



Orsaker till halka på cykelvägar och belägningens inverkan

En beskrivning av kunskapsläget

Fredrik Hellman
Anna Niska
Göran Blomqvist

VTI notat 18-2019

Orsaker till halka på cykelvägar och beläggnings inverkan

En beskrivning av kunskapsläget

Fredrik Hellman

Anna Niska

Göran Blomqvist

Författare: Fredrik Hellman, VTI, <https://orcid.org/0000-0001-6122-8496>
Anna Niska, VTI, <https://orcid.org/0000-0003-1162-2633>
Göran Blomqvist, VTI, <https://orcid.org/0000-0002-0124-0482>
Diarienummer: 2018/0140
Publikation: VTI notat 18-2019
Omslagsbilder: Katja Kircher och Göran Blomqvist, VTI
Utgiven av VTI, 2019

Förord

Denna rapport är en del av projektet ”Nya beläggningar för halkfria cykelvägar ur ett helhetsperspektiv”. Projektet är finansierats av InfraSweden och gemensamma insatser av deltagande företag. Ett stort *tack* till finansiärer och deltagare i projektet som bidragit till innehållet i rapporten.

Projektmedlemmarna förutom projektledaren har bestått av följande personer:

Annelie Carlsson	Linköpings universitet
Robert Lundström	NCC
Frida Panzare	NCC
Xiaohu Lu	Nynas
Andreas Pettersson	Ennuwa
Anders Tykesson	Trafikverket
Tomas Stomberg	Karlstad kommun
Anders Svärd	Karlstad kommun
Göran Blomqvist	VTI
Mats Gustafsson	VTI
Björn Kalman	VTI
Jones Karlström	VTI
Anna Niska	VTI

Linköping, november 2019

Fredrik Hellman
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts 30 september 2019 av Leif Sjögren. Fredrik Hellman har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Björn Kalman har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 30 oktober 2019. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

Internal peer review was performed on 30 September 2019 by Leif Sjögren. Fredrik Hellman has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Björn Kalman examined and approved the report for publication on 30 October 2019. The conclusions and recommendations expressed are the authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	7
Summary	9
1. Introduktion och syfte.....	11
2. Bakgrund	12
3. Metod.....	14
4. Orsaker till halka	15
4.1. Texturens inverkan på friktion och halkrisk	15
4.2. Omgivning och miljöns inverkan på friktion	16
5. Olika beläggingsmaterial och friktion.....	18
6. Mätmetoder och krav på friktion	20
7. Diskussion	21
7.1. Varför behövs bättre beläggningar på cykelvägar?.....	21
7.2. Bättre mätmetoder.....	22
7.3. Materialkrav	22
7.4. Förslag till studier av nya beläggningar	22
8. Slutsats	24
Referenser	25

Sammanfattning

Orsaker till halka på cykelvägar och beläggnings inverkan – en beskrivning av kunskapsläget av Fredrik Hellman (VTI), Anna Niska (VTI) och Göran Blomqvist (VTI)

En litteratursammanställning av kunskapsläget har gjorts för att förstå orsaker till halka på cykelbanor. Inverkan av textur på friktion och halkrisk samt omgivnings inverkan beskrivs. Ett huvudsyfte med rapporten är att utifrån kunskapsläget identifiera kunskapsbehovet om olika beläggningstypers friktion och halkbenägenhet under olika förhållanden i cykelhastigheter upp till 40 km/h. Halkrisken bestäms bland annat av friktionen mellan däck och vägbanan. Det finns många faktorer som påverkar halkrisken till exempel vägytans geometri och ytegenskaper, fordonets hastighet, hjulens egenskaper, temperatur och omgivningens miljö (t.ex. vegetation och nedsmutsningsrisk). Denna rapport fokuserar på vägytans egenskaper och meteorologiska faktorer (främst temperatur och fukt) och inte på cykeln eller dess komponenters egenskaper. Texturen på vägytan är en viktig parameter när det gäller halka. Texturen delas upp i tre våglängdsområden:

mikro-, makro- och megatextur. Främst är det mikrotextur och makrotextur som påverkar friktionen för cyklar. I praktiken utgör däck och cykelbanan sällan två rena ytor som möts. Ofta uppstår också halka då ytan är nedsmutsad, vatten, snö och is agerar då som ett friktionssänkande skikt mellan hjulen och ytan. Även rullgrus ger upphov till halkrisk. Det finns friktionskrav för gång- och cykelvägar även om det sällan utförs friktionsmätningar. Befintliga krav i Sverige för belagda vägar inklusive gång- och cykelvägar är att medeltalet för friktionstalet inte får understiga 0,50 över en 20 meter lång sträcka. Friktionsmätning kan göras med PFT (Portable Friction Tester) då detta handhållna instrument enligt preliminära resultat korrelerar med standardmetoden Road Friction Tester (SAAB Friction Tester) som inte kan användas på cykelvägar.

En bra beläggning för gång- och cykelbanor har potential att minska halkrisken, öka effektiviteten och minska behovet av halkbekämpande åtgärder. Kan antalet tillfällen med halkbekämpning reduceras finns miljö och ekonomiska besparingar att göra. För att kunna bygga säker cykelinfrastruktur behövs kunskap om hur detta ska göras. Det finns behov av att utvärdera mätmetoder för friktionsmätning av cykelvägar. Stickprov på kortare sträckor kan mätas med PFT. För att mätning ska kunna göras oftare och på längre sammanhängande sträckor bör metoder som kan mäta kontinuerligt över längre sträckor tas fram, vilka saknas idag. Metoder som mäter mikro- och makrotextur behöver utvecklas med avseende på cykeltrafiken så att texturdata kan användas mer effektivt. Befintliga materialkrav för asfaltsbeläggningar är anpassade för biltrafiken. I många fall är dessa egenskaper mindre viktiga för cykelvägar även om de i viss mån ska klara tunga renhållningsfordon och plogbilar. Det är oklart vilka materialegenskaper som är viktigast för cykelvägar. Exempelvis finns mycket lite beskrivet om beläggning och dess halkpreventiva egenskaper.

Mer kunskap behövs angående:

- Mätmetoder som beskriver halk- och friktionsegenskaper för cykelvägar.
- Viktiga materialkrav.
- Optimering av halkfri beläggning.

Summary

Causes of slipping on cycle paths and impact of the pavement – a description of the state of knowledge

by Fredrik Hellman (VTI), Anna Niska (VTI) and Göran Blomqvist (VTI)

This report is a literature review of the state of knowledge to understand the reasons for slipperiness on bicycle paths. The effect of texture on friction and slip risk and environmental impact is described. One of the main aims of the report is to present knowledge and needs around the friction and slip resistance of different types of surface courses under different conditions in cycle speeds up to 40 km/h. The slip risk is determined among others by the friction between the tire and the road surface. There are many factors that affect this friction, for example, the road surface's property, vehicle speed, tyre characteristics and the environment. This report focuses on the road surface's properties and meteorology (mainly temperature and humidity) and not on the bicycle or its component properties. The texture of the road surface is an important parameter when it comes to slip. The texture is divided into three wavelength ranges: micro, macro, and mega textures. Primarily, it is micro-texture and macro-texture that affect the friction of bicycles. In practice, the tire and the cycle path are rarely two clean surfaces that meets. Often, slip also occurs when the surface is dirty, water, snow and ice act as a friction-reducing layer between the wheels and the surface. Loose gravel also gives rise to slipping risk.

