

SBUF-projekt

Datum
2009-07-31

Författare
Kenneth Olsson – Skanska

Skanska Sverige AB
Teknik - Väg och Asfalt
Box 49
123 21 Farsta
Tel: 010-448 78 67

Beteckning
12126

Utvärderingen av högpresterande bitumen

Teknisk och ekonomisk jämförelse av olika asfaltbeläggningar på provsträckor E18 Järva Krog - Bergshamra



FÖRORD

Detta projekt har varit samfinansierat mellan SBUF, Vägverket och Nynas AB.
Referensgruppen har bestått av följande personer:

Kenneth Olsson,	Skanska Teknik	<i>Projektledare</i>
Hamid Sedaghati,	Skanska Teknik	
Thorsten Nordgren,	Vägverket	
Jonas Ekblad,	NCC	
Bengt Sandman,	Nynas AB	

Det laborativa arbetet har utförts av Skanska Teknik:s väglaboratorium i Farsta och Malmö. Utläggning av provsträckorna genomfördes av Skanska Asfalt & Betong Mälardalen/Stockholm. Vägverket region Stockholm har finansierat vägytemätningar på sträckan.

Provsträckorna kommer att följas i framtiden för att se om den predikterade livslängden, som tagits fram i denna rapport, uppfylls för de tre olika asfaltbeläggningarna.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

I. SAMMANFATTNING.....	4
1. BAKGRUND.....	5
2. SYFTE.....	6
3. GENOMFÖRANDE.....	7
4. TILLVERKNING AV ASFALTMASSORNA...8	
4.1 GAP 16, kkv<5.....	9
4.2 ABS 16 Nypol 50/100-75, kkv<5.....	9
4.3 ABS 16 70/100, kkv<5.....	9
5. UTLÄGGNING AV ASFALTMASSORNA....10	
6. REDOVISNING AV PROVNING.....12	
6.1 Hålrumsalter på väg.....	12
6.2 Nötningstest enligt Prall.....	13
6.3 Vattenkänslighet enligt ITSr.....	15
6.4 Deformationstest enligt Wheeltrack och Dynamisk kryptest.....	16
6.5 Masterkurvor.....	19
7. SPÅRDJUPSMÄTNING OCH TEXTUR.....22	
7.1 Spårdjup initialt.....	22
7.2 Spårdjup, okulär besiktning efter första vintern.	23
7.3 Texturmätning.....	24
8. BULLER.....25	
9. EKONOMISK JÄMFÖRELSE.....26	
10. SLUTSATSER.....27	

BILAGA 1: BESTÄMNING AV MASTERKURVA MED IDT

I. SAMMANFATTNING

Att använda högpresterande bitumen innebär initialt en fördyrad kostnad men med en längre livslängd kan asfaltbeläggningsen ändå ur ett årskostnadsperspektiv bli den ekonomiskt bästa lösningen.

I detta projekt har två olika typer av högpresterande bitumen ställts mot ett standard konventionellt bitumen (70/100). Det ena bituminet är polymermodifierat och går under benämningen 50/100-75. Det andra är ett gummimodifierat bitumen.

Laboratorieförsöken med funktionella mätmetoder visar att asfaltbeläggningsarna tillverkade med de båda högpresterande bitumen ger betydligt bättre egenskaper än motsvarande referens med konventionellt bitumen. Detta är i likhet med tidigare erfarenheter.

Alla tre beläggningsarna lades ut på E18 mellan Järva Krog och Bergshamra där slitageutvecklingen långsiktigt kan följas upp.

Undersökningen i denna rapport visar att en ökad livslängd på 1 år krävs för att merkostnaden för den polymermodifierade beläggningsen skall betala tillbaka sig och få samma årskostnad som referensbeläggningsen.

För den gummimodifierade beläggningsen, GAP16, behövs en ökad livslängd på 2 år för att erhålla samma årskostnad.

1. BAKGRUND

Den ökande trafikmängden på Sveriges vägnät har inneburit att asfaltbeläggningarna slits ut snabbare. Som ett led i att bromsa upp denna utveckling utförs försök med högpresterande bitumen i slitlagerbeläggningar.

Att använda högpresterande bitumen innebär initialt en fördyrad kostnad men med en längre livslängd kan asfaltbeläggningen ändå ur ett årskostnadsperspektiv bli den billigaste lösningen.

Tekniken med att polymermodifiera bindemedel har funnits sedan en längre tid i Sverige men användningen är fortfarande mycket liten. Tendenserna ute i Europa är dock att användningen stadigt ökar i takt med att trafiklasterna ökar.

I USA har gummimodifierat bitumen med framgång använts på vägnät med återkommande sprickbildning. Flexibiliteten i asfaltbeläggningen med gummimodifierat bitumen gör att inte sprickorna återuppstår i den nya vägytan.

En avgörande fråga i Sverige är hur motståndskraftiga slitlagerbeläggningar med högmodifierade bitumen är mot dubbdäcksslitage. Kan den fördyrande kostnaden betala tillbaka sig i form av mindre slitage på våra vägar?

I ett körfält (K2) på E18 mellan trafikplatserna Järva Krog och Bergshamra valde Vägverket Region Stockholm att lägga några jämförande provsträckor för att studera effekten av högpresterande bindemedel i slitlagerbeläggningar.

2. SYFTE

Syftet med provsträckorna är att finna om merkostnaderna för de olika högpresterande bitumen betalar tillbaka sig i form av långsammare spårdjupsutveckling på vägytan. Med hjälp av funktionella provningsmetoder på lab samt mätningar i fält kommer de olika asfalttyperna att jämföras mot varandra. Årskostnadsanalyser skall tas fram för de olika utförda belägningarna.



Bild 1: Provsträckor E18 K2 Järva-Krog - Bergshamra

3. GENOMFÖRANDE

Förutom att ta ut asfaltmassa vid asfaltverket uttogs borrhärdar på de utlagda provsträckorna för följande analyser:

- **Wheel-tracking enligt Asphalt Pavement Analyzer:**
En metod för att mäta deformations-resistens vid +50°C.
- **Prall-test, SS-EN 12697-16:**
Metoden undersöker slitlagrets nötningsresistens.
- **Vattenkänslighet, SS-EN 12697-12:**
Metoden används för att undersöka vidhäftningsegenskaper mellan sten och bindemedel (ITSR).

Asfaltmassan packades även med vält på laboratoriet och kärnor borrades ur för undersökning av:

- **Dynamisk kryptest, FAS 468:** Stabilitetstest vid +40°C
- **Masterkurvor med Indirect Tensile Test (IDT):** Styvhetstest

Beläggningarna mättes med mätbil under hösten för att erhålla ett sk ”noll-värde” och efter dubbdäckssäsongen utfördes en okulär besiktning av sträckan. Från mätbilen har även texturvärden för respektive beläggning tagits fram.



Bild 2: Vacuum-mättning vid ITSR-test

4. TILLVERKNING AV ASFALTMASSORNA

Asfaltbeläggningarna tillverkades vid Skanskas asfaltverk i Vällsta under perioden 23-25 augusti 2008. Tre typer av beläggningar producerades:

- 620 ton GAP 16, kkv<5 (gummimodifierat bitumen)
- 240 ton ABS16 Nypol 50/100-75, kkv<5 (polymermodifierat bitumen)
- 200 ton ABS16 70/100, kkv<5 (referens bitumen)

En sammanställning över kornstorleksfördelning och bitumenhalt finns i tabell 1.

Beläggning	B-halt Vikt-%	0,063 mm	2 mm	4 mm	8 mm	11,2 mm	MH Vol-%
GAP 16	8,7 %	7,5	22,0	24,0	44,0	68,0	2,4 vol-%
ABS 16 50/100-75	5,9 %	10,5	21,0	23,0	38,0	65,0	2,6 vol-%
ABS 16 70/100	5,9 %	10,5	21,0	23,0	38,0	65,0	2,6 vol-%

Tabell 1: Kornstorleksfördelning, Marshallhålrum och bitumenhalt för de olika recepten.

4.1 GAP 16, kv<5

Vägverket tillhandahöll en blandningsenhet där gummigranulat (0-1 mm) från rivna bildäck blandas med bitumen. Gummibitumen blandningen får reagera i en tank i ca 1 timme vid en temperatur på 160-170°C innan den pumpas till asfaltverkets blandare. Andelen gummi uppgår till ungefär 20 % av bitumenmängden, vilket innebär en gummihalt på 1,5-2 % i den färdiga asfaltmassan. Receptvärdet för GAP 16 i detta försök var 8,7 vikt-% gummibitumen.

4.2 ABS 16 Nypol 50/100-75, kv<5

Nypol 50/100-75 är ett polymermodifierat bitumen som tidigare har lagts på vägsträckor kring Stockholmsregion. Polymermodifiering innebär att en polymer (normalt 3-6 %) blandas med bitumen, till exempel vid en bitumendepå eller raffinaderi, och sedan hanteras som ett vanligt bitumen innan den tillsätts i asfaltverkets blandare. Tillverkningstemperaturen ligger mellan 165-170°C. Receptvärdet för denna beläggning var 5,9 vikt-%, Nypol 50/100-75.

4.3 ABS 16 70/100, kv<5

Den vanligaste asfaltprodukten på de högtrafikerade vägarna i Stockholmsregionen är ABS 16 70/100. Valet av stenmaterialkvalitet är avgörande på hur snabbt beläggningen nöts ut av dubbdäcken. Receptvärdet för denna beläggning var 5,9 % av standardbituminet 70/100. Tillverkningstemperaturen ligger mellan 155-165°C

5. UTLÄGGNING AV ASFALTMASSORNA

Asfaltbelägningarna lades ut på de yttre körfälten (K2) på E18 mellan trafikplatserna Järva Krog och Bergshamra. Beställare var Vägverket Region Stockholm. Den förra åtgärden på sträckan utfördes 2003 och beläggningstypen som då valdes var ABS16 70/100 kv<6. Medelspårdjupen vid åtgärden 2008 var ca 13-14 mm med ett antal enstaka sträckor på över 18 mm.

