

Gummiasfaltbeläggning

Sammanställning

av utförda mätningar och provningar



gummigranulat

Leif Viman

Förord

VTI har på uppdrag av Trafikverket (f.d. Vägverket) utfört laboratorieundersökningar och fältmätningar på de gummiasfaltbeläggningar som Trafikverket introducerat i Sverige under senare år. Thorsten Nordgren och Mats Wendel från Trafikverket har varit ledande när det gäller införandet av denna teknik i Sverige.

Vägverket ombildades till Trafikverket den 1 april 2010. Vi har därför valt att använda namnet Trafikverket (TRV) genomgående i denna rapport även om det formellt hette Vägverket i början av projektet.

Detta utlåtande är en sammanställning över VTIs mätningar med referenser till de rapporter som skrivits inom de olika disciplinerna bullermätningar, Ulf Sandberg, partikelstudier, Mats Gustafsson, friktionsmätningar, Nils-Gunnar Göransson och laboratieförsök, Leif Viman.

Mätningarna har utförts av Jurek Ejsmont (bullermätningar), Tomas Halldin (partikelstudier), Sven-Åke Lindén (friktionsmätningar) och Andreas Waldemarson och Hassan Hakim (laboratieförsök).

Avsnitten om buller och rullmotstånd har skrivits av Ulf Sandberg och avsnittet om friktion av Nils-Gunnar Göransson och avsnittet om partiklar av Mats Gustafsson, medan övriga avsnitt skrivits av Leif Viman

Denna sammanställning innehåller även resultat från andra institut, konsulter mm som varit involverade i uppföljningen av gummiasfalten ur olika aspekter, från teknik till energi och miljöfrågor.

Ur teknisk aspekt har både täta och öppna beläggningstyper studerats, både ABS-liknande koncept, där de grövre stenarna bildar ett stabilt skelett och öppna beläggningar, liknande ABD, där syftet är att dränera asfalten vid regn men främst att reducera bullernivåerna där vägarna går genom eller i närheten av bostadsområden. Beläggningar med högt hålrum absorberar ljud men är samtidigt tekniskt känsliga produkter som kan ge alltför korta tekniska livslängder. Gummiasfalt har även med framgång använts som slitlager över cement och betongstabiliserade lager för att reducera reflektionssprickor genom beläggningsslagren.

Sammanställningen har ambitionen att summera de erfarenheter som gummiasfalten givit för Svenska förhållanden utan att för den skull påstå sig ha svar på alla frågeställningar som är sammankopplade med denna produkt.

Samtliga rapporter som denna rapport refererar till kan laddas ner från Trafikverkets hemsida. Slutmålet med utvärderingen av gummiasfalt är att svara på frågan:

Är detta en produkt för det Svenska vägnätet?

Linköping 2011-04-14

Leif Viman

VTI

Innehållsförteckning

Sammanfattning/Summary

1	Bakgrund	6
2	Definitioner och termer	7
3	Beskrivning av tekniken med gummi-asfalt	8
3.1	Utrustning	8
3.2	Utförande	8
4	Vägojekt med gummi-asfaltbeläggning	9
5	Utförda mätningar och provningar i laboratorium	11
5.1	Objekt E6 Ringvägen i Malmö (VTI)	11
5.2	Objekt E18 Bergshamra (Skanska och ASU)	15
5.3	Objekt V180 Alingsås (Svevia)	16
5.4	Objekt E22 Söderleden i Norrköping (VTI och ASU)	18
5.5	Slutsatser	18
6	Utförda mätningar i fält	20
6.1	Buller	20
6.2	Rullmotstånd	21
6.3	Friktion	23
6.4	Slutsatser	23
7	Miljöutredningar	24
7.1	Omgivande miljö	24
7.2	Arbetsmiljö	26
7.3	Partiklar	27
8	Riskhantering	30
9	Slutsatser och rekommendationer för gummi-asfaltprojektet	31
10	Referenser	32

Sammanfattning

Trafikverket har under 2007-2009 utfört ett 15-tal beläggningsobjekt med gummiasfalt på olika platser i Sverige, främst i storstadsregionerna Stockholm, Göteborg och Malmö. De första sträckorna utfördes dock i Småland mellan Eksjö och Vetlanda. Tekniken med gummiasfalt har inhämtats från Arizona, USA, där man har lång erfarenhet av denna beläggningstyp, som bygger på återanvändning av gamla bildäck. Däcken mals ner till ett gummigranulat som blandas in i bitumen i ett särskilt blandningsverk som ansluts till ett asfaltverk.

Man har haft flera syften eller förhoppningar vid införandet av denna beläggningstyp. Främst ökad livslängd, men även bullerdämpande effekter samt sprickreducerande förmåga vid beläggningar på cementstabiliserade lager. Dessutom har miljöaspekten varit en viktig fråga genom hela projektet, där erfarenheter från USA inhämtats men där det även utförts många kompletterande studier i Sverige, både vad gäller omgivande miljö och arbetsmiljö.

Ingen av dessa miljöundersökningar visar på några påtagliga/allvarliga effekter i samband med gummiinblandning i asfaltbeläggning, varken avseende arbetsmiljö (utsläpp av giftiga ämnen, främst polycykliska aromatiska kolväten s.k. PAH) eller omgivningsmiljö (emissioner till luft och vatten). Resultaten visar att gummiasfalt inte innebär några ökade risker jämfört med konventionell beläggning så länge temperaturen hålls under ca +175 °C.

När det gäller de tekniska egenskaperna har resultaten hittills visat att den ”våta blandningstekniken” fungerar väl enligt de vägytemätningar och laboratorietester som hittills utförts. De flesta objekten inom detta projekt har utförts med gummibeläggningar av GAP-typ (motsvarar i princip ABS). Svårigheter av olika slag uppstår alltid vid införande av nya tekniker. För konceptet med den öppna beläggningstypen GAÖ har både positiva och negativa resultat erhållits varför denna beläggningstyp behöver utvecklas ytterligare för att erhålla en pålitlig beläggning med tillräcklig beständighet. Konceptet där gummibeläggning använts som slitlager på en betongkonstruktion för att reducera reflektionssprickor har givit mycket lovande resultat men här finns troligen potential att ytterligare förbättra detta koncept.

Några av de erfarenheter som projektet hittills givit är att:

- Beläggningstypen GAP har fungerat väl på samtliga objekt medan GAÖ behöver utvecklas vidare
- Utlakade halter och ackumulerade utlakade mängder av de flesta analyserade ämnen och föreningar är låga från bitumenasfalt (både med och utan tillsats av gummi)
- Samtliga gummiasfaltbeläggningar har mycket god friktion både direkt efter utläggning och efter några års trafik.
- Bullermätningarna har visat på intressanta bullerreduktioner hos den öppna varianten (GAÖ) av gummibeläggningar men inte på den täta varianten (GAP).
- Rullmotståndet tycks inte påverkas av gummiinblandningen.
- Gummiinblandning i asfalten verkar generellt reducera generering av PM₁₀ vid dubbdäcksslitage, men reduktionen är beroende av konstruktion. T.ex. gav inte den öppna beläggningen GAÖ11 någon reduktion.

För att bedöma livslängder måste dessa objekt följas upp under kommande år för att kunna avgöra om merkostnaden med gummiasfalten kompenseras av längre livslängd jämfört med konventionella beläggningar. Dessutom måste även miljöaspekterna ytterligare undersökas så att man inte bygger in framtida problem vid t.ex. återvinning av gummiasfalten.

Summary

The Swedish Transport Administration was performed, during 2007-2009, about 15 road sections with Asphalt Rubber in various locations in Sweden, especially in regions of Stockholm, Gothenburg and Malmö. The first however, was carried out between Eksjö and Vetlanda in the region Småland. The technology of Asphalt Rubber has been obtained from Arizona, United States, which has long experience of this mix type, based on recycling of tires. The tires are milled to a rubber granules mixed into the bitumen in a special mixer, connected to an ordinary asphalt plant.

There were several aims or hopes for the introduction of this mix type. Mainly longer life, but also noise-reducing effects and ability of less crack propagation in pavements on cement stabilized layers. In addition, the environmental aspect was an important issue throughout the project, where the U.S. experience acquired but also carried out many further studies in Sweden, both in terms of ambient environment and work environment.

None of these environmental studies show no obvious/serious effects in the Asphalt Rubber mixes neither on work environment (release of toxic substances, mainly polycyclic aromatic hydrocarbons PAH) or the ambient environment (emissions to air and water). The results show that Asphalt Rubber does not involve any increased risk compared with conventional mixtures as long as the temperature is kept below about 170 ° C.

As regards the technical characteristics, the results have so far shown that the "wet mixing technique" works well according to road surface measurements and laboratory tests conducted so far. Most items under this project has been carried out with the Asphalt Rubber mix type GAR (corresponds roughly to SMA). Various difficulties always arise when introducing new technologies. For the concept of the open mix type OGAR has both positive and negative results obtained so this pavement needs to be further developed to obtain a reliable pavement with adequate durability. The concept is where Asphalt Rubber are used as wearing course on a concrete structure to reduce reflection cracking has yielded very promising results but here are probably a potential to further improve the concept.

Some of the experience of the project is that:

- GAR mix type has worked well on all items while OGAR needs to be developed further
- Leached concentrations and total release of most analyzed elements and compounds is low from bituminous concrete (both with and without the addition of rubber)
- All rubber asphalt has very good friction both immediately after ompaction of the pavement and after some years of traffic.
- Noise measurements have shown interesting noise reductions in the open variant of rubber pavement (OGAR), but not on the high-density variant (GAR).
- Rolling resistance seems not affected by the rubber mixture.
- Rubber mixes generally seems to reduce the generation of PM10 at studded tires wear, but the reduction is dependent on the type of mix. E.g. the open mix OGAR11 did not give any reduction.

In order to assess lifetimes, these objects must be followed up in future years to determine if the additional cost of Asphalt Rubber offset by longer life than conventional pavements. In addition, environmental aspects must also be investigated further, to prevent future problems including recycling of Asphalt Rubber.

