

Slutrapport

Författare:
Roger Nilsson
Skanska Teknik
VTC-Nord
Tel: 010-448 78 74

Datum:
Januari 2016

FUNKTIONELL RENGÖRING AV BULLERREDUCERANDE BELÄGGNINGAR: SLUTRAPPORT



FUNKTIONELL RENGÖRING AV BULLERREDUCERANDE BELÄGGNINGAR

SLUTRAPPORT



SKANSKA

Förord

Föreliggande slutrapport sammanfattar utvecklingsprojektet, "Funktionell rengöring av bullerreducerande beläggningar (etapp I, SBUF-projekt 12020 [1] och etapp II, SBUF-projekt 12395)". Projektet startade 2008 och omfattar kompletterande och utökade fältförsök samt experimentella undersökningar till SBUF-projekt 11640 "*Bullerdämpande beläggningar – Utvärdering & uppföljning av provsträckor på E18 & E4*" [2]. Detta projekt har också nyttjat resultat från SBUF-projekt 12669 "*Röntgenundersökning av bullerreducerande beläggningar*". Projektet har haft ett nära kunskapsutbyte med pågående bullerprojekt i Sverige och Norge.

I etapp I identifierades och utfördes en första fenomenologisk utvärderingen av tillgängliga och lovande rengöringsutrustningar vilka visade att det finns en stor potential att vidareutveckla och optimera rengöringstekniken samt metoderna för att effektivisera rengöringen av Svenska bullerreducerande beläggningar. Utvärderingen visade också att kunskapen är begränsad vad gäller faktorer som påverkar rengöringen samt dess långsiktiga effekt.

I etapp II utfördes experimentella försök för att utforska vilka faktorer som påverkar rengöringen med hjälp av en egenutvecklad rengöringsramp. Kunskapsutbytet bidrog till en vidareutveckling samt patenterad rengöringsutrustning, VÄGREN, särskilt anpassad för Svenska bullerreducerande beläggningar.

Denna rapport sammanfattas etapp I & II av projektet samt utvecklingen och utvärderingen av VÄGREN. I en första del beskrivs experimentella försök för att identifiera och utvärdera relevanta faktorer för att erhålla effektiv rengöring av bullerreducerande beläggningar. I en andra del utvärderas VÄGREN genom rengöring samt analys av befintliga teststräckor.

Rengöringseffekten har utvärderats visuellt samt utifrån olika funktionella egenskaper erhållna genom buller- och permeabilitetsmätningar samt datortomografi (DT-scanning). Bullermätningar har utförts av TUG, Acoustic Control, SINTEF/Norska Vegvesendet samt av Skanska. Rengöringsförsök har utförts i fält med utrustning från Disab-Tella AB (Sverige), Oslo Lufthavn – OSL (Norge), Gebr. Van Doorn (Holland) samt Skanska. AnalyCen/Eurofins har utfört kemisk analys av spolvatten och slam. Labbanalyser och fältanalyser har utförts av Skanska samt av Nynäs AB. DT-scanning har utförts av Delfts Universitet i Holland och av KTH. VÄGREN har även varit med i en utvärdering av städmaskiners förmåga att minska PM₁₀-halter.

Projektet har haft en styr- och referensgrupp som består av ombud från Trafikverket samt av entreprenörer, enligt nedan:

Roger Nilsson Skanska (projektledare)

Pereric Westergren Trafikverket, IVtmt

Stefan Pettersson VVST

Nils Ulmgren NCC

Johan Hugolf Skanska

Projektet har finansierats av SBUF, Vägverket Borlänge, Vägverket Region Stockholm, samt av Skanska.

Entré Lindhagen 2016-01-08

Roger Nilsson

Sammanfattning

I en allt mer globaliserad värld har trafikbuller blivit ett allt större problem i samhället då allt fler människor utsätts för skadligt höga bullernivåer. Buller är inte bara ett stort miljö- och hälsoproblem utan påverkar också möjligheten att bygga vägar och bostäder. Aktuella forskningsresultat visar att långvarig bullerexponering dessutom ökar risken för hjärt- och kärlsjukdomar. Störande trafikljud ses som ett folkhälsoproblem och har uppmärksammats av både EU och WHO. Trots att däck och fordon har blivit allt tystare under de senare åren har inte den totala trafikbullerexponeringen minskat utan snarare ökat i takt med trafiken. Det finns därför ett stort behov av effektiva åtgärder för bullerbekämpning.

Intresset för bullerreducerande beläggningar har funnits länge, men det har i vårt land varit svårt att åstadkomma slitstarka beläggningar med tillfredsställande livslängd som samtidigt har kvar sin bullerdämpande effekt mer än något eller några år. Det är framför allt den nordiska vintern samt behovet av dubbdäck som har betingat problem som kortlivad akustisk- och teknisk livslängd.

Under de senaste åren det pågått en utveckling av öppna bullerdämpande beläggningar som bättre klarar nordiska förhållanden. Nyutvecklade beläggningar har visat sig att ge förbättrad bullerreduktion samt bättre livslängd än vid tidigare försök. Uppföljning från ett antal provsträckor visar på en potential för dessa typer av beläggningar i nordiskt klimat. Olika typer av bullerreducerande beläggningar har utvecklats och prövats för olika förutsättningar, tex klimat, trafikmängd, andel dubbdäck etc.. Idag finns provsträckor mellan Malmö i syd och Sävest i Norr. Det finns provsträckor som visat på otillfredsställande beständighet vad gäller tekniska och akustiska egenskaper, vilket lett till en osäkerhet och begränsat en vidare användning av bullerreducerande beläggningar. En orsak till detta har visat sig bero på att de öppna beläggningar relativt snabbt sätts igen av slitagepartiklar orsakade av främst dubbdäck. För att vidmakthålla den akustiska livslängden krävs en effektiv rengöring av belägningens igensatta porstruktur.

Det finns därför en stor potential att undersöka och vidareutveckla de mest lovande rengöringsmetoderna samt rengöringsutrustningar för våra typer av bullerreducerande beläggningar och Svenska förhållanden.

I föreliggande rapport har en fenomenologisk studie av lovande och tillgängliga rengöringsutrustningar testats och utvärderats utifrån Svenska förhållanden. Studien baseras på ett begränsat antal utrustningar samt några få beläggningstyper, varför resultaten endast skall tolkas som indikativa och främst gäller testade utrustningar i kombination med testade beläggningstyper och lokala förhållanden. Resultaten kompletterar i stort de mätningar som utförts inom tidigare studier. Under projektets gång har viss utrustning och normer (ex. cpx-trailer, referens däck) förändrats varför en direkt jämförelse över åren inte alltid varit möjlig.

Rengöring med de olika högtrycksutrustningarna i kombination med vaccumsugning av de öppna beläggningarna har utförts mellan 2006 och 2015. Av de testade

rengöringsutrustningarna har de med roterande högtrycksmunstycken i kombination med kraftig sugförmåga visat sig ha bästa rengöringsförmåga. Kapaciteten hos utrustningarna varierar beroende på effektiv rengöringsbredd samt hur frekvent vatten måste fyllas på samt hur ofta uppsuget material (spolvatten och slam) måste tömmas.

Spolvattnet samt slammet har analyserats från första rengöringstillfället. I förhållande till tidigare generella riktvärden visade uppmätta nivåer att spolvattnet kan släppas ut i dagvattenbrunnar medan slammet låg på gränsen över KM och MKM. Eftersom resultaten varierar över åren samt mellan olika vägar rekommenderas att mätningar skall fortsätta att utföras så att spolvatten samt slam kan klassificeras och tas hand om på ett miljövänligt sätt.

Bullermätningarna indikerar att det går att återfå bullerreduktion om effektiv rengöring utförts under rätt betingelser. Från bullermätningarna kan man se att resultaten varierar mellan de olika metoderna men även mellan samma metod vid olika tillfällen. En del av dessa skillnader går att förklara med betingelser vid mättillfällena medan en del inte hittills har gått av att förklara. Alla beläggningstyper blir bullrigare med tiden förutom i några enskilda fall då det verkar som om beläggningen blir tystare. Att en beläggning plötsligt får bättre bullerreduktion kan bero på att slitaget åstadskommer en optimerad yttextur för de standardiserade mätdäcken. Denna effekt är inte bestående.

Rengöringsförsök har visuellt indikerat att beläggningssytorna ser mer öppna ut vilket också bekräftats av resultat av bullermätningar. Effekten av rengöringen är i storleksordningen 0 till 1 dBA. Genom att rengöra beläggningen pro-aktivt erhålls en bättre förutsättning för att hålla porstrukturen öppen.

Om bullerreduktionen inte går att öka med rengöring krävs omläggning eller omtoppning av det översta lagret i TA9. För att testa detta har det övre lagret på TA9 frästs bort och bytts ut mot ett nytt lager. Det undre lagret renspolades för att återfå en del av bullerreduktionen. Bullermätningar före omtoppning samt efter åtgärd har utförts. Resultat visar på att större delen av initiell bullerreduktion kan återfås om underliggande lager kan rengöras effektivt före omläggning.

Permeabilitetsmätningar har visat sig att ge värdefull information om vad som händer vid gränsskitet mellan tät och öppen beläggning. Beroende på trafikintensitet och vägtyp varierar längden över vilken vägpartiklar och andra föroreningar transporteras in i den öppna beläggningen. Detta sträcka benämns "dörrmatta" och innebär att sträckan med bullerreducerande beläggningen bör förlängas för att säkra den effektiva bullerreducerande ytan. Denna "dörrmatta" bör även beaktas vid analys av den genomsnittliga bullerreduktionen.

DT-scanning av provkroppar har visat sig att vara ett mycket värdefullt hjälpmedel då det medför att man kan "titta" in i beläggningens porstruktur. Vid en jämförelse mellan en relativt igensatt respektive öppen beläggning syns tydligt att igensättningen är lokaliserad till det översta lagret (ca 30 mm). Genom DT-scanning möjliggörs en djupare inblick i och hur igensättning av porstrukturen utvecklas.

Slutligen kan konstateras att bullerdämpande beläggningar är ett relativt kostnadseffektivt sätt att minska trafikbuller i Sverige. Ett antal försök och tester har utförts under de senare åren med varierande resultat. Resultatet från denna uppföljning visar att bullerreducerande beläggningar kan vara ett mycket bra alternativ eller komplement till mer traditionella åtgärder om de används på rätt ställe och under rätt förhållanden. Vårt nordiska klimat och dubbdäcksanvändning är inget hinder, men ställer högre krav på de bullerdämpande beläggningarna samt utökat underhåll då porstrukturen sätts igen snabbare beroende av hög andel dubbdäcksanvändning. För att bibehålla den akustiska livslängden krävs att dessa beläggningar kan rengöras på ett effektivt sätt för att återfå en del av bullerreduktionen. Utvärdering av VÄGREN visar på att det finns en stor potential att förbättra den ursprungliga bullerreducerande funktionen vid effektiv rengöring av Svenska bullerreducerande beläggningar. Den nyutvecklade och effektiva rengöringen hos VÄGREN består av 12 stycken patenterade spol- och sugkåpor. Denna teknik medför att en effektiv rengöring kan uppnås genom att applicera ett lågt vattentryck i kombination med kraftigt vaccumsug för att minimera negativ påverkan på beläggningen. VÄGREN har även visat sig ha en stor potential att minimera inandningsbara partiklar PM₁₀.

Långtidseffekter för renspolade beläggningar är inte kända. I många länder utförs renspolning av beläggningssytor men tyvärr sker ingen regelbunden bulleruppföljning av dessa ytor. Detta medför att det finns begränsat värde av den befintliga kunskapen om rengöringsmetodernas effektivitet. Denna kunskapsbrist försvårar införande av funktionella krav på rengöring vid upphandling av bullerreducerande beläggningar.

Resultaten i denna undersökning visar att en bullerreducerande beläggning bör renspolas minst två gånger per år, en gång på våren och en gång på hösten, för att uppnå en förebyggande och långsiktig bullerreduktion. Slutligen kan konstateras att VÄGREN har en bättre rengörande effekt i jämförelse med befintliga standard utrustningar.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	6
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	9
1. INLEDNING	11
1.1 BAKGRUND	11
1.2 SYFTE	14
1.3 METOD	14
2. BULLERREDUCERANDE BELÄGGNINGAR	16
2.1 TYST ASFALT	16
2.2 BULLERDÄMPANDE EGENSKAPER	19
2.3 POROSITET OCH PORSTRUKTUR	19
2.4 UNDERHÅLLSÅTGÄRDER	23
2.5 FUNKTIONELLA EGENSKAPER	23
2.6 ÖVRIGA SPECIFIKA EGENSKAPER	25
3. UTVÄRDERINGS METODER	27
3.1 BULLERMÄTNINGAR	27
3.2 PERMEABILITET	27
3.3 DT-SCAN	29
3.4 PROVSTRÄCKOR	32
4. UTVÄRDERING AV BEFINTLIGA SPOLUTRUSTNINGAR	34
4.1 BEFINTLIGA RENGÖRINGSUTRUSTNINGAR	34
4.2 OBSERVATIONER UNDER RENGÖRINGSFÖRSÖK	40
4.3 PERMEABILITETSMÄTNINGAR	41
4.4 DT-SCAN	43

4.5 BULLERMÄTNINGAR	46
4.6 ANALYS AV SPOLVATTEN OCH SEDIMENT (E4, ALBY)	52
4.7 RELEVANTA FUNKTIONSKRAV	57
5. UTVECKLING AV VÄGREN	58
5.1 EXPERIMENTELLA FÖRSÖK I FARSTA	58
5.2 EXPERIMENTELLA FÖRSÖK I LINNAHULT	64
5.3 UTVECKLING AV VÄGREN	76
5.4 JÄMFÖRELSE BARKARBY	80
5.4 RENGÖRINGSFÖRSÖK MED VÄGREN PÅ E4 HUSKVARNA	86
6. DISKUSSION	98
7. SLUTSATSER	99



1. Inledning

1.1 Bakgrund

Samhällsbuller är ett angeläget och utbrett hälso- och miljöproblem som har stor betydelse för vår hälsa och välbefinnande samt för möjligheten till en god livskvalitet. Uppsatta miljö kvalitetsmål avseende buller har visat sig vara omöjliga att nå inom en nära framtid. Höga bullernivåer medför dessutom begränsad utbyggnad av bostäder och infrastruktur.

Buller från trafiken har visat sig vara ett växande och i många avseenden eftersatt problem i samhället. Enligt rapporten "*Buller i Europa 2014*" från *Europeiska miljöbyrån, EEA [3]*, är vägtrafiken den dominerande källan till omgivningsbuller. Uppskattningsvis ca 125 miljoner människor i EU utsätts för bullernivåer som överstiger L_{den} 55 dB. Omgivningsbuller bedöms i Europa varje år orsaka ca 10 000 fall av för tidig död. Vidare upplever nästan 20 miljoner vuxna kraftig irritation och ytterligare 8 miljoner lider av sömnstörning. Varje år förorsakas mer än 900 000 fall av högt blodtryck av omgivningsbuller och buller leder till ca 43 000 sjukhusinläggningar. I Sverige beräknas upp mot två miljoner människor exponerade för störande vägtrafikbuller på nivåer som är högre än riktvärden för godtagbar miljö. Nära en miljon människor rapporterar besvär i eller i närheten av sin bostad.

I de större städerna har tysta områden blivit allt sällsyntare. Att sänka bullernivåerna i våra boendemiljöer har därför blivit allt mer prioriterat eftersom människor som exponeras för höga bullernivåer riskerar försämrad hälsa i form av bland annat, sömnstörningar, otrivsel, försämrad inlärningsförmåga samt ökad risk för hjärt- och kärlsjukdomar. Bullerstörningar har även en stressande inverkan och försämrar vår boendemiljö genom försämrad utomhusmiljö och därigenom begränsad möjlighet att sova med öppet fönster i våra bostäder. Vägtrafik är den huvudsakliga orsaken till bullerstörning i samhället. Trafikbuller är den störning som berör flest antal människor och är också den enda miljöfaktor för vilken klagomålen för allmänheten ökar. Trafikbullret besvärar både bilisterna samt de som bor eller arbetar längs vägarna.

Det finns således ett stort behov av effektiva åtgärder för bullerbekämpning samt nya tekniska lösningar för att minska bullret så att miljö kvalitetsmålen kan nås.

Det finns i dagsläget ingen unik lösning på problemet, och vid valet av en bullerdämpande åtgärd för ett bullerexponerat område ska hänsyn tas till vad som är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt.

Traditionellt har bullerbekämpning utförts genom att försöka begränsa spridningen av buller genom bullervallar, skärmar, tunnlar, skärningar, fasadisolering samt fönsterbyte. Dessa åtgärder ger ofta en bra reduktion men i många situationer är de varken ekonomiskt, tekniskt eller estetiskt försvarbara. Dessutom ger de en begränsad

reduktion av bullret i utemiljön. Vid fasadisolering och fönsterbyte får boende i utsatta fastigheter minskat buller inomhus. Utomhus, vid uteplatser, balkonger, lekplatser, gårdar och andra rekreativsområden finns dock bullerproblemet kvar. Vidare uppnås endast en avgränsad reduktion av bullret i utemiljön bakom skärmar och vallar som också kan elimineras vid ogynnsam väderleksförhållanden.

En allt större intresse har därför riktats mot att reducera buller direkt vid källan, dvs. uppkomsten i kontaktytan mellan däck och vägbeläggning. Bullerreduktion vid källan kan uppnås genom trafikbegränsande åtgärder som att minska trafiken och/eller minska hastigheten, användning av bättre däck/fordon/motorer samt användandet av bullerreducerande vägbeläggningar. Begränsning av trafiken är ofta inte en realistisk åtgärd då den kan motverka krav på framkomlighet och fri rörlighet. Under de senaste decennierna har stora framsteg uppnåtts för att producera allt tystare fordon och däck. Trots att däck och fordon har blivit allt tystare under de senare åren har inte den totala trafikbullerexponeringen minskat utan snarare ökat i takt med trafiken. Kommande förbättringar av fordon och däck kan inte ensamt förväntas säkerställa en god bullermiljö. Ett alternativ eller komplement som har fått ett ökat intresse under de senare åren är användandet av bullerreducerande vägbeläggningar. Fördelen med denna åtgärd är att bullret effektivt reduceras vid källan och minskar bullret både inom- och utomhus.

Att belägga vägarna med bullerdämpande beläggningar är ett relativt outnyttjat alternativ till de mer traditionella åtgärderna. Det har därför varit en kraftig utveckling av bullerreducerande beläggningar under de senaste 15-20 åren där framförallt Holland, Italien och Japan har varit ledande och framgångsrika. Idag används en stor andel bullerreducerande beläggningar i dessa länder för att minska bullret där det alstras.

Ekonomiska analyser runt om i Europa indikerar att lågbullrande beläggningar kan vara det mest kostnadseffektiva bullerreducerande åtgärden jämfört med t.ex. bullervallar och fönsterisoleringar.

Intresset för bullerreducerande beläggningar har funnits länge, men det har i de nordiska länderna varit svårt att åstadkomma slitstarka beläggningar med tillfredsställande livslängd som samtidigt har kvar sin bullerdämpande effekt mer än något eller några år. Det är framförallt användandet av dubbdäck under vinterperioden som har betingat problem med kortlivad akustisk- och teknisk livslängd. Sverige tillåter även större och tyngre fordon som kan öka belastningen och livslängden hos bullerreducerande beläggningar.

Under årens lopp har således flera försök med olika typer av öppna beläggningar utvärderats som följd av ett ökat behov av bullerdämpande åtgärder. Målet har varit att utveckla hållbara produkter med tillfredsställande akustiska som tekniska egenskaper. Resultaten har varit varierande, mycket beroende på lokala förutsättningar samt otillräcklig kunskap om proportionering, produktion samt drift- och underhållsåtgärder. Öppna beläggningar, är en typ av slitlagerbeläggning med hög hållrumshalt som har dränerande egenskaper och samtidigt reducera buller. Internationellt har utvecklingen av bullerreducerande beläggningar av denna typ på senare år varit framgångsrik och används idag i stor utsträckning i ett flertal länder.

Eftersom det Nordiska klimatet kraftigt skiljer sig från det centraleuropeiska måste vi anpassa dessa lösningar till våra speciella förhållanden som dubbdäcksanvändning och vinterväghållning. Erfarenheter från tidiga provsträckor med bullerreducerande beläggningar i Sverige visade på god initiell bullerreduktion men kort livslängd. Dessa beläggningar var ca 3-5 dB(A) tystare än referensbeläggningsen (ABS16). Redan efter några år var bullerreduktionen kraftigt reducerad eller helt borta pga. igensätta hålrum i beläggningsen. I vissa fall var det också problem med stenlossning eftersom beläggningsen ofta lades i en fräslåda där vatten inte kunde dränera ur.

Det finns därför en stor potential att undersöka och vidareutveckla de mest lovande bullerreducerande beläggningar som används i central Europa för våra förhållanden.

Inom ramen för ett EU-projekt, Silvia, identifierades tre olika lovande beläggningstyper. Genom att utvärdera dessa beläggningstyper, utvecklande av nya högmodifierande bindemedel samt olika stenmaterial har en positiv utveckling av beläggningar som bättre klarar svåra klimat samt trafikmängd etc. utvecklats för Nordiska förhållanden. Dessa nya beläggningstyper har visat sig reducera upp mot 10 dBA i förhållande till ABS16.

Resultat och erfarenheter från fältförsök med dessa vidareutvecklade beläggningar indikerar att de kan vara ett mycket konkurrenskraftigt alternativ till mer traditionella åtgärder om de används på rätt ställe och under rätt förhållanden [4-9].

Långtidseffekter för dessa beläggningar är inte kända för Svenska förhållanden. En avgörande faktor för att bibehålla den bullerreducerande effekten är effektiv rengöring av porstrukturen.

Den bullerreducerande förmågan beror främst på beläggningsens textur samt porstruktur. När beläggningsen är ny har den en hög andel kommunicerande hålrum som bidrar till bullerreduktionen. När den procentuella andelen hålrum minskar med tiden reduceras den bullerreducerande effekten. Det är främst partiklar och vägdamm som fastnar i porstrukturen och medverkar till igensättning av hålrummen. Denna igensättning accelereras i de nordiska länderna på grund av frekvent användande av dubbdäck. För att minska dubbdäcksslitage används dessutom beläggningar med större maximal stenstorlek vilka genererar dock mer trafikbuller.

Det är därför viktigt att förstå igensättningsprocessen av beläggningsens porstruktur så att den kan minimeras och återställas med riktade underhållsåtgärder.

För att förbättra den akustiska livslängden har olika typer av rengöringsutrustningar testats. Utvärderingen från dessa tester har inte varit entydiga, vilket har lett till att effekterna av rengöring har ifrågasatts. Det finns således ett behov av att kunna utvärdera porstrukturen före och efter rengöring.

I många länder utförs renspolning regelbundet med över tiden. Det finns dock få resultat redovisade om effekten av renspolningen. En av svårigheterna beror på att det saknas metoder för att utvärdera effekten. De få resultat som finns är också omdebatterade eftersom det saknas resultat och erfarenhet för Nordiska förhållanden med dubbdäcksanvändning. Diskussionerna handlar om när en rengöringsåtgärd skall

sättas in. Författaren har en teori om att ett proaktivt samt förebyggande rengöringsstrategi är att föredra ur ett kostnadsperspektiv. Utmaningen är att påvisa detta. Om åtgärden sätts in tidigt är det oklart om effekten kan mätas och dokumenteras, och sätts åtgärden in för sent så kan rengöringen ha begränsad effekt. Vidare måste långtidseffekterna påvisas samt effekten av förseglingar, omtoppningar etc. Denna kunskapsbrist försvårar införande av funktionella krav på rengöring vid upphandling av bullerreducerande beläggningar. Det existerar även gamla förutfattade meningar om nyttan med rengöring baserade på tidigare försök.

Det finns därför ett stort behov och potential för att öka kunskapsnivån inom det aktuella området för både beställare, konsulter och entreprenörer genom att utveckla funktionella parametrar vid rengöring av bullerreducerande beläggningar. På sikt bidrar detta till en kunskapsuppbyggnad i hela branschen om hur bullerdämpande beläggningar skall underhållas samt vilka krav som skall ställas på dem. I förlängningen bidrar detta projekt till en bättre och mer kostnadseffektiv bullermiljö för alla.

1.2 Syfte

Föreliggande SBUF-projekt syftar till att öka kunskapen om hur bullerreducerande beläggningar skall rengöras samt vilka funktionella krav som bör ställas på den för att bibehålla den akustiska livslängden.

Syftet är vidare att kunskaperna på sikt skall leda till förbättrade möjligheter att utvärdera utförda rengöringsmetoder. Kunskap om akustisk livslängd kommer att bidra till att ekonomiska aspekter kommer att kunna beaktas.

Projektet kommer också att utvärdera miljöaspekter vid rengöring samt hur slam och spolvatten skall hanteras.

Projektet förväntas öka kunskapen om de faktorer som bidrar till effektiv rengöring samt med vilken frekvens de bör utföras. Arbetet förväntas också att bidra med kunskapsuppbyggnad för utvecklande av framtida funktionskrav att tillämpa i kommande regelverk och kvalitetssystem.

Projektet kommer också att ha ett nära samarbete med ett Norskt samt Nationellt bullerprojekt för att dela information och kunskap.

1.3 Metod

Projektet omfattar kompletterande och utökade fältförsök samt experimentella undersökningar till SBUF-projekt 11640 "Bullerdämpande beläggningar – Utvärdering & uppföljning av provsträckor på E18 & E4" [2]. Rengöringsförsök med några tillgängliga rengöringsutrustningar från Sverige, Norge samt Holland har utförts på tillgängliga

beläggningstyper med varierande ålder och igensättningsgrad. En egenutvecklad rengöringsutrustning, VÄGREN, har utvecklats baserat på experimentellt utförda rengöringsförsök.

