

Ett **SBUF**-projekt

Datum
2017-04-13

Författare
Erik Oscarsson

Skanska Sverige AB
Teknik - Väg och Asfalt
PL 6185
424 57 Gunnilse
Tel: 010-44 84 311
Fax: 031-94 33 35

Beteckning
ID: 13078

ÅTERVINNING I BELÄGGNING MED POLYMERMODIFIERAT BITUMEN, ETAPP 1



Återvinning i beläggning med polymer-modifierat bitumen, Etapp 1

Erik Oscarsson

SBUF Rapport 13078

Skanska Sverige AB

Teknik - Väg och Asfalt

PL 6185

424 57 Gunnilse

Innehållsförteckning

FÖRORD	6
SAMMANFATTNING	7
1 INTRODUKTION	9
1.1 POLITISKA MÅL.....	9
1.2 EKONOMISKA INCITAMENT.....	9
1.3 FÖRÄNDRING AV BELÄGGNINGSEGENSKAPER.....	9
1.4 ÄNDRING AV RECEPT	9
1.5 ÅTERVINNINGSHALT I KONVENTIONELL BELÄGGNING	10
1.6 ÅTERVINNINGSHALT I POLYMERMODIFIERAD BELÄGGNING	10
2 SYFTE OCH MÅL	11
3 METOD OCH MATERIAL	12
3.1 ÅTERVUNNET BITUMEN.....	12
3.2 POLYMERBITUMEN	12
3.3 PROVBEREDNING	12
3.4 PROVNING	14
3.4.1 Penetration.....	14
3.4.2 Mjukpunkt KoR.....	14
3.4.3 Elastisk återgång	14
3.4.4 Draghållfasthet och deformationsenergi.....	14
3.4.5 Bending Beam Rheometer	14
3.4.6 Rolling Thin Film Oven Tester.....	14
3.4.7 Komplex skjuvmodul och fasvinkel.....	15
3.4.8 Multiple Stress Creep Recovery.....	15
3.5 ANALYS	15
4 RESULTAT OCH DISKUSSION	16
4.1 PENETRATION.....	16
4.2 MJUKPUNKT	18
4.3 ELASTISK ÅTERGÅNG	20
4.4 DRAGHÅLLFASTHET OCH DEFORMATIONSENERGI.....	21
4.5 BENDING BEAM RHEOMETER	23
4.6 KOMPLEX SKJUVMODUL OCH FASVINKEL.....	25
4.6.1 SBS 45/80 -55.....	25
4.6.2 SBS 40/100-75	27
4.6.3 EBA 45/90-55	29
4.7 SPÅRBILDNINGSAKTOR.....	31
4.8 MULTIPLE STRESS CREEP RECOVERY	34
5 SLUTSATSER	36
6 REFERENSER	37

Förord

Detta projekt har till största delen finansierats av SBUF och Trafikverket, samt av Nynäs som har ställt upp med laboratorieprovning. Författaren vill tacka alla deltagare referens- och arbetsgruppen som hjälpte till med vägledning och kommentarer. Det praktiska laboratoriearbetet utfördes på Skanska VTC-Väst i Gunnilse. Ett särskilt tack riktas till Madelaine Matsson, Torsten Nordgren och Tobias Pålsson för inspiration och idéer. Ett varmaste tack till Petri Uhlbäck för hans engagemang och hjälp med att tolka resultat. Även Bengt Sandman, Helene Odelius, Niclas Krona på Nynäs har bidragit till bra diskussioner.

Referensgruppen:

Torsten Nordgren	Trafikverket
Jonas Ekblad	NCC
Peter Gustafsson	Peab
Niclas Krona	Nynäs
Kenneth Olsson	Skanska
Erik Oscarsson	Skanska

Arbetsgruppen:

Torsten Nordgren	Trafikverket
Tobias Pålsson	Skanska
Erik Oscarsson	Skanska

Erik Oscarsson, april 2017

Skanska Sverige AB, Teknik - Väg och Asfalt

Sammanfattning

Återvinning av asfaltgranulat för användning i asfalt är ett prioriterat mål av både beställare och entreprenörer. Det ger både ekonomiska och miljömässiga besparingar till nytta för alla. En förutsättning för detta är dock att beläggningens tekniska egenskaper inte väsentligt försämras. Av försiktighet accepterar Trafikverket för närvarande en inblandning av högst 10 % asfaltgranulat i asfaltmassa tillverkad med polymermodifierat bitumen om inget annat anges i kontraktshandlingarna.

Projektets övergripande syfte var att undersöka hur olika halter av återvunnet asfaltgranulat påverkar polymermodifierad asfalt för att om möjligt öka halten över nuvarande tillåtna 10 %. Syftet uppnås delvis genom att i laboratorium utvärdera egenskaper hos polymermodifierat bitumen (PMB) blandat med olika halter återvunnet bitumen. Målet är därför att undersöka vilka halter av återvunnet bitumen som kan användas utan att blandningen faller utanför specifikationen. Projektet omfattade laboratorieanalys av återvunnet och polymermodifierade bindemedel samt flera olika blandningar av dessa. Bitumenblandningarna motsvarade de proportioner som erhålls vid tillsättning av återvinningsgranulat med 0 %, 10 %, 20 % och 40 % och de PMB som användes var SBS 45/80-55, SBS 40/100-75 och EBA 45/90-55.

De provningsmetoder som användes var penetration, mjukpunkt, elastisk återgång och draghållfasthet med bestämning av deformationsenergi, som ligger till grund för CE-märkning och prestandadeklarationer i Europa. Dessutom utfördes styvhetsprovning med Bending Beam Rheometer (BBR) och två olika provningsmetoder med DSR (Dynamic Shear Rheometer).

SBS 45/80-55 klarade samtliga krav upp till och med 20 % returafalt. Därefter blev penetrationen för låg och draghållfasthetsprovning gav förtida brott. Den högmodifierade SBS 40/100-75 klarade samtliga krav förutom att mjukpunkten blev för låg vid 20 % halt returafalt. Det kan dock bero på mätfel eftersom kravet uppfylldes vid 40 % halt returafalt. EBA 45/90-55 klarade inte någon inblandningshalt eftersom det var relativt styvt och sprött redan från början. Ifall ett mjukare basbindemedel hade använts vid framställning av EBA 45/90-55 hade resultaten sannolikt blivit bättre.

Böjstyvhets mätt med BBR ökade för samtliga PMB efter tillsättning av 20 % returafalt. Risker för lågtemperatursprickor har alltså ökat. För EBA 45/90-55 var ökningen minimal eftersom det från början var mycket styvt. Inblandning av 20 % återvunnet bitumen tenderar att ha ungefär samma effekt på komplex styvhetsmodul och fasvinkel som korttidsåldring med RTFOT. Generellt ökar både komplex styvhetsmodul och fasvinkel. De båda jungfrueliga bitumenerna SBS 45/80-55 och SBS 40/100-75 påverkades mest genom att kurvorna gick från att likna typiska PMB till att mer likna konventionellt bitumen vid 20 % returafalt.

Spårbildningsfaktorn minskade generellt något av RTFOT för samtliga PMB. Den mest påfallande ändringen i spårbildningsfaktor var för det jungfrueliga SBS 40/100-75 som ändrades från 96,1 °C till 78,6 °C. Det tyder på att korttidsåldringen påverkade polymerstrukturen negativt. Resultaten för MSCR gav svårtolkade resultat. Inblandning av återvunnet bitumen och RTFOT verkar kunna orsaka två motverkande effekter för SBS-modifierade bitumen; dels nedbrytning av polymerstruktur och dels förstyvning genom åldring.

1 Introduktion

1.1 Politiska mål

Inom Sveriges miljö kvalitetsmål, kategorin God bebyggd miljö, ingår etappmålet att minst 70 vikt-% av icke-farligt byggnads- och rivningsavfall ska återanvändas, återvinnas eller utnyttjas senast år 2020. Etappmålet sammanfaller även med EU:s avfallsdirektiv. Målen kommer sannolikt inte nås helt men det är tydligt att även byggbranschen måste arbeta för ökad återanvändning och återvinning. Återvinning av asfaltbeläggning är därför en viktig del i att öka den miljömässiga hållbarheten i transportsystemet enligt gällande övergripande transportpolitiska mål (Kalman, 2014).

1.2 Ekonomiska incitament

Utöver miljöpolitiska skäl finns det rent ekonomiska incitament till att återvinna asfalt. Det finns mycket att vinna på att se asfaltbeläggning som en tillgång snarare än som ett avfall då den i princip är återvinningsbar till 100 % (EAPA, 2014). Asfaltgranulat kan användas som obundet bärlager utan omfattande provning och behandling, men då tillgodogör man sig inte granulatets bitumeninnehåll. Det är dock viktigt att säkerställa att beläggning med returafalt får tillräckligt lång livslängd för att återvinning ska vara ekonomiskt och miljömässigt fördelaktiga. Tidiga sammanställningar har visat att kraftiga variationer i livslängd har förekommit, vilket tyder på att det har funnits stora kunskapsbrister (Ulmgren och Lundström, 2004). Sedan Trafikverket under senare år har intagit sin nya roll som professionell beställare hamnar alltmer av återvinningens möjligheter och risker hos entreprenörerna.

1.3 Förändring av beläggningsegenskaper

Vid tillräckligt hög inblandning av returafalt i varmasfalt kommer den färdiga beläggningens egenskaper att påverkas på flera sätt. Beläggningens styvhet, som ofta styr övriga materialegenskaper, ökar (Lee et al., 2015; Tabakovic et al., 2010; NCHRP, 2000). Det ger högre motståndskraft mot permanent deformation (Lee et al., 2015; DAV, 2011; Tabakovic et al., 2010), vilket är en positiv förändring. Tyvärr sammanfaller det även med risk för ökad benägenhet till sprickbildning vid låga temperaturer och genom utmattnings (Lee et al., 2015; NCHRP, 2000) även om motsatta resultat också har rapporterats (DAV, 2011; Tabakovic et al., 2010). Vattenkänsligheten riskerar att bli något sämre (Tabakovic et al., 2010) eller oförändrad (Lee et al., 2015). Dessa positiva och negativa förändringar av beläggningsegenskaper kan tala för att höga halter returafalt bör fungera bäst i bindlager men även i slitlager (DAV, 2011).

1.4 Ändring av recept

Tillsättning av returafalt i varmasfalt gör det ofta nödvändigt att ändra receptet för att slutprodukten ska få rätt egenskaper. I praktiken kan det ses som en omproportionering av både stenmaterial och bindemedel. Returafaltens bindemedel har åldrats genom oxidation, avdunstning (evaporation), utsöndring (exsudation) och fysisk (sterisk) förhårdning (Read och Whiteoak, 2003). Det enklaste sättet att korrigera för det åldrade bindemedlet är att använda ett något mjukare jungfruligt bitumen. I Sverige får detta bindemedel dock vara högst en penetrationsklass mjukare än bindemedel för beställd slutprodukt (Trafikverket, 2013) för att undvika att ett tvåfasssystem bildas. Tillsättning av förnygringsmedel är ett annat sätt att återställa det åldrade bindemedlets egenskaper.

1.5 Återvinningshalt i konventionell beläggning

Vissa studier visar att varmasfaltens beläggningsegenskaper inte påverkas negativt av tillsättning av returafalt upp till en brytpunkt i intervallet 10-20 % (Lee et al., 2015; NCHRP, 2000) medan andra tyder på att upp till 30 % kan tillsättas utan problem (Lee et al., 2015; DAV, 2011; Tabakovic et al., 2010). Trafikverket (2013) tillåter upp till 20 % returafalt i icke-dränerande slitlagermassor, 30 % i bindlagermassor och 40 % i bundna bärlagermassor. Vid inblandning av höga halter returafalt behöver tillverkningsprocessen anpassas för det. En sådan anpassning kan bestå av a) Urval av returafalt med rätt kvalitet, b) Effektiv kontroll vid mottagande av returafalt, c) Separat och väderskyddad lagring, d) Materialprovning och anpassning av recept, e) Utrustning och anpassning av asfaltverk. Några av de viktigaste framgångsfaktorerna är homogenitet i samtliga ingående material, tillräcklig uppvärmning av returafalten och tillräckligt lång blandningstid (DAV, 2011).

1.6 Återvinningshalt i polymermodifierad beläggning

Returafalt har även börjat användas i beläggningar med polymermodifierade bitumen (PMB) även om inblandningen ofta är låg. Trafikverket (2013) accepterar för närvarande en inblandning av högst 10 % asfaltgranulat i asfaltmassa tillverkad med PMB om inget annat anges i kontraktshandlingarna. I Australien tillåts högst 10-15 % returafalt i asfalt med PMB i vissa regioner, men i de flesta regioner tillåts det inte alls (Lee et al., 2015). Tidigare laboratorieanalys med DSR (Dynamic Shear Rheometer) av Kim et al. (2009) visade att tillsättning av återvunnet bitumen med 15 % - 35 % inte har påverkat bitumenegenskaperna väsentligt. Dessa laboratorieresultat från bitumenprovning har dock inte korrelerat väl med motsvarande egenskaper i asfaltmassa. Därför bör resultat från bitumenprovning tolkas med försiktighet ifall syftet är att prediktera hur den färdiga beläggningen kommer prestera. En anledning till detta kan vara att bitumenprovning sker under idealiska förutsättningar efter homogenisering. Vid produktion på asfaltverk uppnås sällan eller aldrig denna homogena blandning av återvunnet asfaltgranulat med jungfrueligt stenmaterial och bitumen. Antagandet om idealisk blandning av bitumen står i stark kontrast till den så kallade Black-Rock-teorin som istället utgår från att asfaltgranulatet fungerar som svart sten utan att bituminet tillgodogörs.

