

Bullerreducerande beläggningar

- En analys av framgångsfaktorer för att erhålla en optimal teknisk och akustisk livslängd
- En utredning för att säkerhetsställa bästa möjliga utvecklingspotential i framtiden

Max Filinic

Trafik och Väg
Institutionen för Teknik och Samhälle
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet



Copyright © Max Filinic

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5316)/1-74/2020
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet
Lund 2020

Examensarbete

CODEN: LUTVDG/(TVTT-5316)/1-74
/2020

Thesis / Lunds Tekniska Högskola, ISSN 1653-1922
Institutionen för Teknik och samhälle,
Trafik och väg, 349

Author: Max Filinic
Title: Bullerreducerande beläggningar
English title: Low noise road surfaces
Language: Svenska/Swedish
Year: 2020
Keywords: Lågbullerbeläggning; buller; teknisk och akustisk livslängd; dränering; ABD; upphandling; Huskvarna; Flädie
Citation: Max Filinic, Bullerreducerande beläggningar. Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2020. Thesis. 349

Abstract:

The purpose of the thesis is to identify and map the factors that cause problems with low noise road surfaces. More specifically, the study attempts to find out how the Swedish Transport Administration (Trafikverket) should proceed in their work to cost-effectively develop the low noise road surfaces. The investigation was done by analyzing existing evaluation reports and previously gathered project experiences, but also by interviewing competent personnel at the Swedish Transport Administration.

Literature study together with interview responses have shown great knowledge development in the last decade. Consensus seems to be established in the technical success factors. Good water drainage through a high cavity content with good transverse and longitudinal slopes. In addition, high binder levels to avoid stone raveling. It is also important that stone materials and binders are carefully selected for the unique project. However, there does not seem to be a total agreement whether a low noise road surface should be procured regarding requirements formulation and contract form.

Trafik och väg
Institutionen för Teknik och samhälle
Lunds Tekniska Högskola, LTH
Lunds Universitet
Box 118, 221 00 LUND

Transport and Roads
Department of Technology and Society
Faculty of Engineering, LTH
Lund University
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

Innehåll

Förord	i
Sammanfattning	iii
Summary	v
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Problemformulering	2
1.3 Syfte och mål	3
1.4 Avgränsning	4
1.5 Disposition	4
2 Tillvägagångssätt och metodbeskrivning	6
2.1 Litteraturstudie	6
2.2 Fallstudier.....	6
2.3 Intervjuer.....	7
3 Litteraturstudie	8
3.1 Beställarrollen	8
3.1.1 Trafikverkets roll som beställare	8
3.1.2 Entreprenadformer	8
3.2 Allmänt om ljud och buller	10
3.2.1 Fenomenet ljud	10
3.2.2 Definition av buller.....	10
3.3 Vägtrafikbuller	10
3.3.1 Riktvärden och styrande dokument	10
3.3.2 Konsekvenser av vägtrafikbuller	11
3.3.3 Alstring av vägtrafikbuller.....	13
3.3.4 Åtgärder mot vägtrafikbuller	17
3.4 Bullerreducerande beläggningar	18
3.4.1 Definition och bakgrund.....	18
3.4.2 Historik.....	19
3.4.3 Dagens bullerreducerande beläggningar.....	19
3.4.4 Beständighet och problem	22
4 Fallstudie	26
4.1 Huskvarna, E4.....	26
4.1.1 Bakgrund	26

4.1.2	Bullerreducerande beläggning.....	26
4.2	Flädie E6.02.....	30
4.2.1	Bakgrund.....	30
4.2.2	Bullerreducerande beläggning.....	30
5	Intervjuer.....	33
5.1	Svar från respondenter.....	33
5.1.1	Val av entreprenadform.....	33
5.1.2	Utförandekrav i en totalentreprenad.....	35
5.1.3	Bullerreducerande beläggningar i framtiden.....	39
5.1.4	Övrigt.....	41
6	Sammanvägd diskussion.....	43
6.1	Metoddiskussion.....	43
6.1.1	Litteraturstudie.....	43
6.1.2	Fallstudie.....	43
6.1.3	Intervjustudie.....	44
6.2	Resultatdiskussion.....	44
6.2.1	Val av entreprenadform.....	44
6.2.2	Projekt Flädie E6.02 och utförandekrav i en totalentreprenad.....	45
6.2.3	Bullerreducerande beläggningar i framtiden.....	46
6.2.4	Övrigt.....	46
7	Slutsats.....	48
7.1	Rekommendationer för framtiden.....	48
7.2	Förslag på fortsatta studier.....	50
8	Referenser.....	52
	Bilaga A.....	56

Förord

Detta examensarbete utgör den sista delen av en femårig civilingenjörsutbildning inom Väg- och vattenbyggnad vid Lunds tekniska högskola. Arbetet har genomförts på institutionen för trafik och väg i nära samarbete med Trafikverket.

Jag vill börja med att tacka Ebrahim Parhamifar (examinator) och Sven Agardh (handledare), båda två universitetslektorer på LTH, som i sina kurser genom ett lysande engagemang och strålande pedagogik, väckt mitt intresse för ämnet vägbyggnad och i synnerhet asfalt.

Dessutom vill jag rikta ett stort tack till min handledare och kontaktperson på Trafikverket, Mattias Linde, som alltid ställt upp genom att svara på alla mina frågor och tålmodigt agerat som ett bollplank. Ytterligare ett stort tack till Per Viktorsson som hjälpt mig att rikta arbetet mot något som är relevant för branschen både nu och i framtiden. Jag vill också passa på att tacka samtliga Trafikverkare som ställt upp på flertalet intervjuer och gladeligen delgett sina erfarenheter med mig. Er hjälp har varit ovärderlig för min studie.

Sist men inte minst vill jag passa på att tacka min älskade familj som stöttat mig genom hela min studietid. Tack till min sambo som motiverat mig genom hela examensarbetet, inte minst genom att ha lyssnat på alla mina utlägg om vägbyggnadsteknik och samhällsbyggnad i allmänt.

Max Filinic

Lund, maj 2020

Sammanfattning

Bulleremission från vägtrafik är på många ställen i Sverige ett påtagligt problem. Många fastigheter och rekreationsområden ligger så nära vägnätet att de utsattas hälsa och livskvalitet riskerar att försämrans vid långvarig exponering. Att åtgärda bullerproblematiken direkt vid källan med en lågbullerbeläggning är idag en stor strävan på många platser. Detta eftersom de traditionella åtgärderna som bullerplank och vallar kräver utrymme samtidigt som de minskar närområdets estetiska värde.

Bildäck som rullar på vägytan alstrar buller genom olika fysikaliska fenomen. För att reducera bullret kan en lågbullerbeläggning antingen göras väldigt porös, alltså med ett stort sammanhängande hålrum, då kan beläggningen effektivt absorbera ljudvågorna istället för att ljudvågorna reflekteras ut i omgivningen. Eller så kan beläggningen anläggas med maxstensstorlekar som är mindre än vanligt. Då blir vägytans mikropartiklar betydligt jämnare vilket i förlängningen gör att buller inte alstras i samma utsträckning. Dessvärre har det i Sverige, tillskillnad från i många andra länder runt om i världen, visat sig vara extra svårt att anlägga en lågbullerbeläggning utan att kostnaderna skenar iväg. En av huvudanledningarna till svårigheterna är det kalla klimatet som implicerar både dubbdäck och frost. Dubbdäck och frost resulterar i sin tur i skador som spårdjup, partikelgenerering som lägger sig i beläggningens hålrum och frostsprängning.

Syftet med examensarbetet är att ta fram och kartlägga de faktorer som orsakar problem med lågbullerbeläggningarna. Mer specifikt försöker studien att reda ut hur Trafikverket som beställare bör fortskrida i sitt arbete för att på ett optimalt och kostnadseffektivt sett ge produkt utvecklingsmöjligheter. Utredningen har gjorts genom att analysera befintliga utvärderingsrapporter och tidigare samlade projekterfarenheter, men också genom att intervjua relevant och kompetent personal på Trafikverket.

Litteraturstudie tillsammans med intervjusvar har påvisat stor kunskapsutveckling det senaste decenniet. Konsensus verkar råda i vilka de tekniska framgångsfaktorerna är. God vattendrainering genom en hög hålrumshalt med bra tvär- och längslutning. Dessutom höga bindemedelshalter för att undvika stenlossning. Däremot verkar det inte råda total enighet i hur en lågbullerbeläggning bör upphandlas med avseende på kravformuleringar och entreprenadform.

Studiens slutsats visar att det är viktigt att först undersöka lågbullerbeläggningens yttre förutsättningar, därefter endast fastställa beläggningen som lösning om de yttre förutsättningarna tillåter. Det är essentiellt att detaljkunskap om produktion och underhåll kommer in i ett tidigt skede, gärna innan planerings- och investeringspersonal utan vidare fastställer att ett område är bullerutsatt och att lösningen är en lågbullerbeläggning. Trafikverket bör alltså nogra välja ut projekten där man är med och utvecklar och delar risken med entreprenören.

Summary

Noise from road traffic is a significant problem in many places in Sweden. A lot of properties and recreational areas are so close to the road network that the health and quality of life of the exposed are at risk of deterioration. Addressing the noise problem directly at the source with a low noise road surface is a great endeavor in many places today. This is because the traditional measures such as noise barriers require space while reducing the aesthetic value of the surrounding area.

Car tires rolling on the road surface generate noise through various physical phenomena. To reduce the noise, a low noise road surface can either be made very porous, i.e. with a large continuous cavity. Therefore, the asphalt can effectively absorb the sound waves instead of the sound being reflected out in society. Or the asphalt can be applied with maximum stone sizes smaller than usual. In that case the microparticles of the road surface become much smoother, which in the long run means that noise is not generated to the same extent. Unfortunately, in Sweden, unlike in many other countries around the world, it has proved difficult to apply a low noise asphalt without a high life cycle cost. One of the main reasons for the difficulties is the cold climate which in turn implies studded tires.

The purpose of the thesis is to identify and map the factors that cause problems with low noise asphalt pavements. More specifically, the study attempts to find out how the Swedish Transport Administration (Trafikverket) should proceed in their work to provide the product optimally and cost-efficient with development opportunities. The investigation was done by analyzing existing evaluation reports and previously gathered project experiences, but also by interviewing competent personnel at the Swedish Transport Administration.

Literature study together with interview responses have shown great knowledge development in the last decade. Consensus seems to be established in the technical success factors. Good water drainage through a high cavity content with good transverse and longitudinal slopes. In addition, high binder levels to avoid stone raveling. It is also important that stone materials and binders are carefully selected for the unique project. However, there does not seem to be a total agreement whether a low noise asphalt should be procured regarding requirements formulation and contract form.

The study's conclusion shows that it is important to first examine the external conditions whether or not a low noise road surface is a suitable solution, and only then determine the asphalt as a solution if the external conditions allows to. It is therefore essential that detailed knowledge of production and maintenance enters at an early stage, preferably before planning and investment personnel concludes that an area is exposed to noise and that the solution should be a low noise asphalt. The Swedish Transport Administration should therefore carefully select the projects in which they are involved in developing and sharing the risk with the contractor.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I takt med pågående urbanisering och det faktum att svenska städer ständigt förtätas eller expanderar utåt innebär det att många bostads- och rekreationsområden idag hamnat betydligt närmare vägnätet jämfört med tidigare. Tillsammans med det faktum att biltrafiken stadigt ökat och att fordonsdäck, enligt Sandberg (2012), utvecklats med bland annat ökad bredd, vilket inneburit större effektiv kontaktyta med vägen, har detta medfört att allt fler personer blivit bullerutsatta. Dessutom har medicinsk forskning gått snabbt framåt och påvisat flertalet negativa hälsoeffekter av långvarig bullerexponering enligt Folkhälsomyndigheten (2019b). Samtliga faktorer ovan har gemensamt bidragit till en ökad medvetenhet om bulleremissionens påverkan på både människa och samhälle. Bulleremission beaktas idag, i ett tidigt skede, i nästan samtliga samhällsbyggnadsprojekt vare sig det handlar om bostäder, infrastruktur eller byggnationen i sig.

Omgivningsbuller är ett miljö- och folkhälsoproblem som påverkar en stor del av Sveriges befolkning. Uppemot 20 procent av befolkningen uppskattas enligt Folkhälsomyndigheten (2017) att utsättas för över 55 dB(A) ekvivalent ljudnivå. Vidare konstateras i deras rapport att omgivningsbuller från trafik, i synnerhet vägtrafik, är den enskilt största källan. För de[m] som exponeras för buller följer enligt Folkhälsomyndigheten (2019a) en rad negativa effekter. Beroende på vilken typ av buller det rör sig om är några av de mest utmärkande konsekvenserna för människor sömnsvårigheter, talmaskering, inlärningssvårigheter och fysisk stress.

Dominerande bulleremission vid låga fordons hastigheter under 40 km/h genereras främst från motorljud. Vid högre hastigheter genereras majoriteten av bullret från kontakten mellan bildäck och beläggning (Strømmer, 2018). De primära strategierna för att reducera bullret kan delas in två huvudgrupper: konventionella och proaktiva åtgärder. De konventionella åtgärderna innebär en strategisk användning av bullerskärmar, vallar eller förbättrade husfasader och fönster. De proaktiva åtgärderna bidrar, till skillnad från de konventionella åtgärderna, till att reducera bullret direkt vid källan. Dessa åtgärder kan vara antingen omledning av trafik, sänkta hastigheter eller bullerreducerande beläggningar (Boverket, 2019). Att reducera bullret direkt vid källan, alltså i kontaktyta mellan väg och bildäck, har aldrig varit av större vikt än idag eftersom det i många projekt helt enkelt varken finns utrymme eller vilja att estetiskt minska närområdets attraktionsvärde genom att anlägga exempelvis ett bullerplank eller en bullervall. Inte heller bidrar förbättrade fasad- och fönsteråtgärder till en förbättrad utomhusmiljö.

Varje ovan nämnt åtgärdsval kommer med sina för- och nackdelar. I detta examensarbete kommer den sistnämnda åtgärden, bullerreducerande beläggningar, att behandlas på djupet. Bullerreducerande beläggningar bidrar, som namnet antyder, till att reducera det buller som

uppstår i kontakt mellan bildäck och beläggningsyta. Enligt Jacobson och Viman (2015a) är den mest vedertagna benämningen på bullerreducerande beläggningar ABD, som står för dränerande asfaltbetong. Jacobson och Viman (2015a) har i sin rapport konstaterat att dränerande asfalt i större utsträckning än de klassiska ABT- och ABS-beläggningarna ofta fått en påtagligt kortare teknisk och akustisk livslängd. Den korta livslängden leder i sin tur till att drift- och underhållskostnaderna skenar iväg, vilket i förlängningen leder till att bullerreducerande beläggningar väljs bort till fördel för mer traditionella och kostnadseffektiva standardbeläggningar ihop med en konventionell bullerskyddsåtgärd, exempelvis bullerplank.

Trafikverket samt flertalet kommuner har under 2000-talet många gånger försökt att lägga lågbullerbeläggningar i problemområden, dessvärre har många av dessa projekt slutat med besvikelse både för beställare, brukare och bullerutsatta. Antingen har den initiala bullerreduktionen snabbt minskat till så låga värden att reduktionen blivit undermålig de ställda kraven, eller också har beläggningens beständighet varit så låg att ett ständigt underhåll varit aktuellt vilket resulterat i dålig lönsamhet. Många av de bullerreducerande beläggningar som lades i början på 2000-talet har idag asfalterats över med konventionella beläggningar. Trafikverket har tillsammans med statens Väg- och transportinstitution, VTI, 2010 startat ett stort forsknings- och utvecklingsprojekt tillsammans med flera entreprenörer och leverantörer i syfte att öka branschkunskapen. Många bullerreducerande beläggningar har sedan dess lagts ut, med blandade resultat. Regelbundna och kontinuerliga mätningar, uppföljningar och utvärderingar har noga gjorts i vissa av dessa projekt, allt för att kunna utvärdera vad som fungerat bra respektive mindre bra.

Ett av de i Sverige mest lyckade projekten med en bullerreducerande beläggning hittills är den som lades år 2010 på E4:an, förbi Huskvarna i Småland. Det har därför gjorts mängder med studier och uppföljningar på beläggningen och det finns goda skäl att kartlägga vilka alla de olika framgångsfaktorerna kan ha varit som ligger till grund för projektets framgång. Det är därför väl motiverat att upprätta ett examensarbete om vilka dessa framgångsfaktorer kan vara och hur de bör utnyttjas i framtida lågbullerbeläggningsprojekt.

1.2 Problemformulering

Som beställande myndighet har Trafikverket, av regeringen, tilldelats ett stort ansvar i att verka för en ökad innovation, produktivitet och effektivitet i anläggningsbranschen (Trafikverket, 2020a).

Ett sätt att aktivt sträva mot ovan beskrivna mål om ökad produktivitet, innovation och effektivitet är att aktivt välja bort utförandeentreprenader till fördel för totalentreprenader. I en renodlad totalentreprenad anger beställaren, i detta fall Trafikverket, endast en rad funktionskrav på vad färdig produkt ska leverera. Därefter är det upp till entreprenören att på egen hand välja hur projektet ska genomföras samt att utveckla sin egen produkt för att uppnå de av beställaren ställda funktionskraven (Trafikverket, 2020a).

Beträffande bullerreducerande beläggningar har det gång på gång visat sig vara svårigheter i att få till en tillfredsställande teknisk och akustisk livslängd. I Sverige, tillskillnad från många andra europeiska länder, verkar det vara extra svårt att erhålla erforderlig livslängd

på lågbullerbeläggningarna främst på grund av klimatskillnader och det faktum att dubbdäck är tillåtna. Den i särklass vanligaste skadan på en porös ABD-beläggning som lågbullerbeläggning är, enligt Sandberg (2012) och Jacobson och Viman (2015a), stenlossning. Andra vanliga problem är bland annat även ökad spårbildning och med tiden snabbt förlorad bullerreduktion på grund av att partiklar och smuts täpper till beläggningens sammanhängande hålrum.

Att kartlägga och sammanfatta alla de framgångsfaktorer som behövs för att veta när en lågbullerbeläggning är lämplig att anlägga tillsammans med alla de tekniska utmaningar som ingår i ett lågbullerbeläggningsprojekt är därför essentiellt. Vidare gäller för Trafikverket som beställare att kunna välja den entreprenadform som är lämpligast för projektet. I en utförandeentreprenad krävs tillräcklig kunskap och erfarenhet för att kunna specificera erforderliga krav i förfrågningsunderlagen för att beläggningen ska erhålla god beständighet och inte förlora sin bullerreducerande förmåga allt för snabbt. Problemet med att i idag förlita sig på utförandeentreprenader blir i framtiden att utvecklingen av de redan problematiserade beläggningarna står stilla. I en totalentreprenad kan det däremot bli väldigt dyra projekt eftersom det ofta finnas många osäkerheter och således risker att överföra till entreprenören. Dessutom är lågbullerbeläggningar relativt sällsynta projekt jämfört med standardbeläggningar vilket kan betyda att den allmänna kompetensnivån på marknaden är låg.

1.3 Syfte och mål

Studiens övergripande mål är att kartlägga och identifiera framgångsfaktorer som ligger till grund för att erhålla en bullerreducerande beläggning vars tekniska och akustiska livslängd är tillräckligt god för att i framtiden säkerhetsställa att beläggningarna blir kostnadseffektiva bullerskyddsåtgärder. Syftet med studien är att komma fram till hur Trafikverket som beställare, på bästa möjliga sätt, i framtida projekt, ska kunna nyttja dessa framgångsfaktorer för att kunna utforma sitt förfrågningsunderlag och därmed välja den lämpligaste entreprenadform.

Studien ämnar besvara, eller i vart fall försöka besvara, följande övergripande frågeställningar

- Varför blev den bullerreducerande beläggningen förbi Huskvarna så lyckad?
- Vilka tekniska faktorer är kritiska att få rätt på för att beläggnings livslängd ska öka?
- Var det rätt att tillskriva fyra utförandekrav i en totalentreprenad i projekt Flädie E6.02?
- Vad behöver Trafikverket som beställare tänka på i framtida lågbullerbeläggningsprojekt för att på bästa sätt kunna driva utvecklingen framåt?

1.4 Avgränsning

Studien görs främst med fokus på det statliga vägnätet där Trafikverket äger och förvaltar vägen. Anledningen till avgränsningen är att kommunala beställare kan ha andra långsiktiga mål än vad Trafikverket som statlig beställare har. Dessutom har bullerreducerande beläggningar i städer annorlunda avrinnings- och dräneringsmöjligheter än en landsväg. Trafiklaster i städer, bland annat på grund av hastighet, är inte identiska med de trafiklaster som återfinns på en landsväg. Slutsatserna från detta arbete bör alltså inte utan eftertanke tillämpas kommunalt.

Sverige är ett avlångt land med varierande klimatlaster beroende på region. Studien har genomförts med utgångspunkt för Göta- och Svealand. Befolkningstätheten i Norrland motiverar i dagsläget kanske inte anläggning av bullerreducerande beläggningar men vid eventuellt framtida projekt är det inte säkert att slutsatserna i denna studie är representativa.

