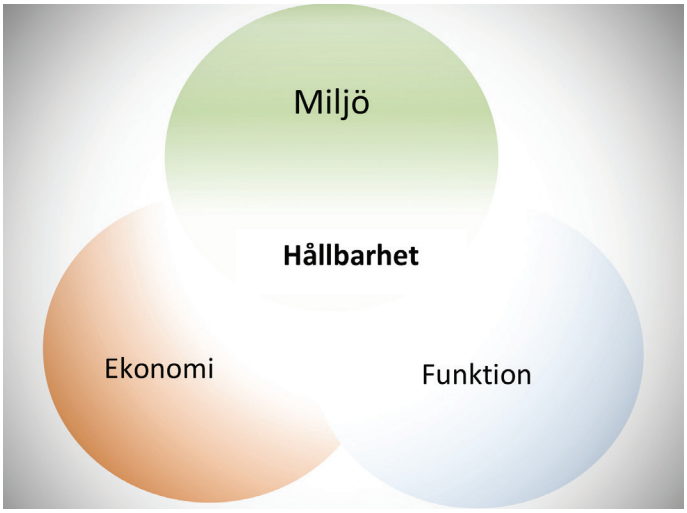
VTI notat 20-2016
Utgivningsår 2016
www.vti.se/publikationer



Alternativa beläggningar – högpresterande

Kunskapsöversikt

Safwat Said

VTI notat 20-2016

Alternativa beläggningar – högpresterande

Kunskapsöversikt

Safwat F. Said

Diarienummer: 2015/0615-92
Omslagsbilder: Safwat Said och Hejdlösa Bilder AB
Tryck: LiU-Tryck, Linköping 2016

Förord

Implementering av alternativa beläggningskonstruktioner med högprestanda-beläggningar är ett branschgemensamt projekt av beställare, utförare och materialtillverkare. Denna del handlar om kunskapsinhämtning inom området och belysning av nyttan vid användning av högprestanda-beläggningar. Denna del har finansierats av Trafikverket. Kontaktperson är Torsten Nordgren. I styr- och referensgruppen för projektet ingår följande personer:

Jan-Erik Lundmark	Trafikverket Underhåll
Torsten Nordgren	Trafikverket Underhåll
Tomas Winnerholt	Trafikverket Investering
Marcus Larsson	Trafikverket Investering
Per-Ola Möller	Nynas
Lennart Holmqvist	PEAB Asfalt
Anders Gudmarsson	PEAB Asfalt
Peter Gustafsson	PEAB Asfalt
Mats Wendel	PEAB Asfalt
Jonas Ekblad	NCC Roads
Roger Nilsson	Skanska
Anders Pettersson	Lemminkäinen
Magnus Pettersson	Svevia
Krister Persson	Total
Patrik Molander	Sandahls Grus och Asfalt
Uffe Mårtensson	Pankas A/S Danmark
Safwat Said	VTI

Styrgruppen har bidragit med kunskap och granskat denna rapport. Tack till alla!

Linköping, juli 2016

Safwat Said
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Extern peer review har genomförts 3 februari 2016 av styr- och referensgruppen för alternativa beläggningskonstruktioner. Safwat Said har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Björn Kalman har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 24 augusti 2016. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

External peer review was performed on 3 February 2016 by the reference group. Safwat Said has made alterations to the final manuscript of the report. The research director, Björn Kalman, examined and approved the report for publication on 24 August 2016. The conclusions and recommendations expressed are the author's and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning **7**

Summary **9**

1. Inledning **11**

2. Högpresterande beläggningar – en potential för bättre hållbarhet **12**

3. Exempel på högpresterande beläggningar **13**

3.1. Hög modulbeläggningar (HMAC, EME) 13
3.2. Polymermodifierade asfaltbeläggningar PMB 13
3.3. GB5R (High-performance asphalt – HPA) 17
3.4. Kallasfalt – verksblandad makadam m.fl. 20
3.5. Gummiasfalt 24
3.6. Armerade beläggningar/konstruktioner 26

4. Slutkommentarer **29**

Referenser **31**

Sammanfattning

Alternativa beläggningar – högpresterande. Kunskapsöversikt

av Safwat Said (VTI)

Det finns kunskaper och erfarenheter av att högpresterande beläggningar, med till exempel polymer-modifierat/gummimodifierat bitumen med flera, kan leda till ökade livslängder hos vägar. En ökad livslängd kan innebära en besparing i naturresurser och kostnader. Högprestandabeläggningar skulle därför kunna vara ett sätt för beställare att uppnå de miljömål regering och riksdag har satt upp. Målsättningen med detta projekt är att påvisa nyttan med högprestandabeläggningar ur samhälls-ekonomiska och miljömässiga synvinklar. Projektet som helhet omfattar dels kunskapsinhämtning inom området, förslag på alternativa konstruktioner och högprestanda-beläggningar, implementering och demonstration samt användning av tillförlitliga nedbrytningsmodeller och funktionsmetoder för dimensionering och tillståndsutveckling av vägar. Generella modeller och metoder skapar gynnsammare förutsättningar för att utvärdera och implementera nyutvecklade produkter. Slutsatserna från denna begränsade kunskapsöversikt är att det finns högpresterande asfaltbeläggningar och teknik som både kan leda till längre livslängd hos vägar och som tar mindre naturresurser i anspråk. Koncepten kan också innebära lägre kostnader och mindre klimatpåverkan.

Summary

Alternative asphalt mixtures – high performance materials. Literature review

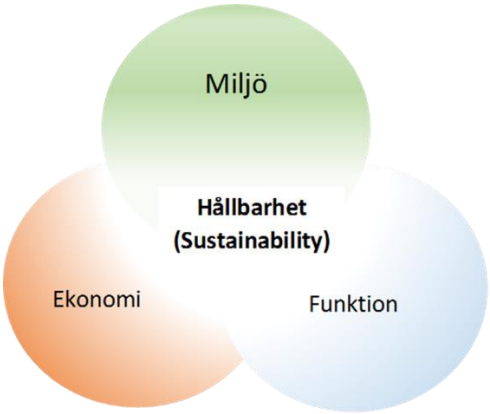
by Safwat Said (VTI)

Knowledge and experience in high-performance asphalt mixtures, such as polymer modified/rubber modified bitumen etcetera can lead to increased pavement service life. It would mean a saving of natural resources and construction and maintenance costs. High-performance mixtures, or using new structures could therefore be an alternative for the client to achieve the targets the government and parliament have set up. The goal is to demonstrate the benefits of sustainable mixtures from an economic and environmental perspective. The overall project includes both the acquisition of knowledge in the field, suggestions of alternative designs and high performance materials, implementation and demonstration of recent knowledge, use of reliable deterioration models and functional methods for the design and development of roads. Models and methods are valuable to create favorable conditions for the implementation of newly developed products. The conclusions from this limited overview is that there are high-performance asphalt mixtures and technologies that can lead to longer service life of roads in addition to conservation of natural resources. The concept can also mean lower costs and less environmental impact.

1. Inledning

Det finns internationell kunskap och erfarenhet av att högpresterande beläggningar, såsom vid användning av polymermodifierat/gummimodifierat bitumen m.fl., leder till längre vägslivslängd och/eller möjliggör en minskad konstruktionstjocklek utan risk för en snabbare nedbrytning i jämförelse med standardkonstruktioner. Tekniken skulle kunna innebära en besparing av naturresurser genom reducering av beläggningstjocklekar och/eller en förlängd livslängd vid underhåll och nybyggnation av vägar. Längre omloppstider minskar väghållarens investerings- och underhålls-kostnader, och har potentialen att minska miljöpåverkan genom energiåtgången och utsläppen av växthusgaser vid byggande slås ut över fler år. Högprestanda beläggningar ny teknik kan vara ett sätt för beställare för att uppnå de miljömål regering och riksdag har satt upp. Högkvalitativa beläggningar kan vara ett måste vid introduktionen av längre och tyngre fordon (74 och 90 ton fordon) och ökad trafikvolym för att förebygga behovet av frekventa förstärkningsåtgärder. Inhämtad kunskap från tidigare provvägar exempelvis E6 Fastarp, E6 PMB Uddevalla, E6 stålarmering Ljungskile och E45 gruvvägen (90 ton fordon) påvisar nyttan av provvägar vid utveckling och innovation inom området.

Senare utveckling inom miljö- och kostnadsmodeller främjar till hållbarhetsanalyser med en helhetsbedömning av vägkonstruktioner och ingående lagermaterial vid nya vägar. Konstruktion och val av material planeras med avseende på vägens livslängd, livscykelkostnad och miljöpåverkan för alternativa lösningar. Figur 1 visar principen för en helhetsbedömning (hållbarhet) hos ett vägobjekt .



Figur 1. Hållbarhetsprincipen för beskrivning av ett vägobjekt.

Eftersom en väganläggning är ett långtidsobjekt och kostsam för väghållaren och samhället, behövs pålitliga planeringsverktyg. Tillförlitliga analytiska modeller och funktionsmetoder för tillstånds-utveckling respektive karakterisering av beläggningar är ett måste. Generella modeller och metoder skapar gynnsammare förutsättningar för implementering av nyutvecklade produkter. För innovationer inom området behövs branschgemensamma utvecklingsprojekt för konkretisering och verifiering av forskningsresultat där samarbetet bedrivs mellan Trafikverkets verksamhetsområden Investering och Underhåll med entreprenörer och materialtillverkare samt forskningsinstitutioner. Branschens aktörer har för avsikt att få till ett branschgemensamt projekt, typ en provväg med ett antal olika konstruktioner. Målsättningen med provvägen är att påvisa nyttan med högprestanda beläggningar ur samhällsekonomisk och miljömässiga aspekter. Delsyftet är implementering, verifiering och demonstration av nedbrytningsmodeller och funktionsmetoder för en praktisk beskrivning av nedbrytning i vägkroppen och prognostisering av vägens livslängd och teknisk restvärde på längre tid än den kontrakterade tiden.

2. Högpresterande beläggningar – en potential för bättre hållbarhet

I vår omvärld finns erfarenheter av produkter som leder till bättre hållbarhet av vägkonstruktioner. Högprestandabeläggningar tillverkade med t.ex. polymer- eller gummimodifierade bindemedel möjliggör en minskad konstruktionstjocklek. Även betydande framsteg vid proportionering (mix design) av asfaltbeläggningar utan tillsatser har frambringat beläggningar med betydligt högre hållbarhet än med konventionell teknik.