Att använda höga halter returafalt i beläggningar med PMB försvåras av att det finns en väsentlig skillnad mellan teknikerna. Polymermodifiering innebär att de tekniska egenskaperna förbättras till en högre initial kostnad. Den förhöjda kostnaden motiveras av förbättrade tekniska egenskaper med avseende på exempelvis styvhet, elasticitet och motståndskraft mot åldring. Detta förlänger beläggningens livslängd och kan därigenom sänka totalkostnaden räknat per år. I motsats till användning av PMB, ger inblandning av returafalt en lägre initial kostnad, det vill säga en ekonomisk besparing, men tenderar att i genomsnitt ge något försämrade eller i bästa fall oförändrade tekniska egenskaper. Alltså finns en potentiell skillnad mellan PMB och returafalt vad gäller teknisk funktion och kostnad. Det är därför intressant att utreda hur väl kombinationen fungerar.

2 Syfte och mål

Projektets övergripande syfte är att undersöka hur olika halter av återvunnet asfaltgranulat påverkar polymermodifierad asfalt för att om möjligt öka halten över nuvarande tillåtna 10 %. Syftet uppnås delvis genom att i laboratorium utvärdera egenskaper hos polymermodifierat bitumen (PMB) blandat med olika halter återvunnet bitumen. Målet är därför att undersöka vilka halter av återvunnet som kan användas utan att blandningen faller utanför bitumenspecifikationen. Resultaten ska kunna användas som beslutsunderlag vid val av återvinningshalt. Resultaten ska också kunna användas som underlag för att öka polymerhalten tillräckligt för att uppfylla bitumenspecifikationen vid höga halter återvinning. Erfarenheter av från detta projekt kan sedan ligga till grund för eventuella ytterligare etapper där fokus flyttas från bindemedel till tillverkning vid asfaltverk.

3 Metod och material

Projektet omfattar laboratorieanalys av återvunnet och polymermodifierat bindemedel samt flera olika blandningar av dessa. Bitumenblandningarna motsvarade de proportioner som erhålls vid tillsättning av återvinningsgranulat med 0 %, 10 %, 20 % och 40 %. Proportionerna beror av bindemedelshalten i den nya asfaltmassan såväl som i granulatet. Polymermodifiering används främst i slitlager och bindlager. Inblandning av återvinning i slitlager kan dock begränsas av krav på nötningsmotstånd, eftersom detta till stor del styrs av stenmaterialets egenskaper. Denna inledande studie baseras därför recept för ABb16, vilket är en asfaltbeläggning avsedd som bindlager. Polymermodifierade bindemedel tillverkas av penetrationsbitumen av olika hårdhet med polymerer som antingen påverkar elastomisk eller plastisk respons. I projektet användes polymerbituminen SBS 45/80-55, SBS 40/100-75 och EBA 45/80-55. Samtliga bitumenblandningar inklusive det rena återvunna bituminet har hanterats likvärdigt för att ha samma värmehistorik.

3.1 Återvunnet bitumen

Det återvunna asfaltgranulatets ursprung var upplaget vid Skanskas asfaltverk i Sperlingsholm. Granulatet var en blandning av många olika fräsningar och hade därför olika egenskaper, vilket försvårar en korrekt beskrivning. Generellt består dock granulatet mest av slitlagermassor, någon del bindlagermassor och liten del asfaltgrusmassor. Andelen polymerer i granulatet antogs vara låg baserat på att enbart ca 5-10 av den svenska asfaltproduktionen tillverkas med polymermodifierat bitumen. Till största delen bedöms bindemedlet därför ungefär motsvara ett långtidsåldrat konventionellt bitumen av typ Pen 70/100. Eventuellt inslag av polymermodifiering består troligen av latex från tunnskikt.

Bituminet återvanns enligt SS-EN 12697-3 (2013) med asfaltanalysator och rotationsindunstare, även kallad rotationsevaporator. Det innebar upplösning av asfaltgranulat, avlägsnande av fasta partiklar och indunstning. Vid varje sådan omgång används ca 4,5 kg asfaltgranulat. Det gav ca 55 g återvunnet bitumen, varav ca 40 g från första tvätten och ca 15 g från den andra. Totalt behövs sju tvättar för att tvätta ur allt bitumen från stenmaterialet. Processen upprepades 12 gånger för att ge tillräcklig sammantagen mängd återvunnet bitumen. Resultatet av varje återvinningsomgång blandades samman för att säkerställa det återvunna bituminetets homogenitet.

3.2 Polymerbitumen

SBS (Styren-butadien-styren) tillhör gruppen termoplastiska elastomerer som har den huvudsakliga funktionen att öka elasticiteten genom att förskjuta balansen mellan elastisk och viskös respons (Read och Whiteoak, 2003). Ökad elasticitet leder till mindre permanent deformation om töjningen är densamma. Termoplastiska polymerer såsom EBA (Etylen-butyl-acrylat) ökar inte elasticiteten nämnvärt. Istället ökas materialets totala styvhet, vilket minskar den totala töjningen och därmed de permanenta deformationerna (Read och Whiteoak, 2003).

3.3 Provberedning

Blandningarnas proportioner valdes för att motsvara tillsättning av 0 %, 10 %, 20 % och 40 % asfaltgranulat. Proportionerna i bitumenblandningarna korrigerades med avseende på att den tänkta asfaltmassans bindemedelshalt skiljer sig från asfaltgranulatets. Den tänkta

bindlagermassans (ABb16) bindemedelshalt är 5,0 % enligt arbetsrecept från Skanskas asfaltverk i Källered. Asfaltgranulatet från Sperlingsholm har en bindemedelshalt på 4,41 % baserat på åtta prover. Detta gör att bitumenblandningarna hade tillsättning av 0 %, 8,8 %, 17,6 % och 35,3 % återvunnet bitumen, vilket visas i Tabell 1.

Tabell 1. Bitumenblandningarnas sammansättning.

Nr	Bindemedel	Andel i massa	Andel i bindemedel	Bindemedel	Andel i massa	Andel i bindemedel
1	SBS 45/80-55	100,0%	100,0%	Återvunnet bitumen	0,0%	0,0%
2	SBS 45/80-55	90,0%	91,2%	Återvunnet bitumen	10,0%	8,8%
3	SBS 45/80-55	80,0%	82,4%	Återvunnet bitumen	20,0%	17,6%
4	SBS 45/80-55	60,0%	64,7%	Återvunnet bitumen	40,0%	35,3%
5	SBS 40/100-75	100,0%	100,0%	Återvunnet bitumen	0,0%	0,0%
6	SBS 40/100-75	90,0%	91,2%	Återvunnet bitumen	10,0%	8,8%
7	SBS 40/100-75	80,0%	82,4%	Återvunnet bitumen	20,0%	17,6%
8	SBS 40/100-75	60,0%	64,7%	Återvunnet bitumen	40,0%	35,3%
9	EBA 45/90-55	100,0%	100,0%	Återvunnet bitumen	0,0%	0,0%
10	EBA 45/90-55	90,0%	91,2%	Återvunnet bitumen	10,0%	8,8%
11	EBA 45/90-55	80,0%	82,4%	Återvunnet bitumen	20,0%	17,6%
12	EBA 45/90-55	60,0%	64,7%	Återvunnet bitumen	40,0%	35,3%
13				Återvunnet bitumen	100,0%	100,0%

Valet av blandningsförfarande styrdes av flera delvis motstående ambitioner:

1. Begränsning av antalet uppvärmningscykler för att begränsa nedbrytning och åldring.
2. Begränsning av tiden i uppvärmt tillstånd för att begränsa nedbrytning och åldring.
3. Tillräckligt hög blandningstemperatur för att säkerställa homogenitet.
4. Tillräckligt lång blandningstid för att säkerställa homogenitet.
5. Begränsning av antalet upphällningar i nya burkar pga förluster av bitumen.
6. Samma värmehistorik för samtliga bitumen för att inte introducera nya felkällor.

Slutligen föll valet på att hetta upp bituminen två gånger hellre än att hetta upp dem en gång och hålla dem upphettade under det flertal timmar som behövdes för hela blandningsprocessen. Före blandning tempererades samtliga bituminen till 170 °C och homogeniserades.

Inför blandning av två bitumen hälldes dessa upp i angivna proportioner i 1-literburkar för avsvälning. Vid blandning användes en mekanisk omrörare som roterade 150 varv/minut. Det bör räknas som enkel omrörning till skillnad från de kraftiga blandare med hög rotationshastighet (även kallad high-shear) som används vid inblandning av polymerer i bitumen. Före omrörning värmdes varje 1-literburk upp till 170 °C under 1 timme varefter omrörning utfördes under 10 minuter. Därefter tempererades blandningen i 10 minuter vid 170 °C följt av ytterligare 10 minuters omrörning, temperering i 5 minuter, portionering i penetrationsburkar och avsvälning. De bitumen som var färdigblandade (Nr 1, 5, 9, 13) hälldes direkt upp i penetrationsburkar och tempererades som övriga bitumenblandningar fast utan omrörning.

3.4 Provning

Provningen av bitumenblandningarna utfördes med ett antal provningsmetoder som vägbranschen har stor erfarenhet av. De ligger även till grund för CE-märkning och prestandadeklarationer i Europa enligt SS-EN 14023 (2010). Dessutom utfördes styvhetsprovning med Bending Beam Rheometer (BBR) och två olika provningsmetoder med DSR (Dynamic Shear Rheometer). DSR kan beskriva bindemedlets egenskaper i ett brett intervall av belastningsfrekvenser och temperaturer, vilket är lämpligt för polymermodifierade bindemedel. Därför är olika testuppställningar med DSR numera vanliga i USA, och förväntas ingå i kommande revisioner av SS-EN 14023 (2010). Även om proverna lagrades i rumstemperatur före provning kan åldring inte uteslutas. Därför kördes proverna i slumpvis ordning för att minska risken för systematiska skillnader.

3.4.1 Penetration

Provning av penetration vid 25 °C utfördes enligt SS-EN 1426 (2007).

3.4.2 Mjukpunkt KoR

Provning av mjukpunkt (kula ring) utfördes enligt SS-EN 1427 (2007). Blandningarna med SBS 45/80-55 och EBA 45/90-55 provades med vatten. Blandningarna med SBS 40/100-75 provades istället med glycerol (ibland kallat glycerin) eftersom mjukpunkten befarades överstiga 85, vilket ger ökad mätosäkerhet med vatten på grund av närheten till kokpunkten. Mjukpunktsresultat framtagna med olika vätskemedium bör inte jämföras, men detta var heller inte studiens syfte. Istället låg fokus på att jämföra olika halter återvunnet bitumen blandat med samma polymerbitumen.

3.4.3 Elastisk återgång

Provning av elastisk återgång vid 25 °C utfördes enligt SS-EN 13398 (2010). Provmängden hade redan använts vid provning av penetration och homogeniserades därför vid 180 °C före provning.

3.4.4 Draghållfasthet och deformationsenergi

Provning av draghållfasthet med bestämning av deformationsenergi vid 5 °C (50 mm/min dragning) utfördes enligt SS-EN 13589 (2008) och SS-EN 13703 (2004). Provmängden hade redan använts vid provning av penetration och homogeniserades därför vid 180 °C före provning. Resultaten angavs som medelvärde för tre prover över intervallet 200-400 mm.

3.4.5 Bending Beam Rheometer

Provning av lågtemperaturregenskaper utfördes med Bending Beam Rheometer (BBR) enligt ASTM D6648-08 (2008). Provningen begränsades dock av materialbrist. Två balkar av vardera bitumenblandning provades vid -18 °C.

3.4.6 Rolling Thin Film Oven Tester

Delar av provningen utfördes efter korttidsåldring med Rolling Thin Film Oven Tester (RTFOT) enligt SS-EN 12607-1 (2014). Det innebär i korthet att 35 gram bitumen korttidsåldras under 75 minuter vid 163 °C i. Rotation av behållaren och ett luftflöde säkerställer att nya ytor av bituminet åldras kontinuerligt.

3.4.7 Komplex skjuvmodul och fasvinkel

Provning av komplex skjuvmodul och fasvinkel utfördes med Dynamic Shear Rheometer (DSR) enligt ASTM D7175-08 (2008).

3.4.8 Multiple Stress Creep Recovery

Provning av elastisk skjuvrespons genom Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) utfördes med Dynamic Shear Rheometer (DSR) enligt ASTM D7405-10a (2010). Provningsen utförs före och efter korttidsåldring med RTFOT. MSCR ger ett mått på bituminets benägenhet till permanent deformation, som främst utvecklas vid höga temperaturer. Provtemperaturen 50 °C valdes som en representativ hög temperatur för svenska förhållanden. Dessutom är 50 °C även en lämplig temperatur för att utvärdera den färdiga beläggningens deformationsegenskaper med Wheel-Track i en eventuellt kommande studie av beläggningsegenskaper.