There are friction requirements for walking and cycling paths, although friction measurements are rarely carried out. Existing requirements in Sweden for surface course, including walking and cycling routes, are that the average friction number must not be less than 0.50 over a 20 meter long distance. Friction measurement can be done with PFT (Portable Friction Tester) as this hand-held instrument correlates well with the standard method Road (SAAB) Friction Tester which cannot be carried out on a bicycle path.

A good surface course for walking and cycling paths has the potential to reduce the risk of slipping, increase efficiency and reduce the need for anti-slip measures. If the number of times with anti-slip measure is reduced, environmental and economic savings can be made. In order to be able to build secure bicycle infrastructure, knowledge is needed about how this should be done. There is a need to evaluate measurement methods for friction evaluation on cycle paths. Spot-check on shorter distances can be measured with PFT. In order for measurement to be made more often and provide better information, it should be developed methods that can measure continuously over longer distances. Methods that measure micro and macro texture need to be developed with respect to bicycle traffic so that texture data can be used more efficiently. Existing material requirements for asphalt pavements are adapted for car traffic. In many cases, these properties are less important for cycle pavements, even if they to some extent are to handle heavy cleaning and plow vehicles. It is unclear what material properties are most important for cycle routes. For example, very little is described about surface courses and its slip prevention properties.

More knowledge is needed regarding:

- Measurement methods that describe slip and friction properties for cycle paths.
- Important material requirements.
- Optimization of non-slip surface courses.

1. Introduktion och syfte

Den här rapporten är en litteratursammanställning av kunskapsläget för att förstå orsaker till halka för cyklar. Inverkan av textur på friktion och halkrisk samt omgivnings inverkan belyses. Ett huvudsyfte med rapporten är att ta fram kunskap och behov av olika beläggningstypers friktion och halkbenägenhet under olika förhållanden i cykelhastigheter upp till 40 km/h. Ett annat syfte är att samla intressenter i branschen och lyfta fram deras behov. I förlängningen är kunskapen tänkt att användas för att ta fram bättre beläggningar och konstruktioner för gång- och cykelvägar. Med förbättrad friktion för cyklister, kan halkriskerna reduceras. Andra viktiga aspekter är även miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv för konstruktioner och material så att en förbättring kan uppnås jämfört med nuvarande konstruktioner.

Kunskapen i rapporten är tänkt att bidra till att minska antalet skadade cyklister genom att förbättra kunskapen om friktionsegenskaper av olika material under olika förhållanden liksom hållbarhet och åldringsegenskaper. Detta väntas leda till en utveckling av nya konstruktionslösningar, för säker och hållbar infrastruktur.

2. Bakgrund

Målsättningar om att cykeltrafiken ska öka finns på nationell, regional och lokal nivå och det ska gärna ske genom att ersätta bilresor. Många städer gör också satsningar för att öka andelen resor med cykel, även vintertid. Cyklisters framkomlighet är en nyckelfaktor för att kunna uppnå de uppställda målen. För att lyckas behövs bra vinterväghållning men också att beläggningsytan är jämn och av god kvalitet så att cyklisterna erbjuds en god åkkomfort. Detta blir speciellt viktigt när medelhastigheten på cykelvägarna ökar i och med att andelen elcyklar blir större. Samtidigt som målsättningen är att öka cyklandet, utgör cyklister den största trafikantgruppen bland skadade i trafiken. Åtta av tio cyklister som skadats allvarligt har skadats i en singelolycka där en av de främsta enskilda bakomliggande orsakerna är halka (Niska och Eriksson, 2013). Halka till följd av is och snö är mest vanligt förekommande, men även halka till följd av väta, grus och smuts förekommer. Väglaget men också beläggningsytan som sådan har betydelse för om halka uppstår. Vissa platser är speciellt utsatta, t.ex. broar där frosthalka är vanlig samt korsningar där bilars inbromsning kan ge polerade ytor på beläggningsytan.

Under senare år har halkbekämpning med salt på cykelvägar blivit allt vanligare, framförallt sedan metoden som kallas för ”sopsaltning” börjat tillämpas i allt större utsträckning. Metoden innebär att en sopvals används för att röja bort snö och vätska från vägytan samtidigt som halkan bekämpas med saltlösning eller befuktat salt. Metoden har använts för vinterväghållning av cykelvägar i Linköping sedan 1999 (Bergström, 2002) och har under senare år börjat användas i drygt trettio svenska kommuner (Niska och Blomqvist, 2019). Målsättningen är att förbättra cyklisters framkomlighet, komfort och säkerhet vintertid med en bättre vinterdriftstandard. Stockholms stad har sedan vintern 2013/14 tillämpat sopsaltning i en allt större omfattning och VTI har sedan dess haft i uppdrag att utvärdera metoden för att identifiera för- och nackdelar och ge förslag till möjliga förbättringar (t.ex. Niska och Blomqvist, 2016, Niska och Blomqvist, 2018).

Avgörande för kemisk halkbekämpning är att oönskad utspädning av halkbekämpnings-kemikalierna undviks i största möjliga mån. Därför är avvattningssegenskaperna av beläggningsytan viktig vilket ställer krav på ytans tvärfall och att ojämnheter som kan leda till pölbildning undviks. Även beläggningens beskaffenhet, betong, asfalt, cementplattor eller dylikt, påverkar halkrisken vid olika väderförhållanden. I utvärderingarna av sopsaltmetoden har det uppmärksammats att olika typer av beläggningar har olika halkbenägenhet (Niska et al., 2017). Ett exempel är gång- och cykelbanorna på bron vid Slussen i Stockholm. Här har halka uppstått av okänd anledning under de senaste vintrarna, framförallt i början av vinterperioden. Då detta är en av de mest trafikerade gång- och cykelsträckorna i Sverige är det av yttersta vikt att undvika att halka uppstår här med olyckor bland fotgängare och cyklister som följd. För att minska risken för att halka ska uppstå i fallet Slussen har nu värmeslingor placerats i utvalda sektioner på sträckan. Detta är dock en temporär lösning, då hela Slussenområdet är under ombyggnad. Inför den slutliga konstruktionen väcks frågan om vad som är ett optimalt val av beläggningmaterial och konstruktion i övrigt. Det finns därför anledning att vidare studera olika beläggningstypers halkbenägenhet under olika förhållanden, för att därigenom kunna klassificera och rekommendera de vid givna förhållanden, mest optimala ytbeläggningarna på cykelvägar med avseende på friktion.

Beläggningsytan på en cykelväg har en huvuduppgift, att utgöra cykelyta för cyklisten. För att ha en hållbar, beständig, säker och komfortabel cykelyta måste den vara tekniskt hållbar dvs. klara sin uppgift så länge som möjligt. För att klara detta gäller det bland annat att hindra vatteninträngning i konstruktionen. Trafikverket specificerar dock inga materialkrav på bitumenbundna lager för cykelväg (TRVKB10, 2011) förutom att ett friktionstal över 0,50 ska uppnås. En asfaltbeläggning ger en hård, jämn och vattentät yta med, i regel, god friktion och litet rullmotstånd. Därför är asfalt den beläggning cyklisterna föredrar, framför betong, gatsten och grus (Hölzel et al., 2012). Inte bara cyklisterna föredrar en jämn beläggning, utan det är viktigt även ur väghållarsynpunkt, för effektiv snöröjning.

