

11692
11866
Gyrdhand 4/07 → arkiv

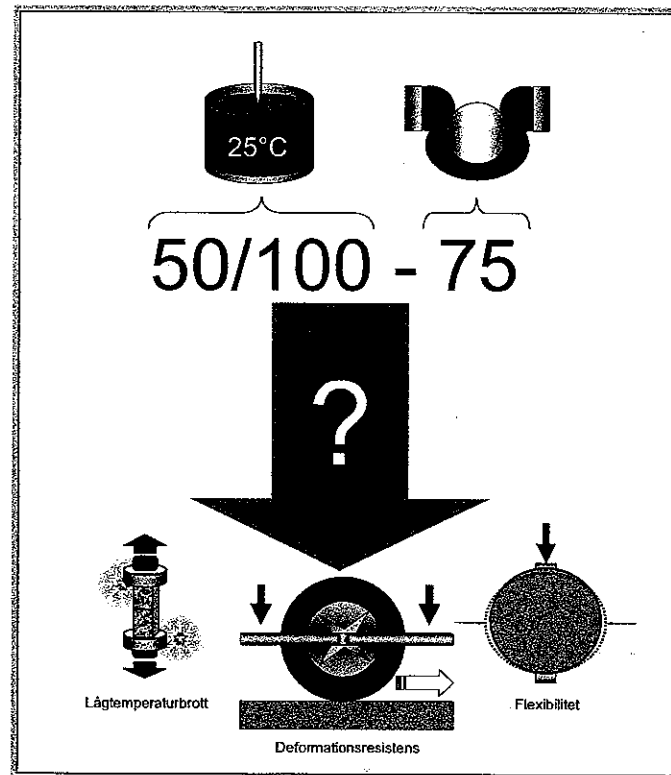
SBUF 11692

Datum
2007-04-30
Författare
Niclas Stenberg
Skanska Sverige AB
Teknik Väg och Asfalt
PL 6185
424 57 Gunnise
Tel: 0734 - 10 15 58

PMB – Inverkan på asfalt- beläggningsens funktionella egenskaper

SBUF Projekt 11692

Rapportering av resultat från förstudier inför Etapp 1 – 3 på
Vägverkets Provväg E6 mellan Geddeknippen - Kallsås



PMB – Inverkan på asfaltbelägningens funktionella egenskaper

Förord

I denna rapport sammanfattas resultaten från förarbetet inför samtliga tre etapper på Vägverket Region Västs provsträckor polymermodifierade bindemedel i asfalten på E6:an mellan Geddeknippen och Kallsås. Arbetet har genomförts med anslag från SBUF och påbörjades under 2003. Under de fyra år som arbetet pågått har medlemmarna i arbets- och referensgrupperna och även ansvarig projektledare hunnit växla flera gånger. Därför togs beslutet att denna rapport inte bara, som det från början var tänkt, skulle innehålla redovisningen av resultaten från Etapp 3 utan istället en sammanställning och övergripande rapportering av hela förarbetet.

Resultaten från de första två Etapperna har tidigare redovisats separat och i detalj i SBUF rapporterna 11138 och 11400 (Thorsten Nordgren 2004) men resultaten från de tidigare etapperna finns även redovisade här. För den som skapa sig en ordentlig inblick i arbetsgången, diskussionerna som fördes under förarbetet och själva beslutsprocessen är Thorstens tidigare rapportering av projektet varmt rekommenderad läsning.

Ett stort tack riktas till alla de människor som varit involverade i projektet och bidragit med sitt kunnande och intresse.

Ansvariga:

Thorsten Nordgren	(Skanska Teknik Väg & Asfalt, Projektledare 2003 – 2004)
Johannes Segerpalm	(Skanska Teknik Väg & Asfalt, Projektledare 2004 – 2005)
Johanna Thorsenius	(Skanska Teknik Väg & Asfalt, Projektledare 2006 – 2007)
Niclas Stenberg	(Skanska Teknik Väg & Asfalt, Ansvarig för slutrapportering)

Medlemmar i den kombinerade referens- och arbetsgruppen:

Bo Simonsson	(Vägverket Region Väst)
Fredd Larson	(Vägverket Region Väst)
Mansour Ahadi	(Vägverket Produktion)
Per-Eric Westergren	(Vägverket Stev Borlänge)
Lennart Holmqvist	(PEAB Asfalt)
Nils Ulmgren	(NCC Roads AB)
Karl-Johan Aksell	(NCC Roads AB)
Uffe Mårtensson	(Pankas AS Danmark)

Ett stort tack riktas även till laboratoriepersonalen på Skanska VTC-Väst i Göteborg och personalen hos Pankas AS i Roskilde som under stark tidspress klarat av att utföra alla analyser och provblandningar av bindemedel och asfaltmassor.

Niclas Stenberg
Skanska Teknik Väg och Asfalt

FÖRORD	2
MÅL	6
1. SYFTE	7
PRIORITERADE EGENSKAPER - BINDEMEDELET	7
PRIORITERADE EGENSKAPER - VÄGKONSTRUKTIONEN	8
Bärlagret	8
Bindlagret	8
Slitlagret	8
Alla lager	8
2. METOD OCH UTFÖRANDE	9
2.1 VAL AV BINDEMEDEL TILL FÖRPROVNINGEN	9
Bärlagret	9
Bindlagret	10
Slitlagret	10
3. BINDEMEDELSANALYSER	11
3.1 ANVÄNDA ANALYSMETODER FÖR BESTÄMNING AV DE FYSISKA EGENSKAPERNA	11
3.1.1 Penetration (SS-EN 1426)	11
3.1.2 Mjukpunkt (SS-EN 1427)	11
3.1.3 Viskositet (Rotationsviskosimeter, Brookfield, SS-EN 13302)	11
3.1.4 Elastisk återgång (SS-EN 13398)	12
3.1.5 Force Ductility Test (Pr EN 13589)	12
3.1.6 Brytpunkt enligt Fraass (SS-EN 12593)	12
3.1.7 Analys med DSR-utrustning (Dynamic Shear Rheometer)	12
3.2 ANVÄNDA METODER FÖR BESTÄMNING AV ÅLDNINGSEGENSKAPERNA HOS BINDEMEDELN	13
3.2.1 Åldring i RTFOT-ugn (Rolling Thin Film Oven Test, SS-EN 12607-1)	13
3.2.2 Tubtest (SS-EN 13399)	13
3.2.4 Åldring i laboratorietank (Metod under utveckling)	13
4. FRAMTAGNING AV LABORATORIETILLVERKADE ASFALTMASSOR	14
4.1 RECEPT FÖR TILLVERKNING AV ASFALTMASSORNA	14
4.2 PACKNING OCH URBORRNING AV DE LABORATORIETILLVERKADE ASFALTPLATTORNA	16
5.1 ANALYSMETODER SOM ANVÄNTS FÖR ATT BESTÄMMA ASFALTMASSORNAS FUNKTIONELLA EGENSKAPER	17
5.1.1 Skrymdensitet (FAS Metod-427)	17
5.1.2 Dynamisk krypstabilitet (FAS-metod 468-00)	17
5.1.3 Flexibilitet	17
5.1.4 Utmattning	18
5.1.5 Slitage enligt Prall (FAS-metod 471-02)	18
5.1.5.b Slitage enligt Prall på vinterkonditionerade provkroppar (VTI Metod 5-03, metoden är under utveckling)	18
5.1.6 Slitage i vändskak (metod under utveckling)	18
5.1.7 Vattenkänslighetstest (FAS Metod-446)	19
5.1.8 Lågtemperaturbrott vid provning enligt TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test, AASHTO TP10)	19
5.1.9 Bedömning av spårbildningsresistens med hjälp av Wheeltrack utrustning (EN 12697-22:2003)	19
5.1.9 Bedömning av spårbildningsresistens med hjälp av Wheeltrack utrustning (EN 12697-22:2003)	20
6. RESULTAT – BINDEMEDELSPROVNING	21
6.1 MEKANISKA EGENSKAPER	21
6.2 ÅLDNINGSEGENSKAPER OCH LAGRINGSSTABILITET	22
6.3 ANALYS MED DSR-UTRUSTNING (DYNAMIC SHEAR RHEOMETER)	23
Hur skall DSR-resultaten tolkas?	23

7. RESULTAT - FUNKTIONELLA TESTER PÅ LABORATORIETILLVERKAD ASFALTMASSA...	24
7.1 RESULTAT – STABILITET OCH DEFORMATIONSRESISTENS	24
7.1.1 DYNAMISK KRYPSTABILITET	25
<i>Bärlagret</i>	25
<i>Bindlagret</i>	25
<i>Slitlagret</i>	25
7.2 DEFORMATIONSTEST I WHEELTRACK.....	26
7.2.1 <i>Large Device (Fransk Utrustning)</i>	26
<i>Bindlagret</i>	26
<i>Slitlagret</i>	26
7.2.2 HAMBURG WHEELTRACK.....	27
<i>Bindlagret</i>	27
<i>Slitlagret</i>	28
7.3 FLEXIBILITET	29
7.4 UTMATTNINGSEGENSKAPER.....	31
7.5 LÅGTEMPERATURBROTT - TSRST	32
7.6 BESTÄNDIGHET – SLITAGE I VÄNDSKAK.....	33
7.7 NÖTNINGSRESISTENS - SLITAGE EFTER PRALL	34
7.8 VATTENKÄNSLIGHET.....	35
8. DISKUSSION	36
8.1 SAMBAND MELLAN BINDEMEDELETS OCH ASFALTMASSANS EGENSKAPER.....	36
<i>Stabilitet och deformationsresistens</i>	36
<i>Flexibilitet (temperaturkänslighet)</i>	36
<i>Utmattning</i>	37
<i>Beständighet och nötningsresistens</i>	37
<i>Lågtemperaturbrott</i>	37
<i>Fuktresistens</i>	37
<i>Lagringsstabilitet och åldring</i>	37
9. SLUTSATSER.....	38
UTVALDA BINDEMEDEL TILL FULLSKALEFÖRSÖK	39
<i>Etapp 1, Bärlagret</i>	39
<i>Etapp 2, Bindlagret</i>	39
<i>Etapp 3, Slitlagret</i>	40
10. ANDRA RAPPORTER RELATERADE TILL PROVVÄG E6.....	41
BILAGA 1: DSR-analyser Bärlager	
BILAGA 2: DSR-analyser Bindlager	
BILAGA 3: DSR-analyser Slitlager	
BILAGA 4: Receptinformation Bindemedel	

Mål

Denna rapport avser att kortfattat och på ett lättgenomträngligt sätt beskriva och redovisa resultaten från de undersökningar som gjordes i samband med förprovnings inför samtliga tre etapper på Vägverket Region Västs provsträckor på E6:an mellan Geddeknippen och Kallsås. Där utvärderas ett flertal varianter av polymermodifierat bindemedel i olika delar av vägkonstruktionen (bärlager, bindlager och slitlager). De första två etapperna (bärlager och bindlager) finns rapporterade sedan tidigare med utförliga och detaljerade beskrivningar kring valet av metodik och själva genomförandet (SBUF projekt 11138 och 11400).

Målet med förprovnings var att, genom att undersöka de tilltänkta bindemedlen på laboratorium, ta fram underlag för val av lämpliga bindemedel till samtliga tre lager med asfalt. I dessa försök ingick även utförliga funktionella tester på laboratorietillverkade asfaltmassor. Utöver det söktes samband mellan resultaten från bindemedelsanalyserna och funktionstesterna på asfalten och att generellt försöka identifiera de eventuella fördelarna med polymermodifierat bindemedel.

Arbetet är utfört med anslag från SBUF och Vägverket Region Väst.

1. Syfte

Avsikten med denna förstudie i laboratorieskala är att koppla bindemedlets egenskaper till utvalda funktionella egenskaper hos de laboratorietillverkade asfaltmassorna. Med resultaten från laboratorieförsöken som underlag skall rätt bindemedel väljas ut till fullskaleförsöken beroende på vilka egenskaper som önskas hos vägkonstruktionen i de olika lagren.

Prioriterade egenskaper - Bindemedlet

Två av de viktigaste egenskaperna som brukar efterlysas hos bindemedlet är förmågan att stå emot deformationer vid höga temperaturer och att stå emot olika typer av sprickbildning vid lägre temperaturer (orsakade av t ex utmattning, dålig bärighet eller lågtemperaturbrott).

Förmågan att stå emot ackumulerade permanenta deformationer (spårbildning) brukar relateras till bindemedlets styvhet. Ju styvare bindemedlet är desto mer elastisk blir deformationen, det vill säga att deformationen går helt tillbaka efter avlastning. Permanenta deformationer bildas i huvudsak vid långa belastningar över bindemedlets flytgräns vid höga vägtemperaturer (kring och över 40°C).

För att stå emot utmattnings- och lågtemperatursprickor måste bindemedlet kunna "flyta" d v s kunna ta permanenta deformationer istället för att brytas sönder. I regel har mindre styva bindemedel en större sk seghet och kan ta större deformationer utan att spricka eller bygga upp spänningar i materialet. Utmattningssprickor orsakas av dålig bärighet i kombination med upprepade belastningar under bindemedlets brottgräns. Beständighetsskador (bruksförluster) uppkommer vid temperaturer kring och under 10°C vid snabba belastningar över bindemedlets brottgräns medan lågtemperaturbrott uppstår när temperaturen sjunker under den nivå där spänningarna som uppstår i väggroppen överstiger styrkan hos bindemedlet.

Genom att polymermodifiera bindemedlet kan det göras styvare eller så kan balansen mellan elastisk och viskoelastisk (tidsberoende) deformation förskjutas. Det innebär i praktiken mindre risk för sprickbildning vid låga temperaturer och minskad spårbildning vid höga temperaturer.

Prioriterade egenskaper - Vägkonstruktionen

De egenskaper som beskrivs nedan ansågs av arbetsgruppen vara de mest prioriterade för de olika lagren.

Bärlagret

Vi har idag liten erfarenhet från användning av modifierat bindemedel i bundna bärlager. Här finns i princip två olika skolor för hur bindemedlet bör väljas. Den ena förespråkar ett flexibelt och mjukare bindemedel som klarar av rörelser i väggroppen utan att spricka, särskilt som vi i Sverige måste ta hänsyn till tjäle och mjuka undergrunder med mycket lera. Den andra skolan hävdar att man bör välja ett hårt och styvt bindemedel som bättre fördelar lasten och minskar påkänningarna i de obundna lagren.

Oavsett hårdheten på bindemedlet anses en hög elasticitet och låg temperaturkänslighet vara eftertraktade egenskaper.

Bindlagret

För att undvika spårbildning och permanenta deformationer i bindlagret eftersträvas en styvare asfalt som kan stå emot belastningen från trafiken.

För att uppnå en styvare beläggning väljs ofta ett hårdare bindemedel. Faran med ett för hårt bindemedel är sämre lågtemperaturegenskaper och problem med hanteringen under utförandet. Genom att använda polymermodifierade bindemedel kan styvheten i temperaturintervallet 30-80 °C ökas utan att försvåra utläggningen samtidigt som bindemedlet blir mjukare vid låga temperaturer och risken för sprickbildning minskar.

Slitlagret

Även för slitlagret eftersträvas en så styv och stabil beläggning som möjligt för att undvika spårbildning samtidigt som beläggningen bör ha låg temperaturkänslighet för att kunna stå emot de kraftiga temperaturväxlingarna vid ytan. I Sverige måste vi även ta hänsyn till slitage från vinterdäck och man bör därför undvika ett för stumt bindemedel som inte fjädrar slagen från dubbarna.

Förutom förbättrad stabilitet förväntas det polymermodifierade bindemedlet ge en högre resistens mot kemikalier som t ex olja, bensin och avsningsmedel som angriper ytskiktet.

Alla lager

De polymermodifierade bindemedlen förväntas inte ge upphov till försämrad fuktresistens i något av lagren. Tvärtom förväntas inträngning av fukt utifrån in till gränsytan mot stenmaterialet försvåras av polymeren i bindemedlen.

2. Metod och utförande

2.1 Val av bindemedel till förprovningen

Den exakta receptformuleringen för varje bindemedel finns beskriven i Bilaga 4. Samtliga bindemedel har tillverkats efter recepten i bilagan hos Pankas A/S i Roskilde.

I delrapporteringen för de första två etapperna (SBUF rapporterna 11138 och 11400) namnges bindemedlen efter den gamla ATB – VÄG klassningen. I den här rapporten används istället receptinformation för att namnge samtliga bindemedel (ATB – VÄG klassningarna finns angivna i tabellerna 1 – 3 men används fortsättningsvis inte i texten).

Vad menas med låg- och högmodifierade bindemedel?

Begreppen hög- och lågmodifierade bindemedel användes flitigt under urvalsprocessen och förekommer också i den fortsatta texten. Med ett lågmodifierat bindemedel menas ett bindemedel som inte har en kontinuerlig polymerfas efter avsvälning.

Det är viktigt att känna till att olika halt krävs för olika polymerer, i kombination med olika basbitumen, för att en så kallade fasinversion skall uppnås (då bitumendelen inte längre är den kontinuerliga fasen). Mängden polymer som krävs kan variera kraftigt även inom samma polymerfamilj (t ex SBS).

Bärlagret

Kravet för bindemedlen till bärlagret var en elastisk återgång > 50 %.

Följande fyra bindemedel valdes ut av arbetsgruppen:

	Namn	Modifiering	Specifikation enl. ATB - VÄG
▲	100/150 Referens	-	100/150
▲	100/150 SBS 3% L	3% Linjär SBS	100/150 - 43
▲	100/150 SBS 6% L	6% Linjär SBS	100/150 - 75
▲	70/100 SBS 3% L	3% Linjär SBS	50/70 - 53
▲	70/100 SBS 6% L	6% Linjär SBS	50/100 - 75

Tabell 1: Utvalda bindemedel till förprovning av bärlagermassan

Eftersom samma SBS-polymer ingår i alla varianterna innebär försöken i Etapp 1 i princip en jämförelse mellan olika hårda basbitumen med olika halt av polymer. Eftersom SBS-polymeren har en stor inverkan på bindemedlets mjukpunkt kan samma polymer användas för att uppnå samtliga aktuella specifikationer.

Bindlagret

Till dessa försök valdes förutom SBS-modifierade bindemedel även ett EVA-modifierat bindemedel, detta för att få en jämförelse mellan elastomer- och plastomerbaserade bindemedel (SBS är klassad som elastomer och EVA som plastomer).

Dessutom valdes två bindemedel tillverkade för att möta andra specifikationer än de i ATB-Väg. Det ena tillverkades efter amerikanska SHARPs Performance Grade specifikationer (PG 64 – 28) och det andra efter tysk specifikation (PMB 25). Det ”tyska” bindemedlet är signifikant hårdare än de andra bindemedlen medan PG 64 – 28 är mjukare, det sistnämnda har även använts en del på flygfält upphandlade av Luftfartsverket.