I detta projekt genomförs en fenomenologisk studie där effekten av olika rengöringsutrustningar utvärderas. Rengöringseffekten kommer att utvärderas visuellt samt utifrån olika funktionella egenskaper erhållna genom CPX-mätningar, permeabilitetsmätningar samt DT-scanning. Kemisk analys av spolvatten och slam kommer att utföras.

Genom att komplettera redan genomförda mätningar kommer information som omfattar en större del av beläggningarnas hela livslängd att kunna utvärderas vilket ger en i högre grad fullständig bild om dess funktionella egenskaper.

Renspolning av igensatta porer hos dränbeläggningar kommer att utföras med särskilda högtrycksutrustningar vilka kommer att bidra med värdefull information om hur stor del av bullerreduktionen som kan återfås.

Vidare kommer det översta lagret i dubbel-dränbeläggningen att fräsas bort samt ersättas med ett nytt för att utvärdera möjligheten att förlänga den akustiska livslängden för denna typ av beläggning, enligt Holländskt koncept där det undre dränerande lagret kommer att renspolas innan en ny dränerande topp utföres.



2. Bullerreducerande beläggningar

Skanska har en lång tradition av bullerreducerande beläggningar. Sedan 1980-talet har man aktivt arbetat för att utveckla öppna asfaltbeläggningar med fokus på både teknisk- och akustisk beständighet för olika trafik- och klimatförhållanden. De första beläggningarna optimerades främst mot god dräneringsförmåga, med dess bullerreducerande förmåga noterades också (första generationens bullerreducerande beläggningar). Sedan början av 1990-talet har Skanska utvecklat och testat en förbättrad typ av öppen asfalt (andra generationens bullerreducerande beläggningar). Sedan början av 2000-talet har Skanska medverkat i två olika EU-projekt (SILVIA & SILENCE) [5, 6] där olika typer av lovande beläggningstyper utvärderats och vidareutvecklats för att passa våra förhållanden, ex. Tyst Asfalt, (tredje generationens bullerreducerande beläggningar). Under de senare åren har mer högpresterande bitumen utvecklats samt att högre andel bitumen i beläggningen utvecklats för att ytterligare öka beständigheten. Det finns idag ett antal firmabundna beläggningstyper som är speciellt framtagna för att reducera trafikbuller. I denna rapport benämns de olika beläggningstyperna för bullerreducerande beläggningar om inte annat anges.

2.1 Tyst Asfalt

Tyst Asfalt är i grunden slitlagerbeläggningar som kombinerar effektiv bullerdämpning med ökad trafiksäkerhet och beständighet. Tyst Asfalt är främst ett kostnadseffektivt alternativ eller komplement till andra bullerreducerande åtgärder såsom bullerplank och fasadisolering. I många fall är Tyst Asfalt det mest attraktiva alternativet eftersom bullret sänks direkt vid källan vilket ger en bättre ljudmiljö både inomhus och utomhus.

Tyst Asfalt marknadsförs i tre olika produkter vilka benämns utifrån största möjliga initiala bullerreduktion. De tre produkterna benämns, Tyst Asfalt 3 (TA3), Tyst Asfalt 6 (TA6) och Tyst Asfalt 9 (TA9), där siffran i namnet anger högsta möjliga bullerreduktion i dBA. Tyst Asfalt 9 reducerar som mest 9 dBA vilket upplevs som en halvering av ljudnivån. Eftersom bullerreduktion inte är ett absolut värde utan skillnaden mellan två beläggningar, ex Tyst Asfalt och referensbeläggning (vanligtvis ABS16), kommer effektiv bullerreduktion vara unik för varje enskilt objekt. Vidare är reduktionen beroende av bl.a. trafikmängd, trafiksammansättning, hastighet, stenstorlek, samt utförande. Största potentiella bullerreduktion för ett specifikt objekt är således en funktion av ett antal faktorer utifrån objektets unika förutsättningar och ges utifrån en särskild utvärdering och möjlig optimering av ingående material samt kvalitetssäkrad produktionsprocess. Angiven maximal reduktion för varje version av Tyst Asfalt är i relation till en ABS16 och erfarenheter utifrån utförda objekt.

Tyst Asfalt 3 (TA3) är en beläggning som läggs i ett lager (25-30 mm) och ger en initieell bullerreduktion på maximalt 3 dBA. Beläggningen har kubiserat stenmaterial med nominell stenmax på 8-11 mm och benämns TA3/8 alt. TA3/11.

Tyst Asfalt 6 (TA6) är en beläggning som läggs i ett lager (40-50 mm) och ger en initiell bullerreduktion på maximalt 6 dBA. Beläggningen har kubiserat stenmaterial med nominell stenmax på 8-16 mm och benämns TA6/8, TA6/11 samt TA6/16.

Tyst Asfalt 9 (TA9) är en tvålayersbeläggning som läggs i två lager (30+50 mm) där det övre lagret är mer finkornigt och därmed fungerar som ett filter mot igensättning av bottenlagrets porstruktur. Den initiella bullerreduktionen är maximalt 9 dBA. Beläggningens övre lager (30mm) med ett stenmax på 11 mm benämns TA9/11 (övre lager). Det undre lagret (50mm) har ett stenmax på 16mm och benämns TA9/16 (undre lager).

Benämningen är vald genom en förkortning av Tyst Asfalt till TA följt av bullerreduktionen och stenmax. Bindemedlet som används i alla lager är ett specialutvecklat högmodifierat polymerbitumen från Nynäs AB.

De primära beläggningsparametrar som optimeras med aspekt på bullerreduktion är kopplade till porositet (andel kommunicerande hålrum) samt anpassad ytstruktur hos den färdiga beläggningsytan (textur). Generellt ökar bullerreduktionen med ökad porositet samt mindre stenmax. Den speciella sammansättningen medför att bullret från däckan reduceras avsevärt jämfört mot täta beläggningar. En annan effekt med den öppna porstrukturen är förmågan att dränera bort ytvatten, se Figur 2.1.



Figur 2.1 Öppen porstruktur med god dränerande egenskaper.

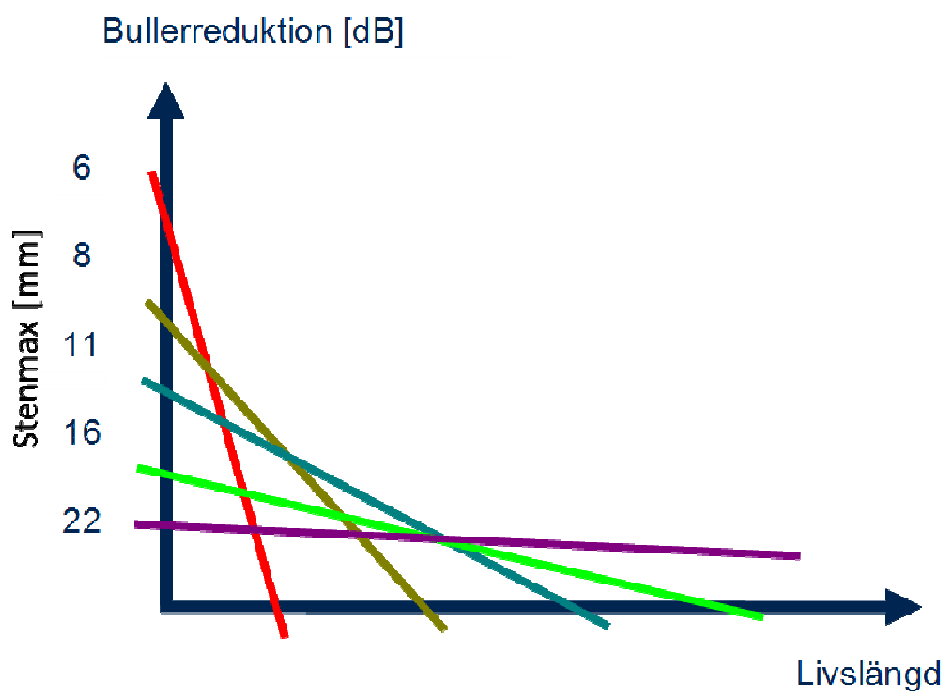
Figur 2.2 visar effekten av den dränerande egenskapen på en trafikerad väg. Bilderna visar samma fordon framförandes på en tät respektive öppen beläggning. På den vänstra bilden syns tydligt hur ytvatten stänker runt om fordonet (tät beläggning, ABS16). På den högra bilden kör fordonet över en öppen beläggning och allt vatten dräneras ner i beläggningen och inget stänk förekommer. Observera att bilderna är tagna med bara några sekunders mellanrum.



Figur 2.2 Effekt av dränerande beläggning (ABS16 till vänster och TA9 till höger)

Dränerande- och bullerreducerande egenskaperna kan erhållas genom att proportionera en öppen beläggning med högt hålrum och använda en fraktion med mindre stenmax.

Ett motsatsförhållande till förbättrad bullerminskning är att det medför minskat slitagebeständighet (t.ex. minskad stenmax och högt hålrum). Större bullerreduktion uppnås således på bekostnad av beständigheten. Bullerreducerande beläggningar har därför något kortare livslängd än traditionella täta beläggningstyper. För bullerreducerande beläggningar beaktas både den akustiska samt tekniska livslängden. Figur 2.3 visar schematiskt hur bullerreduktion samt livslängd påverkas av stenmax i den öppna beläggningen.



Figur 2.3 Schematisk diagram av kompromiss mellan bullerreduktion och livslängd.

Som framgår av ovanstående principiella diagram är bullerreduktionen beroende av stenmax i beläggningen, se Figur 2.3. Hålrummen förutsätts vara lika. Efter c:a ett år har de finkornigaste dränbeläggningarnas porer satts igen varför den initialt höga bullerdämpningseffekten gått helt eller delvis förlorad. Vid val av en beläggning med stenmax 16 mm har man en låg bullerreduktion initialt men den kvarstår istället under en längre tid. Det handlar som så mycket annat om kompromisser vid val av beläggning. För Svenska förhållanden med hög andel dubbdäckstrafik har det visat sig att en rimlig kompromiss mellan livslängd och bullerreduktion existerar för stenmax mellan 8 och 11 mm. Detta måste dock verifieras för varje enskilt objekt och rådande förutsättningar.

2.2 Bullerdämpande egenskaper

TA6 och TA9 har till motsats till TA3 en öppen porstruktur som kraftigt minskar däcksbuller samt dränerar bort vatten från ytan och därmed bidrar till en högre trafiksäkerhet, se Figur 2.2. De leder ner regnvatten genom asfalten till befintliga avvattningssystem. Beläggningen består av en stor andel grovt stenmaterial med inblandning av fibrer och polymermodifierat bindemedel. Den speciella sammansättningen ger en öppen ytstruktur och mycket öppna beläggningar. Tyst Asfalt tillverkas med högvärdiga stenmaterial för att minimera avnötningen och därmed igensättande av porstrukturen. Ur bullersynpunkt eftersträvas också ett kubiserat stenmaterial med homogen sammansättning för att optimera porstrukturen samt vidmakthålla ytstrukturen tillika bullerreduktionen under den akustiska livslängden.

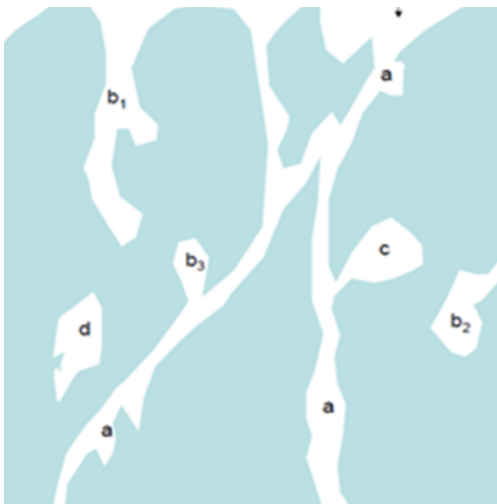
TA6 läggs i ett lager och är en mer slitstark beläggning än TA9. Slitstyrkan fås genom större maximal stenstorlek och på bekostnad av lite lägre bullerreduktion. Porstrukturen ger utrymme för vatten och luft att röra sig i beläggningen. Fördelen med TA6 jämfört TA9 är vanligtvis dess bullerdämpande förmåga kombinerat med den högre slitstyrkan.

TA9 läggs i två lager där det övre lagret är mer finkornigt och därmed fungerar som ett filter mot igensättning av bottenlagrets porstruktur. Den initiala bullerreduktionen blir maximalt 9 dBA. Beläggningens övre lager består av en 11-massa som benämns TA9/11 (övre lager). Det undre lagret är en 16-massa som benämns TA9/16 (undre lager). Den speciella sammansättningen samt dubbla lager ger en mycket god bullerreduktion. Med optimerat stenmaterial förbättras slitagebeständigheten för det högtrafikerade vägnätet. När det översta lagret blir igensatt kan det fräsas bort och ersättas med ett nytt för att förlänga livslängden för den bullerreducerande beläggningen.

2.3 Porositet och porstruktur

Porositet och porstrukturen hos en bullerreducerande beläggning har en stor inverkan på vilken nivå och typ av bullerreduktion samt permeabilitet som kan uppnås. En hög porositet (hålrum) är önskvärt förutsatt att övriga funktionella egenskaper kan säkerställas. Normalt ligger målvärdet för hålrum vid proportionering runt 20-25%. Det

är dock inte bara den totala porositeten som är av betydelse utan även karaktärsdragen hos porstrukturen. Generellt kan man schematiskt dela in det totala hålrummet i "öppna" samt "slutna" hålrum enligt Figur 2.4 samt Tabell 2.1 [10]. De öppna kan vara både kommunicerande och icke kommunicerande. De slutna är antingen isolerade eller otillgängliga för vatten under normalt vattentryck. De slutna hålrummen har ingen inverkan på bullerreduktion eller permeabilitet. Det öppna hålrummet kan indelas i en kommunicerande samt icke kommunicerande porstruktur. Det är det kommunicerade hålrummet som har störst inverkan på permeabilitet och bullerreduktion.



Figur 2.4. Schematisk klassificering av olika hålrumstyper [10].

Figur 2.4 illustrerar kombinationen samt klassindelningen av olika typer av hålrum hos bullerreducerande beläggningar samt deras betydelse för att avlägsna vatten och förbättra bullerreduktionen. Klassindelningen anges i Tabell 2.1.

Typ av hålrum		Term	Inverkan med avseende på:		
			bullerabsorption	permeabilitet	
"Öppna" (tillgängliga)	Kommunicerande	a	+	+	
	Icke kommunicerade	Åtkomliga från ytan	b1	+	-
		Åtkomliga från sidan	b2	?	-
		Återvändskanal	b3	?	-
"Slutna" (otillgängliga)	Otillgängliga för vatten under normalt lufttryck	c	-	-	
	Isolerade	d	-	-	

Tabell 2.1. Schematisk klassificering av olika hålrumstyper [10].

Hålrum "a" är kommunicerande och bidrar till både bullerreduktion samt permeabilitet. Hålrum "b1" bidrar också till bullerreduktion samt permeabilitet om än i mindre skala. Bullerreduktionen från hålrumstyp "a" brukar normalt beskrivas utifrån beläggningens porstruktur och hålrumstyp "b1" med beläggningens textur. Det finns givetvis en gradskillnad mellan hålrumstyp "a" och "b1".

Från beläggningsytan ser hålrum "a" och "b1" ut att vara lika, men i verkligheten är "b1" icke kommunicerande vilket inte ger lika bra bullerreduktion samt permeabilitet som hålrum "a", se till exempel Figur 2.1. Denna skillnad i hålrumstyp bidrar till att det inte är helt enkelt att utvärdera bullerreducerande beläggningar visuellt eller genom permeabilitetsmätningar. Två olika beläggningar kan ha samma totala hålrum men helt olika bullerreducerande egenskaper.

Hålrum "b2" och "d" är isolerade och bidrar inte till någon bullerreduktion eller permeabilitet.

Denna karakterisering av hålrummsstruktur är viktig eftersom den hjälper till att identifiera vilka typer av hålrum som bidrar till bullerreduktion och permeabilitet samt även potentiell fukttransport och fuktskador. Genom att kartlägga främst det kommunicerande hålrummet kan effekten av olika typer av beläggningar utvärderas på ett jämförbart sätt. Vidare kan effekten av rengöring utvärderas.

Detta innebär att en beläggning med samma hålrum kan ha olika ljudabsorberande karaktärsdrag (bullerreduktion) beroende på fördelningen mellan "öppna/slutna" samt "kommunicerande/icke kommunicerande" hålrum. Eftersom den initiella porstrukturen inte är konstant under beläggningsens funktionstid kommer även den bullerabsorberande effekten att variera. Det är därför viktigt att känna till vilket hålrum som bidrar till reduktionen samt vilket hålrum som egentligen mäts hos beläggningsen.

Nedan ges exempel på faktorer som kan påverka porstrukturen över tid:

- Omlagringar hos beläggningsen (stabilitet)
- Volymförändringar och avrinning av bitumen (temperatur)
- Ökning av partiklar på bitumenytan (partiklar/damm)
- Blockering/igensättning av porkanaler (bitumen, partiklar/damm, vatten)
- Igensatta porer (bitumen, partiklar/damm, vatten)
- Nedkrossning av ballast

Kunskap och samband om vilket inflytande dessa faktorer har på porstrukturen samt dess inverkan på bullerabsorptionen är i dagsläget mycket begränsad. Det har dock visat sig att det finns en stor potential att återfå en del av det kommunicerade hålrummet genom effektiv rengöring av porstrukturen som är blockerade och igensatta av partiklar/damm.

Det har tidigare berörts att den bullerreducerande effekten avtar över tiden orsakad av igensättning hos porstrukturen i en bullerreducerande beläggning. Porerna täpps igen av att partiklar och vägsnuts kommer ner i beläggningsen. Denna igensättning påverkar både den dränerande effekten och de akustiska egenskaperna. Figur 2.5 visar ett exempel på en igensatt yta, som har förlorat sin permeabilitet samt bullerreducerande funktion.



Figur 2.5. Exempel på en kraftigt igensatt beläggning där permeabiliteten samt den bullerreducerande effekten är förlorad.

Ett flertal studier inom området har rapporterat att porositeten minskar med tiden som igensättning av porstrukturen hänförligt till följande faktorer:

- Smuts från omgivningen (byggtrafik, jordbruk, industrier, vegetation etc)
- Slitagepartiklar orsakade av dubbdäck
- Slitage från bromsbelägg
- Slitage från däck
- Nedbrytning av beläggning
- Isbekämpningsmedel (salt, sandningssand etc.)

2.4 Underhållsåtgärder

I och med beläggningsens unika hålrumstruktur med tiden sätts igen av vägpartiklar etc. krävs att beläggningsen regelbundet underhålls genom rengöring och renspolning för att bullerreduktionen samt den dränerande förmågan skall bibehållas. Erfarenheter från utförda provsträckor visar på att porerna i beläggningsen sätts igen med tiden (igensättning beror av hastighet/dubbfrekvens samt lokala förhållanden mm) Efter några år är den akustiska livslängden förbrukad om inte rengöring av porerna utförs. För bibehållen bullerreduktion krävs regelbunden portvättning av den bullerreducerande beläggningsen. Initiella erfarenheter från provsträckor indikerar att det krävs som regel minst två rengöringar varje år under normala förhållanden. Bästa resultat har erhållits vid högtryckstvättning i kombination med efterföljande vakuumsugning.

En viss självrensande effekt finns (vid hastigheter >70km/h) men för normal igensättning krävs regelbunden rensning med spolning och uppsugning av lossgjorda partiklar. Rengöring i vägren som i europeiska länder räcker ej i Sverige. Den självrensande effekten sker bara i hjulspåren.

För att minska igensättningen av TA6 och TA9 med avseende på vägdamm och partiklar från den täta ytan bör sträckan med bullerreducerande beläggning förlängas med ca 100-300 m hitom sektionen där behovet av bullerreduktionen börjar. Detta gäller i båda riktningar och beror på att trafiken för med sig partiklar från den täta beläggningsen (tex ABS16) vilka fasar i den öppna beläggningsen. Denna sträcka kallas "dörrmatta".

För att den dränerande effekten av beläggningsen skall fungera krävs att vatten som leds ner i beläggningsen kan dränera ut. Detta innebär bl.a. att vatten i beläggningsen måste kunna rinna mer i eventuella dagvattenbrunnar samt att stödremsan utgörs av ett dränerande material och att fräslåda aldrig är ett alternativ. Fräst yta skall utformas så att inget vatten blir stående. Vidare ingår att säkerställa dräneringen på broarna genom att anpassa befintliga rensbrunnar så att vattnet inte blir stående i beläggningsen. Det har visat sig att ett tvärfall på 3% bidrar till bättre avrinning.

För bibehållen bullerreduktion krävs regelbunden rensning av porstrukturen med specialanpassad spol- och sugbil. Frekvensen av denna urtvättning av finmaterial från luftporerna i den bullerreducerande beläggningsen utreds för objekt till objekt. Avgörande faktorer är bl.a. hastighet, antal körfält, vägrensbredd, andel tung trafik, andel dubbtrafik, nederbörd, vinterförhållanden etc. I dagsläget föreslås minst två rengöringar per år för att hålla porerna öppna för bibehållen bullerreduktion.

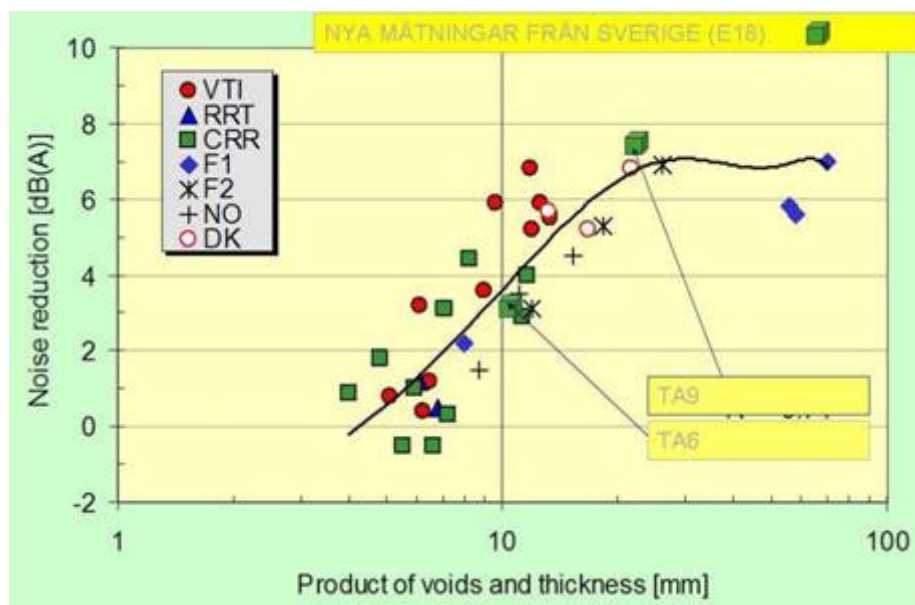
2.5 Funktionella egenskaper

Tyst Asfalt är speciellt framtagen för dess bullerreducerande egenskaper. Tyst Asfalt innebär framförallt en mer teknisk-, estetisk- samt kostnadseffektiv lösning av bullerproblem jämfört med traditionella bullerdämpande åtgärder såsom bullerplank och

fasadisolering. I många fall är Tyst Asfalt det mest attraktiva alternativet eftersom bullret sänks direkt vid källan vilket ger en bättre ljudmiljö både inomhus och utomhus. Tyst Asfalt kan minska eller helt reducerar behovet av andra bullerdämpande åtgärder.

Tyst Asfalt bygger på en optimerad sammansättning för bästa funktionsegenskaper samt en omfattande kvalitetssäkring. Sammansättningen är ett resultat av samlade erfarenheter från produktionen tillsammans med ett omfattande utvecklingsarbete och uppföljning av utförda utvecklingsobjekt. Ulf Sandberg har uppvisat ett samband mellan bullerreduktion och produkten mellan beläggningen hålrum och lagertjocklek enligt Figur 2.6 [4, 9]. I figuren har TA6 och TA9 markerats. TA9 har en största stenmax på 11 mm och TA6 har stenmax 16 mm. Figur 2.6 indikerar att det går att få till en god bullerreduktion med TA9 med stenmax 11 mm. TA6 har stenmax 16 mm och det kan förklara den relativt mediokra bullerreduktionen.

Baserat på erfarenheter från utvecklingsobjekten har Tyst Asfalt en initiell bullerreduktion mellan 2 och 9 dBA beroende av lokala förhållanden samt vald referensyta (personbilar). Det finns inga absolutvärden i dBA som Tyst Asfalt allmänt kan antas reducera. Detta innebär att viss försiktighet bör råda när en bestämd bullerreduktion utlovas.



Figur 2.6. Förhållande mellan bullerreduktion och produkt mellan hålrumshalt och lagertjocklek [4]

Långtidseffekten av bullerreduktionen beror till stor del av hur effektivt porstrukturen kan rengöras. De första provsträckorna som utfördes 2003 uppvisade en minskning av bullerreduktionen under de första tre åren mellan 0.5-1 dBA per år utan någon rengöringsinsats. Denna utveckling kan förklaras i och med självrensning av trafiken (hastighet 110 km/h). Tyvärr är denna effekt inte hållbar i längden. Någon typ av regelbunden rengöringsinsats av porstrukturen erfordras för att vidmakthålla de akustiska egenskaperna.

2.6 Övriga specifika egenskaper

Förutom bullerreduktion erbjuder Tyst Asfalt potentiellt ett antal positiva miljö- och hälsoeffekter som reducerat rullmotstånd samt minskad uppkomst och spridning av vägp Partiklar. Vägp Partiklar som genereras av framförallt dubbdäckstrafik har en benägenhet att ackumuleras i beläggnings porstruktur istället för att spridas runt vägen. I takt med att partiklarna ansamlas i beläggnings porstruktur minskas partikelspridningen på omgivningen. Tyvärr bidrar också igensättningen av porerna till en successivt försämrade bullerreduktion. Figur 2.5 visar ett exempel på en kraftigt igensatt beläggning, vägren E18 Järvastaden, TA9. Visuellt syns inga öppna porer på ytan. Genom regelbunden och effektiv högtryckstvättning och vakuumsugning kan de ackumulerade partiklarna till stor del avlägsnas vilket förbättrar luftkvaliteten samtidigt som bullerreduktionen förbättras. Andra gynnsamma egenskaper är förbättrad trafiksäkerhet och minskade trafikant risker såsom vattenplaning, stänk samt besvärande ljusreflektion, se Figur 2.2. Vidare upplevs en ökad komfort av trafikanterna då Tyst Asfalt även sänker bullret i fordonen samt minskar vibrationer.

