

PROJEKTNR. 14509

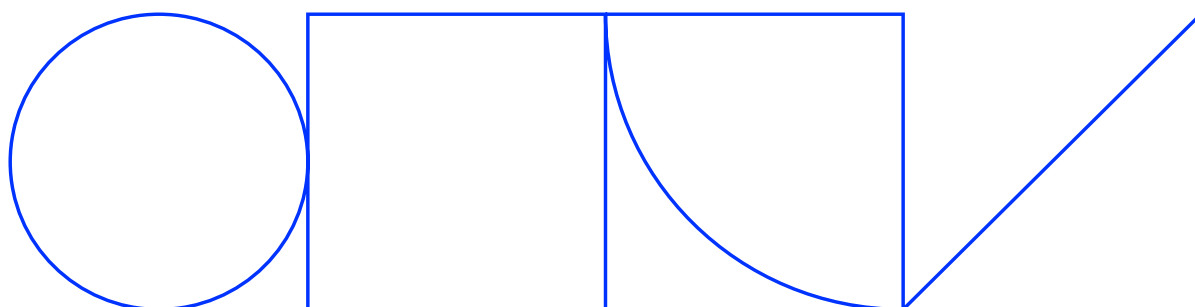
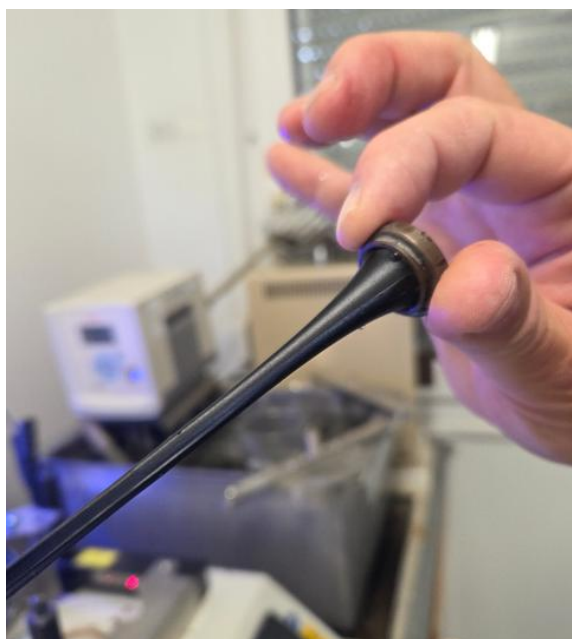
Högvärdig återvinning av returasfalt innehållande polymermodifierade bitumen.

Insamling materialdata

Kenneth Olsson och Richard Nilsson

Skanska Industrial Solutions AB

2026-05-01



Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	4
1. Inledning	5
2. Syfte och mål	7
3. Genomförande	8
4. Analysmetoder	9
4.1 Återvinning av bitumen från asfaltmassa	9
4.2 Mjukpunkt (Kula & Ring)	10
4.3 FTIR (Fourier Transform InfraRed spectroscopy)	11
4.4 Dynamisk skjuvreometer, DSR	13
4.4.1 MSCR (Multiple Stress Creep Recovery Test)	15
4.4.2 Masterkurva	16
4.4.3 Reologiskt index. R	18
4.4.4 Mjukpunkt enligt BTSV-metoden (Bitumen-Typisierung-Schnell-Verfahren)	18
4.4.5 Glover-Rowe parameter	19
4.4.6 Cross-over temperatur/frekvens	20
5. Resultat	21
5.1 Resultat mjukpunkt (K&R) samt mjukpunkt och fasvinkel enligt BTSV-metoden	21
5.2 Resultat FTIR (Fourier Transform InfraRed spectroscopy)	24
5.3 Resultat MSCR (Multiple Stress Creep Recovery Test)	25
5.4 Resultat sprickkänslighet enligt Glover-Rowe	28
5.5 Resultat cross-over temperatur och frekvens	29
5.6 Resultat masterkurva	31
6. Slutsatser	39
Referenser	40

FTIR-bilagor	44
MSCR-bilagor	52

Förord

Detta branschgemensamma projekt har finansierats av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) och Vinnova. Projektet är en del av ett större projekt som drivs av Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI och som ingår i Shift Swedens omställningslab "Utvecklad marknad och logistik för återbruk".

Projektledare och författare till rapporten har varit Kenneth Olsson tillsammans med Richard Nilsson. Referensgruppen har haft följande medlemmar:

- * Jiqing Zhu, VTI
- * Michael Langfjell, Peab Asfalt AB
- * Johan Forsberg, Svevia
- * Richard Nilsson, Skanska
- * Xiaohu Lu, Nynas AB
- * Henrik Arnerdal, Trafikverket
- * David Söderberg, NCC
- * Patryk Trautman, Swedavia

Projektledaren och engagerade medarbetare från branschens olika aktörer har varit med vid provtagningen av returafaltmassorna på de olika objekten runt om i Sverige. Undersökningarna har utförts av Skanska Teknik – Vägtekniskt Centrum, laboratorium i Vällsta och Gunnilse samt hos VTI:s vägmateriallaboratorium. Projektet startades i juli 2025 och avslutades i maj 2026 och en presentation av resultat kommer att genomföras vid någon av branschens kommande metoddagar.

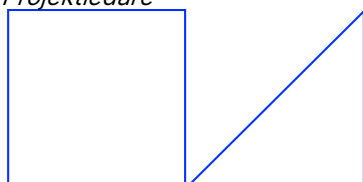
Undersökningarna som genomförts är en viktig bidragande del till att utforma framtida regelverk för att möjliggöra högvärdig återanvändning av returafalt innehållande polymermodifierade bitumen till nya polymermodifierade asfaltbeläggningar.

Ett stort tack till alla i branschen som varit involverad i provinsamling och analyserande och ett speciellt tack till Eric Gardner som genomfört alla DSR-körningar.

Stockholm, Maj 2026

Kenneth Olsson och Richard Nilsson

Projektledare



Sammanfattning

För att uppnå mer högpresterande asfaltbeläggningar används idag polymermodifierade bitumen (PMB). När dessa beläggningar behöver läggas om, är det vanligt att idag tillsätta returafalt innehållande PMB i nya konventionella asfaltbeläggningar vid en lite lägre halt. Branschen är enad att denna typ av returafalt helst skall återanvändas i nya polymermodifierade asfaltbeläggningar. Tidigare studier har visat att de elastiska egenskaperna kan finnas kvar i gammalt åldrat PMB, frågan är hur dessa egenskaper kan mätas och kravställas.

I denna studie har vi samlat in gamla beläggningar från Sveriges alla olika hörn. Bindemedlen har återvunnits och en rad olika analyser har genomförts. Tester såsom FTIR, MSCR, DSR-svep och mjukpunkt har utvärderats tillsammans med tidigare forskares erfarenheter.

FTIR (*Fourier Transform InfraRed spectroscopy*) visade sig vara användbar för att identifiera att det finns polymer i bindemedel och vilken polymertyp som använts. MSCR-test med parametern %R vid 3,2 kPa vid testtemperatur 60°C fångar upp egenskapen elastisk återgången på de bindemedel från returafalten som har en mjukpunkt >65°C. I en praktisk standard (AASHTO Designation R92-18, 2022) klassificeras olika typer av bitumen med hjälp av parameter %R vid 3,2 kPa och parameter Jnr vid 3,2 kPa. Klassificeringen som används i USA är främst avsedd för nya PMB och dess egenskaper efter tillverkningen gör det möjligt att bedöma om materialet är lämpligt i olika trafikförhållandena, se Figur 11.

Resultaten på de analyserade bindemedlen i projektet visar att returafalt med högmodifierad PMB, där mjukpunkten analyserats till >65°C, erhåller ett %R-värde >40%. Lågmodifierade PMB och PEN-bitumen analyserades till mjukpunkt <65°C vilket enligt nuvarande regelverk innebär ok för återanvändning. För penetrationsmassor ställs mjukpunktskrav på extraherat bindemedel från verkstillverkad asfaltmassa med en frekvens av 1 prov/ 5000 ton asfaltmassa. Ett liknande krav på MSCR-resultat för extraherat bindemedel från verkstillverkade polymermodifierade asfaltmassor kommer behövas arbetas fram. Detta genomförs i etapp 2 som leds av VTI vilket kommer att redovisas i en framtida VTI-rapport.

1. Inledning

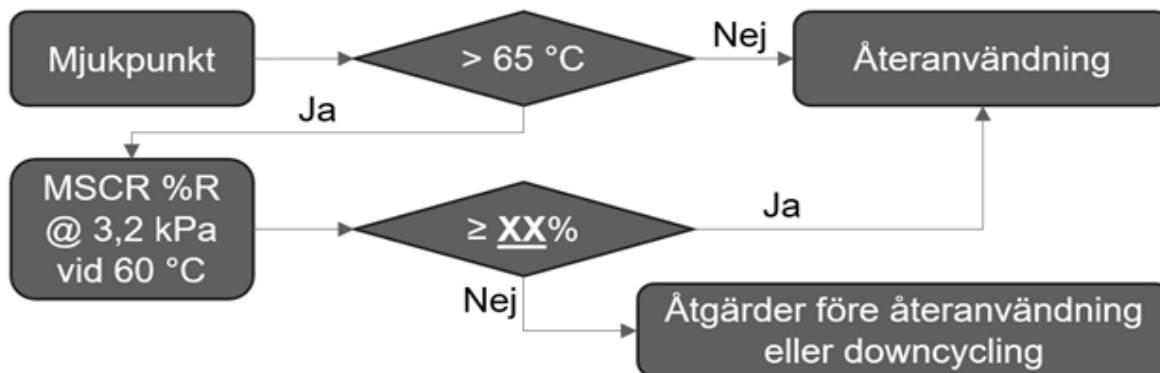
Asfaltbeläggningar spelar en viktig roll i samhället genom att skapa säkra och hållbara ytor för transporter (både vägytor och flygbanor), vilket är avgörande för ekonomisk tillväxt och samhällsutveckling. Traditionellt används penetrationsbitumen som bindemedel i asfaltblandningar, men med tiden har behovet av förbättrad prestanda och hållbarhet lett till utvecklingen av polymermodifierade bitumen (PMB). PMB är bitumen som har modifierats med polymer (till exempel styren-butadien-styren, SBS) för att förbättra dess egenskaper, vilket gör det mer flexibelt och motståndskraftigt mot sprickbildning och deformation. Användningen av PMB i asfaltbeläggningar bidrar till att öka deras hållbarhet och beständighet, bättre motstå klimatvariationer, minska riskerna för spår- och sprickbildning samt möjliggöra tunnare beläggningar, vilket leder till materialbesparingar och lägre kostnader.

I Sverige produceras årligen cirka 500 000 ton asfaltmassor med PMB. Dessa asfaltmassor används ofta i kritisk transportinfrastruktur, tack vare deras förbättrade egenskaper jämfört med konventionella asfaltmassor, såsom motorvägar och landningsbanor. Efter att livslängden på asfaltbeläggningarna har uppnåtts är det viktigt att dessa asfaltbeläggningar med PMB återbrukas. När asfaltbeläggningar med PMB blir returafalt, är det idag vanligt att blanda dem med konventionell returafalt för återanvändning i nya konventionella asfaltbeläggningar. Detta sätt att återbruka PMB leder till **värdeförlust**, både vad gäller materialprestanda och koldioxidutsläpp.

Förstudier utförda av VTI (Zhu J, 2025) och tidigare undersökningar av andra forskare har visat att PMB i returafalt fortfarande oftast har effektiv polymer i sig (Said S, 2021). Förstudien visade också att dagens krav i Trafikverkets kravdokument TDOK 2013:0529 på ingående bitumen i PMB-returafalt inte alltid är tillämpligt eftersom mjukpunkten ofta överstiger 65°C.

VTI har därför föreslagit en ny parameter för att kontrollera om bitumen med mjukpunkt > 65°C har PMB-egenskaper (en viss elastisk återgång), se Figur 1. Metoden benämns MSCR- (*Multiple Stress Creep and Recovery*) och är en standardprovningssmetod enligt SS-EN 16659, där man mäter procentuell återhämtning %R (*percent recovery*) vid 3,2 kPa och vid en föreslagen temperatur på 60°C. På grund av det begränsade antalet

provningmaterial i förstudien kunde man dock inte specificera kravnivån för denna parameter.