Tabell 1 och 2 exemplifierar nyttan av analytiska verktyg vid val av massabeläggning för en kostnadsbesparing och reducering av miljöpåverkan. Tillverkning- och byggkostnader samt energiåtgång och CO_2 utsläpp beräknas med hjälp av EKA-verktyg (Lundberg 2014) och redovisas i Tabell 1. ABS beläggning är betydlig dyrare vid tillverkning och utläggning än ABT beläggning. Trafikvolymens effekt på beläggningens livslängd (Karlsson 2008) visas i Tabell 2. Det framgår att ABT-beläggningen är mest kostnadseffektiv och medför minst miljöpåverkan vid låga trafikvolymer ($ÅDT_k$ < 750 fordon) medan ABS-beläggningen är mer lönsamt med mindre miljöpåverkan vid högre trafikvolymer. Livslängden för vägkonstruktioner kan prognostiseras med nedbrytningsmodeller.

Tabell 1. Energiåtgång, CO_2 utsläpp och tillverkningskostnader för slitlagerbeläggningar.

Surfacing type		Materials					Transportation		Envionmental impact				Construction cost
		Bitumen content	Fibre content	Amin	Aggregate	Pavement	Material	Mixture	CO_2 footprint		Energy consumption		
		%	%	%	ton	m^2	km	km	kg/ton	kg/m^2	kWh/ton	kWh/m^2	€/m^2
AC	ABT 16 70/100	6.2	0	0.6	10000	100000	30	30	44.7	4,5	204.3	20,4	7,1
SMA	ABS 16 70/100	6.5	0.35	0.6	10000	100000	30	30	47.2	4,7	211.9	21,2	9,4

Tabell 2. Effekt av trafikvolym och slitlagrets prestanda och miljöpåverkan samt beläggnings-kostnader per år.

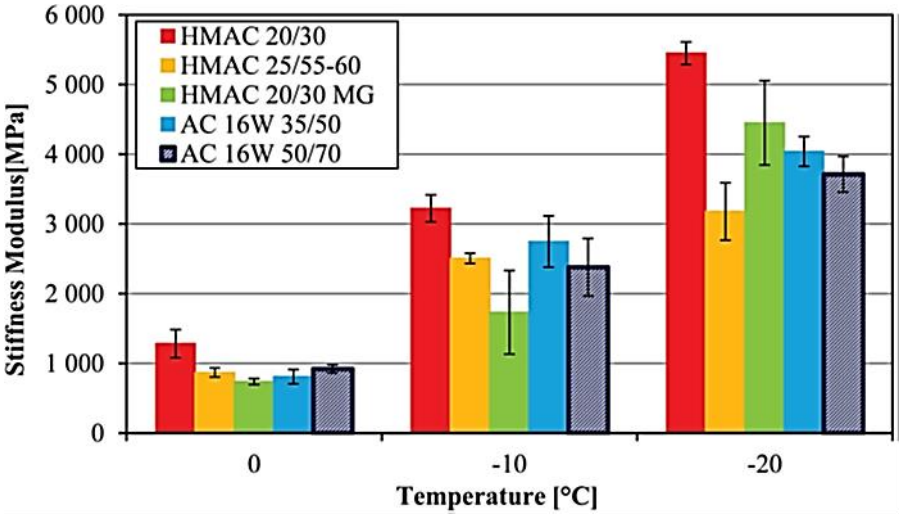
AADT per lane	250	750	1500	3000	5000	9000	13000
				ABT 16 70/100			
Service life in years	17	15	12	10	9	6	4
€/year x10^3	42	47	59	71	79	118	177
CO_2, kg/year	26	30	38	45	50	75	113
kWh/year	120	136	170	204	227	340	510
				ABS 16 70/100			
Service life in years	15	15	15	13	11	9	7
€/year x10^3	63	63	63	72	85	104	134
CO_2, kg/year	31	31	31	36	43	52	67
kWh/year	141	141	141	163	193	236	303

3. Exempel på högpresterande beläggningar

Några förslag på högpresterande beläggningar och teknik redovisas nedan.

3.1. Hög modulbeläggningar (HMAC, EME)

Det finns olika varianter av High modulus asphalt (HMAC, EME) med hårdare bitumen än normalt och med eller utan polymermodifierade bitumen (PMB). Branschens uppfattning har varit att inte använda denna typ av beläggning utan vidare eftersom vi har mildare sommarklimat och kallare vinterklimat samt lägre trafik i jämförelse med södra Europa. Erfarenheterna från Polen bör också beaktas. På A1 motorvägen i Polen användes beläggning HMAC 20/30 i bundna bärlagret 2011–2012 istället för 35/50 enligt specifikationen. Det ledde till kraftiga temperatursprickor efter första vintern fast det var innan utläggning av bind- och slitlagren. Temperaturen i beläggningen nådde -18°C (Judycki et al 2015). I Figur 2 redovisas styvhetsmoduler vid låga temperaturer från skadeutredningen. Figuren visar att HMAC 25/55-60 som har lägst modul vid -20°C bör ha minst risk för temperatursprickor, medan HMAC 20/30 visar störst risk. Detta måste beaktas vid val av bitumen. Moduler vid sommartemperaturer har inte redovisat .



Figur 2. Styvhetsmoduler hos beläggningar från statiskt kryptest på balkprover vid konstant belastning i 2400 s (Judycki et al 2015).

3.2. Polymermodifierade asfaltbeläggningar PMB

Användning av polymermodifierade bitumen utomlands är mycket omfattande och de positiva effekterna är klarlagda i många undersökningar (Bahia 1995, Airey 1997). Däremot är erfarenheterna i Sverige fortfarande begränsade. Ett stort försök är PMB-provvägen på E6 norr om Uddevalla som byggdes år 2003–2006. Se Tabell 3. Förförsök utfördes för val av PMB till bitumenbundna lager (Nordgren 2004).

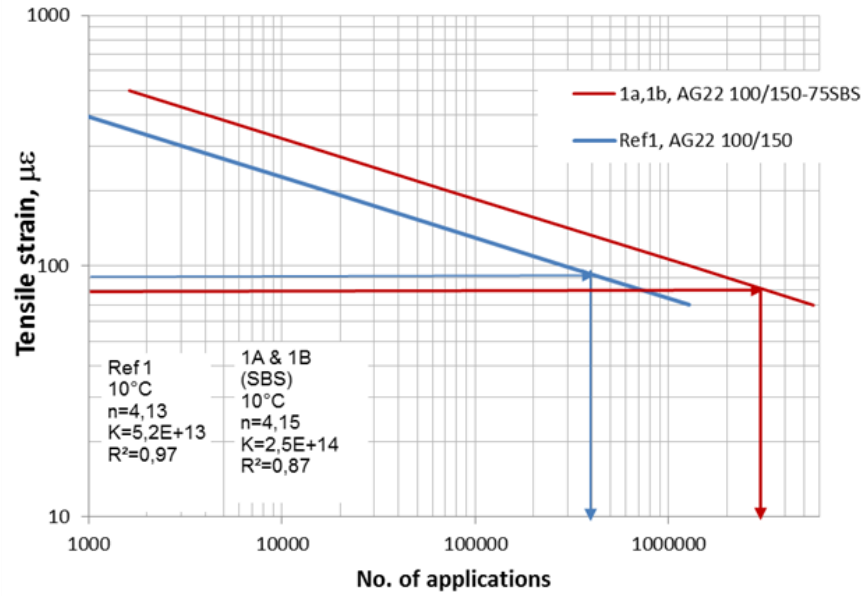
Tabell 3. Bindemedelstyp på respektive beläggningslager och provsträcka, södergående.

E6 Geddeknippeln – Kallsås , Provväg, Södergående										Rev	2009-10-20
Provsträcka/ lager	**Ref 1**	**1a**	**1b**	**2a**	**2b**	**3a**	**3b**	**4a**	**4b**	**Ref 2**
Sektionsangivelse	0/300-0/700	0/700-0/975	0/975-1/250	1/250-1/374	1/374-1/600	1/600-1/728	1/728-2/020	2/020-2/418	2/418-2/520	2/520-2/780
Längd m	400	275	275	124	226	128	292	398	102	260
Slitlager ABS 16	70/100	70/100	50/100-75 4% SBS-Radiell			70/100	70/100	70/100	70/100	70/100
Bindlager ABb 22	50/70	50/70	50/70-53 6% EVA					50/70-53 3 % SBS-Linjär		50/70
Bärlager AG 22	std	SBS	SBS	std	std ATB	std ATB	std	std ATB	std	std
Bitumen **övre lagret (ö)**	100/150	100/150-75 6 % SBS-Linjär		100/150	100/150	100/150	100/150	100/150	100/150	100/150
Bitumen **undre lagret (u)**	100/150	100/150-75 6 % SBS-Linjär		100/150	160/220	160/220	100/150	160/220	100/150	100/150

Andra försök med PMB i Sverige är gruvvägen för malmtransporter på E45 mellan Pajala–Svappavaara (Erlingsson och Carlsson 2014) som öppnades 2012 där den tunga trafiken går med en totalvikt upp till 90 ton, samt försöken på RV40 vid Ulricehamn (Gudmarsson 2015).

Effekten av PMB i asfaltsbeläggning framgår tydligt vid laboratorietester. Vid utmattningsprovning 2011 visade den polymermodifierade beläggningen (AG22 100/150-75 SBS med 6 % - SBS av linjär typ) betydligt bättre utmattningsegenskaper än den konventionella beläggningen (AG22 100/150) vid samma töjningsnivåer (Said et al 2016). Se Figur *2*.

För en enklare jämförelse mellan utmattningssamband för olika beläggningar jämförs töjningen vid en miljon belastningar enligt Tabell 4. Det framgår att SBS beläggning tål en töjning på 106 mikrostrain medan AG22 100/150 bara tål 74 mikrostrain vid en miljon belastningar. Utmattningslivslängd vid beräknade töjningar från fallviktsmätningar illustreras i Figur *2*. Konstruktion med konventionell AG-lager tål ca 350 000 överfarter av standardaxlar vid +10°C, motsvarande livslängd för konstruktionen med SBS AG-lager är ca 3 miljon överfarter. Den stora skillnaden beror på valet av en alternativ beläggning resistent mot belastningssprickor för bärlager. PMB beläggning med SBS polymer är mer elastisk än konventionell AG och tros vara mindre benägen till åldring genom upplösning av polymerer med tiden.



