor i Tyskland varierar mellan 0 % och 50 % och den genomsnittliga andelen över hela nätverket är ca 33 %. Om på en viss vägsträcka, andelen trafikolyckor vid våta förhållanden väsentligt överstiger detta intervall av procentsatser, kan detta ses som en indikation på minskad trafiksäkerhet vid våt vägbana.

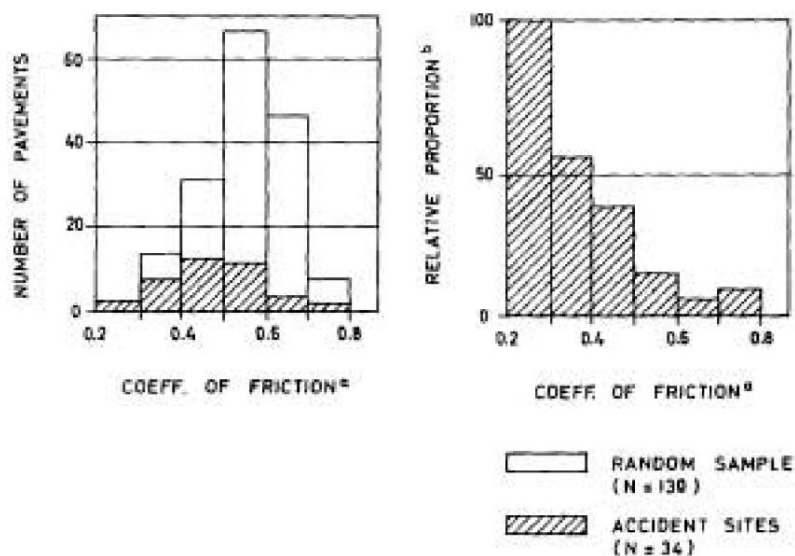
I en studie redovisad av Schultze med flera. (1976) mättes friktionen på olycksplatser och andelen olyckor vid våta förhållanden redovisas som funktion av friktionen i Figur 11. Den allmänna trenden visar en ökande andel av trafikolyckor i våta förhållanden med sjunkande friktion.



Figur 11 Andel olyckor vid våta förhållanden som funktion av friktionen. Källa: Schultze med flera. 1976.

4.4.4. Frankrike

I en fransk studie, liknande den som utförts i Storbritannien, som nämns ovan, jämfördes friktion på olycksplatser med friktion på slumpmässigt utvalda platser (Schultze med flera. 1976) Baserat på resultaten, som presenteras i Figur 12, är det uppenbart att den relativa andelen av olyckor på platser med låg friktion ökar kraftigt.



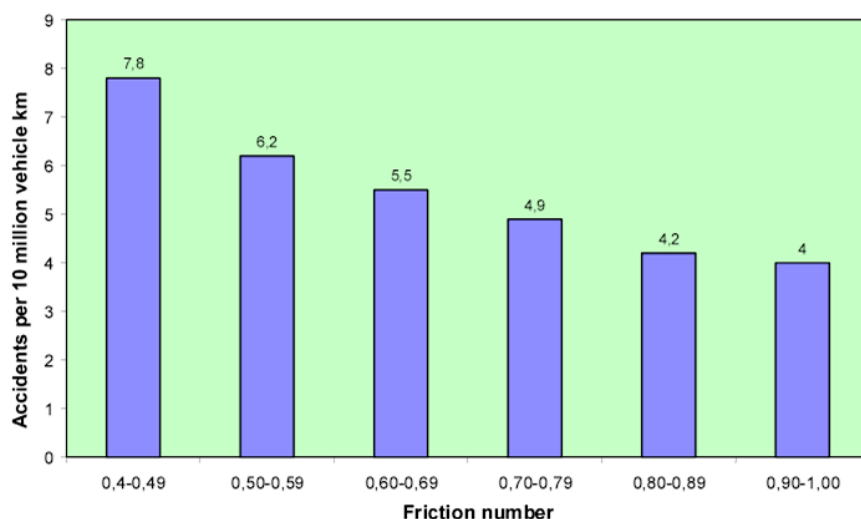
Figur 12 Relativ olycksrisk som funktion av friktionskoefficient. Källa: Schultze med flera. 1976.

Studier i början av 1990-talet på ringvägen i Bordeaux har visat att olycksfrekvensen i våta väglag ökade med minst 50 % vid jämförelse mellan ett avsnitt med en Side Friction Coefficient från SCRIM-

mätning (SFC) större än 0,60 och ett avsnitt med en SFC mindre än 0,50 (Schultze med flera. 1976.). Slutsatsen från studien var att en minskning av SFC med 0,05 ökar skadeföljden i olyckan så att kostnaden för samhället ökar med cirka 50 %.

4.4.5. Danmark

Friktion på två-fältiga asfaltsbelagda vägar i Danmark mättes med en Stradograph, en friktionsmätutrustning som använde principen att mäta sidokraften i det nordiska projektet TOVE, Trafiksäkerhet och vägytans egenskaper (Hemdorff med flera. 1989). Resultaten från denna undersökning kan ses i Figur 13. Tendensen är tydlig att olycksrisken minskar med ökande friktion.



Figur 13 Olycksrisk i förhållande till friktion. Källa: Hemdorff med flera. (1989)

5. Underlag och motiv för gällande mätmetoder och gränsvärden

5.1. Historik

I Sverige har Trafikverket sedan länge krav på en lägsta friktion på barmarksvägar, vintervägar och numera även på vägmarkeringar. Sverige var tidig med att mäta friktionen på vägar och många mätsystem har utvecklats i landet över åren, VTI har till stor del varit drivande i denna utveckling.



Figur 14 Den första skiddometermätaren BV1 byggd av VTI 1949. Foto: från VTI:s arkiv

Med tiden har sedan ytterligare en mängd system, mer än 20, utvecklats i Europa och världen (PIARC, 2016 och Tyrosafe project, 2008). Otvivelaktigt har tillräckligt väggrepp/friktion mycket stor betydelse för trafiksäkerheten. Att göra studier och försök för att avgöra när friktionen är så låg att den är direkt farlig och behöver ökas är inte så lätt. Många olycksstudier har gjorts men att utifrån dessa fastställa ett för Sverige, robust och evidensbaserat gränsvärde är inte möjligt. Mängder med artiklar och rapporter om friktion och olycksrisker finns att tillgå men eftersom ett uppmätt friktionsvärde endast gäller för den enskilda friktionsmätaren eller möjligen typen av friktionsmätare, är det problem med generella nivåer på gränsvärden. I vårt sökande efter underlag till hur det svenska gränsvärdet fastställts har en historisk genomgång av regelverken och deras utveckling gjorts, rörande krav på friktion se bilaga 1, och en sammanfattning av friktionsforskning på VTI, se bilaga 2.

Sammanfattningsvis kan man säga att vi inte funnit något bra motiv i litteraturen för den valda gräns som nu gäller i Sverige på statliga vägar. Detta betyder inte att den valda gränsen är fel eller dålig.

5.2. Aktuella friktionskrav

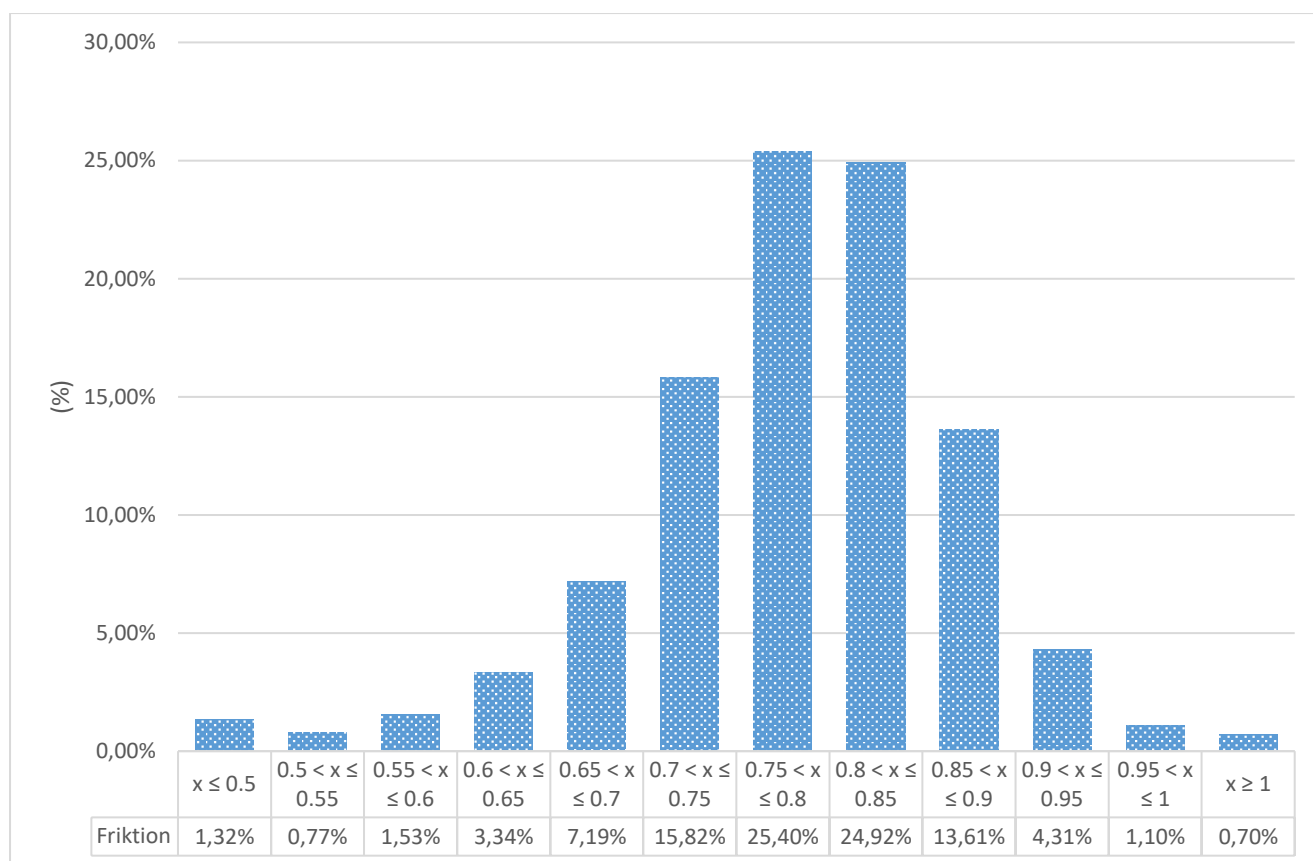
Trafikverkets gällande föreskrift VVFS 2003:140 anger som krav på friktion att vägar ska vara så utformade och utförda att de får tillfredställande friktion. Vidare anger man som råd att vägar med bundet slitlager bör uppfylla friktionsvärden i ATB VÄG, avsnitt A4.1.1 (Trafikverket 2003, 2010).

I kravdokumenten (Trafikverket 2015–5 och 8) anger Trafikverket friktionskrav på belagda ytor enligt följande:

”Krav på friktion gäller för samtliga trafikerade beläggningslager. Friktionskraven gäller efter utförandet och under garantitiden. För vägbana, gångbana och cykelbana med bundet slitlager ska medelvärdet av friktionstalet på en 20metersträcka vara $\geq 0,50$. Friktionstalet ska bestämmas enligt (Trafikverket 2015–7). För ytor som inte kan mätas enligt (Trafikverket 2015–7), ska SRT-värdet vara större än eller lika med 50 bestämt enligt (Trafikverket, 2013), Handhållen kontroll av vägmarkering. Kravet avser medelvärdet, av tre mätpunkter, mätt på minst 1,0meterlängd. Minst två kontrollobjekt (ytor) ska mätas per objekt, dock minst ett per 500 m². Friktionskraven avser barmarksförhållanden.”

5.3. Makrotextur och dess samband med friktion

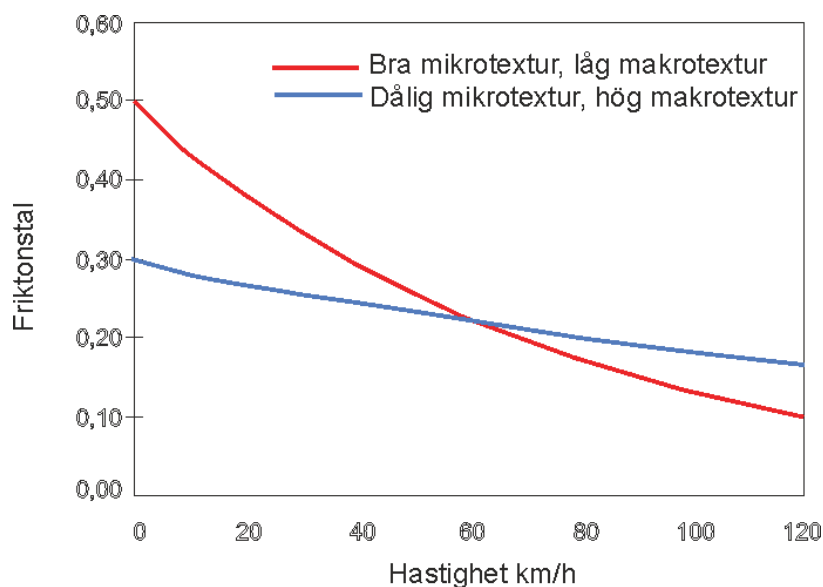
Friktionsmätning på barmark görs inte rutinmässigt i någon större skala. En anledning har varit att den tillgängliga friktionen inte ansetts som ett problem. Därmed har det endast funnits ett fåtal aktörer som har lämplig utrustning och kan mäta. VTI utför friktionsmätningar både vid rutinuppdrag och i forskningsverksamheten. I ett projekt Makrotexturens möjlighet att identifiera låg friktion (Lundberg med flera, 2015) gjordes omfattande friktionsmätningar, särskilt av avsnitt med låg makrotextur (skrovlighet) dvs. med MPD-värden under 0,35. I Figur 15 nedan kan man se en frekvensfördelning av friktionen hos dessa sektioner (ett sampel för varje meter), totalt 102 100 meter. Huvudsyftet med detta projekt var att visa om man kan prediktera sektioner med låg friktion med hjälp av makrotexturmätdata (MPD). Om detta var fallet skulle man kunna ersätta friktionsmätningar med makrotexturmätningar (vilka är enklare att få stabila och repeterbara). Tyvärr kunde inte ett tydligt samband erhållas. Från Figur 15 kan man konstatera att normalfriktionen (mätt med SFT) är kring 0,75–0,85. Det bör dock noteras att detta är en specialmätning där data finns för varje meter istället för som i normalfallet var 20:e meter. Ca 1 procent av mätvärdena, motsvarande omkring 1 000 meter, är under 0,5. Dessa låga värden förklaras av främst två saker, lappning och lagningar samt feldimensionerade ytbehandlingar.



Figur 15. Friktionsnivåer på statliga vägar med mpd <0,35, Fördelning av friktion på statliga vägar med låga MPD-värden, data per 1 m, n=102 090 (102,1 km). Specialmätningar utförda av VTI (Lundberg med flera. 2015).

Flera undersökningar visar hur makrotextur och friktion hänger samman och kompletterar varandra t.ex. (Viner H., med flera, 2006) och Henry (2000). En tydlig slutsats från dessa undersökningar är att en grov makrotextur behövs för att hjälpa till att tränga undan eventuellt vatten och förhindra vattenplaning. Detta är särskilt viktigt vid höga farter. Vattenundanträngning är ett motiv till krav på att bildäck ska ha ett mönsterdjup. I Figur 16, som är en principiell beskrivning av förhållandet mellan hög, låg mikro-, makrotextur och olika hastigheter framställd av Henry (2000) kan man se betydelsen

av hög makrotextur för att få bättre friktionstal vid högre farter. Man kan också se att bra mikrotextur är värdefullt vid lägre farter för att få ett högre friktionstal.

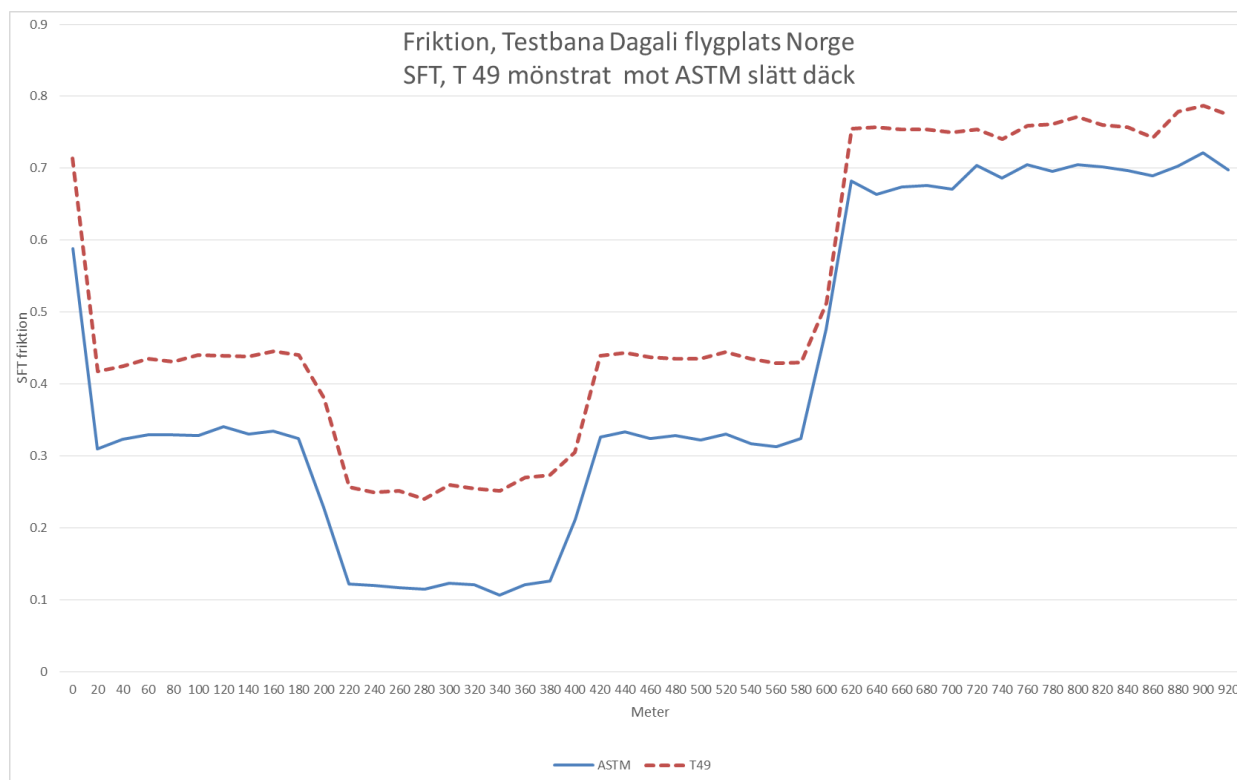


Figur 16 Penn State model (Henry, 2000)

5.4. Däckmönstrets betydelse för friktionen

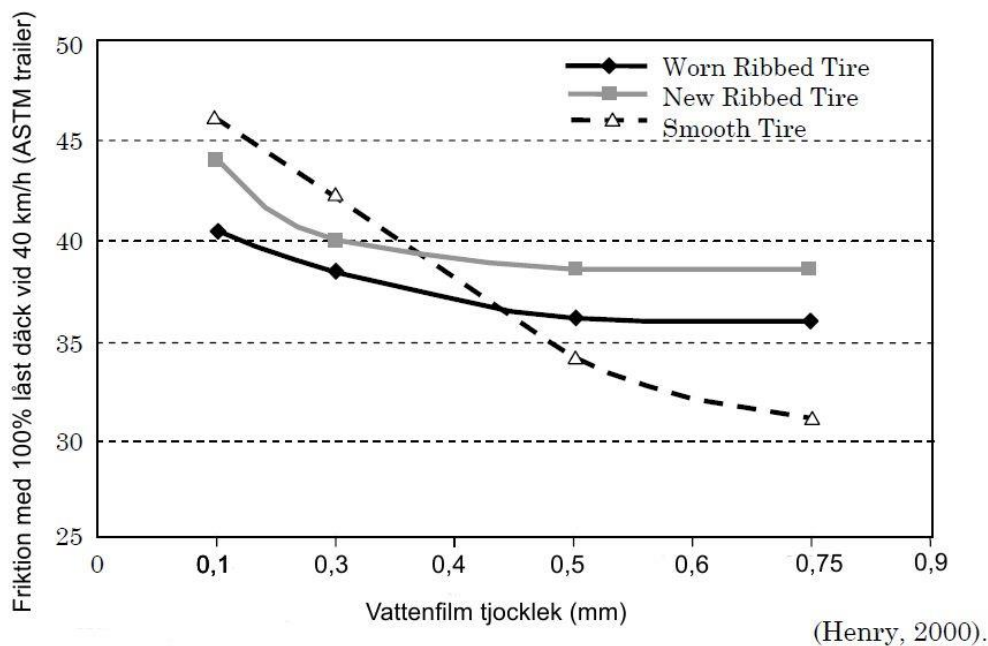
I samband med årliga kalibreringstester utförda i Norge, på flygplatsen Dagali, med flera olika friktionsmätare där VTI:s mätare (SFT) också ingick, gjordes upprepade mätningar på samma sträckor med olika mätdäck, ett mönstrat däck (T49) och ett omönstrat däck (ASTM). Här kan man se i Figur 17 att den uppmätta friktionen med det släta däck är lägre på en tät yta, ca 0,1 mot 0,25. Detta är

rimligt då ett däck utan mönster inte kan tränga bort vattenfilmen lika effektivt som det mönstrade däck.



Figur 17 Friktionsvärde på samma sträcka men med olika däckmönster (Intern utredning VTI, 2016)

Detta bekräftar tidigare resultat t.ex. (Henry, 2000). Se Figur 18 som visar slätt däck. Slitet mönstrat och mönstrat däck och deras friktion egenskaper vid olika hastigheter. Här nämns att man valt ett ribbat däck till mätsystemet för att minska påverkan från varierad vattenfilmtjocklek vid mätningen.

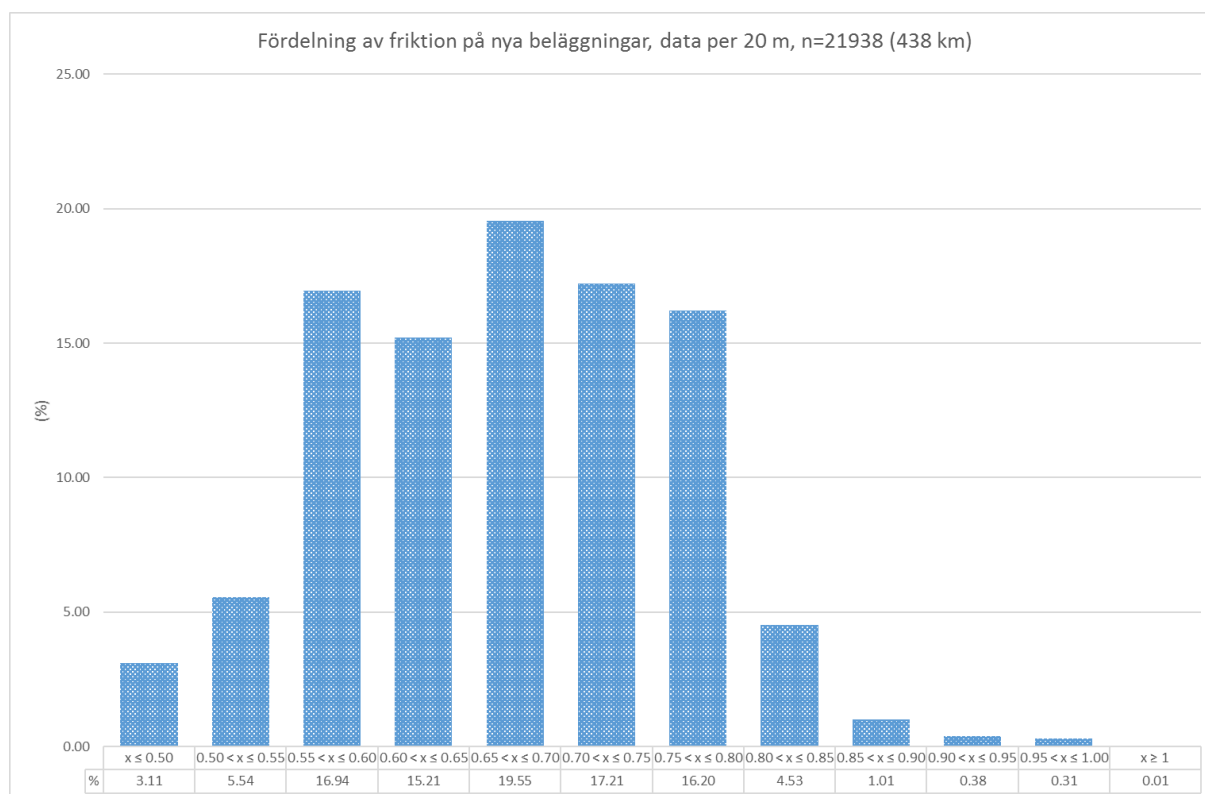


Figur 18 Vattenfilmens påverkan på friktion vid test med olika däckmönster (Henry, 2000).