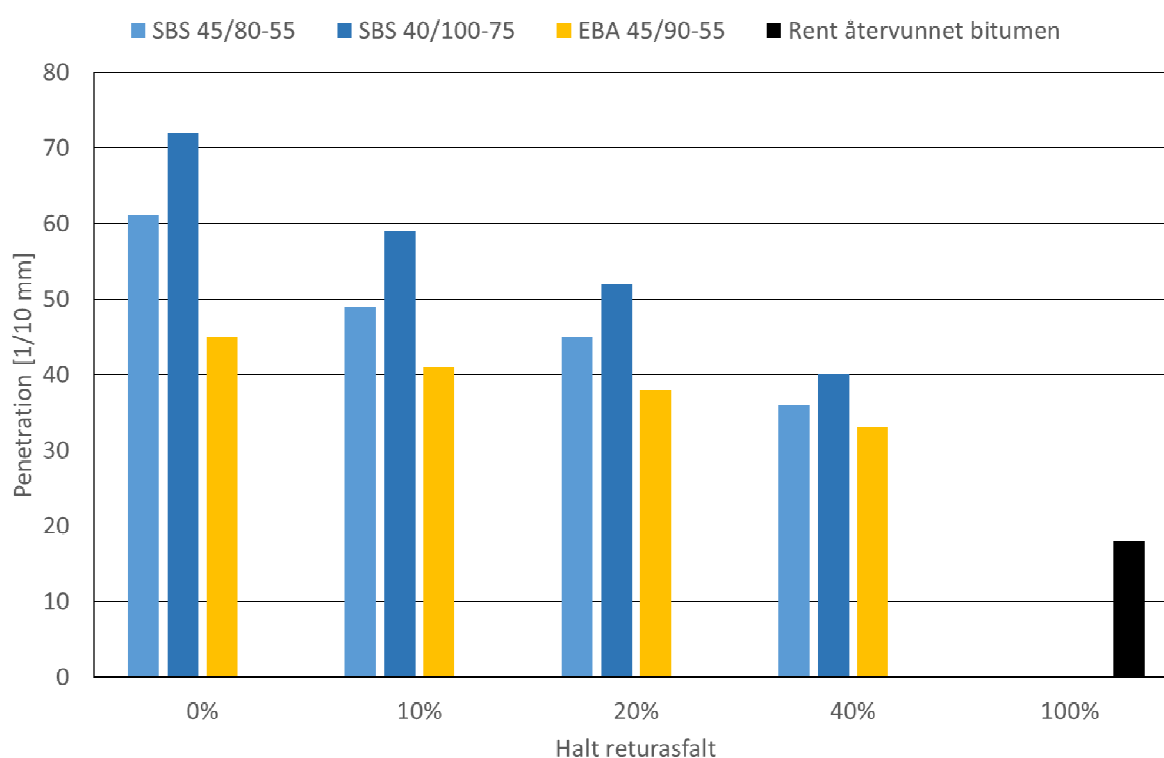
3.5 Analys

Resultaten utvärderades utifrån kraven för polymermodifierade bindemedel enligt TDOK 2013:0529 av Trafikverket (2013). Kravdokumentet grundas på SS-EN 14023 (2010) där de svenska kraven har valts utifrån svenska förutsättningar för klimat och trafik. Kraven omfattar bland annat 45/80-55 och 40/100-75 men inte 45/90-55. För EBA 45/90-55 användes därför kraven för 45/80-55, vilket normalt bör klaras. Eventuella avvikelser analyserades i syfte att förutse hur de aktuella bindemedlen sannolikt kommer påverka en färdig beläggningsegenskaper.

4 Resultat och diskussion

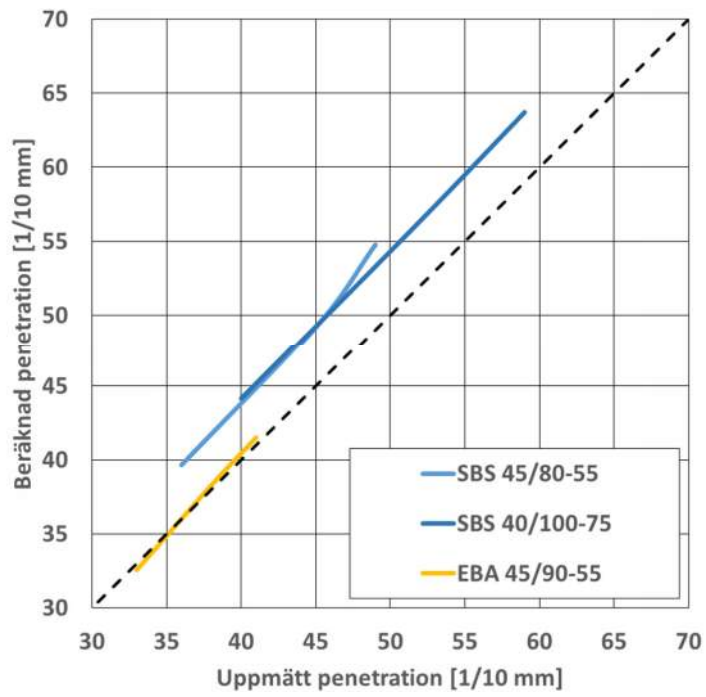
4.1 Penetration

Det rena återvunna bituminet var mycket hårt i förhållande till de rena polymermodifierade bituminen enligt Figur 1. Som väntat gjorde inblandning av återvunnet bitumen även de polymermodifierade bituminen hårdare med successivt lägre penetration när halten återvunnet bitumen ökade. SBS 45/80-55 klarade precis penetrationskravet (45-80) upp till 20 % halt returafalt medan SBS 40/100-75 klarade kravet (40-100) precis upp till 40 % halt returafalt. EBA 45/90-55 klarade dock ingen återvinning alls eftersom penetrationen redan från början låg på kravets (45-80) nedre gräns.



Figur 1. Resultat från penetrationsprovning vid 25 °C.

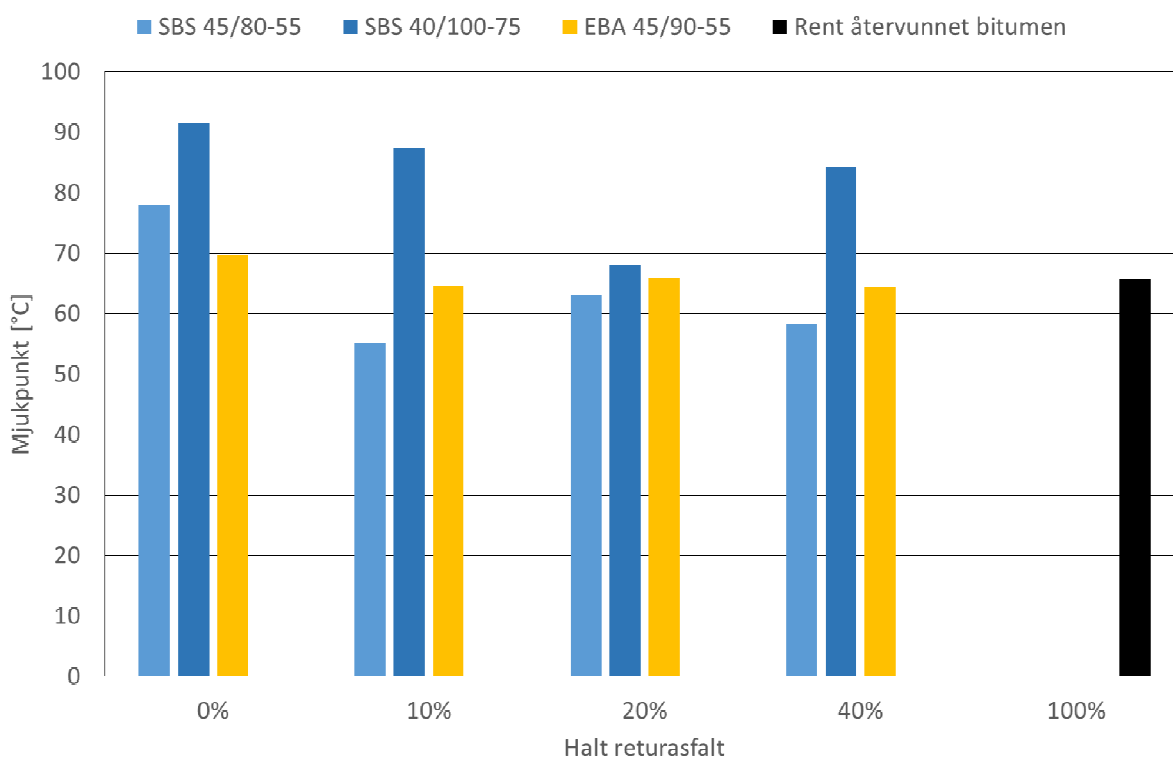
Penetrationsresultaten möjliggjorde utvärdering av den så kallade logPen-modellen i vilken penetrationsvärdet för ett blandat bitumen kan beräknas. Modellen återfinns närmast i TDOK 2013:0529 av Trafikverket (2013) och finns även i den europeiska standarden EN 13108-7 av CEN (2012). Resultaten i Figur 2 visar stor samstämmighet mellan beräknade och uppmätta penetrationsvärden.



Figur 2. Beräknad och uppmätt penetration.

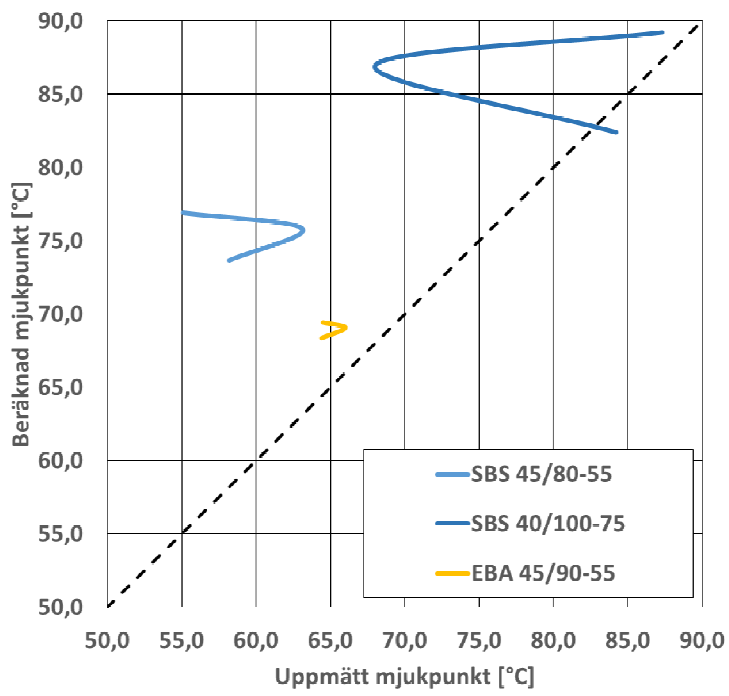
4.2 Mjukpunkt

Det rena återvunna bituminets mjukpunkt var ungefär lika hög som för de rena polymermodifierade bituminen enligt Figur 3. Alla blandningar mellan SBS 45/80-55 och återvunnet bitumen hade lägre mjukpunkt än de båda oblandade bituminen var för sig, vilket indikerar att polymerstrukturen har påverkats negativt även om kravet (≥ 55) uppfylldes. Mjukpunkten för SBS 40/100-75 hade en oklar trend men klarade kravet (≥ 75) för alla halter återvunnet bitumen förutom 20 %. Blandningarna av EBA 45/90-55 och återvunnet bitumen hade ungefär samma mjukpunkt som den senare, vilket uppfyllde kravet (≥ 55).



Figur 3. Resultat från mjukpunktsprovning.

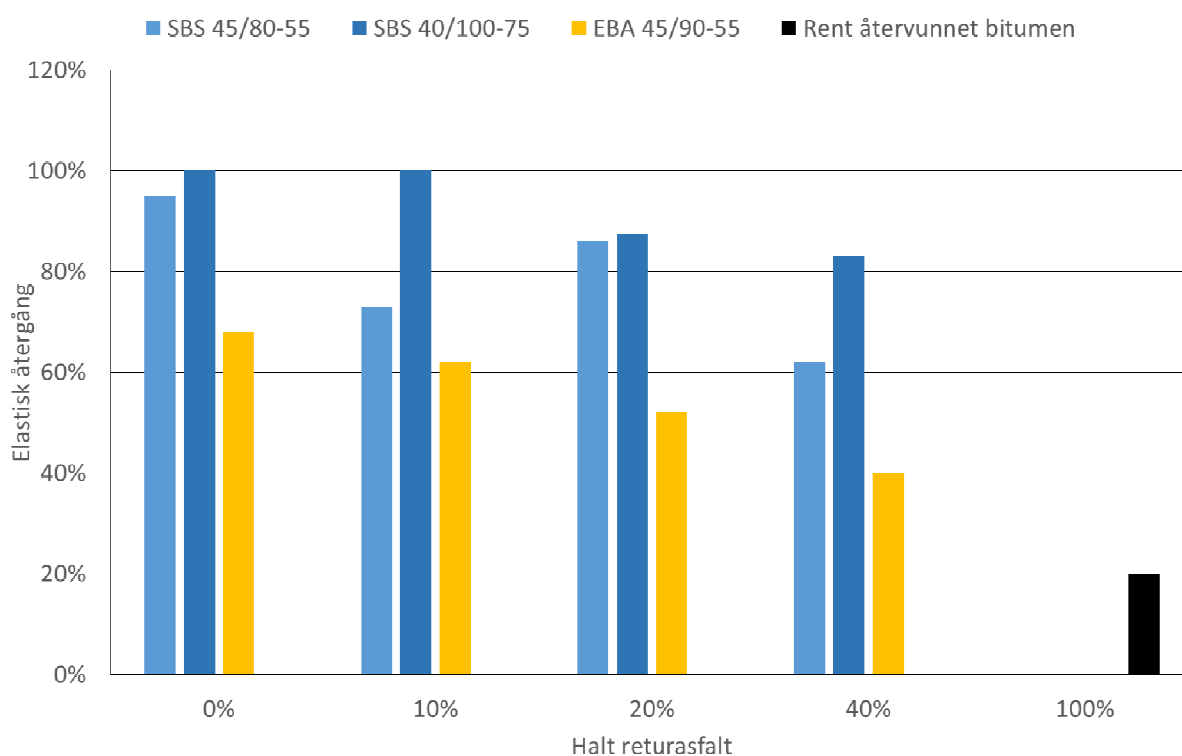
Mjukpunktsresultaten möjliggjorde utvärdering av den så kallade SP-modellen i vilken mjukpunkt för ett blandat bitumen kan beräknas. Modellen återfinns närmast i TDOK 2013:0529 av Trafikverket (2013) och finns även i den europeiska standarden EN 13108-7 av CEN (2012). Resultaten i Figur 4 visar stora skillnader mellan beräknade och uppmätta mjukpunktvärden. Det gäller särskilt för SBS-blandningarna, där de uppmätta värdena vid 20 % är klart avvikande. En tolkning är att polymerfasen har brutits upp vid 20 % återvinning.