	Namn	Modifiering	Specifikation enl. ATB - VÄG
	Referens	Ingen	50/70
□	SBS 3% L	3% Linjär SBS	50/70 - 53
	SBS 6% L	6% Linjär SBS	50/100 - 75
	PG 64 - 28	4% SBS	-
	PMB 25	?	-
	EVA + SBS	3% SBS + 2% EVA	50/70 - 53
■	EVA 6%	6% EVA	50/70 - 53

Tabell 2: Utvalda bindemedel till förprovning av bindlagermassan

Slitlagret

Alla bindemedlen till slitlagermassan möter ATB-Väg specifikationerna 50/70 – 53 eller 50/100 – 75 utom bindemedlet som benämns HB + SBS (hårt basbitumen och låg polymerhalt). Bindemedlets penetrationsvärde är < 50 och ligger därför utanför befintliga specifikationer.

	Namn	Modifiering	Specifikation enl. ATB - VÄG
	Referens	Ingen	70/100
◇	HB + SBS	2% Linjär SBS	-
◇	SBS 3% L	3% Linjär SBS	50/70 - 53
◇	SBS 4% R	4% Radiell SBS	50/100 - 75
◇	SBS 6% L	6% Linjär SBS	50/100 - 75
◇	EVA 6%	6% EVA	50/70 - 53
◇	SBS + Svavel	Korslänkad SBS + S	50/70 - 53

Tabell 3: Utvalda bindemedel till förprovning av slitlagermassan

I slitlagerförsöken gavs en möjlighet att jämföra olika typer av SBS polymer (linjär, radiell och korslänkad med svavel).

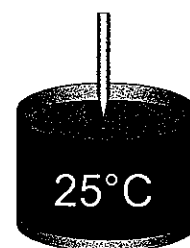
3. Bindemedelsanalyser

Samtliga analyser är utförda av Pankas A/S i Roskilde utom DSR-analyserna som är utförda på KTH Vägteknik i Stockholm. Samtliga figurer i detta kapitel är tagna ur Skanskas interna utbildningsmaterial och används med tillstånd av Skanska.

3.1 Använda analysmetoder för bestämning av de fysiska egenskaperna

3.1.1 Penetration (SS-EN 1426)

Testet är avsett att bestämma bindemedlets konsistens vid 25°C. En nål med bestämd vikt och bestämda dimensioner släpps vertikalt ned i en bägare med bindemedel som är tempererad till 25°C i vattenbad. Sträckan som nålspetsen hinner vandra genom bindemedlet under 5 sekunder mäts i tiondels mm och anges som bindemedlets *penetrationsvärde*.



Figur 1: Penetration

3.1.2 Mjukpunkt (SS-EN 1427)

Eftersom bitumen inte har någon fast smältpunkt där det övergår från fast till flytande form används bindemedlets mjukpunkt som riktvärde för en motsvarande fasövergång. Mjukpunkten för ett bindemedel bestäms genom att en metallkula läggs ovanpå bindemedel som är gjutet i en kopparring och placerat på en ställning 25 mm ovanför botten i en bägare med vatten¹. Temperaturen på vattnet höjs med 5° i minuten medan kulan sjunker genom bindemedlet. Den temperatur då kulan till slut faller genom ringen till botten av bägaren noteras som bindemedlets *mjukpunkt*².

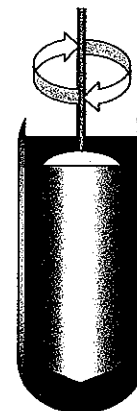


Figur 2: Mjukpunkt

3.1.3 Viskositet (Rotationsviskosimeter, Brookfield, SS-EN 13302)

Bindemedlets viskositet³ bestäms genom att ett lod roteras i ett provrör med bindemedel. Temperaturen kontrolleras noggrant tillsammans med den kraft som krävs för att rotera lodet. Den uppmätta kraften kan sedan konverteras till en viskositet för bindemedlet vid den aktuella temperaturen

I denna undersökning har viskositeten vid 135°C, 150°C och 175°C bestämts för samtliga bindemedel. Den här typen av viskositetsmätningar kan användas för att bedöma hur lätt- eller svårhanterligt ett bindemedel är i högre temperaturintervall (se kapitel 2.2.3).



Figur 3: Viskositet

¹ glycerin används när mjukpunkten förväntas överstiga 80°C

² Mjukpunkten motsvarar en viskositet på 12 000 poise

³ Viskositet är ett mått på den inre friktionen i vätskor. Förenklat kan man säga att ju mer trögfluten en vätska är desto högre är dess viskositet vid den angivna temperaturen.

3.1.4 Elastisk återgång (SS-EN 13398)

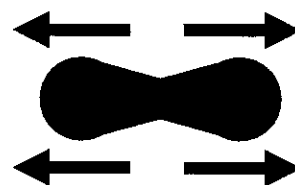
Bindemedlets elastiska egenskaper bestäms genom att bindemedlet gjuts i en form och sedan sträcks ut 20cm i ett vattenbad tempererat till 10°C. Bindemedlet klipps av vid mitten och sträckan som de båda ändarna vandrar tillbaka mot sin ursprungliga form divideras med den utdragna längden och noteras som *elastisk återgång* för bindemedlet.



Figur 4: Elastisk återgång

3.1.5 Force Ductility Test (Pr EN 13589)

Testet är ett mått på bindemedlets kohesionsstyrka. Ett prov med bindemedel gjuts i en form och placeras i ett tempererat vattenbad (temperaturen anpassas till penetrationsvärdet). Kraften som krävs för att sträcka ut bindemedlet med en hastighet av 50mm/min mäts elektroniskt och noteras som *Force Ductility* i Newton för bindemedlet.



Figur 5: Duktilitet

3.1.6 Brytpunkt enligt Fraass (SS-EN 12593)

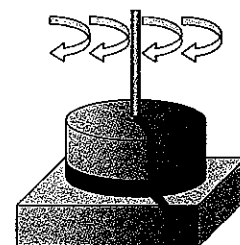
Fraass brytpunkt är ett mått på bindemedlets lågtemperaturegenskaper. Bindemedlets gjuts på en tunn metallplatta i en 0,5mm hinna. Plattan böjs långsamt i en båge och släpps tillbaka. Lufttemperaturen sänks stegvis med 1° i taget och den temperatur där hinnan bryts noteras som bindemedlets *brytpunkt*.



Figur 6: Brytpunkt

3.1.7 Analys med DSR-utrustning (Dynamic Shear Rheometer)

Metoden gör det möjligt att mäta styvheten hos ett bindemedel vid en bestämd temperatur eller i ett temperatursvep. Bindemedlets gjuts först fast mellan två parallella plattor. Därefter utsätts bindemedlet för oscillerande skjuvkrafter och motståndet vid de givna temperaturerna bestäms. Enligt amerikanska SHRP finns det samband för både utmattningsegenskaper och spårbildningsresistens som kan utläsas från DSR-analyser på modifierade bindemedel.



Figur 7: Oscillerande skjuv-
Provning i DSR-utrustning

Samband enligt SHRP:

$$\text{Utmattningsmotstånd } [G''] = \text{skjuvmodul } [G^*] * \sin(\text{fasvinkel } [\delta])$$

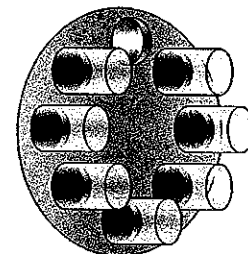
$$\text{Spårbildningsresistens } [G'] = \text{skjuvmodul } [G^*] / \sin(\text{fasvinkel } [\delta])$$

Eftersom avståndet mellan plattorna som fixerar bindemedlet bör justeras för att kompensera vid olika temperaturer är ett temperatursvep inte tillräckligt underlag för att bestämma några exakta mätetal. Däremot är temperatursvepet ett bra sätt att, som i det här fallet, göra en inbördes jämförelse mellan olika bindemedel under likvärdiga förutsättningar.

3.2 Använda metoder för bestämning av åldringsegenskaperna hos bindemedlen

3.2.1 Åldring i RTFOT-ugn (Rolling Thin Film Oven Test, SS-EN 12607-1)

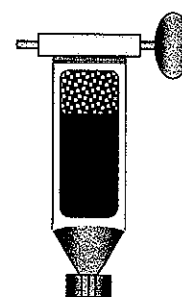
En cylinderformad glasbägare innehållande 35g bindemedel placeras liggande i ett vertikalt roterande hjul. Bindemedlet rinner i en tunn film längs med bägarens mantelyta under hela försöket. Testtemperaturen är 163°C och när bägarna passerar det övre läget blåses upphettad luft in i bägaren. Vikt- och mjukpunksförändring hos bindemedlet bestäms efter åldring i RTFOT-ugnen.



Figur 7: RTFOT

3.2.2 Tubtest (SS-EN 13399)

Tubtestet används för att bestämma separationsbenägenheten hos polymermodifierade bindemedel vid 180°C. I testet fylls en metalltub med bindemedel som sluts helt lufttätt i båda ändarna. Tuben placeras vertikalt i en ugn med temperaturen 180°C under tre dagar (tuben står i en ställning så att hela mantelytan har samma temperatur). Efter tre dagar får tuben svalna och egenskaperna hos bindemedlet i den övre tredjedelen av tuben jämförs med bindemedlet i den undre tredjedelen. Skillnader mellan topp och botten ses som ett tecken på separationsbenägenhet.



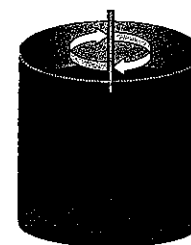
Figur 8: Tubtest

3.2.4 Åldring i laboratorietank (Metod under utveckling)

(Resultaten från försöken med denna metod är redovisade i sin helhet i SBUF Rapport 11607 - *Åldringsegenskaper hos polymermodifierade bindemedel*)

Upp till 15 liter bindemedel lagras i en bottenvärmad cylinderformad tank vid 180°C under sex dagar. Tankens värmeslingor är placerade under bottenplattan och är aldrig i kontakt med bindemedlet.

Bindemedlet analyseras under lagringstiden och eventuella förändringar noteras och blir ett mått på lagringsstabiliteten. I försöken har följande provtagningsschema använts:



Figur 9: Åldring i laboratorietank

Prov	Tid (h)	Analyser
1	0-prov	Mjukpunkt, Penetration, Viskositet, El. återgång, Tubtest
2	24	Mjukpunkt
3	72	Mjukpunkt
↓	↓	<i>Ingen omrörning i tanken</i>
4	144	Mjukpunkt
5	145	Mjukpunkt, Penetration, Viskositet, El. återgång

4. Framtagning av laborietillverkade asfaltmassor

4.1 Recept för tillverkning av asfaltmassorna

Samtliga asfaltmassor är tillverkade med stenmaterial från NCCs asfaltverk i Porsen utanför Uddevalla. Stenmaterialet är uttaget från verkets varmfickor och massorna är proportionerade efter verkets egna recept och innehåller 1 vikt-% cement. Till slitlagermassan har kärkvartsit med särskilt goda slitageegenskaper använts i stället för ortens sten i 8 – 11 och 11 – 16 fraktionerna.

Bärlagermassan är en AG 22 enligt ATB VÄG 2004 massa med 4,5 % bindemedel.

Bindlagermassan är ABb 22 ATB VÄG 2004 med 5,2 % bindemedel.

Slitlagermassan är en ABS 16 ATB VÄG 2004 med 6,3 % bindemedel.

Den exakta receptformuleringen redovisas⁴ i diagram 1 – 3.

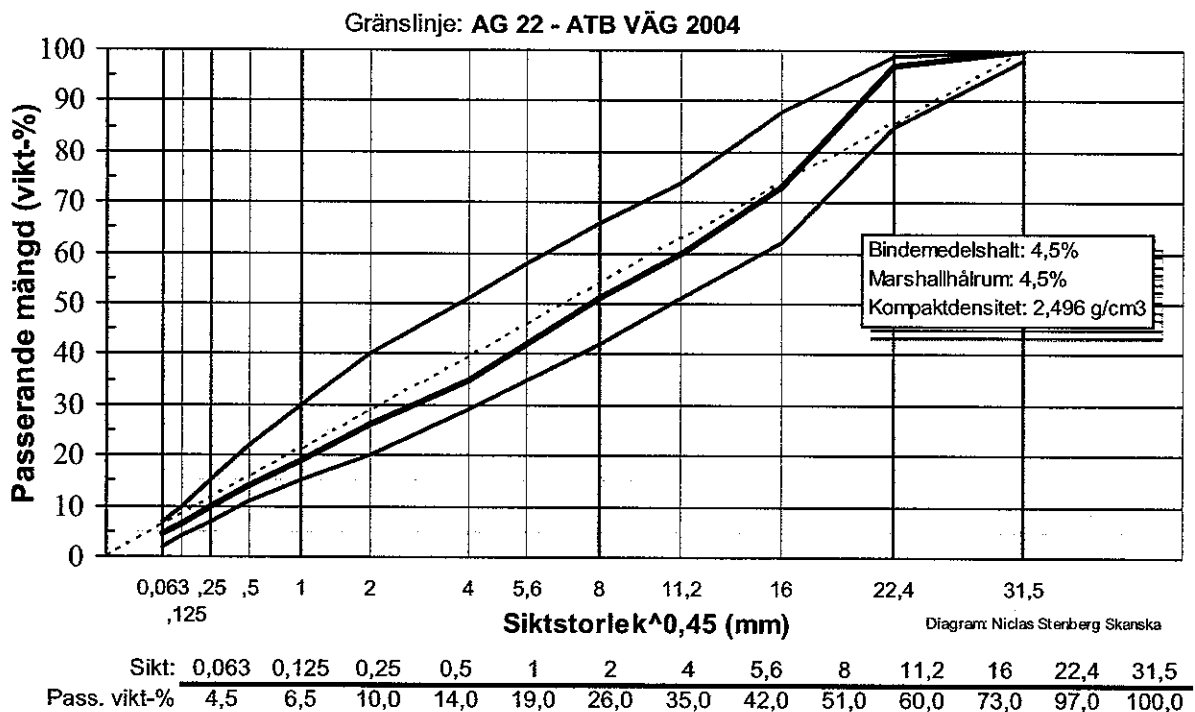


Diagram 1: Kornstorleksfördelning för bärlagermassan.

⁴ Kornstorleksfördelningen är redovisad i ett s k Fullerdiagram som bättre beskriver asfaltmassans hålrumstruktur än de traditionella logaritmbaserade kurvorna. Hur lutningen på kornfördelningskurvan förhåller sig till den streckade linjen ger en uppfattning om vilka stenfraktioner som skapar hålrummet i massan och vilka fraktioner som fyller ut det.

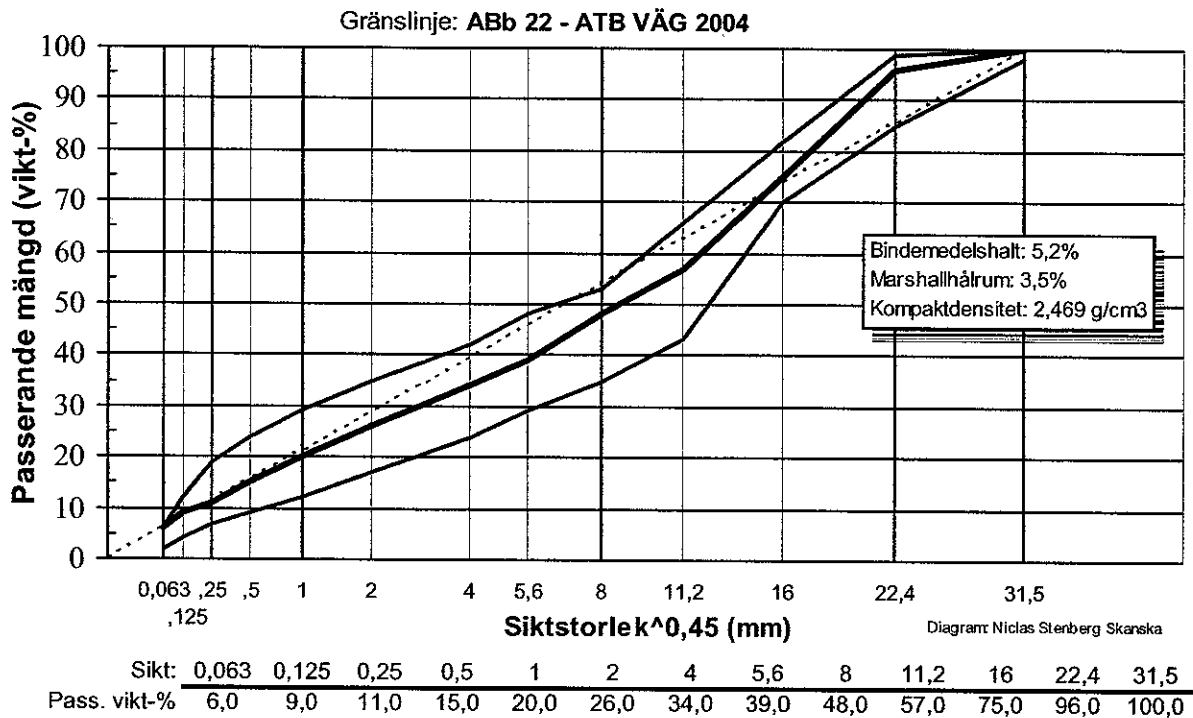


Diagram 2: Kornstorleksfördelning för bindlagermassan.

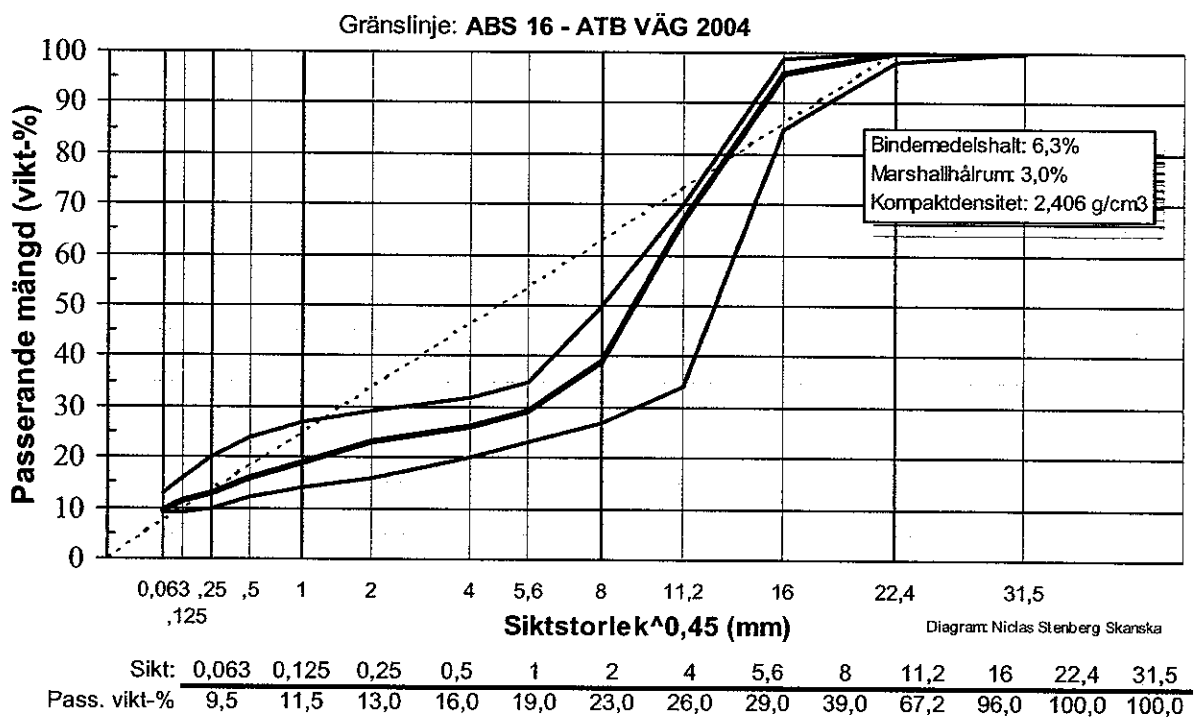


Diagram 3: Kornstorleksfördelning för bindlagermassan.

