

POLERING AV HÖGKVALITATIVA BELÄGGNINGAR - EN FÖRSTUDIE



TRAFIKVERKET vti SKANSKA

Författare:

Roger Nilsson, Skanska Sverige AB, Teknik

2022-11-07

SBUF stödjer
forskning & utveckling

som leder till
praktisk handling

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	2
SAMMANFATTNING	3
INLEDNING OCH BAKGRUND	6
MÅL OCH SYFTE	7
GENOMFÖRANDE OCH AVGRÄNSNINGAR.....	8
KOMPLETTERANDE FRIKTIONSMÄTNING 2022	9
DISKUSSION OCH FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER.....	10
REFERENSER	15
BILAGA A – VTI-RAPPORT 1146	
BILAGA B – FRIKTION E4 SÖDERGÅENDE RIKTNING	
BILAGA C – FRIKTION E4 NORRGÅENDE RIKTNING	

FÖRORD

Föreliggande SBUF-rapport (13908) redovisar en syntes av huvudresultaten från förstudien presenterad i VTI rapport 1146, ”*Polering av högkvalitativa beläggningar – En förstudie*”, Bjurström och Nilsson 2022. Vidare har en kompletterande friktionsmätning på E4 Essingeleden, utförd oktober 2022, införlivats för att ge en aktuell bild av friktionsläget. För en mer omfattande redovisning av projektet hänvisas till VTI rapport 1146, bifogad i Bilaga A.

Projektet initierades under sommaren 2020 efter att ett antal avåkningsolyckor iakttagits till följd av låg friktion. Upprepade friktionsmätningar på platsen har visat att den uppruggning som tidigare skett av dubbdäck vintertid, reducerats eller uteblivit helt. Problemen med polering är känt sedan tidigare, speciellt på utsatta platser som cirkulationsplatser, skarpa kurvor eller vid trafikljus. Men på senare tid har polering uppstått på platser som inte har varit de förväntade. Denna förstudie har undersökt orsaken samt vilka faktorer som skulle kunnat ligga bakom ökning av problematiken. Det kan handla om en kombination av flera samverkande orsaker såsom fordon med nya typer av dubbdäck, fler friktionsdäck, ökad trafik samt användande av slitstarka stenmaterial.

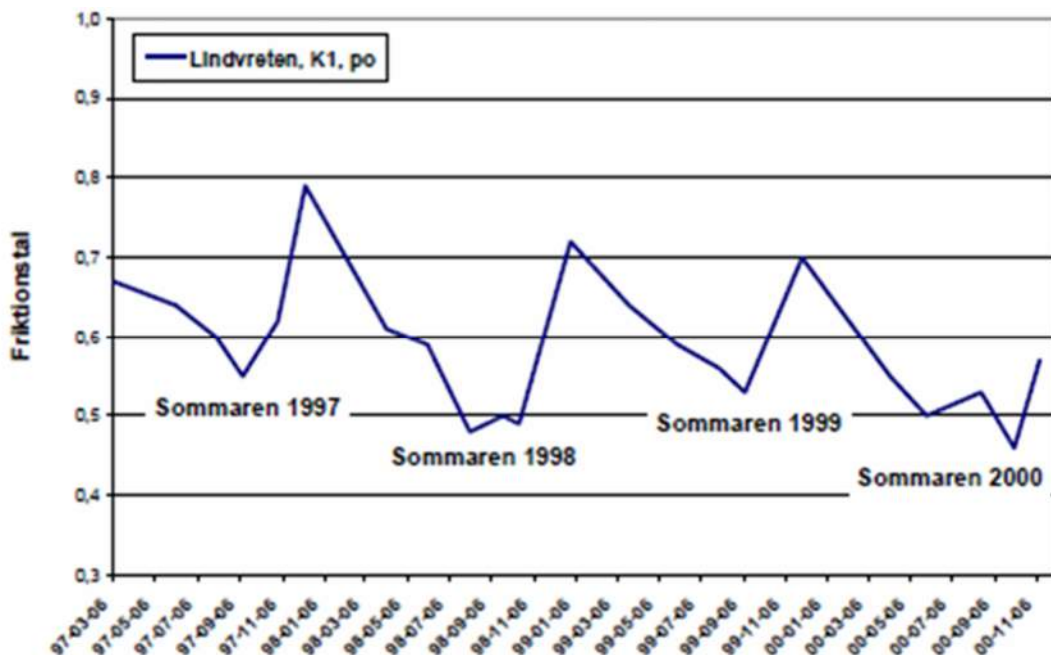
Projektet är finansierat av Trafikverket där Henrik Arnerdal varit kontaktperson och av Svenska Byggbranschens utvecklingsfond, SBUF, samt parterna. Anna Wireman på Trafikverket har deltagit genom att föreslå sträckor för relevanta friktionsmätningar på infartsleder runt Stockholm.

Projektgruppen vill tacka Allan Ostrowskis (tidigare utvecklingschef hos Nokian Tyres och Continental) samt Mattias Hjort på VTI för gott samarbete och givande diskussioner och idéer.

Författaren önskar tacka arbets- och referensgrupp för gott och utvecklande samarbete. Slutligen tackas huvudfinansiärerna SBUF, BVFF och Trafikverket.

SAMMANFATTNING

Tillräcklig friktion mellan fordonens däck och vägbeläggning över hela året är en fundamental parameter för att uppnå hög trafiksäkerhet. Polering av sten i slitlagerbeläggningen riskerar att orsaka kritiskt låg friktion och är ett problem som får större uppmärksamhet utanför Norden. I Sverige har polering tidigare inte varit något större problem på grund av dubbdäckstrafikens uppruggning av vägytan. Uppruggningen av beläggningens yta har varit tillräckligt för att klara av en viss poleringseffekt under sommarmånaderna. Barmarksfriktionen har alltså tillåtits variera över året eftersom samspelet mellan polering och uppruggning fungerat bra med tillräcklig friktion även när den är som lägst. *Figur 1* visar ett typiskt resultat på friktionens årstidsberoende där polering under sommaren och uppruggning under vinterperioden samverkar så att en tillfredsställande friktion kan bibehållas över året. Friktionstalet kan variera kraftigt över året.



Figur 1. Exempel på friktionens årstidsberoende. Mätningarna är utförda på E4/E20 vid trafikplats Lindvreten (Jacobson och Hornwall 2001).

Det framgår i *Figur 1* att friktionen är som lägst under sensommar/höst, främst beroende på polering av stenmaterialet, för att sedan stiga markant under vintern som en följd av uppruggningen orsakad av dubbdäcksanvändningen, för att åter sjunka under nästa sommar. Det syns även att effekten av poleringen samt uppruggningen varierar mellan de olika åren. Orsaken till detta kan vara att faktorer som påverkar polering samt uppruggning varierar över åren, till exempel väderförhållanden, trafikflöden, dubbdäcksandel, hastighet med mera.

Det är framför allt dubbdäckens uppruggning av beläggningssytan som ökar friktionen och däckgummits gnidande som polerar stenmaterialet och reducerar friktionen.

Det kan även noteras att uppmätt friktion ser ut att minska över tid. Orsaken till detta är inte känd men en förklaring kan vara förändrad trafikmängd, ökad andel tunga fordon, färre andel dubbdäck, mindre aggressiva dubbar, klimateffekter m.m.

Det samspel som tidigare förekommit verkar nu satt ur spel då upprepade friktionsmätningar på högtrafikerade vägavsnitt indikerar en allt snabbare polering och i värsta fall helt utebliven uppruggning. Resultatet från friktionsmätningar påvisar även kritiskt låg friktion på högtrafikerade vägavsnitt i slutet av dubbdäckssäsongen då friktionen normalt borde vara som högst efter vinterns uppruggning.

Friktion är ett komplext område betraktat flertalet påverkande faktorer samt dess interaktioner. Förstudien har identifierat några faktorer som potentiellt har betydande inverkan på polering och friktion.

En av de faktorer som identifierats är den nya typen av dubbdäck med mindre aggressiva dubb som minskat slitage och uppruggning med upp till 20 procent. Likaså har användningen av dubbdäck i Stockholm minskat med 20 procentenheter de senaste tio åren. I stället har det tillkommit allt fler friktionsdäck, vinterdäck utan dubbar framtagna för nordiskt vinterväglag. Dessa friktionsdäck polerar vägbeläggningen till och med mer än sommartäck. Andra orsaker till fenomenet med poleringen är att trafiken har ökat och det tillkommit allt fler tyngre och starkare fordon, tex eldrift ger högre vridmoment. Under de senare åren har även krav på slitstarka stenmaterial samt lägre spårutveckling ökat. För att kunna uppfylla kraven används material som är mer poleringsbenägna vilka är beroende av uppruggning vintertid för att klara friktionskravet. Dessa nya faktorer har medfört att det samspel mellan polering och uppruggning som tidigare existerat verkar ha minskat eller uteblivit helt.

Förutom att den förväntade uppruggningen har uteblivit under vinterperioden, har poleringen fortsatt under både vinter- och sommarperioden vilket ytterligare bidragit till lägre friktion.

Försök med friktionshöjande åtgärder som slipning och fräsning har initialt höjt friktionen men effekten har visat sig ha kort livslängd.

Friktionsmätningar har inom projektet utförts på både en provsträcka på E4 (AB/D länsgräns-Järna) samt på en rad infartsleder kring Stockholm. Resultaten från provsträckan bekräftar att slitstarka stenmaterial (till exempel Porfyr) med lägre kulkvarnsvärde i slitlagret är mer poleringsbenägen och orsakar lägre friktion jämfört mindre slitstarka stenmaterial.

Avvägningen mellan slitstyrka och polering blir också tydlig i och med att den hårdare porfyren erhållit ett mindre slitage (spårbildning) jämfört med övriga delsträckor.

Mätningar utförda på infartsleder runt Stockholm visar att problemet med låg friktion inte är isolerat till något enstaka vägavsnitt. På nio av tolv sträckor uppmäts friktion under 0,5, den gräns som Trafikverket satt upp som gränsvärde under vägens garantitid, på minst en 20-meters sektion. Längs två av de tolv uppmätta sträckorna visar sig friktionen vara under gränsvärdet över hela sträckan.

Förstudiens resultat visar dessutom att flertalet vägsektioner har en alltför låg friktion vid mättillfället. De indikerar även att dessa vägavsnitt skulle behöva följas upp med friktionsmätningar flera gånger per år för att kunna följa friktionsvariationen över året för olika beläggningar.

I en uppdaterad föreskrift från Traficom (2021) finns nya krav på ytterligare minskat vägslitage för typgodkännande av nya typer av dubbdäck. Slitagekraven kommer alltså att på några års sikt skärpas ytterligare med uppemot 20–25 %. Effekten av att de nya kraven träder i kraft blir att nya dubbdäck blir mindre aggressiva mot vägbanan och att

den uppruggande effekten ytterligare kan reduceras. Vidare förväntas trafiken att öka. Varmare klimat samt incitament att minska dubbdäcksanvändning kommer ytterligare att bidra till ökad polering.

För att verifiera det aktuella läget utfördes en kompletterande friktionsmätning på Essingeleden under oktober 2022. Medelvärden för friktion i norrgående riktning är 0,42 och 0,41 för södergående. Det lägsta värdet på Essingeleden uppmättes till 0,30 och det högsta var 0,51.

Flera sektioner med mycket låg friktion kan observerats samt att i princip inget uppmätt 20-meters medelvärden uppfyller krav på friktion $\geq 0,5$. Det kan noteras att det endast är ca 1% av den uppmätta sträckan på 9320 m som uppfyller kravnivån.

Läget är allvarligt med tanke vilka krav på friktion Trafikverket ställer och att flertalet vägar som har undersökts visar sig ha sämre friktion. Om trenden med identifierade faktorer fortsätter kommer större hänsyn behöva tas till poleringen i framtiden. I dagsläget saknas metoder för att utvärdera beläggningar och stenmaterial utifrån polering och friktion. Vidare saknas metoder för att åtgärda beläggningar som har för låg friktion.

En fortsatt studie föreslås för att bygga kompetens inom området. Det finns utländska metoder för att värdera polering- och friktionsbenägenhet som bör utvärderas för svenska förhållanden.

Vidare bör effektiva drift- och underhållsmetoder för att återställa fullgod friktion studeras och utvecklas för svenska förhållanden. Speciellt långtidseffekten av potentiella åtgärder bör verifieras.

En revidering av VTI:s slitagemodell kommer potentiellt behöva utföras utifrån de identifierade nya förutsättningarna.

Friktionsmätningar bör utföras under hela året för att kunna undersöka vidden av polerings- och uppruggningsmekanismer för nya och förändrade förutsättningar.

En fortsättningsstudie skulle kunna omfatta en jämförelse med förutsättningarna i Finland och Norge, länder med liknande klimatförutsättningar som Sverige.

INLEDNING OCH BAKGRUND

Det övergripande målet för Sveriges vägnät är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgare och näringsliv i hela landet. Därutöver har riksdagen beslutat om ett funktionsmål – tillgänglighet, samt hänsynsmål – säkerhet, miljö och hälsa (Regeringskansliet, 2022a).

Även om de ekonomiska aspekterna normalt har högst prioritet så rankas vanligtvis trafiksäkerhet och miljöaspekter som ekvivalent betydelsefulla. Denna inriktning är tydligt beskriven i Nollvisionen samt i nya klimatlagen.

Då några av dessa mål är varandras motsatser krävs en optimering och kompromiss av önskvärda egenskaper.

Resultat från nationella- och internationella utvecklingsprojekt har indikerat att god friktion mellan däck och körbana är en av de viktigaste faktorerna för att åstadkomma en hög trafiksäkerhet. Det har dock visat sig att interaktionen mellan däck och körbana samt dess korrelation till friktion och dess bidrag till förarsäkerheten är komplexa. Även om exakta samband mellan olyckor vid våta körbanor och friktion saknas så har flertalet empiriska data påvisat att antalet olyckor vid vått väglag ökar till följd av reducerad friktion (alla andra faktorer som till exempel hastighet och trafikvolym oförändrade).

Resultat och erfarenheter från utförda undersökningar har successivt införlivats i nationella regelverk och riktlinjer som anpassats till lokala förhållanden.

Sverige har hittills bara haft små problem med polering samt låg friktion då dubbdäcken har haft förmågan att rugga upp stenarna i slitlagret så att godkänd friktion har kunnat upprätthållas. I första hand har problemen funnits på trafikintensiva vägsträckor i Stockholmsområdet (Göransson, 2010) samt i övriga storstadsområden med hög trafikvolym och högkvalitativa stenmaterial.

Under hösten 2018 uppmärksammades att ett antal olyckor hade inträffat vid företrädesvis vått väglag, i både norr- samt södergående riktningar vid Kungens kurva, E4/E20. Friktionsmätningar visade på friktionsbrister orsakade av polering av beläggningens stenmaterial.

Slitlagret på berörda sträckor utgörs av en konventionell ABS16 med kvalitetssten och uppfyller ställda krav på Prall < 20. Detta är en standardbeläggning för högtrafikerade vägar och under 2018 lades ca 40 000 ton av denna beläggningstyp av Skanska runt om i Stockholmsområdet. Motsvarande slitlagerbeläggning ligger även på E4/E20 både norr och söder om Kungens kurva. Den högkvalitativa stenen i beläggningen har även använts av flertalet andra entreprenörer.

Friktionsmätningar visade att de lägsta (underkända) friktionsvärdena först uppkom i och omkring de provisoriska anslutningarna, utformade som S-kurvor/chikaner mot befintlig E4/E20 samt Lindvretens trafikplats. En visuell inspektion gjorde tydlig att dessa avsnitt var jämförelsevis mer polerade än samma beläggning på raksträckorna där uteslutande godkända friktionsnivåer uppmättes. Efter påföljande vinter uppmättes även låga friktionsvärden på raksträckorna.

Detta var förvånande då erfarenheten varit att friktion inte är något stort problem i Sverige eftersom dubbdäcken ruggar upp polerade stenar så att friktionen ökar under dubbdäckssäsongen.

Det är emellertid känt att bland annat vissa högkvalitativa porfyryer kan vara poleringsbenägna. Dock har friktionsproblem tidigare inte noterats på raksträckor. Här uppstår en intressekonflikt eftersom en högkvalitativ ballast samtidigt krävs för att uppnå krav för att undvika en alltför snabb spårtillväxt.

Enligt tidigare erfarenheter har det alltid gått att uppnå tillräcklig friktion genom att välja material och beläggningstyper utifrån gällande regelverk. Det verkar som om någon yttre faktor eller förutsättning har ändrat tidigare samspel mellan polering och uppruggning. Kunskap om effekten av dessa nya förutsättningar är bristfälliga eller saknas helt. Detta skapar en osäkerhet om hur friktionen skall kunna säkerställas. För beställaren är det viktigt att kunna ställa relevanta krav och för entreprenören är det viktigt att veta hur kraven skall uppfyllas (materialval, hantering av risker). Detta är speciellt viktigt inför kommande upphandlingar som tex Förbifartens tunnlar (ca 500 000 m²) samt för övriga underhållsbeläggningar på det högratifierade vägnätet.

Val av stenmaterial/beläggningar för stadsmiljö samt tunnlar ger ytterligare en dimension. Kvartsit är en ljusare sten som är önskvärd i tunnlar för att minimera behov av belysning. Kvartsiter är sannolikt att föredra framför porfyryer i friktionshänseende, men i stadsmiljö måste även problematiken med finpartiklar beaktas.

Vid nyligen utförda försök vid VTI (provvägsmaskin), noterades att dubbutstick, från ett modernt dubbdäck, minskade från ca 1,2 till 0,2 mm under testningen, vilket inte har observerats tidigare. Vidare noterades att testade beläggningar med stenmaterial av kvartsit och porfyr blev mer polerade än erfarenheter från tidigare försök. Orsaken till detta är inte känt men kan bero på förändrade egenskaper hos dubbdäck utvecklade utifrån reviderade däckkrav från 2009 (Mustonen, 2019).

I mitten av 1990-talet observerades problem med låg friktion i Eugeniattunneln, ca 5-10 år efter övergång från ståldubb till lättviktsdubb (Jacobson och Höbeda, 1996).

Det är möjligt att samma trend nu upprepar sig, då den äldre generationens dubbdäck, i stort, har fasats ut, och ersatts av nya moderna dubbdäck som är mindre aggressiva mot vägbeläggningen.

En viktig frågeställning i förstudien är relaterat till orsaken varför poleringen är högre nu än tidigare till följd av förändrade förutsättningar eller om uppruggningen har påverkats pga. av till exempel färre dubbar, mjukare dubb eller minskad dubbdäcksanvändning.

Potentiella faktorer och orsaker till den låga friktionen har diskuterats inom branschen. I dagsläget saknas djupgående kunskap om varför en accelererande polering har identifierats. Orsakssamband som nya däck/dubb, mindre uppruggning, utvärdering av stenmaterial, samt övriga faktorer saknas i dagsläget.

Vidare saknas metod för att utvärdera poleringsegenskaper. Det är därför väsentligt att kunskap inom detta område byggs upp.

MÅL OCH SYFTE

Målet med projektet är att identifiera potentiella faktorer som påverkar polering och orsakar låg friktion. Vidare är syftet att få en samlad bild av kunskapsläget inom området samt att ta fram ett underlag för behovet av en mer djupgående och omfattanden studie.

Förstudien skall också sammanställa tillgängliga data om friktion/olyckor för att få en uppfattning om omfattningen av detta problem.

GENOMFÖRANDE OCH AVGRÄNSNINGAR

I föreliggande rapport har potentiella påverkansfaktorer sammanställts utifrån en övergripande litteraturstudie. Vidare har diskussioner förts med branschaktörer såsom väghållare, asfaltindustrin samt däckindustrin för att erhålla en samlad bild om friktion och polering orsakad av trafik. Kompletterande friktionsmätningar i samverkan med Trafikverket har utförts på utvalda sträckor runt Stockholm, på en provsträcka med olika beläggningar på E4 (AB/D länsgräns-Järna), samt på E4/E20 vid Kungens kurva. Slutligen har olycksstatistik och halkolyckor från Strada analyserats.

Rapporten är att betrakta som en förstudie för att kartlägga problemen med polering för trafikintensiva vägar i Stockholmsområdet. Utifrån ett känt problem med polering vid Kungens kurva kontrolleras om detta är ett isolerat problem eller om låg friktion förekommer på andra sträckor i Stockholmsområdet. Sambandet mellan polering och andra faktorer, såsom däck- och trafikutveckling samt kravnivåer och styrmedel har studerats.

Problemet som uppmärksammas i denna rapport avser polering som orsakar låg barmarksfriktion. Låg friktion till följd av snö och is, löv, oljeläckage, vattenplaning med mera ligger utanför projektets gräns.

I flera europeiska länder ställs krav på poleringsresistens där den vanligast förekommande mätmetoden är Polished Stone Value (PSV). Denna metod har dock tidigare dömts ut för provning av svensk ballast. En inventering av ett stort antal svenska stenmaterial visar att PSV inte på ett relevant sätt rangordnar de vanligaste förekommande stenmaterialen. Om krav ställs på PSV riskerar kvartsit, porfyr och andra liknande slitstarka stenmaterial att slås ut som ballast till slitlager (Jacobson och Hjort, 2008; Höbeda, 1999). Inom ramen för projektet har en övergripande inventering av relevanta stenmaterial sammanställas för att ta reda på om slutsatser kan dras angående poleringsresistens.

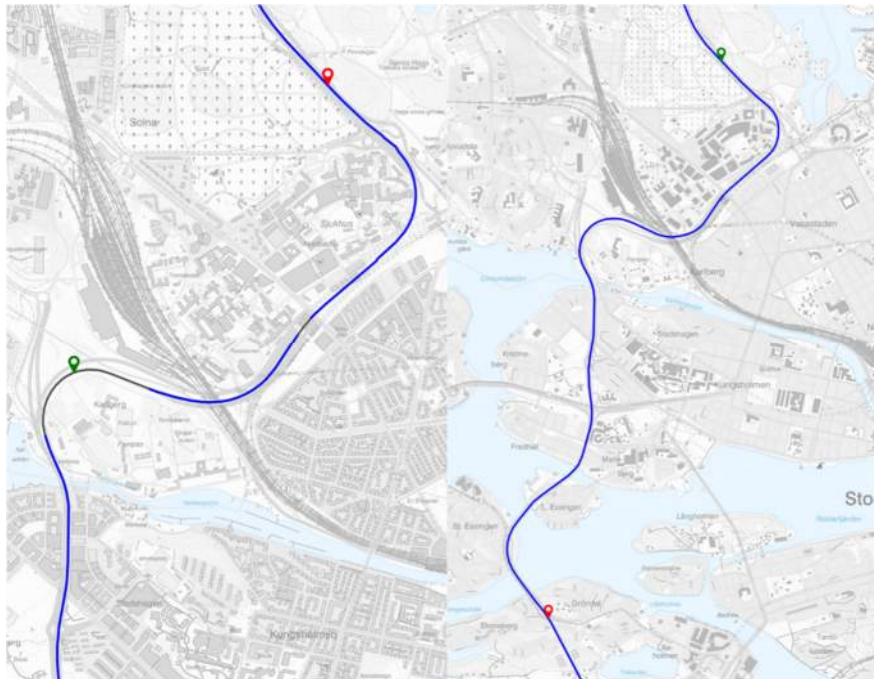
Några enstaka friktionsmätningar har utförts för att komplettera uppföljningar av tidigare mätningar samt skillnader mellan olika ballastmaterial (till exempel provsträcka, med vanliga beläggningar och stenmaterial som används runt Stockholm högtrafikerade vägar, tex Essingeleden).

Andra frågor som kan vara relevanta handlar om dubbdäcksanvändningen och om den har förändrats över tid. Följande frågeställningar diskuteras i litteraturstudien:

- Har klimatförändringar lett till mildare klimat som påverkar poleringen av beläggningens stenar samt minskad användning av dubbdäck?
- Har dubbdäcksanvändningen förändrats över tid? Kan en minskad dubbdäcksanvändning reducera den uppruggning som vanligtvis sker vintertid till den grad att inte tillräcklig friktion uppnås?
- Vilken utveckling har skett inom däckindustrin? På vilket sätt har antalet dubbar, dubbarnas material och dubbutstick förändrats och vilken effekt får detta på poleringen?

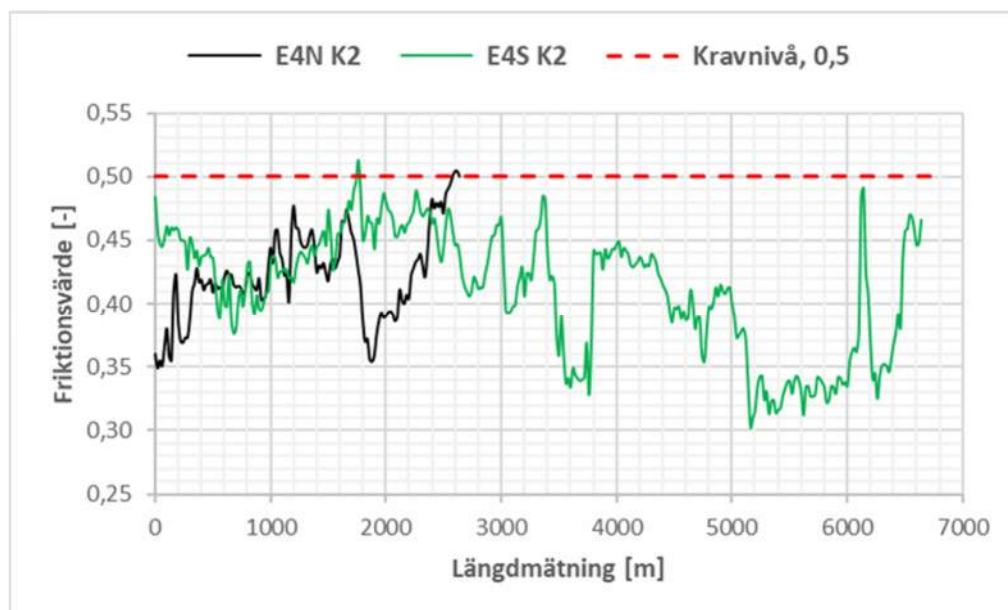
KOMPLETTERANDE FRIKTIONSMÄTNING 2022

För att verifiera det aktuella läget utfördes kompletterande friktionsmätning på Essingeleden under oktober 2022. Det bör noteras att syftet med mätningen är att ge en ögonblicksbild av aktuell friktion på E4 (Essingeleden). Mätningar utfördes i både i norrgående (E4N) samt södergående (E4S) riktning. Totalt mättes 9320 m av körfält 2 (K2), E4N (57130-60000) samt E4S (41785-48385). Start och stoppsektioner markerade i *Figur 2*.



Figur 2. Friktionsmätning av E4 i norrgående (v) samt södergående riktning (h).

Resultatet av friktionsmätningen ges i *Figur 3*.



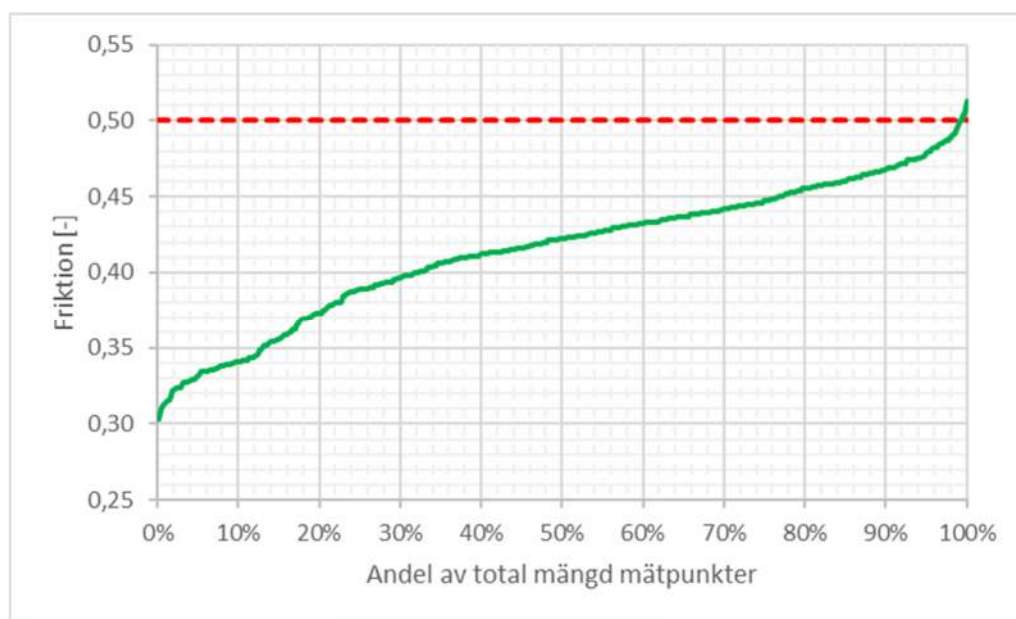
Figur 3. Resultat friktionsmätning 2022, E4, Essingeleden i norrgående samt södergående riktning.

Medelvärde för samtliga 20-meters sträckor i norrgående- samt södergående riktning är 0,42 respektive 0,41.

Det lägsta 20-meters medelvärdet på Essingeleden uppmättes till 0,30 och det högsta var 0,51. Observera att mätta körfält består av olika beläggningar med okända stenmaterial och ålder så en stor variation är förväntad. Den kompletterande mätningen visar att merparten av alla sannolikt slitstarka beläggningar på Essingeleden inte klarar friktionskraven på 0,50 vid mättillfället.

I *Figur 4* ges en normaliserad presentation av fördelningen av alla 20-meters medelvärden.

Sektioner med mycket låg friktion kan observerats samt att i princip alla uppmätta 20-meters medelvärden inte uppfyller krav på friktion $\geq 0,5$. Det kan noteras att det endast ca 1% av alla sträckor som uppfyller kravnivån.



Figur 4. Normalisering av samtliga uppmätta 20-meters medelvärden för E4, 2022.

DISKUSSION OCH FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER

I föreliggande förstudie har ett antal potentiella faktorer identifierats som påverkar uppruggning från dubbdäck samt ökar polering på högkvalitativa beläggningar.

I Sverige har hittills en allmän uppfattning varit att polering och friktionsproblem på barmark är ringa för svenska förhållanden. Kända problem med låg friktion till följd av polering har fram till idag nästan uteslutande varit fokuserade till utsatta vägnitt såsom cirkulationsplatser eller snäva kurvor. Under senare år har det kunnat observerats att allt fler utsatta sträckor har skyltats med skylt A10 "Varning för slirig väg" med tilläggstavla T22 "Vid våt väg bana", framför allt under hösten, vilket kan indikera ett ökande problem med polering. Denna skyltning används vanligtvis för att varna om låg friktion. Uppfattningen att problem med polering är något som förekommer endast vid utsatta områden kan dock behöva omprövas framöver, framför allt för vägar med hög trafikmängd där högkvalitativa stenmaterial använts i slitlager.

Upprepade friktionsmätningar från E4/E20, i höjd med Kungens kurva, har indikerat att förväntad uppruggning inte erhållits efter vinterperioden. I stället har en ny sommarsäsong med fortsatt polering tagit vid och ytterligare minskat friktionen. Friktionshöjande åtgärder (slipning och fräsning) som utförts på sträckan har dessutom visats haft mycket kort livslängd (< 1 år).

Friktionsmätningar som genomförts inom ramen för projektet på olika vältrafikerade leder runt Stockholm visar att problemet med låg friktion förekommer på ett flertal av de testade sträckorna. En kompletterande mätning utförd i oktober 2022 på delar av Essingeleden (9320 m i norr- och södergående riktning) visar på att situationen inte blivit bättre utan snarare sämre. Endast 1 % av de uppmätta 20 meters sektionerna uppvisade friktionsvärden över 0,5. Medelfriktionen för Essingeleden är endast 0,415 med långa partier ner mot friktionsvärden runt 0,3.

Vad den minskande uppruggningen av slitlagerbeläggningarna beror på är en kombination av olika faktorer. Några av dessa identifierade faktorer anges i listan nedan.

- Ny generation dubbdäck med mindre aggressiva dubb och minskat slitage/uppruggning med upp till ca 20 %
- Kraftigt minskad dubbdäcksandel (minskning med nästan 20 procentenheter i Stockholm de senaste 10 åren)
- Ökande trafikmängder med högre andel friktionsdäck
- Friktionsdäck ger ökad polering även under vintermånaderna
- Höga krav på slitstarka stenmaterial samt begränsad spårutveckling medför användning av poleringsbenägna material
- Tyngre och starkare fordon (starkare motorer, eldrift ger högre vridmoment)

Eftersom en vägbeläggning skall uppfylla flera krav samtidigt måste en kompromiss av egenskaper utföras. Normalt krävs slitstark beläggning för att uppfylla ställda funktionskrav. Porfyr har ca 30 % bättre slitageegenskaper än kvartsit, varför porfyr är vanligt förekommande på mycket trafikerade vägar. Slitstarka bergarter som t.ex. porfyr och kvartsit medför även bättre luftkvalitet då mindre mängd hälsovådligt vägdamm/vägp Partiklar bildas. När beläggningar med stenmaterial innehållande kvarts slits, bildas damm innehållande kvartspartiklar vilka är hälsovådliga.

Eftersom stenmaterialens slitstyrka och poleringsresistens står i motsatsförhållande måste en avvägning av dessa funktioner göras. Beläggningar med slitstarka stenmaterial och större stenstorlek som uppvisar lågt slitage har kunnat användas i Sverige just eftersom dubbdäcken ruggat upp materialet så att friktionen ökar igen under vintern. Då denna uppruggning nu verkar minska eller helt utebli på grund av förändrade förutsättningar blir resultatet ökad polering och lägre friktion. I detta fall har de uppruggande dubbdäcken blivit färre samtidigt som friktionsdäcken har sämre uppruggande egenskaper. Skulle däremot krav ställas på att stenmaterialet ska vara poleringsresistent skulle mjukare sten användas, poleringsproblematiken begränsas men samtidigt skulle slitaget öka.

Eftersom nya, hårdare krav på dubbdäck, som orsakar ännu mindre slitage, är på väg att införas 2025 (Traficom, 2021) så kommer uppruggningen sannolikt bli ännu mindre framöver då Transportstyrelsen i sina skrivelser anger att finskt typgodkännande ska gälla även för svenska däck (Transportstyrelsen, 2009). Nya generationers däck bör därför utvärderas även utifrån polering, t.ex. i VTI:s provvägsmaskin, för att kunna estimeras poleringseffekterna av dessa nya, mindre nötande dubbdäck. Om också användningen av dubbdäck fortsätter att minska kommer uppruggningen av slitstarka stenmaterial att minska. I takt med minskad dubbdäcksanvändning så ökar användningen av friktionsdäck vilket påskyndar poleringen ytterligare.

I dagsläget tillämpas i praktiken inga metoder att kontrollera ett stenmaterials poleringsbenägenhet i Sverige. Utländska metoder (PSV) har förkastats av Trafikverket då de inte rangordnar stenmaterial på ett tillämpbart sätt, slitstarka material såsom porfyr skulle diskvalificeras avseende polering och därmed inte kunna användas. I stället har det konstaterats att uppruggningen vintertid har fungerat för att hålla friktionen över gränsvärdet 0,5 över hela året.

Kravställningen på friktion är och har varit något komplicerad. Kravnivån, och om det ska utformas som ett krav eller endast som ett råd, har ändrats genom åren (Sjögren et al., 2020). I den nu gällande TDOK 2013:0529 finns dock att läsa:

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 20-meters sträcka vara $\geq 0,50$. Friktionstalet ska bestämmas enligt TDOK 2014:0134, Bestämning av friktion på belagd väg.

Efter garantitiden finns alltså inget formellt krav på friktionsnivåer även om det som bedöms som låg friktion inom garantitiden, rimligen borde vara låg friktion även efter. Det ställda kravet verkar alltså utgå ifrån vem som är ansvarig och därmed skyldig att tillse att lägsta tillåtna friktion är uppfylld, inte ifrån att en lägre friktion skulle kunna innebära en trafiksäkerhetsrisk.

I TSFS 2021:122 (Transportstyrelsen, 2021) står angivet vad olika vägvagnsnitt ska ha för lägsta friktionsvärde men direktiv om hur ofta och av vem mätningar ska utföras saknas.

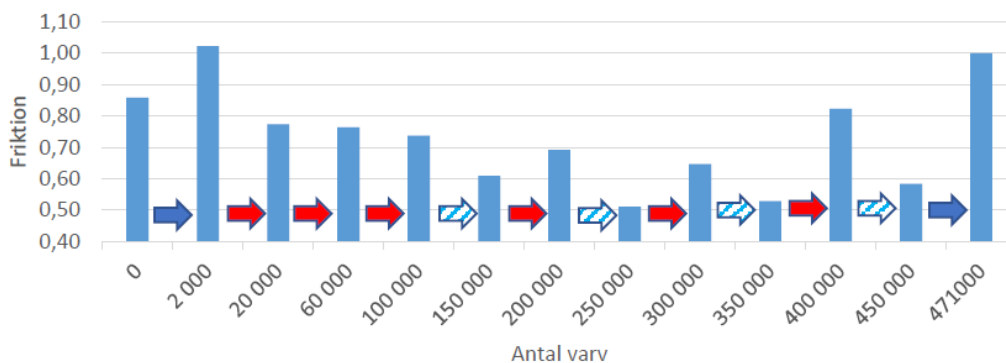
För vägar, inklusive vägmarkeringar, med bundet slitlager eller belagd yta ska vid barmarksförhållanden medelvärdet av friktionstalet vara minst 0,50. Dock ska värdet vara minst 0,55 för cirkulationsplatser, trafikplatser och hållplatser, samt vägar eller vägsträckor med lägre referenshastighet än 70 km/h. För gång- eller cykelbanor med bundet slitlager eller belagd yta ska vid barmarksförhållanden medelvärdet av friktionstalet vara minst 0,50. Kontinuerliga friktionsegenskaper hos och mellan olika ytmaterial ska eftersträvas vid såväl torrt som vått underlag.

Framtida krav och kravnivåer bör ses över så att en optimering kan göras utifrån relevanta parametrar, t.ex. friktion, slitage, livslängd, partiklar och buller. Om de nya dubbdäcken fortsätter att minska uppruggningen samt slitaget finns en potential att anpassa kravnivåer på beläggningarna för de nya förutsättningarna. Minskat slitage

medför ökad livslängd för beläggningsarna eftersom cyklerna för omläggning ökas vilket i sin tur minskar underhållskostnaderna. Vidare medför minskat beläggnings slitage att inandningsbara partiklar (PM_{2,5} och PM₁₀) minskar samt förbättrar miljön runt vägarna. Om slitaget minskar kan krav på slitstarka beläggningar eventuellt sänkas vilket medför att stenmaterial med lägre kvalitet kan användas vilket bidrar till lägre kostnader.

Minskad uppruggning kommer dock att leda till ökat problem med polering. För att hantera en eventuell utveckling mot ökad polering måste nya metoder tas fram för utvärdering av lämpliga stenmaterial samt beläggningar utifrån ett poleringsperspektiv. Idag saknas testmetoder för denna typ av utvärdering. Det finns dock potentiella metoder som bör utredas för svenska förhållanden (t.ex. Wehner-Schulze).

I en nyligen publicerad rapport (Arvidsson m.fl., 2019) diskuteras friktions- och texturutveckling på nya beläggningar, dess förändring över tid samt behovet av ytterligare kunskapsuppbyggnad inom området. Vid försök i VTI:s provvägsmaskin alterneras körning med sommardäck, dubbdäck samt friktionsdäck och friktionen mättes med såväl pendel som VTI:s egen friktionsmätningstrustning *Portable Friction Tester* efter givna överfartsintervall. Uppmätta friktionsvärden från ABS8 och ABS11-beläggningar redovisas i *Figur 5* och indikerar som väntat att körning med dubbdäck (blå pil) ökar friktionen. Körning med sommardäck (röd pil) sänker friktionen initialt snabbt men sedan långsamt. Det är dock efter körning med friktionsdäck (blå/vit pil) som uppmätt friktion hamnar på riktigt låga nivåer. När det sedan växlas mellan körning med sommar- och friktionsdäck framgår det tydligt att det friktionsdäck som polerar beläggningsen mest och att sommardäcket faktiskt åter höjer friktionen.



Figur 5. Friktionsutveckling i PVM efter givna överfartsintervall med sommardäck (röda pilar), dubbdäck (blå pilar) samt friktionsdäck (blåvit-randiga pilar) (Arvidsson m.fl., 2019).

Det föreligger ett antal områden där vidare utveckling behövs. För att undersöka vidden av problemet bör friktionsmätningar utföras på vägnätets nivå med ett bestämt intervall. Under 1990- och 2000-talen gjordes vid VTI upprepade friktionsmätningar på ett antal högratifierade vägar där friktionsvariationen kunde följas över året (se *Figur 1*). Med liknande upprepade mätningar som också tillgängliggörs för allmänheten i t.ex. Trafikverkets PMSv3/PMSv4, skulle problemen med låg friktion också kunna kvantifieras och följas upp nu då förutsättningarna har förändrats.

Ett datauttag från Strada studerades också inom ramen för projektet. Materialet i Strada innehåller ingen information om vägytans beskaffenhet utan enbart noteringar från olycksplatsen som bygger på iakttagelser från rapporterande polisman. Det finns enligt författarens vetskap inte heller någon annan källa till statistik över olycksorsak vilket gör det svårt att uppskatta hur vanliga olyckor till följd av polering är. Vid misstanke om låg friktion genomförs friktionsmätningar men data samlas inte in på något systematiskt sätt. Om det är önskvärt att ta reda på hur vanliga olyckor är till följd av låg friktion bör det utredas på vilket sätt en olycksplats kan och bör undersökas.

Vidare bör effektiva drift- och underhållsmetoder för att återställa fullgod friktion studeras och utvecklas för svenska förhållanden. Speciellt långtidseffekten av potentiella åtgärder bör verifieras.

En revidering av VTI:s slitagemodell kommer potentiellt behöva utföras utifrån de identifierade nya förutsättningarna.

REFERENSER

- Arvidsson, A., Lundberg, T., Kalman, B., Ekström, C., Cruz del Aguila, F. (2019). *Friktions- och texturutveckling på nya beläggningar*, VTI rapport 992. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Bjurström, H. och Nilsson, R. (2022). *Polering av högkvalitativa beläggningar – En förstudie*. VTI rapport 1146. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Göransson, NG. (2010). *Polering av asfaltbeläggning: friktionsmätningar i Stockholmsregionen: 2009*, Statens väg- och transportforskningsinstitut, Infrastruktur, INFRA, Drift och underhåll, DOU.ORCID-id: 0000-0002-0286-430X.
- Höbada, P. (1999). *Polering av stenmaterial:slutrapport*, VTI notat 16-1999. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Jacobson, T. och Höbada, P. (1996). *Polering av asfaltbeläggning – Friktionsmätningar hösten 1996*. VTI notat 74-1996. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Jacobson, T. och Hornwall, F. (2001). *Polering av asfaltbeläggningar – Friktionsmätningar i Stockholm 1997–2000*. VTI notat 17-2001. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Jacobson, T. och Hjort, M. (2008). *Polering av asfaltbeläggning*, VTI notat 25-2007. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Mustonen, H. (2019). *Determining the road wear limits in the type approval of studded tires*. Master thesis, Aalto University – School of Engineering,
- Regeringskansliet (2022a). Mål för transporter och infrastruktur, <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/transporter-och-infrastruktur/mal-for-transporter-och-infrastruktur/>.
- Sjögren, L., Niska, A., Hjort, A., Andrén, P. och Lundberg, T. (2020). *Krav på belagda väg-, cykel- och gångbanors friktionsegenskaper vid barmarksförhållanden – Underlag och rekommendationer*, VTI rapport 980. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- TDOK 2013:0529, (2020 v4), *Krav, Bitumenbundna lager*, Trafikverket.
- TDOK 2014:0134, (2014), *Bestämning av friktion på belagd väg*, Trafikverket
- Traficom (2021). Tekniska krav på och typgodkännande av fordons dubbdäck. Föreskrift: TRAFICOM/220809/03.04.03.00/2019.
- Transportstyrelsen (2009). TSFS 2009:19. Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om användning av däck m.m. avsedda för bilar och släpvagnar som dras av bilar. Transportstyrelsens författningssamling, Transportstyrelsen, Norrköping.
- Transportstyrelsen (2021). TSFS 2021:122. Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om egenskapskrav för vägar, gator, spårvägar och tunnelbanor (byggregler). Transportstyrelsens författningssamling, Transportstyrelsen, Norrköping.

BILAGA A – VTI-RAPPORT 1146

VTI rapport 1146, Bjurström och Nilsson, 2022

VTI rapport 1146

Polering av högkvalitativa beläggningar

En förstudie

Henrik Bjurström

Roger Nilsson

Författare: Henrik Bjurström, VTI, Roger Nilsson, Skanska
Diarienummer: 2020/0340-9.2
Publikation: VTI rapport 1146
Utgiven av VTI 2022

Publikationsuppgifter – Publication Information

Titel/Title

Polering av högkvalitativa beläggningar – En förstudie/Polishing of high quality pavements – A pilot study

Författare/Author

Henrik Bjurström (VTI, <http://orcid.org/0000-0002-5665-8288>)

Roger Nilsson (Skanska)

Utgivare/Publisher

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut
Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)
www.vti.se/

Serie och nr/Publication No.

VTI rapport 1146

Utgivningsår/Published

2022

VTI:s diarienum/Reg. No., VTI

2020/03409.2

ISSN

0347–6030

Projektnamn/Project

Polering av högkvalitativa beläggningar
Polishing of high quality pavements

Uppdragsgivare/Commissioned by

BVFF (Bana väg för framtiden), SBUF (Svenska byggbranschens utvecklingsfond)

Språk/Language

Svenska/Swedish

Kort sammanfattning

God friktion mellan däck och vägbeläggning är en förutsättning för att åstadkomma hög trafiksäkerhet. Polering av sten i slitlagerbeläggningen riskerar att orsaka kritiskt låg friktion och är ett problem som får större uppmärksamhet utanför Norden. I Sverige har man i stället sett att dubbdäckstrafiken vintertid ruggar upp beläggningens yta tillräckligt för att klara av en viss poleringseffekt under sommarmånaderna. Barnmarksfriktionen har alltså tillåtits variera över året eftersom samspelet mellan polering och uppruggning fungerat bra med tillräcklig friktion även när den är som lägst. Detta samspel verkar nu vara satt ur spel då upprepade friktionsmätningar på högtrafikerade vägavsnitt indikerar en allt snabbare polering och i värsta fall helt utebliven uppruggning. Bakgrunden till detta projekt är resultaten från upprepade friktionsmätningar som påvisat kritiskt låg friktion på högtrafikerade vägavsnitt. Friktionsmätningarna initierades i sin tur av en uppmärksam olycka där det rapporterats om dåligt väggrepp.

I detta projekt undersöks några möjliga faktorer till att den uppruggande effekten som tidigare erhållits vintertid verkar ha minskat. Det visar sig att trafikvolymen på de mest trafikerade vägarna har ökat, dubbdäcksanvändningen har minskat betydligt de senaste tio åren och dubbdäcken konstrueras i ökande grad på ett sätt som ska minska slitaget på vägbeläggningen. Vidare kan ökningen av friktionsdäck ha bidragit till ökad polering under vintermånaderna.

Friktionsmätningar har inom projektet utförts på både en provsträcka på E4 samt på en rad infartsleder kring Stockholm. Resultaten från provsträckan bekräftar att en hårdare porfyr med lägre kulkvarnsvärde i slitlagret är mer poleringsbenägen och orsakar friktionen att bli lägre jämfört med mjukare stenkvaliteter. Avvägningen mellan slitstyrka och polering blir också tydlig i och med att den hårdare porfyren slitits mindre (uppvisar lägre spårbildning) jämfört med övriga delsträckor.

Mätningar utförda på infartsleder runt Stockholm visar att problemet med låg friktion inte är isolerat till något enstaka vägavsnitt. På nio av tolv sträckor uppmäts friktion under värdet 0,5, den gräns som Trafikverket satt upp som gränsvärde under vägens garantitid, på minst en 20 m-sektion. Längs två av de tolv uppmätta sträckorna visar sig friktionen vara under gränsvärdet över hela sträckan.

Förstudiens resultat visar att flertalet vägar har en alltför låg friktion vid mättillfället. De indikerar även att flera vägavsnitt i första hand skulle behöva följas upp med friktionsmätningar flera gånger per år för att kunna följa friktionsvariationen över året för olika beläggningar. Om den iakttagna trenden håller i sig, om dubbdäcksfrekvensen och dubbarnas uppruggning på vägbeläggningen fortsätter att minska, kommer större hänsyn behöva tas till poleringen i framtiden.

Nyckelord

Polering, friktion, uppruggning, PSV, Wehner-Schulze

Abstract

Sufficient friction between tire and pavement is a prerequisite to ensure high traffic safety. Polishing of stones in the surface course risks causing low friction and is a problem that has gained bigger attention outside the Nordic countries. In Sweden it has been noticed that the studded tire traffic during the winter roughens the pavement surface enough to endure some polishing during the summer months. The bare ground friction has thus been allowed to vary over the year since interaction between polishing and roughening has been working well with sufficient friction even at its minimum. This interaction now seems to be out of play as repeated friction measurements on highly trafficked roads indicate an even faster polishing and in the worst case absent roughening. The background of this project is the results from repeated measurements that show critically low friction on highly trafficked road sections. The friction measurements were initiated after a car crash that got lots of attention since it was caused by lost grip and the following measurement demonstrated critically low bare ground friction.

In this project, some possible factors are examined to why the roughening effect that earlier has been obtained during wintertime has decreased. It is presented that the traffic volume on the most heavily trafficked roads has increased, the use of studded tires has decreased substantially during the last decade and the studded tires are designed to cause less wear on pavement. The increased use of friction tires has also contributed to increased polishing during the winter months.

The friction measurements have within the project been performed on a test section on E4 and on several highways around Stockholm. The results from the test section confirm that a harder porphyry with lower ball mill value in the surface course is more susceptible to polishing compared to softer stones. The tradeoff between abrasion resistance and polishing also becomes clear since the harder porphyry shows less abrasion wear (rutting) compared to other pavement sections.

Measurements performed on highways around Stockholm show that the problem with low friction isn't isolated to some single pavement section. On nine out of twelve roads, friction values below 0.5 are measured, the limit value determined by the Swedish Transport Administration under the guarantee period, on at least one 20 m section. On two out of the twelve examined highways it is demonstrated that the friction is lower than the limit value along the whole studied section.

The results of the pilot study show that a substantial part of the studied roads have too low friction at the time of testing. They also indicate that several road sections primarily should be followed using friction measurements multiple times a year in order to follow the friction value development over the year for different kinds of pavements. If the observed trend continues, if the use of studded tires, and if the roughing up by the studs on pavements continue to decrease, the polishing effect needs to get more attention in the future.

Keywords

Measurements performed in Polishing, friction, roughening, PSV, Wehner-Schulze

Förord

Projektet initierades under sommaren 2020 efter att man iakttagit ett antal avåkningsolyckor till följd av låg friktion. Problemen med polering är sedan tidigare kända, främst på utsatta platser såsom cirkulationsplatser, skarpa kurvor eller vid trafikljus, men har på senare tid upptäckts på platser där problem med polering inte varit förväntade. Denna förstudie initierades för att studera vilka faktorer som skulle kunnat ligga bakom denna ökning av problematiken. Upprepade friktionsmätningar på platsen har visat att den uppruggning som tidigare skett av dubbdäck vintertid, uteblivit.

Projektet är finansierat av Trafikverket där Henrik Arnerdal varit kontaktperson och av Svenska byggbranschens utvecklingsfond (SBUF). Anna Wireman på Trafikverket har deltagit genom att föreslå sträckor för friktionsmätningar.

Projektgruppen vill tacka Allan Ostrowskis (tidigare utvecklingschef hos Nokian Tyres och Continental) samt Mattias Hjort på VTI för givande diskussioner och idéer. Ett tack riktas också till Mikael Bladlund på VTI som utfört friktionsmätningarna inom projektet.

Linköping, juli 2022

Henrik Bjurström

Projektledare

Granskare/Examiner

Björn Kalman, VTI.

De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning./The conclusions and recommendations in the report are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of VTI as a government agency.

Innehållsförteckning

Publikationsuppgifter – Publication Information	5
Kort sammanfattning.....	6
Abstract.....	7
Förord.....	8
1. Inledning	10
1.1. Bakgrund.....	10
1.2. Mål och syfte.....	12
1.3. Metod.....	12
1.4. Avgränsningar.....	13
2. Litteraturstudie	14
2.1. Friktion.....	15
2.2. Polering.....	23
2.2.1. Mätmetoder.....	25
2.3. Stenrik asfaltbeläggning (ABS)	25
2.3.1. Mätmetoder för slitagemotstånd	27
2.3.2. Kravnivåer	27
2.4. Ökning av trafikvolym och -last	28
2.5. VTI:s slitagemodell.....	30
2.6. Dubbdäcksutveckling och -användning	30
2.7. Eftersträvad minskning av dubbdäcksanvändning.....	34
2.7.1. Effekter av dubbdäcksanvändning.....	34
2.7.2. Styrmedel för minskad dubbdäcksanvändning	34
2.8. Friktionshöjande åtgärder.....	35
2.8.1. Inblandning av poleringsresistent ballast.....	35
2.8.2. Slipning och fräsning på E4/E20	40
3. Friktionsmätningar	51
3.1. E4/E20, Kungens kurva	51
3.2. E4, AB/D länsgräns–Järna	55
3.3. Infartsleder runt Stockholm.....	59
4. Olycksstatistik	75
5. Diskussion och fortsatta studier.....	76
Referenser	79
Bilaga 1. Friktionsmätningar på E4/E20, Kungens kurva.....	82
Bilaga 2. Friktionsmätningar på E4, AB/D länsgräns–Järna.....	94
Bilaga 3. Friktionsmätningar på infartsleder i Stockholmsområdet	99

1. Inledning

Det övergripande målet för Sveriges vägnät är att säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet. Därutöver har riksdagen beslutat om ett funktionsmål – tillgänglighet, samt ett hänsynsmål – säkerhet, miljö och hälsa (Regeringskansliet, 2022a).