Figur 2. Utmattningssamband hos AG-beläggningar utförda 2011 vid 10°C.

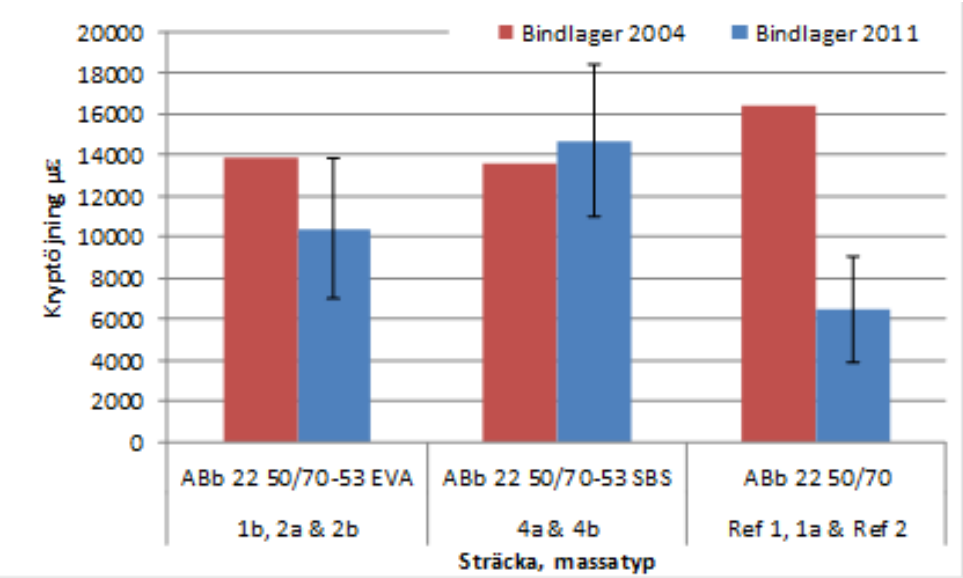
Tabell 4. Max tillåten töjning i beläggning vid 1 miljon belastningar av en standardaxel.

Bärlager beläggning	Töjning vid 1 miljon belastningar i mikrostrain	
	År 2005	År 2011
AG22 100/150 (referens)	76	74
AG22 100/150-75 SBS	118	106
AG22 160/220 TRVR 2011:073	> 80	

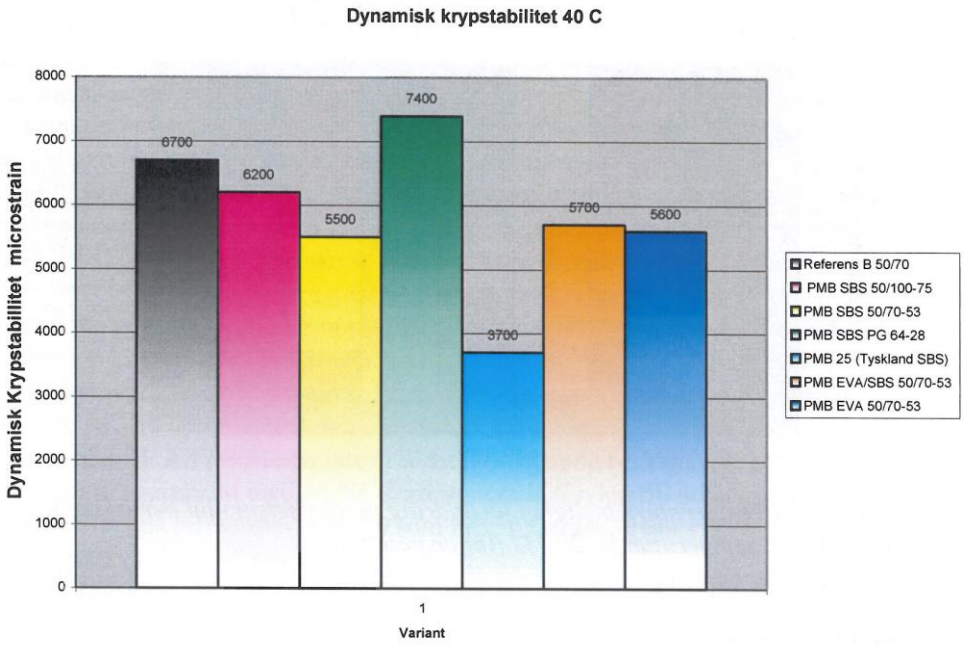
Ulmgren et al. (2005) har redovisat krypvärde per sträcka och lager vid produktionskontroll 2004–2005. I Figur 3 visas krypvärde på bindlager med olika massabeläggningar vid två tidpunkter. Det framgår att både polymermodifierade beläggningar med EVA och SBS polymerer visar ungefär samma krypvärde från start (2004) men i genomsnitt är de något stabilare (lägre krypvärde) än den konventionella beläggningen (ABb 22 50/70). Slutsatsen stämmer överens med förundersökningarna. Nordgren (2004) noterade redan vid förförsöken att det inte går att skilja mellan olika varianter genom den lilla skillnaden som finns mellan de undersökta bindlagerbeläggningarna, se Figur 4. Mätningar från 2011, figur 4, visar att den konventionella beläggningen har ökat mest i stabilitet i jämförelse med SBS och EVA PMB beläggningarna. Det bör vara effekten av åldring. Beläggningen med SBS polymerer visar nästan ingen skillnad i krypvärde jämfört med 2004 års mätningar. Det kan vara rimligt med avseende på att SBS polymerer kan brytas ner vilket leder till uppmjukning (Airey 1997). Slutsatsen talar emot den huvudsakliga intentionen av användning av polymermodifierade bitumen vid tillverkning av stabila beläggningar. Tydligen ändras skillnaderna mellan beläggningar pga. långtidsåldring och vitsen för användning av polymerer i det här arbetet försvinner raskt (inom några år) enligt detta arbete. Det konstateras att man måste ta hänsyn till långtidsåldring av beläggningar och planera för betydligt större skillnader mellan valda beläggningar för en ekonomisk lönsamhet eftersom PMB är betydligt dyrare än konventionell bitumen.

Spårtillväxten från mätningar med mätbilen indikerar inte heller någon signifikant skillnad mellan konstruktioner och visar mycket liten spårbildning på alla alternativ, se Figur 5.

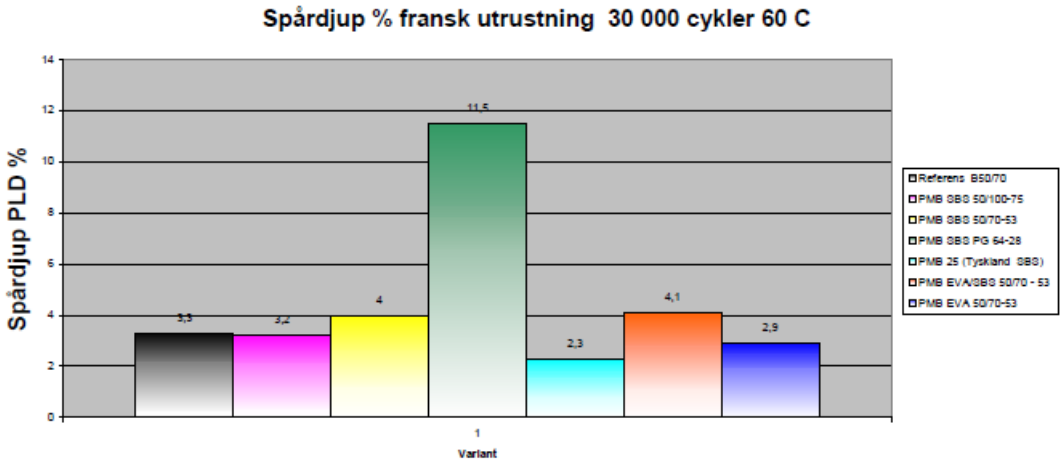
Polymermodifierade bitumen har en stor potential att påverka beläggningsegenskaper för olika användningsområden men det krävs förförsök och en noggrann planering av sammansättningen när det gäller polymertyp och halten av polymeren.



Figur 3. Utveckling av dynamiskt krypvärde hos bindlager, 2004–2011.

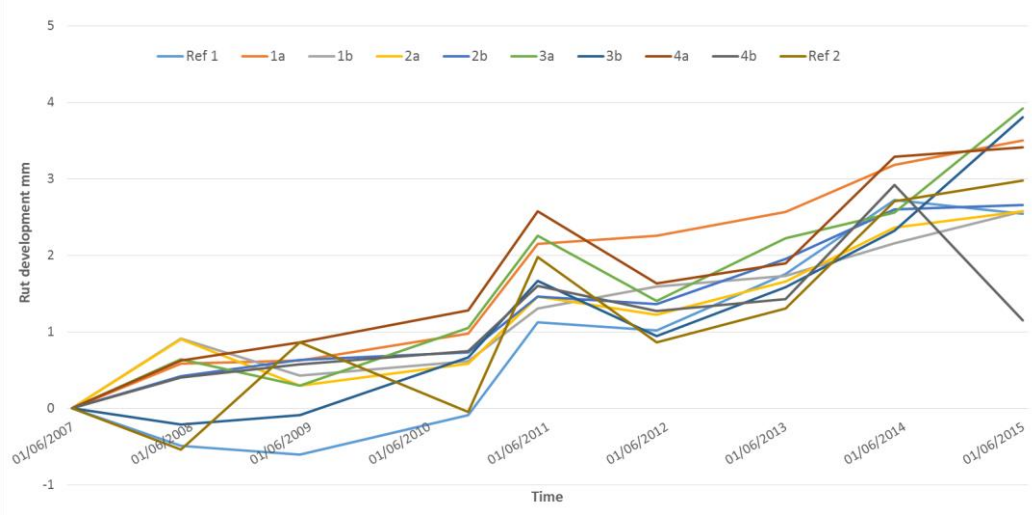


A Dynamisk krypstabilitet hos bindlager



B Fransk WTT vid 60°C

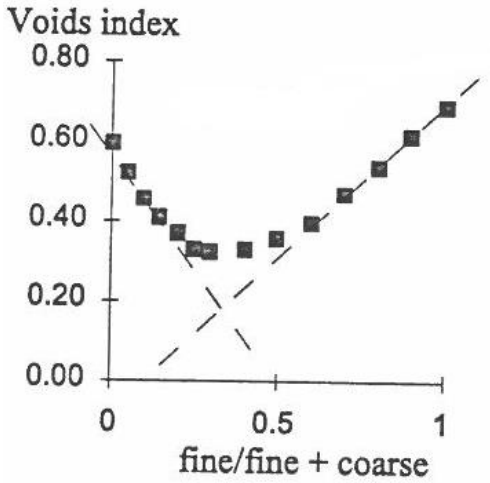
Figur 4 A och B. Stabilitetsprovning hos bindlager beläggningar (Nordgren 2004).