4.2 Packning och urborring av de laborietillverkade asfaltplattorna

Asfaltplattorna har tillverkats med en Plate Compactor, utrustningen är från franska MLPC (bild 1).

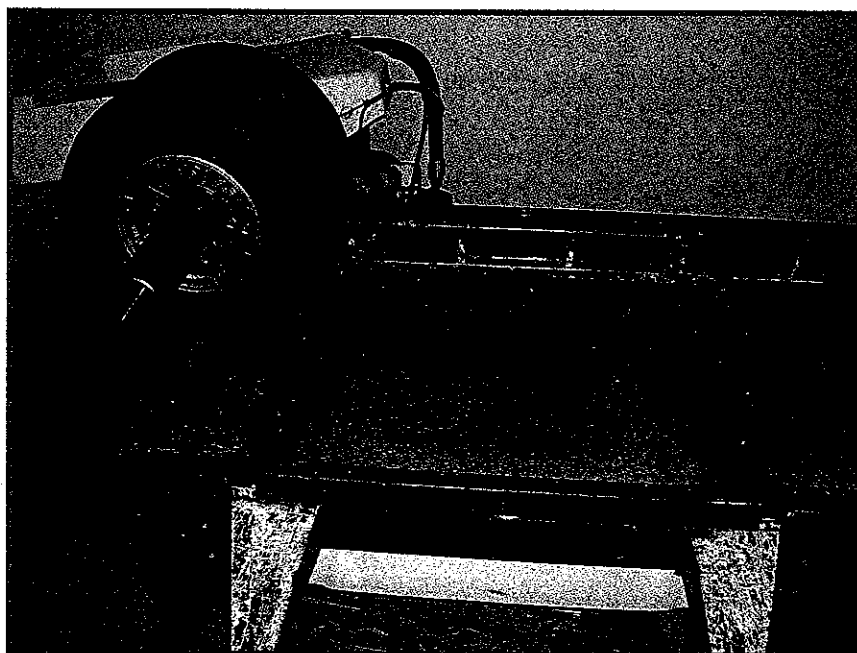


Bild 1: Utrustningen som användes vid packning av provplattorna (Plate Compactor)

Plattan packas i en stålform med hjälp av ett luftfyllt gummihjul som rullas fram och tillbaka över plattan i olika positioner enligt ett bestämt schema. Genom att bestämma plattans måldensitet, storlek och tjocklek kan mängden massa beräknas och plattans packas sedan till önskad tjocklek har uppnåtts. Erfarenhet visar att packningen blir effektivast i plattans mitt medan hålrummet blir högre i kanter och nära plattans över- och undersida.

För provning i Wheeltrack - Large Device har två plattor av dimension 500x180x50 mm (LxBxH) tillverkats. För provning med Small Device (Hamburger Wheeltrack) har en platta med dimensionerna 600x400x50 tillverkats, denna platta har sedan sågats till två plattor (260x320x50) före transport till Pankas AS i Roskilde.

För övrig provning baserad på borrhärdar har plattor med dimensionerna 600x400x70 mm tillverkats. Ur plattorna har sedan borrhärdar tagits ut och som sågats till den i metod angivna tjockleken.

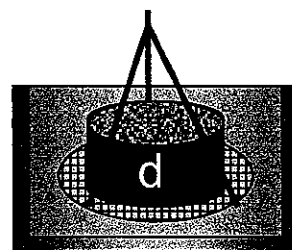
5.1 Analyismetoder som använts för att bestämma asfaltmassornas funktionella egenskaper

Samtliga analyser är utförda på Skanska VTC-Väst i Göteborg utom Hamburg Wheeltrack försöken som är utförda hos Pankas A/S i Roskilde, utmattningsförsöken som är utförda hos VTI i Linköping och TSRST-försöken som är utförda på KTH i Stockholm.

Samtliga figurer i detta kapitel är tagna ur Skanskas interna utbildningsmaterial och används med tillstånd av Skanska.

5.1.1 Skrymdensitet (FAS Metod-427)

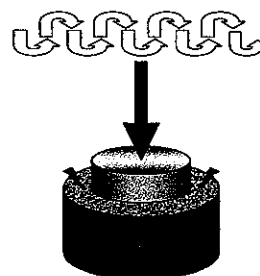
Genom att väga en asfaltprovkropp under vatten kan provkroppens *skrymdensitet* bestämmas. Ju mer provkroppen väger i förhållande till sin volym desto större är dess densitet och dess förmåga att tränga undan vatten och sjunka mot botten av badet. Om asfaltmassans kompaktdensitet (densiteten för sten och bindemedel) har bestämts går det sedan att räkna ut hur mycket luft provkroppen innehåller (hålrumshalten). Är kompaktdensiteten likvärdig blir skrymdensiteten ett mått på hur hårt packade asfaltproverna är. Asfaltmassor med olika sammansättning eller stenmaterial är inte jämförbara med skrymdensitet.



Figur 10: Skrymdensitet

5.1.2 Dynamisk krypstabilitet (FAS-metod 468-00)

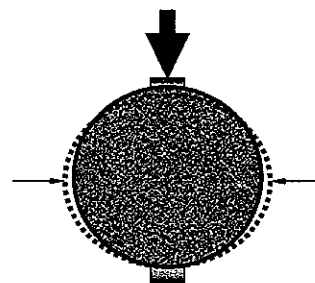
Metoden avser att bedöma asfaltbelägningens känslighet för permanenta deformationer. Under analysen utsätts en cylinderformad borrhärna, tempererad till 40°C, för 3600 belastningar med trycket 100 kPa (motsvarar 74kg mot en cylinderformad metallplatta med diametern 96mm, provkroppens diameter är 150mm). Belastningen ligger på i 1s och tiden mellan belastningarna är också 1s. Den *permanenta deformationen* mäts och redovisas i mikrostrain. För en 60mm tjock provkropp (standard i försöken) motsvaras en deformation på 1mm av ungefär 16 500 mikrostrain.



Figur 11: Dynamisk krypstabilitet

5.1.3 Flexibilitet

Metoden avser att bedöma belägningens styvhet vid olika temperaturer. Under analysen belastas en cylinderformad provkropp på mantelytan under 0,1s. Kraften som krävs för att uppnå en förutbestämd töjning, i det här fallet en horisontell deformation, används för att beräkna belägningens *styvhetsmodul* (FAS Metod 454-98). Genom att bestämma styvhetsmodulen vid olika temperaturer kan man bedöma belägningens *flexibilitet*. Flexibiliteten har inget måttetal utan är en bedömning av hur materialets styvhet förändras med temperaturen. I regel eftersträvas en så liten förändring som möjligt vid de aktuella temperaturerna, i det här fallet 5, 10 och 20°C.



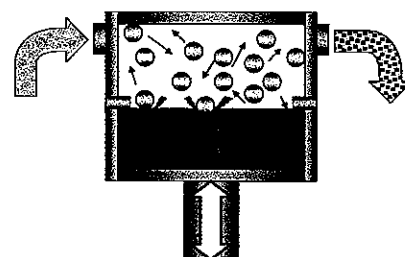
Figur 12: Styvhetsmodul

5.1.4 Utmattning

Utmattningsförsöken i det här arbetet är utförda enligt samma princip som styvhetsmodulanalyserna i flexibilitetstesten (figur 12). Skillnaden är att provkroppen utsätts för upprepade belastningar till den förutbestämda töjningen och antalet belastningar fram till det att brott uppstår bestäms. Eftersom ett styvare material måste belastas mer för att uppnå samma töjning utsätts också provkroppar med styvare bindemedel för en större påfrestning.

5.1.5 Slitage enligt Prall (FAS-metod 471-02)

Metod avser att bedöma vägytans slitstyrka. En cylinderformad borrhärla (Ø 100mm) placeras i en tättslutande metallbehållare med öppen ovansida⁵. Locket som fästs på behållaren har öppningar för genomflödande vatten och ett fritt utrymme på 4cm mellan lockets ovansida och provets yta. I locket placeras 40 stålkulor med diametern 12mm. Behållaren med provkropp och metallkulor sätts i rörelse (slaghöjd 43mm, frekvens 950 slag/min) under 15 min, bortnött material förs bort med genomflödande vatten. Både provkroppen och vattnet är tempererat till 5° C. Volymen bortnött material anges i cm³ som belägningens *slitagevärde*.



Figur 13: Prall

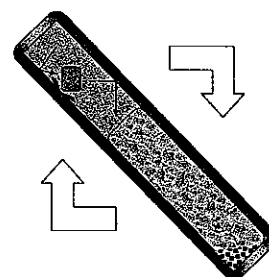
5.1.5.b Slitage enligt Prall på vinterkonditionerade provkroppar (VTI Metod 5-03, metoden är under utveckling)

Genom att vinterkonditionera provkropparna innan slitagevärdet bestäms ges en indikation på hur väl belägningen står emot temperaturskiftningar och inverkan från salt på vägen. Dessa faktorer har inverkan på portrycket i belägningens yta och kan leda till att vatten vandrar mellan närliggande hålrum i belägningens ovandel och orsaka skador.

I försöken har provkropparna mätts och lagrats i 30-procentig saltlösning under två dygn vid 40°C. Därefter placerades provkropparna i klimatskåp (i vattenbad) där temperaturen växlar mellan -20 och 20°C med 12h intervall under 7 dygn. Slitagevärdet bestämdes sedan enligt FAS-metod 471-02.

5.1.6 Slitage i vändskak (metod under utveckling)

Vändskakmetoden är en metod under utveckling som är avsedd att bedöma nötningsresistensen hos asfaltbruket. Mastixprovkropparna mäts med vatten under tryck, därefter vägs de och placeras i ett delvis vattenfyllt metallrör. Röret roteras 3600 varv under två timmar i vändskakutrustningen så att provkropparna faller fram och tillbaka mellan topp och botten. Efter behandlingen vägs provkropparna och mängden bortnött material som del av ursprungsvikten antecknas som *slitagevärdet* (vikt-%).



Figur 14: Vändskak

⁵ All provning är utförd på sågad ovanyta i denna undersökning

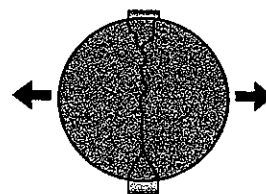
5.1.7 Vattenkänslighetstest (FAS Metod-446)

Genom att jämföra den indirekta draghållfastheten för asfaltprovkroppar som mättats med vatten under tryck och lagrats i vattenbad vid 40°C under 7 dygn med obehandlade prover kan ett måttetal för fuktresistensen hos asfaltmassan bestämmas. Den indirekta draghållfastheten bestäms genom att de cylinderformade provkropparna pressas mot mantelytan med en konstant hastighet på 50 mm/min och den största uppnådda kraften innan brottet bestäms (draghållfastheten i kPa).

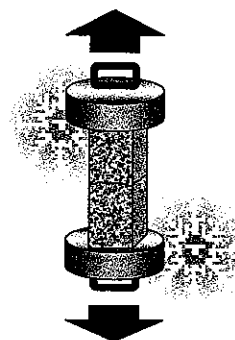
Kvoten för draghållfastheten hos de vattenbehandlade provkropparna genom draghållfastheten för de obehandlade proverna anges i procent som belägningens *vidhäftningstal*.

5.1.8 Lågtemperaturbrott vid provning enligt TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test, AASHTO TP10)

Metoden avser att bedöma asfaltbelägningens lågtemperatur-egenskaper. Ett rektangulärt asfaltprov spänns fast mellan två hållare och placeras i ett klimatskåp. Provet belastas i vertikal riktning med konstant kraft utan att materialet får vila medan temperaturen i klimatskåpet sakta sänks. Temperaturen där provet till slut går av noteras som *temperatur vid lågtemperaturbrott* för asfaltmassan.



Figur 15: Indirekt draghållfasthet



Figur 16: TSRST

5.1.9 Bedömning av spårbildningsresistens med hjälp av Wheeltrack utrustning (EN 12697-22:2003)

Spårbildningsresistensen hos asfaltmassorna har bedömts genom att laboratorietillverkade asfaltplattor har analyserats i två olika utrustningar. I försöken har både en s k "Small Device" och en "Large Device" använts. Dimensionerna för båda utrustningarna är i enighet med EN-metod 12697-22:2003. I båda fallen är provplattorna tempererade till 60°C.

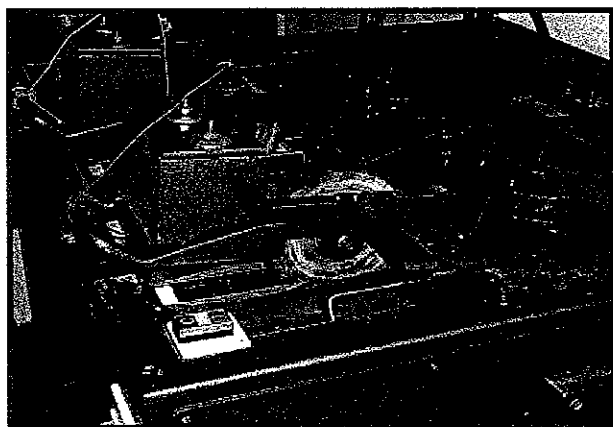
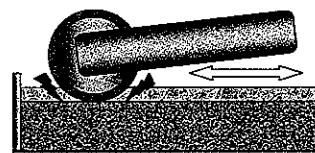


Bild 2: Hamburg Wheeltrack (Small Device)



Figur 17: Hamburg Wheeltrack i vatten

Försöken med Small Device har utförts på både torra plattor och plattor nedsänkta i vattenbad under analysen. Analyserna har utförts av Pankas A/S i Roskilde med en utrustning av modellen Hamburg Wheeltrack och med 20 000 singelpassager från ett helgjutet gummihjul. I försöken har *spårtillväxten* (för de sista 10 000 överfarterna) och det totala *spårdjupet* bestämts. I försök med Hamburg Wheeltrack kan en del av spårdjupet tillskrivas materialförluster och ev. inverkan av vatten.

Försöken med Large Device (benämns "Fransk utrustning" tidigare rapporter) har utförts på Skanskas VTC i Göteborg. I försöken har plattorna rullats över med 60 000 singelpassager från ett luftpumpat däck. Det *relativa spårdjupet* i % har bestämts som spårdjupet i förhållande till plattans ursprungstjocklek. Spårdjupet är här till största delen ett resultat av deformationer och omlagringar i asfaltmassan.

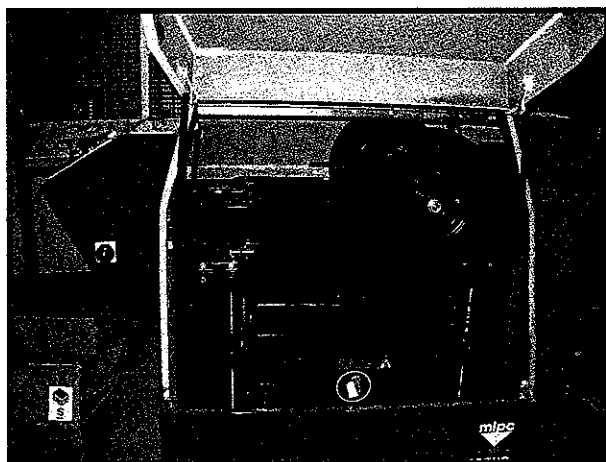
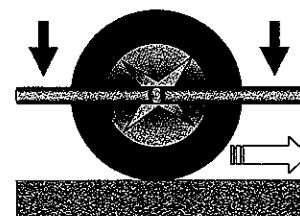


Bild 3: Wheeltrack "Fransk utrustning" (Large Device)



Figur 18: Wheeltrack – Large Device

6. Resultat – Bindemedelsprovning

Bindemedlen är analyserade av Pankas A/S i enighet med specifikationerna i ATB-Väg. Resultaten som beskriver bindemedlets mekaniska egenskaper redovisas i tabell 4, bindemedlets åldringsegenskaper i tabell 5.

6.1 Mekaniska egenskaper


	Penetr. (1/10 mm)	Mjukp. (°C)	Elastisk återgång (%)	Force Ductility (N)	Viskositet (Poises) Temperatur				Brytpunkt Fraass (°C)	
					120°C	135°C	150°C	175°C		
Slitlager										
	Referens	77	46	15	-	3,3	1,7	0,7	-	
◇	HB + SBS	47	53	70	64**	17,0	6,4	3,3	1,4	-11
◇	SBS 3% L	51	53	71	51**	17,9	7,2	3,5	1,4	-12
◇	SBS 4% R	58	98	74	100	24,9	6,9	5,1	2,1	-12
◇	SBS 6% L	67	94	89	54	54,5	18,4	8,5	3,4	-20
◇	EVA 6%	56	54	45	63	20,1	8,2	4,0	1,6	-10
◇	SBS + Svavel	64	83	73	89	34,7	10,8	5,4	2,2	-15
Bindlager										
	Referens	55	50		80	10,9	3,5	1,4	0,9	-11
■	SBS 3% L	58	58	75	96	17,3	5,6	2,6	1,9	-13
■	SBS 6% L	60	95	86	73	53,3	11,3	4,7	2,4	-20
■	PG 64 - 28	91	56	81	35	18,0	5,2	2,4	1,3	-18
■	PMB 25	30	67	74	88**	67,7	19,6	7,4	3,6	-8
■	SBS + EVA	60	60	71	100	13,9	5,4	2,5	1,1	-13
■	EVA 6%	52	66	50	129	27,9	9,8	4,2	2,0	-13
Bärlager										
	100/150 Referens	127	43		-					-
▲	100/150 SBS 3% L	126	48	30	43	9,3	4,1	2,4	1,1	-16
▲	100/150 SBS 6% L	123	90	93	55	34,3	12,1	6,0	2,7	-20
▲	70/100 SBS 3% L	58	55	69	127	15,7	7,2	3,6	1,5	-12
▲	70/100 SBS 6% L	86	99	97	89	90,0	20,5	10,3	4,5	-27

Tabell 4: Resultat från bindemedelsanalyser


* Elastisk återgång bestämd vid 25°C (istället för 10°C)

** Force Ductility Test utförd vid 10°C (istället för 5°C)

6.2 Åldringsegenskaper och lagringsstabilitet



RTFOT



Tubtest

	RTFOT		Tubtest		El. Återgång (%)	
	Δ Vikt (%)	Δ Mjukp. (°C)	Mjukpunkt (°C) Topp	Mjukpunkt (°C) Botten	Topp	Botten
Slitlager						
Referens			-	-		
HB + SBS	0,10	6	63	64	57	57
SBS 3% L	0,08	7	57	55	72	72
SBS 4% R	0,03	3	84	85	75	73
SBS 6% L	0,08	1	85	85	92	93
EVA 6%	0,08	10	54	54	56	54
SBS + Svavel	0,10	8	76	75	73	72
Bindlager						
Referens			-	-		
SBS 3% L	0,02	3	60	60	69	70
SBS 6% L	0,02	3	94	94	88	88
PG 64 - 28	0,08	1	60	58	69	70
PMB 25	0,07	6	62	62	78	77
SBS + EVA	0,05	8	62	62	69	69
EVA 6%	0,06	6	68	65	45	49
Bärlager						
100/150 Referens			-	-		
100/150 SBS 3% L	0,08	3	51	52	74	78
100/150 SBS 6% L	0,05	1	90	92	93	94
70/100 SBS 3% L	0,04	8	56	56	73	74
70/100 SBS 6% L	0,07	5	92	91	83	79

Tabell 5: Bindemedlens åldringsegenskaper

Tabellen redovisar de egenskaper som ingår i kraven i ATB-Väg.