För hänsynsmålet finns två etappmål: 1. Minska växthusgasutsläppen från inrikes transporter ned minst 70 procent senast 2030 jämfört med 2010, och 2. Halvera antalet omkomna till följd av trafikolyckor till år 2030, vidare skall antalet allvarligt skadade minska med minst 25 procent till 2030.

Även om de ekonomiska aspekterna normalt har högst prioritet så rankas vanligtvis trafiksäkerhet och miljöaspekter som ekvivalent betydelsefulla. Denna inriktning är tydligt beskriven i Nollvisionen (Trafikverket, 2022) samt i nya klimatlagen (Regeringskansliet, 2022b). Då några av dessa mål står i motsatsförhållande till varandra krävs en optimering och kompromiss av önskvärda egenskaper.

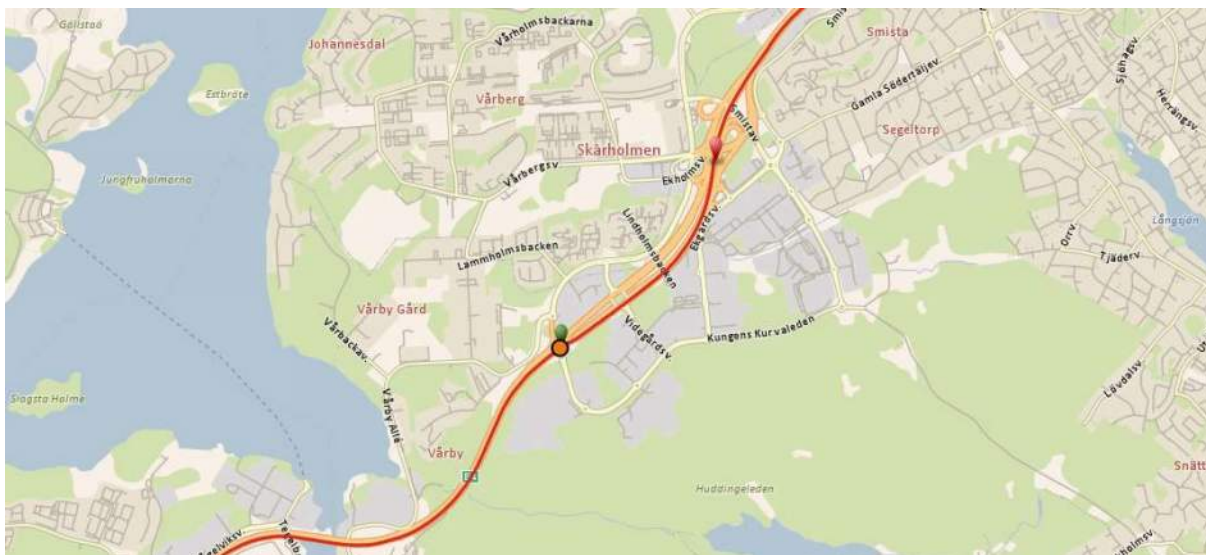
Resultat från nationella och internationella utvecklingsprojekt har indikerat att god friktion mellan däck och körbana är en av de viktigaste faktorerna för att åstadkomma en hög trafiksäkerhet. Det har dock visat sig att interaktionen mellan däck och körbana samt dess korrelation till friktion och dess bidrag till förarsäkerheten är komplexa. Även om precisa samband mellan olyckor vid våta körbanor och låg friktion saknas så har flertalet empiriska resultat påvisat att antalet olyckor vid nederbörd ökar samt att friktionen minskar (alla andra faktorer som till exempel hastighet och trafikvolym förblir desamma) (Hall m.fl., 2009). I Sverige har vi varit relativt skonade från friktionsproblem mycket tack vare en årligt återkommande uppruggning av beläggningen orsakad av dubbdäcken under vinterperioden. I länder som inte använder dubbdäck är dock låg friktion pga polering ett förekommande problem. Resultat och erfarenheter från utförda friktionsstudier har successivt införlivats i nationella regelverk och riktlinjer som anpassats till lokala förhållanden.

Under hösten 2018 uppmärksammades att ett antal olyckor hade inträffat vid företrädesvis vått väglag, i både norr- samt södergående riktningar på E4/E20 mellan Trafikplats Lindvreten och Kungens kurva inom Förbifart Stockholm Entreprenad 105, FSE105. Friktionsmätningar indikerade låg friktion och vid visuella inspektioner observerades att stenmaterialet i slitlagret var kraftigt polerat. Orsaken till den kraftiga poleringen kunde inte förklaras utifrån tidigare erfarenheter. Trafikverket, VTI samt Skanska påbörjade en studie för att försöka att öka kunskapen samt förståelsen och orsaken till den kraftiga poleringen och till synes avsaknaden av uppruggning.

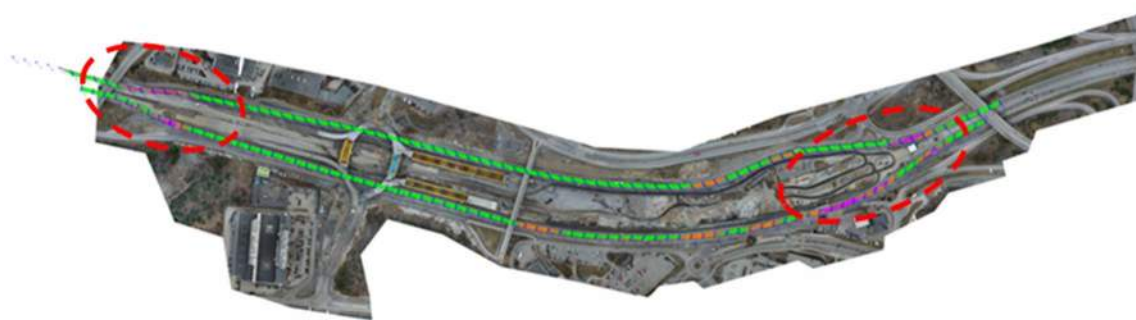
I föreliggande rapport har en kunskapssammanställning av faktorer som påverkar friktion/polering samt hur undermålig friktion kan återställas genomförts. I rapporten diskuteras orsaker och faktorer till reducerad friktion för utsatta sektioner samt om potentiell risk för framtida friktionsproblem genom ökad polering.

1.1. Bakgrund

Under hösten 2018 uppmärksammades ett antal svårförklarade olyckor som inträffat vid företrädesvis vått väglag, i både norr- och södergående riktningar på E4/E20 inom FSE 105, se Figur 1. Sträckningen är en del av Förbifart Stockholm vid Kungens kurva i södra Stockholm. Det rapporterades om att vägbanan uppfattats som slirig vid tiden för olyckorna. Fordonshastighet samt däcktillstånd vid olyckstillfällena är inte kända. Skyltad hastighetsbegränsning är 70 km/h för hela sträckan. För att undersöka orsaken till detta genomfördes en visuell inspektion samt friktionsmätning vilken påvisade låg friktion framför allt vid de skarpa chikanerna (S-kurvor) i och omkring de provisoriska anslutningarna mot befintlig E4/E20 samt vid trafikplats Lindvreten Södra, se Figur 2 (inringande rödstreckade områden). Vid de provisoriska chikanerna föreligger förutom förändring av horisontalradien även förändring i vertikalradien. På raksträckorna mellan chikanerna uppmättes företrädesvis godkända friktionsvärden (gröna markeringar i Figur 2).



Figur 1. Sträckning på E4/E20 mellan trafikplatserna Lindvreten Södra och Kungens kurva som undersökts. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.



Figur 2. Identifierade områden med låg friktion (E4/E20 mellan trafikplatserna Lindvreten Södra och Kungens kurva). Illustration över området skapad av Skanska.

Visuell inspektion av beläggningsytan vid de sektionerna med låg friktion visade på ringa hjulspår, god makrotextur men att stenmaterialet i belaggningsytan, främst i hjulspår, uppvisade relativt hög poleringsgrad. I Figur 3 visas belaggningsytan på den aktuella sträckan där stenmaterial i hjulspåren polerats. Det syns tydligt att belaggningsytan uppvisar god textur utan några större hjulspår men att stenmaterialet är slätt och glansigt. Utifrån den visuella inspektionen samt resultaten från utförda friktionsmätningar, se Bilaga 1 samt Figur 2, Figur 24 och Figur 25, konstaterades att det initialt var poleringen av stenmaterialet i belaggningsytan vid chikanerna som var orsaken till de låga friktionsvärdena. Senare har polering uppkommit även på raksträckorna mellan chikanerna vilket resulterat i låga friktionsvärden även där. Polering på raksträckor är mycket ovanligt och orsak samt kunskap om detta saknas. Polering har vanligtvis enbart observerats vid tvära kurvor samt cirkulationsplatser och andra utsatta lägen.



Figur 3. Exempel på typisk beläggningsyta på E4/E20 vid visuell inspektion. Foto: Skanska.

För att åtgärda de polerade ytorna har flera friktionshöjande åtgärder vidtagits utmed sträckan. Friktionsmätningar har utförts vid flertalet tillfällen där det har kunnat konstateras att åtgärderna har en mycket kortvarig effekt samt att friktionsvärdena inte verkar följa de regelbundna fluktuationer man fram till nu varit van att se. Orsaken till den snabba friktionsnedgången efter åtgärderna kunde inte förklaras utifrån tidigare erfarenhet. Normalt fluktuerar friktionen under året med några tiondels enheter, vägytan ruggas upp av dubbdäcken under vintern för att uppnå högsta friktionsvärden efter dubbdäcksperioden i april–maj (Jacobson och Hornwall, 2001). Vägytan poleras sedan under sommarmånaderna och friktionen är vanligtvis som lägst i september precis innan dubbdäckssäsongen, se Figur 10. Efter olyckorna 2018 har dock ingen förväntad uppruggning under vinterhalvåret kunnat iaktas, se Bilaga 1. Den underliggande orsaken till detta är okänt.

1.2. Mål och syfte

Målet med projektet är att identifiera potentiella faktorer som påverkar polering och orsakar låg friktion. Vidare är syftet att få en samlad bild av kunskapsläget inom området samt att ta fram ett underlag för behovet av en mer djupgående och omfattande studie.

1.3. Metod

I föreliggande rapport har potentiella påverkansfaktorer sammanställts utifrån en övergripande litteraturstudie. Vidare har diskussioner förts med branschaktörer såsom väghållare, asfaltindustrin samt däckindustrin för att erhålla en samlad bild om friktion och polering orsakad av trafik. Kompletterande friktionsmätningar i samverkan med Trafikverket har utförts på utvalda sträckor runt Stockholm samt på en provsträcka med olika beläggningar. Slutligen har olycksstatistik och halkolyckor från STRADA analyserats.

1.4. Avgränsningar

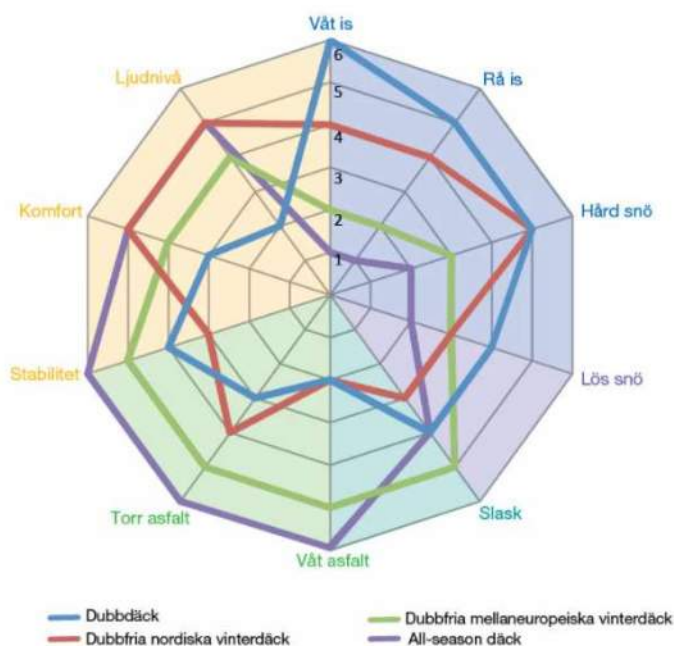
Rapporten är att betrakta som en förstudie för att kartlägga problemen med polering för högt trafikerade vägar i Stockholmsområdet. Utifrån ett känt problem med polering vid Kungens kurva kontrolleras om detta är ett isolerat problem eller om låg friktion förekommer på andra sträckor i Stockholmsområdet. Samband studeras mellan polering och andra faktorer, såsom däck- och trafikutveckling samt kravnivåer och styrmedel.

Problemet som uppmärksammas i denna rapport avser polering som orsakar låg barmarksfriktion. Låg friktion till följd av snö och is, löv, oljeläckage, vattenplaning med mera ligger utanför projektets gräns.

2. Litteraturstudie

Trafiksäkerhet är ett av de övergripande kraven för en vägkonstruktion. Tillräcklig friktion mellan fordonens däck och underlag över hela året är en fundamental parameter för att uppnå detta. För en torr sommarväg är sällan friktion ett problem men vid våta förhållanden, samt under vintertid, måste åtgärder vidtas för att tillse att tillräcklig friktion bibehålls. Snöröjning, saltning och sandning samt sänkning av hastighetsgränser är exempel på åtgärder som kontinuerligt används för att upprätthålla god friktion och hög trafiksäkerhet. Andra åtgärder som används avser utformning av vägbanan och optimering av vägytan för god interaktionen mellan däck och vägbeläggning.

I Sverige är det lag på att fordon vintertid ska ha vinterdäck och det är sedan länge tillåtet att använda dubbdäck. Dubbdäck har visat sig överlägsna dubbfria vinterdäck under typiska vinterförhållanden med is och snö. Spindeldiagrammet i Figur 4 visar karaktäristiska egenskaper för olika typer av vinterdäck.



Figur 4. Karaktäristiska egenskaper för olika typer av vinterdäck där ett högt värde i spindeldiagrammet innebär bättre klassning. Figur från The Scandinavian Tire & Rim Organization (STRO) (2022).

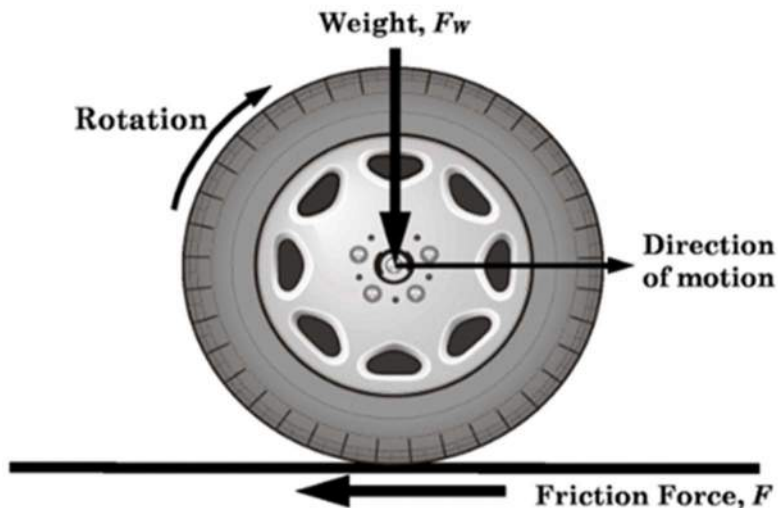
Användningen av dubbdäck orsakar dock ökat slitage på vägens beläggning vilket leder till flera problem. Ökad spårdjupstillväxt leder till fler kostsamma byten av slitlagret på vägen. Med större spårdjup ökar även risken för stående vatten på vägen samt att snöröjning inte kan utföras på ett optimalt sätt. Motorcyklister är en grupp som är särskilt utsatta vid ökade hjulspår. Slitaget orsakat av dubbdäcksanvändningen genererar även hälsovådliga inandningsbara partiklar ($PM_{2,5}$ och PM_{10}). Dubbdäcken sliter även betydligt på vägmarkeringar samt bidrar till ökande bulleremissioner. De dubbdäcksrelaterade problemen leder till ökade samhällskostnader, bidrar till ökad klimat- och miljöpåverkan samt trafiksäkerhetsproblem om inte beläggningen underhålls med högre frekvens.

För att beakta och ta hänsyn till dubbdäckens negativa slitageegenskaper har man i Sverige under många år successivt ökat kraven på vägens maximala spårdjup vilket har resulterat i utveckling av slitstarka beläggningstyper för att minimera de negativa effekterna av dubbdäck. Samtidigt har däckindustrin utvecklat dubbdäck som är mindre aggressiva mot vägbeläggningen, bland annat genom det så kallade overrun test (ISO/DIS 24469). För att reducera partikelemissionerna så att de uppfyller EU:s kravnivåer, har förbud mot dubbdäck introducerats på särskilt utsatta vägar. Vidare har hastighetsbegränsningar under vintermånaderna införts på vissa vägar för att öka trafiksäkerheten.

Dessa åtgärder har historiskt visat sig fungerat väl som en kompromiss mellan dubbdäckens för- och nackdelar i förhållande till trafiksäkerhet, miljö- och klimataspekter samt samhällskostnader. Sveriges vägar tillhör de säkraste i världen.

2.1. Friktion

Friktion definieras som den kraft som strävar att motverka den relativa glidrörelsen (slip) mellan däck och körbana vilka är i kontakt med varandra. Figur 5 ger en förenklad illustration av verkande krafter hos ett roterande hjul, där friktion, F , beskriver motståndet mot slip mellan däck och beläggning och F_w är normalkraften. Friktionen som genereras i kontaktytan mellan däck och vägbeläggning beror på ett antal komplexa processer och samband.



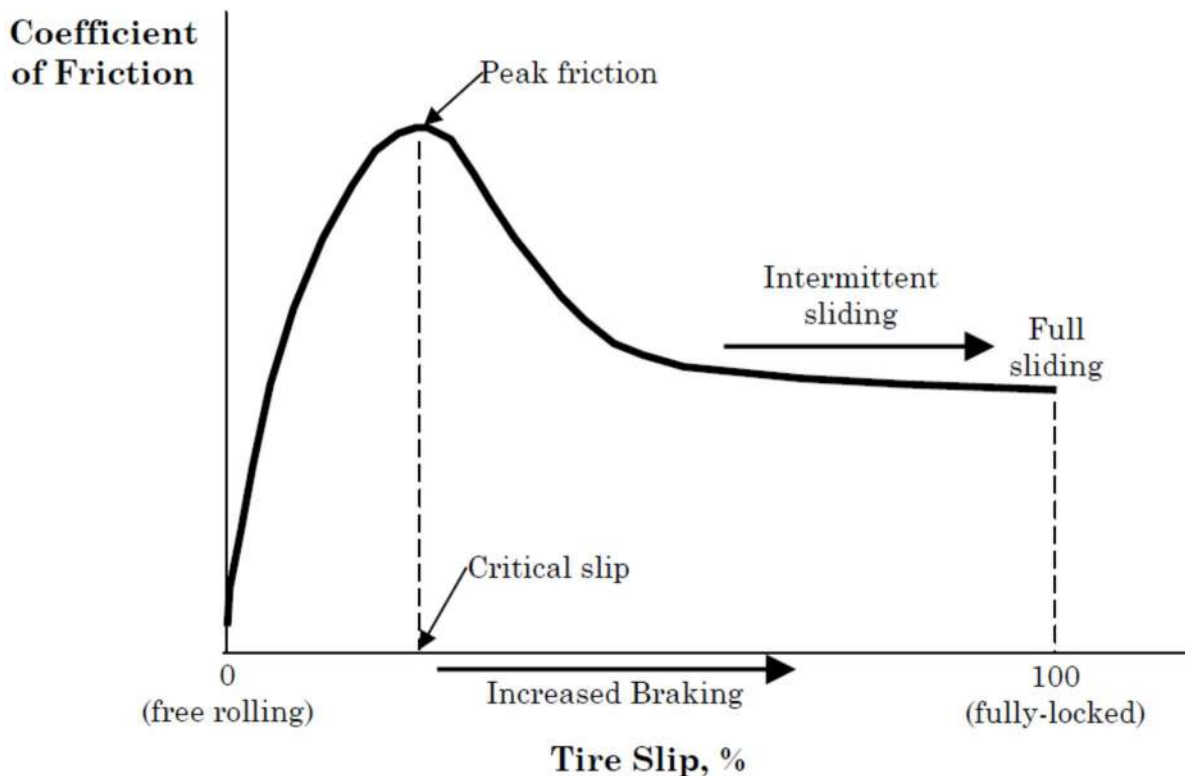
Figur 5. Förenklad illustration av verkande krafter hos ett roterande hjul. Figur från Hall m.fl. (2009).

Vägfriktionstalet eller friktionskoefficienten, μ , är förhållandet mellan friktionskraften F och normalkraften F_w mellan däck och vägbana. Vägfriktionstalet beräknas enligt Ekvation 1.

$$\mu = \frac{F}{F_w}$$

Ekvation 1. Friktionskraften beräknas som kvoten mellan den horisontella friktionskraften och den vertikala normalkraften.

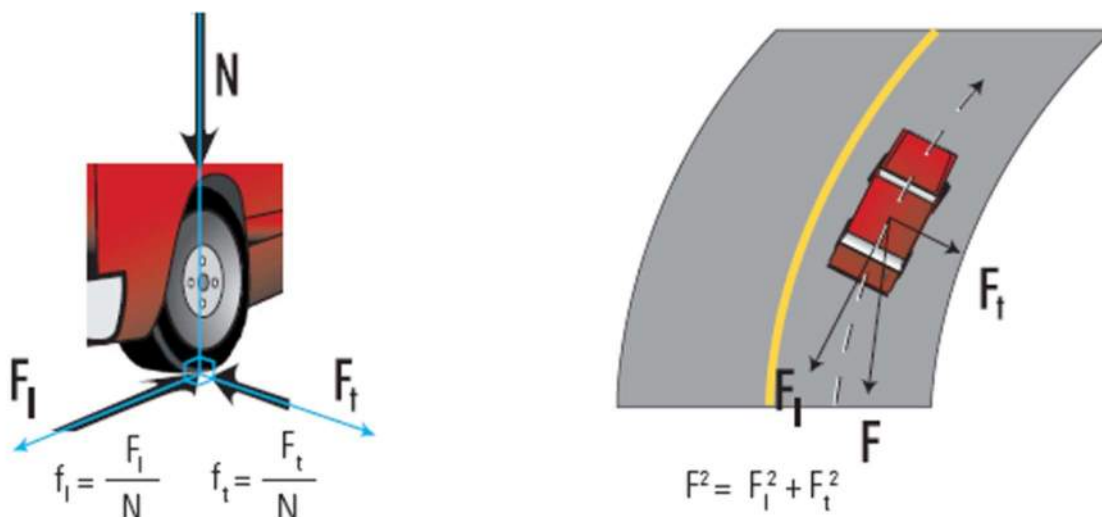
Friktionskoefficienten mellan däck och beläggning varierar för grad av slip, enligt Figur 6. Den ökar snabbt med ökad slip för att nå ett maxvärde som vanligtvis inträffar vid 10–20 procent slip (s.k. critical slip). Friktionskoefficienten avtar sedan för ökad slip upp till 100% vilket benämns ”full sliding or sliding friction” vilket beskriver tillståndet då däckets är helt låst (ingen rotation).



Figur 6. Samband mellan longitudinell friktion och slip. Figur från Hall m.fl. (2009).

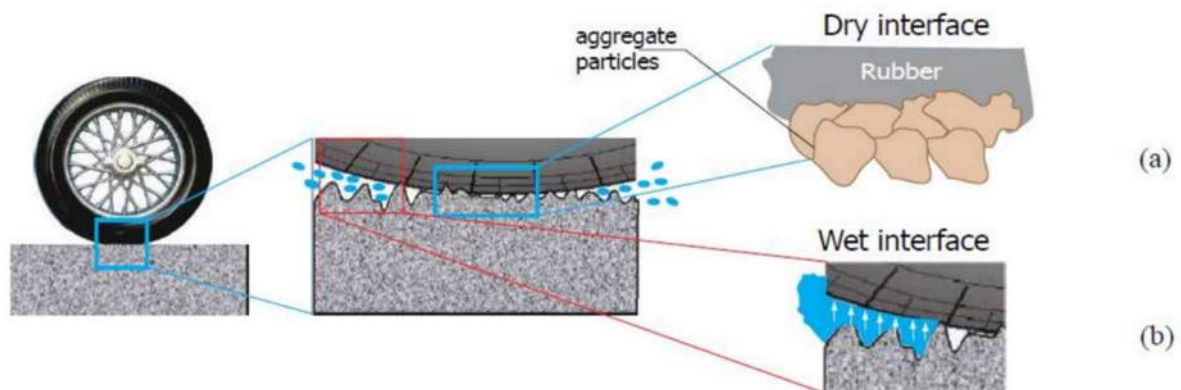
Slip är ett mått på den relativa glidrörelsen mellan däck och vägbanan. Måttet kan också sägas ange graden av hjullåsning, där 0 % motsvarar obromsat frirullande hjul och 100 % motsvarar låst hjul. Slip uppstår antingen genom att däckets rotationshastighet är högre eller lägre än fritt rullande hastighet, eller genom att däckets rotationsplan står i vinkel mot dess färdriktning (slipvinkel).

Longitudinell friktion, F_l , avser friktionen i ett fordonets längdriktning och påverkar acceleration och retardation. Transversell eller tvärgående friktion, F_t , avser det tillgängliga slitmotståndet i en riktning som är vinkelrätt mot fordonets färdriktning och möjliggör riktningssändring. Friktionskomponenterna illustreras i Figur 7. Bromsfriktionen är vanligtvis dubbelt så stor som sidofriktionen. För att samtidigt kunna både svänga och bromsa i en kurva krävs en total friktion som är något högre än bromsfriktionen och betydligt högre än sidofriktionen. God friktion på en vägbeläggning är en viktig trafiksäkerhetsfaktor, särskilt när vägytan är våt. En koncentration av olyckor på en våt yta kan därför vara en indikator på friktionsbrist.



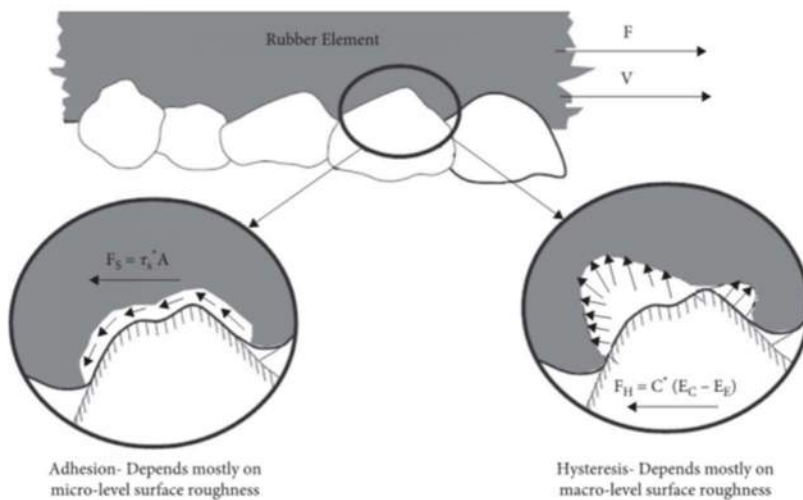
Figur 7. Longitudinell och transversell friktion (European road safety observatory, 2007).

Friktion uppkommer främst genom samspel mellan ojämnheter hos beläggningsytan samt de morfologiska däckegenskaperna illustrerat i Figur 8.



Figur 8. Påverkansfaktorer på (a) friktion samt (b) hydrodynamiska påkänningar i kontaktytan (torr/våt) mellan däck och beläggning (Kumar och Gupta, 2021).

Det är allmänt känt att det existerar ett komplext samspel mellan friktionens två huvudbeståndsdelar, gummidäckets hysteres samt adhesion (molekylär vidhäftning mellan två kroppar) mellan gummi och vägyta, se Figur 9.



Figur 9. Exempel på adhesion och hysteres (Kumar och Gupta, 2021).

Effekten av hysteres beror på vägens makrotextur (stenstorlek, beläggningstyp) samt däckmönster, gummiblandning mm. Dessa ojämnheter bidrar till att gummit i däck deformeras (trycks ihop och expanderar) medan det glider över vägytan. Eftersom gummidäck har viskoelastiska egenskaper, orsakar gummiblandningens hysteres att värme frigörs. Adhesion beror av vägytans mikrotextur (ytstrukturen på ballasten). När ett gummidäck belastas av kraftigt tryck från fordonslast, häftar det fast mot den skrovliga vägytan. Gummit tränger in i vägens ojämnheter, vilket resulterar i bättre väggrepp vid torra förhållanden. När vägarna är våta, isiga eller förorenade minskar vidhäftningen avsevärt.

Generellt antas att adhesion styr den allmänna friktionen för släta och torra beläggningar medan hysteres är den dominanta komponenten för ojämna och våta förhållanden. Vidare påverkas båda kategorierna av temperatur samt sliphastighet på grund av gummidäckens viskoelastiska egenskaper.

Friktion uppkommer med andra ord genom av såväl ojämnheter som adhesion mellan däck och beläggningsyta.

Det finns ett tydligt samband mellan våtfriktion och olycksrisk, framför allt vid högre hastigheter. Avgörande faktorer för en vägbanas friktion är dess textur på ytan. Friktionen och dess hastighetsberoende i vått tillstånd påverkas både av mikro- och makrotexturen. Mikrotexturen är ojämnheter med en våglängd mindre än 0,5 mm och yttrar sig som en skrovlighet på de enskilda stenarnas yta. Med makrotextur avses ojämnheter med våglängder mellan 0,5 och 50 mm som, i regel avsiktligt, uppkommer av blandningen av stenar, sand och bruk i en vägbeläggning och som yttrar sig som en skrovlighet hos vägytan. Största stenstorlek och kornstorleksfördelningen hos ballastmaterialet får därför en stor inverkan på denna parameter.

Vägytans textur påverkar viktiga interaktionsprocesser mellan däck och vägbanan som friktion, rullmotstånd, däckslitage, extern och intern fordonsbulleremission och utgör därmed en av de viktigaste egenskaperna hos vägytan. Hög makro- och mikrotextur är en förutsättning för fullgod friktion hos en vägbeläggning.

Makrotexturens uppgift är att tillsammans med mönstringen i bildäcket leda bort vattnet från kontaktytan mellan sten och däck. Mikrotextur måste dock finnas för att mineraltoppar ska bryta igenom den sista, tunna vattenfilmen så att däcksgummit får direktkontakt med vägytan (vatten, snö och is kan här ses som smörjmedel). Mikrotexturen har särskilt stor betydelse i kurvor med liten radie, cirkulationsplatser och vid vägkorsningar där fordons hastigheter är lägre, makrotexturen får större betydelse vid högre hastigheter. Stenrika beläggningar som skelettasfalt och dränasfalt ger en grov yta (god makrotextur), medan tät asfaltbetong ger en finare yta sämre även om vid svenska förhållanden dubbarna nöter bort bruket mellan det grövre stenmaterialet.

Mikrotexturen beror främst på stenmaterialets petrografiska beskaffenhet och är svår att påverka. Slitstarka stenar får släta brottytor. Bergarter som innehåller dåligt fogade mineral samt mineral av olika hårdhet får bra mikrotextur men sämre slitstyrka.

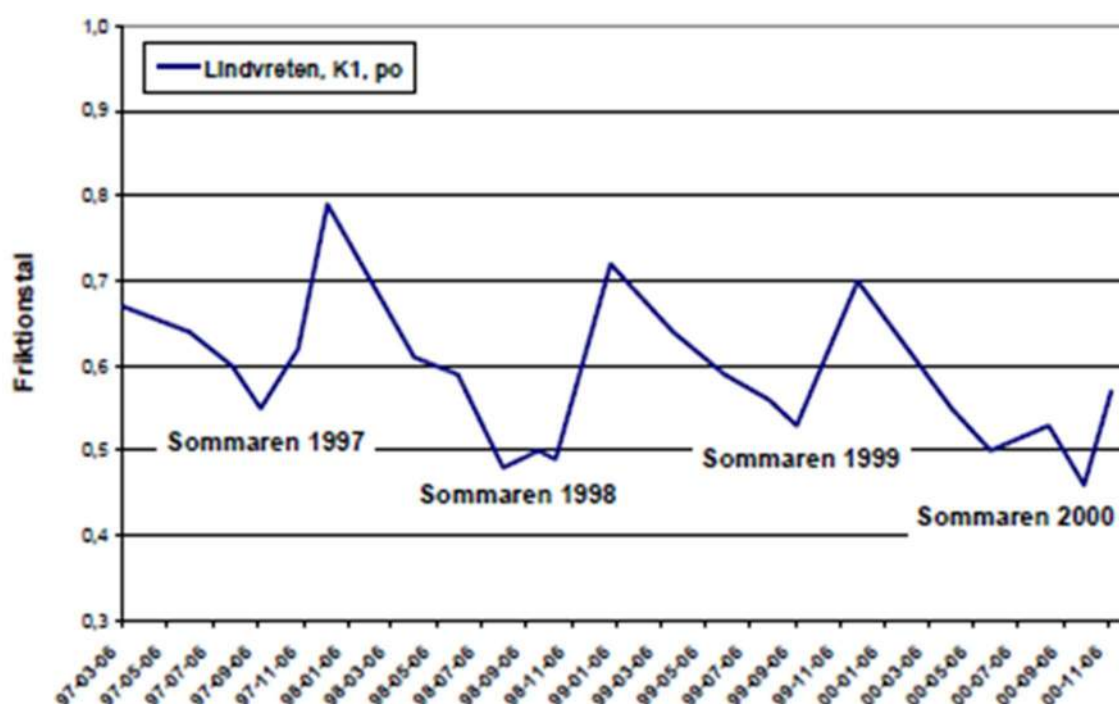
En högre friktionskoefficient bidrar till att förarens kan bibehålla större kontroll över fordonet. I Tabell 1 anges några exempel på olika friktionsvärden. Friktionskoefficienten sträcker sig från nästan 0 under isiga förhållanden upp till 1,0 under de bästa betingelserna. Generellt eftersträvas hög friktion som måste vara större än ett kravställt minimum. Krav på våtfriktion gäller för samtliga trafikerade beläggningslager och ska mätas enligt TDOK 2014:0134. Friktionskraven gäller efter utförandet och under garantitiden. För vägbanan, gångbanan och cykelbanan med bundet slitlager ska medelvärdet av friktionstalet på en 20 m sträcka vara $\geq 0,50$ enligt TDOK 2013:0529. Kravnivå på friktion saknas efter garantitiden men ”tillfredsställande friktion” ska vara uppfyllt. Nyligen utgavs mer differentierade krav på friktionsvärden i Transportstyrelsens författningssamling (TSFS) (Transportstyrelsen, 2021). För belagd väg gäller lägsta friktionsvärde 0,5 medan det för cirkulationsplatser, trafik- och hållplatser samt för vägar eller vägsträckor med ett referenshastighet lägre än 70 km/h är 0,55 som gäller.

Normalt mäts våtfriktionen vid barmarkförhållanden. Friktionen är normalt alltid god på en torr, ren vägbanan. Vid sidan av vinterförhållanden och förhållanden med smörjande beståndsdelar som löv, oljespill, lera med mera kan friktionsproblem uppkomma på en våt vägyta.

Våtfriktionen hos en vägbeläggning förändras genom nötnings- och poleringsprocesser, men även andra faktorer spelar roll, till exempel vittring av både stenmaterial och bitumen (Höbeda, 1997). Nyligen har även initial friktion studerats där en slutsats är att en ny beläggning bör mätas efter ca tre veckor när friktionsförändringarna normalt avtagit (Arvidsson et al., 2019). Det kan därför behövas flera mätningar för att bedöma friktionen för en vägbeläggning. Figur 10 visar en typisk variation och utveckling av friktionen över ett antal år. På denna sträcka på E4/E20 i höjd med trafikplats Lindvreten har problem med hög polering observerats.

Tabell 1. Exempel på friktionskoefficienter vid olika väglag (Aldgård och Johansson, 2006).

Väglag	Friktionskoefficient
Våt is	0,05–0,15
Torr is	0,15–0,3
Fastsand (vattenbefuktad) på is	0,3–0,5
Torr sand på is	0,25–0,3
Våt bar asfalt	0,4–0,9
Torr bar asfalt	0,9–1,0



Figur 10. Exempel på friktionens årstidsberoende. Mätningarna är utförda på E4/E20 vid trafikplats Lindvreten (Jacobson och Hornwall 2001).

Det framgår i Figur 10 att friktionen är som lägst under sensommar/höst, främst beroende på polering av stenmaterialet, för att sedan stiga markant under vintern som en följd av dubbdäcksanvändningen, för att åter sjunka under nästa sommar. Det syns även att effekten av poleringen samt uppbyggningen varierar mellan de olika åren. Orsaken till detta kan vara att faktorer som påverkar polering samt uppbyggnad varierar över åren, till exempel väderförhållanden, trafikflöden, dubbdäcksandel, hastighet med mera.

Det är framför allt dubbdäckens uppbyggnad av beläggningssytan som ökar friktionen och däckgummits gnidande som polerar stenmaterialet och reducerar friktionen. Friktionstalet kan variera kraftigt över året, högsta uppmätta friktion i Figur 10 var 0,79 och lägsta 0,44.

Det kan även noteras att uppmätt friktion ser ut att minska över tid. Orsaken till detta är inte känd men en förklaring kan vara en ökad trafikmängd, fler tunga fordon, färre andel dubbdäck, mindre aggressiva dubbar, klimateffekter m.m.

Det finns många metoder som används internationellt för att mäta friktion (fast slip, låst eller snedställt hjul mm). I Sverige används normalt skiddometerprincipen, dvs. mät hjulet tvingas via utväxling att

rotera med en periferihastighet som är långsammare än referenshjulens. Måthjulet kommer därmed att bromsas och rotera med ca 15% fast slip, vilket vid normala hastigheter visat sig kunna ge maximal friktion.

Kumar och Gupta (2021) har föreslagit att de viktigaste parametrarna som påverkar friktion kan grupperas i fyra kategorier; vägyteegenskaper, fordonsegenskaper, däckegenskaper samt omgivningsfaktorer (yttre faktorer), se Tabell 2.

Tabell 2. Gruppering av huvudfaktorer som påverkar friktion i kontaktytan mellan däck och beläggning Tabell efter Kumar och Gupta (2021).

Surface characteristics	Vehicle parameters	Tire properties	Environmental conditions
Microtexture	Vehicle speed	Tire footprint	Temperature
Macrotexture	Slip ratio	Thread pattern	Rain intensity
Surface type	Breaking action	Inflation pressure	Contamination
Aggregate properties	Tire inclination	Loading condition	
Surface ageing			

De faktorer som enligt Kumar och Gupta (2021) anses ha stort inverkan är;

- Mikrotextur
- Makrotextur
- Ballastegenskaper
- Slip ratio
- Däckmönster
- Ringtryck
- Temperatur
- Regnintensitet
- Föroreningar

I Tabell 3 och Tabell 4 ges en sammanställning av olika friktionsmätningmetoder för labb respektive fält.

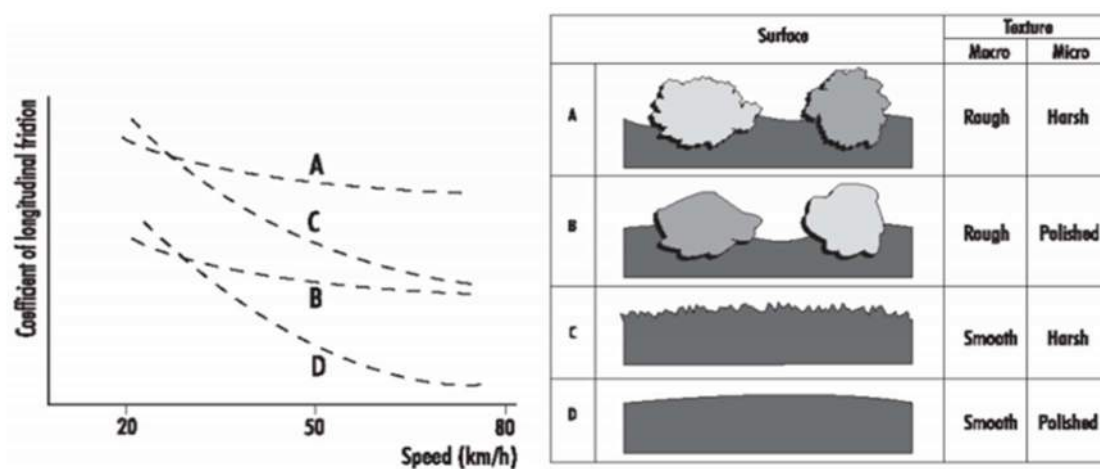
Tabell 3. Olika friktionsmätningmetoder för laboratorier. Tabell efter Kumar och Gupta (2021).

Device	Measurement principle and measuring condition
British pendulum test (BPT)	Impact manner: As the rubber pad swipes on the pavement surface, the tire-pavement friction will resist the swinging tendency of the pendulum, and the reduced kinetic energy of the pendulum will be converted to potential energy when the pendulum gets the maximum height, which is represented by BPN. Contact area (mm ²): 9601.2, measured speed (km/h): 10.
Dynamic friction tester (DFT)	Impact manner: Rubber pads on the rotating plate are brought into contact with the testing surface, as the plate is set to reach the target speed. Afterwards, the speed of pads will be slowed down to zero owing to the friction in the containing interface, with the friction coefficient measured at a given speed. This device can be used both in the laboratory and in the field. Contact area (mm ²): 64242.4, measured speed (km/h): 10–80, contact pressure (MPa): 0.15.
Wehner/Schulze (W/S)	Impact manner: In the phase of friction testing, rotation beads are accelerated to 100 km/h initially, and then water is sprayed on the specimen surface. Then, the beads are lowered onto the test surface, and the friction coefficient is recorded. Contact area (mm ²): 39760.8, measured speed (km/h): 60, contact pressure (MPa): 0.2.
Tire-pavement dynamic friction analyser (TDFA)	Impact manner: Driven by the engine, a pavement specimen is rotated, driving the rotation of upper tires. The friction force and upper loading can be measured in real time in this period for the calculation of the friction coefficient. Contact area (mm ²): 49087.4, measured speed (km/h): 10–100, contact pressure (MPa): 0.2–1.1, slip ratio (%): 0–100.

För att uppnå tillräcklig friktion för en beläggning, måste en lämplig kombination av ytans mikro- och makrotextur åstadkommas. Mikrotexturen beror framför allt på ballastens bergart medan makrotexturen mer beror på massans största stenstorlek och korngraderingen samt val av ytbehandling vid produktion/underhåll. Friktion är också hastighetsberoende där en högre hastighet medför lägre friktionskoefficient. Figur 11 visar ytterligheterna av belägningens ytstruktur och demonstrerar förhållandet mellan hastighet och friktion vid olika mikro- och makrotexturer. Diagrammet visar att en god mikrotextur kan vara tillräcklig för att ge hög friktion vid låga hastigheter medan det krävs både bra mikro- och makrotextur vid högre hastigheter. En grov makrotextur har generellt mindre hastighetsberoende än en fin makrotextur. En beläggning med polerad mikrotextur samt slät makrotextur har lägst friktion och störst hastighetsberoende.

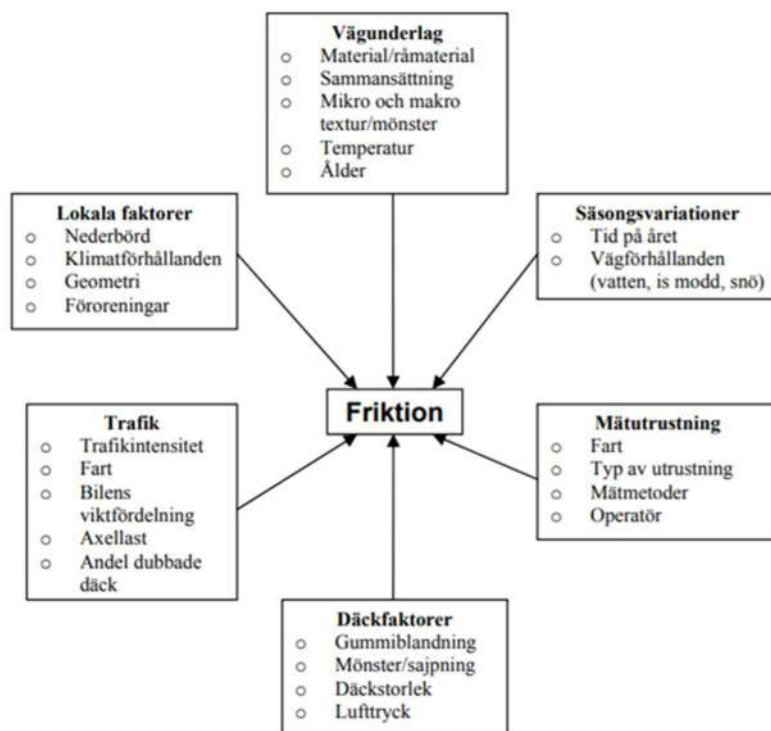
Tabell 4. Olika fältutrustningar för friktionsmätningar sammanställda av Kumar och Gupta (2021). Observera att BV11 i Sverige är ersatt av TDOK 2014:0134.

Device	Measurement principle	Main parameters	Tire & wheel load
ADHERA	Longitudinal friction coefficient	Water film thickness: 1.0 mm, measurement speed: 40, 60, 90, 120 km/h; it measures macrotexture	PIARC smooth profile tire (180 kPa), wheel load: 2500 N
BV11	Longitudinal friction coefficient	Slip ratio: 17%, water film thickness: 0.5–1.0 mm, measurement speed: 70 km/h	Trelleborg type T49 tire (140 kPa), wheel load: 1000 N
RoadSTAR	Longitudinal friction coefficient	Slip ratio: 18%, water film thickness: 0.5 mm, measurement speed: 30, 60 km/h; it measures macrotexture	PIARC tire with tread, wheel load: 3500 N
ROAR DK	Longitudinal friction coefficient	Slip ratio: 20%, water film thickness: 0.5 mm, measurement speed: 60, 80 km/h; it measures macrotexture	ASTM 1551 tire (207 kPa), wheel load: 1200 N
ROAR NL	Longitudinal friction coefficient	Slip ratio: 86%, water film thickness: 0.5 mm, measurement speed: 50, 70 km/h; it measures macrotexture	ASTM 1551 tire (200 kPa), wheel load: 1200 N
SCRIM	Sideway friction coefficient	Slip angle: 20°, water film thickness: 0.5 mm, measurement speed: 50 km/h; it measures macrotexture	Avon SCRIM smooth profile tire (350 kPa), wheel load: 1960 N
SKM	Sideway friction coefficient	Slip angle: 20°, water film thickness: 0.5 mm, measurement speed: 50 km/h	Smooth profile tire, wheel load: 1960 N
SRM	Longitudinal friction coefficient	Slip ratio: 15% or 100%, water film thickness: 0.5 mm, measurement speed: 40, 60, 80 km/h	AIPCR tire with longitudinal tread 165R15, wheel load: 3500 N
TRT	Longitudinal friction coefficient	Slip ratio: 25%, water film thickness: 0.5 mm, measurement speed: 65 km/h	Smooth profile ASTM tire, wheel load: 1000 N
IMAG	Longitudinal friction coefficient	Slip ratio: 100%, water film thickness: 1.0 mm, measurement speed: 40–140 km/h	PIARC smooth profile tire, wheel load: 1500 N



Figur 11. Generaliserat förhållande mellan mikro- och makrotextur, friktion och hastighet (Srirangam, 2015)

Friktion utgör inte en materialegenskap utan beskriver en växelverkan, en pågående process mellan två kroppar. Det är kombinationen av ytornas material, kraften med vilken de trycks mot varandra, om de är i rörelse eller i vila i förhållande till varandra, som bestämmer friktionens storlek. För fasta kroppar är lim den ena ytterligheten med stor friktionskraft och smörjmedel den motsatta med liten friktionskraft. Figur 12 exemplifierar ett antal faktorer som påverkar friktion mellan däck och vägyta. Friktion är ett komplext område beaktat flertalet påverkande faktorer samt dess interaktioner. Således kan friktionen snabbt förändras om någon faktor förändras.



Figur 12. Olika faktorer som påverkar friktionen (Aldgård och Johansson, 2006).

I följande underkapitel nedan beskrivs de viktigaste faktorerna som påverkar trafiksäkerheten med avseende på friktion.

2.2. Polering

Låg friktion till följd av polering av vägbeläggningen har historiskt inte varit något vanligt problem på svenska vägar. En orsak till detta är att en relativt hög dubbdäcksanvändning bidrar till att dubbdäcken ruggar upp stenmaterialet i vägbeläggningens yta under vintersäsongen. I länder som inte tillåter dubbdäck är polering ett relevant problem. I dessa länder finns föreskrifter och provningsmetoder för att utvärdera stenmaterialets poleringsbenägenhet i vägbeläggningen utifrån typ av vägavsnitt mm. I många länder ställs krav på Polished Stone Value (PSV). I t.ex. Storbritannien ställs olika krav på PSV beroende på vilken typ av väg eller vägavsnitt det handlar om, samt mängden tunga fordon (Highways England, 2020). Vidare delas respektive vägtyp eller -avsnitt in i två eller tre nivåer som väljs utifrån bl.a. vilken risknivå vägavsnittet har, där antalet tidigare trafikolyckor kan vara en faktor som styr (Highways England, 2021). I Sverige har inventering av ett stort antal svenska stenmaterial visat att PSV inte på ett relevant sätt rangordnar de vanligaste förekommande stenmaterialen. I en studie från VTI visar Höboda (1997) just att de vanligt förekommande stenkvaliteterna i slitlayersammanhang generellt uppvisar låga PSV. Det är överhuvudtaget svårt att hitta svenska material med höga PSV. Om krav skulle ställas på PSV riskerar således porfyr, kvartsit och andra liknande slitstarka stenmaterial att diskvalificeras från användning som ballast till slitlager (Jacobson och Hjort, 2008).

För att minimera slitage (hjulspår) orsakade av dubbdäck föreskrivs och används vanligtvis stenmaterial med god slitstyrka (lågt kulkvarnsvärde samt lågt prallvärde) på högtrafikerade vägar. Dessa stenmaterial har ofta låga PSV, dvs att de är poleringsbenägna, men har kunnat användas tack vare dubbdäckens uppruggande effekt under vintermånaderna. Det ska noteras att dessa stenmaterial i många fall inte skulle godkännas i slitlager på kontinenten eller i Storbritannien beroende på dess låga PSV. Slitstyrka och poleringsresistens står således i motsatsförhållanden till varandra.

Förutsättningen för att stenmaterial som används i svenska slitlager idag ska kunna användas vid nordiska förhållanden är att de slits tillräckligt mycket av dubbarna, varvid stenytona ruggas upp så att en tillfredsställande mikrotextur uppstår, samt att poleringen som sker sommartid inte är så stor att den orsakar kritiskt låga friktionsvärden. Detta gäller både för asfalt- och betongbeläggningar.

I Sverige har det fram till idag existerat en typ av symbios mellan trafikpolering sommartid och uppruggningen från dubbdäck vintertid. I tidigare studier utförda vid VTI (Jacobson & Hornwall, 2001; Jacobson, 2003; Jacobson & Hjort, 2008) kan friktionsvärdena för samma sträckor ses variera över året, de stiger med dubbdäckstrafiken under vintern för att sedan sjunka igen under sommaren när fordonens dubbfria däck (sommardäck) polerar vägbeläggningen. Denna variation brukar typiskt vara några tiondelars enhet men det är viktigt att friktionen inte någon gång under året sjunker till kritiskt låga nivåer, $\leq 0,5$. De uppmätta friktionsvärdena under året ligger vanligtvis mellan 0,5 och 0,9, där de under vintern stiger till högre värden för att sedan sjunka igen under sommaren fram till oktober när dubbdäck åter tillåts. Låga friktionsvärden ($< 0,50$) har framför allt observerats på högtrafikerade vägar med slitstarka beläggningar under hösten.

Det finns få rapporter om poleringsproblem i Sverige, vilket har medfört att polering inte ansetts utgöra ett problem och inte uppmärksammas speciellt mycket. Utöver några få sträckor där friktion har följts upp i forskningssyfte mäts friktion inte regelbundet och det är därför svårt att skapa någon samlad bild över hur stort problemet med låg friktion är samt om eventuella förändringar över tiden. De få friktionsmätningar som utförts, t.ex. efter inträffade olyckor, finns inte sammanställda eller tillgängliga i Trafikverkets tjänst PMSv3.

De problem som uppmärksammas har ofta föranletts av halkolyckor som undersökts (Jacobson & Höbeda, 1996; Jacobson & Hjort, 2008). Vid tex Eugeniattunneln körde några fordon in i tunnelväggen då polering av stenmaterialet reducerat våtfriktionen. Eugeniattunneln i Stockholm som ligger i en relativt skarp kurva med mycket intensiv trafik har även skelettasfalt innehållande kvartsit och har uppvisat friktionsvärden strax under 0,50.

Trafikpoleringen av vägbeläggningar är ett välkänt fenomen i hela världen. Poleringen är enligt utländska undersökningar särskilt intensiv i utsatta lägen såsom kurvor, cirkulationsplatser, snäva kurvor, sträckor där fordon bromsar och accelererar och sträckor med frekventa filbyten. Samtidigt är det nödvändigt med hög friktion just i dessa utsatta lägen för att undvika olyckor. Poleringen av stenmaterialet anses även vara starkt beroende av trafikvolymen och typen av däck. Den tunga trafiken anses ge mer poleringseffekt än till exempel personbilar. Av betydelse för polering är också tillgången till fukt och även vägsnuts som fungerar som polermedel.