I litteraturstudien behandlas inte effekterna eller dämpningen av olika frekvensspektra mer än att hänsyn tagits till det A-filter som bäst simulerar mänsklig hörsel. Studien fördjupar sig inte heller i hur mätmetoder av vägtrafikbuller fungerar, samt vilka brister och svårigheter som finns med de olika metoderna. Beträffande upphandlingsformer kommer endast ansvarsform (entreprenadformen) att ingå i studien. Valet av ersättningsform, bonusar, viten och försäkringar är inget som studien kommer dra några djupa slutsatser kring.

1.5 Disposition

Avsnitt 1 - Introducerar examensarbetets bakgrund, problemställning, syfte och avgränsningar.

Avsnitt 2 - Tillvägagångssätt och metodik, här beskrivs och motiveras arbetets genomförandeprocess.

Avsnitt 3 - Litteraturstudie, en redogörelse för hur vägtrafikbuller alstras, lågbullerbeläggningens funktionella uppbyggnad samt vanliga skador på beläggningen. Dessutom följer en kort genomgång av Trafikverket som beställare samt en kort genomgång av de två vanligaste entreprenadformerna.

Avsnitt 4 - Fallstudier, en djupdykning i om hur två Sydsvenska lågbullerbeläggningsprojekt tagit form och fortskridit.

Avsnitt 5 - Empiri, här presenteras de intervjuresultat som ligger till grund för studiens slutsats.

Avsnitt 6 – Diskussion, här diskuteras rapportens metodval och erhållet resultat.

Avsnitt 7 – Slutsats, här presenteras de rekommendationer och slutsatser som framkommit från studien.

2 Tillvägagångssätt och metodbeskrivning

2.1 Litteraturstudie

Examensarbetet inleds med en omfattande litteraturstudie. Litteraturstudien har främst gjorts med utgångspunkt från VTI:s forskning- och utvecklingsrapporter från det senaste decenniet. Innehållet i rapporterna har integrerats med Trafikverkets praktiska erfarenheter som beställare av bullerreducerande beläggningar. Litteraturstudiens syfte är att tillgodose läsaren med teori om ljud och buller för att i förlängningen kunna förstå lågbullerbelägningens funktionella uppbyggnad. Med god förståelse för lågbullerbelägningens funktionella uppbyggnad är jag övertygad om att det för läsaren också blir tydligare att förstå problematiken i belägningens ofta dåliga beständighet och korta akustiska livslängd. Litteraturstudien avslutas med ett avsnitt om Trafikverkets roll som beställande myndighet där organisationens vision och mål sammanknyts till hur val av ansvarsform i byggentreprenader bör motiveras. Avslutningsvis återfinns en kort och teoretisk beskrivning av både totalentreprenader och utförandeentreprenader eftersom en stor del av studiens slutsatser bygger på en grundläggande förståelse för de olika ansvarsformerna.

2.2 Fallstudier

Syftet med att inkludera två fallstudier i arbetet motiveras genom att teorin från litteraturstudien tydligt kan förankras praktiskt. Min förhoppning är att en röd tråd genom arbetet naturligt ska leda läsaren från litteraturstudiens teori till fallstudiernas praktiska verklighet. Fallstudien fördjupar sig i två Sydsvenska projekt. Det som båda projekten har gemensamt är att en bullerreducerande beläggning lagts ut. Motiven till varför är olika, även förfrågningsunderlagen är utformade på olika sätt. Det är därför av stort intresse att fördjupa sig i dessa två fall och försöka jämföra dem båda.

Fallstudiens första projekt är det på E4:an förbi Huskvarna, Småland. Motiveringen av valet faller sig naturligt eftersom den bullerreducerande belägningen förbi Huskvarna med facit i hand utföll med stor belåtenhet. I samband med att den bullerreducerande belägningen anlades så experimenterade man med en rad olika små teststräckor. Projektets framgång samt det faktum att teststräckor lades har inneburit att en mängd uppföljningar gjorts av både VTI och Trafikverket vilket resulterat i en uppsjö av tillgängliga analyser och data att fördjupa studien med. Projektet upphandlades som en totalentreprenad där Trafikverket enbart ställde krav på att belägningens bullerreduktion. Hela projektet drevs sedan som en samverkan där Trafikverket var väldigt involverade i projektet från start till slut.

Fallstudiens andra projekt är det i västra Lund. Trafikplats Flädie längs väg E6.02. Projektet är relativt nyavslutat och beläggningen är bara något år gammal. Det som gör projektet intressant och värt att studera djupare är att det är relativt nytt vilket betyder att det bör ligga ungefär i fas med var utvecklingen är idag, men också för den något speciella ansvarsformen. Projektet är upphandlat som en totalentreprenad där krav ställts på en funktion om bullerreduktion på 7 dB(A) vid trafikpåsläpp. Dock innehöll förfrågningsunderlaget utöver funktionskraven även fyra skallkrav som styrde den tekniska lösningen. Detta är inte det standardiserade förfarandet i en totalentreprenad och en stor del av studiens datainsamling med hjälp av intervjuer har bakgrund från just detta projekt.

2.3 Intervjuer

Eftersom examensarbetet har bedrivits i nära samarbete med Trafikverket har jag kontinuerligt, genom inofficiella möten med olika anställda, kunnat förvärva mig kunskaper om problematiken som ofta uppstår i lågbullerbeläggningsprojekt. Tidigt insåg jag att det i många frågeställningar inte råder helt enade åsikter, detta anses föga märkligt eftersom det i verkligheten sällan finns en absolut objektiv sanning. Med denna utgångspunkt har en kvalitativ intervjustudie valts som forskningsmetod där öppet riktade intervjufrågor ligger till grund för datainsamlingen. Att intervjustudien är kvalitativ betyder i praktiken att en handfull aktiva och sakkunniga från Trafikverket valts ut för att på ett djupare plan kunna delge sina erfarenheter, åsikter och tankar, Öppet riktade intervjufrågor innebär enligt Höst m.fl. (2006) att intervjun styrs av en förbestämd intervjuguide med olika frågeområden där upplägget tillåter intervjuare samt respondenter att fritt behandla de olika frågeområdena i valfri ordning med plats för spontana följdfrågor. Se Bilaga A för intervjuguide.

De fem personer som slutligen valts ut och frivilligt medverkat i intervjustudien har alla olika befattningar på Trafikverket. De olika respondenterna har haft befattningar som antingen projektledare eller specialister, de har arbetat på antingen investerings- eller underhållsavdelningen och de har alla på ett eller annat sätt tidigare erfarenheter av bullerreducerande beläggningar. Samtliga intervjuer har ägt rum online över Skype där intervjuerna har spelats in för att underlätta transkriberingen och på så sätt tillåta författaren av arbetet att aktiva delta i intervjun istället för att fokusera på att anteckna. Intervjuerna varade i ungefär en timme vardera och författaren själv har valt att hålla samtliga respondenter anonyma i förhoppning att alla utan betänkligheter ska kunna återge sin ärliga erfarenhet, men också för att studien inte handlar om vad en enskild person tycker och tänker.

3 Litteraturstudie

3.1 Beställarrollen

3.1.1 Trafikverkets roll som beställare

För att nå upp till de transportpolitiska mål som regeringen ställt har Trafikverket tagit fram en vision enligt, ”Alla ska komma fram smidigt, grönt och tryggt”. (Trafikverket, 2020b). Med att komma fram ”grönt” menar Trafikverket att samtliga brukare av den svenska infrastrukturen ska nå sitt resmål med minimal miljöpåverkan. Infrastrukturen ska således anpassas till den lokalt rådande natur- och kulturmiljön. Eftersom buller idag är klassat som ett miljö- och folkhälsoproblem enligt Folkhälsomyndigheten (2017) ingår även att ingen ska behöva bli sjuk, eller i förtid dö på grund av luftföroreningar eller buller som direkt kan kopplas till transport- och anläggningssektorn. Regeringen har dessutom gett Trafikverket i uppdrag att på sikt öka produktivitet och innovationsarbete i anläggningsbranschen. Det ligger alltså i Trafikverkets intresse och således uppdrag att bidra till samhällsutvecklingen, inte minst vad gäller forskning och innovation om bullerreducerande beläggningar (Trafikverket, 2019).

Trafikverket har sedan bildandet 2010 strävat mot att bli en renodlad beställare. Ett av målen som då ställdes var att öka andelen totalentreprenader från drygt 35 procent till minst 50 procent. Idag är andelen totalentreprenader ungefär 60 procent (Trafikverket 2018c). Som beställare med uppdrag att öka både produktivitet och innovation är det alltså en klar fördel att försöka utforma förfrågningsunderlag till att ställa funktionskrav på den färdiglevererade produkten istället för att försöka kontrollera projektets gång påstår Eriksson, m.fl. (2013). Denna övergång till att inte detaljstyra projektets arbetsgång och tekniska lösningar ger entreprenören betydligt fler frihetsgrader och således möjlighet till innovation. Detta i sin tur leder till att målen om ökad produktivitet och innovation är på god väg att uppnås. Det gör också att en del av det ansvar som tidigare legat på myndigheten, flyttas till entreprenören. Detta ansvar gör sedan att samhällsnytta skapas mer kostnadseffektivt (Trafikverket, 2019).

3.1.2 Entreprenadformer

3.1.2.1 Totalentreprenad

I en totalentreprenad ställer beställaren, i detta fall Trafikverket, funktionskrav på projektet och slutprodukten. Enligt Hansson m.fl. (2015) är det upp till den upphandlade entreprenören att själv ta fram allt från bygghandlingar till detaljlösningar som sedan förverkligas i en produkt som tillgodoser beställarens samtliga funktionskrav. Ett exempel på ett funktionskrav kan vara att den genomsnittliga bullerdämpningen längs vägen måste uppgå till minst 5 dB(A), eller att spårdjupet i medeltal aldrig får överskriva 20 mm. Vidare påstår Hansson

m.fl. (2015) att en beställare som enbart ställer funktionskrav ger en betydligt större frihet till entreprenören att vara innovativ. Hur entreprenören väljer att tillgodose funktionskravet är alltså inte reglerat i en totalentreprenad. Eriksson och Hane (2014) betonar vikten av att entreprenören får fritt spelrum genom att påpeka att deras produktionserfarenhet kan integreras i ett tidigt skede. Om Trafikverket istället väljer en utförandeentreprenad, som beskrivs närmare i nästa avsnitt så kommer en stor del av denna erfarenhet gå förlorad, detta i förlängningen skulle kunna medföra ett mindre effektivt samt dyrare förfarande.

En av de negativa effekterna av att enbart sträva efter totalentreprenader kan enligt Eriksson och Hane (2014) vara att konkurrensen minskar. En minskad konkurrens strider mot bland annat *Lagen om offentlig upphandling*, LOU¹. Anledningen till detta är att mindre företag kan sakna både kapacitet och kompetens till att ta sig an ett projekt som totalentreprenad. Dessutom blir det betydligt dyrare och således mer riskfyllt att lämna förlorande anbud. En annan baksida med totalentreprenader är enligt författarna att det kan vara svårt och framförallt godtyckligt att jämföra skillnader mellan olika anbudsgivare vid en upphandling.

3.1.2.2 *Utförandeentreprenad*

I en utförandeentreprenad ställer beställaren inga krav på anläggningens funktion. I en utförandeentreprenad upphandlas en entreprenör som bygger efter färdiga bygghandlingar upprättade av beställaren, i detta fall Trafikverket. Hansson m.fl. (2015) betonar att eftersom beställaren står för samtliga ritningar och bygghandlingar som entreprenören strikt måste följa så är det beställaren som bestämmer hur de tekniska lösningarna ska utformas. Effekten av detta blir att entreprenören snarare levererar en tjänst istället för en produkt. Det som för totalentreprenader var en nackdel är nu, enligt Eriksson och Hane (2014), en fördel i utförandeentreprenader. Små och medelstora företag kan nu lägga mindre tid och resurser i anbudsfasen eftersom Trafikverket själv står för projekteringen, således kan konkurrensen inom branschen öka, vilket i förlängningen kan gynna beställaren och marknaden.

De självklara nackdelarna med en utförandeentreprenad är att entreprenörernas innovation och frihetsgrader blir närmare noll och i förlängningen förhindras en naturlig ”trial and error”-utveckling som tillslut ofta driver branschens utveckling framåt. (Eriksson & Hane, 2014).

¹ https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-20161145-om-offentlig-upphandling_sfs-2016-1145

3.2 Allmänt om ljud och buller

3.2.1 Fenomenet ljud

Ljud är ett fysikaliskt fenomen som uppstår genom tryckvariationer i ett medium. Fortplantningen av ljud, i luft, sker sfäriskt i longitudinella ljudvågor som består av omväxlande för-tätningar och förtunningar. Människan uppfattar ljud då ytterörat fångar upp ljudvågor och ljudvågorna når trumhinnan som börjar vibrera i takt med vågen. I innerörat omvandlas slutligen tryckvågorna till elektriska signaler som genom hörselnerven når hjärnan där ljudet tolkas. Örat kan uppfatta ljudfrekvenser mellan 20 – 20 000 Hz. Enheten Hertz talar om hur många svängningar per sekund ljudvågen gör. Vid höga frekvenser uppfattas ljudet som ljusa toner (diskanttoner), medan låga frekvenser ger mörkare toner (bastoner). Örat är känsligare för höga frekvenser, alltså diskanttoner. Tryckvariationerna som örat kan uppfatta är inom ett extremt brett spektrum, allt från 10 μPa till 60 Pa, vilket betyder att en linjär modell är opraktisk för bland annat grafisk visualisering. För att råda bot på detta införde man på 1920-talet en logaritmisk skala, decibel, dB. I rapporten syns ofta enheten dB(A), vilket betyder att olika frekvenser i ljudet har viktats för att simulera vad ett mänskligt öra uppfattar. Uppfattningen av ett ljuds styrka beror på både ljudtryck och frekvenssammansättning. (Nilsson m.fl., 2005).

3.2.2 Definition av buller

Folkhälsomyndigheten (2019b) definierar buller som ett oönskat ljud. Buller och ljud har således samma fysikaliska definition, skillnaden är att buller är ett subjektivt begrepp för oönskat ljud. Boverket (2019) använder begreppet omgivningsbuller om det oönskade ljud som alstras från våra samhällen, vidare påstår de att trafikbuller är det vanligaste omgivningsbullret. Trots att buller innebär en subjektiv bedömning, är det enligt Sandberg (2012) så pass vedertaget att använda begreppet buller om ljud som alstras från trafik, trots att termen buller varken är vetenskapligt eller tekniskt korrekt.

3.3 Vägtrafikbuller

3.3.1 Riktvärden och styrande dokument

I Sverige mäts trafikbuller med utgångspunkt i två olika störningsmått. Det ena störningsmättet anger den genomsnittliga ljudnivån under en tidsperiod på ett dygn. Detta mått benämns ekvivalent ljudnivå, L_{Aeq24} . Den ekvivalenta ljudnivån kompletteras alltid med ytterligare ett störningsmått om maximal ljudnivå, L_{Amax} , vilket mäter enskilda ljudhändelser och svarar mot den högst uppmätta ljudnivån under ett givet dygn. (Trafikverket, 2017)

Vid nybyggnad eller större ombyggnad av infrastruktur för väg och järnväg följer Trafikverket de riktvärden som riksdag och regering tagit fram i proposition 1996/97:53. Syftet med Trafikverkets dokumentation TDOK 2014:1021, som är det styrande dokumentet sedan

2017, är att på ett enhetligt och kostnadseffektivt sätt uppfylla miljöbalkens krav på skäliga skyddsåtgärder mot buller. Målet är att de transportpolitiska hänsynsmålen inom miljö och hälsa ska uppnås (TDOK 2014:1021). I dokumentet finns dessutom följande riktvärden samlade:

- 30 dB(A) ekvivalentnivå inomhus
- 45 dB(A) maximalnivå inomhus nattetid
- 55 dB(A) ekvivalentnivå utomhus vid fasad
- 70 dB(A) maximalnivå vid uteplats nära ansluten till bostad

Dessutom har ett komplement av TDOK 2014:1021 tagits fram. TDOK 2016:0246 är en fördjupning av TDOK 2014:1021 och innehåller handledning och vägledning om vilka undersökningar och åtgärder som bör göras, samt hur mätningar av buller och beräkningar bör verkställas.

3.3.2 Konsekvenser av vägtrafikbuller

Trafikbuller är enligt Folkhälsomyndigheten (2019a) klassat som ett miljö- och folkhälsoproblem, detta betyder att dess påverkan på människor och närmiljö är högst påtaglig och att exponering leder till en rad negativa konsekvenser. I sin rapport åt Naturvårdsverket påstår Dickson och Thorén (2014) att cirka två miljoner svenskar, utomhus, är utsatta för en bullernivå högre än 55 dB(A) L_{Aeq24} . Längs det statliga vägnätet uppskattas ungefär 200 000 svenskar utsättas för bullernivåer som överstiger Trafikverkets riktvärden. (Trafikverket, 2020b). Bullrets sammansättning beträffande styrka, frekvens, tidsvariation och när på dygnet exponeringen sker ger olika konsekvenser för de utsatta. Dessa konsekvenser kan vara långa- eller kortvariga, direkta eller indirekta, samt subjektiva eller objektiva.

3.3.2.1 Hälsoeffekter av buller

Buller från vägtrafiken ligger oftast i frekvensintervall om 1 - 5 kHz, vilket olyckligtvis är det frekvensintervall som människan är känsligast för (Folkhälsomyndigheten, 2019b). I normala samtal kan ljudnivån uppskattas till 60 dB(A). Det kan räcka med ett så lågt bakgrundsbuller som 45 dB(A) för att talmaskering ska bli ett problem om frekvenserna från trafikbullret sammanfaller olyckligt. Talmaskering kan i förlängningen leda till att varningar, uppmaningar och inläring i allmänhet försvåras. Förutom talmaskering är andra kända hälsoeffekter av buller ökad risk för fetma, utsöndring av stresshormoner och nedsatt prestationsförmåga. Det är värt att återigen påpeka att många av hälsoeffekterna av buller är högst subjektiva och varierar från person till person. (Folkhälsomyndigheten, 2019b).

Tung trafik ger enligt Wayne m.fl. (2017) upphov till ett lågfrekvent buller, frekvenser mellan 20 - 200 Hz, vilket resulterar i våglängder mellan 2 - 20 meter. Lågfrekventa basljud är svårdämpade och kan spridas både långt och genom tjocka väggar. Vidare påstår Wayne m.fl. (2017) att lågfrekvent buller i många mätningar i nivåer om cirka 70 dB(A) kan underskattas med upp till 7 dB av det A-vägda filtret som efterliknar människans hörsel. Lågfrekvent buller kan bland annat ge direkta symtom i form av trötthet, irritation, huvudverk, koncentrationssvårigheter och störd sömn redan vid relativt normala ljudnivåer om 40-60 dB(A). I

övrigt kan långvarig och regelbunden bullerexponering bidra till bland annat övervikt, hjärt- och kärlsjukdomar och förhöjt blodtryck (Nilsson m.fl., 2005).

3.3.2.2 Samhällsekonomiska konsekvenser

I förlängningen blir de negativa hälsoeffekterna av bullret en samhällsekonomisk kostnad i form av försämrad produktivitet i arbetslivet, försämrad utbildningsnivå på grund av koncentrationssvårigheter och sömnstörningar samt sjukvårdskostnader för hjärt- och kärlsjukdomar. I ASEK 6.1 (2018), *Trafikverkets dokument för analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn*, har man värderat viktningen mellan inomhus- respektive utomhusbuller till 50/50. Denna värdering är ofrånkomlig eftersom vissa av bulleråtgärderna, till exempel lågbullerbeläggningar, minskar bulleremissionen direkt vid källan. Detta i kontrast med andra åtgärder som till exempel fasad- och fönsterisolering som endast minskar bullret inomhus, men inte gör någon som helst nytta för utomhusmiljön. Vid intresse om fördjupning hänvisas läsaren till ASEK 6.1 (2018)², där återfinns en rad tabeller som tagits fram genom olika beräkningsmodeller som uppskattar kostnader för vägtrafikbuller med avseende på störnings- och hälsoeffekter. Dessutom anges marginalkostnaderna för bulleremissionen, alltså hur mycket mer ett enskilt fordon som alstrar buller kostar. I Tabell 3.1 nedan följer ett kort utdrag ur en betydligt större tabellsamling i ASEK 6.1 (2018). Avsikten med utdraget är att ge läsaren en fingervisning om kostnaderna och en motivering till varför satsningen på lågbullerbeläggningar kan vara av stor ekonomisk lönsamhet sett ur ett längre tidsperspektiv.

Tabell 3.1 - Kostnad för buller från vägtrafik (störnings- och hälsoeffekter) vid vistelse utomhus respektive inomhus. Inomhusbullret är viktat enligt stycket ovan och ligger på -27 dB relativt utomhusbullret. Indata från 2014, uttryckt i 2014 års penningvärde.