Åldringsegenskaperna hos bindemedlen studerades mer utförligt i SBUF projekt 11607 – *Åldringsegenskaper hos polymermodifierade bindemedel*. Från resultaten kunde man bl a konstatera förbättrade stabilitetsegenskaper hos de åldrade bindemedlen samtidigt som man såg en försämrad duktilitet eller ”segghet” hos den omodifierade referensen och de lågmodifierade bindemedlen (sänkt duktilitet associeras ofta med och förkortad livslängd och ökad sprickbenägenhet för den färdiga beläggningkonstruktionen).

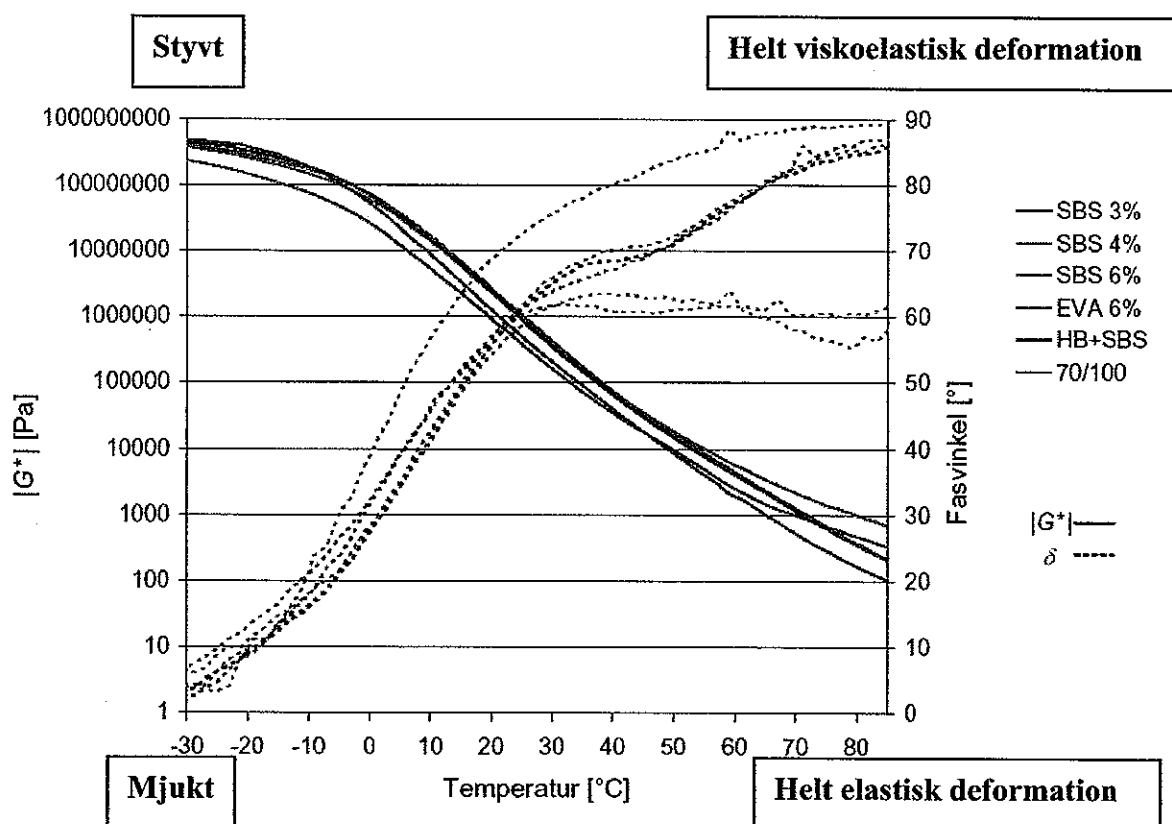
6.3 Analys med DSR-utrustning (Dynamic Shear Rheometer)

Samtliga bindemedel har analyserats med DSR utrustning på KTH Vägteknik. Eftersom analysen sammanställer bindemedlets egenskaper i ett temperatursvep från -30°C till 90°C redovisas resultaten i diagramform. Diagrammen redovisas i separata bilagor (Bilaga 1 - 3).

Hur skall DSR-resultaten tolkas?

Den heldragna linjen i diagrammet redovisar den dynamiska skjuvmodulen vid olika temperaturer och går att avläsa på den vänstra axeln. Detta tal motsvarar skjuvmotståndet eller (skjuv)styvheten för bindemedlet. Ju mindre kurvan lutar, eller desto närmare mitten som kurvans ändpunkter skär sidoaxlarna, desto mindre temperaturkänsligt är bindemedlet. Det vill säga bindemedlet är mindre styvt vid låga temperaturer och mindre mjukt vid höga temperaturer.

Den streckade linjen (högra axeln) beskriver fasvinkeln. Fasvinkeln är tiden mellan det att bindemedlet belastas fram till det att materialet svarar med samma kraft. Ju lägre fasvinkel desto mindre viskoelastisk (tidsberoende) och mer elastisk är deformationen av bindemedlet. Vid höga temperaturer eftersträvas en så elastisk deformation som möjligt för att undvika permanenta deformationer. Vid låga temperaturer vill man undvika att bygga upp spänningar som kan leda till brott och man eftersträvar istället följsamhet hos bindemedlet och en högre fasvinkel (det vill säga viskoelastisk deformation).



Figur 2 ur bilaga 3, DSR analys för bindemedel till slitlagret (med förklarande text).

7. Resultat - Funktionella tester på laborietillverkad asfaltmassa

7.1 Resultat – Stabilitet och deformationsresistens

		Dyn. Kryp.	Wheeltrack	HWT Torrt		HWT Vätt	
		Stabilitet	R. spårdjup	Spårdj.	Def. Hast	Spårdj.	Def. Hast
	Slitlager	microstrain	%	mm	mm/n	mm	mm/n
◇	Referens	9 300	7,1	5,1	1,33	16,9	6,32
◇	HB + SBS	8 000	6,4	2,4	0,35	3,3	0,52
◇	SBS 3% L	16 500	5,1	2,1	0,27	4,1	1,08
◇	SBS 4% R	7 400	4,8	2,1	0,20	2,9	0,47
◇	SBS 6% L	9 900	3,4	1,5	0,16	2,6	0,38
◇	EVA 6%	7 200	4,2	1,8	0,19	4,3	0,80
◇	SBS + Svavel	6 700	3,4	1,6	0,19	1,8	0,17
	Bindlager	microstrain	%	mm	mm/n	mm	mm/n
■	Referens	6 700	3,3			3,7	0,54
■	SBS 3% L	5 500	4,0			2,1	0,20
■	SBS 6% L	6 200	3,2			2,3	0,26
■	PG 64 - 28	7 400	11,5			3,4	0,72
■	PMB 25	3 700	2,3			2,0	0,18
■	SBS + EVA	5 700	4,1			2,8	0,44
■	EVA 6%	5 600	2,9			1,8	0,19
	Bärlager	microstrain	%	mm	mm/n	mm	mm/n
▲	100/150 Referens	20 700	-			-	-
▲	100/150 SBS 3% L	25 200	-			-	-
▲	100/150 SBS 6% L	7 000	-			-	-
▲	70/100 SBS 3% L	10 900	-			-	-
▲	70/100 SBS 6% L	9 500	-			-	-

Tabell 6: Resultat relaterade till stabilitet och deformationsresistens

7.1.1 Dynamisk kryptabilitet

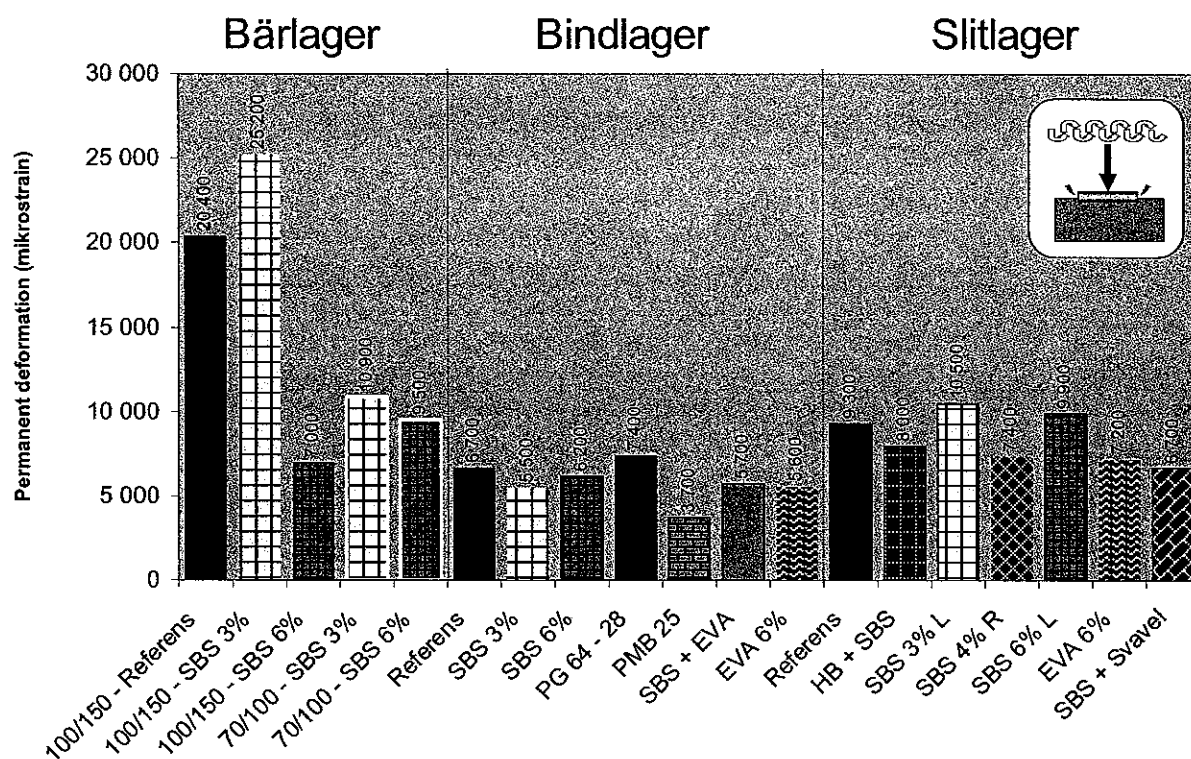


Diagram 4: Uppmätt permanent deformation för samtliga massor

Bärlagret

Det mjukare bindemedlet med låg modifieringshalt visade inte på några förbättrade stabilitetsegenskaper gentemot referensbindemedlet. De övriga tre däremot gav upphov till avsevärt lägre (d v s bättre) deformationsvärden.

Hur mycket av den förbättrade stabiliteten som kan tillskrivas det hårdare bindemedlet i två av fallen är svårt att avgöra, särskilt som det mjukare bindemedlet i kombination med högre polymerhalt gav bäst resultat.

Bindlagret

Skillnaderna mellan referensen och de modifierade bindemedlen är relativt små. Inget bindemedel utmärker sig som signifikant bättre eller sämre än de andra förutom kanske det allra hårdaste bindemedlet som gav extremt låga deformationsvärden ("PMB 25").

Slitlagret

Återigen är skillnaden mellan de modifierade bindemedlen och referensen liten. Provkropparna är troligtvis så hårt packade vid tillverkningen att det finns väldigt litet utrymme för ytterliggare packning eller omlagring i massan. Massorna modifierade med linjär SBS visar en tendens till sämre stabilitet än de andra bindemedlen och även gentemot det omodifierade referensbindemedlet.

7.2 Deformationstest i Wheeltrack

(Endast bindlager och slitlager)

7.2.1 Large Device (Fransk Utrustning)

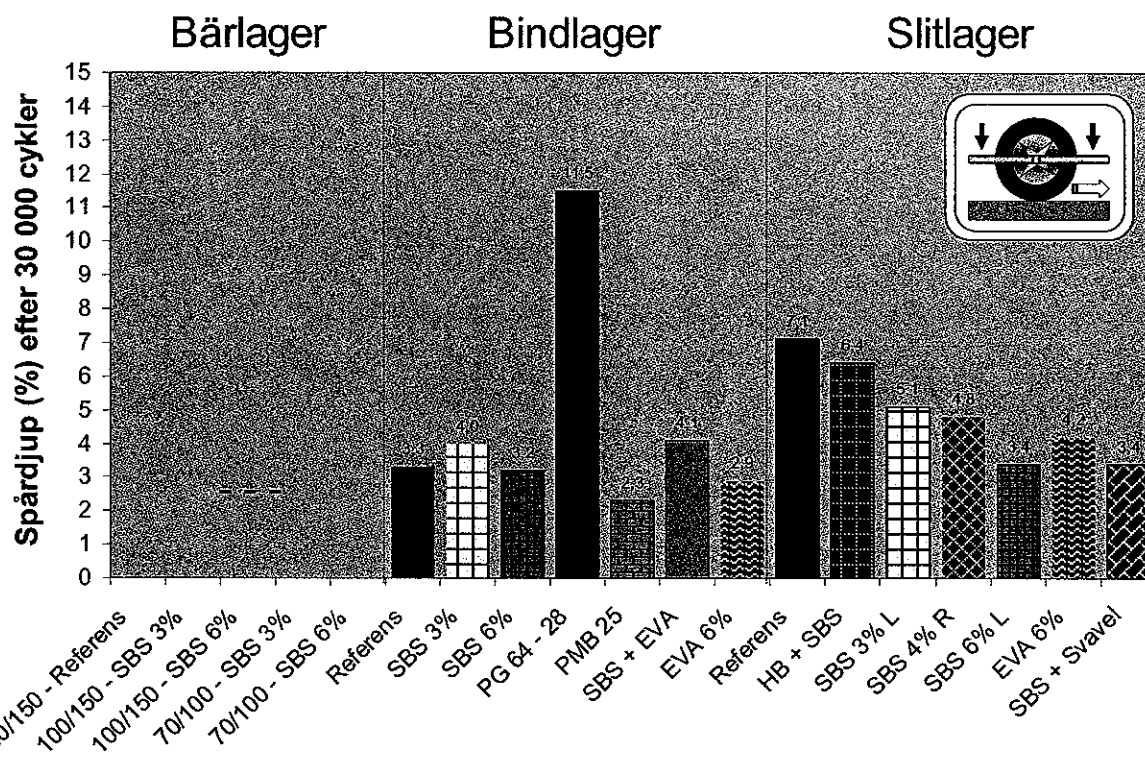


Diagram 6: Spår djupet i % efter 30 000 cykler

Bindlagret

Skillnaden var väldigt liten mellan referensen och de modifierade bindemedlen med undantag av massan med det mjukaste bindemedlet (PG 64-28) där spår djupet blev närmare tre gånger så stort. Även massan med låg SBS-halt och den med blandad SBS och EVA polymer gav sämre slutresultat än referensen.

Slitlagret

Här finns en tydligare rangordning där bindemedlen med låg polymerhalt ligger nära referensen medan de med hög polymerhalt passerar under halva spår djupet. Valet av polymer verkar i det här fallet att ha haft mindre betydande inverkan.

7.2.2 Hamburg Wheeltrack

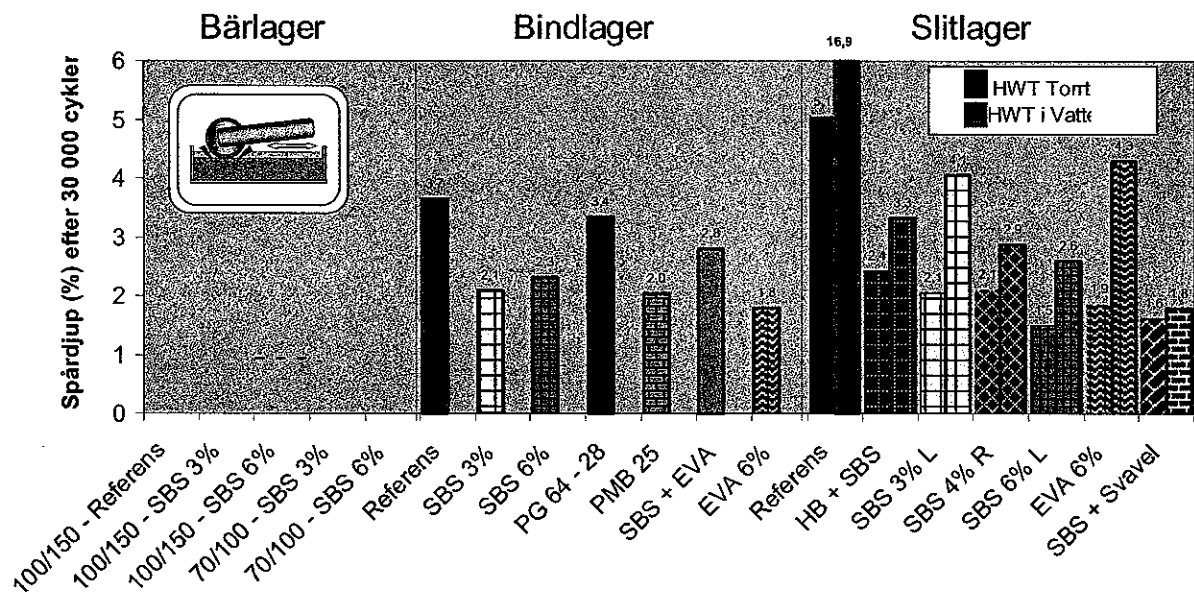


Diagram 7: Det totala spår djupet i mm efter 20 000 cykler för samtliga HWT försök.