Trafikpolering har historiskt inte något problem i Sverige, inte ens vid tiden innan dubbarna kom till användning. Orsaken är främst att svenska lokala stenmaterial, i regel av granitisk sammansättning, är föga poleringsbenägna. Har man haft problem med låg friktion vid barmarksförhållanden har uppkomna fall vanligtvis orsakats av blödande ytbehandlingar eller felproportionerade ”feta” massabeläggningar. Problemen har vanligen kunnat avhjälpas genom avsandning. Någon systematisk kartläggning av friktionstillståndet hos beläggningar under olika årstider, utförd på vägnätets nivå, har inte gjorts i Sverige, såsom är fallet i vissa andra länder (Jacobson och Hjort, 2008).

Poleringsresistensen hos stenmaterial undersöktes på VTI under 1960-talet och i början 1970-talet samt i slutet av 1990-talet. I den senare undersökningen konstaterades att finkorniga, homogena bergarter var de mest poleringsbenägna (Jacobson och Hjort, 2008). Detta gäller såväl för mjuk

kalksten som för hårda bergarter som kvartsit och porfyr. De senare kräver dock längre tid på sig för att poleras av trafiken. I Sverige har, på grund av dubbslitaget, hårdare bergarter kommit till användning i slitlager, stenmaterial som redan från början har släta brottytor och dessutom är poleringsbenägna under trafik. Dessa stenmaterial skulle inte godkännas i slitlager i Storbritannien eller på den europeiska kontinenten beroende på dåliga värden vid test avseende det testade polertalet (PSV). Porfyrmaterial har dessutom ofta bestått av naturgrus och rundad kornform är till nackdel ur friktionssynpunkt.

2.2.1. Mätmetoder

Flera olika mätmetoder finns tillgängliga för att utvärdera hur poleringsbenäget ett material är. En metod som tillämpas bland annat i Storbritannien är Polished stone value (PSV). Där kravställs PSV-nivåer på platser som är utsatta för polering. Ju mer ett vägavsnitt är utsatt för polering, såsom vid snäva kurvor eller cirkulationsplatser, och ju större tung trafikvolym vägen har desto mer poleringsresistent måste ballasten i slitlagret vara. För att utvärdera PSV på ett stenmaterial sätts ett prov ihop, bestående av sten i en viss fraktion, i labbmiljö. Stenarna placeras och limmas i en form för hand, provkroppen utsatt för en accelererad polering i en maskin där provet sitter monterat på ett hjul som i sin tur snurrar mot ett gummihjul, allt medan fin sand strös över provet som slipmedel. När provet är polerat testas friktionen med en pendel där ett provresultat kan avläsas direkt, ju högre värde desto större är friktionen. Metoden rangordnar olika stensorter på ett korrekt sätt utifrån det test som genomförs men i Sverige har metoden inte anammats eftersom den i alltför stor utsträckning skulle diskvalificera flera svenska högkvalitativa bergarter från att läggas som slitlager.

En annan metod att bestämma en vägytas motstånd mot polering går under namnet Wehner-Shulze (WS). Det är en tysk utrustning som likt PSV utsätter ett prov för accelererad polering för att sedan testa friktionen. Till skillnad från PSV, där enbart sten i en viss fraktion, kan hela asfaltblandningen, inklusive bindemedel utvärderas i WS-utrustningen. En provkropp kan antingen sågas eller borras upp direkt ifrån vägen, eller blandas och tillverkas i labb. Alternativt kan enbart stenmaterialet testas genom att stenarna placeras individuellt i en bädd av epoxy. Poleringen sker genom tre gummibeklädda valsar får rulla mot provytan med ett visst tryck och bromsande kraft (släp). Valsarnas gummi är mönstrade för att simulera fordonsdäck. Totalt utsätts testytan för 90 000 valspassager totalt under 1 timme, samtidigt som en slurry bestående av vatten och pulveriserad kvarts spolats på provet. För att mäta friktionen används tre gummisulor monterade i maskinen. De roteras snabbt för att uppnå en hastighet på 100 km/h vid kontakten med provytan. Samtidigt sprutas vatten motsvarande en vattenfilm på 0,5 mm på provytan precis som vid friktionsmätning enligt Trafikverkets regelverk (Trafikverket, 2020). Den roterande maskindelen retarderar samtidigt som maskinen räknar rotationer och vridmomentet kontinuerligt för att sedan räkna fram friktionskoefficienten. Varje test föregås av mätningar på en kalibreringsprovkropp. Testproceduren innefattar även ett tredje steg där ytan ruggas upp. Detta steg ska simulera vinterväder vilket gör stenarnas textur något grövre. Ruggningsfasen kan även användas för att nöta bort överflödigt bitumen. Forskare vid Technische Universität Berlin (TUB) har tagit fram en testprocedur som föreslår att de tre beskrivna stegen genomförs flera gånger för att åstadkomma rättvisande resultat.

Utvärderingar av friktionskoefficienter uppmätta genom WS- och PSV-värden visar dock att det inte finns några samband, ett högre PSV innebär alltså inte automatiskt hög friktionskoefficient enligt WS (Allen m.fl., 2008).

2.3. Stenrik asfaltbeläggning (ABS)

På de mest trafikerade vägarna, och på vägar med hög andel tung trafik, där problem med friktion oftast uppstår, används nästan uteslutande stenrik asfaltbetong (ABS) som slitlager. ABS-beläggningen har en hög andel stor sten för att motstå slitage ifrån trafik. Krav ställs ofta på kulkvarnsvärde och Prall-värde. På de mest trafikerade vägarna ställs höga krav på dessa parametrar

för att motstå slitaget orsakat av dubbdäckstrafiken. Om ortens material av granit eller gnejs, alternativt stålslagg, används erhålls bättre friktion och poleringsresistens, men samtidigt blir slitaget större.

Slitage på vägar minskar trafiksäkerheten och är kostsamt att åtgärda. Detta har lett till höga krav på beläggningens slitageegenskaper som i sin tur drivit utvecklingen av skelettasfalt med slitstarkare stenmaterial. I Sverige har skelettasfalt med 16 mm sten (ABS16) visat på god beständighet mot dubbdäcksslitage och är den dominerande beläggningstypen på de mest högtrafikerade vägarna. Utvecklingen mot med allt hårdare stenmaterial, har gått parallellt med utvecklingen på däcksidan, ökad trafik samt ökande kravnivåer.

En första undersökning från 1996 (Jacobson och Höbeda, 1996) visade att trafikpolering från sommardäck markant kunde försämra friktionen på slitlager med skelettasfalt. Senare års friktionsmätningar har visat att den uppruggning av vägytan som dubbade däck åstadkommer under vintern numera inte alltid räcker till för att beläggningen skall bibehålla en tillräckligt bra mikrotextur över hela sommarhalvåret. Mindre slitande lättviktsdubbar har utvecklats och friktionsdäck har blivit allt vanligare under vintern vilket minskar uppruggningen och ökar poleringseffekten. Vid mycket hårda stenmaterial kan eventuellt även lättare dubb förorsaka en viss polering.

Det har även rapporterats om att särskilt dålig friktion erhålls efter en lång torrperiod vid det första regnet (Höbeda, 1997). Under torrperioden sommartid ansamlas bitumenbeståndsdelar, slitagepartiklar från beläggningen, gummirester från bildäck, särskilt från kommersiella fordon, samt olja och spill från fordon på slitlagerytor (främst stenarna). Mikrotexturen hos slitlagret ”maskeras” härigenom och friktionen sjunker. Den lägre friktionen efter en torrperiod förklaras med att polering främst sker i torrt tillstånd. Det har noterats att slitlager i tunnlar är särskilt utsatta i detta sammanhang då partiklar inte spolats bort av regn, utan stannar kvar på vägbanan i högre utsträckning.

Polering av vägyta är även betingad av faktorer som trafikvolymen, väggeometri, trafikens spårbindenhet. Det har rapporterats om att polering kan ske upp mot sju gånger snabbare i kurvor än på raksträckor (Höbeda, 1997).

Sedan mitten av 1990-talet har det framkommit indikationer på att stenrika slitlagerbeläggningar, såsom ABS-beläggningar, med stenmaterial av hög slitstyrka (främst porfyr) kan få låg friktion i vått tillstånd på hårt trafikerade vägar. Problemet uppmärksammades efter att ett antal olyckor hade inträffat bland annat i Eugeniattunneln i Stockholm. Olyckorna inträffade på senhösten och på fuktig vägbanan. Orsaken till den låga friktionen bedömdes vara att porfyrsten, som kan ha mycket släta ytor redan från början, polerats sommartid och sedan inte ruggats upp i tillräcklig omfattning av dubbdäcken under vinterhalvåret.

Friktionsmätningar i Stockholm och Göteborg visar att friktionen under sommaren eller hösten kan reduceras till lägre än 0,50 på grund av polering av trafik. De lägsta värdena (i vissa fall < 0,40) har uppmätts i långsamskörvägarna och/eller körvägarna med stor andel tung trafik på de mest högtrafikerade trafiklederna/tunnlarna där slitlagret utgjorts av slitstark, stenrik asfaltbetong. I fall där halkolyckor inträffat till följd av polering har vägbanan ibland åtgärdats genom t.ex. blästring, fräsning, slipning varefter friktionen återställs till acceptabel nivå. De lägsta friktionsvärdena har uppmätts i tunnlar, dvs. på övertäckta vägbanor. Vid dessa lägen anses faktorer kopplade till vädret, t.ex. regn som tvättar bort smuts och frost som kan ge en viss ytvittring på stentopparna, ha mindre betydelse för trafikpoleringen. De polerande effekterna anses således vara större i tunnlar och under viadukter än för vägbanor som ligger i det fria.

En större inventering från slutet av 1990-talet på gator i Örebro (Jacobson & Hjort, 2008) och på landsvägar i södra och mellersta Sverige (Jacobson & Hornwall, 1999) visar att trafikpolering främst är ett problem i storstäderna. Mätningarna gjordes under tidig höst när friktionen är som lägst. Det handlade om mer eller mindre högtrafikerade vägar och gator eller tunnlar med slitlager typ ABS16 (i några fall ABS11) innehållande porfyr eller kvartsit, men även andra beläggningstyper och

stenmaterial förekom. Skyltad hastighet varierade mellan 50, 70, 90 och 110 km/h. Beläggningarna var inslitna (minst ett år gamla) vid mätningarna. Inga låga friktionsvärden uppmättes (friktionen var god) trots att ett stort antal porfyrbeläggningar ingick i undersökningen. Det bör dock nämnas att mätningar i cirkulationsplatser och ramper har visat på låg friktion även på vägar och gator med lägre trafik, till exempel i Linköping (Jacobson & Hjort, 2008).

Sammanfattningsvis visar friktionsmätningar från senare år att våtfriktionen hos asfaltbeläggningar markant förändras under året beroende på effekter från trafikpolering sommartid och uppruggningen från dubbtrafiken vintertid. Mest känslig för trafikpoleringen var skelettasfalt med porfyr som på sensommaren och hösten uppvisade låga friktionsvärden, speciellt på utsatta platser som tunnlar, ramper och trafikintensiva vägvägnitt. Dubbtrafiken ruggade dock upp vägbanan snabbt, vilket innebär att friktion hamnade på relativt höga nivåer under vinterhalvåret. Skillnaden var stor mellan mätsträckorna i Stockholm som hade intensiv trafik och de på landsorten med lugnare trafikflöde och mindre trafik.

Skelettasfalt innehållande kvartsit, uppvisade generellt bättre friktionsegenskaper än porfyr och friktionen bedömdes som acceptabel även på senhösten och på utsatta platser. Vid Eugeniattunneln i Stockholm som ligger i en relativt skarp kurva med mycket intensiv trafik har även skelettasfalt innehållande kvartsit uppvisat friktionsvärden strax under 0.50 (medelvärde för hela tunneln).

Motståndet mot polering bestäms främst av stenmateriallets inre egenskaper. Forskningen tyder på att finkorniga bergarter med mineraler av samma hårdhet tenderar att poleras mer än material där mineraler är mer heterogena. Det gäller för såväl mjuka bergarter som kalksten, som för hårdare sten såsom porfyr. I Sverige används främst hårdare bergarter så som porfyr i slitlagret på de mest trafikerade vägarna till följd av dubbdäcksslitage. Dessa hårda och nötningsbeständiga material skulle inte godkännas för användning i slitlager om PSV kravställts eftersom materialen är känsliga för polering.

2.3.1. Mätmetoder för slitagemotstånd

För att ställa krav på motstånd mot nötning ifrån dubbdäckstrafik på den färdiga beläggningen används ofta Prall-värde. Prall-testet är en utvärderingsmetod utvecklad på VTI där den tänkta massan blandas i labb för att sedan stampas till en provkropp med specificerade dimensioner. Provkroppen monteras i en cylinder med 50 stålkulor ovanpå, inuti en testutrustning. Prall-testet utförs sedan genom att utrustningen skakar provkroppen och stålkulorna för att simulera dubbdäckstrafik. Mängden bortnött material beräknas genom att väga provkroppar före och efter test. Andelen bortnött material räknas sedan om till ett Prall-värde.

Krav ställs även på ballastens motstånd mot nötning genom kulkvarnsvärde som är standardiserat genom SS-EN 1097-9. En specificerad mängd ballast i fraktionen 11,2–16 mm läggs i en roterande trumma som nöter på stenen. Massorna som blir kvar på siktarna större än två millimeter vägs samman för att slutligen beräkna andelen bortnött material.

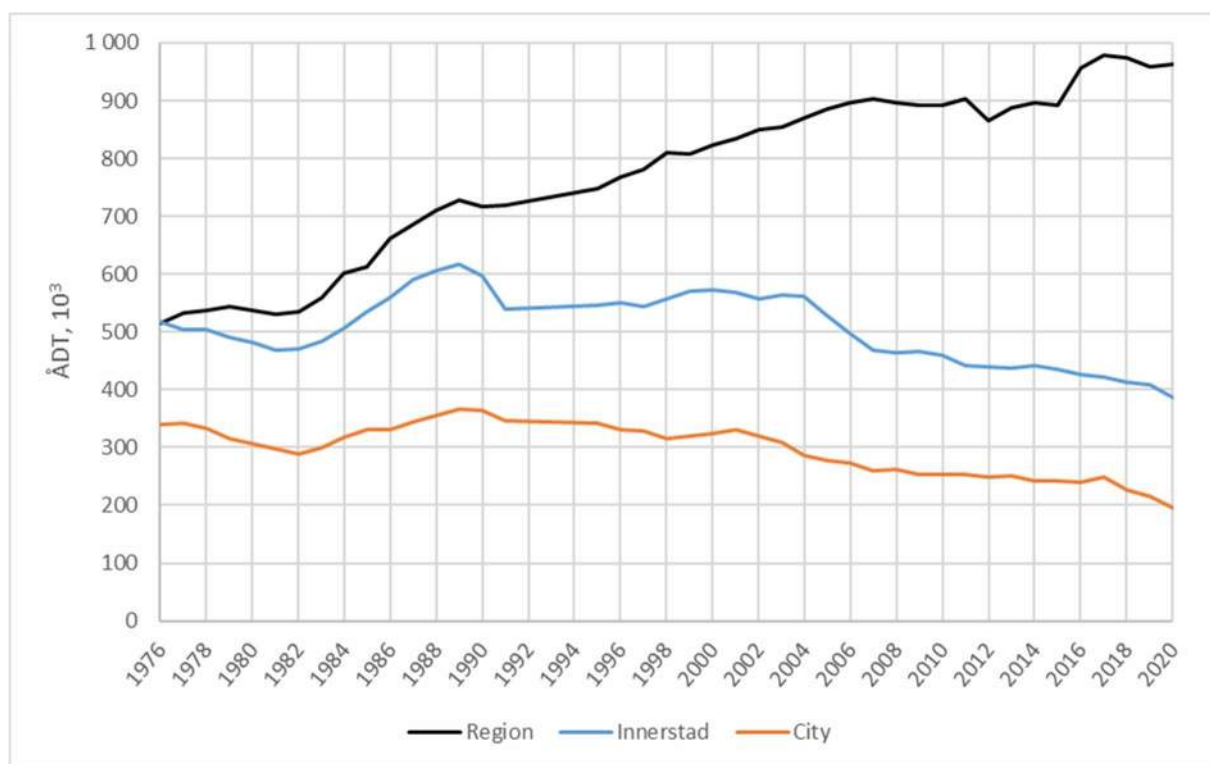
2.3.2. Kravnivåer

I Trafikverkets regelverk ställs krav på Prall-värde för slitlager till högtrafikerade vägar med ett max-värde på ≤ 20 för ABS16 som är den absolut vanligaste beläggningstypen. I planeringen av Förbifart Stockholm förekom planer och diskussioner om att skärpa detta krav ytterligare till ett maximalt Prall-värde ≤ 16 för att ytterligare minimera slitaget. Ett Prall-värde på max 16 är det inte många beläggningar som klarar och detta hade krävt några av de mest högkvalitativa och nötningsresistenta stenar som kan fås fram inom Sverige

Vad gäller kulkvarnsvärde så finns ett generellt krav på slitlager för motsvarande högtrafikerade väg som är ≤ 7 .

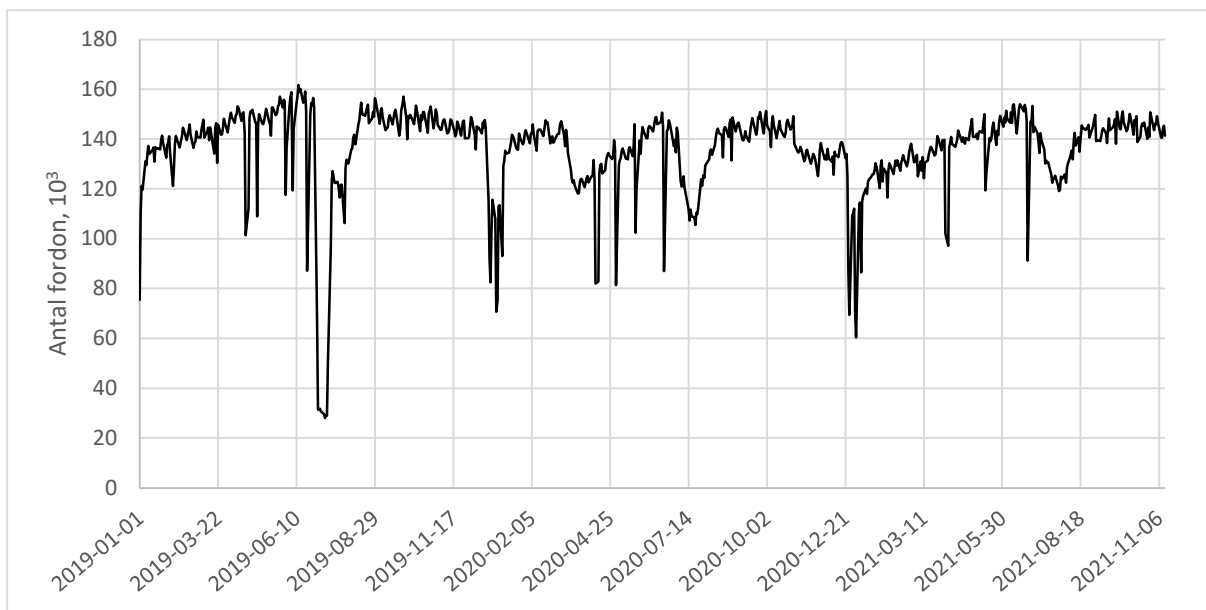
2.4. Ökning av trafikvolym och -last

Sett över de senaste decennierna, har trafikvolymen på de mest trafikerade vägarna ökat. Sedan mitten av 2000-talet har trafikvolymerna i Stockholms innerstad och city minskat något, se Figur 13. En del av denna minskning förklaras med att Norra länken öppnar för trafik vid denna tid och registrerar en del av den trafik som tidigare gått genom innerstaden. *Region* utgörs i detta fall av de yttre gränserna för Stockholms stad samt Solna och Sundbybergs kommuner och där kan trafiken ses ha ökat stadigt sedan mätningarnas början. *Innerstad* motsvarar trafikmängd över tullgränserna. *City* utgörs av ett område på nedre Norrmalm med spårområdet i väster, Stockholms ström i söder, Birger Jarlsgatan i öster och Kammakargatan i norr.



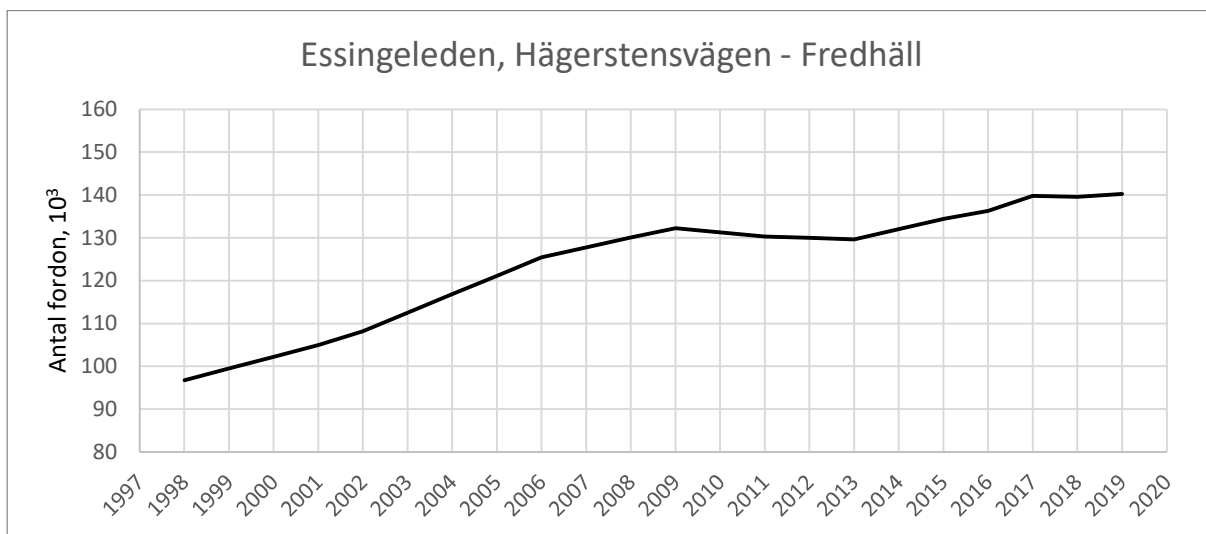
Figur 13. Trafikflödesutvecklingen i och runt Stockholm 1976–2020 (Stockholms Stad, 2021b).

Sveriges mest trafikerade vägvagn är Essingeleden genom Stockholm. Denna del av E4 trafikeras dagligen av upp mot 160 000 fordon, fördelat över fyra körfält i vardera riktningen. Trafikflödet på Essingeleden från början av 2019 fram till november 2021 framgår av Figur 14. I figuren visas trafikvolym som uppmätts dagligen i nästan tre år där informationen är filtrerad för att visa trafikflöde över enbart veckodagar, måndag till fredag. De djupa dalarna i kurvan beror sannolikt på låga trafikflöden under semesterperioder och helgdagar (röda dagar).



Figur 14. Trafikflöde på Essingeleden under de tre senaste åren. De plottade trafikflödena är filtrerade för att visa måndag–fredag (Stockholms Stad, 2021a).

Trafikflödet på Essingeleden ser över ett tidsspann om tre år ut att ligga relativt konstant (Figur 14). Studeras däremot ett längre tidsspann så kan trafikvolymen ses ha ökat. För Essingeleden har trafikvolymen stigit stadigt de senaste 20 åren, se Figur 15. Data är hämtade ur Trafikverkets tjänst *Vägtrafikflödeskartan*, från sex platser längs Essingeleden, ifrån Hägerstenvägen i söder till Fredhäll i norr. Trafikflöden från de sex platserna är medelvärdesbildade och sammanslagna i trafikledens båda körriktningar. Mellan 1998 och 2019 har trafiken över Essingeleden ökat från 97 000 till 140 000 fordon vilket motsvarar en ökning med 45 procent eller en årlig ökning med nästan 1,8 procent över 21 år. Skulle samma ökningstakt fortsätta så ser vi fram emot drygt 200 000 fordon under 2040. Det går naturligtvis inte att dra några säkra slutsatser om trafikflödena i framtiden, flöden omfördelas allt eftersom nya vägar och leder byggs, men att trafiken skulle minska kan väl anses vara osannolikt. Den ökande trafikvolymen tillsammans med den minskande dubbdäcksfrekvens är båda faktorer som indikerar att problemen med minskad uppruggning och ökad polering kan komma i öka i framtiden.



Figur 15. Trafikmängd över Essingeleden har ökat stadigt under de senaste 20 åren.

2.5. VTI:s slitagemodell

Vägbansans slitage på grund av dubbdäckstrafik har studerats vid VTI sedan 1960-talet genom kontrollerade provvägar och kontrollsträckor. Studier har genomförts för att utröna vad olika parametrar, såsom stenkvalitet, stenstorlek, stenhalt och bindemedelstyp, har för inverkan på slitaget på vägytan. Skelettasfalt med ballast av hög kvalitet har funnits ha det högsta motståndet mot beläggningsslitage. Vid samma tid utvecklades även test för att bedöma känsligheten mot slitage där kulkvarnsvärde och Prall är exempel på sådana mätvärden.

I arbetet med att prognostisera livslängd och bedöma när olika åtgärder kommer att behöva sättas in utgör olika prognosmodeller viktiga verktyg. Med hjälp av dessa är tanken att på ett bättre sätt kunna planera och budgetera kommande underhållsåtgärder. En sådan prognosmodell är VTI:s slitagemodell som utvecklades i mitten av 1990-talet. Modellen består av en Excel-fil och beräknar slitaget orsakat av dubbdäckstrafik (Jacobson och Hornwall, 2000; Jacobson, 2005; Wågberg och Jacobson, 2013). Modellen ligger till grund för att på förhand kunna estimeras slitaget innan en ny beläggning byggs. Slitaget kan beräknas för beläggningar av typ ABS och ABT i modellen. Slitagemodellen är beskriven av Jacobson och Wågberg (2007) och består av tre delar där de olika delarna beräknar:

- slitagets storlek per antal fordon,
- slitagets fördelning över körfältets bredd (tvärprofil) och
- slitagets kostnad utifrån använda material och förväntad livslängd.

Slitagemodellen är utvecklad för att enbart beakta slitaget som orsakas av dubbdäckstrafik och beaktar inte spårutvecklingen som uppstår av andra orsaker, såsom permanenta deformationer.

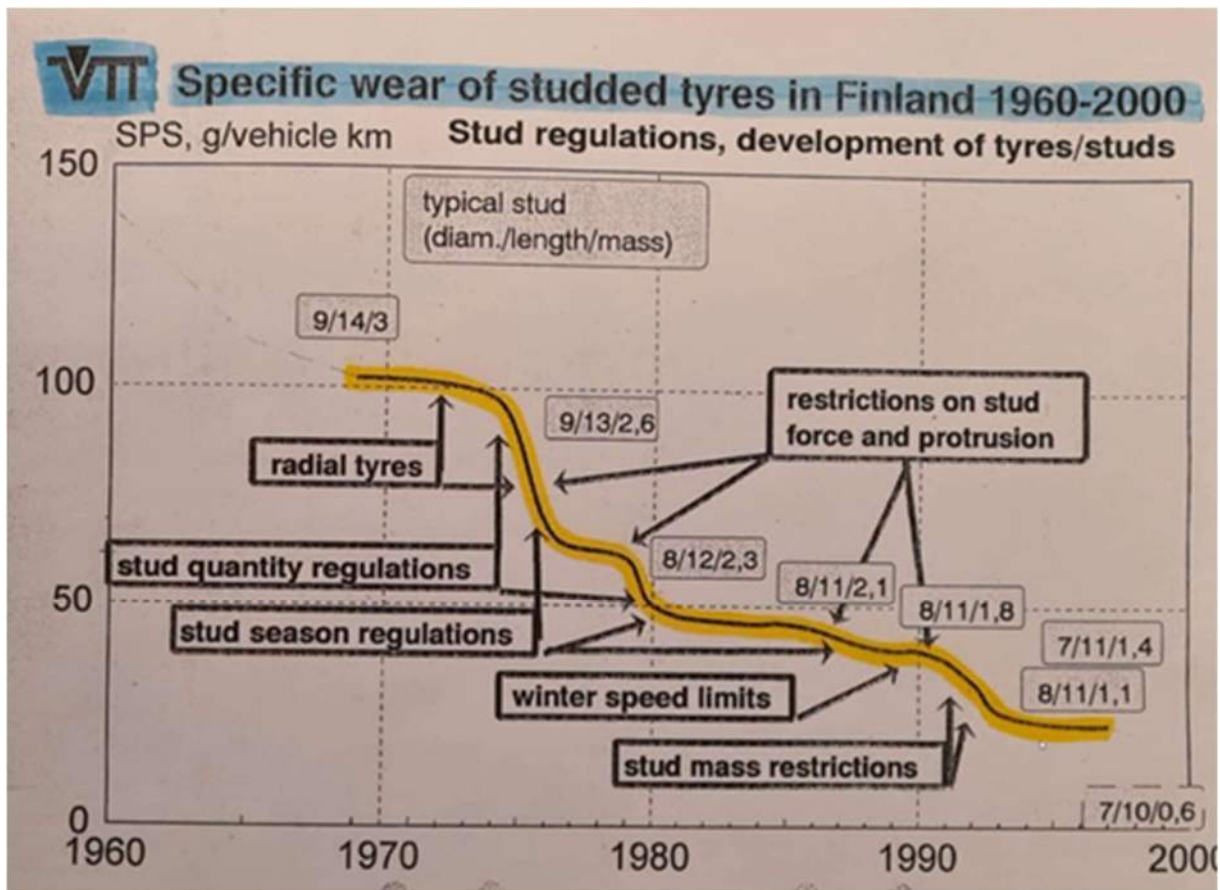
Jacobson och Wågberg (2007) visar att stenmaterialets kvalitet är den faktor som i störst utsträckning påverkar spårdjupstillväxten till följd av dubbdäck. För en ABS16 kan slitaget skilja med en faktor 4 för olika stenkvaliteter, givet att beläggningstyp och största stenstorlek är desamma. Vidare visas att största stenstorlek har mycket stor betydelse för slitaget där en ABS16 uppges få ca hälften så stort slitage jämfört med en ABS8. Skillnaden mellan en ABS11 och ABS16 visas vara ca 35%.

Tester har även utförts för att undersöka hur slitaget påverkas då ballasten utgörs av lokala stenmaterial och inblandning av högkvalitativ ballast sker i olika utsträckning. Det framgår att slitaget minskar linjärt i förhållande till inblandningsgraden (Bjurström och Dolk, 2020).

I Jacobson (2005) redovisas resultat från flertalet studerade vägvägningsnitt som visar på minskande avnötning under 1990-talet. Resultaten presenteras i form av SPS-tal som motsvarar mängden avnött vägmateriäl, mätt i gram per tvåaxligt fordon och kilometer. Trots att SPS-talen ska ses som ungefärliga tal och inte exakta eftersom trafikvolymerna och dubbdäcksfrekvenser alltid är något osäkra, kunde en minskande trend i nötning konstateras under 1990-talet. Under 2000-talet ökade dock slitaget något igen till följd av lättade krav på slitstark ballast.

2.6. Dubbdäcksutveckling och -användning

Det första dubbade vinterdäcket lanserades i början av 1960-talet. Då fanns inga regler för hur dubbdäcken skulle vara utformade, däcken fick ha hur många dubbar som helst och några krav på dubbarnas utformning fanns inte. Längre användes dubbar tillverkade i stål vilket orsakade ett stort slitage på vägbanan. Sedan dubbdäcken introducerades på den nordiska marknaden har utvecklingen gått snabbt, inte minst i syfte att försöka minska slitaget på vägarna. Dubbdäckens utveckling avseende slitage på vägbanan för finska vägar fram till omkring 1997 framgår av Figur 16 där införandet av olika regler och restriktioner finns markerade. För svenska ABS-beläggningar med slitstarka stenmaterial ligger SPS-talen idag ner mot 2 g per fordonskilometer (Jacobson och Hornwall, 2000).



Figur 16. Slitagevärden för dubbdäck sedan deras introduktion på 1960-talet.

Det minskade slitaget har åstadkommit genom kontinuerlig utveckling av framför allt dubbarna och dubbdäckens utformning. Dubbkroppen utgjordes först av ett hårdmetallstift men idag är den vanligen tillverkad i lättmetall, vilket ger ett mindre anslag mot vägytan med minskat slitage som följd (Gustafsson m.fl., 2006). Utformning av dubbkropp i gummi har också testats men dragits tillbaka. Vad gäller dubbutsticket så gäller idag att dubbutsticket på vinterdäck i bruk inte får överstiga 2,0 mm (Transportstyrelsen, 2009). Dubbutsticket på nya däck är begränsat till 1,2 mm. Antalet dubbar är begränsat till 50 per meter rullningsomkrets. Vidare får dubbens vikt inte överstiga 1,1 g. I en ändring till föreskriften, TSFS 2019:44 (Transportstyrelsen, 2019), anges dock att undantag från dessa regler kan göras om det kan dokumenteras att vägslitage inte blir större än det skulle blivit med 50 dubbar. Undantaget i TSFS 2019:44 lyder:

Även annat dubbdäck kan användas under förutsättning att det kan dokumenteras, exempelvis genom finskt typgodkännande, att det vägslitage som dubbdäcket orsakar på vägbeläggningen inte är större än det som orsakas av ett dubbdäck med dubbar som fyller kraven nedan.

Det finska typgodkännande som åsyftas är en provningsmetod benämnd *overrun test* som är utvecklad i Finland och där kraven för testet har satts av Finlands transport- och kommunikationsverk, Traficom. Testet, som utförs i fält, går ut på att spår fräses i ett rutnär i 15 granitplattor, för att sedan köras över 200 gånger (400 däck) enligt gällande specifikationer avseende fordonstyp och hastighet. Granitplattorna vägs innan och efter fordonspassagerna för att bestämma hur mycket material som nöts bort. En granitplatta monterad för test visas i Figur 17. Overrun test antogs 2018 som en nationell standard av Finnish Standards Association (SFS), (Mustonen, 2019) och är i dagsläget under revidering (Finnish Standards Association, 2020).



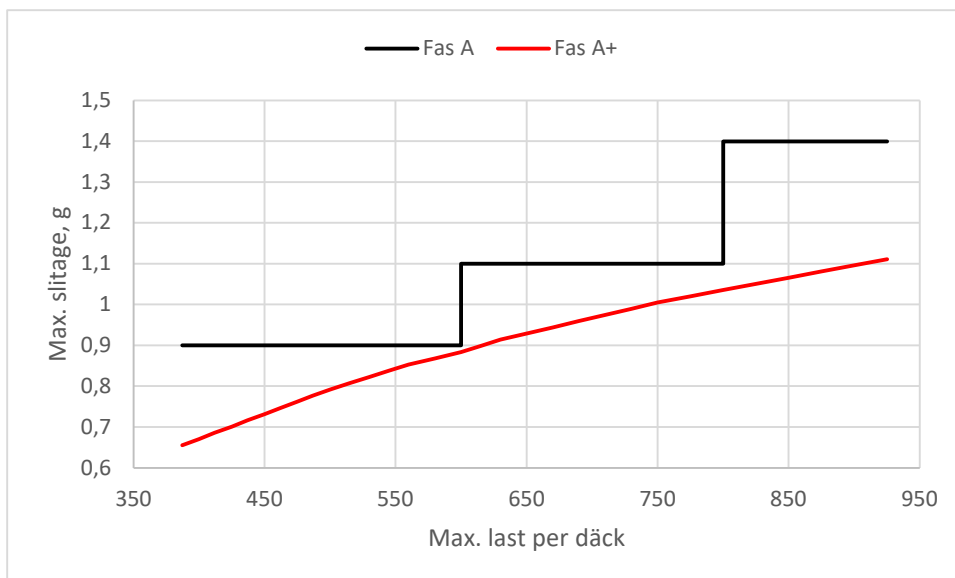
Figur 17. Granitblock monterat för overrun test. Foto: Mustonen (2019).

Denna metod har anammats av däckindustrin då den möjliggör utveckling av nya effektivare däcktyper med bättre väggrepp och lägre vägslitage. Utvecklingen har gått mot mindre och lättare dubb, dubb av plast mm. Det har även blivit allt vanligare att däckleverantörer marknadsför minskat slitage hos nya däck för att motsvara ökad miljömedvetenhet hos kunder. Dagens däck uppges minska vägslitage med ca 12–16 % i förhållande till äldre däck. Med en reducering av dubbdäcksslitaget följer även en reducering av mängden inandningsbara partiklar vilket är positivt men det minskar sannolikt även den uppruggande effekten på vägytan och därmed friktionen.

I en ny föreskrift från Traficom (2021) finns nya krav på ytterligare minskat slitaget för typgodkännande av nya typer av dubbdäck. I Tabell 5 anges gränsvärden för maximalt tillåtet slitage vid testning enligt den finska nationella standarden *SFS 7503:2018:en*. I tabellen avser Fas A typgodkännande av nya dubbdäck för personbilar som tillverkats innan 1 januari 2025 samt lastbilsdäck (kategori C2) som tillverkats innan 1 januari 2027. Fas A+ avser typgodkännande av nya dubbdäck som tillverkats efter dessa datum. I Fas A+ avser variabeln *LI* lastindex som korrelerar till den maximala belastning som däcket är dimensionerat för. För personbilar spänner lastindex över det ungefärliga spannet 75–105, vilket motsvarar en maximal belastning på 387–925 kg per däck. Det maximalt tillåtna slitaget enligt overrun test för personbilsdäck i den beskrivna kategorin i Fas A och Fas A+ illustreras i Figur 18. Slitagekraven kommer alltså att på några års sikt skärpas ytterligare med uppemot 20–25 %. Effekten av att de nya kraven träder i kraft blir att nya dubbdäck blir mindre aggressiva mot vägbanan och att den uppruggande effekten ytterligare kan reduceras.

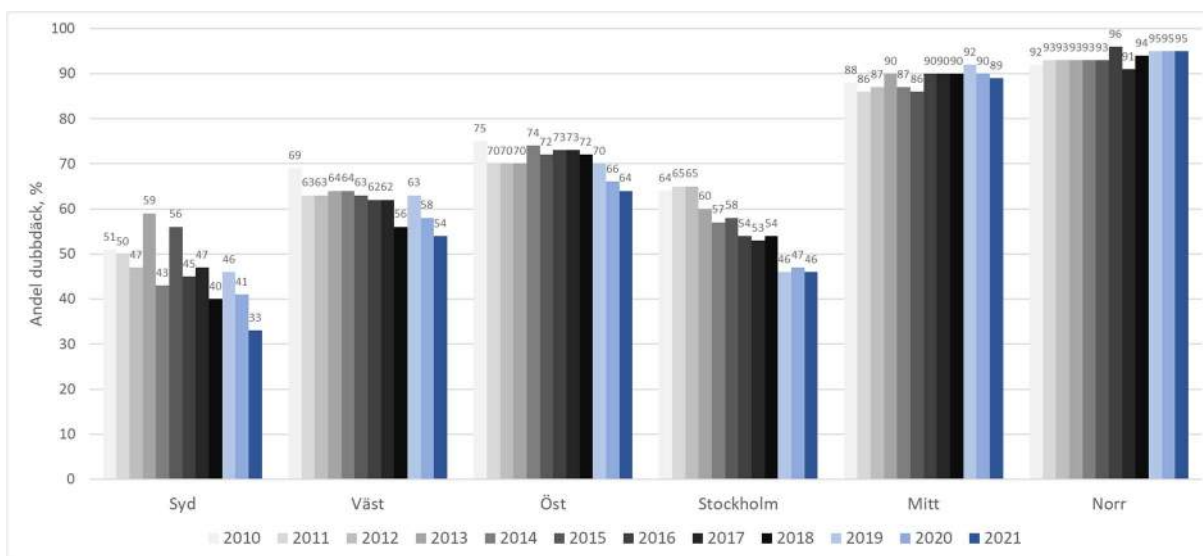
Tabell 5. Gränsvärden för maximalt slitage vid testning enligt *SFS 7503:2018:en* (Traficom, 2021).

Däckets belastningskapacitet	Fas A (200 överkörningar)	Fas A+ (200 överkörningar)
Bärighetsklass under 600 kg	0.9 g	Det mest ofördelaktiga däckets: Gränsvärde [g] = $(0,0152 \cdot LI) - 0,4848$
Bärighetsklass 600–800 kg	1.1 g	
Bärighetsklass över 800 kg	1.4 g	
Däck i kategori C2	1.8 g	Det mest ofördelaktiga däckets: Gränsvärde [g] = $(0,0076 \cdot LI) + 0,7$



Figur 18. Maximalt tillåtet slitage för personbilsdäck enligt overrun test.

Användningen av dubbdäck skiljer sig kraftigt åt geografiskt över landet. I Trafikverkets regioner *Norr* och *Mitt* kör nästan alla, 90–100 %, med dubbdäck under vintern medan användningen är betydligt lägre i region *Syd*, där dagarna med is och snö på vägbanan är betydligt färre. Användning i Trafikverkets regioner under de senaste elva vintrarna framgår i Figur 19.



Figur 19. Uppmått andel som körde på dubbdäck i olika delar av Sverige första kvartalet 2010–2021 (Grönvall, 2021).

Medan dubbdäcksanvändningen legat på en konstant hög nivå i landets norra delar, verkar det finnas en nedåtgående trend i framför allt *Region Stockholm* och *Region Syd*. I Stockholm har användningen de senaste tio åren minskat med nästan 20 procentenheter, från 65 % till 46 %. En orsak till minskningen i Stockholm är det dubbdäcksförbud som införts på ett antal gator i innerstaden från 2010 och framåt men även de allt mildare vintrarna kan säkert vara bidragande. En minskande andel dubbdäck och en ökande andel friktionsdäck torde dock inte gynna uppruggningen av vägbeläggningen och effekten av detta bör undersökas vidare.

2.7. Eftersträvad minskning av dubbdäcksanvändning

Det råder idag en strävan efter att åstadkomma en minskad användning av dubbdäck i Sverige. Anledningen beskrivs vara att dubbdäcksanvändningen är en bidragande faktor till att miljö kvalitetsmålet *Frisk luft* inte kommer att kunna uppfyllas inom utsatt tid (Naturvårdsverket, 2016).

Naturvårdsverket slår fast ett antal effekter av dubbdäcksanvändning och föreslår även styrmedel för att förmå människor att i större utsträckning välja bort dubbdäcken till förmån för de dubbfria friktionsdäcken.

Regeringen tillsatte 2014 en utredning med uppdrag att föreslå åtgärder för att begränsa partikelhalten i tätort. I ett betänkande ifrån SOU (Statens Offentliga Utredningar, 2015) föreslås en särskild dubbdäcksskatt som skulle tas ut för dubbdäcksanvändning i tätort.

2.7.1. Effekter av dubbdäcksanvändning

Användningen av dubbdäck ger upphov till inandningsbara partiklar, såsom PM₁₀ och PM_{2,5}, vilket motsvarar partiklar mindre än 10 resp. 2,5 mikrometer. Partiklarna har i höga doser negativa effekter på hälsa och miljö. För att minska partikelmängden i luften kan dammbindning eller utökad vägrengöring vidtas men dessa är kostsamma åtgärder med kort funktionslängd.

Dubbdäckstrafiken orsakar buller vilket har visats ha negativa effekter för hälsan vid långvarig exponering. I en rapport från VTI (Gustafsson et al., 2006) rapporteras en minskning av dubbdäckstrafik har störst bullerdämpande effekt i tätorter med hastighetsbegränsning mellan 30 och 50 km/h och minst effekt på höghastighetsvägar. Effekten rapporteras också vara mindre på vägar med stor andel tung trafik.

Dubbdäckstrafiken beräknas ge upphov till ökade koldioxidutsläpp med upp till 150 000 ton. Av den ökade mängden beräknas 90% kunna härledas till ökat rullmotstånd och resterande 10% till ett ökat underhållsbehov.

Med dubbdäck följer även ett ökat slitage av vägbanan. Ökad spårdjupstillväxt leder till tätare underhållsåtgärder. Förutom vägbeläggningen slits även vägmarkeringar snabbare under dubbdäck, vilket är problem ur såväl klimat- som säkerhetsperspektiv.

Fordon och byggnader blir också nedsmutsade av det ökade beläggningsslitaget, vilket antas leda till snabbare korrosion. Nedsmutsningen leder även till förorening av mark- och vattenmiljöer (Naturvårdsverket, 2016).

2.7.2. Styrmedel för minskad dubbdäcksanvändning

Naturvårdsverket konstaterar att det 2013 infördes en minskning av det högsta antalet dubb i ett dubbdäck och att antalet tillåtna dubb minskades med ca 15% jämfört med tidigare regelverk. Det undantag från denna regel som beskrivs i Kapitel 2.6 gör det dock möjligt för däcktillverkaren att utforma dubbdäcken som den vill så länge det kan visas att det inte leder till något ökat slitage av vägbeläggningen.

Säsongen över vilken dubbdäck är tillåtna förkortats två veckor på våren under 2010. Idag råder dubbdäcksförbud under perioden 16 april–30 september såvida det inte råder vinterväglag eller att sådant förväntas inkomma.

Sedan 2009 är det fritt fram för enskilda kommuner att fatta beslut gällande dubbdäcksförbud på vissa vägar eller vägsträckor. Sådana förbud har hittills införts på gator i stadsmiljö i Stockholm, Göteborg och Uppsala (Naturvårdsverket, 2016).

I Norge har det införts lokala avgifter på användning av dubbdäck i ett antal städer i en strävan att minska användningen till acceptabla nivåer avseende halterna hälsoskadliga partiklar i luften. Även

där är det upptill den enskilda kommunen att införa dessa avgifter om de positiva effekterna överväger de negativa. Avgifterna har fastställts i en förskrift som gäller i hela landet där nivåerna medvetet har lagts på en nivå så att andelen dubbdäck förväntas ligga runt 15–20 %. Med den beräknade andelen dubbdäck beräknas partikelhalterna sjunka till acceptabla nivåer och andelen dubbdäck fortfarande vara tillräcklig för att rugga upp vägbeläggningen vintertid för att trafiksäkerheten inte ska äventyras (Johansson och Burman, 2013).

2.8. Friktionshöjande åtgärder

Om vägen misstänks riskera att nå kritiskt låga friktionsvärden till följd av polering av ballasten i beläggningens yta, eller redan nått dessa, finns ett antal åtgärder att vidta, både preventiva och avhjälpande åtgärder för att höja beläggningens friktion.

2.8.1. Inblandning av poleringsresistent ballast

Ett sätt att minska risken för poleringseffekter och samtidigt begränsa slitaget till följd av dubbdäckstrafik är att blanda in mer poleringsresistent sten i slitlagret. I andra länder förekommer inblandning av poleringsresistent ballast vid vägavsnitt som är extra utsatta för polering, såsom vid cirkulationsplatser och snäva kurvor eller vid trafikljus där acceleration och inbromsningar är vanligt förekommande (Jacobson och Hjort 2008).

I Sverige har fullskaleförsök genomförts på Tyresövägen söder om Stockholm, mellan Gubbängens och Skarpnäcks trafikplatser, för att studera olika beläggningarnas friktionsvärden över tid. Testvägen är motorväg och vältrafikerad med en årsdygnsmedeltrafik på 20 000 fordon under 1999 enligt Trafikverkets verktyg PMSv3. Fem försökssträckor har lagts, där samtliga varit av typ skelettasfalt med en största stenstorlek på 16 mm, där längderna varierat mellan 43 och 127 meter. Sträckorna har alla fått olika stenmaterial i fraktionerna 8–16 mm. På vissa sträckor har ett enskilt material använts i nämnda fraktion medan andra sträckor innehållit kvartsit eller ortens material i fraktionen 8–11 mm vid sidan av porfyr som utgjort det slitstarka materialet i den grövre fraktionen, 11–16 mm. Sträckornas material beskrivs i Tabell 6. Allt material finare än 8 mm bestod av Stockholmsgranit (ortens material).

Tabell 6. Tyresövägens fem försökssträckor innehåller alla olika material och/eller blandningar i fraktionen 8–16 mm. Allt material finare än 8 mm utgörs av Stockholmsgranit (ortens sten).

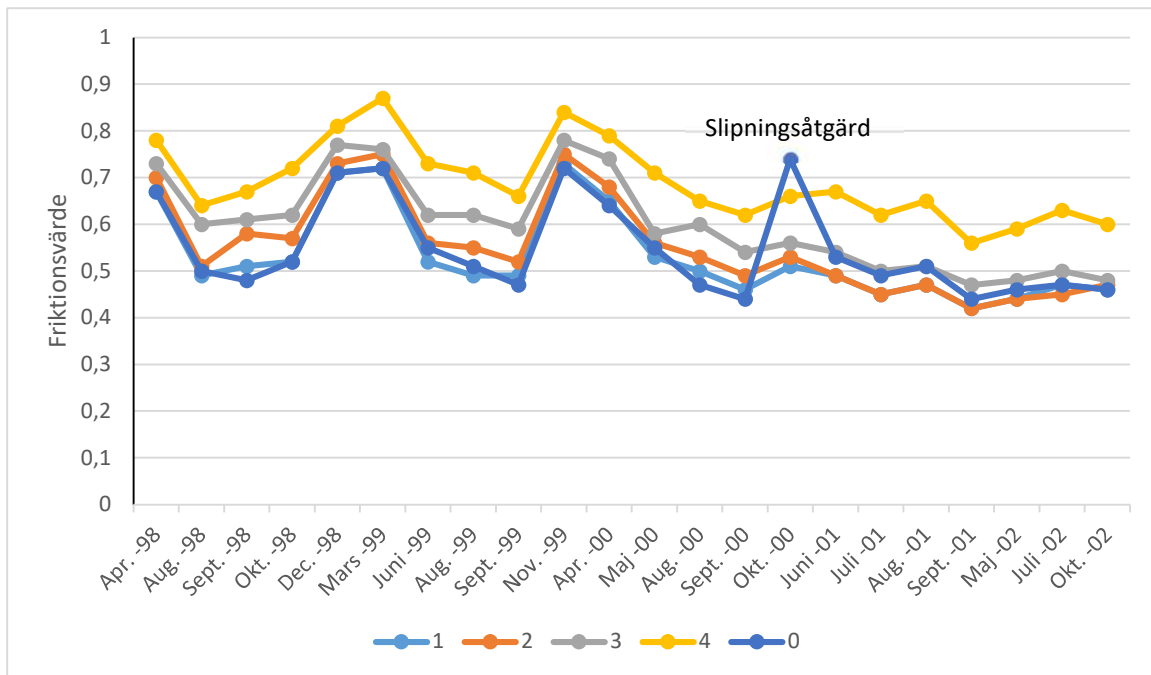
Sträcka	1	2	3	4	0
8–11 mm	Älvdalsporfyr	Ortens sten	Kvartsit	Kvartsit	Adelövsporfyr
11–16 mm	Älvdalsporfyr	Älvdalsporfyr	Älvdalsporfyr	Kvartsit	Adelövsporfyr

Olika sorters uppföljningsmätningar har genomförts vid ett flertal tillfällen. Kontinuerliga friktionsmätningar, motstånd mot slitage enligt Prall samt olika typer av friktionsmätningar på polerade provkroppar i laboratorium.

Kontinuerliga friktionsmätningar genomfördes flera gånger per år under 1998–2002 enligt Tabell 7 och Figur 20 (Jacobson och Hornwall, 1999; Jacobson och Hornwall, 2000; Jacobson och Hornwall, 2001; Jacobson, 2002; Jacobson, 2003). Redovisade värden är medelvärden över hela respektive sträckor.

Tabell 7. Friktionsmätningar utförda på väg 229, Tyresövägen, under perioden 1998–2002 (Jacobson och Hornwall, 1999; Jacobson och Hornwall, 2000; Jacobson och Hornwall, 2001; Jacobson, 2002; Jacobson, 2003). Den plötsliga friktionshöjningen på sträcka 0 i oktober 2000 beror på den slipningsåtgärd som genomfördes strax innan mätningen.

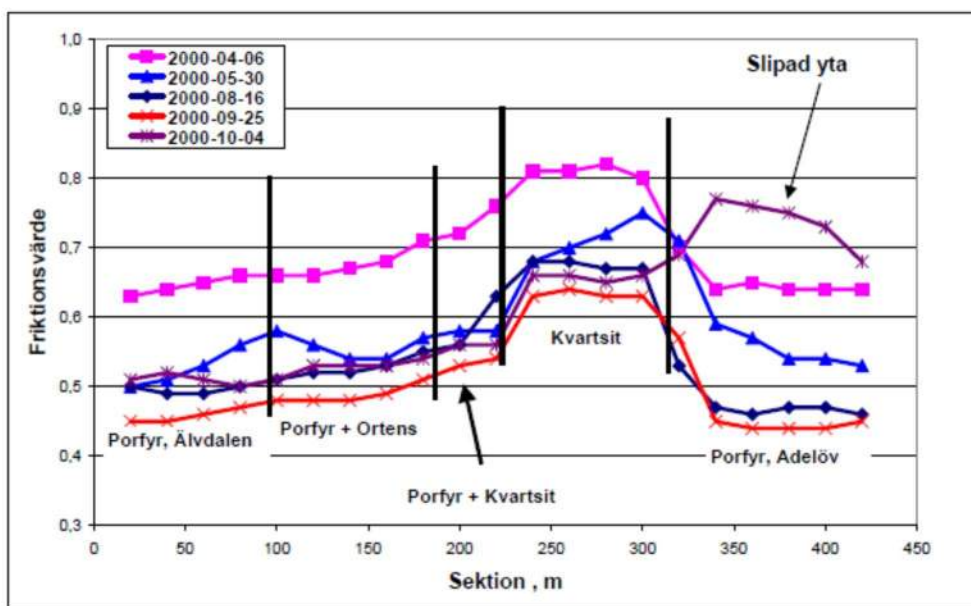
	1	2	3	4	0
6–7 apr. 1998	0,67	0,70	0,73	0,78	0,67
5 aug. 1998	0,49	0,51	0,60	0,64	0,50
22–24 sept. 1998	0,51	0,58	0,61	0,67	0,48
15–20 okt. 1998	0,52	0,57	0,62	0,72	0,52
29 dec. 1998	0,71	0,73	0,77	0,81	0,71
3 mars 1999	0,72	0,75	0,76	0,87	0,72
1–2 juni 1999	0,52	0,56	0,62	0,73	0,55
2 aug. 1999	0,49	0,55	0,62	0,71	0,51
8 sept. 1999	0,49	0,52	0,59	0,66	0,47
30 nov.–1 dec. 1999	0,73	0,75	0,78	0,84	0,72
4 april 2000	0,65	0,68	0,74	0,79	0,64
30 maj 2000	0,53	0,56	0,58	0,71	0,55
16 aug. 2000	0,50	0,53	0,60	0,65	0,47
25 sept. 2000	0,46	0,49	0,54	0,62	0,44
4 okt. 2000	0,51	0,53	0,56	0,66	0,74
juni 2001	0,49	0,49	0,54	0,67	0,53
juli 2001	0,45	0,45	0,50	0,62	0,49
aug. 2001	0,47	0,47	0,51	0,65	0,51
sept. 2001	0,42	0,42	0,47	0,56	0,44
30 maj 2002	0,44	0,44	0,48	0,59	0,46
8 juli 2002	0,47	0,45	0,50	0,63	0,47
2 okt. 2002	0,46	0,47	0,48	0,60	0,46



Figur 20. Friktionsmätningar ifrån väg 229, Tyresövägen.