Bullernivå utomhus (dB)	Kostnad störningseffekter (kr / person och år)	Kostnad hälsoeffekter (kr / person och år)	Total kostnad (kr / person och år)
55	3529	0	3529
60	11233	205	11439
65	23216	916	24185
70	39634	2211	41845
75	60330	4170	64500

Det som utomlands oftast anses vara den mest kostnadseffektiva metoden att reducera bulleremission är enligt Sandberg (2012) anläggande av lågbullerbeläggningar. Jacobsson och Viman (2015b) påstår att en lågbullerbeläggning, allt från investering till drift- och underhåll, kostar mellan 120 - 500 kr/m² beroende på om kontraktet skrivits som en utförandeent-

² https://www.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/asek-6.1/asek_6_1_hela_rapporten_180412.pdf

reprentad eller en totalentreprenad. Författarna är noga med att poängtera att samhällsekonomiska bedömningar är extremt komplexa och måste göras från fall till fall, detta eftersom kostnaden för störnings- och hälsoeffekter beror på antalet drabbade. Det blir dessutom ännu svårare att veta huruvida åtgärden är samhällsekonomiskt lönsam då många av de bullerreducerande beläggningarna som lagts i Sverige har visat sig ha varierande teknisk- och akustisk livslängd från fall till fall, men även med avseende på tid.

3.3.3 Alstring av vägtrafikbuller

Vägtrafikbuller alstras enligt Sandberg (2001) av främst två olika huvudkällor som samverkar till den totala bulleremissionen. Den ena huvudkällan till bullret är fordons drivsystem så som motorljud, avgassystem och luftning. Den andra huvudkällan till bullret uppstår i kontaktytan mellan däck och vägbeläggning. Fordons drivsystem är den dominerande bullerkällan vid låga hastigheter. Vidare påstår Sandberg (2001) att majoriteten av bullret alstras från interaktionen i kontaktytan mellan däck och vägbeläggning vid hastigheter omkring 40 km/h och högre.

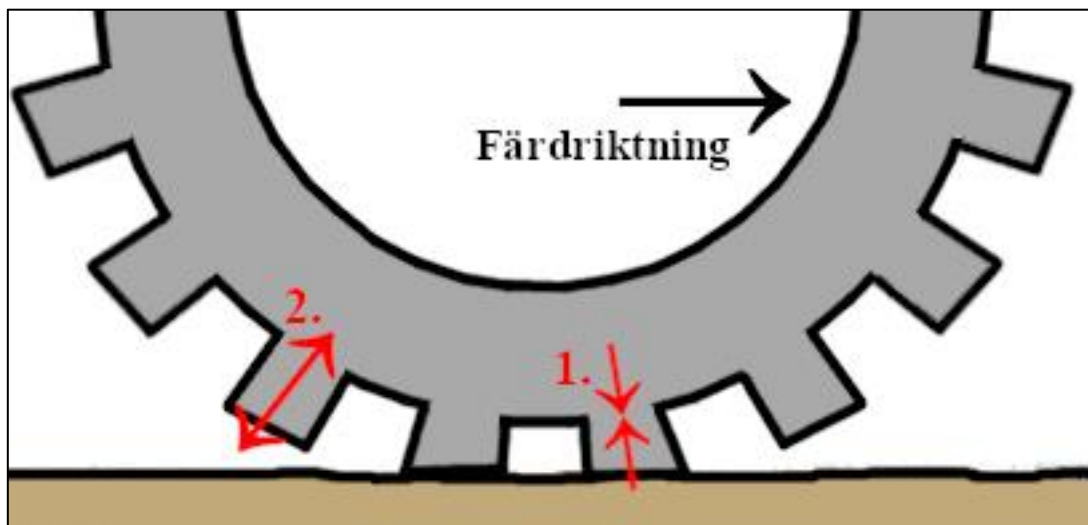
Vägtrafikbullret som alstras från interaktionen mellan däck och vägbeläggning är av ytterst komplex karaktär. Det buller som alstras i interaktionen mellan däck och vägbeläggning kan huvudsakligen sammanfattas i fyra olika fysikaliska processer. Samtliga fysikaliska processer samverkar kumulativt till alstringen av bulleremissionen. Nedan återfinns de fyra nämnda delprocesserna:

- mekaniska processer
- aerodynamiska processer
- friktionsrelaterade processer
- utstrålningsrelaterade processer

(Sandberg 2002, se van Keulen och Duskov 2005)

3.3.3.1 Mekaniska processer

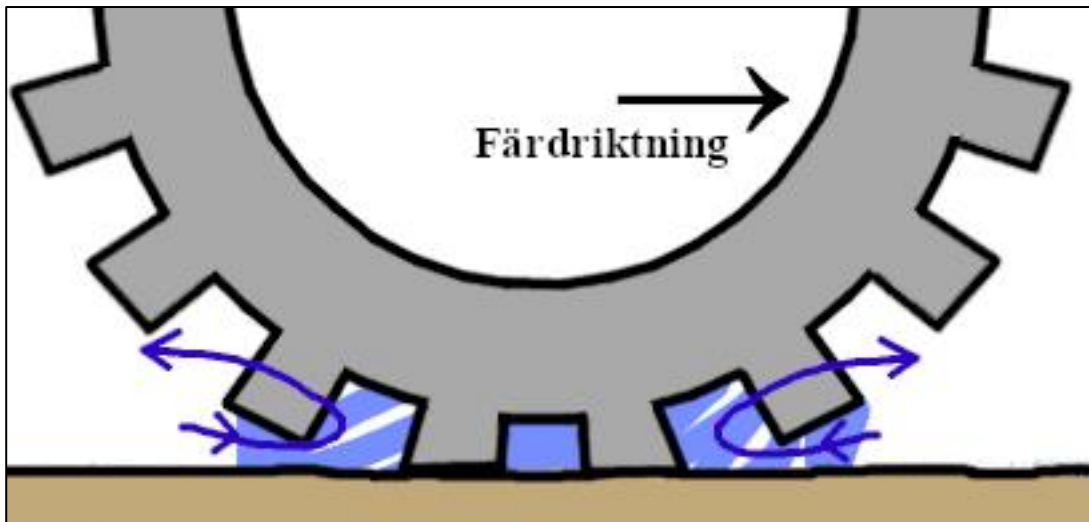
I takt med att däckets rullar kommer den del av däkmönstringen som nyligen kommit i kontakt med vägbeläggningen att deformeras. I kontaktytan mellan däck och vägbeläggning sker deformationen i däkmönstringens gummi i form av en kompression. När den studerade gummiytan åter släpper kontakten med vägbeläggningen kommer gummit snabbt att återta sitt initiala, odeformerade tillstånd. Denna cykliskt beskrivna deformationsprocess ger upphov till vibrationer i däckstrukturen som i förlängningen ger upphov till ett monotont buller (van Keulen & Duskov, 2005). Se Figur 3.1 nedan för principiell skiss av ovan beskrivna teori. Fenomenet kan förenklat jämföras med att en gummihammare slås mot vägytan.



Figur 3.1 – Deformation i däkmönstring vid kontakt med beläggning (1), följt av den så kallat "snap-out"-effekten när gummit återgår till sitt ursprungliga, odeformerade tillstånd (2). Bildkälla: Egenritad

3.3.3.2 Aerodynamiska processer

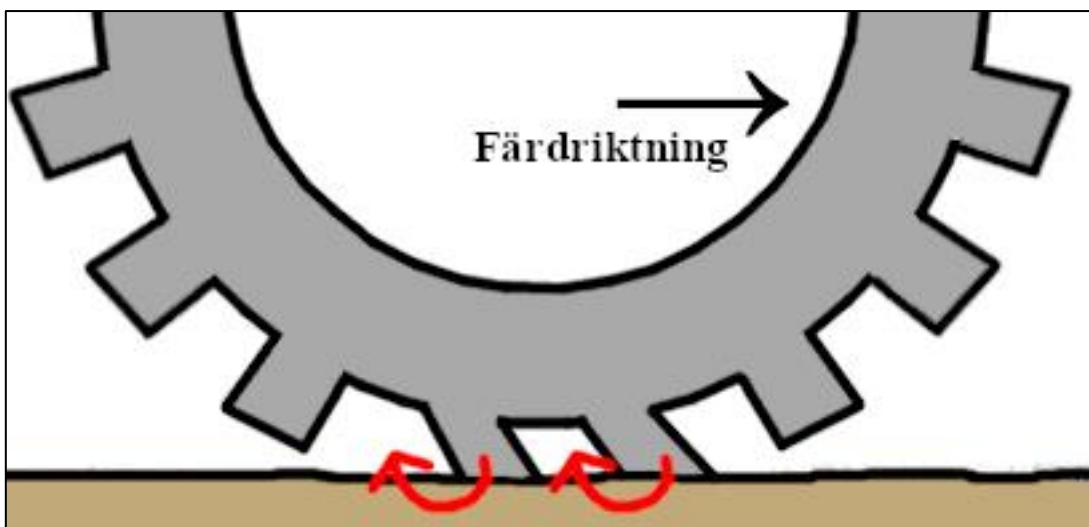
Ett mönstrat däck som rullar längs vägbanan kommer att stänga in luft i däkmönstringens räfflor. När däckets kommer i kontakt med vägytan kommer däkmönstringen att deformeras vilket resulterar i att instängd luft mellan räfflorna snabbt komprimeras under högt tryck och pressas ut genom däckets längsgående räfflor (van Keulen & Duskov, 2005). Se Figur 3.2 på nästa sida för principiellt förtydligande. Detta fenomen brukar på svenska benämnas som luftpumpning och kan liknas med två kupade, ihopslagna händer som förs mot varandra, fram och tillbaka i rask takt.



Figur 3.2 – Luftpumpning innebär att luft sugas in mellan räfflorna, blir instängt och komprimeras för att slutligen lämna. Bildkälla: Egenritad

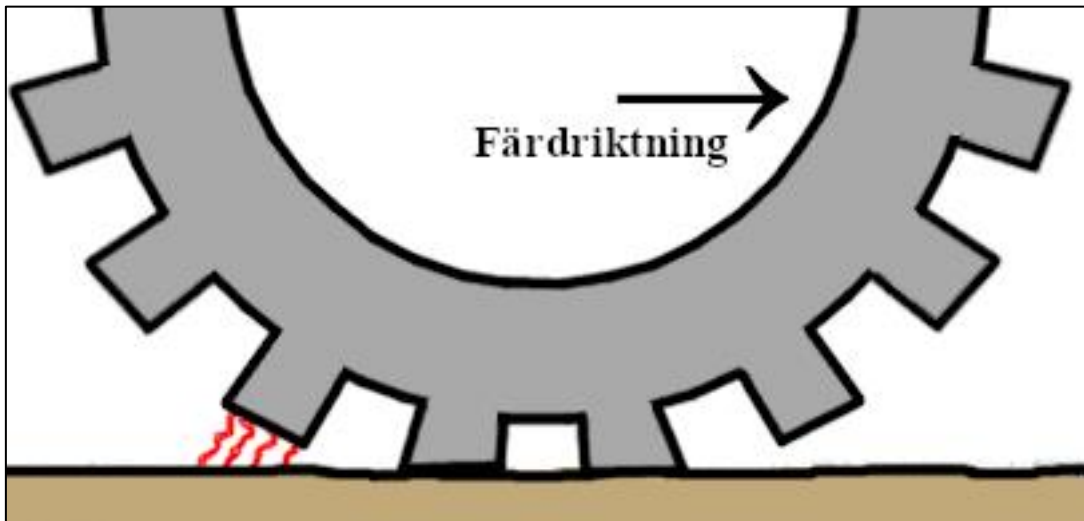
3.3.3.3 Friktionsrelaterade processer

I interaktionen mellan däck och vägbeläggning finns det främst två friktionsrelaterade processer som alstrar buller. Det mest framstående av de två är det så kallade "stick-slip"-fenomenet som på svenska översätts till "vidhäftning-glidning". Kort beskrivet enligt van Keulen och Duskov (2005) innebär det att gummit i däkmönstringen, som har kontakt med vägbeläggningen, utsätts för stora horisontella krafter som mothålls av motriktade friktionskrafter. Så fort friktionskraftens maximala mothållning överskrids kommer däckets momentant att tappa kontakten med vägytan för att sedan på nytt omedelbart få fäste mot vägytan. Denna process upprepas gång på gång i varje kontaktpunkt. Se Figur 3.3 på nästa sida för ett förtydligande. Förloppet kan liknas vid det av en gymnastiksko som glider och gnisslar mot golvet i en idrottshall.



Figur 3.3 - Principiell illustration av "stick-slip"-effekten när gummit på grund av för stora horisontella krafter momentant tappar fästet mot vägytan. Bildkälla: Egenritad

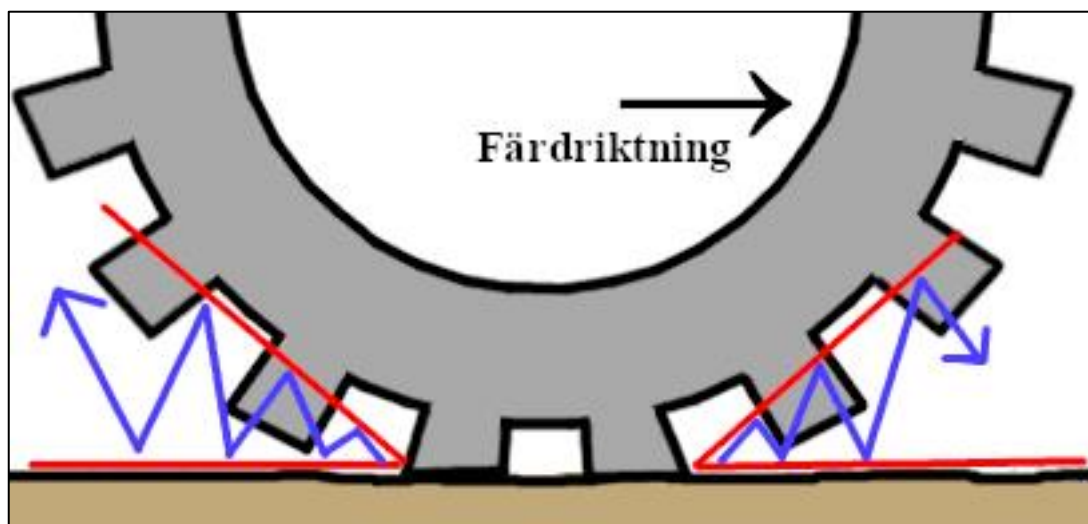
Det andra bulleralstrande friktionsrelaterade fenomenet är det så kallade ”stick-snap”-fenomenet. Van Keulen och Duskov (2005) beskriver fenomenet som ett molekylärt sådant. När däck rullar på vägytans beläggning kommer adhesiva krafter att binda däckgummit med beläggningen. Denna adhesion bryts när däck i ett ögonblick senare rullat vidare. Denna process upprepas, på samma sätt som i processen ovan, i varje kontaktpunkt mellan däck och vägbeläggning. Energin som frigörs då adhesionsbindningen bryts alstrar sedan bullret. Se Figur 3.4 nedan för principiell skiss. Fenomenet kan lite förenklat jämföras med en sugpropp som fäster mot en vägg.



Figur 3.4 - Visualisering av adhesion, på molekylnivå, som slits itu mellan gummi och beläggning. Bildkälla: Egenritad

3.3.3.4 Utstrålningsrelaterade processer

Tillskillnad från de tidigare beskrivna bulleralstringsfenomen, relaterade till mekaniska, aerodynamiska och friktionsrelaterade fysikaliska processer, är det utstrålningsrelaterade fenomenet inte en bullerkälla i sig själv. Istället beskriver Van Keulen och Duskov (2005) det som en förstärkningsmekanism av bullret med hjälp av fysikaliska lagar. Författarna påstår att geometrin mellan däck och vägbeläggning olyckligt nog erhåller formen av ett exponentialhorn. Effekten av detta blir att flertalet reflektioner av ljudvågorna sker på kort tid vilket sedan förstärker bulleremissionerna från tidigare nämnda processer. Se Figur 3.5 nedan för principiell skiss av exponetialhornet. Laborationsstudier av Schaaf och Ronnenberger (1982) har påvisat att förstärkningen i extrema fall kan uppgå till hela 22 dB(A).



Figur 3.5 - Principiell skiss av den geometriska form som påminner om formen av ett exponentialhorn. Exponentialhornet uppstår mellan däck och beläggningssyta. Bildkälla: Egenritad

Värt att påpeka är att det finns en rad andra utstrålningsrelaterade fenomen som förstärker bulleremissionen. En del av dessa är nära kopplade till aerodynamiska processer. Två exempel är bland annat Helmholtz-resonans och resonans kopplat till luft i de longitudinella däckräfflorna. Denna beskrivning ligger dock utanför examensarbetets ramar och vid intresse om fördjupning hänvisas läsaren till rapporten ”FEHRL 2006/02”.³

3.3.4 Åtgärder mot vägtrafikbuller

Det finns en del olika alternativ för att reducera bulleremissionen från vägtrafik. Vilken åtgärd som väljs beror på en rad olika faktorer. Åtgärden ska förutom att vara ekonomiskt effektiv också ta hänsyn till närområdet där estetiska såväl som praktiska parametrar måste behandlas. (Trafikverket, 2019).

Åtgärderna kan förenklat delas in i två huvudkategorier: proaktiva respektive konventionella. De proaktiva åtgärderna är de som reducerar bulleremissionen direkt vid källan, exempel på dessa åtgärder är bland annat lågbullerbeläggningar, sänkta hastigheter och trafikomledning. I de projekt där proaktiva åtgärder inte är samhällsekonomiskt lönsamma väljs istället de mer konventionella åtgärderna som bullerplank, vallar samt förbättrade fasad- och fönsterdetaljer. Vissa av dessa åtgärder kan och bör kombineras tillsammans för att komplettera varandra och således uppnå största möjliga bullerreducering. En väg kan i vissa fall utformas på ett smart sätt så att topografin bildar en naturlig bullervall vilket leder till att eventuella bullerplank kan bli lägre. Ett annat exempel är kombination av lågbullerbeläggning och bullerplank, även detta kan resultera i att bullerplanket blir lägre vilket återigen tar

³ FEHRL report 2006/02 - Sustainable road surfaces for traffic noise control [http://doutoramento.schiu.com/referencias/outras/Sustainable%20road%20surfaces%20for%20traffic%20noise%20\(SILVIA\).pdf](http://doutoramento.schiu.com/referencias/outras/Sustainable%20road%20surfaces%20for%20traffic%20noise%20(SILVIA).pdf)

hänsyn till de estetiska aspekterna. Observera att kompletterande lösningar inte ger additiva effekter till minskad bulleremission. (Engström & Ulmgren, 2010).

3.4 Bullerreducerande beläggningar

3.4.1 Definition och bakgrund

Bullerreducerande beläggningar i Sverige har genom åren benämnts med många olika namn. Enligt Sandberg (2012) är många av de benämningar som används inom branschen direkt missvisande. Bland de missvisande benämningarna omnämns bland annat ”lågbullrande beläggning” och ”tyst vägbeläggning”. Benämningarna är rent tekniskt inkorrekta eftersom alla beläggningar är tysta. Bulleremissionen uppstår från fordonens däck då de rullar på beläggningen. Därefter kan beläggningarna i sig reducera bullret, ty bullerreducerande beläggning eller lågbullerbeläggning är de tekniskt korrekta termerna och således de benämningar som genomgående används i denna rapport.

Definitionen av en bullerreducerande beläggning är, enligt Ejsmont och Sandberg (2002), att beläggningens bulleremission är minst 3 dB(A) lägre jämfört med en referensbeläggning, som förklaras närmare i nästkommande stycke. För att kunna göra rättvisa jämförelser mellan olika beläggningar krävs det enligt Sandberg (2012) och Kragh m.fl. (2012) ett väl definierat referensobjekt tillsammans med bullermätningar gjorda i enighet med ISO-standarden⁴. I ISO-standarden finns det även krav på referensdäck. För att erhålla rättvisa och korrekta jämförelser krävs det att referensbeläggningen är minst lika väldefinierad och utstuderad som den bullerreducerande beläggningen i fråga. Vidare påstår Sandberg (2012) att valet av referensbeläggning är helt avgörande för resultatet i olika jämförelser. Vilken beläggning som helst kan klassificeras som bullerreducerande om den jämförs med en godtyckligt vald beläggning. Det är således viktigt att ett nationellt (gärna internationellt) enhetligt system används för att jämföra olika beläggningars bullerreducerande förmåga.