1 Bakgrund

Trafikverket inledde ett projekt under 2006 för att utvärdera gummi-asfaltbeläggningar för svenska förhållanden. Erfarenheterna har hämtats från Arizona, USA, där gummi-asfalt är en väl utprövad beläggningstyp. En specifikation för gummi-bitumen/asfalt har tagits fram av Arizona Department of Transportation (ADOT). Under 2006 gjordes en förstudie som främst handlade om att studera miljöeffekter och erfarenheter från USA och under 2007 testades gummi-asfalt på ett antal sträckor i Småland och Skåne och har sedan utökats med provsträckor i Stockholm och Göteborgsområdet. På väg 32 utanför Eksjö i Småland lades en provsträcka på cirka tio kilometer. Ungefär halva sträckan utfördes med gummi-asfalt och resterande med traditionell asfalt. Detta för att kunna jämföra bland annat slitage och beständighet. I Skåne lades flera sträckor. På en mindre väg i Löddeköpinge (Lund) testades det öppna konceptet på en kort sträcka. Utanför Malmö lades gummi-asfalt på en sträcka av E6, där cementbundna bärlager inneburit att slitlagren spruckit pga. de spänningar som uppstår i cementlagret vid temperaturväxlingar. Förhoppningen är att gummi-asfalten bättre tar upp och fördelar dessa krafter så att sprickutvecklingen bromsas eller förhindras.

Idag är insamlings- och återvinningsgraden av däck praktiskt taget 100 % i Sverige. Det mesta av däckan utnyttjas till framställning av energi inom framförallt cementindustrin. Viss användning sker också för framställning av s.k. konstgräs och en liten del av de återvunna däckan hamnar på lekplatser. Nu är förhoppningen att även kunna utnyttja gummit positiva egenskaper till att modifiera bitumen för användning i asfaltbeläggningar.

De undersökningar som tidigare gjorts med gummi-asfalt har genomförts i andra länder, främst i USA. Resultaten av de undersökningarna är goda och har visat att:

- livslängden ökar med gummi-asfalt
- antalet partiklar som frigörs ur asfalten och ut i luften blir lägre med gummi-asfalt
- gummi-asfalt kan minska bullret från trafiken på våra vägar
- farliga ämnen inte lakas ur gummit när det blandats ihop med bitumen och används i asfalt på det här sättet

Syftet för Trafikverket är att ta reda på nyttan med gummi-asfalt samt se om det finns några hinder för att introducera tekniken i Sverige. I USA har man använt gummi-asfalt i 25 år och tekniken håller nu på att spridas över världen. Gummi-asfalt börjar bli vanlig på flera håll, till exempel i Kanada, Brasilien, Kina, Australien, Sydafrika och delar av Europa. Gummi-asfalten förväntas ha betydligt längre livslängd än traditionell asfalt, vilket är bra för både miljö och ekonomi. Med färre åtgärder sparas både pengar och utsläpp. Gummi-asfalten har också egenskaper som gör det möjligt att minska det buller som uppstår av trafiken.

I denna samlingsrapport finns referenser till alla undersökningar som gjorts i samband med införandet av gummi-asfalt i Sverige från tekniska undersökningar till miljömässiga aspekter. (Se kapitel 10 Referenser)

Producerad mängd gummi-beläggning under åren 2007-2009

- Över 60 000 ton asfaltmassa
- > 60 km vägsträcka
- ~15 vägobjekt
- Använt över 1 000 ton gummi-granulat (0-1mm)

2 Definitioner och termer

Här har definitioner och termer som har anknytning till gummiasfaltbeläggningar sammanställts. Alla termer som tas upp här omnämns inte i rapporten men kan vara bra att känna till när man studerar andra dokument som berör detta ämne.

Svenska förkortningar och definitioner:

Gummiasfalt	Asfaltmassa som innehåller rivet gummi från gamla bildäck
-------------	---

Tillsatsen av gummi kan antingen göras genom s.k. våt eller torr teknik:

Våt teknik	Finmalet gummigranulat blandas med bitumen, vilket ger ett gummimodifierat bitumen som sedan blandas med stenmaterialet
------------	---

Torr teknik	Grovmalet gummigranulat som blandas med stenmaterialet innan bitumen tillsätts
-------------	--

GMB	Gummimodifierat bitumen
-----	-------------------------

GAP	Gummimodifierad asfalt med partikelsprång
-----	---

GAÖ	Gummimodifierad asfalt med öppen kornkurva
-----	--

Engelska förkortningar och definitioner:

Asphalt Rubber Bitumen	Standardbitumen där finfördelat gummigranulat tillsätts i särskild utrustning vid asfaltverket
------------------------	--

GAR	Gap Graded Asphalt Rubber mix
-----	-------------------------------

ARG	Asphalt Rubber Gap graded mix
-----	-------------------------------

OGAR	Open Graded Asphalt Rubber mix
------	--------------------------------

ARO	Asphalt Rubber Open graded mix
-----	--------------------------------

ARAC	Asphalt Rubber Asphalt Concrete mix
------	-------------------------------------

ARFC	Asphalt Rubber Friction Course mix
------	------------------------------------

Motsvarande beteckningar mellan Svenska och engelska:

Asphalt Rubber Bitumen (AR) = Gummimodifierat bitumen (GMB)

ARG = GAR = GAP

ARO = OGAR = GAÖ

3 Beskrivning av tekniken med gummierad asfalt

3.1 Utrustning

Vid tillverkning av gummierad asfalt innehållande gummi modifierat bitumen används en särskild blandningsutrustning som är dockad till asfaltverket. Utrustningen har nödvändiga styrsystem för en kontrollerad blandning samt säkerhetsfunktioner som gör att anläggningen stoppar vid avvikelser.



Figur 1. Blandarverk för gummi bitumen

3.2 Utförande

Metoden som används i Sverige idag är den s.k. våta metoden, dvs. inblandning av gummi granulat i bitumen. Gummi modifierat bitumen tillsätts sedan asfaltverket på traditionellt sätt. Andelen gummi granulat i bindemedlet är ca 17-20 vikt %, vilket innebär att inblandningsmängden gummi är ca 1,5-2 % av totala mängden asfaltmassa baserat på en halt av gummi modifierat bitumen på ca 8 %. Det krävs en temperatur på ingående bitumen på minst +175 °C och att gummi och bitumen måste reagera under omrörning och rundpumpning i minst 30 min.

Gummi granulat framställs genom rivning av uttjänta bildäck, vilket kan ske vid varierande temperatur. För framställning av gummi modifierat bitumen (GMB) är rivning vid rumstemperatur att föredra. Gummi granulat från rivet industrigummi är inte lämpligt för denna applikation (eftersom industrigummi består av många olika gummi kvaliteter). Gummi granulat ska vara från personbilsdäck och/eller lastbilsdäck. Förhållandet mellan personbilsdäck och lastbilsdäck skall hållas konstant under produktionen. Leverantören av gummi granulat ska deklarerat tillverkningsätt och ungefärlig fördelning av personbilsdäck och lastbilsdäck. Gummi granulatet ska bestå av sorteringen 0/2 mm. Det får ej innehålla mer än 0,01 % stål eller andra föroreningar. Granulatet bör ej innehålla högre halt än 0,5 % textil. Gummi granulatet ska ha en specifik vikt på $1,15 \pm 0,05$. Mängden fukt får inte överstiga 0,2 vikt-%.

Inom de gummi projekt som redovisas i denna rapport har Trafikverket tillhandahållit gummi bitumen för att minimera problem med spridning för de tekniska egenskaperna.

4 Vägobjekt med gummi-asfaltbeläggning

De entreprenörer som tillverkat gummi-asfalt är NCC, Peab och Skanska. De objekt som hittills utförts är markerade på kartan nedan med numrering enligt respektive objekt i Tabell 1. De flesta objekten har utförts med beläggningstypen GAP, inklusive några referensbeläggningar med och utan polymerbitumen. Några objekt har också utförts med det öppna konceptet, GAÖ. Dessa objekt har markerats med röda markeringar.



Figur 2. Karta över objekt utförda inom gummi-asfaltprojektet

Tabell 1. Provsträckor med gummi-asfalt

År	Objekt	Vägnr	Bel.typ	Plats	Sträcka	Syfte med objektet
2007 producerades ca 8 000 ton	1	Väg 32	Remixing+ GAP 16	Eksjö	5,5 km	Underhåll
	2	E6	GAP 16	Yttre ringvägen Malmö Tpl Sallerup-tpl Fredriksberg	4,5 km	Sprickbildning
	3	E6	GAP 11	Betongväg, Malmö Tpl Petersborg-tpl Vellinge	0,5 km	Sprickbildning/Tunn påläggning av betong
	4	Väg 1137	GAÖ 11	Löddeköpinge-Höög	0,7 km	Bullerreduktion
2008 producerades ca 18 000 ton	5	Väg 9	GAP 11	Ystad-Sandskogen	2,9 km	Underhåll
	6	E6	GAP 11	Vellinge-Petersborg	6,2 km	Sprickbildning/Tunn påläggning av betong
	7	E6	GAP 16	Tpl Fredriksberg-tpl Sunnanå	6,7 km	Sprickbildning
	8	Väg 31	Remixing+ GAP 11	Vetlanda	4,0 km	Spårbildning
	9	Väg 262	GAP 11	Edsberg-Danderyd	6,0 km	Gummiblandningar/ Underhåll, Buller
	10	E18	GAP 16	Järva krog-Bergshamra	1,9 km	Underhåll
			ABS 16 Nypol 50/100-75		0,6 km	
			ABS 16 70/100		0,5 km	
	11	E22	GAÖ11	Norrköping	1,5 km	Bullerreduktion
2009 producerades ca 31 000 ton	12	Väg 180	GAÖ8 GAP8 GAÖ11 GAP11 ABS11 70/100	Alingsås	2*1,6 km	Bullerreduktion
	13	E6/E20	GAP11	Göteborg Ullevimotet- Ånäsmotet	2*1,2 km 2-3 körfält	Underhåll (Buller)
	14	E6	GAP16	Tpl Vellinge S-tpl Vellinge N	5 km	Sprickbildning
	15	E6	GAP11	Tpl Petersborg-tpl Vellinge S	10 km	Sprickbildning/Tunn påläggning av betong
	16	E6	GAP 16	Tpl Lockarp-tpl Fredriksberg	7 km	Sprickbildning
	17	E6	GAP 16	Tpl Sunnanå-tpl Kronetorp	9 km	Sprickbildning

5 Utförda mätningar och provningar i laboratorium

På uppdrag av Trafikverket har VTI utfört mätningar och provningar på ett antal objekt för att verifiera olika egenskaper som friktion, buller, rullmotstånd och funktionsegenskaper genom laboratorieförsök. Laboratorieundersökningar har även utförts av Svevia, Skanska och Arizona State University (ASU).