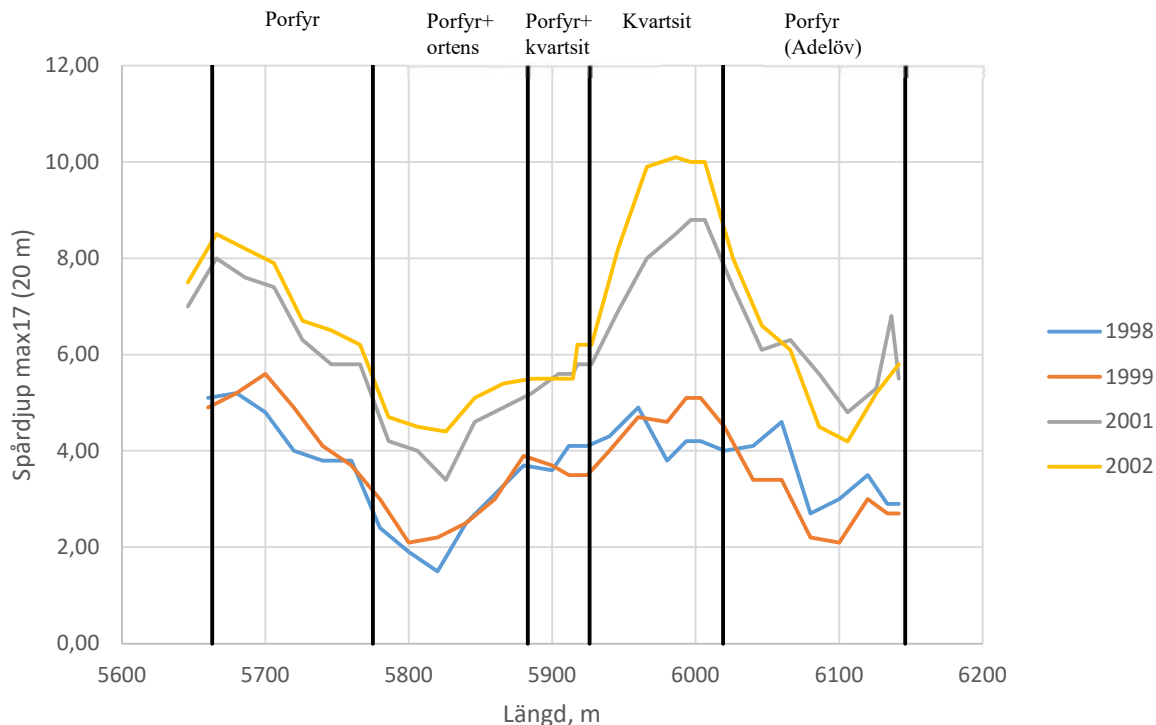
Det kan konstateras att friktionen varierar tydligt över året under de första åren efter läggning. Skillnaden i friktionsvärde före och efter dubbdäckstrafiken släpps på är runt 0,20, lite olika beroende på beläggning. Några mätningar efter dubbdäckstrafikens påsläpp har dock inte genomförts efter 1999 varför denna fluktuation inte kan observeras i Figur 20. Vad som kan konstateras är att de olika beläggningarnas friktionsvärden verkar krypa närmare varandra med tiden. Bortsett från den rena kvartsitbeläggningen (sträcka 4) verkar övriga kurvor närma sig varandra och krypa nedåt under den kritiska gränsen 0,5. Oavsett beläggningstyp verkar alltså friktionen ligga på 0,40–0,50 under sommarhalvåret. Några större variationer kan inte heller noteras mellan maj och oktober.

I Figur 21 har friktionsvärden från kontinuerliga mätningar 2000 plottats längs vägens riktning. De olika teststräckorna är markerade i figuren och det framgår då tydligt att friktionen är högst över hela sträckan på våren, sjunker över sommaren för att vara som lägst i slutet av september precis innan dubbdäckstrafiken tillåts från och med första oktober. Endast några dagar senare (fjärde oktober) har uppbyggningen börjat och friktionen blivit något högre. Friktionen visar sig ligga på kritiskt låga nivåer framemot hösten på samtliga sträckor där det inte är kvartsit i slitlagret.



Figur 21. Kontinuerliga friktionsmätningar utförda längs teststräckorna vid ett flertal tillfällen under 2000 (figur från Jacobson och Hornwall, 2001).

Resultaten i Figur 21 kan jämföras med kurvorna plottade i Figur 22, som visar spårdjupet vid mätningar utförda under 1998–2002. Uppgifter om var längs vägen sträckorna är, är något motstridiga ifrån olika källor varför sträckornas placering utmed vägen i Figur 22 ska ses som ungefärliga. Figuren visar dock en tydlig puckel i spårdjupet där slitlagret består av enbart kvartsit. Spårdjupstillväxten mellan åren kan även den ses vara högre för denna del av vägen jämfört med övriga delar.



Figur 22. Spårdjupsmätningar utförda 1998–2000 och inhämtade från PMSv3. Sträckornas längder stämmer i figuren, uppgifterna om dess placeringar längs vägen är något motstridiga ifrån olika källor men kan anses vara korrekta i stora drag.

Motståndet mot slitage enligt Prall testades på laboratorietillverkade provkroppar motsvarande sträcka 1–4 enligt Tabell 6. Provkropparna med blandade stenkvaliteter erhöll vid testtillfället samma slitstyrka som provkroppen bestående av enbart Älvdalsporfyr, 22 cm³. För provkroppen som tillverkats med enbart kvartsit uppmättes en sämre slitstyrka med ett Prall-värde på 30 cm³ (Jacobson och Hornwall, 1999). Testerna enligt Prall utvärderades för att undersöka till vilken grad slitagemotståndet förändrades då porfyren blandades upp med kvartsit eller ortens sten. Resultaten, som inte visar någon skillnad i Prall-värde mellan provkroppar av ren porfyr jämför med porfyr uppblandat med kvartsit eller granit, stämmer inte överens med liknande senare tester utförda på VTI (Bjurström och Dolk, 2020), där en uppblandning av rena porfyrprovkroppar visar på Prall-värden som gradvis försämras med ökad inblandning av sten med högre kulkvarnsvärde.

Vid Skanskas laboratorium i Farsta har ett poleringstest utvecklats för testning av provkroppar. Testet är en modifiering av Prall-testet, där en skonsammare nötning är tänkt att polera stenarna i beläggningens yta. Efter att provkroppen utsatts för polering mäts friktionen med pendel. Laboratorietillverkade provkroppar motsvarande sträcka 1–4 enligt Tabell 6 har testats och resultaten finns redovisade i Tabell 8. Det kan noteras att skillnaderna mellan de enskilda mätvärdena för respektive blandning är förhållandevis stor.

Tabell 8. Pendelfriktionsvärden uppmätt i labb efter att provkroppar utsatts för poleringstest. De redovisade värdena är dels medelvärden, dels enskilda mätvärden inom parentes.

Sträcka	Friktion (pendel)	Bortnött material, g
1 (Älvdalsporfyr)	49 (53, 45)	28 (26, 31)
2 (Älvdalsporfyr + granit)	57 (56, 57)	30 (29, 31)
3 (Älvdalsporfyr + kvartsit)	57 (52, 62)	35 (31, 38)
4 (Kvartsit)	66 (62, 69)	39 (40, 37)

Pendelfriktionsvärdena som uppmätts i labb jämfördes med de kontinuerliga friktionsmätningarna från september 1998, precis innan dubbdäckstrafiken släpptes på och beläggningen således var polerad, och visade på väl korrelerade resultat (Jacobson och Hornwall, 1999).

Även i Eugeniattunneln har försök gjorts med att blanda olika sorters sten för att reducera poleringen av slitlagret. Den tidigare slitlagerbeläggningen bestod av älvdalsporfyr i samtliga fraktioner och tidigare friktionsmätningar visar på kritiskt låga värden under sommarhalvåret. Friktionstal under 0,40 på 20-meterssträckor uppmättes och under 0,45 för hela tunneln. Jacobson och Hornwall (2001) rapporterar att slitlagret som lades i maj 1999 var ett ABS16/B85. Där blandades stenkvaliteter genom att fraktionerna 4–8 mm och 8–11 mm utgjordes av kvartsit från Dalsland, medan den grövre fraktionen 11–16 mm bestod av porfyr ifrån Älvdalen. Denna del av E4 är en mycket vältrafikerad väg med 45 000 fordon i varje köriktning (2001) och med en skyltad hastighet på 70 km/h.

Omläggningen av slitlagret gav effekt och under sommaren för beläggningstågärden uppmättes inga värden under gränsvärdet 0,50. Effekterna av inblandningen av kvartsit var dock kortvarig, friktionsmätningar genomförda under sensommaren året efter åtgärden visade åter resultat under gränsvärdet, 0,38–0,47 (Jacobson och Hjort, 2008).

Sträckan lades återigen om under sommaren och hösten 2004, denna gång med en ABS16 bestående av kvartsit (4–16 mm). Friktionsmätningar genomförda 2006 visade resultat som var bättre än både beläggningen med enbart porfyr och den senare beläggningen med porfyr och kvartsit blandat. Ändå var friktionen under gränsvärdet för hela sträckan i höger körfält norrgående (Jacobson och Hjort, 2008).

I Stockholmsområdet finns även andra vägsträckor där poleringsproblematik av profyrbeläggning lett till att vägen fått ett nytt slitlager med en blandning av porfyr och kvartsit alternativt ortens material. Fyra sådana sträckor framgår av Tabell 9 tillsammans med respektive friktionsvärden innan och efter omläggning. I samtliga dessa fall har slitlagret varit av typ ABS 16 där samtliga större fraktioner (4–16 mm) består av porfyr innan åtgärd. Friktionsmätningarna utfördes under sensommaren eller tidig höst då friktionen är som lägst.

Tabell 9. Vägsträckor i Stockholmsområdet där problem med polering av profyrbeläggning lett till att vägarna fått nya slitlager med inblandning av mer poleringsresistent material. I tabellen redovisas friktionstal som medelvärde uppmätt över hela sträckan, samt min- och max-värden.

Objekt	Stenmaterial	Friktion		
		Medel	Min	Max
E4, Häggvik	Porfyr	0,44	0,41	0,47
	Porfyr+kvartsit	0,58	0,51	0,60
E4, Hallunda–Wårby bro	Porfyr	0,46	0,42	0,51
	Porfyr+ortens	0,60	0,55	0,65
E4, Lindvreten	Porfyr	0,46	0,43	0,49
	Porfyr+ortens	0,57	0,64	0,57
E18, Hjulsta	Porfyr	0,43	0,39	0,46
	Porfyr+kvartsit	0,56	0,52	0,61

Friktionstalen var alla kritiskt låga (<0,50) innan åtgärd. Efter åtgärd ligger friktionen på godkända nivåer. Slitstyrkan hos beläggningen har försämrats i och med inblandningen av kvartsit eller ortens material men bedöms ändå som mycket bra i samtliga fall.

2.8.2. Slipning och fräsning på E4/E20

På E4/E20 vid Kungens kurva där problem med polering och låg friktion uppdragats förde Skanska som entreprenör en diskussion med Trafikverket varvid man enades om att slipning var den mest lämpade åtgärden för att åtgärda poleringsproblem för att återställa godkända friktionsvärden. Trafikverket har tidigare nyttjat denna metod med gott resultat. Efter samråd med leverantören HTC bedömdes att slipningen skulle utföras med två HTC 950 RX som visas i Figur 23. Maskinen är en radiostyrd slip som används för att slipa olika underlag såsom betong, asfalt och olika golvmaterial. Fyra diamanthuvuden sitter monterade undertill på maskinen där de dels roterar i sig själva, dels runt den stora runda skivan i vilken huvudena sitter monterade.



Figur 23. Slipmaskinerna som användes var av typ HTC 950 RX. Foto: <https://www.htc-floorsystems.com/>.

En av HTC certifierad entreprenör, *Apils AB* (<https://slipa.eu/>), kontrakterades att utföra slipningen. Ett inledande test utfördes 2018-09-18 för att välja de mest optimerade diamantverktygen för slipning av E4/E20. Slipning av polerade ytor utfördes 2018-09-19--20 samt 2018-09-25--26. Ytor som krävde slipning bestämdes utifrån resultat från friktionsmätningar.

Samtliga friktionsmätningar har utförts av *Roadfriction Sven AB* och beställts av Trafikverket. Mätningar utfördes 2018-09-10 för att hitta partier med låg friktion efter rapporterade olyckor, 2018-09-18 för att utvärdera lämplig slipmetod (val av verktyg) samt 2018-10-09 för att utvärdera effekten av utförd slipning. Slipningen utfördes endast i hjulspåren, dvs. inte över hela körfältens bredd, i båda riktningar.

I Figur 24 och Figur 25 visas en sammanställning av uppmätta friktionsvärden på E4/E20 vid Kungens kurva. Det är tydligt att merparten av underkända friktionsvärden (röda och orange områden) finns i och omkring de provisoriska anslutningarna (chikanerna) mot befintlig E4/E20 samt vid trafikplats Lindvreten Södra.



Figur 24. Detaljerad illustration av uppmätta friktionsvärden vid trafikplats Lindvreten Södra (se Figur 2) där låga värden markeras som röda och orangea. Illustration över området skapad av Skanska.

Orsaken till den låga friktionen tros vara att dessa partier har utsatts för betydande polering. Denna polering har framför allt orsakats av den höga trafikmängden samt att fordonen bromsar in i chikanerna. Bidragande faktorer är snäva horisontalradier, smala körfält samt nivåskillnader mellan befintlig del av E4/E20 samt provisoriska anslutningar. Trafikanterna överraskas troligen av förhållanden runt anslutningarna med kraftiga inbromsningar som följd. Denna inbromsning blir givetvis större vid högre hastigheter. Rådande hastighet på platsen är sannolikt högre vid låga trafikmängder än den skyltade hastigheten på 70 km/h. Resultatet av dessa förhållanden blir ökad polering med lägre friktion som effekt. Det syns även tydligt i Figur 24 och Figur 25 att friktionsvärden på raksträckorna är högre. Detta indikerar att polering på raksträckorna är betydligt mindre än vid de utsatta partierna vilket är helt i linje med tidigare erfarenheter.



Figur 25. Detaljerad illustration av uppmätta friktionsvärden vid anslutning befintlig E4/E20. Illustration över området skapad av Skanska.

För att välja lämpliga diamantverktyg att utföra underhållsåtgärder med genomfördes förtester på en av ramperna. Entreprenören testade olika kombinationer av verktyg och resultaten validerades av friktionsmätning före och efter slipning. Slutligen valdes en uppsättning verktyg som uppvisade god uppuggning/slipning av polerade beläggnings stenar samt även hade bäst produktionskapacitet.

Figur 26–Figur 34 illustrerar hur slipning av utsatta sektioner av E4/E20 genomfördes.



*Figur 26. Exempel på ABS 16 beläggning på E4/E20 före slipning. Stenarnas ytor är blankpolerade.
Foto: Skanska.*



Figur 27. Den maskin som slutligen valdes för att slipa utsatta partier blev HTC 950 RX med fyra roterande slipskivor. Foto: Skanska.



Figur 28. Tandemslipning av hjulspår på E4/E20 med två HTC 950 RX. Foto: Skanska.



Figur 29. Exempel på slipning samt erhållet slipdamm bakom maskinerna. Foto: Skanska.



Figur 30. För att samla upp det alstrade slipdamm användes två för ändamålet avsedda dammsugare. Foto: Skanska.



Figur 31. En slipad och rengjord yta i körfältet i bildens mitt samt ett hjulspår med kvarliggande slipdamm till vänster i bild. Foto: Skanska.



Figur 32. Slipdammet efter en natts arbete uppsamlat i påsar. Foto: Skanska.



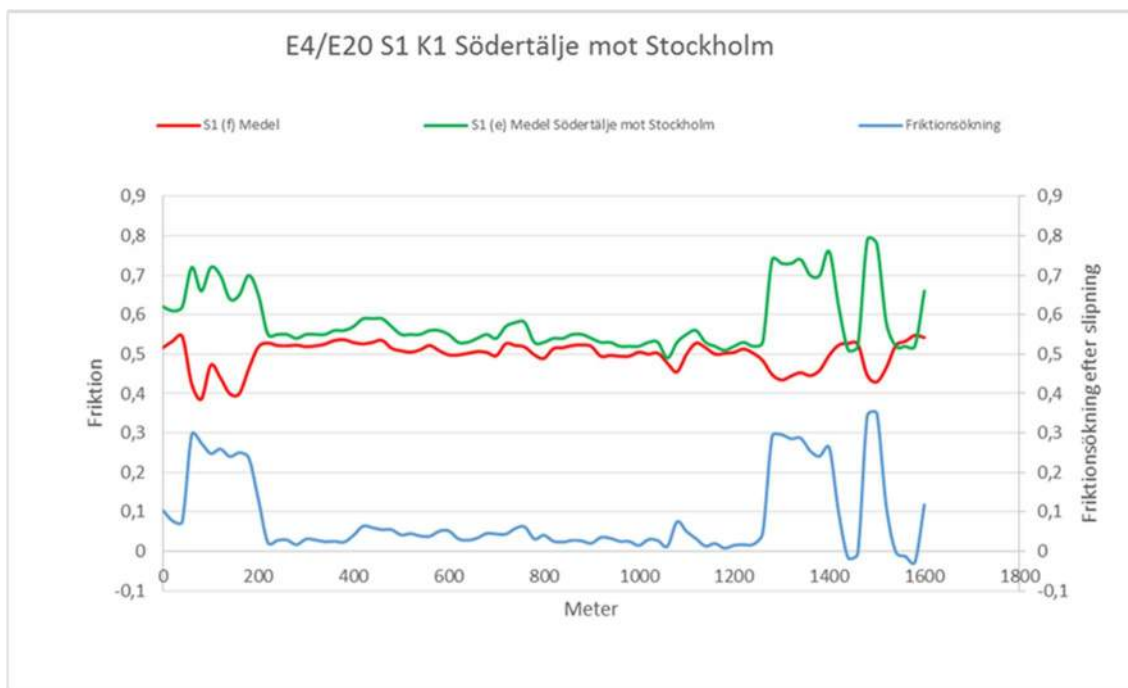
Figur 33. Effekten av slipningen av ABS16 beläggning. Beläggningen till höger är slipad medan den till vänster är utanför hjulspår och därmed obehandlad. Foto: Skanska.



Figur 34. En av slipmaskinens fyra diamantslipskivor efter en natts arbete. Foto: Skanska.

Effekten av slipningen har utvärderats genom att jämföra utförda friktionsmätningar före och efter (benämnda f resp. e i Figur 35) slipåtgärd. Friktionsmätning före slipning utfördes 2018-09-10 och friktionsmätning efter slipning 2018-10-09. Resultat från dessa mätningar redovisas i Bilaga 1 där diagram med resultat av friktionsmätningar före och efter slipning samt erhållen friktionsökning efter slipning visas.

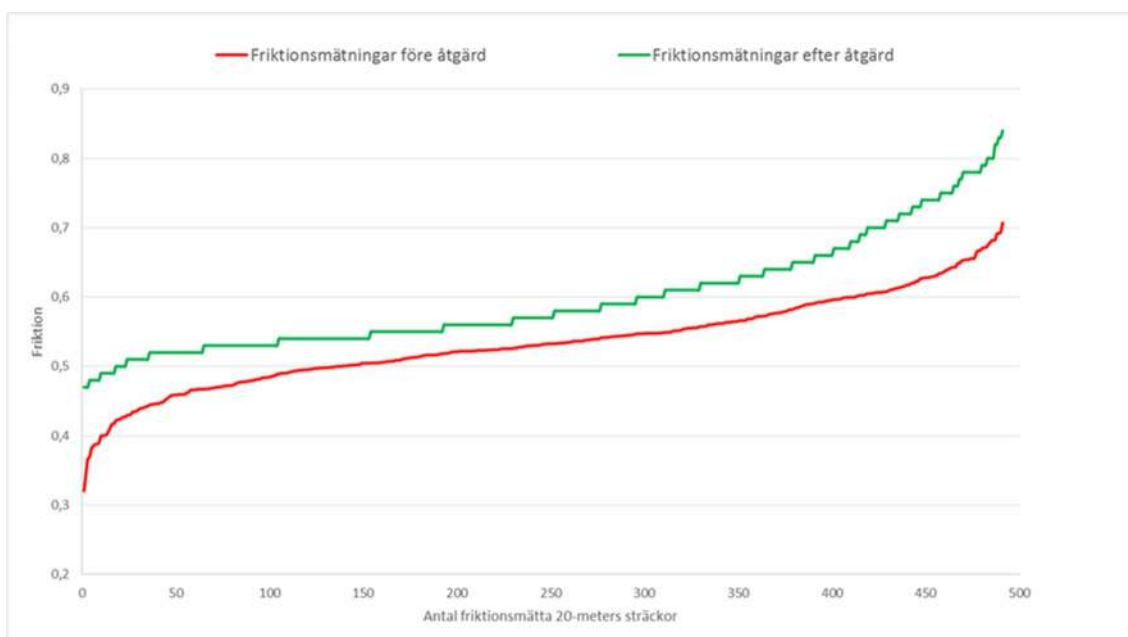
I Figur 35 visas ett typiskt resultat från friktionsmätningar före och efter slipåtgärd. Det syns klart att de utsatta sektionerna med underkända friktionsvärden som slipats har ökat friktionsvärdena med ca 0,25–0,45 enheter. Samtliga sträckor som slipats uppvisar godkända friktionsvärden efter genomförd åtgärd.



Figur 35. Friktionsmätningar genomförda före (f) och efter (e) slipning av hjulspår på E4/E20 vid Kungens kurva.

I Figur 36 redovisas samtliga 20-meterssträckor från utförda friktionsmätningar (före respektive efter slipåtgärd). Före åtgärd var det ca 27,5 % av 20-meterssträckorna som uppvisade lägre friktion än 0,50 (135 av 491 sträckor, röd linje). Lägsta uppmätta friktion var 0,32 och högsta 0,70. Medelfriktionen på de 135 underkända punkterna var 0,45.

Den gröna linjen visar uppmätta friktionsvärden efter slipåtgärd. I detta fall var det ca 3,5 % av 20-meterssträckorna som hade en friktion under 0,50 (17 av 491 sträckor). Lägsta uppmätta friktion var då 0,47 och högsta 0,84. Medelfriktionen på de 17 underkända punkterna var 0,48.



Figur 36. Sammanställning av samtliga 491 friktionsmätvärden före och efter åtgärd.

Det kan således konstateras att genomförd slitåtgärd har ökat samtliga underkända 20-meters sektioner så att godkända nivåer har uppnåtts.

Slipning med annan utrustning i syfte att rugga upp ytan och höja friktionen har också testats några vägar i Stockholm under 2000. Utrustningen som användes var en tysk maskin och kallas *Helmus Grip 2* och visas i Figur 37. Maskinen påminner till utseendet om en asfaltläggare men vid skridens placering sitter ett antal segment med sliputrustning monterade. Varje segment har 10 kraftiga stift av hårdmetall som bearbetar beläggningsytan. Vid slipning av Eugeniattunnelns högra körfält i söder- och norrgående riktningar, samt av Tyresövägen erhöles en höjning av friktionsvärdena på 0,24–0,25 respektive 0,30. Friktionsmätningar genomfördes före och efter åtgärd med 8 dagars mellanrum. Åtgärden bedömdes vara lyckad då även spridningen mellan enskilda friktionsvärden blev låg efter slipningen (Jacobsen och Hornwall, 2001).



Figur 37. *Helmus Grip 2* som användes vid slipning av Eugeniattunneln och Tyresövägen. (Foto från Jacobsen och Hornwall, 2001)

En annan åtgärd som lämnar en grövre yta med högre friktion är planfräsning. Nackdelarna är dock att planfräsningen förkortar vägens livslängd något i och med att några millimeter fräses bort från beläggningsens yta, samt att planfräsen kan ha svårt att komma åt längst ner i körfältets spår och på så sätt lämna dessa delar obehandlade. Exempel på planfrästa sträckor finns i Eugeniattunneln (K2 i resp. riktning) där friktionsvärdena höjdes med 0,30–0,37 mellan två mätningar genomförda före och efter åtgärd. Åtgärden genomfördes i samband med att dubbdäckstrafik släpptes på, när friktionsvärdena är som lägst. Som referens bör det också nämnas att friktionsvärdet under tiden mellan mätningarna höjdes med 0,10 av dubbdäckstrafiken på en intilliggande sträcka som inte behandlades. Effekten av planfräsningen klingar dock snabbt av och dess livslängd var ungefär ett år.

Slipningen är skonsammare än planfräsningen och jämförelser mellan de två åtgärdsalternativen vid Eugeniattunneln visar att deras livslängd bedöms som likvärdiga, ett år. Ytans utseende blir bättre efter slipningen i och med att det blir en jämnare behandling över hela beläggningsytan och ytan blir inte flammig som efter planfräsen. Den friktionshöjande effekten verkar också bli i paritet med planfräsningen.

3. Friktionsmätningar

I detta kapitel redovisas tidigare genomförda friktionsmätningar från E4/E20 samt mätningar E4 och ett antal infartsleder kring Stockholm som utförts inom ramen för projektet.

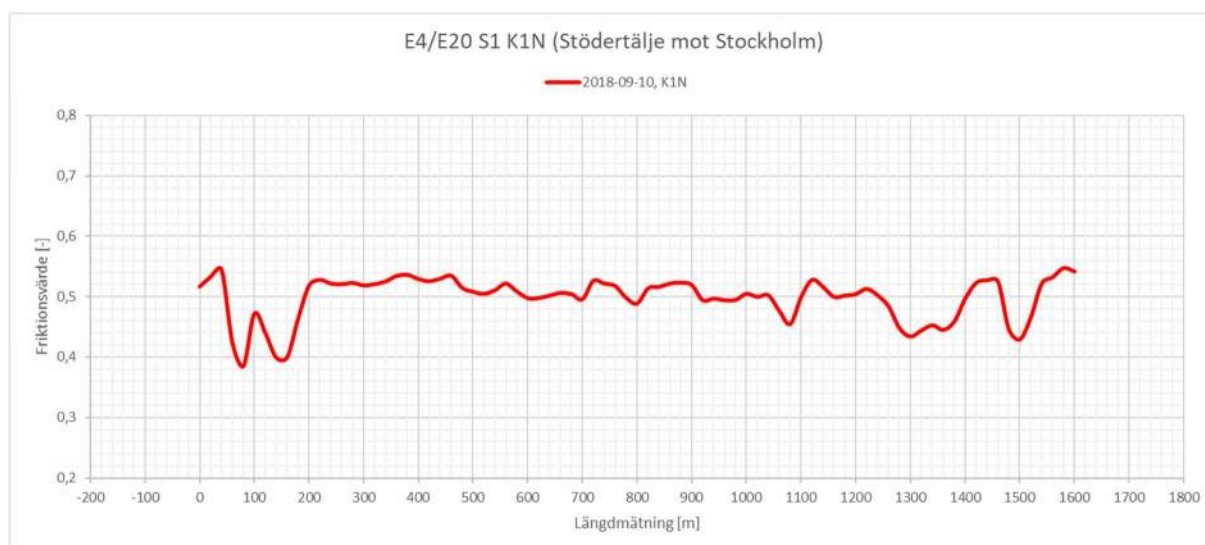
I Kapitel 3.1 redovisas friktionsmätningar från E4/E20 vid Kungens Kurva där friktionsproblem först konstaterats. Totalt har sju mätningar mellan 2018 och 2020 utförts av entreprenören *Roadfriction*, enligt TDOK 2014:0134 Version 2.

För att komplettera mätningarna och få en vidare bild av eventuella friktionsproblem som skulle kunna bero på hög trafikering och polering utfördes i slutet av september (när polering är som störst och friktionen lägst) 2020 friktionsmätningar på fem delsträckor utmed E4 mellan Stockholms/Södermanlands länsgräns i söder och Järna. De fem sträckorna mot länsgränsen har alla fått en ny beläggning under 2016–2017. Beläggningarna har lagts av tre olika entreprenörer utifrån samma krav från beställaren, 80 kg/m² lågtempererad asfalt där ballasten skulle ha ett kulkvarnsvärde (kkv) lägre än 7,0. Mätningarna från E4 redovisas i Kapitel 3.2

Vidare utfördes friktionsmätningar på tolv sträckor av olika längd kring Stockholm och resultaten redovisas i Kapitel 3.3. Sträckorna valdes ut tillsammans med Trafikverkets personal och mättes av VTI med VTI:s *Saab Friction Tester*.

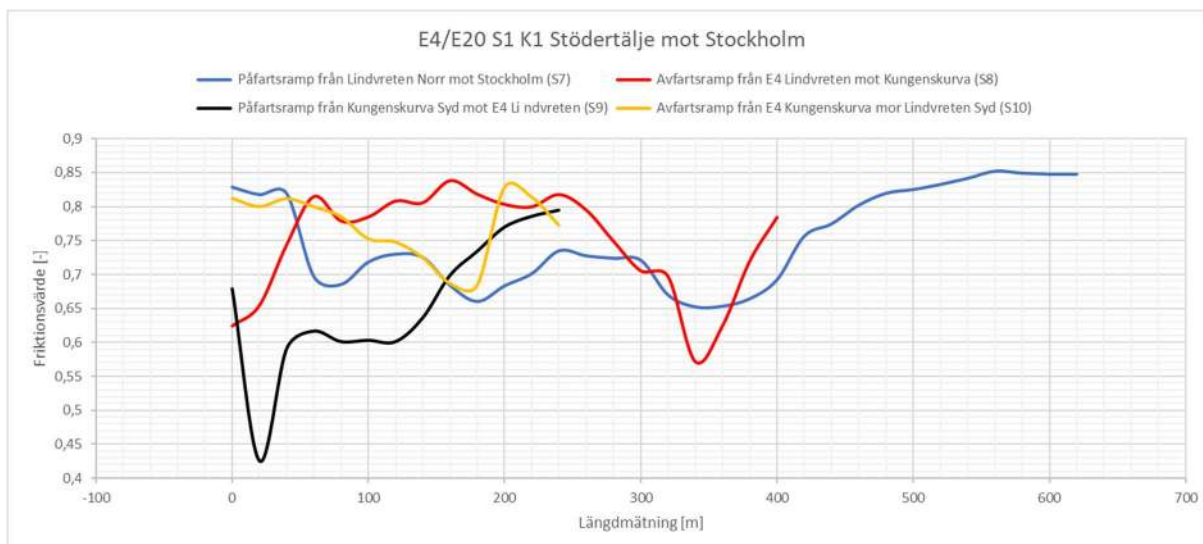
3.1. E4/E20, Kungens kurva

I Figur 38 visas uppmätta friktionsvärden för K1N (K1 norrgående - Södertälje mot Stockholm). Friktionsvärden för samtliga körfält (K1N, K2N, K3N, K1S, K2S samt K3S redovisas i Bilaga 1). Friktionsmätningarna är utförda under september, före dubbdäckssäsongen då friktionen normalt är som lägst. Alla mätningar för de olika körfälten visar på samma trend, dvs låg friktion vid chikanerna.



Figur 38. Uppmätta friktionsvärden för körfält K1N på E4/E20, 10 september 2018.

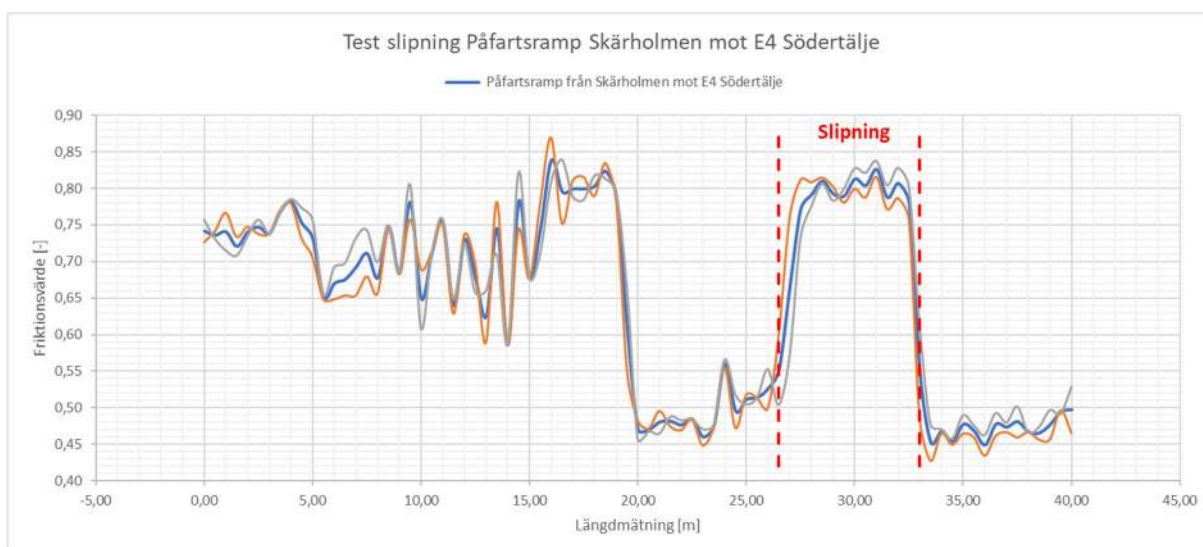
Resultat från friktionsmätningar på ramperna för trafikplats Lindvreten Norra, uppmätta vid samma tillfälle redovisas i Figur 39. Det är tydligt att friktionen är betydligt högre än i körfälten på E4/E20.



Figur 39. Uppmätta friktionsvärden för ramper trafikplats Lindvreten Norra, 10 september 2018.

För att försöka återställa friktionen på sektioner med låg friktion diskuterades olika alternativ som till exempel fräsning, blästring samt slipning. Efter en mindre utvärdering av potentiella metoder bedömdes att slipning var det bästa alternativet till friktionshöjande åtgärd givet aktuell situation. En bidragande orsak var att Trafikverket testat slipning vid ett annat projekt med goda erfarenheter. Vidare ansågs att slipning är betydligt skonsammare än till exempel fräsning som potentiellt kan spräcka och slå sönder stenarna i beläggningen vilket kan bidra till en förkortad livslängd. Blästring ansågs vara för tidskrävande och inte kostnadseffektivt för detta projekt. Specialmaskiner för uppbyggnad fanns inte tillgängliga med kort varsel.

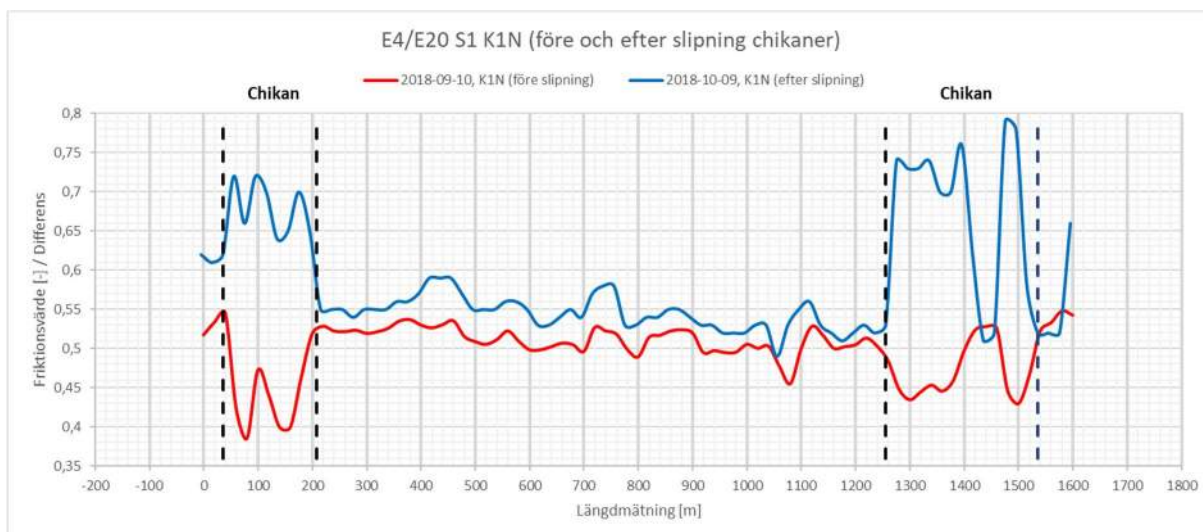
För att verifiera effekten av slipning samt kombination av lämpliga slipverktyg utfördes en provslipning vid påfartsramp Skärholmen mot E4 Södertälje den 18 september 2018. En kortare sträcka slipades (längdmätning ca 26-33m). Resultatet från friktionsmätningen, se Figur 40, visade att slipningen ökar friktionen med lite drygt tre tiondelar (0,30–0,35), vilket överensstämmer med tidigare erfarenheter (Jacobson och Hjort, 2008). Det beslutades att slipa hjulspåren för samtliga körfält vid chikanerna med låga friktionsvärden.



Figur 40. Uppmätta friktionsvärden efter testslipning på påfartsramp Skärholmen mot E4 Södertälje.

Slipningen genomfördes i samtliga sex körfält över de kritiska områdena. I Figur 41 ges ett exempel på friktionsvärden före och efter slipning (se Bilaga 1 för övriga körfält). Observera att det bara var de

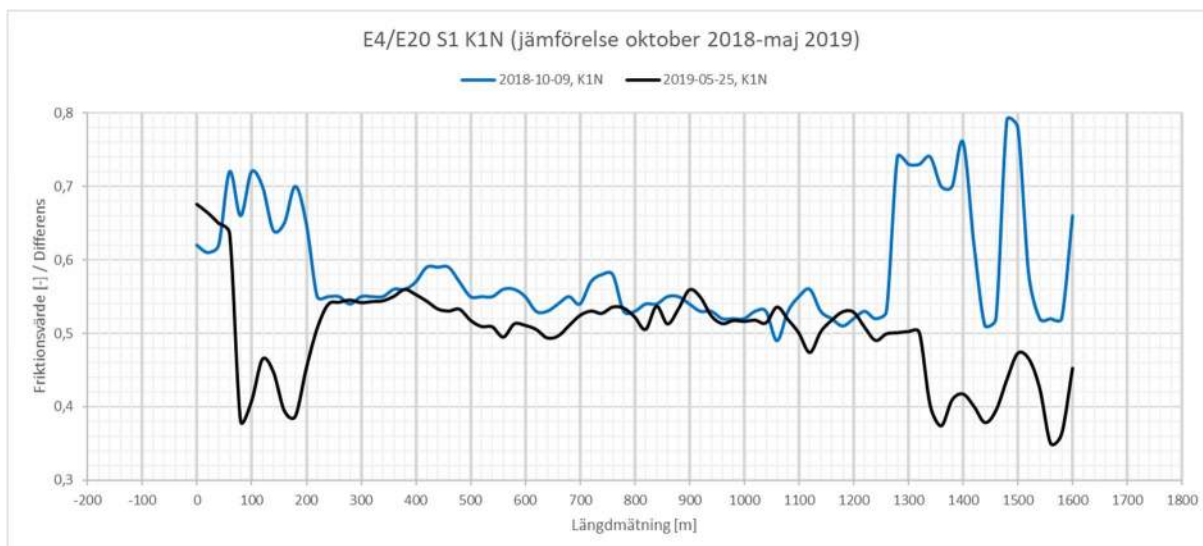
utsatta beläggningsområdena i chikanerna som slipades (längdmätning ca 35–210 m samt 1255–1535 m). Friktionsmätningar utförda 9 oktober efter slipningen visade att åtgärden ökat friktionen med upp mot ca 0,29 och 0,45 enheter för samtliga körfält, se Figur 41 samt Bilaga 1 för övriga körfält. Det syns tydligt friktionen är återställd för de åtgärdade chikanerna. På raksträckorna var uppmätt friktion tillfredställande för att vara i början av oktober (lägst friktion under året). Erfarenhetsmässigt ökar i Sverige friktionen med ca 0,3–0,5 enheter under vintermånaderna, på grund av uppruggning från dubbdäck, för att uppnå högsta friktionsvärden när dubbdäckssäsongen är slut i april.



Figur 41. Exempel på uppmätta friktionsvärden före och efter slipning på E4/E20, K1N.

Ett drygt halvår senare, i maj 2019, när dubbdäckssäsongen var slut genomfördes nya friktionsmätningar över samma sträcka. Mätningarna visade återigen på låga friktionsvärden i chikanerna trots den mellanliggande dubbdäckssäsongen, alltså tvärtemot vad som vanligen kan observeras efter vintermånaderna. Jämförelse mellan friktionsmätningar utförda i oktober 2018 och maj 2019 visas i Figur 42.

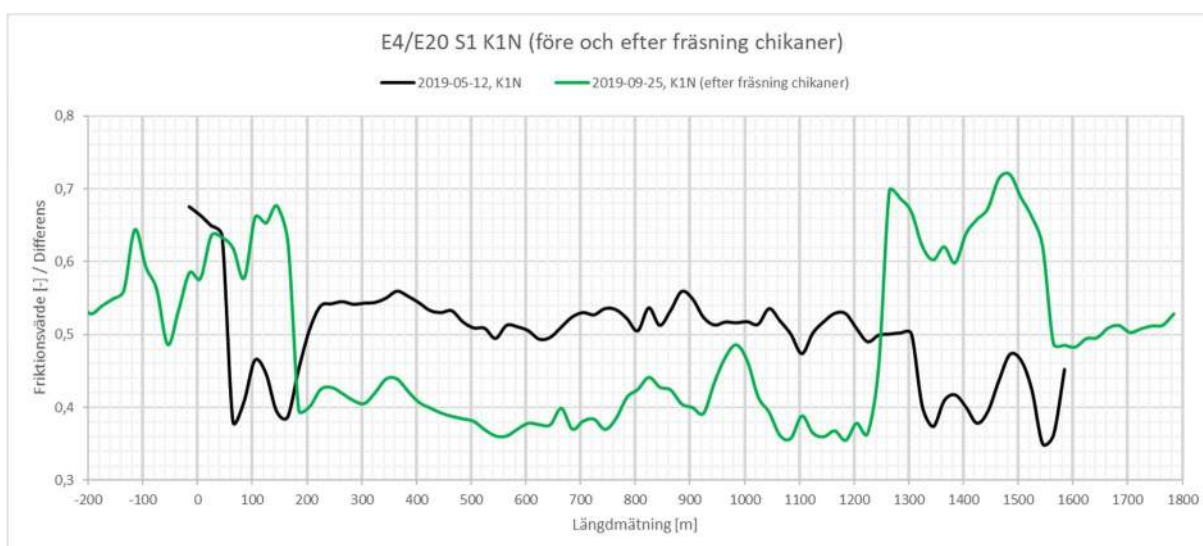
Mätningarna visar att effekten av slipningen i stort är borta efter dubbdäckperioden. Det kan även observeras att friktionen på raksträckorna är relativt låga för majmätningen trots att detta är den tid på året då friktionen vanligtvis är som högst. Orsaken till att den förväntade uppruggning från dubbdäck inte erhållits på E4/E20 var oväntat och kunde inte till fullo förklaras. En del av förklaring kunde relateras till att chikanerna är särskilt utsatta på grund av relativt små horisontalradier (ca 100m). Vid chikanerna finns även en profilskillnad i vertikalled som tillsammans med korta horisontalradier kan överraska trafikanterna och orsaka kraftiga inbromsningar. Likväl, att ingen effekt av uppruggning erhöles var förvånande. Likartade resultat uppvisades för de övriga körfälten, se Bilaga 1.



Figur 42. Exempel på uppmätta friktionsvärden mellan oktober 2018 och maj 2019 på E4/E20, K1N.

För att åtgärda chikanerna beslutades att fräsa dem med traditionell fräsutrusning. Fräsning ger en rå yta med god friktion. Fräsning av chikanerna utfördes under september 2019.

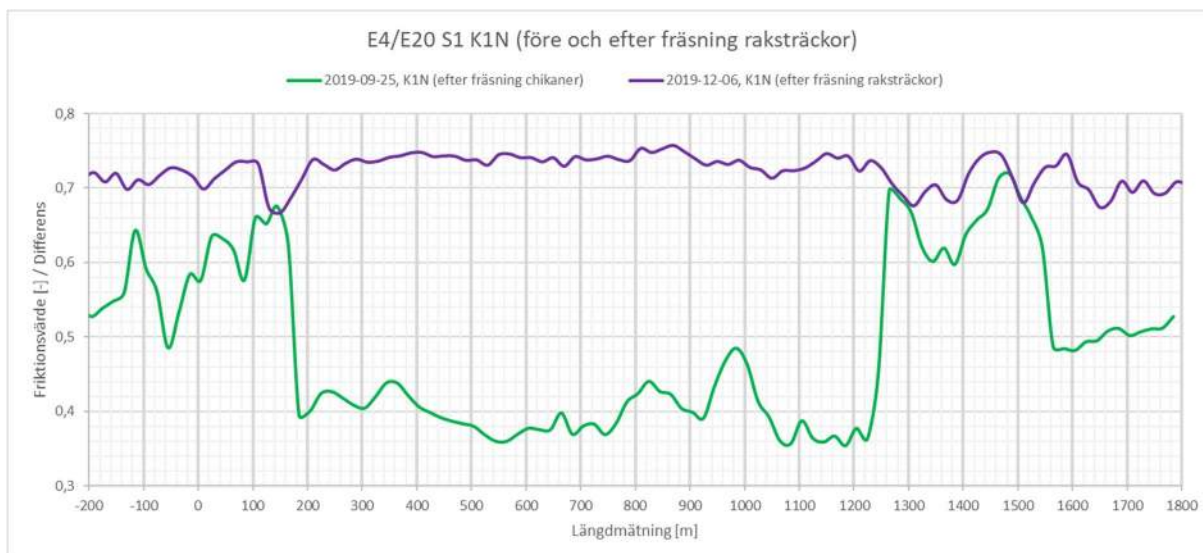
Figur 43 visar friktionsmätning före och efter fräsning av chikaner på E4/E20, K1N.



Figur 43. Exempel på uppmätta friktionsvärden före och efter fräsning av chikaner på E4/E20, K1N.

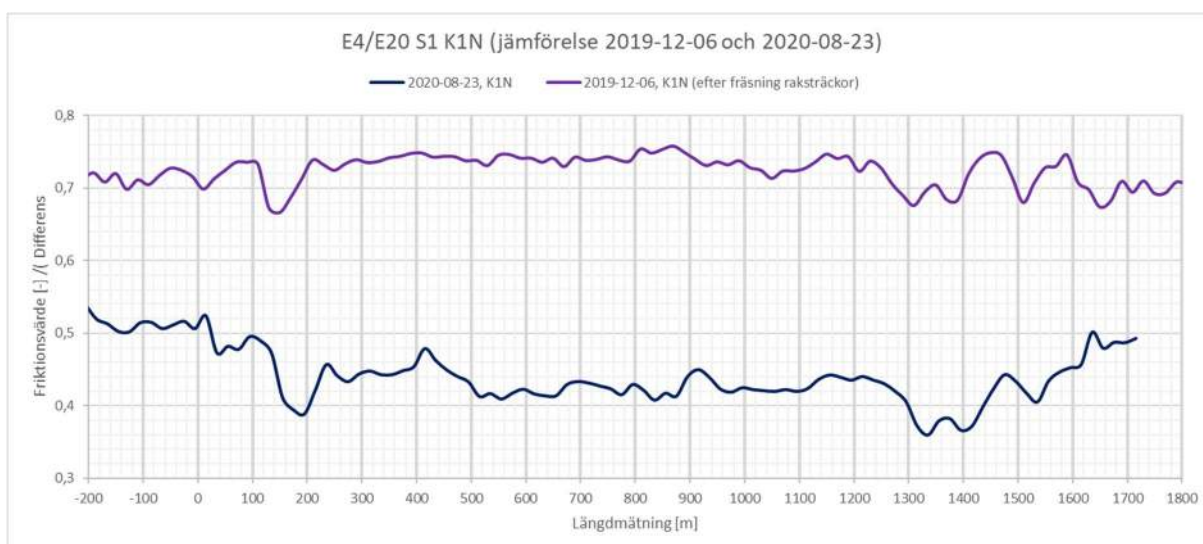
Fräsningen resulterade i ökad friktion i chikanerna med mellan 0,24 och 0,42 enheter, se Figur 43 samt Bilaga 1. Denna uppgång var förväntad men det observerades även att friktionen på raksträckorna mellan chikanerna reducerats med upp till ca 0,22 enheter som en effekt av ytterligare polering under sommarmånaderna. Detta var oväntat då raksträckor normalt inte anses som områden som är särskilt utsatta för polering. Övriga körfält uppvisade samma trend, se Bilaga 1.

För att åtgärda friktionen på raksträckorna beslutades att fräsa även dessa. Raksträckorna frästes under oktober 2019. Figur 44 samt Bilaga 1 redovisar resultat från friktionsmätningen i december 2019 efter fräsning. Det är tydligt att fräsningen förbättrat friktionen mellan 0,37 och 0,45 enheter för att ligga på ca 0,7–0,8 för alla sträckor. Friktionsvärden för övriga körfält framgår av Bilaga 1.



Figur 44. Friktionsvärdena före och efter fräsning av hela raksträckorna på E4/E20, K1N

I augusti 2020 genomfördes ytterligare en friktionsmätning där det visade sig att friktionen över de olika körfälten sjunkit med ca 0,35–0,45 enheter, se Figur 45 samt Bilaga 1. Detta innebär att hela förbättringen av fräsningen är borta efter ett år vilket är mycket förvånande.



Figur 45. Uppmätta friktionsvärden före och efter fräsning av raksträckor på E4/E20, K1N.

3.2. E4, AB/D länsgräns–Järna

För att komplettera och bredda friktionsmätningarna utfördes mätning på en del av E4 (AB/D länsgräns–Järna). På denna sträcka i norrgående riktning (K1) ligger 5 st sträckor med material från tre olika asfaltverk, enligt Tabell 10. Sträcka 1 (0–2760) innehåller samma stenmaterial som används vid E4/E20 vid kungens kurva. E4 i höjd med AB/D länsgräns–Järna trafikeras av ca ÅDT 16 000–17 000, varav ca 2300 fordon är tung trafik. Med fem delsträckor direkt efter varandra kan mätdata jämföras på ett rättvisande sätt då sträckorna har samma förutsättningar avseende trafik och klimat. Sträckorna 1, 3 och 5 utgörs av 80 kg Heating ABS16 70/100 kkv<7 LTA. Sträckorna från 2016 består av samma massatyp. Sträcka 1 består av det material som har bäst slitagemotstånd. Beläggningen i Sträcka 1 och 3 består ca 50% > 11mm sten. Sektion 2 och 4 består av ca 45% > 11mm sten. Sektion 5 innehåller endast 39% >11mm.

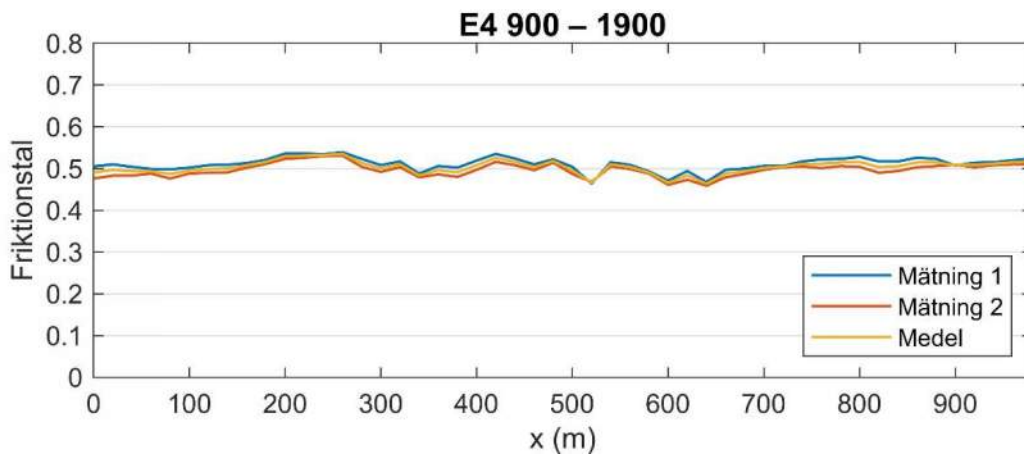
Tabell 10. Delsträckor belagda 2016–2017 i K1 på E4 norrgående länsgräns AB/D till Järna.