I diagram 7 beskrivs den totala deformationen för samtliga HWT försök. Skillnaden mellan de modifierade bindemedlen och de två referensbindemedlen är avsevärd. Däremot är skillnaden relativt liten mellan de modifierade bindemedlen förutom det mjukare PG 64 – 28 och bindemedlet med blandad SBS + EVA polymer som även här visar på sämre stabilitet än de andra. I övrigt har samtliga modifierade bindemedel haft en kraftigt förbättrande inverkan på både bindlager- och slitlagermassornas spår bildningsresistens.

I diagram 8 – 10 redovisas deformationsförloppet för varje massa. För slitlagermassorna går det att se en tendens till ökad deformationshastighet hos de lågmodifierade bindemedlen.

Bindlagret

Hamburg Wheeltrack, vått (Small device)

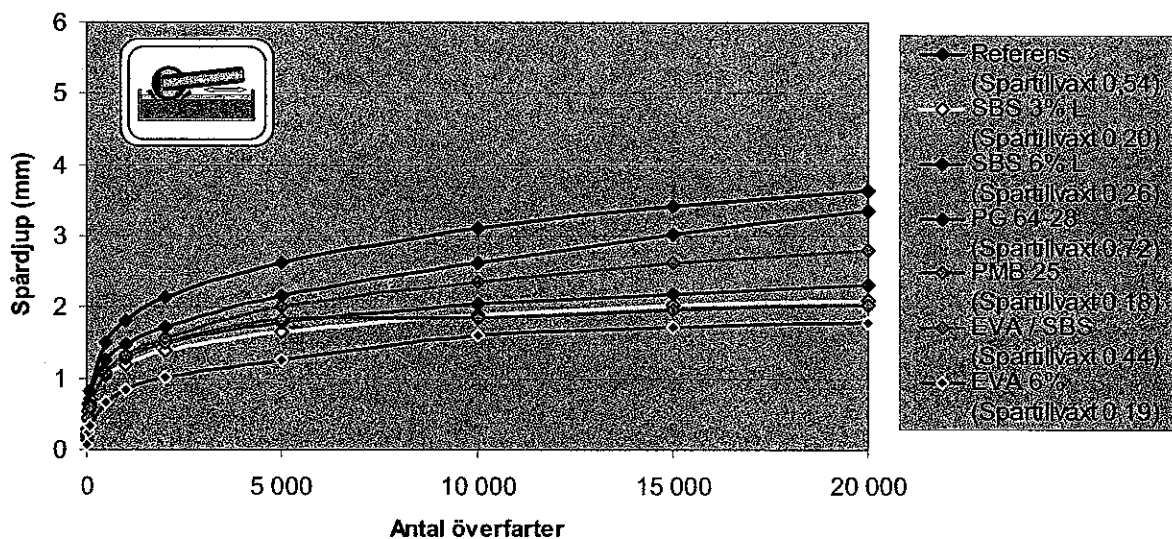


Diagram 8: Deformationsförloppet under HWT-test i vatten för bindlagermassorna.

Slitlagret

Hamburg Wheeltrack, torrt (Small device)

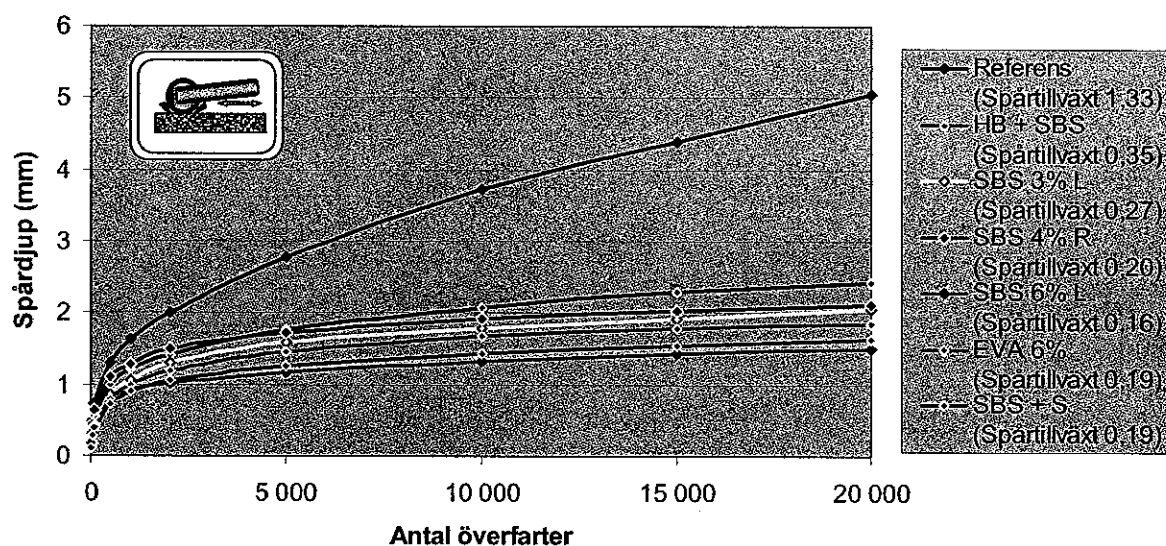


Diagram 9: Deformationsförlopp under HWT-test för slitlagermassorna.

Hamburg Wheeltrack i vatten (Small device)

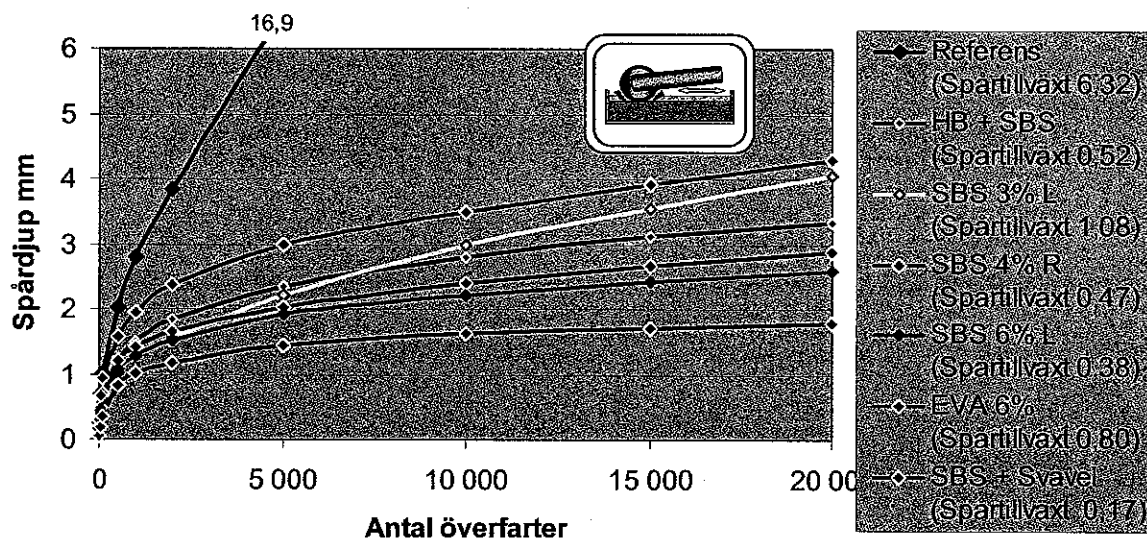


Diagram 10: Deformationsförlopp under HWT-test i vatten för slitlagermassorna

7.3 Flexibilitet

Styvhetsmodulen vid 5, 10 och 20°C för borrhärdarna uppborrade ur de laborietillverkade plattorna redovisas i tabell 7.

		Styvhetsmodul (MPa)			Styvhetsmodul (MPa)				
		20°C	10°C	5°C	Bindlager				
Bärlager		20°C	10°C	5°C		20°C	10°C	5°C	
▲	100/150 Referens	1 300	4 700	7 700	■	Referens	2 500	7 500	10 700
▲	100/150 SBS 3% L	1 000	3 900	6 600	□	SBS 3% L	2 700	8 100	10 600
▲	100/150 SBS 6% L	800	2 900	4 800	■	SBS 6% L	1 900	5 600	7 300
▲	70/100 SBS 3% L	2 800	7 500	10 900	■	PG 64 - 28	1 200	4 200	6 700
▲	70/100 SBS 6% L	2 700	7 100	10 000	■	PMB 25	5 800	11 500	13 900
					■	SBS + EVA	3 600	9 000	10 400
					■	EVA 6%	3 900	9 300	10 300

Tabell 7: Resultat Flexibilitet

Beläggningens styvhet styrs i första hand av bindemedlets egenskaper och av hur hårt asfaltmassan packats. Som framgår av diagram 11 har packningsinsatsen haft en mild inverkan på styvheten vid 10°C för de analyserade proverna.

Det syns en tydlig nivåskillnad i styvhetsmodul mellan det hårdare (70/100) och det mjukare (100/150) basbindemedlet för bärlagret. Även för bindlagret går det att skönja en rangordning efter hårdheten hos bindemedlet (PMB 25 är det hårdaste bindemedlet i bindlagerförsöken och PG 64 – 28 det mjukaste).

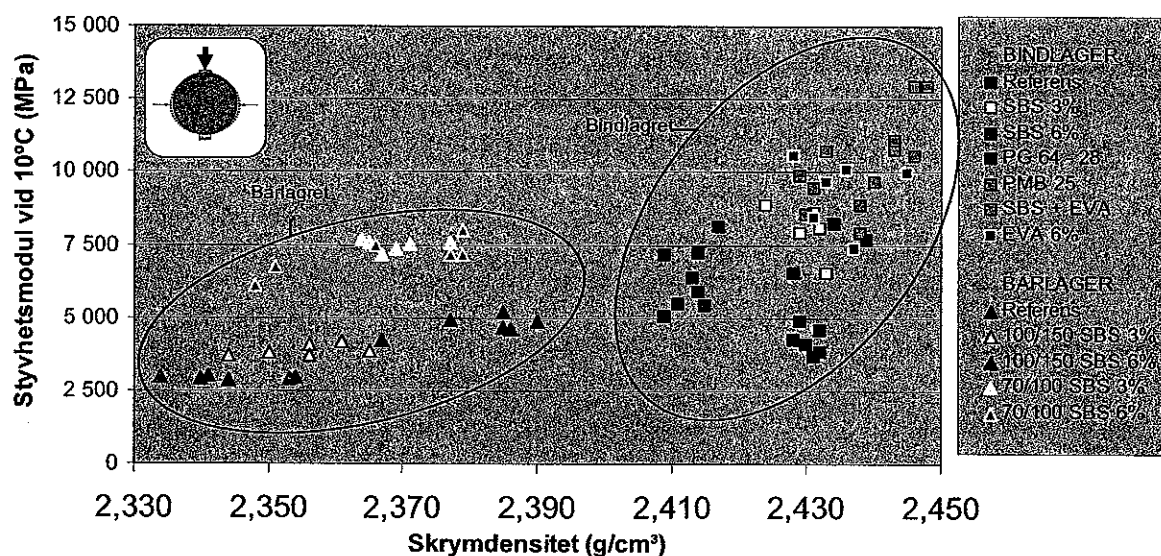


Diagram 11: Packningsinsatsens inverkan på styvhetsmodulen vid 10°C.

Ju mindre massans styvhetsmodul skiljer mellan olika temperaturer desto bättre flexibilitet har beläggningen. Man eftersträvar alltså en lägre styvhet vid låga temperaturer och en hög styvhet vid höga temperaturer. I diagram 12 är penetrationsvärdet (hårdheten) hos bindemedlen ställt mot styvhetsmodulen vid 5, 10 och 20°C. Ju högre temperaturkänslighet (och sämre flexibilitet) som massan har desto längre är den lodräta linjen mellan den mätta styvhetsmodulen vid de tre olika temperaturerna.

Av diagrammet framgår att två av de SBS modifierade massorna med 6 % polymer har avsevärt bättre flexibilitet än sina "systemmassor" med 3 % polymer. Undantaget är de 70/100 baserade bindemedlen till bärlagret där båda massorna ligger på exakt samma nivå. Bindemedlen med 3 % SBS skiljer sig inte heller nämnvärt från referenserna och mest intressant är kanske att samma bindemedel i bind- och bärlagret (SBS 3 % L) ger asfaltmassan nästan exakt samma styvhetsmoduler trots olika korngradering.

Den bästa flexibiliteten fanns hos PG 64-28 och de högmodifierade SBS-baserade bindemedlen. Det EVA-modifierade bindemedlet visar en tendens till att vara aningen styvare än referensen vid 10° men samtidigt mindre styv id vid 5°C. Blandningen SBS och EVA gav sämre resultat än bindemedlet med enbart EVA.

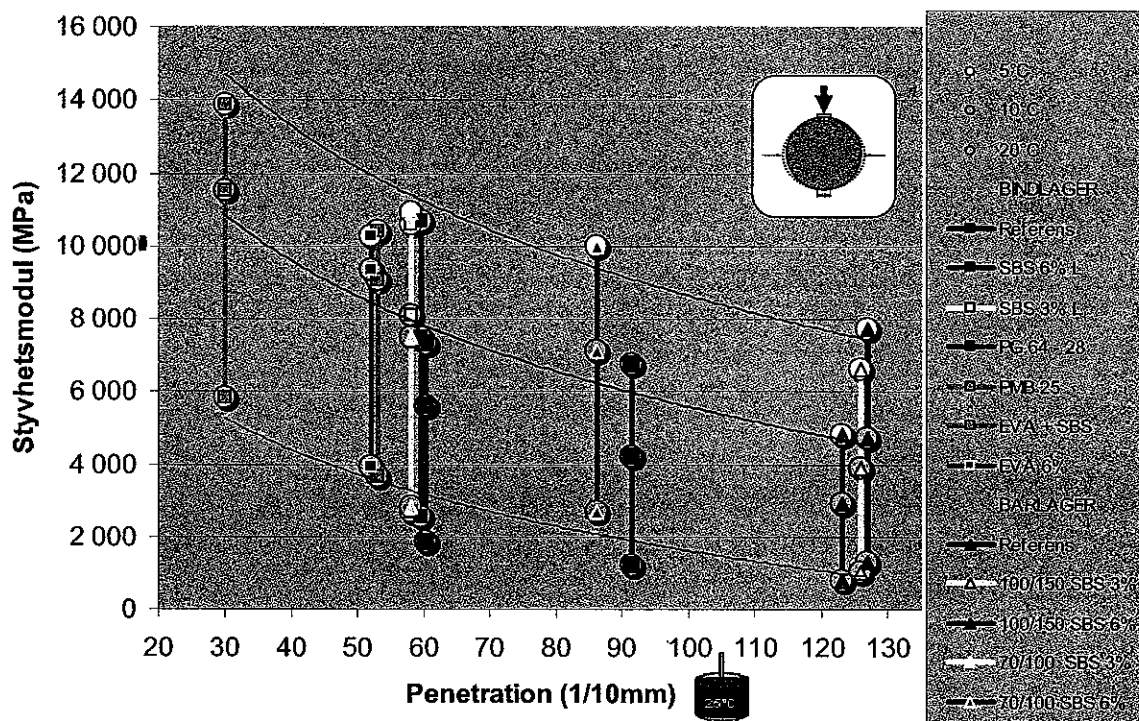


Diagram 12: Jämförelse av styvhetsmoduler för massor med liknande penetrationsvärde för bindemedlet.

7.4 Utmattningsegenskaper

(endast bärlagret)

Generellt hade de mindre styva bindemedlen längre livslängd i utmattningsförsöken. Försöken är utförda med lika töjning vilket innebär att de styvare proverna också utsätts för större last (vid en given last blir töjningen mindre för styvare material). I utmattningsförsök där lasten hålls konstant gynnas istället styvare material.

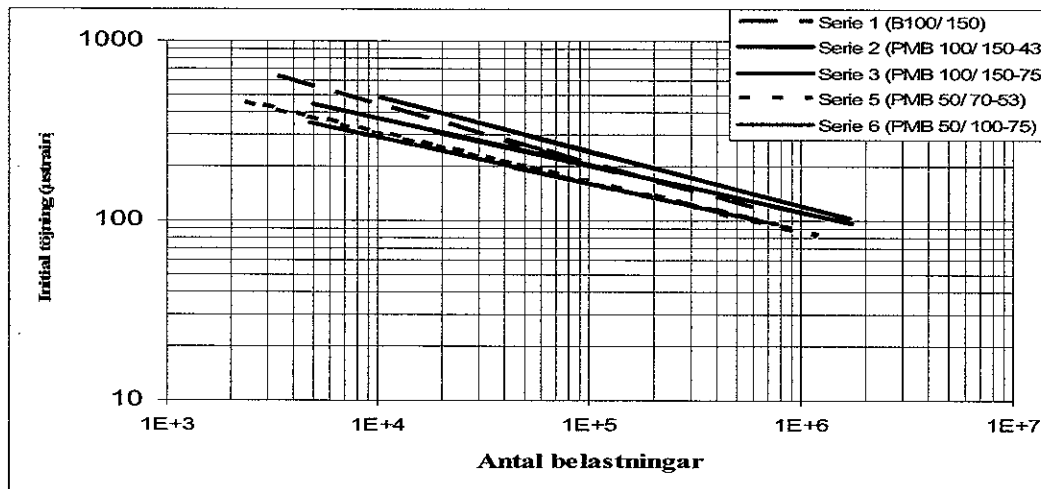
Det är alltså viktigt att ta hänsyn i vilket beläggningsslager som utmattningsegenskaperna efterfrågas och hur vägen är dimensionerad innan man tolkar resultaten från försöken.

Utmattningsförsöken på VTI i Linköping och är redovisade i sin helhet som bilaga till SBUF rapport 11138 och 11400. Analysresultaten återges här enbart i ett utdrag ur rapporten (nedan). Observera att bindemedlen är annorlunda namngivna och färgkodade (se tabell).

	Namn	Namn i VTIs rapport
▲	100/150 Referens	--- Serie 1
▲	100/150 SBS 3% L	— Serie 2
▲	100/150 SBS 6% L	— Serie 3
▲	70/100 SBS 3% L	--- Serie 5
▲	70/100 SBS 6% L	— Serie 6

Kommentarerna och diagrammet nedan är tagna ur rapporten från VTI:

Citat från VTI utlåtande 715:



Sammanställning av undersökta serier visas i diagram 3 ovan. Skillnaderna mellan serierna har undersökts på 95 % konfidensnivå och det har visat att det inte finns någon signifikant skillnad mellan serie 1 och 2 och inte heller någon signifikant skillnad mellan serie 5 och 6. Däremot skiljer sig serie 3 signifikant från övriga serier och serierna 1 och 2 skiljer sig från serierna 5 och 6.

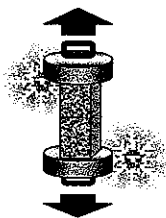
Serie 1 och 2 har lägre styvhetsmodul och visar längre livslängd än serie 5 och 6 vid samma töjningsnivå (Said & Johansson 1997). Serie 3 har lägsta styvhet och därför visar största livslängd i jämförelse med andra serier. Effekten av PMB bindemedel är varierande enligt den här undersökningen baserad på styvhet- och utmattningsresultatet.”