Här följer en kort sammanfattning av de olika undersökningarna som i sin helhet finns redovisade i olika rapporter (Se kap 10 Referenser).

Syftet med dessa undersökningar är att studera om egenskaperna hos gummibeläggningar motsvarar egenskaperna hos motsvarande konventionella beläggningar. Resultaten har hittills visat att gummibeläggningarna väl motsvarar dagens krav på asfaltbeläggningar avseende stabilitet, flexibilitet, utmattning och beständighet och snarare bättre egenskaper när det gäller nötningsmotstånd och sprickutbredning. (När det gäller nötningsmotstånd är det dock osäkert om Prallmetoden speglar dubbsslitage på ett riktigt sätt för denna ”fjädrande” produkt).

5.1 Objekt E6 Ringvägen i Malmö (VTI)

Borrkärnor och asfaltmassa från gummi-asfaltbeläggningen lagd 2007 på ringvägen i Malmö (E6/E20) har undersökts på VTI:s laboratorium. På detta objekt lades 40 mm GAP 16.

Det togs även prover från en referenssträcka där slitlagret består av ABS 16 70/100.

Laboratorieförsöken i sin helhet finns redovisade i VTI notat 22-2009 (Ref 19).

Undersökningarna har koncentrerats till att bedöma följande funktionsegenskaper.

Tabell 2. Utförda analyser

Funktionsegenskap	Provningsmetod	
Stabilitet	Dynamisk kryptest	FAS 468
Flexibilitet	Styvhetsmodul	FAS 454
Nötningsresistens	Prallslitage	FAS 471
Beständighet	Vattenkänslighet	FAS 446
	Vinterkonditionering	enl. VTI metodik
Utmattning	Pressdragprovet på cylindriska provkroppar	enl. VTI metodik
Sprickutveckling	Spårbildningsutrustning (Wheel tracking test, WTT)	enl. VTI metodik

Tillverkning av provkroppar

För att erhålla provkroppar som så mycket som möjligt efterliknar borrhov från vägen har provplattor med dimensionerna 50 x 70 x 4 cm tillverkats med hjälp av en s.k. ”gångbanevält” med vibromöjlighet. Ur varje sådan platta har sedan 15-20 provkroppar borrats ur för analys enligt respektive provningsmetod. Bilderna på nästa sida visar packning och borrhov av dessa plattor.



Figur 3. Tillverkning av provplattor



Figur 4. Borrning av provkroppar ur plattor

Provresultat

Resultaten från laborieförsöken har jämförts med de krav som anges i Trafikverkets anvisningar för funktionskrav på beläggningslager enligt VVTR VÄG 2008.

Av de undersökningar som utförts på den aktuella gummi-asfalten kan man konstatera att den uppfyller kraven hos motsvarande slitlagerbeläggningar. De faktorer där gummi-asfalten uppvisar mest positiva egenskaper är främst god nötningsresistens och långsam sprickutveckling. Beläggningen har även visat god beständighet.

Gummi-asfalten visar bra egenskaper enligt de beständighetstester som utförts både när det gäller standardmetoden för bestämning av vattenkänslighet och den på VTI utvecklade vinterkonditioneringsmetoden.

Nötningsresistensen mätt genom Prallslitage har givit mycket goda resultat med Prallvärden under 20 cm³. Prallslitage på vinterkonditionerade prover har endast givit 1-2 enheter högre Prallvärden. (Det är dock osäkert om Prallmetoden på rätt sätt speglar den nötningseffekt som dubbtrafik ger upphov till på gummi-asfalt).

Test av sprickutveckling har visat goda resultat. Gummi-asfalten klarar betydligt fler överfarter innan sprickor från underkanten av beläggningen tränger upp till ytan, jämfört med en referensbeläggning bestående av ABS16 70/100.



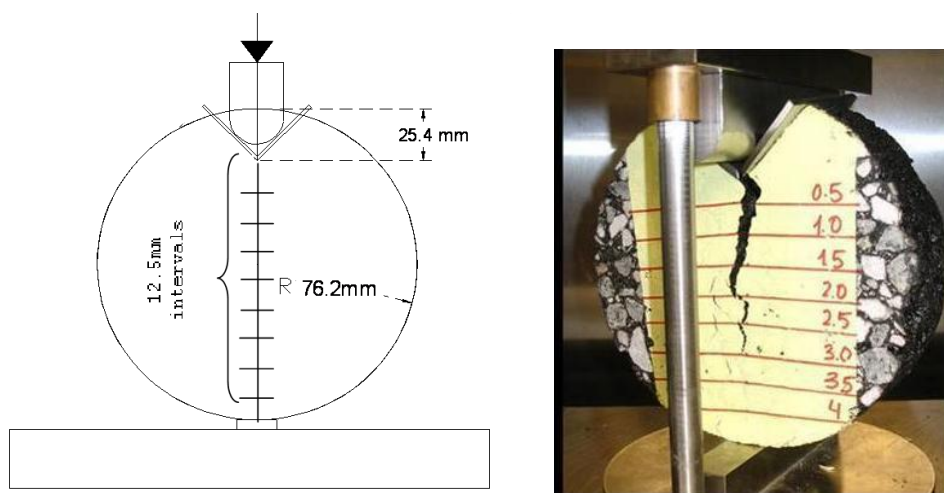
Figur 5. Sprickutbredningstest i VTIs WTT utrustning.

Flexibiliteten har analyserats genom bestämning av styvhetsmodul vid olika temperaturer från -10 till +15 °C och stabiliteten har analyserats genom dynamisk kryptest vid +40 °C. Båda dessa analyser har visat jämförbara nivåer med kraven i VVTR Väg.

Även på Arizona State University (ASU) har man undersökt material- och funktionsegenskaper hos referens- och gummi-asfaltbeläggning från objekt E6 Malmö (Ref 9). Asfaltmassor uttagna vid tillverkningen skickades till laboriet i Arizona, där massorna återuppvärmdes för tillverkning av provkroppar och balkar. Följande egenskaper undersöktes:

Tabell 3. Utförda analyser

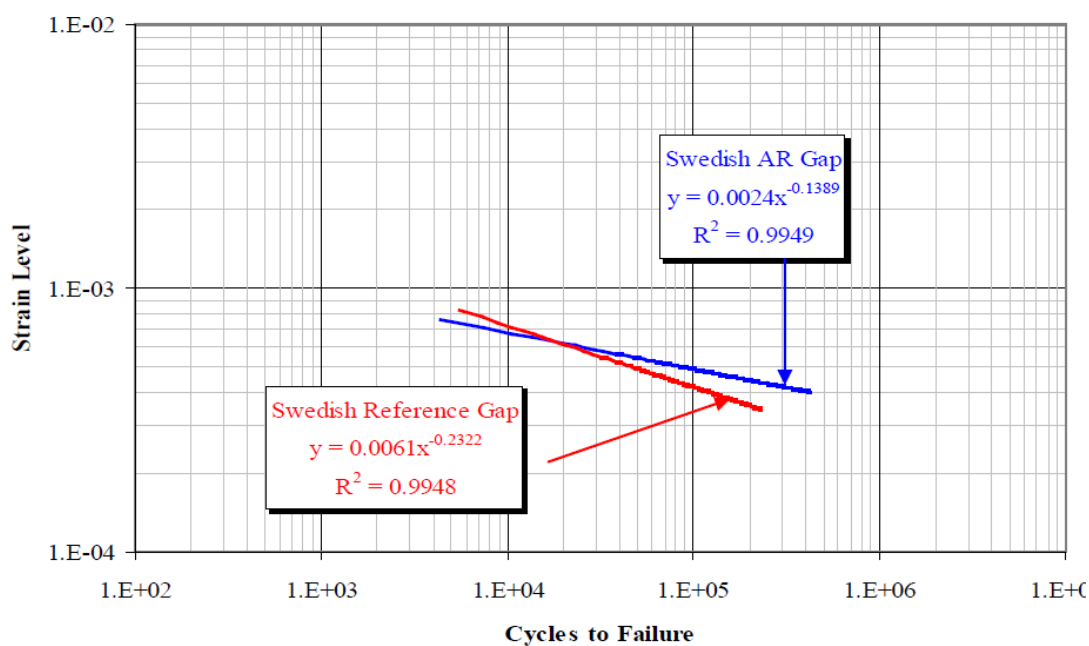
Funktionsegenskap	Provningsmetod	
Tillverkning av prover	Gyratorisk packning och tillverkning av balkar	AASHTO protocol TP8
Styvhet	Styvhetsmodul med kontinuerlig sinusformig belastning "Dynamic Complex Modulus"	AASHTO TP62-03
Utmattning	Balktest "Flexural Beam Fatigue Test"	AASHTO T321 SHRP M-009
Sprickutbredning	"C*Integral Test" (se bild 3)	



Figur 6. Provriggning för sprickutbredningstestet "C*Integral test"

Resultaten visar att styvhetsmätningen givit högre modulvärden vid lägre temperaturer (-10 och 4,4 °C), medan trenden var den motsatta vid ytterligare ökning av temperaturen till 54,4 °C. Detta indikerar att gummi-asfalten ger bättre motstånd mot sprickor vid låga temperaturer (lägre modul vid lägre temperaturer) och bättre motstånd mot permanent deformation (högre modul vid högre temperaturer).

Utmattningsförsöken visar att gummi-asfalten har bättre utmattningsmotstånd vid låga töjningsnivåer än referensbeläggningen som dock har bättre motstånd vid höga töjningsnivåer. Eftersom detta avser en högtrafikerad väg med relativt höga hastigheter, vilket ger mindre töjningar, kan det förväntas att gummi-asfalten får en längre livslängd än referensbeläggningen. På ett lågtrafikerat vägnät, med låga hastigheter, vilket ger större töjningar, skulle förhållandena förmodligen vara de omvända.