Sträcka	Årtal	Asfaltverk	KKV	LA	Mängd >11 mm	Bit.halt
0–2760 m	2017	Skanska Södertälje	Ca 5	12	50%	5,9%
2760–4120 m	2016	Peab Västberga	Ca 6	?	~45%	~6,0%
4120–9200 m	2017	Skanska Södertälje	Ca 6	17	50%	5,9%
9200–11240 m	2016	Peab Västberga	Ca 6	?	~45%	~6,0%
11240–12900 m	2017	Svevia Läggesta	Ca 6	13	39%	6,1%

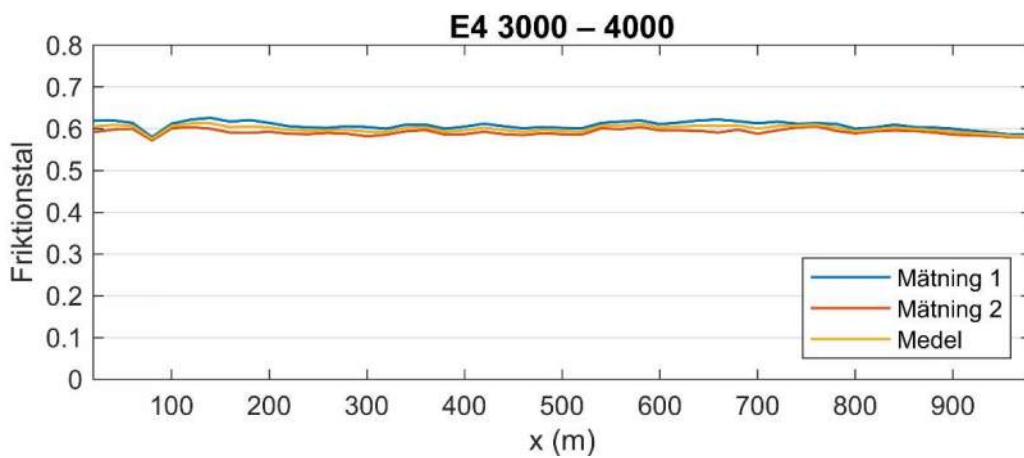
Delsträckornas läge längs E4 framgår i Figur 46. Dubbla friktionsmätningar genomfördes i höger körfält (K1) i samtliga fem delsträckor. Mätningarna begränsades till 1000 m för respektive sträcka i syfte att få mätutrustningens vattentank att räckta till alla mätningar. Resultaten från de båda enskilda mätningar samt genomsnittliga värden från de två mätningarna visas i Figur 47–Figur 51. Längdmätningarna, utgående ifrån länsgränsen, där friktionsmätningarna är utförda framgår i respektive figur.



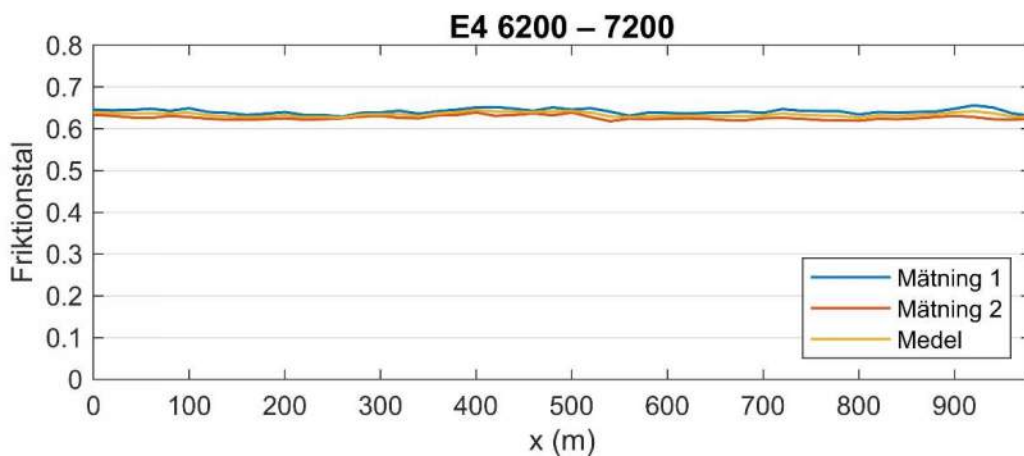
Figur 46. De fem försökssträckorna mellan AB/D länsgräns i söder och Järna i norr. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.



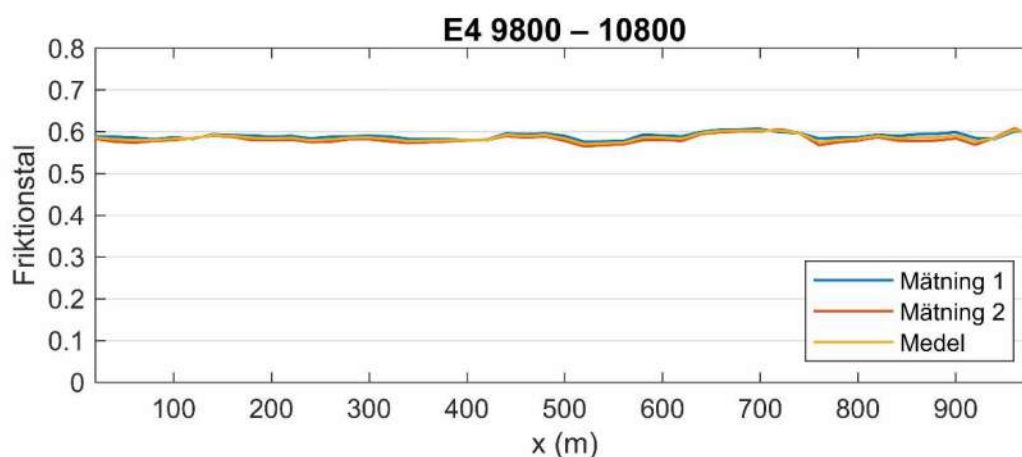
Figur 47. Friktionsmätning på E4 länsgränsen–Järna, 900–1900 m.



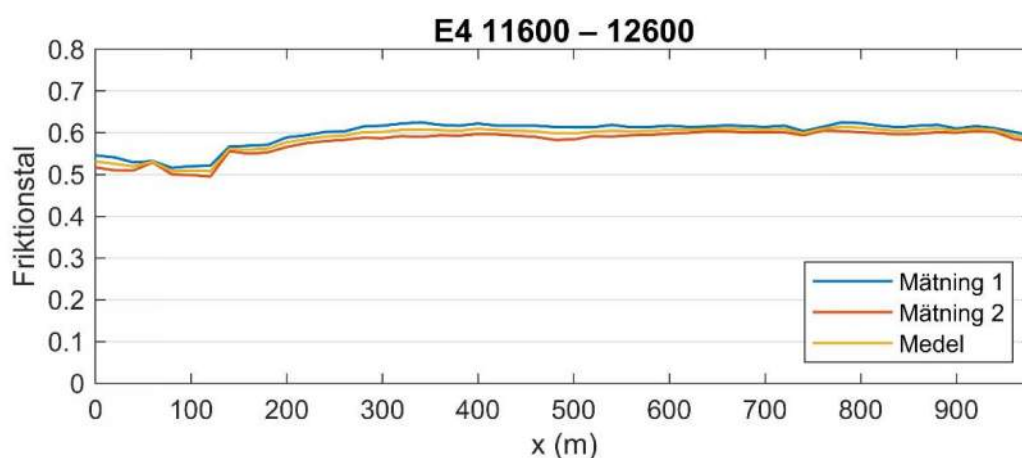
Figur 48. Friktionsmätning på E4 länsgränsen–Järna, 3000–4000 m.



Figur 49. Friktionsmätning på E4 länsgränsen–Järna, 6200–7200 m.

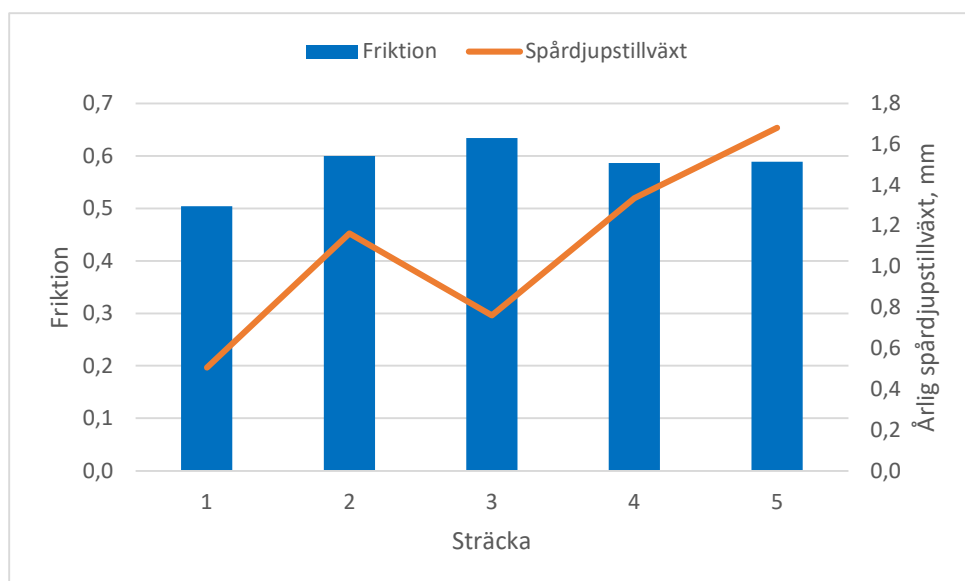


Figur 50. Friktionsmätning på E4 länsgränsen–Järna, 9800–10800 m.



Figur 51. Friktionsmätning på E4 länsgränsen–Järna, 11600–12600 m.

Av ovanstående figurer framgår att friktionen på Sträcka 1 är den som är lägst och ligger precis på gränsvärdet 0,5 över hela sträckan. Stenmaterialet är detsamma som på E4/E20 där problem med polering sedan tidigare konstaterats efter en inträffad olycka. Friktionen är alltså på Sträcka 1 strax innan dubbdäckstrafik tillåts kritiskt låg, trots att det handlar om motorväg utan tvära kurvor eller partier där fordon tvingas accelerera eller bromsa något speciellt. Den låga friktionen tros därför kunna kopplas till en poleringseffekt som är en effekt av det hårda stenmaterial som använts på sträckan (kkv = 5, se Tabell 10). Friktionen på sträckorna 2–5 ligger mestadels kring 0,6 som anses tillräckligt. Det genomsnittliga friktionsvärdet över respektive sträcka plottas som staplar i Figur 52. I figuren plottas även den genomsnittliga spårdjupstillväxten över samma sträckor över åren 2017–2021. Där framgår att även spårdjupstillväxten är lägst för Sträcka 1, detta då slitlagret lagts med en hård (och poleringsbenägen) sten i slitlagret.



Figur 52. Uppmätta medelfriktionsvärden för de olika sektionerna på E4 mellan AB/D länsgräns och Järna redovisas som staplar mot den vänstra y-axeln. Årlig spår djupstillväxt för respektive sträcka visas med orange linje mot den högra y-axeln.

3.3. Infartsleder runt Stockholm

Friktionen mättes också på tolv sträckor kring Stockholm. Sträckorna ligger på stora trafikleder med stora trafikvolym. Det är genomgående högratifierade sträckor där slitlagrets ballast består av hårt material med lågt kulkvarnsvärde. Sträckorna valdes ut tillsammans med representanter från Trafikverket och alla tillgängliga data från PMSv3 gällande vägarna redovisas i Tabell 11. På sju av de tolv sträckorna genomfördes dubbla friktionsmätningar och på resterande fem objekt gjordes endast enkla mätningar. Varje enskild friktionsmätning finns redovisade i figurerna i detta kapitel.

Tabell 11. Alla tillgängliga data för infartsledningarna kring Stockholm där friktion uppmätts.

Sträcka	Start (m)	Stopp (m)	Bel.år	Bitumen	Max. stenstrl.	kkv	LA	Prall	ÅDT	ÅDT _t
E4/E20 Essingeleden (Hägersten), K1N	52409	52779	2019	PMB 45/80-55	16	6,0		20	6731	5380
E4/E20 Essingeleden Norra länken, K1N	57725	58506	2018	PMB 45/80-55	16	6,0		20	3600	3800
E4/E20 Bredäng, K2N	46642	47505	2019	PMB 45/80-55	16	6,0	15		6162	7000
Rinkebytunneln, K1N	90694	91198							3425	3420
Rinkebytunneln, K2S	28751	29253							3576	3570
Rv 75 Södra länken vid avfart Rv 73, K1V	2194	2673	2017	PMB	16	6,0			2886	2310
E4/E20 Efter Eugenia mot Haga Norra, K1N	60038	61189	2014	B 50/70	16	6,0	15	24	7055	5640
E4/E20 Kungens kurva, K2N	42300	45300	2020	B 70/100	16	7,0			5667	6115
E4/E20 Kungens kurva, K2S	56600	59600	2019	B 70/100	16	7,0			5667	6010
E4 Häggvik K2N	69900	72900	2017	B 50/70	16	7,0			5337	5885
E4 Häggvik K2S	29000	32000	2014	GMB 30/60-55	16				5313	5815
E18 Ramp från E4/E18 (Kymplingelänken, K1N	86870	88330							3404	3400

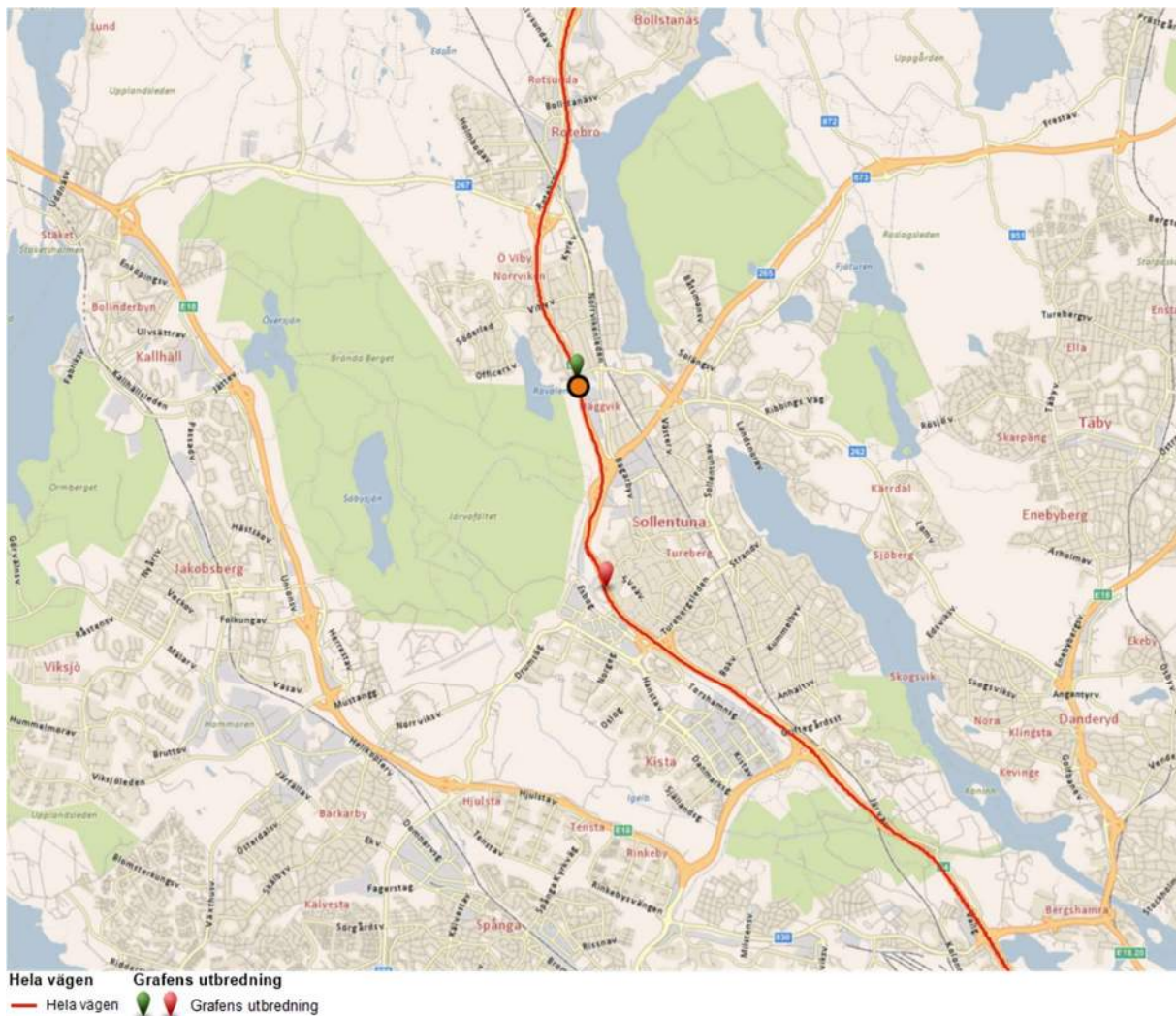
Resultaten från friktionsmätningarna på infartslederna kring Stockholm sammanfattas i Tabell 12. Tabellen sammanfattar sträckornas medelfriktion samt uppmätta minsta och största värden. Slutligen redovisas även hur stor del av de insamlade mätvärdena som ligger under gränsvärdet för låg friktion (< 0,5) för respektive sträcka. För de sträckor där dubbla mätningar genomförts är det medelvärdena för de två mätomgångarna som används i Tabell 12. Tre av tolv sträckor har en medelfriktion som understiger gränsvärdet på 0,5. Endast tre sträckor uppvisar friktionsvärden över gränsvärdet på hela sträckan, dvs. att de har ett minimum-värde större än 0,5. Två sträckor visar även upp friktionsvärden under gränsvärdet över hela sträckorna.

Tabell 12. Uppmätta friktionsvärden för infartslederna kring Stockholm.

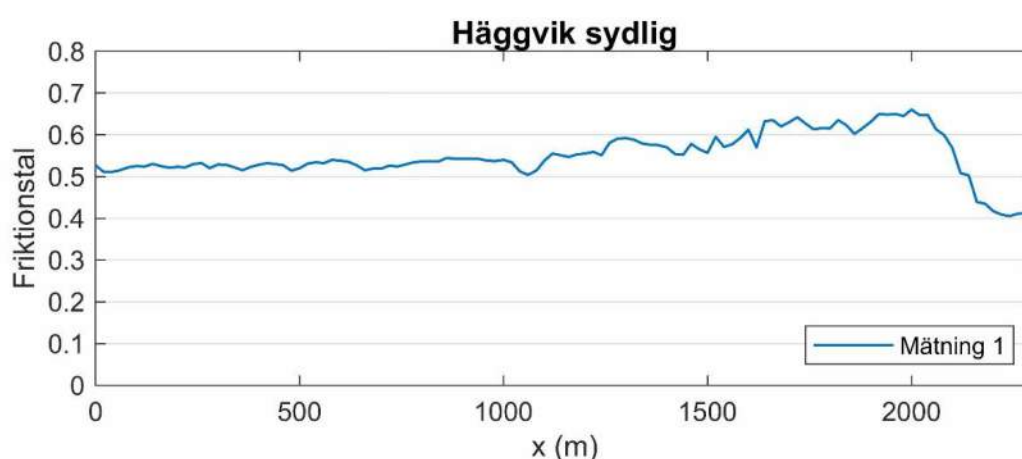
Sträcka	Medel	Min	Max	fr<0,5
Häggvik sydlig	0,549	0,404	0,660	7%
Häggvik nordlig	0,509	0,399	0,673	41%
Kymlingelänken ramp	0,589	0,500	0,674	0%
Rinkebytunneln sydlig	0,441	0,421	0,469	100%
Rinkebytunneln nordlig	0,463	0,431	0,541	92%
Södra länken	0,519	0,507	0,540	0%
Essingeleden (Hägersten)	0,504	0,484	0,521	37%
Essingeleden (Norra länken)	0,473	0,444	0,498	100%
Eugenia (efter tunneln)	0,562	0,542	0,576	0%
Bredäng	0,541	0,478	0,593	7%
Kungens kurva sydlig	0,514	0,412	0,574	32%
Kungens kurva nordlig	0,553	0,363	0,771	57%

Varje individuell mätsträcka finns utmärkt i kartbilder tillsammans med resultat för friktionsmätningarna i direkt anslutning bland Figur 53–Figur 75.

Längs E4 i sydlig riktning i höjd med Häggvik ligger friktionen strax över gränsvärdet 0,5. Enligt PMSv3 ligger det i slutet av sträckningen en annan typ av beläggning, en ABS 16 med B 70/100, och där visar även friktionsmätningen ett avvikande resultat. Vägens sträckning visas i Figur 53 och resultat från friktionsmätningen i Figur 54.

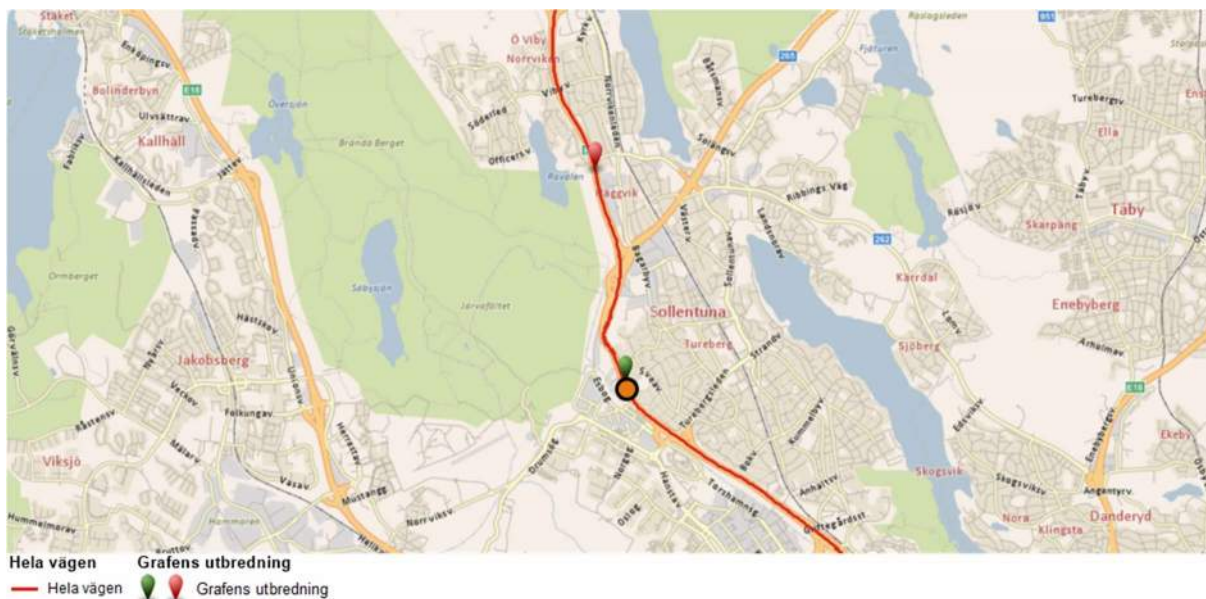


Figur 53. Friktionsmätningens sträckning längs E4 förbi Haggvik i sydlig riktning. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.

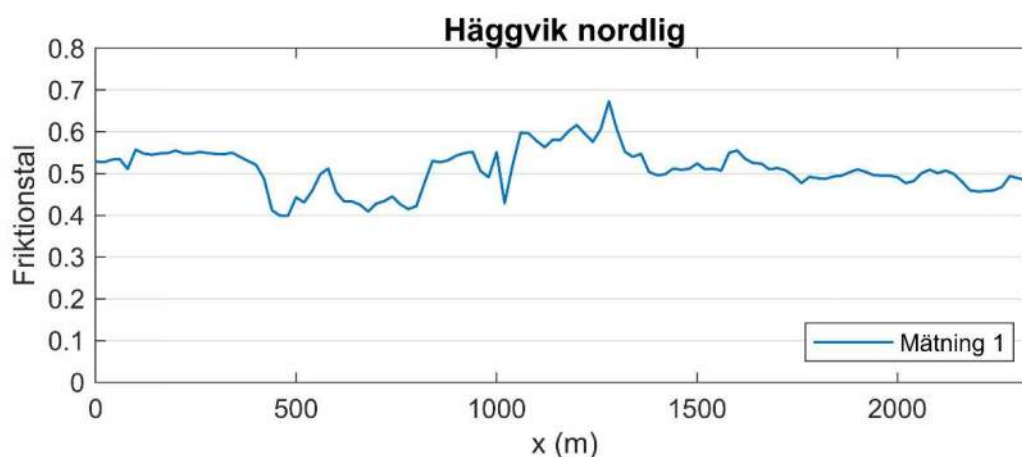


Figur 54. Friktionsmätning Haggvik sydlig.

Samma sträckning i motsatt riktning visas i kartan i Figur 55 och resultat från friktionsmätningen i Figur 56. Resultatet från mätningen visar en friktion där medelvärdet ligger runt 0,5 men samtidigt att friktionen över några hundra meter ligger betydligt lägre, runt 0,4.

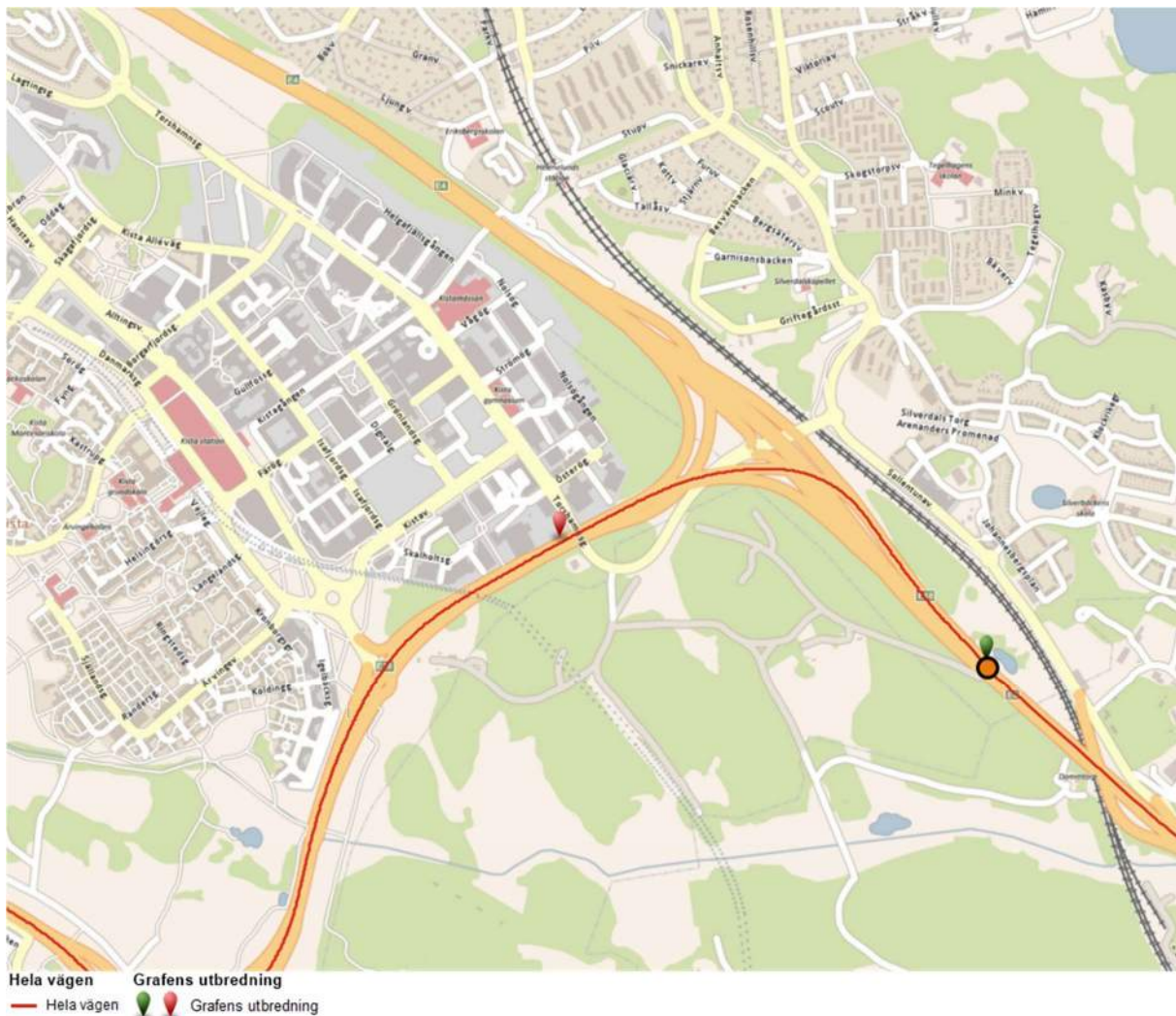


Figur 55. Friktionsmätningens sträckning längs E4 förbi Haggvik i nordlig riktning. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.

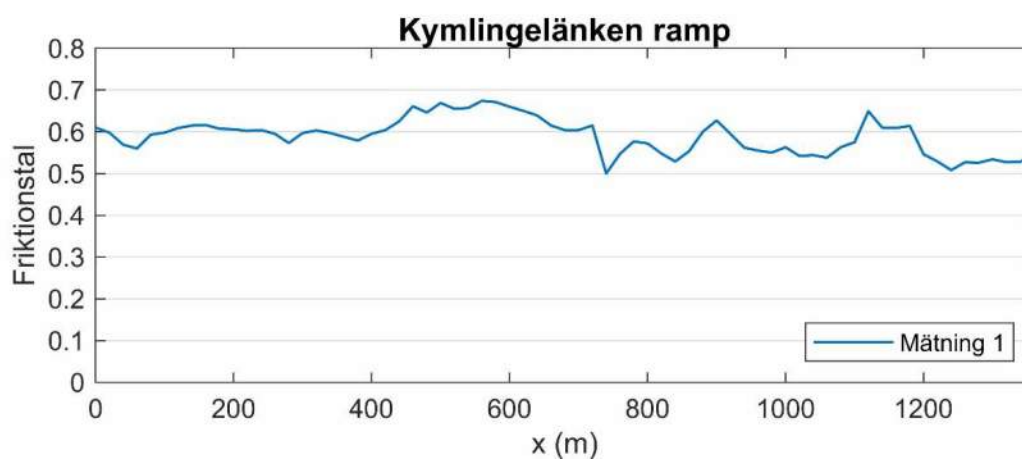


Figur 56. Friktionsmätning Haggvik nordlig.

Längs Kymlingelänkens ramp mättes friktionen upp till ca 0,6. Rampen ligger en relativt snäv kurva men friktionen ligger alltså ovanför gränsvärdet längs hela den uppmätta sträckan. Rampens läge på kartan visas i Figur 57 medan friktionsresultaten redovisas i Figur 58.



Figur 57. Friktionsmätningens sträckning längs Kymlingelänken på E18 i riktning mot Oslo. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.



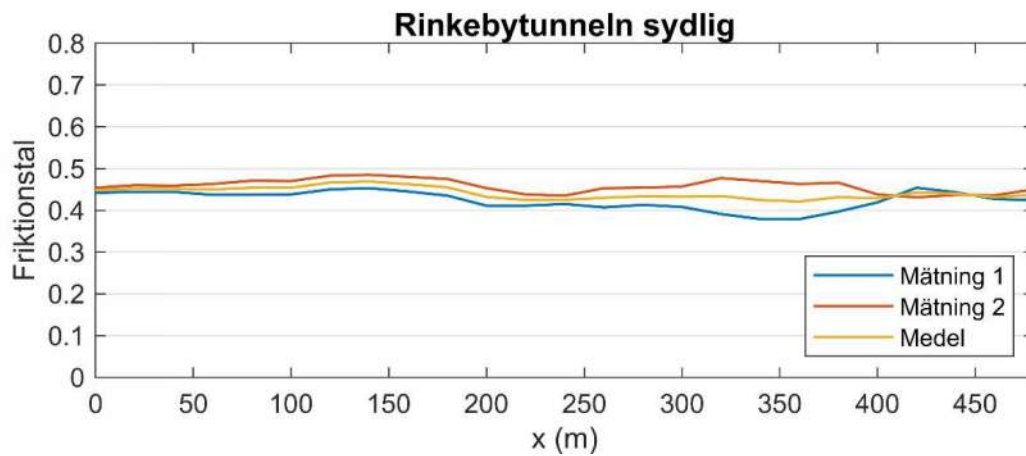
Figur 58. Friktionsmätning Kymlingelänken.

I Rinkebytunneln uppmättes låg friktion genom hela tunneln på knappt 500 m. Dubbla mätningar resulterade i att samtliga resultat hamnade under gränsvärdet i riktning in mot stan (sydlig) medan endast ett fåtal mätvärden var över gränsvärdet i riktning ut ifrån stan (nordlig). Mätningarnas start-

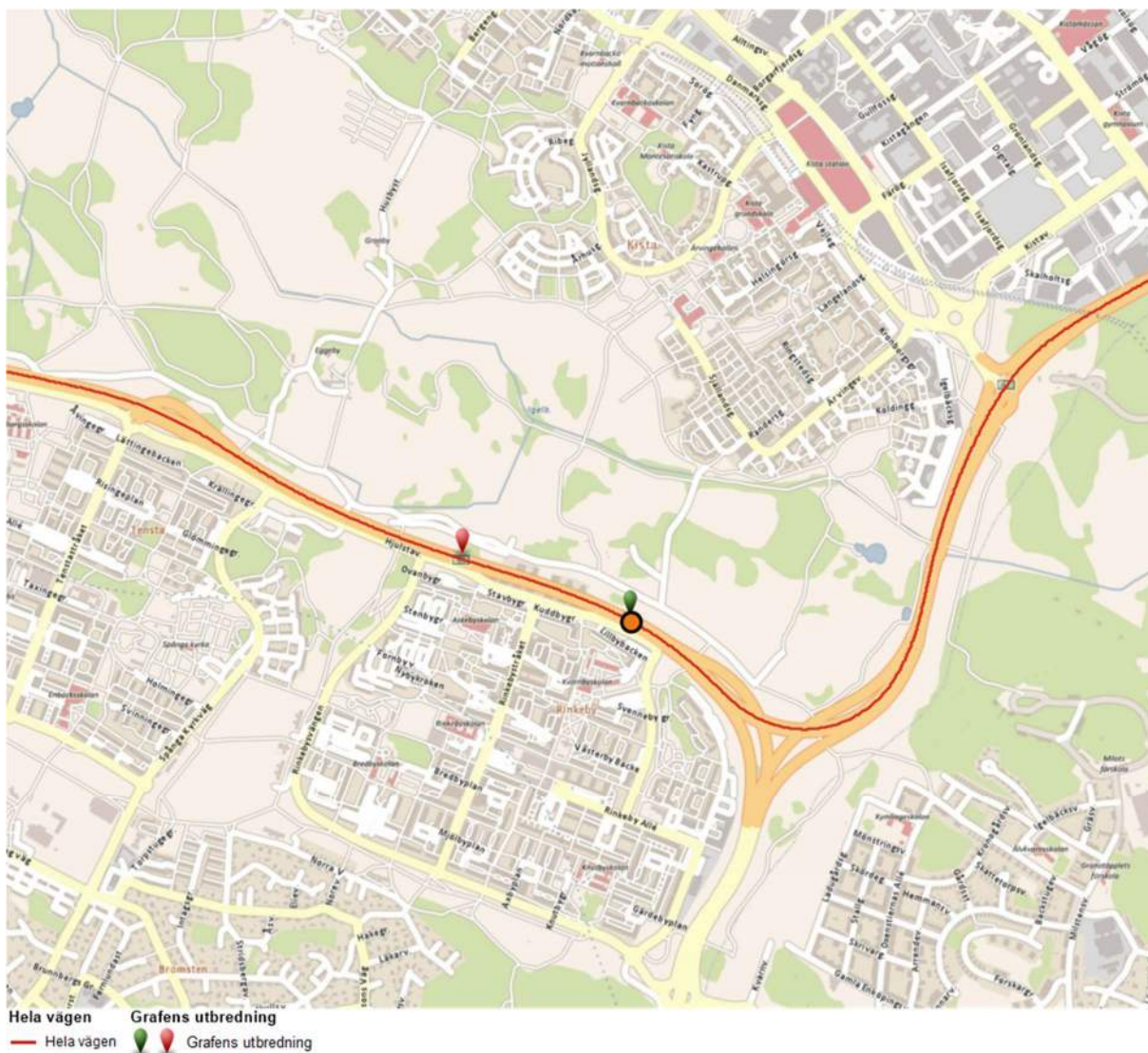
och slutpunkter samt tillhörande resultat redovisas i sydlig riktning i Figur 59 respektive Figur 60 och i nordlig riktning i Figur 61 respektive Figur 62.



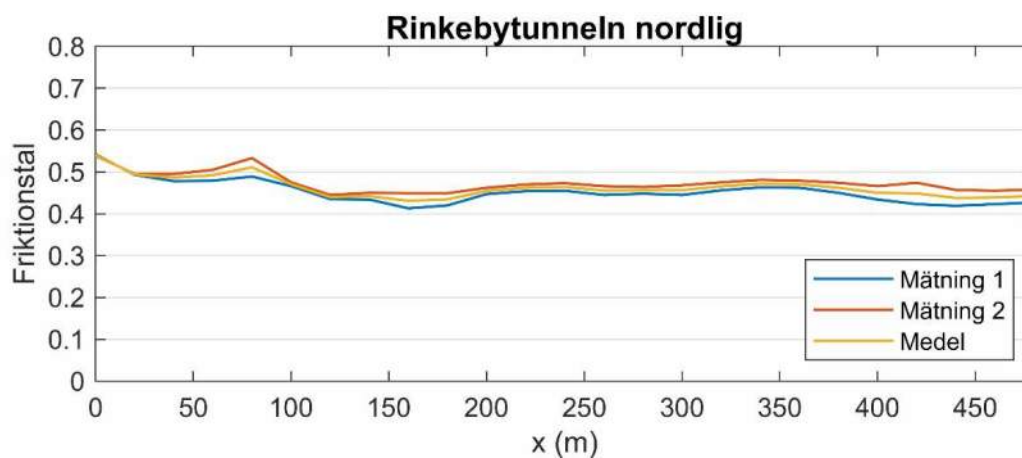
Figur 59. Friktionsmätningens sträckning genom Rinkebytunneln på E18 i riktning mot Stockholm. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.



Figur 60. Friktionsmätning Rinkebytunneln sydlig.



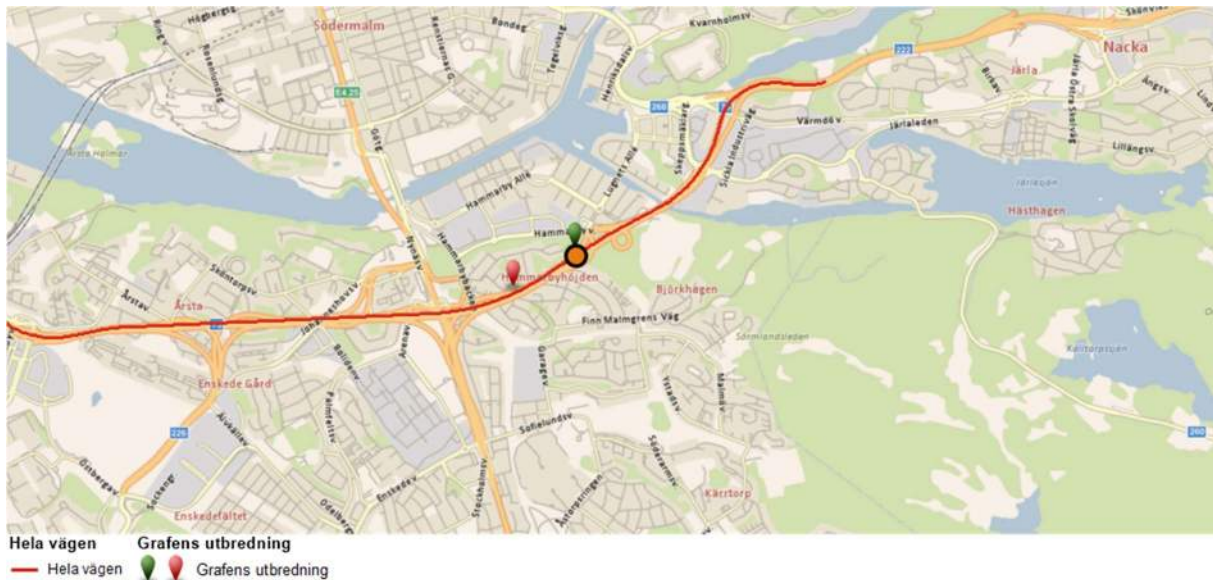
Figur 61. Friktionsmätningens sträckning genom Rinkebytunneln på E18 i riktning mot Oslo. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.



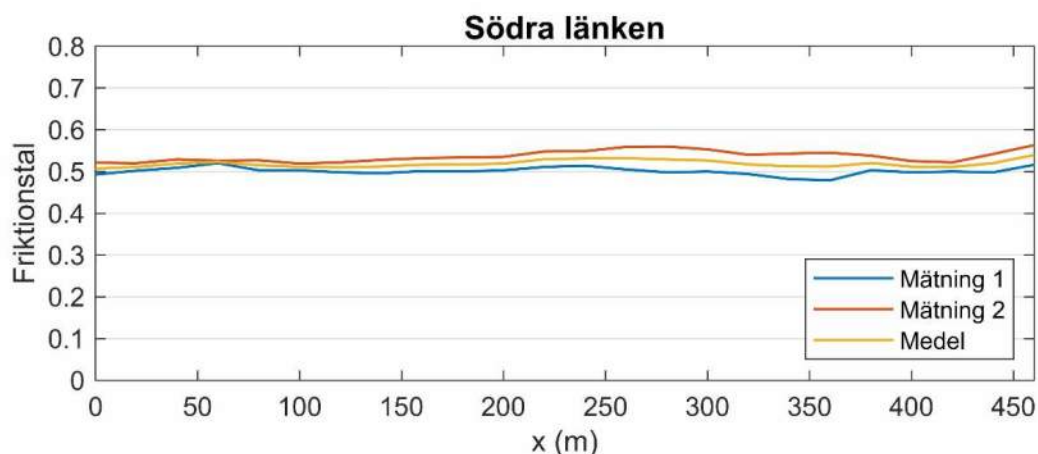
Figur 62. Friktionsmätning Rinkebytunneln nordlig.

I Södra länken uppmättes friktionsvärden runt 0,5 längs hela teststräckan. Sträckan ligger i tunnel och är alltså extra utsatt för polering i och med att damm och partiklar inte spolats bort i samma

utsträckning som utanför tunneln och dammet fungerar som ett polermedel. Teststräckans läge visas i Figur 63 och resultaten från friktionsmätningarna i Figur 64.



Figur 63. Friktionsmätningens sträckning på Rv 75 i västlig riktning genom Södra länken. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.

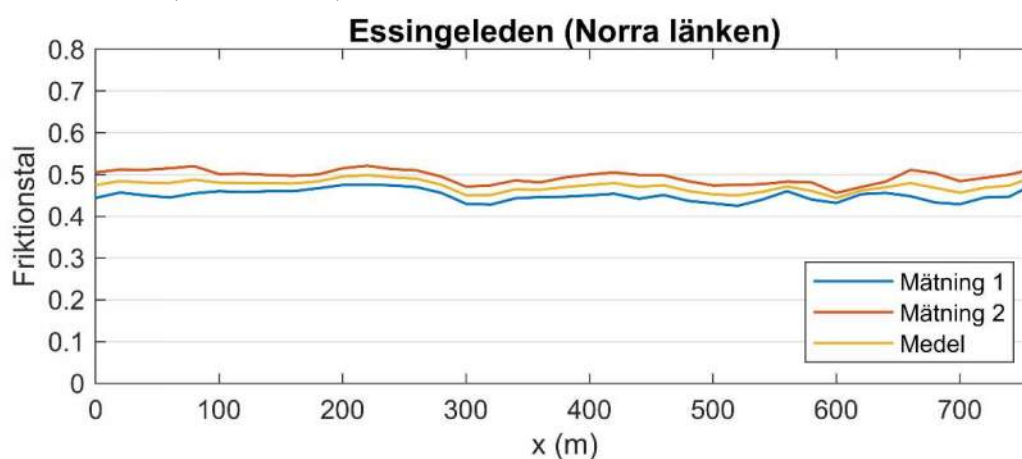


Figur 64. Friktionsmätning Södra länken.

Essingeleden i nordlig riktning strax innan Norra länken är en av de två sträckor där mätvärdena utmed hela sträckningen hamnade under gränsvärdet. Det genomsnittliga resultatet av två körningar ligger mestadels mellan 0,45 och 0,5. Sträckan visas utmarkerad på en karta i Figur 65 och resultaten från körningarna i Figur 66.



Figur 65. Friktionsmätningens sträckning på Essingeleden strax innan Norra länken. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.

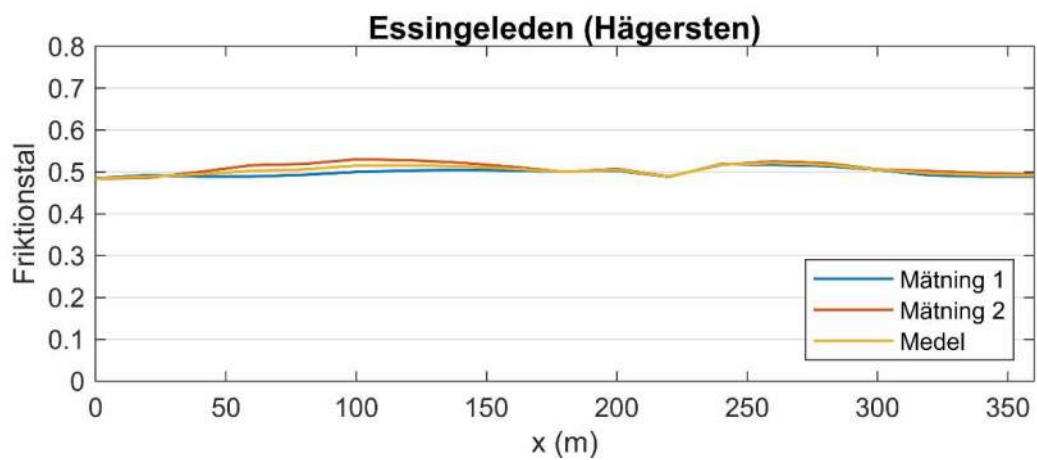


Figur 66. Friktionsmätning Essingeleden i Norra länken.

Längs Essingeleden i höjd med Liljeholmen mättes friktionen över drygt 350 m där resultaten visar en friktion som ligger stadigt kring gränsvärdet 0,5. Karta med sträckan utmärkt visas i Figur 67 och resultaten utmed sträckningen redovisas i Figur 68.

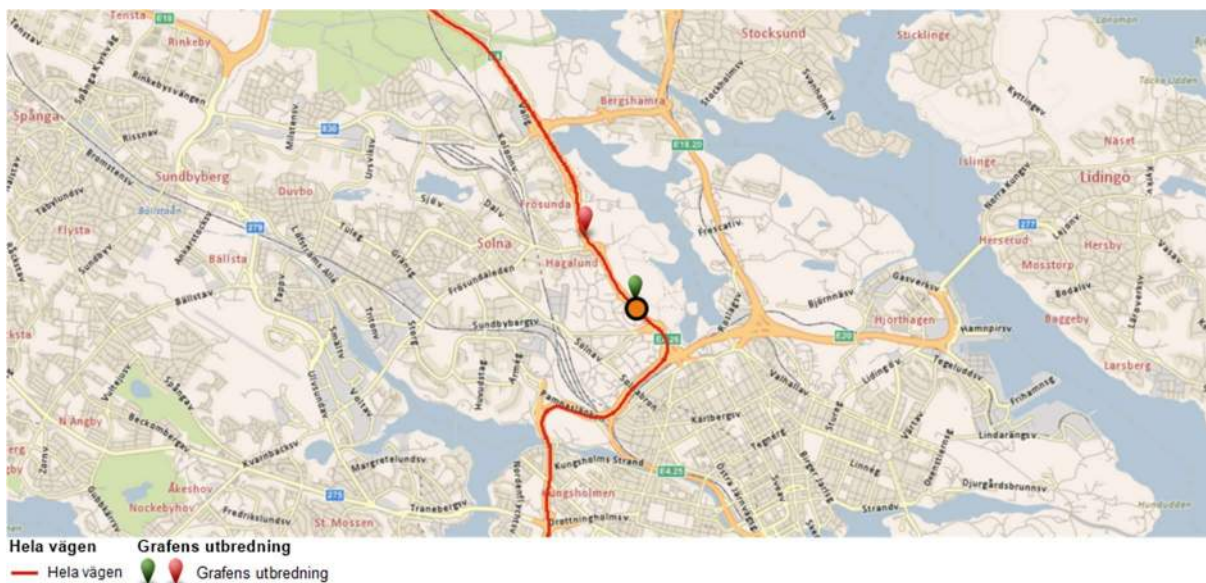


Figur 67. Friktionsmätningens sträckning på Essingeleden förbi Liljeholmen söder om Stockholm. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.

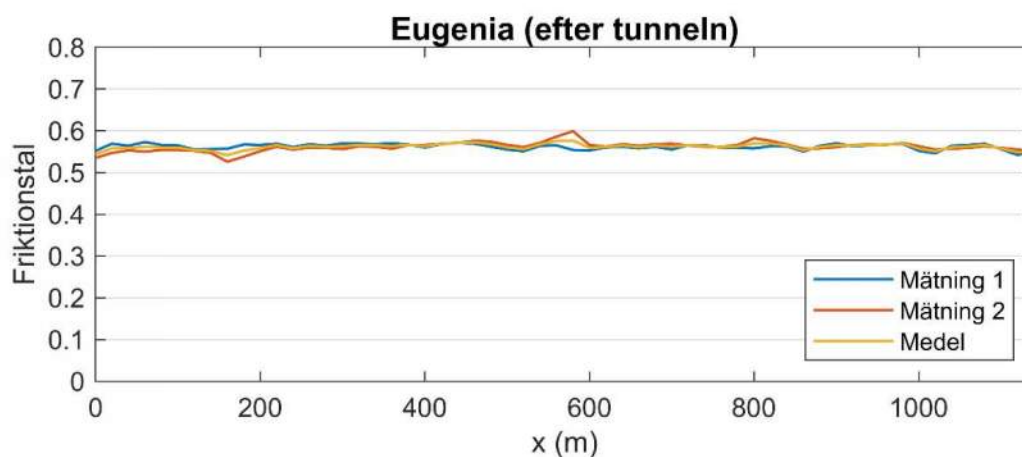


Figur 68. Friktionsmätning Essingeleden förbi Hägersten.

Mätsträckan längs E4 efter Eugeniattunnel i riktning norrut visas i kartan Figur 69. Resultaten från mätningarna redovisas i Figur 70 och ligger stadigt runt 0,55 med samtliga resultat över gränsvärdet.

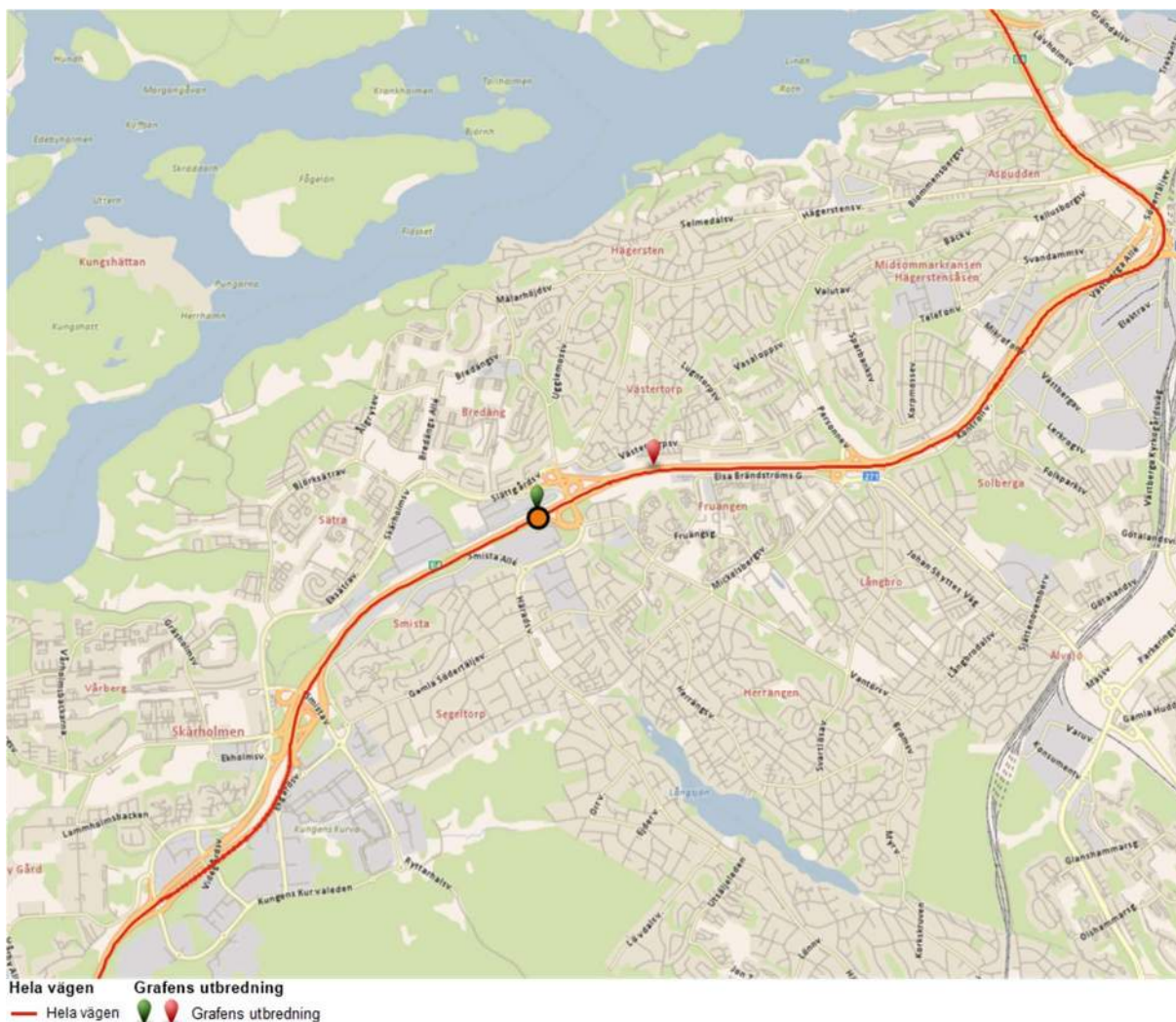


Figur 69. Friktionsmätningens sträckning på E4/20 i nordlig riktning strax efter Eugeniattunneln. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.