5.5. Normalnivåer för friktion

5.5.1. Friktionsnivåer på nya beläggningar

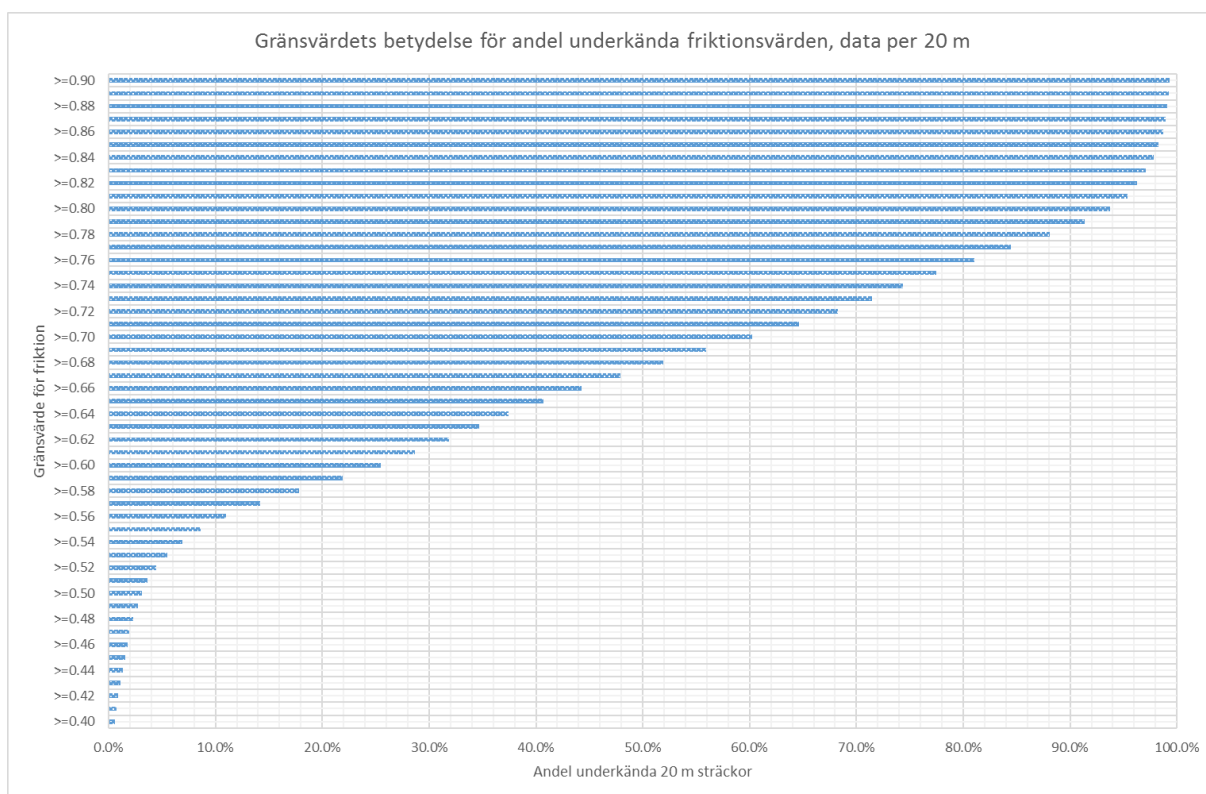
I och med att friktion inte mäts rutinmässigt på vägnätet (gäller såväl det kommunala som det statliga vägnätet) finns för lite underlag för att bestämma ”normala” friktionsnivåer. På det statliga vägnätet har friktionsmätningar enbart utförts på sträckor där man haft misstankar om låg friktion. Detta har förändrats de senaste åren i och med flera uppmärksammade olyckor som kan ha orsakats av bristfällig friktion. Trafikverket planerar att ändra mätrutinerna för det statliga vägnätet så att alla nya beläggningar, vid såväl nybyggnad som underhållsbeläggning, ska friktionsmätas. Trafikverkets kravdokument som styr tillvägagångssättet vid mätning är ”Bestämning av friktion på belagd väg” (Trafikverket, 2015-g). Dokumentet föreskriver att hela objektet ska mätas i normalfallet och vid långa objekt ska minst 30 procent mätas. Normalt utförs friktionsmätningen i höger hjulspår men kan kompletteras om misstanke om låg friktion finns på andra delar av vägen. Data per 20 meter från de mätningar som utförts på nya beläggningar är sammanställda för att visa normalnivåer för friktion på nya beläggningar, se Figur 19. Sammanställningen är gjord från 2015 års mätningar och sträckorna är geografiskt utspridda över hela Sverige och täcker främst in beläggningstyper som ABS (asfaltbetong stenrik), TSK (Tunnskikt kombination) och ABT (asfaltbetong tät). Tankbeläggningar friktionsmätas normalt inte.



Figur 19 Normalnivåer för våtfriktion på nya beläggningar, data per 20 m. (Data från projektet (Arvidsson med flera, 2019))

Den kravnivå som finns på friktion ligger normalt på 0,50 (Trafikverket, 2015-h). Sammanställningen i Figur 19 visar att drygt 3 procent av alla objektmätningar visar på ett ej godkänt resultat. Sträckor i riskzonen, strax över gränsvärdet 0,50 är ca 5,5 procent. I intervallet mellan 0,65 och 0,70 hamnar knappt 20 % av alla friktionsvärden, vilket är den största gruppen.

För att analysera hur en förändrad kravnivå slår på utfallet av andel underkända 20 meterssträckor (samma datamängd som sammanställningen i Figur 19) har kravnivån ändrats 0,01 åt gången och andel underkända sträckor har sammanställts (Figur 20).



Figur 20 Andel underkända 20 metersvärden vid ett förändrat gränsvärde hos nya beläggningar.

Resultatet visar att andelen underkända sträckor accelererar om gränsvärdet skulle justeras till ett värde större än 0,53. Ett gränsvärde större än 0,67 skulle underkänna halva populationen. Den intressanta delen, mellan 0,40 och 0,60, visas i Tabell 1.

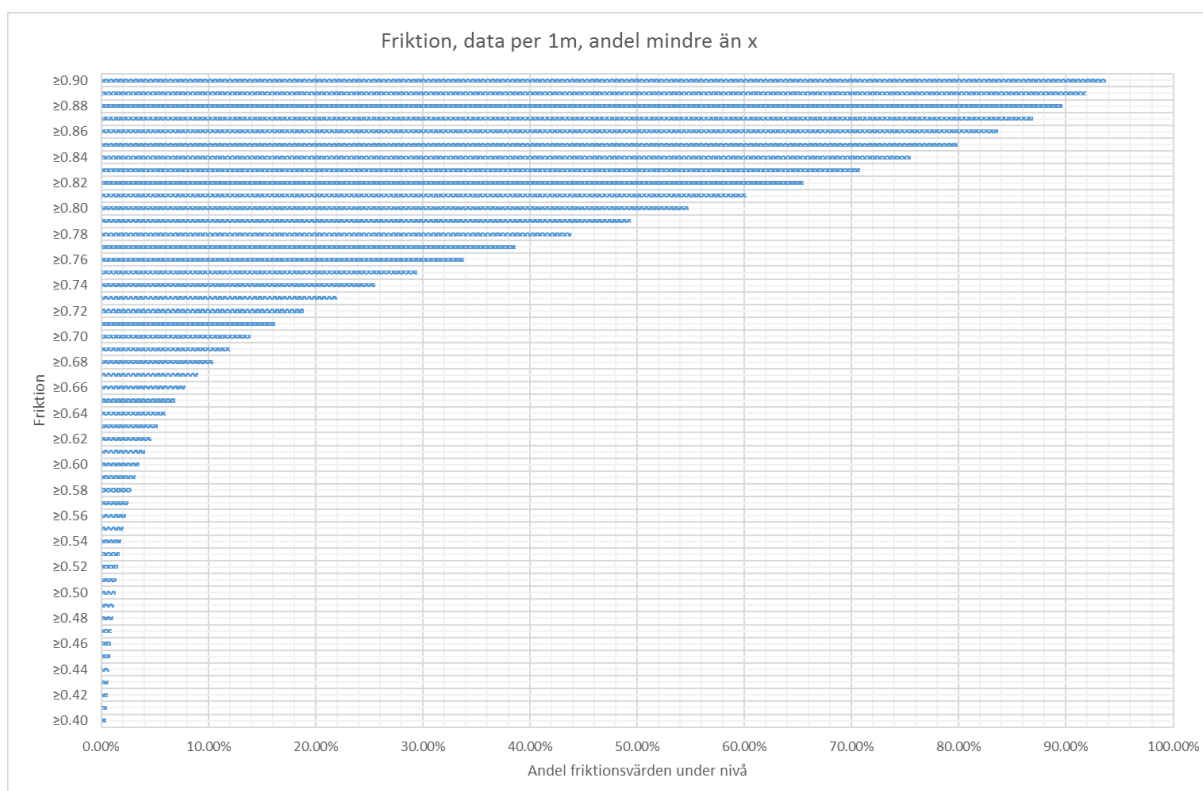
Tabell 1 Gränsvärdets betydelse för andelen godkända friktionsvärden.

Gränsvärde	Andel underkända (%)	Gränsvärde	Andel underkända (%)
≥0.40	0,6	≥0.50	3,1
≥0.41	0,7	≥0.51	3,6
≥0.42	0,9	≥0.52	4,4
≥0.43	1,1	≥0.53	5,5
≥0.44	1,3	≥0.54	6,9
≥0.45	1,6	≥0.55	8,6
≥0.46	1,8	≥0.56	11,0
≥0.47	2,0	≥0.57	14,2
≥0.48	2,3	≥0.58	17,8
≥0.49	2,7	≥0.59	21,9
		≥0.60	25,5

5.5.2. Friktionsnivåer på vägar i bruk

För att få ett grepp om hur friktionsnivån ser ut på det vägnät som används i dagligt bruk har ytterligare en sammanställning gjorts med utgångspunkt från data från ett forskningsprojekt (Lundberg med flera. 2015). I projektet valdes ett antal teststräckor ut baserat på makrotexturens (MPD, Mean Profile Depth) nivå. Sträckornas längd var ca 500 meter och kriteriet för att välja sträckan var att den skulle innehålla MPD-värden under 0,35 mm. All insamling av data gjordes på 1-metersnivå vilket inte är direkt jämförbart med sammanställningen av 20 data från nya beläggningar. Sträckornas urval gjordes dessutom med utgångspunkt från att få en jämn fördelning av fyra olika beläggningstyper, ABS, ABT, Y (ytbehandling) och IMT (indränkt makadam tät). Om gränsvärdet för friktionen är 0,50 så ligger ca 1,3 % av friktionsvärdena för de enskilda 1 metersvärden under den gränsen på den del av vägnätet som har låga MPD-värden. I rapporten (Lundberg med flera., 2015) visar ett räkneexempel att det skulle motsvara en sammanlagd väglängd på någonstans mellan 3 km och 6 km i Östergötlands län. Den kategorin med störst andel är 0,75 till 0,80 vilket är en högre friktionsnivå än för de nya beläggningarna.

Figuren nedan visar hur stor andel av 1 meters friktionsvärden som ligger under ett visst friktionsvärde. Den friktionsnivå som motsvarar att 5 % av urvalet ligger under nivån är 0,63 μ vilket kan jämföras med 0,53 för nya beläggningar (Figur 20).



Figur 21 Andel friktionsvärden (per 1 m) under en given friktionsnivå. Källa: Lundberg med flera., 2015.

Ett par viktiga iakttagelser från rapporten (Lundberg med flera., 2015) sammanfattas i punktsatsen nedan.

- Nivån på MPD kan användas för att välja objekt som bör friktionsmätas. Det är större sannolikhet att hitta låga friktionsvärden där MPD-nivån är låg (<0,5 mm).
- De mänskliga sinnen och speciellt ögat ökar sannolikheten för att avgöra risken för en låg friktionsnivå. I projektet valdes teststräckor med två olika strategier: enbart utifrån MPD-nivå

och en kombination av MPD-nivå och om vi ansåg det föreligga en risk att friktionen skulle vara låg. Skillnaden mellan valen visar genomgående lägre friktion då det mänskliga sinnet också användes vid valet. En objektiv repeterbar metod är förstås att föredra.

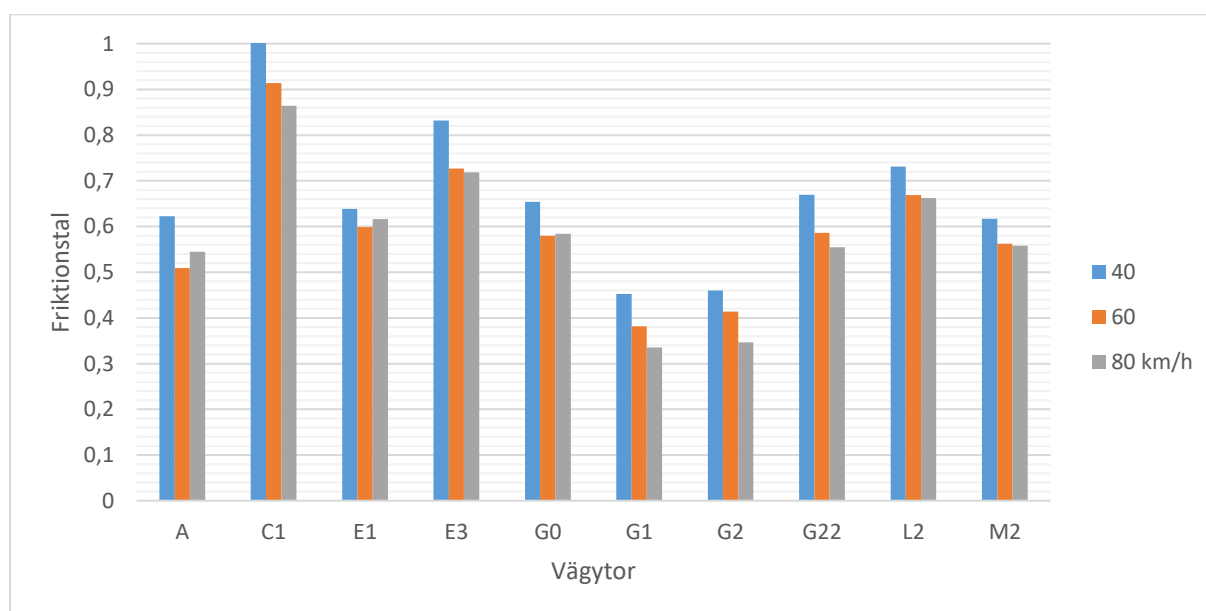
- Friktionsmätning och MPD-mätning ska teoretiskt sett komplettera varandra då höga MPD-nivåer (hög makrotextur) hjälper till att bibehålla ett bra väggrepp i höga hastigheter medan friktionsmätningen är speciellt bra på att detektera lågfartsfriktion (mikrotexturens inverkan). Detta innebär att krav bör ställas på både friktion och MPD. MPD-krav (bör-krav) finns i Trafikverkets underhållsstandard (Trafikverket, 2012).

5.5.3. Hastighetens betydelse för friktionstalet

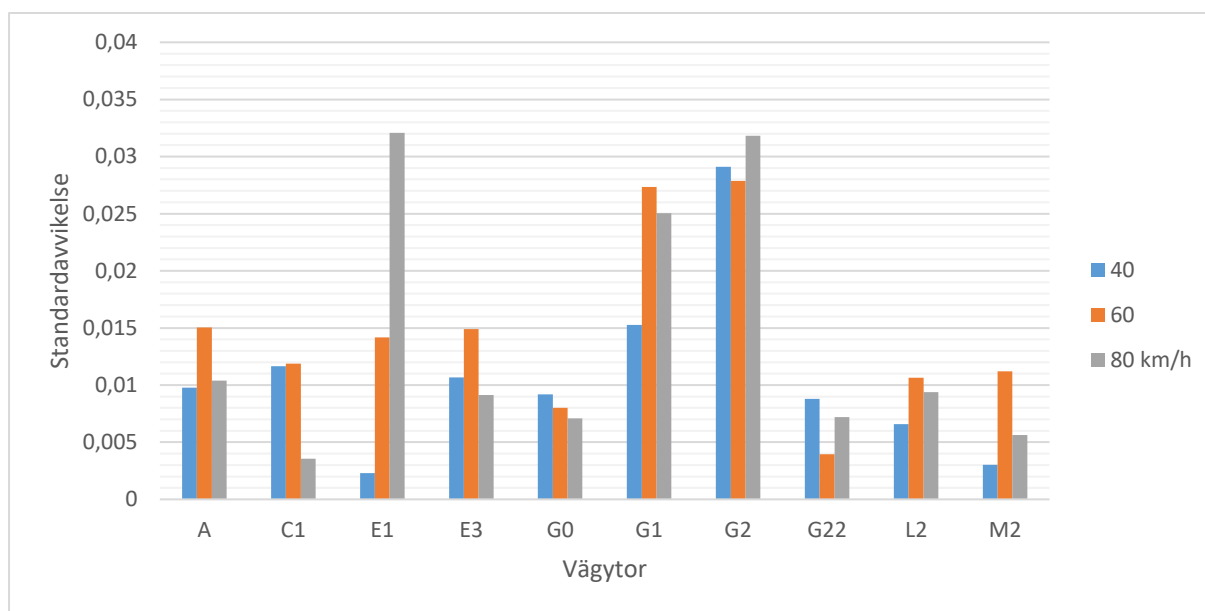
Som tidigare nämnts se kapitel 3, beror friktionstalet vid mätning på flera faktorer, bland annat hastigheten. Standarden anger 70 km/h som mät hastighet. Denna hastighet kan inte användas på gator i städer. Om man väljer 40 km/h som mät hastighet hur påverkar det valet av friktionstal för att överensstämmer med kravet då man mäter med 70 km/h?

En undersökning har gjorts för att undersöka detta och visa hastighetsberoendet vid mätning med Surface Friktion Tester (Bilaga 5). I följande utredning är data hämtade från dessa mätningar. I Figur 22 kan man se friktionstalet och dess förändring då man byter hastighet. Mätning har gjorts 5 upprepade gånger för var och en av de tio vägytorna och för hastigheterna, 40, 60 och 80 km/h (Figur 22).

De valda hastigheterna antas vara en fix faktor och sträckorna ses som slumpfaktor. Det går att se variationen mellan de 5 mätningarna i Figur 23, är ungefär lika stor för varje sträcka och hastighet. Sträcka G2 avviker något, men vi väljer att inte behandla sträckan som en avvikare. Gränsen 0,50 vid 70 km/h är redan bestämd och hanteras som att den är bestämd inklusive variationen mellan upprepade mätningar och därmed vald som en nedre gräns inklusive mätbrus. Mätningarna är gjorda i 40, 60 och 80 km/h. Därför beräknar vi ett 70km/h värde som medelvärde av 60 och 80 km/h.



Figur 22 Medelfriktionsvärde (5 upprepade mätningar) från 3 olika hastigheter på 10 olika vägytor med SFT.



Figur 23 Standardavvikelser från 5 upprepade mätningar i 3 hastigheter på 10 olika vägytor.

För varje sträcka får man ut ETT värde på skillnaden i friktion vid 40 km/h och genomsnittsskillnaden som representerar 70 km/h. Det blir 10 sådana värden, ett per sträcka (Tabell 2).

Tabell 2 Genomsnittsskillnader mellan 40 och 70 km/h.

A	C1	E1	E3	G0	G1	G2	G22	L2	M2
0,096	0,122	0,031	0,109	0,073	0,094	0,080	0,099	0,066	0,056

De uppträder inte med någon tydlig skevhet, utan snarare som snällt fördelade. Sammanfattningsvis har dessa värden medelvärdet 0,083 och standardavvikelsen 0,027. Man skulle kunna sätta gränsen vid 40 km/h att vara 0,583 genom att ta 0,50 och addera medelvärdet enligt tabellen ovan, men det kan vara för högt då det enbart är baserat på medelvärde. Antagligen är det bättre att söka en nedre gräns genom att välja det lägsta värdet i Tabell 2. Dock kan $0,50 + 0,031$ vara lite väl försiktigt. En bedömning av lämpligt värde med detta material som underlag hamnar någonstans mellan 0,53 och 0,58. Därför föreslår vi 0,55 vid 40 km/h som ett lämpligt värde att motsvara 0,50 vid mätastigheten 70 km/h.

6. Särskilda hänsynstagande till vissa fordon och ytor; gång och cykelvägar, motorcyklar och vägmarkeringar

6.1. Gång- och cykelvägar

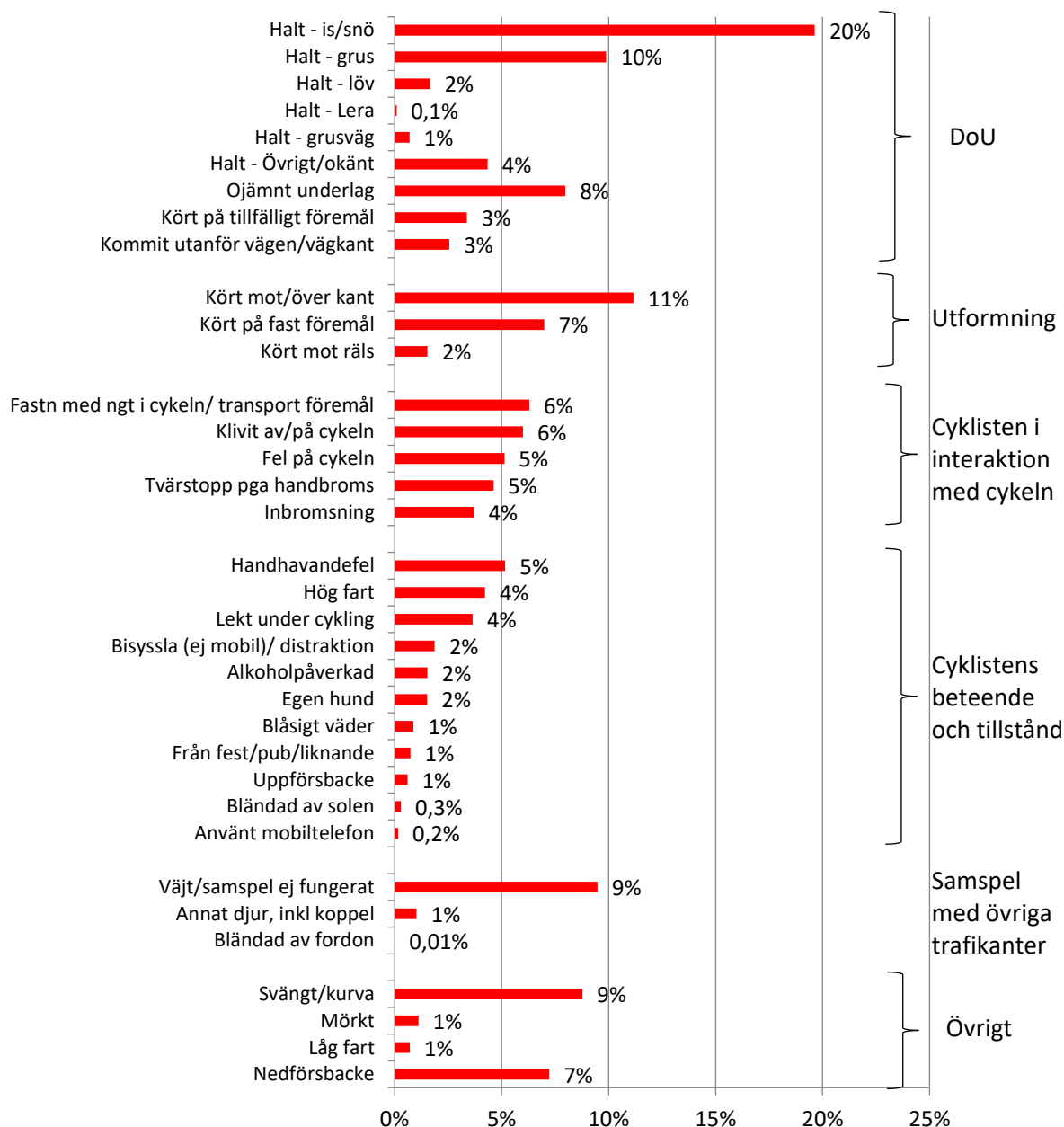
6.1.1. Friktionskrav för fotgängares och cyklisters säkerhet

För gång- och cykelvägar gäller samma krav på friktion som för övriga belagda ytor, dvs. att medelvärdet av friktionstalet över en 20-meterssträcka inte får understiga 0,50 mätt med Surface friction tester vid barmarksförhållanden (Trafikverket, 2015-h och 2015-g). Som tidigare nämnts är det oklart vad ursprunget är till det kravet, men för standardkrav på gång- och cykelvägar gäller i regel att man utgått ifrån gällande krav på bilvägar och inte utifrån effekten för gång- och cykeltrafiken (Niska, 2011). Motivet brukar vara att man önskar samma standard på gång- och cykelvägen som den intilliggande bilvägen, för att undvika att fotgängare och cyklister ska välja bilvägen istället.