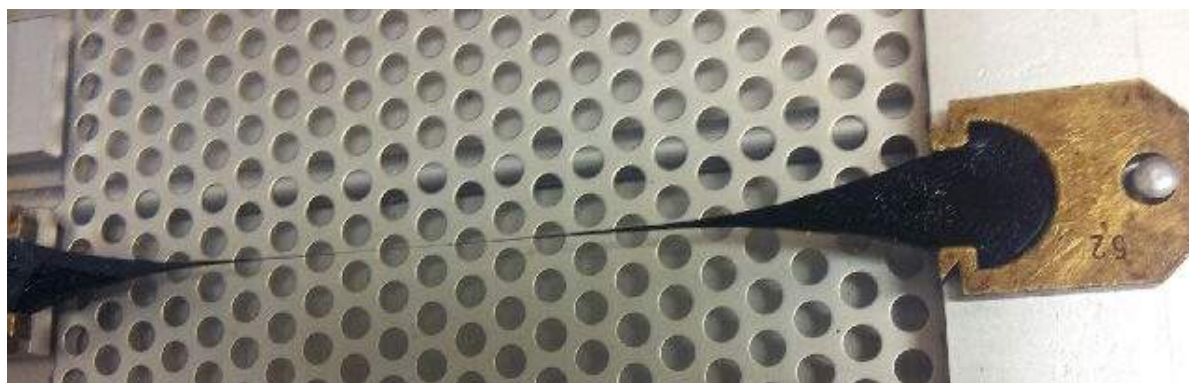
Figur 4. Beräknad och uppmätt mjukpunkt.

4.3 Elastisk återgång

Samtliga delprov klarade provning av elastisk återgång vid 25 °C utan att gå av i förtid. Det rena återvunna bituminets elastiska återgång var 20 % enligt Figur 5. Som väntat är det betydligt lägre än för de rena polymermodifierade bituminen, men märkbart högre än < 5 % som ett omodifierat bitumen normalt har. Bitumentråden var dock mycket tunn under större delen av testet, vilket visas i Figur 6. Av detta drogs slutsatsen att det återvunna bituminet innehåller polymerer men att halten är mycket låg. SBS 45/80-55 klarade kravet på $\geq 50\%$ för alla halter returafalt. För SBS 40/100-75 är kravet $\geq 75\%$ vid 10 °C, vilket inte provades. Däremot klarades $\geq 75\%$ vid 25 °C, vilket gör det åtminstone möjligt att kravet kan klaras vid 10 °C. EBA 45/90-55 klarade kravet på $\geq 50\%$ för alla halter returafalt utom 40 %.



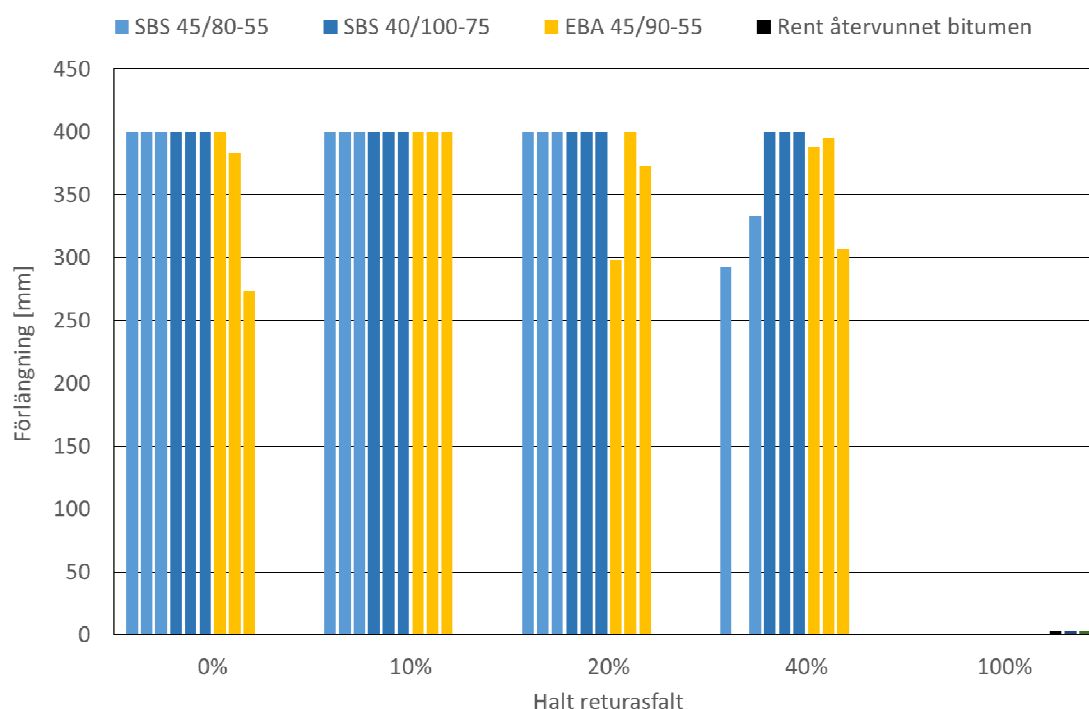
Figur 5. Resultat från provning av elastisk återgång vid 25 °C.



Figur 6. Provning av elastisk återgång med rent återvunnet bitumen.

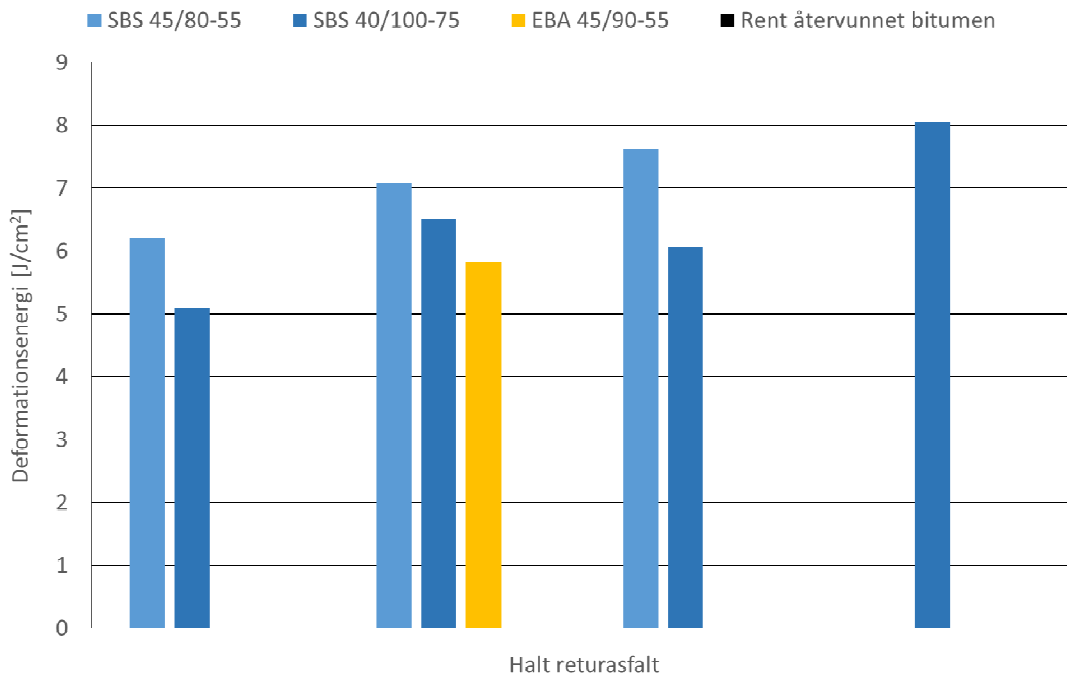
4.4 Draghållfasthet och deformationsenergi

Vid provning av draghållfasthet med bestämning av deformationsenergi vid 5 °C dras tre delprov med 50 mm/minut samtidigt som deformationsenergin mäts. Flera prover gick dock av före provprogrammets slut vid 400 mm förlängning har uppnåtts enligt Figur 7. Förlängningen kan ses som ett mått på bitumenblandningarnas duktilitet där ett förtida brott indikerar sämre motståndskraft mot sprickbildning. Rent återvunnet bitumen var mycket sprött och gick av nästan omedelbart enligt Figur 7. SBS 45/80-55 klarade hela förlängningen upp till 20 % återvinningshalt men inte vid 40 %. SBS 40/100-75 klarade hela förlängningen vid samtliga återvinningshalter. Ren EBA 45/90-55 visade sig vara relativt spröd men blev å andra sidan inte märkbart sprödare av inblandning av någon återvinningshalt, vilket visar på skillnaden mellan termoplastiska elastomerer och termoplastiska polymerer. Inget delprovresultat kunde strykas enligt metod föreskriven av Trafikverket (2011).



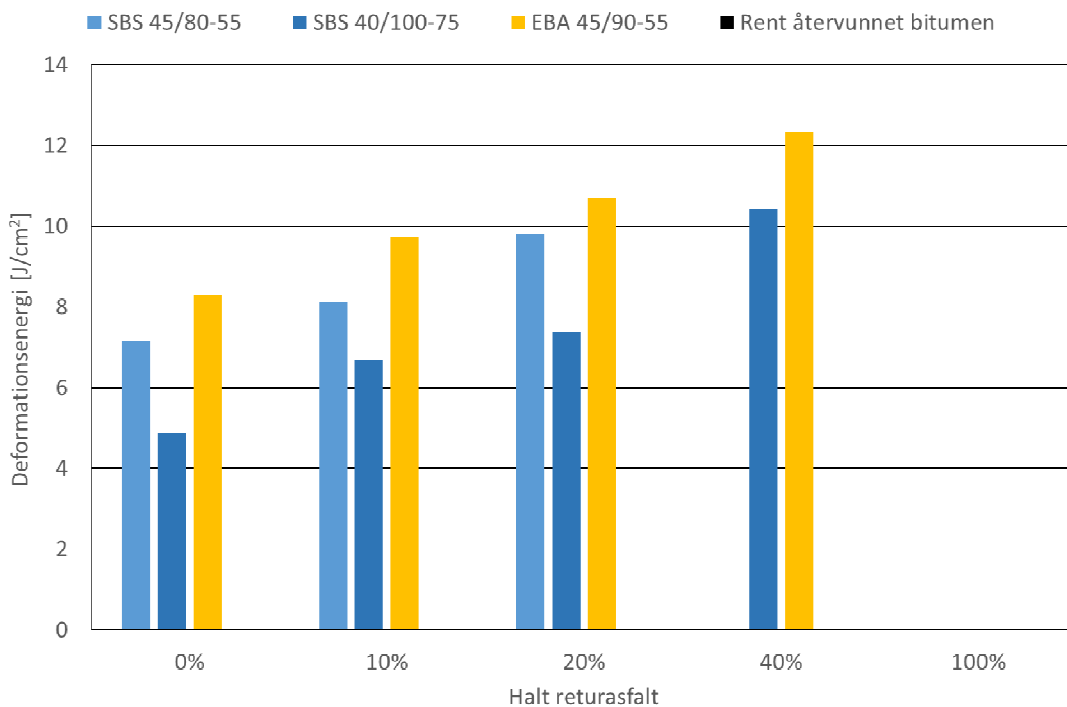
Figur 7. Förlängning vid provning av draghållfasthet med bestämning av deformationsenergi vid 5 °C.

Normalt jämförs den genomsnittliga deformationsenergin i intervallet 200-400 mm förlängning, vilket i detta fall inte gav data för de delprov som gick av. Deformationsenergin för de prov där alla tre delprover höll till 400 mm visas i Figur 8. Trenden är att proven bli styvare med ökad återvinningshalt. Samtliga bitumenblandningar uppvisades deformationsenergi väsentligt högre än kravet (≥ 1).



Figur 8. Deformationsenergi vid provning av draghållfasthet vid 5 °C i intervallet 200-400 mm.

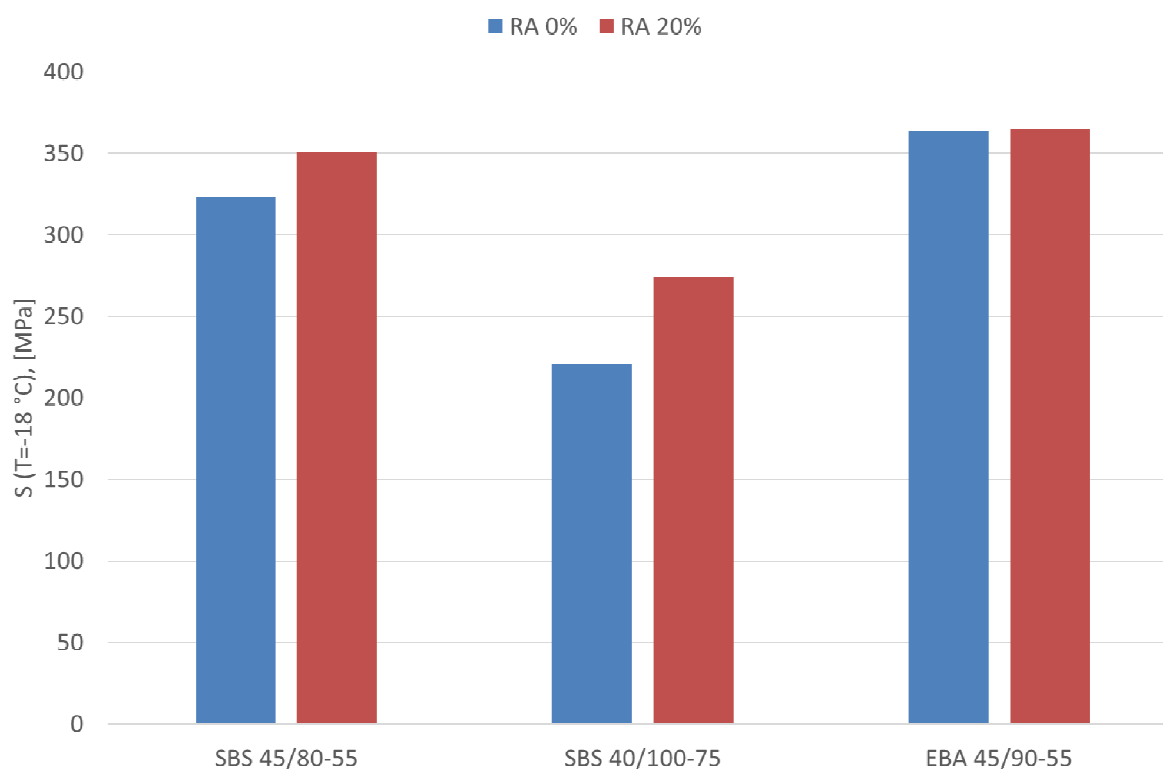
För att bredda jämförelsen och inkludera de prover som gick av efter 200 mm förlängning visas även den genomsnittliga deformationsenergin i intervallet 0-200 mm förlängning i Figur 9. Liksom tidigare är trenden att proven bli styvare med ökad återvinningshalt. Jämförelse med kravnivåer är inte aktuella i detta förlängningsintervall.