Eftersom beläggningsen i regel är relativt tunn på cykelvägar är den även känslig för mekaniska skador, vilka lätt uppstår om beläggningsen är ojämn (Wågberg, 2003).

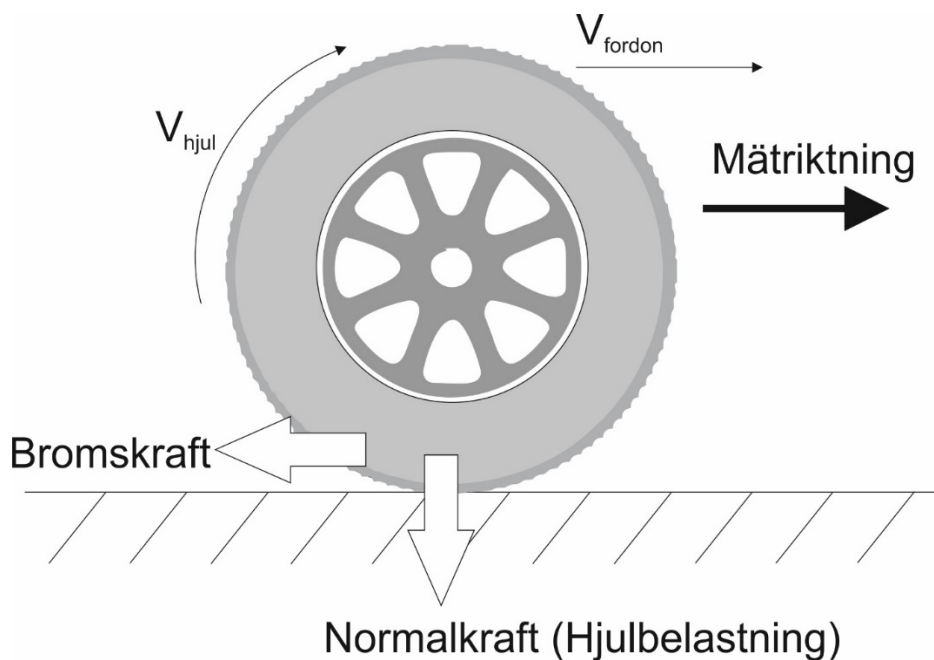
De tekniska egenskaperna som ska prioriteras hos en asfaltbeläggnings på en cykelväg är i första hand flexibilitet och åldringsresistens (SKL, 2010). Flexibiliteten är ett uttryck för beläggningsens förmåga att motstå upprepade rörelser i underliggande lager utan att brytas sönder. Åldringsresistensen är en prioriterad funktion eftersom beläggningsen normalt inte utsätts för dubbslitage eller tung fordonstrafik. Det innebär att konstruktionens livslängd, ur belastningssynpunkt, kan bli längre än 20 år. Detta gör att cykelbanor utsätts för nedbrytning och oxidativ åldring under lång tid. Nedbrytningen gör att cykelbeläggningsar förlorar sin flexibilitet och man observerar ofta krackelerade banor samt potthål vilket förvärrar åkkomfort och säkerhet. För att uppnå bra åldringsresistens bör asfaltbeläggningsen på en cykelväg enligt Wågberg (2003) ha relativt liten stenstorlek, vara högst 8 mm, samt homogen, tät, bindemedelsrik och välpackad. Samtidigt som rekommendationen om en liten stenstorlek är bra för åldringsresistensen, kanske det inte ger den mest optimala friktionen under alla väder- och väglagsförhållanden. Idag finns nya möjligheter att förbättra åldringsresistensen, exempelvis med polymermodifierade bindemedel. Det är därför viktigt att studera olika typer av beläggningsar för att se vilken som ger den bästa balansen mellan friktion och andra egenskaper som exempelvis flexibilitet och åldringsresistens. Olika beläggningsars miljöpåverkan, vid tillverkning och utläggning behöver också värderas.

3. Metod

Sammanställningen i den här rapporten bygger på litteraturstudier och diskussioner i samband med workshops och kontakter med intressenter i branschen. Fokus har lags på att genomlysna relevant litteratur på området halka och friktion på gång- och cykelvägar. Databaser som använts är DiVA, Scopus och Google Scholar, regelverk samt referenslistor i publikationer. Projektgruppen har bidragit med erfarenheter och kunskap inom sina expertområden. Deltagarna representerar väghållare, entreprenörer, forskare och konsulter med erfarenheter av planering, byggnation, och drift av cykelvägar.

4. Orsaker till halka

Halkrisken bestäms bland annat av friktionen mellan däck och vägbanan. Friktion uppstår när två ytor i kontakt rör sig mot varandra. Friktionen i vårt sammanhang bestäms av kontaktytan mellan vägbanan och däck när det rullar. Det finns många faktorer som påverkar friktionen till exempel vägytans egenskaper, fordonets hastighet, temperatur, hjulens egenskaper och omgivningens miljö (Hall et al. 2009, Sjögren et al. 2019). Denna rapport fokuserar på vägytans egenskaper och klimat (främst temperatur och fukt) och inte på cykeln eller dess komponenters egenskaper. Friktion kan karaktäriseras som motståndet att förhindra glidning vid framdrivning eller bromsning (Figur 1). De parametrar som påverkar halkrisk på cykelvägar diskuteras nedan.



Figur 1. Princip för friktionsmätning (Sjögren, Niska et al. 2019).

4.1. Texturens inverkan på friktion och halkrisk

Texturen på vägytan är en viktig parameter när det gäller halka. Texturen delas upp i tre våglängdsområden: mikro-, makro- och megatextur (PIARC 1987). Främst är det mikrotextur och makrotextur som påverkar friktionen för cyklar medan den påverkas i mindre omfattning av megatexturens ojämnheter.

Megatextur är ojämnheter mellan 0,05–0,5 m (50–500 mm) där ett högre värde leder till försämrade komfort (Lundberg, Sjögren et al. 2011). Det beskriver bland annat skador, hål och andra ojämnheter i beläggningen som sannolikt tydligt uppfattas av en cyklist och kan utgöra risk för omkullkörning p.g.a. sin storlek. Även om dessa skador utgör påtagliga risker för cyklister är de inte i fokus i detta projekt.

Makrotexturen är ojämnheter i storleken 0,5–50 mm (PIARC 1987, Lundberg, Sjögren et al. 2011) och kan påverka komforten (vibrationer) för cyklister men också rullmotståndet och friktionen. Måttet beskriver ojämnheter i vägen bland annat till följd av den textur ballastkornen i vägytan bildar och hur bra ytan kan avvattas genom ytavrinning (Kotek och Florková 2014), men även hur ytan kan tillåta att vatten trängs undan när ett däck rullar över den. Detta är viktigt för friktionsegenskaperna. Vid högre hastigheter (ca 40 km/h) spelar makrotexturen en ökad roll för friktionen/väggreppet för biltrafik (Kotek och Florková 2014) men för cyklar är innebörden mer osäker då dessa oftast framförs i hastigheter under 40 km/h. Makrotexturens betydelse för biltrafik i höga farter är också att möjligheten

för vattenundanträngning ökar med ökande makrotextur. Det gör att risken för vattenplaning minskar med ökande makrotextur men även däckets egenskaper är viktiga i sammanhanget. Detta är en av orsakerna till att vi har krav på mönsterdjup på motorcyklars, bilars och den tunga trafikens däck. Mönsterdjupskrav saknas dock för cyklar. Om det blir stående vatten och smuts på vägbanan kan detta öka halkrisken. Speciellt viktigt är detta om vatten på cykelbanan fryser till is och det bildas isfläckar. Därför är också jämnhet och tvärfall viktiga egenskaper för att förhindra stående vatten.