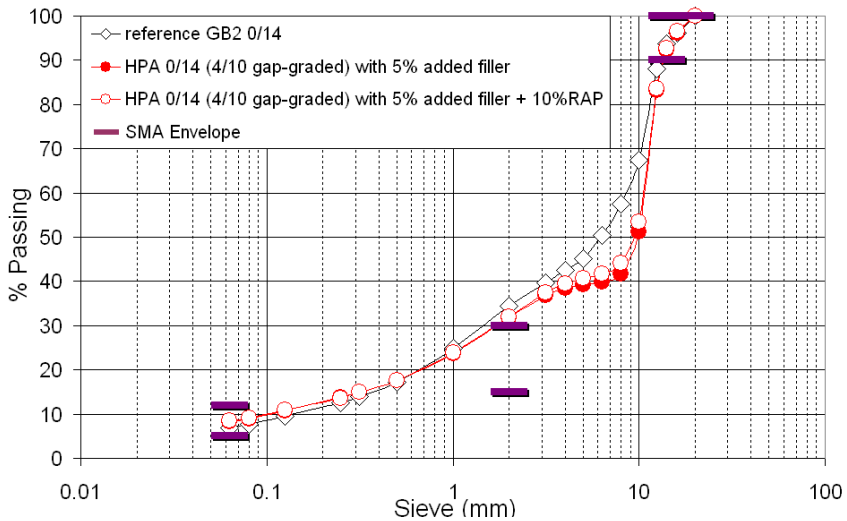
Figur 5. Spårtillväxt E6 PMB provväg med mätbil.

3.3. GB5R (High-performance asphalt – HPA)

GB5^{R} konceptet för asfaltbeläggningar från EIFFAGE Travaux, kallad ”High-performance asphalt HPA” (Olard 2012) är en optimal packning av det grövre stenmaterialet. Tekniken är ursprungligen utvecklad för tillverkning av hög-modul cementbetong. Principen är att maximera packningsdensiteten av korniga material. Målsättningen är en blandning av olika fraktioner för att minimera porositeten och använda minsta möjliga bindemedel för täckning av alla partiklar. Principen för lägsta hålrum framgår av Figur 6. Voids index är ett förhållande mellan hålrum och stenmaterialets volym. Med lägsta hålrum uppnås högsta densitet. Genom en god kontakt mellan alla stora stenpartiklar frambringas en beläggning med hög modul utan användning av hårda bitumen (10–30 penetration) som är fallet vid tillverkning av HMAC (EME). GB5^{R} eller HPA är en beläggning för bärlager med en bitumenhalt på ca 4–4,5 %. Det är betydligt lägre än bitumenhalten för EME (5,7 %) beläggning avsedd för bärlager. Optimering av korngradering för asfaltbeläggningar utförs genom packning av grova och fina stenfraktioner i varierande halter (torrt utan bindemedel) genom gyratorisk packning. I Figur 7 presenteras korngradering för några HPA beläggningar i jämförelse med en standard beläggning GB2 0/14. Observera partikelsprång i HPA kornkurvor.



Figur 6. Hålrumsindex i relation till finfraktionsandelen (Voids index vs fine grade proportion (de Larrard 2002)).



Figur 7. Korngradering för en optimal 10/14-0/4-0/2-filler (HPA) i jämförelse med en typisk korngradering av massabeläggningen "GB2" (Olard 2012).

I Tabell 5 redovisas funktionsegenskaper och kravprofil på asfaltbeläggningar med en kontinuerlig korngradering (GB2 och EME2) enligt fransk specifikation och en korngradering (HPA) med partikelsprång för bärlagermassor. GB2 (standard beläggning) och HPA beläggningar innehåller 4 % bitumenhalt medan kravet på EME2 grundar sig på en bitumenhalt mellan 5,5–6,0 % med ett bitumen med låg penetration (<30 dmm @25°C). HPA beläggning har nästan 6 % hålrumshalt och det är jämförbart med EME2 beläggning trots nästan 2 % lägre bitumenhalt. Standard GB2 har ca 10 % hålrumshalt. HPA sammansättningar leder till lägre hålrumshalter, bättre vattenkänslighet, hög stabilitet och bättre utmattningsegenskaper samt uppfyller kraven enligt franska specifikationer (Olard 2012). I Tabell 6 redovisas beräkningsjämförelser för några vägöverbyggnader med olika bärlagermassor presenterade i Tabell 5. Dimensioneringstid antagen att vara 20 år och beräknad trafik 6,5–17,5 miljoner 13 ton axlar enligt franska specifikationer. Det framgår att bitumenhalten reduceras med 1,8 % genom användning av HPA istället för EME2 massabeläggningar samt att tjockleken kan reduceras markant och fortfarande ha bättre motstånd mot utmattningssprickor och permanenta deformationer i bitumenbundna lager och med en bibehållen vattenkänslighet, trots användning av tunnare bärlagertjocklekar. Utöver hushållning i naturresurser resulterar det i lägre kostnader och mindre klimatpåverkan.

Tabell 5. Prestandaegenskaper hos HPA och referensen GB2 beläggningar med 4 % bindemedelshalt i jämförelse med franska specifikationer (Olard 2012)

Formula			GC 100 gyrations		Duriez Test		Rut Depth (mm) 3 10^4 cycles	E (MPa) 15C-10Hz	ε_6 (10^{-6}) 10C-25Hz
	Binder nature	%RAP	%Air	VMA	R (MPa)	Moist. Res.(%)			
Specifications for "Grave Bitume 2" (GB2)			*<10%*	-	-	*>70%*	*<10*	*>9000*	*>80*
Specifications for "Enrobé à Module Elevé 2" (EME2)			*<6%*	-	-	*>70%*	*<7.5*	*>14000*	*>130*
GB2	35/50	0	9.7	19.7	10.1	93	4.1	13,300 at 5.1%air	86
HPA	35/50	0	5.9	15.9	11.8	83	5.1	16,500 at 2.7%air	89
	35/50	10	7.2	17.2	12.1	91	4.1	16,600 at 2.7%air	90
	35/50 +2.5%SBS	0	5.7	15.7	12.3	93	2.4	15,600 at 3.2%air	115
	35/45B	0	5.8	15.8	12.7	92	2.5	13,100 at 2.9%air	115
	35/45B +2.5%SBS	0	5.7	15.7	13.1	91	3.0	13,700 at 2.5%air	130

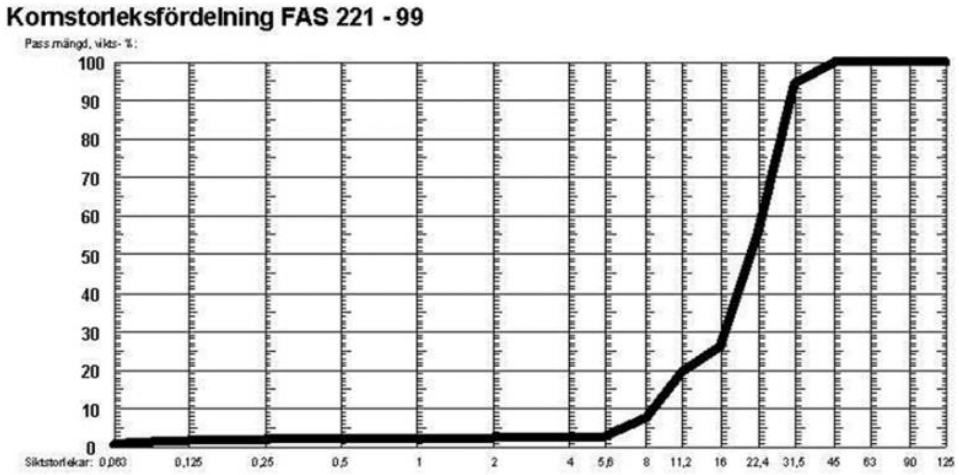
Tabell 6. Jämförelse i dimensionering av en vägöverbyggnad med bärlagermassor av HPA alternativ EME2 (Olard 2012).