Figur 9. Deformationsenergi vid provning av draghållfasthet vid 5 °C i intervallet 0-200 mm.

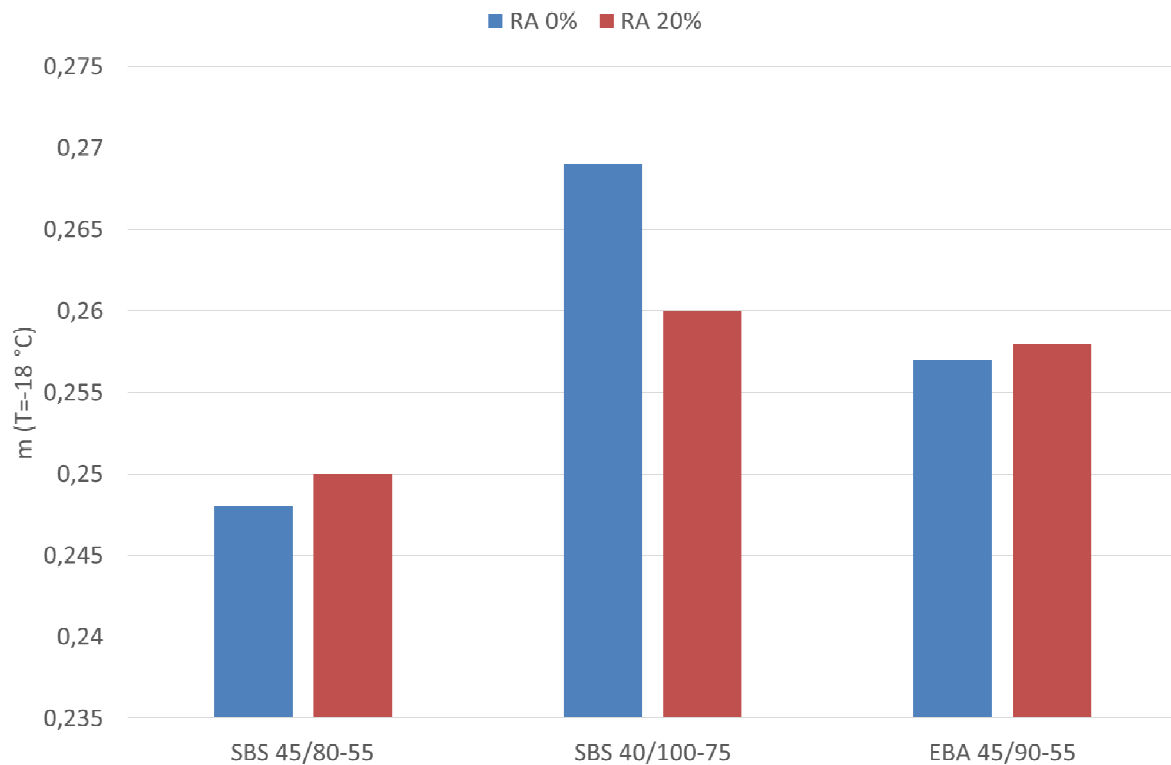
4.5 Bending Beam Rheometer

Provning utfördes efter RTFOT och PAV för att efterlikna både korttids- och långtidsåldring. Bøjstyvheten uppmätt i Bending Beam Rheometer (BBR) ger ett mått på hur styvt bituminet är vid låga temperaturer. Det är ett indirekt mått på risken för lågtemperatursprickor, där hög styvhet indikerar en högre sprickbenägenhet. Resultaten i Figur 10 visar skillnaden mellan bituminen samt före och efter inblandning av 20 % returafalt. Bøjstyvheten utan returafalt är lägst för den högmodifierade SBS 40/100-75 och högst för EBA 45/90-55. Vid inblandning av 20 % returafalt ökade bøjstyvheten något för SBS 45/80-55, något mer för SBS 40/100-75 och inget alls för EBA 45/90-55. Överlag var ökningen störst för de bitumen som hade lägst bøjstyvhet från början.



Figur 10. Bøjstyvheten S [MPa] uppmätt i BBR.

M-värdet är ett mått på lutningen, det vill säga styvhetsökningen, vid slutet av BBR-provningen. I Figur 11 visas att för SBS 45/80-55 och EBA 45/90-55 var styvhetsens ökning större med 20 % returafalt än utan. För den högmodifierade SBS 40/100-75 var det istället tvärtom. Sannolikt dras samtliga värden mot det förmodade värdet för det rena återvunna bituminet. Tyvärr kan det inte bekräftas då detta prov inte utfördes.

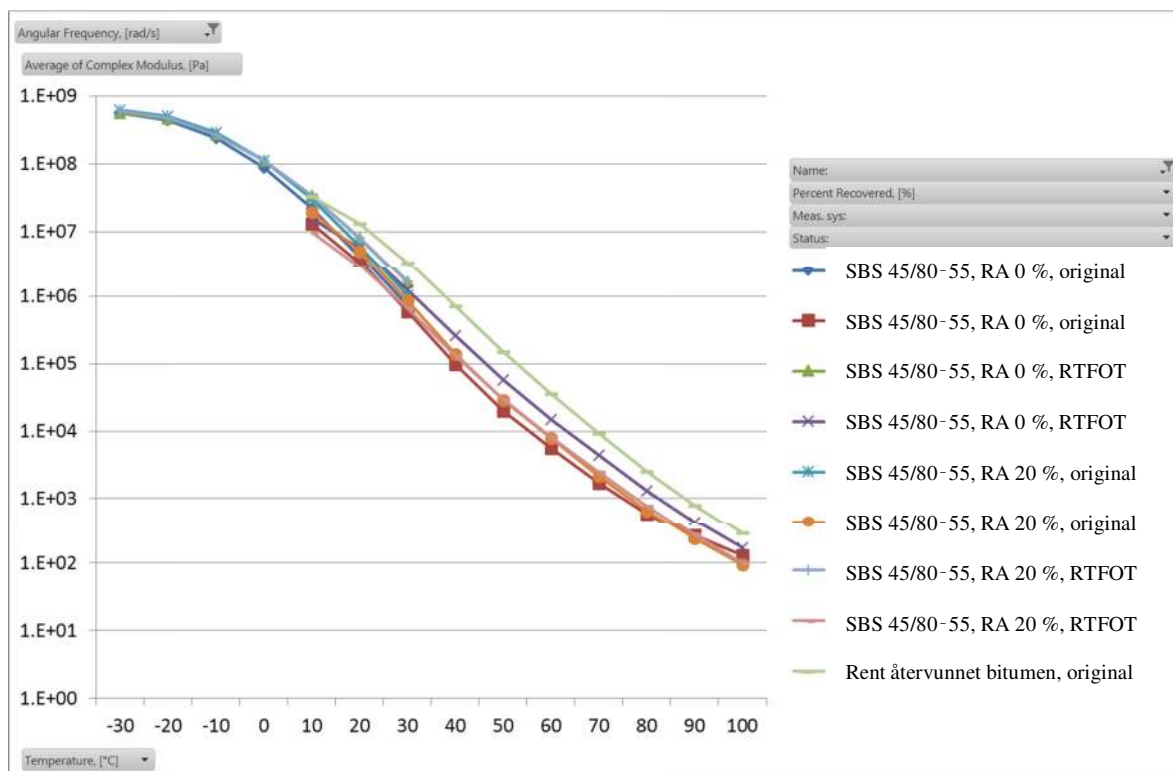


Figur 11. Lutning m vid slutet av BBR-provning.

4.6 Komplex skjuvmodul och fasvinkel

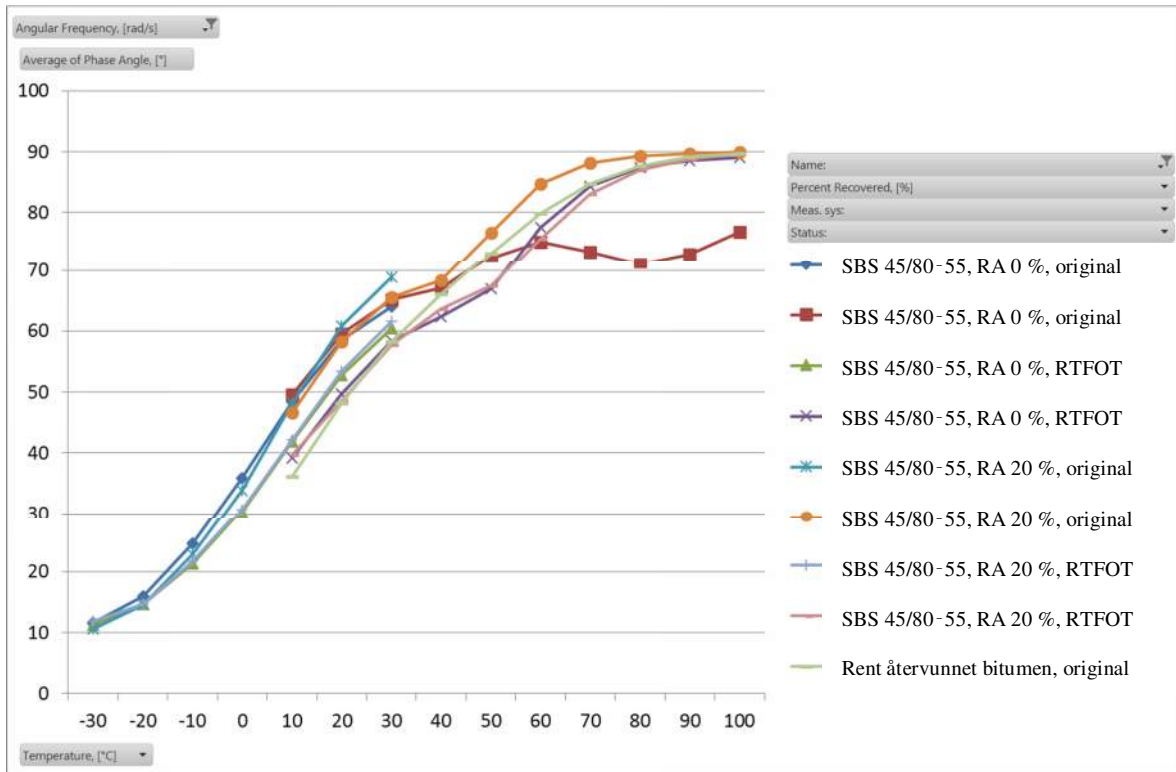
4.6.1 SBS 45/80-55

Det återvunna bituminet var styvast enligt Figur 12. Ren SBS 45/80-55 hade lägst styvhet före RTFOT men betydligt högre efter. Styvheten i SBS 45/80-55 med 20 % återvinning var i stort sett oförändrad före och efter RTFOT. Det kan indikera att inblandningen av återvunnet bitumen skyddar polymerstrukturen från ytterligare åldring.



Figur 12. Komplexmodul för blandningar med SBS 45/80-55.