Om igensättningen får pågå som i Figur 2.5 är det mycket svårt om ens möjligt att återfå en tillfredställande permeabilitet och bullerreduktion. Vad gäller rengöring kan det vara en fördel att vara proaktiv för att säkerställa att inte vägp Partiklar ackumuleras så att goda akustiska egenskaper uppnås under beläggnings livslängd.

Vägdamm och partiklar som ansamlas på till exempel vägrenar kan speciellt under våren bidra till kraftigt försämrade sikt då dammet virvlar upp när något fordon går ut på vägrenen, se Figur 2.7 och 2.8.



Figur 2.7. Exempel på uppvirvlat vägdamm och partiklar under våren före rengöring och sandupptagning.



Figur 2.8. Exempel på försämrad sikt orsakad av uppvirvlat vägdamm.

Det uppvirvlade vägdammets bidrar till ytterligare igensättning av porstrukturen samt försämrar luftkvaliteten (tex PM_{10} , $PM_{2.5}$).

Genom förebyggande rengöring av de bullereducerande beläggningarna kan potentiellt de inandningsbara partiklarna också reduceras vilket skulle resultera i en bättre luftmiljö runt vägen.

3. Utvärderings metoder

3.1 Bullermätningar

Alla bullermätningar utfördes enligt CPX (Close ProXimity) metod baserad på ISO-standard ISO/WD 11819-2. Mätningar utfördes dels med två täckta CPX-trailer av Gdansk University of Technology, Poland (TUG) samt Norska vägverket. Ytterligare mätningar har utförts med Skanskas CPX-bil som byggts av M+P i Holland, se Figur 3.1.



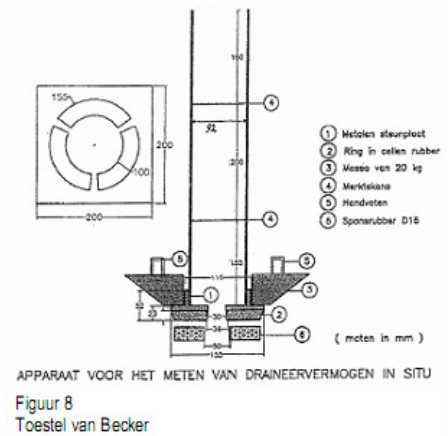
Figur 3.1. Skanska's CPX-mätbil.

Vid mätning används standardiserade mätdäck som anses motsvara ljudnivån från ett personbilsdäck (P1) samt ett däck som motsvarar ljudnivån från ett tungt fordon (H1).

Mätningar utförs normalt vid skyltad hastighet.

3.2 Permeabilitet

Permeabilitetsmätningar har främst utförts med en utflödesmätare i enlighet med Becker tube metoden enligt Figur 3.2. Mätningar har även utförts med en av VTI framtagen utrustning (enligt SS-EN 12697-40), se Figur 3.3. Diametern på Becke röret är 92 mm och totala höjden på röret ca 500 mm. Avståndet mellan det översta och understa sträcket är 200 mm. Försöket går ut på att logga den tid det tar för vattnet att passera mellan de två yttersta sträcken. När beläggningen är ny tar det ca 7 sekunder vilket indikerar en helt öppen porstruktur (hög andel kommunicerande hålrum). Vid försöken är det viktigt att se till att gummi ringen sluter tätt mot beläggningen så att inget vatten tillåta att dränera ut på sidorna.



Figur 3.2. Beckers tube test utrustning.



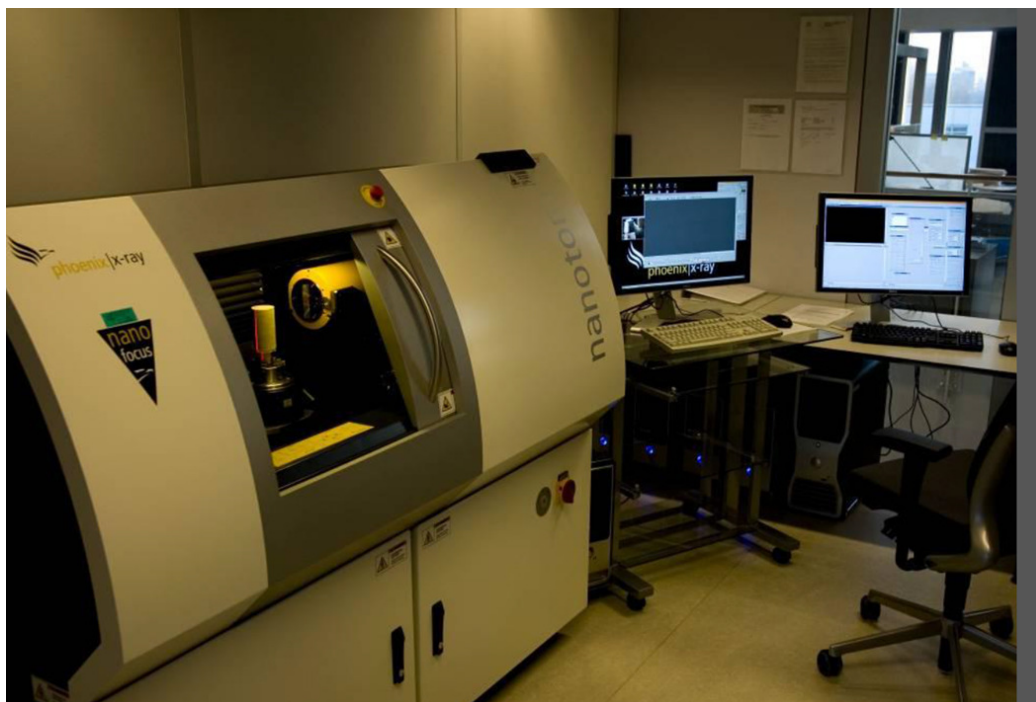
Figur 3.3. Permeabilitetsmätning med VTI-utrustning.

3.3 DT-scan

Datortomografi (DT-scan) eller skiktröntgen är en icke-destruktiv teknik som möjliggör visualisering det inre av fasta föremål (t.ex. ben, sten, betong, och asfalt). Datortomografi är en typ av röntgen, som använder dator, att ta bilder inne i en föremål. Tidigare fanns DT utrustning främst på större sjukhus. Under de senare decennierna har utrustningen och analysverktygen förfinats för att runt 1980-talet utvecklas för industriellt bruk vilket bidrog till att göra tekniken mer tillgänglig inom andra områden, som till exempel materialforskning. Sedan 2011 finns en toppmodern X5000-CT skanner på KTH, se Figur 3.4. Figur 3.5 visar DT-scan på TU-Delft.

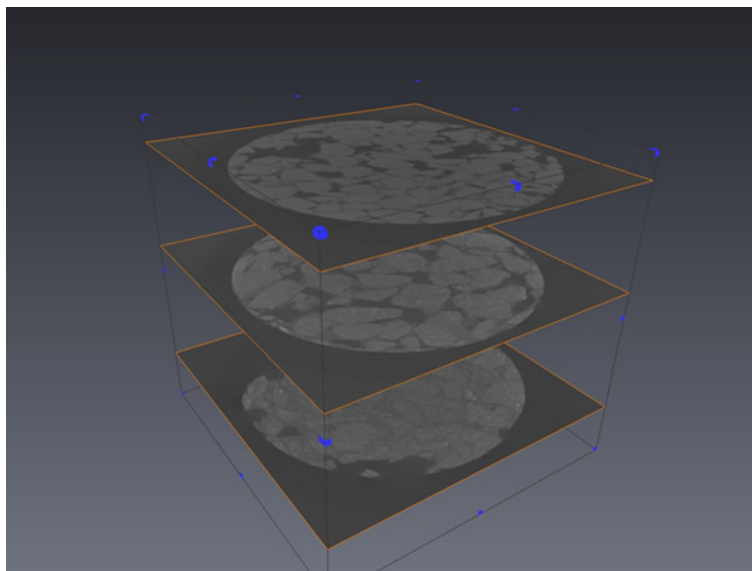


Figur 3.4. DT-scan på KTH.



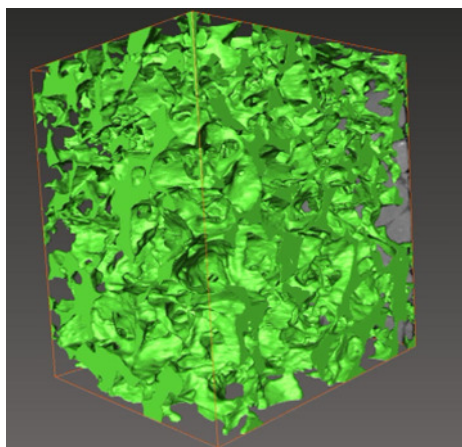
Figur 3.5. DT-scan på TU-Delft.

Datortomografi eller skiktröntgen, utförs med en särskild röntgenapparat som sänder ut ett flertal röntgenstrålar genom en provkroppen från flera olika vinklar. Dessa strålar fångas upp av detektorer som registrerar strålarnas intensitet och via en kraftfull dator omvandlas informationen till röntgenbilder i form av tvådimensionella tvärsnittsbilder av det undersökta objektet, se Figur 3.6.



Figur 3.6. Exempel på 2D avbildning.

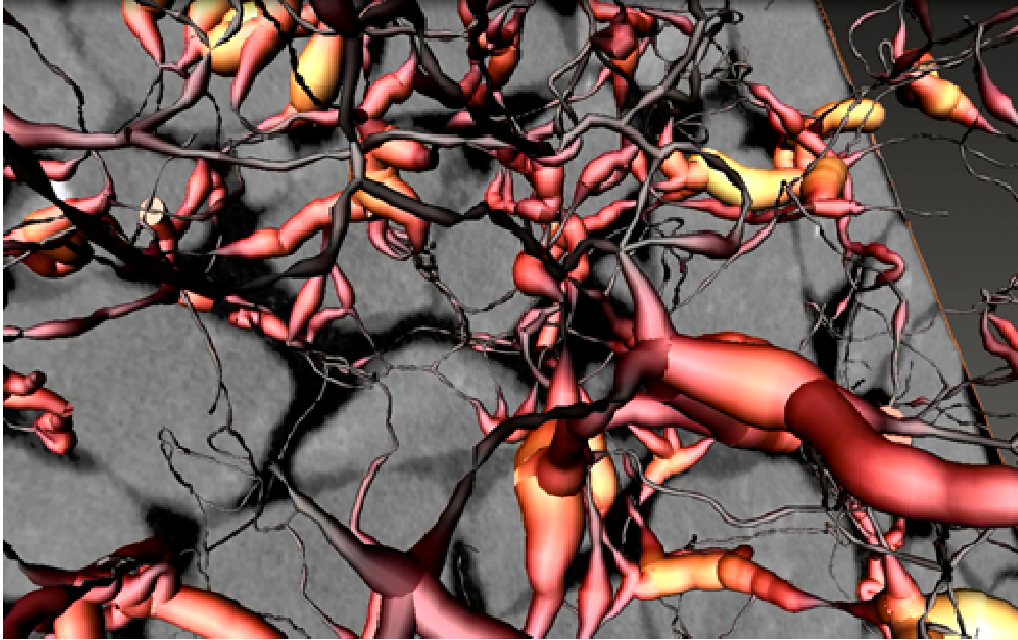
Ett flertal tvådimensionella bilder kan i sin tur sammanfogas i datorn till tredimensionella volymer vilka fritt kan roteras så att den avbildade delen kan studeras från olika vinklar, se Figur 3.7.



Figur 3.7. Exempel på 3D avbildning.

Det är höga krav på datalagringsystem och datanätverk. De tredimensionella bilderna kan dessutom modelleras vidare med avancerade beräknings och analysverktyg där fantasin till stor del sätter gränserna för vad som kan analyseras, se Figur 3.8. Genom förfinade analyser och högupplösta avbildningar erhålles betydligt mer information samt ökad och djupare kunskap om det skannade objektet.

DT-scan är ett kraftigt hjälpmedel för att undersöka porstrukturen hos bullerreducerande beläggningar. Genom att scanna provkroppar före och efter rengöring kan porstrukturen jämföras för att se eventuellt effekt av testad rengöringsutrustning.



Figur 3.8. Exempel på 3D analys av porstrukturen.

Med hjälp av röntgenundersökningar kan vi lära oss mer om hur bullerreducerande beläggningar fungerar, hur de skall underhållas så att de blir mer kostnadseffektivt samt bidra till att vi kan sätta in rätt rengöringsåtgärd vid rätt tillfälle.

3.4 Provsträckor

Följande sträckor har använts i utvecklingsprojektet (TA3, TA6 och TA9), se Tabell 3.1. De har varierande ÅDT (11200-90100) samt olika hastigheter.

Tabell 3.1. Utvärderade provsträckor.

År	Objekt	TYP	ÅDT	ÅDT _k	Hastighet [km/h]
2003	E18 (Bålsta Bro)	ABS16	25000	6250	110
2003	E18 (Bålsta/Bro)	TA3/11	25000	6250	110
2003	E18 (Bålsta/Bro)	TA6/16	25000	6250	110
2003	E18 (Bålsta/Bro)	TA9/11	25000	6250	110
2005	E4 (Hallunda/Alby)	TA9/11	98700	16450	90
2006	E18 (Järvastaden)	TA9/11	34000	8500	70
2006	Rv 260 (Gudöbro)	TA9/11	11200	5600	70
2010	E4 Husqvarna	TA9/11 ¹	22170	5542	90
2010	Gåshagaleden Lidingö	TA9/11 ¹	3800	1900	70
2010	Nacka	TA3/11	7000	3500	40
2012	Rv 97 Sävast	TA9/11 ¹	8180	4090	90
2014	E4 Rotebro	TA9/11 ¹	75500	12600	90

I anslutning till några av provsträckorna anlades en ny ABS16 med avsikt att fungera som referenssträcka, för de övriga har anslutande beläggningar (ABS16) används som referens. Det bör noteras att referenssträckorna har olika ålder och trafikmängder varför en generell jämförelse inte har kunnat göras. Det är framförallt TA9 som utvärderats. Figur 3.9 samt 3.10 visar två av provsträckorna.



Figur 3.9. Provsträcka E4 (Hallunda/Alby).



Figur 3.10. Provsträcka E18 (Järvastaden).

4. Utvärdering av befintliga spolustrustningar

4.1 Befintliga rengöringsutrustningar

Det är allmänt känt att öppna beläggningar har en tendens att ackumulera vägpartiklar och andra föroreningar. Om detta får fortskrida utan åtgärd kommer beläggningsens porstruktur successivt att täppas igen så att den dränerande och bullerreducerande förmågan går förlorad. Redan i mitten av 1990-talet arbetade man med specialanpassade sug- och spolbilar i länder som Österrike, Holland, Frankrike, och Japan. Man har successivt utvecklad tekniken och är i flera fall framme vid både 3:e och 4:e generationens rengöringsutrustningar. Figur 4.1 visar exempel på en högteknologisk rengöringsutrustning samt en lite enklare.



Figur 4.1. Högteknologisk rengöringsutrustning samt lite enklare utrustning för rengöring av öppna beläggningar.

Dessa specialfordon är normalt optimerade för beläggningar med stenmax som är betydligt mindre än de vi vanligtvis använder i Sverige. Vidare använder man inte dubbdäck i dessa länder vilket medför mindre slitagepartiklar. I Sverige finns för närvarande inget kommersiellt fordon för våra beläggningstyper och förhållanden.

Skanska har i utvecklingen av konceptet Tyst Asfalt undersökt och utvärderat lovande tekniker för rengöring som används i olika länder. De mest lovande spol- och sugutrustningarna har påträffats i Norge och Holland samt i Japan. En lovande sugutrustning har hittats i Sverige. Ingen av dessa utrustningar har tidigare testats i Sverige. För att utvärdera dessa lovande utrustningar för Svenska förhållanden har en

utrustning från Norge respektive Holland utvalts för att testats på några av provsträckorna i Stockholm.

Nedan visas några bilder på traditionell spolutrustning samt special utrustning från Sverige (Disab-Tella AB), Holland (Gebr. Van Doorn)och Norge (Oslo Lufthamn – OsL), Japan se Figur 4.2-4.10.

Figur 4.2 och Figur 4.3 visar en separat högtrycksspolande maskin samt separat vacuumsugbil. Först går spolbilen med en högtrycksramp för att loss göra det igensatta materialet. Efter kommer sugbilen som skall suga upp det lösgjorda materialet innan det dränerar ner i beläggningsen igen. Det bör vara ett kort avstånd mellan enheterna för effektiv rengöring.



Figur 4.2. Exempel på separat spol- och sugfordon (Stivab, Disab-Tella AB).



Figur 4.3. Frontmonterad spolramp samt sugaggregat (Stivab, Disab-Tella AB).

Vattentrycket får inte vara för högt då bruk och stenar kan spolas bort. Vidare är det viktigt att sugmunstycket sluter an mot beläggningsen för att inte tappa sugkraft. Av de sugutrustningar vi sett så var det utrustningen från Disab Tella AB som imponerade mest. I Figur 4.4 syns en test vid rengöring av fräslådor. Utrustningen från Disab hade mycket bättre rengöringsförmåga jämfört med traditionell sugfordon. Figur 4.4 visar också en nyutvecklad sugramp som bättre följer med underlagets ojämnheter.



Figur 4.4. Rengöring av fräslåda samt ledat sugmunstrycke (Disab-Tella AB)

Utrustningen från Norge är anpassad för flygplatsrengöring och går normalt på Oslo Lufthavn Gardermoen, se Figur 4.5. Denna utrustning har extra högt tryck för att kunna spola bort gummirester på betongen. Vattentryck vid 75 l/min är ca 750 bar, vid 210 l/min är trycket 200 bar. Lägsta tryck är ca 150 bar. Vattentank ca 6 m³, slamtank ca 11 m³. Utrustningen från Holland är ett specialfordon speciellt framtaget för att tvätta öppna beläggningar. Den har även ett recyclingsystem för vatten. All uppsuget vatten rensar och återanvänds. Detta bidrar till en högre kapacitet på avbrott för att tanka vatten behövs, se Figur 4.11.



Figur 4.5. Norsk högtrycksutrustning (Oslo Lufthavn – OSL).



Figur 4.6. Holländsk specialhögtrycksutrustning (Gebr. Van Doorn).



Figur 4.7. Norsk specialhögtrycksutrustning.



Figur 4.8. Svensk spolustrustning (Västerås).



Figur 4.9. Japansk specialhögtrycksutrustning (endast tryckluftsrening).



Figur 4.10. Japanska specialhögtrycksutrustning (SPEC-Keeper).



Figur 4.11. Förvattning av ytan samt påfyllning av vatten.

4.2 Observationer under rengöringsförsök

Varje spolustruktur testades för olika förhållanden (ex vår/höst) samt olika grader av igensättning hos belägningarna. Detta innebär att ingen direkt jämförelse är möjlig mellan utrustningarna. Figur 4.12 visar upptaget material under en natts rengöring på E18 Järvastaden. Utttaget material motsvarar ca 5 ton som ger en medel smuts grad på ca 350 g/m²!!.



Figur 4.12. 5 ton uppsamlat vägdamm (Holländsk utrustning).

Figur 4.13 visar ett exempel på effekten av högtrycks tvättning. En klar förbättring kan ses.



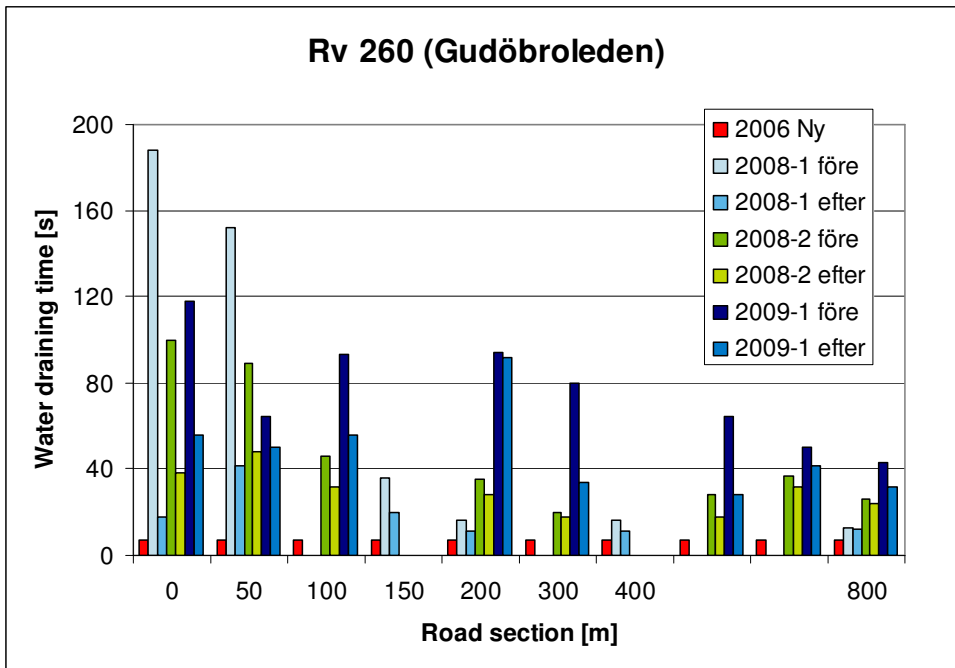
Figur 4.13. Visuell effekt av högtryckstvättning.

Under rengöringsförsöken noterades en förbättrad rengöringseffekt vid regn samt nät beläggningsen förvattnades. Vidare syntes att den första delen av varje sträcka med bullerreducerande beläggning är mer igensatt eftersom trafiken transporterar med partiklar in till den öppna beläggningsen.

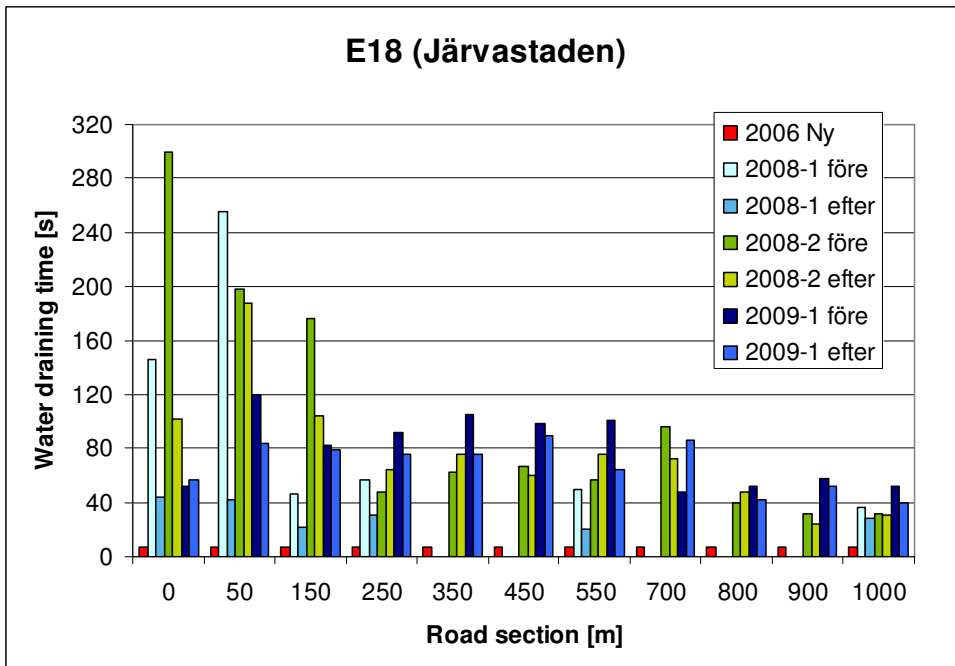
4.3 Permeabilitetsmätningar

Resultaten från permeabilitetsmätningar med Beckers metod visar i Figur 4.14, och Figur 4.15.

När beläggningsen är ny tar det ca 7 sekunder för vattnet att rinna igenom beläggningsen. När det är igensatt tar det mer än 200 sekunder. Det syns tydligt att båda beläggningsen har förhöjd grad av igensättning i början av varje sträcka. Detta innebär att man bör lägga på ca 100-150 meter i början av varje sträcka för att ta detta i beaktande. Skillnaden mellan de båda stäckorna som anlades 2006 kan nog förklaras med att det går mer trafik på E18 (Järvastaden) och således alstars mer partiklar som täpper igen beläggningsen.



Figur 4.14. Visuell effekt av högtryckstvättning.



Figur 4.15. Visuell effekt av högtryckstvättning.