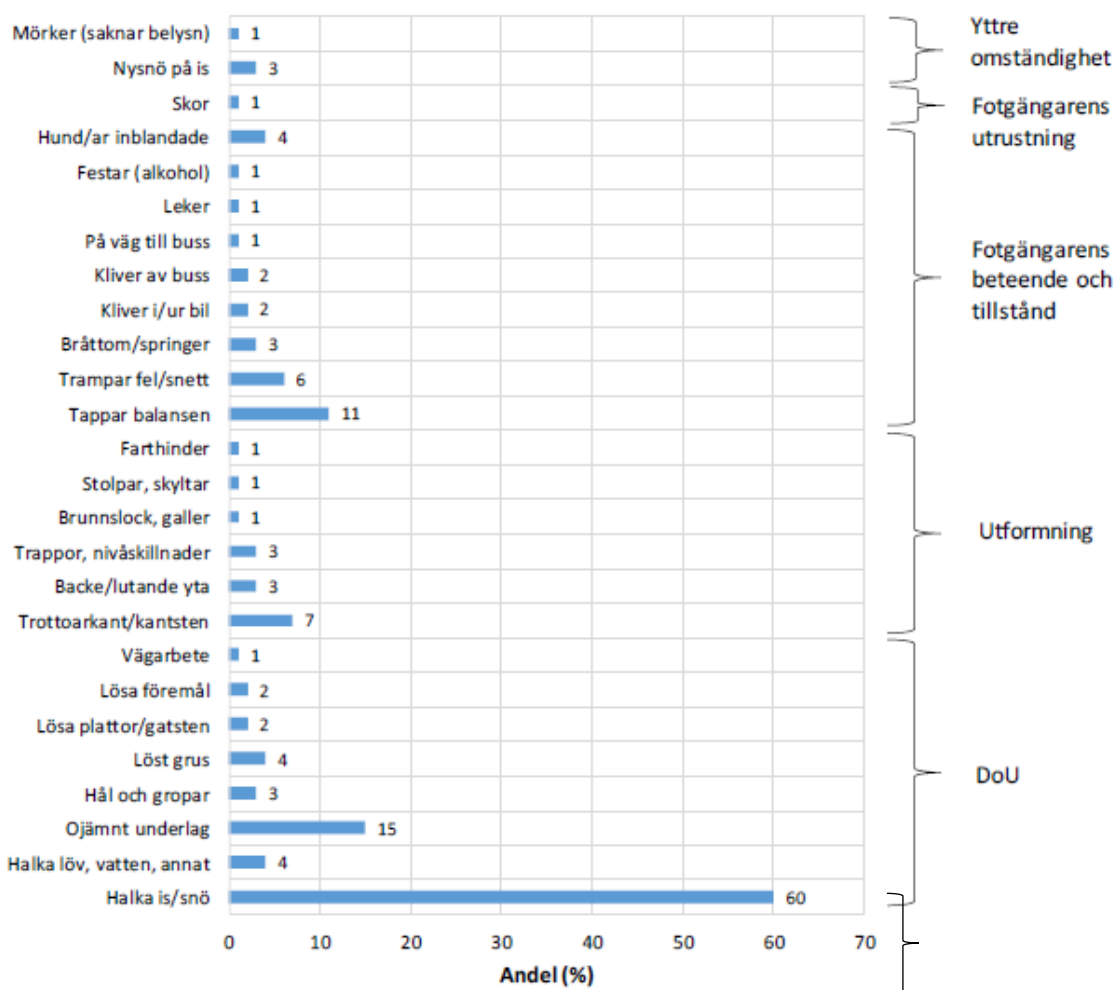
Det är svårt att säga om det finns anledning att ha ett annat friktionstal som kravgräns på gång- och cykelytor. Däremot kan det vara motiverat att omvärdera om det är relevant att friktionstalet ska motsvara medelvärdet på en 20-meterssträcka. Troligtvis ska medelvärdet gälla för kortare sträckor än så och kraven bör på något sätt begränsa den variation i friktion som kan tillåtas på gång- och cykelytor, vilket diskuteras vidare i avsnitt 8.1.10.

Det är hur som helst tydligt att friktion är en mycket viktig funktionsparameter för säkerheten för både cyklister och fotgängare. Åtta av tio cyklister som skadas allvarligt i trafiken skadas i en singelolycka (Niska & Eriksson, 2013, Trafikverket, 2014). Halka är den vanligaste enskilda olycksorsaken (Figur 24). Självklart är största delen av dessa (44 %) under vintervägsförhållande och av resten är den största delen (20 %) på grund av rullgrus och ca 12 % av annan orsak (löv, grusväg m.m.). För fotgängare gäller att hela 96 procent av de som skadats allvarligt i trafiken har skadats i en fallolycka (Berntman, 2015) och halka är den klart dominerande enskilda olycksorsaken (Figur 25). Här ser man att av olyckorna handlar ca 60 % om halka vid vintervägsförhållanden och ca 4 % om annan halka. Man kan sammanfatta detta med att, trots allt, utgör halkolyckor bland gångare och cyklister under barmarksförhållanden en relativt liten andel av de rapporterade olyckorna.

Dessutom är nästan alla halkolyckor bland fotgängare och cyklister relaterade till drift och underhåll snarare än till konstruktionen. Det är alltså i regel inte beläggningssytan i sig som leder till halka, utan is och snö, vatten, löv, grus, lera och smuts på ytan som gör att cyklister förlorar väggreppet eller att fotgängare halkar omkull. Valet av ytmaterial kan emellertid ha stor betydelse för hur mycket friktionen påverkas vid väta, nedsmutsning eller låga temperaturer, se avsnitt 6.1.4.



Figur 24 Vanligt förekommande enskilda orsaker till cyklisters singelolyckor med allvarlig skada som följd. Procentsatserna summeras inte till 100, eftersom varje olycka kan förklaras av flera orsaker – exempelvis tappat balansen på grund av en gropig väg med is isbeläggning i nedförsbacke (3 orsaker) eller väjt för ett fordon och då åkt in i en trottoarkant (2 orsaker), osv. Källa: VTI rapport 801 (Niska och Eriksson, 2013).



Figur 25 Vanligt förekommande enskilda orsaker till fotgängares fallolyckor med allvarlig skada som följd. Procentsatserna summeras inte till 100, eftersom varje olycka kan förklaras av flera orsaker. Källa: Berntman, 2015.

6.1.2. Vad är tillfredsställande friktion för en cyklist/fotgängare?

Utifrån den olycksstatistik som finns är det omöjligt att säga vad friktionen varit vid olyckstillfället då en cyklist eller en fotgängare skadats på grund av förlorat väggrepp. Hur hal en vägyta upplevs beror på friktionen mellan vägen och däckets, eller skon och det är mycket svårt att sätta ett mått på halka. I ett projekt finansierat av Länsförsäkringsbolagens forskningsfond utvärderades olika cykeldäcks friktion på is (Hjort och Niska, 2015). Studien visade att det finns avsevärda skillnader mellan odubbade och dubbade cykeldäck men även att det är signifikanta skillnader mellan cykeldubbdäck av olika fabrikat och antal dubb. Några jämförande studier mellan olika cykeldäcks friktion på barmark har ännu inte gjorts, men det är rimligt att tro att det även där kan finnas ganska stora skillnader på fabrikat, däckets ålder och slitage, etc. För att vara på den säkra sidan bör man ha ett friktionsvärde som tar hänsyn till "worst case". För fotgängare har gjorts och görs en del studier rörande interaktionen mellan skosulor- och golvmaterial. Tidigare fanns ett så kallat gångtestlaboratorium på VTI där Strandberg med flera. (1985) gjorde kontrollerade studier av gångfriktionen. I samband med dessa tester utvecklades den så kallade PFT:n, se avsnitt 3.2.2. En yta med ett friktionsvärde på 0,2 klarade man att gå på utan att halka, men då man blev störd av en plötslig oväntad händelse tappade man kontrollen.

I en tidigare f.d. Vägverkets råd/krav-dokument, DRIFT 96 (Vägverket, 1996), sätts gränsvärdena för begreppen tillfredsställande friktion, halka och svår halka enligt Tabell 3. Gränsvärdena gäller generellt för alla trafikerade ytor och utgår liksom friktionskraven vid barmarksförhållanden sannolikt ifrån bilars prestation. Huruvida dessa värden också är relevanta för cyklister och fotgängare är oklart. I ett forskningsprojekt finansierat av Skyltfonden/Trafikverket har vi tittat närmare på vad som definierar halka utifrån en cyklists och en fotgängares perspektiv och då också diskuterat lämpliga friktionskrav men utan att kunna fastslå några tydliga gränsvärden (Niska, Blomqvist & Hjort, 2018). För det krävs fortsatt forskning.

Tabell 3. Friktionsklasser enligt DRIFT 96 (Vägverket, 1996). Värdet för friktionstalet avser medelvärde över en 20-meterssträcka, mätt med Surface Friction Tester eller dylikt.

Klass	Friktionstal
Tillfredsställande friktion	$\mu \geq 0,25$
Halka	$\mu < 0,25$
Svår halka	$\mu \leq 0,15$

För cyklister är det framförallt i kurvor som låg friktion kan bli ett problem. Den maximala lutningen av en cykel, utan att pedalen slår i marken och som de flesta cyklister klarar av, är 25 grader (Shepherd, 1994). En 25-graders lutning på en cykel motsvarar en kurvradie på minst 15 meter vid 30 km/h. (AASHTO, 1991) rekommenderar en minsta kurvradie på 28 meter (95 ft) vid 32 km/h (20 mph), med resonemanget att den minsta kurvradie som en cyklist kan hantera, är en funktion av cykelvägens skevning, friktionen mellan cykelns däck och vägytan, cykelvägens yta och cykelns hastighet, enligt följande formel:

$$R = \frac{V^2}{15(e + f)}$$

där R = minsta radie (ft)

V = hastighet (mph)

e = skevningen

f = friktionskoefficient

Skevningen varierar från 2 procent, vilket är minimum för att klara vattenavrinningen, till ca 5 procent. En större skevning ger manöverproblem för långsamma cyklister. Friktionen är beroende av typ av yta, textur, ytans kondition, typ och kondition av cykeldäck och om ytan är torr eller våt.

6.1.3. Friktionsmätning på gång- och cykelytor

Trots att det finns ett friktionskrav som ska uppfyllas, är det mycket ovanligt med kontrollmätningar av friktionen på gång- och cykelvägar i Sverige. De friktionsmätningar som genomförs görs främst i forskningssyfte och då vanligtvis för utvärdering av vinterdriftåtgärder och inte för att mäta friktionen på nylagda gång- och cykelytor. I Norge är det betydligt mer vanligt med rutinmässiga friktionsmätningar på cykelytor, men även där är det främst fokus på uppföljning av vinterväghållningen (t.ex. Råkilä, 2015, Kroken, 2014) och inte nylagda ytor.

Då uppmätta friktionstal är starkt relaterade till mätmetoden, är det mycket viktigt att i standardkraven specificera vilken mätmetod som ska användas för att säkerställa att gällande friktionstal uppnåtts. Kravet som säger att medelvärdet av friktionstalet på en 20-meterssträcka på en gång- eller cykelbana inte får understiga 0,50 vid barmarksförhållanden gäller för mätning med Surface Friction Tester. Som

beskrivs i avsnitt 3.2.2 finns PFT som också kan användas för friktionsmätning på gång- och cykelväg. PFT:n har använts för friktionsmätning på gång- och cykelvägar i ett flertal forskningsprojekt (Bergström, 2002; Niska, 2013; Niska och Blomqvist, 2015) och har då visat sig vara ett värdefullt instrument, framförallt för jämförande friktionsmätningar. Upprepade mätningar visar på god repeterbarhet och att det tydligt går att identifiera delsträckor med lägre friktion. De med PFT:n uppmätta friktionsvärdena stämmer också mycket väl överens med den maximala laterala friktionen som är tillgänglig för ett cykeldäck, åtminstone för vissa typer av ytor (Niska, Blomqvist & Hjort, 2018).

6.1.4. Friktionssänkande faktorer på gång- och cykelytor

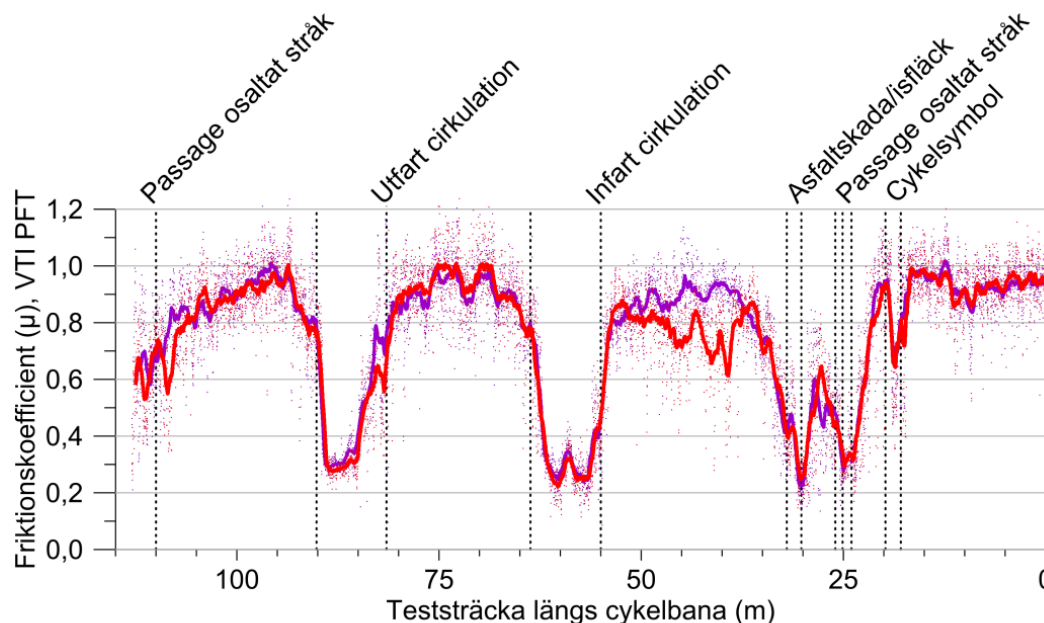
På rena ytor av asfalt, är friktionen i princip aldrig så låg att den leder till förlorat väggrepp för fotgängare och cyklister. Däremot kan andra typer av beläggningar som exempelvis marksten, plattor och trädäck ge en sänkning av friktionen under vissa förhållanden. Släta markstenar, betongytor och trädäck kan ge låg friktion vid väta, annars är det framförallt vintertid som den lägre friktionen uppstår på dessa ytor. Förutom att texturen skiljer sig åt mellan olika beläggningsmaterial, kan de också ha olika termiska egenskaper vilket innebär att vissa material exempelvis kan ha en frostutfällning på ytan samtidigt som andra material inte har det, se Tabell 4.

Tabell 4. Skillnader i friktionsvärden mellan olika typer av beläggningar, enligt mätning med PFT:n utanför VTI:s entré. Källa: Forskning och Framsteg (2006).

Typ av yta	Beläggning	Friktionsvärde
Trottoar, vid busshållplats	grå marksten	0,25
Cykelbana	röd marksten	0,26
Cykelbana	gatsten	0,31
Kontorsentré	smågatsten	0,34
Trottoar	grå marksten	0,35
Trottoar	asfalt	0,37
Gata vid busshållplats	asfalt	0,64
Bussgata	asfalt	0,67
Cykelbana	asfalt	0,68

Friktionsmätningar med PFT:n som VTI genomfört i Stockholm för att utvärdera sopsaltning – en metod för vinterväghållning av cykelvägar (t.ex. Niska och Blomqvist, 2015) – har också visat att friktionen kan variera mycket längs en cykelväg under vintern, se Figur 26. Förutom att förekomsten av snö och is påverkar friktionen negativt ger vägmarkeringar, brunnslöck och avvikande beläggningar också en lägre friktion än ytor av asfalt. Särskilt uppmärksammat blev den låga friktionen som uppmättes på rödfärgade cykelpassager i korsningar med biltrafiken. Tidigare har en röd termoplastisk beläggning liknande den som används för övriga vägmarkeringar lagts på cykelpassagerna, men nu läggs istället en röd kallplast. Utifrån vidare studier, är våra slutsatser att det främst är på rödfärgade cykelpassager där biltrafiken har hunnit slipa och polera ytan som friktionsproblem kan uppstå, framförallt i samband med is- och snövägslag. Friktingsmätningar gjorda på rödfärgade cykelfält och på separerade cykelbanor igenom gång- och cykeltunnlar i Stockholm (Niska, Blomqvist & Järskog, 2016) samt på cykelpassager i Linköping (Niska, Blomqvist & Järskog, 2017) har inte visat på samma fenomen med väsentligt lägre friktionsnivåer än omgivande ytor.

För cyklisternas säkerhet är det viktigt att informera om var halka kan uppstå. För väghållaren är det också viktigt att känna till dessa partier för mer riktade halkbekämpningsinsatser, men också för att genom utformnings- och konstruktionsåtgärder minska risken för att halka ska uppstå.



Figur 26. Uppmätt friktion längs en 115 meter lång sträcka av en cykelväg där VTI gjort mätningar med PFT:n för utvärdering av en ny metod för vinterväghållning i Stockholm. Väglaget var i huvudsak fuktig barmark med en vägtemperatur på -10 °C. De lila och röda prickarna visar varje enskilt uppmätt friktionsvärde, vilket registreras av PFT:n ungefär varannan centimeter, medan de lila och röda linjerna visar ett en meter långt glidande medelvärde.

6.2. Motorcykel

Motorcykel och mopeder har bara två hjul och kräver därför särskilda behov för kontakten mellan däck och vägbana jämfört med bilar. Vidare är motorcyklar bakhjulsdrivna. Motorcyklar är betydligt lättare än en bil och har kraftiga motorer som betyder att de har en stor kraftutväxling mot vägbanan via endast ett hjul. Motorcyklar lutar vid passage av en kurva och utsätts då för en centrifugalkraft som kräver tillräcklig friktion och geometri/tvärlutning. Enligt (Rose med flera, 2014) finns det tre begränsningar hur fort en motorcykel kan passera genom en kurva, tillgänglig friktion, geometrin samt förarens skicklighet. Dessa faktorer kan motivera att man vid förarutbildning samt vägdesign och utformning tar extra hänsyn till dessa faktorer. Sveriges Motorcyklister (SMC) pekar också på risken med rullgrus på vägytan (Säkrare vägar och gator för motorcyklister, 2017).

European Road Federation (ERF) tillsammans med Federation of European Motorcyclists' Associations (FEMA) påpekar vikten av att vägmarkeringar hålls i god kondition. En möjlig slutsats för att ta hänsyn till motorcykelkrav är ha kortare redovisningslängder till exempel 5 meter istället för 20 meter. Det betyder i praktiken med bibehållet gränsvärde att flera avsnitt kan komma att underkännas som tidigare "mildrades" vid medelvärdesbildning till 20 meter. Betydelsen av detta måste utredas. Men mera viktigt än kortare presentationslängder är nog att hantera riskerna med grus på vägen, hala vägmarkeringar och blödningsar. Vi har inte funnit särskilt många vetenskapliga undersökningar som dokumentera sådan forskning eller utredning. Slutsatsen blir att mera aktuell forskning som behandlar motorcyklars speciella krav på svenska vägar/vägbeläggningar behövs innan rekommendationer kan göras.

6.3. Vägmarkeringar

I Sverige används en rutin att säkerställa nya vägmarkeringars funktion till exempel friktionsegenskaper. En liknande rutin för vägmarkeringar som *är i bruk* är på gång. Vägmarkeringens friktion ska mätas antingen via en mobil metod (prediktering via en formel med uppmätt retorreflektion och makrotexturen som ingående parametrar (TDOK 2013:461) eller med statisk mätning enligt (TDOK 2013:0462) som i sin tur hänvisar till mätning med en friktionspendel eller PFT. I VTI notat (Fors C. med flera., 18-2016) är slutsatsen att det är svårt att mäta friktion på vägmarkeringar och att olika friktionsmätare ger olika resultat. Man föreslår att PFT används med metoden Brittiska Pendeln som alternativ. Det behövs en uppdaterad metodbeskrivning och i förlängning en standardbeskrivning för mätning med PFT för att möta dagens krav. Inte bara motorcyklar utan också framtidens trend mot självstyrande fordon som utnyttjar vägmarkering ställer nyare krav. För närvarande hänvisas till (Wälivaara, bilaga E, 2007), som metodbeskrivning. Från 2019 finns en ny metodbeskrivning för PFT (Sjögren, 2019).

Sammantaget i de referenser vi studerat nämns friktionstal mellan 0,45 och 0,52 som gränsvärden för vägmarkeringars friktion men inget fastställt finns. Vi anser att det är lika viktigt att alla ytor såsom körfält, körbana och vägmarkering bör ha samma gränsvärde om de trafikeras med samma förutsättning till exempel tillåten hastighet. Därför är det rimligt att ha samma krav på vägmarkeringen som intilliggande vägyta, dvs. friktionstalet 0,50 som vi rekommenderar för vägytor. Detta ska inte innebära några större konsekvenser, möjligen kommer några få fler vägmarkeringsytor bli underkända. Det har inte gått att hitta någon rapport som ger bra underlag för olycksrisk och friktionsnivå hos vägmarkeringar. Rapporterna COST 3331 (1999) och Brundell-Freij (1999) understryker svårigheten i att göra olycksstudier och mäta effekten av åtgärder. Man verkar vara enig att en bra vägmarkering ökar komforten och framkomligheten och därmed medför en viss hastighetsökning. En möjlighet är att göra studier i en körsimulator av vägmarkeringar med olika egenskaper.

6.4. Blödande beläggning

Med blödande beläggning menas avsnitt där ett önskat överskott av bindemedel har trängt upp till ytan, se Figur 27. Nylagda vägar kan ha en "fet" svart beläggning i starten som ganska snart slits bort. Det är på vägar i bruk som blödning kan ske vid speciella förhållanden, till exempel vid varmt väder eller dåligt utförd beläggning (felaktig fördelning av bindemedel och aggregat) som inte upptäckts vid nybyggnationskontrollen. Särskilt avsnitt där repaving/remixing (en metod där en viss del av den gamla beläggningen blandas in i den nya vid läggningen) används kan man ha en osäkerhet i fördelningen av stenmaterial och bitumen och råka ut för en blödning. Normalt sker blödningar främst på vägar med ytbehandling. Ytbehandling innebär att man först sprider ut bindemedlet och därefter lägger på stenmaterialet och välter för att ballasten ska orienterar sig och ge en homogen yta (stenmosaik).

Man talar också om svärtning som är en önskad grad av uppträngande bindemedel. Svärtning innebär att beläggningssytan blir svart utan att för den delen blir extra hal. En bra svärtning innebär att man kan urskilja aggregaten trots svärtan. Att upptäcka blödningar i en årlig övervakning är inte rimlig. Här behövs och finns möjligheter att utveckla hur man ska hitta farliga avsnitt.



Figur 27 Exempel på en vägyta på gränsen till blödning. Foto: Nils Gunnar Göransson, VTI.

7. Omvärldsbevakning gällande friktionskrav och mätmetoder

Ingen gemensam strategi för övervakning och hantering av friktionsfrågor som halk- och sladdrisk finns i Europa, ofta inte ens inom en nation. Däremot anses, i nästan hela Europa, halkrisk som en viktig egenskap att övervaka och hantera. Flera stora internationella projekt har genomförts genom årens lopp; 1992 gjorde PIARC en jämförelse av mer än 30 friktionsmätare på testbana. Andra europeiska projekt var VERT, Vehicle Road Tyre Interaction in Potential Dangerous Situations 2002–2005, Hermes 2006 där man planerade ett International Friction Index, Tyrosafe 2008 som gjorde flera översikter över läget i Europa och Rosanne som har utvecklat ett underlag för att kunna standardisera europeisk friktionsmätning. Rosanne avslutades 2016.

Gällande övriga världen kan nämnas ett arbete utfört av PIARC. I en rapport (PIARC, 2016) som handlar om vilka parametrar man använder för att uppskatta en beläggnings livslängd kan man se att 16 av 22 länder, som svarade på förfrågan, rutinmässigt använder friktionsdata för att avgöra när en väg ska åtgärdas, se Tabell 8. Vidare finns i Bilaga 3 en sammanställning över använda nationella och internationella standarder i olika länder hämtat från EU-projektet Tyrosafe. Informationen gäller fram till år 2008.

7.1. Friktionsmätare i Europa

Det finns många friktionsmätare i bruk runt om i Europa. I PIARC (2016-a) beskrivs flera av dessa. De viktigaste att nämna är SCRIM (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine), som är ett vanligt mätsystem med snedställt mätjul (däck av typ motorcykel, 3*20 tum, monterat 20 grader mot färdriktningen och med ett vertikalt tryck av 2000 N) som ofta används i övriga Europa, till exempel i England och Frankrike. Samma mätsystem men med ett annat däck används i Tyskland och Holland men kallas då SKM (SeitenKraft Messverfahren). Mera om andra friktionsmätare finns beskrivet i kapitel 7. I det europeiska standardiseringssamarbetet inom CEN pågår arbete med att standardisera dynamiska friktionsmätare och deras respektive friktionstal. Man vill förenkla standarden och koncentrerar sig på två principer i framtiden, en för longitudinell bromskraft och en för sidkraftkännande system.

7.2. Europeiska standarder rörande friktion på väg

Arbetet rörande en harmoniserad standard för vägfriktion har pågått länge. För närvarande finns i huvudsak endast 13 tekniska specifikationer. Där tas följande system upp (i alfabetisk ordning): ADHERA; BV11 och Saab Friction Tester; GripTester; RoadSTAR; ROAR DK; ROAR NL; RWS NL Skid Resistance Trailer; SCRIM; Skiddometer BV8; SKM; SRM; Tatra Runway Tester.