Trafikmängden i respektive körfält är ca 10 000 fordon/dygn och den skyltade hastigheten på sträckan är 70 km/h.

Riktningen mot Bergshamra kallas framriktningen och ligger på Vägverkets VDB-data mellan sektion 35/340- 36/840. Riktningen mot Järva Krog kallas bakriktningen och ligger mellan sektionerna 82/600-84/100.

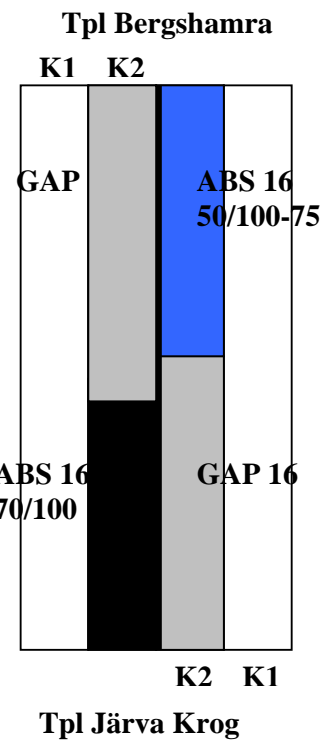


Bild 3: K2 i båda riktningarna efter en vinter (GAP vänster, ABS16 Nypol 50/100-75 höger)

På sträckan med riktning mot Bergshamra lades först ca 900 meter GAP16 $kkv < 5$ och sedan avslutningsvis ca 600 m ABS16 Nypol 50/100-75 $kkv < 5$.
 I andra riktningen lades ca 1000 m GAP16 $kkv < 5$ och slutligen 500 m ABS16 70/100 $kkv < 5$. Vid utläggningstillfället användes Heater för att värma upp det frästa underlaget samt Shuttle Buggy (se bild nedan) för att homogenisera asfaltmassan innan utläggning.



Bild 4: Shuttle Buggy i action (foto Håkan Jonsson; Ej detta objekt)



6. REDOVISNING AV PROVNING

6.1 Hålrumsalter på väg

För att kontrollera att rätt vältinsats utförts på belägningarna borrades 1 serie kärnor upp från resp massatyp för analys av hålrumsalter. Samtliga hålrumsalter ligger inom toleranserna för kraven enligt VVTBT (1,5-5,0 vol-%). Referensen har fått en mycket bra packning och ligger på hålrumsalter strax under 2,0 vol-%. Hålrumsalter för GAP 16 uppmättes till ca 3,0 vol-%. Sämst packningsgrad har den polymermodifierade massan erhållit. Den initiella spårbildningen kan för denna massa bli något större pga efterpackning från trafiken.

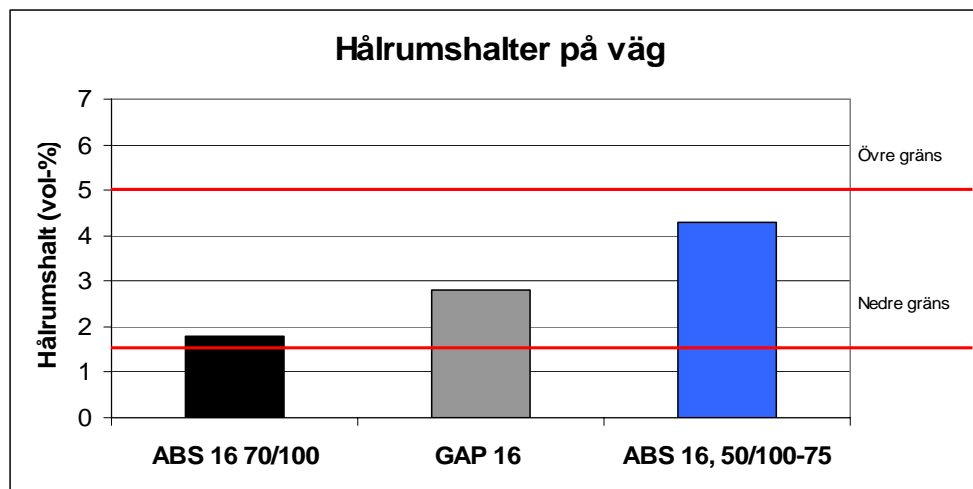


BILD 5 : Hålrumsalter på väg

6.2 Nötningstest enligt Prall

Tillvägagångssättet för att mäta asfaltbelägningars motståndskraft mot dubbdäckens nötning görs med en metod som kallas Prall. 40 st stålkulor nöter på den uppborrade provkroppen och efter 15 minuter registreras den bortnötta mängden och ett sk. Prallvärde kan beräknas. För högtrafikerade vägar (> 7000 fordon/dygn) bör prallvärdet vara < 24 cm³ för att få så lång livslängd som möjligt på belägningen. I dessa provsträckor har ett stenmaterial som har kulkvarnsvärde <5 valts och för referensen, ABS 16 70/100, har ett prallvärde på 20 cm³ uppmätts vilket är mycket bra.

Den polymermodifierade belägningen, ABS 16 50/100-75, visar på ett prallvärde som är 33 % bättre än referensen. Orsaken till detta tros vara ett mycket starkt bruk mellan stenarna.

Den gummimodifierade belägningen, GAP 16, visar på ett prallvärde som ytterligare är 33 % bättre än den polymermodifierade. Orsaken till detta tros vara ett mycket starkt bruk med mycket bindemedel som skyddar stenarna, detta kan även åskådas i nedanstående bild.

Efter den första vinterns dubbdäcksnötning på den gummimodifierade belägningen kan dock inte samma feta yta synas som på provkropparna efter pralltestet.

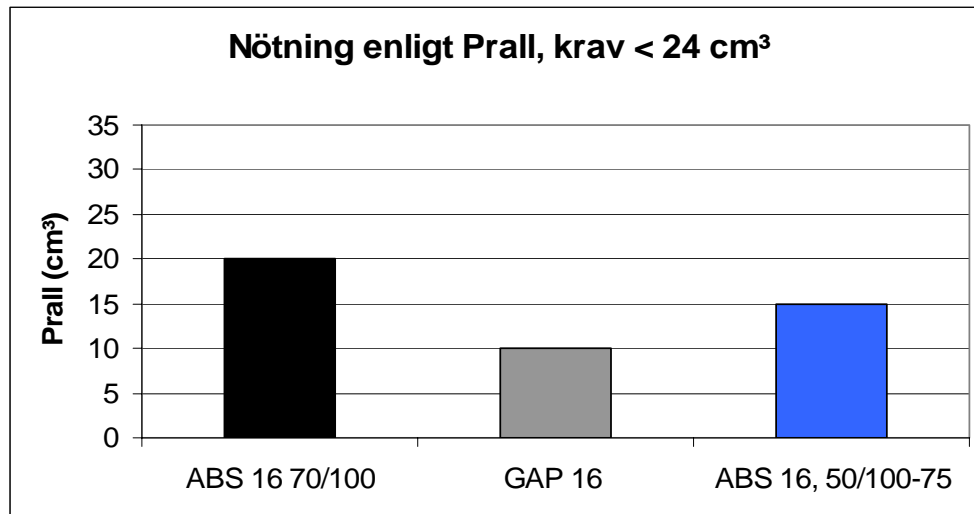


Bild 6: Prallresultat



Bild 7: Provkroppar från Prall-körning

6.3 Vattenkänslighet enligt ITSR

För att mäta asfaltbelägningarnas vattenkänslighet används ITSR-metoden. I detta fall har den våta serien lagrats i 7 dygn. Draghållfastheten provades vid +10°C. Kravet för slitlager är satt till ITSR>75%. Samtliga tre beläggningstyper uppvisar mycket goda ITSR-tal (>90%) för de uppborrade kärnorna. För alla beläggningar tillsattes Wetfix AP 17 som vidhäftningsbefrämjande medel.

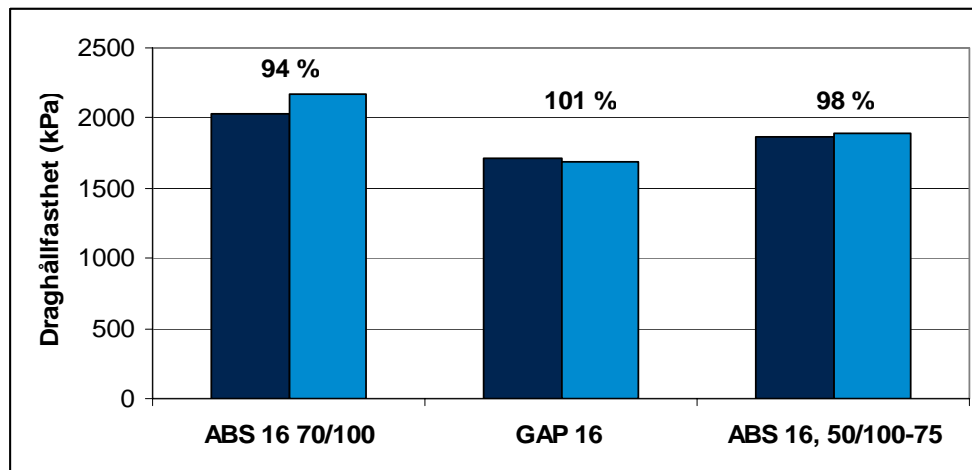


Bild 8: ITSR-resultat

6.4 Deformationstest enligt Wheeltrack och Dynamisk kryptest

Från 150 mm:s borrhärnor på vägen provades de översta 80 mm av asfaltlagren som en sammansatt provkropp för att se hur deformationskänslig den delen är. Detta innebär förutom att den nylagda asfalten provas så provas även den närmast underliggande. I samtliga fall bestod den underliggande asfalten av en gammal ABT16-beläggning där den ingående tjockleken i provet var 40 mm för GAP och PMB beläggningen och ca 35 mm för referens-beläggningen.