4.4 DT-scan

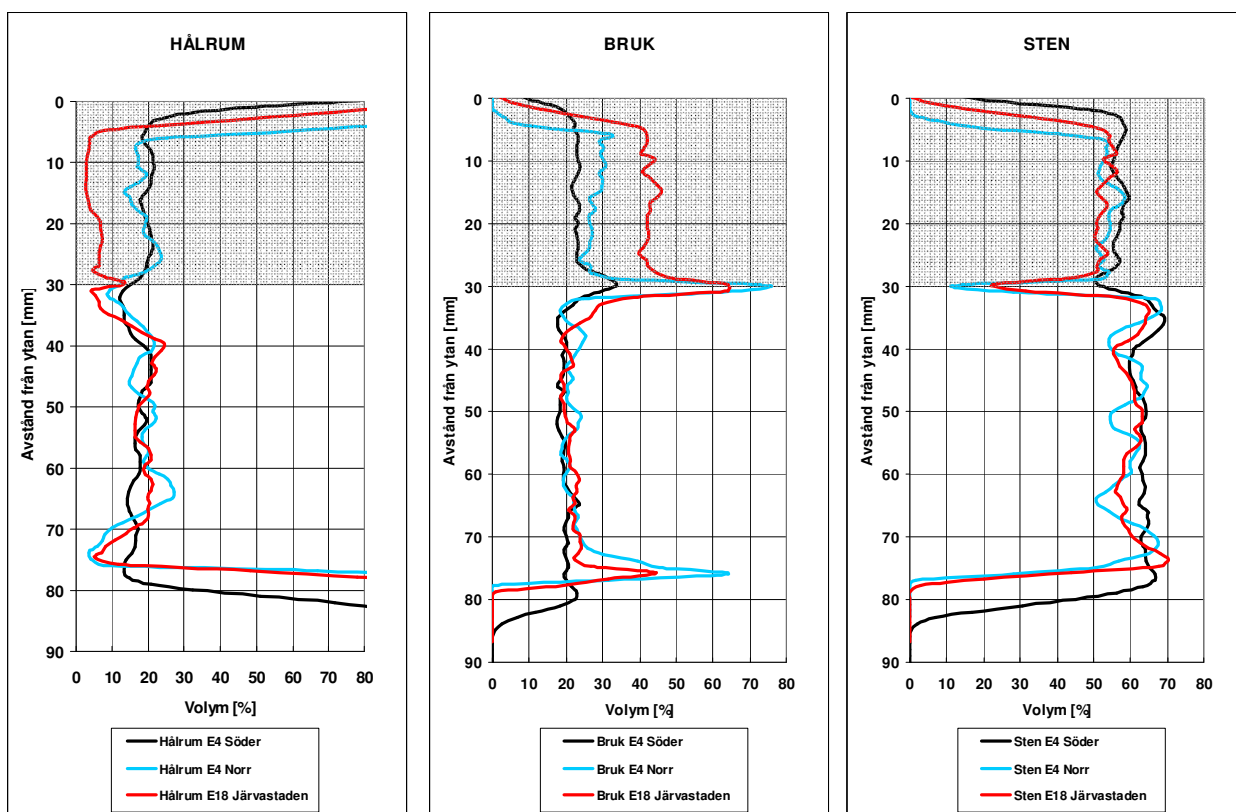
En annan metod för att studera igensättningsgraden av porer är sk *skiktröntgen (datortomografi)* av uppborrade asfaltkärnor, eller sk. DT-scan (Computer X-ray Tomography).

Provkroppens porositet kan uppskattas genom analys av röntgenbilder erhållna från skiktröntgen. För att testa metoden utfördes DT-skanningar på ett fåtal borrhärnor. I denna studie har några få borrhärnor skickats till Holland för att skiktröntgas så att vi kan se om denna metod är användbar till att utvärdera igensättningen av belägningens porstruktur.

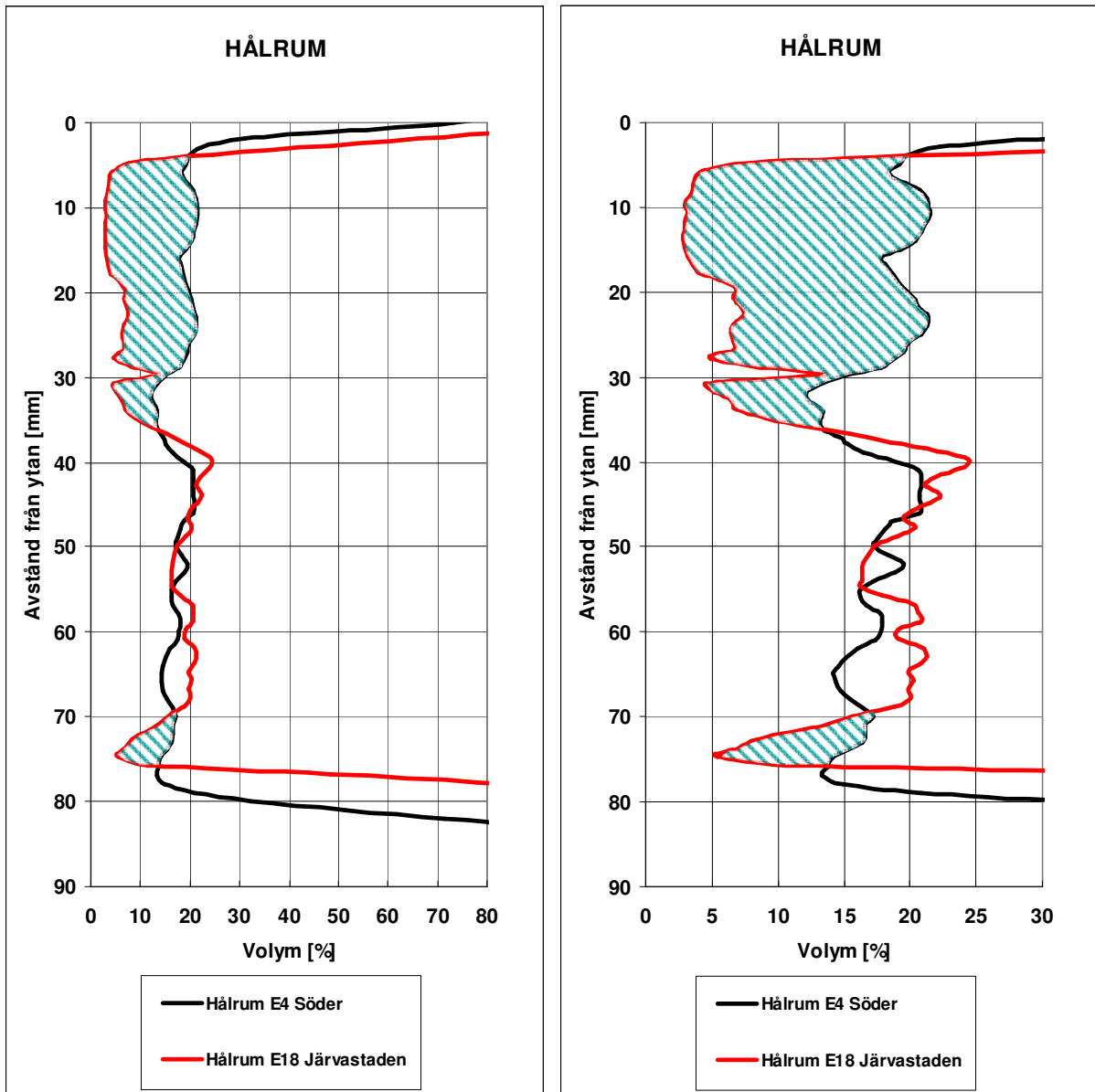


Figur 4.16. Exempel på provkropp.

Resultatet av mätningarna visar i Figur 4.17. Mätningarna indikerar att igensättning i det översta lagret samt i botten har börjat, se Figur 4.18. Hålrum indikerar belägningens hålrum. Bruk är partiklar under 2 mm och sten är partiklar över 2 mm. Det innebär att belägningens partiklar samt igensatta partiklar tolkas som bruk.



Figur 4.17. Resultat av DT-scanning av borrhäror [11, 12].



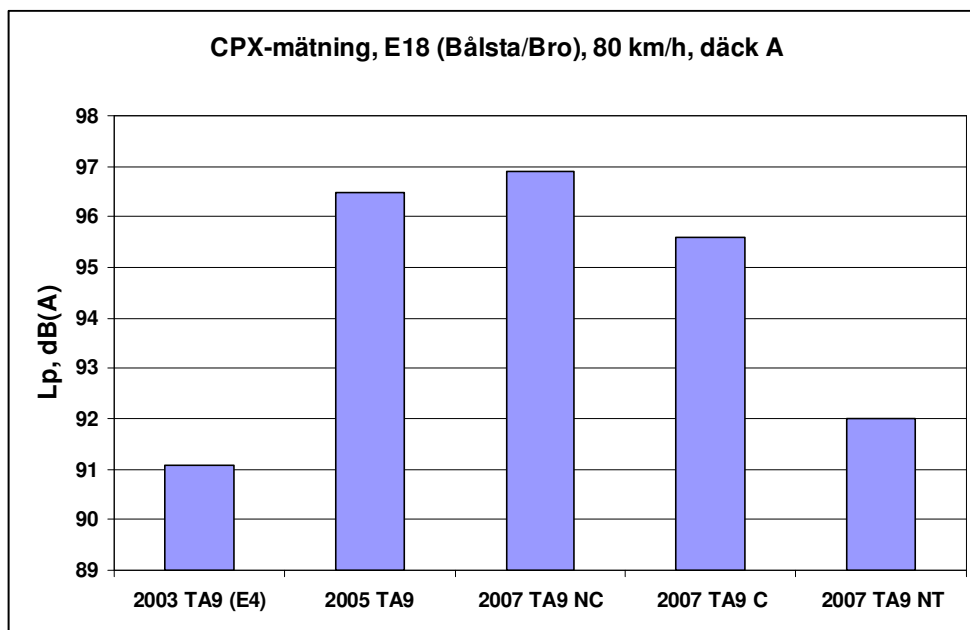
Figur 4.18. Detalj på igensättning i topp och botten [11, 12]

Den skuggade ytan indikerar topp lagret (ca 30 mm). Den randiga ytan visar på skillnaden mellan en relativt öppen beläggning i förhållande till en som är igensatt.

Det är noterat att metoden ger att hålrummet varierar med beläggningens tjocklek.

4.5 Bullermätningar

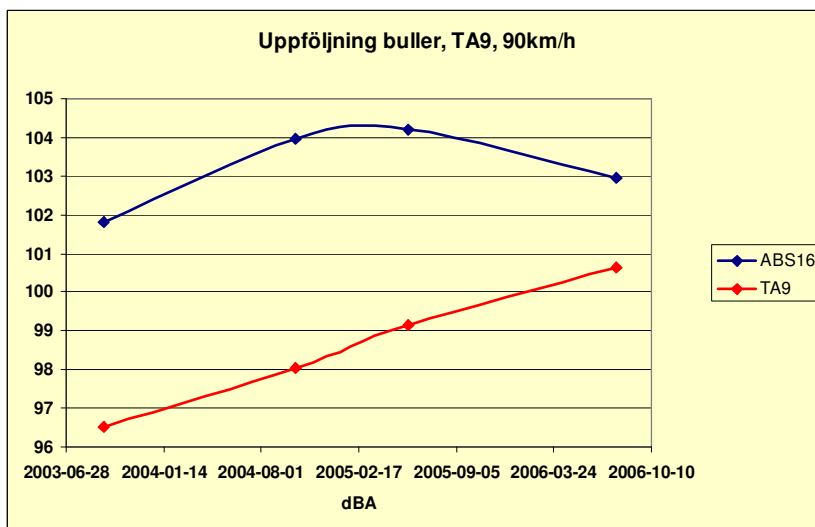
Figur 4.19 redovisar CPX-mätningar före och efter rengöring. Mätningen från 2003 TA9 (E4) är en mätning på TA9 då den var ny. NC står för "not clean", C står för "clean", NT står för "ny topp".



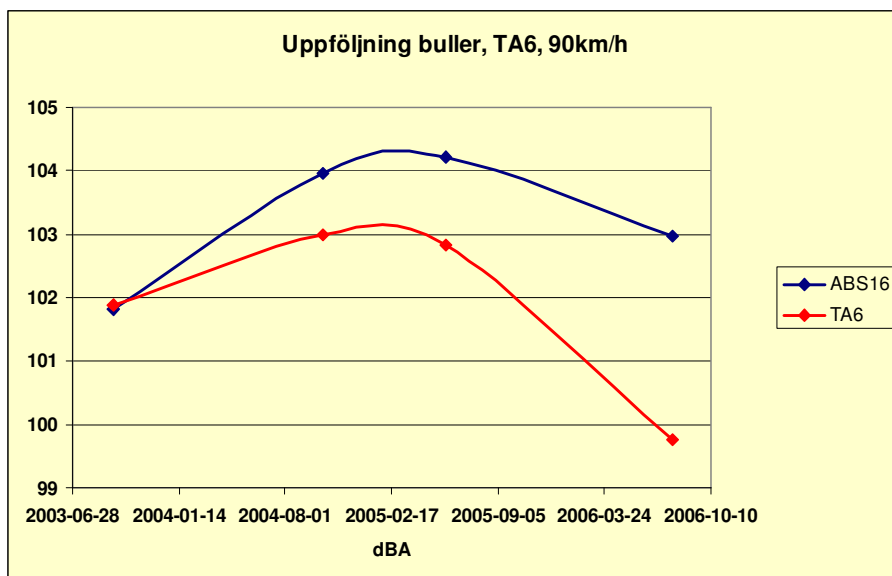
Figur 4.19. CPX-mätning före och efter rengöring (Norska Vägverket).

Nedan redovisas några exempel av utförda bullermätningarna. E18: CPX (VTI/TUG)

CPX-mätningar har utförts sedan 2003 på E18. Figur 4.20 visar utvecklingen av bullerreduktionen för TA9 medan figur 4.21 visar utvecklingen för TA6.



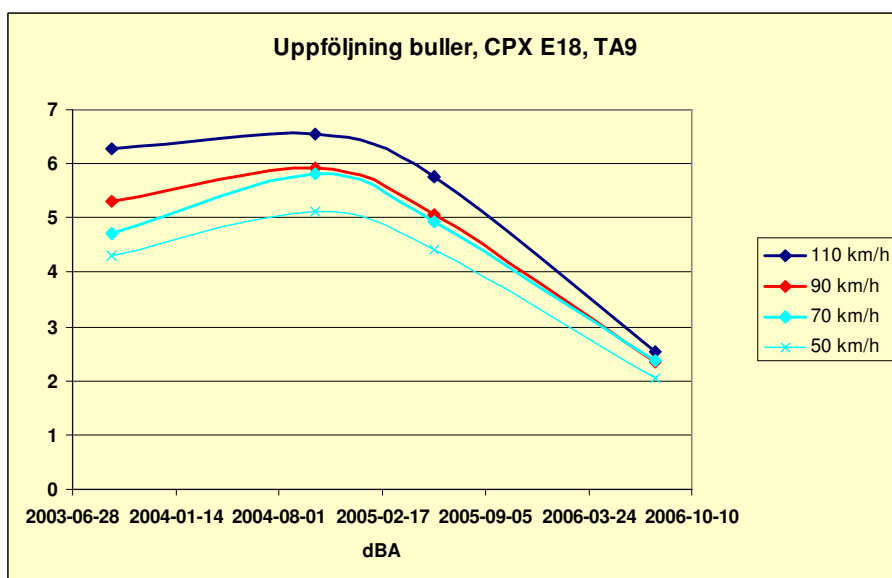
FIGUR 4.20. CPX mätning TA9, 90 km/h.



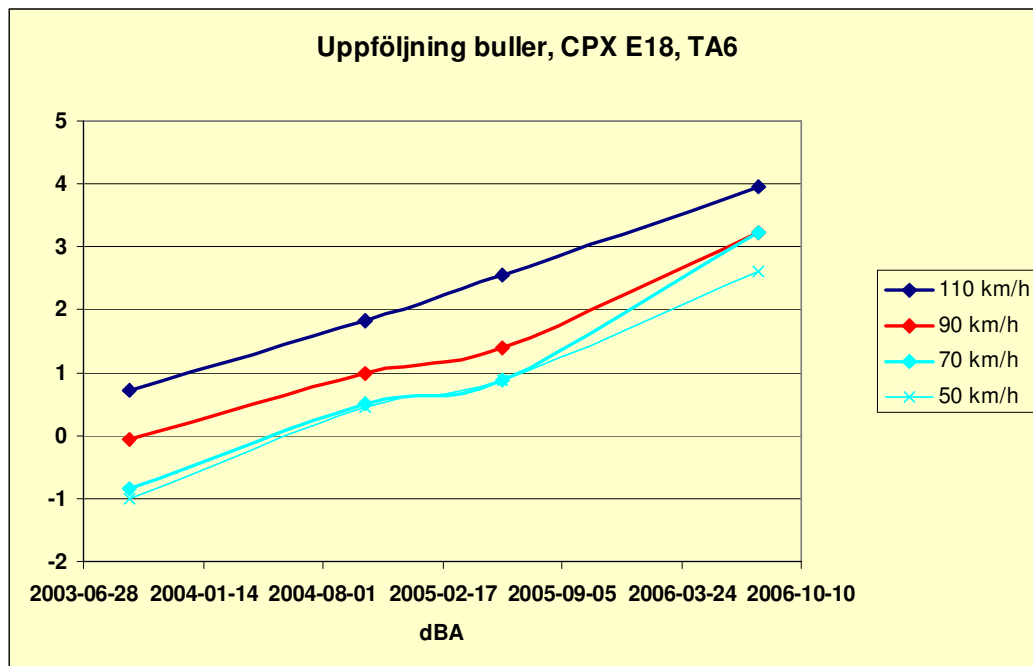
FIGUR 4.21. CPX mätning TA6, 90 km/h.

I Figur 4,20 kan man se att bullerreduktionen är relativt konstant under de 2-3 första åren. Vid sista mätningen blir plötsligt referensbeläggningen tystare vilket inte kan förklaras. Försämringen av tabell

TA9/11 kan delvis förklaras genom igensättning av porerna. Denna beläggning rengjordes inte under de tre första åren, vilket visade sig vara ett misstag. Självrensningen av trafiken var effektiv i hjulspåren de första åren. I Figur 4.21 ser man att ingen!? reduktion erhålls det första året medans nästan 5 dBA erhålls vid mätningen 2006. Detta betyder att beläggningen har blivit tystare med åren vilket är orimligt och inte kan förklaras. Figur 4.22 och Figur 4.23 visar den totala bullerreduktionen i förhållande till referensbeläggningen ABS16.



FIGUR 4.22. Bullerreduktion TA9, E18.



FIGUR 4.23. Bullerreduktion TA6, E18.

I samband med läggning av E4 sträckor utförde SINTEF/Norska VV, CPX mätningar på E4 och E18. En andra har utförts under 2007. Resultaten av mätningarna visas i Tabell 4.1 och Figur 4.24 och Figur 4.25.



Tabell 4.1. CPX mätningar SINTEF/Norska VV.

SINTEF

Hallunda / Ref	2005	2007	Bålsta / Ref	2005	2007
50	95,9	95,5	50	96	95,25
70	100,67	100,62	70	100,77	100,32
80	102,7	102,65	80	102,8	102,35
90	104,49	104,44	90	104,05	103,45
110	107,54	107,49	110	107,1	106,5

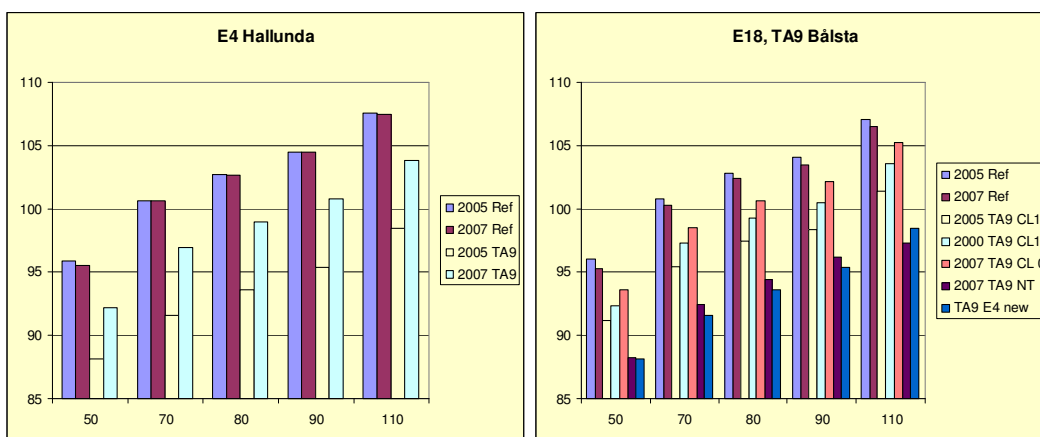
Hallunda / TA9	2005	2007	Bålsta / TA9 / Cleaned once	2005	2007
50	88,2	92,15	50	91,2	92,35
70	91,57	96,97	70	95,47	97,27
80	93,6	99	80	97,5	99,3
90	95,39	100,79	90	98,35	100,5
110	98,44	103,84	110	101,4	103,55

Bålsta / TA9 / no clean	2005	2007	Bålsta / TA6 / Cleaned one	2005	2007
50	91,2	93,65	50	93,5	92,7
70	95,47	98,57	70	97,87	97,27
80	97,5	100,6	80	99,9	99,3
90	98,35	102,15	90	101,69	101,09
110	101,4	105,2	110	103	103,25

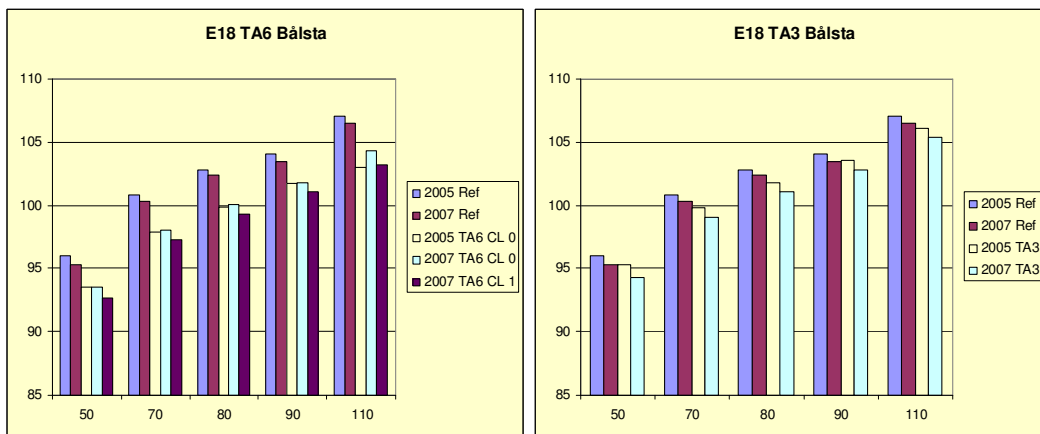
Bålsta / TA9 / new top	2005	2007	Bålsta / TA6 / no clean	2006	2007
50	91,2	88,25	50	93,5	93,55
70	95,47	92,42	70	97,87	98,02
80	97,5	94,45	80	99,9	100,05
90	98,35	96,24	90	101,69	101,84
110	101,4	97,25	110	103	104,3

Bålsta / TA3 / no clean

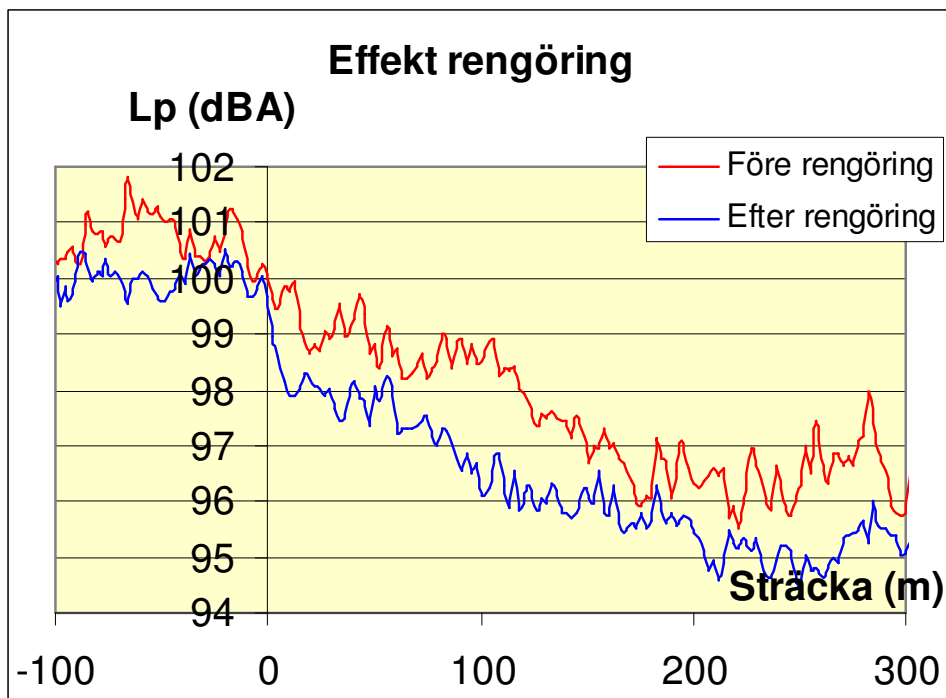
	2005	2007
50	95,3	94,3
70	99,77	99,02
80	101,8	101,05
90	103,59	102,84
110	106,1	105,4



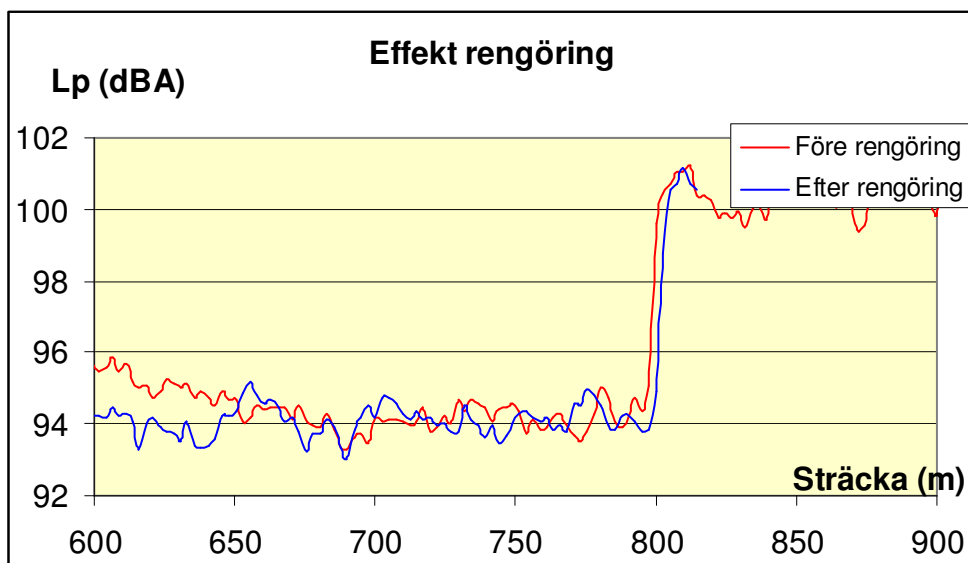
Figur 4.24. CPX mätningar SINTEF/Norska VV.