7.3. Tyrosafe, ett EU projekt

Det EU finansierade projektet Tyrosafe (2008) gjordes en inventering av läget rörande nationella strategier i Europa 2008, se bilaga 1. Här kan man se om det finns en nationell och/eller referens till en internationell standard. I Tabell 8 kan man se att minst 10 europeiska länder (av de tillfrågade) använder rutinmässigt friktionsparameter som egenskap för att avgöra en beläggnings tillstånd. Sverige använder inte rutinmässigt någon friktionsparameter idag för beräkning av beläggnings återstående livslängd. Sverige har dock generella gränsvärden för tillåten friktionsnivå. Projektet Tyrosafe har producerat en hel del dokumentation som kan hämtas via http://tyrosafe.fehrl.org/?m=49&id_directory=977 (

7.4. Storbritannien

I England delar man in vägar och vägavsnitt i olika kategorier enligt Tabell 5 och bestämmer undersökningsnivåer uttryckta i friktionsvärden för dessa avsnitt. I England används mätsystemet SCRIM. Undersökningsnivåerna representerar en gräns, där friktionen anses tillfredställande om den

är högre, men vid lägre eller lika värden krävs en undersökning. Nivåerna kontrolleras i ett rullande schema enligt givna regler i regelverket (Design manual for roads and bridges, 2015)

Tabell 5 Vägavsnitt i England och respektive undersökningsnivåer för friktion.

Category and definition	Skiddata speed corrected to 50 km/h and seasonally corrected							
	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
Motorway								
Non-event carriageway with one-way traffic								
Non-event carriageway with two-way traffic								
Approaches to and across minor and major junctions, approaches to roundabouts and traffic signals								
Approaches to pedestrian crossings and other high-risk situations								
Roundabout								
Gradient 5-10 % longer than 50 meter								
Gradient >10 % longer than 50 meter								
Bend radius < 500 meter-carriageway with one-way traffic								
Bend radius < 500 meter-carriageway with two-way traffic								

7.5. Nederländerna

Holland har nyligen bytt mätsystem från longitudinell bromskraftprincip, som i Sverige, men med 86 % slip (CEN TS 15901-2) till att kräva ett system med snedställt hjul. Man har valt SKM vilket är en SCRIM, men har bland annat en annan specifikation för däckets än traditionell SCRIM metod. Valet beror på att man vill använda system som finns på marknaden och vara mer oberoende av egen tillverkning. Man räknar med att man sänker kostnaden genom att utnyttja marknaden och konkurrens. Vidare menar man att valet av SKM möjliggör datautbyte med nio andra europeiska länder som också använder denna princip. Man tänker ha en årlig övervakning av tillståndet och dessutom använda metoden vid garanti och acceptanskontroller i kontrakt. Man har gjort jämförande mätningar, mellan den nya och gamla metoden, på 6 000 kilometer huvudvägar och ett 20-tal 2 kilometer långa sektioner på mindre vägar. Enligt kontakt med Rijkswaterstaat, (Frank Bouman) gäller följande gränsvärden på huvudvägar i Holland (Tabell 6).

Tabell 6 Gränsvärde för friktion i Holland.

	Gränsvärde för friktion i Holland på huvudvägar (Normen stroefheid NL HWN)		
Mäthastighet/meetsnelheid	40km/h	60km/h	80km/h
Dränerande beläggning ABD/ open deklaag	0,57	0,54	0,51
Tät beläggning, ABT, ABS/ dichte deklaag	0,63	0,57	0,53

7.6. Tyskland

Tyskland (BAST) använder en SKM (CEN TS 15901-8) för övergripande friktionsmätningar därutöver finns Griptester och british pendulum mätaren. Kvalitetskontrollen består av krav på att mätbolaget har en egenkontroll som utförs varje månad, en kontroll vid BAST var tredje månad samt en årlig kontroll då man jämförs mot BASTs referensmätare. Man kräver också att operatören har certifikat som visar att han är tränad att köra mätsystemet. Gränsvärden för acceptans vid nybyggnadskontroll och garanti efter 4–5 år samt gränsvärden för generell uppfyllnad hos vägnätet kan ses i Tabell 7

Tabell 7 Gränsvärden för friktion (SKM) i Tyskland (100 meters medelvärden)

Mätfart	Nybyggnadskontroll	Efter 4–5 år
80	0,43	0,40
60	0,48	0,45
40	0,53	0,49
	Vägnät, varningsnivå	Vägnät, gränsvärde
80	0,39	0,32
60	0,44	0,37
40	0,49	0,42

7.7. Norden

7.7.1. Norge

På grund av incidenter orsakade av låg friktion startade man i Norge ett arbete med att utarbeta tydligare rutiner för uppföljning av friktion på sommarvägar. Några åtgärder är att regelbundet mäta friktionen hos ett urval av vägar. Riktlinjer för urvalet är avsnitt där man misstänker låg friktion utifrån olycksrapporteringar, ett urval av nylagda sträckor, där makrotexturen är lägre än 0,5 mm, alla betongvägar samt ett urval av representativa vägavsnitt med olika beläggningskaraktär. Direkta åtgärder då risker upptäckts är att genast skylta för låg friktion samt överväga hastighetssänkning. All mätdata sparas i vägdatbanken. Norge följer upp friktionskraven som finns i driftkontrakt. Åtgärder ska göras då friktionsvärdet är mindre än 0,40 uppmätt på vått underlag (vattenfilm 0,5 mm), med 18 % fast slip och vid en fart av 60 km/h. Om vägen är skyltad för högre hastigheter än 80 km/h är gränsen 0,50. I Norge finns en mätare som är riksreferens och fem regionala referensmätare som stäms av mot riksreferensen. Därutöver finns godkända mätare från marknaden som ”kalibreras” mot de regionala referenserna. Entreprenörerna sköter mätningen och beställaren gör endast stickprovskontroller. Minst två upprepade mätningar måste göras för att konstatera om entreprenören har uppfyllt kraven. Referensmätsystemet kallas ROAR (Road Analyser and Recorder of Norsemeter) (Håndbok, 2014 och NVF, 2014). ROARs mätprincip är ett bromsat långsgående fullstort mät hjul (CEN TS 15901-5).

7.7.2. Danmark

Från och med 2016 används en ny mätutrustning kallad VIAFRIK (CEN TS 15901-14) i Danmark. Detta är en utrustning byggd i Norge av Via Tech AS. Från 1996 till nu användes friktionsmätaren ROAR (CEN TS 15901-5). Den nya mätaren kan mäta friktionen i båda hjulspåren och tack vare att utrustningen är monterad på en tung lastbil kan 6 000 liter vatten medföras och gör det därmed möjligt

att mäta våtfriktion på upp till 80 km väg (till skillnad från ROAR som bar 2 000 liter vatten). VIAFRIK mäter den longitudinella friktionen med ett mätjul av samma dimension som den svenska mätmetoden. Troligen används mätdäck av typen omönstrat ASTM. VIAFRIK använder mönstrade däck. Slipet hos VIAFRIK är 20 % och den vertikala belastningen är 1 200 N. Slipet hos VIAFRIK kontrolleras med elektronik vilket anses bättre än ROARs hydrauliska system (Vejdirektoratet, 2016). Enligt Vejdirektoratet (2014) sker 8–9 % av personskadeolyckorna vid vått underlag på motorvägar, på avsnitt där friktionstalet är under 0,5. Genom att öka friktionen med 0,1 enheter på avsnitt där friktionen är under 0,5 skulle man reducera olyckorna i vått väglag med 40 %. Enligt funktionskrav (Vejdirektoratet, 2012) ska friktionskoefficienten för asfalt vara högre än 0,50 vid tillåten hastighet över 80 km/h. Värdet ska vara ett medelvärde för 100 meter uppmätt vid hastigheten 60 km/h. Notera att dessa gränsvärden gäller uppmätt med en ROAR, vilket inte är direkt överförbart till de friktionsvärden uppmätta med VIAFRIK.



Figur 28 VIAFRIK, den nya danska friktionsmätutrustningen. Foto: Danish Road Directorate.

Tabell 8 Routinely measured parameters influencing expected service life (PIARC, 2016).

COUNTRY	SURFACE DEFECTS	FRICTION	EVENNESS	RUTTING	TEXTURE	BEARING CAPACITY	NOISE
Argentina	✓	✓	✓				
Australia							
Victoria	✓	✓					
Austria	✓	✓	✓	✓			
Belgium							
Flanders	✓	✓	✓	✓			
Canada							

COUNTRY	SURFACE DEFECTS	FRICTION	EVENNESS	RUTTING	TEXTURE	BEARING CAPACITY	NOISE
<i>Alberta</i>	✓		✓			✓	
<i>British Columbia</i>	✓		✓	✓			
<i>Manitoba</i>	✓		✓			✓	
<i>Nova Scotia</i>	✓		✓				
<i>Ontario</i>	✓		✓	✓			
<i>Québec</i>			✓	✓			
<i>Saskatchewan</i>	✓		✓			✓	
Chile		✓	✓		✓	✓	
China	✓	✓	✓	✓		✓	
Ecuador	✓		✓				
Estonia	✓		✓	✓		✓	
France	✓	✓	✓	✓			
Germany	✓	✓	✓	✓			
Japan	✓	✓	✓	✓			
Lithuania	✓		✓				
Norway	✓	✓	✓	✓			
Poland	✓	✓	✓	✓			
Portugal	✓	✓	✓	✓			
Slovakia	✓	✓	✓	✓	✓		
South Africa	✓		✓	✓	✓		
Spain							
<i>Asturias</i>	✓	✓	✓	✓			
<i>Castilla y León</i>	✓	✓	✓	✓			
Sweden			✓	✓	✓	✓	
Switzerland	✓	✓	✓	✓		✓	
Uruguay	✓		✓				

8. Diskussion

Här följer en sammanfattande diskussion och slutsatser om friktion och mätning kopplade till uppdragets specifika frågor.

8.1.1. Hur ser det ut i den närmaste omvärlden, till exempel Norden?

Mätmetoden för friktionsmätning på bilvägar med barmark som används i Sverige bygger på skidometerprincipen som började utvecklas av VTI i slutet av 1940-talet. Idag finns två företag³ som bygger och säljer Surface Friction Tester (SFT) som i huvudsak uppfyller de krav som hittills ställs av Trafikverket. Den främsta marknaden för dessa är flygfält (landningsbanor och taxibanor). I Europa är det SCRIM eller varianter av denna som främst används för bilvägar. Denna använder en annan princip med snedställt mät hjul och med större däck-dimension än SFT. Nederländerna har nyligen bytt mätsystem och då valt ett system motsvarande SCRIM, som används av grannländerna UK och Tyskland. Största anledningen är att inte vara oberoende av egen tillverkning. Danmark har också bytt och valt ett norskt koncept med två dubbla mätare monterade på en stor lastbil. Både Danmark och Nederländernas väghållare utför mätningarna i egen regi.

I avsnitt 4.4 finns underlag om friktionsnivåer i andra länder, i kapitel 7 finns underlag om teknik i andra europeiska länder inklusive Norden och i bilaga 4 finns underlag om friktionsstandarder i europeiska länder.

8.1.2. Finns det tydliga underlag för nuvarande gränser? Finns det anledning att ändra?

Det har inte gått att finna några bra underlag för befintliga gränsvärden, se kapitel 5 vilket nödvändigtvis inte betyder att de är felaktiga. I avsnitt 5.5 kan vi utifrån alla utförda friktionsmätningar 2015, se att 0,50⁴ är rimligt som gränsvärde. Att flytta gränsen uppåt till 0,60 skulle underkänna ca 25,5 % av 20-meterssträckorna i vårt material, se Figur 15. Om vi istället flyttar ner gränsen till 0,40 så blir nästan inga (0,6 %) underkända. Det är svårt att skapa en funktion med friktionstalet kopplat till olyckor då alltför många övriga faktorer påverkar för att kunna skapa en rättvisande sådan koppling.

I avsnitt 3 räknas flera faktorer upp som påverkar friktionen/väggreppet. Utöver dessa kommer sedan förarbeteende och skicklighet som i hög grad påverkar om en olycka uppstår eller ej. Den officiella rapporteringen av olyckor kan också vara osäker vad gäller orsaken till olyckan. Det är en självklarhet att ju halare yta och sämre väggrepp desto högre risk för olycka, och vid hög hastighet blir olyckan allvarligare. Generellt kan man säga att i Sverige är friktionen normalt sett tillräckligt bra på våra sommarvägar. Risker uppstår främst vid varma dagar då blödning uppstår och i samband med regn. Det är ganska osannolikt att detta fångas i en planerad rutinmätning, då dessa normalt endast sker få eller en gång per säsong. Istället måste man ta hand om detta vid dagliga inspektioner eller med hjälp av information från allmänheten.

Idag finns teknik i uppkopplade bilar som kan varna föraren och andra förare för halka. Det finns fler företag och biltillverkare som menar att deras system kan detektera friktion och halkrisk till exempel, www.niradynamics.se. Ett bekymmer är att dessa varningar ofta är knutna till ett företag eller enskilt bilmärke och inte fullt ut publikt. Tillgången, integriteten, juridiken och affärslösningen kan vara svåra hinder att lösa innan dessa blir fullt ut användbara. Annars skulle dessa kunna bli ett bra komplement och utnyttjas av väghållaren för att få ytterligare daglig information om läget.

³ Idag (2018) sammanslagna till ett företag.

⁴ Se avsnitt 8.1.9 rörande avrundning.

Makrotextur beskriver vägytans egenskaper och dess skrovlighet i storleksordningen av de ingående stenarna i beläggningen. Makrotexturen är viktig för väggreppet kopplat till ihakning och däckmönstret och vattenavrinning. En bra makrotextur behövs för att dränera och avvattna ytan och på så vis undvika vattenplaningsincidenter. Vi har tidigare konstaterat (Lundberg med flera., 2015) att makrotextur till en viss del kan användas för att skanna vägnätet för att hitta riskytor med låg friktion/dåligt väggrepp.

8.1.3. Ska det vara krav på friktionens maximalt tillåtna variation tvärs vägen?

Varierande friktion tvärs körfältet kan innebära problem för tunga fordon, men även för personbilar och motorcyklar och kan leda till att fordonet vid en plötslig händelse tappar kontrollen. Detta kan ske särskilt vid hög hastighet. Hittills känner vi dock inte till att någon sträcka underkänts på grund av kravet rörande varierad friktion i tvärlängd. Trafikverkets krav (internt krav) har varit att det inte får skilja mer än 0,25 mellan mätning i höger och vänster hjulspår. Huvudkravet är att friktionen inte får understiga 0,50 i något av dessa spår. Det betyder att tvärsvariationskravet blir aktivt endast i de fall då friktionen överstiger 0,50 i något spår och samtidigt är 0,25 större i det andra, till exempel vid ett friktionstal 0,55 i ett spår och 0,80 i det andra då blir sträckan underkänd trots att de enskilda spåren är ok. En reservation finns om man betraktar tunga fordon. Även om tunga fordon är speciellt utformade att klara "split friction" så har det i försök påvisats ökade risker, särskilt vid låg friktion se avsnitt 4.1. Hur stort detta problem kan anses vara i praktiken har vi inte utrett. I avsnitt med skarpa kurvor finns åsikter att särskilt friktionen i ytterspår är kritiskt. Man kan diskutera om det ska finnas särskilda krav vid skarpa kurvradier, som man till exempel tillämpar i England, se **Fel! Hittar inte referenskölla.** i avsnitt 7.4. En utredning behöver först göras för att bestämma vilka gränser som ska väljas. Idag, kan man säga, hanteras kontroll av kravet delvis av att det i mätinstruktionen specificeras att operatören ska vara observant och om misstanke om hala avsnitt utanför höger hjulspår misstänks ska dessa också mätas. Att mäta i flera spår samtidigt ökar kostnaden för övervakningen och komplexiteten vid mätning därför bör en utredning göras för att visa om eventuella fördelar kan motivera den ökade kostnaden.

Cyklister använder i större grad delar av hela ytan vid cykling jämfört med bilar som är mera spårbundna. Under barmarksförhållanden verkar det därför rimligt att ställa krav på att variationen i friktionen på en gång- eller cykelyta och att den inte får vara för stor.

8.1.4. Mätmetoder och tillämpning på olika typer av vägar och ytor

Friktionsmätning och utveckling av mätmetoder påbörjades tidigt (ca 1940 i Sverige, se avsnitt 5.1) och kraven samt ansvarsrollen har förändrats under åren till en idag privatiserad marknad (inkluderande hela Europa) som ska verka i konkurrens. Detta har inneburit att ansvaret för implementering av moderna krav och tillhörande teknisk utveckling har släpat efter. En utmaning vid val av mätmetod är hanteringen av att kombinera kvalitet och att specificera en funktion snarare än en viss tillverkare. Här kommer standardisering in som en viktig komponent. Standardiseringen gynnar global handel genom att skapa förutsättningar för rättvis konkurrens och enhetlig kvalitet. Det är dock en delikat uppgift att utforma en standard så att den inte hindrar framtida utveckling. Nedan finns en diskussion om tre områden, bilvägar, gång- och cykelvägar samt vägmarkeringar och målade ytor där friktionsmätning är aktuell, men där metoderna skiljer sig åt.

8.1.4.1. Bilvägar- Surface friktion tester (SFT)

Sedan länge har vi i Sverige använt en metod för friktionsmätning av bilvägar kallad Surface Friction Tester (SFT), se avsnitt 3.2. Ofta specificeras att denna också ska användas för gång- och cykelvägar vid upphandlingar. Om man byter ett mätsystem behövs omfattande försök för att fastställa nya gränsvärden. Detta gäller särskilt för friktionsmätning. På grund av så många påverkande faktorer ger andra mätare, se kapitel 7, nya friktionsnivåer och spridningar som inte enkelt kan "översättas" till

nuvarande SFT friktionsvärden. Det finns inga bra underlag som visar att vi bättre skulle kunna övervaka friktionen genom att byta mätsystem. Det är troligen bättre att avvakta utvecklingen tills det har tagits fram ett kontaktlöst mätsystem som kan täcka en större yta. Genom att göra kravspecifikationerna så tillverkaroberoende som möjligt, kan ändå olika leverantörer bli aktuella. Detta innebär dock att kontrollmetoden behöver utformas noggrant. Man bör också införa årliga tester och gemensamma kalibreringstillfällen med aktuella mätsystem, motsvarande vad som görs till i exempel Norge och Storbritannien.

8.1.4.2. Gång och cykelvägar samt speciella vägvägnitt-Portabel friktions mätare (PFT)

För närvarande gäller friktionstalet för ett medelvärde på en 20-meterssträcka mätt med Surface Friction Tester eller motsvarande. Då den mätutrustningen i praktiken inte används på gång- och cykelvägar och inte heller bör användas med hänsyn till hastighet och utrymmesbehov, behövs en alternativ mätmetod bestämmas och användas som utgångspunkt vid specifikationen av friktionskravet på GC vägar. Tillsviare föreslår vi en Portable Friction Tester, PFT, se beskrivning av PFT i avsnitt 3.2.2 och (Sjögren, 2019). Det är rimligt att medelvärdet ska gälla över betydligt kortare avstånd på GC vägar än 20 meter som gäller nu. Behovet av detaljnivå i längden på riskavsnitt är starkt kopplad till hastigheten. Med den relativt låga fart som cyklar använder är det rimligt att tala om medelvärde för 1 meter. Detta får följden att fler avsnitt blir underkända om man använder kravnivå 0,55 jämfört med medelvärde för 20 meter. Denna konsekvens måste utredas. Det är värdefullt att hitta enskilda 1-metersträckor som understiger 0,55, men frågan är om det är praktiskt möjligt att hantera 20 gånger mer data?

Med hänsyn till framförallt cyklisternas säkerhet finns det anledning att ha särskild uppmärksamhet på avsnitt som backar, kurvor, skymda avsnitt och andra utsatta platser. För bilvägar tar utformningen hänsyn till den teoretiska friktionen. Om det också görs för gång- och cykelvägar har vi inte undersökt. Värt att lyfta fram när det gäller gång- och/eller cykelvägar, är också att det är rimligt att friktionskraven även inbegriper ”vanliga händelser” för en yta – inte bara helt rena och torra ytor vid vägtemperaturer över noll grader. Kraven bör på något sätt ställas så att en yta som blir orimligt mycket halare i vått tillstånd eller vid temperaturer under 0 grader inte tillåts. Under vinterförhållanden kan det vara orimligt högt ställda krav eftersom man då i princip inte skulle tillåta minsta isfläck.

För de bilvägvägnitt där man av praktiska skäl inte kan mäta med SFT, till exempel på grund av begränsad hastighet, kan PFT användas. Denna används ofta för att mäta friktion på vägmärkningar och på gång- och cykelvägar. Eftersom PFT är handdriven kan den endast mäta kortare sträckor. Man kan konstatera att det saknas en lämplig metod som kan samla in friktionsdata från ett helt eller större delar av ett cykelvägnät. Vid en förfrågan, hos den europeiska gruppen för standardisering av vägyteegenskaper (CEN, TC227, wg5), om befintliga mätmetoder för friktion på cykelvägar framkom endast ett svar om en befintlig metod. Detta var en mini SCRIM, (se beskrivning av SCRIM i avsnitt 1.1), som togs fram och användes vid kontroll av cykeltävlingsvägarna vid OS i London, 2012. Mini SCRIM består av en mindre lastbil och kan inte anses lämplig för många av våra cykelvägar i Sverige på grund av både framkomlighetsskäl och för hög last på konstruktionen. En ny metod inklusive instrument behöver tas fram, inte minst då många kommuner satsar på och prioriterar ökad cykling och därmed utvecklingen av cykelvägar. Den ökade cykeltrafiken skulle kunna innebära fler olycksincidenter. Ett sådant instrument skulle också kunna vara tillämpligt på vägmärkningar. En miniminivå för friktionen behöver definieras och också övervakas. I nuläget används samma krav som för bilvägar på cykelbanor. För lite mätdataunderlag finns för att spekulera i en eventuell förändring. En uppdaterad metodbeskrivning för användning av system motsvarande PFT håller på att tas fram som ska täcka mätningar på vägmärkningar, gång- och cykelbanor samt andra speciella ytor.

8.1.4.3. Vägmarkeringar-Portabel friktions mätare (PFT) och pendeltest

Friktionsmätning på vägmarkeringar och målade ytor är ytterligare en utmaning. Särskilt vägmarkeringar som är profilerade. Då placeringen av vägmarkeringar vanligtvis är mitt i vägen eller i vägkanten så ställer det också krav på att mätmetoden ska klara att mäta på dessa helst utan att störa övrig trafik. Enligt Trafikverkets krav kan pendelmetoden, se en beskrivning avsnitt 3.2.2, användas eller PFT och alternativt en metod som kan visas fungera likvärdigt som en PFT. Det pågår utveckling av funktionskrav för vägmarkeringar där man testat och jämför metoder för friktionsmätning (Fors med flera., 2016). Resultatet är att det ännu inte finns en tillräckligt bra metod. Man hoppas på en mätare som antingen är kontaktlös eller en som fungerar enligt skidometerprincipen monterad längs sidan på en bil så att man lätt träffar vägmarkeringen.

8.1.5. Friktionsmätning vid nybyggnation

För alla nybyggda bilvägar och underhållsobjekt ska friktionen godkännas via mätning. Denna mätning sker för att inte släppa på trafik på ett undermåligt/farligt objekt. För ett underkänt objekt krävs att en åtgärd görs inklusive en återupprepad mätning för att godkänna objektet. Nylagda vägar kan ha en fet beläggning i starten som ganska snart slits bort. Möjliga åtgärder för att förbättra friktionen hos vägytan finns beskrivna i Trafikverkets dokument "Åtgärder vid friktionsproblem på belagda vägytor", (TDOK 2013: 0406). Tidpunkten när en mätning ska utföras visar sig vara viktig. I Arvidsson med flera. (2019) studerades friktionsnivåer för nya beläggningar och hur de förändras efter trafikpåsläpp. Studien visade att friktionen förändras relativt mycket från en hög nivå vid trafikpåsläpp. Friktionsnivån sjunker därefter i en till tre veckor innan den "stabiliserar" sig eller når en lägsta punkt. Studien bygger på mätning av fyra olika entreprenader, tre med ABS16 (asfaltbetong stenrik med 16 mm maximal stenstorlek) och en med ABT16 (asfaltbetong tät med 16 mm maximal stenstorlek). Det är beläggningstyper som normalt används på högtrafikerade vägar. Författarna rekommenderar därför att en kontrollmätning av en ny beläggning ska ske tidigast tre veckor efter åtgärd. Mättidpunkten bör regleras i entreprenadkontraktet vid såväl underhåll som investering.

Utöver mättidpunkt rekommenderar författarna att bibehålla samma rutiner som används idag för skyltning av nylagt vägavsnitt, varningsmärke A10 *Varning för slirig väg* i kombination med tilläggstavla *Vid regn*. Skyltarna bör sitta uppe tills en friktionsmätning visar att vägen har godkända nivåer.