Thick Bituminous Pavement Structures. "TC620" Traffic Category. 4cm-BBM Overlay. "PF3" Pavement Formation Class.				
	EME2 Solution Binder content=5,7%	Innovative GB5® Solutions Binder content=3,9%		
Binder	**Hard 10/20**	**35/45B**	**35/50 +2.5%SBS**	**35/45B +2.5%SBS**
Overlay	4cm BBM	4cm BBM	4cm BBM	4cm BBM
Base course	16cm EME2	14cm GB5	12cm GB5	10cm GB5
Difference in base layer thickness	Reference	- 2cm (- 10%)	- 4cm (- 20%)	- 6cm (- 10%)
Difference in aggregate quantity		**- 10%**	**- 20%**	**- 30%**
Difference in bitumen quantity		**- 28%**	**- 39%**	**- 48%**
Difference in materials cost/m^2		**-23%**	**-27%**	**-38%**
Difference in kg CO_2eq. /m^2		**-24%**	**-17%**	**-28%**

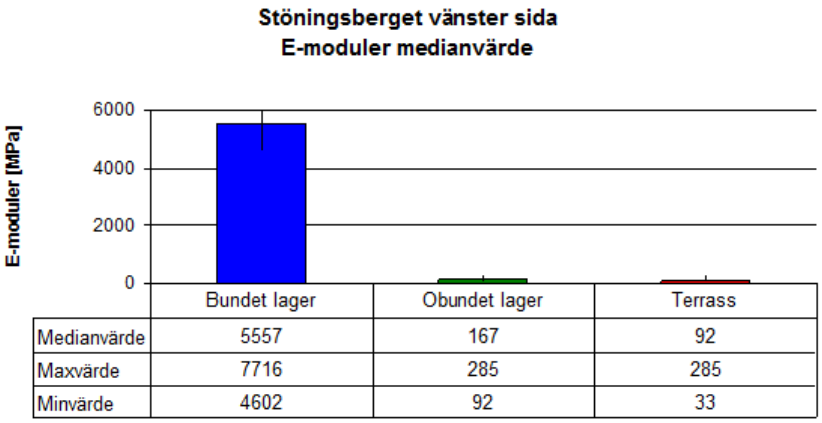
Sista kolumnen, tjockleksreducering bör vara -30%

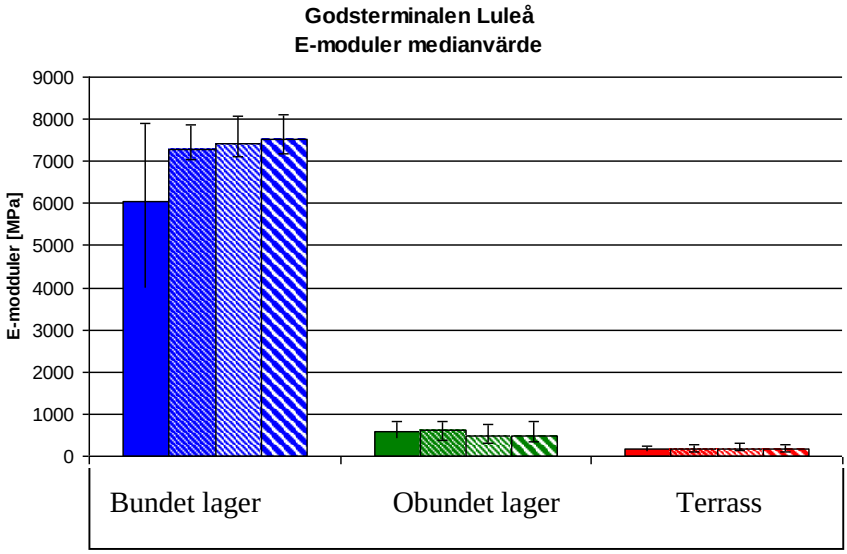
3.4. Kallasfalt – verksblandad makadam m.fl.

I slutet av 1990-talet tillkom nya emulsioner, t.ex. Nymix från Nynas. Denna emulsion var baserad på penetrationsbitumen 160/220 och 330/430. Bitumen med lägre penetration kan också användas vid behov. Tillverkningen av emulsionsbeläggning i verk sker genom blandning med kontinuerlig lamellblandare. NCC Roads tog fram ett firmabundet bärlagerkoncept kallad Viacomac med nya emulsionen Nymix. Stenmaterialet (ballasten) (Figur 8) skulle ha 100 % krossytegrad och utgöras av grovmakadam med inblandning av kilsten (Lundberg et al. 2003). Läggningen utförs vid temperaturer > 10°C och överliggande lager fick läggas tidigast 48 timmar (Lundberg et al. 2003) efter att det undre lagret lagts ut. Inget regn får förekomma under läggningen (och en tid senare) eftersom risken för avrinning av bitumen är uppenbar, varför hänsyn till väderrapporter måste beaktas. Under 1990-talet lades flera ytor med Viacomac-konceptet där tidigare varma bärlagerbeläggningar av typen AG22 160/220 användes. Viacomac 32 lades som bärlager på vägen intill bergtäkten vid Stöningsberget, Umeå och vid den nya godsterminalen, Luleå och på den tungt trafikerade gruvvägen, E45 Pajala–Svappavaara 2012–2013. Emulsion Nymix 630 med basbitumen 160/220 har använts. Vid godsterminalen förkommer mycket tung trafik, typ lasttruckar och det ställdes höga krav på stabiliteten hos konstruktionen. Även vägen in till Stöningsberget hade mycket tung trafik. Ekdahl och Wiklund (2003) redovisade E-moduler beräknade från fallviktsmätningar. E-moduler för bundna lager är på drygt 5 000 MPa och 7 000 MPa för Stöningeberget respektive Godsterminalen efter temperaturkorrigeringar till +10°C. Se Figur 9. Dessa E-modulvärden är jämförbara med E-modul värden för ett normalt AG-lager. I genomsnitt har en AG22 160/220 en modul på ca 8 000 MPa.



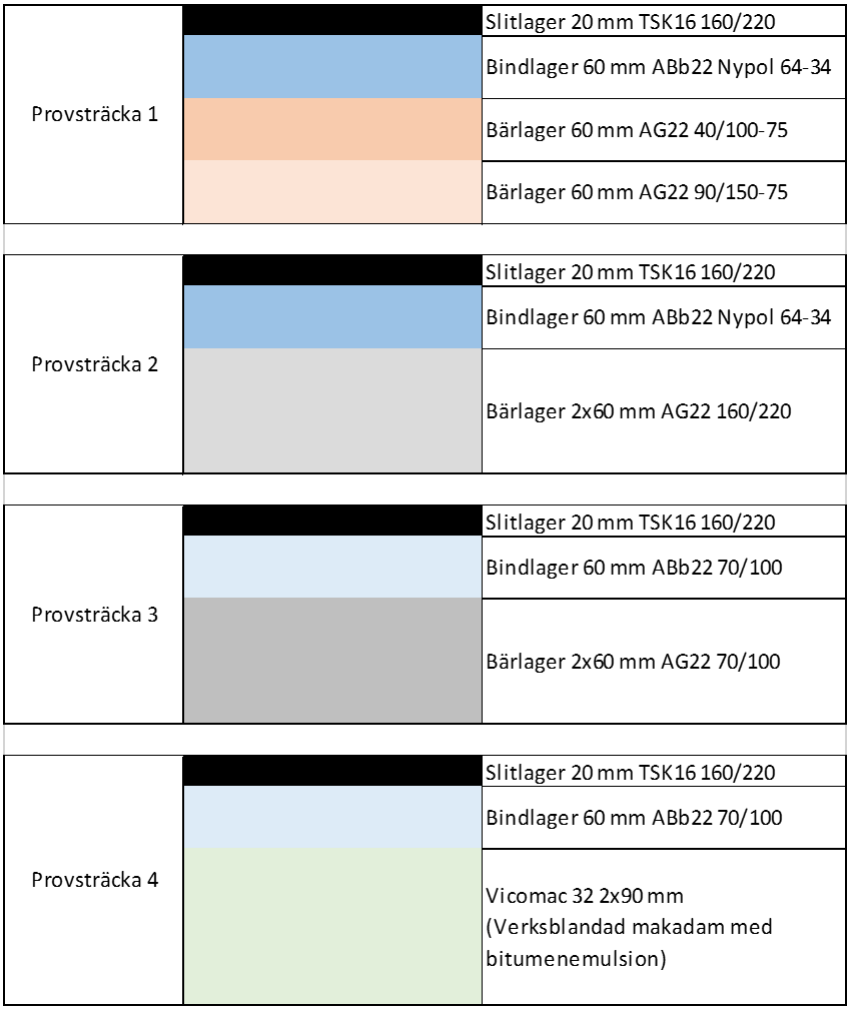
Figur 8. Kornstorleksfördelning Viacomac 32.





Figur 9. Lagrens E-moduler bakåträknade från fallviktsmätningar och temperaturkorrigerade till 10 °C (Ekdahl and Wiklund 2003).

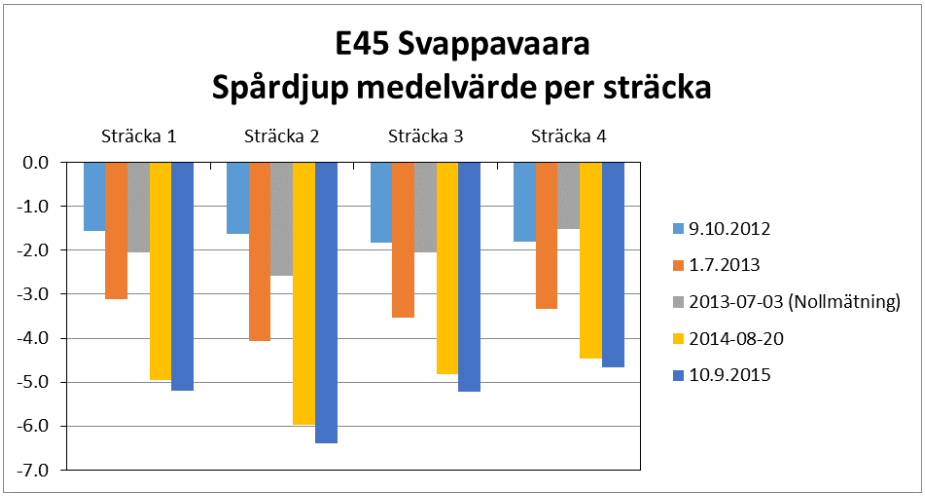
Gruvvägen för malmtransporter på E45 mellan Pajala–Svappavaara, öppnades för trafik 2012 efter utläggning av bär- och bindlagren. Slitlagret utfördes 2013. Fyra provsträckor är byggda i riktning mot Svappavaara där den tunga trafiken går med lastbilar med en totalvikt upp till 90 ton, dock med standardaxellaster. Den befintliga konstruktionen, efter bortfräsning av 15 cm asfalt, förstärktes med nya bitumenbundna lager. Den färdiga vägen har en vägbredd på 8 meter med en körfältsbredd på 3,75 meter. Ett nytt förstärkningslager (30 cm) och obundet bärlager (10 cm) utfördes på det befintliga förstärkningslagret. Vägkonstruktionen på de bitumenbundna lagren motsvarar konstruktionen för provsträcka 3 (observera användning av 70/100 i AG-lagret), den har antagits som en referenssträcka. Bitumenbundna lager på uppbyggnaden av provsträckorna illustreras i Figur 10.



Figur 10. Bitumenbundna lager av provsträckornas uppbyggnad på väg E45 Svappavaara (Said 2015).