7.5 Lågtemperaturbrott - TSRST

(Endast bindlager)

Försöken är utförda på KTH Vägteknik och endast på de två bindemedel som valdes ut till fullskaleförsök i Etapp 2 (bindlagret) samt referensbindemedlet.

Bindlager	TSRST	
	Brott- temperatur °C	Brott- spänning MPa
Referens	-22,9	3,7
SBS 3% L	-27,4	4,2
SBS 6% L	-	-
PG 64 - 28	-	-
PMB 25	-	-
SBS + EVA	-	-
EVA 6%	-26,7	2,9



Tabell 8: Lågtemperaturbrott och spänning vid brott

Lågtemperaturbrottet kommer, som förväntat, vid en avsevärt lägre temperatur för de modifierade bindemedlen än för referensbindemedlet. Det betyder en högre styrka hos vägkonstruktionen vid låga temperaturer och mindre risk för temperatursprickor under vintern för massorna med modifierat bindemedel.

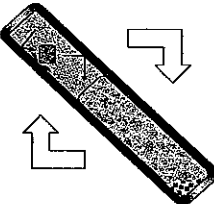
Spänningen, som här enbart är uppmätt vid brottet (Tabell 8), beror av styrkan hos beläggningen och tenderar att stiga med att temperaturen sjunker. Utmattningsprickor kan leda till en försvagning av materialet som i sin tur kan leda till att spänningen sjunker i närheten av brottemperaturen. Genom att spänningen vid olika temperaturer eller brottspänningen vid olika tidpunkter går det att bilda sig en uppfattning om hur mycket ytterliggare belastning en konstruktion klarar i närheten av brottemperaturen eller hur mycket en beläggning åldrats och försvagats. Brottspänningen ger alltså ingen relevant information för valet av bindemedel i de här försöken men kan vara intressant att jämföra med data från andra studier.

7.6 Beständighet – Slitage i vändskak

(Endast slitlager)

Resultaten från vändskaksförsöken redovisas nedan i tabell 9 och diagram 13.

Slitlager		Slitage vändskak
		Vikt-%
◆	Referens	15,5
◆	HB + SBS	10,9
◆	SBS 3% L	13,9
◆	SBS 4% R	9,0
◆	SBS 6% L	8,3
◆	EVA 6%	10,8
◆	SBS + Svavel	8,4



Tabell 9: Slitage efter vändskak i vikt-% för slitlagermassorna

Slitagevärdet för asfaltbruket påverkas i första hand av bindemedlets egenskaper och packbarheten hos det aktuella 0 - 2 materialet (trots att proverna tillverkas mot en förutbestämd kornfördelningskurva). Vid utförandet inverkar packbarheten hos de grövre fraktionerna på hur hårt asfaltbruket packas.

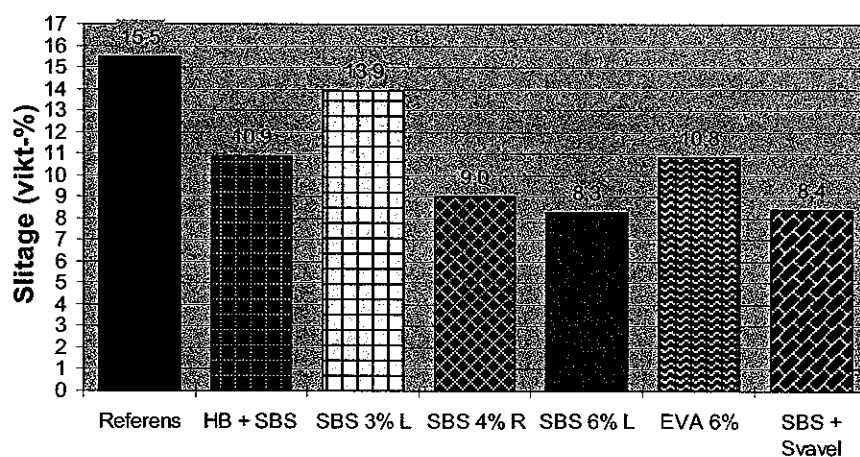


Diagram 13: Mängden bortnött material (i vikt-%) efter vändskaksanalys.

Samtliga modifierade bindemedel uppvisar bättre (lägre) slitagevärden än referensbindemedlet däremot är skillnaden mellan dem relativt liten förutom bindemedlet med 3% SBS som ligger 3,5 enheter över medelvärdet (standardavvikelsen = 2,0).

7.8 Vattenkänslighet

Resultaten från samtliga försök redovisas i diagram 16.

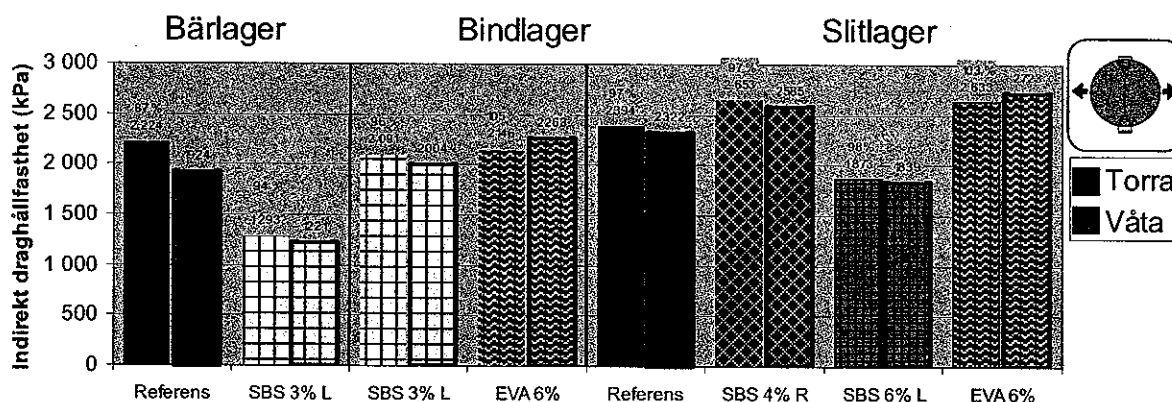


Diagram 16: Resultat från vattenkänslighetstesterna

Testerna utfördes för att säkerställa att inget av de utvalda bindemedlen till fullskaleförsöken orsakade vidhäftningsproblem mellan sten och bindemedel.

Den allmänna uppfattningen är idag att polymermodifierade bindemedel minskar risken för fuktrelaterade skador i beläggningen eftersom inträngning av fukt utifrån försvåras. Inget av bindemedlen gav heller upphov till underkända värden. Referensbindemedlet för bärlagermassan ger sämst resultat men uppvisar höga hållfasthetsvärden. Det EVA-modifierade bindemedlet gav ITSR-kvoter större än 100% för både bindlagret och slitlagret.

Inget av de testade bindemedlen, modifierade eller omodifierade, orsakade enligt försöken försämrade vattenresistens hos de laborietillverkade massorna.

8. Diskussion

8.1 Samband mellan bindemedlets och asfaltmassans egenskaper

Stabilitet och deformationsresistens

I de fall där bindemedel med skilda penetrationsnivåer förekommit (bärlagret och bindlagret) har de hårdare bindemedlen (lågt penetrationsvärde) gett bäst stabilitet och de mjuka sämre. I försöken med åldrade bindemedel (SBUF projekt 11607) som utfördes på slitlagermassorna visade sig också massorna med åldrat, och därmed hårdare, bindemedel ha bättre deformationsresistens.

Redan en liten mängd polymer resulterade i en kraftig förbättring av stabiliteten i testen med Hamburg Wheeltrack (Small Device), skillnaden var inte lika tydlig i försöken med Large Device eller m a p dynamisk krypstabilitet. En stegvis förbättring av stabiliteten med ökad polymerhalt, oavsett polymer, gick att se i försöken med Wheeltrack – Large Device för slitlagermassorna.

För att uppnå god stabilitet och deformationsresistens bör man enligt försöken välja ett så hårt bindemedel som möjligt och genom att polymermodifiera bindemedlet kan de problem som annars associeras med hårda bindemedel undvikas (sprickbildning etc.). Redan en liten mängd polymer gav stor effekt och därefter syntes en linjär förbättring med ökad polymerhalt. De olika polymersorterna hade en likvärdig inverkan på stabiliteten.

Flexibilitet (temperaturkänslighet)

De högmodifierade bindemedlen gav en kraftigt förbättrad flexibilitet åt de testade massorna. De lågmodifierade bindemedlen var däremot i flera fall likvärdiga med det omodifierade referensbindemedlet. Effekten av polymermodifieringen verkar här ligga närmare en tröskelövergång från "ingen effekt" till "full effekt" beroende på valet av och mängden polymer

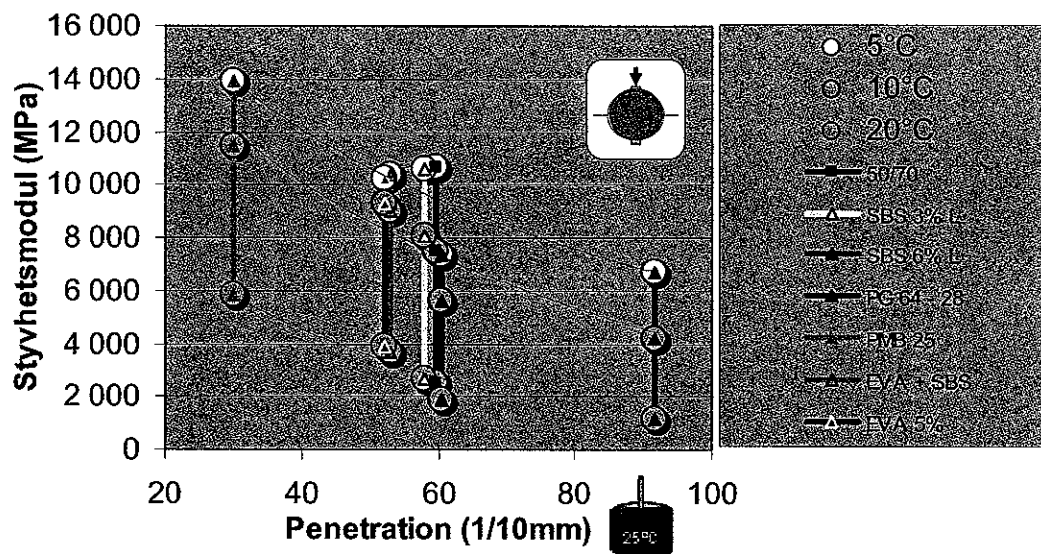


Diagram 19: Styvhetsmodul vid temperaturerna 5, 10 och 20°C för bindlagermassorna ordnade efter hårdhet.

Utmattning

Som tidigare påpekats är det viktigt att ta hänsyn till var i vägkonstruktionen som bindemedlet skall användas när resultaten från utmattningsförsöken bedöms. Eftersom flexibilitet och följsamhet var prioriterade egenskaper för bärlagret hölls töjningen konstant medan belastningen anpassades för att uppnå den förutbestämda töjningen. Det mjukare bindemedlet med hög halt SBS särskiljde sig, under gällande förutsättningar, som det bästa bindemedlet i försöken.

Beständighet och nötningsresistens

De polymermodifierade bindemedlen gav synbart bättre resultat i nötnings- och beständighetstesten (Prall och Vändskak) än den omodifierade referensen. Den lågmodifierade massan med linjär SBS polymer gav sämre resultat relativt de andra modifierade bindemedlen.

Lågtemperaturbrott

Lågtemperaturbrottet för de två massor med polymermodifierat bindemedel som undersöktes på KTH var avsevärt lägre (bättre) än för den omodifierade referensmassan. Försöksunderlaget är för litet för att dra några ytterligare slutsatser kring lämplig polymerhalt eller bästa val av polymer.

Fuktesistens

Inget av de bindemedel som undersöktes, d v s de som valdes ut till fullskaleförsöken, gav upphov till försämrad vidhäftning mot stenmaterialet.

Lagringsstabilitet och åldring

Se separat rapport SBUF-rapport 11607 *Åldringsegenskaper hos polymermodifierade bindemedel*.

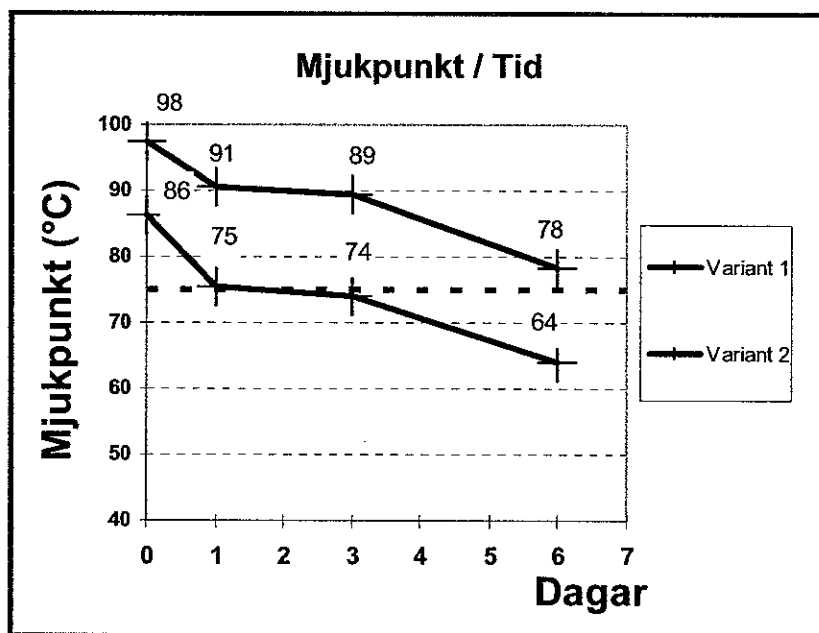


Diagram 20: Egenskaperna hos en del av de modifierade bindemedlen förändrades kraftigt med tiden under lagringen i laboratorietanken (ur SBUF rapport 11607)

9. Slutsatser

De polymermodifierade bindemedlen gav, med några få undantag, upphov till mer eller mindre och ibland kraftigt förbättrade funktionella egenskaper hos de undersökta asfaltmassorna. Det var också väntat. Svårigheten framöver ligger i att skaffa sig kunskapen att välja rätt bindemedel bland över två miljoner möjliga kombinationer i den nya Europastandarden för PMB (EN 14027).

Arbetsgruppen var överens om att man inte når upp till den fulla potentialen med polymermodifierade bindemedel genom tillvägagångssättet att endast byta ut bindemedlet i massorna. Genom att ytterliggare anpassa kornstorleksfördelningen och bindemedelshalten hos asfaltmassan kan man i förlängningen optimera dess egenskaper ytterliggare. T ex skulle man kunna designa vissa massor mot lägre hålrum utan att öka risken för permanenta deformationer tack vare de fjädrande egenskaperna hos det modifierade bindemedlet.

Baserat på resultaten från försöken är det omöjligt att ta fram en sk lathund för vilket bindemedel som bör väljas i varje given situation. Det har heller inte gått att göra någon definitiv koppling mellan resultaten från bindemedelsanalyserna och funktionstesterna på de laboratorietillverkade asfaltmassorna trots en del mer eller mindre tydliga trender. De olika polymererna ha t ex olika inverkan på mjukpunkten som man ofta kopplas ihop med stabilitetsegenskaperna hos belägningen. Försöken visade att det är mycket svårt att uppnå en mjukpunkt över 75 med ett EVA-modifierat bindemedel. Trots det uppvisade de EVA-baserade bindemedlen goda stabilitetsegenskaper och valdes ut till fullskaleförsök i både Etapp 2 och 3.

Man bör heller inte göra för starka kopplingar mellan receptinformationen för bindemedlen och funktionstesterna. Det är inte ovanligt att polymerer från olika leverantörer säljs med samma namn, men att den aktiva delen i polymerkedjan skiljer i halt beroende på framställningsprocessen. Det gör att mängden polymer som krävs för att uppnå önskad effekt kan variera kraftigt mellan olika leverantörer beroende på polymerens struktur, sammansättning och koncentration.



Det enda sättet att säkerställa rätt egenskaper i den färdiga produkten är genom att ställa rätt krav på belägningens funktionella egenskaper. För att vara säker på att klara högt ställda funktionella krav krävs en motsvarande hög kännedom om de ingående materialen från leverantörens sida och att valet av produkt kan anpassas efter de unika förutsättningarna för varje objekt.

Valet av bindemedel kommer alltid att ha en direkt avgörande inverkan på asfaltbelägningens egenskaper och vägens livslängd. Förhoppningsvis skall resultaten från detta arbete vara till hjälp framöver i att hitta de bindemedel som ger de önskade egenskaperna åt vägkonstruktionen även om de enkla svaren fortfarande saknas.

Utvalda bindemedel till fullskaleförsök

Etapp 1, Bärlagret

Utvalt bindemedel till fullskaleförsök Provväg E6:




-  Referens: 100/150
-  100/150 SBS 6% L ("100/150 - 75" enligt ATB-Väg)

Den prioriterade egenskapen för bärlagret enligt den speciellt för Provvägen framtagna tekniska anvisningen var *utmattningsegenskaperna*. Eftersom bara ett bindemedel skulle väljas ut till Provvägen valde arbetsgruppen också det bindemedel som särskiljde sig mest från de andra m a p utmattningsförsöken.

Arbetsgruppen valde att gå på den traditionella "svenska" linjen med ett mjukt bindemedel delvis eftersom laborieförsöken på VTI också var så utformade att mindre styva bindemedel gynnades. Utmattningsförsök kan också utföras med konstant belastning oavsett provets styvhet vilket gynnar ett styvare material, i de här försöken har töjningen hållits konstant vilket innebär en ökad belastning för de styvare proverna (de med hårt bindemedel).

Etapp 2, Bindlagret

Utvalda bindemedel till fullskaleförsök Provväg E6:

-  Referens: 50/70
-  SBS 3% L ("50/70 - 53" enligt ATB-Väg)
-  EVA 6% ("50/70 - 53" enligt ATB-Väg)

Deformationsresistens och *stabilitet* var de prioriterade egenskaperna för bindlagret och bindemedlen valdes också baserat på dynamisk krypstabilitet och spårdjup efter Wheeltrack. Arbetsgruppens bedömning var att det är intressantare med en jämförelse mellan två olika polymersorter än mellan två bindemedel med olika polymerhalt. Därför valdes bindemedlet med 3% SBS-polymer och det med 6% EVA-polymer ut till fullskaleförsöken.





Två av bindemedlen ströks tidigt i urvalsprocessen. Det ena var PMB PG 64 – 28 som genomgående visat de sämsta stabilitetsegenskaperna. Det andra bindemedlet (PMB 25) valdes bort, trots bra stabilitetsvärden, med hänsyn till höga hanteringstemperaturer och förmodade svårigheter i samband med utläggning och packning av asfaltmassan. Eftersom bindemedlet med blandning av två olika polymerer inte gav någon förbättring jämfört med bindemedlen baserade på enbart SBS eller EVA valdes det också bort.