Wheeltrack-metoden som användes kallas Asphalt Pavement Analyzer (APA) och är en amerikansk metod som främst används i FoU syfte. Metoden överensstämmer dock ej med SS-EN metoden för wheeltracking. Resultaten visade att sträckan med polymermodifierad beläggning hade lägst spår tillväxt efter 8000 överfarter vid +50°C.

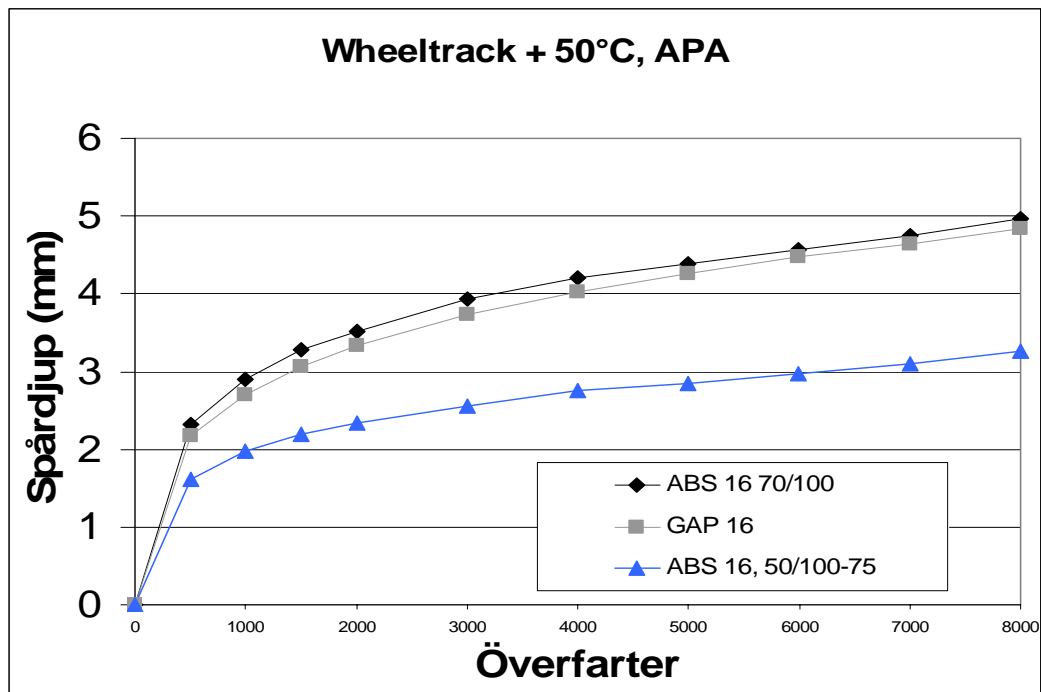


Bild 9: Wheeltrack-resultat vid +50°C

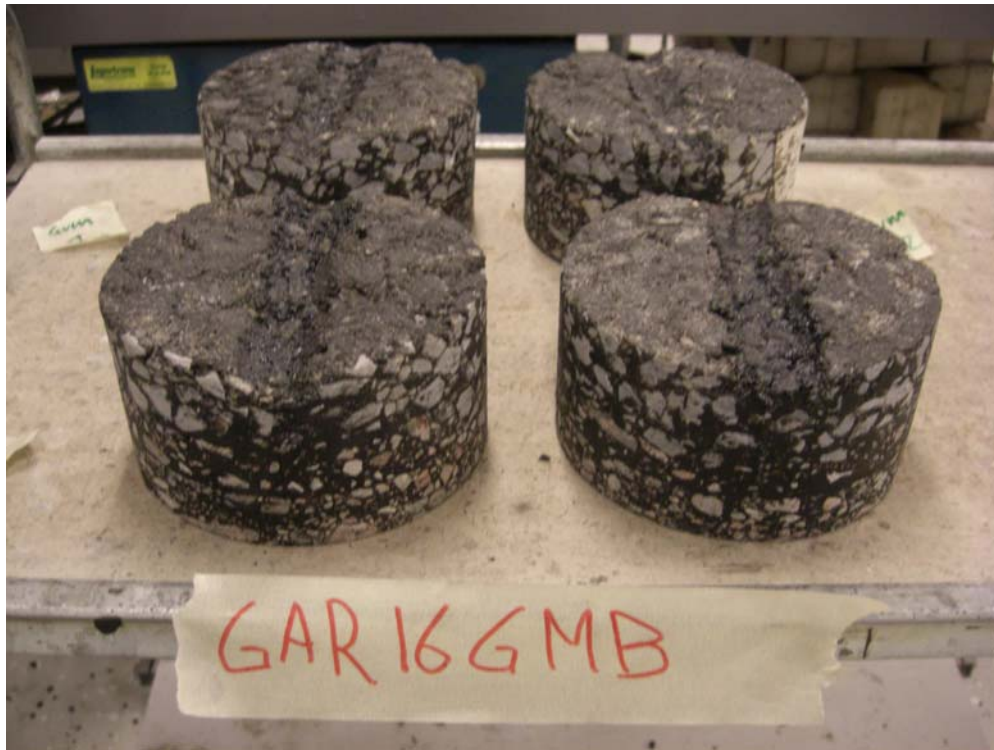


Bild 10: Provkroppar från Wheel-track körning

För att prova deformationsegenskaperna på den aktuella beläggningstypen tillverkades provplattor från asfaltmassa (tjocklek 40 mm) där 6 st 150 mm:s borrhävar togs ut för test enligt metoden Dynamisk kryptest. Denna test utförs under två timmar i +40°C. Tillverkningstemperaturen var ca 160°C och plattorna packades direkt efter blandningen.

De uppnådda hålrumshalterna för de aktuella provkropparna blev i medeltal:

- GAP 16, $kkv < 5$ 1,0 vol-%
- ABS16 Nypol 50/100-75, $kkv < 5$ 2,5 vol-%
- ABS16 70/100, $kkv < 5$ 3,0 vol-%

Både GAP och PMB belägningen kunde packas till lägre hålrumsalter än vad som uppmättes på borrhärderna från vägen. För referensen blev resultatet tvärtom, dvs en sämre packningsgrad.

Resultaten visar även här att den polymermodifierade belägningen har de bästa deformationsegenskaperna med ett värde på ca 17 000 microstrain. Den gummimodifierade belägningen, GAP16, visar i detta test något sämre deformationsegenskaper medan referensen uppvisar betydligt sämre resultat, vilket dock kan bero på en något sämre packningsgrad.

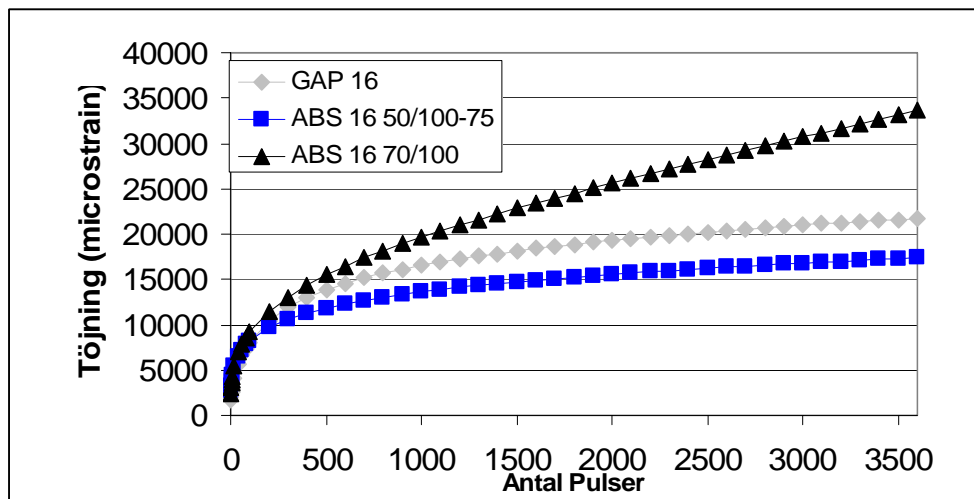


Bild 11: Resultat från Dynamisk kryptest vid +40°C

Beläggning	Prov nr 1	Prov nr 2	Prov nr 3	Medelvärde (microstrain)	Std avv
GAP 16	19 381	25 332	20 514	21 700	3 200
ABS 16 50/100-75	22 991	15 028	14 115	17 400	4 900
ABS 16 70/100	30 851	36 260	33 841	33 600	2 100

Tabell 2: Enskilda värden, medelvärden och std avv. för dynamisk kryptest (2*30 mm)

6.5 Masterkurvor

Vid bestämningen av masterkurvorna har Indirect Tensile Test (IDT), även kallad pressdragprovning använts, se Figur 1. Den största fördelen med metoden är att provkroppar uppborrade från beläggningar i fält kan testas. En metodik för att bestämma den dynamiska modulen och fasvinkeln från denna typ av försök har utvecklats vid NCSU (North Carolina State University) (Kim et al., 2004). För detaljer hänvisas till den angivna referensen.

De uppnådda hålrumsalterna för de aktuella provkropparna blev:

- GAP 16, $kkv < 5$ 1,0 vol-%
- ABS16 Nypol 50/100-75, $kkv < 5$ 2,2 vol-%
- ABS16 70/100, $kkv < 5$ 2,2 vol-%

I bild 12 och bild 13 redovisas data grafiskt. Från graferna framgår det att det finns en viss skillnad mellan de mekaniska egenskaperna för de testade beläggningarna. Den polymermodifierade beläggningen har högre styvhetsmodul vid höga temperaturer och/eller långsamma belastningshastigheter jämfört med de övriga beläggningarna.

Även den linjära delen i mitten av masterkurvan är flackare för den polymermodifierade beläggningen jämfört med referensen och gummibeläggningen, vilket indikerar att de mekaniska egenskaperna är bättre för denna beläggning.

Referensen och gummibeläggningen har relativt likartade egenskaper. Det finns en tendens att gummibeläggningen är något styvare vid höga temperaturer och/eller långsamma belastningshastigheter jämfört med referensen.