Figur 7. Utmattning enligt "Flexural Beam Fatigue Test"

När det gäller sprickutbredning indikerar testerna att gummierasfalt har större motstånd mot sprickutveckling än referensbeläggningen. Provningsresultatet indikerar också att det krävs mer energi för sprickorna att nå fullt djup på gummierasfalt jämfört med referensbeläggningen.

För att kunna göra en helhetsbedömning av beläggningen och för att verifiera laboratorieresultaten rekommenderas några års uppföljning av provsträckorna med gummierasfalt.

5.2 Objekt E18 Bergshamra (Skanska och ASU)

På uppdrag av Trafikverket utförde Skanska teststräckor med högpresterande bitumen på E18, sträckan Järva krog-Bergshamra under 2008. Sträckorna består av GAP 16 (gummimodifierat bitumen), ABS 16 Nypol 50/100-75 (polymermodifierat bitumen) och en referenssträcka bestående av ABS 16 70/100. Sträckorna har följande längd och placering:

Riktning mot Bergshamra (K2): 900 m GAP 16 och 600 m ABS 16 Nypol 50/100-75

Riktning från Bergshamra (K2): 1000 m GAP 16 och 500 m referens ABS 16 70/100

Rapporten beskriver utförandet, laboratorieundersökningar och uppföljande vägytemätningar (spårdjup, textur och buller) första året efter utförandet. (Ref 14).

Slutsatsen i rapporten är att användandet av dessa högpresterande bitumen ger bättre egenskaper på asfaltbeläggningen både för laboratorietillverkade och uppborrade provkroppar.

Redovisade beräkningar visar dock att en ökad livslängd på 1 år krävs för att merkostnaden för den polymermodifierade beläggningen, ABS 16 Nypol 50/100-75, skall betala sig och få samma årskostnad som referensbeläggningen. För den gummimodifierade beläggningen, GAP 16, är motsvarande ökad livslängd 2 år för att erhålla samma årskostnad.

Om dessa ökade livslängder kommer att uppnås får framtida mätningar visa!

Asfaltmassor från detta objekt samt tillhörande bindemedel skickades också till laboratoriet i Arizona State University (ASU) som utförde ett antal mekaniska tester för att utvärdera dessa beläggningar:

Tabell 4. Utförda analyser

Funktionsegenskap	Provningsmetod	
Bindemedelsegenskaper	Penetration, mjukpunkt och rotationsviskositet	ASTM standarder
Tillverkning av prover	Gyratorisk packning och tillverkning av balkar	AASHTO protocol TP8
Skjuvning	Treaxiellt skjuvtest "Triaxial Shear Strength"	
Deformation	"Repeated Load / Flow Number"	
Styvhet	Styvhetsmodul med kontinuerlig sinusformig belastning "Dynamic Complex Modulus"	AASHTO TP62-03
Utmattning	Balktest "Flexural Beam Fatigue Test"	AASHTO T321 SHRP M-009
Sprickutbredning	"C*Integral Test" (se Figur 6)	
Draghållfasthet	Indirekt draghållfasthet "Indirect Tensile Strength"	AASHTO T283

Undersökning av bindemedlen visar att de modifierade bindemedlen (gummi och polymer) har bättre motstånd mot permanent deformation än referensbitumenet (70/100). Det gummimodifierade bindemedlet är dock förmodligen mindre känsligt mot temperatursprickor än de två andra bindemedlen eftersom de har lägre viskositet vid låga temperaturer. Bitumenets egenskaper slår även igenom på funktionsprovningen av asfaltmassorna vilka indikerar bättre motstånd mot permanent deformation för de modifierade asfaltmassorna och särskilt den med polymerbitumen medan gummiasfalt visar bättre egenskaper mot sprickutbredning. (Ref 10).

I en kompletterande rapport (Ref 11) har jämförelser gjorts mellan typiska gummiasfaltbeläggningar i Arizona med de som utförts i Sverige. Man konstaterar bl.a. att kornkurvorna är annorlunda vilket ger beläggningar med betydligt lägre hålrum i det svenska konceptet. I rapporten konstateras att detta är logiskt med tanke på att det rör sig om beläggningar som skall fungera i två helt olika klimatzoner.

5.3 Objekt V180 Alingsås (Svevia)

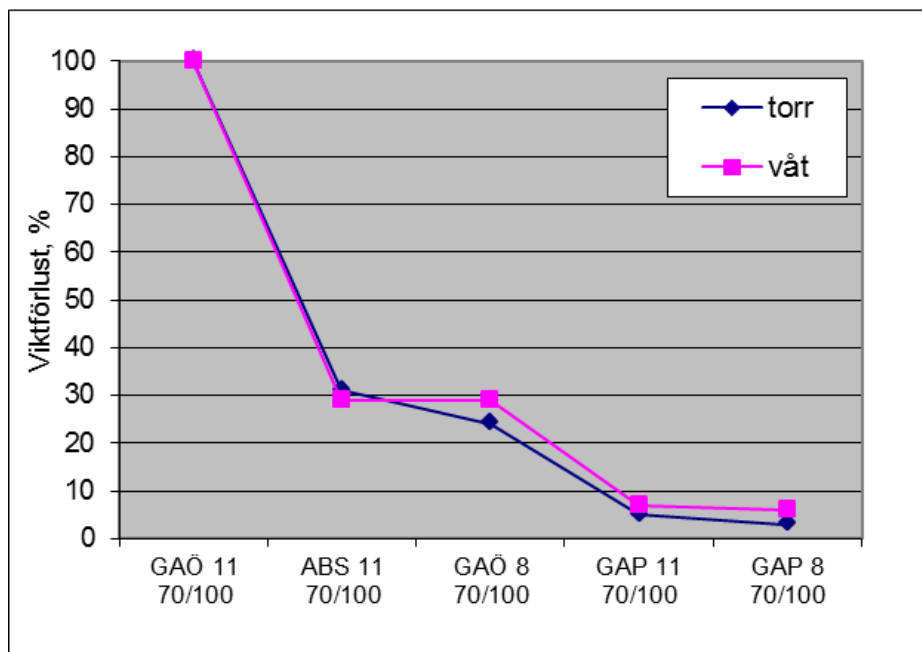
Svevia har på sitt laboratorium i Jönköping undersökt beständigheten hos de olika gummibeläggningarna enligt Cantabrotest (FAS Metod 479/SS-EN 12697–17). Provningsen har utförts före och efter konditionering enligt SS-EN 12697–12 för att få en uppfattning om beständigheten vid inverkan av vatten. Provkropparna lagrades i vattenbad vid +40 °C i 7 dygn och tempererades sedan till +20 °C i ett vattenbad under 4-6 timmar före provningen i LA-trumman.

Samtliga prover har framställts genom borring av provkroppar från laborietillverkade plattor. Verksblandade massor har använts.

En sammanställning över de provningar som Svevia utfört redovisas i tabell och figur nedan.

Tabell 5. Provningar av asfaltmassa till objekt Alingsås utförda av Svevia

Provmaterial	Skrymdensitet		Kompakt-densitet kg/m ³	Hålrumshalt		Cantabro sönderfall vikt-%	
	kg/m ³			%			
	(vatten)	(skjutmått)	(vatten)	(vatten)	(skjutmått)	torr	våt
GAÖ 11 70/100		1772	2455		28	100	100
ABS 11 70/100	2305	2201	2467	6,6	11	31	29
GAÖ 8 70/100		1877	2351		20	24	29
GAP 11 70/100	2296	2239	2403	4,5	6,8	5	7
GAP 8 70/100	2208	2189	2365	6,6	7	3	6



Figur 8. Cantabrotest enligt FAS 479 på olika gummibeläggningar och ABS-referens

Kommentar till dessa resultat:

För prov GAÖ 11 misslyckades packningen vid tillverkningen av provplattan, vilket innebar att provkropparna erhöj alldeles för högt hålrum och föll sönder totalt vid testet i LA-trumman. Detta prov är inte representativt för den öppna beläggning som lades på detta objekt på V180 i Alingsås. Men samtidigt visar det att öppna beläggningar är känsligare än täta massor när det finns brister i utförandet, vilket kan få stora konsekvenser i form av stensläpp. Övriga resultat visar att GAP-proverna klarat sig väl i detta test medan ABS- och GAÖ-proverna gett större sönderfall. Jämför även med den öppna beläggningen i kapitel 5.4.



Figur 9. Totalt sönderfall i LA trumma vid misslyckad packning av GAÖ 11 massa.

5.4 Objekt E22 Söderleden i Norrköping (VTI och ASU)

På Söderleden i Norrköping lades en öppen beläggning av typen GAÖ 11 hösten 2008. Syftet med den öppna beläggningen var att minska bullernivåerna i anslutning till vägen. Redan någon månad efter utläggning av denna gummiasfalt uppstod dock problem med stensläpp. Av Figur 10 framgår att stenarna i beläggningen har dålig bitumentäckning (Stenens röda färg framträder tydligt i den nylagda beläggningen). Av den infällda närbilden framgår också att detta resulterat i stensläpp. Trafikverket beslöt att fräsa bort beläggningen innan stensläppen blev för kraftiga (Se Figur 11).

Buller- och friktionsmätningar hann utföras innan skadorna upptäcktes och visade positiva resultat. (Angående bullermätningarna se kapitel 6.1.

För att försöka utreda orsaken till ”misslyckadet” av den öppna beläggningen i Norrköping har flera undersökningar utförts. Dels har vidhäftningen mellan sten och bitumen undersökts genom rullflaskförsök. Beläggningens beständighet har testats genom Cantabrotest, före och efter konditionering. Avslutningsvis undersöktes även bindemedelavrinningen på prover från de uppfrästa massorna.

Inga av dessa undersökningar visar entydigt på orsaken till de uppkomna skadorna. Några tänkbara orsaker kan vara:

Bindemedelsavrinning. Kan uppstå om bitumentemperaturen är för hög vid tillverkningen. Detta gör att bindemedlet rinner ner i beläggningsslagret så att stenarna i ytan får dålig bitumentäckning

Överpackning. Ger krossning av sten med krossytor som ej är täckta av bitumen, vilket kan göra att det blir stensläpp.

Bristande cementtillsats. Rullflaskundersökningen visar att vidhäftningen mellan aktuell kombination av sten och bitumen ger dålig vidhäftning när provningen utförs utan cementtillsats. Med cement erhålls dock bra resultat vid rullflaskförsöken.