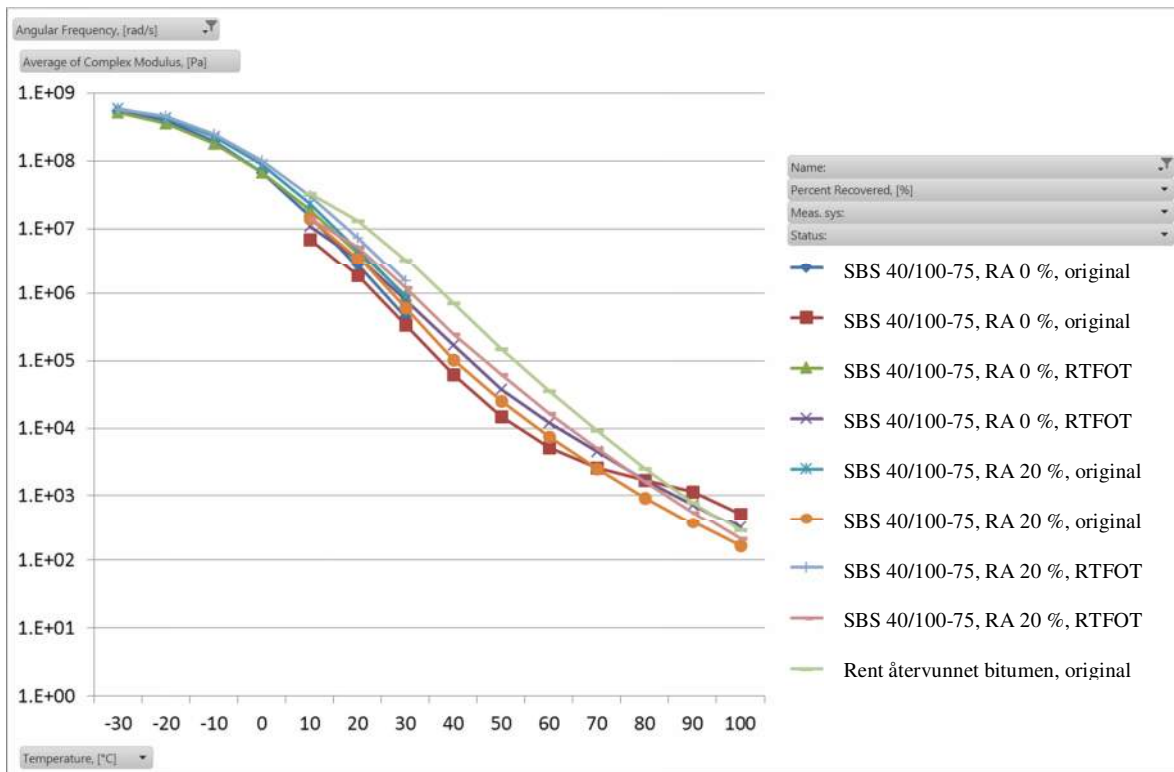
Lägst fasvinkel vid höga temperaturer hade det rena jungfruliga SBS 45/80-55, som efter RTFOT blev väsentligt högre enligt Figur 13. Det indikerar att polymeren bryts ned under RTFOT. Högst fasvinkel vid höga temperaturer hade det jungfruliga SBS 45/80-55 med 20 % återvinning, men efter åldring blev den lägre. RTFOT påverkar alltså fasvinkeln åt olika håll i SBS 45/80-55 med och utan 20 % inblandning av återvinning. Det tyder på att polymerstrukturen inte längre fungerar på samma sätt.



Figur 13. Fasvinkel för blandningar med SBS 45/80-55.

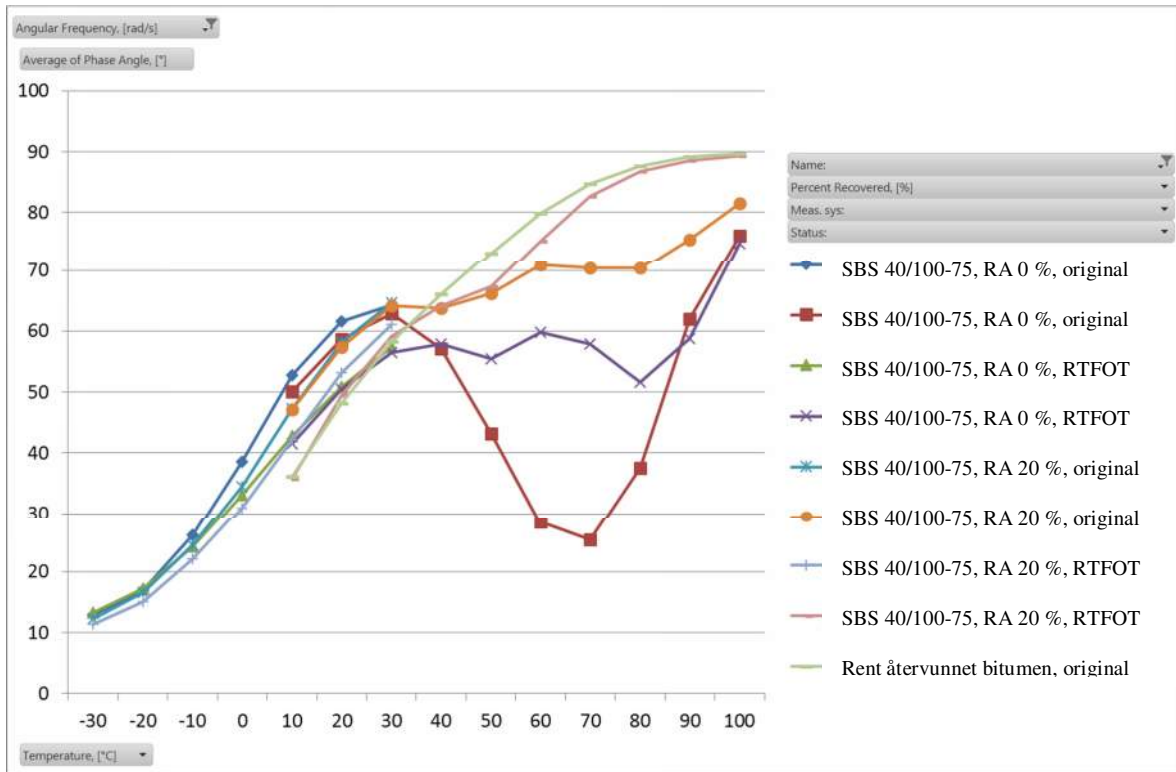
4.6.2 SBS 40/100-75

Det återvunna bituminet var styvast utom vid mycket höga temperaturer enligt Figur 14. Enbart det rena och jungfruliga SBS 40/100-75 hade den karakteristiska böjda kurvan av låg styvhet vid låga temperaturer och relativt hög styvhet vid höga temperaturer. Efter RTFOT normaliserades kurvan och blev då styvare vid $T < 80$ °C och mindre styv vid $T > 80$ °C. Det tyder på att RTFOT bryter ned polymerstrukturen i det jungfrueliga PMB:et. Vid 20 % inblandning av returafalt fanns den böjda kurvan varken före eller efter RTFOT. Efter RTFOT blev bituminet enbart styvare. Det kan tyda dels på att polymerstrukturen inte var intakt från början samt att inblandningen av återvunnet bitumen inte skyddade blandningen från ytterligare åldring.



Figur 14. Komplexmodul för blandningar med SBS 40/100-75.

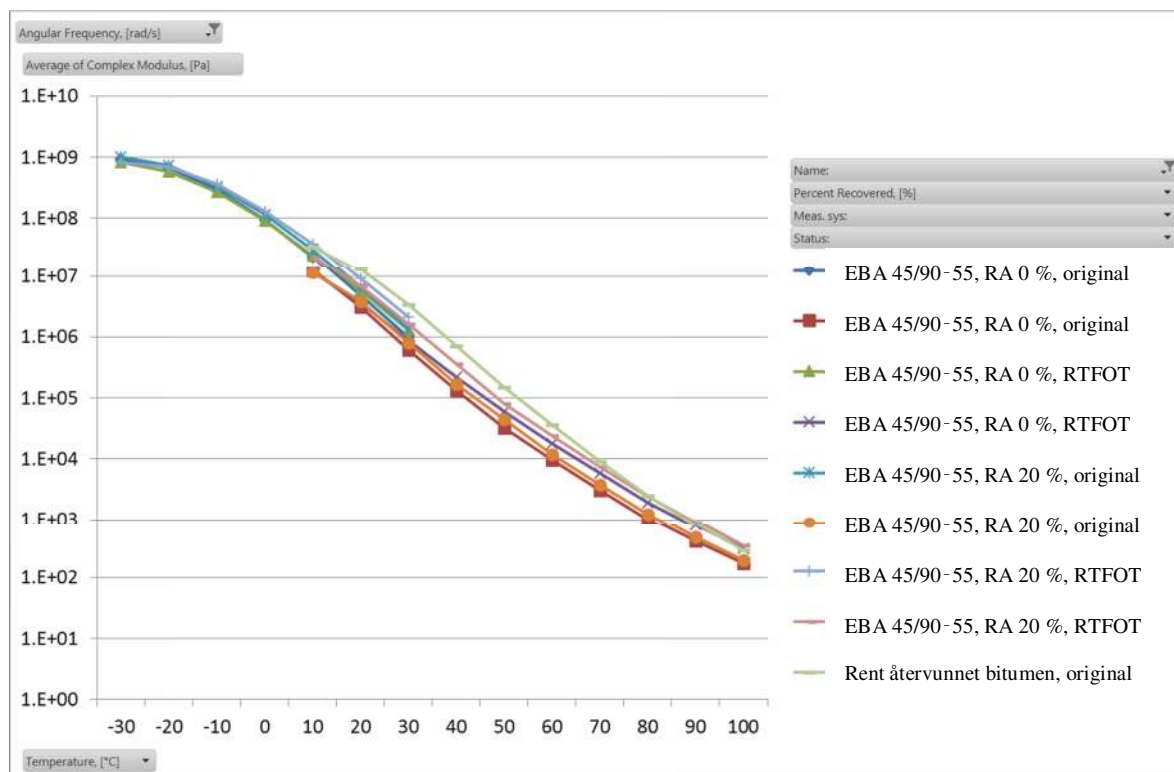
Fasvinkeln i det rena SBS 40/100-75 hade en karakteristisk böjning med ett lokalt minimum vid 60-70 °C, vilket visas i Figur 15. Åldringen gjorde böjningen mindre men den försvann inte helt. Även blandningen med 20 % återvunnet bitumen hade en relativt låg fasvinkel som dock blev större efter RTFOT. Allt detta tyder på att polymerstrukturen successivt blir sämre av både inblandning av återvunnet bitumen och av RTFOT, men att effekten av polymererna fortfarande fanns kvar i någon mån.



Figur 15. Fasvinkel för blandningar med SBS 40/100-75.

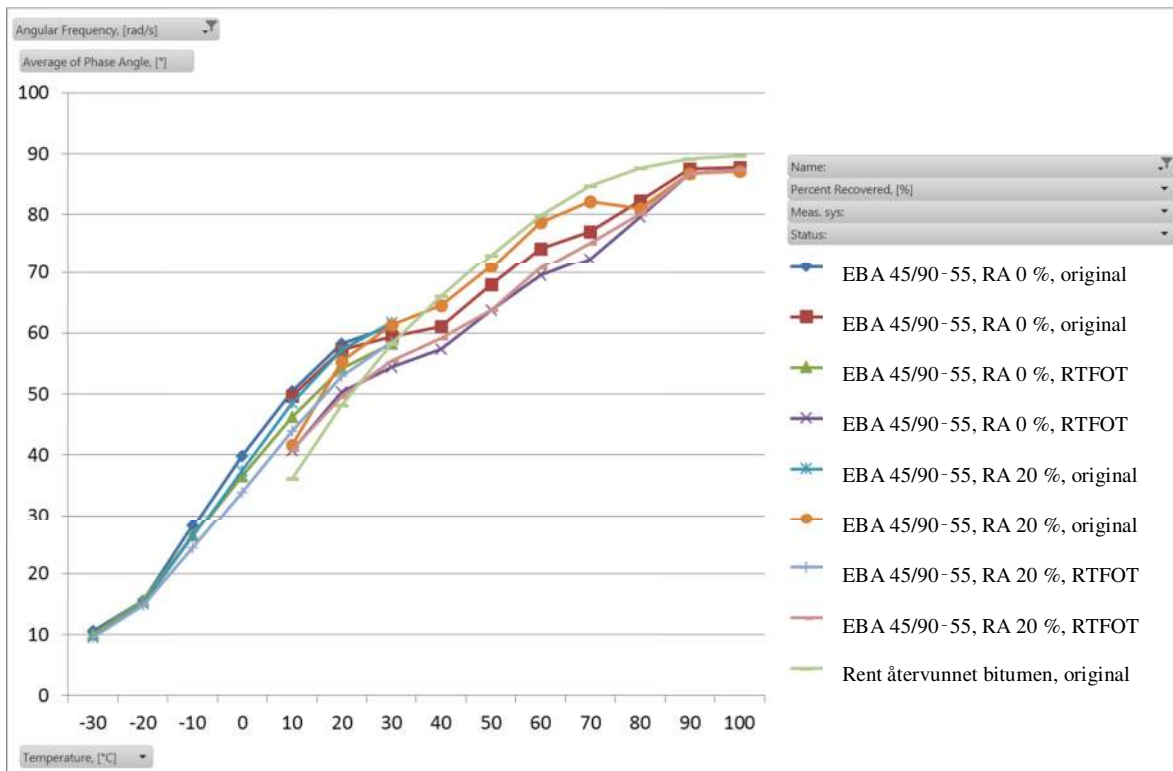
4.6.3 EBA 45/90-55

Det återvunna bituminet var styvast utom vid mycket höga temperaturer enligt Figur 16. Lägst styvhet hade ren EBA 45/90-55 samt med 20 % inblandning av återvunnet bitumen. Styvheten ökade märkbart för båda efter RTFOT.



Figur 16. Komplexmodul för blandningar med EBA 45/90-55.