Figur 1 Förslag på provningsschema för returafalt (VTI-Zhu J 2025)

Inom ramen för detta SBUF-projekt insamlades och analyserades ett större antal provningmaterial från olika åldrade PMB-returafalter från både vägar och flygbanor runt om i Sverige. Bindemedel återvanns från returafalt för att sedan analyseras med olika provningsmetoder i laboratorium. MSCR-testet vid 60°C utfördes på alla återvunna bindemedel samt tre nya PMB-bindemedel. Dessutom utfördes även andra metoder såsom Mjukpunkt, DSR-svep och FTIR. Baserat på provningsresultaten kommer två bindemedel från de olika returafalterna att väljas ut för fortsatta studier med blandningar av nytt polymermodifierat bindemedel samt längre fram även blandningar med nya asfaltbeläggningar. Dessa studier genomförs av VTI/Nynas inom ramen för Vinnova-projektet.

Genom att fastställa specifikation och krav på ingående PMB i returafalt förväntas denna undersökning bidra till att säkerställa att det återanvända beläggningsmaterialet behåller sina förbättrade egenskaper och prestanda tack vare polymermodifiering.

2. Syfte och mål

Syftet med detta projekt var att samla in och analysera ett antal åldrade returafalter runt om i landet för att erhålla mer kunskap om kvarvarande egenskaper i bindemedlen. Målet är att möjliggöra högvärdig återanvändning av returafalt innehållande polymermodifierade bindemedel (PMB), d.v.s. dess återanvändning tillbaka till polymermodifierade beläggningar. Detta sluter cirkeln för PMB:s kretslopp och genom detta kan beläggingsmaterialets höga värde bevaras. Figur 2 visar uppfräsning av gammal asfaltbeläggning.



Figur 2 Uppfräsning av gammal polymermodifierad beläggning på flygplats.

3. Genomförande

Under 2025 insamlades asfaltgranulat från 14 platser runt om i Sverige. Ambitionen var att dessa skulle vara gamla polymermodifierade asfaltbeläggningar med olika ålder. Det visade sig senare att från tre av provtagningsplatserna innehöll asfalten ej PMB, vilket tydligt kunde särskiljas med hjälp av analyserna.

Dessutom analyserades 3st nya polymermodifierade bindemedel med olika modifieringsgrader för att erhålla referensvärden till de olika analyserna.

I Tabell 1 anges benämningen på de olika asfaltgranulaten samt uppgifter om beläggningens ålder, plats och typ av PMB. Uppgifterna kommer bland annat från Trafikverkets databas PMSv4 samt intervjuer och hörsägen från olika personer. Som tidigare nämnts upptäcktes att prov PW2, PW10 samt EG12 ej var polymermodifierade.

Som referenser analyserades tre standard-PMB med benämningen 45/80-55, 40/100-75 samt 75/130-65.

Tabell 1 Insamlade prover

Asfaltlager	Märkning	Plats	Typ av PMB	Ålder
Gjutasfalt	PW 8	Stockholm	40/100-75	6 år
Slitlager	PW 9	Essingeleden-Stockholm	45/80-55	7 år
Slitlager	PW 2	Östersund	PG-76-34/ Pen-bitumen	9 år
Slitlager	PW 3	Östersund	PG 76-34	9 år
Slitlager	PW 6	Nyköping	45/80-65	10 år
Slitlager	EG 11	Arlanda	PG 76-28	10 år
Slitlager	PW 5	Sundsvall	95/150-75	11 år
Slitlager	PW 4	Essingeleden-Stockholm	45/80-55	11 år
Slitlager/Bindlager	PW 7	Arlanda	PG76-28 /PG 64-28	9 år /24 år
Slitlager	PW 10	Kiruna	PG-64-28/ Pen-bitumen	20-år
Slitlager	PW 14	Lund	70/100-48	20 år
Bindlager	EG 12	Arlanda	PG-64-28/ Pen-bitumen	22-år
Slitlager	PW 1	Östersund	PG 76-34	23 år
Slitlager	PW 13	Arlanda	PG 64-28	24 år
Referens 1	Ref1	Nypol 67	45/80-55	Ny
Referens 2	Ref2	Nypol 73	40/100-75	Ny
Referens 3	Ref3	Nypol HF 105	75/130-65	Ny

4. Analyismetoder

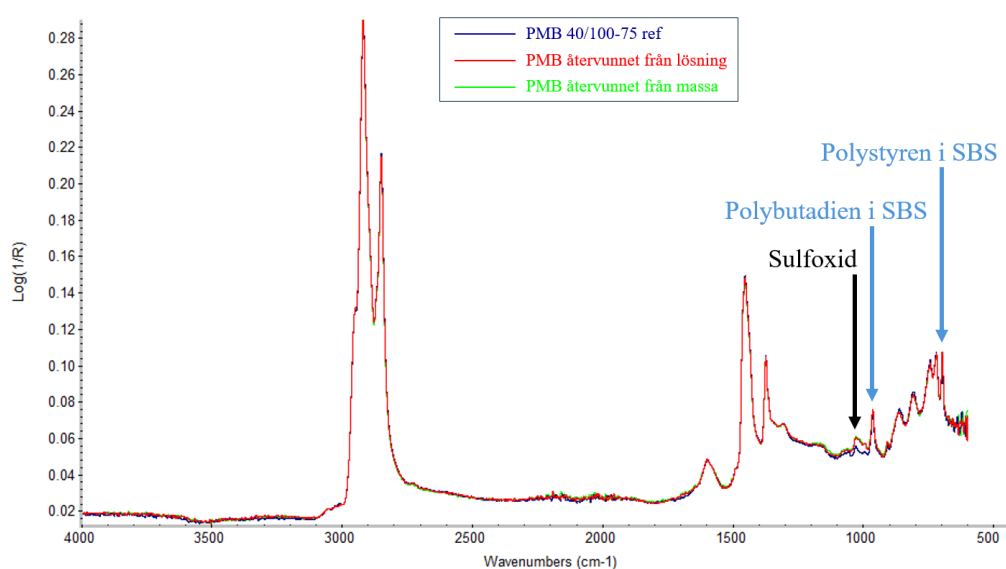
Analyserna har utförts av Skanskas laboratorier i Göteborg och Vällsta samt på VTI:s laboratorium i Linköping. Analysrapporter från de olika tester som har utförts finns bilagda i slutet av rapporten.

4.1 Återvinning av bitumen från asfaltmassa

Bindemedelsåtervinningen utfördes enligt SS-EN 12697-3:2013+A1:2019 med diklormetan. Ca: 2,5 kg asfaltgranulat extraherades och bindemedlet som återvanns hälldes upp i en aluminiumburk (50–100 gram) med lock.

I den förstudie som VTI publicerat (Zhu, J 2025) konstaterades att SBS-polymer kunde återvinnas från diklormetan utan att egenskaperna förändrades nämnvärt. I detta fall var det återvinning med färskt nytt PMB.

I Figur 3 hämtat från förstudierapporten kan man se starka signaler i FTIR-diagrammet från SBS (polybutadien vid 966 cm^{-1} och polystyren vid 699 cm^{-1}). Detta betyder att SBS-polymeren kunde återvinnas från både lösning och massa med diklormetan.

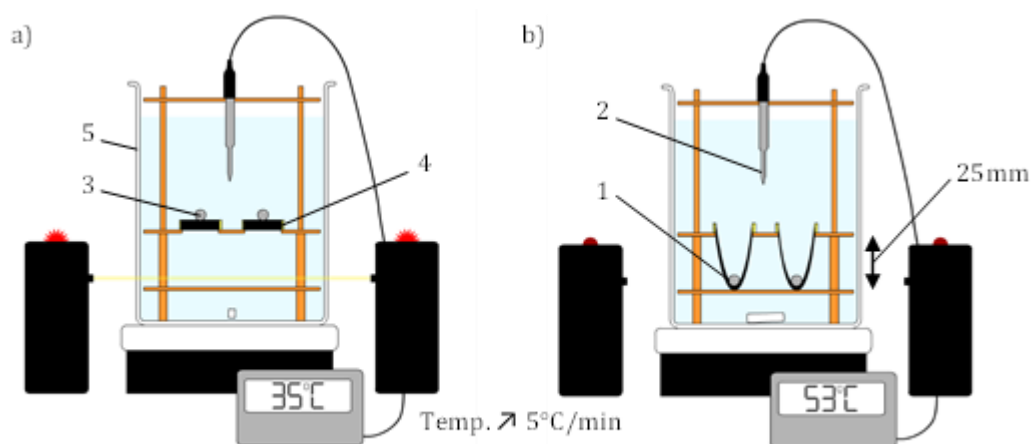


Figur 3 FTIR-resultat för ursprungligt och återvunnet PMB. (Ref. Zhu, J 2025)

4.2 Mjukpunkt (Kula & Ring)

Mjukpunktsanalyser utfördes enligt SS-EN 1427:2015. Mjukpunkten tas fram med hjälp av en Kula och Ring utrustning som består av: glasbägare, nykockt destillerat vatten eller glycerin, två rostfria stålkulor med 9,50 mm diameter och en vikt av 3,50 g, ringhållare med ring och termometer (se principskiss i Figur 4).

1. Deformerat bitumenprov
2. Termometer
3. Kula
4. Ring med bitumenprovet
5. Glaskärl med vatten/glycerin



Figur 4 Kula & Ring-apparat – skiss enligt SS-EN 1427:2015. Exempel på: a) provet före testet, b) provet efter testet.

En ring innehållande analysprovet av bitumen värms upp i en vätska (vatten eller glycerin) vid en given temperatur. En stålkula placeras på bitumenprovet och vätskan värms med en hastighet av 5°C per minut. När temperaturen ökar blir bitumenet mjukare och kulans tyngd gör att den börjar falla ner mot en metallplatta. Temperaturen (mjukpunkten) noteras när kulorna vidrör metallplattan och ett medelvärde beräknas.

4.3 FTIR (Fourier Transform InfraRed spectroscopy)

De återvunna bindemedlen från insamlade RA-massor karakteriserades med FTIR-spektroskopi (*Fourier Transform InfraRed spectroscopy*) enligt RILEM-metoden (Mirwald et al. 2025). FTIR-spektroskopi kan identifiera kemiska och sammansättningsförändringar i bituminösa bindemedel genom att mäta absorptionen av infrarött ljus vid olika våglängder. Detta gör det möjligt att upptäcka specifika funktionella grupper, såsom karbonyl- och sulfoxidgrupper som bildas under åldringsprocessen samt andra funktionella grupper på grund av inblandning av tillsatsmedel (till exempel polymerer). När det gäller PMB i returasfalt, pekade en tidigare förstudie (Zhu 2025) på att FTIR-spektroskopi är användbar för att identifiera polymertyp i återvunnet PMB, men inte för att kvantifiera polymermängd i RA för specifikationsändamål.

I detta projekt användes VTI:s FTIR-apparat med ATR (*Attenuated Total Reflectance*) för att analysera de återvunna bindemedlen från RA, se Figur 5. Resultaten presenteras i FTIR-bilagor i slutet av denna rapport.



Figur 5 VTI:s FTIR-apparat med ATR. Foto: Jiqing Zhu.

I ett FTIR-spektrum kan vissa signaler indikera polymertyp i PMB (Kumar et al. 2020; Yan et al. 2020; Baditha, Goli, Amaranatha Reddy & Sudhakar Reddy 2024), inklusive:

- Vid 699 cm⁻¹ visas en signal från polystyren i SBS.
- Vid 910 cm⁻¹ visas en signal från vinylgrupp i 1,2-polybutadien i vissa typer av SBS (de med en hög vinylhalt).
- Vid 966 cm⁻¹ visas en signal från polybutadien i SBS.
- Vid 1240 cm⁻¹ och 1740 cm⁻¹ visas signaler från vinylacetat i EVA.

Genom att söka efter dessa signaler i FTIR-spektra kan polymertypen i PMB identifieras. Trots att det är tekniskt svårt att noggrant kvantifiera polymermängd i ett återvunnet PMB från returafalt enbart baserat på FTIR-analys, kan den relativa intensiteten hos dessa signaler indikera modifieringsgrad av PMB (högmodifierade, lågmodifierade, osv). I Tabell 4 samt i FTIR-bilagor i slutet av denna rapport presenteras en sammanfattning av bindemedels- och polymertyp baserat på FTIR-analys. Det är dock värt att notera att FTIR-resultat vanligtvis inte skiljer mellan välfungerande polymer och nedbruten polymer. En polymer kan fortfarande avge signaler i FTIR-spektrumet efter nedbrytning, men det betyder inte att den nedbrutna polymeren fortfarande är effektiv för att modifiera bitumens mekaniska egenskaper.

4.4 Dynamisk skjuvreometer, DSR

Dynamisk skjuvreometer (DSR) är en mångsidig laborieutrustning som kan prova en mängd fundamentala reologiska egenskaper i viskösa material utifrån en minimal provmängd, se exempel på testutrustning i Figur 6. Skanska Teknik VTC-Sydväst i Gunnilse har tillgång till en liknande DSR-utrustning och det är även där bitumentesterna i denna utvärdering huvudsakligen körts.