Höga hålrum. Cantabroförsöken visar att beständigheten försämras när hålrumshalten överstiger ca 20 %.

Bedömningen är att det inte går att peka på en enskild faktor, utan att det troligen är en kombination av flera faktorer, som orsakat problemen med beläggningen i Norrköping.

5.5 Slutsatser

Sammanfattningsvis visar laboratorieundersökningarna att asfaltbeläggningar som innehåller gummimodifierat bitumen har goda funktionella egenskaper som väl matchar egenskaperna hos jämförande referensbeläggningar. De egenskaper som givit de tydligaste positiva resultaten är motstånd mot sprickutbredning och nötningsresistens.



Figur 10. Nylagd gummiasfaltbeläggning, GAÖ 11, på Söderleden i Norrköping. Observera den dåliga bitumentäckningen av stenarna.



Figur 11. Fräsning av beläggningen på Söderleden (ca 1 månad efter utläggning).

6 Utförda mätningar i fält

VTI har på olika uppdrag av Trafikverket utfört återkommande mätningar avseende buller, rullmotstånd och friktion på ett urval av utförda gummiasfaltbeläggningar, liksom på ett stort antal konventionella vägbeläggningar. Denna redovisning fokuserar dock på gummiasfaltbeläggningarna (Ref 18).

6.1 Buller

På ett antal av de objekt som utförts i Sverige har bullermätningar utförts. Bullermätningarna har utförts enligt CPX-metoden, med utrustning enligt Figur 12 från Tekniska Universitetet i Gdansk (TUG). Denna metod är ännu inte formellt standardiserad men tillämpas ändå i stor utsträckning såväl nationellt som internationellt, baserad på ett utkast till en standard [ISO 11819, 2000].



Figur 12. Mätvagn för bullermätning i stängt läge (mätning) och i öppet läge.

Resultaten från de årsvisa bullermätningarna som VTI/TUG utfört på gummiasfaltbeläggningar under åren 2007-2010 har jämförts med konventionella ABS-beläggningar, dvs. stenrika beläggningar med tät gradering, där ABS 16 av 2-6 års ålder har utgjort en referens. Vanligen har referensvärdet utgjorts av medelvärdet av bullernivåer uppmätta på ett antal olika ABS 16-beläggningar. På det viset är referensvärdet mycket stabilt. Bullerreduktionsvärdena är medelvärden för de 2 eller 3 hastigheter som användes vid mätningarna. Oftast ser man ingen nämnvärd effekt av hastigheten på reduktionsvärdena.

En intressant iakttagelse är att mätningen som hann genomföras 2008 på den nylagda öppna beläggningen i Norrköping, innan den fick fräsas bort, uppvisade en bullerreduktion på 2-6 dB, beroende på var längs sträckan man mätte. Då var ändå beläggningen inte helt torr i bottenskiktet, eftersom beläggningsarbetet blev utfört så sent på hösten att torra dagar knappt förekom, vilket torde ha begränsat bullerreduktionen något. Beläggningen var således extremt inhomogen, men hade mycket effektiva partier.

Slutsatsen av bullermätningarna utförda under 2007, 2008, 2009 och 2010 är att gummiasfalt av den täta typen endast visar en marginell och försumbar positiv effekt avseende bullerreduktion jämfört med motsvarande beläggningar utan gummi.

För den öppna typen, med 11 mm sten, verkar dock gummit ha en positiv effekt, som kan vara ca 2 dB för personbildäck och 1 dB för lastbilsäck, jämfört med motsvarande konventionella dränasfalt med ett lager. Detta kan ha stora positiva effekter i cost/benefit-beräkningar.

Beträffande hållbarhet och beständighet i bullerreduktionen är det än så länge svårt att dra några slutsatser. Inga klara tendenser kan ses för närvarande, vilket är naturligt med så kort livstid som hittills har kunnat observeras. Emellertid finns det egenskaper hos gummi-asfalt som borde ha en positiv effekt på beständigheten. Det återstår att se om dessa förhoppningar kan infrias.

6.2 Rullmotstånd

På några av de objekt med gummi-asfalt som utförts i Sverige har mätning av rullmotstånd utförts. Rullmotståndet (rolling resistance = vanligen förkortat RR) är liksom bulleremissionen en energiförlust som uppkommer av interaktionen mellan däck och vägyta. Det vanligaste måttet är rullmotståndskoefficienten (RRC) som definieras som kvoten mellan kraften som "bromsar" hjulets rullning och vertikalkraften på däck, dvs lasten. Enheten är dimensionslös eftersom den är kraft i Newton dividerad med kraft i Newton.

Mätningarna har utförts enligt en metod som utnyttjar en trailer, med utrustning enligt Figur 13 från Tekniska Universitetet i Gdansk (TUG). Denna metod är inte standardiserad men har tillämpats i stor utsträckning vid mätningar i VTI:s regi sedan 2005.



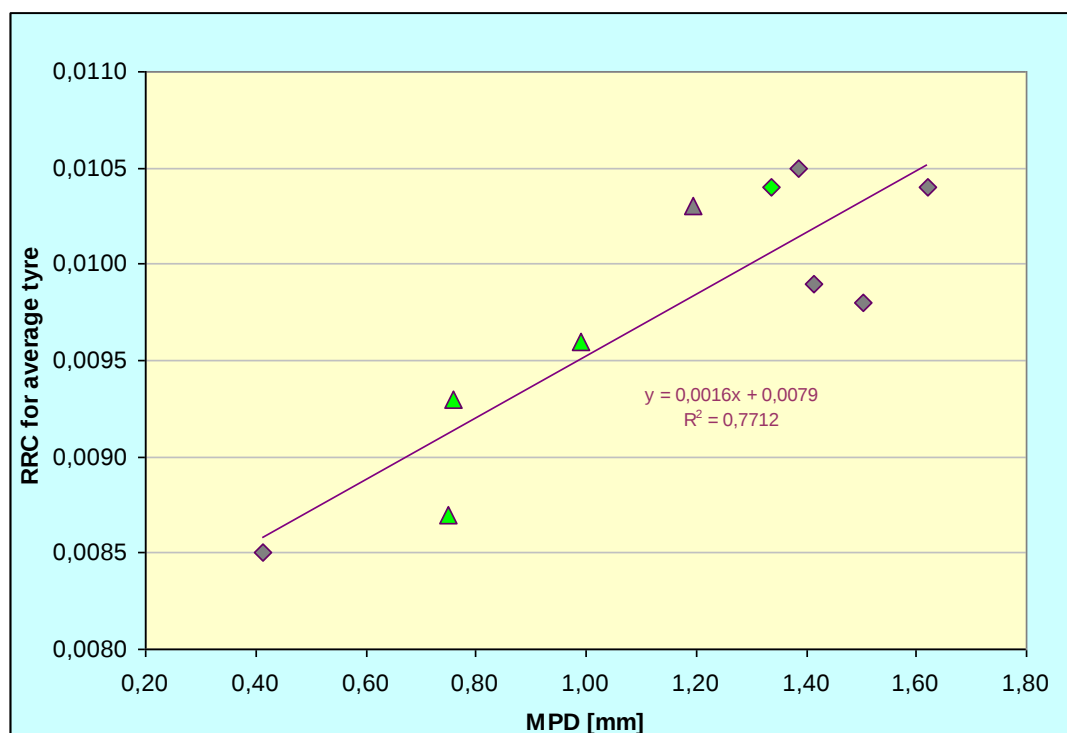
Figur 13. Trailer för mätning av rullmotstånd från TUG. Foto från TUG.

Studier i andra projekt har visat att korrelationen mellan rullmotståndskoefficienten RRC och makrotexturen representerad av medelprofildjupet MPD är mycket god. Därför har i detta projekt RRC för gummi-asfaltytorna jämförts med RRC för konventionella vägbeläggningar, i båda fallen som funktion av MPD. De gummi-asfaltbeläggningar som uppmättes var de fem i Tabell 6 nedan, med undantag för att ingen åtskillnad gjordes mellan de två delsträckorna på Ådalsvägen. Därutöver gjordes, för att få jämförelsematerial, mätningar på sex stycken konventionella beläggningar. Samtliga låg i Skåne och mätningarna gjordes år 2009 då beläggningarna var två år gamla. Resultat i Figur 14 visar sambandet mellan rullmotstånd (RRC) och medelprofildjup (MPD) för dessa sträckor. Gummi-asfaltbeläggningarna representeras av symboler fyllda med grön färg, de konventionella av symboler fyllda med grå färg.

Triangelarna är för de täta beläggningarna (GAP) medan romben är för den öppna beläggningen (GAÖ).

Tabell 6. Gummiasfaltobjekt där mätning av rullmotstånd och medelprofildjup (MPD) utförts.

Beläggning Typ	Ålder	Väg	Anm.
GAP 16	1 år	RV32 Eksjö	
GAP 16	1 år	E6 motorväg	E6 Yttre ringvägen i Malmö
GAP 11	1 år	E6 motorväg	E6 Vellinge
GAÖ 11	1 år	Ådalsvägen	Ådalsv. i Löddeköping. Första 300 m
GAÖ 11	1 år	Ådalsvägen	Samma som föregående. Sista 300 m



Figur 14. Jämförelse mellan rullmotstånd (RRC) och medelprofildjup (MPD).

Man kunde kanske befara att gummiasfalt kan ge något högre rullmotstånd än motsvarande beläggning utan gummi, eftersom gummit gör beläggningen mjukare. Bl.a. har cementbetongindustrin hävdad under lång tid att hårdheten hos cementbetongbeläggningar är så mycket större än för asfaltbeläggningar att det skulle leda till att asfaltbeläggningar har högre rullmotstånd än cementbetongbeläggningar. Om så vore fallet borde gummiasfalt vara ännu värre än asfalt. VTI:s och andras mätningar i Europa har dock inte kunnat verifiera dylika påståenden från betongindustrin.

Enligt Figur 14 ligger gummiasfaltbeläggningarna samlade runt regressionslinjen på ett sätt som inte tyder på att de skulle ha annorlunda rullmotstånd, annat än vad som följer av en annorlunda textur. Alltså skulle gummits effekt som mjukgörare inte ha någon betydelse.