Figur 4.25. CPX mätningar SINTEF/Norska VV.

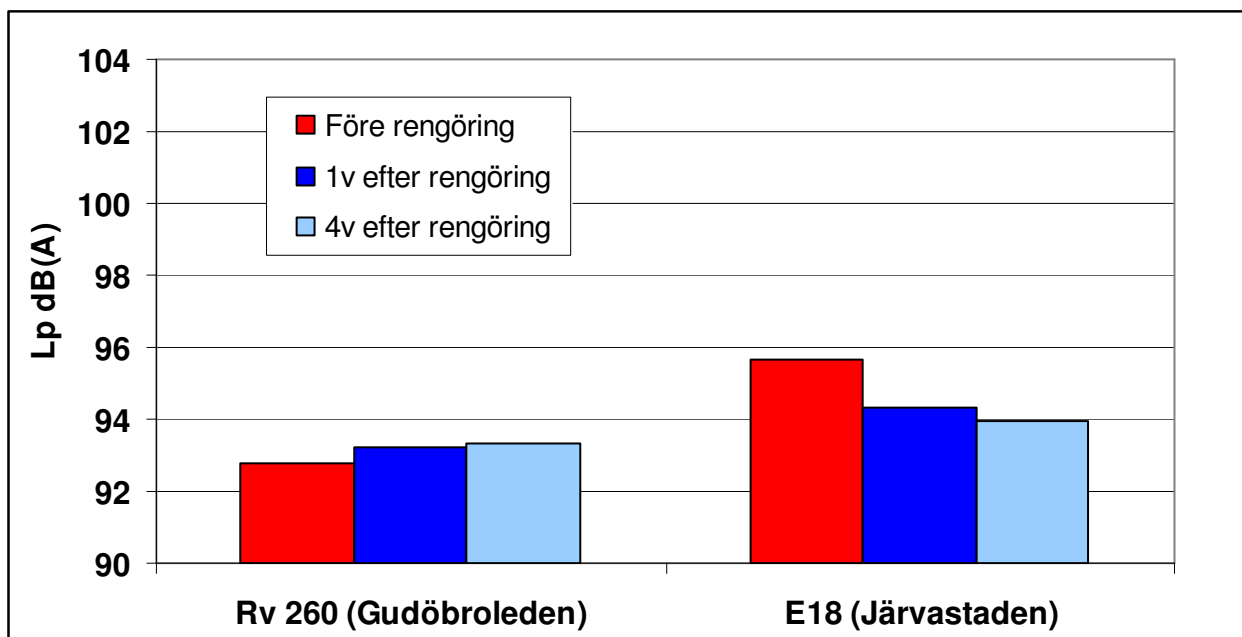


Figur 4.26. Sammanställning resultat från före och efter spolning.



Figur 4.27. Sammanställning resultat från före och efter spolning.

Spol- och rengöringsförsök på E4 samt E18 har resulterat i en ökad bullerreduktion mellan 1 och 3.2 dBA. Baserat på utförda tester verkar en ökad reduktion på ca 1 dBA vara möjlig vid effektiv renspolning. Detta beror förstås på utrustning och igensättningsgrad.



Figur 4.28. Sammanställning resultat från före och efter spolning.

4.6 Analys av spolvatten och sediment (E4, Alby)

Nedan redogörs för de parametrar som är förhöjda (dvs. har en halt över detektionsgränsen för ämnet) i genomförda analyser av sediment och spolvattnet från renspolning av Tyst Asfalt. De uppmätta halterna har jämförts med en rad olika värden (riktvärden, bakgrundsvärden etc.) beroende på vad som funnits för ämnena, för att få en uppfattning om hur höga de är samt om de kan innebära någon restriktion för hanteringen.

De ska noteras att resultatet från dessa analyser motsvarar en viss vägsträcka vid en viss årstid. Om prov tas på en annan vägsträcka (där ex. trafikbelastning, omgivning mm är faktorer som påverkar) eller en annan årstid kommer de uppmätta halterna och de ämnen som har förhöjda halter att variera något. Det kan röra sig om att det är en annan metall som är mest förhöjd eller att ex. halten av alifater är något lägre eller högre. Helhetsbedömning som görs nedan kommer dock troligen inte att påverkas.

Jord/Sediment

Parametrar med förhöjda halter i genomförda analyser samt olika jämförelsevärden. De uppmätta värden som är fetmarkerade begränsar användningen av sedimentet.

Parameter	Uppmätt halt (mg/kg TS)	Jämförelsevärden (mg/kg TS)		Källa	
		Naturvårdsverkets riktvärden förorenade områden, mark			Bakgrundshalter / Övrigt
		Känslig Markanvändning (KM)	Mindre Känslig Markanvändning (MKM)		
Alifater >C8-C10	43	10/100	1000	Oljor i bl.a. fordon	
Alifater >C16-C35	140	100	1000		Mark i städer ca 10
Bis(2-etylhexyl)ftalat (DEHP)	7	-	-	Halt i slam reningsverk 1-6 Halt i sjösediment 0-10 (mkt högre i belastade sjöar) Förslag EU riktvärde avloppsslam åkermark 100	Mjukgörare i plast och gummi
PAH cancerogena	0,43	0,3		Riktvärde (för PAH totalt) enligt Naturvårdsverket för avloppsslam i åkermark 3	Däck, asfalt mm
PAH övriga	<0,5	20			
<i>Metaller</i>					
Co	4,3	30		Förutom koppar motsvarar halterna naturliga bakgrundshalter i mark (för zink i stadsmiljö) och mineraliska material	Mineraliska material, fordon, vägräcken, avgaser mm
Cr	36	120			
Cu	110	100	200		
Ni	12	35			
Pb	19	80			
V	16	120			
Zn	180	350			

De parametrar som är mest förhöjda och som begränsar användningen av sedimentet är alifater >C16-C35 (dvs. mineralolja), koppar samt PAH cancerogena.

Utgående från Naturvårdsverkets riktvärden för förorenade områden, ligger de just över nivån för känslig markanvändning (KM). Riktvärdena anger egentligen en nivå där sanering kan behövs och inte upp till vilken det är godkänt att "förorena", men inom städer där halterna generellt är förhöjda används riktvärdena i ex. anläggningsprojekt för att ange hur olika massor kan hanteras. Där har man normalt sett "fri användning" för massor med halter under KM. Över KM och upp till MKM får de ofta användas med begränsning inom projektet eller i andra projekt där motsvarande halter godkänns. Det förutsätter dock att det är okej ur teknisk synvinkel. Sedimentet som har analyserats har en låg vattenhalt (torrsubstans på 86%) och skulle därav kunna användas i sådana fall om det är möjligt och finns avsättning.

Alternativ avsättning är ex. omhändertagande som oljehaltigt slam eller att det läggs körs till deponi där de skulle kunna användas som ex. täckmaterial (vilket ger lägre kostnad per ton). Evtuellt kan ett flak funfera som tillfällig deponi enligt Figur 4.29.

Ett annat alternativ är att rena sedimentet, där mindre partiklar till vilka föroreningarna i huvudsak binder, avskiljs från större partiklar varvid det senare kan användas fritt. Det förutsätter dock stora mängder sediment samt att det finns en högre andel stora partiklar.

Spolvatten: Parametrar med förhöjda halter i genomförda analyser samt olika jämförelsevärden.

Parameter	Uppmätt halt	Jämförelsevärden					Källa
		Naturvårdsverkets riktvärden förorenade områden, grundvatten	Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för sjöar		Klassificering dagvatten Sth (2001)	Övrigt	
			Bedömning halt	Bakgrundshalter sjöar södra Sverige	Låg halt		
Tetrakloreten	2 µg/l				-	Bedömningskriterier SLV dricksvatten, otjänligt , 10 µg/l (inkl. trikloreten)	?
Alifater >C12-C16	0,03 mg/l	0,1 mg/l			<0,5 mg/l		Oljor i bl.a. fordon
Alifater >C16-C35	0,11 mg/l						
N-nitrosdifenylamin	0,24 µg/l				-	*	?
Dietylftalat	0,44 µg/l				-	*	Mjukgörare i plast och gummi
Dibutylftalat	0,32 µg/l					Dricksvatten bergbrunnar <0,1-0,3 µg/l Dagvatten 2-60 µg/l	
PAH Övriga	0,15-<0,3 µg/l	0,01 µg/l			<1 µg/l	PAH totalt i dagvatten vägar 0,1-10 µg/l (snitt mer trafikerade vägar ca 1 µg/l)	Däck, asfalt mm
Metaller	µg/l						
As	2		Låga	0,2			Mineraliska material, fordon, vägracken, avgaser mm
Cr	3,5		Låga	0,2	<15 µg/l		
Cu	1,5		Låga	0,5	<9 µg/l		
Ni	5,2		Låga	0,4	<45 µg/l		
Pb	2,2		Måttliga	0,24	<3 µg/l		
V	5,3		Låga	0,2	-		

Zn	14		Låga	2	<60 µg/l		
----	----	--	------	---	----------	--	--

*N-nitrosdifenylamin och Dietylftalat är idag inte klassade som farliga (för miljö och hälsa) enligt Kemikalieinspektionen. Dibetylftalat som förekommer i ungefär samma halt är betydligt farligare (klassat som reproduktionstoxiskt och miljöfarligt) och används därför som utgångspunkt för jämförelsevärden.

Halterna av olika föroreningar i spolvattnet är generellt låga, där halterna av alifater och PAH övriga är de mest förhöjda utifrån naturliga bakgrundshalter i vatten i naturen. Spolvattnet skulle kunna karakteriseras som ett rent dagvatten.

En anledning till att halterna är så pass låga är att det mesta av föroreningarna binder till finpartiklarna och återfinns i sedimentet.

Med hänsyn till de låga halterna borde spolvattnet kunna tas omhand i befintligt dagvattennät inom ex. Stockholm (efter överenskommelse med Sth Vatten) med avledning till Henriksdal eller annan recipient. Som jämförelse kan nämnas att i pågående upphandling för Norra Länken entreprenad NL12 tillåts enligt angivna krav länsvatten att avledas till Brunnsviken om de ligger under halter för "låga" enligt klassificering av dagvatten i Stockholm enligt tabellen ovan.



Figur 4.29. Flak för tillfällig deponi på arbetsplats.

4.7 Relevanta funktionskrav

Att kunna formulera relevanta funktionskrav på provkroppar eller färdig beläggning av TA3, TA6 och TA9 är angeläget men svårt. Mätmetoder för t.ex. buller är fortfarande komplexa och kräver explicita mätförhållanden. Olika metoder mäter också buller på olika sätt och ger därför olika värden. Gemensamt är dock att de mäter buller på den bullerreducerande beläggningen och jämför det med bulleralstringen på en referensyta. Referensen kan bestå av antingen en gammal befintlig beläggning eller en nylagd yta. Under det senaste året har några referensbeläggningar plötsligt blivit tystare vilket inte kan förklaras helt ut. Detta bör dock beaktas när en referens används för att relatera bullerreduktionen för någon beläggning. Eftersom buller är en av de främsta egenskaperna för att välja tyst asfalt är det viktigt att ta fram relevanta och realistiska bullervärden i förhållande till en fiktiv eller verklig referensyta. En sådan referensytan bör företrädesvis innehålla likvärdigt material som man skulle ha lagts om det valet inte blir en bullerreducerande beläggning. Bullerreduktion är alltid satt i förhållande en referensyta! Det finns inga absolutvärden i dB(A) som Tyst Asfalt eller annan åtgärd kan ställas mot.

Det är idag svårt att ställa relevanta funktionskrav på t.ex. slitstyrka, stabilitet och vattenkänslighet då tillförlitliga metoder saknas för öppna beläggningar och då de är svåra att mäta. Kraven måste formuleras på annat sätt än för täta slitlager med funktionskrav.

5. Utveckling av VÄGREN

Studerade och testade rengöringsutrustningar visade på en möjlig förbättringspotential för vidareutveckling och optimering av en rengöringsutrustning för Svenska beläggningstyper samt förhållanden. För att undersöka vilka faktorer som har störst inverkan på rengöringen utfördes experimentella försök i Farsta och Linnarhult. Utifrån dessa resultat utvecklades en prototyp av rengöringsutrustning, VÄGREN. För att utvärdera VÄGREN utfördes rengöringsförsök på Barkarby och på ett antal provsträckor.

I detta kapitel beskrivs utveckling och utvärdering av Skanskas egenutvecklade rengöringsmaskin, VÄGREN [13].

5.1 Experimentella försök i Farsta

Utförda studier och tester av tillgängliga utrustningar indikerade att bästa rengöringseffekt erhöles med en roterande högtryckstvätt i kombination med en kraftig vaccum sug. Baserat på dessa observationer bestämdes att undersöka denna kombination och potentiellt vidareutveckla samt optimera den rengörande effekten. Det är framförallt den rengörande effekten i relation till vattentryck och sugförmåga som är av intresse. Det är känt att högt vattentryck har bättre rengöringseffekt än ett lägre tryck. Vidare är det känt att ett högre flöde rengör bättre än ett lågt. Det är även känt att ett högt tryck kan skada belägningen eftersom bitumen och ballasten kan tvättas ur. Effektiv rengöring kan antingen erhållas genom ett högt vattentryck och lågt flöde eller lågt tryck och högt flöde. Ett för högt tryck kan skada belägningen och ett högt flöde kräver mycket vatten vilket minskar produktiviteten. Det gäller således att hitta en kompromiss mellan vattentryck och vattenflöde.

För att testa detta under kontrollerande förhållanden planerades labbexperiment. För att erhålla så realistiska förhållanden som möjligt tillverkades provplattor med normal utläggningsutrustning samt verksblandad asfalt. Varje lager packades med traditionella vältar. När belägningen hade svalnat sågades provplattor ut. Figur 5.1 visar tillverkning av provplattor i Vällsta.



Figur 5.1 Tillverkning av provplattor vid Skanskas asfaltverk i Vällsta.

I ett första test utsattes några av provplattorna för extremt högt vattentryck (ca 200 bar) samt lågt vattenflöde, se figur 5.2. Det höga vattentrycket hade inga problem att relativt snabbt tvätta bort bitumenhinnan vilket tydligt syns i Figur 5.2.



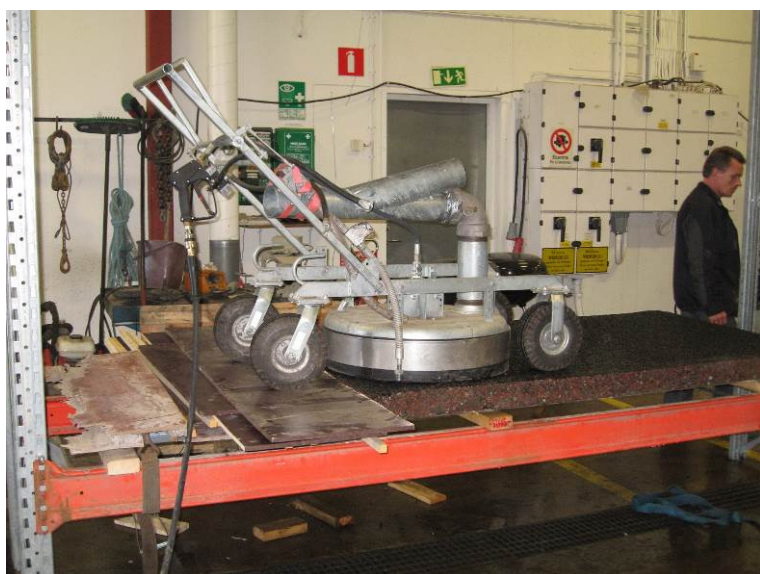
Figur 5.2 Extrema tester med högt tryck och hetvatten vid VTC-Nord i Farsta.

För att ytterligare undersöka den skadliga inverkan användes hetvatten (ca 55°C) i kombination med högt tryck. Eftersom bitumen mjuknar vid högre temperaturer var det möjligt att spola bort de översta stenarna i beläggningen, se Figur 5.3. När några stenar börja lossna går det snabbare att tvätta bort de intilliggande. Även tryck och temperatur är extrema i dessa två tester är det otvivelaktigt att en bullerreducerande beläggning kan skadas vid högtryckstvättning, samtidigt som skaderisken ökar vid högre temperaturer. Rengöring bör således undvikas när det är som varmast. Vidare bör ett lågt vattentryck användas för att minimera att bitumen bortspolas.



Figur 5.3 Exempel på typiska skador orsakade av en kombination med högt tryck och hetvatten.

För att kunna testa och utvärdera olika parametrar testades en liten roterande rengöringsutrustning, set Figur 5.4. Utrustningen samt provplattor (TA9/11) bereddades i VTC's test hall i Farsta.



Figur 5.4 Test av liten roterande rengöringsutrustning.

En inhyrd standardsugbil användes för att koppla och driva rengöringsutrustningen, se Figur 5.5. För att testa spolbilens sugförmåga placerades en provplatta i ett vattenfyllt tråg. Sugslangen placerades på ovansidan av plattan varvid vattnet började att sugas upp. Sugförmågan var så kraftig att allt vatten kunde sugas upp genom provplattan, se Figur 5.5. Det kan konstateras att sugförmågan är viktig för att suga upp och förhindra eventuellt smustigt vatten att dränera ner i beläggningen.



Figur 5.5 Inhyrd standard sug och högtrycksutrustning.



Figur 5.6 Test av sugförmåga.

De tillverkade provplattorna preparerades med "vägpartiklar" med samma kornkurva som uppsamlat material, se Figur 5.7-5.9. Materialet borstades och vattnades ner i belägningens porstruktur.



Figur 5.7 Förberedelse och preparering av försök.



Figur 5.8 Preparering av olika provplattor.



Figur 5.9 Färdigpreparerad provplatta före rengöringsförsök.

Figur 5.10 och Figur 5.11 visar ett exempel på den rengörande effekten med en liten roterande spol- och sugutrustning.



Figur 5.10 Test av liten roterande rengöringsutrustning.



Figur 5.11 Test av liten roterande rengöringsutrustning.

Dessa tester indikerar på att bästa rengöringseffekt erhålls för lågtryckstvättning, följt av omedelbar dammsugning. Kombinationer av tvätt och dammsugningstekniker har visat sig vara effektiva vid rengöring såväl partiell samt totalt igensatta porstrukturer. Den bästa rengöringseffekten erhöles för en jämn hastighet beroende på lågtryckstvättning i kombination med vakuumsug. Om utrustningen framförs för snabbt erhålle en ojämn rengöring med tydliga ränder, se figur 5.10. Vid optimal och anpassad hastighet i förhållande till vattentryck och sugförmåga erhålls en god rengöringseffekt, se Figur 5.11. Det har även indikerats att rengöringseffekten kan förbättras genom att tillsätta tensider, eller andra ämnen, i spolvattnet som har förmågan att bryta ytspänningen och därigenom nå längre ner i porstrukturen.

5.2 Experimentella försök i Linnahult

För att vidare undersöka de faktorer som påverkar rengöringseffekten mest utfördes experimentella försök i Linnarhult. Då befintliga lågtrycks- och sugutrustningar inte är helt optimerade för öppna beläggningar utvecklade MTC (Maskin Teknisk Centrum) en helt ny rengöringsramp. För att testa denna ramp och ytterligare öka kunskapen om vilka faktorer som påverkar rengöringseffekten hos två-lagers bullerreducerande beläggningar (TA9) genomfördes en större experimentell undersökning av Skanska MTC. För att kunna efterlikna verkliga förhållanden så långt som möjligt användes tidigare tillverkade provplattor av Tyst Asfalt (TA9), se Figur 5.1. Provplattorna transporterades till MTC's testanläggning i Linnarhult för experiment av faktorer som påverkar rengöringseffekten.



Figur 5.12 Märkning av asfaltprovplattor av Tyst Asfalt (TA9/11).

För att efterlikna faktiska förhållanden, så långt som möjligt, preparerades de olika plattorna med "smuts" framtaget i labb. Det "riktiga" vägsmutset definierades utifrån siktning av uppsamlat material från utförda rengöringsförsök med en Holländsk utrustning, se bild xx. Totalt ca 40 kg smuts (ca 28 liter) användes för att preparera varje platta. Totalt förbereddes 14 plattor av typen TA9 genom nedsmutsning inför experimenten, se Figur 5.13.

Varje platta preparerades enligt följande, se Figur 5.13:

- Jämn utspridning av smutsen
- Nedborstning av den utspridda smutsen jämt ut över plattan
- Vattning av smutsen i kombination med lätt vibration.



Figur 5.13 Nedsmutsning av provplattor med "riktigt" vägsmutset.

Det bör framhållas att syftet med prepareringen av provplattorna var att ta fram plattor med enhetlig igensättning för att möjliggöra jämförelse mellan olika rengöringsparametrar. För att kontrollera nedsmutsningen samt plattornas homogenitet utfördes permeabilitetsmätningar före och efter prepareringen, se Figur 5.14. I diagram

5.1 visas ett exempel på resultat från mätningen. Det kan konstateras att en bra homogenitet har åstadkommits avseende igensättningsgrad mellan de olika plattorna.



Figur 5.14 Permeabilitetstestning av provplattor.

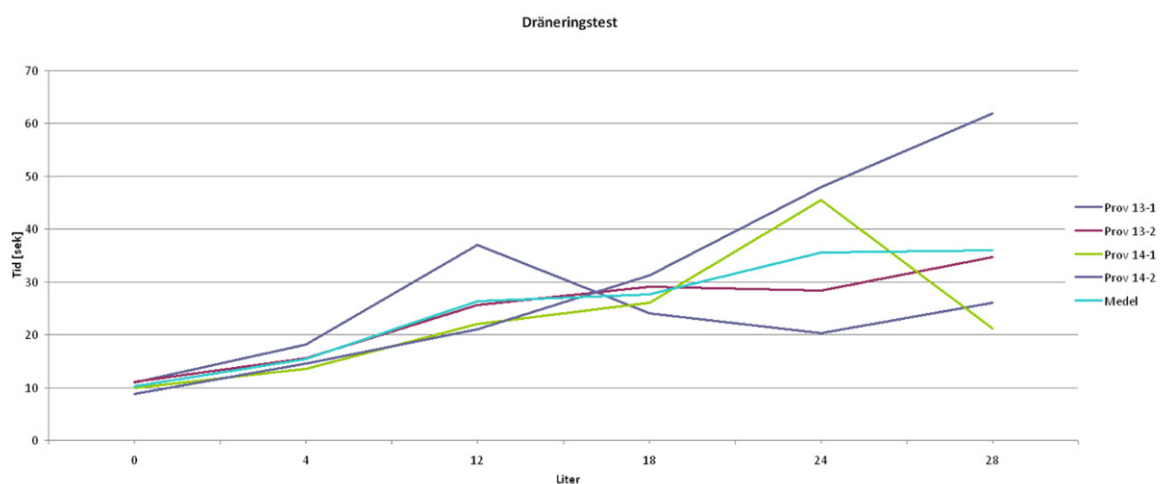
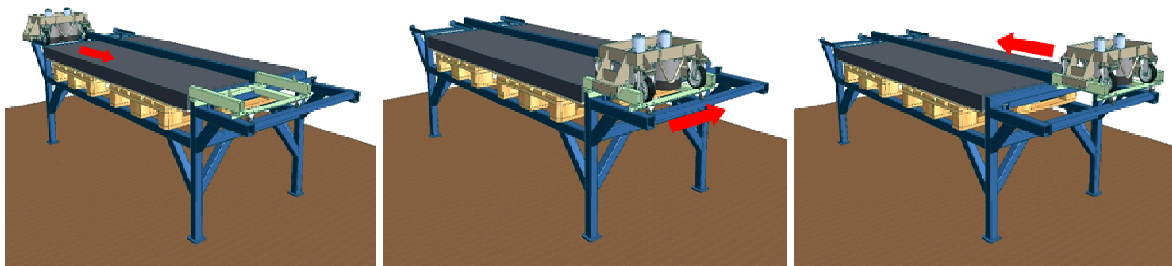


Diagram 5.1 Exempel på resultat från permeabilitetstesterna avseende homogenitet.

För att testa den egenutvecklade rengöringsrampen konstruerades en hydraulisk driven testrigg, se Figur 5.15 och 5.16. 2 test per platta utfördes.

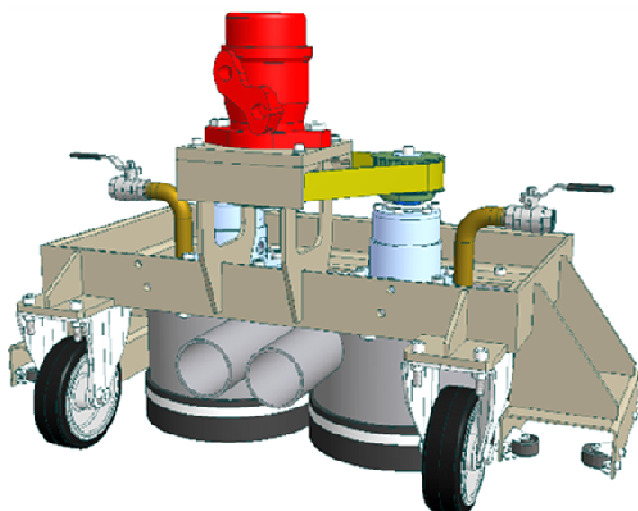


Figur 5.15. Egenutvecklad rengöringsramp samt testrigg för spoltester.



Figur 5.16. Beskrivning av rengöringsramp samt testrigg för spoltester.

Rengöringsrampen utgörs av två spol/sug-huvar i fullskala, (ca 200mm i diameter med rotatorer), se Figur 5.17. En fullbred utrustning med 12 st huvar har en rengöringsbredd på 2400 mm.