I Sverige är referensbeläggningen för närvarande en medelålders ABS 16. Valet motiveras enligt Sandberg (2012) av att beläggningen är den i särklass vanligaste på det svenska statliga vägnätet, framförallt på de vägar där hastigheter över 70 km/h tillåts. Referensbeläggningen får inte heller vara nylagd, utan som tidigare nämnts medelålders, den bör således vara cirka 2–3 år gammal. Anledningen till detta är, enligt Sandberg (2012), att en nylagd beläggning alltid har en initial bullerreduceringsförmåga på några få decibel, delvis för att det översta lagret av bindemedlet fortfarande ligger som en hinna över stenmaterialet vilket gör beläggningens yttextur slät och fin, och delvis för att bindemedlet oxideras med tiden vilket leder till minskad flexibilitet, skador och ojämnheter. Detta i förlängningen leder till en oundvikligt ökad bulleremission. Beläggningen får alltså inte vara så pass gammal att skador som exempelvis stensläpp och sprickor hunnit uppstå. Avslutningsvis påstår Sandberg (2012) att det är optimalt att använda medelvärdet utav flera olika referensbeläggningar.

⁴ <https://www.iso.org/standard/39675.html>

Referensbeläggningsen får gärna vara belägen på geografiskt skilda platser, lagda av olika entreprenörer. Allt för att säkerhetsställa en realistiskt och fullvärdig mätning.

3.4.2 Historik

ABD-beläggningsarna har enligt Jacobson och Viman (2015a) lagts i Sverige redan på 70-talet. Sandberg (2012) påstår att den första lågbullerbeläggningsen i Sverige togs i bruk 1979. Detta var en porös beläggnings, idag känd som en ABD-beläggnings. Som namnet ABD antyder har beläggningsen dränerande egenskaper vilket betyder att vattnet rinner igenom. Dessa dränerande beläggningsar utvecklades ursprungligen ur ett trafiksäkerhetsperspektiv där vägbanan var ämnad att snabbt dräneras så att vatten inte blev stående. Stående vatten kan bland annat leda till vattenplaning, försämrad sikt och försämrad uppfattning av vägmarkeringar och linjer.

Redan i slutet av 70-talet gjordes mätningar av bulleremissioner. De flesta mätningar visade att en ABD-beläggnings gav en skaplig bullerreduktion. Vad som också uppmärksammades var att ABT 8-beläggningsarna, som på den tiden oftast användes vid tillfälliga och kortsiktiga reparationsbeläggningsar, gav en bullerreduktion på någon enstaka decibel jämfört med den då rådande standardbeläggningsen ABT 16. Dock föll detta i skymundan eftersom ABD-beläggningsarna hade bättre bullerreduktionen än beläggningsen med liten maxstensstorlek. Sandberg (2012) och Jacobson & Viman (2015a),

Med tiden ökade trafiken och användningen av dubbdäck eskalerade, samtidigt genomgick däckerna en radikal utveckling både med avseende på bredd, gummisort och mönstring. (Sandberg 2012). Ökad trafik och användningen av dubbdäck fasade med tiden ut beläggningsar som var porösa eller hade liten maximal stenstorlek. Vidare skriver Sandberg (2012) att som av en slump upptäcktes sedan under 2000-talet att de gamla vägrenarna på vissa motorvägar gav extremt låga bulleremissioner, nästan lika låga som dagens nyanlagda ABD-beläggningsar. Anledningen till att små maximala stenstorlekar plötsligt reducerande bulleremissionen mer än på 70-talet har troligtvis att göra med ovan beskrivna däckutveckling. Idag är således en bra bullerreducerande beläggnings porös och öppen eller så har den en liten maximal stenstorlek. En mix av detta ger på sätt och vis receptet av dagens dubbeldrän-beläggningsar. Se vidare nästa avsnitt, Avsnitt 3.3.3 (Sandberg 1979, se Sandberg 2012).

3.4.3 Dagens bullerreducerande beläggningsar

3.4.3.1 ABD-beläggningsar

Den i särklass vanligaste lågbullerbeläggningsen är en dränerande asfaltbetong, ofta benämnd som en ABD-beläggnings. Enligt Jacobson och Viman (2015b) är beläggningsens mest utmärkande egenskap dess permeabilitet som erhålls tack vare en mycket hög och sammanhängande hålrums halt (18–26%). Syftet med en porös beläggnings är att ljudvågorna ska absorberas i väggroppen. Hålrummet i beläggningsen fungerar som ett magasin där ljudvågorna tränger ner, istället för att studsas utåt, mot närliggande omgivning (Jansson, 2015). ABD-beläggningsen erhåller sina unika egenskaper tack vare den branta kornfördelningskurvan,

där andelen grovballast är hög, cirka 80 viktprocent är större 4 mm. Kornfördelningskurvans exakta kravparametrar återfinns i Trafikverkets TDOK 2013:0529.

Vidare beskriver författarna Jacobson och Viman (2015b) att en ABD-beläggning nuförtiden kan läggas i antingen ett eller två lager. En sådan beläggning, bestående av ett lager, benämns ofta i dagligt tal som en enkeldrän, medan tvålagers-varianten på motsvarande sätt benämns som en dubbeldrän. En dubbeldränasfalt är alltså en ABD-beläggning lagd i två lager, ett undre och ett övre. Se Figur 3.6 nedan. Det undre lagret brukar vara runt 50 - 70 mm tjockt och ha en maximal stenstorlek om 16 mm. Det övre lagret brukar vara något tunnare, cirka 30 mm, och ha en maximal stenstorlek om 11 mm. Bindemedlet som bör, och ofta har använts det senaste decenniet, är polymermodifierade bindemedel, se vidare i avsnitt 3.4.4.2 Teknisk livslängd. Både Sandberg (2012) och Jacobson och Viman (2015b) har konstaterat att en enkeldrän reducerar bulleremissionen några decibel färre än en dubbeldrän.



Figur 3.6 - En tvålagers ABD-beläggning. En så kallad dubbeldrän. Notera det övre, tunnare lagrets, mindre stenstorlek.

Bildkälla: Erik Oscarsson (Trafikverket, 2019)

3.4.3.2 Övriga alternativ

Stålslagg

Stålslagg är en restprodukt från stålindustrin som enligt Jansson (2015) med fördel kan blandas in i en bullerreducerande beläggning. Jansson (2015) påpekar att en beläggning med stålslagg inte förväntas reducera bullret lika effektivt som en klassisk tvåskiktsbeläggning, men att det man förlorar i bullerreduktion kan vinnas tillbaka i form av beständighet och således en förlängd teknisk livslängd. Jansson (2015) och Sandberg (2012) skriver båda att fördelarna med att blanda in en andel slaggt istället för bara ballast är flera. Dels finns det en naturlig bullerreduktion på ungefär 1 dB(A) tack vare de gynnsamma ytporerna i stålslaggen, och dels har materialet en ökande vidhäftningsförmåga med bindemedlet tack vare sin basiska karaktär, (vanlig ballast är i regel surare än stålslagg), vilket leder till ökad beständighet

och minskad oxidation. Laborrietester och inventeringar har dessutom visat att slaggbeläggningar har en god slitstyrka, hög stabilitet, bra friktion, bra skjuvhållfasthet och jämfört med konventionella beläggningar också en väldigt god draghållfasthet. Jacobson och Viman (2015b) drar slutsatsen om att stålslag med goda resultat, tack vare de ovan nämnda goda egenskaper, kan och kanske rent av bör blandas in i ABD-beläggningar. Extra lämpligt är detta i de vägsektioner där ABD-beläggningar i sig självt oftast är olämpliga, exempelvis i korsningar, cirkulationsplatser (påfrestande skjuvkrafter) eller vägar med mycket tung trafik (slitstyrka och stabilitet). Avslutningsvis benämner Viman och Said (2015) att masterkurvor från skjuvförsök visat att beläggningarna inte är lika temperaturkänsliga som konventionella beläggningar. Detta betyder att en beläggning med slagg, i höga temperaturer, påvisar höga skjuvmoduler vilket leder till mindre spårbildning. I låga temperaturer påvisas lägre moduler relativt konventionella beläggningar vilket minskar sprickbildning. Det är således av stort intresse att fortsätta forska kring stålslag i ABD-beläggningar.

Gummi

Enligt Sandberg (2012) har man i USA, med tillfredsställande resultat, en tradition av att blanda in gummi i sina asfaltsbeläggningar. Anledningen till detta var förut främst av politiska skäl i syfte att slippa deponera gummirestprodukterna från bildäcken. I Sverige har tester med gummiinblandning gjorts i vissa av de bullerreducerande ABD-beläggningarna. Fördelen med gummiinblandningen påstår Sandberg (2012) kan vara ökad elasticitet i skellet eller som förbättrat oxidationsskydd. Nackdelarna just nu är att gummigranulatet, även i små mängder om cirka två viktprocent, förstör kornfördelningskurvan och minskar hålrumshalten markant, vilket i sig motsäger syftet med en lågbullerbeläggning som ska ha en hög hålrumshalt. Dessutom har arbetsmiljön med mycket gummistoft rapporterats som irriterande och jobbig. En ytterligare faktor som talar emot gummibeläggningar är risken för ökat rullmotstånd vilket går emot många av dagens hållbarhetsmål i form av energiförbrukning. (Jacobson & Viman, 2015b)

Beläggningar med liten maxstensstorlek

Småstensbeläggningar är täta slitlager med små maxstensstorlekar vilket innebär att vägytans mikrotextur blir jämn. En slät mikrotextur är av yttersta vikt för att reducera det buller som alstras i interaktionen mellan vägyta och däck. Se Avsnitt 3.2.3.1 *Mekaniska processer*. Många länder runt om i Europa har små maxstensstorlekar i sina slitlager. De kan gå så långt ner som 6 - 8 mm i storlek eftersom de inte använder dubbdäck. I Sverige däremot är dubbdäck tillåtna vilket medför att de slitlager som anläggs runt om i landet ofta kräver betydligt större maxstensstorlekar än 6 - 8 mm för att behålla sin bärighet och beständighet. Standardbeläggningen i Sverige är som tidigare angivet en ABS 16, där siffran 16 anger maxstensstorleken i beläggningen. De ABD-beläggningar som idag läggs som bullerreducerande beläggningar har ofta en maxstensstorlek på 11 mm i det översta lagret. (Sandberg 2012).

Kragh m.fl. (2012), se Sandberg (2012) menar att en utveckling av bindemedel är en central faktor i huruvida småstensbeläggningar i Sverige ska kunna förverkligas. Några bindemedel är idag väldigt dyra, medan andra behöver utvecklas lite till, det viktiga är att kohesionen förbättras. En förbättrad kohesion påstår Sandberg (2012) skulle kunna få ner maxstensstorleken i dagens ABD-beläggningar till så lågt som 6 - 8 mm beroende på dubbdäcksanvändningen. Med så liten maxstensstorlek i det övre lagret i en tvåskiktsbeläggning innebär det

att lagret skulle kunna göras tunnare, vilket i sin tur innebär att bottenlagret med den större maxstensstorleken (16 mm) blir tjockare och således också tar upp en större andel av väggkroppen. Om bottenlagret tar upp en större andel av väggkroppen blir också hålrumshalter på 30 % möjliga vilket ger en synergieffekt med den tunna maxstensstorleken i slitlagret om minskad bulleremission. Avslutningsvis nämner Sandberg (2012) också att det är just topplagret som kräver material av topp-kvalitet för att motstå slitage från dubbdäck och trafiklast. Med ett tunnare topplager blir också transportkostnader något lägre eftersom mängden förstklassigt material, som inte är tillgängligt överallt och således måste transporteras långa sträckor, minskar markant. Det går med andra ord att använda lokalt material i större utsträckning.

3.4.4 Beständighet och problem

3.4.4.1 Akustisk livslängd

De flesta rapporter, bland annat de från Jansson (2015) och Jacobson och Viman (2015a, 2015b) är överens om att de porösa ABD-beläggningarna i regel har en relativt kort akustisk livslängd jämfört med den traditionella standardbeläggningen ABS 16. Den främsta anledningen till den akustiskt korta livslängden påstår Nilsson (2016) är att partiklar, stoft och smuts snabbt ansamlas i beläggningens hålrum. Partikelemissionerna härrör från bland annat dubbdäck som maler ner stenmaterial, gummi från bildäck som slits loss och övrigt stoft och smuts som genereras från trafik och omgivning. Detta i förlängningen gör att den i avsnitt 3.3.3.1 beskrivna bullerdämpningen inte längre verkar. Enligt Nilsson (2016) är det av yttersta vikt att en kunskapsutveckling och således en god drift- och underhållsplanering finns för lågbullerbeläggningar av porös karaktär. Vidare påstår Nilsson (2016) att långtidseffekten av bullerreduktionen beror på hur effektivt porstrukturen kan rengöras. Det verkar också finns en självrenande effekt på de vägarna med hög andel tunga fordon, förutsatt att de kommer upp i en tillräckligt hög hastighet, större än 70 km/h. Nilsson (2016) är dock noga med att påpeka att den självrenande effekten endast verkar rensa ut partiklar och stoft ur själva hjulspåren men är verkningslös i den övriga beläggningsskroppen.

En mycket viktig detalj att inte förglömma är enligt Sandberg (2012) vikten av att planera ett annorlunda vintervägsunderhåll på en ABD-beläggning. Beläggningens porösa karaktär är väldigt viktig för den akustiska livslängden. En porös beläggning bör därför aldrig sandas eftersom det sammanhängande porsystemet täpps igen vilken leder till en omedelbar minskning av beläggningens bullerreduktionsförmåga. I förlängningen är det värt att påpeka att vattnets uttrinngstider också ökar vilket även leder till förkortad teknisk livslängd. Se vidare nästa Avsnitt 3.3.4.2. Om beläggningen istället saltas kommer det krävas en större andel salt än om beläggningen hade varit tät. Detta eftersom de små saltkristallerna lätt faller ner i porerna och spolats bort.

En annan liten, men mycket viktig detalj, enligt Nilsson (2016), är att förlänga den bullerreducerande beläggningen med minst ett par hundra meter, i båda köriktningarna, än vad som önskas för det bullerutsatta området. Anledningen till detta är att övergången mellan en tät beläggning och en porös beläggning är känslig eftersom både trafik och vattenflöden riskerar att föra med sig partiklar och stoft som ansamlas i den dränerande beläggningens porsystem. Sandberg (2012) beskriver vikten av ett fullständigt dräneringssystem där vägpartiklar och

smuts som antingen finns löst i vattnet, eller förs med vattnet in i väggkroppen, alltid, utan undantag, kan dräneras ut på ett effektivt sätt. Om detta krav inte uppfylls ackumuleras partiklar som med tiden täpper igen beläggningsens porstruktur. Notera att en igentäppning av porsystemet, precis som enligt stycket ovan med sandning, påverkar den tekniska livslängden negativt.

3.4.4.2 Teknisk livslängd

ABD-beläggnings tekniska livslängd är precis som den akustiska livslängden relativt kort i jämförelse med standard- och referensbeläggningsen ABS 16. Tillskillnad från täta beläggningar har ABD-beläggningsen ett naturligt problem i form av bindemedeloxidation på grund av sin öppna struktur. Enligt Agardh och Parhamifar (2014) är bitumen en restprodukt av olja och eftersom olja är ett organiskt material kommer bindemedlet naturligt, i kontakt med syre, att oxideras. Vidare påstår Agardh och Parhamifar (2014) att oxiderat bindemedel blir förhårdnat och sprött, vilket i förlängningen orsakar sprickbildning och stensläpp i beläggningsen. För att minska bland annat oxidationens påverkan har polymermodifierade bindemedel, PMB, använts till samtliga ABD-beläggningar under senaste decenniet enligt Jacobson och Viman (2015a). Vidare påstår författarna att ett mycket flexibelt, gärna högmodifierat PMB bör användas, detta flexibla bindemedel kommer vid åldring att bilda nedbrytningsprodukter som återigen mjukgör bituminet. På så sätt föryngrar bindemedlet sig självt.

Eftersom ABD-beläggningar är öppna beläggningar med hög sammanlänkad hålrums halt innebär det att vatten ständigt rör sig genom väggkroppen. Många av de faktorer som kan reducera vägens tekniska (och akustiska) livslängd beror på just vattnet. Allt vatten som infiltrerar ner genom vägytan måste på något sätt också kunna ta sig ut. Om vattnet inte kommer ut, utan blir stående någonstans i väggkroppen, kommer skador att uppkomma (Jacobson & Viman, 2015a). För att säkerhetsställa att vattnet lämnar väggkroppen på ett tillfredsställande sätt är det av yttersta vikt att både projektering, utförande och drift- och underhållsåtgärder görs på ett genomtänkt och korrekt sätt. Om dräneringen är icke tillfredsställande är risken hög att vatten blir stående i väggkroppen vilket leder till omfattande stripping-skador enligt Höbeda (1998). Förenklat beskriver Höbeda (1998) stripping-skador som en avskalning av tunn bitumenfilm från stenytan. Konsekvensen av avskalningen är bland annat att deformationer och nedbrytningsprocesser påskyndas. Stående vatten riskerar enligt Höbeda (1998) också att frysa till is, och således expandera, så kallad frostsprängning. Vanligtvis är asfalt ett relativt förlåtande material, tillskillnad från betong, tack vare bituminets flexibilitet. Tack vare flexibiliteten kan många skador självläka enligt Jacobson och Viman (2015a). Dock kan en vinter med många nollgradspassager vara förrädisk då ständiga frystö-cykler kan spränga sönder beläggningsen inifrån.

I en ABD-beläggning är det särskilt viktigt att enligt Fahlström och Wallin (2008) ta hänsyn till att vidhäftningen mellan bindemedlet och stenmaterialet är god. Författarna beskriver att stenmaterialet är av hydrofil karaktär vilket innebär att stenytan föredrar att binda vatten över olja. I relation till stycket ovan följer att stående vatten i beläggningsen snabbt kan skala bort bitumenfilmen runt stenmaterialet vilket i förlängningen leder till stensläpp eller spårbildning. Just stensläpp och spårbildning är enligt Jacobson och Viman (2015a, 2015b) två

av de vanligaste problemen med dagens ABD-beläggningar. För att förhindra vidhäftningsproblem kan man enligt Sandberg (2012) med fördel blanda in stålslagg eller försöka att inte ha med allt för sur ballast i asfaltmassan. Det är de silikatrika stenarna som är av surare karaktär som brukar vara mest hydrofila och därmed mindre önskvärda ur ett vidhäftningsperspektiv, till exempel kvartsit. Förutom att tänka på vilket ballastmaterial man bör använda sig av bör också inblandning av vidhäftningsmedel tillsättas. Vanliga vidhäftningsmedel är cement eller hydratkalk.

En annan orsak till beständighetsproblemen i dåtida ABD-beläggningar har enligt Jacobson och Viman (2015b) varit den låga bindemedelshalten i beläggingarna. Det finns dokumenterat så låg andel bindemedel som fyra viktprocent. Det som idag rekommenderas är över sex viktprocent. I Trafikverkets dokument, TDOK 2014:0565⁵, är standardkalkylvärdet för en ABD-beläggning satt till mellan 6,0 – 6,3 viktprocent beroende på maxstenstorlek och bindemedelstyp. För att öka bitumenhalten utan risk för bindemedelsavrinning påstår Fahlström och Wallin (2008) att antingen cellulosa- eller mineralfiber måste tillsättas. Tack vare fibertillsatserna blir det lättare att få till en homogen bindemedelshinna runt stenarna, utan fiber finns det stor risk att bindemedlet bara rinner rakt igenom det så när som ensgraderade stenmaterialet. Vidare påstår författarna att fibern kan öka beläggingens kohesionsstyrka genom att agera som mikroarmering.

Att anlägga en nöttningsresistent beläggning är av stor vikt. I Sverige används som tidigare nämnt nämligen dubbdäck för att erhålla en ökad trafiksäkerhet, detta leder till att dubbarna sakta men ständigt nöter ner beläggingen. Denna nötning kan enligt Trafikverket (2014) simuleras med goda resultat i ett så kallat kulkvarnsvärdestest. Om kulkvarnsvärdet är lågt betyder detta att stenmaterialet är nöttningsresistent. Ett kulkvarnsvärde på exempelvis fem betyder att endast fem procent av stenmaterialet i beläggingens maxfraktion passerar 2 mm sikt. Enligt Jacobson och Viman (2015a) är ett kulkvarnsvärde under sju ett mycket bra värde och således ett stenmaterial väl lämpat för lågbullerbeläggningar. Vidare följer enligt Trafikverket (2014) att hårda material kan få urflisningar på grund av kraften från däckdubbarna vid höga hastigheter. Det är således viktigt att prova stenmaterialets slagttålighet, slagttåligheten provas i ett så kallat Los Angeles-test där ballastens motstånd mot fragmentering testas. Ett bra Los Angeles-värde ska vara lågt och värden under 15 anses som goda för en ABD-beläggning.

⁵ Trafikverkets regler för reglering av beläggningsarbeten version 3.0 (2017)

4 Fallstudie

4.1 Huskvarna, E4

4.1.1 Bakgrund

Huskvarna är en stad⁶ i Småland, drygt en mil öster om Jönköping, strax söder om Vättern. Europaväg 4, E4, går igenom hela Sverige och är en tungt trafikerad väg. Huskvarnas rekreations- och bostadsområden ligger i nära anslutning till E4:an vilket har inneburit att bulleremissionerna länge varit ett problem. I samband med en miljödom 2008, enligt Sandberg (2012) fick dåvarande Vägverket (Trafikverket sedan 2010) två år på sig att sänka utomhusbullret till max 60 dB(A). Några av de åtgärder man vidtog var sänkt skyltad hastighet från 110 till 90 km/h och att lägga en ny beläggning, en bullerreducerande beläggning. Sandberg (2012) påpekar att många av de närboende inte trivdes med bullersskärmar eftersom de minskade utsikt och naturkänsla i det sköna Vätternområdet.