Makrotexturen kan mätas med standardiserade mått som MPD (Mean Profile Depth). Beräkningen är beskriven i standard (ISO13473-1 1997). MPD kan inte ensamt användas som en indikator för låg friktion men sannolikheten för låg friktion ökar med lågt MPD (Lundberg et al. 2015). MPD samlas rutinmässigt in av Trafikverket på alla större bilvägar, dock görs inga mätningar på cykelvägar. Största stenstorlek på ballasten och beläggningstyp påverkar makrotexturen och även läggning och utförande har stor betydelse. På cykelvägar är ofta största stenstorlek 11 mm (ABT11) vilket har blivit praxis på asfaltsmassa för gång- och cykelvägar. Man uppnår då en yta som är komfortabel att cykla på. Det är dock osäkert om det är optimalt ur friktions- och halkriskhänseende.

Mikrotexturen är de minsta ojämnheter under 0,5 mm (PIARC 1987, Lundberg et al. 2011, Lundberg et al. 2015). Mikrotexturen påverkar om ytan ska uppfattas som slät eller rå. Denna råhet bestäms av ytstrukturen på de större ballastpartiklarna och dess minerals förmåga att ha vassa kanter och ge upphov till mikrotextur (Hall et al. 2009). Mikrotexturen kan knytas till adhesionen (vidhäftningen) mellan två material (Hall et al. 2009), vilken utgör en viktig del av friktionen mellan däck och beläggning, speciellt vid låga hastigheter under 40 km/h på torrt underlag (Kotek och Florková 2014). Därmed bör den ha stor betydelse för cyklar och dess väggrepp. Olika stenmaterial har olika mikrotextur beroende på mineralogi och stensort och ger därför olika friktion. På bilvägar påverkas mikrotexturen av slitaget orsakat av dubbdäck, vilket leder till en säsongsviss variation. För cykelvägar har mikrostrukturen sannolikt en betydande inverkan på friktionen och halkbenägenheten. En optimering av ballasten med avseende på mikrotextur kan därför ha stor inverkan på halkbenägenheten. Det finns ännu inget standardiserat mått som kan användas för att mäta mikrotextur. Mikrotextur kan dock jämföras mellan olika ytor genom att använda texturdata i mikrotexturområdet. Data kan samlas in genom att använda finkänslig texturlaser eller liknande teknik. Att mäta friktionen, anses ge en bra indikation på mikrotexturegenskaperna. Vi återkommer till metoder för friktionsmätning i kapitel 6.

4.2. Omgivning och miljöns inverkan på friktion

I praktiken är det sällan som två rena ytor, däck och cykelbanan möts. Här kommer också ett ”smörjmedel” eller vätskefilm in bestående av vatten och nedsmutsningspartiklar vilket leder till tribologi-effekter, som komplicerar det hela. Annat som komplicerar bilden är rullgrus som utgör en stor halkrisk bland cyklister (Niska och Eriksson, 2013) men kanske inte ska räknas in i friktionen. Vatten, snö och is agerar som ett friktionssänkande skikt mellan hjulen och ytan. Genom att mäta friktion på asfaltsytor som preparerats med olika typer av väglag (torrt, vått, snö och is) kan man få en uppfattning om dess inverkan på halkrisken (Dan et al. 2017).

Det författarna inte helt oväntat kan konstatera är att friktionen minskar kraftigt vid isiga och snöiga förhållanden. Lågst friktion uppnås vid blöt is följt av kompakterad snö och smältande snö. Vid våt vägbana minskar friktionen men inte alls lika mycket som vid snö och is. Detta bekräftas även av friktionsmätningar i fält på cykelvägar (Niska et al. 2018) med tillägget att snöigt väglag inte alltid innebär halka. Vid låga temperaturer kan snöiga och även rimfrostklädda ytor ge god friktion. Detta beror på att kontakten mellan gummihjulet blir torrare vid låga temperaturer vilket ger högre friktion (Higgins et al. 2008) då den halkiga vätskefilmen uteblir. Vid experimentella tester av friktion mellan gummi och is var friktionen acceptabel upp till -5 °C (Klein-Paste och Sinha 2010). Dock kan situationen snabbt ändras vid ökad temperatur och bearbetning av trafik vilket skapar en vätskefilm mellan gummihjulet och den frusna ytan. Detta sänker friktionen (Higgins et al. 2008, Klein-Paste och

Sinha 2010). Även ett tunt lager snö på en kall frusen yta (-20 till 0 °C) sänker friktionen dramatiskt (Klein-Paste och Sinha 2010). Det som har konstaterats är att ytans beskaffenhet har stor betydelse för friktionen. Mycket låga friktionsvärden uppmättes på släta ytor med låg mikrotextur t.ex. betongmarksten och smågatsten i sambands med snö och is.

När det gäller frostutfällning på en yta har de termiska egenskaperna en stor betydelse hur benägen ytan är att bilda iskristaller. Låg termal konduktivitet och låg värmekapacitet ger högre risk för isbildning (Gustavsson 1982). Ytor som är extra utsatta kan vara stålbroar som har låg värmelagringsförmåga. De kan snabbt kylas av och fuktiga cykelbanor kan frysa eller frostutfällning från fuktig luft kan inträffa om temperaturen sänks. Nederbörd som faller på en underkyld yta kan omedelbart frysa och ge upphov till blixthalka. Även vatten från sidoområdet som rinner över en cykelbana eller vattensamlingar kan orsaka isfläckar. Fukt och termal konduktivitet i vägbyggnadsmaterialet påverkar frostbildningspotentialen. Skillnaden mellan olika bergmaterial är dock relativt liten men ett isolerande lager högt upp i vägkonstruktionen kan dock öka frostbildningspotentialen och ge upphov till halka (Gustavsson 1982). Även tjocka bitumenbundna lager kan i någon mån öka denna risk.

Inte bara snö och is kan göra att cykelbanorna blir hala. Friktionsmätningar gjorda med PFT friktionsmätare på gång- och cykelytor i verklig miljö visar att friktionen bland annat påverkas av material i beläggningsyta och rådande väglag (Niska et al. 2018). På hösten när löven faller kan dessa, ofta i kombination med regn och fukt, göra att cykelbanorna blir hala. Löven bildar en hal film/smörjmedel mellan däck och vägytan. Löv från olika träd kan vara olika hala, liksom deras nedbrytningsgrad. Även smuts, lera och grus på cykelbanan ökar halkrisken. Ofta förekommer nedsmutsning i samband med byggarbetsplatser och vägbyggen. Släta ytor med låg textur som t.ex. betongmarkstenar och smågatsten blir generellt halare av nedsmutsning och löv än ytor med grövre textur som asfalt (Niska et al. 2018). Ibland kan det vara så att en viss typ av platta i en stenläggning är halare än de andra, detta skapar problem med hala fläckar. Ibland kan också vägytan bestå av trä (vanligt på broar eller kajer) som kan bli väldigt halt om ytan är fuktig eller har organisk påväxt eller blivit nedsmutsad. Brunnslock och vägmarkeringar kan också erbjuda en lägre friktion än omgivande ytor.