Figur 5.17. Rengöringsramp med två fullskale spol- och sughuvar.

Rengöringsrampen är utrustad med ett antal anslutningar och justeringsmöjligheter så att experiment med olika kombinationer kan utföras. Vatten, tilluft samt utsug (från sugbil) kan justeras, se Figur 5.18. Även avståndet mellan huv och asfaltytan kan justeras. Principen med rengöringen är att vatten med anpassat tryck appliceras med roterande dysor så att igensatt smuts attackeras från flera håll och frigörs. Det är avgörande att den lösa smutsen sugs upp tillsammans med vattnet innan det hinner sjunka ner i beläggningen. Smutsen och vattnet sugs upp i en smal spalt mellan ytter och inre hölje, se Figur 5.18.

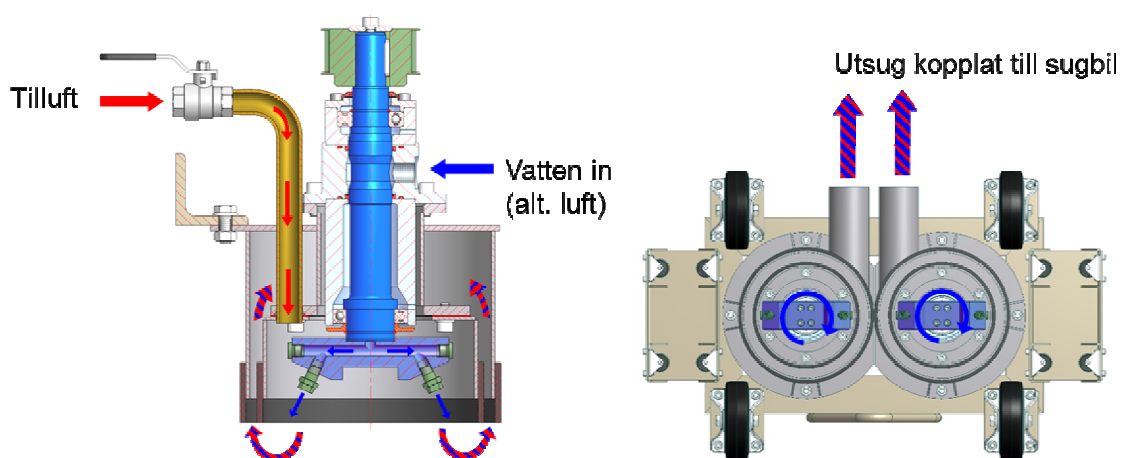


Bild 5.18. Rengöringsramp i skärning och botten vy.

Det experimentella försöken genomfördes i 10 steg illustrerade i bild 1-10.

Genomförande av testkörning



1. Ett nytt dränerings-test görs strax innan respektive test.



2. Provpatta lyfts på plats i riggen med truck. Sugbil kopplas in.



3. Parametrar justeras inför respektive test



4. Testet körs



5. Visuell kontroll av resultatet direkt efter körning.



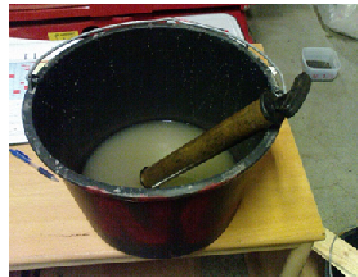
6. Ytterligare ett dräneringstest görs strax efter testet.



7. Materialet i sugbilen samlas upp med våtdammsugare efter varje test...



8. ...och hålls över i hinkar som märks upp och vägs (1 hink / test).



9. Efter sedimentering tappas vattnet av och vägs.



10. Resterande smuts läggs över i burkar och vägs. Materialet får sedan ligga och torka i burkarna för att sedan vägas igen.

Upplägg av utförda tester

Först körs totalt 6 st referenstester:

- varav 2 st körs med stängd tilluft till inre kåpa
- 2 st körs med öppen tilluft till inre kåpa
- 2 st simulerar Gebr. van Doorns utrustning

Tilluftsförsörjningen är en grundläggande parameter. Genom att jämföra stängd mot öppen fås ett kvitto på att teorierna håller om hur vatten och luft vandrar från inre till yttre kåpa genom asfalten och tar med sig smutsen ur beläggningen.

Referenstesterna ger också en jämförelse mellan Skanskas utrustning och en av de idag bästa befintliga utrustningen från van Doorn.

I resterande tester varierar en parameter i taget och jämförs med referenstesterna.

Utsug kopplad direkt till spol/sug-huvar. Luftflöde 1500 m³/h (motsvarande 1/6 av tillgänglig kapacitet på vanligt förekommande vakuumsugbilar). Skanskas testramp har 2 huvar, fullstor ramp 12 huvar vilket motsvarar c:a 2,4 m bredd. Undertryck ca 0,22 bar, vattenflöde 45 l/min, vattentryck 80 bar, samt körhastighet ca 1000 m/h. Tilluft stängd/öppen.

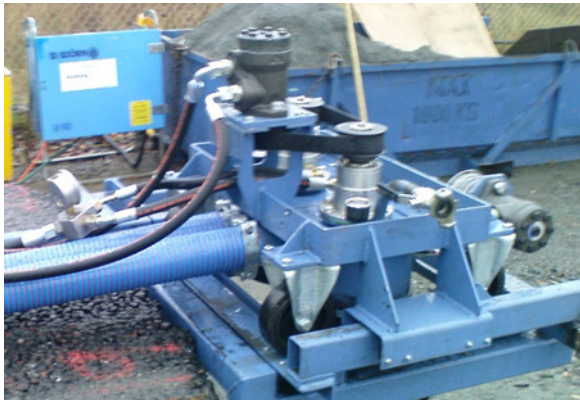


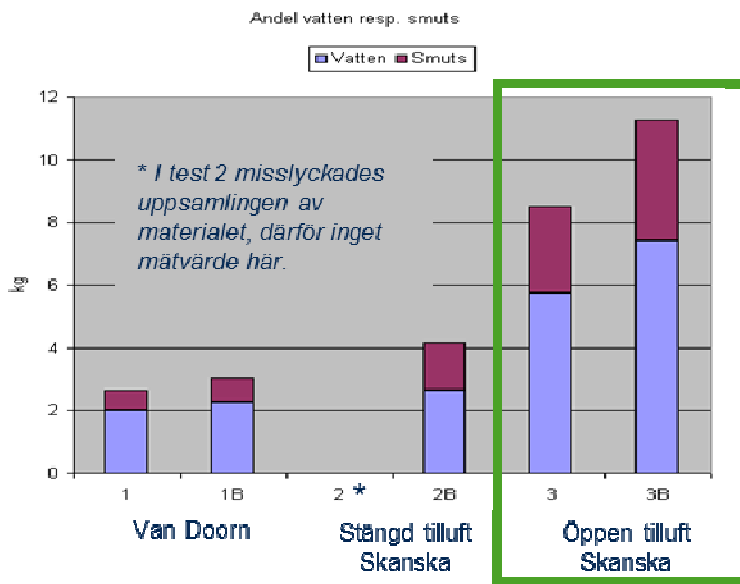
Bild 5.19. Rengöringsramp inför test.

Jämförelse Doorns Utrustning

Utsug kopplad till separat huv monterad baktill på vagnen. Luftflöde 2400 m³/h (motsvarande 1/10 av kapacitet på van Doorns bil. Skanskas sugramp 400 mm bred, van Doorns 4 m bred, i övrigt likvärdig geometri.). Undertryck ca 0,22 bar (verkligt värde på van Doorns utrustning är c:a 0,12), vattenflöde 45 l/min, vattentryck 80 bar, körhastighet 1000 m/h. Tilluft har ej någon påverkan här eftersom sug sker i separat huv bakom spolning.

Resultat referenstester – Jämförelse mellan van Doorns utrustning och Skanskas utrustning

Minst uppsuget material med van Doorns utrustning (test 1 & 1B), se Figur 5.20 och 5.21.

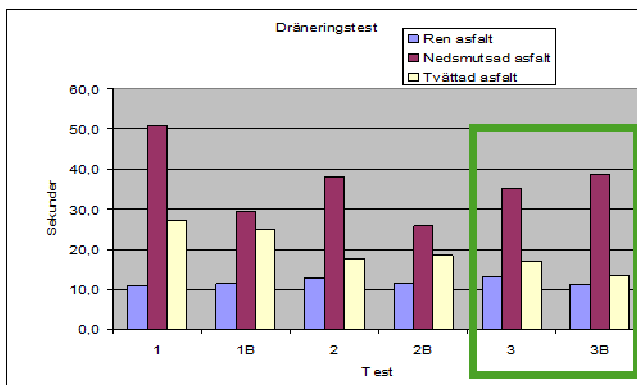


Figur 5.20. Resultat från rengöringstest.

Mest uppsuget material med Skanskas utrustning med **öppen** tilluft (vilket bekräftar teorierna). Under test 1 och 1B rinner vatten över plattan, och mycket ligger kvar även efter provkörningen.

Under testkörning med Skanska-utrustning sugs allt material upp, det rinner inget över vägbanan och ytterst lite finns kvar efter körning.

Även dräneringstesterna visar att test 3 och 3B med öppen tilluft ger bäst resultat se Figur 5.21.



Figur 5.21. Resultat från dräneringstest.

Testerna med **öppen tilluft** blir referens för kommande tester.

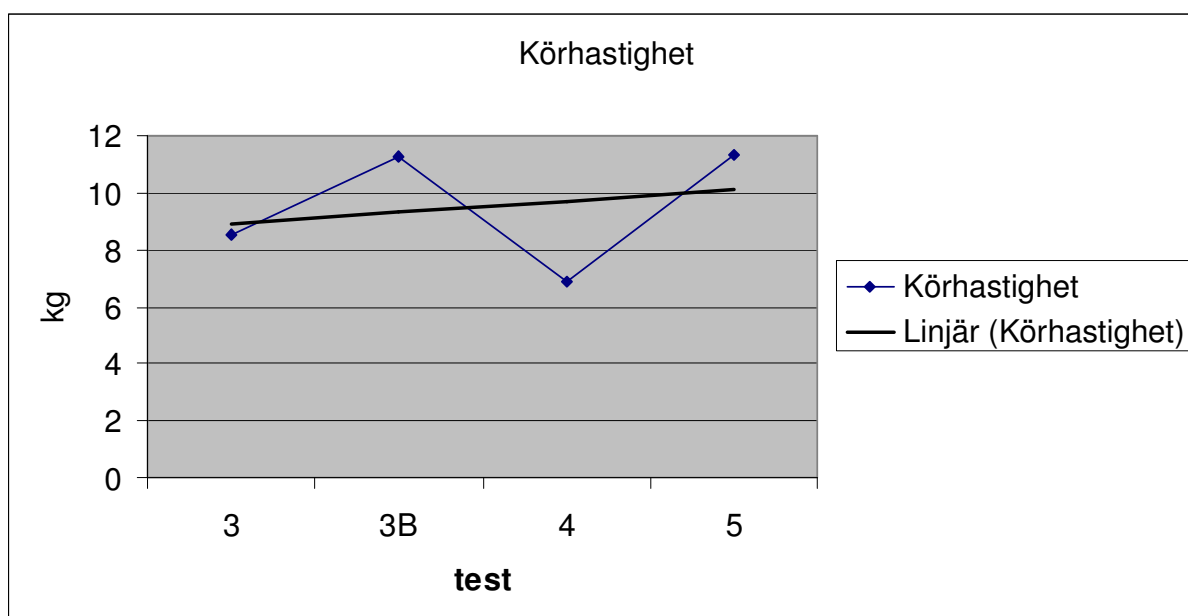
I dessa tester utvärderas följande parametrar:

- Körhastighet
- Vattenflöde

- Vattentryck
- Spalt mellan huv och vägbanan
- Luftens flödes hastighet
- Tryckluft kopplad till tilluft
- Tryckluft i rotatorer (istället för vatten)

Resultat av körhastighet:

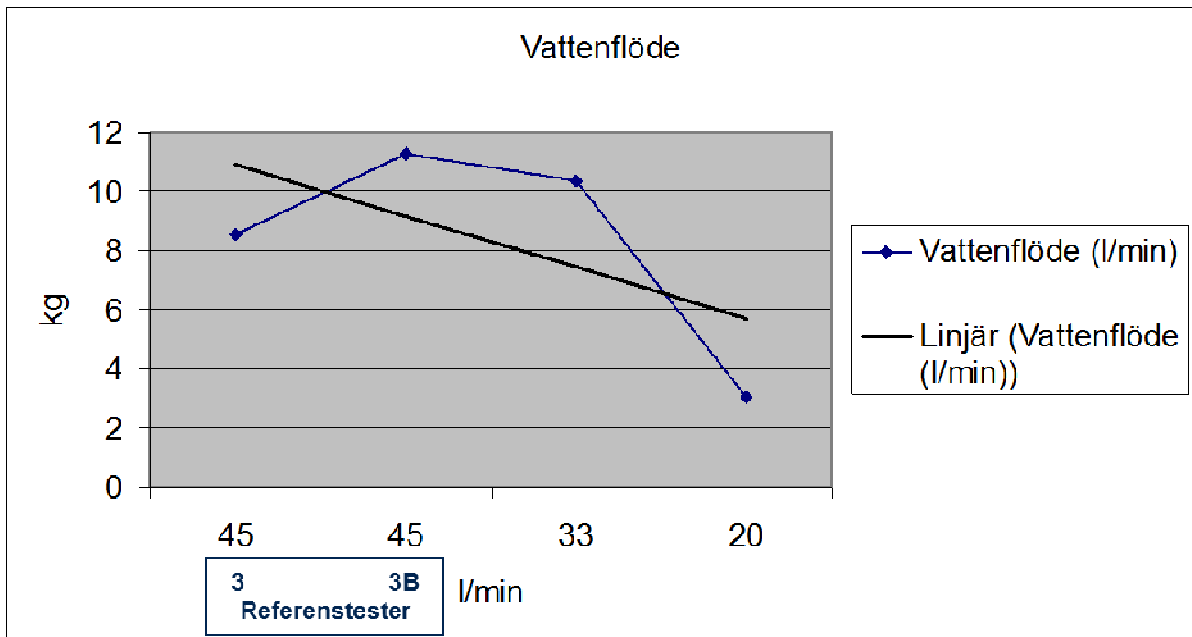
- Inget entydigt resultat även om snittkurvan pekar på något bättre resultat med lägre hastighet, se Figur 5.22.



Figur 5.22. Resultat av körhastighet.

Resultat vattenflöde:

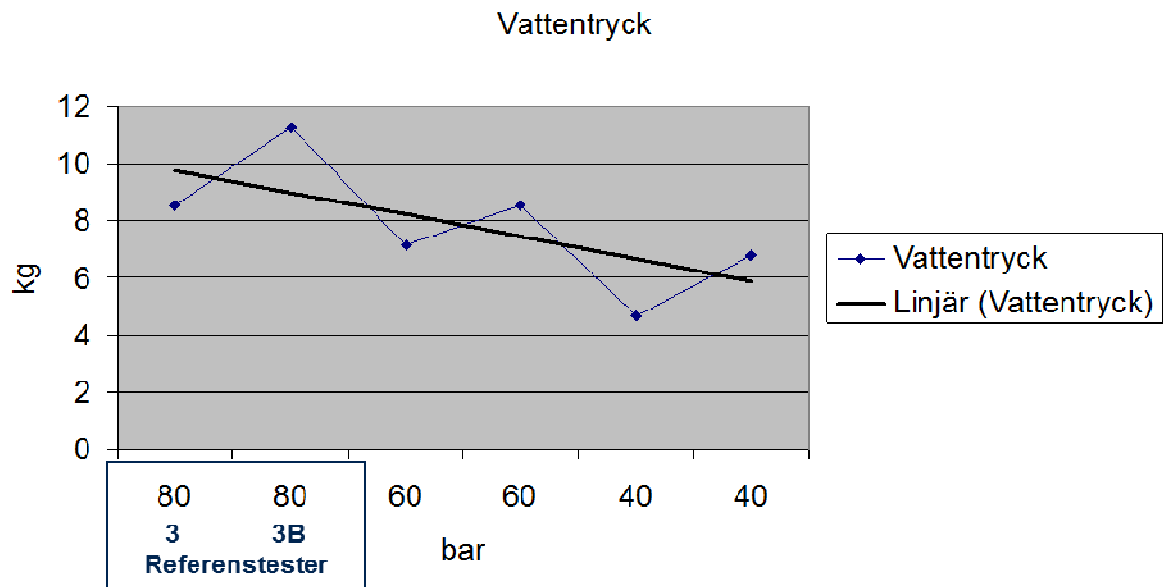
- Trenden visar sämre resultat med minskat vattenflöde, även om värdena varierar något, se Figur 5.23.



Figur 5.23. Resultat av vattenflöde.

Resultat vattentryck:

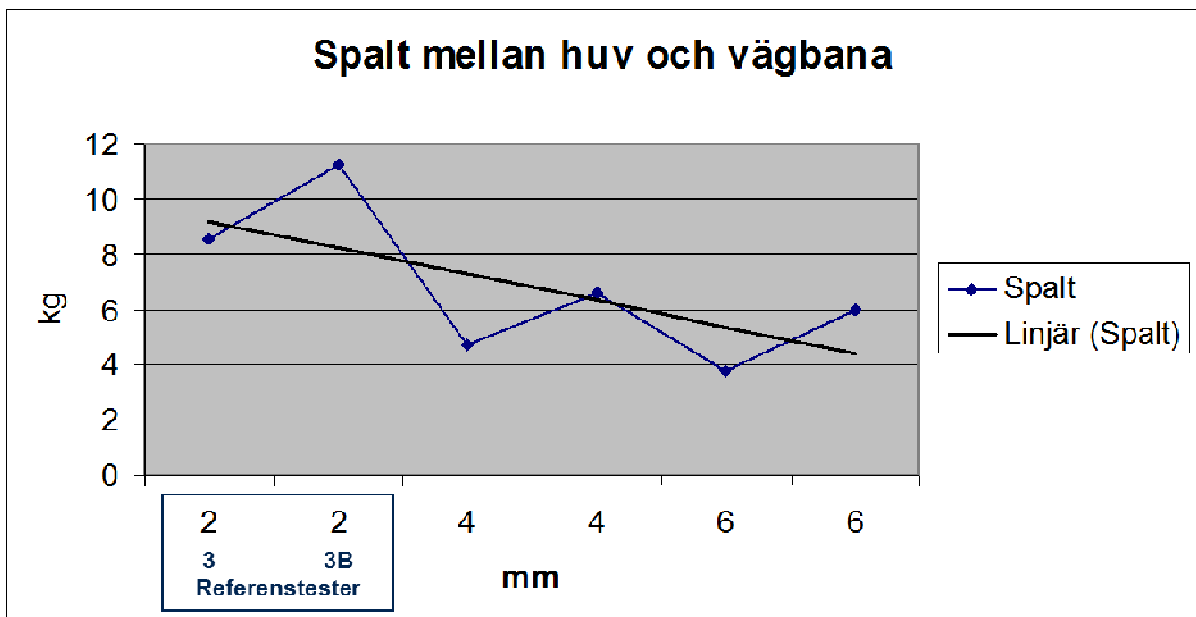
- Tydlig trend att resultatet blir sämre med minskat vattentryck, se Figur 5.24



Figur 5.24. Resultat av vattentryck.

Resultat spalt mellan huvar och vägbana

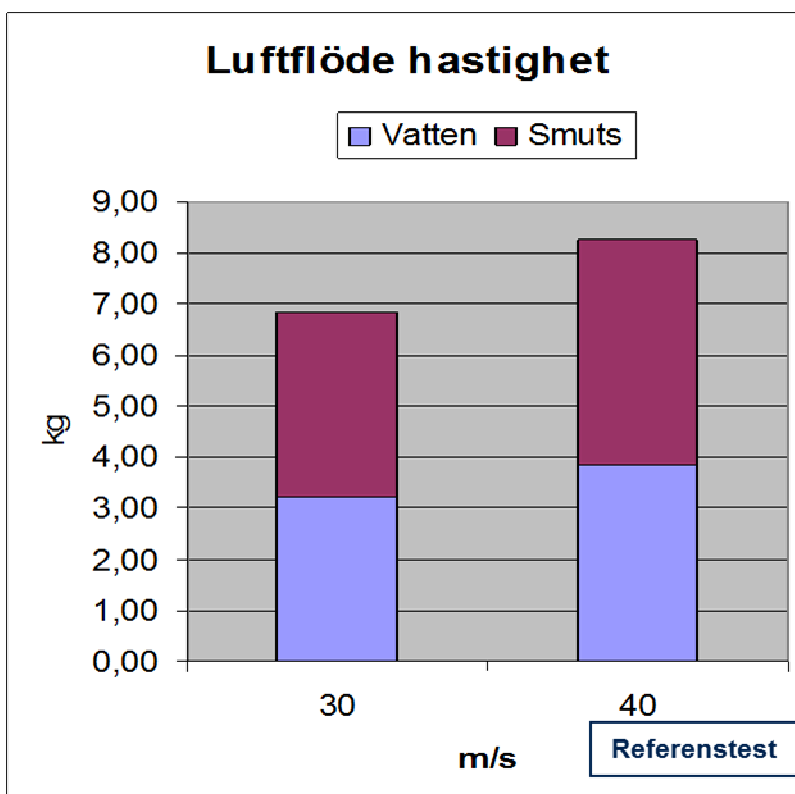
Trenden visar sämre resultat med ökad spalt, se Figur 5.25.



Figur 5.25. Resultat av spalt mellan huvor och vägbana.

Resultat Luftflöde hastighet (avser luftens hastighet i spalten mellan inre och yttre kåpa)

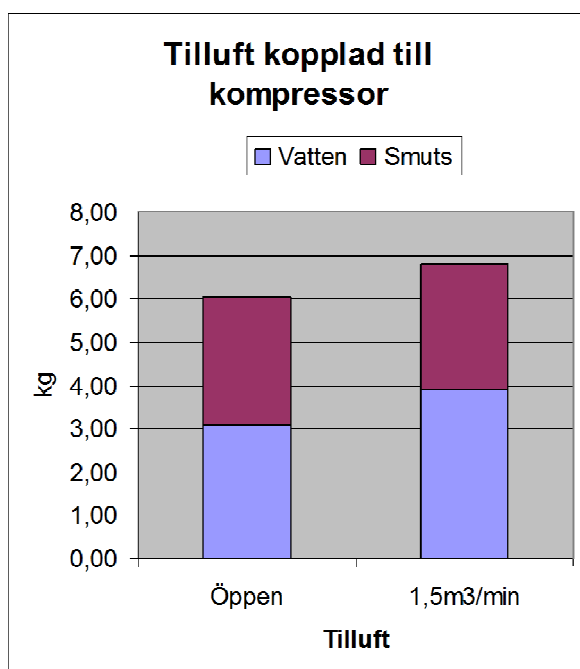
Endast 2 jämförbara mätvärden här, bättre resultat med den högre lufthastigheten, se Figur 5.26.



Figur 5.26. Resultat av luftflöde hastighet.

Tilluft kopplad till kompressor

Inre kåpa matas med luft genom att kompressor kopplas till tilluften. Kompressorns luftflöde = 1,5 m³/min, (motsvarar 1/6 av 9 m³/min). Jämförs mot test med endast atmosfärstryck (d.v.s. öppen tilluft). Endast 2 mätvärden här. Något bättre resultat med kompressor, se Figur 5.27.



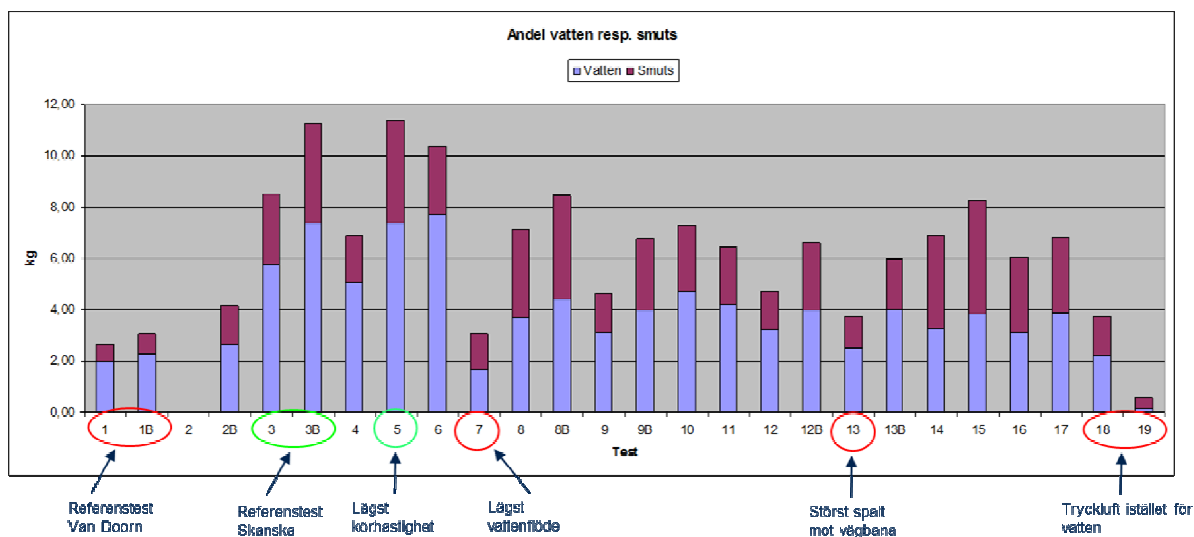
Figur 5.27. Resultat av tilluft kopplad till kompressor.

Kompressor kopplad till rotatorer

Inget spolvatten i detta test, tryckluft genom "spolmunstyckena", kompressorns luftflöde = 1,5 m³/min, test med flat respektive punktformad luftstråle. Endast 2 mätvärden här.

Inget av testen ger bra resultat. Risk för att huv sätts igen med smuts. Orimligt mycket vatten i flatstråletest, vatten kvar i sugslang från föregående test?

Figur 5.27 visar en sammanställning av resultatet.



Figur 5.28. Sammanställning av erhållna resultat.