Vägen är en 4-filig motorväg vilket innebär att det går två körfält i vardera riktningen. Total ÅDT är strax under 30 000 fordon, varav 15 – 20 procent av dessa är tunga fordon⁷. Enligt Jacobson och Viman (2015a, 2015b) kör cirka 70 procent av trafiken i höger körfält (K1), varav nästan samtliga tunga fordon kör i höger körfält.

4.1.2 Bullerreducerande beläggning

4.1.2.1 Projektering- och utläggning

Den bullerreducerande beläggningen på E4:an genom Huskvarna stod klar sommaren 2010. Projektets entreprenadform var en totalentreprenad med krav på bland annat bullerreduktion under funktionstiden. Det enda utförandekravet som Trafikverket ställde var att även vägren skulle beläggas med en bullerreducerande beläggning för att säkerhetsställa optimal vattenavrinning (se Avsnitt 3.3.4). I övrigt ställdes endast ett funktionskrav på lågbullerbeläggningen. Kravet var att beläggningen under hela funktionstiden skulle reducera bulleremissionen med minst 5 dB(A) i medeltal jämfört med utvald referensbeläggning men aldrig mindre än 3 dB(A) reduktion i enskilda vägsegment. Som en följd av de ställda kraven ställdes också krav på hur och när diverse kontrollmätningar skulle utföras.

⁶ Huskvarna är en före detta stad, sedan 1971 tillhör Huskvarna Jönköpings kommun.

⁷ <http://vtf.trafikverket.se/SeTrafikinformation> (2020)

Innan utläggningen gjordes var man noga med att fräsa ner eller gräva bort den gamla beläggningen. Anledningen till detta var bland annat att öka terrassens tvärfall till 3 %, istället för 2,5 % samt att helt täta undergrunden så att vatten inte når ner till obundna lager. Att säkerhetsställa en god vattenavrinning i en porös beläggning är som tidigare nämnt av yttersta vikt eftersom en sådan beläggning inte bör ha stående vatten inuti. Den andra anledningen till att den gamla beläggningen frästes bort var för att säkerhetsställa att även vägren och anslutningar med brunnar gjordes porösa eller perforerade. (Jacobson & Viman, 2015a, 2015b)

I samband med utläggningen lades ett antal kortare provsträckor på vardera 100 meter ut. Dessa provsträckor var av experimenterande karaktär där olika typer av ABD-beläggningar lades. De fyra provsträckorna var enligt nedan. (Jacobson & Viman, 2015a)

- Innehållande stålslagg. En del enkeldrän, en del dubbeldrän.
- Sträcka med förhöjd bindemedelshalt på 6,9 %. Övriga sträckor 6,3 %
- Sträcka som förseglades omedelbart, alltså första hösten.
- Sträcka som förseglades två gånger, första hösten och hösten därpå.

Med hänvisning till Sandberg (2012) och Jacobson och Viman (2015a, 2015b) konstateras att lågbullerbeläggningen förbi Huskvarna har lagts på en 3,7 km lång sträcka och består till största del av en porös beläggning i dubbla lager, en så kallat ”dubbeldrän”, se Avsnitt 3.3.3.1. Detta är också referensbeläggningen mot vilka de fyra olika provsträckorna ovan jämfördes.

Det understa lagret har en lagertjocklek om 50 mm, där maximal stenstorlek är 16 mm. I detta lager har endast stenmaterial av diabas används. Lagret ovanpå är något tunnare, 30 mm, med en största stenstorlek på 11 mm. I höger körfält (K1), i båda riktningarna, består stenmaterialet av högkvalitativ ryolit, precis som i ytterkörfältet (K2) i södergående riktning. Ytterkörfältet (K2) i norrgående riktning består däremot av diabas. Se tabell 4.1 nedan för presentation av ballastens data och egenskaper. I samtliga körfält var hålrums halten cirka 25 - 27 procent, förutom provsträckan med stålslagg vars hålrums halt var runt 20 procent.

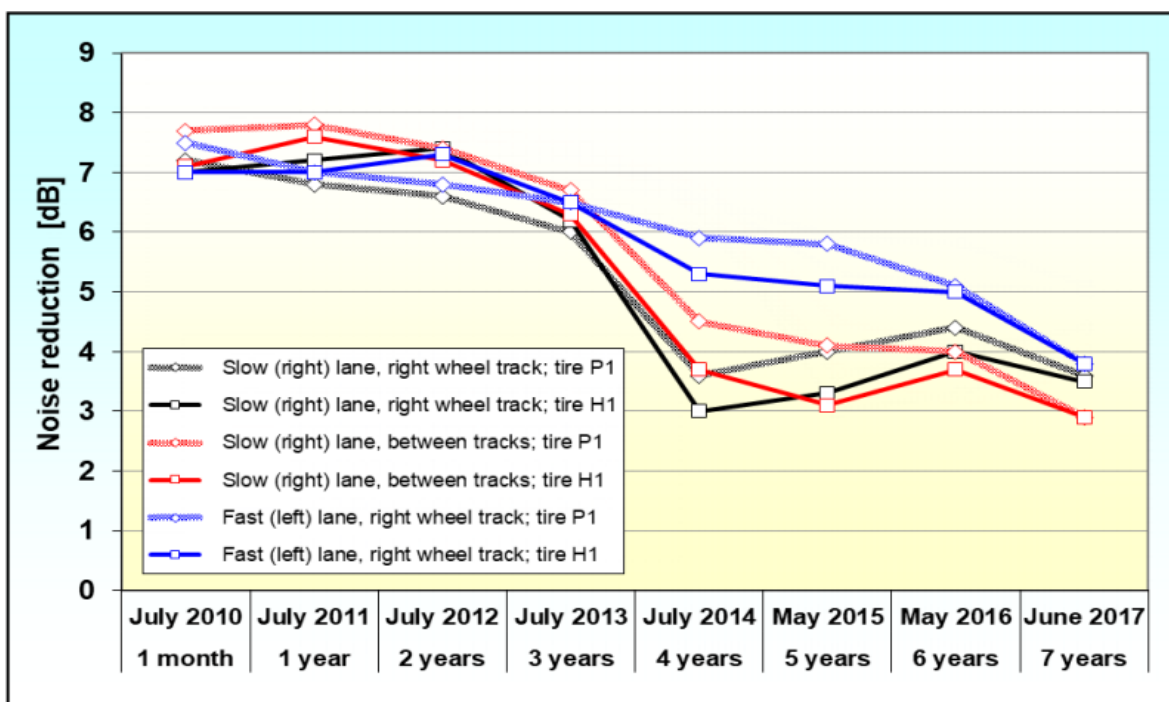
I tabell 4.1 nedan presenteras ballastens data och egenskaper

Parameter	Diabas	Ryolit	Stålslagg
Kulkvarn	11	3	7
Los Angeles	11	15	11
Korndensitet	2888 kg/m ³	2640 kg/m ³	3630 kg/m ³
Flisighetsindex	7	5	3

I projektet användes genomgående bindemedlet Nynäs Endura D1⁸. Endura D1 är ett mycket klabbigt och flexibelt PMB. Både vidhäftningsmedel och fiber användes i hög halt för att optimera beläggningens livslängd. (Se vidare Avsnitt 3.3.4 i litteraturstudien).

4.1.2.2 Uppföljning och resultat

Eftersom den bullerdämpande beläggningen i Huskvarna har fallit ut som ett väldigt lyckat projekt har flertalet studier och inventeringar gjorts på sträckan de senaste åren. Jacobson och Viman (2015a) skriver i sin rapport att beläggningen erhållit endast ringa stensläpp efter fyra år. Det fanns dock, lokalt, i hjulspåren i innerkörfälten måttligt med stensläpp som uppkommit kring första och gissningsvis tredje vintern. Vidare nämner författarna i sin rapport att VTI årligen utfört bullermätningar enligt ISO-standarderna. Se Figur 3.7 nedan för mätningarnas resultat. Notera hur väl bullerreduktionen stod sig med tiden. Samtida studier av dräneringsegenskaperna genom uttrinngstester visade på en storförsämring år tre. Det stora momentana fallet efter tre år beror på försegling. Anledningen till förseglingen var att i ett förebyggande syfte försöka minimera kommande stenlossning. Precis som förväntat observerades ingen stenlossning vintern därpå. Sandberg (2012) har i sin rapport nämnt vikten av att förseglingen måste vara extremt tunn för att inte täppa igen det otroligt känsliga och sammanhängande porsystemet.



Figur 3.7 - Visualisering av hur bullerreduktionen i de olika körfälten på E4:an genom Huskvarna avtag med tiden. Notera speciellt den stora momentana förlusten på grund av förseglingen som gjordes. Värt att notera är att beläggningen initialt överskrider funktionskravet med cirka 50 %.

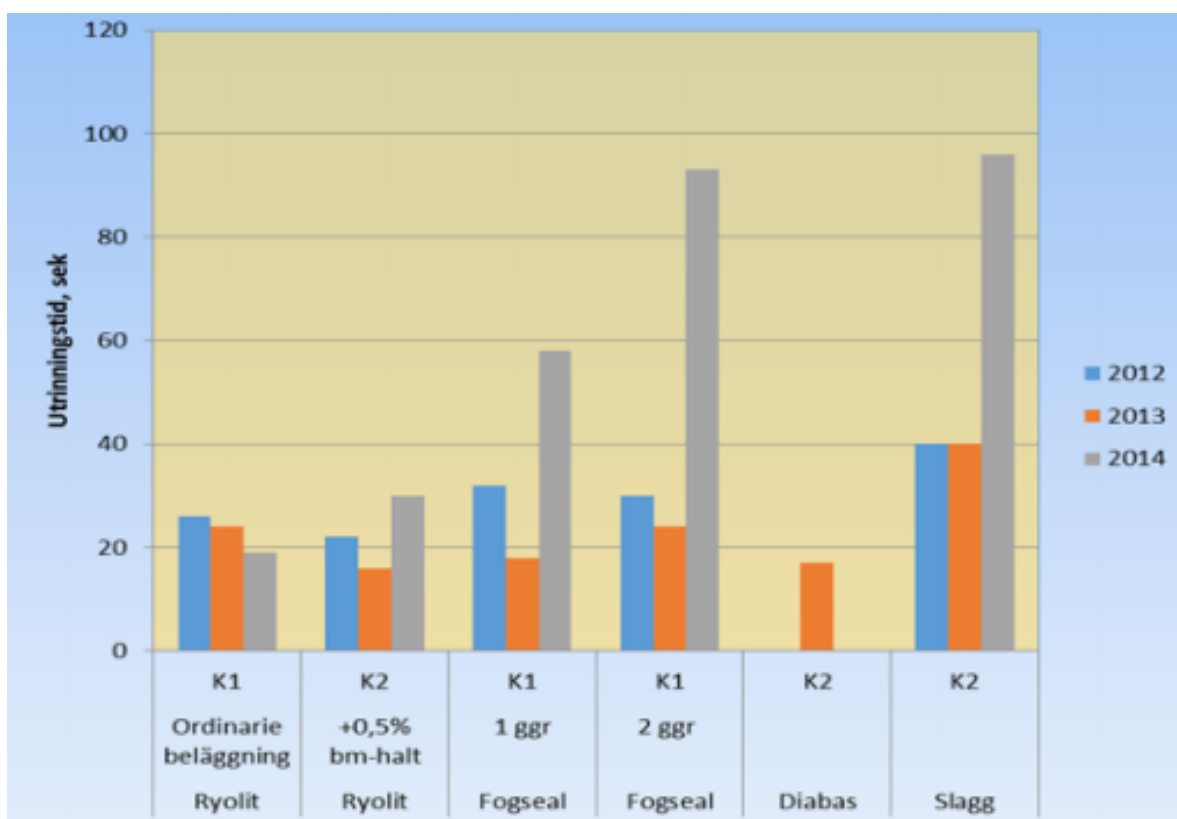
Bildkälla: Tiago Vieira VTI (2018)

⁸ [https://notes.nynas.com/Apps/1112.nsf/wpds/SE_SV_Nynas_Endura_D1/\\$File/Nynas_Endura_D1_SE_SV_PDS.pdf](https://notes.nynas.com/Apps/1112.nsf/wpds/SE_SV_Nynas_Endura_D1/$File/Nynas_Endura_D1_SE_SV_PDS.pdf)

Mätningar gjorda 2013, efter tre års trafikering, visade på spårdjup i innerkörfälten (K1) i båda riktningarna (ryolit) på nästan 7 mm. Ytterkörfältet söderut (ryolit) hade det minsta spårdjupet om endast 4 mm. Ytterkörfältet norrut (diabas) erhöll nästan 6 mm spårdjup. Detta kan med intresse återkopplas till kulkvarnsvärdena i tabell 4.1 på föregående sida.

Beträffande de fyra provsträckorna beskrivna i föregående avsnitt erhöles följande resultat av uppföljningarna efter fyra år av trafikering enligt nedan:

- Stålslagg – minimal stenlossning. Stenlossningen uppmätt till så låga värden som 0,5 - 1 %. Dränerande förmåga uppmätt med hjälp av uttrinngstest sämre än ordinarie beläggning och övriga provsträckor. Se Figur 3.8 nedan.
- Förhöjd bindemedelshalt – ringa stenlossning. Stenlossning uppmätt till cirka 3 % Utrinngstestet visade på mycket goda resultat. Se Figur 3.8 nedan.
- Förseglade provsträckor – ringa stenlossning. Stenlossning uppmätt till ungefär 1,5 %. Dock initialt lägre bullerreduktion på uppskattningsvis 1 dB(A). Utrinngstesterna visade på något sämre resultat jämfört med ordinarie beläggning, men bättre än stålslaggens. Se Figur 3.8 nedan.



Figur 3.8 - Utrinngstiderna, uppmätta av VTI år 2012, 2013 och 2014. K1 = höger körfält, K2= vänster körfält. Notera särskilt förseglingen av beläggningen år 2014. Notera dessutom betydelsen av hålrumshalt. Stålslaggens hålrumshalt ligger på c.a 20 % medan ordinarie beläggning har hålrumshalter strax över 25 %

Bildkälla Jacobson och Viman (2015b)

Med avseende på stenslossning visar samtliga provsträckorna goda resultat. Den ordinarie beläggningen erhöll som värst måttliga stensläpp om cirka 5 - 6 procent på beläggningens inledande 100 metrar. Alltså det ställe som enligt Avsnitt 3.3.4 förutspåddes som ett problemområde. Samtliga teststräckor låg alltså under detta värde. Sammanfattningsvis visade uttrinningstesterna att samtliga provsträckor hade ett väl sammanhängande porsystem. Sträckan med stålslagg hade sämst uttrinningstid (40 sekunder), vilket var att vänta eftersom hålrumshalten var något lägre. Sträckorna som förseglats innan trafikpåsläpp hade också något sämre uttrinningstid (30 sekunder) än övrig beläggning (20 - 25 sekunder). Efter förseglingen 2014, som tydligt syns i Figur 3.7 med avseende på bullerreduktion och i Figur 3.8 med avseende på uttrinningstid, försämrades uttrinningstiden för provsträckan med stålslagg till det dubbla (80 sekunder). (Jacobson och Viman, 2015b)

I drift- och underhållsskedet har tvättning av beläggningen provats två gånger. Första tvättningen ägde rum 2011, då beläggningen endast var ett år gammal. Det andra försöket ägde rum 2014. Båda försöken utfördes med olika vägstädningsbilar och inget av försöken blev lyckade. Det erhöles inga märkbara resultat i något av fallen. (Jacobson och Viman, 2015b).

4.2 Flädie E6.02

4.2.1 Bakgrund

Fjelie är en liten ort belägen i Lomma kommun, strax väst om Lund, Skåne. Tvärs genom orten löper före detta väg 16, numera E6.02. Eftersom E6.02 utgör Lunds huvudförbindelse med E6/E20 i väst är det en relativt vältrafikerad väg med ÅDT på runt 16 000 fordon. På grund av tidigare kapacitetsbrist samt säkerhetsrisker togs beslut om att bygga om vägen. Ombyggnaden inleddes sommaren 2016 med syfte att bredda vägen från den dåvarande 2+1 vägen till en 2+2 väg med mötesseparation. Dessutom utformades korsningar samt mindre vägars anslutningar till huvudvägen på ett sätt som ökar både framkomlighet och trafiksäkerhet (Trafikverket, 2018b).

I samband med projekteringen visade bullerberäkningar som utfördes för prognosåret 2035 att minst 35 bostadsfastigheter längs vägen skulle komma att överskrida de riktvärden som Trafikverket åtagit sig att efterfölja. Dessa riktvärden presenterades i Avsnitt 3.2.1. I projektfastställelsen fastslogs uppförande av vallar och skärmar. Dessa lösningar konstaterades att inte göra någon större nytta för de övre våningsplanen. En bullerreducerande beläggning kunde inte tillgodoräknas i fastställelsen eftersom genomförda tester för lågbullerbeläggningar hittills visat på stor variation i tid. (Trafikverket, 2018b)

4.2.2 Bullerreducerande beläggning

Den bullerreducerande beläggningen som anlades är totalt cirka 1,7 km lång, uppdelad på två delar om 800 + 900 meter vardera. Valet av entreprenadform för projektet var en totalentreprenad där funktionskrav ställdes. De allra flesta funktionskrav är precis som i vilka vägprojekt som helst, bland annat sådana om ojämnheter i längs- respektive tvärled, IRI-

värden och krav om maximala spår djup. Dessutom tillkom kravet på bullerreduktionen som såg ut enligt Tabell 4.2 nedan. Kravet på bullerreduktion är relativt referensbeläggnings ABS 16, se vidare Avsnitt 3.3.1. Dessutom anges i samband med detta att mätningarna ska göras enligt ISO-standarderna och CPX-metoden.

Tabell 4.2 - Nedan redovisas de funktionskrav om bullerreduktion som ställdes på beläggnings i hastigheter om 100 km/h

Mättillfälle	Bullerreduktion
Trafikpåsläpp	7 dB(A)
År 2	5 dB(A)
År 5	3 dB(A)

Trots att samtliga funktionskrav var givna bestämde sig Trafikverket också för att ställa fyra specifika utförandekrav på den tekniska lösningen. Kraven löd enligt följande: *E6.02 sektion 1/050 -1/860 samt 2/350 – 3/200, ska utföras med dubbeldränasfalt som bullerreducering. Hela bredden inklusive vägrenar ska vara dränerande. Dränasfalten ska utföras med*

- Högmodifierat bitumen med god vidhäftning och åldersbeständighet
- Bindemedelshalt om minst 6,3-vikt%
- Tvärfall på minst 3 %
- Hållrumshalt på minst 23 % (avser borrhärnor)

Dessa fyra krav har bland annat i examensarbetets litteraturstudie visat sig vara framgångsfaktorer i att få fram en lågbullerbeläggning av typ dubbeldrän vars tekniska och akustiska livslängder är tillfredsställande. Däremot har den entreprenören som vann anbudet påstått att de specifika utförandekraven som tillskrevs totalentreprenaden omöjliggjort det för dem att uppnå funktionskraven. En stor del av studien har utgångspunkt i denna problematisering. Det syns bland annat i rapportens Bilaga A – Intervjumall.

Dessa fyra krav föranledde delvis att Trafikverket var tvungna att reducera sina initiala funktionskrav om bullerreduktion från bland annat 100 km/h ner till 90 km/h (på grund av avsaknad av tidigare mätningar i 100 km /h), men också framförallt att den tioåriga garanti-tiden reducerades ner till fem år. Entreprenören och Trafikverket delar på risken under år 6 - 10 (kostnad för att åtgärda fel som framträder under år 6 – 10).⁹

Dessvärre har jag som författare inte lyckats erhålla några data om bullerreduktion eller spår djup och kan därmed ännu inte delge hur utförandekraven och tidigare lärdomar har påverkat projektet.

⁹ Torbjörn Sundgren (Maj 2020) – Muntlig källa. Projektledare, Trafikverket.

5 Intervjuer

5.1 Svar från respondenter

I detta avsnitt kommer samtliga svar från de formella intervjuerna att presenteras. Notera att respondenterna inte citeras. Anledningen till detta är att intervjuerna bedrivits muntligt och att jag som författare omformulerat talspråk och tautologier. Dessutom har majoriteten av frågorna varit av väldigt öppen karaktär vilket skulle innebära en högst osammanhängande resultatredovisning ifall svaren aldrig hade bearbetats.

5.1.1 Val av entreprenadform

- Vad är det egentligen som ligger bakom valet av entreprenadform i allmänt?