Med hjälp av DSR-provningen erhålls en relativt heltäckande bild av bituminets reologiska egenskaper för ett brett spektrum av temperaturer och belastningsfrekvenser, som är av intresse för viskoelastiska vägbyggnadsmaterial. DSR har länge använts inom exempelvis matindustrin och färgindustrin runt om i världen, men även inom vägteknikområdet, exempelvis i USA under lång tid. I USA utvecklades SUPERPAVE (*Superior Performing Asphalt Pavements*) samt PG-klassificering av bitumen. PG-klassificering baseras uteslutande på mekaniska egenskaper hos det testade bindemedlet. DSR-utrustningen är ett viktigt verktyg för dessa bestämningar. På sikt bedöms DSR kunna ersätta flera konventionella provningsmetoder för bitumen.



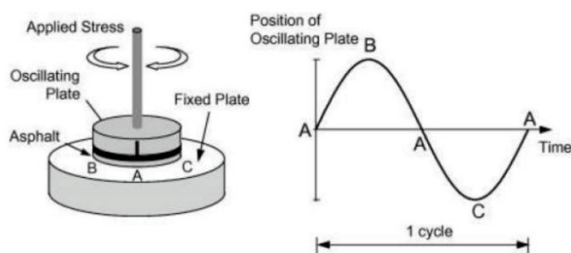
Figur 6 Exempel på DSR-utrustning (Källa: Anton Paar)

Det finns en gällande standard för DSR, SS-EN 14770:2023 "Bitumen och bituminösa bindemedel - Bestämning av komplex skjuvmodul och fasvinkel - Dynamisk skjuvreometer". För detaljer hänvisas till nämnda metod.

Kortfattat går metoden ut på att en liten mängd bitumen skjuvas mellan två plattor, se exempel i Figur 7. En stor fördel med ett DSR-test är att det åtgår liten provmängd, vilket är en fördel då återvinningsprocessen av bindemedel från asfaltgranulat är tidskrävande och kostsamt.

Bitumen värms upp i ugn för att sedan gjutas i cirkulära formar. Vanligtvis används plattdiametrarna 25 mm respektive 8 mm, men även 4 mm förekommer (ej i denna studie) då testet utförs vid mycket låga temperaturer. Proven lagras i en till tre dagar efter gjutning innan de provas. Vid frekvenssvepen varieras temperaturen från ca minus 30°C upp till maximalt ca 100–120°C (bitumenkvaliteten och i viss mån testutrustningens kapacitet styr temperaturerna). Val av temperatur- och frekvensintervall är inte reglerat i standarden utan är valda baserade på praktisk erfarenhet med tekniken för att erhålla mätdata som täcker materialets egenskaper. För varje temperatur körs ett frekvenssvep (100 rad/s till 0,1 rad/s, totalt 10 steg per svep). Vid körningarna är det viktigt att befinna sig i det linjärt viskoelastiska området (LVE), dvs. hålla spänningsnivån tillräckligt låg för att inte skada materialet. Om töjningsnivån ligger utanför LVE riskeras att materialet skadas, vilket i förlängningen resulterar i felaktiga data.

Vid försöken registreras bland annat temperatur, vinkelfrekvens, skjuvtöjning, skjuvspänning, skjuvmodul (G^*) och fasvinkel (δ). Med dessa parametrar kända är det möjligt att skapa en masterkurva för skjuvmodul och fasvinkel. När masterkurvorna är kända går det att beräkna en mängd intressanta egenskaper för bituminet, samt göra bedömningar om hur känsligt materialet är för exempelvis spårbildning, utmattning, lågtemperatursprickor osv.

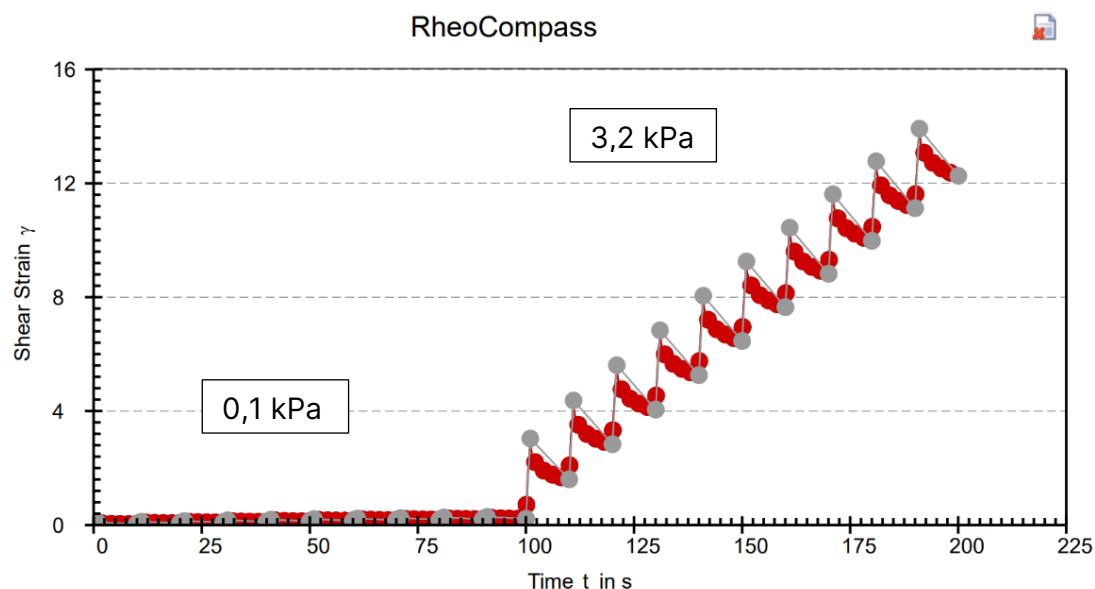


Figur 7 Oscillerande rörelse (Källa: Airey, 1997)

4.4.1 MSCR (Multiple Stress Creep Recovery Test)

Multiple Stress Creep Recovery Test, MSCR, är ett test som används för bitumen i amerikanska Superpave enligt en ASTM standard sedan 2008. När MSCR test körs utsätts först en provkropp för en konstant spänning (τ) under en sekund följt av en nio sekunder lång återhämtningsfas utan last vilket beskriver en cykel. 10 cykler körs totalt vid 0,1 kPa belastning och därefter ytterligare tio cykler med samma förfarande vid 3,2 kPa. Under testet mäts deformationen (töjningen, γ) som en funktion av tiden för en temperatur och skapar på så sätt ett krypdiagram enligt Figur 8. I denna undersökning har 60 °C använts som testtemperatur.

MSCR-Test (EN 16659) - Final Report



Figur 8 Exempel på krypdiagram MSCR.

Efter körning beräknas återgången (R) enligt Ekvation (1), permanenta deformationen (γ_{nr}) för respektive laststorlek Ekvation (2) och dividerar därefter med respektive last enligt Ekvation (3) för att få fram den kvarstående deformationen (J_{nr}).

$$R = (\gamma_r / \gamma_p) * 100 [\%] \quad (1)$$

$$\gamma_{nr} = \gamma_p - \gamma_r [\%] \quad (2)$$

$$J_{nr} = (\gamma_{nr} / \tau) [\text{kPa}^{-1}] \quad (3)$$

Där

R= Återgång

γ_r = Elastisk töjning

γ_{nr} = Plastisk töjning

γ_p = Maximal töjning

J_{nr} = Kvarstående deformation

τ = Skjuvkraft

4.4.2 Masterkurva

Masterkurvorna konstruerades genom att tid-temperatur superpositioneringsprincipen användes. D.v.s. materialets viskoelastiska egenskaper, som en funktion av tid (eller frekvens) vid olika temperaturer, kan skiftas horisontellt längs tidsaxeln (log-skala) så att en karakteristisk masterkurva bildas. Vid skiftningen användes Williams-Landel-Ferry-ekvationen (även kallas WLF-ekvationen), se ekvation (4). Masterkurvan för den dynamiska komplexa skjuvmodulen $|G^*|$, som en funktion av tid eller frekvens, beskriver materialets tids- eller frekvensberoende. Hur stor skiftning som behövs för varje temperatur för att uppnå en jämn masterkurva beskriver materialets temperaturberoende. I de flesta fall kan masterkurvan beskrivas matematiskt med exempelvis en Sigmoidal-funktion (även andra funktioner kan användas), se ekvation (5). Vid bestämningen av masterkurvorna användes genomgående referenstemperaturen 25°C.

$$\log(a_T) = \frac{-C_1(T-T_r)}{C_2+(T-T_r)} \quad (4)$$

där

a_T = skiftfaktor

C_1, C_2 = konstanter

T = temperatur (°C)

T_r = referenstemperatur (°C)

$$\log|G^*| = \delta + \frac{\alpha}{1+e^{\beta-\gamma(\log(f_r))}} \quad (5)$$

där

$|G^*|$ = dynamisk komplex skjuvmodul (Pa)

α, β, δ och γ = regressionskonstanter

f_r = reducerad frekvens (Hz).

Det finns en mängd ekvationer i litteraturen för att beskriva fasvinkeln. I detta arbete har ekvation (6), hämtad från VTI-rapport 1084A publicerad år 2021, använts. Ekvationen har valts för att kunna beskriva den för PMB oftast typiskt S-formade fasvinkeln, vilket inte är möjligt med enklare ekvationer.

$$\delta = \delta_P - \delta_P \cdot H(f_r - f_P) \cdot \left\{ 1 - e^{-[S_R \cdot \log(\frac{f_r}{f_P})]^2} \right\} + \delta_L \cdot H(f_P - f_r) \cdot \left\{ 1 - e^{-[S_L \cdot \log(\frac{f_P}{f_r})]^2} \right\} \quad (6)$$

där

$\delta_P, f_P, S_R, \delta_L$ och S_L = regressionskonstanter.

H = Heaviside stegfunktion (step function).

f_r = reducerad frekvens (Hz).

4.4.3 Reologiskt index. R

Det reologiska indexet har bestämts enligt ekvation (7) med utgångspunkt från masterkurvan. Ekvation gäller när $G^* > 10\text{MPa}$.

$$R = \log(2) \cdot \frac{\log(|G^*|/1 \times 10^9)}{\log(1 - \delta/90)} \quad (7)$$

där

R = Christensen-Anderson R-värde (Reologiskt index)

$|G^*|$ = dynamisk komplex skjuvmodul (Pa)

δ = bindemedlets fasvinkel ($^\circ$) vid samma temperatur och frekvens som $|G^*|$.

I takt med att materialet åldras ökar R-värdet. Ett normalt spann för R-värdet är ca 1,5–2,5.

4.4.4 Mjukpunkt enligt BTSV-metoden (Bitumen-Typisierung-Schnell-Verfahren)

Från masterkurvan kan en mängd egenskaper beräknas. Enligt den tyska metoden bestäms T_{BTSV} , dvs. temperaturen då $|G^*|$ är lika med 15 kPa vid 10 rad/s (1,59 Hz). Den tillhörande fasvinkeln benämns δ_{BTSV} . Bestämningen motsvarar temperaturen för mjukpunkten för penetrationsbestämda bitumen. Det är dock tveksamt om sambandet är applicerbart på PMB, dvs. ger liknande mjukpunkter jämfört med dem som bestäms med K&R-metoden.

4.4.5 Glover-Rowe parameter

Glover-Rowe-parametern (GRP) har på senare år vunnit mark då den visat sig bland annat kunna beskriva materialets risk för termisk sprickbildning. Även mjukpunkten kan beräknas från sambandet. Glover-Rowe-parametern (GRP) bestäms enligt ekvation (8).