Intressanta resultat:

- Skanskas referenstest med öppen tilluft c:a 300% bättre jämfört med van Doorn
- Testet med lägst körhastighet ger allra bästa resultatet
- Bäst resultat med högt vattenflöde
- Ökad spalt mot vägbana ger sämre resultat
- Tryckluft istället för vatten i rotatorer ger klart sämst resultat.

5.3 Utveckling av VÄGREN

Baserat på utförda tester påbörjade MTC en utveckling av VÄGREN. Denna maskin, fortsättningsvis även benämnd "VÄGREN", är avsedd för djuprengöring av bullerreducerande beläggningar (Tyst Asfalt). VÄGREN är byggd på en lastbilstrailer, se Figur 5.29, och är avsedd att dras av en inhyrd slamsugningsbil, fortsättningsvis benämnd "sugbil". Den egenutvecklade utrustningen är en unik konstruktion, som bidrar till ökad djuprengöring av asfaltbeläggningar.

Utrustningen har försetts med en helt ny, patenterad rengöringsramp för att öka effektiviteten på rengöringen och minimera miljöpåverkan. Rengöringsrampen möjliggör avskiljning av olja och tungmetaller ur det återanvända vattnet. Utrustningen kopplas till en sugbil utrustad med partikelfilter för luft som blåses ut. Därmed rengörs inte bara beläggningen utan även luften



Figur 5.29. Utveckling och konstruktion av VÄGREN.

Maskinenheten består av ett släp som dras av en vanlig torrsugningsbil. Släpet är specialbyggt. Utrustningen är framför allt framtagen för rengöring av öppna beläggningar även kallat tyst asfalt, men kan också användas för andra typer av beläggningar. Körhastigheten varierar mellan 1–3 km/h beroende på ytan som skall rengöras. Rengöring av överytor sker med 12 stycken patenterade spol- och sugkåpor. Kåporna är monterade två och två på en vagn som följer vägbanan. Utrustningen har 6 vagnar i bredd, vilket ger en total rengöringsbredd av 2,4 m. Vid rengöring av trånga ytor i statsmiljö kan kåporna placeras framför sugbilen vilket ger en mindre och smidigare enhet. Vattnet sprutas med högt tryck mot vägbanan genom roterande dysor och sugas därefter upp från vägbanan med hjälp av vakuum till torrsugningsbilens tank. I tanken sker en första sedimentering av större och tyngre partiklar. Vatten och mindre partiklar pumpas härifrån till sedimenteringstank 2 placerad på trailern. I sedimenteringstank 2 faller ytterligare partiklar till botten, resterande vatten och partiklar rinner via bräddavlopp till ytterligare en tank. Från denna tank pumpas vattnet via cykloner och filter till renvattentanken. Från renvattentanken tas sedan det vatten som sprutas mot vägbanan. Hela sekvensen styrs och övervakas automatiskt via en dator.

Observera att sugbilen måste vara modifierad enligt anvisningar för bästa effekt. VÄGREN får ej användas vid minusgrader.

Under rengöringsprocessen krävs två operatörer, en sugbilsförare och en operatör som går bredvid för att övervaka och med fjärrkontroll styra Vägrens funktioner. Under denna process är VÄGREN ansluten till sugbilen för att utnyttja dennas vakuumsfunktion.

Under långsam förflyttning framåt sprutar VÄGREN under högt tryck ut vatten på vägbanan. Med hjälp av sugbilens vakuum sugas vatten och smuts upp ur vägbanans håligheter och därmed återställs Tyst Asfalts bullerdämpande funktion.



Figur 5.30. Specialbyggd sedimentationscontainrar.

För att få en smidigare logistik vid ett rengöringsuppdrag används också två specialbyggda fristående sedimenteringscontainrar, se Figur 5.30. De två fristående sedimenteringscontainrarna är numrerade "1" och "2". Inför start av ett rengöringsuppdrag placeras båda containrarna på lämplig plats på en plan och hård yta. Hela fordonsekipaget (sugbil och VÄGREN) ska utan fara för operatörer eller andra personer och utan att vara till hinder för annan trafik kunna parkeras intill och med åtkomst till båda containrarnas alla anslutningar.

De båda containrarna turas om att dagligen fyllas med smutsvatten från VÄGREN respektive att från dag 2 även förse VÄGREN med rent sedimenterat vatten enligt följande process;

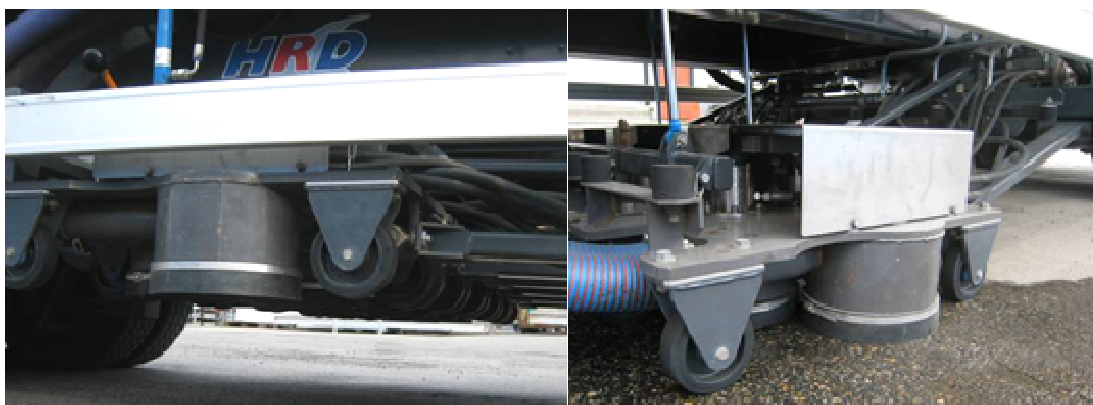
Under rengöringsprocessen ska operatör ha kontinuerlig kontroll på vattentrycket till tvättramperna. Tryck för både vänster och höger tvättramp kan avläsas på manometrar på valfri sida av VÄGREN vid rampernas främre infästning i trailer, se Figur 5.31. Främre manometer visar tryck på aktuell sida, bakre manometer visar tryck på andra sidan. Trycket ska vara min 60 och max 80 bar, är det för lågt eller för högt ska VÄGREN omedelbart stoppas genom att trycka in fjärrkontrollens nödstopp. Felet ska åtgärdas innan arbetet får återupptas



Figur 5.31. Högtrycks manometrar.

De två högtryckspumparna drivs av hydraulmotorer och är placerade en på var sida i sidoskåpen. Pumparna förser tvättrampernas rotatorer med vatten med ett tryck av 60-80 bar.

Ungefär mitt under trailern hänger de två tvättramperna TR1 och TR2, se Figur 5.32. Dessa kan sänkas ned och hissas upp med hjälp av fyra hydraulcylindrar. Tvättramperna är försedda med transportlåsningar i upphissat läge.



Figur 5.32. Patenterade spol- och sugramp.

Varje tvättramp består av tre separata tvättenheter som i sin tur består av två sugkåpor med gummikanter som ligger an mot vägbanan. I varje sugkåpa finns en rotator som via kuggrem drivs av en hydraulmotor.

Vid rengöring matas varje rotator med vatten från högtryckspumparna. Längst ned nära vägbanan finns en roterande arm med två dysor som sprutar vatten ned i beläggningen. Till varje sugkåpa är sugbilens vakuum anslutet. Figur 5.33 visar den färdiga rengöringsutrustningen.



Figur 5.33. Skanskas egenutvecklade rengöringsutrustning, VÄGREN.

5.4 Jämförelse Barkarby

I ett projekt initierat av Trafikverket "Utvärdering av städmaskiners förmåga att minska PM₁₀-halter" inbjöds Skanskas rengöringsutrustning, VÄGREN, att delta vid ett kontrollerat experiment på Barkarby flygplats [14]. Tidigare hade två andra rengöringsutrustningar testats i en gatumiljö på Sveavägen i Stockholm. Tanken med Barkarby-försöken var att testa de olika rengöringsutrustningarna förmåga att städa upp PM₁₀ under kontrollerande förhållanden för att utvärdera potentialen att därigenom bidra till att sänka partikelhalterna i stadsmiljö. Tre rengöringsutrustningar deltog (A, B och C), där C är VÄGREN. Figur 5.34 visar uppställda rengöringsutrustningar på Barkarby flygplats.



Figur 5.34 Uppställda rengöringsutrustningar på Barkarbyfältet.

Ett antal provytor preparerades med stenfiller (stenmjöl) som ersättning för vägdamm. Genom att applicera ett väl karakteriserat material i känd mängd på uppmätta ytor erhöles en bra kontroll och förutsättning för en kvalitativ jämförelse. Det bör noteras att belägningen på Barkarbyfältet består av en tät asfalt.

Stenmjölet spreds i kända mängder (250 g/m² och 500 g/m²) och fixerades med vattenspray på testytorna vilka städmaskinerna sedan får städa och mätningar av kvarvarande damm utförs. Figur 5.35 visar preparering av de olika provytorna med 250 g/m² samt 500 g/m².

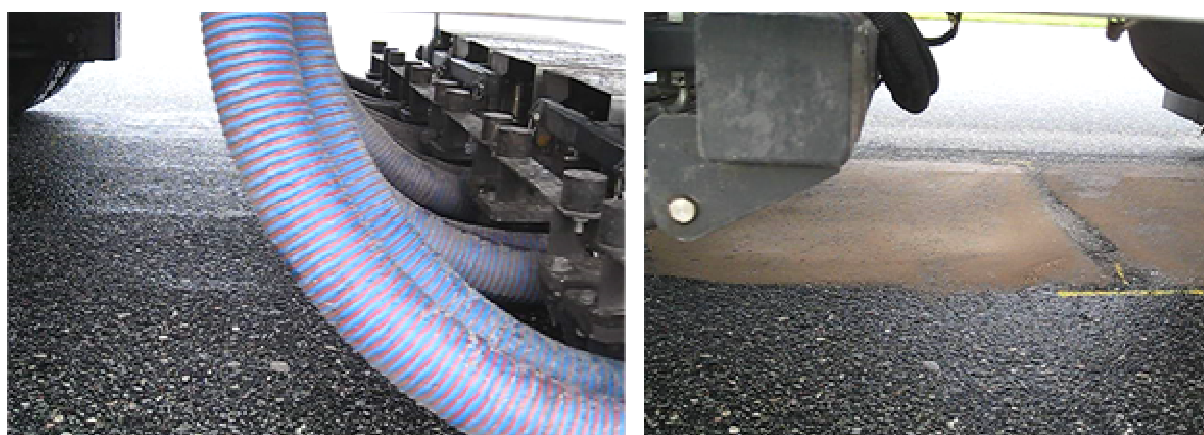


Figur 5.35 Preparering av provtytor.

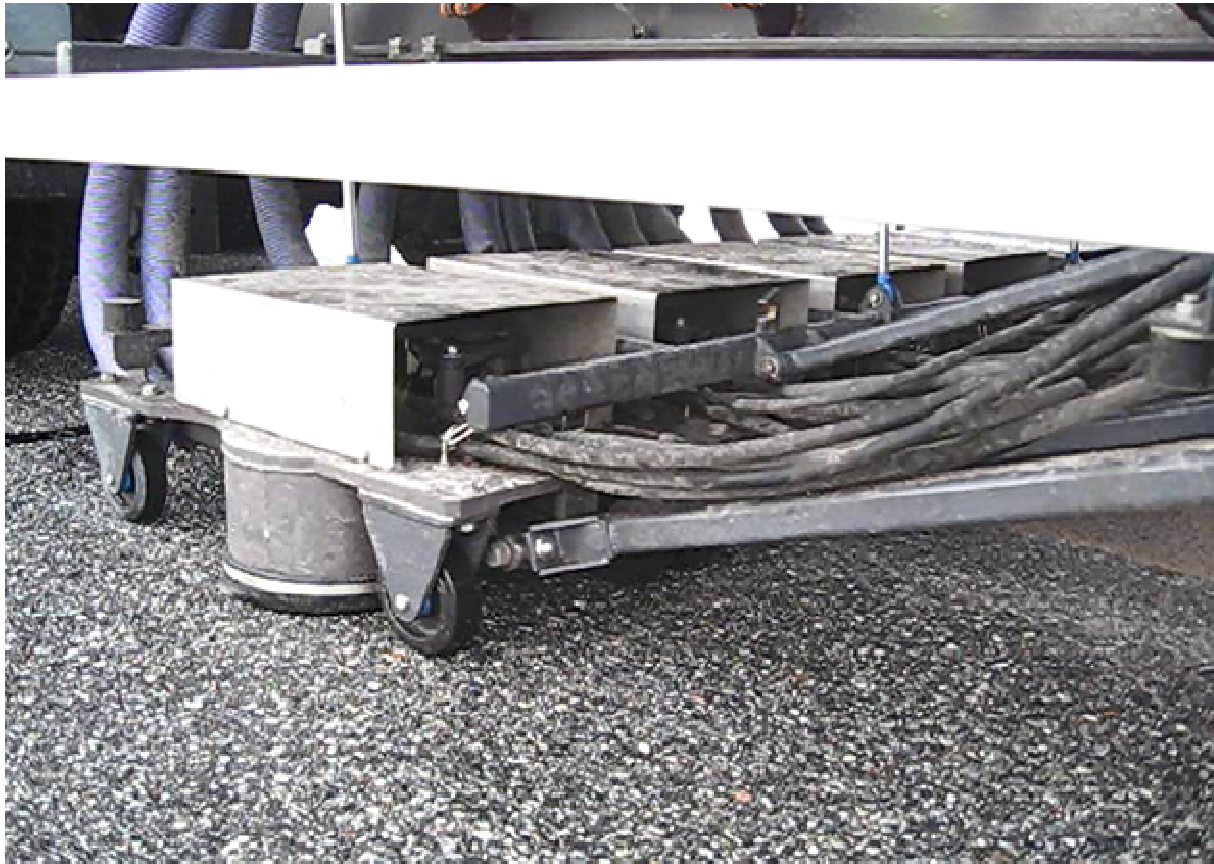


Figur 5.36 Färdigpreparerade ytor före test.

När ytorna var klara utfördes rengöring av de olika fordonen, se Figur 5.37 där VÄGREN kör över sina preparerade ytor. Det syns tydligt att det blir helt rent efter VÄGREN. De tvättade ytorna analyserades med hjälp av Wet Dust Sampler (WDS), se Figur 5.39.



Figur 5.37 Rengöring av provytor med VÄGREN.



Figur 5.38 VÄGRENS patenterade spol och sugkåpor.

För att mäta mängden damm på vägytan användes VTI:s Wet Dust Sampler (WDS). WDS tvättar upp och provtar damm på en liten yta av vägen med hjälp av en högtryckstvätt, som kopplats till en provtagningsenhet. Sprutbildens, det vill säga formen på den yta som tvättas av strålen, är en fylld cirkel. Mängden vatten som provtas i varje "skott" styrs genom att tiden för tvätt och uttryckning av provet i provflaskan styrs elektroniskt. Då ytan som tvättas är liten, tas prover från flera ytor i samma provflaska för att få ett sammanläggningsprov. I dessa försök användes sex skott i varje prov [14].



Figur 5.39 Wet Dust Sampler (WDS,).

Det uppsamlade vattnet samlas i en provflaska för varje fordon, se Figur 5.40. Det är tydligt att VÄGREN (Fordon C) har tvättat renast eftersom det uppsamlade vattnet är klart. Figur 5.41 visar en närbild av skillnaden av det uppsamlade vattnen mellan Fordon B och C.



Figur 5.40 Uppställda rengöringsutrustningar på Barkarbyfältet.



Figur 5.41 Uppställda rengöringsutrustningar på Barkarbyfältet.

Vidare analys visade att VÄGREN klarar att samla upp i princip allt material under fuktiga förhållanden på samtliga ytor. Då data från fördelningarna appliceras på partikelmängderna framgår att maskin C (VÄGREN) klarar att städa upp ca 99 % av det utlagda materialet. och effektiviteten för PM₁₀ var densamma.

Sammantaget visar Barkarby försöken att effektiva städmaskiner som VÄGREN kan bidra till minskade halter av PM₁₀ i miljöer där uppvirvling är en viktig partikelkälla, men även att städteknik och strategi behöver utvecklas för att fungera bra under olika meteorologiska förhållanden och för att komma åt dammet i gatumiljö. För en mer detaljerade resultat om Barkarby-testet hänvisas till [14].

5.4 Rengöringsförsök med VÄGREN på E4 Huskvarna

För att utvärdera VÄGREN har ett antal rengöringsförsök på de olika provstäckorna genomförts. Här redovisas försök på E4 Huskvarna [15, 16].

För att undersöka den rengörande effekten har nio borrhärdar från E4 utanför Huskvarna jämförts före och efter rengöring med hjälp av DT-scan. Beläggningen som ligger på E4:an är en dubbel dränbeläggning som Svevia har utfört. Beläggningen motsvarar i stort Skanskas TA9/11. Vissa modifieringar har gjorts för att optimera beständigheten. Bland annat har ett nyutvecklat högmodifierat bindemedel från Nynäs används. Vidare har bindemedelshalten optimerats. Hållrummet är upp mot 25%.

Tvärfallet har också höjts till 3% för att förbättra vattenavrinningen. För ytterligare information om sträckan hänvisas till [15].

Syftet med studien (som utförts inom ramen för ett examensarbete) [16] är att utföra en djupanalys av borrkärnornas porstruktur. Skanskas egenutvecklade rengöringsutrustning, VÄGREN, användes för att rengöra en sträcka på ca 100 m av E4:an. Borrkärnorna togs före och efter rengöringen, se Figur 5.42 och Figur 5.43. Tabell 5.1.



Figur 5.42 Borring av provkroppar från E4 Huskvarna.



Figur 5.43 Upptagna borrkärnor från E4 Huskvarna.

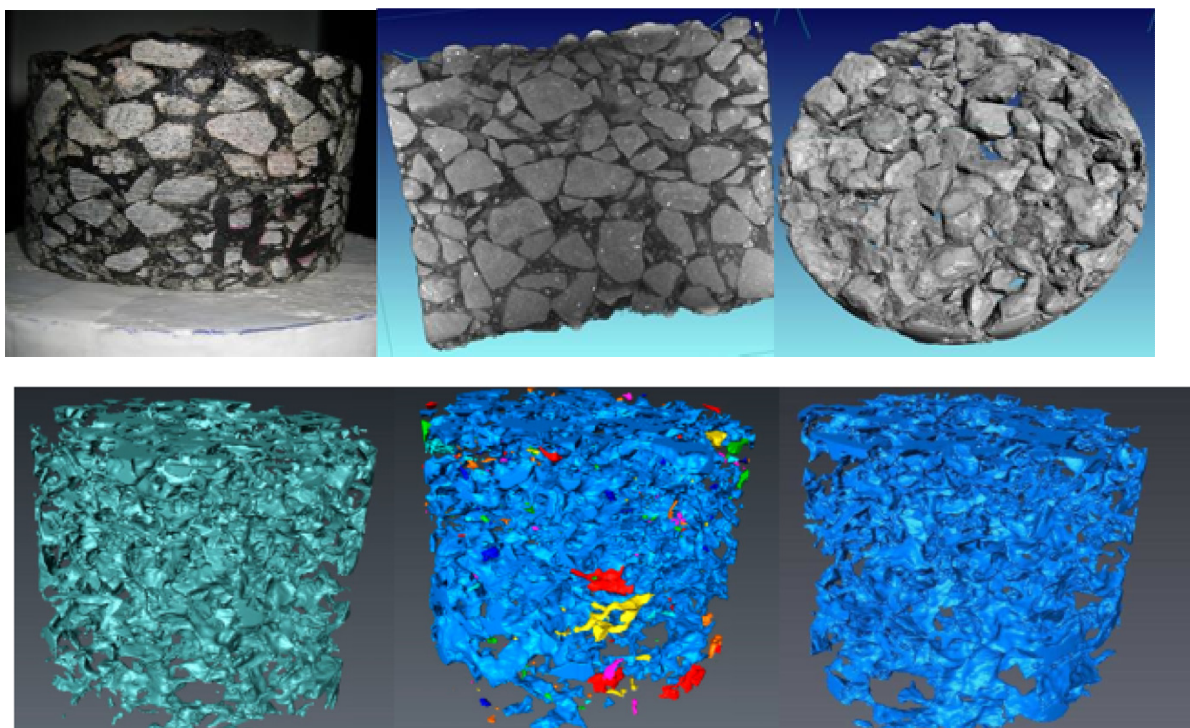
Table 5.2: Scanned core samples

Sample ID	Cored Year	Resolution
1B	2011	66.000 x 66.000 x 66.000
2A	2011	66.000 x 66.000 x 66.000
2B	2011	66.000 x 66.000 x 66.000
1BC	2014	61.000x 61.000 x 61.000
2BC	2014	61.000x 61.000 x 61.000
3BC	2014	61.000x 61.000 x 61.000
S1 CLEAN	2014	61.000 x 61.000 x 61.000
S2 CLEAN	2014	61.000 x 61.000 x 61.000
S3 CLEAN	2014	61.000 x 61.000 x 61.000

Tabell 5.1 Sammanställning av upptagna borrhäror från E4 Huskvarna.

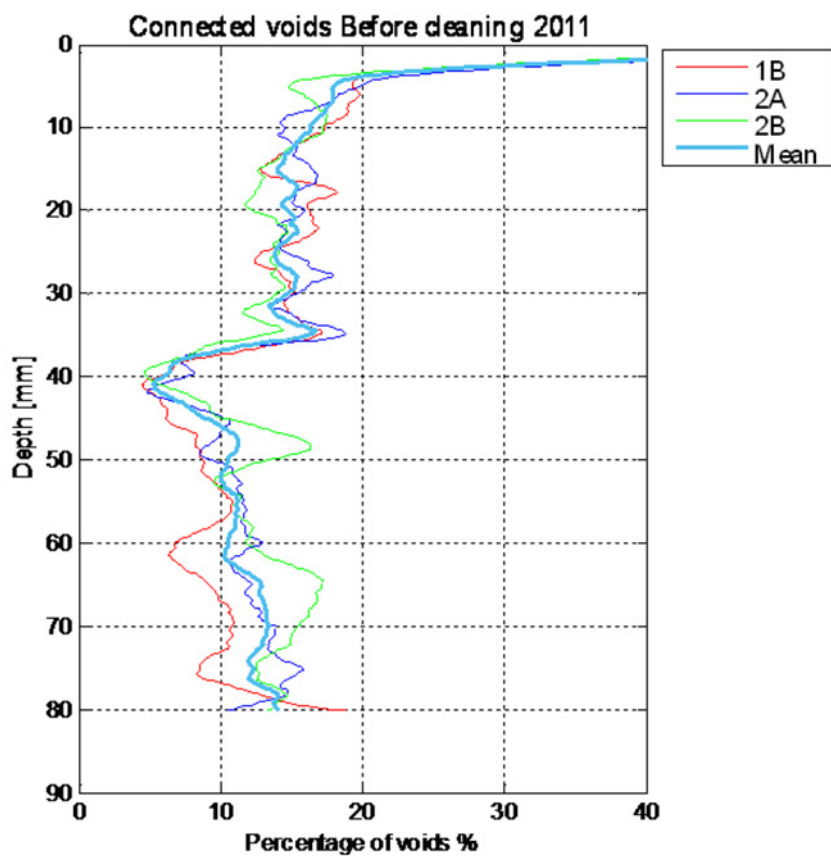
Provkropparna analyserades med en högupplöst röntgen datortomograf (DT-scan) på KTH för att beskriva hela morfologin. Även några tidigare upptagna borrhäror inkluderades i studien (1B/2A/2B).

Bilderna erhållna från datortomografin bearbetades till 3D med bildanalysprogrammet, AvizoFire®, se Figur 5.44. Porositeten som funktion av beläggningsdjup har studerats för att analysera effekten av den valda rengöringsmetoden, se Figur 5.45 till Figur 5.48.



Figur 5.44 Exempel på 3D-modellering av DT-scannade provkroppar.

De olika färgerna markerar vilket typ av hålrum som provkroppen består av (ex. kommuniserande alternativt isolerade).



Air voids			
before cleaning	Mean Value	Mean value (top layer)	Mean value (bottom layer)
Total 2011	13.7%	16.7%	10.7%
Connected 2011	13.3%	15.9%	10.9%

Figur 5.45 Kommunikerande hålrum som funktion av tjockleken.

Figur 5.45 redovisar resultatet för borrhörnorna från 2011. Det kan noteras att det kommunikerande hålrummet för det övre lagret ligger runt 16 % och ca 11 % för det undre.

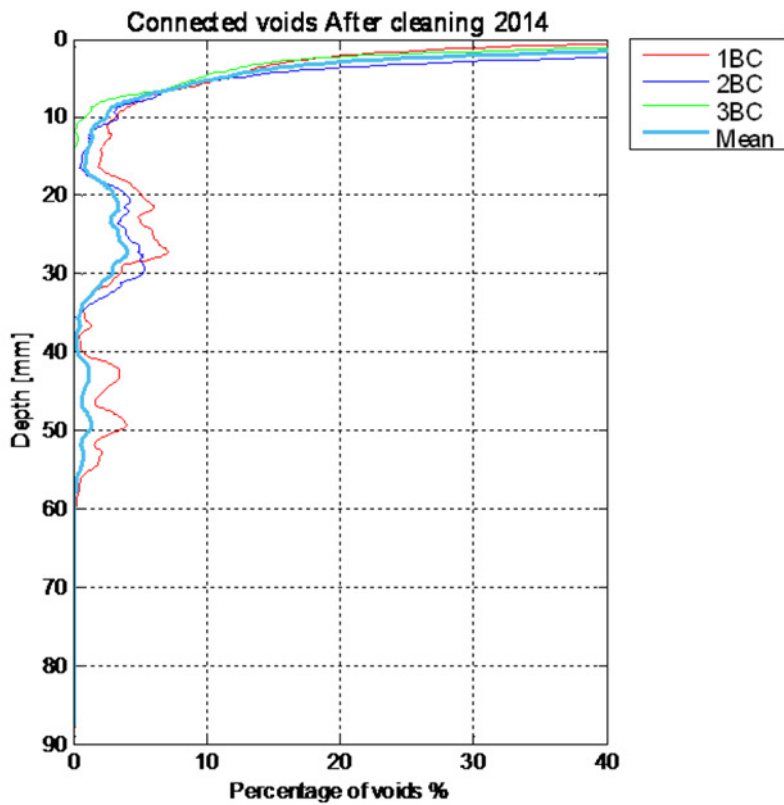


Table 6.2: Mean value Porosity 2014 before cleaning

Air voids			
before cleaning	Mean Value	Mean value (top layer)	Mean value (bottom layer)
Total 2014BC	5.3%	8.2%	3.2%
Connected 2014BC	2.6%	5.4%	0.5%

Figur 5.46 Kommunikerande hålrum som funktion av tjockleken.