När det gäller rullmotstånd är gummiasfalten neutral, dvs. den har samma egenskaper som ABS- och ABD-beläggningar. Några rekommendationer beträffande rullmotstånd är f n inte aktuella.

6.3 Friktion

Mätning av friktion har utförts med VTIs friktionsmätbil ”SAAB Friction Tester”. Mätningarna följer Trafikverkets metodbeskrivning för bestämning av friktion på belagd vägyta och avser *våtfriktion* vid barmarksförhållanden (VVMB 104).



Figur 15. VTIs friktionsmätbil med det bromsade mät hjulet placerat under bilen

För att studera friktionsegenskaperna hos gummiasfalt har ett antal objekt, utvalda av Trafikverket, följts upp (Ref 5). Första mätningarna utfördes 2007 och antalet har efterhand utökats och uppgick till 24 stycken, inkluderat 2 referenssträckor, under hösten 2009. Mätning sker alltid i höger hjulspår och medelvärdesbildning görs för 20-metersavsnitt. På följande objekt har friktionsmätning utförts på hösten, 1-3 gånger under år 2007 till 2009:

Objekten har indelats i fem geografiska områden:

- Småland: 4 objekt
- Skåne: 3 objekt
- Stockholm: 3 objekt
- Alingsås: 11 objekt
- Göteborg: 3 objekt

Man kan konstatera att alla friktionsvärden ligger över gränsvärdet ($>0,5$) och att det är låga standardavvikelser vilket tyder på att beläggningarna är mycket homogena.

- Det lägsta värdet för en hel mätsträcka (medelvärde av 20-metersdelar) hamnade på 0,62 emedan det lägsta enskilda värdet för en 20-meterssträcka blev 0,58.
- Det högsta värdet för en hel mätsträcka (medelvärde av 20-metersdelar) hamnade på 0,89 emedan det högsta enskilda värdet för en 20-meterssträcka blev 0,91.

I de flesta fall ökar friktionen med tiden. Det kan utläsas när flera års mätningar finns registrerade. Förändringen mellan årstiderna finns inte att tillgå, eftersom mätningarna utförts på hösten då normalt den lägsta friktionen under barmarksförhållanden uppstår.

6.4 Slutsatser

Resultaten visar att samtliga gummiasfaltbeläggningar har mycket god friktion både direkt efter utläggning och efter några års trafik. Bullermätningarna har visat på intressanta bullerreduktioner hos den öppna varianten av gummibeläggningar men inte på den täta varianten. Rullmotståndet tycks inte påverkas av gummiinblandningen.

7 Miljöutredningar

”Miljön ska vara fri från ämnen och metaller som skapats i eller utvunnits av samhället och som kan hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden”
(Nationellt miljömål ”giftfri miljö”)

De miljöstudier som genomförts på gummibeläggningar berör både omgivande miljö- och arbetsmiljöaspekter. Debatten kring HA-oljor (Hög Aromatiska oljor) när det gäller gummiinblandning i konstgräs (syntetiskt sportgräs) samt pågående debatt om partiklar i samband med vägtrafik visar på behovet av en grundlig kartläggning, analys och redovisning av eventuella hälso- och miljöeffekter vid såväl hantering av materialet som de mera långsiktiga effekterna på miljön.

Trafikverket utförde tidigt i projektet litteraturstudier och egna undersökningar för att säkerställa att gummiasfalt kan användas som vägbeläggning utan att få några negativa effekter på miljön. Dessa miljöstudier finns redovisade i referenslistan i kapitel 10. Referens 23 är en Vägverksrapport som sammanfattar de övriga miljöutredningarna. Där konstaterar man att de allra flesta studier som gjorts på annat håll (de flesta studier gjorda i USA), påvisas inte någon större skillnad i utsläpp till luft mellan användning av konventionellt beläggningsmaterial och beläggningsmaterial innehållande en viss andel gummidäck. Vissa studier visade förändringar i lukt och även en visuell ökning av ”rök” vid användning av däck i beläggningarna, speciellt vid höga temperaturer. Få studier finns gjorda som visar hur återvinning av beläggnings-massor innehållande däck påverkar miljö och hälsa. Några markanta problem har inte påvisats. Endast ett mindre antal källor finns som på något sätt visar på emissioner till vatten.

Från kemi- och miljömyndigheterna råder ett starkt motstånd mot att tillåta återvunna däck i nya produkter. Motståndet bygger främst på riskerna för negativa miljöeffekter på den akvatiska miljön. Eftersom kunskapsläget är förhållandevis lågt blir det försiktighetsprincipen som råder. Eventuella positiva miljöeffekter ur ett livscykelperspektiv, såsom förlängd livslängd på beläggningen, har inte beaktats i myndigheternas bedömning. I IVLs studie (Ref 6) kommenteras även den nya/kommande miljölagstiftningen REACH, där det idag inte är klarlagt hur den kommer att påverka användning av återvunnet däcksgummi.

Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) återfinns i stor mängd i de s.k. HA-oljorna i däcksgummi. Ämnesgruppen PAH är den idag största kända gruppen av cancerogena ämnen. Inom detta gummiasfaltprojekt utfördes mätningar avseende PAH innehåll i gummibitumen samt det kemiska innehållet i bitumenrök. Dessa undersökningar utfördes av IVL (Ref 6), Previa (Ref 15), VTI (Ref 16) och Heritage Research Group, Indianapolis, USA (Ref 1-2).

Av Vägverkets sammanfattande rapport i referens 23 framgår också förslag till kompletterande undersökningar som bör genomföras; utsläpp till vatten, analys i systemperspektiv (LCA), återvinning och arbetsmiljöundersökningar.

7.1 Omgivande miljö

Vad gäller studier runt däck och omgivande miljö så har en del studier tidigare gjorts i Sverige, Norge och Danmark. Inom detta gummiprojekt har nu även särskilda partikelstudier utförts (Se kapitel 7.3). I Sverige finns studier som behandlar spridning och utläckage av farliga ämnen från däck. Mestadels har studierna handlat om återvunna däck som används till konstgräsplaner eller på lekplatser. Några få studier har en direkt koppling till miljöpåverkan

från gummidäck. Undersökningarna, som varit miljöriskstudier, har visat att bl.a. zink, PAH och fenoler kan läcka ut från gummidäcken och om ämnena når intilliggande vattendrag skulle de kunna påverka vatten- och sedimentlevande organismer. En studie (Biomarker responses in fish exposed to PAH and other additives released from car rubber tyres) visar dessutom på en direkt koppling mellan utlakning från däck och negativa effekter i den akvatiska miljön. En annan studie (Technical and Environmental Properties of Tyre Shreds Focusing on Ground Engineering Applications) visar på att det däremot under normala förhållanden sker ett mycket litet utläckage av farliga ämnen och att riskerna för miljön måste betecknas som små. Alla aktörer som på något sätt varit delaktiga i studierna anser att mer forskning behövs för att utreda riskerna för miljön. Kemikalieinspektionen beskriver i rapporten "Konstgräs ur ett kemikalieperspektiv" det som:

"Vissa undersökningar och bedömningar har gjorts för att belysa riskerna med konstgräs, men det finns fortfarande stora kunskapsluckor framför allt när det gäller i hur stor utsträckning de farliga ämnena frigörs från gummit och hur människa och miljö sedan exponeras för dem. "

Avslutningsvis konstateras i IVL:s litteraturstudie (Ref 6) att i de flesta studier påvisas inte någon större skillnad i utsläpp till luft mellan användning av konventionellt beläggingsmaterial och beläggingsmaterial innehållande en viss andel gummidäck.

Utlakningsförsök utfördes under 2008 av SGI (Ref 12). Undersökningen avsåg utlakning av oorganiska ämnen och organiska föreningar från nyproducerade grövre granulat (< 2 cm) av bitumenasfalt med och utan tillsats av gummi (från återvunna bildäck), i båda fallen med avsikt att användas som vägbeläggning.

Följande sammanfattande slutsatser kan dras av laktesterna:

- Utlakade halter och ackumulerade utlakade mängder av de flesta analyserade ämnen och föreningar var låga från båda materialen.
- Tillsats av gummi synes minska utlakning av flera grundämnen, TOC och fenol.
- Tillsats av gummi synes minska lakvattens akut-toxicitet på *Daphnia magna*, framför allt inledningsvis. Tox-responsen vid L/S 0,3 bör bedömas som låg från material med gummi och medelhög från material utan gummi. Lakvattnen uttagna därefter upp till L/S 2 från båda materialen bör bedömas inneha låg toxicitet.
- Lakvattnens akut-toxiska respons på *Vibrio fischeri* (Microtox) från de båda materialen bör bedömas som medelhög upp till L/S 0,3 medan de efterföljande lakvatten upp till L/S 2 från båda materialen bör bedömas som låg.
- Gummitillsatsen orsakade något ökad utlakning av s.k. övriga PAH samt av kresoler. Halter och ackumulerade utlakade mängder av dessa föreningar var dock generellt låga. Ingen cancerogen PAH förelåg över detektionsgräns i något av lakvattnen, varken från material utan gummi som från material med gummi.
- Gummitillsatsen genererade utlakning av bensotiazol, detekterat med s.k. GC/MS screening. De semi-kvantitativa halterna och beräknade ackumulerade utlakade mängderna av bensotiazol uppskattas preliminärt ha potential att ge avsevärt tillskott till vägens närmaste omgivning, relativt utlakat från däckslitage. Utlakat bensotiazol uppskattas dock preliminärt inte generera några allvarliga halter i lakvatten i form av regn på monolitisk vägyta av materialet, relativt amerikanskt gränsvärde för en närbesläktad förening i yt- och grundvatten. Ingen relation förelåg mellan utlakat bensotiazol och uppkomna akut-toxiska effekter.

- pH var högt i alla lakvattnen, hypotetiskt orsakat av cement och/eller kalk.
- Inga klorbensener, ftalater, nonylfenol, opolära alifatiska kolväten, totalt extraherbart organiskt material samt etylbensen, xylener och större alkylbensenföreningar förelåg över deras enskilda semi-kvantitativa detektionsgränser.