Som beskrivs i avsnitt 3.1 så kan friktionen snabbt ändras under en dag men också efter en viss tid på grund av polering. Vid kontroll av nybyggnation mäter man enligt Trafikverkets TDOK 2014: 0134. I detta dokument specificeras att man delar upp objektet i delsträckor med en längd av 400 meter. Det är sedan tillräckligt att mäta delsträckor så att 30 % av hela mätobjektet täcks. Men ofta, i samråd med beställaren, så krävs det att hela objektet ska mätas. Vidare gäller att om något avsnitt av operatören bedöms att ha misstänkt dålig friktion ska detta också mätas. Mätning av höger hjulspår samt avsnitt som bedöms ha låg friktion är tillräckligt vid nybyggnation.

8.1.6. Friktionsmätning på vägavsnitt i bruk

8.1.6.1. Bilvägar

I avsnitt 3.1 finns mycket underlag till följande diskussioner. Det är på vägar i bruk som till exempel blödning, se avsnitt 6.4, kan ske vid speciella förhållanden, bland annat vid varmt väder eller dåligt utförd beläggning, som inte upptäckts vid nybyggnationskontrollen. Kravspecifikationen säger att avsnitt som bedöms dåliga av operatör, allmänhet eller andra ska mätas. Visuella inspektioner bör ske dagligen på risksträckor. Särskilt för avsnitt där repaving (en del av det gamla materialet återanvänds) används kan man ha en osäkerhet i fördelningen av stenmaterial och bitumen och råka ut för en blödning. Att upptäcka blödningar i en årlig övervakning är inte rimligt. Här behövs och finns möjligheter att utveckla metoder och strategier för hur man ska hitta farliga avsnitt snarast. Man kan

misstänka att stora skillnader i friktion tvärs vägen, ”split-friction-problem”, uppträder oftare på en använd väg än en nybyggd, men vi tror att huvudkravet att friktionen ska vara högre än 0,50 tar hand om detta. För MC är, som sagts i avsnitt 6.3 och 6.4, hala vägmarkeringar samt grus på vägen riskfaktorer. När en vägyta blivit äldre kan sprickor eller potthål uppstå. Dessa sprickor och hål behöver tätas vilket görs genom att först fylla hålet eller sprickan med grus och bitumen därefter förseglas ytan med bindemedel som ska grusas av för att få bra friktion. Kvaliteten på denna åtgärd kan variera och i vissa fall medföra halka. Att upptäcka detta kan bäst ske via dagliga inspektioner och rapportering från bilister.

8.1.6.2. Gång- och cykelvägar

För gång- och cykelvägar handlar risken för halka vid barmark oftast om förekomsten av rullgrus på ytan eller olyckligt val av beläggningsmaterial som i samband med till exempel regn och våt yta blir kraftigt sämre. Kunskapen om friktionsnivåer sommartid på gång- och cykelvägar är låg. Att mäta halka på grund av rullgrus kräver en ny metod. Friktionen på marksten och plattor kan mätas med PFT eller med en ny mobil metod.

8.1.7. Hastigheter vid mätning

8.1.7.1. Bilvägar

Enligt dagens regler gäller farten 70 km/h vid mätning med SFT och då gäller gränsvärde 0,50 per 20 meter. I cirkulationsplatser och städer (platser med skyltad hastighet under 70 km/h) kan man inte mäta i denna fart. Befintlig metodbeskrivning säger då att man ska använda skyltad hastighet, men ändrar inte på kravet 0,50. Eftersom det saknades underlag för att studera gränsvärdets variation med hastigheten beställdes av Trafikverket och Transportstyrelsen en studie av detta som redovisas i kapitel 5.5.3 och Bilaga 5. Kompletterande mätningar utfördes med upprepning i olika hastigheter på olika underlag och en hastighetskompensation har räknats fram för gränsvärdet. Utifrån denna studie rekommenderar vi en alternativ mätthastighet på 40 km/h, exempelvis för mätning på kommunala gator. Då ska istället gränsvärdet 0,55 vara gällande.

8.1.7.2. Gång- och cykelvägar

För gång- och cykelvägar föreslås mätning med PFT, vilken sker i gång fart. Här avvaktar vi utvecklingen av en ny fullt mobil metod.

8.1.8. Val av gränsvärden

8.1.8.1. Bilvägar

Det är oklart om nuvarande gränsvärde är det riktiga utifrån risk för olycka. Underlag till följande diskussioner finns i avsnitt 3.1 och 3.1.1. Efter en studie av de mätningar vi har tillgång till och en analys av frekvensfördelning för 20-meterssektioner kan man konstatera att fördelningsmässigt ser 0,50 bra ut. Om man sänker gränsen slås betydligt fler avsnitt ut som dåliga, utan att vi vet om det ökar risken i samma grad. Underlagen saknas eller är för få för att justera gränsvärdena.

8.1.8.2. Gång- och cykelvägar

Som nämnts tidigare i rapporten finns idag inte tillräckligt kunskapsunderlag för att slå fast vilket gränsvärde för friktionen som ska gälla för en nylagd gång- och cykelväg. Det gällande friktionskravet på 0,50 är troligtvis tillräckligt, men det är mer rimligt att använda gränsvärdet 0,55 som motsvarar det som diskuterades i avsnitt 5.5.3 att gälla för mätning med SFT i 40 km/h. Man ska komma ihåg att det oftast inte går eller bör mätas med en SFT på cykelvägar och att gränsvärdet 0,50 aldrig varit menat

för gång och cykelvägar. Eftersom dataunderlaget gällande friktionsmätning på gång- och cykelvägar i barmark är så bristfälligt, bör en studiegöras innan man fastställer ett slutligt gränsvärde.

Eftersom friktionstalet är starkt relaterat till mätmetoden behöver gränsvärdet anpassas med hänsyn till den mätmetod man väljer att vara gällande för gång- och cykelvägar.

Val av lämpligt redovisningsavstånd

Presentations- eller redovisningsavstånd är beroende av tillåten hastighet på sträckan. Till exempel hinner man 25 meter på en sekund om man kör i 90 km/h och ca 4 meter vid 15 km/h. Normal reaktionstid är 0,5 till 1 sekund, man åker alltså minst mellan 2 och 12 meter innan man gör en åtgärd. Hur stor yta med låg friktion och om den påverkar alla fyra hjulen samtidigt eller ej som påverkar en risk för sladd, är uppenbarligen utrett av bilfabrikanter som infört olika automatiska hjälpsystem som låsningsfria bromsar och antisladdsystem. En mer djupgående undersökning behövs för att utreda lämpligt redovisningsavstånd. Rimligt vore att ha ett kortare avstånd vid mätning på cykel- och gångväg, kanske mellan 1–5 meter. Även för motorcyklar finns numera låsningsfria bromsar och antisladdsystem, men kanske inte lika vanligt som för bilar. Eftersom motorcyklar endast har kontakt med två däck till vägbanan är de mera känsliga för halkrisk och det kan motivera en övervakning som täcker kortare sträckor.

8.1.9. Avrundningsregel för gränsvärden vid kravställning och mätning

Då det funnits en diskussion om angivande av gränsvärde och signifikanta siffror föreslås att följande regel används (motsvarar regler som används av Trafikverket vid upphandling av vägytemätningsjänst, vilket motsvarar regel B i (SIS 1982):

Avrundning sker alltid uppåt då värdesiffran efter de antal decimaler som avrundningen sker till är 5, 6, 7, 8 eller 9 och nedåt för 0, 1, 2, 3 eller 4, se exempel:

- avrundning av 0,455 till två decimaler görs till 0,46
- avrundning av 0,4549 till två decimaler görs till 0,45.

Avrundningen utförs till det antal decimaler som används i formuleringen av kravet, se exempel:

- om resultatet är 0,45 och kravet är $\geq 0,5$ så uppfylls kravet
- om resultatet är 0,45 och kravet är $\geq 0,50$ så uppfylls inte kravet
- underlag till ovanstående förslag finns i avsnitt 3.1 och 3.1.1.

8.1.10. Särskilda rekommendationer för att möta motorcykeltrafikens speciella krav

En möjlighet att fånga korta avsnitt med låg friktion som kan uppstå då vägar är lappade och lagade skulle vara att detaljera mätresultaten till var 5:e meter, se avsnitt 6.2. Att mätningar utförs oftare och frekventare är också av betydelse för de risker som finns då halka plötslig uppstår. Här kan metoder med uppkopplade bilar/fordon och rapportering från trafikanter (crowdsourcing) för att ge realtidsvarningar fylla en roll. Om dessa metoder används, är det viktigt att kvalitetssäkra dessa så att inte falsklarm eller skiftande kvalitet på varningen blir frekventa och urholkar förtroendet.

9. Rekommendationer avseende mätmetod, mått och gränsvärden

Utifrån det underlag vi har, rekommenderar vi att följande kan gälla vid nybyggnation på svenska belagda vägar, gator och gång- och cykelvägar samt vägmarkeringar vid barmarksförhållanden. En del av rekommendationerna svarar på Transportstyrelsens frågor om gränsvärden och mätmetoder medan andra är sådana som mera riktar sig till utföraren och väghållaren, Trafikverket:

1. Mätmetoder för bilvägar och gator ska vara ett mätsystem med skiddometer-principen som motsvarar Surface Friction Tester (SFT) med nuvarande specifikationer.
2. Mätsystemen ska vara kvalitetssäkrade och godkända och därför bör en kontrollmetod införas. Alla mätmetoder som används, särskilt vid kontroll av beläggningsutförande ska vara godkända via ett certifieringsförfarande.
3. För en effektiv övervakning av gång- och cykelvägnät behövs en ny mätmetod. Tillsviare föreslås PFT användas, tills en ny mer lämplig metod finns. En sådan metod bör även hantera riskerna med löst rullgrus.
4. För vägmarkeringar föreslås PFT som mätmetod eller SFT där det är möjligt.
5. Avsnitt som inte kan mätas med SFT kan mätas med PFT (Portable Friction Tester) till exempel på ramper och cirkulationsplatser.
6. Obligatorisk mätning på bilvägar ska ske minst i höger hjulspår. En undersökning behövs för att bestämma utformning och behov av friktionskrav tvärs vägen.
7. Tillsviare föreslås att behålla 20 meter som presentation- eller redovisningsavstånd. Det är rimligt att detta avstånd ska vara olika beroende på tillåten hastighet och använda fordonstyper. En undersökning behövs för att visa vilken längd som är lämpligast och vad konsekvenserna i så fall blir.
8. Mäthastighet vid mätning av bilvägar ska ske vid 70 km/h. För avsnitt som endast kan mätas i lägre fart till exempel i kommuner ska mätning ske i 40 km/h. Vid trafikplatser och liknande samt i städer och platser med skyltad hastighet under 70 km/h ska man mäta med hastigheten 40 km/h och då tillämpa ett gränsvärde på 0,55 (0,55 vid 40 km/h motsvarar 0,50 vid 70 km/h), se 8.1.7 och 5.5.3. Tillsviare föreslås gränsvärdet 0,55 mätt med PFT på gång och cykelvägar.
9. För bilvägar med en skyltad hastighet på 70 km/h eller mer bör krav på makrotexturen införas efter att man utrett konsekvenser och lämpliga krav.
10. Gränsvärde för godkänt avsnitt ska vara 0,50 eller högre, vid mätning i 70 km/h.
11. Gränsvärde för godkänt avsnitt ska vara 0,55 eller högre, vid mätning i 40 km/h.
12. Gränsvärde för vägmarkering bör vara 0,50 eller högre.
13. Gränsvärde för gång- och cykelvägar ska vara 0,55.
14. Avrundning sker alltid uppåt då värdesiffran efter de antal decimaler som avrundningen sker till är 5, 6, 7, 8 eller 9 och nedåt för 0, 1, 2, 3 eller 4.

Referenser

AASHTO, (1991), Guide for the Development of Bicycle Facilities

Arvidsson, A. K., Lundberg, T., Kalman, B., Ekström, C., Cruz del Aguila, F. & Eriksson, O. (2019). Friktions- och texturutveckling på nya beläggningar. VTI Rapport 992, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, Sverige.

Alzubaidi, H. (2005). Krav på det lågtrafikerade vägnätet – Kunskapsöversikt. Vägverket, Publikation 2005:59. Borlänge.

Bergström, A. (2002). Winter maintenance and cycleways. *Doctoral thesis, TRITA-VT FR 02:04*, Avdelningen för Vägteknik, Institutionen för byggvetenskap, Kungliga tekniska högskolan. Stockholm.

Bergström, A., Åström, H. & Magnusson, R. (2002). Friction measurements on cycleways using a portable friction tester. *Journal of Cold Regions Engineering*, American Society of Civil Engineering, vol. 17, Issue 1, 37-57.

Berntman, M. (2015). Fotgängare olyckor och skador i trafikmiljö med fokus på fallolyckor. *LTH Bulletin 295–2015*, Trafik & väg, Institutionen för Teknik och samhälle, LTH, Lunds universitet, Lund.

Bontell C., (1984), Dokumentation av färdtekniska grundvärden och linjeföring, Vägverket. TU meddelande 1983:4.

Casselgren, J. Karim H., (2018) RSI Fas I - Road Status Information, a new method for monitoring, calculation and presentation of road conditions, Trafikverket, pub: 2018:035, Borlänge

Casselgren, J., (2018) RSI fas II – Road Status Information. Dynamisk väglagsinformation, Trafikverket, pub: 2018:154, Borlänge

prCEN/TS 13036-2, (2009), Road and airfield surface characteristics - Test methods - Part 2: Assessment of the skid resistance of a road pavement surface by the use of dynamic measuring systems, 2009

CEN/TS-Technical specification 15901:

15901-1:2009 (RoadSTAR)

15901-2:2009 (ROAR-Dutch)

15901-3:2009 (ADHERA)

15901-4:2009 (TRT)

15901-5:2009 (ROAR-Norway)

15901-6:2009 (SCRIM)

15901-7:2009 (GripTester)

15901-8:2009 (SKM)

15901-9:2009 (DWWNL)

15901-10:2009 (BV-8)

15901-11:2011 (SRM)

15901-12:2011 (BV11 och SFT)

15901-13:2011 (Odoliograph)

15901-14:2016 (ViaFriction)

15901-15:2014 (IMAG)

Centrell, P. (1995). Friktion på vägmarkering - En jämförande mätning mellan SRT-pendeln och VTIs PFT, VTI notat 57-1995, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

Donbavand, J. och Munster, D. (2001). Thermoplastic Road Marking Research. 20th ARRB Conference Proceedings. Melbourne, Victoria, Australia.

Do, Minh-Tan. (2006) Model for Estimating Expectable Braking Distance, INTRO, Intelligent Road project, Deliverable 2.1

The European Union Road Federation (ERF) & Federation of European Motorcyclists' Associations (FEMA), gemensamt positionsdokument, 'Improving infrastructure safety for powered two-wheelers' (2008) <http://erf.be/uncategorized/improving-infrastructure-safety-for-powered-two-wheelers/>

Flintsch, G., med flera, (2012), The Little Book of Tire Pavement Friction, September 2012, RPUG 2012

Fors C., Lundquist S., (2016). Mätning av friktion på vägmarkering, Jämförelse av olika metoder samt utveckling av modell för mobil mätning, VTI notat 18-2016

Friktion på sommarvägar, nordiskt seminarium (2014), Stockholm 27 maj 2014,

<http://195.198.217.75/sv/forskningsomraden/drift-och-underhall/belaggningsunderhall/vagfriktion/>

Giles, C.G., med flera., 1964. Development and performance of the portable skidresistance tester, Road Research Technical Paper 66. London: HMSO

Gustafsson S., med flera. (2012), Vägtrafikens hastigheter, Kunskapsinventering, VTI notat 6-2012

Hjort, M., (2014) Fakta om friktion, Seminarium Friktion på sommarvägar- 2014-05-27, <https://www.vti.se/sv/sysblocksroot/kurser-och-seminarier/friktion/block-1-2---hjort---friktion.pdf>

Hjort, M. och Niska, A. (2015). Kan dubbdäck på cykeln minska singelolyckorna? Friktionstester av cykeldäck i VTI:s stationära däckprovsningsanläggning. VTI rapport 862, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

Hemdorff S., Leden L., Sakshaug K., Salusjärvi M. & Schanderson R. (1989). Trafiksäkerhet och vägytans egenskaper (TOVE). Slutrapport. Tiedotteita 1075. VTT 1989.

Henry J.J., (2000), Evaluation of pavement friction characteristics, NCHRP Synthesis 291

Kharrazi. S., "Performance of high capacity vehicles winter versus summer". (2016) 14th HVT conference, Rotorua, New Zealand

Kharrazi, S., R. Karlsson, J. Sandin, J. Aurell. "Performance based standards for high capacity transports in Sweden". (2015) FIFFI project 2013-03881 – Report 1. Review of existing regulations and literature. VTI rapport 859A.

Kroken, B. (2014). Krav til vinterdrift av g/s-anlegg og universellutforming R610 (nye hb 111) og driftskontraktene. Presentation vid Teknologidagene, 7 oktober 2014 i Trondheim.

Lilja B., & E Ohlsson. Faktorer som medverkar till låg friktion mellan bildäck och vägbana. Rapport 52. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1974.

Lundberg T., Ekblad J., Göransson N-G., Sjögren L. & Arvidsson A. (2015), Makrotexturens möjlighet att identifiera låg friktion. VTI rapport 877.

- Lundkvist, S.-O. & Lindén, S.-Å. (1994). Road marking friction — A comparison between the SRT pendulum and the VTI Portable Friction Tester. VTI notat 65A. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Musey, K., Park S. och Kares M., (2017), Safety impact of high friction surface treatment installations in Pennsylvania, TRB 2017 Annual meeting
- Nilsson, B., Orehall, L (1977), Mönsterdjupets inverkan på personbildäcks styregenskaper: Studier av stationära och transienta karakteristika på torr vägbana med hög friktion, Statens Väg- och Trafikinstitut. Rapport nr 99, 1977
- Niska, A (2013). Varmsandning på gång- och cykelvägar. Utvärdering i Umeå av för- och nackdelar med metoden. VTI rapport 796, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A. & Blomqvist, G. (2015). Sopsaltning av cykelvägar. Utvärdering av försök i Stockholm vintern 2014/15. VTI notat 29-2015, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A. & Eriksson, J. (2013). Statistik över cyklisters olyckor. Faktaunderlag till gemensam strategi för säker cykling. VTI rapport 801, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A., Blomqvist, G. & Järllskog, I. (2016). Utvärdering av sopsaltning i Stockholm vintern 2015/16. VTI PM 2016-12-01, Diarienummer: 2013/0390-9.1, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A., Blomqvist, G. & Järllskog, I. (2017). Utvärdering av sopsaltning på cykelstråk i Stockholm vintern 2016/17. VTI notat 30-2017, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A., Blomqvist, G., Hjorth, M., (2018). Cykelvägars friktion. Mätningar i fält i jämförelse med cykeldäcks friktion på olika underlag i VTI:s däckprovsningsanläggning VTI Rapport 993, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Nitsche P. & Spielhofer, R., (2009), Report on policies and standards concerning skid resistance, rolling resistance and noise emission, Tyrosafe Coordination Action fp7-217920 deliverable D06
- Sjögren, L., (2019). Metodbeskrivning för handdragen friktionsmätare: bestämning av friktion med en dynamisk mätmetod på cykel- och gångvägar samt vägmarkeringsytor. VTI Notat 26-2019, Statens väg och transportforskningsinstitut, Linköping
- Sveriges Motor Cyklister, SMC, (2017),) Säkrare vägar och gator för motorcyklister - en självklar del av Nollvisionen
- Tagesson, K., Jacobsson B., & Laine L., (2014), Driver Response to Automatic Braking under Split Friction Conditions, konferensbidrag, 12th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC '14), Tokyo, Japan
- Viner, H., P. Abbott, A. Dunford, N. Dhillon, L. Parsely, & C. Read. Surface Texture Measurement on Local Roads, (2006), UK Transport Research Laboratory, London
- PIARC (2016-a) State of the art in monitoring road condition and road interaction, Technical committee 4.2 Road Pavements, PIARC 2016
- PIARC (2016-b) Expected service life of wearing courses, Technical committee 4.2 Road Pavements, PIARC 2016
- Rose, Nathan A, Carter, Neal, Pentecost, David, Analysis of Motorcycle and Rider Limits on a Curve, Collision, (2014), The International Compendium for Crash Research,
- Räkilä, K. (2015). Bicycle friction measurements on winter roads. Presentation vid Transportforum i Linköping 8–9 januari 2015.
- Schnarigg, K. (2012) Skidresistance SKM-device, info to CEN TC227/WG5, Guimares, 2012

Schultze K. H., Gerbalid A. och Chavet J. (1976). Skidding accidents, Friction Numbers, and the Legal Aspects Involved. Skidding Accidents. Transportation Research Record 623. Transportation Research Board. Washington D.C: 1976

Schönberg, T. (2005) INTRO EU project, Data model for road safety related data

SIS, (2011), svensk standard, SS-EN 13036-4: 2011, Mätning av en ytas friktionsegenskaper- Pendelmetoden

SIS, (1982), svensk standard, SS 01 41 41: 1982, utgåva 2, Avrundningsregler

Strandberg, Lennart; Hildeskog, Lars; Ottosson, Anna-Lisa (1985), Footwear friction assessed by walking experiments, VTI Rapport 300 A, 1985

Trafikverket (2003), VVFS 2003:140, Föreskrifter om tekniska egenskapskrav, Borlänge

Trafikverket (2009), Vägverkets interna föreskrifter om tekniska egenskaper på vägar IFS 2009:2, Borlänge

Trafikverket (2010), VVFS 2010:17, Föreskrifter om tekniska egenskapskrav, Borlänge

Trafikverket (2011-1), TRVK Väg, TDOK 2011:264, Borlänge

Trafikverket (2011-2). TRVKB 10 Bitumenbundna lager. Trafikverket, TRV 2011:082, TDOK 2011: 266, Borlänge

Trafikverket (2012), Underhållsstandard belagd väg 2011, Publikation 2012: 074, Borlänge

Trafikverket (2013), Handhållen kontroll av vägmärkning, TDOK 2013: 0462, Borlänge

Trafikverket (2014). Säkrare cykling: Gemensam strategi för år 2014-2020. Borlänge.

Trafikverket (2015-1). Krav för Vägars och gators utformning, (2015), Publikation 2015:086, Borlänge

Trafikverket (2015-2), Råd för Vägars och gators utformning, Publikation 2015:087, Borlänge

Trafikverket (2015-3), Vägars och gators utformning-vägmärken del 1, Publikation 2015:088, Borlänge

Trafikverket (2015-4), Vägars och gators utformning-vägmärken del 2, Publikation 2015:089, Borlänge

Trafikverket (2015-5) Vägars och gators utformning - begrepp och grundvärden, 2015:090, Borlänge

Trafikverket (2015-6), Åtgärder vid friktionsproblem på belagd vägyta, TDOK 2013: 0406, Borlänge

Trafikverket (2015-7), Bestämning av friktion på belagd väg. TDOK 2014: 0134 (Version 2.0 2015-12-18), Borlänge

Trafikverket (2015-8), Bitumenbundna lager. TDOK 2013: 0529, Borlänge

Trafikverket (2017). Kontroll av nya beläggningars makrotextur med mätbil, TDOK 2016:0271, Borlänge

Transportøkonomisk institutt, TØI (2012). Trafikksikkerhetshåndboken. Oslo.

Tyrosafe project (2008), State of the art of test methods, Deliverable 4, Min Tan-Doe och Peter Roe, 2008

Tyrosafe project (2009), Report on policies and standards concerning skid resistance, rolling resistance and noise emissions, Deliverable 6, Philippe Nietzsche och Roland Spielhofer

UNECE (2008), <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r013r6e.pdf>

- Wallman, C. G. & H. Åström (2001): Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety. VTI, rapport, 911A, Linköping, Sverige.
- Vejdirektoratet (2012), Almindelig arbejdsbeskrivelse for varmblandet, 2012)
- Vejdirektoratet, (2016), Leverancetest af ny friktionsmaler- VIAFRIK, Rapport 577, 2016
- Vejdirektoratet, (2014), Handbog Trafiksikkerhed, Rapport 507, 2014
- Vejdirektoratet, (2012), Udbudsforskrift Varmblandet asfalt (AAB), 2012
- Viner H., R. Sinhal, A. Parry, (2004), Review of UK skid resistance policy, SURF 2004, International Symposium on Pavement Surface Characteristics of Roads and Airfields, Toronto, Canada, 2004.
- Vägverket (1996), DRIFT96, publikation 1996:016, Borlänge
- Wälivaara, Bengt, (2007), Validering av VTI-PFT version 4: mätningar på plana och profilerade vägmarkeringar, VTI notat 16–2007
- Åström, H. (2000). Utvärdering av PFT som friktionsmätare för vägmarkeringsytor. VTI notat 45-2000. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Öberg, G., Nilsson, G., Velin, H., Wretling, P., Berntman, M., Brundell-Freij, K., Hydén, C. % Ståhl, A. (1996). Fotgängares och cyklisters singelolyckor. VTI meddelande 799, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Öberg, G. (2011). Skadade fotgängare. Fokus på drift och underhåll vid analys av sjukvårdsregistrerade skadade i STRADA. VTI rapport 705, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Öberg, G., Arvidsson, A. (2012). Skadade fotgängare – kostnad för fotgängarskador jämfört med vinterväghållningskostnader. VTI rapport 735 – reviderad utgåva, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

Bilaga 1. Krav på friktion: historik

Krav på friktion reglerades ursprungligen med de "Byggnadstekniska anvisningar" (BYA) som Kungl. Väg- och Vattenbyggnadsstyrelsen och Vägverket utgivit. BYA ersattes med en serie publikationer med namn enligt formen "VÄG XX" (där XX representerar publikationsåret). Idag anges kraven i Trafikverkets TDOK-serie.