5. Olika beläggningsmaterial och friktion

De ingående materialen i en beläggningsyta har inverkan på hur hal en yta är under olika klimatförhållanden. Tabell 1 beskriver grov och fin ballasts inverkan på friktion på en asfaltsyta med högre makrotextur jämfört med en betongyta med lägre makrotextur. Friktionen på en asfaltsyta styrs till stor del av den grövre ballastens (> 4,75 mm) egenskaper (Hall et al. 2009). Den finare ballasten (0,075–4,75 mm) har lägre inverkan p.g.a. att det är de större ballastkornen som sticker upp ur ytan som har den största kontaktytan med däck. Därför har t.ex. yttexturen på de större ballastkornen en relativt stor betydelse för asfaltsbeläggningsens halkegenskaper.

Tabell 1. Inverkan på friktionen av ballasten i en asfalts- respektive betongyta, översatt från Hall et al. 2009.

Ballast fraktion	Ballast egenskap	Effekt av ballastegenskap på vägfriktion	
		Asfaltsyta	Betongyta
Fin	Kantighet och kornform	Ingen effekt	Bestämmer ytans mikrotextur som ger stor inverkan på friktionen
	Textur	Ingen effekt	Liten eller ingen effekt
Grov	Kantighet och kornform	Bestämmer ytans makrotextur som signifikant påverkar friktionen via vattenplaning	Om exponerade hjälper till att bestämma ytans makrotextur och påverkar friktionen via vattenplaningspotentialen
	Textur	Bestämmer ytans mikrotextur som ger stor inverkan på friktionen	Om exponerade hjälper till att bestämma ytans mikrotextur som påverkar friktionen

Som diskuterats tidigare, påverkar både makrotexturen och mikrotexturen friktionen, men på olika sätt. När det gäller betongytor som generellt har lägre makrotextur (slätare yta) har kantigheten hos den finare ballasten en större inverkan (Hall et al. 2009). Förutsättningen är att den är blottad på ytan och i kontakt med däck. Ballastens petrografiska egenskaper är viktiga för beläggningsens halkegenskaper. Egenskaper som är viktiga är mineralogi, kristallstorlek, kornfog, hårdhet och kornform. Alla dessa egenskaper inklusive krossteknik påverkar bergmaterialets yttextur. En krossad ballast har en rårare yttextur än en naturstens ballast som redan är avrundad. De bergarter som ger bra friktion är ofta de som består av hårda mineral som är sammanvuxna med mjukare mineral (Henry, 2000). Kornformen för grövre ballast bör ha vassa, kantiga ytor och vara kubiska. Exempel på sådan ballast är vissa typer av granitisk ballast. Flakiga eller elongerade korn brukar generellt vara sämre då de orienterar sig parallellt med vägytan i asfaltmixen och ger då en lägre makrotextur (Hall, Smith et al. 2009).

I betongmixen är hårdheten på den finare ballasten avgörande för om en god friktion ska uppnås då de sitter inbäddade i cementbruket i betongen. Ballastens egenskaper kan undersökas med petrografisk analys och bedömas t.ex. enligt VTI rapport 714 (SS-EN932-3, Hellman et al. 2011). Kornform och flisighet på grövre ballast (> 4 mm) kan bedömas enligt standardmetod (flisighetsindex SS-EN 933-3:2012) finare ballast kan beskrivas i mikroskop (Hellman et al. 2011). Dessa petrografiska metoder behöver dock till viss del anpassas så att undersökningen fokuserar på relevanta parametrar så som ballastens yt-råhet, mineralogi och kornform. Det behöver också utvecklas kvantitativa metoder som beskriver dessa egenskaper. Hårdheten och nötningsmotståndet för den grövre ballasten kan bestämmas enligt standardmetoderna microdeval, kulkvarn och Los Angeles (LA). Dessa egenskaper

är dock av mindre värde för gång- och cykelvägar som inte trafikerar av tyngre fordon och inte heller utsätts för dubbdäcksslitage. En aspekt som påverkar mikrostrukturen på cykelvägar är att ballasten vid läggning täcks av bitumen vilket gör att ytan på stenarna blir slätare. Cykelvägar har inte någon trafik som orsakar nötning i någon större omfattning så som är fallet med bilvägar där dubbdäcksslitage frilägger ballasten och ruggar upp ytan vintertid. På gång- och cykelvägar kommer ballasten i ytbeläggningen under lång tid att förbli täckt av bitumen. Hur detta och även åldring av bitumen påverkar friktionen på ytan är inte utrett men det kan sannolikt påverka friktionen. VTI rapport 992 (Arvidsson et al. 2019) visar att på nylagda bilvägar är friktionen initialt hög men minskar efter 1–3 veckors trafik för att sedan öka igen. Om nylagda cykelvägar har samma tendens är dock osäkert då förändringen i friktion kan bero på bearbetning av trafik som inte finns på samma sätt på en cykelväg. En annan fråga är i vilken omfattning råheten hos ballastmaterialets uppstickande ytor på cykelytor påverkas av polering, något som är välbeskrivet för bilvägar (Jacobson, 2005), men sannolikt fungerar annorlunda på cykelytor.

Vissa typer av sekundära återvinningsmaterial så som stålslag har bra halkegenskaper. Stålslagsballast har också med framgång använts för att förbättra halkegenskaperna. Stålslag är en biprodukt vid stålframställning och flera studier visar att både hållbarheten och halkegenskaperna är bättre än för många konventionella bergmaterial (Kehagia 2009). I Sverige har stålslagsasfalt använts med goda resultat under många år. Slaggasfalt anses ha många fördelar jämfört med naturmaterial, t.ex. bra friktion, stabilitet och beständighet (Göransson och Jacobson 2013). Stålslag ger god vidhäftning till bitumen, även vid närvaro av vatten. En nackdel är att transporterna av ballast och asfaltmassa blir dyrare p.g.a. slaggens höga korndensitet. Porositeten och den höga korndensiteten gör att speciella hänsyn måste tas vid proportionering. Även blandning med andra bergmaterial är möjlig.

Andra tillsatser som förbättrar halkegenskaperna är kalcinerad bauxit-partiklar eller specialtillverkade cementbaserade produkter (De Larrard et al. 2012). Dessa material sprayas som tunna skikt på asfaltsytan eller blandas i asfalt för att minska halkrisken. Men ofta är det relativt dyrt vilket begränsar användningen. Det är också oklart om dessa material ger en alltför vass yta som kan orsaka punktering på känsliga cykeldäck eller allvarligare hudskador vid en eventuell omkullkörning.

Vattenundraningsförmågan för beläggningen är en viktig egenskap för att minska risken för halka och vattenplaning. Därför är användandet av dränerande asfalt eller markstenar en åtgärd som bör minska denna typ av halka. Dessutom blir det inget stående vatten med risk för fläckvis frysning vid användning av denna typ av beläggning. En annan fördel är att man minskar sprayningseffekten från andra cyklar vid vått väglag vilket ökar komforten.