Figur 5.46 redovisar resultatet för borrkärnorna från 2014 (före tvätt). Det kan noteras att det kommunikerande hålrummet för det övre lagret ligger runt 5.5 % och ca 0.5 % för det undre. Det kan noteras att beläggningen har blivit kraftigt igensatt sedan 2011.

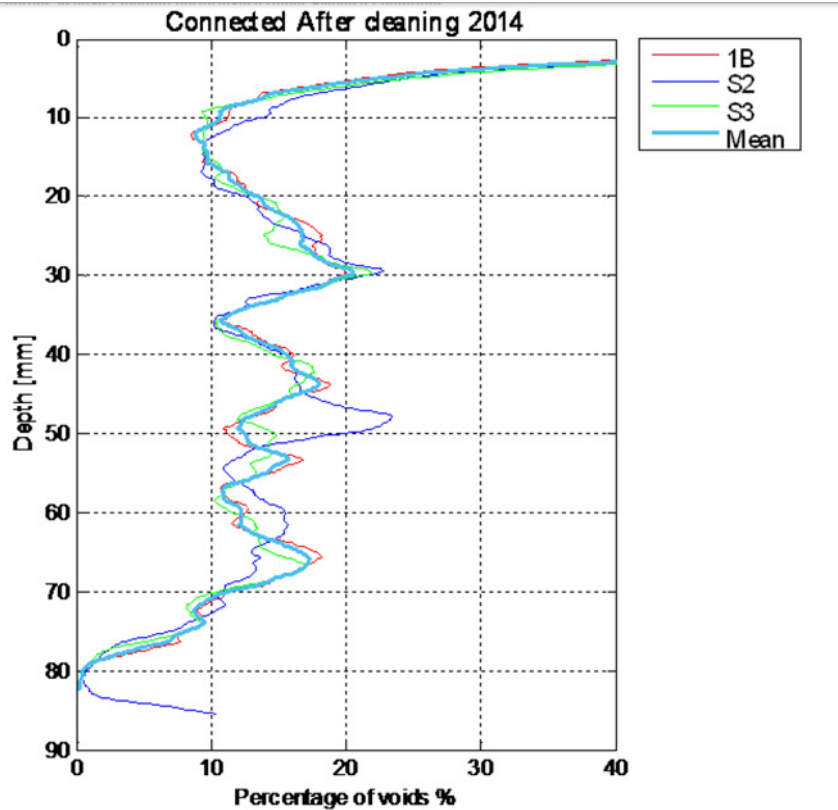
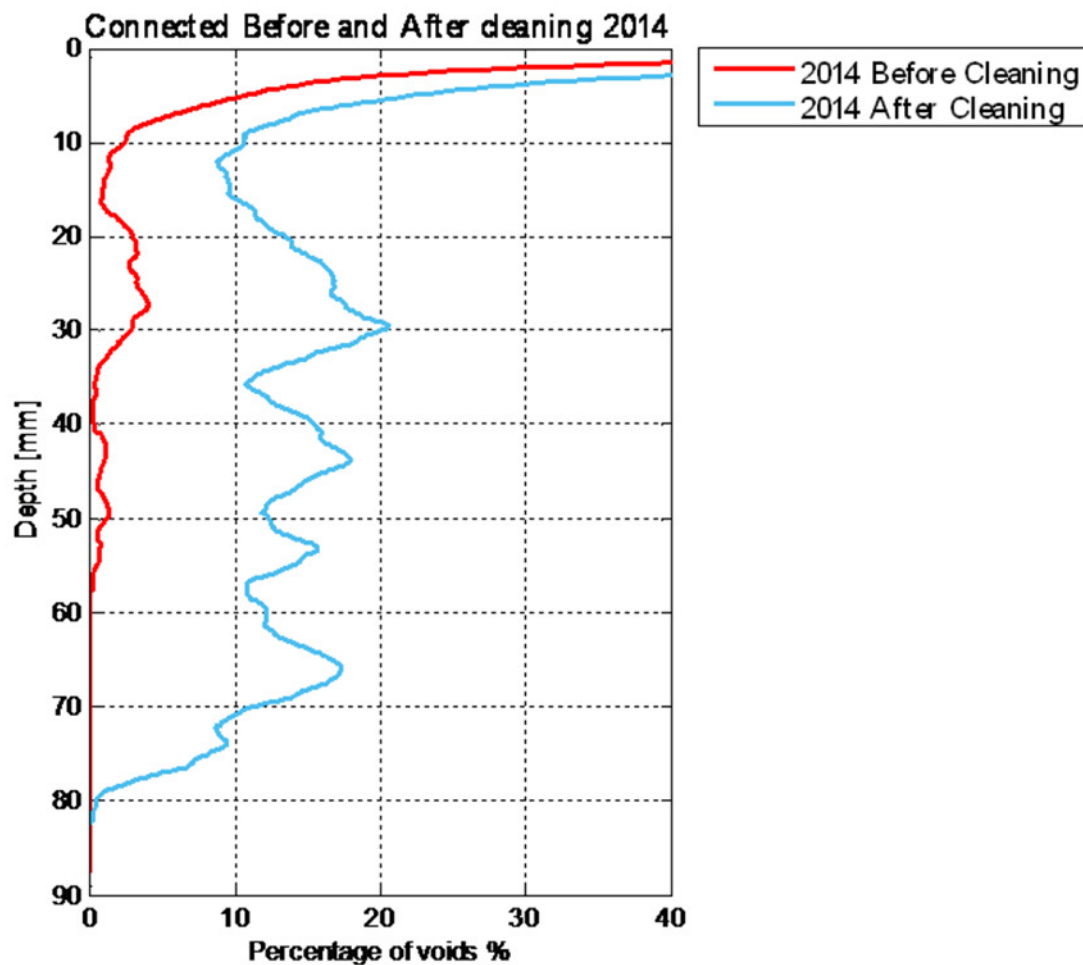


Table 6.3: Mean value Porosity 2014 after cleaning

Air voids			
before cleaning	Mean Value	Mean value (top layer)	Mean value (bottom layer)
Total 2014AC	16.2%	18.6%	14.6%
Connected 2014AC	15.4%	18.0%	14.2%

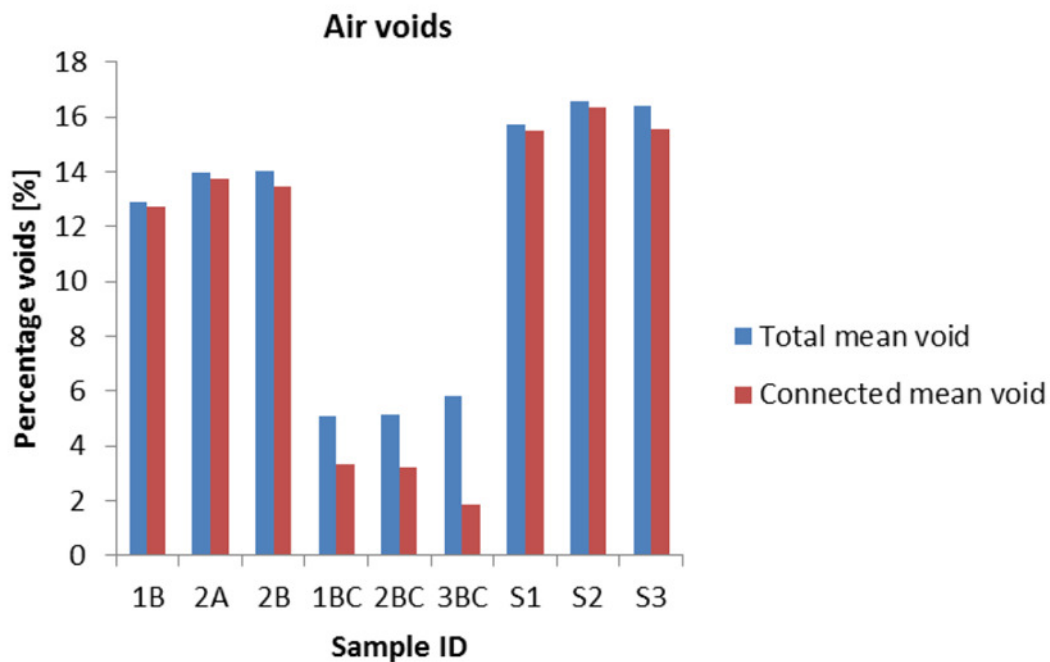
Figur 5.47 Kommunikerande hålrum som funktion av tjockleken.

Figur 5.47 redovisar resultatet för borrhörnorna från 2014 (efter tvätt). Det kan noteras att det kommuniserande hålrummet för det övre lagret har ökat till ca 18 % och ca 14 % för det undre. Det kan noteras att rengöringen med VÄGREN inte bara ökade hålrummet för det övre lagret utan även för det undre.



Figur 5.48 Skillnad mellan kommunicerande hålrum före och efter rengöring.

Figur 5.48 redovisar skillnaden i kommunicerande hålrum före och efter tvätt. Det kan noteras att det kommunicerande hålrummet har ökat över 10 % för både det övre och undre lagret. Medelvärdet för det ommunicerande hålrummet är till om med större än hålrummet från borrhärnorna tagna 2011. Detta indikerar att VÄGREN har en effektiv rengörande effekt på bullerreducerande beläggningar.



Figur 5.49 Sammanställning av totalt samt kommuniserande hålrum.

Resultaten visar att: DT-scan är ett bra hjälpmedel för att utvärdera porstrukturen. Inga synliga skador på den rengjorda sträckan, orsakade av VÄGREN har kunnat noteras. Skanskas rengöringsfordon återställde en stor del av hålrummet på samtliga nivåer för de tvättade provkropparna. Andel sammanhängande porer ökade med 83 %. Kunskap erhållen från denna studie kan bidra till en djupare förståelse om mer optimal användande av bullerreducerande beläggningar under nordiskt klimat. Dock behövs det mer undersökning och optimering av DT-scan för att fastställa effektiviteten av rengöringsmetoden och hur den påverkar livslängden.

Figur 5.50 och Figur 5.51 visar VÄGREN som tvättar E4 Hallunda samt Gåshagaleden på Lidingö. Figur 5.52 visar visuellt effekten av rengöring med VÄGREN.



Figur 5.50 Rengöring av E4 Hallunda.



Figur 5.51 Rengöring av Gåshagaleden.

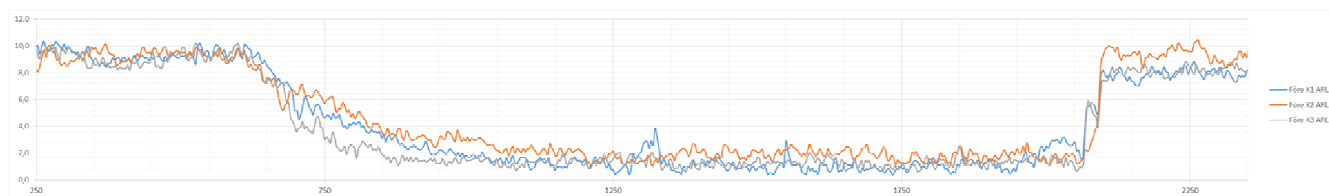


Figur 5.52 Visuell effekt av rengöring med VÄGREN.

Ingen signifikant bullerreduktion har kunna mätas (troligtvis för kort sträcka). En tendens till lägre buller i början av sträckorna som har högre grad av igensättning har kunnat noteras.

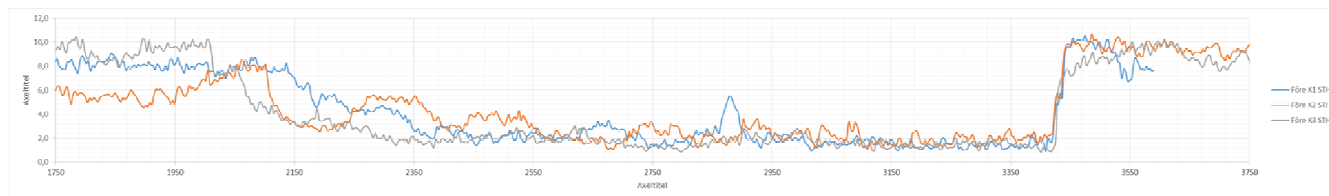
Figur 5.53 och Figur 5.56 redovisar bulermätningar på E4 Rotsunda för varje körfält och riktning. Det är tydligt att en sk. "dörmatta" håller på att utvecklas i början av varje sträcka. Dörmattan är i förhållande till tidigare observationer längre. Detta kan bero på den höga trafikmängden samt skyltad hastighet. Det är tydligt att de olika täta beläggningarna i vardera ände varierar kraftigt. Detta beror bland annat på typ av beläggning, nivå av slitage samt ålder mm.

E4 Rotebro Riktning Arlanda (N)



Figur 5.53 Bullermätning E4 Rotebro riktn Arlanda.

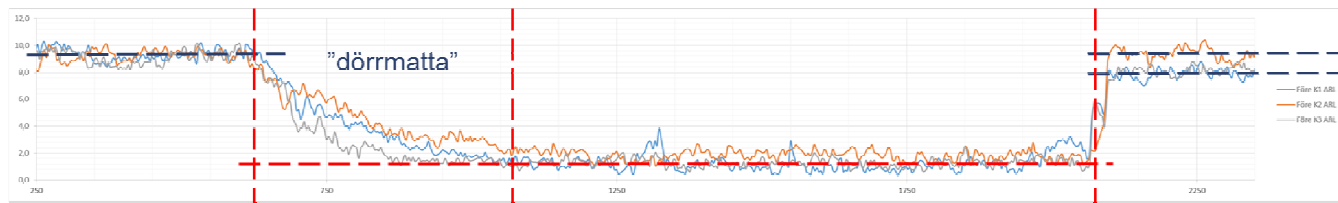
E4 Rotebro Riktning Stockholm (S)



Figur 5.54 Bullermätning E4 Rotebro riktn Stockholm.

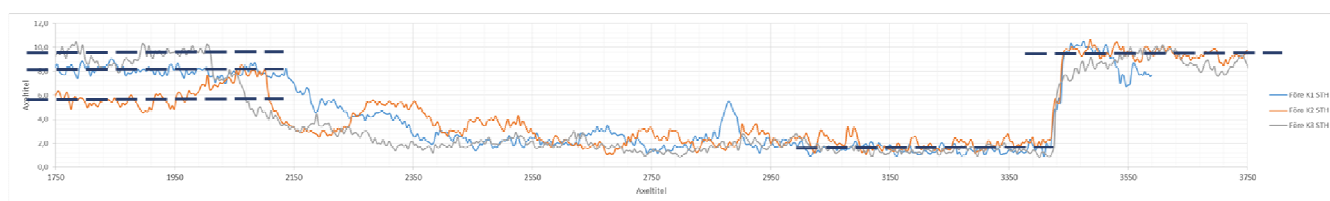
I Figur 5.55 och i Figur 5.56 har dörrmatta samt de olika "referenserna" indikerats

E4 Rotebro Riktning Arlanda (N)



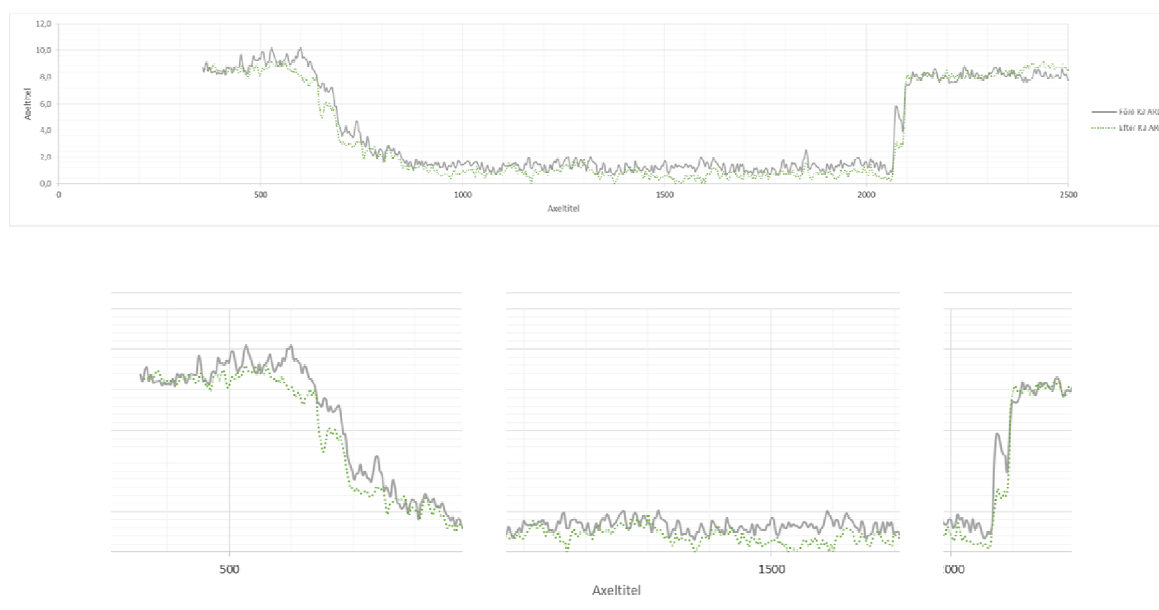
Figur 5.55 Markering av "dörrmatta" och "ref" beläggning hitom och bortom sträckan.

E4 Rotebro Riktning Stockholm (S)



Figur 5.56 Markering av "ref" beläggning hitom och bortom sträckan.

Figur 5.57 redovisar bullermätning före och efter tvätt med VÄGREN.



Figur 5.57 Bullermätning på E4 Rotsunda före och efter tvätt.

Ingen signifikant bullerreduktion kan urskiljas. Beläggningen är troligtvis relativt öppen. En tendens till lägre buller i början av sträckorna som har högre grad av igensättning har kunnat noteras.



Figur 5.58 Rengöring av underliggande lager vid omtoppning av övre lager.

6. Diskussion

Intresset för att använda bullerreducerande beläggningar har gradvis ökat de senaste tio åren på grund av dess förmåga att reducera trafikbuller och i synnerhet det buller som genereras mellan däck och vägbanan. Att reducera trafikbullret så nära källan som möjligt är vanligtvis det mest kostnadseffektiva samt det mest fördelaktiga alternativet.

Den pågående urbaniseringen ökar behovet att tystare miljöer där människor kan bo och trivas. Det har varit en kraftig utveckling av bullerreducerande beläggningar och den ökande kunskapsnivån har bidragit till att bättre och mer beständiga beläggningar.

Tyvärr upplevs bullerreduktion som en kostsam lyx men detta förhållningssätt håller delvis på att omvärderas i och med ökad kunskap om den negativa påverkan buller har på oss människor. Det finns fortfarande förbättringar att göra med det krävs objekt där nya tekniker och metoder kan testas.

Det finns ett stort behov och potential för att öka kunskapsnivån inom det aktuella området för både beställare, konsulter och entreprenörer genom att utveckla funktionella parametrar vid rengöring av bullerreducerande beläggningar. Vi har kommit en bra bit på vägen men det finns ett antal utmaningar kvar att lösa. En utmaning är att optimera bullerreduktionen i relation till livslängd och slitageegenskaper. Vidare har det indikerats att bullerreducerande beläggningar har lägre rullmotstånd än tex ABS16 vilket skulle kunna bidra till minskat CO₂ samt NO_x nivåer. Vidare har de öppna beläggningarna högre trafiksäkerhet vid våtväderlek (minslad risk för vattenplaning). Andra områden avser nyttan och applicering av föryngringsmedel och föresglingar samt dess långsiktiga påverkan. För att handla upp denna typ av beläggning måste det bli tydligare vilka kravnivåer som gäller samt hur de skall mätas och utvärderas. Eftersom referensbeläggningar plötsligt kan bli både bättre eller sämre bör någon typ av standardiserad referens nyttjas (tex medelvärde för ett antal beläggningar för en eller sammanslagen ålder. Hur skall tex dörmattor hanteras. Skall de ingå i bullerresultatet eller skall de ligga utanför? Hur skall olika positiva miljövinster värderas? (tex buller, CO₂, PM₁₀, trafiksäkerhet etc.). Hur skall vinterunderhåll optimeras?

Nyttan med bulleråtgärder bör också utvecklas samt val av den mest lämpliga åtgärden eller kombination av åtgärder.

Det känns som om tiden är mogen för att ta nästa steg mot en med miljövänlig och tystare miljö.

Slutligen kan konstateras att bullerdämpande beläggningar är ett relativt nytt sätt att minska trafikbuller i Sverige. Ett antal försök och tester har utförts under de senare åren med bättre och bättre resultat. Kunskapen inom branchen har ökat genom ett antal gemensamma projekt. Detta bör utvecklas vidare så att utvecklingen går åt rätt håll.

7. Slutsatser

Föreliggande slutrapport summerar ett antal SBUF-projekt och utvecklingsinriktningar inom området bullerreducerande beläggningar. Kunskapsnivån har ökat markant sedan vi började att undersöka och utveckla detta teknikområde för drygt 15 år sedan. Kunskapen om hur vi skall proportionera beläggningarna har ökat så som vilka krav vi måste ställa på de ingående materialen, utförande samt underhållsåtgärder.

I denna projekt har fokus legat på drift- och underhållsåtgärder i form av högtrycktvättning samt vacuumsugning. Befintliga utrustningar och potentiella rengörings metoder har undersökts och vidareutvecklats. En optimerad och patenterad rengöringsramp har utvecklats vilket har förbättrat effekten av rengöring av bullerreducerande beläggningar. Nya mätinstrument (ex DT-scan) har använts för att kunna verifiera effekten av ett kommunicerande porstruktur.

Följande generella slutsatser kan dras:

- Utvecklingen av tysta beläggningar har bidragit till tystare samt mer beständiga beläggningar.
- Kunskapsnivån har ökat i branschen
- Bättre högmodifierade bindemedel finns tillgängliga
- Effektiv rengöring av porstrukturen förlänger den akustiska livslängden
- VÄGREN är ett effektivt sätt att rengöra beläggningar
- VÄGREN ökar den kommunicerande hålrummet
- VÄGREN är effektiv att städa upp PM₁₀
- Rengöring bör ske proaktivt för bästa resultat
- "Dörmatta" påverkar alla öppna beläggningssektioner
- Referensbeläggningar kan variera över tid
- DT-scanning är ett bra hjälpmedel att undersöka porstrukturer
- Dubbdäck är inget hinder utan en förutsättning
- Rengöring krävs för alla typer av beläggningar även om inte dubbdäck används
- Effektiv rengöring av undre lager krävs vid omtoppning av övre lager.
- Långt vattentryck och rikligt med vatten är att föredra i kombination med kraftigt vacuumsug
- Uppsamlad spolvatten och slam bör undersökas för att verifiera hur det skall hanteras.

Referenser

- [1] Nilsson, R, "Funktionell rengöring av bullerreducerande beläggningar – Etapp1", SBUF Rapport 12020, 2010. Se www.sbuf.se
- [2] Nilsson, R, "Bullerdämpande beläggningar – Utvärdering & uppföljning av provsträckor på E18 och E4", SBUF Rapport 11640, 2009. Se www.sbuf.se
- [3] European Environment Agency, Noise in Europe 2014, Report No 10/2014
- [4] Sandberg, U. and Ejsmont, J. A., "Tyre/Road Noise Reference Book", Informex, 2002, SE-59040 Kista, Sverige. Se www.informex.info
- [5] EU-projekt SILVIA, "Guidance Manual", 2006. Hemsida: www.trl.co.uk/silvia/
- [6] EU-projekt SILENCE. Hemsida: www.silence-ip.org/
- [7] Nilsson, R, et. al., "Design guidelines for durable, noise-reducing pavements", SILVIA Project Report SILVIA-SKANSKA-018-01-WP4-231105, 2005. Se www.trl.co.uk/silvia/
- [8] Nilsson, R, et. al., "Design guidelines for durable, noise-reducing pavements", SILVIA Project Report SILVIA-SKANSKA-018-01-WP4-231105, 2005. Se www.trl.co.uk/silvia/
- [9] Personlig kontakt med Ulf Sandberg, VTI.
- [10] Lefebvre G, "Porous asphalt", Technical report, 1993.
- [11] Nilsson, R, et. al., "Effective cleaning of low-noise pavements", Internoise 2010 13-16 June, Lisbon, Portugal, 2010.
- [12] Nilsson, R, Westergren, P-E, "Improved acoustical sustainability using effective cleaning ", ISCV18 10-14 July, Rio de Janeiro, Brazil, 2011.
- [13] Personlig kontakt med Pertti Johansson, Skanska.
- [14] Gustafsson, M, et. al., "Utvärdering av städmaskiners förmåga att minska PM10-halter", VTI rapport 707, 2011. Se www.vti.se
- [15] Jacobson, T, Viman, L, "Provvägsförsök på E4 Huskvarna med bullerreducerande asfaltbeläggning", VTI Rapport 842, 2015. Se www.vti.se
- [16] Ahmed, F, "Porous Asphalt Clogging Performance Under Swedish Conditions", ISSN 1103-4297, 2015. Se www.kth.se
- [17] Bendtsen, H, et.al., "ON-AIR Guidance Book on the Integration of Noise in Road Planning", Deliverable D.4.1 October 2015, CEDR