Mjukpunkt:

$$GRP = |G^*| \cdot (\cos \delta)^2 / \sin \delta \quad (8)$$

där

GRP = Glover-Rowe parametern

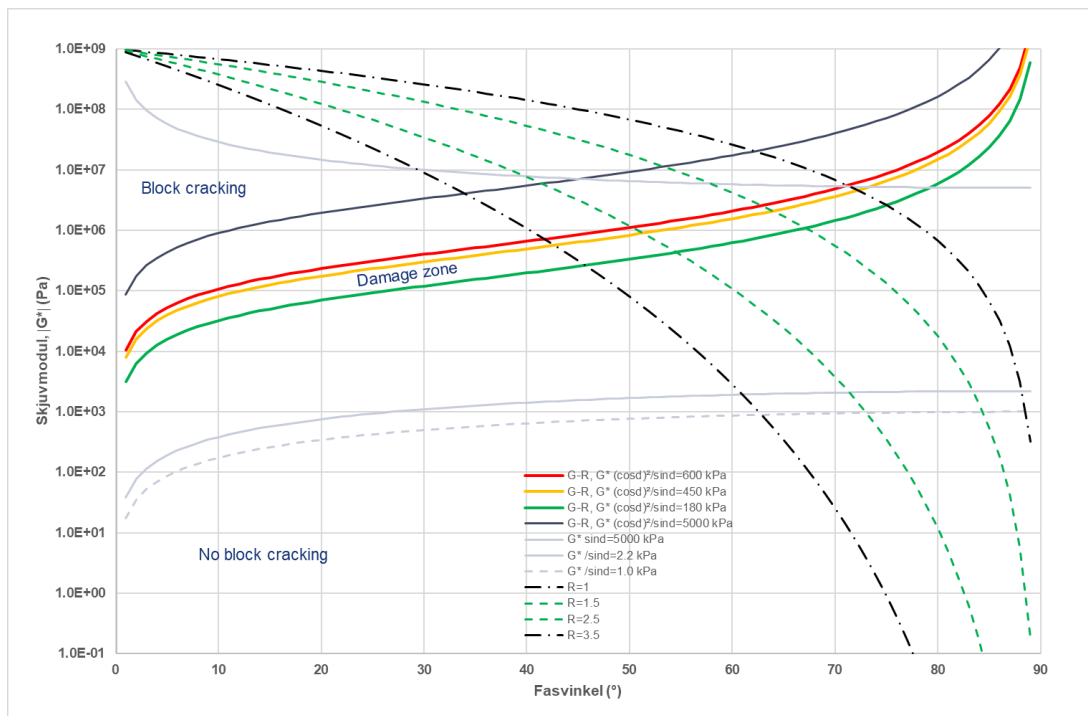
$|G^*|$ = dynamisk komplex skjuvmodul (Pa)

δ = fasvinkel (°).

Från masterkurvan kan den temperatur som motsvarar $GRP = 290$ Pa bestämmas (10 rad/s, 1,59 Hz). Detta motsvarar enligt Glover-Rowe mjukpunkt för omodifierat bitumen samt PMB-bitumen. Bestäms i stället temperaturen där $GRP = 460$ Pa motsvarar detta mjukpunkt efter RTFOT enligt Glover-Rowe. Även i detta fall sker bestämningen vid 10 rad/s, 1,59 Hz. Slutligen har Zhu, Lu, Langfjell och Gudmarsson (2021) rapporterat samband mellan mjukpunkt och GRP då temperaturen bestämts där $GRP = 372$ Pa. Detta uppges gälla för både penetrationsbitumen samt PMB.

Sprickkänslighet:

Från masterkurvan bestäms GRP vid 15°C och 0,005 rad/s. Detta definierar en punkt i ett Black-diagram avseende skjuvmodul och fasvinkel, se exempel i Figur 9. Vid $GRP = 180$ kPa erhålls en sprickvarning (motsvarar duktilitet = 5 cm) och vid $GRP = 600$ kPa erhålls ett gränsvärde för betydande sprickbildning (motsvarar duktilitet = 3 cm). I takt med att materialet åldras ökar skjuvmodulen samtidigt som fasvinkeln minskar, dvs. punkterna förflyttas uppåt till vänster i Black-diagrammet.



Figur 9 Black-diagram (exempel).

4.4.6 Cross-over temperatur/frekvens

Cross-over temperatur/frekvens definieras som den temperatur respektive frekvens där fasvinkeln är lika med 45° . Bestämningen sker vid 10 rad/s.

I takt med att materialet åldras ökar cross-over temperaturen samtidigt som cross-over frekvensen sjunker. Användning av en rejuvenator leder till det omvända förhållandet.

Vid cross-over temperaturen 32°C erhålls en sprickvarning (ungefär som GRP = 180 kPa). Cross-over temperaturen 45°C anges som ett gränsvärde för betydande sprickbildning (ungefär som GRP = 600 kPa). Gränsvärdet vid 45°C kallas även "visco-elastisc transition temperature". Den viskoelastiska övergångstemperaturen markerar när materialet skiftar från primärt visköst (flytande) till mer elastiskt (fjäderliknande) beteende.

5. Resultat

I följande kapitel redovisas resultaten och tolkningen av de laboratorieanalyser som genomförts i denna studie.

5.1 Resultat mjukpunkt (K&R) samt mjukpunkt och fasvinkel enligt BTSV-metoden

Mjukpunkterna enligt K&R-metoden redovisas i Tabell 2.

De flesta mjukpunktsanalyserna på bitumen från asfaltgranulatet visar mjukpunkter mellan 60–72 °C. Tre prover hade mjukpunkter kring 50°C, vilket indikerar att dessa ej innehöll polymer i bindemedlet. Prov PW 8 kom från ett asfaltgranulatupplag härstammande från gjutasfalt där mjukpunkten blev lite lägre än förväntat.

De tre referensproverna hade alla höga mjukpunkter.

Tabell 2 Insamlade prover med mjukpunktsanalys

Asfaltlager	Märkning	Plats	Typ av PMB	Ålder	Mjukpunkt
Gjutasfalt	PW 8	Stockholm	40/100-75	6 år	55,9°C
Slitlager	PW 9	Essingeleden-Stockholm	45/80-55	7 år	66,4°C
Slitlager	PW 2	Östersund	PG-76-34/ Pen-bitumen	9-år	50,5°C
Slitlager	PW 3	Östersund	PG 76-34	9 år	72,4°C
Slitlager	PW 6	Nyköping	45/80-65	10 år	61,3°C
Slitlager	EG 11	Arlanda	PG 76-28	10 år	69,4°C
Slitlager	PW 5	Sundsvall	95/150-75	11 år	70,0°C
Slitlager	PW 4	Essingeleden-Stockholm	45/80-55	11 år	70,8°C
Slitlager/Bindlager	PW 7	Arlanda	PG76-28 /PG 64-28	9 år /24 år	60,2°C
Slitlager	PW 10	Kiruna	PG-64-28/ Pen-bitumen	20-år	52,4°C
Slitlager	PW 14	Lund	70/100-48	20 år	59,5°C
Bindlager	EG 12	Arlanda	PG-64-28/ Pen-bitumen	22-år	49,4°C
Slitlager	PW 1	Östersund	PG 76-34	23 år	67,4°C
Slitlager	PW 13	Arlanda	PG 64-28	24 år	63,5°C
Referens 1	Ref1	Nypol 67	45/80-55	Ny	75,2°C
Referens 2	Ref2	Nypol 73	40/100-75	Ny	88,0°C
Referens 3	Ref3	Nypol HF 105	75/130-65	Ny	91,1°C

I Tabell 3 och Figur 10 redovisas mjukpunkt och fasvinkel enligt BTSV-metoden bestämda från masterkurvorna för samtliga testade material. I jämförelsen ingår även sex extramaterial, två returbitumen från ett ex-jobb (Andersson, C. & Sulejmani, P.) utfört på Lunds Tekniska högskola (trianglar) samt fyra analyser från VTI:s förstudie (Zhu J, 2025) redovisade som stjärnor i Figur 10. Från VTI erhöles tacksamt rådata från DSR-körningarna (temperatursvep vid 10 rad/s), därefter bestämdes masterkurvor och slutligen bestämdes T_{BTSV} och δ_{BTSV} . Det bör observeras att temperaturerna för VTI-data

varierades från 4°C upp t.o.m. 82°C, vilket avviker jämfört med Skanskas försök. Då endast en frekvens användes (10 rad/s) är överlappet mellan data för olika temperaturer begränsat. Detta kan eventuellt påverka den framtagna masterkurvan och jämförelserna något, men bedöms inte omkullkasta slutsatserna från jämförelserna. Data för Ref.2 kommer från ett annat projekt pga. att data från aktuellt frekvenssvep var korrupt.

Tabell 3 Mjukpunkt och fasvinkel enligt BTVS-metoden bestämda från masterkurvorna.

Märkning	Fasvinkel δ_{BTVS} (°)	G*=15 kPa, T_{BTVS} (°C)
6. RB original Skanska (Ex-jobb LTH 2014-TVTT-5217)	76.2	63.8
7. RB RTFOT Skanska (Ex-jobb LTH 2014-TVTT-5217)	73.8	65.8
EG 11, Arlanda, PG 76–28, 10 år, Slitlager	60.7	62.2
EG 12, Arlanda, PG 64-28, 22 år, Bindlager - ej PMB	76.3	47.8
PW 01, Östersund, PG 76–34, 23 år, Slitlager	59.7	59.9
PW 02, Östersund, 160/220, 9 år, Slitlager - ej PMB	77.7	50.5
PW 03, Östersund, PG 76–34, 9 år, Slitlager	62.3	54.4
PW 04, Essingeleden-Stockholm, 45/80-55, 11 år, Slitlager	68.8	68.6
PW 05, Sundsvall, 95/150–75, 11 år, Slitlager	61.6	57.2
PW 06, Nyköping, 45/80–65, 10 år, Slitlager	75.6	60.5
PW 07, Arlanda, PG76-28 /PG 64–28, 9 år /24 år, Slitlager/Bindlager	67.2	56.6
PW 08, Stockholm, 40/100–75, 6 år, Gjutafalt	72.5	54.1
PW 09E, Essingeleden-Stockholm, 45/80-55, 7 år, Slitlager	65.3	62.4
PW 10, Kiruna, PG 64–28, 20 år, Slitlager - ej PMB	77.6	53.7
PW 13, Arlanda, PG 64–28, 24 år, Slitlager	60.9	60.5
PW 14, Lund, 70/100–48 (2% PMB), 20 år, Slitlager	75.5	58.3
Ref1, Nypol 67, 45/80–55, Ny, Referens 1	66.2	51.2
Ref2, Nypol 73, 40/100–75, Ny, Referens 2 *)	56.2	52.8
Ref3, Nypol HF 105, 75/130–65, Ny, Referens 3	67.1	49.9
ShiftSweden VTI-Provväg E6 E6-ref-70/100 – ej PMB	77.6	55.9
ShiftSweden VTI-Provväg E6 E6-str.1-radiell SBS-4%	64.6	59.8
ShiftSweden VTI-Provväg E6 E6-str.2-EVA	76.1	59.7
ShiftSweden VTI-Provväg E6 E6-str.3-linjär SBS-6%	67.3	61.5

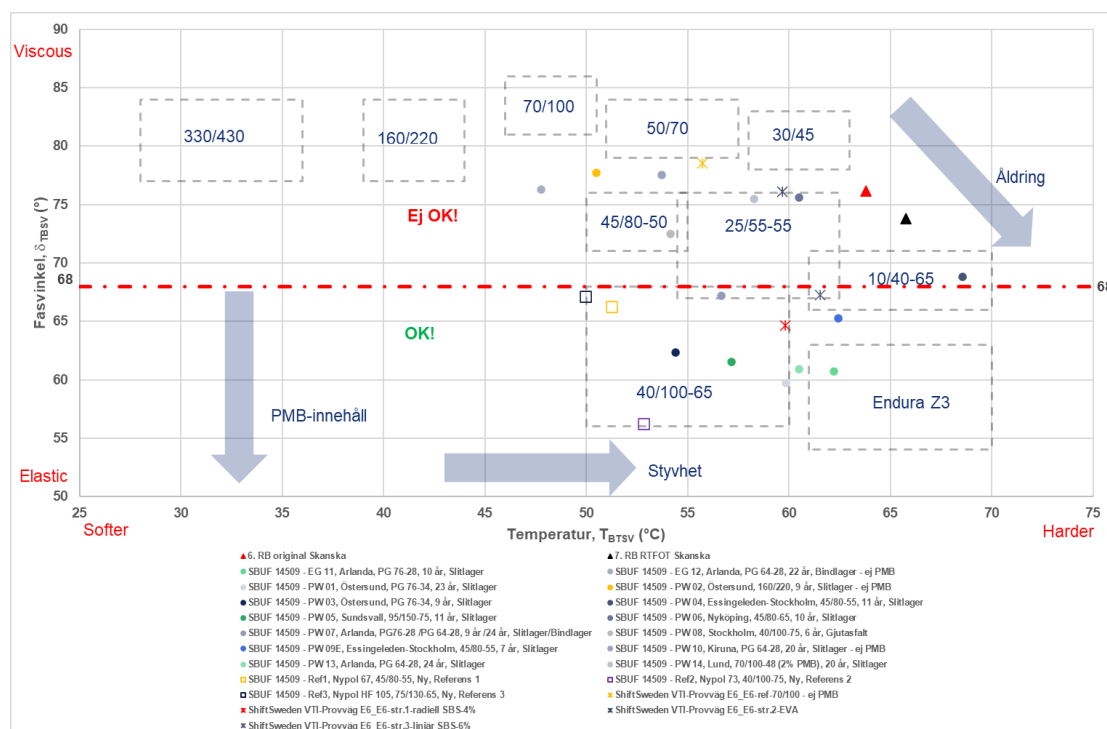
*) OBS! Data från ett annat projekt pga. av korrupt data.