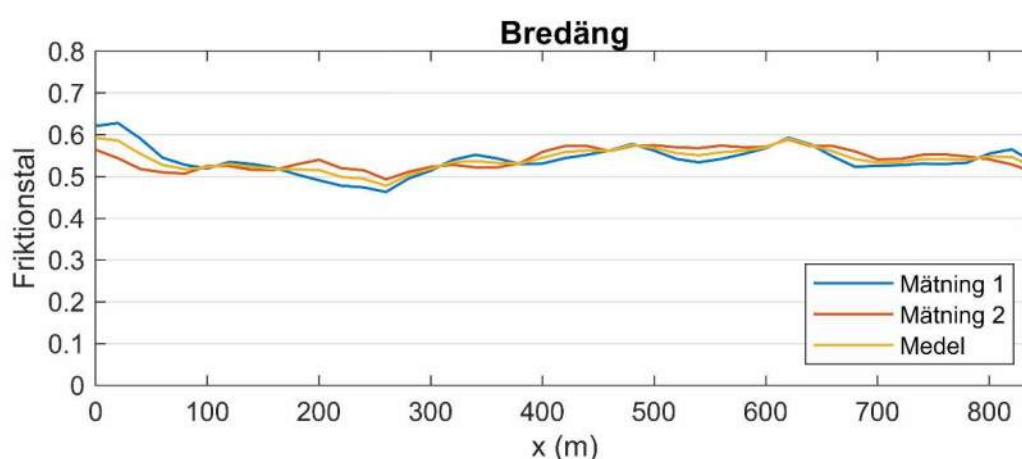


Figur 70. Friktionsmätning Eugenia efter tunneln.

Dubbla friktionsmätningar utfördes på E4 i nordlig riktning i höjd med Bredäng. Sträckningen framgår av Figur 71. Resultaten från de ca 850 m långa mätningarna visar en friktion som varierar mellan 0,5 och 0,6 med några resultat under den kritiska gränsen. Resultaten redovisas i diagrammet i Figur 72.



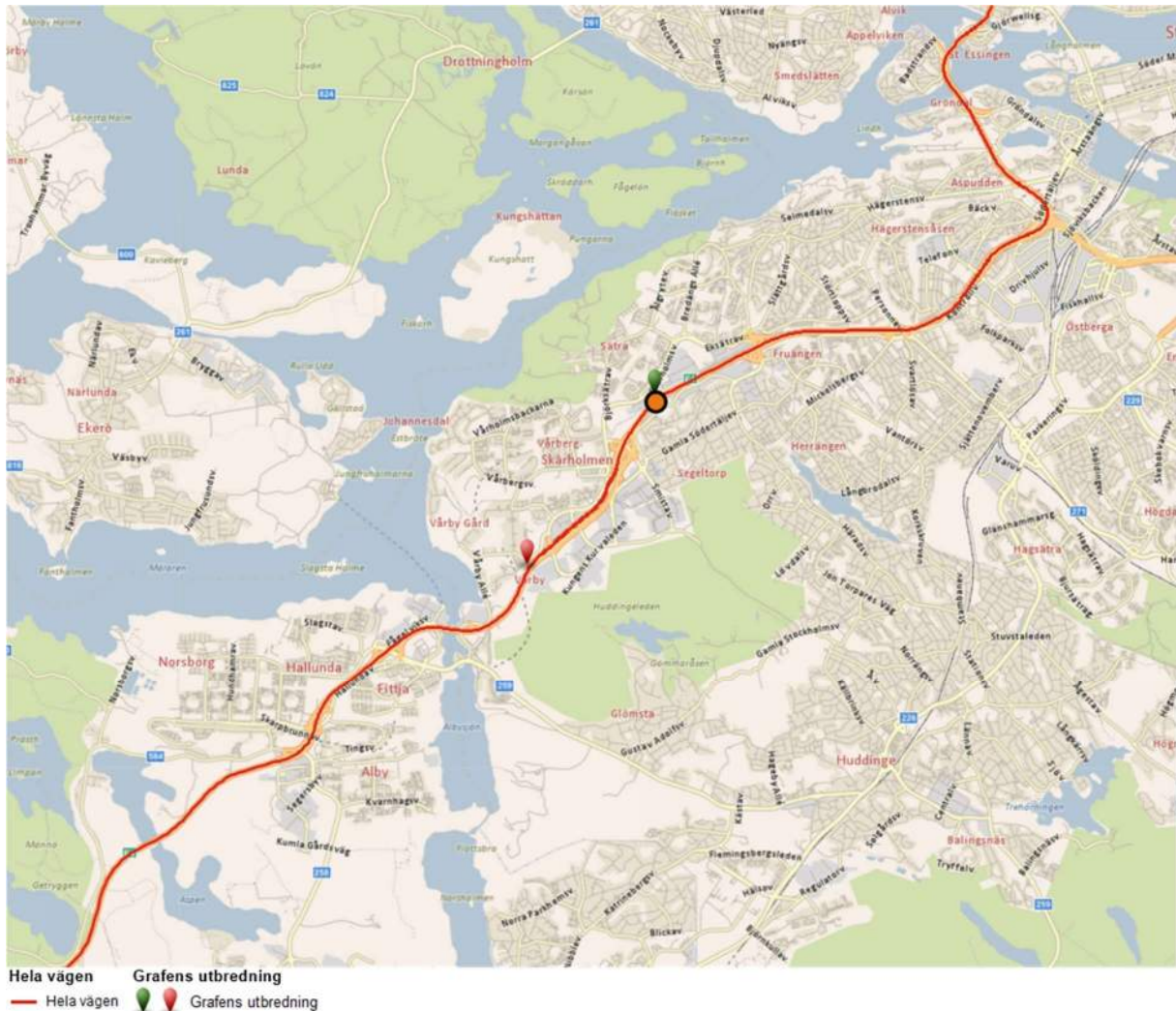
Figur 71. Friktionsmätningens sträckning på E4 förbi Bredäng i nordlig riktning söder om Stockholm. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.



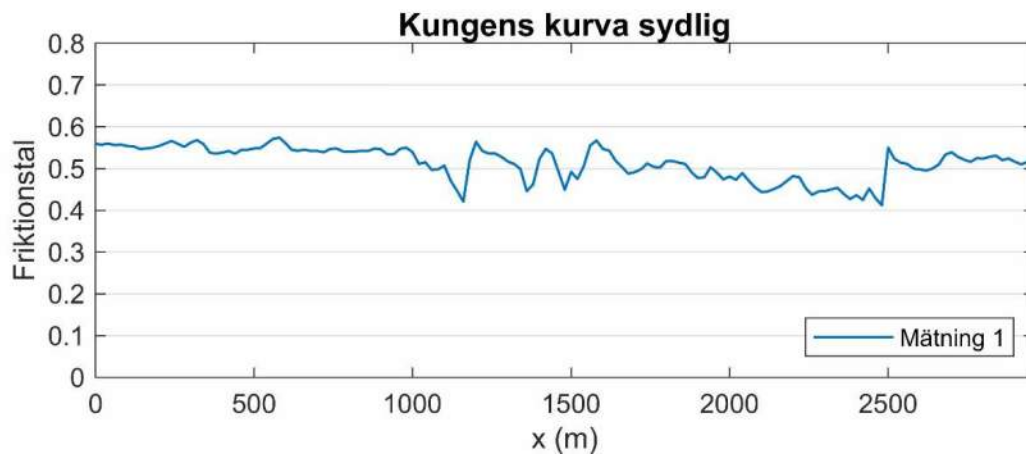
Figur 72. Friktionsmätning Bredäng.

Friktionsmätningar har även utförts på E4 längs en sträckning om 3 km i höjd med Kungens kurva i såväl nordlig som sydlig riktning. Mätningarnas start- och slutpunkter i sydlig och nordlig riktning framgår av kartbilderna i Figur 73 respektive Figur 75. Resultaten från körningen i sydlig riktning framgår i Figur 74 och visar att friktion mestadels ligger mellan 0,4 och 0,55 med ca en tredjedel av

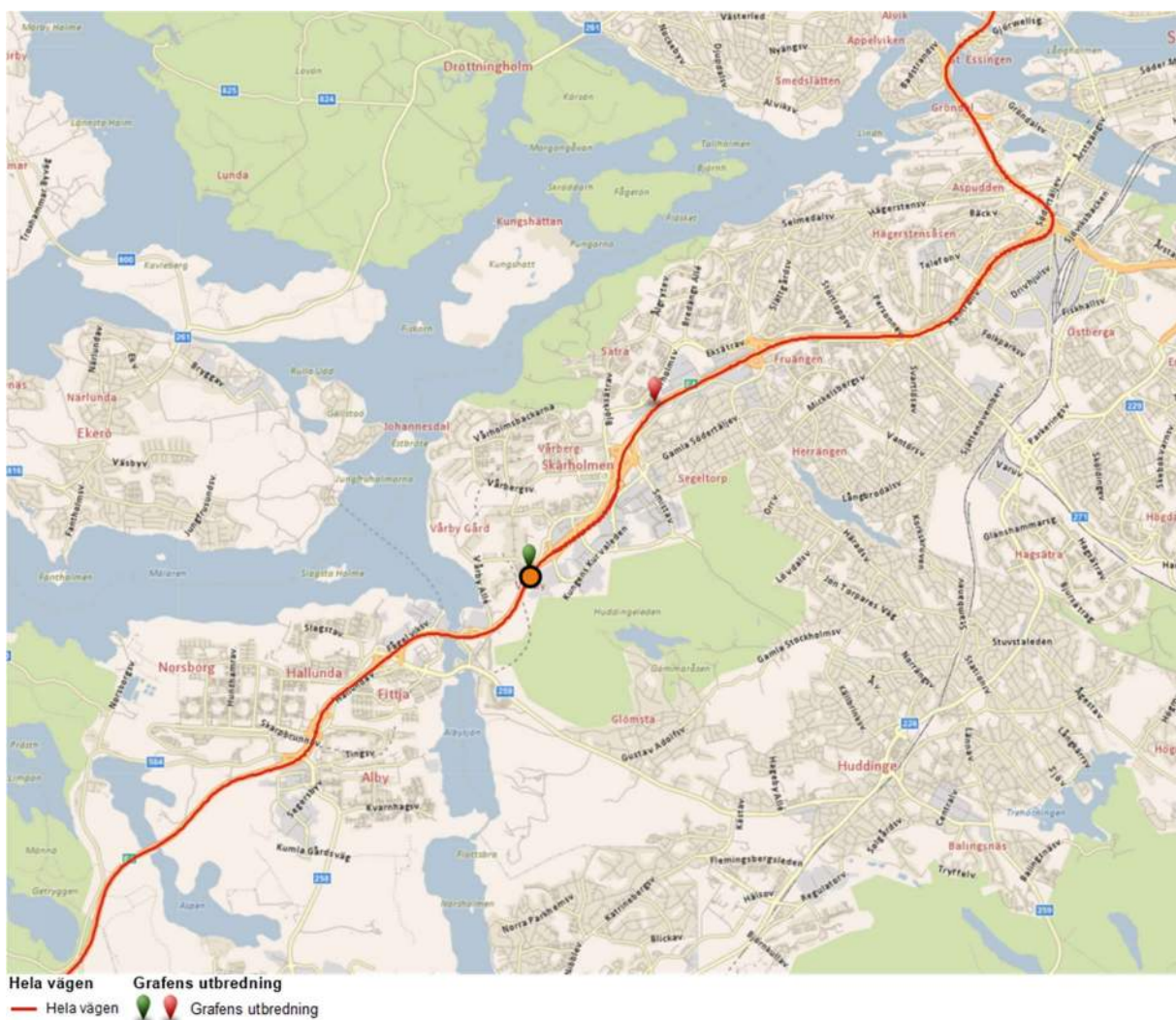
mätvärdena under gränsvärdet. Resultaten i nordlig riktning redovisas i Figur 76 där det framgår att friktionen mestadels ligger mellan 0,4 och 0,55. Några värden är lägre än 0,4 vilket motsvarar en mycket låg friktion. Efter ca 1800 m händer dock något och friktionen ökar drastiskt upp till värden runt 0,75. Från PMSv3 framgår att denna sektion väl överensstämmer med ett skifte av beläggning. Beläggningen efter denna sektion är en äldre beläggning från 2011.



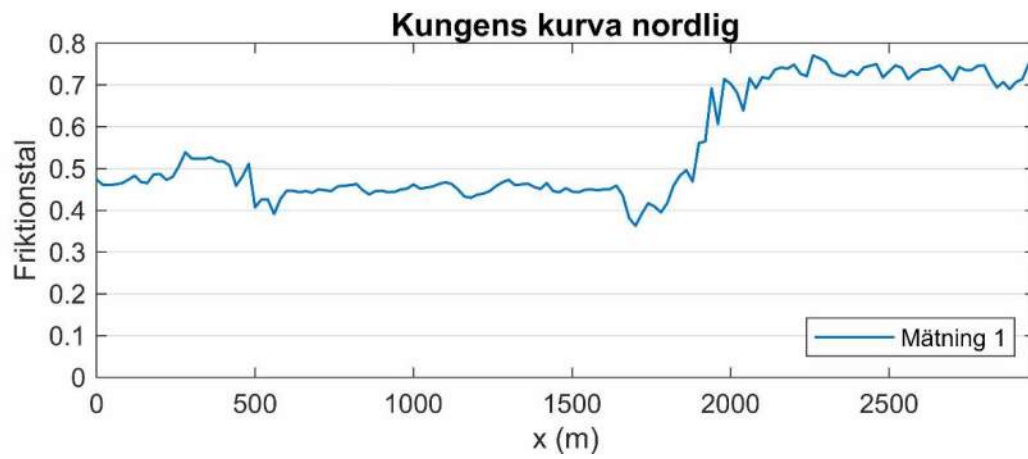
Figur 73. Friktionsmätningens sträckning på E4 förbi Kungens kurva i sydlig riktning. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.



Figur 74. Friktionsmätning Kungens kurva sydlig.



Figur 75. Friktionsmätningens sträckning på E4 förbi Kungens kurva i nordlig riktning. Kartbilden hämtad från PMSv3, Trafikverket, 2022-04-29.



Figur 76. Friktionsmätning Kungens kurva nordlig.

4. Olycksstatistik

Föreliggande projekt initierades efter en uppmärksammas olycka vid Kungens kurva där problem med polering har kunnat konstateras. För att undersöka problemet med olyckor orsakade av låg friktion som en följd av polering har ett uttag gjorts ifrån Transportstyrelsens databas Strada. I Strada samlas information från polis om olyckor med personskada med information från akutsjukhus gällande personer som uppsökt sjukvård för skador man ådragit sig i vägtrafikmiljö.

För detta projekt gjordes ett uttag gällande alla rapporterade fordonsolyckor på E4 i Stockholms län under åren 2016–2020. Vägavsnittet valdes då vägytan består av högkvalitativ ballast och eftersom det är det mest trafikerade i landet och risken för polering är betydande. Utifrån det uthämtade materialet sattes några kriterier utifrån de listade kategorier som finns angivna i datauttaget, i syfte att grovsortera bort olyckor som inte orsakats av låg friktion till följd av polering. Olyckor som inträffat under vintermånaderna med vinterväglag sorterades bort. Vidare filtrerades olyckor bort där förare rapporterats som onyktra eller ha somnat bakom ratten. Kvar i litsan blev ca 1500 olyckor som gick igenom för att studera det händelseförloppet som rapporterats för respektive olycka. De allra flesta av de kvarvarande incidenterna kan därefter sorteras bort då det rapporterade händelseförloppet kan vittna om t.ex. höga hastigheter, ouppmärksamma förare, vårdslöst framförda fordon osv.

Resultatet för den genomförda sökningen blev 26 olyckor över åren 2016–2020 där vägbanan varit våt eller fuktigt vid olyckstillfället, inget i händelseförloppet tyder på att olyckan skulle kunnat förutses utan att föraren utan förklaring har tappat fästet från vägen. De rapporterade olyckorna fördelar sig över de studerade åren enligt Tabell 13.

Tabell 13. Rapporterade olyckor där det varit vått väglag och där händelseförloppet inte tyder på någon annan olycksorsak än att föraren tappat fästet till följd av låg friktion.

År	2016	2017	2018	2019	2020
Antal olyckor	2	7	7	9	1

Det studerade underlaget är dock mycket litet och omöjligt att dra några säkra slutsatser utifrån. I de flesta fall är händelseförloppet inrapporterat av polistjänsteman på plats och alltså inte av någon som i något särskilt avseende har erfarenhet av vägytans beskaffenhet. Även om några definitiva olycksorsaker inte kan fastställas ska det noteras att det finns ett antal incidenter som är intressanta utifrån ett friktions- och poleringsperspektiv. För att få några säkra data skulle det dock krävas en mer regelbunden systematisk undersökning vid olyckor vid barmarksförhållanden där orsaken misstänks vara låg friktion.

5. Diskussion och fortsatta studier

I föreliggande förstudie har ett antal potentiella faktorer identifierats som påverkar uppruggning från dubbdäck samt ökar polering på högkvalitativa beläggningar.

I Sverige har hittills en allmän uppfattning varit att polering och friktionsproblem på barmark är ringa för svenska förhållanden. Kända problem med låg friktion till följd av polering har fram till idag nästan uteslutande varit fokuserade till utsatta vägvägningsplatser såsom cirkulationsplatser eller snäva kurvor. Under senare år har det kunnat observeras att allt fler utsatta sträckor har skyltats med skylt A10 ”Varning för slirig väg” med tilläggstavla T22 ”Vid våt vägbana”, framför allt under hösten, vilket kan indikera ett ökande problem med polering. Denna skyltning används vanligtvis för att varna om låg friktion. Uppfattningen att problem med polering är något som förekommer endast vid utsatta områden kan dock behöva omprövas framöver, framför allt för vägar med hög trafikmängd där högkvalitativa stenmaterial använts i slitlager.

Upprepade friktionsmätningar från E4/E20, i höjd med Kungens kurva, har indikerat att förväntad uppruggning inte erhållits efter vinterperioden. Istället har en ny sommarsäsong med fortsatt polering tagit vid och ytterligare minskat friktionen. Friktionshöjande åtgärder (slipning och fräsning) som senare utförts på sträckan har dessutom visats ha haft mycket kort livslängd (< 1 år).

Friktionsmätningar som genomförts inom ramen för projektet på olika vältrafikerade leder runt Stockholm visar att problemet med låg friktion förekommer på ett flertal av de testade sträckorna.

Vad den minskande uppruggningen av slitlagerbeläggningarna beror på är en kombination av olika faktorer. Några av dessa identifierade faktorer anges i listan nedan.

- Ny generation dubbdäck med mindre aggressiva dubb och minskat slitage/uppruggning med upp till ca 20 %
- Kraftigt minskad dubbdäcksandel (minskning med nästan 20 procentenheter i Stockholm de senaste 10 åren)
- Ökande trafikmängder med friktionsdäck
- Friktionsdäck ger ökad polering även under vintermånaderna
- Höga krav på slitstarka stenmaterial samt begränsad spårutveckling medför användning av poleringsbenägna material
- Tyngre och starkare fordon (starkare motorer, eldrift ger högre vridmoment)

Eftersom en vägbeläggning skall uppfylla flera krav samtidigt måste en kompromiss av egenskaper utföras. Normalt krävs slitstark beläggning för att uppfylla ställda funktionskrav. Porfyr har ca 30 % bättre slitageegenskaper än kvartsit, varför porfyr är vanligt förekommande på mycket trafikerade vägar. Slitstarka bergarter som t.ex. porfyr och kvartsit medför även bättre luftkvalitet då mindre mängd hälsovådligt vägdamm/vägp Partiklar bildas. När beläggningar med stenmaterial innehållande kvartsit slits, bildas damm innehållande kvartspartiklar vilka är hälsovådliga.

Eftersom stenmaterialens slitstyrka och poleringsresistens står i motsatsförhållande måste en avvägning av dessa funktioner göras. Beläggningar med slitstarka stenmaterial och större stenstorlek som uppvisar lågt slitage har kunnat användas i Sverige just eftersom dubbdäcken ruggat upp materialet så att friktionen ökar igen under vintern. Då denna uppruggning nu verkar minska eller helt utebli på grund av förändrade förutsättningar blir resultatet ökad polering och lägre friktion. I detta fall har de uppruggande dubbdäcken blivit färre samtidigt som friktionsdäcken har sämre uppruggande egenskaper. Skulle däremot krav ställas på att stenmaterialet ska vara poleringsresistent skulle mjukare sten användas, poleringsproblematiken begränsas men samtidigt skulle slitaget öka.

Eftersom nya, hårdare krav på dubbdäck, som orsakar ännu mindre slitage, är på väg att införas 2025 (Traficom, 2021) så kommer uppruggningen sannolikt bli ännu mindre framöver då Transportstyrelsen i sina skrivelser anger att finskt typgodkännande ska gälla även för svenska däck (Transportstyrelsen, 2009). Nya generationers däck bör därför utvärderas även utifrån polering, t.ex. i VTI:s provvägsmaskin, för att kunna estimeras poleringseffekterna av dessa nya, mindre nötande dubbdäck. Om också användningen av dubbdäck fortsätter att minska kommer uppruggningen av slitstarka stenmaterial att minska. I takt med minskad dubbdäcksanvändning så ökar användningen av friktionsdäck vilket påskyndar poleringen ytterligare.

I dagsläget tillämpas i praktiken inga metoder att kontrollera ett stenmaterials poleringsbenägenhet i Sverige. Utländska metoder (PSV) har förkastats av Trafikverket då de inte rangordnar stenmaterial på ett tillämpligt sätt, slitstarka material såsom porfyr skulle diskvalificeras avseende polering och därmed inte kunna användas. I stället har det konstaterats att uppruggningen vintertid har fungerat för att hålla friktionen över gränsvärdet 0,5 över hela året.

Kravställningen på friktion är och har varit något komplicerad. Kravnivån, och om det ska utformas som ett krav eller endast som ett råd, har ändrats genom åren (Sjögren et al., 2020). I den nu gällande TDOK 2013:0529 finns dock att läsa:

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 20 m sträcka vara $\geq 0,50$. Friktionstalet ska bestämmas enligt TDOK 2014:0134, Bestämning av friktion på belagd väg.

Efter garantitiden finns alltså inget formellt krav på friktionsnivåer även om det som bedöms som låg friktion inom garantitiden, rimligen borde vara låg friktion även efter. Det ställda kravet verkar alltså utgå ifrån vem som är ansvarig och därmed skyldig att tillse att lägsta tillåtna friktion är uppfylld, inte ifrån att en lägre friktion skulle kunna innebära en trafiksäkerhetsrisk.

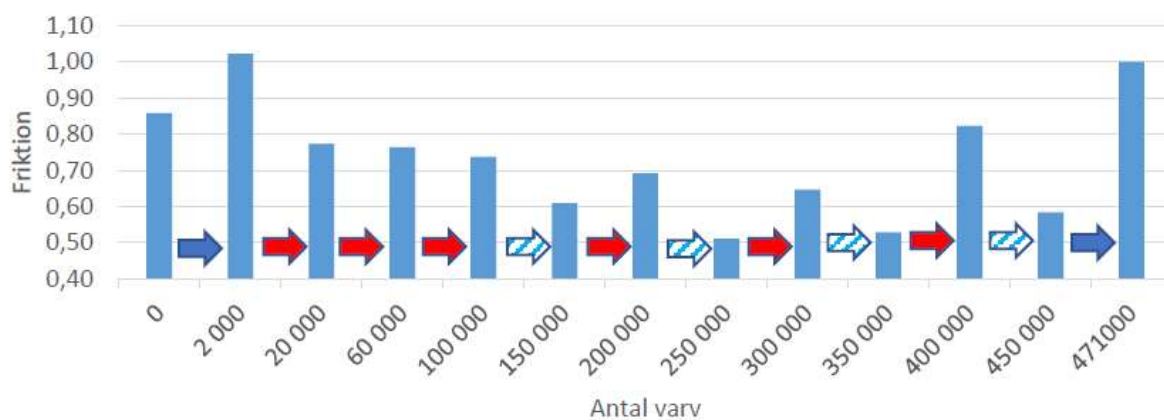
I TSFS 2021:122 står angivet vad olika vägvägningsnitt ska ha för lägsta friktionsvärde men direktiv om hur ofta och av vem mätningar ska utföras saknas.

Framtida krav och kravnivåer bör ses över så att en optimering kan göras utifrån relevanta parametrar, t.ex. friktion, slitage, livslängd, partiklar och buller. Om de nya dubbdäcken fortsätter att minska uppruggningen samt slitaget finns en potential att anpassa kravnivåer på beläggningsarna för de nya förutsättningarna. Minskat slitage medför ökad livslängd för beläggningsarna eftersom cyklerna för omläggning ökas vilket i sin tur minskar underhållskostnaderna. Vidare medför minskat beläggnings slitage att inandningsbara partiklar (PM_{2,5} och PM₁₀) minskar samt förbättrar miljön runt vägarna. Om slitaget minskar kan krav på slitstarka beläggningsarna eventuellt sänkas vilket medför att stenmaterial med lägre kvalitet kan användas vilket bidrar till lägre kostnader.

Minskad uppruggning kommer dock att leda till ökat problem med polering. För att hantera en eventuell utveckling mot ökad polering måste nya metoder tas fram för utvärdering av lämpliga stenmaterial samt beläggningsarna utifrån ett poleringsperspektiv. Idag saknas testmetoder för denna typ av utvärdering. Det finns dock potentiella metoder som bör utredas för svenska förhållanden (t.ex. Wehner-Schulze).

I en nyligen publicerad rapport (Arvidsson m.fl., 2019) diskuteras friktions- och texturutveckling på nya beläggningsarna, dess förändring över tid samt behovet av ytterligare kunskapsutveckling inom området. Vid försök i VTI:s provvägsmaskin alterneras körning med sommardäck, dubbdäck samt friktionsdäck och friktionen mättes med såväl pendel som VTI:s egen friktionsmätutrustning *Portable Friction Tester* efter givna överfartsintervall. Uppmätta friktionsvärden från ABS8 och ABS11-beläggningsarna redovisas i Figur 77 och indikerar som väntat att körning med dubbdäck ökar

friktionen. Körning med sommardäck sänker friktionen, initialt snabbt men sedan långsamt. Det är dock efter körning med friktionsdäck som uppmätt friktion hamnar på riktigt låga nivåer. När det sedan växlas mellan körning med sommar- och friktionsdäck framgår det tydligt att det friktionsdäck som polerar beläggning mest och att sommardäcket faktiskt åter höjer friktionen.



Figur 77. Friktionsutveckling i PVM efter givna överfartsintervall med sommardäck (röda pilar), dubbdäck (blå pilar) samt friktionsdäck (blåvit-randiga pilar) (Arvidsson m.fl., 2019).

Det föreligger ett antal områden där vidare utveckling behövs. För att undersöka vidden av problemet bör friktionsmätningar utföras på vägnätets nivå med ett bestämt intervall. Under 1990- och 2000-talen gjordes vid VTI upprepade friktionsmätningar på ett antal högtrafikerade vägar där friktionsvariationen kunde följas över året. Med liknande upprepade mätningar som också tillgängliggörs för allmänheten i t.ex. Trafikverkets PMSv3/PMSv4, skulle problemen med låg friktion också kunna kvantifieras och följas upp nu då förutsättningarna har förändrats.

Ett datauttag från STRADA studerades också inom ramen för projektet. Materialet i STRADA innehåller ingen information om vägytans beskaffenhet utan enbart noteringar från olycksplatsen som bygger på iakttagelser från rapporterande polisman. Det finns enligt författarnas vetskap inte heller någon annan källa till statistik över olycksorsak vilket gör det svårt att uppskatta hur vanliga olyckor till följd av polering är. Vid misstanke om låg friktion genomförs friktionsmätningar men data samlas inte in på något systematiskt sätt. Om det är önskvärt att ta reda på hur vanliga olyckor är till följd av låg friktion bör det utredas på vilket sätt en olycksplats kan och bör undersökas.

Vidare bör effektiva drift- och underhållsmetoder för att återställa fullgod friktion studeras och utvecklas för svenska förhållanden. Speciellt långtidseffekten av potentiella åtgärder bör verifieras.

Referenser

Aldgård, T. och Johansson, D. (2006). *Utveckling av testrigg för mätning av däckfriktion mot vinterväglag*. Examensarbete, Luleå tekniska universitet – Institutionen för tillämpad fysik.

Allen, B., Phillips, P., Woodward, D. och Woodside, A. (2008). *Prediction of UK surfacing skid resistance using Wehner Schulze and PSV*, Konferensartikel presenterad vid Safer Roads Conference 2008 i Cheltenham, Storbritannien, 12-14 maj 2008.

Arvidsson, A., Lundberg, T., Kalman, B., Ekström, C., Cruz del Aguila, F. (2019). *Friktions- och texturutveckling på nya beläggningar*, VTI rapport 992. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Bjurström, H. och Dolk, E. (2020). *Ballastberoende slitage på asfalt och betong – Provning enligt Prall*. VTI rapport 1044. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

European Road Safety Observatory (2007), https://www.dacota-project.eu/Links/erso/knowledge/Content/15_road/road_and_pavement_maintenance.html

Grönvall, P. (2021). *Undersökning av däcktyp i Sverige – vintern 2021 (januari-mars)*, Publikationsnummer 2021:215, Trafikverket, Borlänge.

Gustafsson, M., Berglund, C. M., Forsberg, B., Forsberg, I., Forward, S., Grudemo, S., Hammarström, U., Hjort, M., Jacobson, T., Johansson, C., Ljungman, A., Nordström, O., Sandberg, U., Wiklund, M. & Öberg, G. (2006). *Effekter av vinterdäck – En kunskapsöversikt*, VTI rapport 543. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Hall, J.W., Smith, K.L., Titus-Glover, L., Wambold, J.C., Yager, T.J. och Rado, D. (2009). *Guide for pavement friction*. NCHRP Project 01-43. Transportation Research Board.

Highways England (2020). *Surface course materials for construction*, CD 236 Revision 4, Highways England, Birmingham.

Highways England (2021). *Skidding resistance*, CS 228 Revision 2, Highways England, Birmingham.

Höbeda, P. (1997). *En state-of-the-art-rapport med avseende på svenska förhållanden: Polering och nötning av stenmaterialet i slitlagerbeläggning – inverkan på friktionen hos vägbeläggning*. VTI notat 18-1997. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Jacobson, T. (2002). *Polering av asfaltbeläggningar – Friktionsmätningar 2001 i Stockholm*. VTI notat 25-2002. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Jacobson, T. (2003). *Polering av asfaltbeläggningar – Friktionsmätningar i Stockholm 2002*. VTI notat 25-2003. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Jacobson, T. (2005). *Undersökning av dubbslitaget vintern 2004/2005 och validering av VTI:s slitagemodell*. VTI notat 36-2005. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Jacobson, T. och Hjort, M. (2008). *Polering av asfaltbeläggning*, VTI notat 25-2007. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

Jacobson, T. och Hornwall, F. (1999). *Polering av asfaltbeläggningar – Friktionsmätningar 1997–1998*. VTI notat 6-1999. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.

- Jacobson, T. och Hornwall, F. (2000). *Dubbavnötning på provvägar – Mätresultat vintrarna 1998/1999 och 1999/2000 – Valideing av VTIs slitagemodell 1997–2000*. VTI notat 8-2000. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Jacobson, T. och Hornwall, F. (2001). *Polering av asfaltbeläggningar – Friktionsmätningar i Stockholm 1997–2000*. VTI notat 17-2001. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Jacobson, T. och Höbeda, P. (1996). *Polering av asfaltbeläggning – friktionsmätningar hösten 1996*, VTI notat 74-1996. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Jacobson, T. och Wågberg, L.-G. (2007). *Utveckling och uppgradering av prognosmodell för beläggningsslitage från dubbade däck samt en kunskapsöversikt över inverkan av faktorer – version 3.2.03*, VTI notat 7-2007. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Johansson, C. och Burman, L. (2013). Lokala avgifter på dubbdäck i Norge. SLB-analys, SLB 3:2013, Miljöförvaltningen i Stockholm.
- Kumar, A. och Gupta, A. (2021). *Review of factors controlling skid resistance at tire-pavement interface*. Advances in Civil Engineering. Doi: 10.1155/2021/2733054.
- Mustonen, H. (2019). *Determining the road wear limits in the type approval of studded tires*. Master thesis, Aalto University – School of Engineering,
- Naturvårdsverket (2016). Styrmedel för minskad dubbdäcksanvändning. PM 2016-03-09. Ärendenr: NV-00416-16.
- Regeringskansliet (2022a). Mål för transporter och infrastruktur, <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/transporter-och-infrastruktur/mal-for-transporter-och-infrastruktur/>, 2022-01-07.
- Regeringskansliet (2022b). *Från och med idag har Sverige en klimatlag*, <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2018/01/fran-och-med-idag-har-sverige-en-klimatlag/>, 2022-01-07.
- Sjögren, L., Niska, A., Hjort, A., Andrén, P. och Lundberg, T. (2020). *Krav på belagda väg-, cykel- och gångbanors friktionsegenskaper vid barmarksförhållanden – Underlag och rekommendationer*, VTI rapport 980. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Srirangam, S.K. (2015). Numerical simulation of tire-pavement interaction, Doctoral thesis, TU Delft.
- Statens Offentliga Utredningar (2015). Skatt på dubbdäcksanvändning i tätort? – Betänkande av Partikelhaltsutredningen, SOU 2015:27.
- Stockholms Stad (2021a). <https://miljobarometern.stockholm.se/trafik/covid-19/motorfordon-per-dag/essingeleden>, 2021-12-07.
- Stockholms Stad (2021b). <https://miljobarometern.stockholm.se/trafik/motorfordon/trafikfloden-innerstaden-och-regioncentrum/>, 2021-12-07.
- The Scanidivian Tire & Rim Organization (STRO) (8 mars 2022). Val av vinterdäck. <https://www.stro.se/information/val-av-vinterdack/>.
- Tikka Spikes & Continental, Nokian Tyres plc, BD Testing, Test World och Goodyear (2018). Overrun test – Task force investigations report. Samlade resultat och förslag till ny standardisering

Traficom (2021). Tekniska krav på och typgodkännande av fordons dubbdäck. Föreskrift: TRAFICOM/220809/03.04.03.00/2019.

Trafikverket (2022). Det här är Nollvisionen, <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/Trafiksakerhet/det-har-ar-nollvisionen/>, 2022-01-07.

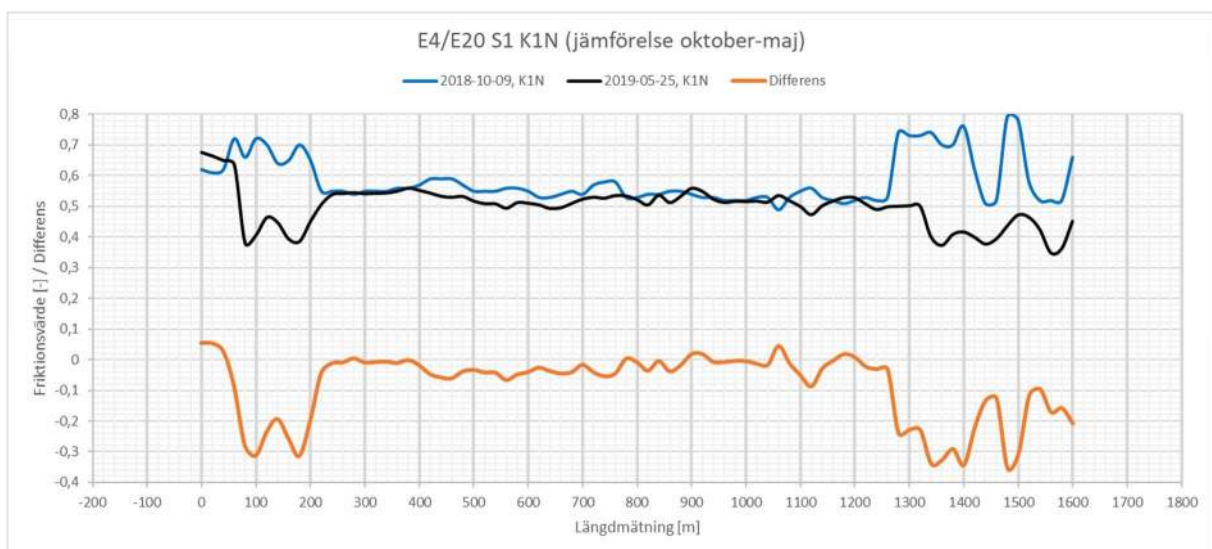
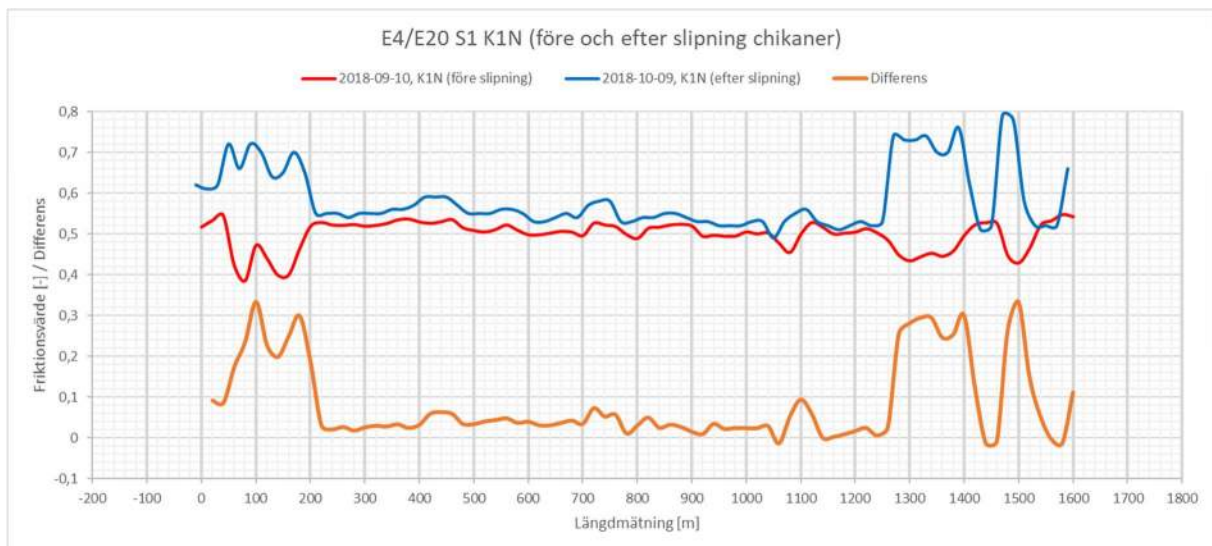
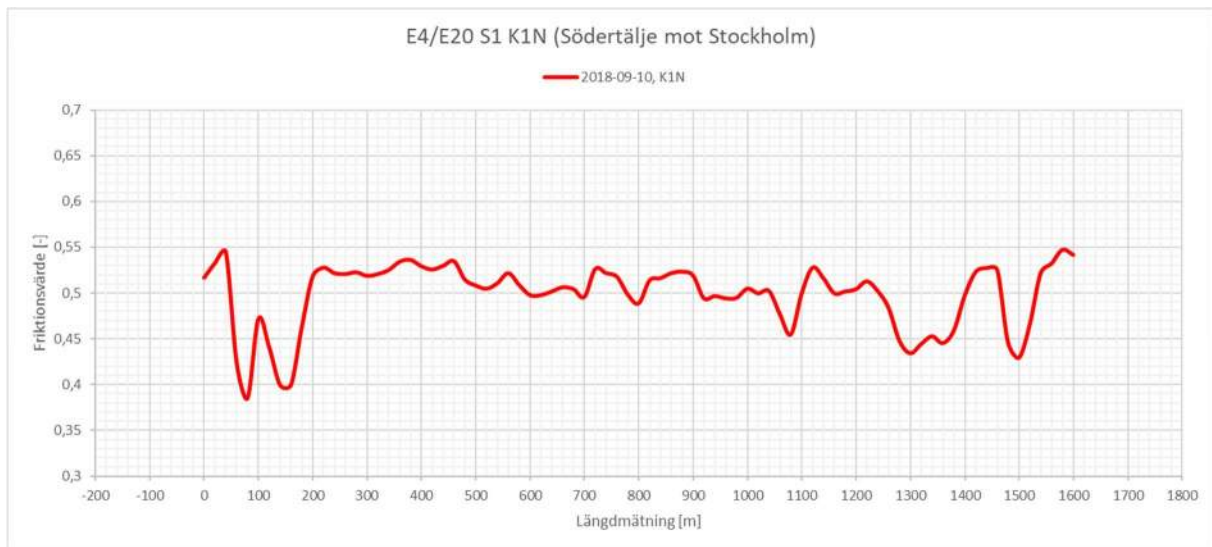
Transportstyrelsen (2009). TSFS 2009:19. Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om användning av däck m.m. avsedda för bilar och släpvagnar som dras av bilar. Transportstyrelsens författningssamling, Transportstyrelsen, Norrköping.

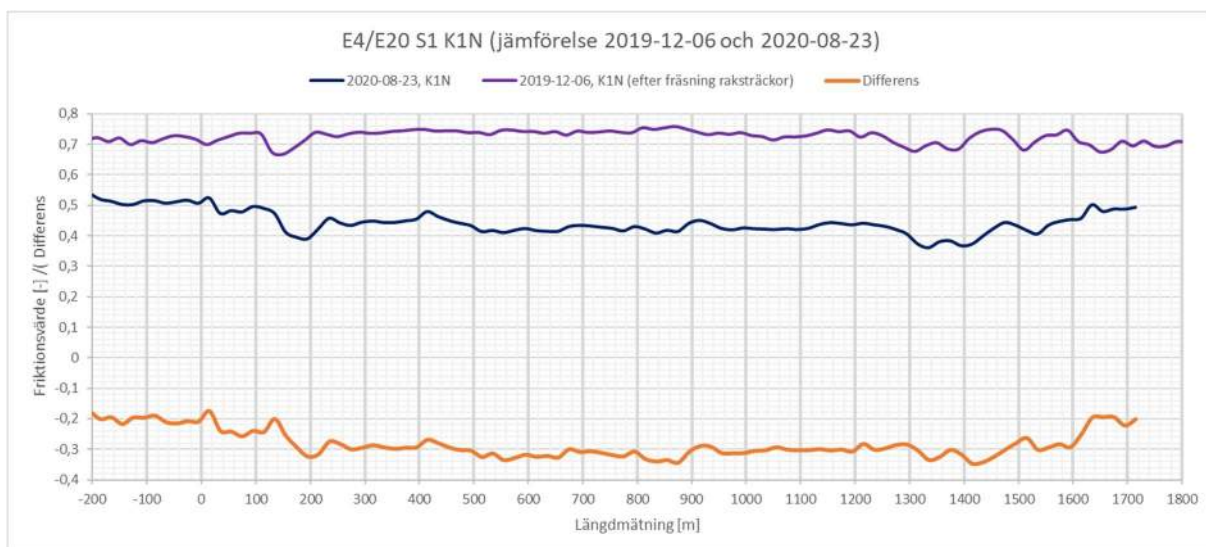
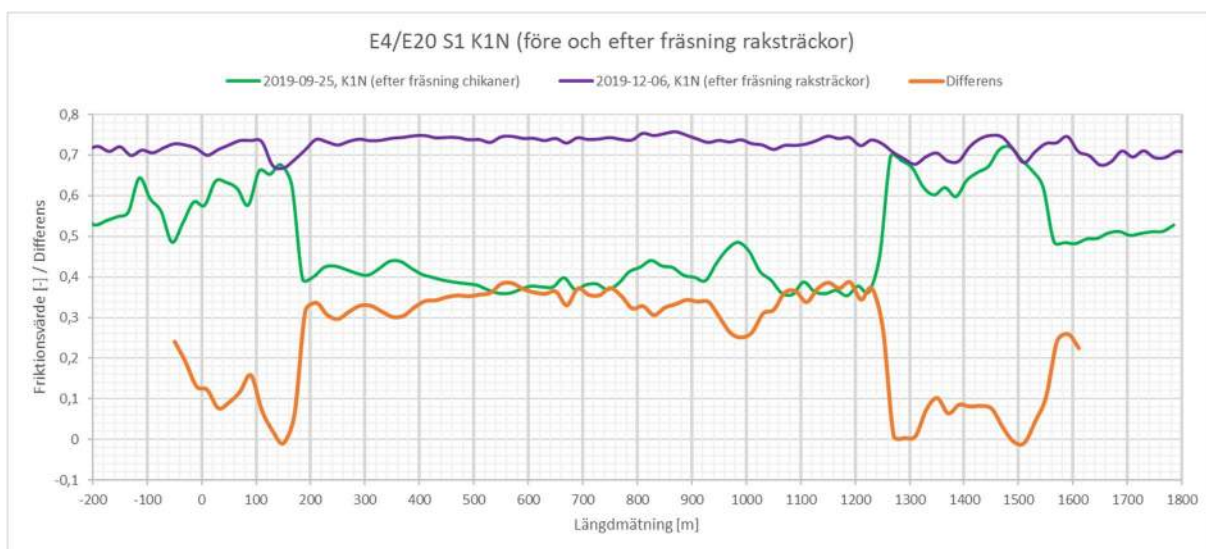
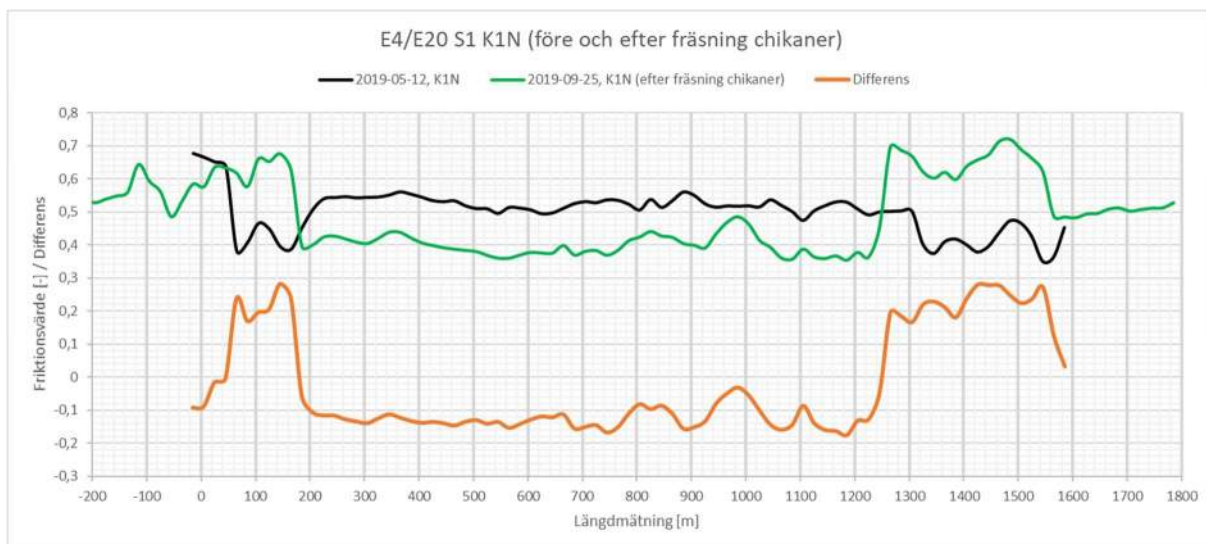
Transportstyrelsen (2019). TSFS 2019:44. Föreskrifter om ändring i Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd (TSFS 2009:19) om användning av däck m.m. avsedda för bilar och släpvagnar som dras av bilar. Transportstyrelsens författningssamling, Transportstyrelsen, Norrköping.

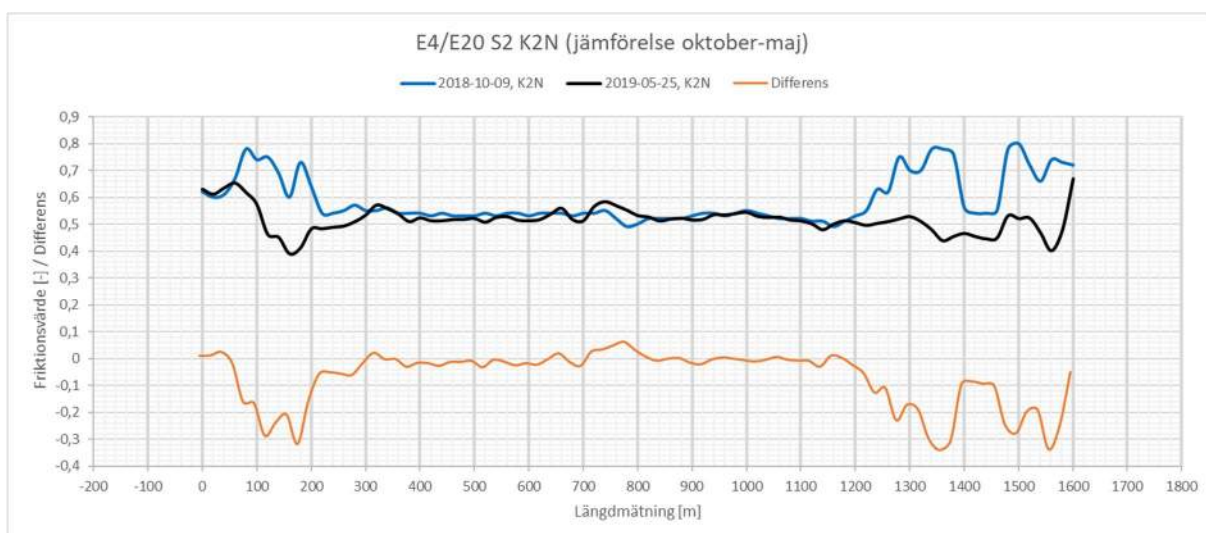
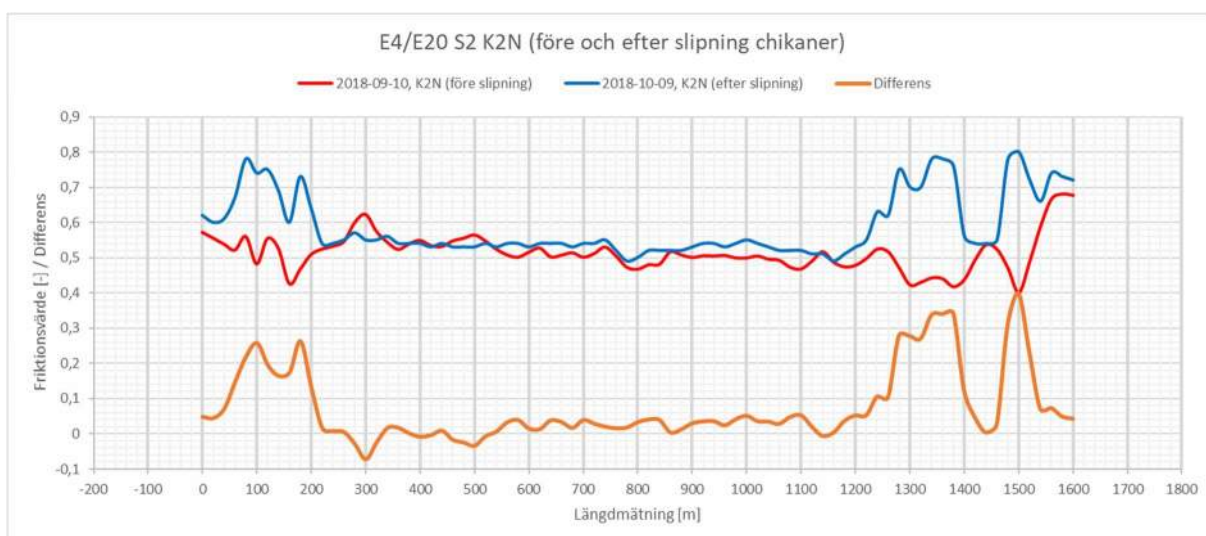
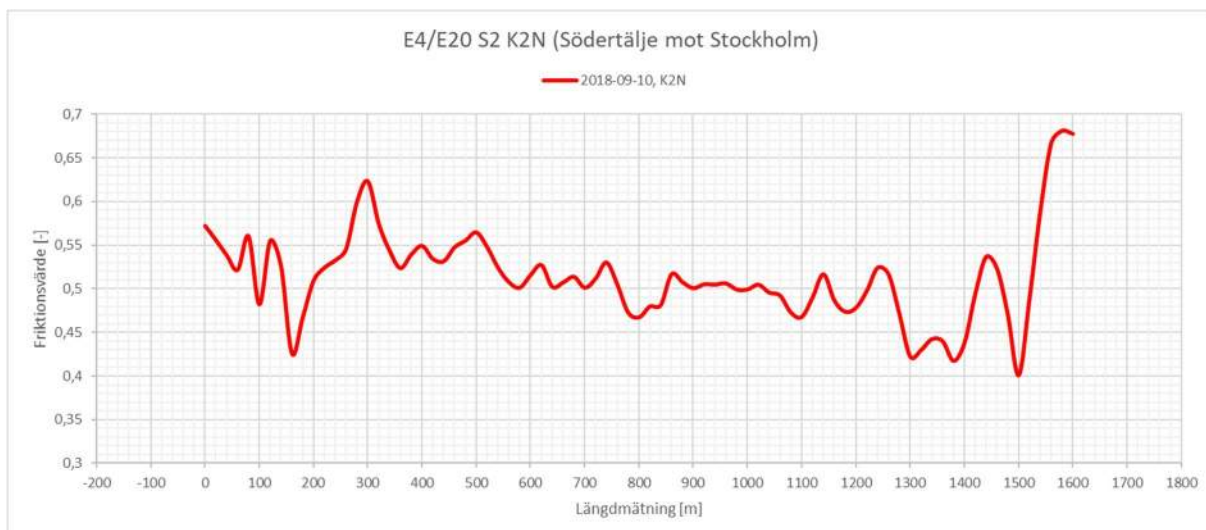
Transportstyrelsen (2021). TSFS 2021:122. Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om egenskapskrav för vägar, gator, spårvägar och tunnelbanor (byggregler). Transportstyrelsens författningssamling, Transportstyrelsen, Norrköping.