6. Mätmetoder och krav på friktion

Det finns friktionskrav för gång- och cykelvägar även om det sällan utförs friktionsmätningar. Krav för belagda väg- och cykelbanors friktionsegenskaper vid barmark beskrivs i VTI rapport 980 (Sjögren et al. 2019). I denna rapport beskrivs också de använda metoderna för friktionsmätning i Sverige. En genomgång av tillgängliga metoder för vägytemätning är sammanfattade (PIARC 2019). De mätmetoder som finns tillgängliga för friktionsmätning i Sverige är SFT (SAAB Friction Tester; TDOK 2014:0134), Portable Friction Tester (PFT) och British Pendulum Tester. Utöver dessa finns några utvecklade metoder exempelvis T2GO av ASTF Industries AB (<https://www.sarsys-asft.com/>) och TWO Traction (<http://www.two-friction.com/>) som används i Norge för friktionsmätning. Befintliga krav i Sverige för belagda vägar inklusive gång- och cykelvägar är att medeltalet för friktionstalet inte får understiga 0,50 över en 20 meter lång sträcka. Mätningen ska göras med en SFT men att använda den på cykelvägar är inte praktiskt möjligt bland annat eftersom mätningen ska utföras i 70 km/h. Därför används PFT för friktionsmätning på dessa vägar då den är handdragen och enklare att hantera i trånga utrymmen. Jämförande mätningar har gjorts mellan SFT och PFT som visar att resultaten är jämförbara utom möjligtvis på målade ytor (Sjögren et al. 2019). PFT-värden korrelerar också bra med British Pendulum Tester som är en internationell standard för friktionsmätning. British Pendulum metoden mäter dock bara friktionen på en liten yta och blir därför inte praktisk i fält. När det gäller hur friktionen uppmätt med PFT:n stämmer med friktionen från ett cykeldäck, framförallt den upplevda halkrisken, är fortfarande till viss del oklart. För vissa ytor är dock korrelationen god (Niska et al. 2018) men fler studier behövs på flera olika ytor och under olika förhållanden.

T2GO är en handdragen vagn som liknar PFT i funktion och utförande. Det är dock oklart om de ger liknande resultat, då inga jämförande tester har gjorts. TWO är en vagn som dras efter en bil. Verkliga bromstester med cykel på vinterväglag (packad snö och lös snö på is) visar att mätningar i fält med T2GO och TWO är användbara för friktionsmätning av cykelvägar (Rekilä och Klein-Paste 2016), men de två mätmetoderna gav generellt lägre friktions-koefficienter än verkliga bromstester med cykel. Svårigheterna i dessa tester var att genomföra repeterbara bromstester med verkliga cyklar på grund av slipp vid bromsning. Friktionsmätningarna gav mer repeterbara resultat och författarna (Rekilä and Klein-Paste 2016) anser att det är möjligt att ta fram en standard för friktionsmätning av cykelvägar baserat på dessa metoder.

Generellt kan man säga att det behövs metodutveckling för att mäta friktion på cykelvägar. Det går inte att ta metoder utvecklade för bilvägar och sedan använda dessa på cykelvägar eftersom förutsättningarna är väldigt olika. Brister och avsaknad av krav och rekommendationer har även påvisats av författarna av VTI rapport 980 (Sjögren et al. 2019). Det finns ett behov att starta utvecklingsarbete på detta område. Modern högupplöst 3D-laserteknik kan beskriva texturen ner till mikrotextur. För att denna information ska generera användbara mått på mikrotextur krävs att dessa data utvärderas och att lämpliga beräkningsmetoder tas fram. Denna teknik har dock bara använts för enstaka stickprov på en sträcka. För att kunna använda mått på mikrotextur i syfte att utvärdera friktion och halkrisk behöver mätningarna göras kontinuerligt utefter längre sträckor. Platser med låg friktion kan då identifieras. Speciellt viktigt att mätning kan göras i känsliga passager som branta kurvor eller nedförsbackar i anslutning till korsande vägar eller andra partier där man kan anse att god friktion är nödvändig för säkerheten.

7. Diskussion

Det är ett nationellt och politiskt mål att cyklandet ska öka samtidigt som olyckorna ska minska. För att detta ska lyckas behöver man bland annat jobba aktivt för att ta fram lösningar som ökar framkomligheten och samtidigt minskar olycksrisken. På initiativ av Trafikverket bedrivs ett sådant arbete inom sex prioriterade områden för att öka säkerheten för cyklister och mopedister (Persson och Lindberg 2018). Det är främst inom de två områdena ”säker infrastruktur” och ”drift och underhåll” som arbete med att förebygga halkolyckor görs. Det här projektet ligger väl i linje med det arbetet.

Enligt Spolander (2014) leder bättre cykelinfrastruktur och bättre drift och underhåll till fler cyklister samt mindre risk för olyckor. Detta resonemang bygger på att ju fler som använder cykel desto mer motiveras kommunen att förbättra cykelinfrastrukturen och att hålla en hög standard på drift och underhåll, inklusive vinterväghållning och halkbekämpning. Med förbättrade friktionsegenskaper på gång- och cykelbanor minskar inte bara risken för olyckor bland cyklister och fotgängare utan deras komfort och framkomlighet förbättras också. Sammantaget främjas därigenom dessa hållbara transportsätt med ökad folkhälsa, minskad klimatbelastning och samhällsekonomiska vinster som följd.

Generellt beror halka på cykelvägar på klimat och väderfaktorer som:

- Is och snö.
- Grus från vintersandningen.
- Väta.
- Smuts och löv.

Mestadels är det underhåll och vinterväghållning som säkerställer att cykelvägen är halkfri. Utöver det är det konstruktionens utformning och egenskaper som bestämmer hur halkfri ytan är under olika förhållanden och hur mycket underhåll som krävs. Olika typer av beläggningmaterial och konstruktioner kan hantera smuts, snö, is och väta olika bra. Det är därför viktigt att utformning och material är rätt anpassade för att undvika att halka uppstår. Denna litteraturstudie visar att det finns kunskap kring beläggningsmaterialens halkegenskaper men också att mycket av denna utgår ifrån biltrafiken och inte ifrån cykeltrafikens förutsättningar och behov. Med utgångspunkt från det anser vi därför att det finns anledning för fortsatt forskning på området då det finns en stor förbättringspotential!

7.1. Varför behövs bättre beläggningar på cykelvägar?

En ökad användning av salt och liknande för kemisk halkbekämpning på gång- och cykelvägar ökar sannolikt kraven både på beläggningsmaterialens halkegenskaper och avvattningsegenskaper. En optimal beläggning för gång- och cykelbanor har potential att öka effektiviteten och minska behovet av halkbekämpande åtgärder. Kan antalet tillfällen med halkbekämpning eller mängden av halkbekämpande medel minskas, finns ytterligare möjligheter till miljöbesparingar. För att kunna bygga säker cykelinfrastruktur behövs kunskap om hur detta ska göras. Framtagandet av ny kunskap ger förbättrade möjligheter att upphandla säkra konstruktionslösningar som både minskar risken för halkolyckor och har god beständighet. Ett hinder kan vara att byggnormerna inte är i framkant med befintlig kunskap och på så vis kan de motarbeta användningen av nya innovativa lösningar. Det är därför viktigt att testa nya lösningar och ta fram ett begripligt och tillgängligt underlag. På sikt kan även regelverk, standarder och byggnormer utvecklas, t.ex. TRVKB10 2011, AMA 2017 Utformning av kurvor och cykelvägens geometri är också viktig för att minska halkolyckor. Speciellt viktigt är passager med branta kurvor eller nedförsbackar i anslutning till korsande vägar eller andra partier där man kan anse att god friktion är extra nödvändig. Kanske bör man använda speciellt anpassad beläggning för dessa platser för att säkerställa friktionen.