I BYA 63 (samt BYA 67 och BYA 76, som båda kan betraktas som reviderade utgåvor av BYA 63) står det (i avdelningen "Beläggningar", kapitel "Allmänna anvisningar för bituminösa beläggningar", delkapitlet "Trafiktekniska synpunkter") endast "En idealisk vägbeläggning bör bl. a. ha en yta som ger god friktion."

I den kraftigt omarbetade BYA 84 finns det ett krav för gjutasfalt, vilket är formulerat "Färdig yta skall minst ha friktionstal 0,5. Provnings skall ske med av vägverket godkänd mätvagn på våt yta vid hastigheten 70 km/h och ca 17% slip." För övriga beläggningstyper ställs inga explicita krav på friktionen. Värt att anmärka är den detaljerade beskrivningen av mätförfarandet, något som senare beskrivs i VVMB 104 (Vägverkets metodbeskrivning 104) och i, nu gällande, TDOK 2014:0134.

I remissutgåvan (daterad 1990-04-24) till "Regler för underhåll och drift" ställs följande friktionskrav: "friktionskoefficientens medelvärde över 20 m-sträcka bör inte understiga 0,4. Dessutom bör friktionen mellan två på varandra följande 20 m-sträckor eller tvärs vägen inte skilja mer än 50% från det högsta uppmätta värdet." Den slutgiltiga "Regler för underhåll och drift" (daterad 1990-12-06) är kravet ändrat till "friktionskoefficientens medelvärde över 20 m-sträcka bör under utförandeåret och de två påföljande kalenderåren inte understiga 0,4." Uppenbarligen mildrades kravformuleringen under remissförfarandet. Värt att anmärka är även formuleringen med "bör" samt att gränsen är 0,4 (istället för 0,5 som använts både tidigare och senare).

I remissutgåvan av BYA 92 (som, vad vi kan förstå, ersattes av VÄG 94 och aldrig gavs ut annat än i remiss) är friktionskravet formulerat: "Körbana med bundet slitlager utförs så att friktionstalet vid barmarksförhållanden inte understiger 0,5." I den efterföljande rådtexten står att VVMB 104 *kan* användas för att bestämma friktionen.

VÄG 94 (efterföljaren till BYA, VV Publ. 1994:21) är svårtolkad eftersom krav på friktion tas upp på två ställen. I kapitel 1 "Gemensamma förutsättningar" formuleras kravet som "Körbana, gångbana eller cykelbana med bundet slitlager skall utföras så att friktionstalet vid barmarksförhållanden inte understiger 0,5 bestämt enligt VVMB 104, 'Bestämning av friktion på belagd vägyta'." I kapitel 6.3 "Krav på bitumenbundna lagers ytor" kan man läsa att "Krav på friktion framgår av VV publ 'Regler för underhåll och drift'", samt att "Om friktionen vid okulärbesiktning bedöms understiga angivet krav vidtas erforderliga åtgärder. Vid minsta osäkerhet om att godtagbar friktion uppnåtts skall friktionsmätning utföras enligt VVMB 104." Dessa krav framstår som sinsemellan motstridiga, då "Regler för underhåll och drift" sätter gränsen till 0,4.

I publikationen Vägunderhåll 2000 (VV Publ. 2000:67) gäller följande: "För en vägbana, gångbana eller cykelbana med bundet slitlager skall medelvärdet av friktionstalet på någon 20 m sträcka inte understiga 0,5. Friktionstalet skall bestämmas enligt VVMB 104." En i sammanhanget standardformulering.

ATB Väg 2000 (VV Publ. 2000:111), ATB Väg 2002 (VV Publ. 2001:111) samt ATB Väg 2003 (VV Publ. 2003:111) använder alla samma text: "För en vägbana, gångbana eller cykelbana med bundet slitlager skall medelvärdet av friktionstalet på en 20 m sträcka överstiga 0,5. Friktionstalet skall bestämmas enligt VVMB 104, 'Bestämning av friktion på belagd väg', alternativ 2." Den enda egentliga förändringen är att kravet formulerats om till att friktionen måste *överstiga 0,5* istället för att *inte understiga 0,5*.

ATB Väg 2004 (VV Publ. 2004:111): "För vägbana, gångbana och cykelbana med bundet slitlager skall medelvärdet av friktionstalet på en 20 m sträcka vara större än eller lika med 0,5. Friktionstalet skall bestämmas enligt VVMB 104, 'Bestämning av friktion på belagd väg', alternativ 2." Återigen en i det närmaste semantisk förändring där det markeras att även värdet 0,5 räknas som godkänt.

ATB Väg 2005 (VV Publ. 2005:112): "För vägbana, gångbana och cykelbana med bundet slitlager skall

medelvärde av friktionstalet på en 20 m sträcka vara större än eller lika med 0,5. Friktionstalet skall bestämmas enligt VVMB 104, 'Bestämning av friktion på belagd väg', alternativ 2. *Friktionen i sidled bör inte variera med mer än 0,25 vid något tillfälle under garantitiden/funktionstiden. Mätningen bör utföras i minst två linjer varav en mätning i vänster hjulspår.* Kursiveringen är tagen från originalet och representerar så kallad rådstext, som beskriver rekommenderat utförande.

VVTBT Bitumenbundna lager (VV Publ. 2007:119) utgör det första i en serie dokument rörande "krav och kontroll på material, tillverkning och färdig produkt för bitumenbundna lager". I 2007:119 formuleras kravet på friktion med "Krav på friktion gäller för samtliga trafikerade beläggningslager. Friktionskraven gäller efter utförandet och under garantitiden. För vägbana, gångbana och cykelbana med bundet slitlager ska medelvärde av friktionstalet på en 20 m sträcka vara större än eller lika med 0,5. Friktionstalet ska bestämmas enligt VVMB 104, alternativ 2."

I den första uppdateringen, VVTBT Bitumenbundna lager (VV Publ. 2008:113), har "vara större än eller lika med 0,5" ändrats till "vara $\geq 0,50$ ". Denna formulering står sedan oförändrad i "VVTBT Bitumenbundna lager 09 (VV Publ. 2009:109)", "VVTBT Bitumenbundna lager 09 rev 1 (VV Publ. 2009:140)", "VVTBT Bitumenbundna lager 09 rev 2 (VV Publ. 2010:093)" och "TRVKB 10 Bitumenbundna lager (TDOK 2011:266)".

I nu gällande "Krav Bitumenbundna lager (TDOK 2013:0529 Version 2.0)" är kravet, med endast administrativa förändringar, formulerat med "Krav på friktion gäller för samtliga trafikerade beläggningslager. Friktionskraven gäller efter utförandet och under garantitiden. För vägbana, gångbana och cykelbana med bundet slitlager ska medelvärde av friktionstalet på en 20 m sträcka vara $\geq 0,50$. Friktionstalet ska bestämmas enligt TDOK 2014:0134, Bestämning av friktion på belagd väg."

I den nu gällande Vägverkets författningssamling VVFS 2003:140 (Enligt Vägverkets författningssamling VVFS 2010:17 ska ".../ ordet 'Vägverket' bytas mot 'Trafikverket'.") står: "Vägar skall vara så utformade och utförda att de får tillfredsställande friktion. Kontinuerliga friktionsegenskaper hos ytmaterialen skall eftersträvas." Det egentliga kravet är endast upptaget som "Råd: Vägar med bundet slitlager bör uppfylla friktionsvärden i ATB VÄG." I viss mån kan man se detta som en återgång till det ursprungliga kravet från BYA 63.

Bilaga 2. Friktionsforskning på VTI

Arbetet som presenteras i föreliggande kapitel utgör premiären för användandet av en fulltextdatabas över VTI:s huvudsakliga publikationer.

Databasen innehåller i skrivande stund (april, 2016) cirka 4 330 publikationer, varav ungefär två tredjedelar har digitaliserats från pappersoriginal. För moderna publikationer har texten extraherats direkt från PDF-filen.

Merparten av det inskannade materialet har digitaliserats med OCR-mjukvaran Tesseract. Kvaliteten på slutresultatet varierar mycket beroende på kvaliteten på pappersoriginalen. Tryckt material innebär inga direkta problem för OCR-tolkningen, medan stencilerade publikationer från 50-, 60- och 70-talet ofta lämnar en del övrigt att önska, vilket också skapar problem för OCR-tolkningen.

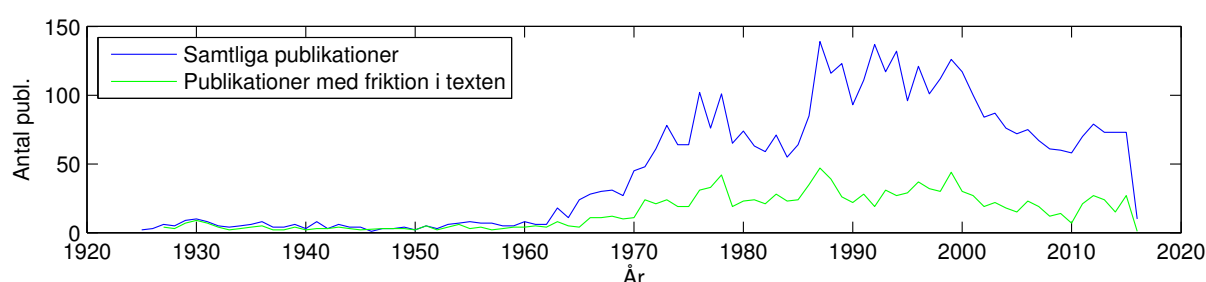
Fulltextdatabasen har implementerats i SQLite, vilket gjort det relativt enkelt att implementera en rankingsfunktion för sökningarna (på samma sätt som när man söker på, till exempel, Google).

2.1. Inledning

Huvudsyftet har varit att leta efter referenser till gränsvärdet på 0,5 (eller eventuellt andra värden). Det synnerligen rika materialet har omöjliggjort en närmare genomläsning av merparten av publikationerna, men någon tydlig referens till uppkomsten av gränsvärden har *inte* påträffats. Det närmsta vi hittat är ett resonemang som förs i artikeln ”Report of Committee on ‘Antiskid Properties of Road Surfaces’” från 1950: ”The design standard for breaking adopted by the AASHO was used in these tests. It provides for a max. stopping distance of 113 ft. for a speed of 40 mph. This corresponds to a coefficient of friction of not less than 0.47 at 40 mph.”¹ [34] Det verkar rimligt att ett liknande resonemang förts när det svenska gränsvärdet infördes.

Tyvärr har vi inte hittat något sådant resonemang i litteraturen. För det omvända förhållandet skrivs i [12] att ”VV har vid bestämning av dimensionerande stoppsträcka utgått från en friktionskoefficient 0,5.”

Begreppet ”friktion” är mycket vanligt i VTI:s publikationer. Av 4 330 publikationer erhålls 1 341 träffar på en sökning där ”slirighet* eller friktion* eller friction” måste ingå i texten. Med andra ord berör cirka en tredjedel av allt VTI publicerat fenomenet friktion. Det bör dock påpekas att detta gäller för alla former av friktionsfenomen, inte bara friktion mellan fordon och väg.



Figur 1. Antal VTI-publikationer per år där ”friktion” eller liknande omnämns i texten.

Det rika materialet utgör både en möjlighet och en svårighet. Vi har hittat många, för oss, tidigare okända publikationer där friktionsfenomenet studerats ingående (speciellt kan här nämnas det omfattande arbetet om polering av stenmaterial av Peet Höbeda). Svårigheten i det rika materialet ligger i att det inte går att ens skumma igenom allt som verkar vara relevant.

I texten nedan kallas dagens VTI och dess föregångare sammanfattande för just VTI. De tidigaste publikationerna utgavs av ”Svenska Väginstitutet”, som några år senare blev ”Statens Väginstitut” etc.

¹Detta motsvarar en inbromsning från 64,3 km/h på sträckan 34,4 meter.

2.2. Nämnvärda projekt

Nedan följer en översiktlig genomgång av några av de mest relevanta av VTI:s forskningsprojekt om friktion. De är, i stort sett, kronologiskt ordnade.

2.2.1. Gatu- och vägbeläggnings slirighet

Ett av de (kronologiskt) första och mest relevanta projekten är ”Gatu- och vägbeläggnings slirighet” [36] (som först publicerade i Svenska vägföreningens tidskrift, häfte 1, årgång 1928.)

Försöken var, på grund av mättekniska begränsningar, ganska primitiva: ”Provningarna hava därför i första hand gått ut på att genom släpförsök utröna släpfriktionskoefficienten mellan bilgummi och beläggning.”

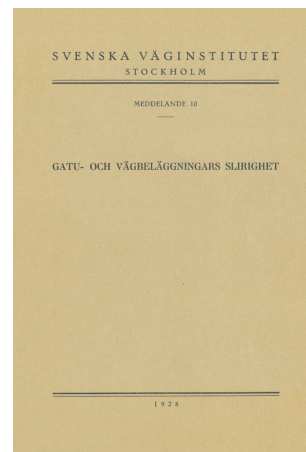
Inledningen är fortfarande läsvärd. (Den av mig kursiverade meningen beror med all sannolikhet på det vi idag kallar blödningar.)

”Vid bilsammanstötningar och andra bilolyckor hävdas ofta, att anledningen till olyckan är att tillskriva gatu- eller vägbeläggnings, vilken uppgives hava varit så slirig eller glatt, att bilen icke kunnat bromsas tillräckligt snabbt för att förekomma en olycka. Vissa beläggningar, särskilt asfaltbeläggningar, hava stundom betecknats såsom sliriga i högre grad. *Det har rent av satts i fråga, om icke asfaltbeläggningarnas slirighetsgrad vore så stor, att de från trafiksäkerhetssynpunkt vore mindre lämpliga.* För att dels utröna riktigheten av dessa förmodanden, dels från synpunkten av deras slirighet eller glatthet inbödes jämföra, i vårt land vanligen förekommande gatu- och vägbeläggningar, beslöt väginstitutet i juli 1926 att på i Stockholm och dess omgivning förekommande beläggningar utföra en serie försök eller provningar, s. k. slirighetsprovningar, avseende beläggningarnas slirighet.”

Värt att anmärka är även att principen och fördelarna med den moderna ABS-tekniken var känd redan då: ”Visserligen skulle en något kraftigare bromsverkan kunna ernås, därest bromsningen skedde på sådant sätt, att bilens hjul nått och jämt roterade.”

Från sammanfattningen lär vi oss att det första egentliga friktionsprojektet i svensk historia inte bjöd på några större överraskningar:

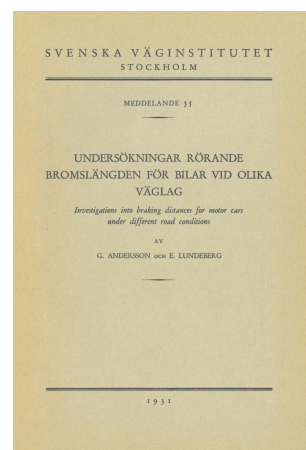
”Samtliga provade beläggningar, smågatsten, storgatsten, asfaltbetong, sandasfalt, gjutasfalt (dels ’mjuk’, dels ’hård’) och cementbetong äro från slirighetssynpunkt i stort sett jämställda /.../ Det mindre goda rykte, som asfalt erhållit på grund av förment slirighet, torde huvudsakligen härröra från erfarenheter vid stampasfaltbeläggningar, vilka dock i Sverige finnas utförda endast på ett par gator.”



2.2.2. Undersökningar rörande bromslängden för bilar vid olika väglag

Man anar från förordet att författarna Andersson och Lundeberg var nöjda med det arbete de år 1931 presenterade i "Undersökningar rörande bromslängden för bilar vid olika väglag".

"De utförda undersökningarna ha berört ett flertal viktiga vägtekniiska frågor. Olika vägbeläggningars strävhet eller slirighet under olika förhållanden och med särskild hänsyn till förhållanden under den kalla årstiden är en sådan fråga. Bromslängdens betydelse för bestämning av exempelvis fria sikten utmed vägarna, sålunda för vägprojekteringen, är en annan praktisk fråga, som erhåller viss belysning av de gjorda undersökningarna. För den rättsliga utredningen av inträffade trafikolyckor liksom för ett flertal andra frågor torde de vunna resultaten vara av värde.



Man skulle givetvis önska, att undersökningarna i flera avseenden varit mer fullständiga och att flera olikartade fall blivit behandlade. Otillräcklig tid och otillräckliga penningmedel ha emellertid härför upprett hinder."

I viss utsträckning sågs arbetet som en komplettering till ovan nämnda Meddelande 10. Dock hade mätförfarande förbättrats, från de tidigare släpförsöken med låst hjul, till det som beskrivs som följer:

"De i det följande beskrivna försöken ha tillgått så, att en bil bringats upp till viss hastighet, varvid bromsarna blivit tillslagna till full låsning av hjulen, och fordonet bragts till stillastående. Därvid har bromssträckan räknats från det ögonblick, när bromsarna blivit ansatta. Hastigheten i samma ögonblick har även blivit bestämd. Med ledning av dessa uppgifter har sedan friktionskoefficienten blivit beräknad. Den på detta sätt beräknade friktionskoefficienten torde bäst ange vägbanans egenskaper ur bromsningssynpunkt.

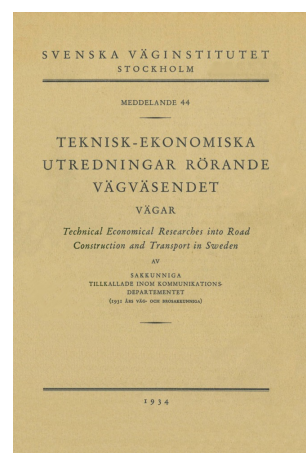
Från sammanfattningen (där μ betecknar friktionskoefficienten) ser vi att redan 1931 var våtfriktionen "alltid" större än 0.5²:

"Å sommarväglag synes μ normalt erhålla värden mellan 0.5 och 0.7. Under särskilt gynnsamma omständigheter kan dock värdet på μ uppgå till 0.8 och något däröver. Fuktighet å vägbeläggningen sänker visserligen μ , men kan alltid påräknas ett värde på μ över den angivna minimisiffran."

2.2.3. Teknisk-ekonomiska utredningar rörande vägväsendet

I det omfattande arbetet "Teknisk-ekonomiska utredningar rörande vägväsendet. Vägar" av 1931 års väg- och brosakkunniga [54] kommer friktion in i bilden vid flera tillfällen. Det för denna sammanställning mest relevanta avsnittet finns i delkapitlet "Fordringar på motorfordonens bromsförmåga". Jag passar på att upprepa ett stycke då det fortfarande förekommer missförstånd på denna punkt.

"Retardationen och därmed även bromslängden är /.../ oberoende av totalvikten och endast beroende av förhållandet α och friktionskoefficienten. En lastbil av exempelvis 10 tons totalvikt har samma bromslängd som en lätt personbil vid samma körhastighet, därest 2/3 av totalvikten kan bromsas till låsning av hjulen i båda fallen. De sakkunniga vilja framhålla den nämnda satsen, enär missförstånd på denna punkt ofta är vanligt."



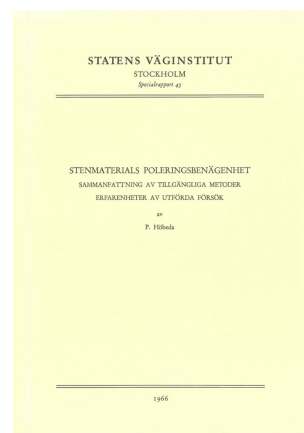
²Decimalpunkt användes i originalet!

2.2.4. Stenmaterials poleringsbenägenhet

Ett omfattande material behandlar stenmaterials poleringsbenägenhet, och i förlängningen dess friktion. Peet Höboda (med flera) har skrivit mycket om detta [13–29].

I ”Stenmaterials poleringsbenägenhet: Sammanfattning av tillgängliga metoder - erfarenheter av utförda försök” skriver Peet:

”Denna undersökning behandlar endast en mindre del av det komplexa friktionsproblemet, i praktiken är det de sammanlagda egenskaperna av sten, sand, filler och bindemedel som bestämmer beläggningens friktion. Ytterligare undersökningar är nödvändiga, särskilt av stenmaterialets förändringar i vägen och dess inverkan på friktionsegenskaperna. Allt fler bilar förses dessutom med dubbade däck under vinterhalvåret, vilka slita kraftigt på stenmaterialet.”



Sammanfattningsvis kan konstateras att poleringens inverkan på friktionen inte sågs som ett stort eller allvarligt problem. I ”Stenmaterials friktionsegenskaper. Sammanfattande slutrapport” [14] ges rekommendationen:

”Det är icke aktuellt att — i likhet med vad som blivit fallet i Storbritannien — införa några föreskrifter beträffande stenmaterials poleringsbeständighet. Större uppmärksamhet får f n ägnas åt slitstyrkan. Poleringsproblemet bör dock hållas under observation. Vid utvärdering av bromsförsök på vägbeläggningar är stenyornas poleringsgrad en av de många faktorer som får beaktas.”

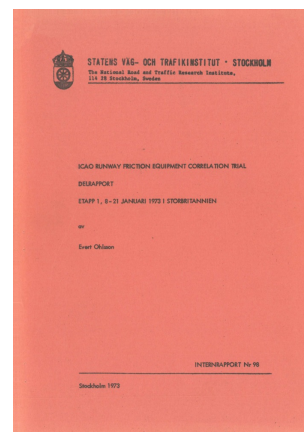
2.2.5. ICAO runway friction equipment correlation trial

Ytterligare ett omfattande material utgör det som publicerades i samband med ”ICAO runway friction equipment correlation trial” [3, 41–48]. Samtliga rapporter är publicerade i den idag nästan helt bortglömda serien ”Internrapport”.

Bakgrunden till försöken finns att läsa i inledningen till [47]:

”Dåliga friktionsförhållanden på en flygplats rullbanor kan medföra svårigheter och stora risker för flygplanen under start- och landningsmanöver - speciellt i det senare fallet. Även på rullbanor med beläggning av god kvalitet och med god friktion i torrt tillstånd kan dålig bromsverkan erhållas sommartid i samband med rikligt regn och vintertid i samband med snöfall elier vid omslag från fuktigt blidväder till temperaturer under fryspunkten. Problemet har varit uppmärksammat sedan länge och apparater och metoder för att mäta bromsverkan på rullbanor under olika förhållanden har utvecklats efter skilda principer på flera håll.

The International Civil Aviation Organization, ICAO, som varit medveten om svårigheterna att erbjuda piloterna en enhetlig rapportering om rullbanors friktionstillstånd till följd av skilda funktionsprinciper för olika mätutrustningar, rekommenderade vid ett möte vid ICAO Headquarters i Montreal den 16–18 oktober 1972 jämförande mätningar mellan olika utrustningar.”



Svårigheten med denna typ av jämförelser belyses av följande stycke från [41] (min kursivering):

”I en av delrapporterna har tidigare anmärkts att den enda, för alla utrustningarna gemensamma funktionsparametern är att bromsverkan i en eller annan form studeras med hjälp av

luftgummihjul. Men dessa luftgummihjul är inte alls lika; betydande skillnader ifråga om storlek, uppbyggnad och mönster förekommer. Någon numerisk överensstämmelse mellan visningarna från de olika apparaterna kan således inte förväntas och om en sådan överensstämmelse till äventyrs skulle förekomma så måste den vara slumpmässigt betingad.”

Författaren fortsätter med samma uppgivna ton i slutsaterna:

”Av diagrammen framgår att samtliga mätutrustningar förmår att hyggligt rangordna ytorna efter friktionsegenskaper (eller rättare sagt: utrustningarna rangordnar ytorna på likartat sätt, vad det än är för parameter som studeras).”

2.2.6. Allmänt om friktion och friktionsmätning

Till höger avbildas omslagen till några rapporter med ett relativt allmänt innehåll. VTI:s första ”friktionsguru” Evert Ohlsson har medverkat i samtliga. (Evert stod dessutom stod bakom merparten av VTI:s arbete i ICAO-experimentet.)

I inledningen till ”Friktionen i vägsammanhang. Teorier och praktiska frågor” från 1972 [49] kan vi läsa:



”Syftet med följande framställning är således att redogöra för det aktuella kunskapsläget avseende friktionsförbandet mellan luftgummihjul och vägbana samt att försöka belysa och diskutera problem av betydelse för hur ett fordon kan utnyttja till buds stående friktionsresurser.”

Rapporten belyser de flesta av de fenomen som är relevanta för friktionen i vägsammanhang, och trots sin ålder är den fortfarande klart läsvärd.