Utlakning av bensotiazol bestämdes semi-kvantitativt (ej säkerställda halter) med kolonnlakning. Om säkrare bestämning önskas av bensotiazols utlakningspotential från material med gummi i form av monolitisk vägbana föreslås laboratorieell ytutlakningstest, kopplat till kvantitativ analys. Ett alternativ, som sannolikt bäst avspeglar verkligheten, är att i fullskala konstruera en uppsamlingsanordning för lakvatten vid en teststräcka av väg med ytbeläggning av material med gummi. Kvantitativ analys av bensotiazol i lakvatten kan hypotetiskt utföras vid svenskt universitet eller utländskt laboratorium (inget svenskt kommersiellt analyslaboratorium åtar sig idag att kvantitativt analysera bensotiazol, eller vissa andra lakbara föreningar i gummidäck, för rimlig kostnad).

7.2 Arbetsmiljö

Inverkan på arbetsmiljön vid inblandning av gummigranulat från rivna bildäck i asfaltsammanhang utfördes av Previa i en förstudie 2006 samt under produktion 2007-2009 (Ref 15). Resultaten visar att personalens exponering för PAH är mycket låg vid arbete med gummiasfalt. Personalen på gummiblandningsverket har lägre exponering än de som arbetar på eller alldeles intill asfaltutläggaren, där det är vindriktningen som avgör vem som exponeras mest.

Följande slutsatser och rekommendationer anges i Previas rapport (Ref 15):

Vid en förstudie i laboratoriemiljö som Previa utförde 2006 påvisades 5 ggr högre halter av cancerogena PAH-er i luften direkt över varma bitumenblandningar (178-182 °C) innehållande gummigranulat jämfört med motsvarande bitumen vid 164 °C utan gummigranulat. Även höga halter benzo(a)pyren (2,1-2,5 µg/m³) uppmättes vid den höga temperaturen. Det hygieniska gränsvärdet ligger f.n. på 2 µg/m³. Då benzo(a)pyren är den mest cancerogena PAH-n har den ofta betraktats som indikator för övriga PAH-er. Betydligt lägre värden erhöles vid de mätningar som senare utfördes vid läggning av gummiasfalt. Den högsta exponeringen för benzo(a)pyren som uppmättes var 0,03 µg/m³, vilket innebär 1,5 % av nivågränsvärdet för benzo(a)pyren. Exponeringen för naftalen låg som högst på 0,012 % av nivågränsvärdet och för anilin på 30 µg/m³, vilket är 1% av nivågränsvärdet. Mätningarna visade att bensotiazol och anilin härrör från gummigranulattillsatsen, då det ej gick att detektera dessa ämnen vid läggning av asfalt utan gummi.

Personalens exponering för både benzo(a)pyren, naftalen och anilin ligger således långt under nivågränsvärdena och i de flesta fall ligger exponeringen under detektionsgränsen för benzo(a)pyren. Irritationer i luftvägar och illamående som tidigare rapporterats vid läggning av gummiasfalt då det varit nästan vindstilla och mycket hög lufttemperatur beror knappast på aldehyder utan snarare på exponeringen för bensotiazol och dess oönskade lukt.

Heritage Research Group (Ref 1-2) hade i uppdrag att generera bitumenrök hos två olika gummimodifierade bitumen samt B 70/100 för att klargöra vilka kemiska ämnen som genereras vid en gummimodifiering, kemiskt jämföra dessa, samt undersöka om ytterligare ämnen tillförs vid en gummimodifiering. Dessa undersökningar visade att de gummimodifierade bitumenblandningarna avger 35-40 % mindre kolväten vid motsvarande temperatur. Fluorescensmätningar är en indirekt metod att mäta den cancerogena potentialen i

bitumenrök härrörande från 4-6 ringade PAH-molekyler. Resultat från mätningarna visar att tillsats av gummi inte påverkar fluorescens-nivån. Tillsats av gummi ökar inte nivån av koncentrationen 4-6 ringade molekyler. Vad gäller nivåer av individuella PAH:er (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), så konstateras ingen markant ökning av PAH:er vid tillsats av gummi. Emellertid så erhålles en extremt hög andel av bensotiazol i bitumenröken (mätt som totala mängden organiska ämnen), upp till 25 %, vid tillsats av CMR. Bitumenröken i sig innehåller <0,002% bensotiazol. Problem med personexponering och lukt från bensotiazol vid hantering/läggning och recycling av gummimodifierad bitumen kan inte uteslutas.

Mätningarna har således visat att gummitillsatsen ökar exponeringen för PAH-er mycket lite och ligger vid läggning av gummi-asfalt på en mycket låg nivå. Arbetsmiljön blir således inte väsentligt sämre med gummiinblandning. Dessa slutsatser får dock inte hindra att ansträngningar görs för att minska exponeringen för både PAH-er, bensotiazol, aldehyder och andra kemiska ämnen. Därför rekommenderas att arbeta vidare med ökad temperaturkontroll och system som minimerar risken för överhettning av asfalten vid asfaltverken. Utvecklingen av s.k. kall massa bör också fortsätta eftersom lägre temperatur medför minskad avgång av luftföroreningar. Om flera mätningar med färre yttre variabler kan verifiera att fläkt över skruven på asfaltläggaren minskar exponeringen för PAH-er rekommenderas också investering i sådana fläktar.

Sammanfattningsvis sägs i Previas rapport att det ej går att se att arbetsmiljön p.g.a. gummitillsatsen försämras på ett avgörande sätt om asfalttemperaturen kan kontrolleras så att den inte överskrider ca +170 °C.

Även slutsatsen från Vägverkets sammanställning av utförda undersökningar från 2007 (Ref 23) är att ingen av de studerade undersökningarna visar på några påtagliga/allvarliga effekter i samband med gummiinblandning i asfaltbeläggningar däremot visar litteraturstudien på vissa kunskapsluckor. Rekommendationen är därför att genom studier i såväl fält som i laboratorium ytterligare söka svar på de frågeställningar som kommit fram via de inledande undersökningarna avseende arbetsmiljö, yttre miljö och övriga frågor.

Detta har sedan utvecklats vidare under projektets gång till flera mätningar och utredningar avseende miljö och finns redovisade i ett antal referenser till denna rapport.

7.3 Partiklar

Dubbdäcksslitage av vägbeläggningar orsakar emissioner av inandningsbara partiklar (PM₁₀) vars tillåtna halt i omgivningsluften är reglerad enligt en miljökvalitetsnorm. Ett sätt att minska partikelemissionen är att anpassa beläggningarnas egenskaper. I två projekt har totalt tre olika gummiinblandade asfaltsbeläggningar provats mot referensbeläggningar, med syftet att undersöka hur inblandning av gummi i beläggningens bitumenfas påverkar partikelbildningen. Partikelstudierna i sin helhet finns redovisade i referenserna 3-4.

För att studera slitagepartiklarna separat, utan inblandning av partiklar från avgaser och andra antropogena och naturliga källor, krävs att partiklarna kan genereras och provtas i en miljö där andra källor är minimerade. Detta kunde åstadkommas genom att mätinstrumenten placerades i den slutna hallen runt VTI:s provvägsmaskin (PVM, Figur 16), som vanligtvis använts för att studera slitage av olika typer av vägbeläggningar och däck. PVM består av en 16 meter lång cirkelrund bana som kan beläggas med valfri vägbeläggning. Maskinen roterar kring en central vertikal axel på vilken sex hjulaxlar är monterade. På dessa kan olika typer av däck monteras. Fyra av axlarna är i drift och drivs av elmotorer. Vid provning sänks hjulen ner mot banan till önskat axeltryck ställts in och hjulen driver sedan maskinen att rotera. Hastigheten kan varieras steglöst upp till 70 km/h. I hastigheter över 30 km/h kan en excentrerrörelse

kopplas in vilket gör att hjulen inte kör i samma spår utan rör sig över nästan hela banbredden.



Figur 16. VTIs provvägsmaskin (PVM)

Halter och storleksfördelningar hos genererad PM_{10} studerades med hjälp av diverse mätinstrument. I det första projektet provtogs PM_{10} och partiklarnas kemiska och morfologiska egenskaper analyserades dels med hjälp av elektronmikroskopi med grundämnesanalys (SEM/EDX) och dels med partikelinducerad röntgenemission (PIXE). I det första projektet mättes även eventuella skillnader i slitage och mikrotextur.

Vid tester med dubbdäck i PVM uppstår även en fraktion mycket små partiklar, s.k. ultrafina partiklar (< 100 nm). Partiklarna är inte bortslitet stenmaterial, som dominerar PM_{10} utan har en mer komplex och flyktig sammansättning. Källan och bildningsprocessen är i dagsläget okända, men knutna till däckens dubbar. I båda projekten studerades även eventuell inverkan på denna partikelfraktion. De provade beläggningarna framgår av Tabell 7.

Tabell 7. Beläggningar som testats för partikelgenerering.

Projekt	Beteckning	Funktion i test	Stenmaterial	Ursprung	Kulkvarn	LA
1	ABS11	Prov	Kvartsitisk sandsten	Hardeberga	8,7	22
1	ABS11 gummi	Referens	Kvartsitisk sandsten	Hardeberga	8,7	22
2	GAP11	Prov	Ryolit		4,9	10
2	GAÖ11	Prov	Ryolit		4,9	10
2	ABS11	Referens	Ryolit		4,9	10

Samtliga beläggningar provades med dubbdäck av typen Nokian Hakkapeliitta 4.