Vid låga temperaturer och/eller snabba belastningshastigheter uppvisar beläggningarna ungefär likvärdiga egenskaper med avseende på styvhetsmodul.

Det är dock inte möjligt att uttala sig om exempelvis utmattningsegenskaper, motståndskraft mot termisk sprickbildning etc. För detta krävs andra typer av försök.

Samma tendens går igen då figuren för fasvinkeln studeras. Den polymer-modifierade belägningen tappar sin lastbärande förmåga vid lägre frekvens jämfört med de övriga belägningarna, vilket är en indikation på bättre motståndskraft mot permanenta deformationer. Gummibelägningen har något bättre motståndskraft mot permanenta deformationer jämfört med referensbelägningen.

I bilaga 1 redovisas en utförligare rapport över de framkomna resultaten.

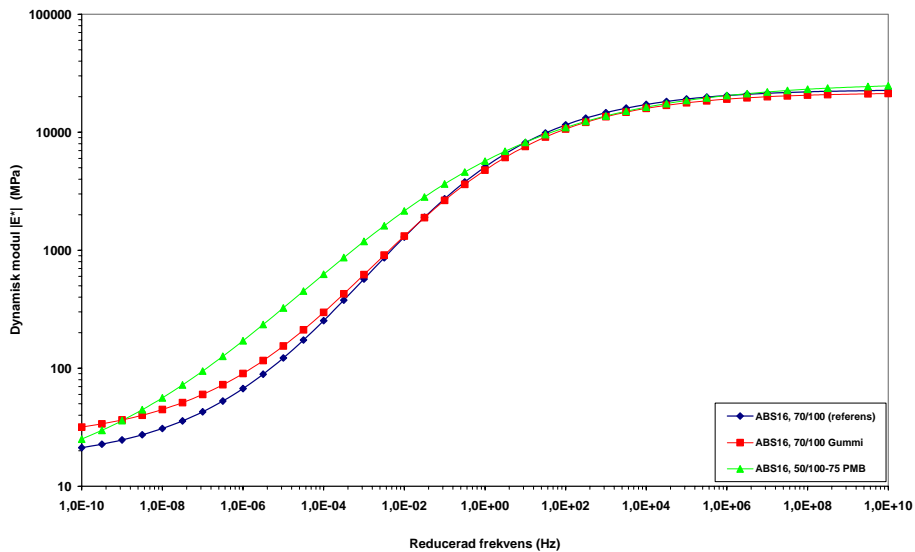


Bild 12: Masterkurvor

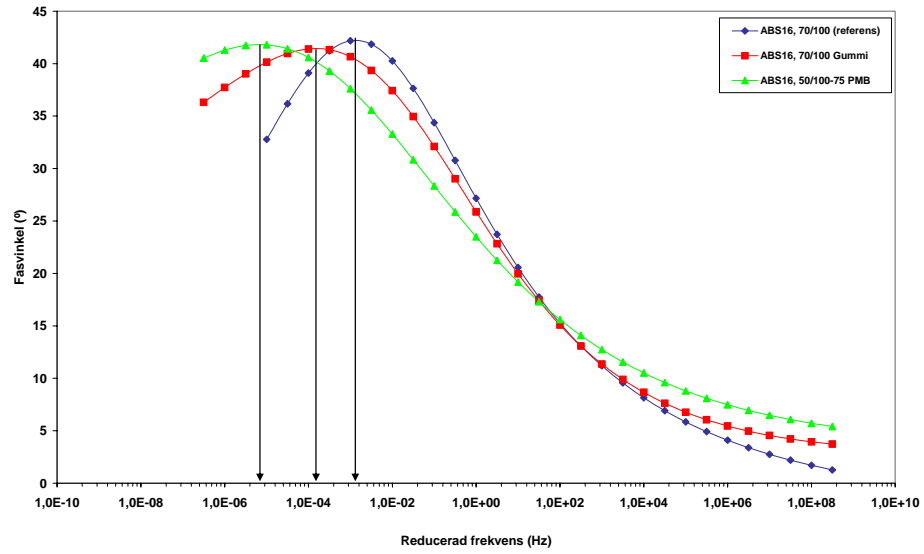


Bild 13: Fasvinkel

7. SPÅRDJUPSMÄTNINGAR OCH TEXTUR

7.1 Spårdjup initialt

Vägverket Region Stockholm beställde spårdjupsmätning av objektet ca 2 månader efter läggningen. Spårdjupsmätningen nedan baseras på 20 meters sträckor och med 15 lasrar. Initialt ser vi att den sämre packningsgraden på ABS16 50/100-75 har medfört större initialdeformationer än både referensen ABS 16 och GAP 16.

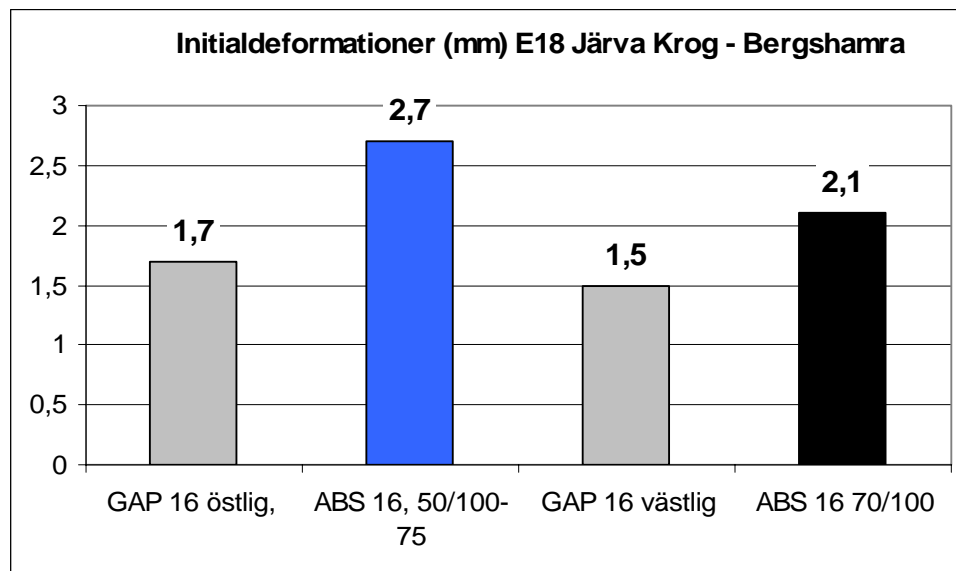


Bild 14: Initialdeformation efter utläggning

7.2 Spårdjup, okulär besiktning efter första vintern

Den 29 april utfördes spårdjupsmätningar okulärt med rätskiva och skjutmått i både vänster och höger hjulspår (max-värde) med en frekvens av var 100:e meter. Resultaten av dessa mätningar visar att den gummimodifierade beläggningen efter första vintersäsongen har lägst spårtillväxt samt att referens och Pmb har något högre resultat. Under de kommande åren kommer mätvärden från de årliga RST-mätningarna att följas upp.

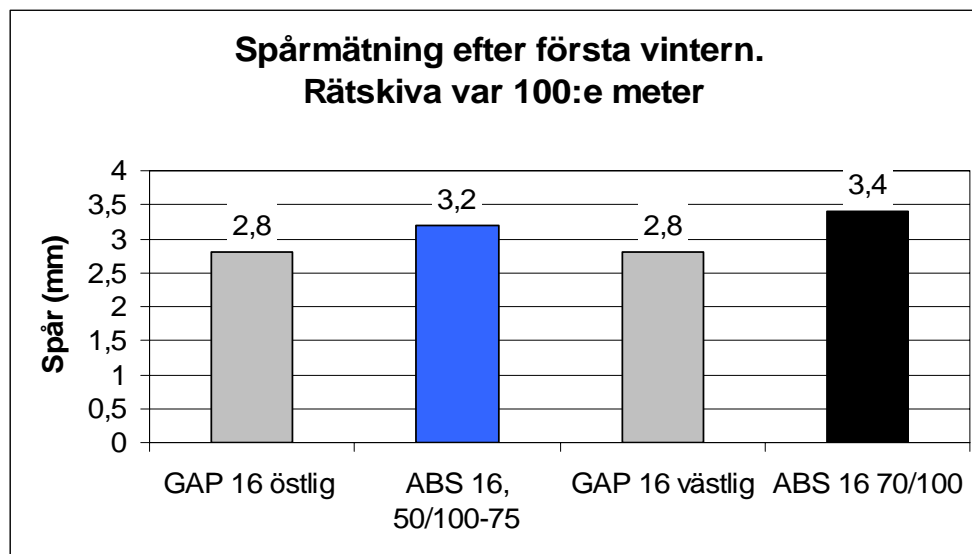


Bild 15: Medelspårdjup efter första vintern, mätt med rätskiva

7.3 Texturmätning

Vägverket Region Stockholm beställde texturmätning av objektet ca 2 månader efter läggningen. Ett lågt MPD (Mean Profile Depth) kan ge risk för dålig friktion och ett högt värde kan ge risk för stensläpp. MPD-värdet är lägre för GAP16 jämfört mot de båda övriga belägningarna.

Megatexturvärdet påverkas av tex förekomsten av sprickor, slaghål och stensläpp. Ett lägre värde ger bättre önskvärda egenskaper. Höga värden innebär normalt ökad bullernivån, större däckslitage samt ökad bränsleförbrukning. Megatexturen är lägre för GAP16 jämfört mot de båda övriga belägningarna.