Provsträcka 4 har en verksblandad emulsionsmakadam som bundet bärlager enligt ett förslag från FOI-gruppen för kallasfalt. Den utgörs av Viacomac 32 (Kornstorleksfördelningen illustreras i Figur 8) lagt i 2 lager á 90 mm vardera. Den är tillverkad med emulsionen Nymix 630 med basbitumen 160/220. Emulsionshalten är 4,2 % med en restbitumenhalt på 2,8 %. Notera att sträcka 3 som referens är byggd med AG 22 70/100 med en bitumenhalt på 4,6 % och sträcka 2 är byggd med AG22 160/220.

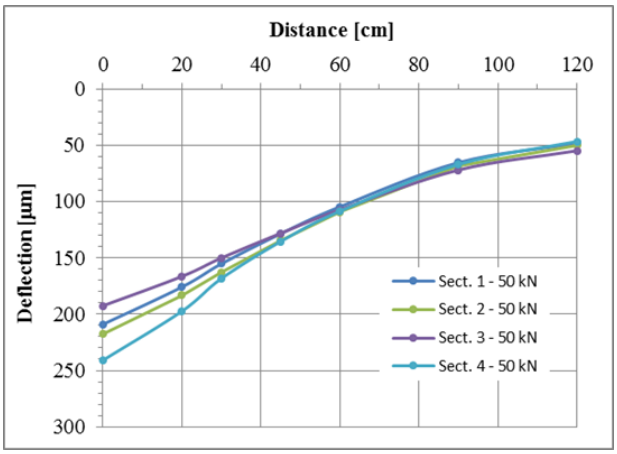
Det andra (övre) lagret utfördes endast en dag efter första lagret. Tillverkaren rekommenderar minst 48 timmars väntan innan det övre lagret läggs. Efter utläggningen började det regna kraftigt över Svappavaara området under natten vilket medförde att en hel del emulsion tvättades bort från makadamen. Senare vid utläggning av bindlagret konstaterades instabilitet i Viacomac-lagret, vilket tyder på bristfälligt utförande. För detaljer om de övriga provsträckorna, vägkonstruktionerna samt instrumentering av sträckorna hänvisas till byggrapporten (Erlingsson och Carlsson 2014). I Figur 11 redovisas deformationsökning i konstruktionerna från ytprofiler uppmätta med Primal. Spårdjups-utveckling 2012–2015 uppmättes på bindlagret (innan utläggning av slitlagret) t.o.m. 2013 och spårutveckling 2013–2015 uppmätt på slitlagret. Sträcka 4 byggd med Viacomac 32 visar tydliga stabila egenskaper. Notera att sträcka 2, som visar största spårutveckling, har ett bärlager av AG22 160/220. Noteras, att den tunga trafiken nästan upphördes under 2014. De här initiala resultaten bekräftar att det verksblandade makadamlagret har goda stabilitetsegenskaper.



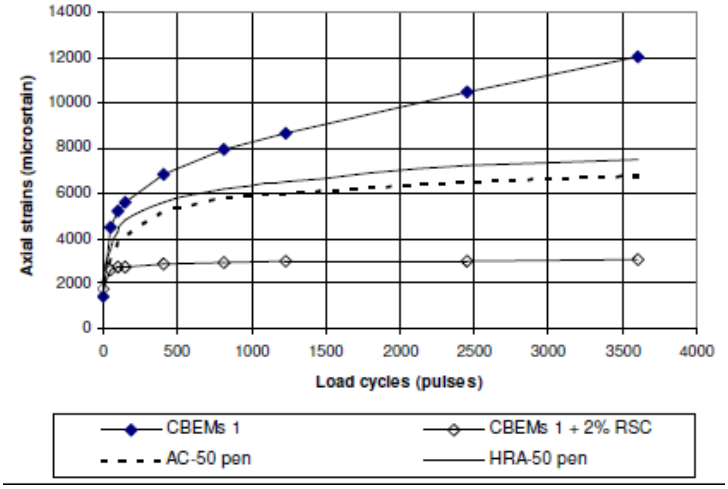
Figur 11. Spårdjupsutveckling hos provsträckorna (Erlingson 2015).

Figur 12 visar nedsjunkningsmätningar utförda augusti 2014. I figuren framgår att sträcka 4, kallmassa, visar största nedsjunkningen i jämförelse med konstruktioner med varma asfaltmassor. Det är ca 20 % större D_0 jämfört med referenssträckan. Det är en nackdel och tyder på sämre lastfördelningsförmåga hos konstruktionen. IM-lager (indränkt makadam) är känd för sin stabilitet pga. sten-sten kontakten men har låg styvhet/ motstånd mot dragpåkänningar pga. låg bitumenhalt. Lägg märke till att fallviktsmätningar på liknande konstruktioner från godsterminalen i Luleå har visat goda styvhetsmoduler (noterades ovan). En vidare utvärdering av denna beläggning kan vara intressant pga. mindre miljöpåverkan.

Internationella laboratorieundersökningar har visat att beläggningar med kallteknik kan tillverkas med goda styvhets- och stabilitetsegenskaper i jämförelse med varma massor genom en noggrann val av finandelen till massan (Figur 13), t.ex. flygaska från kolförbränning eller cement (Thanaya et al. 2006, 2009, Al Nageim et al. 2012, Modarres et al 2016). Fördelen med kallteknik är miljöprofilen (lägre energiåtgång och koldioxidutsläpp) och nackdelen är härdningstid.



Figur 12. Uppmätta deflektioner på provvägen (Erlingsson Transportforum 2014).

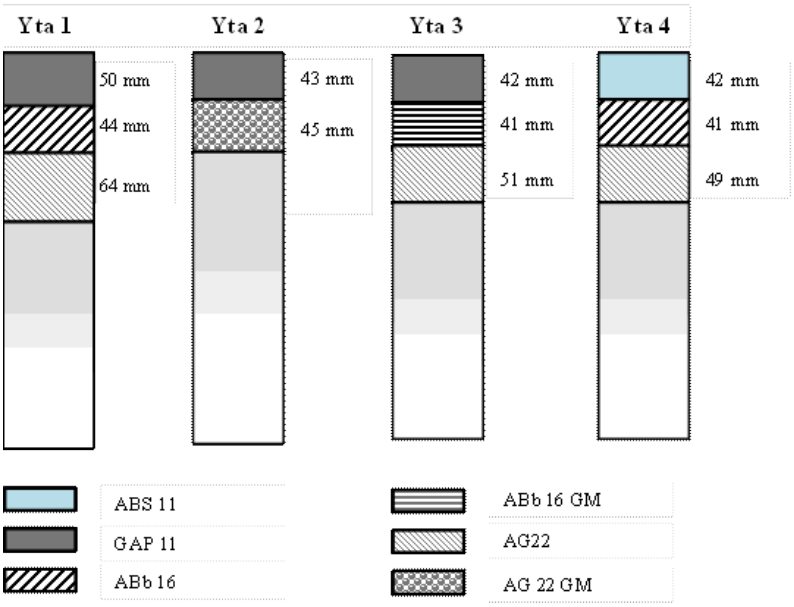


Figur 13. Jämförelse i krypvärde mellan varm och kall asfaltbeläggning (CBEM-Cold bituminous Emulsion Mixture basbitumen 100 pen) med och utan 2 % cement (Thanaya et al. 2006).

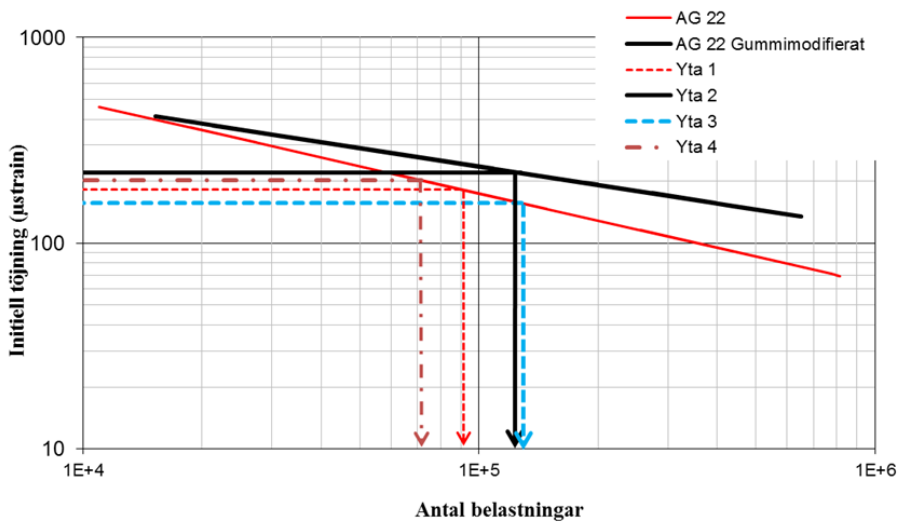
3.5. Gummiasfalt

Under senare år har gummiasfalt lagts ut på flera provsträckor för utvärdering vid svenska förhållanden. Erfarenheter från USA indikerar att gummibeläggning kan klassas som en högprestanda beläggning med miljöprofil, där malen gummi från gamla däck används i bitumenet ( ).