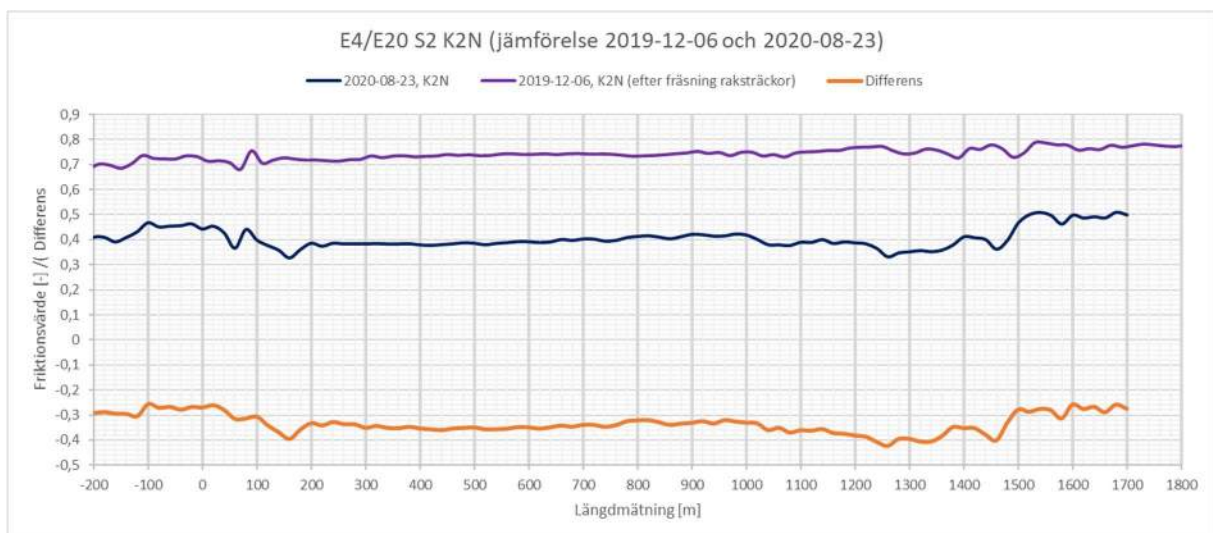
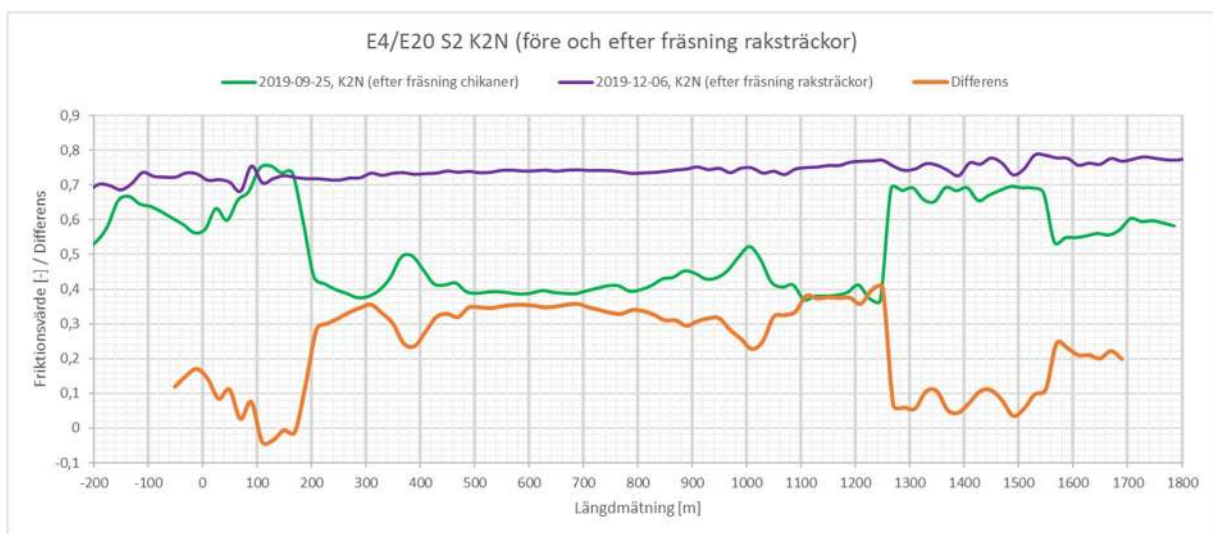
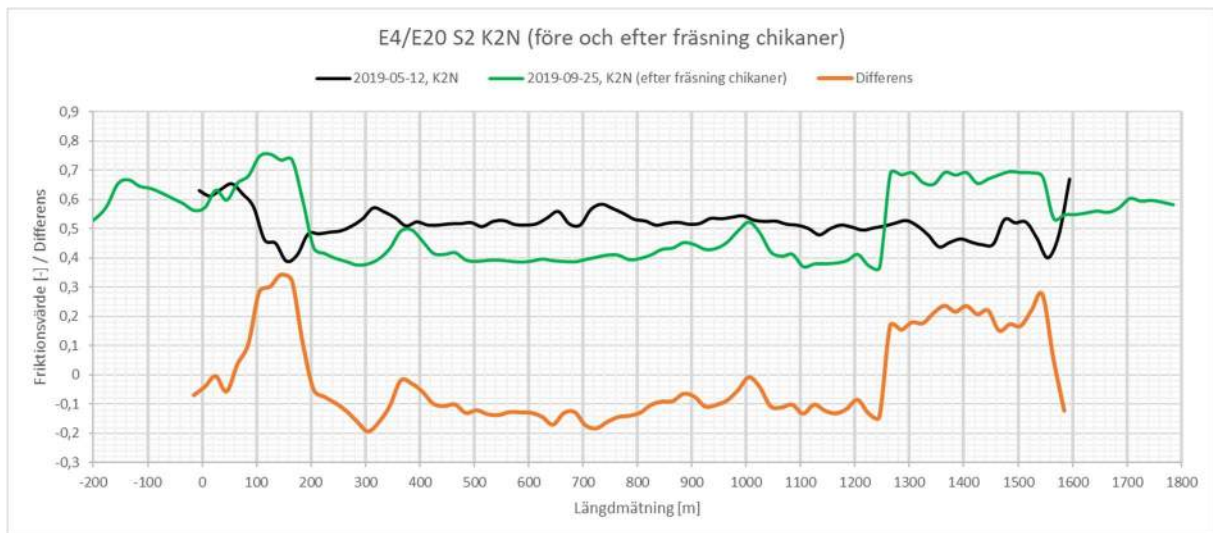
Wågberg, L.-G. och Jacobson T. (2013). *Manual till slitagemodell, version 3.2.03*.

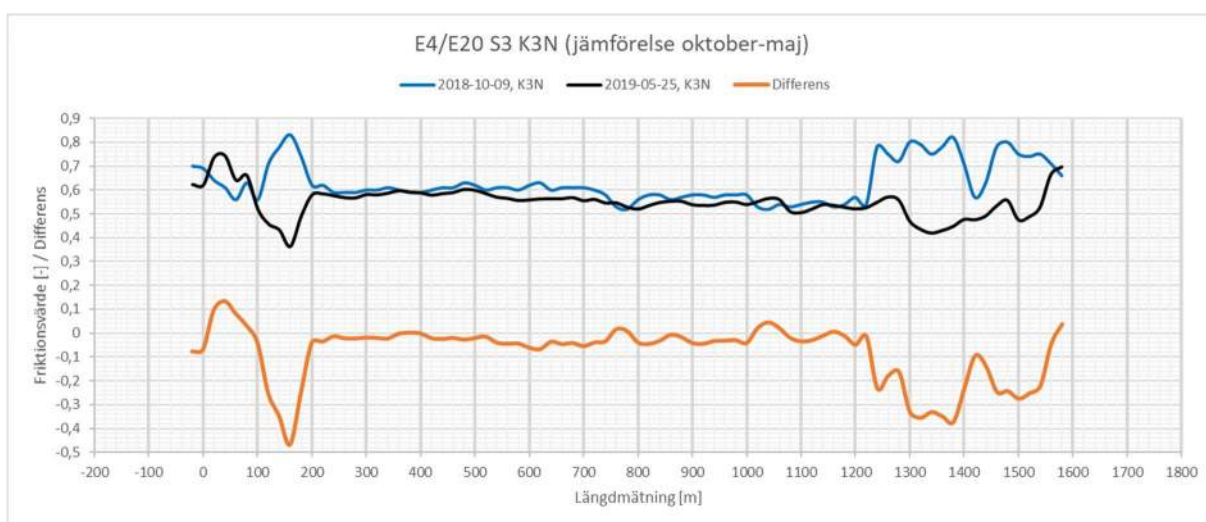
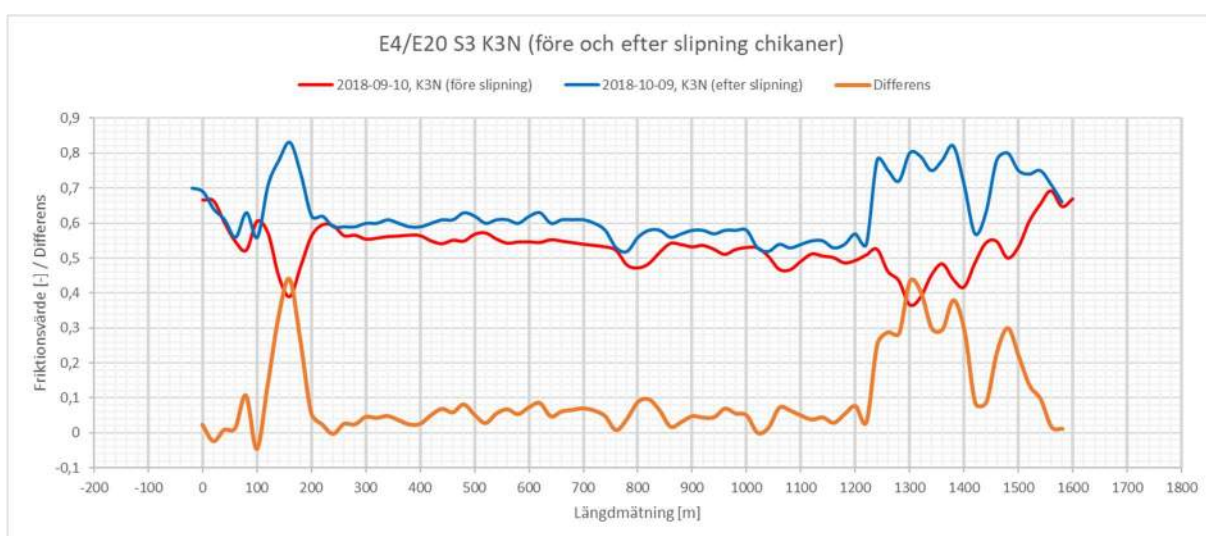
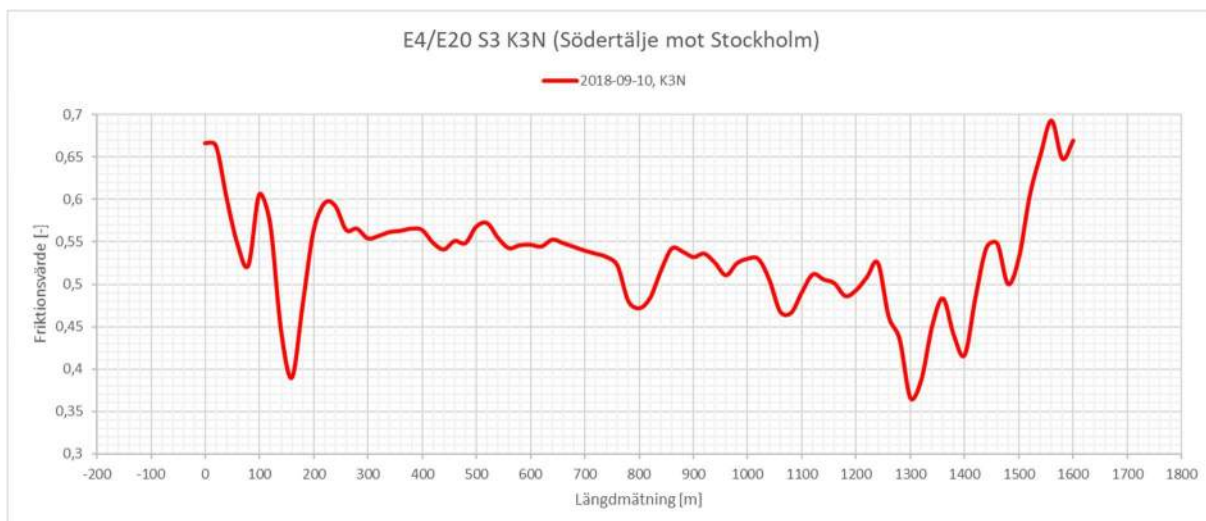
Bilaga 1. Friktionsmätningar på E4/E20, Kungens kurva

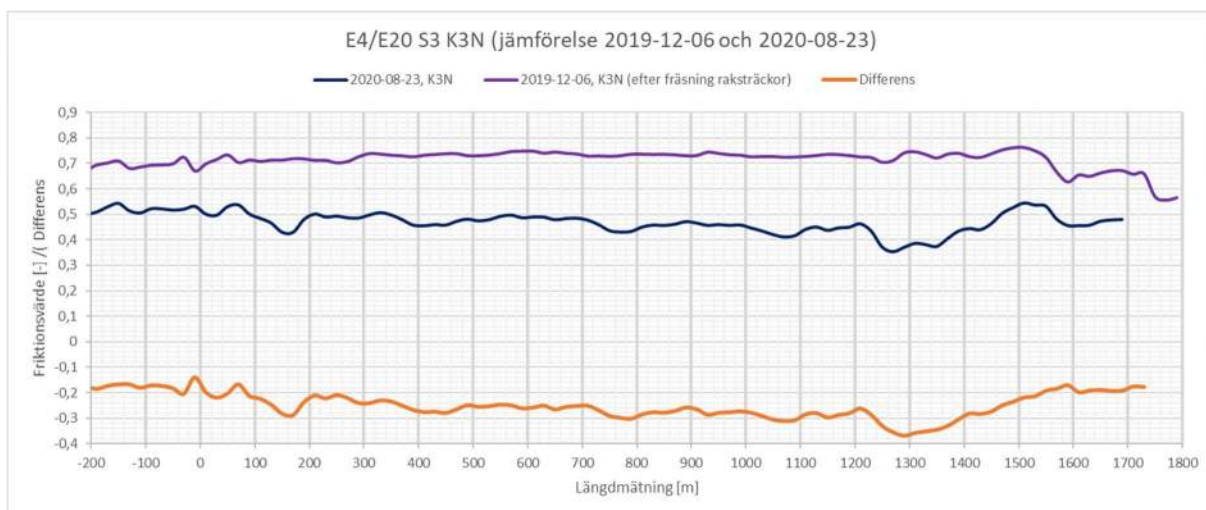
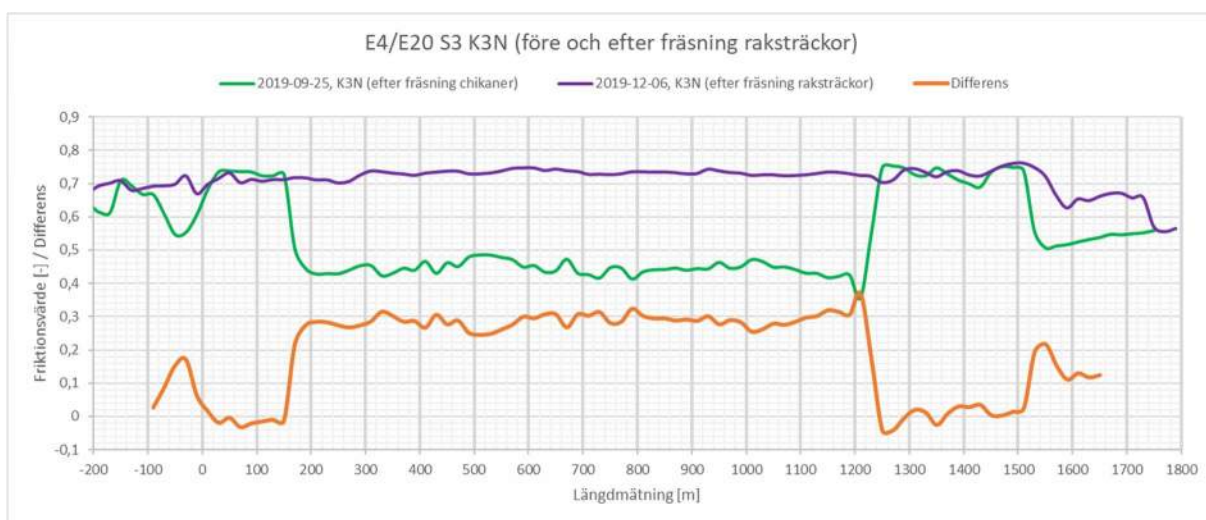
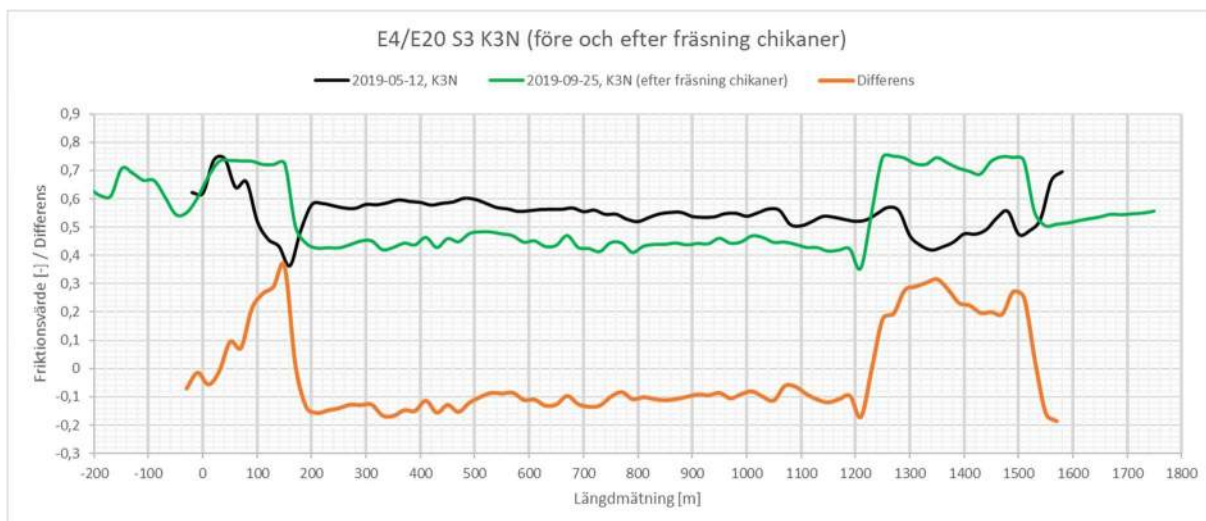


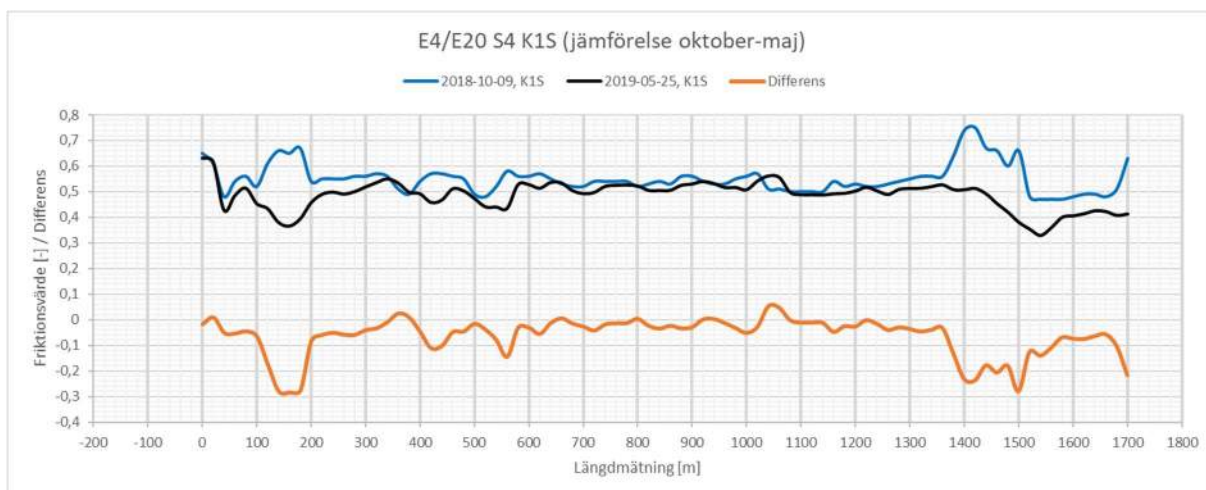
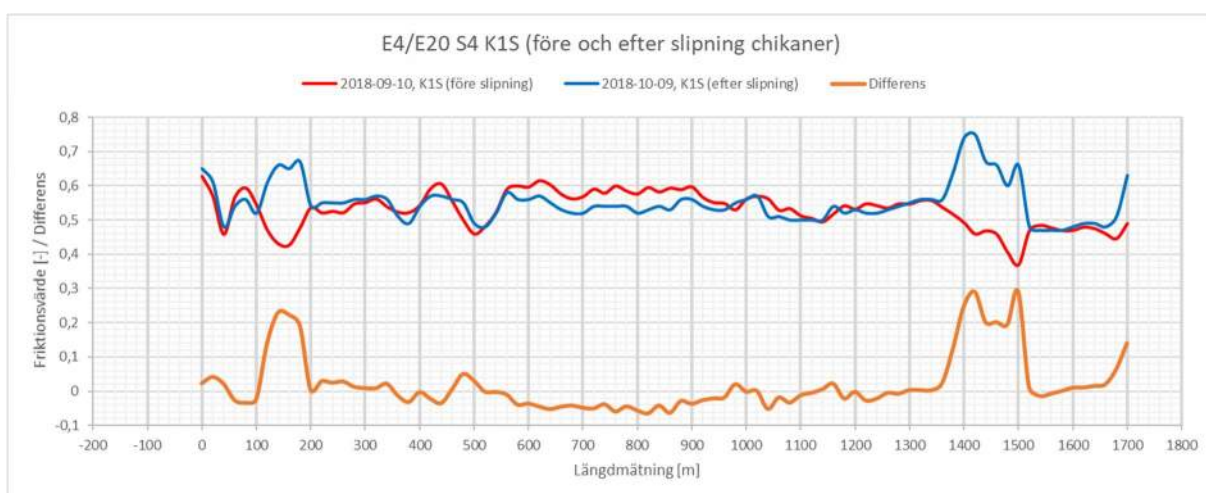
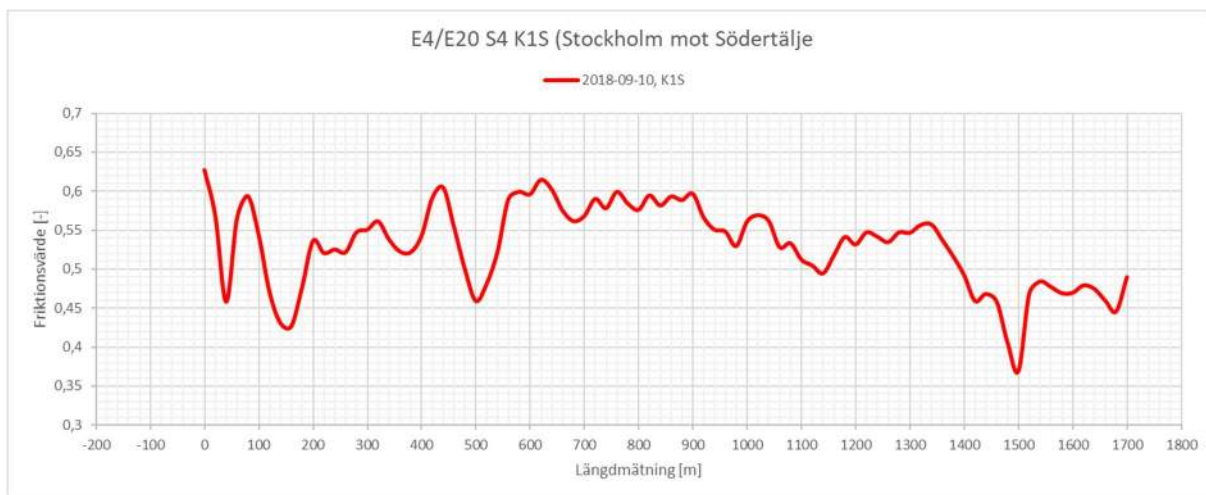


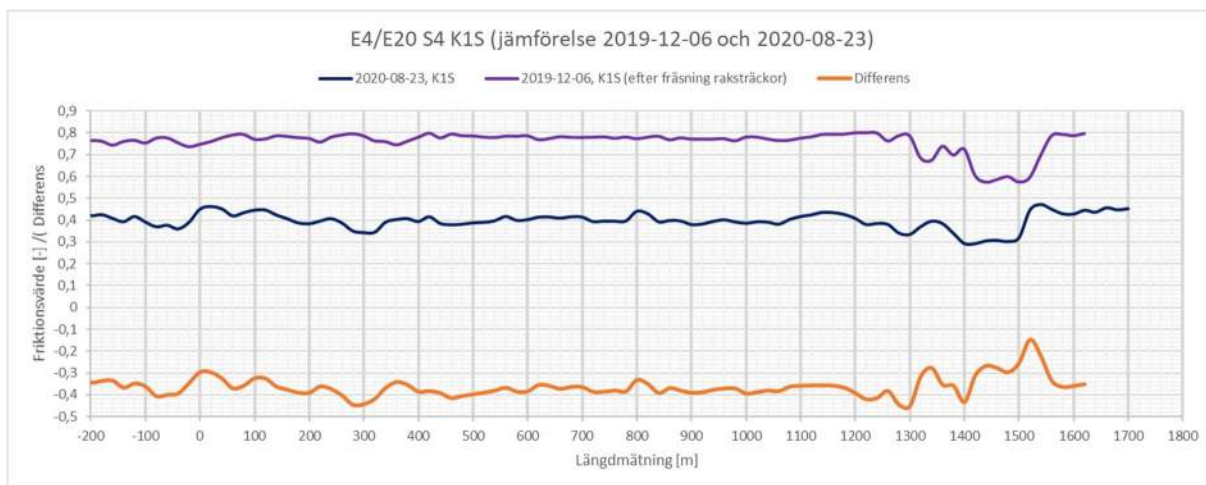
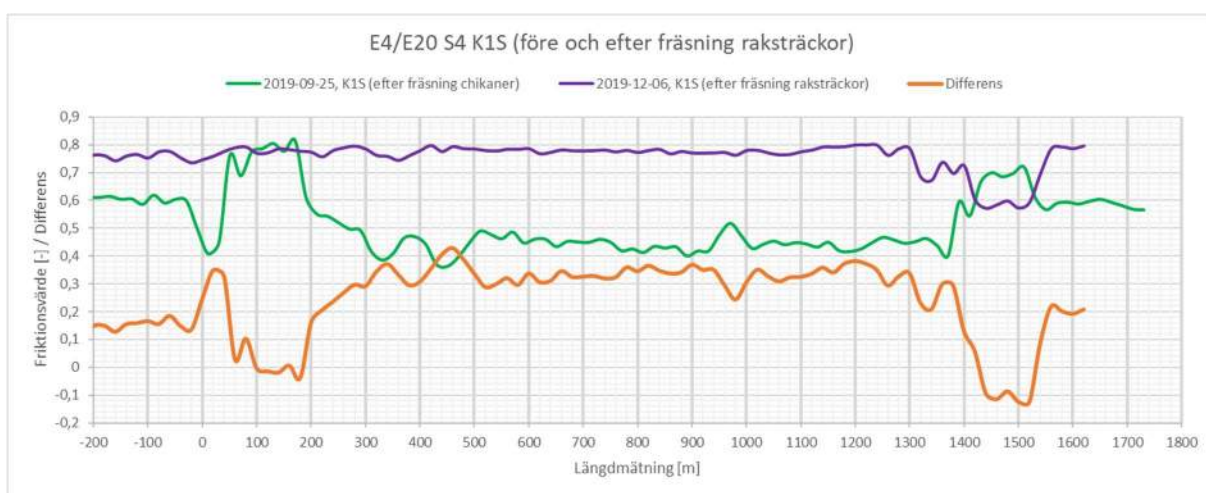
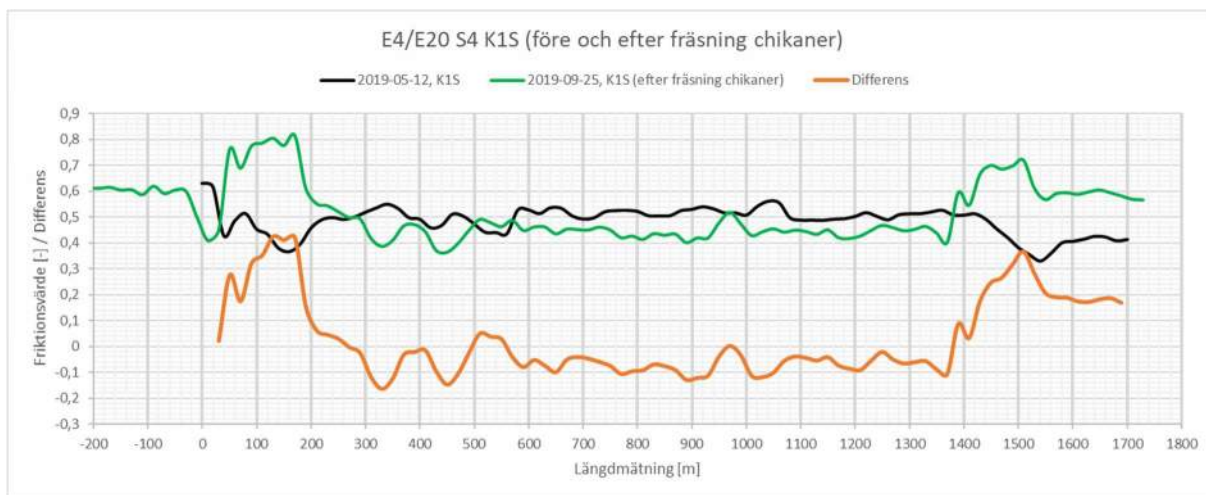


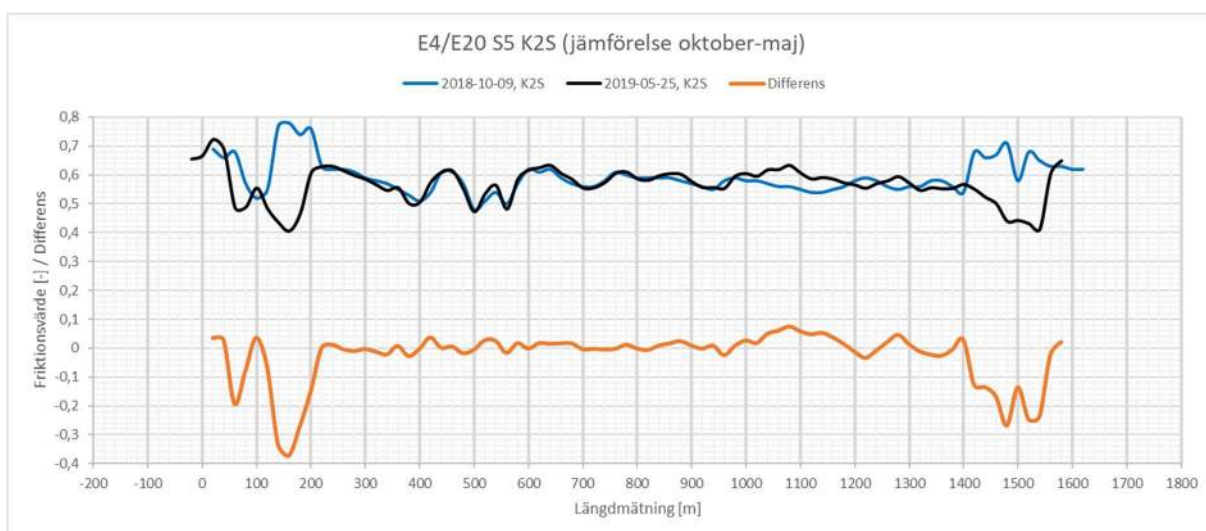
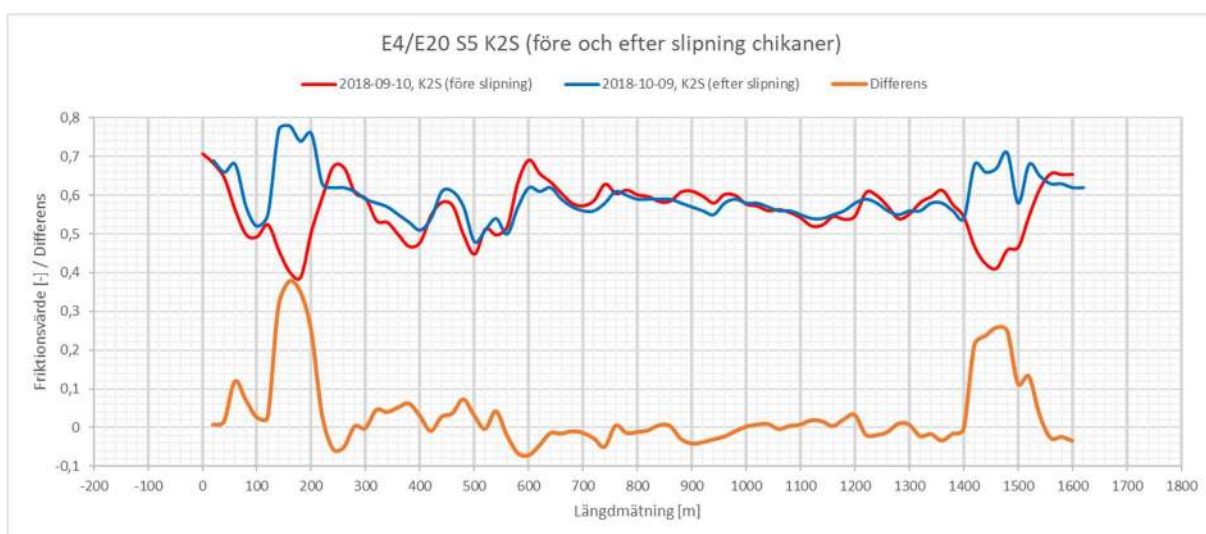
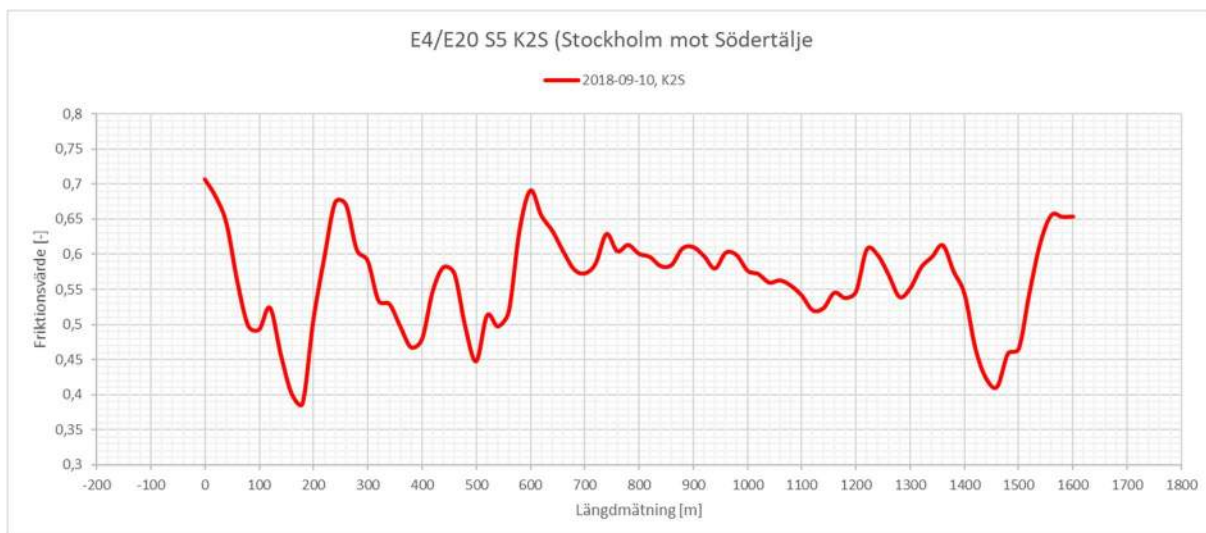


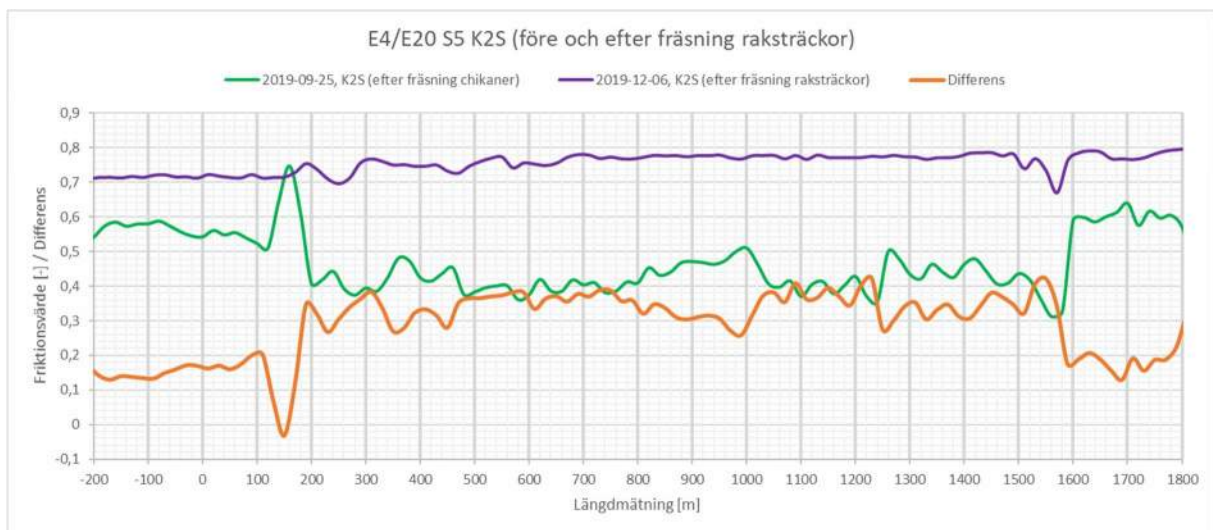
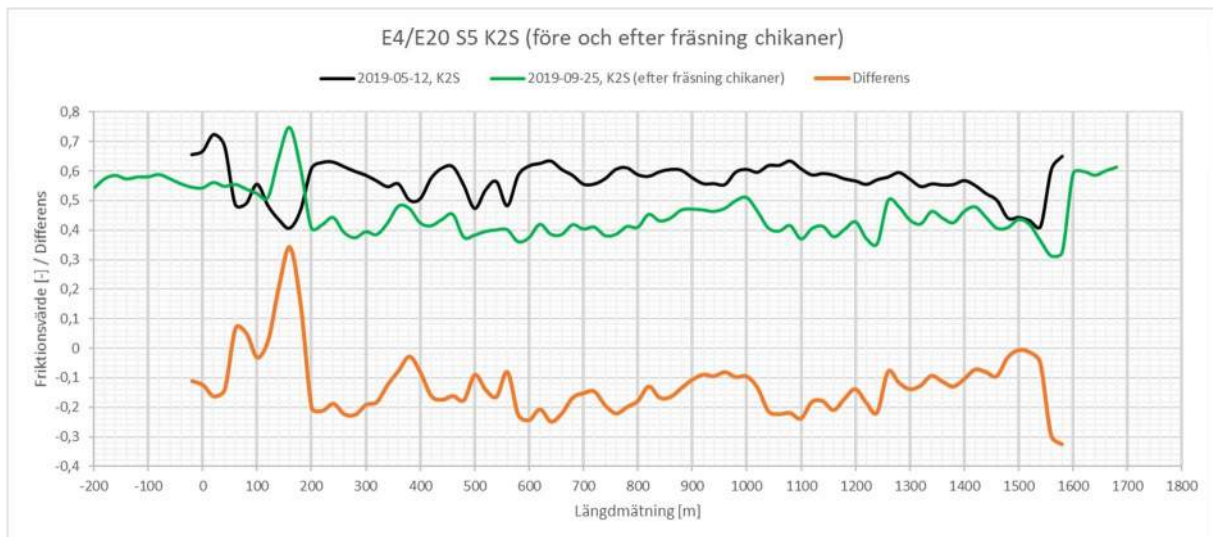


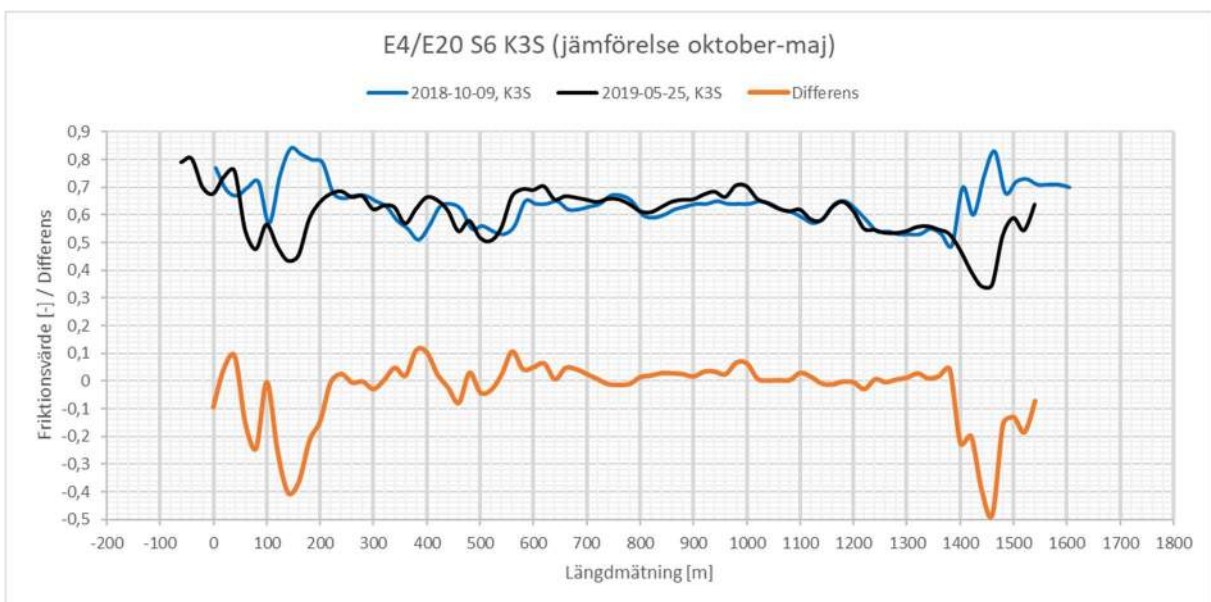
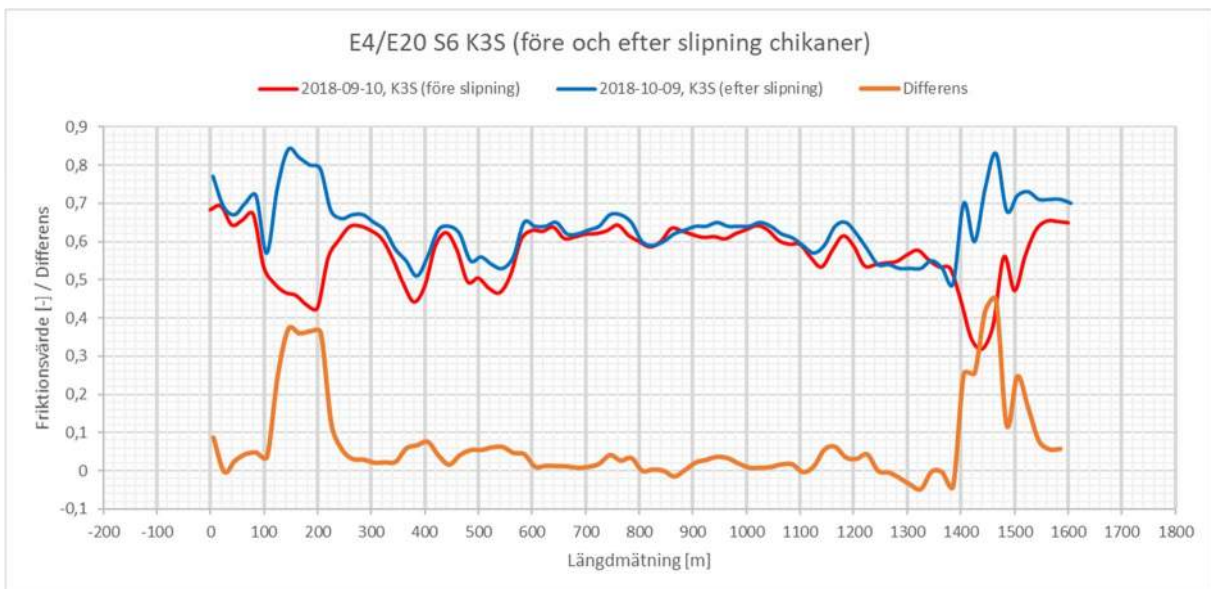
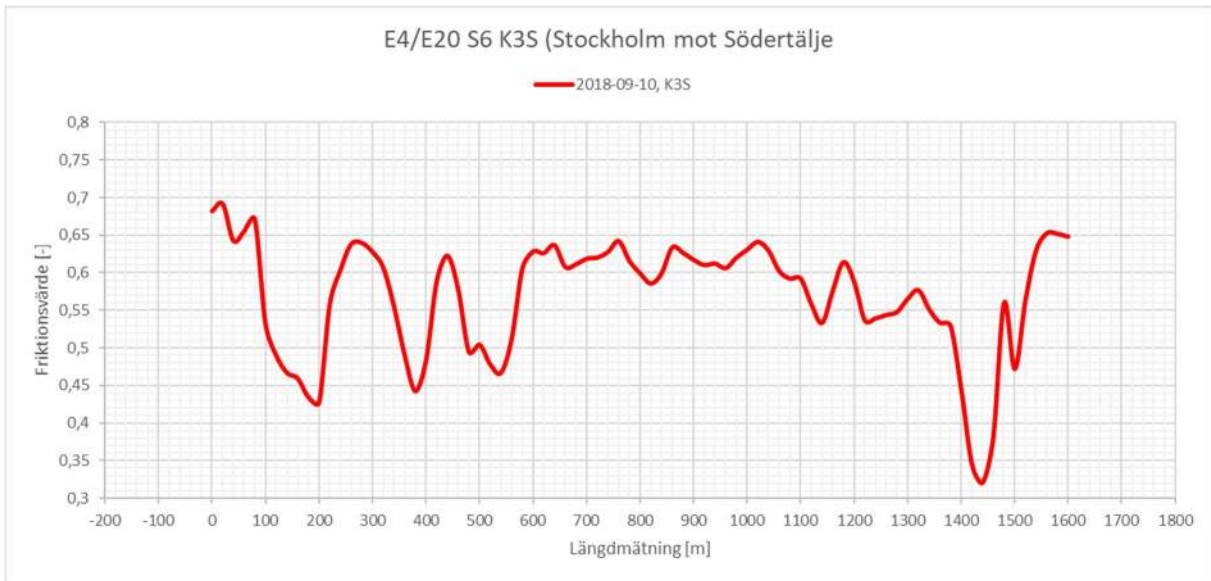


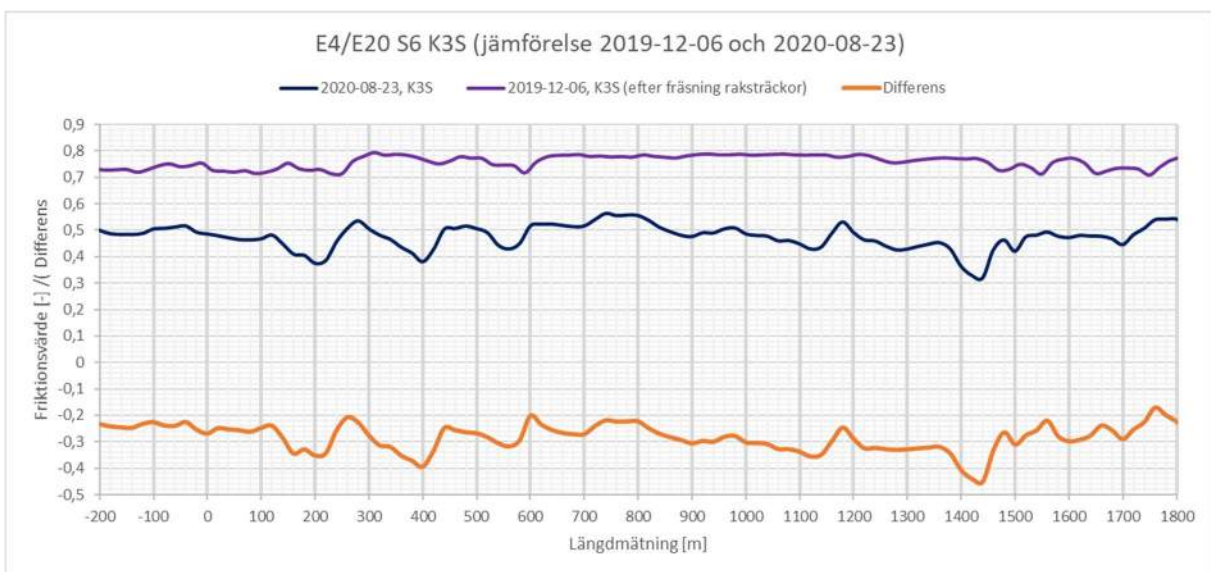
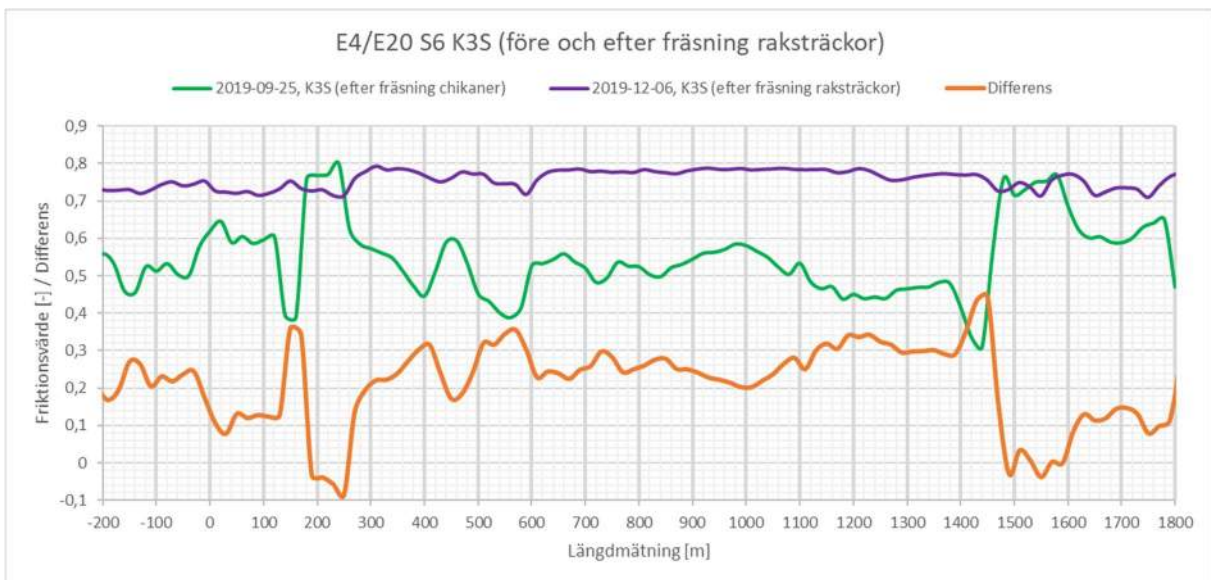
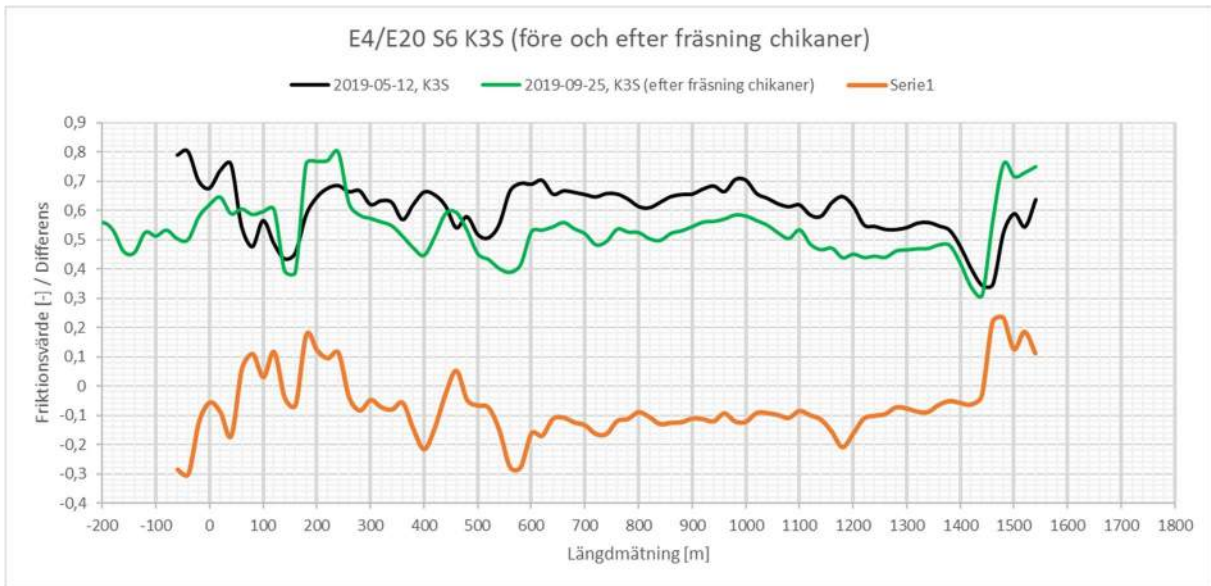












Bilaga 2. Friktionsmätningar på E4, AB/D länsgräns–Järna

Rådata från samtliga friktionsmätningar längs E4, AB/D länsgräns–Järna, utförda 2020-09-23.