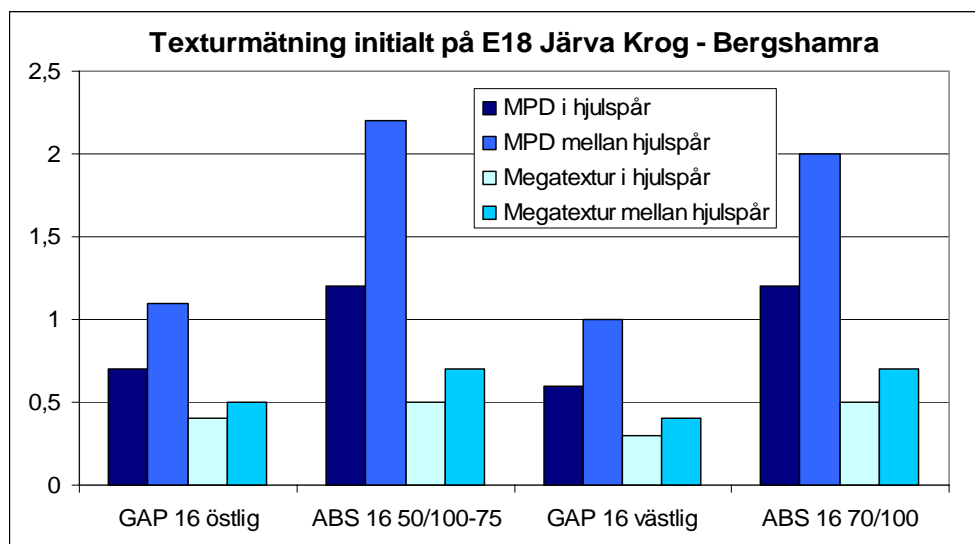


Bild 16: Texturmätning

8. BULLERMÄTNINGAR

Bullermätningar utförde ca 1 månad efter läggningen och resultaten visar på en reduktion på ca 1 dB(A) för GAP 16 jämfört mot de övriga två beläggnings-typerna. Mätningen utfördes enligt CPX-metoden (ISO/CD 11819-2), se bild 18, av tekniska universitetet i Gdansk.

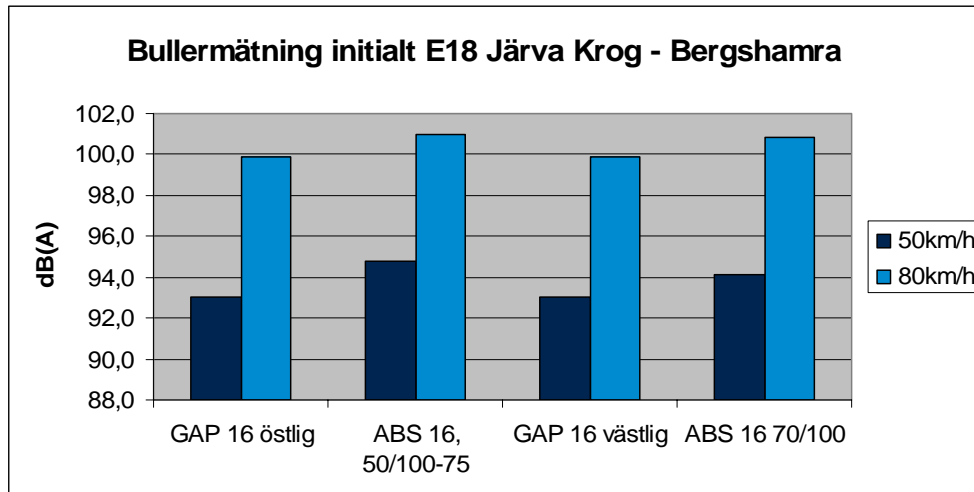


Bild 17: Bullermätning med CPX-metoden.



Bild 18: CPX-metoden.

9. EKONOMISK JÄMFÖRELSE

En viktig faktor vid val av dyrare produkter är att tidpunkten för nästa åtgärd senareläggs. I detta försök har kostnaderna för de tre olika asfaltbelägningarna sammanställts i tabell 3. Det polymermodifierade alternativet är i storleksordningen 18 % dyrare än referensbelägningen och den gummimodifierade belägningen ytterligare något dyrare.

	ABS 16 70/100	ABS 16 PMB	GAP 16
Pris bitumen (kr/ton)	4000	5900	4000
Bitumenhalt (vikt-%)	5,9	5,9	7,3
Gummikostnad (kr/ton asfalt)			56
Kostnad bitumen (kr/ton)	236	348	292
Sten/blandning (kr/ton)	300	300	300
Extra logistik, kapacitet (kr/ton asfalt)	0	20	120
Utläggning (kr/ton)	200	200	200
Asfaltpris (kr/ton)	736	868	968
Skillnad i pris (%)	0	18	32
Pris (kr/m ²) 100 kg/m ²	74	87	97

Tabell 3: kostnadsjämförelse

I bild 19 åskådliggörs den förväntade livslängden för de olika beläggningstyperna. De första mätpunkterna efter ett halvår är baserat på den okulära besiktningen. De övriga punkterna är skattade utifrån årskostnadsberäkningar.

Om den förväntade livslängden för referensbelägningen ABS 16 70/100 ansätts till 7 år (16 mm spårbildning) så krävs det att den polymermodifierade belägningen klarar 8 år och att den gummimodifierade klarar 9 år för att få samma årskostnad.

I framtiden är det viktigt att detta spårdjupsförlopp följs upp.

Erforderlig livslängd för likvärdig Årskostnad. E18 Järva Krog - Bergshamra

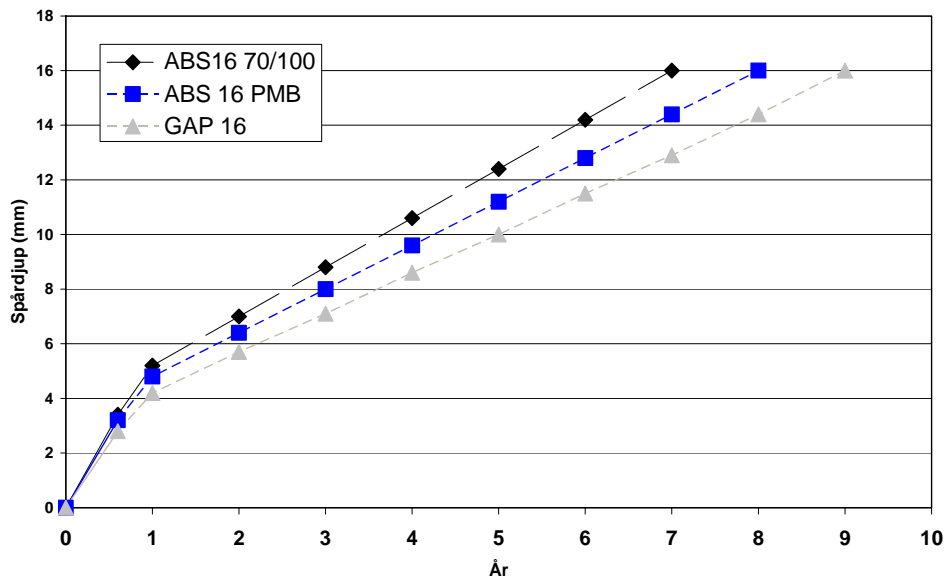


Bild 19: Erforderlig livslängd för likvärdig årskostnad

10. SLUTSATSER

Även i denna rapport kan det konstateras att användandet av högpresterande bitumen ger bättre egenskaper på asfaltbelägningen både för laborietillverkade och uppborrade provkroppar.

Undersökningen i denna rapport visar också att en ökad livslängd på 1 år krävs för att merkostnaden för den polymermodifierade belägningen skall betala tillbaka sig och få samma årskostnad som referensbelägningen. För den gummodifierade belägningen, GAP16, är motsvarande ökad livslängd 2 år.

Uppföljningen av det verkliga slitaget ute på vägen blir avgörande i framtiden.

Bilaga 1

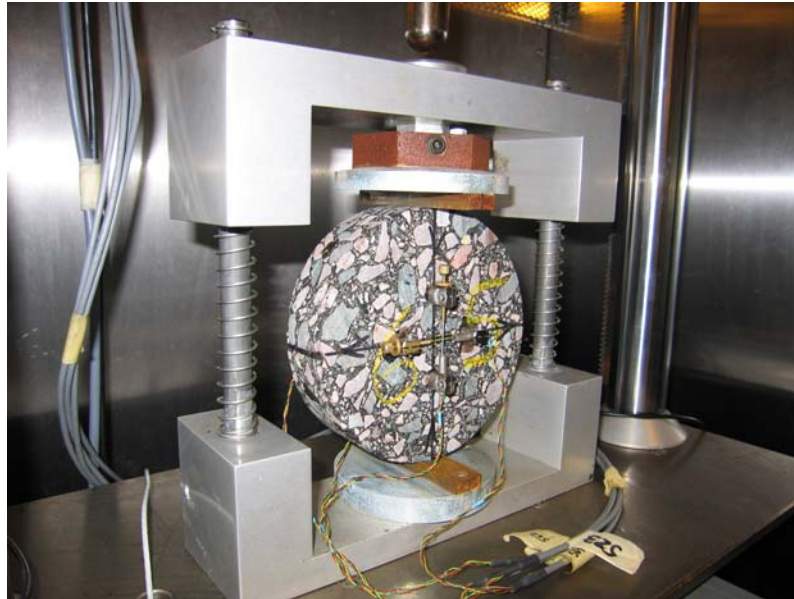
UPPDRAG	:	Bestämning av masterkurva på uppborrade provkroppar på till laboratoriet inkommet material.
UPPDRAGSGIVARE Teknik Väg & Asfalt	:	Kenneth Olsson, Skanska
UPPDRAGET INKOM	:	2008-12-16
ENTREPRENÖR	:	-
OBJEKT	:	-
LEVERANTÖR	:	-
PRODUKT	:	ABS16 70/100 ABS16 70/100 gummi ABS16 50/100-75 PMB
PROVTAGNINGSDATUM	:	-
PROVTAGNINGSPLOTS/SEKTION:	:	-
PROVTAGARE	:	-
RESULTAT	:	Se omstående sidor.