Respondent 1 berättar att det är väldigt många parametrar bakom valet av entreprenadform. I grund och botten handlar det om att man vill lägga risken hos den som bäst kan hantera risken. Detta betyder i praktiken att den som har kompetensen också bör bär risken, vilket i förlängningen kan leda till lägre projektkostnader. För att med gott samvete kunna välja en totalentreprenad måste man på förhand ha kontroll över alla de förutsättningar som finns i produktion och under hela garantitiden. Respondent 1 påpekar vidare att detta kan vara mycket svårt att förutsäga. Till exempel kan markanspråk vara omtvistat, befintlig väg kan vara svår att karaktärisera, eller så kan innehållet i befintlig väg eller byggnad vara förorenat. Alla dessa osäkerheter är svåra och dyra att överföra till en entreprenör.

Respondent 2 är inne på samma bana som respondent 1. Respondent 2 menar att valet av hur man väljer entreprenadform har klarnat lite de senaste åren. Givet är att entreprenadformen ska väljas utifrån det unika projektets förutsättningar. Därför måste förutsättningarna noga analyseras med avseende på frihetsgrader, osäkerheter, risker och komplexitet. Finns det i projektet ett begränsat antal frihetsgrader samt många styrda parametrar, så har entreprenören en begränsad möjlighet att själv välja tekniska lösningar och således ingen innovationspotential. Ett annat exempel enligt Respondent 2 är att en komplex tunnelbyggnation med mycket osäkerhet är behäftad med stora risker vilket innebär att en totalentreprenad kommer kosta Trafikverket dyrt med tanke på att en risk alltid kostar pengar att överföra. I båda dessa fall kan en utförandeentreprenad vara att föredra. Det är alltså inte alltid rimligt att utan eftertanke välja en totalentreprenad bara för att uppfylla Trafikverkets långsiktiga mål.

Respondent 3 och 4 är även dem inne på att förutsättningarna i det unika projektet styr valet av entreprenadform. Båda nämner att innovationsmöjligheterna är viktiga att beakta, och om de finns, så bör man försöka välja en totalentreprenad eftersom detta går i linje med Trafikverkets mål och främjar utveckling för produkten i sig men i förlängningen även samhället i form av ökad sysselsättning och kompetensbevarande. Respondent 4 påpekar specifikt att

Trafikverket som myndighet ska beskriva vad man vill ha för produkt och inte hur produkten ska byggas. Vidare utvecklar respondent 4 att icke avancerade lösningar med mycket styrt rutinarbete bör upphandlas som utförandeentreprenad eftersom det i förlängningen kan spara pengar.

Respondent 5 menar att det finns en politisk strävan i att avreglera marknaden. Ett sätt att nå detta mål är genom en stor andel totalentreprenader. Formellt försöker man vid valet av entreprenadform att följa TDOK 2018:0007, ”*Val av affärsform för entreprenad och tekniska konsulter*”. Dokumentet sammanfattas med att valet av affärsform ska utgå från uppdragets specifika förutsättningar med syfte att uppnå Trafikverkets mål om ökad innovation, konkurrens och effektivitet. Vidare berättar Respondent 5 att det finns för- och nackdelar med de olika entreprenadformerna. En utförandeentreprenad är normalt bättre vid projekt i befintligheter, där gränslinjen mellan entreprenör och beställare är svår att definiera, exempelvis vid breddning av en väg. Totalentreprenader passar bra i nybyggnadsprojekt där entreprenören kan ha total kontroll. Dock anses vägnätet i stor del vara färdigbyggt.

- Vilka för- och nackdelar finns de med de olika entreprenadformerna kopplat till just lågbullerbeläggningsprojekt?

Respondent 1 påstår att en förutsättning för totalentreprenader är att krav måste kunna formuleras på slutprodukten. Allra helst krav i funktionella termer så att Trafikverket kan verifiera att man fått den produkt man beställt. Att kunna definiera att man fått önskad bullerreduktion från en väg är inte helt trivialt. Detta är något som måste kunna göras om projektet upphandlas som en renodlad totalentreprenad. Produkten man i slutändan får kan i princip vara vad som helst om inte verifieringen av de ställda funktionskraven kan göras. Respondent 1 påpekar att det kan vara svårt att utföra själva bullermätningarna eftersom det finns en hög osäkerhet behäftad med dem. Dessutom har vi i Sverige fortfarande väldigt begränsad erfarenhet av mätningarna. Ofta används CPX-utrustning vilket betyder att utrustning inte sällan måste inhämtas från andra länder i Europa. Exempelvis i projekt E6.02 Flädie var en av underentreprenörerna för beläggning en lokal sådan. Rimligtvis är det föga troligt att entreprenören har erfarenhet av CPX-mätningar. Respondent 1 fortsätter med att berätta att det självklart är en fördel att skjuta över det på entreprenörerna att hitta bra lösningar som de sedan kan styra i sin produktion. Allt som allt uttrycker Respondent 1 att frågan är komplex och att det mycket väl kan vara så att marknaden är för liten för att flera aktörer ska ta fram fungerande produkter för bullerreduktion i storleksordning > 6 dB(A).

Respondent 2 svarar att mycket handlar om hur man väljer att ställa sina krav. Vill man exempelvis sikta på att något nytt ska komma att utvecklas bör man formulera sina krav som funktionskrav, exempelvis att beläggnings ska dämpa bullret med 5 dB(A) jämfört med standardbeläggnings ABS 16. Ett annat sätt att ställa krav på är genom att ta bort frihetsgraderna och specificera exakt vilken beläggning det ska vara och vilket recept den ska byggas efter. På detta sätt är bindemedelshalt, stenmaterial med mera redan specificerat. Med detta försvinner många av osäkerheterna men också möjligheten för innovation. Respondent 2 berättar vidare att det finns skäl för att inte alltid ställa funktionskrav utan istället motiv

till att minska osäkerhet och risk, som ovan nämnt, och på så sätt attrahera fler anbudslämnare eftersom de kanske annars inte vågat ge sig in i projekt med totalentreprenader där man bär en stor risk. Ett funktionskrav på en lågbullerbeläggning är en osäkerhet och således en risk för entreprenören beroende på deras tekniska kompetens och erfarenhet. Det kan därför hända att en del entreprenadföretag väljer att inte ge sig in i en sådan affär vilket leder till färre anbudslämningar och en minskad konkurrens. Allt detta är saker Respondent 2 tycker är viktiga att fundera kring när man formulerar de olika kraven – funktionskrav och tekniska krav. Därför blir de omöjligt att generellt säga vilken entreprenadform som är att föredra.

Respondent 3 svarar att på rak arm lutar det mot att en totalentreprenad med funktionella krav är den bästa formen för lågbullerbeläggningsprojekt. Vidare utvecklar Respondent 3 att det självklart finns för- och nackdelar med de båda entreprenadformerna. I en utförandeentreprenad står Trafikverket själva med risken. Det blir billigare än att i en totalentreprenad betala för att entreprenören ska bära risken. Som argument för totalentreprenader anser Respondent 3 att den verkliga kunskapen om detaljerna som kan vara avgörande för ett lyckat lågbullerbeläggningsprojekt finns hos entreprenören och inte hos Trafikverket. Trafikverket kan mycket, men troligtvis inte mer än entreprenören när det gäller finslipningsdetaljer. Totalentreprenader är dessutom ett sätt för oss att bevara kunskapsbanken hos entreprenörerna.

Respondent 4 är väldigt rak i sitt svar och berättar att en totalentreprenad är att föredra och att det är extremt viktigt att Trafikverket ställer funktionskrav och inte utförandekrav för att främja utvecklingen. Uppdaterat och spetskompetens om detaljerna finns hos entreprenören.

Respondent 5 påstår att en nackdel med totalentreprenader i lågbullerbeläggningsprojekt är att ABD-beläggningen ofta läggs på befintlig vägkonstruktion. Ifall det blir bärighetsprickor med efterföljande stensläpp och förkortad livslängd kan det vara svårt att avgöra om det beror på om entreprenörens beläggning varit dålig eller om Trafikverket som beställare valde en väg med dålig bärighet från start. Däremot ger en totalentreprenad alltid entreprenören en möjlighet att vidareutveckla den efterfrågade produkten tillskillnad från en utförandeentreprenad.

5.1.2 Utförandekrav i en totalentreprenad

- Anser du att något eller några av de fyra utförandekrav som ställdes i totalentreprenaden för projekt Flädie E6.02 kan ha räddat projektet?

Respondent 1 berättar att kravet om högmodifierat bitumen inte är så välskrivet eftersom det finns många olika sätt att modifiera ett bitumen på. Detta mynnar ut i att kravet egentligen inte betyder någonting, utan mest agerar som någon form av rekommendation inskriven i ett kontrakt. Skriver man ett krav om högmodifierat bitumen med god vidhäftning och åldersbeständighet måste detta kunna verifieras. Att bara anföra att något är högmodifierat betyder som sagt ingenting i praktiken. Kravet om hålrum är också märkligt formulerat eftersom en två-lagers ABD-asfalt kan ha ett större hålrum i det undre lagret ty den större maxstensstorleken, därför bör kravet kanske vara tydligare eller mer specifikt för att verkligen betyda något. Gäller kravet varje lager var för sig? Eller är det ett medelvärde av de båda? Respondent 1 menar att inget av de fyra kraven är tagna ur luften, de är faktiska lärdomar vi tagit från tidigare projekt, men att aktivt skriva in dem i ett kontrakt i en totalentreprenad kan

orsaka problem. Respondent 1 fortsätter med att berätta om att det är svårt att uttala sig om något av kraven specifikt räddat projektet. Det viktigaste kravet är nog tvärfallet. Att ha mindre än 3 % kan fungera om man har en ordentlig längslutning, annars är 3 % tvärfallet ett absolut minimum. Med för låga tvärfallslutningar vet vi att det kommer gå dåligt för beläggningen. Specialister tror att det är svårt att uppnå bra beläggningar om man inte uppfyller dessa fyra krav. Det är som sagt inte taget ur luften. Dock måste man komma ihåg att det är en sak som specialist att säga att detta är klokt, men en helt annan sak att skriva in det i ett kontrakt.

Respondent 2 inleder med att berätta att en hög hålrums halt är viktig för att erhålla en god bullerdämpning eftersom mycket av däckljudet försvinner ner i dessa hålrum. Tvärfallet måste vara högt för att säkerhetsställa god vattenavrinning. Hög bindemedelshalt för att säkerhetsställa att ballasten verkligen täcks. I dränasfalt sitter nämligen ballasten ihop i kontaktytor. De sitter inte inbäddade i bitumen som i en tät beläggning. Därför är det viktigt med god bindemedelstäckning så att kornen verkligen klistras ihop i de här kontaktytorna. Därmed följer det naturligt att det ska vara ett högmodiferat bitumen med god vidhäftning. Hög åldersbeständighet behövs då beläggningarna är öppna och därmed extremt utsatta för oxidation, vilket innebär att de med tiden hårdnar och spricker upp.

Respondent 3 tror inte att något enskilt krav räddat projektet. Dock tror Respondent 3 att det är av yttersta vikt att se till så att hålrummet inte understiger 23 %. Skulle man hamna aningen lägre blir det väldigt snabbt problem eftersom man hamnar i någon slags gråzon mellan en tät och öppen beläggning. Detta kan snabbt leda till att partiklar fastnar i hålrummen, vilket leder till att vatten blir stående. Avskalning, frostsprängning och minskad bullerreduktion drabbar beläggningen och därifrån går det snabbt utför. Att hamna på 17 - 18 % hålrum är ett recept för misslyckande. Med detta följer att tvärfall är extremt viktigt eftersom vattnet är en stor bov och måste rinna bort till varje pris. Kraven om bindemedelshalt och bindemedelssort är dock knepiga. Här är Respondent 3 säker på att entreprenörerna vet mer än beställaren. Sammanfattningsvis tycker Respondent 3 att tvärfall och hålrums halt är viktigast.

Respondent 4 anser att utförandekrav helst inte ska återfinnas i en totalentreprenad. Men av samtliga krav är väl de mest "räddande" kravet det som specificerar bindemedelshalt och bindemedelssort. Att lägga in utförandekrav i en totalentreprenad kan tyckas hjälpsamt men riskerar att sluta i tvistemål.

Respondent 5 tror att kraven kan ha bidragit till ett lyckat projekt. Stora entreprenader blir ofta totalentreprenader eftersom det politiska målet om hög andel totalentreprenader är satt för omsättning och inte i antal projekt. Kanske har utförandekraven lagts in för att öka tydligheten. Kraven har åtminstone inte stjälpit. Utförandekraven var helt rimliga. Enligt all erfarenhet är dessa krav framgångsparametrar som knappast försvårar uppfyllandet av funktionskraven för tvåskiktsbeläggningen. Utifrån kontraktet bedömer Respondent 5 att exempelvis stålslagsasfalt inte skulle ha uppfyllt funktionskraven på bullerreduktion. Kanske har utförandekraven lagts in för att öka tydligheten.

- Anser du att något av kraven (projekt Flädie E6.02) kan ha varit onödigt begränsande?

Respondent 1 tycker att det mest begränsande kravet möjligtvis är hålrumshalten. Om det är en tvåskiktsbeläggning borde man kanske angett vilket lager kravet i så fall gällde. Att ha 23 % hålrum i övre lagret kan vara aningen begränsande. Dessutom är det inte helt tydligt om kravet anspelar på ett medelvärde eller ett minimumhålrum för vardera lagret. Respondent 1 berättar även att det är viktigt att inte ställa krav på olika nivåer. Krav kan ställas på antingen färdig vägkonstruktion, färdiga lager eller på material och utförande. Man kan verifiera på alla tre nivåer, men om man börjar blanda dessa så kommer det att kosta eftersom varje nytt krav innebär en risk för entreprenören att misslyckas, plus risken att råka få motstridiga krav. Särskilt känsliga är krav när det kommer till produktion. En kombination av olika krav på utförande kanske inte fungerar just där och då. Tack vare de många kraven erhålls inga frihetsgrader för att gå in och anpassa sin lösning till rådande förhållande. Har man exempelvis material- och utförandekrav enligt AMA så kör man på det. Har man funktionella krav så kör man på det. Blandningar är inte att föredra! Men ibland är det enda sättet. I Huskvarna hade man exempelvis krav på bullerreduktion, spårbildning och jämnhet. De var alla funktionella krav på vägytan. Att kombinera dessa med "...och dessutom ska en bindemedelshalt på X % och hålrum på Y %" låser entreprenören onödigt. Med detta sagt menar Respondent 1 inte specifikt att dessa krav var något problem i projekt Flädie E6.02, men det kan förekomma i andra fall att man får effekter man inte tänkt sig. Många gånger sätter vi tilläggskrav med gott uppsåt som i själva verket motverkar sitt syfte.

Respondent 2 skulle inte vilja påstå att något av kraven varit onödigt begränsande och att de tidigare visat sig möjliga att uppnå i bland annat Huskvarna-projektet. Syftet med kraven var i första hand att hjälpa entreprenören genom att bistå med de erfarenheter som tidigare forskning och uppföljning genererat. Dock påpekar respondenten som blivit en erfarenhet rikare, att det kanske hade varit smartare att inte ha med några utförandekrav alls, utan eventuellt bara ställa ett krav på att beläggningen ska vara en dubbeldrän. Senare är det upp till entreprenören själv att utforma beläggningen där Trafikverket kan skärskåda lösningen och eventuellt ha en löpande diskussion om den under projekteringstiden.

Respondent 3 tycker inte att något krav varit onödigt begränsande. Däremot påpekar respondenten att kravet om högmodifierat bitumen och åldersbeständighet i praktiken inte säger någonting konkret. Det räcker egentligen att tillsätta vilken polymer eller vidhäftningsmedel som helst och påstå att man uppnått ovan nämnda krav. Om det tvunget ska ställas krav på utförande kanske det är smartare att gå ner i djupare detaljer. Exempelvis kunde kravet om hålrumshalt kanske ha varit lite mer specifikt eftersom det undre ABD-lagret kan inrymma ett större sammanhängande hålrum ty den större maxstensstorleken. Avslutningsvis tror Respondent 3 att det bästa hade varit om man förlitade sig på rena funktionskrav och istället skrev med utförandekraven som rekommendationer utanför kontraktet.

Respondent 4 anser att lösningen av hålrum varit begränsande. Även om vi i Sverige har erfarenheter som talar för att höga hålrumshalter ger bättre effekt och funktion på bullerreduktion så blir entreprenören onödigt styrd och kunde kanske inte tillgodoräkna sig andra lösningar med förändrade material för att uppnå funktionskravet. Helst ska man undvika att

ha styrande parametrar i en totalentreprenad. Går man in i en totalentreprenad och styr är det lätt att det blir ansvarstvister

Respondent 5 menar på att inget av kraven har varit begränsande. Möjligtvis att kravet på 23 procent hålrum var aningen högt. Det kräver en väldig precision av entreprenören att få till. Kanske hade det räckt med att sätta kravet på minst 20 procent hålrumshalt. Samtidigt är kravet något överflödigt då det är känt att det krävs en hög hålrumshalt för att uppfylla funktionskraven. Respondent 5 tror att en ordentlig muntlig genomgång vid kontraktsskrivandet och bra löpande kommunikation mellan beställare och entreprenör troligtvis föranlett en bättre lösning.

- Är det rätt att tillägga tekniska lösningar med utförandekrav i en totalentreprenad om man tar hänsyn till att många utländska, icke nordiska, entreprenörer lämnar anbud och faktiskt inte är naturligt bekanta med svenska vägförhållanden med avseende på klimat (frys-tö-cykler) och dubbdäcksanvändning?

Respondent 1 anser definitivt att detta kan vara ett problem. Många vill in på den svenska marknaden, både entreprenörer och konsulter. Det är viktigt att ha med olika typer av kvalificeringskrav i sina förfrågningsunderlag för att säkerhetsställa att anbudslämnande entreprenör är kapabel att leverera den efterfrågade produkten. Många utländska entreprenörer kan tyvärr ha hög svansföring och underskattar svenska vägförhållanden. Dessutom är det svårt när det saknas praktisk erfarenhet av exempelvis tjäle och frys-tö-cykler eller dubbdäcksanvändning. Lösningen på detta problem är inte att välja en utförandentreprenad eftersom asfalt är ett hantverk, vilket betyder att det inte går att strikt teoretiskt läsa sig till för att optimera en beläggning. Det är viktigt att ha erfaren personal som regelbundet arbetat i liknande förhållanden för att kunna vara bekanta med stenmaterial, emulsioner, basbitumen med mera. Detta eftersom problem kan uppstå om det av någon anledning blir så att någon av dessa komponenter måste bytas. Dessutom är många av sakerna omöjligt att beskriva i text, speciellt krav kopplade till produktion och väder. Att ställa detaljerade krav kopplat till produktion är inte Trafikverkets roll.

Respondent 2 anser att detta inte kan vägas in. Man måste förutsätta att alla entreprenörer tillgodogjort sig all fakta och kunskap som behövs för att leverera den beställda produkten. Det är entreprenörens uppgift att göra sig bekanta med svenska vägförhållanden. Det är omöjligt för Trafikverket att veta vilka specifika risker eller förhållanden en utländsk entreprenör inte känner till och således inget man kan ta hänsyn åt. Vad som istället är viktigt är att formulera krav och kvalifikationskriterier som kan sälla bort olämpliga entreprenörer som lämnar ett för lågt anbud. Bästa sättet är att ställa krav är på företagsnivå om referensprojekt. Sen är frågan hur kravet om referensprojekt bör ställas. I Flädie ställdes exempelvis inte krav om tidigare erfarenhet av dubbeldrän-beläggning eftersom detta hade utestängt en stor del av marknaden. Istället ställdes krav på likvärdiga vägprojekt med traditionella metoder.

Respondent 3 känner inte direkt till problemet. Många gånger är det ju svenska underentreprenörer som utför beläggningsarbetet eftersom en utländsk entreprenör inte rimligtvis har tillgång till ett eget asfaltverk utomlands. Huvudentreprenören som lämnar anbudet är skyldig att införskaffa sig kunskap om den svenska marknaden och de svenska förhållandena.

Detta gäller oavsett nationalitet och projekt. Det är upp till entreprenören i en totalentreprenad att förvisa sig om att man förstår alla de faktorer som kan påverka produkten och i förlängningen motverka att funktionskravet kan uppfyllas. Trafikverket kan ju givetvis hjälpa till att presentera klimatzon och dubbdäcksanvändning med mera.

Respondent 4 känner igen problematiken. Respondent 4 beskriver problematiken med att berätta att det finns entreprenörer som oavsett ambitionsnivå helt enkelt saknar erfarenhet om vad som är problematiskt i typiskt svenska vägförhållanden. Detta kan exemplifieras med stabilitetsproblem och tjäle. Vinterdriftsunderhållsåtgärder som på lågbullerbeläggning många gånger kan vara annorlunda eftersom beläggningen är mycket känslig mot mekanisk åverkan, samt problem med salt och sand. Framförallt kan det vara så att det annorlunda berg och stenmaterialet stället till problem med bland annat vidhäftning vilket endast praktisk erfarenhet kan avhjälpa.