När arbetsgruppen träffades för att välja bindemedel till fullskaleförsöken hade styvhetsmodulen ännu inte hunnit bestämmas för provmassorna och ingen hänsyn togs därför till bindemedlens temperaturkänslighet.

Laborieförsöken visade efteråt att ett av de utvalda bindemedlen, det med 3% SBS, inte uppvisade förbättrad flexibilitet gentemot referensbindemedlet. Det EVA-modifierade bindemedlet visade på delvis förbättrade egenskaper och de högmodifierade bindemedlen gav upphov till en kraftig förbättring.

Etapp 3, Slitlagret

Utvalda bindemedel till fullskaleförsök Provväg E6:

-  Referens: 70/100
-  SBS 4% R ("50/100 - 75" enligt ATB-Väg)
-  SBS 6% L ("50/100 - 75" enligt ATB-Väg)
-  EVA 6% ("50/70 - 53" enligt ATB-Väg)

Skillnaden mellan de modifierade bindemedlen till slitlagret och det omodifierade referensbindemedlet var stor i de funktionella testerna. Däremot visade sig skillnaderna mellan de modifierade bindemedlen vara relativt små (men inte obetydliga). Därför valde arbetsgruppen att ge lite extra tyngd åt och väga in resultaten från SBUF-projekt 11607 *Åldringsegenskaper hos polymermodifierade bindemedel* som utfördes parallellt med Etapp 3 och på samma bindemedel.

De två lågmodifierade bindemedlen (HB + SBS 2% och SBS 3%) gav upphov till de sämsta kombinerade funktionella egenskaperna och valdes bort först, ett av bindemedlen (SBS 3% L) klarade heller inte provet på elastisk återgång efter åldring.

Den korslänkade SBS-varianten (SBS + Svavel) valdes också bort, trots övertygande resultat i de funktionella testerna, p g a dålig lagringsstabilitet (SBUF-Rapport 11607). Bindemedlet separerade inte men egenskaperna föll snabbt utanför gällande specifikation under åldringen i laboratorietank. Eftersom bindemedlet är modifierat med svavel ansåg arbetsgruppen att produkten också kunde väljas bort med motiveringen att man då måste ta särskild hänsyn till arbetsmiljön vid tillverkning och utläggning.

Av de kvarvarande bindemedlen gav det EVA-baserade bindemedlet kombinerat bäst resultat efter att bindemedlen rangordnats i de funktionella testerna, bindemedlet påverkades också minst i åldringsförsöken och kräver lägst temperatur under hanteringen. Arbetsgruppen hade svårt att enas kring vilket av de två SBS modifierade bindemedlen som eventuellt skulle väljas bort men man beslöt till sist att det fanns utrymme att gå vidare med båda varianterna. Den 6%-iga SBS-varianten skulle annars ha valts bort på grund av de förmodat högre hanteringstemperaturerna som krävs vid tillverkning och utläggning eftersom man haft problem med att få ned hållrummet på laboratorieplattorna och att det skulle återspegla sig vid fullskaleutförandet⁶.

⁶ Tänkbara orsaker till den försvårade packningen kan vara bindemedlets fjädrande egenskaper eller att en ytterligare förhöjd packningstemperatur krävs.

10. Andra rapporter relaterade till Provväg E6

Polymerbitumen – Kriterier för val av kompatibla system, Rapport SBUF-projekt 11042, Ylva Edwards (2002)

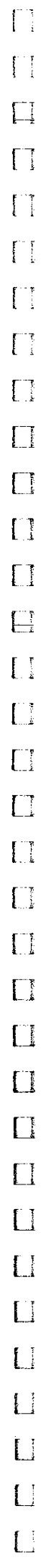
PMB identifiering av egenskaper i bitumen som ger rätt egenskaper i beläggning, Rapport SBUF-projekt 11138 och 11400, Thorsten Nordgren (2004)

Provväg E6 Geddeknippen – Kallsås Polymermodifierade bindemedel, Byggnadsrapport 2004, Nils Ulmgren, Karl-Johan Aksell (2004)

Åldringsegenskaper hos polymermodifierade bindemedel, Rapport SBUF-projekt 11607, Niclas Stenberg (2006)

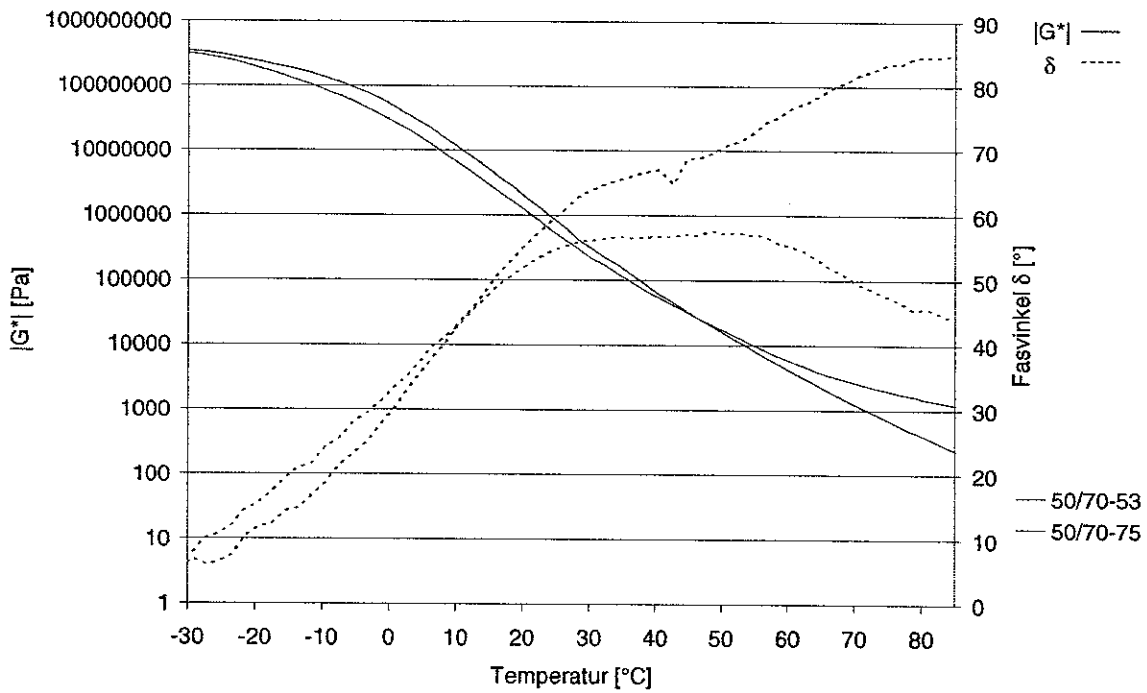
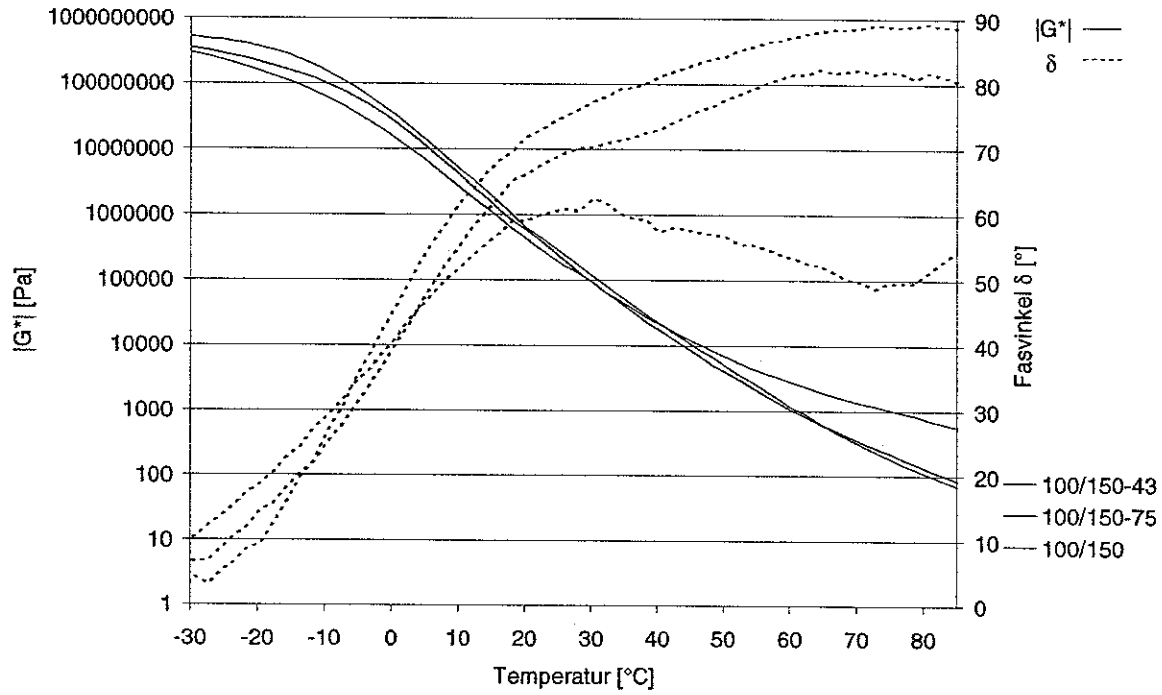
Bilaga 1:

DSR-analyser för bindemedlen i Etapp 1, Bärlagret (KTH)



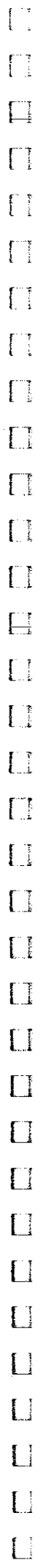


KTH Bygghvetenskap



Jonas Ekblad
I:e Fo Ing

Ylva Edwards
I:e Fo Ing



Bilaga 2:

DSR-analyser för bindemedlen i Etapp 2, Bindlagret (KTH)

Rapporten från KTH är inte bifogad i sin helhet. Sidorna 2 – 5 innehåller enskilda diagram för varje bindemedel (samma information finns på förstasidan där resultaten redovisas sammanslagna i ett och samma diagram).



Undersökning av bindemedel

Prover

Bindemedelsprover märkta:

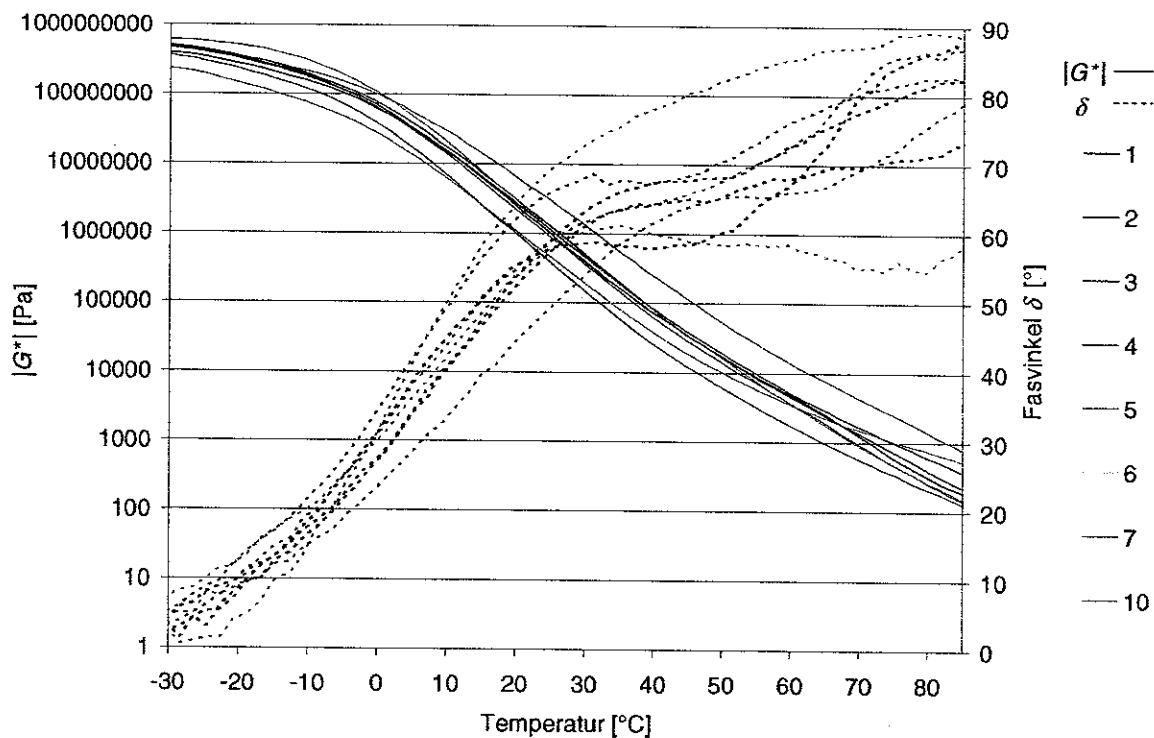
- 1 (EVA 50/70 -53)
- 2 (SBS 50/100-75 (4 %))
- 3 (SBS 50/70-53)
- 4 (SBS PG 64 – 28)
- 5 (PMB 25 Tysk SBS)
- 6 (SBS 50/100 – 75 % (6 %))
- 7 (SBS/EVA 50/70 – 53)
- 10 (Ref B 50/70)

Analyser

- Oscillerande skjuvprovning, DSR temperatursvep (-30 - +90 °C) vid 10 rad/s

Provningsresultat

Komplexmodul och fasvinkel från temperatursvep vid 10 rad/s.



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Bilaga 3:

DSR-analyser för bindemedlen i Etapp 3, Slitlagret (KTH)

Den bifogade rapporten innehåller resultat från försök på åldrat bindemedel. Dessa försök är del i SBUF-projekt 11607- *Åldringsegenskaper hos polymermodifierade bindemedel.*



KTH Bygghvetenskap

LABORATORIEPROVNING OSCILLERANDE SKJUVPROVNING - DSR

Sammanfattning

Inledning

Provning har genomförts enligt uppdrag från Vägverket (Thorsten Nordgren).

Prover

Bindemedel för provning har tillsänts KTH i 10 st 1-litersburkar; märkning och benämning enligt Tabell 1.

Tabell 1. Provade bindemedel

Benämning	enl. förteckning	märkning burk
SBS 3%	SBS 5/70-53 SBS 3% (linjär)	1:SBS 5/70-53
SBS 4%	SBS 4% 50/100-75 (radiell)	2:SBS 4 % 50/100-75
SBS 4%-åldrat	SBS 4% åldrat	2å
SBS 6%	SBS 50/100-75 SBS 6% (linjär)	3:SBS 50/100-75
SBS 6%-åldrat	SBS 6% åldrat	3å
EVA 6%	EVA 6,25 50/70-53	4
EVA 6%-åldrat	EVA 6,25 åldrat	4å
HB+SBS	Hårt basbitumen+SBS (ca 2%) 40/70-53	5
70/100	70/100 referens	7
70/100-åldrat	70/100 åldrat	7å

Metoder

Bindemedlens reologiska egenskaper har bestämts vid oscillerande skjuvprovning, som ett temperatursvep, -30 till 80 °C, vid vinkelhastigheten 10 rad/s. Provgeometrin var parallella plattor med diameter 8 mm och initiell tjocklek 1,5 mm.

Resultat

Resultat redovisas i figurerna 1-7 som dynamisk skjuvmodul och fasvinkel som funktion av temperatur. I figur 8 redovisas åldringsindex för de bindemedel för vilka båda originalprov och åldrat prov funnits. Åldringsindex beräknas enligt:

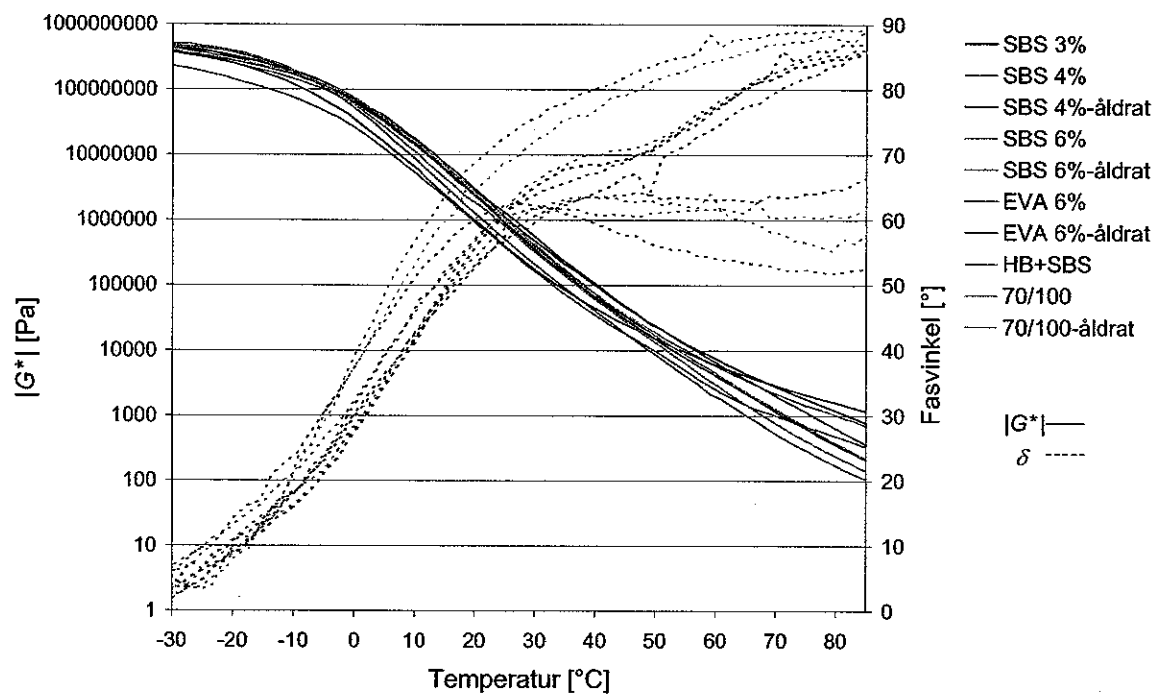
$$\frac{|G^*|_{\text{åldrat}}}{|G^*|_{\text{original}}}$$

Värden över 1 indikerar således styvare prover efter åldring. Det bör noteras att vid temperatursvep är den absoluta bestämningen av skjuvmodul något osäker.