Arbetsgång vid bestämning av masterkurva med Indirect Tesile Test (IDT)

1. Provkroppar (\varnothing 150 mm) borrar upp från befintliga beläggningar i fält.
2. När provkropparna anländer till laboratoriet parallellkas de så att höjden blir ca 40 mm.
3. Efter kapning bestäms skrymdensitet för provkroppen genom vägning i luft och vatten (FAS 427-98).
4. När provkropparna är torra bestäms höjd och diameter genom mätning med skjutmått.
5. Avslutningsvis limmas givarhållare fast på ytan så att deformationerna kan registreras under försökets gång. Både horisontella och vertikala deformationer registreras.
6. Efter temperering är provkroppen klar för test. Totalt används fyra temperaturer (-10, 5, 20 och 35°C) och tio frekvenser (25, 20, 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.1 och 0.01 Hz). Vid höga temperaturer och/eller låga frekvenser, dvs. vid mycket låga moduler, kan det ibland vara nödvändigt att utesluta de lägsta frekvenserna p.g.a. att brus i data blir för stort.

Beskrivning av metod

Vid bestämningen av masterkurvorna har Indirect Tensile Test (IDT), även kallad pressdragprovning använts, se Figur 1. Den största fördelen med metoden är att provkroppar uppborrade från beläggningar i fält kan testas. En metodik för att bestämma den dynamiska modulen och fasvinkeln från denna typ av försök har utvecklats vid NCSU (North Carolina State University) (Kim et al., 2004). För detaljer hänvisas till den angivna referensen.



Figur 1 Ett exempel på försöksupställning som används för biaxiella försök (IDT)

Masterkurvorna har konstruerats med hjälp av skiftfaktorer. Skiftfaktorerna används för att skifta den dynamiska modulen, $|E^*|$, och fasvinkeln, ϕ , längs frekvensaxeln tills en jämn masterkurva vid en godtyckligt vald referenstemperatur uppnås. I detta fall har den välkända WLF (Williams, Landel, Ferry) ekvationen använts för att beskriva skiftfaktorerna och för att beskriva masterkurvan har en Sigmoidal-funktion använts. Metodiken som används för att konstruera masterkurvor är välkänd och finns beskriven i detalj på ett flertal ställen (se referenser), med anledning av detta redovisas inga detaljer i denna rapport.

Resultat

I Tabell 1 redovisas tjocklekarna och diametrarna för de testade provkropparna och i Tabell 2 samt i Figur 2 redovisas skrymdensiteterna. Skrymdensiteterna har bestämt innan provkropparna skickades till Malmö för vidare analys. I Tabell 2 samt i Figur 2 är det dessa värden som redovisas.

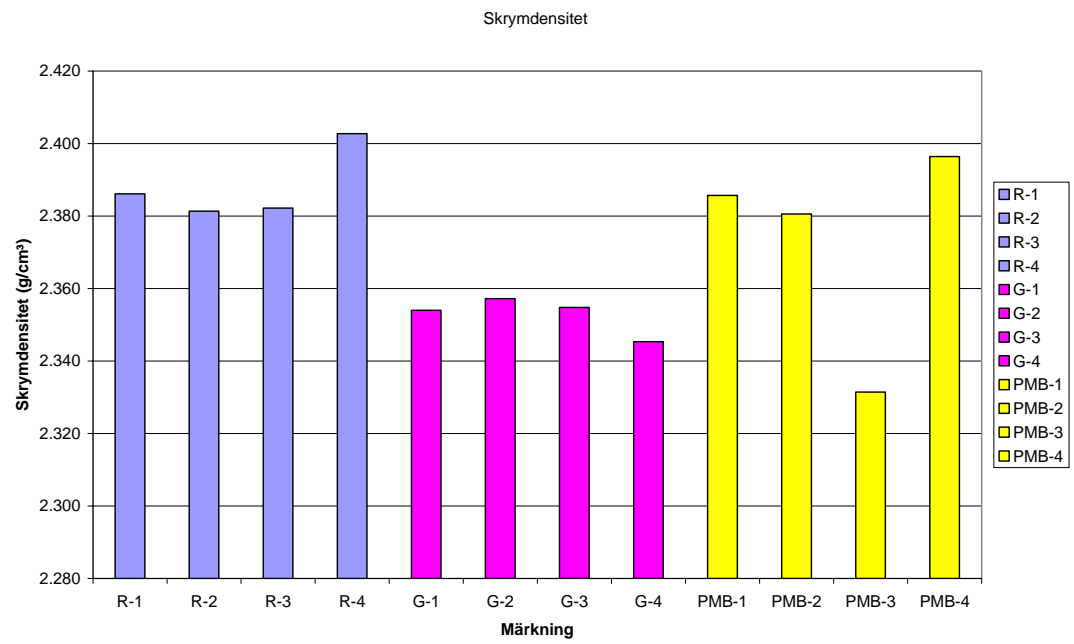
Tabell 1 Tjocklekar och diametrar för de testade provkropparna

Märkning	T1 (mm)	T2 (mm)	T3 (mm)	T4 (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	T- medel (mm)	D- medel (mm)
R-1	39.30	39.69	39.96	39.65	152.76	152.81	39.7	152.8
R-2	39.42	39.73	39.90	39.69	152.57	152.83	39.7	152.7
R-3	39.57	39.60	39.72	39.84	152.85	152.81	39.7	152.8
R-4	39.65	39.66	39.32	39.47	152.81	152.74	39.5	152.8
G-1	39.60	39.56	39.68	39.89	153.62	153.70	39.7	153.7
G-2	39.84	39.82	39.74	39.61	153.21	153.57	39.8	153.4
G-3	39.82	39.87	39.93	39.64	153.45	153.62	39.8	153.5
G-4	39.91	40.21	39.59	39.83	153.60	153.68	39.9	153.6
PMB-1	39.42	39.78	39.64	39.49	153.97	153.88	39.6	153.9
PMB-2	39.93	39.82	39.63	40.03	153.89	153.84	39.9	153.9
PMB-3	40.37	39.97	39.65	40.11	153.95	154.04	40.0	154.0
PMB-4	39.65	39.60	39.73	40.06	153.79	153.74	39.8	153.8

Tabell 2 Skrymdensiteter för de testade provkropparna

Märkning	Vikt i luft (g)	Vikt i vatten (g)	Vikt efter vatten (g)	Skrymdensitet (g/cm ³)
R-1	1715.0	1000.4	1717.7	2.386
R-2	1713.0	999.6	1717.5	2.381
R-3	1709.8	997.1	1713.4	2.382
R-4^{*)}	1724.3	1010.7	1726.9	2.403
G-1	1722.8	994.0	1724.4	2.354
G-2	1726.8	997.6	1728.7	2.357
G-3	1723.4	995.5	1725.9	2.355
G-4^{*)}	1714.6	986.9	1716.5	2.345
PMB-1	1747.2	1019.7	1750.6	2.386
PMB-2	1748.7	1019.0	1752.1	2.381
PMB-3^{*)}	1715.4	989.6	1723.9	2.331
PMB-4	1754.8	1026.2	1757.0	2.396

^{*)} Provkroppar som inte har testats.



Figur 2 Skrymdensiteter för de testade provkropparna

I

Tabell 3 till Tabell 5 redovisas dynamisk modul ($|E^*|$), fasvinkel (ϕ) och Poisson's tal för de testade beläggningarna. Värdena för Poisson's tal vid 35°C och vid låga frekvenser är i vissa fall inte rimliga och värden över 0.50 bör förkastas.

Tabell 3 Dynamisk modul, fasvinkel och Poisson´s tal för ABS16, 70/100 (referens) -10, 5, 20 och 35°C

Temp. (°C)	Frekvens (Hz)	Dynamisk modul, E* (MPa)		Fasvinkel, ϕ (grader)		Poisson´s tal (-)	
		Medelvärde	Standard- avvikelse	Medelvärde	Standard- avvikelse	Medelvärde	Standard- avvikelse
-10	25	18339	665	6.8	1.00	0.18	0.02
	20	18171	592	7.1	1.11	0.18	0.02
	10	17620	543	7.6	1.10	0.18	0.02
	5	16987	589	8.5	1.25	0.18	0.02
	2	16009	620	9.7	1.28	0.17	0.03
	1	15187	669	10.9	1.43	0.17	0.05
	0.5	14323	682	11.8	1.45	0.17	0.06
	0.2	13112	655	13.3	1.50	0.17	0.06
	0.1	12244	695	14.2	1.43	0.17	0.06
	0.01	9147	599	18.5	1.83	0.20	0.07
5	25	11617	692	14.5	1.46	0.18	0.06
	20	11372	673	15.1	1.58	0.18	0.06
	10	10411	665	16.7	1.59	0.19	0.07
	5	9480	673	18.3	1.62	0.22	0.09
	2	8191	664	20.7	1.67	0.24	0.11

	1	7214	609	22.5	1.72	0.25	0.11
	0.5	6289	561	24.6	1.79	0.26	0.11
	0.2	5145	492	27.2	1.82	0.27	0.12
	0.1	4361	426	29.0	1.72	0.29	0.12
	0.01	2238	214	36.1	1.60	0.32	0.14
20	25	5336	477	26.8	1.55	0.38	0.07
	20	5120	483	27.6	1.62	0.38	0.07
	10	4348	425	29.8	1.43	0.40	0.07
	5	3622	367	31.9	1.39	0.41	0.07
	2	2719	269	34.8	1.16	0.39	0.02
	1	2156	216	36.7	0.98	0.36	0.07
	0.5	1710	179	38.6	1.04	0.39	0.11
	0.2	1213	114	40.6	0.95	0.40	0.11
	0.1	943	90	42.1	1.21	0.41	0.12
	0.01	419	73	44.3	2.79	0.41	0.16
35	25	1493	208	40.0	0.98	0.44	0.12
	20	1354	209	40.4	1.45	0.45	0.15
	10	1003	144	41.2	1.37	0.45	0.15
	5	747	120	41.8	1.35	0.45	0.16
	2	517	107	41.8	1.45	0.46	0.16

	1	407	101	40.8	1.44	0.47	0.18
	0.5	331	93	39.6	1.20	0.47	0.18
	0.2	253	76	38.5	1.67	0.47	0.18
	0.1	227	88	37.8	2.23	0.49	0.21
	0.01	-	-	-	-	-	-