I ”Faktorer som medverkar till låg friktion mellan bildäck och vägbana” [30] koncentrerar författarna sig, som titeln anger, på några av de många faktorer som påverkar vilken friktion man kan förvänta sig på en belagd väg. I viss mån den denna rapport ses som en fördjupning av ”Friktionen i vägsammanhang. Teorier och praktiska frågor”. Som ett exempel på fördjupningen ges följande förklaring av begreppet ”optimalt slip”:

”För begreppet optimalt slip som återfinns tillsammans med friktionsangivelser, kan följande tjäna som förklaring. Det förhåller sig så att nämnvärd friktionskraft mellan gummi-hjul och vägbana endast kan utbildas i samband med en relativrörelse (glidning) mellan dem. Friktionskraften stiger från ett relativt blygsamt värde vid glidhastighet noll mot ett maximum vid 0,2–2 km/h och avtar sedan successivt med ökande glidhastighet. När hjulbromsarna ansätts på ett fordon i rörelse kommer således hjulen att rotera långsammare än vad de skulle göra om de fick rotera fritt. Hastighetsnedsättningen hos hjulen benämns slip och kan tydligen uppgå till 100 % då hjulen är låsta och ej roterar längre. Friktionskrafternas nyss beskrivna variation återspeglas på så sätt att friktionsmaximum erhålls vid ett slip som svarar mot en glidhastighet av 0,2–2 km/h. Detta slip benämns ’optimalt’ och förenklat skulle man således kunna säga att optimalt slip motsvarar ’effektivaste bromsning med rullande hjul’. Observera att vid mycket låga hastigheter – omkring 2 km/h – ligger optimalt slip i närheten av 100 % dvs då sker bästa inbromsning med låsta hjul.”

Ytterligare en allmän, och speciellt för vägsammanhang, synnerligen pedagogisk genomgång av friktionsfenomenet återfinns i ”Friktionsmätning på rullbanor och vägar” [40]. I det sjätte kapitlet ”Möjligheter att standardisera en friktionsmätningssmetod” anger Ohlsson ”vissa fundamentala krav på en friktionsmätarens funktion.” Dessa är:

- mätvärdena ska vara meningsfullt korrelerade till de egenskaper man vill avge omdöme om
- mätningen bör vara kontinuerlig
- konstruktionen bör vara mekaniskt enkel
- förslitning dels av själva mätanordningen dels av mätobjekten (däck/bana) inverka måttligt på mätresultatet
- anordningen bör vara lätthanterlig, ha goda serviceegenskaper samt låg effektförbrukning för att medge hög mät hastighet
- utrustningen ska vara användaranpassad
- slutligen ska mätanordningen naturligtvis ha ett lågt pris.

2.2.7. Friktionsegenskaper hos asfaltbetong och ytbehandling

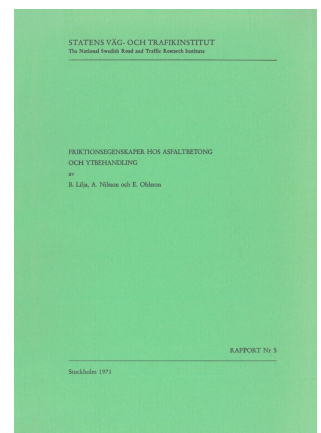
Rapporten ”Friktionsegenskaper hos asfaltbetong och ytbehandling” av B. Lilja, A. Nilsson och E. Ohlsson kan sammanfattas på ett utmärkt sätt med väl valda citat. De två första citaten förklarar avsikten med undersökningen.

”Vid statens väginstitut, numera statens väg- och trafikinstitut, har på uppdrag av statens Vägverk i samarbete mellan väginstitutets maskintekniska avdelning och beläggningsavdelning utförts en undersökning av friktionsegenskaperna hos beläggningar av asfaltbetong och ytbehandling. Avsikten med undersökningen var att försöka få en uppfattning om friktionens variation med hastighet, årstid, ålder, trafik, lufttemperatur och läge i förhållande till omgivande terräng, öppet eller skyddat.

Av tidigare mätningar har framgått att en beläggning under sin brukningstid uppvisar föränderliga friktionsegenskaper. /.../ För att inte få ett alltför ohänderligt material har undersökningen begränsats till att gälla ett urval sträckor med beläggningar av asfaltbetong och ytbehandling. Mätningarna har enbart ägt rum under barmarksperioder eftersom friktionsvariationerna vid vinterväglag i huvudsak inte är ett beläggningsproblem.

Resultaten sammanfattas med följande citat.

”Inverkan av vissa variabler tex hastighet och årstid har varit påtaglig medan inverkan av andra tex läge (öppet eller skyddat) har varit svag men dock statistiskt signifikant. Slutligen har vissa samband ej varit statistiskt signifikanta eller endast gällt under speciella omständigheter, tex lufttemperatur, trafikmängd och upprepad mätning.



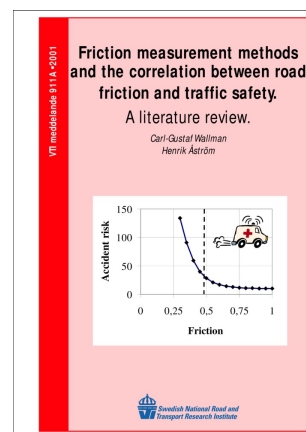
2.2.8. Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety: A literature review

Nästa träff är det betydligt modernare ”Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety: A literature review”. [55] I den engelska sammanfattningen belyser författarna några av de problem som föreligger vid användning av friktionsmätningar vid trafiksäkerhetsforskning.

”Doubtless, there is a strong correlation between road friction and accident risk. The problems arise when we demand a more detailed view of that correlation. A number of different methods exists for evaluating and quantifying the road friction and also a number of ways to treat and categorise accident data.

The aim of the project behind this report was to gather information about the different friction methods in use and about published quantitative relations between road friction and accident risk.

Regarding friction measurements, every country has instruments and methods of its own, and the friction values reported from different international investigations are therefore not directly comparable. Work on harmonisation of friction measurements is in progress. One suggested solution is to introduce an International Friction Index, a common device-independent friction scale. An ambitious international calibration scheme is needed to get the necessary constants for the Friction Index calculations.”



2.3. "Split-friction"

"Split-friction" (som på svenska ibland kallas för "osymmetrisk friktion") är det fenomen som uppträder när friktionen skiljer sig signifikant mellan de två hjulspåren.

Som nämnts ovan finns det en rådtext i ATB Väg 2005 (VV Publ. 2005:112) som säger att "[f]riktionen i sidled bör inte variera med mer än 0,25 vid något tillfälle under garantitiden/funktionstiden".

Forskningen på VTI rörande split friction begränsar sig i stort sett till mätningar i samband med utvärderingar av så kallade antilåssystem. I "Provning av antilåssystem: Vinterprov 1985 för värdering av förslag till revision av ECE Reg 13, Annex 13" [37] kan man läsa följande:

"Det redovisade arbetet utgör ett led i framtagandet av svenska bestämmelser för antilåssystem som, så långt möjligt med hänsyn till svenska vinterförhållanden, överensstämmer med kommande ECB-bestämmelser. En serie isbaneprov har utförts för experimentell provning av metodik och prestandakrav enligt förslag till reviderade ECB-bestämmelser för antilåssystem samt ett vid VTI utarbetat kurvbrömsningsprov på isbana som från svensk sida föreslagits ingå i ECEs provningsföreskrifter. Proven enligt BCE-förslaget har omfattat luftförbrukning för tunga fordon, friktionsutnyttjande på homogena underlag med is som lågfriktionsyta och fastfrusen sand som högfriktionsyta, samt på underlag med osymmetrisk friktion s k "split friction", samt anpassningsförmåga vid övergång från låg till hög friktion.

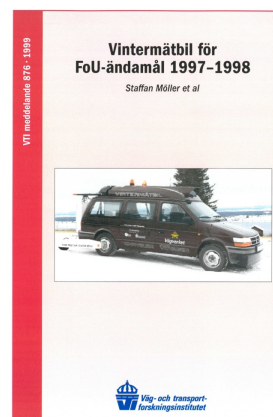
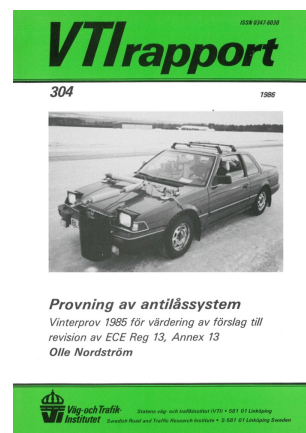
Liknande resultat har även presenterats i följande publikationer: [33, 38, 39, 51].

I VTI Meddelandet "Vintermätbil för FoU-ändamål 1997–1998" [35] presenteras en del översiktliga mätvärden.

"De slingkörningar som hittills gjorts med Vintermätbilen visar att ca 75% av mätningarna har split friction-värden under 0,25, ca 15% värden mellan 0,25 och 0,50 medan ungefär 10% har värden över 0,50. Om enbart barmark betraktas minskar andelen split friction-värden över 0,50 till ca 5%. För is/snövägslag gäller motsatsen, andelen split friction-värden över 0,50 ökar till ca 15%.



Figur 2. Bildruta från filmdokumentation om mätningarna för split friction och antilåssystem i Arjeplog 1981.



Bilaga 3. Historiska jämförande mätningar med friktionsmätare

Friktionsforskningen i vägsammanhang påbörjades på 1920-talet, ofta i samband med undersökningar om rullmotstånd. Agg [1, 2] brukar ofta nämnas som en pionjär, men även VTI (under namnet Svenska Väginstitutet) var tidigt ute med Nordendahls "Gatu- och vägbeläggnings slirighet" [36].

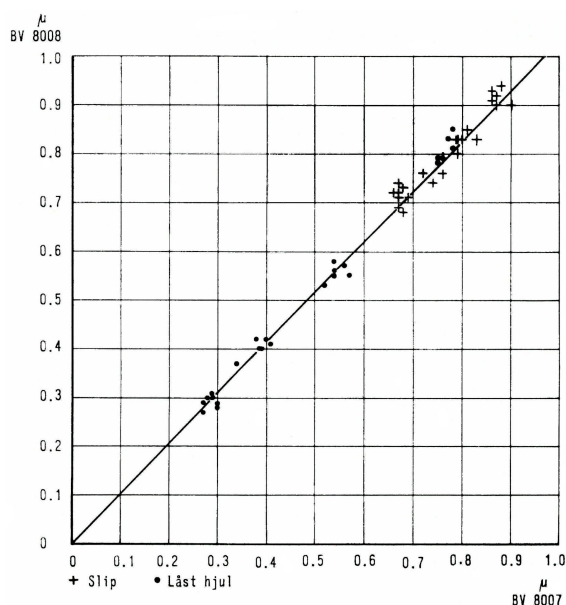
Jämförande mätningar mellan olika typer utrustningar är en etablerad standardmetod för i princip alla utrustningar, oavsett område. För friktionsmätare är dock detta extra viktigt eftersom det är svårt att definiera vad "sanningen" är.

Den första större jämförelsen gjordes inför "First International Skid Prevention Conference" som hölls 8–12 september 1958 på University of Virginia i Charlottesville. Undersökningen, med den väldigt beskrivande titeln "Comparison of Several Methods of Measuring Road Surface Friction" [11] publicerades 1959. Åtta amerikanska friktionsmätare deltog i testerna. Den första slutsatsen av undersökningen är att "[t]he coefficients of pavement friction obtained by the different machines included in the study differed substantially, both statistically and from a practical standpoint."

Ungefär samtidigt gjordes ett jämförande försök i Tyskland [58]. Tre utrustningar testades (från Tyskland, Danmark och Holland). Även här var resultaten inte helt uppmuntrande: "Vergleichsmessungen mit ausländischen Griffigkeitsmeßgeräten haben gezeigt, daß zahlenmäßig gleiche Kennwerte für die Straßengriffigkeit, die nach verschiedenen Methoden ermittelt werden, nicht übereinstimmende Griffigkeit." (vilket kan översättas med någonting i stil med att "samma värde från de olika metoderna inte motsvaras av samma friktion på vägen".)

Sverige deltog, med Bromsvagn 5, för första gången i ett jämförande test i Tyskland 1960 [57]. I detta försök deltog även Statens Vejlaboratorium, Köpenhamn med en Stradographe, samt Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Technische Universität Berlin med en egentillverkad friktionsmätare. I sammanfattningen noteras att de olika metoderna (låst hjul, sidkraftsmätning och slipmätning) inte ger samma numeriska resultat. (Bromsvagn 5 mätte med både 17–20 % slip och låst hjul.) Dock kan alla utrustningar skilja på vägar med hög respektive låg friktion. Slutligen konstateras att: "[w]ith regard to the efforts to standardize the methods of measuring road surface friction is seems suitable, as a first step, to stanardize the test tires, especially into the rubber composition but also in sizes and patterns."

På Statens Väginstitut gjordes en mängd jämförande mätningar mellan de egentillverkade så kallade bromsvagnarna. Resultaten från dessa undersökningar är dock endast redovisade i verksamhetsberättelserna för åren 1961–1964 [6–8]. I figuren nedan visas en jämförelse mellan två exemplar av Bromsvagn 8 (med synnerligen gott resultat).



Figur 3. Jämförelse mellan två exemplar av Bromsvagn 8.

I internrapporten ”Jämförande mätningar på några olika beläggningar med VTI friktionsmätvagn BV 5 och VV friktionsmätvagn BV 11” [50] jämförs, som titeln avslöjar BV 5 och BV 11. Den viktigaste slutsatsen från arbetet är värd att återge i sin helhet.

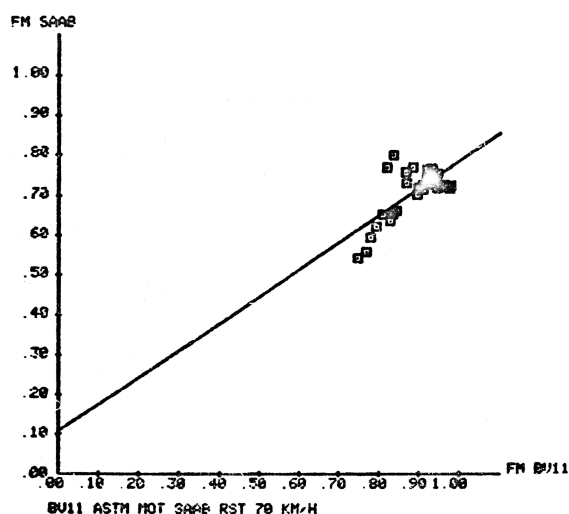
”Man kan tryggt påstå att både BV 5 och BV 11 är redskap som medger kontinuerlig mätning av friktionen mellan ett luftgummihiul och en vägbana. Men – och här kommer en viktig inskränkning – friktionstalet är inte en konstant, entydigt bestämd av egenskaperna hos materialparet gummi/beläggningssyta. Även om operativa parametrar såsom hastighet, bevattning m fl hålls konstanta så finns det flera andra faktorer som inverkar på friktionstalets storlek tex luftgummihjulets uppbyggnad, fjädringsegenskaper och belastning, kontaktytans storlek och form etc.

Man får därför inte göra anspråk på numerisk överensstämmelse mellan mätvärden ens från mätvagnar som i likhet med de här aktuella arbetar efter samma princip, nämligen rullande bromsat hiul. Om numerisk överensstämmelse i något eller några fall konstateras behöver den nödvändigtvis inte vara giltig över hela registret hastigheter och beläggningstyper.”

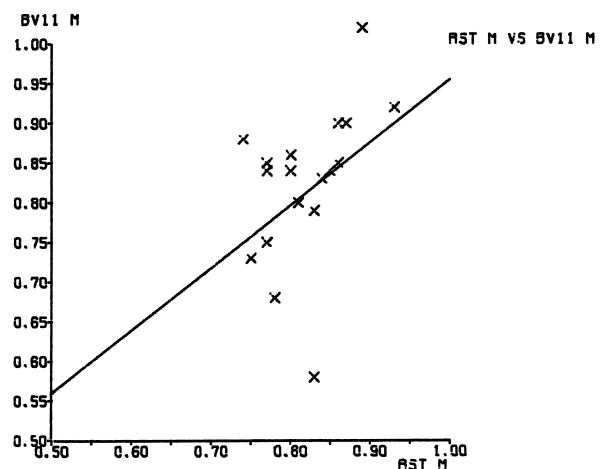
Nästa internationella jämförelse är den ovan nämnda ”ICAO runway friction equipment correlation trial”. Försöket genomfördes i tre etapper: etapp 1 i Storbritannien den 8–21 januari 1973, etapp 2 den 12 februari–3 mars i Sverige och etapp 3 den 19–31 mars 1973 i Frankrike. Sju utrustningar deltog: en från USA, tre från Storbritannien, två från Frankrike, samt den svenska Skiddometern (i trailerutförande, med en Saab 95 som dragbil). Den svenke projektledare Evert Ohlsson var relativt uppgiven vad gällde möjligheten att korrelera den tidens friktionsmätare. Följande slutsats säger det mesta: ”Någon numerisk överensstämmelse mellan visningarna från de olika apparaterna kan således inte förväntas och om en sådan överensstämmelse till äventyrs skulle förekomma så måste den vara slumpmässigt betingad.”

I ”Verksamhetsberättelsen för budgetåret 1974/75” kan vi läsa att ”[u]nder budgetåret har ytterligare material insamlats i avsikt att det skall kunna lämna underlag till jämförelser mellan alternativa metoder att bestämma friktionen mellan luftgummihiul och vägbana. Rapportering avses ske under budgetåret 1975/76.” Någon rapport har dock inte hittats.

I ”Saab RST Påskförsöken 1979 – Del 2. Friktion” [4] jämfördes Saab RST mot BV 11. En av slutsatserna var att Saab RST ”[g]av relativt dålig överensstämmelse med ett annat friktionsmätfordon”, samt ”att fortsatta försök krävs för att visa att de friktionstal som mäts av Saab RST har något klart samband med hur vägytan påverkar fordons broms och manöverförmåga.”



(a) Bild från [4].



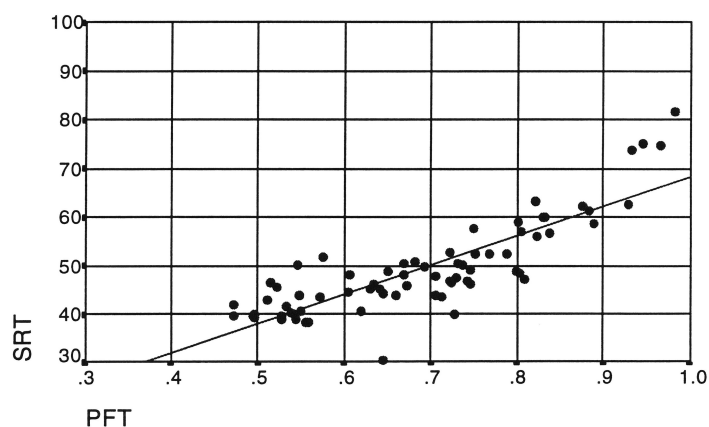
(b) Bild från [5].

Figur 4. Jämförelser mellan BV 11 och Saab RST. (Observera skillnaden i skala mellan de två bilderna.)

”Nordiska friktionsmätare: En jämförande studie” av Arnberg och Sjögren [5]. Testupplägget förklaras med: ”Två mätningssamgångar har genomförts. Vid det första jämfördes tre friktionsmätare. En friktionsmätvagn BV 11 från Sverige, en Stradograf från Danmark och en friktionsmätare från Finland. Vid det andra tillfället jämfördes en BV 11 och en Saab RST från Sverige samt en Mu-meter från Norge.” I slutsatserna kan vi läsa: ”Det måste anses som synnerligen önskvärt att man enas om en gemensam metod om man vill jämföra friktionen på beläggningar i olika länder. Anledningen till detta är att inverkan av däckkonstruktion, mönsterutformning, gummiblandning, hjulbelastning och däckdimension kan på vått underlag och vägbanor med dåliga friktionsegenskaper ge stora skillnader mellan olika mätutrustningar. Heltäckande korrektionsfaktorer måste vidare innehålla så många variabler att en sådan jämförelseteknik förefaller tekniskt orälistisk.”

På vad som då hette ”VTI:s och TFB:s Forskardagar” 1989 [59] presenterade Kent Gustafson projektet ”Beläggningars friktionsegenskaper”. I det kortfattade referatet kan vi bland annat läsa: ”Vid friktionsmätningarna ovan har några olika friktionsmätinstrument använts för jämförelse av metoder. Följande instrument utnyttjades: BV 12, BV 11, Saab Friction Tester och handdragen portabel friktionsmätare.” I dokumentation från ett NKTF-seminarium den 5–6 oktober 1992 i Esbo, Finland [52] skriver Kent vidare: ”Vid friktionsmätningarna på olika beläggningstyper har några olika friktionsmätinstrument använts för jämförelse av metoder. Följande instrument utnyttjades: BV 12, BV 11, Saab Friction Tester och handdragen portabel friktionsmätare. Jämförelsen visade att de tre förstnämnda instrumenten, vilka bygger på den skidometerprincipen, gav mycket lika resultat medan däremot den portabla friktionsmätaren i en del fall gav tvivelaktiga resultat.” *Dock kan ingen annan dokumentation till detta projekt återfinnas.*

I Sven-Olof Lundkvist och Sven-Åke Lindéns notat ”Road marking friction – a comparison between the SRT pendulum and the VTI Portable Friction Tester” [32] jämförs den på VTI utvecklade PFT:n (Portable Friction Tester) med den etablerade SRT-pendeln (Skid Resistance Tester) på vägmarkeringar. Resultaten illustreras av figuren nedan.



Figur 5. SRT mot PFT.

I Per Centrells ”Friktion på vägmarkering: En jämförande mätning mellan SRT-pendeln och VTIs PFT” [9] utökas undersökningen från [32] med nya mätningar. Resultaten är dock på det stora hela oförändrade: ”De mätningarna som gjordes i anslutning till detta projekt visar på en god korrelation mellan de båda utrustningarna PPT och SRT-pendel, men att spridningen i mätresultat är relativt stor.”

I Henrik Åströms VTI-notat ”Utvärdering av PFT som friktionsmätare för vägmarkeringsytor” [61] redovisas ytterligare jämförelser mellan PFT och SRT. Översättningsformeln $SRT = 75,9 \times PFT - 1,3$ redovisas.

Jämförelserna mellan SRT och olika versioner av PFT redovisas i ”Validering av VTI PFT version 3” av Henrik Åström [62] och ”Validering av VTI-PFT version 4: Mätningar på plana och profilerade vägmarkeringar” av Bengt Wälivaara [60].

På slutet 1990-talet utvecklades VTI:s Vintermätbil. I Staffan Möllers *et al.* Meddelande ”Vintermätbil för FoU-ändamål 1997-1998” från 1999 [35] står att läsa: ”Undersökning av noggrannhet och repeterbarhet

hos friktionsmätaren BV 14 gjordes genom jämförelse dels med en vedertagen friktionsmätare, BV 11, dels mellan olika mätjul på tre olika BV 14-mätare. Överensstämmelsen mellan BV 14 och BV 11 var mycket god.”

Elva utrustningar för friktionsmätning (några med flera möjliga konfigurationer) på sammanlagt 54 teststräckor deltog i PIARC:s ”International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements” [56]. På ett övergripande plan var korrelationerna mellan de olika utrustningarna bra (ungefär 0,8).

Två rapporter från Vejteknisk Institut i Danmark [31, 53] redovisar jämförelser mellan ROAR och Stradograf, respektive ROAR, Stradograf och Griptester. Båda rapporterna anger korrelationskoefficienter i området 0.89 till 0.97.

I det europeiska projektet ”Harmonization of European Routine and research Measuring Equipment for Skid Resistance” (HERMES) [10] deltog femton utrustningar från åtta länder.

Referenser till Bilagorna 1–3

- [1] T. R. Agg. *Tractive Resistance and Related Characteristics of Roadway Surfaces*. Bulletin 67. Iowa State College of Agriculture and Mechanic Arts, 1924.
- [2] T. R. Agg. *Tractive Resistance of Automobiles and Coefficients of Friction of Pneumatic Tires*. Bulletin 88. Iowa State College of Agriculture and Mechanic Arts, 1928.
- [3] B-M Andersson, G Nilsson och L-Å Sandin. *ICAO runway friction equipment correlation trial 1973: Statistisk bearbetning av mätresultat från Sverige*. Internrapport 145A. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1973.
- [4] Peter W. Arnberg. *Saab RST Påskförsöken 1979 Del 2. Friktion*. Tekn. rapport. VTI, 20 juli 1979.
- [5] PW Arnberg och L Sjögren. *Nordiska friktionsmätare: En jämförande studie*. Meddelande 333. Linköping: Statens väg- och trafikinstitut, 1983.
- [6] *Berättelse över Statens väginstituts verksamhet under budgetåret 1961–1962*. Rapport 41. Stockholm: Statens Veginstitut, 1962.
- [7] *Berättelse över Statens väginstituts verksamhet under budgetåret 1962–1963*. Rapport 43. Stockholm: Statens Veginstitut, 1963.
- [8] *Berättelse över Statens väginstituts verksamhet under budgetåret 1963–1964*. Rapport 45. Stockholm: Statens Veginstitut, 1964.
- [9] Per Centrell. *Friktion på vägmarkering: En jämförande mätning mellan SRT-pendeln och VTIs PFT*. Notat 1995-57. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet, 1995.
- [10] Guy Descornet, Bjarn Schmidt, Michel Boulet, Michel Gothie, Minh Tan Do, Jeannot Fafie, Marta Alonso, Peter Roe och Helen Viner. *Harmonization of European Routine and research Measuring Equipment for Skid Resistance*. Report 2006/01. FEHRL, 2006.
- [11] Terrence M. Dillard Jack H. and Allen. "Comparison of Several Methods of Measuring Road Surface Friction". I: *Highway Research Board Bulletin 219* (1959). Highway Research Board, s. 25–51.
- [12] U Hammarström. *Hastighetsdata för bestämning av dimensionerande hastighet: Del 1. Fria fordon's hastighetsanpassning till siktförhållanden*. Meddelande 32. Linköping: Statens väg- och trafikinstitut, 1977.
- [13] P Höboda. *Beläggningsmaterialers polerings- och nötningsegenskaper*. SVI rapport 101. Stockholm: Statens Veginstitut, 1970.
- [14] P Höboda. *Stenmaterialers friktionsegenskaper: Sammanfattande slutrapport*. Internrapport 11. Stockholm: Statens väginstitut, 1971.
- [15] Peet Höboda. *En state-of-the-art-rapport med avseende på svenska förhållanden. Polering och nötning av stenmaterialet i slitlagerbeläggning: Inverkan på friktionen hos vägbeläggning*. Notat 1997-18. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet, 1997.
- [16] Peet Höboda. *Nötning och polering av stenmaterial - en studie i svepelektronmikroskop*. Rapport 26. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1973.
- [17] Peet Höboda. *Polering av stenmaterial: Slutrapport*. Notat 1999-16. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet, 1999.
- [18] Peet Höboda. *Stenmaterialers poleringsbenägenhet: Sammanfattning av tillgängliga metoder - erfarenheter av utförda försök*. Specialrapport 45. Stockholm: Statens Veginstitut, 1966.
- [19] Torbjörn Jacobson. *Polering av asfaltbeläggning: Friktionsmätningar 1997*. Notat 1998-26. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet, 1998.
- [20] Torbjörn Jacobson. *Polering av asfaltbeläggning: Friktionsmätningar 2001 i Stockholm*. Notat 2002-25. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2002.