7.2. Bättre mätmetoder

Det finns friktionskrav på gång- och cykelbanor även om friktionen i praktiken mäts väldigt sällan. För att upprätthålla en god standard behöver mätning ske mer kontinuerligt och det behöver ställas mer ändamålsenliga krav på friktion och jämnhet på cykelbanor. Befintliga mätmetoder är dåligt anpassade för cykelvägar då de är framtagna utifrån biltrafikens förutsättningar och behov. Den metod som är mest lovande att använda är PFT men även denna metod behöver utvärderas bättre på fler underlag och under olika väder- och klimatförhållanden samt jämföras med andra metoder. För att mätning ska kunna göras oftare och ge bättre information, bör metoder som kan mäta kontinuerligt över längre sträckor tas fram. Det blir annars svårt att ha friktionskrav och utvärdera friktion och halkegenskaper på cykelvägssträckor. Litteraturen visar att mikrotexturens inverkan gradvis blir viktigare vid låga hastigheter under ca 40 km/h. Metoder som bättre mäter mikrotexturen bör därför tas fram. Detta är också viktigt vid utveckling av nya beläggningar.

7.3. Materialkrav

De befintliga materialkraven för asfaltsbeläggning som finns är anpassade för biltrafik där generellt nötningssegenskaper (dubbdäcksslitage), och plastiska egenskaper som motverkar spårbildning är viktiga. Dessa egenskaper är mindre viktiga för cykelvägar även om de ska klara renhållningsfordon och plogbilar. Även flexibiliteten hos beläggningen är av vikt då frosthävningen hos den snöröjda delen av en cykelväg kan komma att bli större än eventuellt oröjda kanter, vilket riskerar att resultera i långsgående sprickor (Wågberg, 2003 och Niska, 2011). Det är något oklart vilka materialegenskaper som egentligen är viktiga för cykelvägar. Mycket lite finns beskrivet om beläggningar på cykelvägar och deras halkpreventiva egenskaper.

För att kunna ta fram specificerade krav för beläggningar anpassade för gång- och cykelvägar behövs både anpassade mätmetoder och systematiska undersökningar av olika typer material. Den här litteraturstudien visar att det inte finns speciellt mycket kunskap om hur olika material påverkar friktionen på gång- och cykelvägar. Den mesta kunskapen är baserad på studier där biltrafik har varit i fokus. Bilar är tyngre, färdas snabbare och har en annan anläggningsyta mot beläggningen än en cykel och därför är det sannolikt inte samma materialegenskaper som är viktiga för att uppnå god friktion. Exempelvis har mikrotexturen troligtvis en viktigare inverkan på friktionsegenskaperna hos en beläggning för halkfri framfart av cykel. Här finns alltså goda möjligheter att genom fortsatt forskning erhålla ny kunskap som kan leda till bättre anpassade materialkrav.

7.4. Förslag till studier av nya beläggningar

För att kunna ta fram nya beläggningar anpassade för cykelvägar behövs ett noggrant arbete för utprovning. Den beläggning som idag ofta används är en ABT11 asfaltsbeläggning. Denna beläggning utgör referensen som en nyutvecklade beläggning ska jämföras med och prestera bättre än. Genom att prova olika bindemedel i kombination med ett antal ballastsorter, storleksfraktioner och även stålslagsballast i laboratorieskala och rangordna efter uppmätta halk- och friktionsegenskaper kan de bästa väljas ut för demonstrationssträckor. Även konstruktioner med unika egenskaper som dränerande överbyggnad kan ingå. Tester under kontrollerade förhållanden av materialegenskaper (t.ex. friktion), frostbildningsförmåga, miljöaspekter och underhåll kan sedan genomföras. Utprovande av nya ytbeläggningar av halkfria cykelvägar kan göras på slitlagerplattor av de utvalda materialen. Plattorna tillverkas vid VTI:s provväglaboratorium av asfaltmassor inhämtade från asfaltsverk. Plattorna placeras i parallella teststråk längs med den nationella cykeltestbanan i Linköping och undersöks på väglaboratoriet. Friktionen undersöks vid olika förhållanden genom mätning med VTI:s PFT (Portable Friction Tester). Mätningar görs dels vid olika naturliga förhållanden som uppstår, exempelvis frostutfällning, snönederbörd och olika temperaturer; dels vid ”konstruerade förhållanden” som olika fuktmängd, temperaturer osv. både i fält och i VTI:s väglaboratorium. Yttextur, som exempelvis kan

mätas med 3D-kamera, kan relateras till rullmotstånd och friktion, vilket dessutom kommer bygga upp kunskap om denna metod.

Nya koncept med uppvärmda ytor för att minska halkrisken kan också användas. Teknik där värmeenergin som finns tillgänglig under sommaren lagras under väggkroppen och återvinns genom värmepumpsteknik under kalla årstiden undersöks och ett förslag tas fram hur detta kan realiseras som en testyta. Isoleringen kan t.ex. bestå av gummiklipp som är ett återvunnet material med goda värmelagrande egenskaper.

Ett viktigt steg i att minska antalet halkrelaterade olyckor är också att kartlägga de platser där olyckorna ofta inträffar. Genom att använda Transportstyrelsens databas över olyckor, Strada, (Swedish Traffic Accident Data Acquisition) samt en GIS-analys (Geografiskt Informations System) skulle det kunna vara möjligt att ta fram kartor med platser där halkrelaterade olyckor ofta inträffar. Information om cykelflöden i kombination med att undersöka ytbelägningens friktionsegenskaper och beskaffenhet på dessa platser, kan ge kunskap om huruvida belägningen bidragit till en högre olycksrisk. Några av platserna kan sedan väljas ut för att förbättra halksäkerheten och därefter följas upp med utvärderande studier.

8. Slutsats

En optimerad beläggning för gång- och cykelbanor har potential att minska halkrisken, öka effektiviteten och minska behovet av halkbekämpande åtgärder. Ett minskat antal tillfällen med halkbekämpning ger även en reducerad miljöbelastning och minskade kostnader. För att kunna bygga säker cykelinfrastruktur, med tillfredsställande egenskaper under årets alla säsonger, behövs kunskap om hur detta ska göras. De åtgärder som har identifierats för att åstadkomma detta är:

- Förbättrade mätmetoder för friktionsmätning av cykelvägar. Stickprov och kortare sträckor kan mätas med PFT men för att mätning ska kunna göras oftare och ge bättre information bör metoder som kan mäta kontinuerligt över längre sträckor tas fram. Detta kan inkludera metoder som mäter mikro- och makrotextur.
- Vetenskapligt upplagda tester och jämförelser av befintliga och nya beläggningstyper, såväl under kontrollerade förhållanden i laboratorium som under verkliga förhållanden i fält i syfte att utröna vilka materialegenskaper som är viktigast för ytbeläggning av cykelvägar.
- Framtagande av riktlinjer för konstruktion, tillståndsbedömning samt drift- och underhåll av beläggningar för gång- och cykelbanor.