Sträcka 1		
m	fr1	fr2
0	0,505	0,476
20	0,510	0,483
40	0,504	0,483
60	0,499	0,488
80	0,498	0,476
100	0,502	0,488
120	0,508	0,490
140	0,509	0,491
160	0,513	0,502
180	0,521	0,511
200	0,536	0,523
220	0,536	0,526
240	0,534	0,530
260	0,539	0,531
280	0,523	0,504
300	0,508	0,492
320	0,517	0,503
340	0,488	0,479
360	0,506	0,486
380	0,502	0,480
400	0,519	0,497
420	0,535	0,516
440	0,524	0,508
460	0,510	0,496
480	0,522	0,514
500	0,504	0,487
520	0,464	0,468
540	0,515	0,505
560	0,509	0,499
580	0,493	0,488
600	0,471	0,461
620	0,494	0,473
640	0,468	0,459
660	0,497	0,479
680	0,500	0,487
700	0,506	0,497
720	0,506	0,503
740	0,517	0,505
760	0,522	0,501
780	0,523	0,506
800	0,528	0,504
820	0,517	0,490
840	0,517	0,494
860	0,526	0,503
880	0,523	0,506
900	0,507	0,509
920	0,514	0,503
940	0,515	0,508
960	0,520	0,510
980	0,524	0,510

Sträcka 2		
m	fr1	fr2
20	0,619	0,592
40	0,620	0,598
60	0,614	0,600
80	0,580	0,572
100	0,612	0,601
120	0,622	0,604
140	0,626	0,600
160	0,617	0,591
180	0,621	0,590
200	0,614	0,593
220	0,606	0,588
240	0,603	0,587
260	0,602	0,590
280	0,606	0,588
300	0,604	0,582
320	0,600	0,586
340	0,610	0,594
360	0,610	0,597
380	0,600	0,586
400	0,605	0,587
420	0,612	0,593
440	0,606	0,587
460	0,601	0,585
480	0,604	0,589
500	0,602	0,587
520	0,601	0,586
540	0,614	0,601
560	0,617	0,599
580	0,620	0,604
600	0,611	0,596
620	0,615	0,596
640	0,620	0,595
660	0,622	0,591
680	0,618	0,598
700	0,613	0,588
720	0,617	0,596
740	0,612	0,603
760	0,613	0,606
780	0,612	0,595
800	0,600	0,589
820	0,603	0,594
840	0,610	0,596
860	0,604	0,595
880	0,603	0,591
900	0,600	0,586
920	0,595	0,584
940	0,591	0,583
960	0,586	0,580
980	0,586	0,579

Sträcka 3		
m	fr1	fr2
0	0,646	0,633
20	0,644	0,631
40	0,645	0,627
60	0,648	0,626
80	0,643	0,631
100	0,649	0,628
120	0,640	0,624
140	0,638	0,622
160	0,633	0,622
180	0,636	0,623
200	0,640	0,625
220	0,633	0,622
240	0,633	0,623
260	0,629	0,625
280	0,638	0,629
300	0,639	0,631
320	0,643	0,626
340	0,636	0,625
360	0,642	0,632
380	0,646	0,633
400	0,651	0,639
420	0,652	0,631
440	0,648	0,633
460	0,643	0,637
480	0,651	0,632
500	0,646	0,639
520	0,649	0,628
540	0,641	0,618
560	0,631	0,624
580	0,639	0,623
600	0,638	0,624
620	0,637	0,625
640	0,638	0,624
660	0,639	0,621
680	0,641	0,620
700	0,638	0,625
720	0,647	0,626
740	0,643	0,624
760	0,642	0,621
780	0,642	0,620
800	0,634	0,619
820	0,640	0,624
840	0,639	0,623
860	0,640	0,625
880	0,641	0,628
900	0,648	0,631
920	0,656	0,628
940	0,651	0,623
960	0,637	0,622
980	0,631	0,624

Sträcka 4		
m	fr1	fr2
20	0,589	0,583
40	0,588	0,576
60	0,586	0,574
80	0,582	0,578
100	0,587	0,580
120	0,583	0,585
140	0,594	0,591
160	0,592	0,588
180	0,591	0,580
200	0,588	0,580
220	0,590	0,581
240	0,584	0,575
260	0,588	0,576
280	0,589	0,582
300	0,590	0,582
320	0,589	0,577
340	0,583	0,573
360	0,583	0,575
380	0,582	0,577
400	0,580	0,579
420	0,581	0,580
440	0,596	0,590
460	0,594	0,586
480	0,596	0,589
500	0,590	0,578
520	0,576	0,565
540	0,577	0,568
560	0,578	0,570
580	0,593	0,580
600	0,591	0,581
620	0,589	0,578
640	0,600	0,595
660	0,605	0,599
680	0,606	0,601
700	0,607	0,601
720	0,599	0,606
740	0,597	0,597
760	0,584	0,568
780	0,586	0,575
800	0,587	0,579
820	0,593	0,587
840	0,590	0,579
860	0,594	0,578
880	0,595	0,579
900	0,599	0,584
920	0,585	0,569
940	0,583	0,586
960	0,601	0,608
980	0,602	0,591

Sträcka 5		
m	fr1	fr2
0	0,546	0,517
20	0,541	0,510
40	0,529	0,510
60	0,532	0,529
80	0,516	0,500
100	0,520	0,499
120	0,521	0,495
140	0,567	0,556
160	0,569	0,550
180	0,571	0,553
200	0,589	0,566
220	0,594	0,575
240	0,602	0,580
260	0,603	0,583
280	0,615	0,588
300	0,617	0,587
320	0,622	0,592
340	0,625	0,590
360	0,619	0,594
380	0,617	0,593
400	0,622	0,597
420	0,617	0,596
440	0,617	0,593
460	0,617	0,590
480	0,614	0,583
500	0,613	0,584
520	0,613	0,592
540	0,619	0,591
560	0,613	0,594
580	0,614	0,595
600	0,617	0,598
620	0,614	0,600
640	0,615	0,603
660	0,618	0,603
680	0,616	0,601
700	0,614	0,601
720	0,617	0,601
740	0,604	0,594
760	0,614	0,605
780	0,625	0,604
800	0,623	0,601
820	0,617	0,599
840	0,613	0,596
860	0,617	0,598
880	0,619	0,601
900	0,610	0,600
920	0,616	0,604
940	0,611	0,602
960	0,602	0,585
980	0,592	0,579

Bilaga 3. Friktionsmätningar på infartsleder i Stockholmsområdet

Rådata från samtliga friktionsmätningar på infartsleder i Stockholmsområdet utförda 2020-09-23.

Häggvik sydlig							
m	fr1		m	fr1		m	fr1
0	0,527		880	0,543		1760	0,613
20	0,511		900	0,543		1780	0,616
40	0,511		920	0,543		1800	0,615
60	0,515		940	0,542		1820	0,635
80	0,522		960	0,538		1840	0,623
100	0,525		980	0,537		1860	0,602
120	0,524		1000	0,540		1880	0,616
140	0,530		1020	0,534		1900	0,631
160	0,525		1040	0,512		1920	0,650
180	0,521		1060	0,504		1940	0,648
200	0,523		1080	0,514		1960	0,650
220	0,522		1100	0,538		1980	0,645
240	0,530		1120	0,555		2000	0,660
260	0,532		1140	0,551		2020	0,647
280	0,520		1160	0,547		2040	0,647
300	0,529		1180	0,553		2060	0,613
320	0,528		1200	0,555		2080	0,599
340	0,522		1220	0,559		2100	0,568
360	0,515		1240	0,551		2120	0,508
380	0,523		1260	0,581		2140	0,503
400	0,528		1280	0,591		2160	0,439
420	0,532		1300	0,592		2180	0,435
440	0,530		1320	0,588		2200	0,417
460	0,527		1340	0,579		2220	0,409
480	0,514		1360	0,576		2240	0,405
500	0,520		1380	0,575		2260	0,411
520	0,531		1400	0,570		2280	0,412
540	0,534		1420	0,554		2300	0,404
560	0,532		1440	0,552			
580	0,540		1460	0,578			
600	0,538		1480	0,565			
620	0,535		1500	0,557			
640	0,527		1520	0,595			
660	0,515		1540	0,571			
680	0,519		1560	0,577			
700	0,519		1580	0,592			
720	0,526		1600	0,612			
740	0,524		1620	0,570			
760	0,529		1640	0,632			
780	0,534		1660	0,635			
800	0,536		1680	0,620			
820	0,537		1700	0,630			
840	0,536		1720	0,642			
860	0,544		1740	0,627			

Häggvik nordlig						
m	fr1		m	fr1		m fr1
0	0,529		920	0,549		1840 0,493
20	0,527		940	0,552		1860 0,495
40	0,533		960	0,506		1880 0,503
60	0,535		980	0,491		1900 0,510
80	0,511		1000	0,551		1920 0,504
100	0,557		1020	0,429		1940 0,496
120	0,548		1040	0,521		1960 0,495
140	0,545		1060	0,598		1980 0,495
160	0,548		1080	0,596		2000 0,491
180	0,549		1100	0,578		2020 0,477
200	0,555		1120	0,563		2040 0,482
220	0,548		1140	0,581		2060 0,501
240	0,548		1160	0,581		2080 0,509
260	0,552		1180	0,602		2100 0,501
280	0,549		1200	0,616		2120 0,507
300	0,547		1220	0,595		2140 0,499
320	0,546		1240	0,576		2160 0,481
340	0,550		1260	0,607		2180 0,460
360	0,540		1280	0,673		2200 0,457
380	0,530		1300	0,605		2220 0,458
400	0,521		1320	0,552		2240 0,460
420	0,488		1340	0,540		2260 0,468
440	0,412		1360	0,547		2280 0,494
460	0,399		1380	0,504		2300 0,489
480	0,399		1400	0,496		2320 0,484
500	0,443		1420	0,498		2340 0,473
520	0,431		1440	0,512		
540	0,458		1460	0,509		
560	0,498		1480	0,511		
580	0,512		1500	0,524		
600	0,455		1520	0,510		
620	0,433		1540	0,512		
640	0,433		1560	0,507		
660	0,425		1580	0,550		
680	0,409		1600	0,555		
700	0,428		1620	0,535		
720	0,434		1640	0,525		
740	0,445		1660	0,524		
760	0,426		1680	0,510		
780	0,415		1700	0,513		
800	0,422		1720	0,508		
820	0,477		1740	0,495		
840	0,530		1760	0,477		
860	0,527		1780	0,492		
880	0,532		1800	0,489		
900	0,543		1820	0,487		

Kymplingelänken ramp						
m	fr1	fr2		m	fr1	fr2
0	0,610	0,610		920	0,595	0,595
20	0,598	0,598		940	0,562	0,562
40	0,569	0,569		960	0,555	0,555
60	0,560	0,560		980	0,550	0,550
80	0,593	0,593		1000	0,563	0,563
100	0,598	0,598		1020	0,542	0,542
120	0,609	0,609		1040	0,544	0,544
140	0,615	0,615		1060	0,538	0,538
160	0,616	0,616		1080	0,563	0,563
180	0,607	0,607		1100	0,575	0,575
200	0,606	0,606		1120	0,649	0,649
220	0,602	0,602		1140	0,610	0,610
240	0,604	0,604		1160	0,609	0,609
260	0,595	0,595		1180	0,614	0,614
280	0,573	0,573		1200	0,546	0,546
300	0,597	0,597		1220	0,529	0,529
320	0,603	0,603		1240	0,508	0,508
340	0,597	0,597		1260	0,527	0,527
360	0,588	0,588		1280	0,526	0,526
380	0,579	0,579		1300	0,534	0,534
400	0,595	0,595		1320	0,527	0,527
420	0,604	0,604		1340	0,528	0,528
440	0,625	0,625		1360	0,546	0,546
460	0,661	0,661				
480	0,646	0,646				
500	0,669	0,669				
520	0,655	0,655				
540	0,657	0,657				
560	0,674	0,674				
580	0,671	0,671				
600	0,660	0,660				
620	0,650	0,650				
640	0,639	0,639				
660	0,615	0,615				
680	0,604	0,604				
700	0,604	0,604				
720	0,615	0,615				
740	0,500	0,500				
760	0,547	0,547				
780	0,577	0,577				
800	0,572	0,572				
820	0,548	0,548				
840	0,529	0,529				
860	0,553	0,553				
880	0,600	0,600				
900	0,627	0,627				

Rinkebytunneln sydlig		
m	fr1	fr2
0	0,442	0,454
20	0,444	0,460
40	0,444	0,459
60	0,437	0,463
80	0,437	0,471
100	0,438	0,470
120	0,450	0,483
140	0,453	0,485
160	0,445	0,480
180	0,435	0,475
200	0,411	0,453
220	0,411	0,438
240	0,415	0,435
260	0,407	0,453
280	0,413	0,454
300	0,408	0,457
320	0,391	0,477
340	0,379	0,470
360	0,379	0,463
380	0,397	0,466
400	0,419	0,438
420	0,454	0,431
440	0,443	0,437
460	0,427	0,436
480	0,424	0,450

Rinkebytunneln nordlig		
m	fr1	fr2
0	0,542	0,539
20	0,493	0,495
40	0,478	0,495
60	0,479	0,505
80	0,489	0,533
100	0,466	0,475
120	0,435	0,445
140	0,434	0,450
160	0,413	0,449
180	0,420	0,449
200	0,447	0,462
220	0,454	0,470
240	0,455	0,473
260	0,445	0,466
280	0,448	0,464
300	0,445	0,468
320	0,456	0,475
340	0,463	0,481
360	0,462	0,479
380	0,450	0,474
400	0,434	0,466
420	0,423	0,474
440	0,419	0,457
460	0,423	0,455
480	0,427	0,458

Södra länken		
m	fr1	fr2
0	0,493	0,521
20	0,502	0,520
40	0,509	0,529
60	0,520	0,526
80	0,503	0,527
100	0,503	0,519
120	0,498	0,522
140	0,496	0,528
160	0,501	0,532
180	0,500	0,534
200	0,503	0,535
220	0,511	0,548
240	0,514	0,549
260	0,505	0,559
280	0,498	0,560
300	0,500	0,553
320	0,494	0,540
340	0,482	0,543
360	0,479	0,545
380	0,503	0,538
400	0,498	0,525
420	0,500	0,522
440	0,498	0,542
460	0,516	0,563

Essingeleden (Hägersten)		
m	fr1	fr2
0	0,485	0,484
20	0,492	0,486
40	0,489	0,500
60	0,489	0,516
80	0,493	0,519
100	0,500	0,530
120	0,503	0,528
140	0,505	0,522
160	0,503	0,512
180	0,501	0,500
200	0,503	0,507
220	0,488	0,489
240	0,519	0,517
260	0,517	0,525
280	0,514	0,521
300	0,505	0,506
320	0,492	0,502
340	0,489	0,497
360	0,489	0,494

Essingeleden (Norra länken)		
m	fr1	fr2
0	0,444	0,505
20	0,457	0,512
40	0,450	0,511
60	0,445	0,515
80	0,455	0,520
100	0,460	0,501
120	0,458	0,502
140	0,460	0,499
160	0,460	0,497
180	0,467	0,500
200	0,475	0,515
220	0,476	0,521
240	0,474	0,513
260	0,470	0,510
280	0,456	0,495
300	0,430	0,471
320	0,428	0,474
340	0,443	0,486
360	0,446	0,481
380	0,447	0,493
400	0,450	0,500
420	0,454	0,505
440	0,442	0,499
460	0,451	0,498
480	0,437	0,484
500	0,431	0,474
520	0,425	0,475
540	0,440	0,477
560	0,460	0,483
580	0,440	0,481
600	0,432	0,456
620	0,453	0,470
640	0,456	0,483
660	0,448	0,511
680	0,433	0,503
700	0,429	0,484
720	0,445	0,492
740	0,447	0,500
760	0,477	0,513

Eugenia (efter tunneln)						
m	fr1	fr2		m	fr1	fr2
0	0,552	0,535		940	0,565	0,567
20	0,569	0,547		960	0,567	0,566
40	0,564	0,553		980	0,569	0,571
60	0,573	0,550		1000	0,552	0,563
80	0,566	0,554		1020	0,546	0,555
100	0,565	0,554		1040	0,564	0,557
120	0,555	0,552		1060	0,566	0,559
140	0,556	0,547		1080	0,569	0,563
160	0,557	0,526		1100	0,556	0,559
180	0,567	0,538		1120	0,542	0,555
200	0,566	0,551		1140	0,551	0,551
220	0,569	0,562				
240	0,561	0,555				
260	0,568	0,560				
280	0,564	0,559				
300	0,570	0,556				
320	0,569	0,563				
340	0,568	0,562				
360	0,570	0,557				
380	0,567	0,566				
400	0,560	0,566				
420	0,568	0,569				
440	0,572	0,571				
460	0,569	0,576				
480	0,562	0,574				
500	0,555	0,566				
520	0,551	0,561				
540	0,564	0,571				
560	0,565	0,586				
580	0,554	0,599				
600	0,553	0,566				
620	0,560	0,562				
640	0,562	0,568				
660	0,558	0,564				
680	0,562	0,568				
700	0,555	0,569				
720	0,566	0,565				
740	0,566	0,562				
760	0,559	0,561				
780	0,559	0,566				
800	0,558	0,582				
820	0,563	0,576				
840	0,563	0,567				
860	0,550	0,557				
880	0,564	0,558				
900	0,570	0,561				
920	0,563	0,566				

Bredäng		
m	fr1	fr2
0	0,621	0,564
20	0,628	0,544
40	0,591	0,518
60	0,545	0,510
80	0,528	0,507
100	0,519	0,525
120	0,535	0,525
140	0,530	0,516
160	0,521	0,516
180	0,505	0,529
200	0,491	0,540
220	0,478	0,520
240	0,474	0,515
260	0,463	0,493
280	0,495	0,511
300	0,514	0,523
320	0,540	0,528
340	0,552	0,522
360	0,543	0,522
380	0,530	0,532
400	0,531	0,559
420	0,544	0,573
440	0,552	0,573
460	0,562	0,561
480	0,578	0,573
500	0,562	0,575
520	0,542	0,570
540	0,534	0,568
560	0,542	0,574
580	0,554	0,570
600	0,568	0,571
620	0,593	0,589
640	0,577	0,573
660	0,548	0,573
680	0,523	0,560
700	0,526	0,541
720	0,527	0,542
740	0,531	0,552
760	0,530	0,553
780	0,533	0,548
800	0,555	0,541
820	0,565	0,529
840	0,534	0,510

Kungens kurva sydlig										
m	fr1		m	fr1		m	fr1		m	fr1
0	0,559		940	0,534		1880	0,491		2820	0,528
20	0,557		960	0,547		1900	0,477		2840	0,531
40	0,560		980	0,550		1920	0,479		2860	0,520
60	0,556		1000	0,539		1940	0,503		2880	0,524
80	0,557		1020	0,511		1960	0,490		2900	0,516
100	0,554		1040	0,515		1980	0,474		2920	0,510
120	0,553		1060	0,497		2000	0,481		2940	0,516
140	0,547		1080	0,498		2020	0,473		2960	0,523
160	0,548		1100	0,507		2040	0,489			
180	0,550		1120	0,471		2060	0,471			
200	0,554		1140	0,447		2080	0,455			
220	0,560		1160	0,421		2100	0,444			
240	0,566		1180	0,520		2120	0,445			
260	0,559		1200	0,564		2140	0,451			
280	0,552		1220	0,542		2160	0,458			
300	0,562		1240	0,536		2180	0,470			
320	0,568		1260	0,536		2200	0,482			
340	0,559		1280	0,528		2220	0,479			
360	0,538		1300	0,517		2240	0,453			
380	0,536		1320	0,511		2260	0,437			
400	0,538		1340	0,499		2280	0,445			
420	0,542		1360	0,446		2300	0,446			
440	0,535		1380	0,462		2320	0,450			
460	0,545		1400	0,523		2340	0,454			
480	0,545		1420	0,547		2360	0,439			
500	0,548		1440	0,536		2380	0,427			
520	0,549		1460	0,493		2400	0,436			
540	0,560		1480	0,449		2420	0,425			
560	0,571		1500	0,492		2440	0,452			
580	0,574		1520	0,475		2460	0,429			
600	0,560		1540	0,506		2480	0,412			
620	0,544		1560	0,555		2500	0,550			
640	0,543		1580	0,567		2520	0,523			
660	0,545		1600	0,547		2540	0,514			
680	0,542		1620	0,543		2560	0,511			
700	0,542		1640	0,519		2580	0,500			
720	0,539		1660	0,504		2600	0,498			
740	0,547		1680	0,488		2620	0,495			
760	0,548		1700	0,491		2640	0,500			
780	0,541		1720	0,498		2660	0,510			
800	0,540		1740	0,512		2680	0,533			
820	0,541		1760	0,504		2700	0,539			
840	0,542		1780	0,502		2720	0,528			
860	0,542		1800	0,518		2740	0,521			
880	0,548		1820	0,518		2760	0,516			
900	0,546		1840	0,514		2780	0,525			
920	0,534		1860	0,511		2800	0,524			

Kungens kurva nordlig								
m	fr1	m	fr1	m	fr1	m	fr1	
0	0,474	900	0,447	1800	0,417	2700	0,711	
20	0,461	920	0,443	1820	0,459	2720	0,743	
40	0,461	940	0,444	1840	0,483	2740	0,736	
60	0,462	960	0,450	1860	0,496	2760	0,736	
80	0,465	980	0,452	1880	0,469	2780	0,746	
100	0,473	1000	0,462	1900	0,561	2800	0,747	
120	0,483	1020	0,452	1920	0,565	2820	0,717	
140	0,468	1040	0,454	1940	0,692	2840	0,694	
160	0,465	1060	0,457	1960	0,606	2860	0,707	
180	0,486	1080	0,463	1980	0,714	2880	0,690	
200	0,487	1100	0,467	2000	0,703	2900	0,707	
220	0,473	1120	0,463	2020	0,682	2920	0,714	
240	0,480	1140	0,450	2040	0,639	2940	0,750	
260	0,506	1160	0,433	2060	0,716	2960	0,719	
280	0,539	1180	0,430	2080	0,692			
300	0,524	1200	0,437	2100	0,719			
320	0,524	1220	0,440	2120	0,715			
340	0,523	1240	0,446	2140	0,737			
360	0,527	1260	0,458	2160	0,742			
380	0,518	1280	0,467	2180	0,739			
400	0,517	1300	0,473	2200	0,749			
420	0,507	1320	0,460	2220	0,727			
440	0,459	1340	0,462	2240	0,721			
460	0,481	1360	0,464	2260	0,771			
480	0,511	1380	0,456	2280	0,764			
500	0,407	1400	0,451	2300	0,756			
520	0,426	1420	0,465	2320	0,730			
540	0,426	1440	0,446	2340	0,724			
560	0,391	1460	0,443	2360	0,721			
580	0,427	1480	0,453	2380	0,734			
600	0,447	1500	0,445	2400	0,724			
620	0,447	1520	0,443	2420	0,742			
640	0,443	1540	0,449	2440	0,746			
660	0,446	1560	0,450	2460	0,750			
680	0,442	1580	0,448	2480	0,718			
700	0,450	1600	0,450	2500	0,733			
720	0,448	1620	0,451	2520	0,747			
740	0,446	1640	0,459	2540	0,741			
760	0,457	1660	0,435	2560	0,714			
780	0,459	1680	0,381	2580	0,727			
800	0,460	1700	0,363	2600	0,737			
820	0,463	1720	0,392	2620	0,737			
840	0,448	1740	0,417	2640	0,741			
860	0,438	1760	0,409	2660	0,747			
880	0,446	1780	0,395	2680	0,732			

BILAGA B – FRIKTION E4 SÖDERGÅENDE RIKTNING

Kompletterande friktionsmätning södergående riktning (E4N, Essingeleden)

ABE4 Kungens kurva

Beställare: Skanska Industrial Solutions

Kontakt: Roger Nilsson
072-573 11 80

Sträcka: K2, väg ABE4 från Tpl 165 till Tpl 157, södergående riktning.

Mätstart: Koordinater

SWEREF 99 TM: N 6 583 758 E 672 318

Mätläge: K2, höger hjulspår

Objektlängd: 6 660 meter

Mäthastighet: 70 km/h

Skyltad: 70 km/h

Beläggning: Okänd

Mätdatum: 17 oktober 2022

Vecka: 42

Klockslag: 23:18

Väder: Regn

Temp: Luft 8°C / Yta 9°C

Väglag: Våt vägbanan

Mätfordon: Roadfriction Tester 1. Registreringsnummer: SVENCAR (YTP 130)

Mätäck: Trelleborg T49 71J

Mönster: 3,8 mm

Egen märkning: S24

Ålder: 19/21 (vecka/år)

Mätansvarig: Sven Lindén

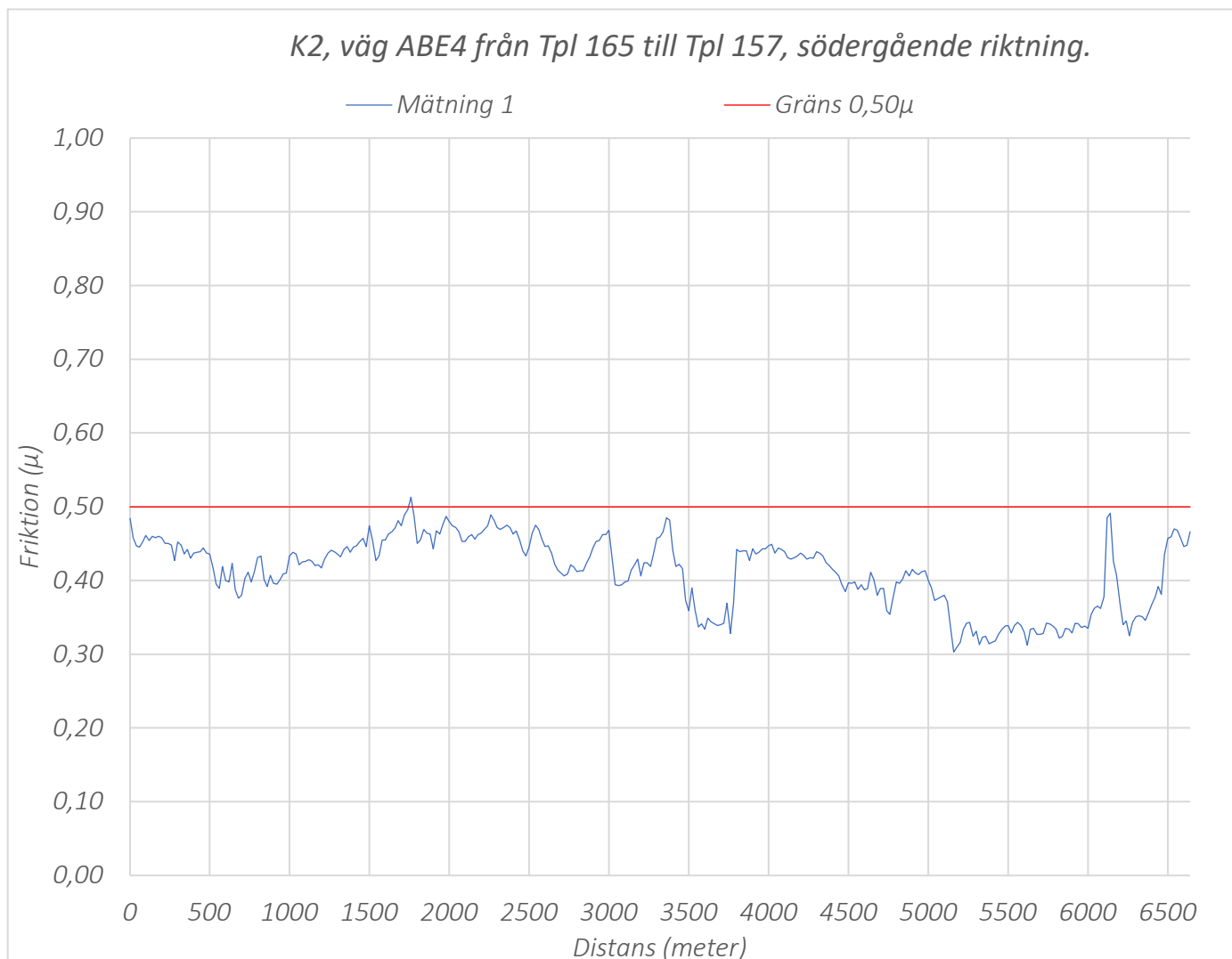
Bearbetad av: Christofer Rahm

Målplats foto: Sträckan ej bildokumenterad pga bristande ljusförhållanden.

Mätning är utförd och bearbetad enligt metodbeskrivning TDOK 2014:0134 Version 3.0.

Sträcka S8 har ett medelvärde på 0,41 μ . Krav är $\geq 0,50\mu$.

Endast enkelmätning är utförd | Sträckan har 20-meters medelvärden under 0,50 μ



Tabellen avser 20-meters medelvärden för 6 660 meters mätning.

	Mätning 1	Mätning 2	Medel	Diff M1-M2
Medelvärde:	0,41	#DIVISION/0!	0,41	#DIVISION/0!
STDAV:	0,05	#DIVISION/0!	0,05	
Min:	0,30	0,00	0,30	0,30
Max:	0,51	0,00	0,51	0,51
Diff min-max	0,21	0,00	0,21	0,21
			Största diff M1-M2:	0,51

Tabellen avser 20-meters medelvärden.

Meter	Mätning 1	Mätning 2	Medel	Diff M1-M2
0	0,48		0,48	0,48
20	0,46		0,46	0,46
40	0,45		0,45	0,45
60	0,45		0,45	0,45
80	0,45		0,45	0,45
100	0,46		0,46	0,46
120	0,45		0,45	0,45
140	0,46		0,46	0,46
160	0,46		0,46	0,46
180	0,46		0,46	0,46
200	0,46		0,46	0,46
220	0,45		0,45	0,45
240	0,45		0,45	0,45
260	0,45		0,45	0,45
280	0,43		0,43	0,43
300	0,45		0,45	0,45
320	0,45		0,45	0,45
340	0,44		0,44	0,44
360	0,44		0,44	0,44
380	0,43		0,43	0,43
400	0,44		0,44	0,44
420	0,44		0,44	0,44
440	0,44		0,44	0,44
460	0,44		0,44	0,44
480	0,44		0,44	0,44
500	0,44		0,44	0,44
520	0,42		0,42	0,42
540	0,40		0,40	0,40
560	0,39		0,39	0,39
580	0,42		0,42	0,42
600	0,40		0,40	0,40
620	0,40		0,40	0,40
640	0,42		0,42	0,42
660	0,39		0,39	0,39
680	0,38		0,38	0,38

Roadfriction

700	0,38		0,38	0,38
720	0,40		0,40	0,40
740	0,41		0,41	0,41
760	0,40		0,40	0,40
780	0,41		0,41	0,41
800	0,43		0,43	0,43
820	0,43		0,43	0,43
840	0,40		0,40	0,40
860	0,39		0,39	0,39
880	0,41		0,41	0,41
900	0,40		0,40	0,40
920	0,40		0,40	0,40
940	0,40		0,40	0,40
960	0,41		0,41	0,41
980	0,41		0,41	0,41
1 000	0,43		0,43	0,43
1 020	0,44		0,44	0,44
1 040	0,44		0,44	0,44
1 060	0,42		0,42	0,42
1 080	0,43		0,43	0,43
1 100	0,43		0,43	0,43
1 120	0,43		0,43	0,43
1 140	0,43		0,43	0,43
1 160	0,42		0,42	0,42
1 180	0,42		0,42	0,42
1 200	0,42		0,42	0,42
1 220	0,43		0,43	0,43
1 240	0,44		0,44	0,44
1 260	0,44		0,44	0,44
1 280	0,44		0,44	0,44
1 300	0,44		0,44	0,44
1 320	0,43		0,43	0,43
1 340	0,44		0,44	0,44
1 360	0,45		0,45	0,45
1 380	0,44		0,44	0,44
1 400	0,45		0,45	0,45
1 420	0,45		0,45	0,45
1 440	0,45		0,45	0,45
1 460	0,46		0,46	0,46
1 480	0,45		0,45	0,45
1 500	0,47		0,47	0,47
1 520	0,46		0,46	0,46
1 540	0,43		0,43	0,43
1 560	0,43		0,43	0,43
1 580	0,46		0,46	0,46
1 600	0,46		0,46	0,46
1 620	0,46		0,46	0,46
1 640	0,47		0,47	0,47
1 660	0,47		0,47	0,47

Roadfriction

1 680	0,48		0,48	0,48
1 700	0,47		0,47	0,47
1 720	0,49		0,49	0,49
1 740	0,50		0,50	0,50
1 760	0,51		0,51	0,51
1 780	0,49		0,49	0,49
1 800	0,45		0,45	0,45
1 820	0,46		0,46	0,46
1 840	0,47		0,47	0,47
1 860	0,46		0,46	0,46
1 880	0,46		0,46	0,46
1 900	0,44		0,44	0,44
1 920	0,47		0,47	0,47
1 940	0,46		0,46	0,46
1 960	0,48		0,48	0,48
1 980	0,49		0,49	0,49
2 000	0,48		0,48	0,48
2 020	0,47		0,47	0,47
2 040	0,47		0,47	0,47
2 060	0,47		0,47	0,47
2 080	0,45		0,45	0,45
2 100	0,45		0,45	0,45
2 120	0,46		0,46	0,46
2 140	0,46		0,46	0,46
2 160	0,46		0,46	0,46
2 180	0,46		0,46	0,46
2 200	0,46		0,46	0,46
2 220	0,47		0,47	0,47
2 240	0,47		0,47	0,47
2 260	0,49		0,49	0,49
2 280	0,48		0,48	0,48
2 300	0,47		0,47	0,47
2 320	0,47		0,47	0,47
2 340	0,47		0,47	0,47
2 360	0,48		0,48	0,48
2 380	0,47		0,47	0,47
2 400	0,46		0,46	0,46
2 420	0,47		0,47	0,47
2 440	0,46		0,46	0,46
2 460	0,44		0,44	0,44
2 480	0,43		0,43	0,43
2 500	0,45		0,45	0,45
2 520	0,46		0,46	0,46
2 540	0,48		0,48	0,48
2 560	0,47		0,47	0,47
2 580	0,46		0,46	0,46
2 600	0,45		0,45	0,45
2 620	0,45		0,45	0,45
2 640	0,44		0,44	0,44

Roadfriction

2 660	0,42		0,42	0,42
2 680	0,41		0,41	0,41
2 700	0,41		0,41	0,41
2 720	0,41		0,41	0,41
2 740	0,41		0,41	0,41
2 760	0,42		0,42	0,42
2 780	0,42		0,42	0,42
2 800	0,41		0,41	0,41
2 820	0,41		0,41	0,41
2 840	0,41		0,41	0,41
2 860	0,42		0,42	0,42
2 880	0,43		0,43	0,43
2 900	0,44		0,44	0,44
2 920	0,45		0,45	0,45
2 940	0,45		0,45	0,45
2 960	0,46		0,46	0,46
2 980	0,46		0,46	0,46
3 000	0,47		0,47	0,47
3 020	0,43		0,43	0,43
3 040	0,39		0,39	0,39
3 060	0,39		0,39	0,39
3 080	0,39		0,39	0,39
3 100	0,40		0,40	0,40
3 120	0,40		0,40	0,40
3 140	0,41		0,41	0,41
3 160	0,42		0,42	0,42
3 180	0,43		0,43	0,43
3 200	0,41		0,41	0,41
3 220	0,42		0,42	0,42
3 240	0,42		0,42	0,42
3 260	0,42		0,42	0,42
3 280	0,44		0,44	0,44
3 300	0,46		0,46	0,46
3 320	0,46		0,46	0,46
3 340	0,47		0,47	0,47
3 360	0,49		0,49	0,49
3 380	0,48		0,48	0,48
3 400	0,44		0,44	0,44
3 420	0,42		0,42	0,42
3 440	0,42		0,42	0,42
3 460	0,42		0,42	0,42
3 480	0,37		0,37	0,37
3 500	0,36		0,36	0,36
3 520	0,39		0,39	0,39
3 540	0,36		0,36	0,36
3 560	0,34		0,34	0,34
3 580	0,34		0,34	0,34
3 600	0,33		0,33	0,33
3 620	0,35		0,35	0,35

Roadfriction

3 640	0,34		0,34	0,34
3 660	0,34		0,34	0,34
3 680	0,34		0,34	0,34
3 700	0,34		0,34	0,34
3 720	0,34		0,34	0,34
3 740	0,37		0,37	0,37
3 760	0,33		0,33	0,33
3 780	0,37		0,37	0,37
3 800	0,44		0,44	0,44
3 820	0,44		0,44	0,44
3 840	0,44		0,44	0,44
3 860	0,44		0,44	0,44
3 880	0,43		0,43	0,43
3 900	0,44		0,44	0,44
3 920	0,44		0,44	0,44
3 940	0,44		0,44	0,44
3 960	0,44		0,44	0,44
3 980	0,44		0,44	0,44
4 000	0,45		0,45	0,45
4 020	0,45		0,45	0,45
4 040	0,44		0,44	0,44
4 060	0,44		0,44	0,44
4 080	0,44		0,44	0,44
4 100	0,44		0,44	0,44
4 120	0,43		0,43	0,43
4 140	0,43		0,43	0,43
4 160	0,43		0,43	0,43
4 180	0,43		0,43	0,43
4 200	0,44		0,44	0,44
4 220	0,43		0,43	0,43
4 240	0,43		0,43	0,43
4 260	0,43		0,43	0,43
4 280	0,43		0,43	0,43
4 300	0,44		0,44	0,44
4 320	0,44		0,44	0,44
4 340	0,43		0,43	0,43
4 360	0,42		0,42	0,42
4 380	0,42		0,42	0,42
4 400	0,42		0,42	0,42
4 420	0,41		0,41	0,41
4 440	0,41		0,41	0,41
4 460	0,39		0,39	0,39
4 480	0,39		0,39	0,39
4 500	0,40		0,40	0,40
4 520	0,40		0,40	0,40
4 540	0,40		0,40	0,40
4 560	0,39		0,39	0,39
4 580	0,39		0,39	0,39
4 600	0,39		0,39	0,39

Roadfriction

4 620	0,39		0,39	0,39
4 640	0,41		0,41	0,41
4 660	0,40		0,40	0,40
4 680	0,38		0,38	0,38
4 700	0,39		0,39	0,39
4 720	0,39		0,39	0,39
4 740	0,36		0,36	0,36
4 760	0,35		0,35	0,35
4 780	0,38		0,38	0,38
4 800	0,40		0,40	0,40
4 820	0,40		0,40	0,40
4 840	0,40		0,40	0,40
4 860	0,41		0,41	0,41
4 880	0,41		0,41	0,41
4 900	0,42		0,42	0,42
4 920	0,41		0,41	0,41
4 940	0,41		0,41	0,41
4 960	0,41		0,41	0,41
4 980	0,41		0,41	0,41
5 000	0,40		0,40	0,40
5 020	0,39		0,39	0,39
5 040	0,37		0,37	0,37
5 060	0,38		0,38	0,38
5 080	0,38		0,38	0,38
5 100	0,38		0,38	0,38
5 120	0,37		0,37	0,37
5 140	0,34		0,34	0,34
5 160	0,30		0,30	0,30
5 180	0,31		0,31	0,31
5 200	0,32		0,32	0,32
5 220	0,33		0,33	0,33
5 240	0,34		0,34	0,34
5 260	0,34		0,34	0,34
5 280	0,32		0,32	0,32
5 300	0,33		0,33	0,33
5 320	0,31		0,31	0,31
5 340	0,32		0,32	0,32
5 360	0,32		0,32	0,32
5 380	0,31		0,31	0,31
5 400	0,32		0,32	0,32
5 420	0,32		0,32	0,32
5 440	0,33		0,33	0,33
5 460	0,33		0,33	0,33
5 480	0,34		0,34	0,34
5 500	0,34		0,34	0,34
5 520	0,33		0,33	0,33
5 540	0,34		0,34	0,34
5 560	0,34		0,34	0,34
5 580	0,34		0,34	0,34

Roadfriction

5 600	0,33		0,33	0,33
5 620	0,31		0,31	0,31
5 640	0,33		0,33	0,33
5 660	0,34		0,34	0,34
5 680	0,33		0,33	0,33
5 700	0,33		0,33	0,33
5 720	0,33		0,33	0,33
5 740	0,34		0,34	0,34
5 760	0,34		0,34	0,34
5 780	0,34		0,34	0,34
5 800	0,33		0,33	0,33
5 820	0,32		0,32	0,32
5 840	0,32		0,32	0,32
5 860	0,34		0,34	0,34
5 880	0,33		0,33	0,33
5 900	0,33		0,33	0,33
5 920	0,34		0,34	0,34
5 940	0,34		0,34	0,34
5 960	0,34		0,34	0,34
5 980	0,34		0,34	0,34
6 000	0,34		0,34	0,34
6 020	0,35		0,35	0,35
6 040	0,36		0,36	0,36
6 060	0,37		0,37	0,37
6 080	0,36		0,36	0,36
6 100	0,38		0,38	0,38
6 120	0,49		0,49	0,49
6 140	0,49		0,49	0,49
6 160	0,43		0,43	0,43
6 180	0,41		0,41	0,41
6 200	0,37		0,37	0,37
6 220	0,34		0,34	0,34
6 240	0,35		0,35	0,35
6 260	0,33		0,33	0,33
6 280	0,34		0,34	0,34
6 300	0,35		0,35	0,35
6 320	0,35		0,35	0,35
6 340	0,35		0,35	0,35
6 360	0,35		0,35	0,35
6 380	0,36		0,36	0,36
6 400	0,37		0,37	0,37
6 420	0,38		0,38	0,38
6 440	0,39		0,39	0,39
6 460	0,38		0,38	0,38
6 480	0,44		0,44	0,44
6 500	0,46		0,46	0,46
6 520	0,46		0,46	0,46
6 540	0,47		0,47	0,47
6 560	0,47		0,47	0,47

Roadfriction

6 580	0,46		0,46	0,46
6 600	0,45		0,45	0,45
6 620	0,45		0,45	0,45
6 640	0,47		0,47	0,47

BILAGA C – FRIKTION E4 NORRGÅENDE RIKTNING

Kompletterande friktionsmätning norrgående riktning (E4N, Essingeleden)

ABE4 Kungens kurva

Beställare: Skanska Industrial Solutions

Kontakt: Roger Nilsson
072-573 11 80

Sträcka: K2, väg ABE4 från Tpl 162 till Tpl 165, norrgående riktning.

Mätstart: Koordinater

SWEREF 99 TM: N 6 582 373 E 671 284

Mätläge: K2, höger hjulspår

Objektlängd: 2 660 meter

Mäthastighet: 70 km/h

Skyltad: 70 km/h

Beläggning: Okänd

Mätdatum: 17 oktober 2022

Vecka: 42

Klockslag: 23:10

Väder: Regn

Temp: Luft 8 °c / Yta 9 °c

Väglag: Våt vägbanan

Mätfordon: Roadfriction Tester 1. Registreringsnummer: SVENCAR (YTP 130)

Mätdeck: Trelleborg T49 71J

Mönster: 3,8 mm

Egen märkning: S24

Ålder: 19/21 (vecka/år)

Mätansvarig: Sven Lindén

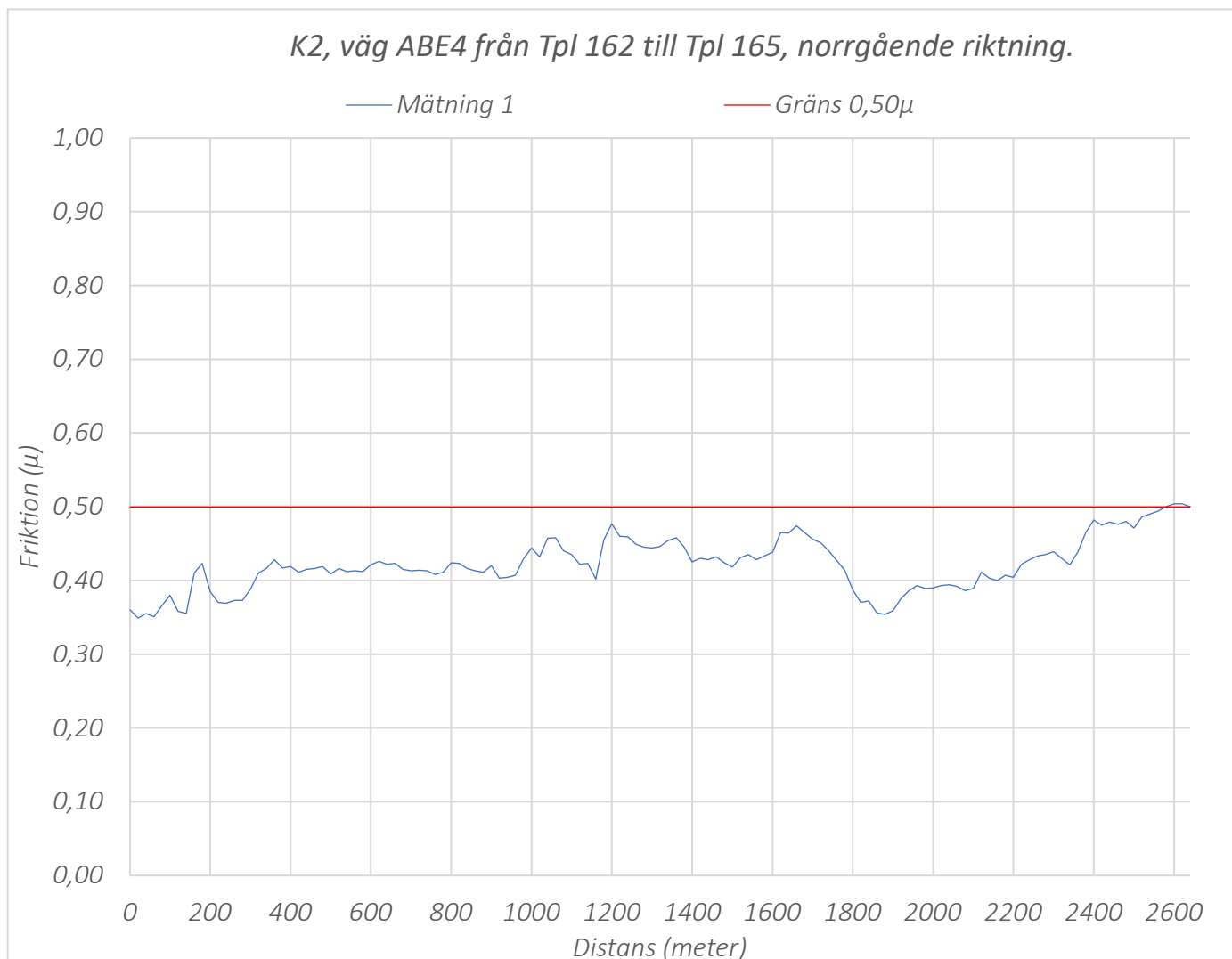
Bearbetad av: Christofer Rahm

Målplats foto: Sträckan ej bilddokumenterad pga bristande ljusförhållanden.

Mätning är utförd och bearbetad enligt metodbeskrivning TDOK 2014:0134 Version 3.0.

Sträcka S7 har ett medelvärde på 0,42 μ . Krav är \geq 0,50 μ .

Endast enkelmätning är utförd | **Sträckan har 20-meters medelvärden under 0,50 μ**



Tabellen avser 20-meters medelvärden för 2 660 meters mätning.

	Mätning 1	Mätning 2	Medel	Diff M1-M2
Medelvärde:	0,42	#DIVISION/0!	0,42	#DIVISION/0!
STDAV:	0,04	#DIVISION/0!	0,04	
Min:	0,35	0,00	0,35	0,35
Max:	0,50	0,00	0,50	0,50
Diff min-max	0,16	0,00	0,16	0,16
			Största diff M1-M2:	0,50

Tabellen avser 20-meters medelvärden.

Meter	Mätning 1	Mätning 2	Medel	Diff M1-M2
0	0,36		0,36	0,36
20	0,35		0,35	0,35
40	0,36		0,36	0,36
60	0,35		0,35	0,35
80	0,37		0,37	0,37
100	0,38		0,38	0,38
120	0,36		0,36	0,36
140	0,36		0,36	0,36
160	0,41		0,41	0,41
180	0,42		0,42	0,42
200	0,39		0,39	0,39
220	0,37		0,37	0,37
240	0,37		0,37	0,37
260	0,37		0,37	0,37
280	0,37		0,37	0,37
300	0,39		0,39	0,39
320	0,41		0,41	0,41
340	0,42		0,42	0,42
360	0,43		0,43	0,43
380	0,42		0,42	0,42
400	0,42		0,42	0,42
420	0,41		0,41	0,41
440	0,42		0,42	0,42
460	0,42		0,42	0,42
480	0,42		0,42	0,42
500	0,41		0,41	0,41
520	0,42		0,42	0,42
540	0,41		0,41	0,41
560	0,41		0,41	0,41
580	0,41		0,41	0,41
600	0,42		0,42	0,42
620	0,43		0,43	0,43
640	0,42		0,42	0,42
660	0,42		0,42	0,42
680	0,42		0,42	0,42

Roadfriction

700	0,41		0,41	0,41
720	0,41		0,41	0,41
740	0,41		0,41	0,41
760	0,41		0,41	0,41
780	0,41		0,41	0,41
800	0,42		0,42	0,42
820	0,42		0,42	0,42
840	0,42		0,42	0,42
860	0,41		0,41	0,41
880	0,41		0,41	0,41
900	0,42		0,42	0,42
920	0,40		0,40	0,40
940	0,40		0,40	0,40
960	0,41		0,41	0,41
980	0,43		0,43	0,43
1 000	0,44		0,44	0,44
1 020	0,43		0,43	0,43
1 040	0,46		0,46	0,46
1 060	0,46		0,46	0,46
1 080	0,44		0,44	0,44
1 100	0,44		0,44	0,44
1 120	0,42		0,42	0,42
1 140	0,42		0,42	0,42
1 160	0,40		0,40	0,40
1 180	0,46		0,46	0,46
1 200	0,48		0,48	0,48
1 220	0,46		0,46	0,46
1 240	0,46		0,46	0,46
1 260	0,45		0,45	0,45
1 280	0,45		0,45	0,45
1 300	0,44		0,44	0,44
1 320	0,45		0,45	0,45
1 340	0,45		0,45	0,45
1 360	0,46		0,46	0,46
1 380	0,45		0,45	0,45
1 400	0,43		0,43	0,43
1 420	0,43		0,43	0,43
1 440	0,43		0,43	0,43
1 460	0,43		0,43	0,43
1 480	0,42		0,42	0,42
1 500	0,42		0,42	0,42
1 520	0,43		0,43	0,43
1 540	0,44		0,44	0,44
1 560	0,43		0,43	0,43
1 580	0,43		0,43	0,43
1 600	0,44		0,44	0,44
1 620	0,47		0,47	0,47
1 640	0,46		0,46	0,46
1 660	0,47		0,47	0,47

Roadfriction

1 680	0,47		0,47	0,47
1 700	0,46		0,46	0,46
1 720	0,45		0,45	0,45
1 740	0,44		0,44	0,44
1 760	0,43		0,43	0,43
1 780	0,41		0,41	0,41
1 800	0,39		0,39	0,39
1 820	0,37		0,37	0,37
1 840	0,37		0,37	0,37
1 860	0,36		0,36	0,36
1 880	0,35		0,35	0,35
1 900	0,36		0,36	0,36
1 920	0,38		0,38	0,38
1 940	0,39		0,39	0,39
1 960	0,39		0,39	0,39
1 980	0,39		0,39	0,39
2 000	0,39		0,39	0,39
2 020	0,39		0,39	0,39
2 040	0,39		0,39	0,39
2 060	0,39		0,39	0,39
2 080	0,39		0,39	0,39
2 100	0,39		0,39	0,39
2 120	0,41		0,41	0,41
2 140	0,40		0,40	0,40
2 160	0,40		0,40	0,40
2 180	0,41		0,41	0,41
2 200	0,40		0,40	0,40
2 220	0,42		0,42	0,42
2 240	0,43		0,43	0,43
2 260	0,43		0,43	0,43
2 280	0,44		0,44	0,44
2 300	0,44		0,44	0,44
2 320	0,43		0,43	0,43
2 340	0,42		0,42	0,42
2 360	0,44		0,44	0,44
2 380	0,47		0,47	0,47
2 400	0,48		0,48	0,48
2 420	0,48		0,48	0,48
2 440	0,48		0,48	0,48
2 460	0,48		0,48	0,48
2 480	0,48		0,48	0,48
2 500	0,47		0,47	0,47
2 520	0,49		0,49	0,49
2 540	0,49		0,49	0,49
2 560	0,49		0,49	0,49
2 580	0,50		0,50	0,50
2 600	0,50		0,50	0,50
2 620	0,50		0,50	0,50
2 640	0,50		0,50	0,50