Resultaten finns redovisade i två VTI Notat (Ref 3-4). Sammantaget kan följande slutsatser noteras:

- Gummiinblandning i asfalten verkar generellt reducera generering av PM_{10} vid dubbdäcksslitage, men reduktionen är beroende av konstruktion. T.ex. ger inte den öppna beläggningen GAÖ11 någon reduktion i det andra projektet.
- Ultrafina partiklar bildas, liksom vid alla försök med dubbdäck, men effekten av gummiinblandade beläggningar på dessa partiklars halter är inte konsekvent.
- Stenmaterialet i det första projektet (kvartsitisk sandsten), särskilt referensbeläggningen, gav upphov till högre partikelhalter än materialet i det andra projektet (ryolit). Även storleksfördelningen för PM_{10} är något annorlunda stenmaterialen emellan.
- Inom varje projekt har PM_{10} från gummiinblandade beläggningar liknande storleksfördelning som från referensbeläggningar, men konstruktionen verkar påverka var i fördelningen som reduktionen i huvudsak sker.
- Ingen skillnad föreligger vad gäller grundämnessammansättningen hos enskilda PM_{10} -partiklar. PM_{10} verkar uteslutande bestå av fragment från beläggningarnas stenmaterial. Partiklar från däck eller bitumen har inte kunnat detekteras med hjälp av SEM/EDX.
- Grundämnessammansättningen analyserad med PIXE visar ingen tydlig skillnad mellan de båda beläggningarna. Till skillnad från SEM/EDX-analysen kan dock grundämnena knutna till däck och möjligen bitumen noteras. Svavel och zink finns, särskilt i de finare fraktionerna, och bedöms där härröra från däck.
- Slitaget från beläggningarna i det första projektet utvecklades, efter inledande inkörning, mycket lika. I projekt 2 slets GAP 11 något snabbare än ABS 11 under den vattenbegjutna delen, men något långsammare under den torra mätningen. Mätningarna på GAÖ 11 bedöms som osäkra pga. den öppna konstruktionen. Dessa slitagemätningar utgör dock bara indikationer. En regelrätt slitagemätning görs med vattenbegjutning och avsevärt fler antal varv.
- Mikrotexturen, representerat av friktionsvärdet skilde sig inte signifikant mellan beläggningarna i det första projektet. (Mikro- och makrotextur mättes ej i det andra projektet).

8 Riskhantering

Vid införande av en ny teknik, som gummiasfalt där det finns utländska erfarenheter men där de svenska erfarenheterna är begränsade eller saknas helt, är det mycket viktigt att alla frågeställningar tidigt kommer upp på bordet och granskas innan projektet drivs för långt. Det gäller både tekniska men framförallt miljömässiga aspekter. Vilka potentiella risker finns vid hantering av gummiasfalt och vilka säkerhetsåtgärder behöver vidtas vid användning av denna beläggningstyp?

Tidigt i projektet uppmärksammades olika miljöaspekter som kunde tänkas påverka användningen av gummiasfalt. Främst genom studier av de erfarenheter som redan fanns i Arizona USA, men också framtagning av en plan för de kompletteringar som behövde göras för att ta hänsyn till svenska regler och lagar och övriga speciella förutsättningar som gäller i Sverige. I denna sammanställning har ambitionen varit att ta fram och belysa de viktigaste slutsatserna från dessa undersökningar, men för att få en helhetsbild bör man studera de enskilda rapporterna.

Dessa rapporter har utförts inom projektet för att belysa miljöfrågorna:

Allmänt om miljöfrågor:

Innehåll	Utförd av	Referens*
Sammanställning	Vägverket	Ref 23
Översikt	IVL, Hans-Olof Marcus	Ref 6

Arbetsmiljö:

Innehåll	Utförd av	Referens*
Bitumenrök	Heritage Research Group	Ref 1-2
Arbetshygien	Previa, Håkan Thorén	Ref 15

Omgivande miljö:

Innehåll	Utförd av	Referens*
Partiklar	VTI, Mats Gustafsson	Ref 3-4
Utlakning	SGL, Lennart Larsson	Ref 12
Buller	VTI, Ulf Sandberg	Ref 17-18

*/ Se referenslistan i slutet av denna sammanställning.

9 Slutsatser och rekommendationer för gummiasfaltprojektet

Här summeras fördelar och nackdelar med de olika tekniska och miljömässiga egenskaperna hos gummiasfalt. Dessa slutsatser baseras på de utförda försökssträckorna samt undersökningar som utförts inom och utom projektet och finns redovisade i olika rapporter enligt referenslistan i kap 10.

Sammanställning över de slutsatser som framkommit under projektet:

- Gummiasfalt fungerar bra på högratifierade vägar
- Gummiasfalt har god sprickreducerande förmåga
- Inga ökade miljörisker vid användning av gummiasfalt
- Teknisk handledning för gummiasfalt framtagen avseende konceptet med partikelsprång i korngraderingen (GAP)
- Öppna beläggningstyper för bullerreduktion ej färdigutvecklat

I Vägverkets projektspecifikation för projekt ”Gummiasfalt – Asfalt med gummimodifierat bitumen” (Ref 22) anges att det i slutrapporten skall ingå rekommendationer för de stödjande insatser som Trafikverket avser att göra för att implementera och driftsätta gummiasfalt i Sverige.

Aktiviteter för detta är:

- Att gummiasfalt nu ingår i verktygslådan av metoder för att förvalta vägnätet (GAP).
- Att fortsätta följa upp utvecklingen av redan producerade sträckor med gummiasfalt.
- Att sprida informationen om gummiasfalt och uppmuntra samarbete mellan beställare, utförare och leverantörer.
- Att driva ett nytt projekt som ska ta fram ytterligare applikationer med gummiasfalt, utföra utbildningar om gummiasfalt samt utföra ett antal demonstrationsprojekt.
 - Att utreda användning av gummimodifierat bitumen i andra beläggningsskikt i en asfaltkonstruktion, med potential för reduktion av den totala beläggningstjockleken med bibehållen livslängd.
 - Att undersöka effekten av tillsatsmedel/tekniker som möjliggör sänkning av temperaturen vid tillverkning.
 - Att fortsätta följa den internationella utvecklingen av att använda gummi som prestandahöjande tillsatsmedel till bitumen och asfaltbeläggningar.

För att gummiasfalt ska fortsätta ge oss bättre beläggningar är det viktigt med engagemang från hela branschen!

Detta är en produkt för det Svenska vägnätet!

10 Referenser

1. **Anthony J. Kriech.** Chemical comparison of laboratory generated fumes from straight run vacuum distilled and two different crumb rubber modified bitumens. 14 Mars 2007. Heritage Research Group, Indianapolis, USA.
2. **Anthony J. Kriech.** Chemical comparison of laboratory generated fumes crumb rubber modified bitumens – A laboratory prepared versus production prepared product. 20 Februari 2008. Heritage Research Group, Indianapolis, USA.
3. **Gustafson Mats, Blomqvist Göran, Jonsson Per, Gudmundsson Anders.** Slitagepartiklar från vägbeläggning med gummiinblandad bitumen. Jämförelser med referensbeläggning. VTI notat 10-2009.
4. **Gustafson Mats, Blomqvist Göran, Bennet Cecilia.** Slitagepartiklar från två vägbeläggningar med gummiinblandad bitumen. VTI notat 8-2011.
5. **Göransson Nils-Gunnar.** Friktionsmätning av vägavsnitt med gummiasfalt 2007-2009.
6. **Hans-Olof Marcus.** Litteraturstudie av miljö- och arbetsmiljöeffekter av inblandning av däck i vägbeläggningar. Beteckning U1975. 2006-11-13. IVL, Svenska Miljöinstitutet.
7. **ISO 11819-2 (2000):** "Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: "The Close Proximity Method". ISO/2ndCD 11819-2, International Organisation for Standardization (ISO), Secretariat on Acoustics at Danish Standards, Copenhagen, Denmark.
8. **Jeffrey J. Stempihar Kamil E. Kaloush.** Failure Investigation for an AR Open-Graded Friction Course in Sweden. Feb 2010. Arizona State University, USA.
9. **Kamil E. Kaloush, Krishna P. Biligiri, Waleed A. Zeiada, Maria Carolina Rodezno, Mena I. Souliman.** Laboratory Evaluation of Gap Graded Asphalt Concrete Mixtures – Malmö E6 External Ring Road, Sweden. Final report Okt 2008. Arizona State University.
10. **Kamil E. Kaloush, Krishna P. Biligiri.** Laboratory Evaluation of Rubber & Polymer Modified Bituminous Mixtures Constructed in Stockholm. E18 Highway between the Järva Krog & Bergshamra Interchanges. Final report Feb 2010. Arizona State University.
11. **Kamil E. Kaloush, Jeffrey Stempihar.** Laboratory Evaluation of Rubber & Polymer Modified Bituminous Mixtures Constructed in Stockholm. E18 Highway between the Järva Krog & Bergshamra Interchanges. Executive Summary Sep 2010. Arizona State University, USA.
12. **Larsson Lennart.** Kolonnlakning av vägbeläggingsmaterial. Diariernr: 2-0711-0791 Uppdragsnr: 13495. Datum: 2008-06-11. SGI.
13. **Nordgren Thorsten, Preinfalk Lars.** Asphalt Rubber - a new concept for asphalt pavements in Sweden. 2009-06-05
14. **Ohlsson Kenneth.** Skanska. Utvärdering av högpresterande bitumen. SBUF-projekt med beteckningen 12126. 2009-07-31
15. **Previa.** Arbetshygieniska undersökningar i förstudie 2006 och gummiasfaltprojektet 2007-2009 på uppdrag åt Vägverket. 2010-03-03
16. **Provningsrapport avseende PAH-analys, VTI 06-160.**
17. **Sandberg Ulf.** Asphalt rubber pavements in Sweden –Noise and rolling resistance properties. Inter noise 2010.

18. **Sandberg Ulf.** Mätningar av buller och rullmotstånd, VTI utlåtande 771
19. **Viman Leif.** Gummiasfalt – Laboratorieförsök, VTI notat 22-2009.
20. **Viman Leif,** Skadeutredning Söderleden i Norrköping, VTI utlåtande 767
21. **Vägverket Broschyr.** Vi utför provsträckor med gummiasfalt. Bestnr 89032. Juni 2007
22. **Vägverkets projektspecifikation** för projekt Gummiasfalt – Asfalt med gummimodifierat bitumen. Inriktning 2007-2009. Daterad 2007-10-16
23. **Vägverket, Intern rapport.** Konsekvenser för hälsa och miljö vid hantering och användande av gummiasfalt sammanställning av utförda undersökningar. Daterad 2007-04-02
24. **Vägverkets uppföljningsrapporter:**
 - Lägesrapport för år 2007 daterad 2008-01-03,
 - Lägesrapport nr 1 för 2009, daterad 2009-07-01 och
 - Lägesrapport nr 2 för 2009 inklusive kort redovisning av deltagande på AR 2009 Nanjing Kina 2-4 november daterad 2009-11-25
 - Uppföljning av beläggning väg 31 Vetlanda s:a-Vetlanda C
25. **Vägverkets handledning** för tillverkning av asfaltmassa/beläggning med gummimodifierat bitumen. Version 2, daterad 2010-02-23