Respondent 5 beskriver att man troligtvis inte räknat med en utländsk entreprenör när förfrågningsunderlaget togs fram. Det är förståeligt att samarbetet med en utländsk entreprenör kan försvåra projektet. I fallet med Flädie är det flera olika faktorer som bidrar. Bland annat spårkförbistring, inlagda utförandekrav i en totalentreprenad samt affärskulturella skillnader. Samtidigt vill Trafikverket ha utländska entreprenörer för att få konkurrens och i förlängningen lägre priser.

5.1.3 Bullerreducerande beläggningar i framtiden

- **Kommer det på sikt att leda till att lågbullerbeläggningar slutar att utvecklas om vi väljer utförandeentreprenader eller totalentreprenader med utförandekrav framför rena totalentreprenader?**

Respondent 1 anser att man i dagsläget behöver fundera i termer om hur man bäst kan främja utvecklingen av lågbullerbeläggningarna. Utmaningen i detta är dels att volymen av lågbullerbeläggningsprojekt idag är låg, dels att det är svårt att se kommande volymer. Detta i förlängningen leder till att det blir svårt att motivera entreprenörerna att faktiskt satsa pengar på utveckling. Respondent 1 tycker att ett branschsamarbete är en möjlig lösning på problematiken.

Respondent 2 nämner inledningsvis att det är Trafikverket som designar den tekniska lösningen så länge det är en utförandeentreprenad eller eventuellt en styrd totalentreprenad. Detta betyder att utvecklingen ligger hos Trafikverket, samtidigt som entreprenören endast behöver följa ett färdigt recept. Grundtanken är att ge entreprenören möjlighet att utföra tekniska lösningar. Detta är mer stimulerande för utvecklingen. Historiskt sett har det inte visat sig vara någon snabb teknikutveckling när Trafikverket själv står för projekteringen. Det finns helt enkelt inga incitament att komma med nya idéer. Även Respondent 2 påpekar att volymen lågbullerbeläggningar är relativt låg och att många entreprenörer helt enkelt inte är intresserade av att satsa pengar på dess utveckling.

Respondent 3 tror inte att lågbullerbeläggningar nödvändigtvis kommer sluta utvecklas om utförandekrav ställs istället för funktionskrav. Trafikverket behöver ofta vara med för att

driva en utveckling, men att det inte är något man klarar på egen. Många gånger använder entreprenören säkra metoder i en totalentreprenad i syfte att säkert uppfylla ställda funktionskrav. Det är ganska svårt att våga testa innovativa lösningar i en totalentreprenad för lågbullerbeläggningsprojekt eftersom beläggningsen redan har ett befläckt rykte. Det finns en risk som entreprenören helt enkelt inte vågar bra. Respondent 3 tror att det kan vara bra om Trafikverket är med och delar på denna risk. Rena totalentreprenader är nog inte rätt väg fram i dagens marknad.

Respondent 4 anser att Trafikverket inte vet mer än entreprenören om alla de detaljer som krävs för att anlägga en bra lågbullerbeläggning. Svaret på frågan om utvecklingen stagnerar med utförandekrav är därför ett tydligt ja. Om en entreprenör misslyckas totalt måste man våga att inte gå tillbaka till utförandeentreprenader där man försöker styra upp med egna krav man tror fungerar. Även Respondent 4 tar upp problematiken med den låga volymen och problematiken för entreprenörerna om olönsamheten att fortsätta utveckla produkten.

Respondent 5 menar på att entreprenörer i praktiken ofta använder beprövade metoder och sällan satsar stora egna medel på innovation. Precis som många av de andra respondenterna tror Respondent 5 att det är för låg volymandel bullerreducerande beläggningar, vilket gör det ryckigt och svårt för entreprenören att satsa på innovation om de inte vet att de kommer få igen satsade medel. I Huskvarna som var utformat som ett innovationsprojekt fick entreprenören betalt för sin teknikutveckling mot att Trafikverket fick full insyn i alla resultat, med potential att senare kunna köpa samma produkt av en annan entreprenör.

- Ser du någon framtid för bullerreducerande beläggningar i Sverige?

Respondent 1 tror att det gäller att vara förberedd. Bullerreducerande beläggningar är en viktig komponent i att reducera bullret. Det är dock inte att förglömma att det finns andra sätt att reducera bullret på än med tvåskiktsbeläggningar, exempelvis kan man kanske gå ner i maxstensstorlek.

Respondent 2 tror varken på en ökning eller minskning av bullerreducerande beläggningar i framtiden. Med tätare trafik ökar slitaget vilket gör att slittåliga beläggningar krävs. Tvåskiktsbeläggningsen blir kanske inte ett förstahandsval i ett nybyggnadsprojekt, utan istället väljer man kanske något med en lägre osäkerhet, där man vet vad resultatet blir. En bullerskärm exempelvis vet man vad den kommer att kosta och vilken nytta den kommer att generera. Det kan definitivt vara så att det blir relevant med en bullerreducerande beläggning på de platser där det finns erkända bullerproblem med begränsat utrymme för andra alternativa lösningar.

Respondent 3 tror precis som föregående respondent att volymen kommer att ligga konstant. Det finns vissa utpekade sträckor där satsningar redan gjorts. Huskvarna och Rotebro bland annat. Det krävs mycket insats och uppföljning. I Huskvarna testade man lite olika varianter av ballast, bindemedelshalter och förseglingar för att se vad som stod sig bäst mot spårdjup, stensläpp med mera. Respondent 3 nämner att många kommuner efterfrågar bullerreducerande beläggningar. Dessvärre är det så att ABD-beläggningsen är mycket känslig och inte tåler stående vatten eller skjuvande krafter. Dessutom är stadstrafik ofta i för låga hastigheter för att beläggningsen ska ge en märkbar bullerreduktion. Det är troligtvis inte dumt att försöka utveckla en beläggning med mindre maxstensstorlek som minskar buller med hjälp av en

jämnare yttextur. De begränsande faktorerna i Sverige är främst dubbdäck, vilket ofta gör att beläggningsen blir väldigt dyr i drift.

Respondent 4 hoppas på en framtid för lågbullerbeläggningar. Många platser är idag bullerutsatta på grund av trafikmiljön och det vore högst önskvärt att kunna reducera bullret direkt vid källan. För att detta ska bli verklighet krävs troligtvis en gemensam utveckling

Respondent 5 nämner att det delvis beror på politiken. Idag är det mycket fokus på mjuka parametrar, förtätning, byggnationer på mindre optimala platser och höga fastighetsvärden. Så länge det paradigmet råder tror Respondent 5 att vi kommer se fler lågbullerbeläggningsprojekt. Det är fullt möjligt att detta paradigm byts ut i framtiden.

- **Stålslagg, kan det vara intressant?**

Vissa av respondenterna nämner att stålslagg definitivt kan vara intressant i framtiden. Det är nog även så att den bullerreducerande beläggningsen i Huskvarna som lades om för något år sen innehåller partier med stålslagg. En av respondenterna nämner att stålslagg verkar bra, men med den nackdelen att friktionen vid noll grader verkar vara sämre än en konventionell beläggning. En annan respondent nämner att stålslagg visat sig vara bra och att materialet orienterar sig gynnsamt vid utläggningen för en optimal yttextur. En annan potentiell nackdel med stålslagg är att begreppet är väldigt brett och att det råder stor kvalitetskillnad mellan de olika ståslaggen på marknaden. Ytterligare en invändning som bör undersökas vidare är hur stålslagg står sig med tiden i beläggningsen. Det finns en risk för att ståslaggen är hårdare än stenmaterial och att detta i förlängningen leder till en ojämn textur.

5.1.4 Övrigt

- **Hur bör en lågbullerbeläggning av typ dubbeldrän underhållas?**

Intressanta ståndpunkter som tas upp är huruvida tvättning eller spolning av beläggningsen har någon faktiskt effekt. Tvättningen i Huskvarna har inte visat på någon som helst skillnad före eller efter spolningen beträffande akustiska egenskaper. Dock kanske det är så att beläggningsen är så bra dränerad och att självspolningen i detta fall, som aldrig ska tas för givet, är bättre än vanligt och att det just där och då inte behövdes spolas. Det är rimligt att anta att spolning av dubbeldrän inte medföra något negativt. Frågan är snare om det finns någon vinning med att spola.

I de fall Trafikverket tar fram en teknisk lösning är det i nuläget oklart ställt med att formulera krav och förutsättningar för drift- och underhåll. Någon respondent nämner att ansvaret för att tydliggöra drift- och underhållsinstruktionerna ligger på den som tagit fram den tekniska lösningen. I de fall Trafikverket tagit fram den tekniska lösningen är detta av vikt så att detta inte blir en diskussionspunkt vid ett senare tillfälle. Kanske bör man tydliggöra redan i förfrågningsunderlaget hur beläggningsen ska underhållas. Exempelvis att tydliggöra för entreprenören att gummiskär på plogen och ordinarie snöröjningsmetoder är att föredra.

- **Vad gäller för dubbeldränbeläggningar i problemområden som busshållplatser, broar och cirkulationsplatser?**

En respondent nämner att det är viktigt att tidigt kunna avfärda vissa placeringar om befintligheten inte är perfekt för en tvåskiktsbeläggning. En annan respondent nämner att de förutsättningar som finns också är det man helt enkelt får arbeta med. Finns det många korsningar är det troligtvis inte lämpligt att arbeta med en tvåskiktsbeläggning som produkt (med dagens kunskaper). En av anledningarna till att Huskvarna har lyckats är att de yttre förutsättningarna tillåtit projektet att lyckas. Här finns exempelvis få korsningar med skarvar till täta beläggningar, knappt några påfarter samt en naturlig längslutning. Vidare betonar en annan respondent att de i frågan nämnda situationerna är typiska problemområden där det kan vara bra att lägga över risken på entreprenören och ställa funktionella krav. Därefter är det upp till entreprenören att efter sin förmåga utveckla en lösning de tror på. En annan respondent tar upp att vid befintliga broar finns det ett typiskt exempel på när en risk kan vara svår att överföra till en entreprenör. Broar är täta och har sällan det tvärfallet som en tvåskiktsbeläggning behöver ha. Dessutom finns det inte sällan väldigt lokala klimat vid just broar. Det har i många fall visat sig uppstå bland annat vidhäftningsproblem i anslutning till, eller på, broarna.

6 Sammanvägd diskussion

6.1 Metoddiskussion

6.1.1 Litteraturstudie

Precis som nämnts i Avsnitt 2.1 där valet av metod presenterades så var syftet med litteraturstudien tvåfaldigt. Litteraturstudien genomfördes dels med målet att jag skulle tillgodose mig både teoretiska och praktiska kunskaper om lågbullerbeläggningar, och dels för att kunna bygga upp en pedagogisk och tydlig rapport. Svagheten med litteraturstudien är att materialet för att kunna tillgodogöra sig tillräckligt djupa kunskaper är något begränsat. Vad gäller litteratur som refererats i arbetet har jag valt att använda mig av främst VTI och Trafikverkets rapporter. Det är svårt att hitta uppdaterat material eftersom många företag helt enkelt inte offentliggör sina recept och tekniska lösningar helt då det råder marknadskonkurrens. Det finns däremot en uppsjö av utländska rapporter från bland annat Nederländerna, Belgien och USA. Dessa rapporter har enbart använts för att ge mig själv en kunskapsgrund. Anledningen till att de inte refererats in i denna rapport är på grund av de vitt skilda klimatförhållanden och regelverk som råder i de olika länderna jämfört med Sverige.

Litteraturstudien börjar medvetet väldigt brett för att sedan smalna av i de mer tekniska detaljerna för att slutligen återigen bredda i syfte att knyta ihop den problematiserade frågeställningen på ett logiskt, tydligt och konkret sett. Det är i min mening viktigt att kunna förstå lågbullerbeläggningar i allt från det breda perspektivet med avseende på samhällsekonomi och upphandling, samtidigt som full förståelse också bör finnas för fysikaliska samband och detaljlösningar för att kunna optimera livslängder och kravställningar. Ett annat val hade kunnat vara att i litteraturstudien stört dyka in i en teori om bullerreducerande beläggningar ur ett samhällsekonomiskt perspektiv och utelämna den tekniska biten om hur bulleremissionen uppstår. På så sätt hade studien eventuellt kunnat ha mer tid att fördjupa sig i fler fallstudier eller gjort en djupare analys av i vilka projekt en lågbullerbeläggning potentiellt kan ha mest samhällsekonomisk lönsamhet.

6.1.2 Fallstudie

Att fördjupa sig i Huskvarna-projektet kändes naturligt eftersom Trafikverket och VTI tillsammans har gjort en rad uppföljningar på beläggningen. Det är också härifrån mycket av dagens kunskap om lågbullerbeläggningar har förankrats, testats och utvärderats. Beträffande valet att fördjupa mig i projekt E6.02 Flädie var min ambition att precis som i avsnittet om Huskvarna-projektet bistå läsaren med uppföljande data om hur bullerreduktionen avtagit med tiden, andelen stensläpp och utvecklingen av spårdjup. Tyvärr var det inte möjligt att komma åt någon betydande mängd data vilket såhär i efterhand innebär att det kanske

hade varit smartare att fördjupa mig i ytterligare ett projekt utöver de två i denna studie. Att ha med projekt Flädie E6.02 var dock obligatoriskt eftersom förfrågningsunderlaget och kravställningarna därifrån ligger till grund för hela studien.

6.1.3 Intervjustudie

Valet att endast intervjua fem personer var för att erhålla ett djup och därmed också få kvalitet i svaren. I efterhand är jag väldigt nöjd med detta val eftersom samtliga respondenter besvarade intervjufrågorna efter sin bästa förmåga. Svårigheten och därmed en av nackdelarna med en kvalitativ intervju med öppna frågor är att många av svaren som levererats muntligt har transkriberats av mig. Därefter behövde jag som författare omformulera nästan varje enskild mening i syfte att erhålla ett acceptabelt skriftspråk i rapporten. Tyvärr var det omöjligt att sammanfatta resultatet i lättöverskådliga tabeller och grafer eftersom varje svar ofta hängde ihop med en specifik erfarenhet och historia. Inte heller underlättade det faktum att många av respondenterna har olika bakgrund, vissa var specialister, andra var generalister. Vissa av respondenterna jobbade på underhållsavdelningen och andra i tidiga planeringsfaser eller som projektledare. Detta ger givetvis studien en ökad bredd vilket också var syftet eftersom samtliga inblandade till slut alltid måste enas om en gemensam lösning. Optimalt hade ytterligare en handfull personer intervjuats men eftersom studien skett under en begränsad tid var detta inte aktuellt.

6.2 Resultatdiskussion

6.2.1 Val av entreprenadform

Samtliga respondenter var i princip helt eniga om vad som styr valet av entreprenadform i största allmänhet oavsett projekt. Däremot påpekar många att det i praktiken inte alltid är lika lätt som i teorin. Det finns en rad olika faktorer att ta hänsyn till. Bland annat är det viktigt att beakta vem som är lämpligast att bära risken, men också projektets komplexitet, möjlighet till innovation och för att kunna främja konkurrens. Svårigheten i detta verkar ligga i att på förhand lyckas identifiera dessa faktorer.

Beträffande lågbullerbeläggningsprojekt blev svaret på vilken entreprenadform som är lämpligast att det beror på. Sammanvägt lutar de fem respondenternas svar mot att en totalentreprenad är att föredra, eftersom det helt enkelt är ett aktivt mål branschen strävar mot. Dock är samtliga respondenter i princip helt överens om att det är viktigt att tänka över hur man formulerar sina krav. För att kunna välja en totalentreprenad måste främst två punkter uppfyllas. Den första ska vara att tydliga och mätbara funktionskrav ska kunna ställas. Den andra punkten som måste uppfyllas är att risken på ett rimligt och rättvist sätt ska vara överförbar till entreprenören.

De olika respondenternas svar är mycket talande och det är tydligt att en så pass viktig grundbult som att kunna välja rätt entreprenadform finns väl förankrad i branschen. Det svåraste i

valet av entreprenadform verkar alltså vara att identifiera projektets förutsättningar med avseende på risk, komplexitet och innovationsmöjlighet rent praktiskt samtidigt som man försöker bevara marknadskonkurrens och att uppfylla de av regeringen uppsatta målen. I många fall är dessa ovan nämnda faktorer motstridiga vilket gör valet av entreprenadform i lågbullerbeläggningsprojekt väldigt projektspecifika. Innan valet av entreprenadform fastställs verkar det vara viktigt att formulera de krav som verkar lämpligast. Att fastställa funktionskrav på just en lågbullerbeläggning verkar komma med svårigheten att verifiera dem. Det verkar som att erfarenheterna i Sverige av att utföra så pass komplexa och formella bullermätningar är begränsade, vilket kanske gör det olämpligt att välja totalentreprenader i många mindre lågbullerbeläggningsprojekt.

Det verkar vara så att en totalentreprenad leder till dyrare beläggningar för beställaren eftersom entreprenören bär en stor risk. På grund av den höga risken kan det mycket väl vara så att endast de allra största entreprenörerna är villiga att ta sig an ett lågbullerbeläggningsprojekt i en renodlad totalentreprenad. Konkurrensen blir lidande och utvecklingen riskerar att stå still eftersom innovation kan vara svårt att få till när Trafikverket ställer höga krav på bland annat spårdjup, jämnhet och bullerreduktion. I Flädie E6.02 ställdes krav om en initial bullerreduktion om 7 dB(A). På detta finns det en garantitid föreskriven i ABT06 om fem år som ofta görs avsteg ifrån och väljs till tio år istället, i syfte att stimulera ökad kvalitet. Detta verkar inte helt rimligt att ställa så höga krav på en så utsatt marknad som den för lågbullerbeläggningar.

I utförandeentreprenader står Trafikverket för projekteringen och utförandekraven. Det råder en enighet bland respondenterna att innovationsgraden minskar. Vissa av respondenterna anser att det tveklöst är så att entreprenörerna sitter på den bästa och mest uppdaterade kompetensen på marknaden om detaljlösningar beträffande material, bindemedel och produktionen som helhet.

6.2.2 Projekt Flädie E6.02 och utförandekrav i en totalentreprenad

Respondenterna lämnade väldigt olika svar på dessa frågor. Över lag är respondenterna emot att ställa specifika utförandekrav i en totalentreprenad. Vissa nämner att kraven var väldigt löst formulerade och bjöd in till godtycklighet och missuppfattningar. Några tyckte att kraven var rimliga men kanske något begränsande. Speciellt begränsande verkar kravet om 23 procent eller mer i hålrums halt ha varit. I litteraturstudien fann man att hålrums halten är otroligt viktigt i en tvåskiktsbeläggning för att erhålla en tillfredsställande teknisk och akustisk livslängd. Hamnar man under 20 procent hålrums halt verkar det som att beläggningsen snabbt täpps till och tappar i både beständighet och bullerreduktion.

Samtliga respondenter är i princip överens om att kraven i sig själva är framgångsfaktorer för en i dagens mått mätt god livslängd på en bullerreducerande beläggning. Kraven som ställdes var inspirerade av de framgångar som Huskvarna-projektet erhållit men också av det senaste decenniets lärdomar. Dock råder inga tvivel om att många av respondenterna i stort tycker kraven bör undvikas, främst för att slippa onödiga låsningar av projektering och pro-

duktion, men framförallt för att minimera risken i att hamna i rättsliga tvister. Vissa respondenter nämnde i sina svar att det antagligen är bättre att föra en öppen diskussion med entreprenören löpande och på så sätt lämna de fyra kraven som ett par goda råd istället.

6.2.3 Bullerreducerande beläggningar i framtiden

Samtliga respondenter är överens om att det är svårt i att förutspå framtiden för lågbullerbeläggningarna. Alla verkar överens om att bullerproblematiken kommer att kvarstå eller rent av förvärras med tiden. Frågan är bara vilken lösning som blir framtidens. En väg att gå verkar vara att försöka fortsätta utveckla tvåskiktsbeläggningarna. I litteraturstudien nämns det bland annat att bindemedlet fortfarande har en viss utvecklingspotential, denna utveckling kan vara central för att minimera stensläpp och spårdjup. Det kan därför bli problematiskt att enbart välja utförandeentreprenader eftersom detta inte motiverar entreprenören att använda nyutvecklat och dyrt bitumen i sina projekt. Några respondenter nämner att det kan finnas andra vägar att vandra än tvåskiktsbeläggningar. Kanske satsa mer på beläggningarna med mindre maxstensstorlek för att reducera bullret, eller också i ett tidigt skede i stadsplaneringen vid nybyggnation planera smart. Beläggningarna med mindre maxstensstorlek har initialt en lägre bullerreduktion än tvåskiktsbeläggningarna men har potential att kunna stå sig bättre med tiden. Fördelen med detta verkar vara att det blir lättare att utföra beräkningar som kan räkna hem lösningen på ett samhällsekonomiskt plan.

För att utveckla tvåskiktsbeläggningarna är problemet enligt samtliga respondenter att volymen av bullerreducerande beläggningar idag är väldigt låg. Detta är helt klart problematiskt och leder till att entreprenörerna helt enkelt inte motiveras att satsa på utvecklingen och spendera pengar på något de inte förväntas få något tillbaka.