Som framgår av Figur 10 redovisas T_{BTVS} (mjukpunkt) på x-axeln. En högre temperatur indikerar att materialet är hårdare. På y-axeln redovisas δ_{BTVS} (fasvinkeln). En högre fasvinkel indikerar att materialet är mera visköst. Sammanfattningsvis, medan T_{BTVS} ger information om materialets hårdhet indikerar δ_{BTVS} vilken grad av modifikation som föreligger. Ökad grad av polymermodifiering resulterar i en lägre fasvinkel. Som en första ansats (kan behöva justeras) har ett gränsvärde (rödprickad linje) för fasvinkeln lika med 68 grader lagts in i diagrammet. Denna gräns visar sig korrelera relativt väl med analysen av %R från MSCR-försöken, se analys i kapitel 5.3 Resultat MSCR (Multiple Stress Creep Recovery Test).

Analyserna av T_{BTSV} och δ_{BTSV} visar att följande material hamnar över den röda linjen, dvs. troligtvis en begränsad tillsättning i nya PMB-beläggningar.

- EG12, Arlanda, PG 64-28, 22 år, Bindlager - ej PMB
- PW02, Östersund, 160/220, 9 år, Slitlager - ej PMB
- PW10, PW 10, Kiruna, PG 64-28, 20 år, Slitlager - ej PMB
- E6-ref-70/100 (ShiftSweden – VTI)
- E6-E6-str.2-EVA (ShiftSweden – VTI)
- PW06, Nyköping, 45/80-65, 10 år, Slitlager
- 6. RB (Ex-jobb LTH)
- 7. RB RTFOT (Ex-jobb LTH)
- PW08, Stockholm, 40/100-75, 6 år, Gjutasfalt
- PW14, Lund, 70/100-48 (2% PMB), 20 år, Slitlager
- PW04, Essingeleden-Stockholm, 45/80-55, 11 år, Slitlager

Urvalet verkar efter en kontroll rimligt. Samtliga bitumen som ej innehåller PMB sållades bort. De två kraftigt åldrade icke-modifierade returbitumen (6 och 7) från ex-jobbet på LTH ingår också i urvalet. Slutligen ingår de typer av PMB med lägst grad av modifiering, huvudsakligen 45/80-65 samt 70/100-48 (2% PMB) från E22:an mellan Malmö och Lund. Att lågmodifierade PMB åldras i högre grad jämfört med högmodifierade PMB är fullt rimligt. En outlier är PW08 (gjutasfalt) som redan kommenterats i tidigare kapitel.



Figur 10 Grafisk redovisning av mjukpunkt och fasvinkel enligt BTSV-metoden bestämda från masterkurvorna.

5.2 Resultat FTIR (Fourier Transform InfraRed spectroscopy)

FTIR analyserna utfördes av VTI och enskilda spektrometerkurvor redovisas i FTIR-bilagor. En sammanfattning av resultaten redovisas i Tabell 4.

Tabell 4 Sammanfattning av bindemedels- och polymertyp baserat på FTIR-analys.

Prov, återvunnet bindemedel	Signalintensitet från SBS, polystyren vid 699 cm ⁻¹	Signalintensitet från SBS, vinylgrupp i 1,2-polybutadien vid 910 cm ⁻¹	Signalintensitet från SBS, polybutadien vid 966 cm ⁻¹	Signalintensitet från EVA, vinylacetat vid 1240 cm ⁻¹ och 1740 cm ⁻¹	Kommentar
PW 1	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
PW 2	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	EJ PMB.
PW 3	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
PW 4	Stark	Mycket svag	Stark	Ingen	PMB med SBS
PW 5	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
PW 6	Svag	Mycket svag	Mycket svag	Ingen	PMB med SBS, lågmodifierat
PW 7	Stark	Medelstark	Stark	Ingen	PMB med SBS
PW 8	Stark	Mycket svag	Stark	Ingen	PMB med SBS
PW 9	Stark	Medelstark	Stark	Ingen	PMB med SBS
PW 10	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	EJ PMB.
EG 11	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
EG 12	Svag	Mycket svag	Svag	Ingen	PMB med SBS, lågmodifierat
PW 13	Stark	Mycket svag	Stark	Ingen	PMB med SBS
PW 14	Medelstark	Mycket svag	Svag	Ingen	PMB med SBS, lågmodifierat
Ref.1	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
Ref.2	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
Ref.3	Stark	Svag	Stark	Ingen	PMB med SBS
EG-70/100	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	EJ PMB.
EG-str.1	Stark	Ingen	Stark	Ingen	PMB med SBS
EG-str.2	Ingen	Ingen	Ingen	Stark	PMB med EVA
EG-str.3	Stark	Ingen	Stark	Ingen	PMB med SBS

5.3 Resultat MSCR (Multiple Stress Creep Recovery Test)

Resultaten för MSCR-test vid 60°C presenteras i Tabell 5. 60°C är en vanlig provningstemperatur för MSCR-test i Europa. Dubbelprover har analyserats.

Tabell 5 MSCR-resultat vid 60 °C för de olika insamlade proverna.

Prov	$J_{nr}(\text{kPa}^{-1})@0,1\text{kPa}$	% R @0,1kPa	$J_{nr}(\text{kPa}^{-1})@3,2\text{kPa}$	% R @3,2kPa	$J_{nr-diff}$	R_{diff}
PW 1	0,127	69,8%	0,153	64,9%	20,9%	7,0%
PW 2	2,492	6,7%	2,841	1,2%	14,0%	81,6%
PW 3	0,228	72,6%	0,388	56,3%	72,8%	22,4%
PW 4	0,075	56,7%	0,082	53,9%	7,8%	5,0%
PW 5	0,186	69,5%	0,261	60,1%	39,8%	13,6%
PW 6	0,403	26,6%	0,448	20,2%	11,3%	24,1%
PW 7	0,390	48,2%	0,488	37,7%	25,2%	21,8%
PW 8	0,950	32,3%	1,370	15,0%	43,5%	53,1%
PW 9	0,167	52,6%	0,187	48,2%	12,8%	8,5%
PW 10	1,866	5,8%	2,095	1,1%	12,3%	82,1%
EG 11	0,106	66,4%	0,122	63,0%	13,5%	5,1%
EG 12	3,232	12,9%	3,998	2,6%	23,7%	79,3%
PW 13	0,142	70,9%	0,157	68,2%	11,0%	3,9%
PW 14	0,619	29,4%	0,738	19,8%	19,3%	32,8%
Referens 1	0,267	77,2%	0,605	53,8%	127,0%	30,3%
Referens 2	0,010	97,8%	0,014	96,9%	19,2%	0,7%
Referens 3	0,072	94,5%	0,130	90,7%	79,0%	3,9%

Vid 60°C uppvisade, % R @3,2 kPa, på 10 av de återvunna bindemedlen värden på ca: 20% och uppåt där det högsta värdet var 68%. Tre av bindemedlen (PW2, PW10, EG12) uppvisade dock mycket låga %R-värden (1–3%), vilket är typiskt för omodifierade bitumen.

De tre nya PMB-bindemedlen hade motsvarande 54% till 97%. Detta indikerar att dessa tre nya bindemedel med SBS hade mycket god elasticitet vid 60 °C men också att flera av de återvunna bindemedlen har bibehållit effekten av polymermodifiering ganska väl efter ett antal år ute som beläggning.

I Figur 11 redovisas MSCR-data (J_{nr} och %R @3,2 kPa) enligt AASHTO-metodik (R 92) i ett semi-log-diagram och i Figur 12 redovisas samma data i ett lin-lin-diagram. Enligt metodiken, som främst är avsedd för att klassificera PMB, finns krav på %R för J_{nr} mindre än 2. För $J_{nr} \leq 0,1$ ska %R vara $\geq 55\%$. Sambandet beskrivs av ekvation (9):

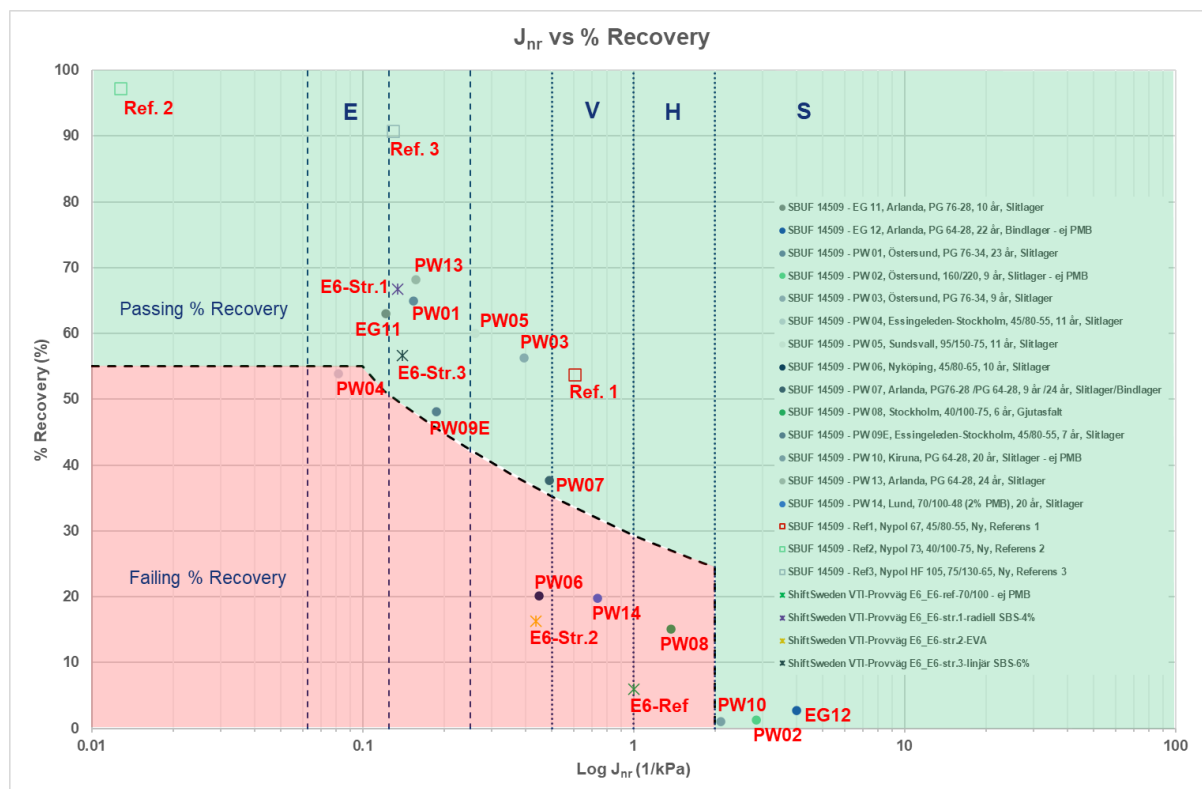
$$\%R = 29,371 \cdot J_{nr}^{-0.2633} \quad (9)$$

Från MSCR-provning är det även möjligt att klassificera olika typer av bitumen enligt AASHTO M-332, se Tabell 6. Klassificeringen gör det möjligt att bedöma om materialet är lämpligt för aktuella trafikförhållanden. Som jämförelse motsvarar en ESAL (80 kN) ca 0,4096 svenska 10-tons standardaxlar om 4-potensregeln tillämpas.