Referenser

- AMA 2017. *AMA Anläggning 17. Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbete*, Svensk Byggtjänst.
- Arvidsson Anna K., Lundberg Thomas, Kalman Björn, Ekström Camilla, Cruz del Aguila Fernando, Eriksson Olle. 2019 Friktions- och texturutveckling på nya beläggningar VTI rapport 992.
- Bergström, A. 2002. *Winter maintenance and cycleways*. 02:04 Doctoral thesis, comprehensive summary, Byggetenskap.
- Dan, H. C., He, L. H. & Xu, B. 2017. Experimental investigation on skid resistance of asphalt pavement under various slippery conditions. *International Journal of Pavement Engineering*, 18, 485-499.
- De Larrard, F., Martinez-Castillo, R., Sedran, T., Hauza, P. & Poirier, J. E. 2012. Cementitious artificial aggregate particles for high-skid resistance pavements. *Road Materials and Pavement Design*, 13, 376-384.
- Gustavsson, K. 1982. Icing Conditions on Different Pavement Structures. *Reprint from Transportation Research Record No. 860, pages 21-28. "Snow Control Traffic Effects on New Concrete, and Corrosion". Transportation Research Board. National Research Council, National Academy of Sciences. Washington. D.C.. 1982. January 18-22, 1982.*, Särtryck nr 84, 1983.
- Göransson, N.-G. & Jacobson, T. 2013. Stålslagg i asfaltbeläggning -Fältförsök 2005 – 2012. VTI notat 19–2013. 54
- Hall, J. W., Smith, K. L., Titus-Glover, L., Wambold, J. C., Yager, T. J. & Rado, Z. 2009. Guide for Pavement Friction 01-43, F. R. F. N. P.
- Hellman, F., Åkesson, U. & Eliasson, T. 2011. Kvantitativ petrografisk analys av bergmaterial - En metodbeskrivning. VTI rapport 714. VTI. 24
- Higgins, D. D., Marmo, B. A., Jeffree, C. E., Koutsos, V. & Blackford, J. R. 2008. Morphology of ice wear from rubber-ice friction tests and its dependence on temperature and sliding velocity. *Wear*, 265, 634-644.
- Hölzel, C., Höchtl, F. & Senner, V. Cycling comfort on different road surfaces. *Procedia Engineering*, 2012. 479-484.
- ISO 13473-1 1997. Characterization of pavement texture by use of surface profile - Part 1: Determination of Mean Profile Depth.
- Jacobson, T. 2005. Polering av asfaltsbeläggningar,. VTI-notat 12-2005.
- Kehagia, F. 2009. Skid resistance performance of asphalt wearing courses with electric arc furnace slag aggregates. *Waste Management and Research*, 27, 288-294.
- Klein-Paste, A. & Sinha, N. K. 2010. Comparison between rubber-ice and sand-ice friction and the effect of loose snow contamination. *Tribology International*, 43, 1145-1150.
- Kotek, P. & Florková, Z. 2014. Comparison of the skid resistance at different asphalt pavement surfaces over time. *Procedia Engineering*, 91, 459-463.
- Lundberg, T., Ekblad, J., Göransson, N.-G., Sjögren, L. & Arvidsson, A. 2015. Makrotexturens möjlighet att identifiera låg friktion -Tillståndsmätning av vägytan. VTI rapport 877. 100 p
- Lundberg, T., Sjögren, L., Gustafsson, M. & Ihs, A. 2011. Vägytans makrotextur och dess variation -Vägytemätning med mätbil. VTI notat 5-2011. www.vti.se. 56 p
- Niska, A. och Blomqvist, G. (2019). Sopsaltning av cykelvägar i teori och praktik. Erfarenheter från utvärderingar i svenska kommuner. VTI rapport 1005, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

- Niska, A. & Blomqvist, G. (2018). Sopsaltning av gång- och cykelvägar. Fältförsök i Stockholm vintern 2017–2018. VTI PM 2018-10-02, Diarienummer: 2013/0390-9.1, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A. & Blomqvist, G. 2016. Sopsaltning av cykelvägar. Utvärdering av försök i Stockholm vintern 2013/14. VTI notat 28-2015.
- Niska, A., Blomqvist, G. & Hjort, M. 2018. Cykelvägars friktion. VTI rapport 993. www.vti.se. 62 p
- Niska, A., Blomqvist, G. & Järleskog, I. 2017. Utvärdering av sopsaltning på cykelstråk i Stockholm vintern 2016/17. VTI notat 30-2017. 74 p
- Niska, A. & Eriksson, J. 2013. Statistik över cyklisters olyckor. Faktaunderlag till gemensam strategi för säker cykling. VTI rapport 801. www.vti.se. 58 p
- Persson, J. & Lindberg, J. 2018. Gemensam inriktning för säker trafik med cykel och moped. 2018:159. www.trafikverket.se.
- PIARC 1987. Report of the Committee on Surface Characteristics. XVIII World Road Congress, World Road Association PIARC, Brussels, Belgium.
- PIARC 2019. State of the art in monitoring road condition and road interaction. *PIARC*, Technical Committee D.2 Pavements, 1-76.
- Rekilä, K. P. & Klein-Paste, A. 2016. Measuring bicycle braking friction in winter conditions. *Cold Regions Science and Technology*, 125, 108-116.
- Sjögren, L., Niska, A., Hjort, M., André, P. & Lundberg, T. 2019. Krav på belagda väg-, cykel- och gångbanors friktionsegenskaper vid barmarksförhållanden; underlag och rekommendationer. VTI rapport 980.
- SKL 2010. *Gcm-handbok: Utformning, drift och underhåll med gång-, cykel- och mopedtrafik i fokus* Sveriges Kommuner och Landsting.
- Spolander, K. 2014. Cykling och cykelsäkerhet -En studie av variationen mellan kommuner. www.spolander.se. 24
- SS-EN 932-3 Ballast - Generella egenskaper - Del 3 Petrografisk beskrivning.
- SS-EN 933-3:2012 Ballast - Geometriska egenskaper - Del 3: Bestämning av kornform - Flisighetsindex
- TDOK 2014:0134 Bestämning av friktion på belagd väg Version 2.0 2015-12-18, <http://trvdokument.trafikverket.se/>
- TRVKB 10 2011. TRVKB 10 Bitumenbundna lager Trafikverkets Krav Beskrivningstexter för Bitumenbundna lager i vägkonstruktioner. *Trafikverket*, TRV 2011:082, TDOK 2011:266, 1-114.
- Wågberg, L.-G. (2003). Bära eller brista – Handbok i tillståndsbedömning av belagda gator och vägar. Svenska Kommunförbundet, Väg och Trafikinstitutet samt Vägverket. Stockholm www.svekom.se ISBN: 91-7289-172-6. pp68
- Niska, A. (2011). Cykelvägars standard. En kunskapssammanställning med fokus på drift och underhåll. VTI rapport 726. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

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