6.2.4 Övrigt

Det är tydligt att vissa litteraturstudier och intervjusvar påvisar motstridigheter i nyttan av att spola tvåskiktsbeläggningarna regelbundet. Nilsson (2016) nämner i sin SBUF-rapport att det kan uppnås upp till 1 dB(A) förbättrad bullerreduktion vid spolning. Erfarenheterna i Huskvarna visade inte på några förändringar, men det är fullt möjligt att det precis som Nilsson (2016) nämner kan vara viktigt att proaktivt rengöra regelbundet. Givetvis är spolning och tvättning av beläggningarna något som måste vidareutvecklas och undersökas djupare. Framförallt, precis som Nilsson (2016) nämner, bör tydliga utvärderingsmetoder försöka fastställas. Värt att nämna är att ingen respondent gick in på djupet om försegling som preventiv åtgärd mot stenlossning. Det verkar vara så att förseglingar hjälper mot stenlossning men att det är ett hantverk i att lägga ut så tunt det bara går för att inte skada beläggningens hålrum och därmed både teknisk och akustisk livslängd.

Beträffande de tekniska utmaningarna vid busshållplatser, broar och cirkulationsplatser verkar det råda konsensus om att det verkar lämpligast att avfärda lågbullerbeläggningen av typ dubbeldrän på dessa platser. Samtidigt är det också här en stor del av utvecklingen skulle kunna ske med hjälp av förbättrat bitumen, stålslagg eller andra typer av lösningar.

7 Slutsats

7.1 Rekommendationer för framtiden

Studien har påvisat att det råder relativt stor enighet bland de sakkunniga om vilka tekniska framgångsfaktorer som är viktiga att ha kunskap om i ett lågbullerbeläggningsprojekt. Där emot verkar det råda en del osäkerhet i frågan om när en lågbullerbeläggning av typ dubbel-drän är den optimala lösningen för att reducera vägtrafikbullret. Beläggningsen är känslig och absolut inte lämplig att anlägga på vilken vägsträcka som helst. Det är av allra yttersta vikt att på förhand identifiera och utvärdera de yttre förutsättningar som råder i varje unikt projekt. Det verkar som att en hel del yttre förutsättningar måste uppfyllas för att lågbullerbeläggningsen ska ha en chans att erhålla erforderlig beständighet och ljudabsorption för att vara ekonomiskt lönsam. Dessa förutsättningar, baserat på litteraturstudie och intervjuer är enligt följande:

- Trafikmängden får inte vara för hög. Huskvarna som lyckats bra har cirka 30 000 ÅDT. Rotebro i Stockholmstrakten hade troligtvis alldeles för hög ÅDT.
- Skyltad väghastighet bör vara minst 70 km/h och andelen tung trafik ska helst inte vara noll. Detta är viktigt eftersom självrensning uppstår tack vare däcktrycket som pressar igenom vattnet och rensar beläggningsen.
- Andelen fordon med dubbdäck ska helst vara så låg som möjligt. Troligtvis lägre andel desto längre söderut i landet som projektet äger rum.
- Lågbullerbeläggningsen bör anläggas på en naturlig längslutning. Alltså i en backe, detta så att vattenavrinning även kan ske i längsled.
- Skjuvande krafter är inte bra för beläggningsen. Därför bör cirkulationsplatser, buss-hållsplatser och korsningar vara väldigt få.
- Skarvar med konventionell beläggning kan vara problematiska. För många av- och påfarter kan alltså vara negativt för beläggningsen lokalt. I start och ändpunkt av beläggningsen är bullerreduktionen och beständigheten alltid lägre eftersom dessa delar snabbare täpps igen av partiklar och smuts. Förläng skarven minst 100 - 200 meter för akustikens skull och var medveten om att dessa partier kan vara extra skadebenägna.
- Broar kan vara problematiska och bör undersökas separat i varje fall, detta eftersom lågbullerbeläggningsen av typ ABD är dränerande och möts av en tät kantbalk.
- Befintlig terrass och väg får inte ha för låg bärighet och befintligt tillstånd bör kunna kontrolleras.

Först om alla, eller åtminstone nästan alla av de ovan givna förutsättningarna uppfylls är det enligt mig lämpligt att överväga en dubbeldrän-beläggning. Det är därför essentiellt att kommunikation och samspel finns i ett extremt tidigt skede mellan samtliga avdelningar hos beställaren (Trafikverket i detta fall). Tekniskt sakkunniga och de som jobbar med beläggningsfrågor och underhåll måste lyckas kommunicera och samarbeta med anställda på planering- och investeringsavdelningar om och när en lågbullerbeläggning är lämplig att anlägga. Då är de ovan nämnda yttre förutsättningarna bra att tillsammans ha kontrollerat innan projektet fortskrider.

Rätt väg att gå i framtiden, åtminstone i de större projekten, är enligt min rekommendation, att beställare, entreprenörer och VTI tillsammans satsar i en stor samverkansentreprenad på att utveckla produkten och att Trafikverket är med och delar på risken. Motiveringen till detta är att med tanke på alla ovan uppräknade förutsättningar är det tyvärr inte troligt att tvåskiktsbeläggningen blir en gängse produkt. Beläggningen har all potential att uppfylla bullerreduktion om 3 - 8 dB(A) över flera års tid om ovan uppräknade förutsättningar är utstuderade. Det kan därför anses vara rimligt att i de få projekt där man kanske väljer att satsa på en dubbeldrän gör det ordentligt. Annars bedöms just nu möjligheten till utveckling i utförandeentreprenader eller totalentreprenader, med eller utan tillskrivna utförandekrav, att vara låg.

I mindre projekt där en större samverkan och en gemensam satsning mellan entreprenör och beställare inte är rimlig bör man utifrån samtliga förutsättningar försiktigt välja den lämpligaste entreprenadformen. Visar det sig att den lämpligaste formen är en ren totalentreprenad så bör inga utförandekrav tillskrivas utan i så fall endast lämnas som goda råd. Jag tror att det är extra viktigt att inte styra entreprenörerna för mycket i detta skede just med tanke på att bland annat stålslag och andra alternativ till bullerreduktion än just tvåskiktsbeläggningar fortfarande är möjliga. Det verkar inte heller som att stålslag har möjlighet att nå 23 procent hålrums halt, eller 7 dB(A) bullerreduktion initialt (funktionskrav i Flädie E6.02).

Jag tror därmed, enligt styckena ovan, att det är väldigt viktigt att de ställda funktionskraven ligger lägre än vad de gjort i bland annat Flädie E6.02. Detsamma gäller garantitiderna, tio års garantitid för en lågbullerbeläggning riskerar att skrämja bort fler entreprenörer än vad marknaden har råd med. Med stöd av respondenterna anser jag att det kan vara värt att även försöka utveckla en beläggning vars bullerreduktion är konstant i tiden, men något lägre än tvåskiktsbeläggningen initialt. Detta är precis som vissa av respondenterna varit inne på troligtvis ett jobb för entreprenör, eller entreprenör plus beställare tillsammans. Av litteraturstudien att döma finns det fortfarande mycket att utveckla vad gäller bindemedel, produktion, stålslag beläggningar med mindre maximal stenstorlek och valet av var lågbullerbeläggningen lämpligast anläggs. Samtliga uppräknade utvecklingsområden förutom det allra sista gör troligtvis entreprenören bäst. Med eller utan Trafikverket utvecklingssamarbete med Trafikverket.

Slutligen vill jag också poängtera att det i ett tidigt skede kan vara bra att tänka över drift- och underhållsåtgärder av beläggningen. En tvåskiktsbeläggning är ytterst känslig mot mekaniska åkommor och bör plogas på ett specifikt sätt med bland annat gummiskär på plogen, den tåler inte heller att sandas. Det kan vara bra att i de projekt där Trafikverket står för den

tekniska lösningen (utförandeentreprenader) redan i förfrågningsunderlaget specificera vilket typ av drift- och underhåll som förväntas.

7.2 Förslag på fortsatta studier

- Drift och underhåll av tvåskiktsbeläggningar, speciellt med avseende på effekter av tvättning och spolning.
- Följa upp och utvärdera projekt Flädie E6.02 om några år när beläggningen är tillräckligt gammal och mätdata på bullerreduktion, stenlossning och spårdjup tagits fram. Det kan då bli extra intressant att jämföra detta med exempelvis Huskvarna.
- Genomföra fullständiga LCA och samhällsekonomiska kalkyler av lågbullerbeläggningar för att kunna utvärdera den med en rättvis metod. Speciellt mot traditionell beläggning med bullerplank. En lågbullerbeläggning kan i en ren produktionskalkyl aldrig stå sig mot en standard ABS 16. Däremot kommer andra fördelar med exempelvis en ABD-beläggning som att den är dränerande och därmed trafiksäker, men även att den reducerar bullret vid källan, vilket gör att lösningen gynnar personer både inom- och utomhus, samt att den bevarar områdets estetiska värde.
- Teoretiskt och laborativt fortsätta undersöka olika typer av stålslagg inblandat i ABD-beläggningar. Detta eftersom det verkar vara stor spridning på stålslagg som produkt. Men även hur friktion, skjuvhållfasthet, vidhäftningspotential och stabilitet står sig med tiden.

8 Referenser

- Agardh, S. & Parhamifar, E. (2014). *Vägbyggnad*. Liber AB, Stockholm.
- Boverket (2019). *Olika typer av buller*.
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/buller-vid-detaljplanering/olika-typer-av-buller/> [2020-01-18]
- Dickson, C. & Thorén, J. (2014). *Kartläggning av antalet överexponerade för buller*. Sweco, Naturvårdsverket. <https://docplayer.se/6396828-Rapport-kartlaggning-av-antalet-overexponerade-for-buller-naturvardsverket-sweco.html> [2020-03-03]
- Ejsmont, A. & Sandberg, U. (2002). *Tyre/road noise reference book*. First edition. Informex, Kista, Sverige.
- Engström, M. & Ulmgren, N. (2010). *Tysta gatan – om bullerreducerande beläggningar*. Sveriges kommuner och landsting. Stockholm.
- Eriksson, P.E. & Hane, J. (2014). *Entreprenadupphandlingar - Hur kan byggherrar främja effektivitet och innovation genom lämpliga upphandlingsstrategier?* Konkurrensverket, uppdragsforskningsrapport 2014:4 http://www.konkurrensverket.se/globalassets/publikationer/uppdragsforskning/forskrap_2014-4.pdf
- Fahlström, S. & Wallin, T. (2008). *Asfaltboken*
<http://www.asfaltboken.se/tillsatsmedel/> [2020-04-01]
- Folkhälsomyndigheten (2019a). Hälsoeffekter av buller och höga ljudnivåer
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/publicerat-material/publikationsarkiv/h/halsoeffekter-av-buller-och-hoga-ljudnivaer/?pub=60532> [2020-01-14]
- Folkhälsomyndigheten (2019b). *Om ljud och buller*
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/publicerat-material/publikationsarkiv/o/om-ljud-och-buller-/?pub=60517> [2020-01-28]
- Folkhälsomyndigheten (2017). *Miljöhälsorapport 2017*. Version 2.
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/c44fcc5df7454b64bf2565454bbdf0e3/miljohalsorapport-2017-02096-2016-webb.pdf>
- Hansson, B. Olander, S., Aulin, R., Landin, A. och Persson, U. (2015). *Bygglösning projektering* upplaga 1:1. Specialtryckeriet A/S, Danmark.
- Höboda, P. (1998). *Vattenkänslighet hos asfaltbeläggning: En litteraturutredning*. VTI notat 35-1998, Linköping
- Höst, M., Regnell, B. & Runeson, P. (2006). *Att genomföra ett examensarbete*. Studentlitteratur AB, Lund.
- Jacobson, T. & Viman, L. (2015a). *Provtagningsförsök på E4 Huskvarna med bullerreducerande asfaltsbeläggning*. VTI rapport 842, Linköping.
- Jacobson, T. & Viman, L. (2015b). *Erfarenheter av bullerreducerande beläggningar*. VTI rapport 843, Linköping.

- Jansson, L. (2015). *Beständigare bullerdämpande beläggningar: Etapp II* SBUF. ID 12704, Stockholm.
- Kragh, J., Bendtsen, H. & Hildebrand, G. (2012). *Noise classification for tendering quiet asphalt wearing courses*. Danish institute, Guldalderen 12, 2640, Hedelhusene, Danmark
- Nilsson, E., Johansson, A-C., Brunskog, J., Sjökvist, L-G. & Holmberg, D. (2005). *Grundläggande akustik*. 3. uppl., Lund: Studentlitteratur.
- Nilsson, R. (2016). Funktionell rengöring av bullerreducerande beläggningar SBUF rapport, Solna.
- Sandberg, U. (2012). *Lågbullerbeläggning i Sverige, State-of-the-art* VTI projektrapport.
- Sandberg, U. (2001). *Tyre/road noise – Myths and realities* VTI särtryck 345.
- Schaaf, K. & Ronnenberger, D. (1982). *Noise radiation from rolling tyres - Sound amplification by the "Horn-effect"*. San Francisco, California, USA.
- Strömmer, K. (2018). *Exponerade för vägtrafikbuller år 2030 – Trafik enligt basprognoser eller enligt klimatscenario 3*. Trafikverket 2018:199
https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/52460/Ineko.Product.RelatedFiles/2018_199_exponerade_for_vagtrafikbuller_ar_2030.pdf
- Trafikverket (2020a). *Vision, uppdrag och värderingar*.
<https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/visionuppdrag-och-varderingar/>
 [2020-03-20]
- Trafikverket (2020b). *Buller och vibrationer*.
<https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/Miljo-och-halsa/>
 [2020-03-08]
- Trafikverket (2019). *Trafikverkets arbete med produktivitet och innovation i anläggningsbranschen*.
https://www.trafikverket.se/contentassets/1160ae4fe6504bba8e3629eee4b60d7c/trafikverkets Produktivitetsarbete_2019_slutversion.pdf
- Trafikverket (2018a). *Trafikverkets arbete med produktivitet och innovation i anläggningsbranschen*.
https://www.trafikverket.se/contentassets/faf06a1e99bf4024ab4e8680e9ed59aa/trafikverkets Produktivitetsarbete_slutversion.pdf
- Trafikverket (2018b). *Insatser på E6 och E6.02 har lett till bättre framkomlighet och tryggare trafikmiljöer*.
<https://www.trafikverket.se/om-oss/nyheter/Lansvisa-nyheter/Skane/2018-12/insatser-pa-e6-och-e6.02-har-lett-till-battre-framkomlighet-och-tryggare-trafikmiljoer/> [2020-04-10]
- Trafikverket (2017). *Mått för ljudnivåer*
<https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/buller-och-vibrationer---for-dig-i-branschen/Fakta-om-buller-och-vibrationer/matt-for-ljudnivaer/> [2020-01-28]
- Trafikverket (2014). *Val av beläggning: Kunskapsdokument*
https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/12329/RelatedFiles/2014_173_val_av_belagging.pdf
- Van Keulen, W. & Duskov, M. (2005). *Inventory study of basic knowledge on tyre/road noise*. Rijkswaterstaat, Nederländerna.

Viman, L. & Said, S. (2015). *Slaggasfalt, delrapport B – Stabilitet och skjuvegenskaper hos slaggasfalt.*

VTI notat 19-2015, Linköping.

Waye, K., Smith, M., & Ögren, M. (2017). *Hälsopåverkan av lågfrekvent buller inomhus.* Arbets- och miljömedicin, Göteborgs universitet.

Bilaga A

Intervju-mall

- 1.** Som beställande myndighet har Trafikverket, av regeringen, tilldelats ett stort ansvar i att verka för en ökad innovation, produktivitet och effektivitet i anläggningsbranschen. Ett sätt att aktivt sträva mot ovan beskrivna mål är genom att förespråka totalentreprenader över utförandeentreprenader.

I samband med lågbullerbelägningsprojekt har olika entreprenadformer använts i olika projekt. I vissa fall även en mix där totalentreprenaden innehållit utförandekrav.

 - a)** Vad är det egentligen som ligger bakom valet av entreprenadform?
 - b)** Vilken entreprenadform är egentligen att föredra och varför?
 - c)** Vilka fördelar och nackdelar ser du med de olika entreprenadformerna kopplat till lågbullerbelägningsprojekt?

- 2.** I projekt Flädie E6.02 ställdes 4 utförandekrav i totalentreprenaden. Kraven enligt nedan;
 - ❖ Högmodifierat bitumen med god vidhäftning och åldersbeständighet
 - ❖ Bindemedelshalt på minst 6,3%
 - ❖ Tvärfall om minst 3%
 - ❖ Hålrums halt om minst 23%
 - a)** Anser du att något eller några av dessa krav kan ha ”räddat” projektet?
 - b)** Anser du att något krav kan ha varit onödigt begränsande?

- 3.** I projekt Flädie-Lund E6.02 (totalentreprenad) återfanns som sagt fyra utförandekrav på den tekniska lösningen. Det verkar råda delade meningar om huruvida det är ett korrekt förfarande att tillägga utförandekrav i en totalentreprenad.
- a)** Vad är din spontana åsikt om detta? Är det något du hade gjort om/rekommenderat baserat på dina kunskaper och erfarenheter. Varför? varför inte?
- b)** Är det rätt att tillägga tekniska lösningar med utförandekrav i en totalentreprenad om man tar hänsyn till att många utländska, icke nordiska entreprenörer, lämnar anbud och faktiskt inte är bekanta med svenska vägförhållanden med avseende på klimat (frys-tö-cykler) och dubbdäcksanvändning?
- c)** Vad är syftet med att välja en totalentreprenad med funktionskrav (bullerreduktion) och samtidigt lägga in utförandekrav? Är det inte lika bra att ha en ren utförandeentreprenad från första början i så fall?
- 4.** Lågbullerbeläggningar har genom åren präglats av problem med både teknisk och akustisk livslängd. Det finns således anledning att aktivt följa de övergripande mål Trafikverket har om ökad innovation för att utveckla beläggningarna. De utförandekrav som ställdes i Flädie - Lund E6.02 innehöll bland annat ett krav om en hålrums halt på minst 23% (borrkärnor). **Finns det enligt dig ett problem i detta?** Tänk om entreprenörerna vill testa något med exempelvis stålslagg som kan ha svårt att nå just 23% hålrum. Tänk om entreprenörerna i framtiden inte satsar resurser på forskning och utveckling av beständigare bullerreducerande beläggningar.
- a)** Kommer detta på sikt att leda till att lågbullerbeläggningar slutar att utvecklas om vi väljer utförandeentreprenader eller totalentreprenader med utförandekrav framför rena totalentreprenader
- b)** Ser du över huvud taget en framtid där bullerreducerande beläggningar faktiskt är något vi bygger i Sverige om 10 år?
- c)** Finns det en risk i att vi idag bygger för lite bullerreducerande beläggningar, vilket i förlängningen kan göra det kontraproduktivt med en totalentreprenad eftersom entreprenörerna riskerar att ha låg kompetensnivå och erfarenhet.

5. En lågbullerbeläggning är som bekant ytterst känslig och svår att optimera med avseende på teknisk och akustisk livslängd, många faktorer måste uppfyllas och samspela. Det är extra problematiskt i skarvar, exempelvis i korsningar med andra täta beläggningar. Problem uppkommer även över broar, eller på busshållplatser där hastigheterna är lägre med stora skjuvkrafter.

a) Finns det en risk i att välja en totalentreprenad i dessa projekt just nu? Är marknaden redo för detta? Eller tror du att Trafikverket ska och bör stötta entreprenörerna som läget ser ut just nu med antingen en utförandeentreprenad eller totalentreprenad med utförandekrav?

b) Vilka tekniska faktorer är viktiga här? Skarvar, broar, busshållplatser.

Extrafrågor om tid finns

6. Varför lyckades Huskvarna? Tekniska lösningar? Optimal trafiksammansättning och trafikmängd? Entreprenadformen (samverkan?), Satsningen? Tur?

7. Vad tror du om bullerreducerande beläggningars framtid? Hur ska vi nå en så bra framtid för dem så möjligt, svaret är väl inte att ställa utförandekrav, det antyder på något sätt att vi är nöjda med vart utvecklingen står?

8. Vad tror du om stålslag inblandat i bullerreducerande beläggningar? Lyckades bra på teststräckan i Huskvarna. VTI har även nämnt om att det är värt att i framtiden ”testa mer”

9. Den österrikiska entreprenören lämnar ett anbud man vinner med (Flädie-Lund E6.02), och säger sedan att man inte kan uppfylla kraven om funktion och utförande på samma gång. Varför går Trafikverket sedan med på att minska garantitiden och bullerreduktionskravet när de från början varit införstådda med förfrågningsunderlagets krav? Har Trafikverket varit för snälla här?

10. Att i en totalentreprenad exempelvis ställa funktionskrav på stenmaterialets densitet för att leda entreprenören till att använda exempelvis stålslag eller diabas (kanske för förbättrad vidhäftning) är ett sätt att omforma ett utförandekrav till ett funktionskrav. Är detta ok? Betyder detta inte att vi valt fel entreprenadform eller ställt onödigt otydliga krav?