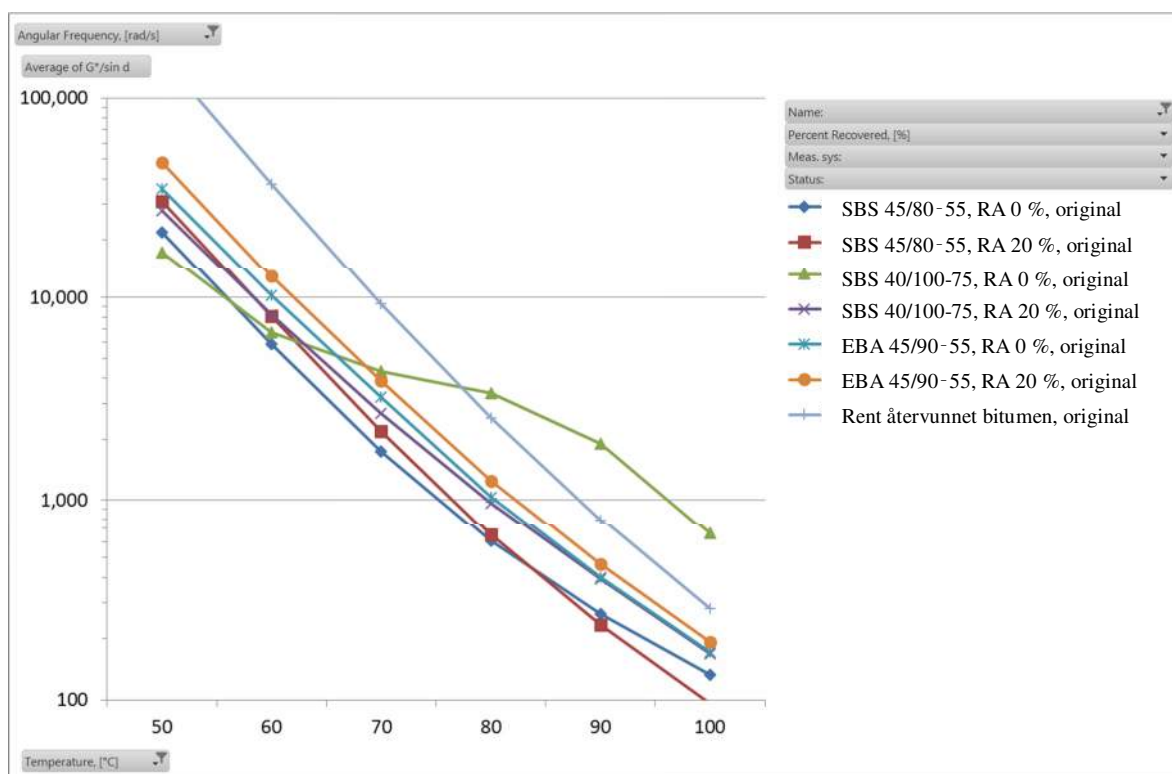
Högst fasvinkel hade det rena återvunna bituminet enligt Figur 17. EBA 45/90-55 med och utan inblandning av 20 % återvunnet bitumen hade märkbart lägre fasvinkel både före och efter RTFOT. För det rena EBA 45/90-55 innebar dock RTFOT en lägre fasvinkel medan det för EBA 45/90-55 med 20 % återvunnet bitumen innebar en ökning. Det kan tyda på att polymerstrukturen har förändrats av inblandning av 20 % återvunnet bitumen.



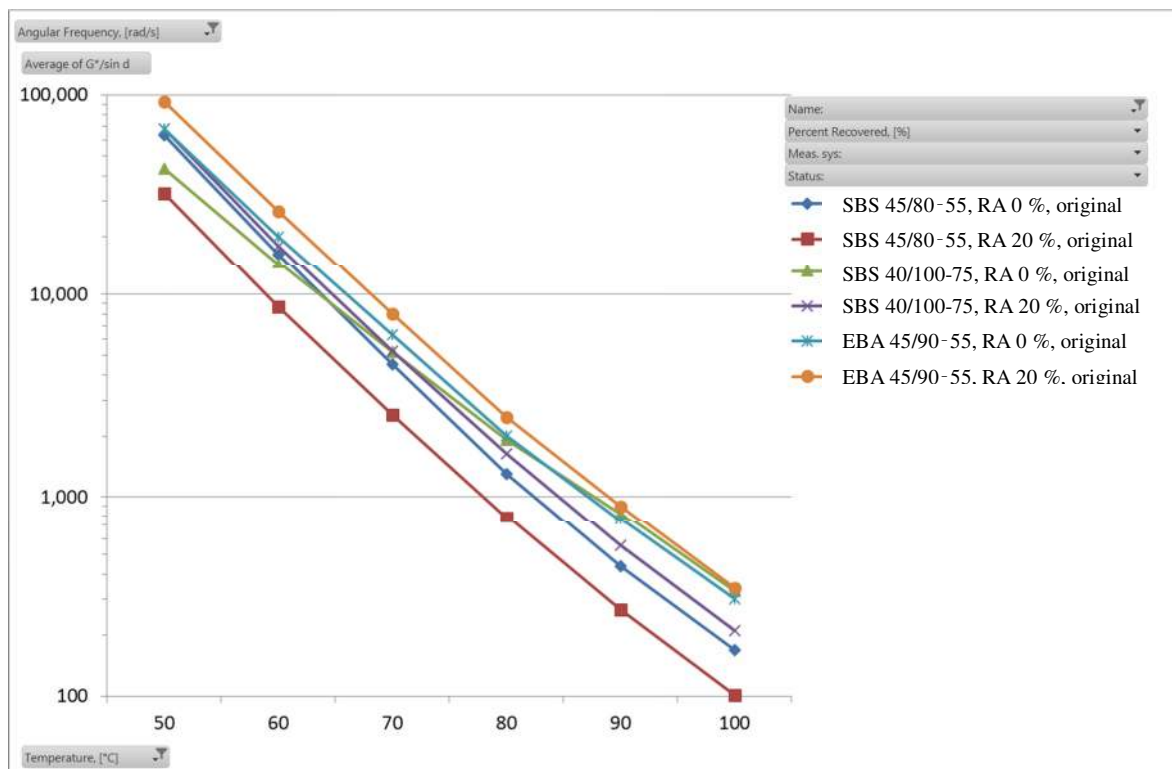
Figur 17. Fasvinkel för blandningar med EBA 45/90-55.

4.7 Spårbildningsfaktor

Spårbildningsfaktorn är den temperatur, uttryckt i °C, vid vilken $G^*/\sin \delta$ vid 10 rad/s är lika med 1,0 kPa före RTFOT och 2,2 kPa efter RTFOT. Resultaten före och efter RTFOT visas i Figur 18 och Figur 19. Inblandning av 20 % återvunnet bitumen gav SBS-bituminen högre $G^*/\sin \delta$ vid lägre temperatur men lägre vid hög temperatur. De rena SBS-PMB har alltså en fördelaktig böjning som förloras vid tillsättning av 20 % återvunnet bitumen. EBA-PMB blev däremot enbart styvare vid inblandning eftersom ursprunglig böjning saknades.



Figur 18. $G^*/\sin \delta$ vid 10 rad/s före RTFOT.

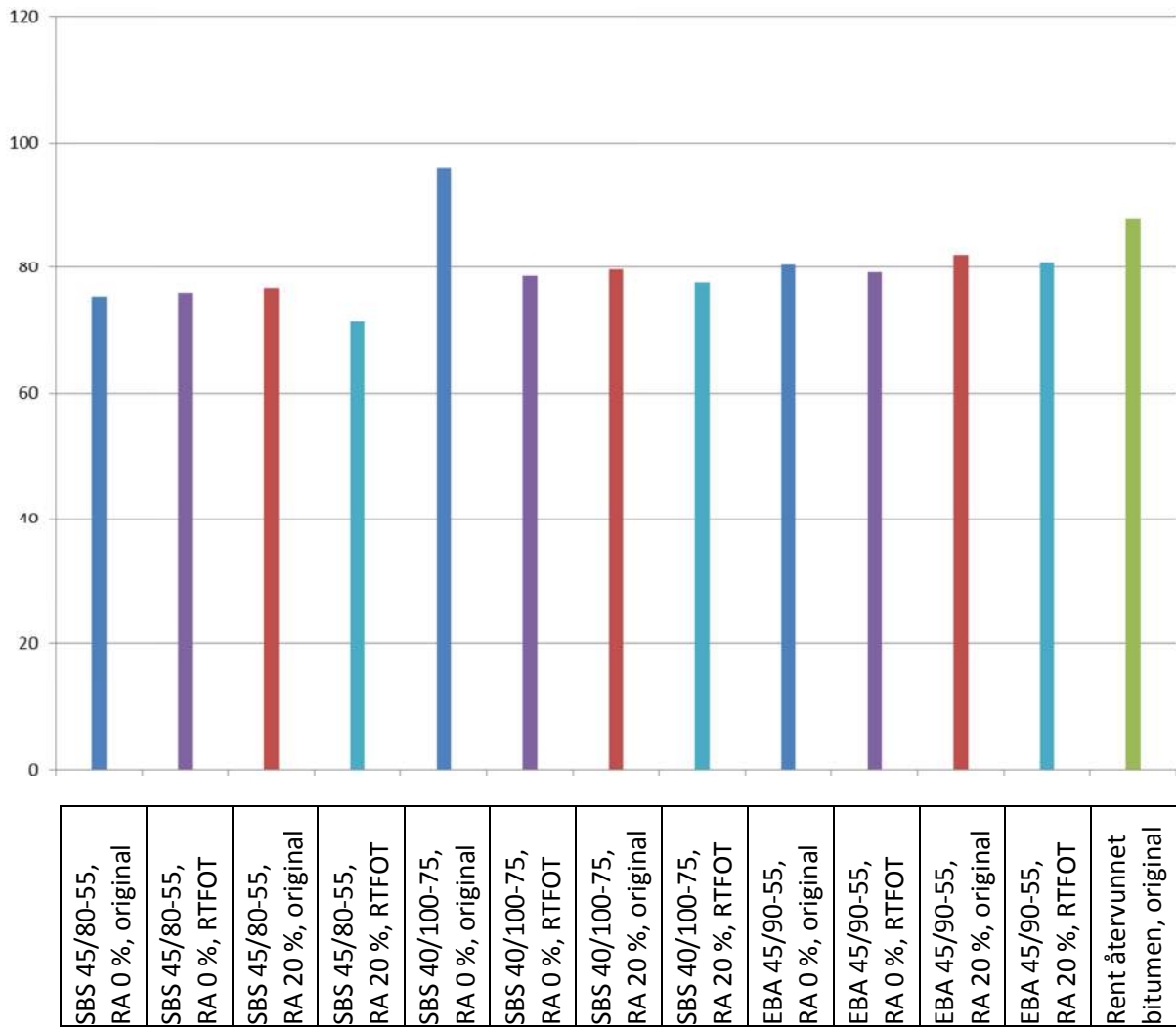


Figur 19. $G^*/\sin \delta$ vid 10 rad/s efter RTFOT.

Enligt Tabell 2 har samtliga PMB hög spårbildningsfaktor före och efter RTFOT. SBS 45/80-55 visade sig ha sämre motståndskraft mot RTFOT med 20 % återvunnet bitumen än utan. Spårbildningsfaktorn för det rena SBS 40/100-75 minskade kraftigt av RTFOT, vilket tyder på att polymererna delvis har brutits ned av kortidsåldringen. Detta visas även i Figur 20 nedan.

Tabell 2. Spårbildningsfaktor före och efter RTFOT.

Nr	Bindemedel	Andel återvinning i massa	Andel återvinning i bindemedel	Före RTFOT	Efter RTFOT	Skillnad
1	SBS 45/80-55	0,0%	0,0%	75,2	75,7	-0,5
2	SBS 45/80-55	10,0%	8,8%	-	-	-
3	SBS 45/80-55	20,0%	17,6%	76,4	71,2	5,2
4	SBS 45/80-55	40,0%	35,3%	-	-	-
5	SBS 40/100-75	0,0%	0,0%	96,1	78,6	17,5
6	SBS 40/100-75	10,0%	8,8%	-	-	-
7	SBS 40/100-75	20,0%	17,6%	79,6	77,4	2,2
8	SBS 40/100-75	40,0%	35,3%	-	-	-
9	EBA 45/90-55	0,0%	0,0%	80,3	79,1	1,2
10	EBA 45/90-55	10,0%	8,8%	-	-	-
11	EBA 45/90-55	20,0%	17,6%	82,2	81,1	1,1
12	EBA 45/90-55	40,0%	35,3%	-	-	-
13		100,0%	100,0%	88,0	-	-

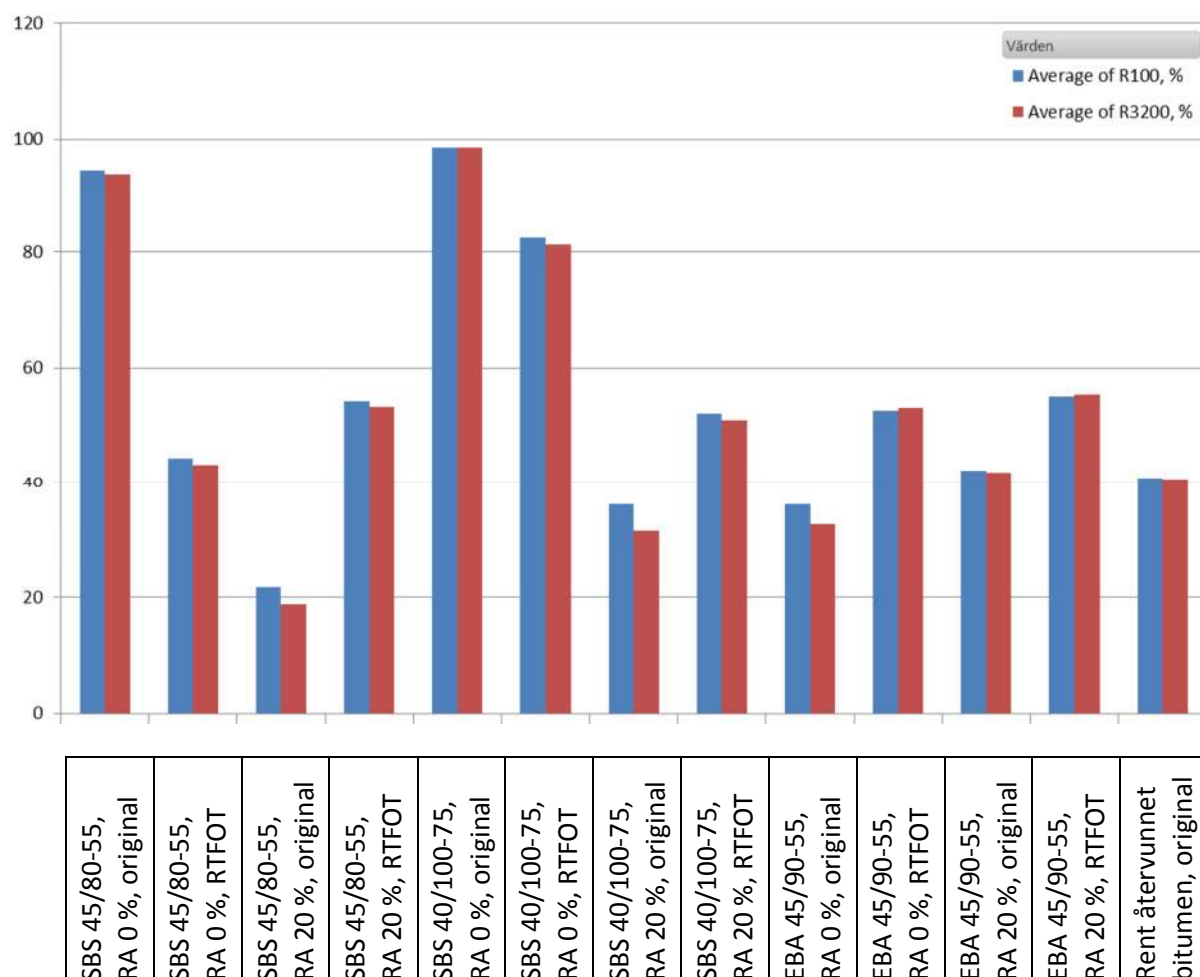


Figur 20. Spårbildningsfaktor före och efter RTFOT.