- [21] Torbjörn Jacobson. *Polering av asfaltbeläggning: Friktionsmätningar i Stockholm 2002*. Notat 2003-25. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2003.
- [22] Torbjörn Jacobson. *Polering av asfaltbeläggning: Friktionsmätningar i Stockholm 2003*. Notat 2004-30. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2004.
- [23] Torbjörn Jacobson. *Polering av asfaltbeläggningar*. Notat 2005-12. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2005.
- [24] Torbjörn Jacobson och Mattias Hjort. *Polering av asfaltbeläggning*. Notat 2007-25. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2008.
- [25] Torbjörn Jacobson och Fredrik Hornwall. *Polering av asfaltbeläggning: Friktionsmätningar 1997-1998*. Notat 1999-06. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet, 1999.
- [26] Torbjörn Jacobson och Fredrik Hornwall. *Polering av asfaltbeläggning: Friktionsmätningar 1999*. Notat 2000-33. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet, 2000.
- [27] Torbjörn Jacobson och Fredrik Hornwall. *Polering av asfaltbeläggning: Friktionsmätningar i Stockholm 1997-2000*. Notat 2001-17. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2001.
- [28] Torbjörn Jacobson och Peet Höbeda. *Polering av asfaltbeläggning: Friktionsmätningar hösten 1996*. Notat 1996-74. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet, 1996.
- [29] Torbjörn Jacobson och Peet Höbeda. *Polering av asfaltbeläggning: Friktionsmätningar hösten 1996*. Notat 1997-11. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet, 1997.
- [30] B Lilja och E Ohlsson. *Faktorer som medverkar till låg friktion mellan bildäck och vägbana*. Rapport 52. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1974.
- [31] Bent Lund. *Friction Test. Comparative testing with 3 different equipments carried out during the summer 1996*. Report 82. Danish Road Institute, 1997.
- [32] Sven-Olof Lundkvist och Sven-Åke Linden. *Road marking friction: A comparison between the SRT pendulum and the VTI Portable Friction Tester*. Notat 1994-65A. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet, 1994.
- [33] G Magnusson. *Undersökning av styrradiens inverkan vid bromsning på vägbana av typ "split-friction"*. Rapport 94. Linköping: Statens väg- och trafikinstitut, 1976.
- [34] Ralph A. Moyer. "Report of Committee on 'Antiskid Properties of Road Surfaces'". I: *Highway Research Board Bulletin 27* (1959). Highway Research Board, s. 1–12.
- [35] Staffan Möller, Espell Joakim, Sven-Åke Lindén, Lars Lindström, Olle Nordström, Pontus Sandell, Mats Wiklund och Peter Wretling. *Vintermätningsbil för FoU-ändamål 1997–1998*. Meddelande 876. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 1999.
- [36] E. Nordendahl. *Gatu- och vägbeläggningars slirighet*. Meddelande 10. Stockholm: Svenska Vägintitutet, 1928.
- [37] Olle Nordström. *Provning av antilåssystem: Vinterprov 1985 för värdering av förslag till revision av ECE Reg 13, Annex 13*. Rapport 304. Linköping: Statens väg- och trafikinstitut, 1986.
- [38] Olle Nordström. *Provning av antilåssystem: Vinterprov 1986 med personbilar. Studier av prestanda och provmetodik*. Rapport 311. Linköping: Statens väg- och trafikinstitut, 1986.
- [39] Olle Nordström och Peter Ståhl. *Provbanetest av dubbelkombinationer på vinterväglag*. Notat TF 50-01. Linköping: Statens väg- och trafikinstitut, 1986.
- [40] E Ohlsson. *Friktionsmätning på rullbanor och vägar*. Rapport 177. Linköping: Statens väg- och trafikinstitut, 1979.
- [41] E Ohlsson. *ICAO runway friction equipment correlation trial 1973: Resultatredovisning. Del 1*. Internrapport 125. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1973.
- [42] E Ohlsson. *ICAO runway friction equipment correlation trial 1973: Resultatredovisning. Del 2 (Bilaga 1)*. Internrapport 125-1. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1973.

- [43] E Ohlsson. *ICAO runway friction equipment correlation trial 1973: Resultatredovisning. Del 2 (Bilaga 2)*. Internrapport 125-2. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1973.
- [44] E Ohlsson. *ICAO runway friction equipment correlation trial 1973: Resultatredovisning. Del 2 (Bilaga 3)*. Internrapport 125-3. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1973.
- [45] E Ohlsson. *ICAO runway friction equipment correlation trial 1973: Resultatredovisning. Del 2 (Bilaga 4)*. Internrapport 125-4. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1973.
- [46] E Ohlsson. *ICAO runway friction equipment correlation trial. Delrapport: Etapp 2, 12–28 februari 1973 i Sverige*. Internrapport 112A. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1973.
- [47] E Ohlsson. *ICAO runway friction equipment correlation trial. Delrapport. Etapp 1. 8–21 januari 1973 i Storbritannien*. Internrapport 98. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1973.
- [48] E Ohlsson. *ICAO runway friction equipment correlation trial. Delrapport. Etapp 3, 19–30 mars 1973 i Frankrike*. Internrapport 122. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1973.
- [49] E Ohlsson, C Formgren och O Nordström. *Friktionen i vägsammanhang: Teorier och praktiska frågor*. Internrapport 94. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1972.
- [50] E Ohlsson och B Lilja. *Jämförande mätningar på några olika beläggningar med VTI friktionsmätvagn BV 5 och VV friktionsmätvagn BV 11*. Internrapport 149. Stockholm: Statens väg- och trafikinstitut, 1973.
- [51] *Proceedings of ROADS AND TRAFFIC SAFETY ON TWO CONTINENTS in Gothenburg, Sweden, 9-11 September 1987: Speed; Vehicle performance; Crashworthiness*. Rapport 332A. Linköping: Statens väg- och trafikinstitut, 1988.
- [52] Rein Schandersson. *Beläggningsteknik och beläggningssyta — inverkan på trafik och omgivning: Dokumentation från NKTF-seminarium den 5–6 oktober 1992, Esbo, Finland*. Meddelande 723. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 1993.
- [53] Bjarne Schmidt. *Friktionsmålinger. Sammenlignende målinger mellem ROAR og Stradograf*. Report 90. Danish Road Institute, 1999.
- [54] *Teknisk-ekonomiska utredningar rörande vägväsendet. Vägar, av 1931 års väg- och brosakkniga*. Meddelande 44. Stockholm: Svenska Väginstitutet, 1934.
- [55] Carl-Gustaf Wallman och Henrik Åström. *Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety: A literature review*. Meddelande 911A. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2001.
- [56] James C. Wambold, Charles E. Antle, J. J. Henry och Zoltan Rado. *International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements*. Tekn. rapport. PIARC Technical Committee on Surface Characteristics C.1, 1995.
- [57] B. Wehner. *Comparative measurements of skid resistance on roads in Hamburg and Schleswig-Holstein October 3 to 14, 1960*. Tekn. rapport. Institute of Highway Engineering and Transportation of the Technical University of Berlin, 1961.
- [58] B. Wehner, E. Ritter och K.-H. Schulze. *Griffigkeitsmessungen auf nasses Straßenfahrbahnen — Griffigkeitsuntersuchungen auf Straßen in Berlin und in Nord- und Westdeutschland*. Tekn. rapport. Technische Universität Berlin, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, 1959.
- [59] *VTIs och TFBs forskardagar del 2: Rapportsammanställning av föredrag vid forskardagarna i Linköping 1989-01-10–11 beträffande: Godstransporter och MA - vägunderhåll-för väghållaren eller trafikanten? - transportpolitiken och samhällsekonomin - storstadens trafikproblem-workshop - parkeringsproblemet - praktisk vägforskning i full skala - EG:s inre transportmarknad och Norden - planerings- och prognosmetoder/modeller - historiska och organisatoriska aspekter på transportsystemet*. Meddelande 591. Linköping: Statens väg- och trafikinstitut, 1989.
- [60] Bengt Wälivaara. *Validering av VTI-PFT version 4: Mätningar på plana och profilerade vägmarkeringar*. Notat 2007-16. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2007.
- [61] Henrik Åström. *Utvärdering av PFT som friktionsmätare för vägmarkeringsytor*. Notat 2000-45. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet, 2000.

- [62] Henrik Åström. *Validering av VTI PFT version 3*. Notat 2001-50. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2001.

Bilaga 4 Standarder i Europeiska länder

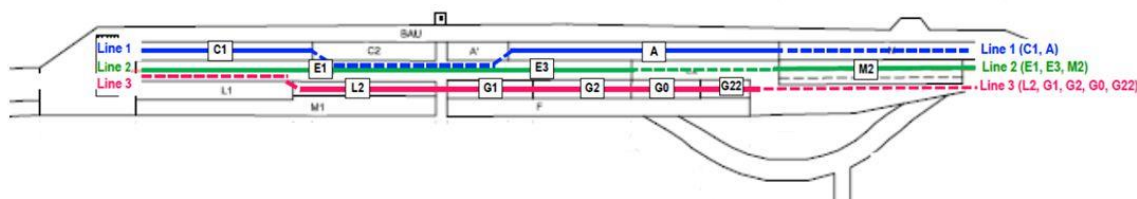
Källa: EU projektet Tyrosafe (Tyrosafe, 2009).

Land	Nationell standard	Internationell standard
AT, Österrike	RVS 11.06.65 RVS 11.06.71 ON B3591, order of Ministry of transport RVS 13.01.15 RVS 08.17.02 RVS 08.16.01	EN 13036-4: 2003 CEN TS RoadSTAR
BE, Belgien	Standaardbestek 250 (contractual document)	
BG, Bulgarien		EN 130 36-1 EN 130 36-2 EN 130 36-4
CZ, Tjeckien	ČSN 73 6177	CEN/TC 227/WG 5 N 191 E Rev.1: TRT technical specification
DE, Tyskland	ZTV ZEB-StB	
DK, Danmark	Danish Road Standards Maintenance: Konstruktion og vedligeholdelse af veje og stier Hæfte 4; Construction: Varmt blandet asfalt, Almindelige arbejdsbeskrivelse	
ES, Spanien	NLT-336 which is based on the TRRL Laboratory Report 737 "Measurement of skidding resistance. Part I. Guide to the use of SCRIM" (1976)	UNE EN 3036-1 UNE EN 1097-8
FR, Frankrike	NF P 98 220-1 measurement of skid resistance with a low speed friction device NF P 98-220-2 Method to obtain a longitudinal friction coefficient; NF 0 98_220-3 Method to obtain a sideway force friction coefficient (SFC)	EN 13036-1 Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique EN ISO 13473-1: Measurements of pavement surface macrotexture depth using profilometric measurements EN 13036-4: Measurement of a friction coefficient with the Pendulum
HU, Ungern	VT 2-2. 111 technical directives	
LV, Lettland	Autoceļu specifikācijas 2005 (http://www.lvceli.lv/LV/?i=107&DirID=42) LVS EN 13036-2	

NL, Holland	Richtlijnen voor het onderhoud van Rijkswegen, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Den Haag (Su), 1983, Ministeriele nota piece number 17600 B CROW "Standaard RAW bepalingen 2005" Proef 150 (Standard specifications for contracts, test methods 150) CROW publication 20A/B/C "Rational Pavement Management" 1987	CEN TS The RWS-NL skid resistance trailer, CEN/TS 15901-9
PL, Polen	Dz.U.99.43.430, order of Minister of transport Dz.U.02.12.116, order of Minister of transport SOSN, order of Director of GDDKiA	
SE, Sverige	VVMB 104 - Bestämning av friktion på belagd yta, Vägverket 1990:117 ATB VÄG 2005 VV Publikation 2005:112 ATB Vinter 2003. VV Publikation 2002:148	SS-EN 1436:1997 (Road marking materials, Road marking performance for road users)
SI, Slovenien	Technical Specification for roads TSC 06.620: Road Pavement characteristics Skid resistance; Ministry of transport, Slovenian Road Agency, 2003.	
SK, Slovakien	TP 14/2006, order Ministry of Transport, Post and Telecommunications STN 736177 STN736195	EN STN 13036-4
UK, Storbritannien	Design Manual for Roads and Bridges, Volume 7, HD28/04. Interim Advice Note IAN98 - the standard and supporting advice for Motorways and Trunk Roads; Local Authorities Association Code of Good Practice - provides general guidance Many documents written by individual local authorities	

Bilaga 5 Kompletterande friktionsmätningar med SFT och PFT

För att fastställa påverkan på friktionstalets hastighetsberoende har kompletterande mätningar gjorts. I nuvarande standard anges att hastigheten 70 km/h ska användas. Detta fungera inte i städer, där måste en lägre fart användas. Tester gjordes också för att försöka finna en harmonisering mellan PFT (portable friktionstestare) och friktionstal från Surface friction tester. De kompletterande mätningarna har skett på den avlysta testbanan i Nantes, Frankrike, se Figur 29. Banan förvaltas av det franska forskningsinstitutet IFSSTAR (franskt forskningsinstitut). På banan finns 10 sektioner med olika beläggningar.



Figur 29 Testbana Nantes.

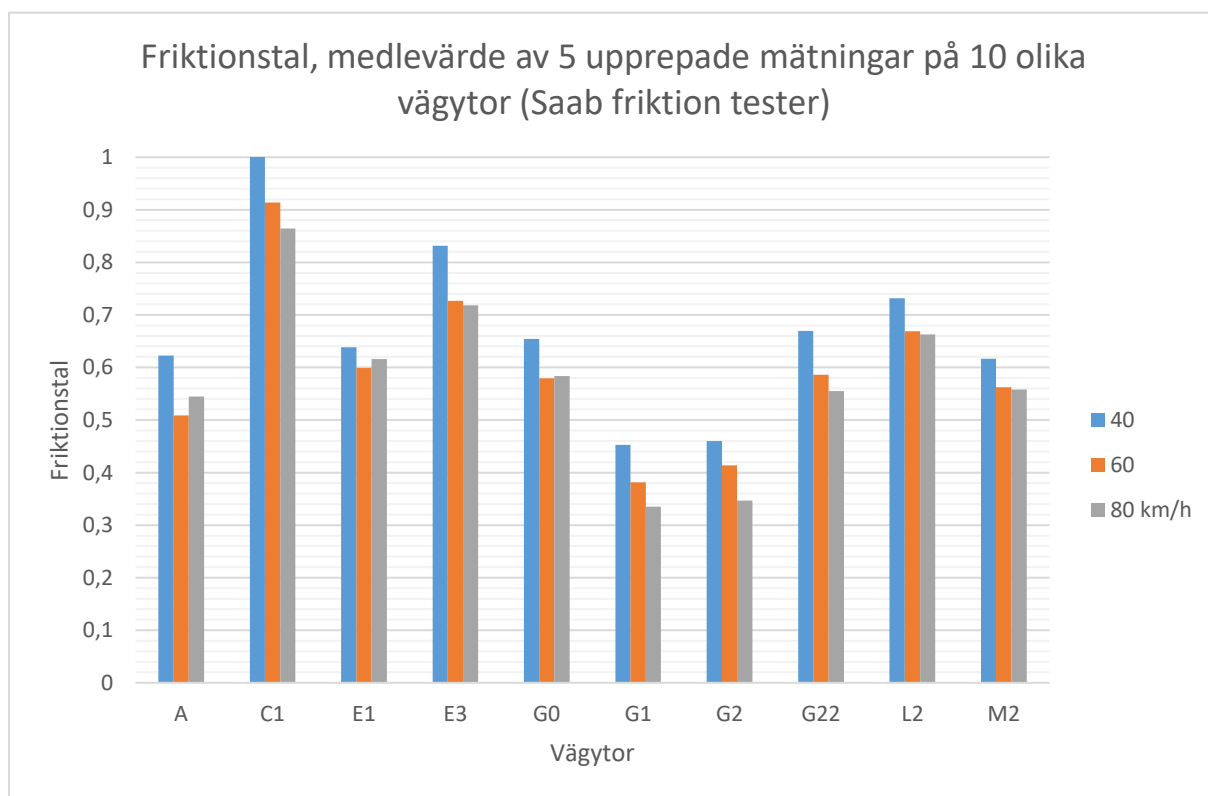
Omfattande mätningar gjordes med Surface friktion tester och PFT. 10 ytor med olika typ av beläggningar har använts. Mätningar gjordes i tre hastigheter 40, 60 och 80 km/h med 5 upprepade mätningar i varje hastighet. Dvs. det finns 15 upprepade mätningar på varje yta. Med PFT har mera begränsade mätningar gjorts, dvs. endast upprepade mätningar av en del av varje yta. Med hjälp av denna data har bland annat en analys gjorts av Surface friktion testers hastighetsberoende som har lett till vår rekommendation till gränsvärdet 0,55 vid 40 km/h. Vidare har en jämförelse mellan Surface friktion tester och PFT gjorts. Resultatet av denna visar en stark, närmast absolut likhet förutom för två ytor. Dessa ytor, G1 och G2 bestod av vitmålat tätt skikt. G1 var helt övermålad med vit färg (låg mikrotextur⁵) medan G2 hade små partiklar tillsatt i färgen för att skapa en viss mikrotextur. Beskrivning av alla ytor kan ses i Tabell 9.

Varje sektion mättes 5 gånger i tre hastigheter 40, 60 och 80 km/h. Ett medelvärde bildades för varje hastighet utifrån de fem mätningarna. Resultatet kan se i Figur 30 för mätning med det mönstrade standard däck (T49). I figuren visas medelvärdet av fem mätningar och för de tre hastigheterna på varje yta.

⁵ Ungefär skrovligheten på ytan av stenmaterialet

Tabell 9 Beskrivning av beläggningen på sektionerna

Sektion	Längd	Beläggning	stenstorlek	Ålder	MPD (mm)
A	220	Dränerande asfaltsbetong (ABd)	0/6	2006	0,71
C1	120	Asfaltsbetong	0/10	2014	-
E1	250	Halv grov asfaltsbetong (ABT)	0/10	2006	0,77
E3	120	Stenrik asfaltsbetong SMA, ABS	0/10	2016	-
L2	120	Finkorning asfalt	0/4	1999	0,74
M2	150	Tunnskikt asfaltsbetong TSK, ABS	0/6	2001	0,60
G0	50	asfaltsbetong	-	2006	-
G1	80	Målad yta	-	2014	-
G2	70	Målad yta med glaspärlor	-	2014	-
G22	50	Målad yta med glaspärlor	-	2014	-



Figur 30 Friktionen vid olika hastigheter.

Dessa har utnyttjats för att beräkna ett gränsvärde vid 40 km/h som motsvarar det som används vid 70 km/h. Då mätningarna skedde i 40, 60 och 80 km/h så har ett värde för 70km/h skapats som en linjär interpolation av 60 och 80 km/h som sedan använts i beräkningen.

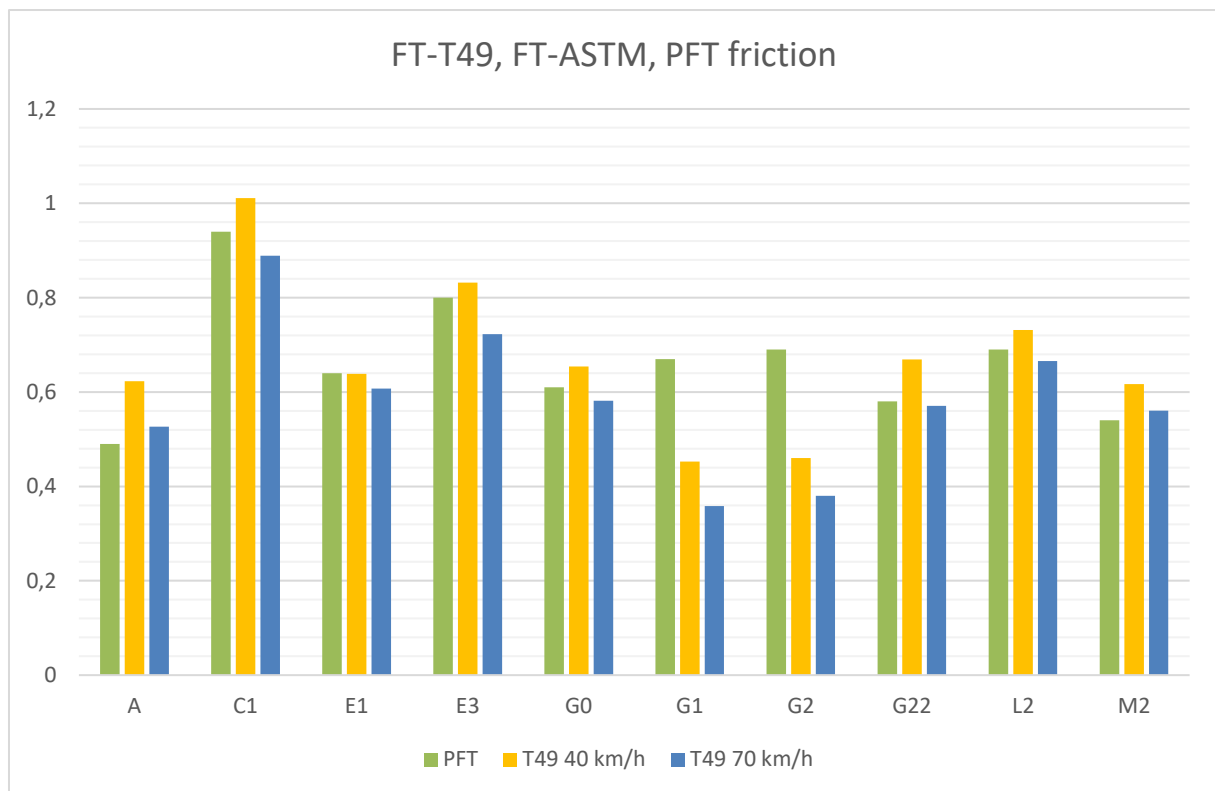
Tabell 10 Medelvärden för varje hastighet med T49 däck (obs 70km/h beräknat från 60-80 km/h)

Nummer i Figur 30	Sektion	40	60	70*	80
1	A	0,6228	0,509	0,5269	0,5448
2	C1	1,0108	0,9138	0,889	0,8642
3	E1	0,6386	0,5986	0,6074	0,6162
4	E3	0,8318	0,7266	0,7225	0,7184
5	G0	0,6542	0,5796	0,5817	0,5838
6	G1	0,4524	0,3814	0,3583	0,3352
7	G2	0,46	0,4138	0,3803	0,3468
8	G22	0,6694	0,5862	0,5705	0,5548
9	L2	0,7314	0,669	0,6658	0,6626
10	M2	0,6168	0,5624	0,5603	0,5582

Jämförelse PFT med SFT

Samtliga 10 sträckor har också blivit inmätta med PFT för att jämföras med Surface friktion tester. I Figur 31 kan man se resultatet. Som beskrivits tidigare är sträckorna G1 och G2 vit målade och därmed täta ytor. Detta förklarar troligen den relativt stor skillnaden mot Surface friktion tester för dessa sträckor. Surface friktion tester har körts med 40 och 70⁶ km/h med ett mönstrat däck och klarar trots det inte att trycka undan vattnet på den täta ytan medan PFT gör det tack vare sin låga fart. Det kan förklara att Surface friktion tester får ett högre friktionstal än PFT på dessa två täta ytor. Om man undantar dessa kan man konstatera att det finns en tydlig likhet mellan PFT och Surface friktion tester i 40 km/h. Förnyade jämförande mätningar har gjorts på vägmarkering men behöver kompletteras ytterligare innan man kan fastställa en fullständig översättning.

⁶ Beräknat från 60 och 80 km/h.



Figur 31 PFT data jämfört med Surface friktion tester.

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

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

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

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

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

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

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