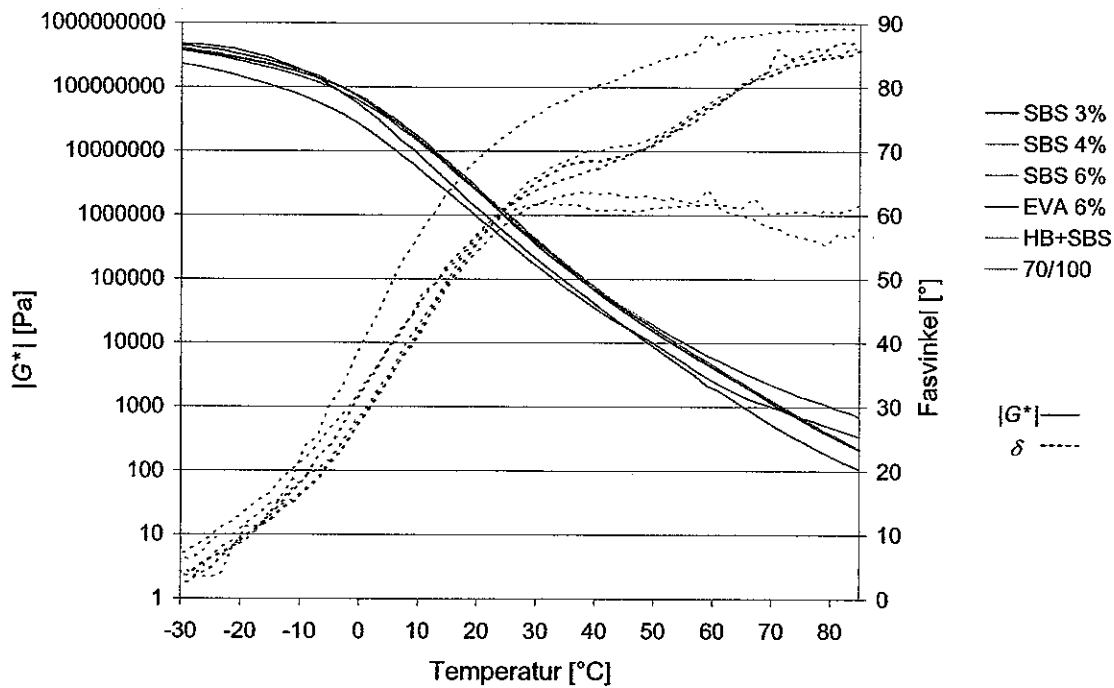
I tabell 2 sammanfattas resultat vid 60 °C från genomförda temperatursvep. I tabellen sammanfattas dynamisk skjuvmodul ($|G^*|$), fasvinkel (δ) samt deformationsparameter (rutting parameter) enligt SHRP given av:

$$\frac{|G^*|}{\sin \delta}$$

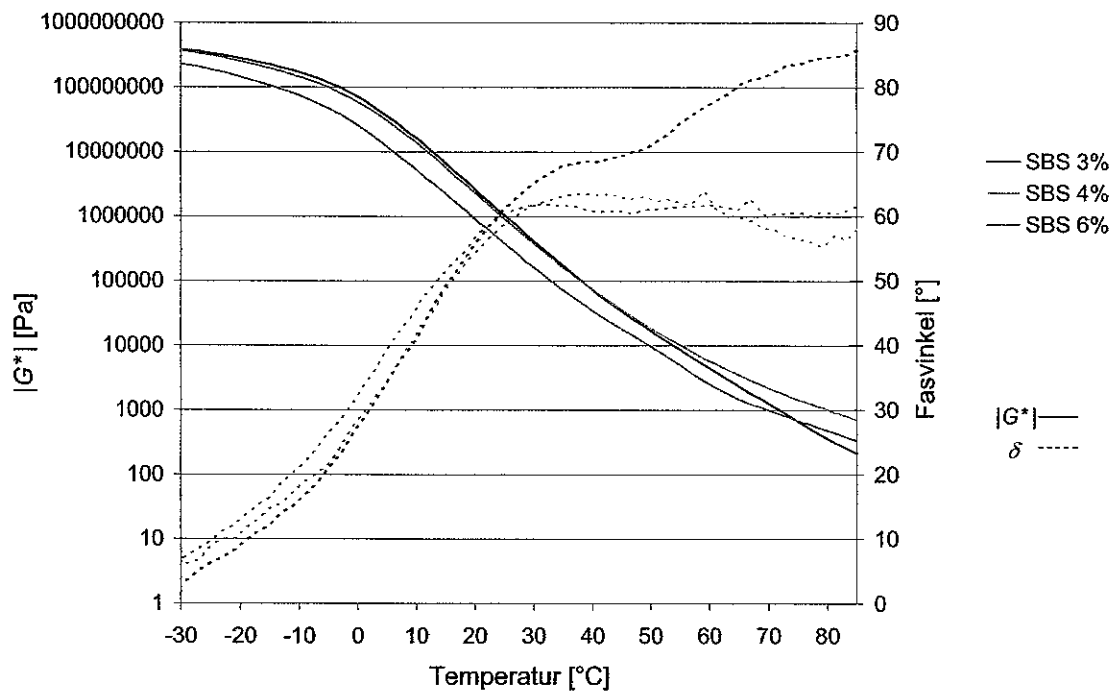
För skjuvmodul i tabell 2 gäller samma invändning som tidigare, dvs. att den absoluta bestämningen är något mindre säker från ett temperatursvep, jämfört med en motsvarande mätning vid endast en temperatur.



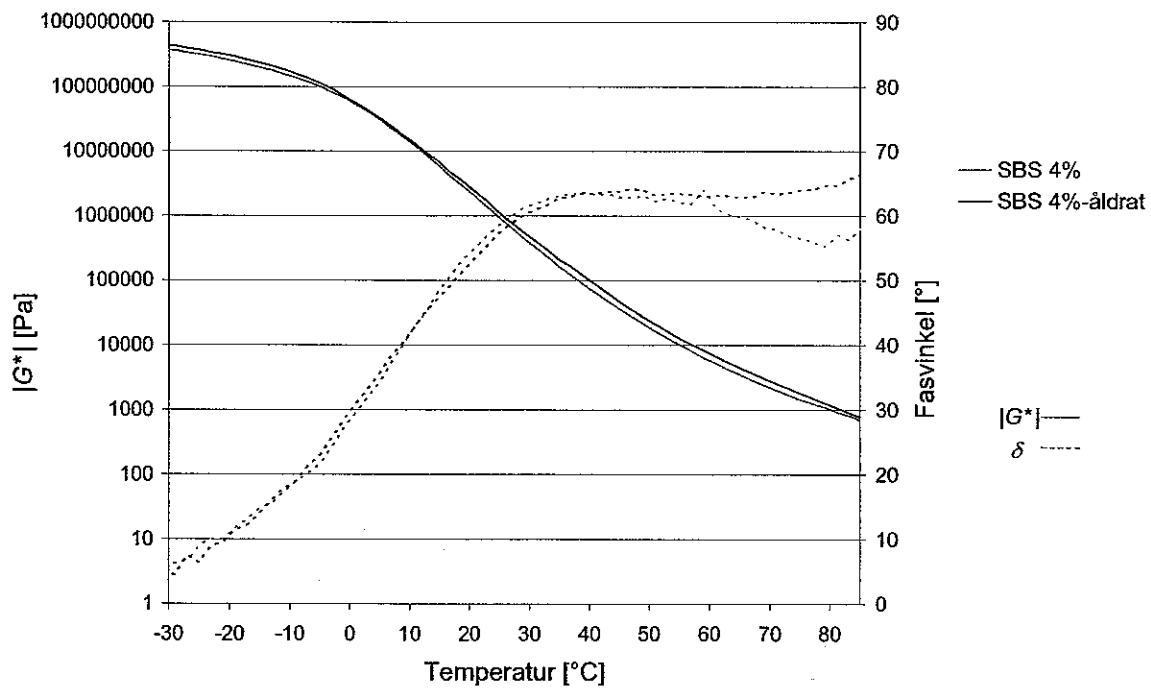
Figur 1. Dynamisk skjuvmodul och fasvinkel vid 10 rad/s för samtliga bindemedel.



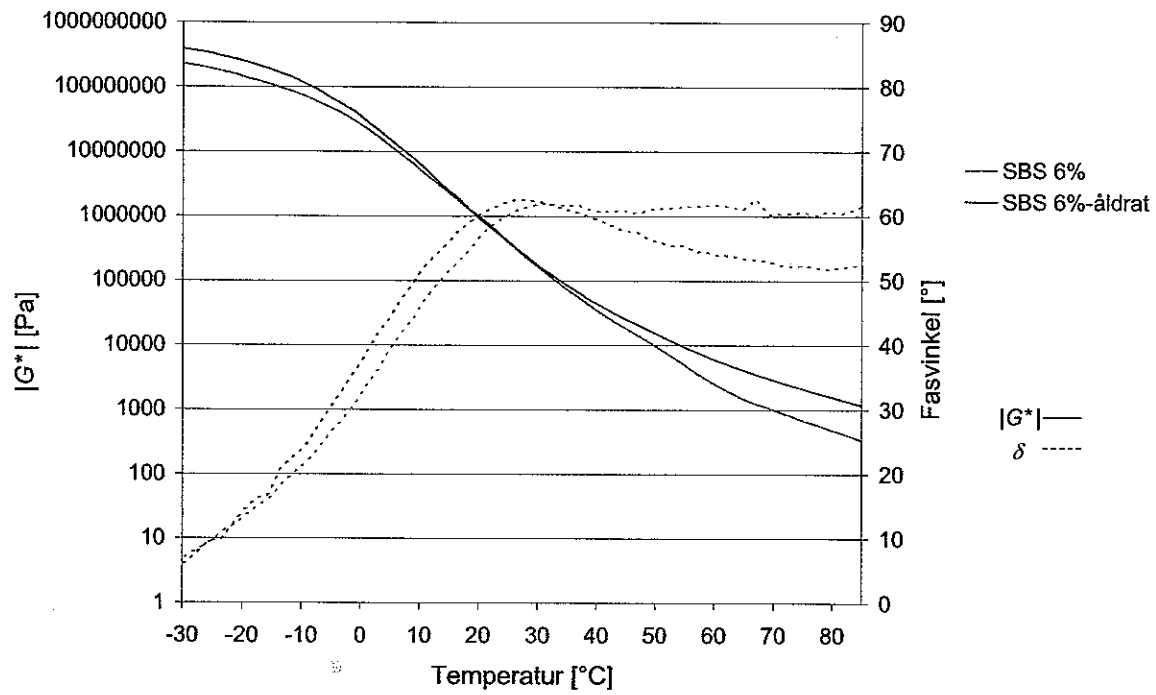
Figur 2. Samtliga originalprov.



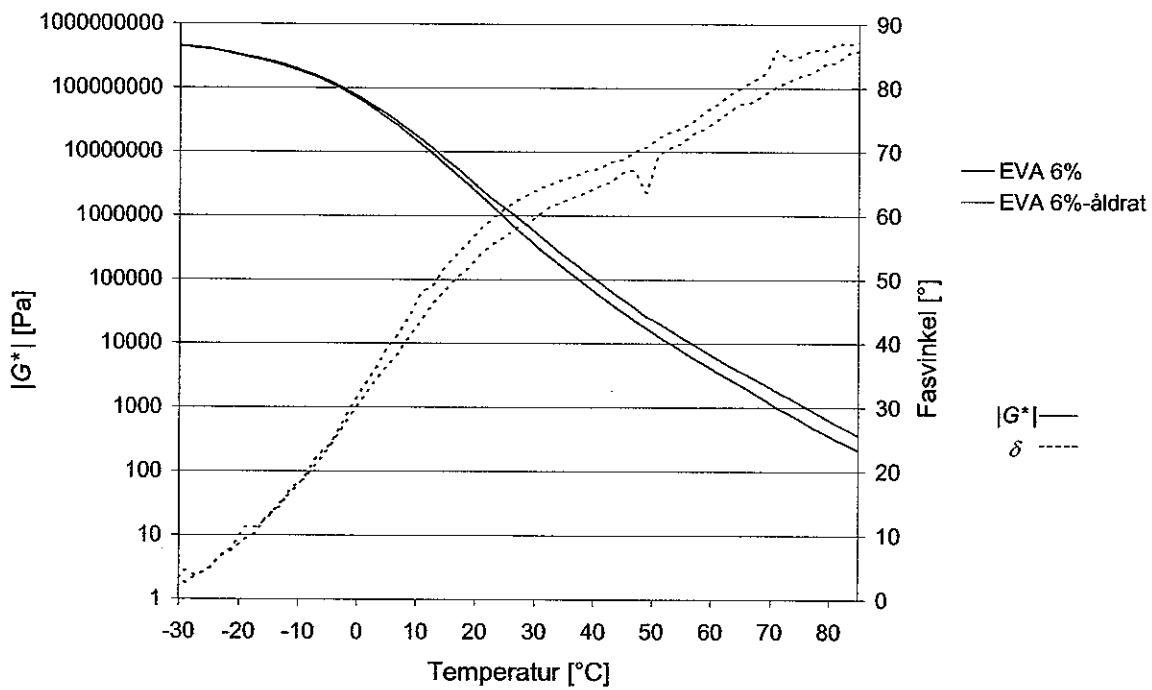
Figur 3. SBS-modifierade prov.



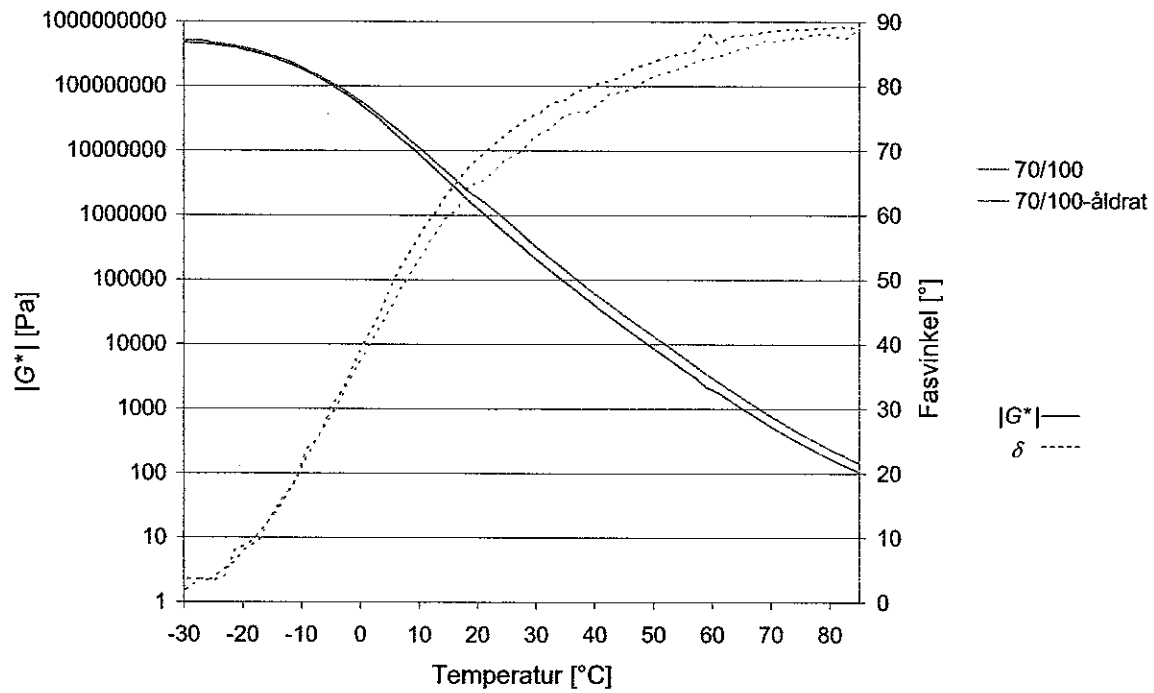
Figur 4. SBS 4%, original resp. åldrat prov.



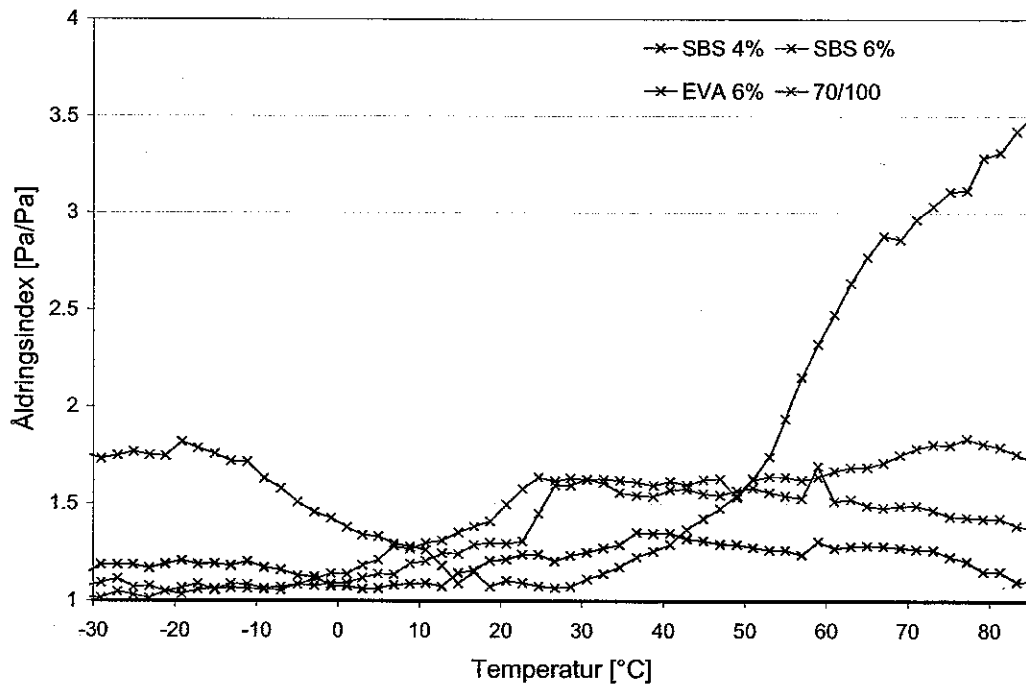
Figur 5. SBS 6%, original resp. åldrat prov.



Figur 6. EVA 6%, original resp. åldrat prov.



Figur 7. Referens 70/100, original resp. åldrat prov.



Figur 8. Åldringsindex som funktion av temperatur.

Samtliga prov har blivit styvare av åldring. Bindemedel med 6 % SBS är betydligt styvare efter åldring, vid temperaturer över ungefär 50 °C.

Tabell 2. Dynamisk skjuvmodul, fasvinkel och deformationsparameter enl. SHRP (rutting parameter) vid 60 °C

Benämning	$ G^* $ [kPa]	Fasvinkel [°]	$ G^* /\sin\delta$ [kPa]
SBS 3%	4.44	77.4	4.55
SBS 4%	5.71	62.6	6.43
SBS 4%-åldrat	7.37	63.1	8.26
SBS 6%	2.54	61.7	2.89
SBS 6%-åldrat	6.07	54.1	7.50
EVA 6%	4.09	76.9	4.20
EVA 6%-åldrat	6.76	74.2	7.02
HB+SBS	4.52	77.8	4.63
70/100	1.95	87.5	1.95
70/100-åldrat	3.14	84.4	3.15

Jonas Ekblad
1:e Fo Ing

Ylva Edwards
1:e Fo Ing

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Bilaga 4: Receptinformation bindemedel

Bilagan från Pankas A/S var ej färdigställd vid tryckningen och saknas därför i denna upplaga.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100