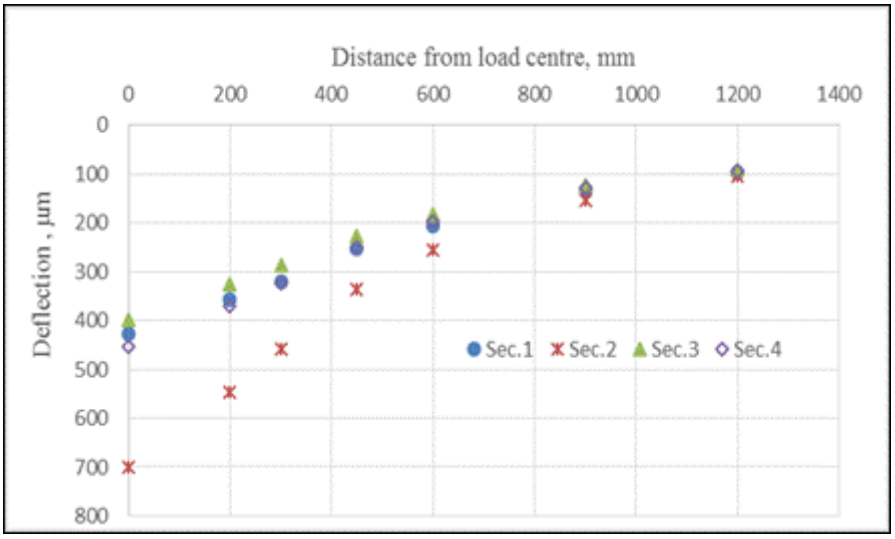
Fyra provytor har byggts, hösten 2011, på infarten till Ragn-Sells granulatanläggning i Heljestorp. Beläggningsytorna är utförda med olika konstruktioner och asfaltbeläggningslager. Syftet är att värdera nyttan av konstruktioner byggda med gummiasfalt i olika lager, främst med avseende på teknisk livslängd. Konstauktioner och uppmätta lagertjocklekar hos samtliga bundna beläggningslager redovisas i Figur 14. I Figur 15 redovisas beräkning av teknisk livslängd baserade på utmattnings-kriterium hos borrprov och responsmätningar genom uppmätta töjningar (töjningsgivare i underkant beläggning). Det konstateras att utmattningsmotstånd mot sprickor är störst hos yta 2 som består av gummimodifierat slit- och bärlager och har den tunnaste asfaltbeläggningen, och yta 3 med gummi-modifierat slit- och bindlager samt konventionellt bärlager. Det är en tydlig effekt av utmattnings-egenskaperna hos det modifierade bärlagret. Notera att Yta 3 och 4 har samma beläggningstjocklekar fast Yta 3 har slit- och bindlager av gummiasfalt. Resultaten indikerar att yta 3 har nästan 2 gånger så lång livslängd som yta 4. Det bör relateras till egenskaperna hos de modifierade slit- och bindlagren i yta 3. Följaktligen kan användning av gummiasfalt i slit- och bindlager även påverka sprickinitiering i underliggande bärlager. Givetvis pga. den tunna konstruktionen och mjukare bärlagret av gummibeläggning hos yta 2 visar den större deflektioner i jämförelse med övriga konstruktioner. Se Figur 16. De stora deflektionerna innebär sämre lastfördelning och större påkänningar i undergrunden. Se Figur 17. Detta måste beaktas vid dimensionering av vägöverbyggnader, likväl som de elastiska egenskaperna och miljöfördelarna.



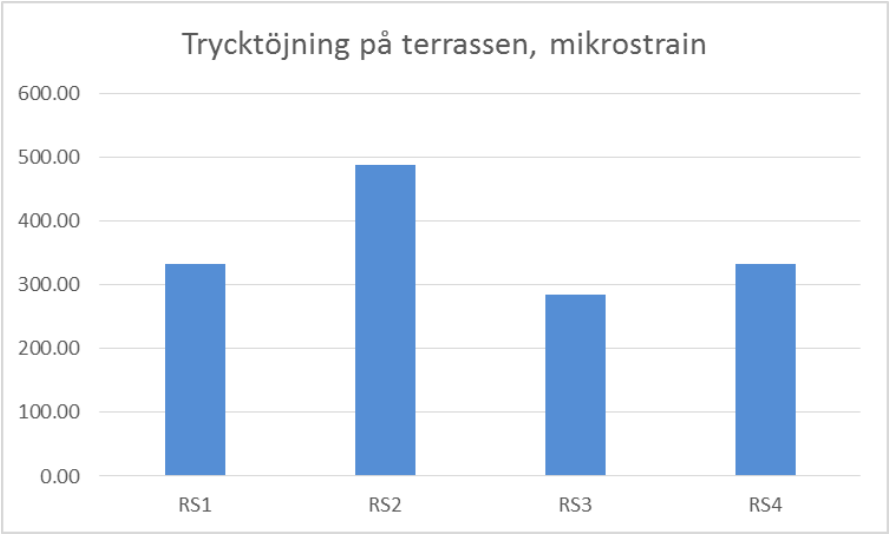
Figur 14. Konstruktioner och lagertjocklekar hos provytor (Said et al 2014).



Figur 15. Uppskattning av livslängd för ytor vid referenstemperatur +10°C (Said et al 2014).



Figur 16. Medelvärde av deflektioner från fallviktsmätningar, 50 kN och +19°C.



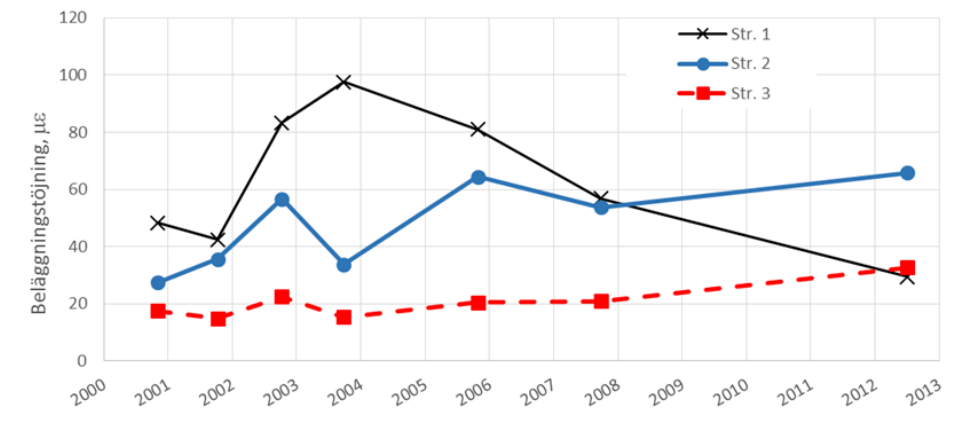
Figur 17. Medelvärde av beräknade trycktöjningar från fallviktsmätningar.

3.6. Armerade beläggningar/konstruktioner

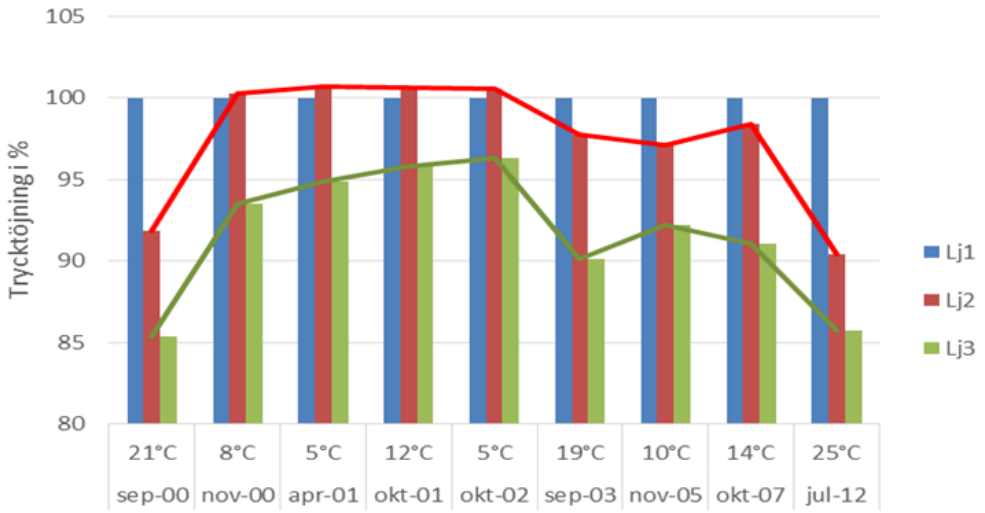
Armering av asfaltbeläggningar och konstruktioner kan vara ett alternativ vid nybyggnation och rehabilitering av vägar. Det finns i princip två typer av armering, glasfiberarmering och stålarmering. Glasfiberarmering består av antingen ett glasfibernät eller en glasfiberarmerad fiberduk. Användningsområdena är många enligt tillverkarna. Armering är ett effektivt sätt att förhindra eller minska uppkomsten av tjälsprickor med placering mellan asfalt eller obundna lager, ofta används stålarmering i norden i praktisk verksamhet.

En sträcka av E6 söder om Ljungskile förstärktes med stålnätsarmering år 2000 med instrumentering av töjningsgivare. Tillståndsförändring hos 3 sträckor följdes upp under ca 14 år. Mätning av töjningar i asfaltbeläggningen har utförts vid en kontrollerad belastning med fallviktbelastning. Figur 19 visar utveckling av mättöjningar i provsträckorna över 12 års uppföljningar. Referenssträckan utan armering (str.1) visar en maxtöjning år 2003 därefter visas en tydlig minskning med åren. Det indikerar sprickutveckling i referenssträckan. De armerade sträckorna (Str. 2 och 3) visar en måttlig utveckling av töjningarna och det är tydligt lägre än töjningarna i referenssträckan. Se Figur 18. Figur 19

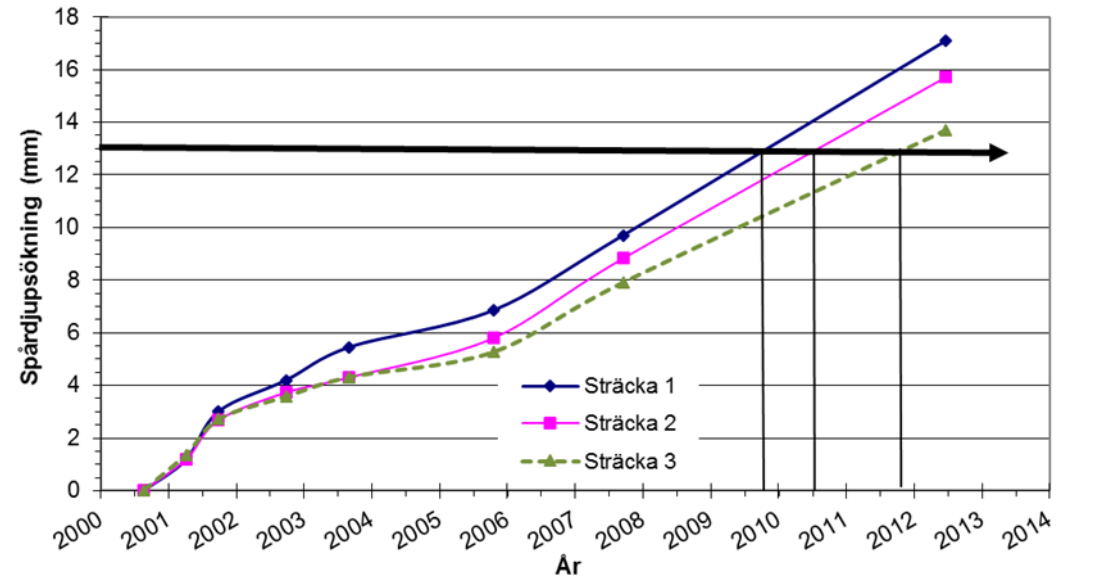
illustrerar trycktöjningar på terrassytan med 10–15 % lägre i jämförelse med referenssträckan. Spårdjuptillväxten under samma period visar en relativ linjär utveckling med 1,2–1,4 mm per år för armerade sträckor och 1,64 mm per år för referenssträckan. Figur 20 visar att armeringen har förlängt livslängden till nästa åtgärd med 2–3 år baserad på spårdjup. Vid en okulär tillståndsbedömning 2012 konstaterades omfattande längsgående sprickor i hjulspår i referenssträckan. Sträcka 2 och 3 visade inga tydliga sprickor som kan relateras till bärigheten, även om det fanns någon enstaka fina sprickor. Se Figur 21. Den positiva effekten av stålarmering på nedbrytning framgår tydlig i detta försök. Genom uppföljning i ca 14 år bekräftades att slutsatserna från instrumentering av sträckorna var riktiga redan 2–3 år efter öppning för trafiken. Problemet med stålarmering är att inte kunna återanvända det på ett praktiskt sätt.