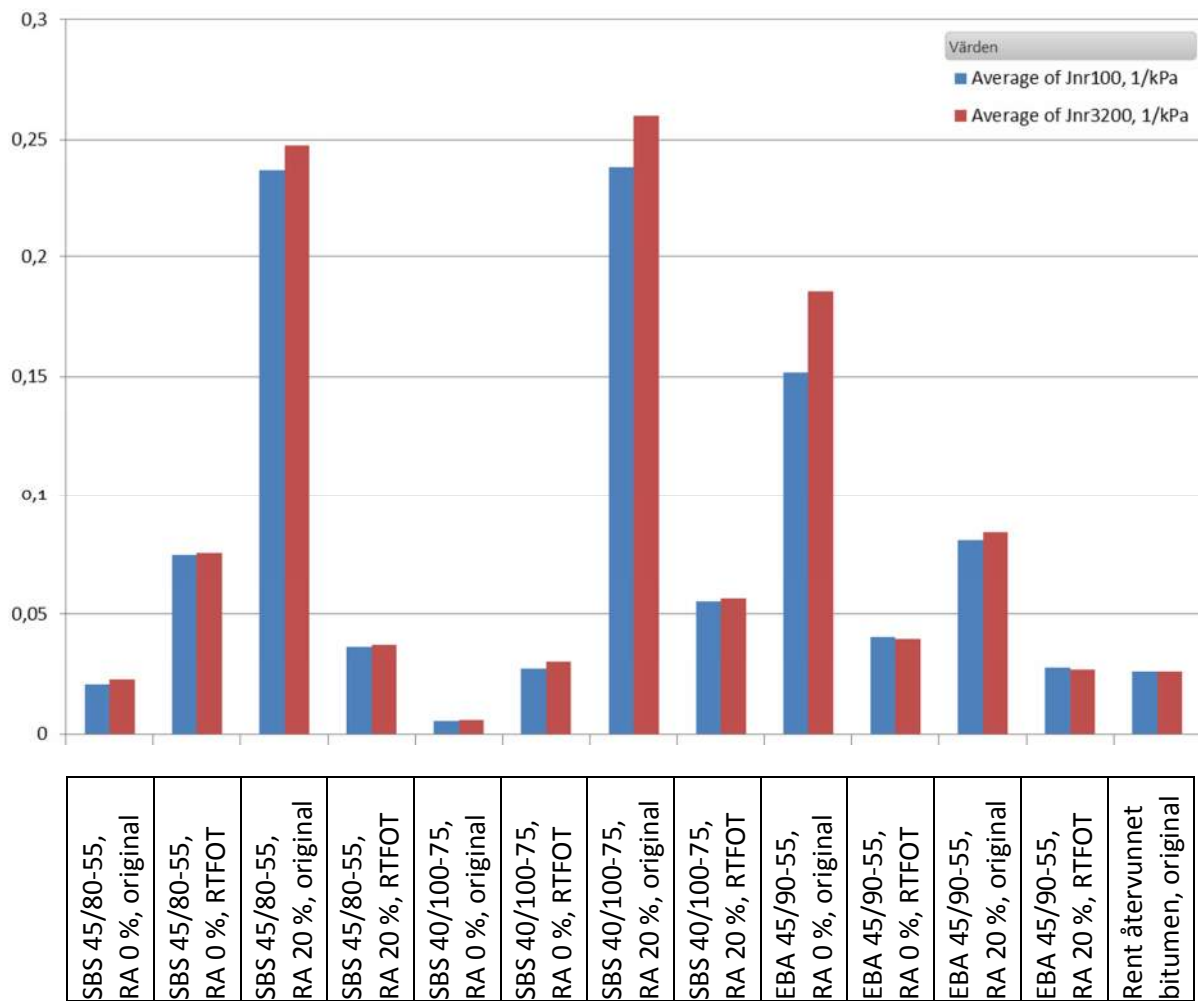
4.8 Multiple Stress Creep Recovery

Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) utfördes med Dynamic Shear Rheometer (DSR). Provingen omfattande både före och efter RTFOT för att utvärdera hur motståndskraften mot permanenta deformationer påverkas av korttidsåldring. Den elastiska återgången R [%] visas i Figur 21 och den icke-elastiska krypkompliansen J [1/kPa] i Figur 22. Resultaten visade ett direkt motsatsförhållande mellan de båda måtten där en positiv förändring i det ena ger motsvarande negativ förändring i det andra.

För de båda rena SBS-PMB minskade R och ökade J efter RTFOT, vilket sannolikt förklaras av att polymererna bröts ned. För de båda SBS-PMB med 20 % återvunnet bitumen ökade R och minskade J efter RTFOT, troligtvis genom åldring. Resultaten antyder att inblandning av återvunnet bitumen och RTFOT kan orsaka två motverkande effekter; dels nedbrytning av polymerstruktur och dels förstyvning genom åldring. För EBA 45/90-55 ökade R och minskade J efter RTFOT både med eller utan 20 % återvunnet bitumen. Det beror sannolikt på åldring.



Figur 21. Genomsnittlig elastisk återgång R [%] vid MSCR.



Figur 22. Genomsnittlig icke-elastisk krypkomplians J [1/kPa] vid MSCR.

5 Slutsatser

Sammanställning av provningsresultat inom ramen för prestandadeklaration i Tabell 3 grundar sig på penetration, mjukpunkt, elastisk återgång och draghållfasthet med bestämning av deformationsenergi. SBS 45/80-55 klarade samtliga krav upp till och med 20 % returafalt. Därefter blev penetrationen för låg och draghållfasthetsprovning gav förtida brott. Den högmodifierade SBS 40/100-75 klarade samtliga krav förutom att mjukpunkten blev för låg vid 20 % halt returafalt. Det kan dock bero på mätfel eftersom 40 % halt returafalt uppfyllde kravet. EBA 45/90-55 klarade inte någon inblandningshalt eftersom det var relativt styvt och sprött redan från början. Ifall ett mjukare basbindemedel hade använts vid framställning av EBA 45/90-55 hade resultaten sannolikt blivit bättre.

Tabell 3. Sammanställning av provningsresultat inom ramen för prestandadeklaration.

Binde- medel	Nr	Andel returafalt	Penetration [1/10 mm]	Mjukpunkt [°C]	Elastisk återgång	Draghållfasthet med bestämning av deformationsenergi [J/cm ²]		
						Brott	Def.energi (0-200 mm)	Def.energi (200-400 mm)
SBS 45/80-55	1	0%	61	78,0	95%	Nej	7,2	6,2
	2	10%	49	55,1	73%	Nej	8,1	7,1
	3	20%	45	63,1	86%	Nej	9,8	7,6
	4	40%	36	58,2	62%	Ja	-	-
SBS 40/100-75	5	0%	72	91,5	100%	Nej	4,9	5,1
	6	10%	59	87,3	100%	Nej	6,7	6,5
	7	20%	52	68,0	88%	Nej	7,4	6,1
	8	40%	40	84,2	83%	Nej	10,4	8,1
EBA 45/90-55	9	0%	45	69,8	68%	Ja	8,3	-
	10	10%	41	64,5	62%	Nej	9,7	5,8
	11	20%	38	66,0	52%	Ja	10,7	-
	12	40%	33	64,4	40%	Ja	12,3	-
	13	100%	18	65,7	20%	Ja	-	-

Böjstyvhet mätt med BBR ökade för samtliga PMB efter tillsättning av 20 % returafalt. Risken för lågtemperatursprickor har alltså ökat. För EBA 45/90-55 var ökningen minimal eftersom det från början var mycket styvt. Inblandning av 20% återvunnet bitumen tenderar att ha ungefär samma effekt på komplex styvhetsmodul och fasvinkel som korttidsåldring med RTFOT. Generellt ökar både komplex styvhetsmodul och fasvinkel. De båda jungfrueliga bituminen SBS 45/80-55 och SBS 40/100-75 påverkades mest genom att kurvorna gick från att likna typiska PMB till att mer likna konventionellt bitumen vid 20 % returafalt.

Spårbildningsfaktorn minskade generellt något av RTFOT för samtliga PMB. Den mest påfallande ändringen i spårbildningsfaktor var för det jungfrueliga SBS 40/100-75 som ändrades från 96,1 °C till 78,6 °C. Det tyder på att korttidsåldringen påverkade polymerstrukturen negativt. Resultaten för MSCR gav svårtolkade resultat. Inblandning av återvunnet bitumen och RTFOT verkar kunna orsaka två motverkande effekter för SBS-modifierade bitumen; dels nedbrytning av polymerstruktur och dels förstyvning genom åldring.

6 Referenser

ASTM D6648-08 (2008). Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR), ASTM International.

ASTM D7175-08 (2008). Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer, ASTM International.

ASTM D7405-10a (2010). Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer, ASTM International.

ASTM D6373 – 15 (2015). Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder, ASTM International. EAPA (2014). Asphalt the 100% recyclable construction product - EAPA Position paper. European Asphalt Pavement Association (EAPA).

CEN (2012) Standardization, E.C.f., European Standard EN 13108-7.

DAV (2011). Recycling of asphalt - New set of rules and standards shows the way forward. Deutscher Asphaltverband e. V. (German Asphalt Pavement Association).

Kalman B. (2014). "Asfaltindustrin bäst i klassen", NVF Specialistseminarium "Hög återvinningsgrad - Vägen framåt!", 2015-01-22.

Kim S., Sholar G.A., Byron T. (2009). Laboratory Evaluation of Polymer Modified Asphalt Mixture with Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). Research Report FL/DOT/SMO/09-526. State materials office, State of Florida.

Lee J., Denneman E., Choi Y. (2015). Maximising the Re-use of Reclaimed Asphalt Pavement Outcomes of Year Two: RAP Mix Design. Publication No. AP-T286-15, Austroads.

NCHRP (2000). Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method. Project D9-12, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council.

Read J., Whiteoak D. (2003). The Shell bitumen handbook 5th Edition, Shell UK Oil Products Limited, Thomas Telford Publishing. London.

SS-EN 14023 (2010). Bitumen och bituminösa bindemedel – Specifikationer för polymermodifierat bitumen. Swedish Standards Institute (SIS).

SS-EN 1426 (2007). Bitumen och bituminösa bindemedel – Bestämning av penetration. Swedish Standards Institute (SIS).

SS-EN 1427 (2007). Bitumen och bituminösa bindemedel – Bestämning av mjukpunkt – Kula och Ring- metoden. Swedish Standards Institute (SIS).

SS-EN 13398 (2010). Bitumen och bituminösa bindemedel – Bestämning av elastisk återgång för modifierat bitumen. Swedish Standards Institute (SIS).

SS-EN 13589 (2008). Bitumen och bituminösa bindemedel – Bestämning av draghållfasthetsegenskaper hos modifierat bitumen med hjälp av duktilometer. Swedish Standards Institute (SIS).

SS-EN 13703 (2004). Bitumen och bituminösa bindemedel – Bestämning av deformationsenergi. Swedish Standards Institute (SIS).

SS-EN 12607-1 (2014). Bitumen och bituminösa bindemedel – Bestämning av förhårdningsegenskaper under inverkan av värme och luft – Del 1: RTFOT- metoden

SS-EN 12697-3 (2013). Vägmaterial – Asfaltmassor – Provningsmetoder för varmblandad asfaltmassa – Del 3: Återvinning av bindemedel: Rotationsindunstare. Swedish Standards Institute (SIS).

Tabakovic A., Gibney A., McNally C., Gilchrist M. D. (2010). The influence of recycled asphalt pavement on the fatigue performance of asphalt concrete base courses. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Volume 22, Issue 6, pp. 643-650. American Society of Civil Engineers.

Trafikverket (2011). TRVMB 705: Strykning av extremdata, Publ. 2011:092.

Trafikverket (2013). Tillägg till AMA Anläggning 13 Bitumenbundna lager, tidigare kallat TRVKB Bitumenbundna lager 13. TDOK 2013:0529 version 1, 2014-07-01.

Ulmgren N., Lundström R. (2004). Teknisk och ekonomisk värdering av asfaltmassor med returafalt. Slutrapport SBUF-projekt 8010 och 9018. FoU Asfalt, NCC Roads Sverige.