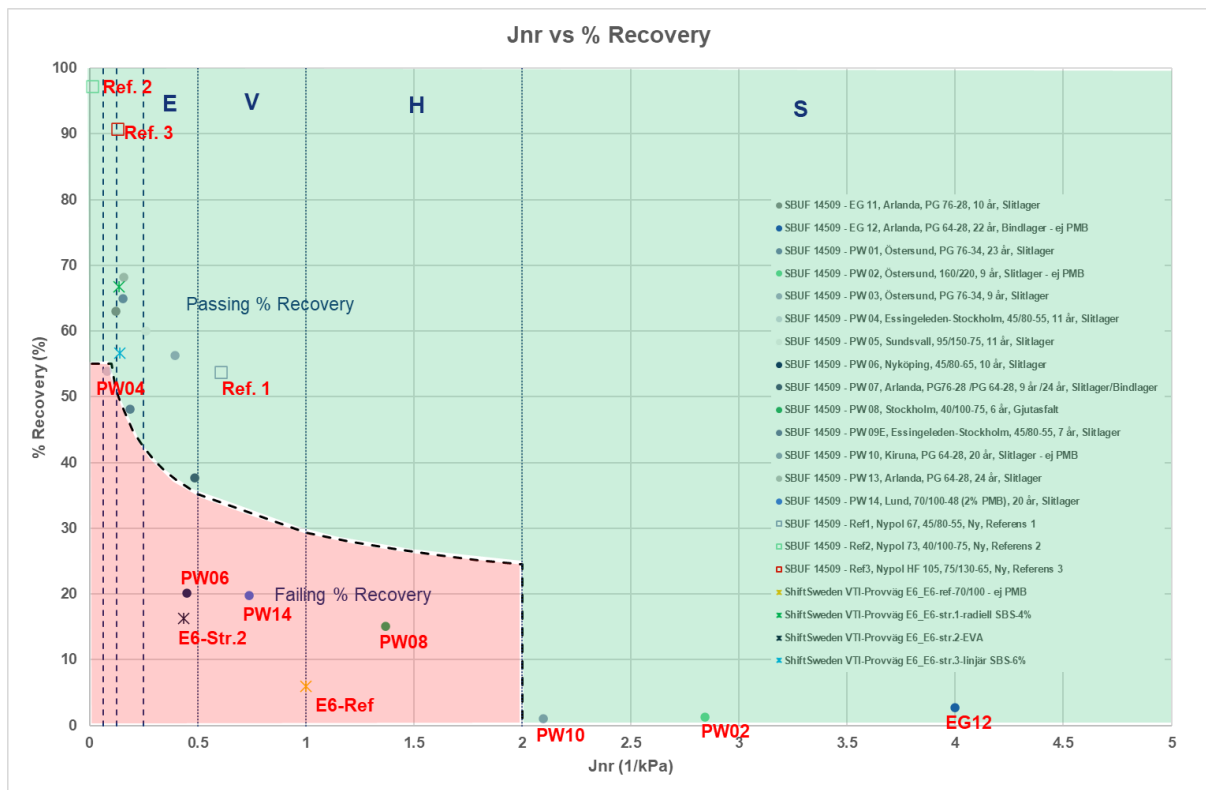
Tabell 6 Klassificering av bitumen enligt AASHTO M-332

Trafik	Klassificering	Trafiklast (ESALs)	Hastighet (km/h)	J_{nr} -gräns (1/kPa)
Standard	S	<10 miljoner	> 70	≤ 4.5
Heavy	H	10–30 miljoner	20–70	≤ 2
Very Heavy	V	> 30 miljoner	<20	≤ 1
Extreme	E	> 30 miljoner	Stillastående <20	≤ 0.5

I Figur 11 och Figur 12 redovisas data från Tabell 5 grafiskt. Även i denna jämförelse ingår extramaterial. För de två returbitumen från ett ex-jobb utfört på Lunds Tekniska högskola finns tyvärr inga MSCR-data, men de hade med stor sannolikhet hamnat i röd zon. De fyra analyserna från VTI:s förstudie (Zhu J, 2025) redovisade som stjärnor.



Figur 11 MSCR-resultat, J_{nr} vs %R (@ 3,2 kPa) tolkade enligt metodik AASHTO R92 (semi-log).

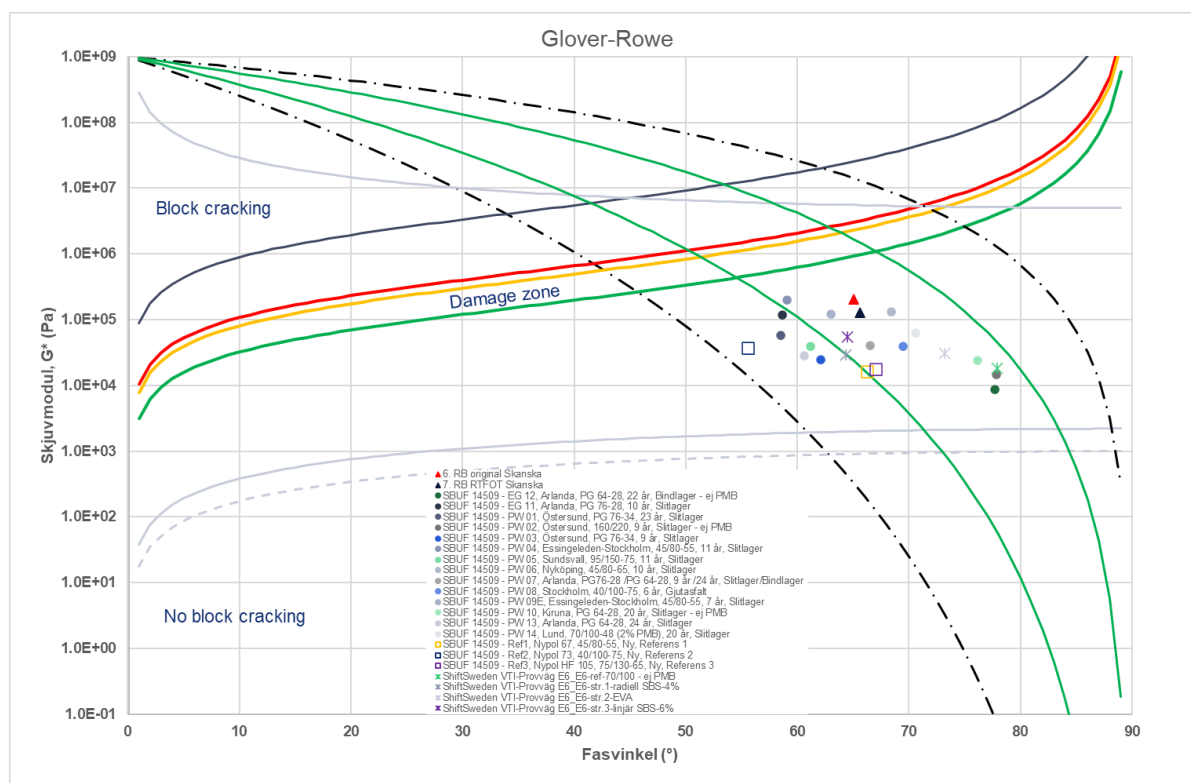


Figur 12 MSCR-resultat, J_{nr} vs %R (@ 3,2 kPa) toltrade enligt metodik AASHTO R92 (lin-lin).

Studeras vilka material som blir underkända med avseende på %R, dvs. har för dålig elasticitet för tillsättning i nya PMB-beläggningar innan vidare utredning, är det uppmuntrande att det är precis samma material som sållas ut enligt BTSV-metoden. PW10, PW02 och EG12 klassificeras som Standard (S), dvs. ej PMB, vilket betyder att det inte finns några krav på %R. Dessa tre materialtyper har även konstaterats inte vara polymermodifierade. Det fjärde materialet som inte innehåller PMB (E6-Ref) har väldigt lågt %R och underkänns av denna anledning. PW04 har lägst J_{nr} av de underkända värdena i den röda zonen. Detta korrelerar väl med T_{BTSV} där materialet uppvisade hög temperatur, vilket indikerar att materialet är bland det styvast av de testade materialen. Övriga material i den röda zonen är E6-Str.2, PW06, PW08 och PW14.

5.4 Resultat sprickkänslighet enligt Glover-Rowe

För att bedöma materialens sprickkänslighet har Glover-Rowe-parametern (GRP) beräknats enligt tidigare redovisad ekvation (5) och redovisas grafiskt i Figur 13. Svarta prickade linjer avser R (reologiskt index) 1,0 resp. 3,5. De gröna linjerna avser R lika med 1,5 och 2,5, vilket brukar anses vara ett normalt spann för R-värdet. Som tidigare nämnts ökar R-värdet i takt med att materialet åldras. Se även Figur 14 för förklaring.



Figur 13 Utvärdering av sprickkänslighet enligt Glover-Rowe.

Bestämningen av GRP indikerar att samtliga material ligger utanför riskzonen för sprickbildning. Med tanke på materialens ålder är det något förvånande, men troligtvis bidrar polymermodifieringen positivt och bromsar åldringsförloppet. För de ej polymermodifierade materialen är utgångskvaliteten okänd och därmed är det svårare att bedöma rimligheten i resultaten.

5.5 Resultat cross-over temperatur och frekvens

I Tabell 7 och Figur 14 redovisas cross-over frekvens/temperatur samt reologiskt index, R-värde bestämda från masterkurvorna. Denna typ av data kan ge en indikation om materialets grad av åldring och därmed risk för sprickor. Se även kapitel 4.4.6 Cross-over temperatur/frekvens för detaljer.

Tabell 7 Cross-over frekvens/temperatur samt reologiskt index, R-värde bestämda från masterkurvorna.

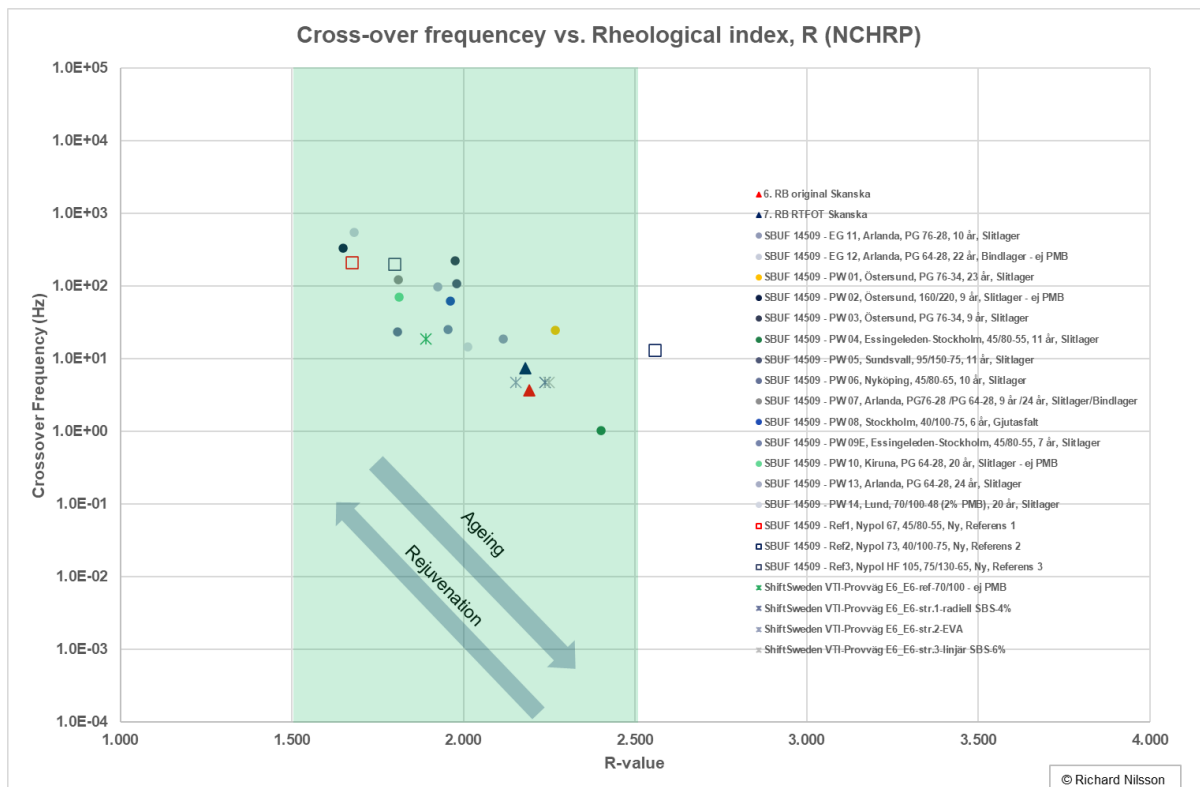
Märkning	Cross-over temperatur, $\delta=45^\circ$ (°C)	Cross-over frekvens, $\delta=45^\circ$ (Hz)	R- värde (-)
6, RB original Skanska (Ex-jobb LTH 2014-TVTT-5217)	21,8	3,7	2,192
7, RB RTFOT Skanska (Ex-jobb LTH 2014-TVTT-5217)	18,8	7,3	2,179
EG 11, Arlanda, PG 76–28, 10 år, Slitlager	16,0	18,8	2,116
EG 12, Arlanda, PG 64–28, 22 år, Bindlager - ej PMB	4,3	547,2	1,681
PW 01, Östersund, PG 76–34, 23 år, Slitlager	14,4	24,9	2,268
PW 02, Östersund, 160/220, 9 år, Slitlager - ej PMB	6,0	333,1	1,649
PW 03, Östersund, PG 76–34, 9 år, Slitlager	6,8	225,0	1,975
PW 04, Essingeleden-Stockholm, 45/80-55, 11 år, Slitlager	26,9	1,0	2,401
PW 05, Sundsvall, 95/150–75, 11 år, Slitlager	9,5	108,4	1,980
PW 06, Nyköping, 45/80–65, 10 år, Slitlager	15,6	23,7	1,808
PW 07, Arlanda, PG76-28 /PG 64–28, 9 år /24 år, Slitlager/Bindlager	9,2	123,3	1,811
PW 08, Stockholm, 40/100–75, 6 år, Gjutafalt	12,0	62,5	1,962
PW 09E, Essingeleden-Stockholm, 45/80-55, 7 år, Slitlager	14,9	25,2	1,955
PW 10, Kiruna, PG 64–28, 20 år, Slitlager - ej PMB	10,4	71,3	1,813
PW 13, Arlanda, PG 64–28, 24 år, Slitlager	7,0	97,0	1,925
PW 14, Lund, 70/100–48 (2% PMB), 20 år, Slitlager	16,5	14,7	2,011
Ref1, Nypol 67, 45/80–55, Ny, Referens 1	6,9	211,1	1,675
Ref2, Nypol 73, 40/100–75, Ny, Referens 2 ¹⁾	17,2	13,3	2,557
Ref3, Nypol HF 105, 75/130–65, Ny, Referens 3	7,9	201,3	1,798
ShiftSweden VTI-Provväg E6 E6-ref-70/100 – ej PMB	13,1	49,1	1,802
ShiftSweden VTI-Provväg E6 E6-str,1-radiell SBS-4%	20,1	4,8	2,238
ShiftSweden VTI-Provväg E6 E6-str,2-EVA	20,0	4,8	2,152
ShiftSweden VTI-Provväg E6 E6-str,3-linjär SBS-6%	20,4	4,7	2,249