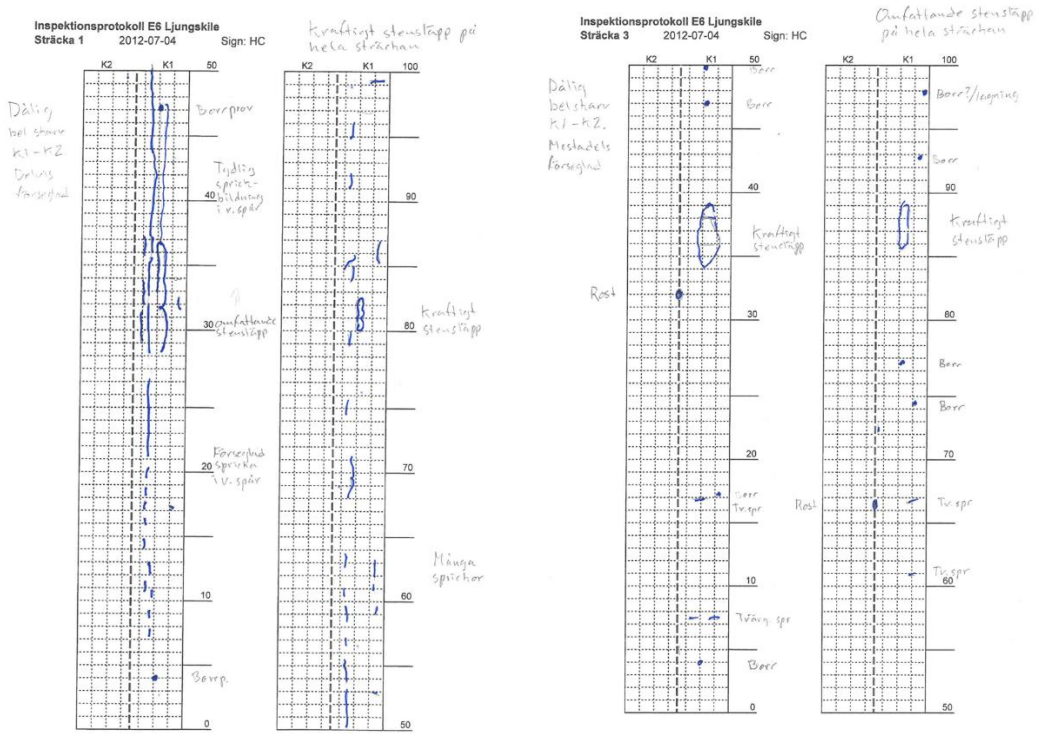
Figur 18. Medelvärde av responsmätningar per sträcka över tiden omräknade till 10°C, St.1 är referens, str. 2 och 3 är stålarmerade.



Figur 19. Medelvärden av beräknad trycktöjning på terrassen i % av referenssträckans töjning vid mättemperaturer.



Figur 20. Spårdjupsökning, medelvärde av vänster och höger spår.



Figur 21. Inspektionsprotokoll E6 Ljungskile, referenssträcka Str.1 (vänster) och armeringssträcka Str.3 (höger).

4. Slutkommentarer

Projektets syfte är att i fullskala demonstrera och utvärdera ny teknik som ska leda till effektivare och robustare vägkonstruktioner. Projektet kommer att ha en kunskapshöjande effekt för branschen och ger beställare och utförare bättre kunskap om hur man ska kunna utvärdera nya objekt med hållbarhetstänkandet. Ger även input till kommande regler om dimensionering som medför ett optimalt nyttjande av ändliga resurser såsom stenmaterial och bitumen. Slutsatserna från denna begränsade kunskapsöversikt är att det finns högpresterande asfaltbeläggningar och teknik som kan leda till längre livslängd på vägarna samt till hushållning av naturresurser. Det kan också innebära lägre kostnader och mindre klimatpåverkan. Det vore värdefullt för branschen att implementera och demonstrera de nya möjligheterna genom byggande och utvärdering av ett antal teststräckor.

Referenser

Al Nageim, H. S.F. Al-Busaltan, W. Atherton and G. Sharples (2012). A comparative study for improving the mechanical properties of cold bituminous emulsion mixtures with cement and waste materrials. Construction and Building materials 36.

Airey, G.D., (1997); Rheological characteristics of polymer modified and aged bitumens, Ph.D. thesis, Dept. of Civil Engineering, University of Nottingham.

Bahia, H. U., (1995), "Critical evaluation of asphalt modification using Strategic Highway Research Program concept", TRR 1488.

de Larrard, F. (2002); Packing of particles – the compressible packing model. In shah, S.P., V.K. Bui and M. Geiker, eds. Rheology of cement-based materials self-compacting concrete. DTU Lyngby.

Ekdahl, P. and K. Wiklund (2003). Fallviktsmätning NCC-ytor (Utkast). Scandiakonsult Sverige AB. Malmö - Stockholm.

Erlingsson S. och H. Carlsson (2014). The Svappavaara road test sections – Instrumentation. VTI Notat 12A, Linköping.

Erlingsson, S. (2015); E45 (ej publicerad).

Gudmarsson, A. (2015); Utveckling av alternativa beläggnings-konstruktioner, SBUF rapport, ID:12926, PEAB.

Judycki, J., P. Jaskula, B. Dolzycki, M. Pszczola, M. Jaczewski, D. Rys & M. Stienss (2015); Investigation of low-temperature cracking in newly constructed high modulus asphalt concrete base course of a motorway pavement, Road Materials and Pavement Design, DOI:10.1080/14680629.2015.1029674

Karlsson, R. (2008); Underlag till schabloner för DoU-kostnader i EVA och Vägverkets effektsamband för nybyggnad och förbättring. VTI Notat 10-2008. VTI, Linköping.

Lundberg, R., S. Ågren och K. Vikström (2003). VIACO-konceptet anvisningar VIACOMAC. Rapport 2003-03, NCC Roads.

Lundberg, Roger (2014): Energieffektiv asfaltbeläggning, FUD-ID 4930, Trafikverket (ej publicerad).

Modarres, A. & P. Ayar (2016); Comparing the mechanical properties of cold recycled mixture containing coal waste additive and ordinary Portland cement. International Journal of Pavement Engineering, 17:3, 211-22.

Nordgren, T. (2004); PMB identifiering av egenskaper i bitumen som ger rätt egenskaper i beläggning. SBUF Rapport Skanska Sverige AB Teknik Väg och Asfalt.

Olard, F., (2012); GB5 Mix Design: High-Performance and Cost-Effective Asphalt Concretes by Use of Gap-Graded Curves and SBS Modified Bitumens, AAPT vol 81.

Said, S.F. och T. Jacobson (2015); Kalltillverkad asfaltbeläggning, VTI rapport 865

Said, S.F., H. Carlsson, L. Viman och T. Nordgren (2014); Provsträckor med gummiasfalt, Ragn-Sells infart vid granulat-anläggningen, Heljestorp. VTI rapport 803.

Said S. F. m.fl. , (2016), Tillståndsutveckling, provväg E6 PMB, Uddevalla, VTI rapport 904, Utkast,

Thanaya, I.N.A., J. P. Forth and S. E. Zoorob (2006). Utilisation of coal ashes in hot and cold bituminous mixtures. International coal ash technology conference, AshTech 2006. Birmingham, West Midlands, UK.

Thanaya, I.N.A., S.E. Zoorob and J.P. Forth (2009). A laboratory study on cold-mix, cold-lay emulsion mixtures. Proceedings of the Institute of civil Engineers, ice, Transport 162 Issue TR1. UK.

Ulmgren, N. och K.-J. Aksell (2005). Provväg E6 Geddeknippeln - Kallsås Polymermodifierade bindemedel, Byggnadsrapport 2004. SBUF Rapport, Rapport 2005-10, NCC Roads Sverige.

www.vti.se

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Huvuduppgiften är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Kvalitetssystemet och miljöledningssystemet är ISO-certifierat enligt ISO 9001 respektive 14001. Vissa provningsmetoder är dessutom ackrediterade av Swedac. VTI har omkring 200 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg, Borlänge och Lund.

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), is an independent and internationally prominent research institute in the transport sector. Its principal task is to conduct research and development related to infrastructure, traffic and transport. The institute holds the quality management systems certificate ISO 9001 and the environmental management systems certificate ISO 14001. Some of its test methods are also certified by Swedac. VTI has about 200 employees and is located in Linköping (head office), Stockholm, Gothenburg, Borlänge and Lund.

HEAD OFFICE
LINKÖPING
SE-581 95 LINKÖPING
PHONE +46 (0)13-20 40 00

STOCKHOLM
Box 55685
SE-102 15 STOCKHOLM
PHONE +46 (0)8-555 770 20

GOTHENBURG
Box 8072
SE-402 78 GOTHENBURG
PHONE +46 (0)31-750 26 00

BORLÄNGE
Box 920
SE-781 29 BORLÄNGE
PHONE +46 (0)243-44 68 60

LUND
Medicon Village AB
SE-223 81 LUND
PHONE +46 (0)46-540 75 00