Tabell 4 Dynamisk modul, fasvinkel och Poisson´s tal för ABS16, 70/100 Gummi -10, 5, 20 och 35°C

Temp. (°C)	Frekvens (Hz)	Dynamisk modul, E* (MPa)		Fasvinkel, ϕ (grader)		Poisson´s tal (-)	
		Medelvärde	Standard- avvikelse	Medelvärde	Standard- avvikelse	Medelvärde	Standard- avvikelse
-10	25	17394	2296	7.6	1.38	0.25	0.05
	20	17188	2276	7.8	1.33	0.26	0.04
	10	16562	2247	8.2	1.23	0.26	0.05
	5	15869	2248	8.8	1.22	0.27	0.05
	2	14873	2213	9.8	1.23	0.27	0.05
	1	14085	2203	10.8	1.36	0.28	0.05
	0.5	13244	2156	11.6	1.43	0.29	0.06
	0.2	12153	2106	12.8	1.38	0.29	0.06
	0.1	11291	2044	13.7	1.58	0.30	0.06
	0.01	8520	1809	17.3	1.83	0.34	0.09

5	25	10643	2235	15.0	1.83	0.25	0.09
	20	10429	2182	15.3	1.70	0.25	0.10
	10	9554	2086	16.7	1.79	0.26	0.11
	5	8673	1976	18.2	1.75	0.27	0.11
	2	7500	1800	20.3	1.85	0.29	0.12
	1	6650	1654	21.9	1.95	0.31	0.13
	0.5	5825	1498	23.5	1.93	0.32	0.14
	0.2	4828	1303	25.7	1.91	0.34	0.15
	0.1	4168	1142	27.4	1.89	0.38	0.18
	0.01	2303	733	33.3	2.25	0.47	0.26
20	25	5141	1399	25.7	1.62	0.42	0.23
	20	4901	1384	26.4	1.71	0.40	0.21
	10	4143	1271	28.1	1.53	0.37	0.20
	5	3468	1106	29.8	1.43	0.38	0.22
	2	2664	896	32.3	1.36	0.40	0.23
	1	2153	749	33.9	1.32	0.41	0.24
	0.5	1706	610	35.8	1.50	0.40	0.25
	0.2	1257	451	37.7	1.32	0.41	0.26
	0.1	997	358	39.1	1.14	0.42	0.26
	0.01	442	142	43.1	1.15	0.40	0.27

35	25	1610	629	37.4	0.98	0.60	0.35
	20	1444	486	37.8	0.99	0.49	0.28
	10	1131	379	38.6	1.05	0.50	0.29
	5	871	297	39.6	0.96	0.50	0.30
	2	602	204	40.6	0.96	0.51	0.32
	1	457	143	41.0	0.94	0.50	0.33
	0.5	354	109	41.0	1.01	0.44	0.28
	0.2	265	84	40.8	1.29	0.41	0.28
	0.1	228	78	40.4	1.47	0.41	0.29
	0.01	165	101	39.9	3.50	0.52	0.62

Tabell 5 Dynamisk modul, fasvinkel och Poisson´s tal för ABS16 50/100-75 PMB -10, 5, 20 och 35°C

Temp. (°C)	Frekvens (Hz)	Dynamisk modul, E* (MPa)		Fasvinkel, ϕ (grader)		Poisson´s tal (-)	
		Medelvärde	Standard- avvikelse	Medelvärde	Standard- avvikelse	Medelvärde	Standard- avvikelse
-10	25	18583	2425	8.9	2.00	0.17	0.12
	20	18316	2274	8.7	1.92	0.18	0.11
	10	17722	2270	9.1	1.92	0.18	0.12
	5	17159	2355	9.7	1.95	0.18	0.12

	2	16298	2396	10.8	2.21	0.18	0.12
	1	15633	2412	11.6	2.35	0.18	0.12
	0.5	14910	2443	12.2	2.34	0.18	0.12
	0.2	13912	2407	13.2	2.47	0.18	0.12
	0.1	13170	2435	13.9	2.44	0.18	0.12
	0.01	10615	2332	16.4	2.36	0.17	0.12
5	25	11322	1523	14.3	1.71	0.17	0.09
	20	11124	1602	14.7	1.83	0.18	0.09
	10	10352	1613	15.8	1.77	0.18	0.11
	5	9552	1614	16.9	1.82	0.19	0.12
	2	8492	1575	18.6	1.92	0.20	0.14
	1	7684	1497	20.0	1.99	0.21	0.15
	0.5	6896	1402	21.2	2.03	0.21	0.16
	0.2	5924	1312	23.0	2.08	0.22	0.18
	0.1	5238	1218	24.4	2.06	0.23	0.19
	0.01	3343	939	29.5	2.17	0.25	0.25
20	25	5342	954	23.5	1.39	0.22	0.15
	20	5221	1073	24.6	1.60	0.22	0.17
	10	4609	1063	26.1	1.64	0.23	0.19
	5	3997	990	27.7	1.71	0.24	0.21

	2	3260	898	30.0	1.79	0.25	0.24
	1	2775	832	31.6	1.77	0.28	0.28
	0.5	2358	772	33.3	1.75	0.31	0.34
	0.2	1859	653	35.8	1.67	0.32	0.37
	0.1	1560	565	37.2	1.63	0.34	0.39
	0.01	837	343	41.8	1.79	0.39	0.48
35	25	1703	378	34.3	1.80	0.36	0.24
	20	1575	332	35.1	2.00	0.32	0.27
	10	1269	271	36.3	2.14	0.32	0.29
	5	1013	214	37.7	2.10	0.32	0.30
	2	740	153	39.5	2.24	0.33	0.31
	1	588	123	40.5	2.53	0.33	0.32
	0.5	467	88	41.1	2.90	0.33	0.34
	0.2	353	60	41.8	3.01	0.33	0.36
	0.1	298	46	41.7	3.49	0.33	0.38
	0.01	210	58	41.1	4.33	0.32	0.43

Regressionskonstanterna för Sigmoidal-funktionen samt skiftfunktionen (WLF) redovisas i Tabell 6. Med hjälp av dessa värden är det möjligt att beskriva masterkurvan matematiskt med en Sigmoidal-funktion.

Tabell 6 Regressionskonstanter för Sigmoidal-funktionen samt skiff-funktionen (WLF), ref. temp. 10°C

Beläggningstyp	δ	α	β	γ	C_1	C_2
ABS16, 70/100 (referens)	1.2082	3.155 4	- 1.333 4	0.4571	-36.09	248.8 3
ABS16, 70/100 Gummi	1.3888	2.948 7	- 1.246 5	0.4471	-32.13	221.0 1
ABS16, 50/100-75 PMB	0.8934	3.531 9	- 1.452 2	0.3241	-55.36	324.6 5

För att underlätta dimensionering med PMS Objekt eller annat likvärdigt linjärelastiskt program har även styvhetsmodulerna för beläggningstemperaturerna enligt VVTK VÄG beräknats, se Tabell 7 till Tabell 9. Styvhetsmodulerna har beräknats med utgångspunkt från masterkurvan. För att relatera till FAS 454 (bestämning av styvhetsmodul) har frekvensen 10 Hz använts. Frekvens motsvarar en belastningstid på 0.1 sekunder, vilket också är den belastningstid som används i FAS 454.

Tabell 7 Styvhetsmoduler (MPa) för ABS16, 70/100 (referens) vid beläggningstemperaturer enligt VVTK VÄG

Styvhetsmodul (ej ålderskorrigerad)	Klimatzon				
	1	2	3	4	5
Vinter	14100	14100	14900	15600	16400
Tjällossningsvinter	12700	12700	-	-	-
Tjällossning	12700	12000	10900	9900	9400
Senvår	11200	11700	-	-	-
Sommar	4100	4500	5000	4700	5300
Höst	9700	11300	11300	11300	11600

Tabell 8 Styvhetsmoduler (MPa) för ABS16, 70/100 Gummi vid beläggningstemperaturer enligt VVTK VÄG

Styvhetsmodul (ej ålderskorrigerad)	Klimatzon				
	1	2	3	4	5
Vinter	13100	13100	13800	14400	15200
Tjällossningsvinter	11700	11700	-	-	-
Tjällossning	11700	11100	10100	9200	8700
Senvår	10300	10800	-	-	-
Sommar	3900	4200	4700	4400	5000
Höst	9000	10400	10400	10400	10700

Tabell 9 Styvhetsmoduler (MPa) för ABS16, 50/100-75 PMB vid beläggningstemperaturer enligt VVTK VÄG

Styvhetsmodul (ej ålderskorrigerad)	Klimatzon				
	1	2	3	4	5
Vinter	14000	14000	14900	15600	16500
Tjällossningsvinter	12600	12600	-	-	-
Tjällossning	12600	11900	10800	9900	9400
Senvår	11100	11600	-	-	-
Sommar	4400	4700	5200	4900	5500
Höst	9700	11200	11200	11200	11500