*) OBS! Data från ett annat projekt pga. av korrupt data.

I takt med att materialet åldras ökar R-värdet och cross-over-temperaturen medan cross-over-frekvensen minskar. Ett normalt spann för R-värdet brukar anges till ca 1,5–2,5.

Precis som analysen enligt BTSV-metoden visar indikerar data i Figur 14 att PW04, 6. RB samt 7. RB RTFOT har högst grad av åldring. I andra ändan av spannet hamnar de nya referensmaterialen samt två av de ej polymermodifierade materialen EG12 samt PW02.

Ref2, som kommer från ett annat projekt, ligger utanför den normala zonen vilket kan indikera att det föreligger något problem med det testade materialet.



Figur 14 Cross-over frekvens vs reologiskt index, R-värde

5.6 Resultat masterkurva

I Tabell 8 och Tabell 9 redovisas regressionskonstanterna som används i modellerna för att beskriva masterkurvan för dynamisk skjuvmodul ($|G^*|$) respektive masterkurvan för fasvinkel (d).

Tabell 8 Regressionskonstanter för Sigmoidal-funktionen samt WLF-funktionen (ref, 25 °C).

Märkning	δ	α	β	γ	C1	C2	m-värde
6, RB original Skanska	-4,1318	12,8909	-1,5572	0,2940	16,3455	143,7276	0,930
7, RB RTFOT Skanska	-6,8731	15,9471	-1,5934	0,2440	17,8570	173,4907	0,948
EG 11	-5,6953	14,8683	-1,4070	0,2330	16,4939	147,7567	0,861
EG 12 - ej PMB	-3,9200	12,9126	-1,0574	0,3093	12,0979	119,2595	0,990
PW 01	-5,2154	14,2966	-1,3005	0,2335	16,4586	157,1335	0,830
PW 02 - ej PMB	-3,9792	12,9946	-1,1333	0,3111	12,4906	121,4679	1,002
PW 03	-4,1500	13,2406	-1,0975	0,2511	13,7732	134,4783	0,827
PW 04	-4,5174	13,6991	-1,4573	0,2643	18,4749	178,3681	0,899
PW 05	-3,6357	12,6667	-1,1344	0,2619	14,1430	135,3145	0,824
PW 06	-3,9716	13,0354	-1,3799	0,2951	13,8311	120,6308	0,955
PW 07	-3,7377	12,7059	-1,2144	0,2874	13,8515	131,8381	0,906
PW 08	-4,2957	13,2931	-1,2443	0,2844	13,6561	124,2656	0,938
PW 09E	-4,8384	13,9187	-1,4030	0,2580	15,7198	142,0482	0,892
PW 10 - ej PMB	-2,8949	11,7024	-1,1882	0,3454	14,2823	141,0251	0,999
PW 13	-3,5574	12,8401	-1,0595	0,2579	17,5159	194,7366	0,823
PW 14	-3,0805	11,9441	-1,2985	0,3279	14,0783	132,2759	0,969
Ref1, Nypol 67	0,3961	8,3957	-0,6202	0,4010	14,0315	137,7201	0,829
Ref2, Nypol 73 *)	1,0761	7,7844	-0,4255	0,3313	21,0896	187,0392	0,639
Ref3, Nypol HF 105	0,8317	7,9899	-0,4668	0,3916	13,9004	130,3747	0,772
E6-ref-70/100 – ej PMB	-0,6276	9,7853	-0,8264	0,3958	14,0000	150,0000	0,954
E6-str,1-radiell SBS-4%	0,5284	8,6143	-0,6857	0,4080	14,0000	150,0000	0,866
E6-str,2-EVA	-0,9569	10,1179	-0,9566	0,3822	14,0000	150,0000	0,953
E6-str,3-linjär SBS-6%	-0,6623	9,8286	-0,8913	0,3421	14,0000	140,0000	0,832

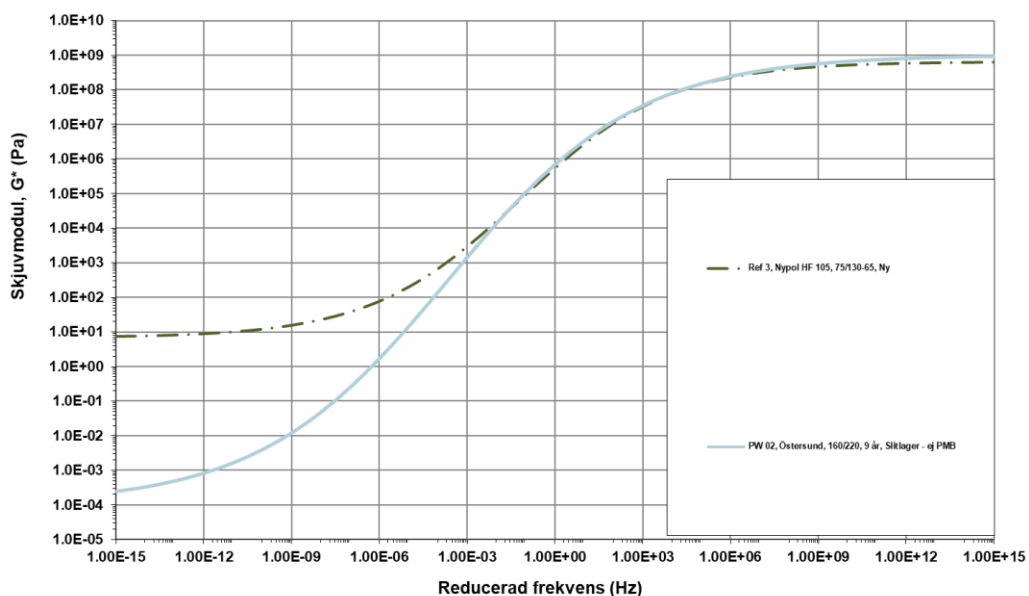
*) OBS! Data från ett annat projekt pga. av korrupt data.

M-värdet bestäms från lutningen för masterkurvan (log-log-skala) och beskriver materialets responsförändringshastighet som funktion av reducerad tid/frekvens, vilket indikerar materialet flödesegenskaper. Ett högre m-värden betyder ett mera visköst beteende (brantare lutning och högre fasvinkel) och ett lägre värden indikerar ett mera elastiskt beteende (flackare lutning och lägre fasvinkel).

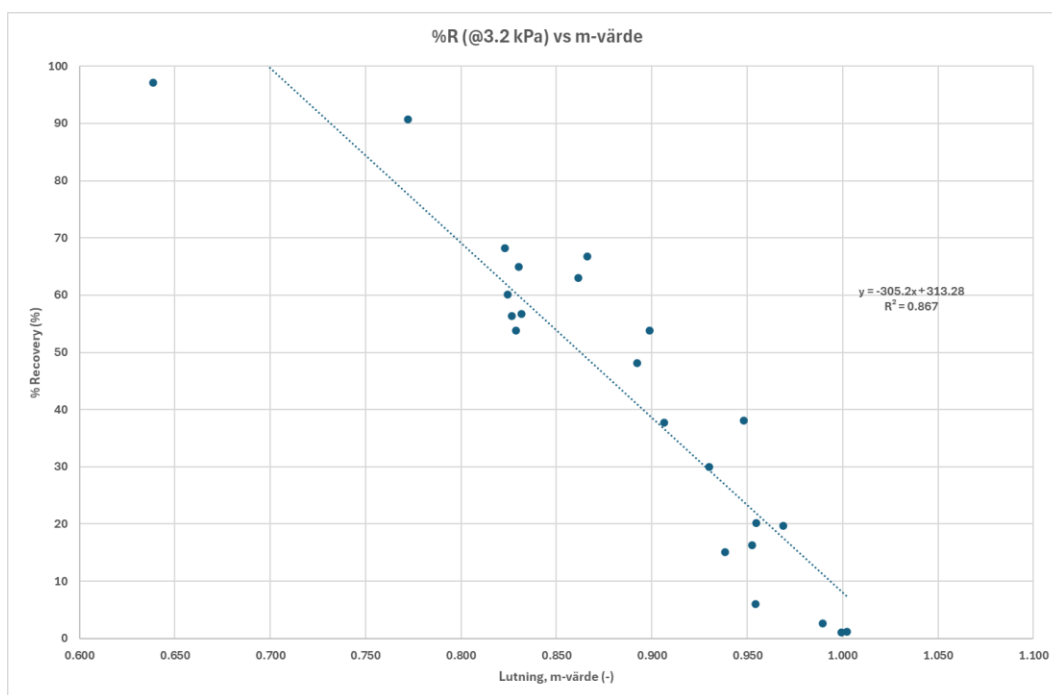
För att illustrera detta förhållande plottas ytterligheterna i denna studie, PW02, 160/220 (m=1,002) respektive Ref3, Nypol HF 105 (en högmodifierad PMB, m=0,772), se Figur 15. Vid låga frekvenser och/eller höga temperaturer brukar polymeren aktiveras och styvar upp materialet, dvs, ett mera elastiskt beteende jämfört med PW02, som betar sig mera visköst vid låga frekvenser och/eller höga temperaturer. Vid höga frekvenser

och/eller låga temperaturer sker det omvända, dvs, Ref3 är mera flexible jämfört med PW02.

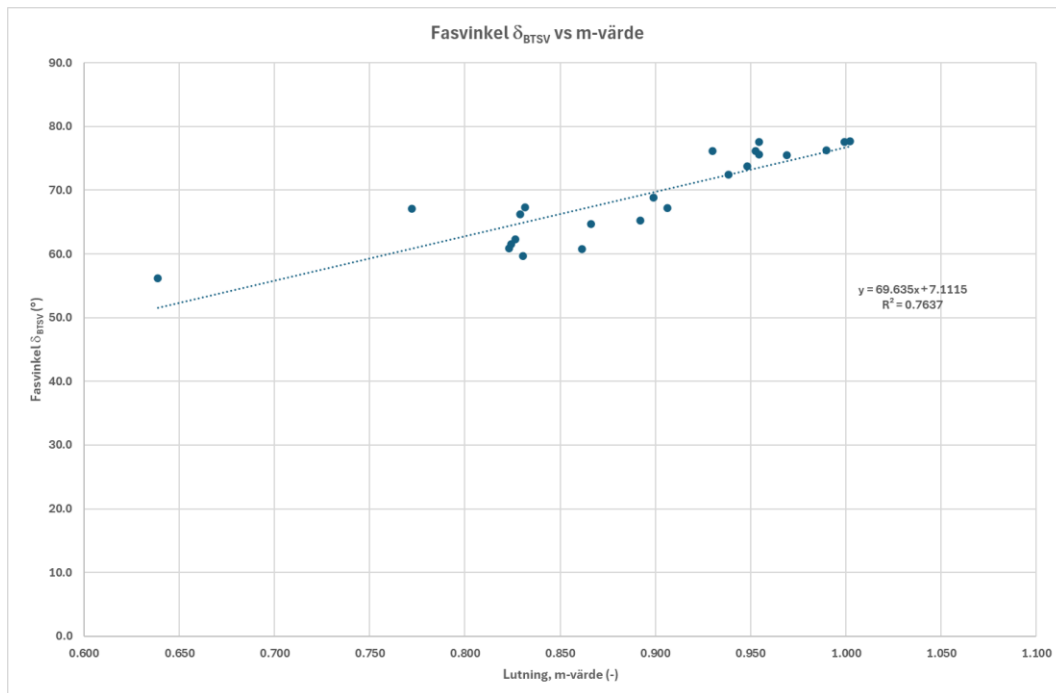
I Figur 16 redovisas sambandet mellan m-värdet och %R vid 3,2 kPa och i Figur 17 sambandet mellan m-värdet och fasvinkeln d_{BTSV} .