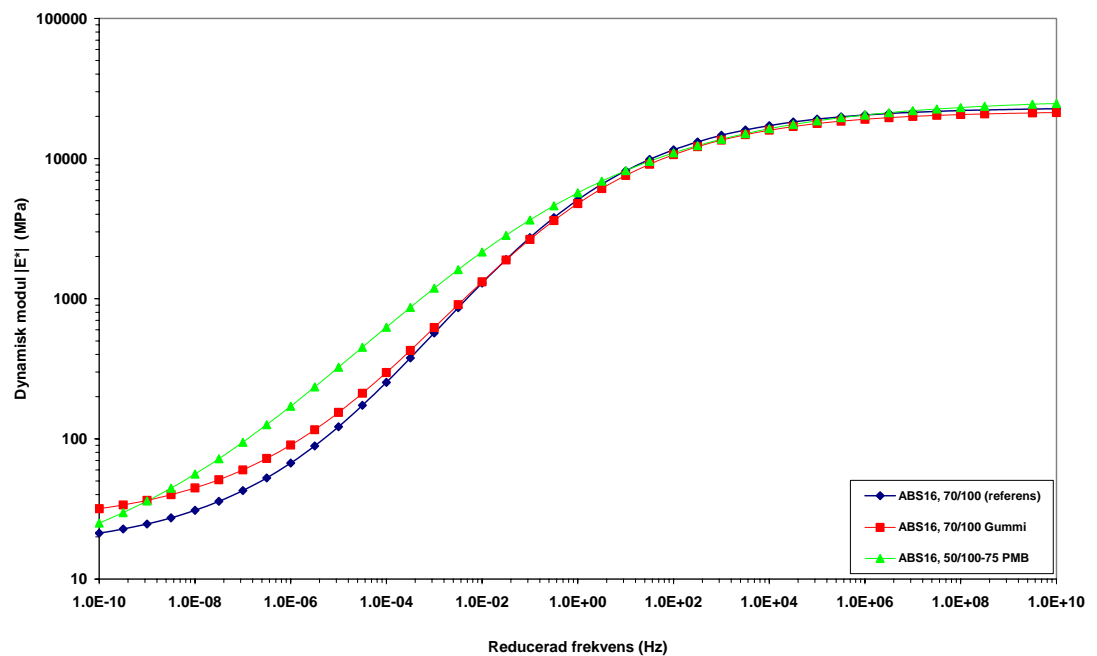
I Figur 3 till Figur 5 redovisas data grafiskt. Från graferna framgår det att det finns en viss skillnad mellan de mekaniska egenskaperna för de testade belägningarna. Den polymermodifierade belägningen har högre styvhetsmodul vid höga temperaturer och/eller långsamma belastningshastigheter jämfört med de övriga belägningarna. Även den linjära delen i mitten av masterkurvan är flackare för den polymermodifierade belägningen jämfört med referensen och gummibelägningen, vilket indikerar att de mekaniska egenskaperna är bättre för denna belägning.

Referensen och gummibelägningen har relativt likartade egenskaper. Det finns en tendens att gummibelägningen är något styvare vid höga temperaturer och/eller långsamma belastningshastigheter jämfört med referensen.

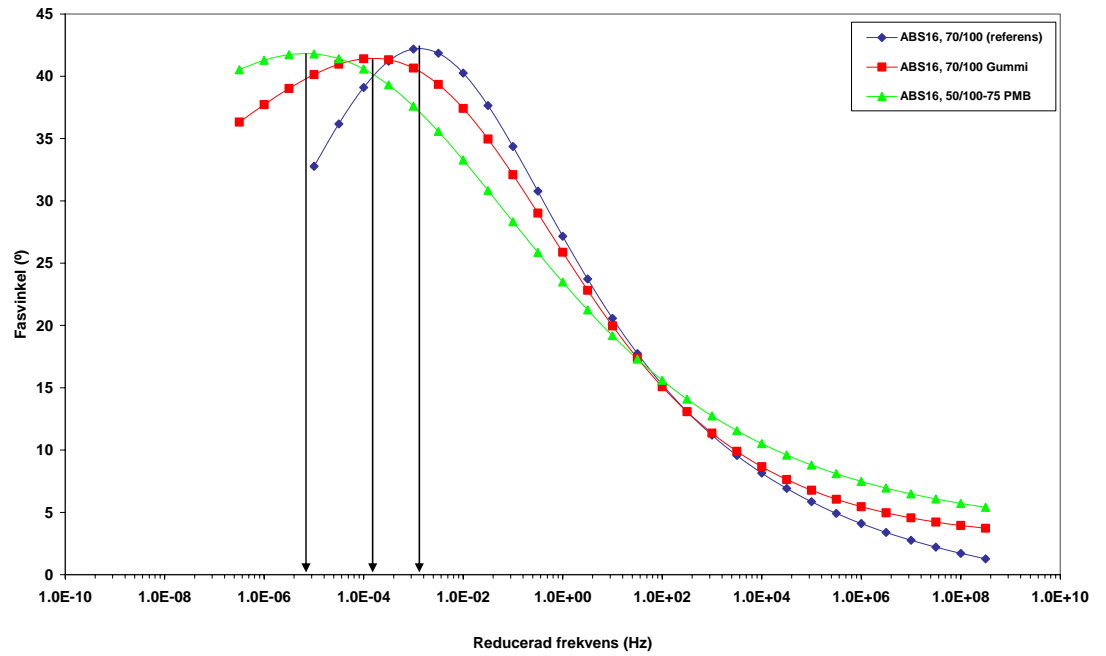
Vid låga temperaturer och/eller snabba belastningshastigheter uppvisar belägningarna ungefär likvärdiga egenskaper med avseende på styvhetsmodul. Det är dock inte möjligt att uttala sig om exempelvis utmattningsegenskaper, motståndskraft mot termisk sprickbildning etc. För detta krävs andra typer av försök.

Samma tendens går igen då figuren för fasvinkeln studeras. Den polymermodifierade belägningen tappar sin lastbärande förmåga vid lägre frekvens jämfört med de övriga belägningarna, vilket är en indikation på bättre motståndskraft mot permanenta deformationer. Gummibelägningen har något bättre motståndskraft mot permanenta deformationer jämfört med referensbelägningen.

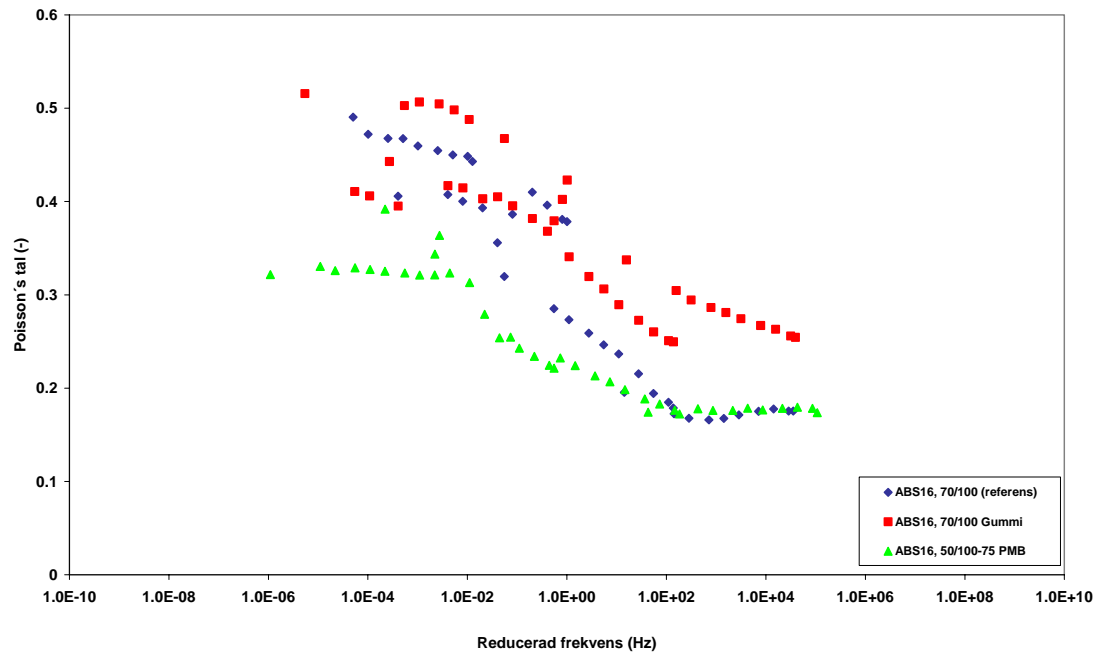
Data för Poisson's tal uppvisar relativt stora spridningar och bör därför användas med stor försiktighet.



Figur 3 Masterkurvor för dynamisk modul $|E^*|$ (referenstemperatur 10°C)



Figur 4 Masterkurvor för fasvinkel ϕ (referenstemperatur 10°C)



Figur 5 Masterkurvor för Poisson's tal (referenstemperatur 10°C)

Referenser

VVTK VÄG 2008 – Vägverkets tekniska krav vid dimensionering och utformning av vägöverbyggnad och avvattning. Vägverkets publikation 2008:78.

FAS - FAS Metoder, - "Metodbeskrivningar för provning av stenmaterial, bituminösa bindemedel, asfaltbeläggningar och massa", Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige (FAS), 1998.

Huang (1993) - Huang, Yang H., "Pavement Analysis and Design", University of Kentucky, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993, ISBN 0-13-655275-7.

Kim. et al. (2004) "Dynamic Modulus Testing of Asphalt Concrete in Indirect Tension Mode", Submitted for presentation at the 2004 TRB Annual Meeting and Publication in the Research Record: Journal of the Transportation Research Board.

ME-PDG (2007) – "NCHRP Mechanistic Empirical Pavement Design Guide Software - Release 1.0, 24 Maj 2007".

Nilsson, B.R. (2003) – "Fatigue of Asphalt Mixes – Theory of Viscoelasticity and Continuum Damage Mechanics Applied to Uniaxial Fatigue Data from Laboratory Tests", Doctoral Thesis, Lund University, Department of Technology and Society, Lund Institute of Technology, Box 112, 222 00 Lund Sweden, 2003.

Nilsson, B.R. (2005) – "Applicering av en viskoelastoplastisk materialmodell på svenska beläggningstyper", Skanska Sverige AB, Skanska Teknik, Teknik Väg & Asfalt, Box 9044, 200 39 Malmö, SBUF-projekt ID: 11485, juli 2005 (på svenska).

SS-EN 12697-26:2004 – "Vägmateriel – Asfaltmassor – Provningsmetoder för varmbländad asfalt – Del 26: Styvhet", Utgåva 1, Fastställd 2004-08-13.

Ullidtz (1998) – "Modelling Flexible Pavement Response and Performance", Polyteknisk Forlag, Copenhagen, 1998.

Malmö 2009-04-17

.....
Katarina Ekblad
Laboratoriechef

.....
Richard Nilsson
Teknologie doktor