Figur 15 Illustration av skillnader i m-värde.



Figur 16 Samband mellan m-värdet bestämt från masterkurvan och %R @3,2kPa från MSCR-test.



Figur 17 Samband mellan m -värdet bestämt från masterkurvan och fasvinkeln δ_{BTSV} .

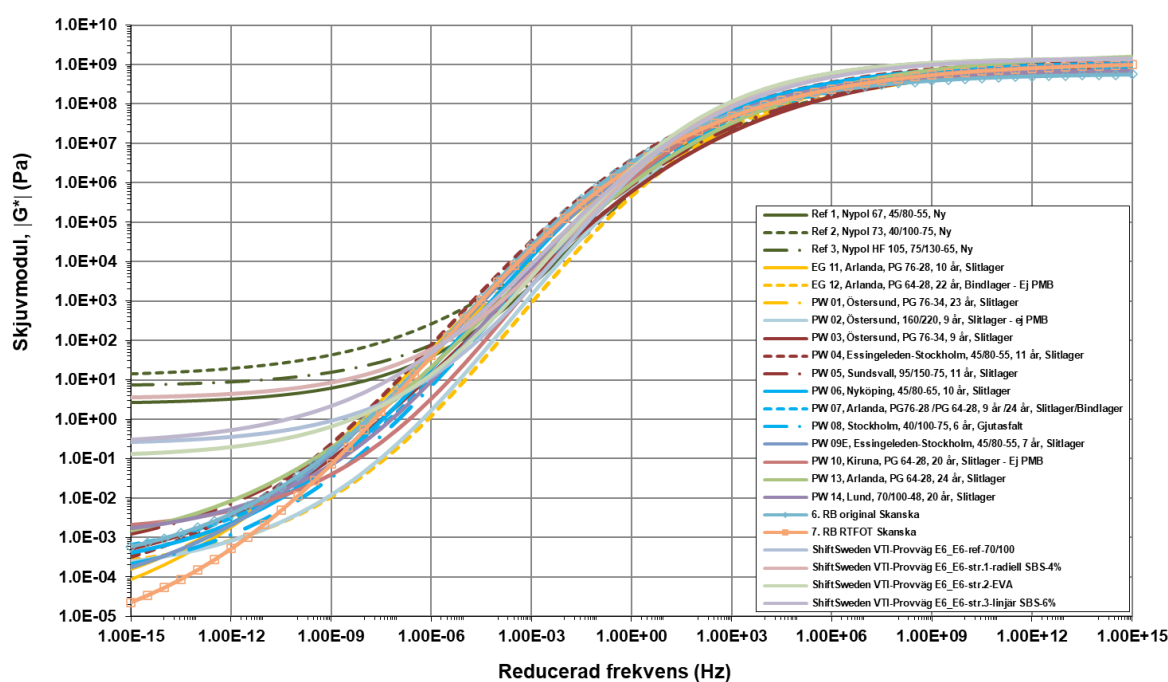
Tabell 9 Regressionskonstanter för funktionen som beskriver fasvinkeln (ref, 25 °C).

Märkning	δ_P	f_P	S_R	δ_L	S_L
6, RB original Skanska	90,0	6,371E-08	0,106	0,000	0,500
7, RB RTFOT Skanska	90,0	1,274E-08	0,095	0,000	0,500
EG 11	60,9	2,351E-04	0,112	26,833	0,704
EG 12 - ej PMB	90,0	9,709E-07	0,095	0,000	0,500
PW 01	60,0	3,957E-04	0,112	28,005	0,581
PW 02 - ej PMB	90,0	1,644E-06	0,100	0,000	0,581
PW 03	62,4	2,199E-03	0,114	26,806	0,357
PW 04	90,0	5,555E-10	0,090	0,000	0,500
PW 05	61,6	2,496E-03	0,121	28,443	0,342
PW 06	90,0	4,988E-08	0,096	0,000	0,500
PW 07	67,3	1,776E-03	0,131	21,411	0,591
PW 08	90,0	2,298E-08	0,088	0,000	0,500
PW 09E	65,4	3,442E-04	0,126	22,677	0,723
PW 10 - ej PMB	90,0	1,940E-06	0,110	0,000	0,016
PW 13	61,0	1,583E-03	0,115	29,007	0,449
PW 14	90,0	1,573E-07	0,102	0,000	0,500
Ref1, Nypol 67	66,1	1,159E-01	0,190	399,399	0,018
Ref2, Nypol 73 *)	56,3	1,330E-03	0,118	-6,600	1,572
Ref3, Nypol HF 105	67,3	3,823E-03	0,134	-43,537	0,480
E6-ref-70/100 - ej PMB	90,0	1,167E-05	0,134	0,000	0,500
E6-str,1-radiell SBS-4%	64,6	3,543E-03	0,192	25,352	0,295
E6-str,2-EVA	90,0	3,696E-06	0,136	0,000	0,500
E6-str,3-linjär SBS-6%	69,2	1,364E-04	0,145	20,770	0,376

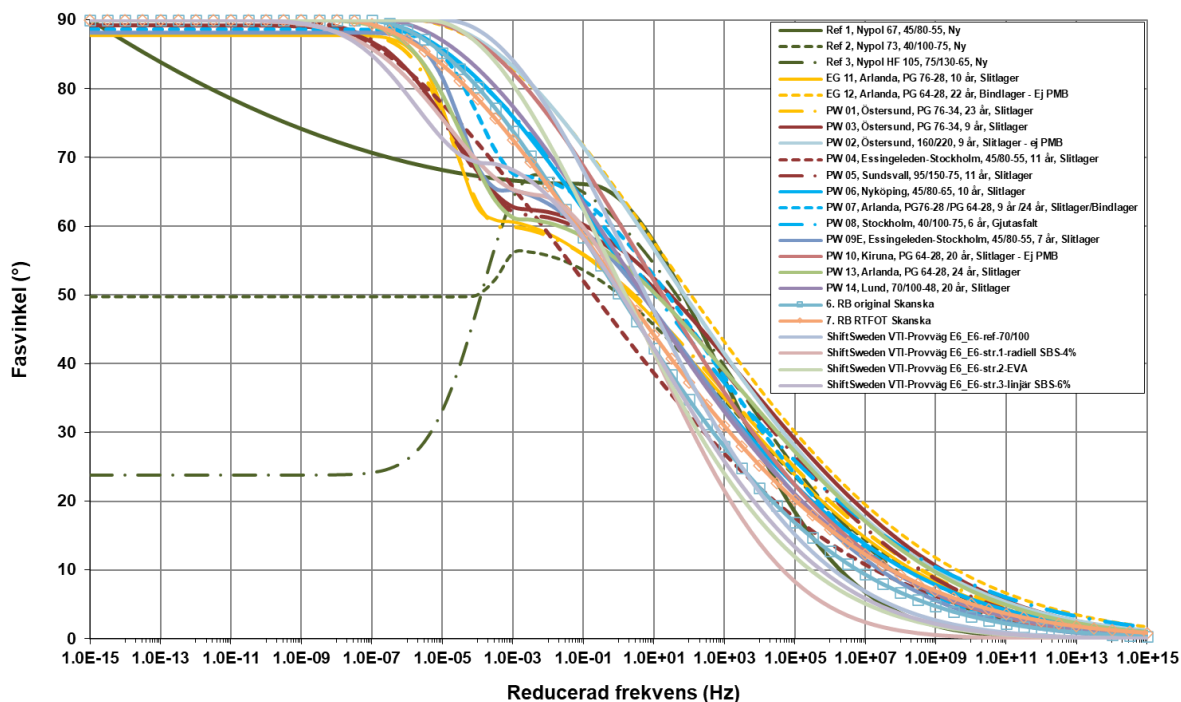
*) OBS! Data från ett annat projekt pga. av korrupt data.

Studeras regressionskonstanterna avseende fasvinklarna i Tabell 9 framgår tydligt vilka material som fortfarande har en aktiv polymer. För de material som inte uppfyller kravet med avseende på %R från MSCR-testet (dvs, hamnar i den röda zonen Figur 11) erhålls d_L lika med noll i samtliga fall, dvs, fasvinkeln uppvisar ej längre en tydlig s-form utan betar sig mera som ett penetrationsbitumen. För dessa material är även d_P lika med 90° i samtliga fall.

I Figur 18 och Figur 19 redovisas masterkurvor grafiskt för dynamisk skjuvmodul ($|G^*|$) och fasvinkel (d) för samtliga material. Figurerna är relativt svårlästa då mycket av data överlappar. Det framgår dock att i takt med att PMB åldras verkar polymeren brytas ner och materialet betar sig allt mera som ett penetrationsbitumen. Dvs. den uppstyvande effekt som brukar inträffa vid låga frekvenser och/eller höga temperaturer, som kan observeras hos referenserna, försvagas jämfört med nytt PMB. Effekten framgår även tydligt då fasvinklarna jämförs.



Figur 18 Masterkurvor för dynamisk skjuvmodul för samtliga testade material.

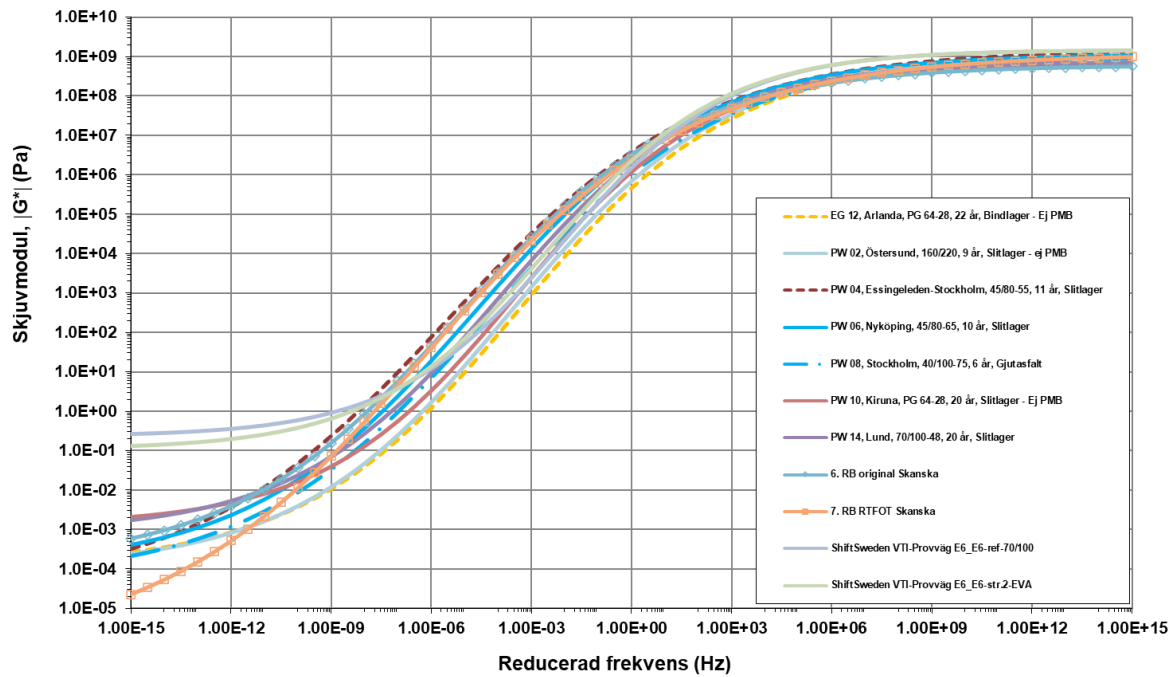


Figur 19 Masterkurvor för fasvinkeln för samtliga testade material.

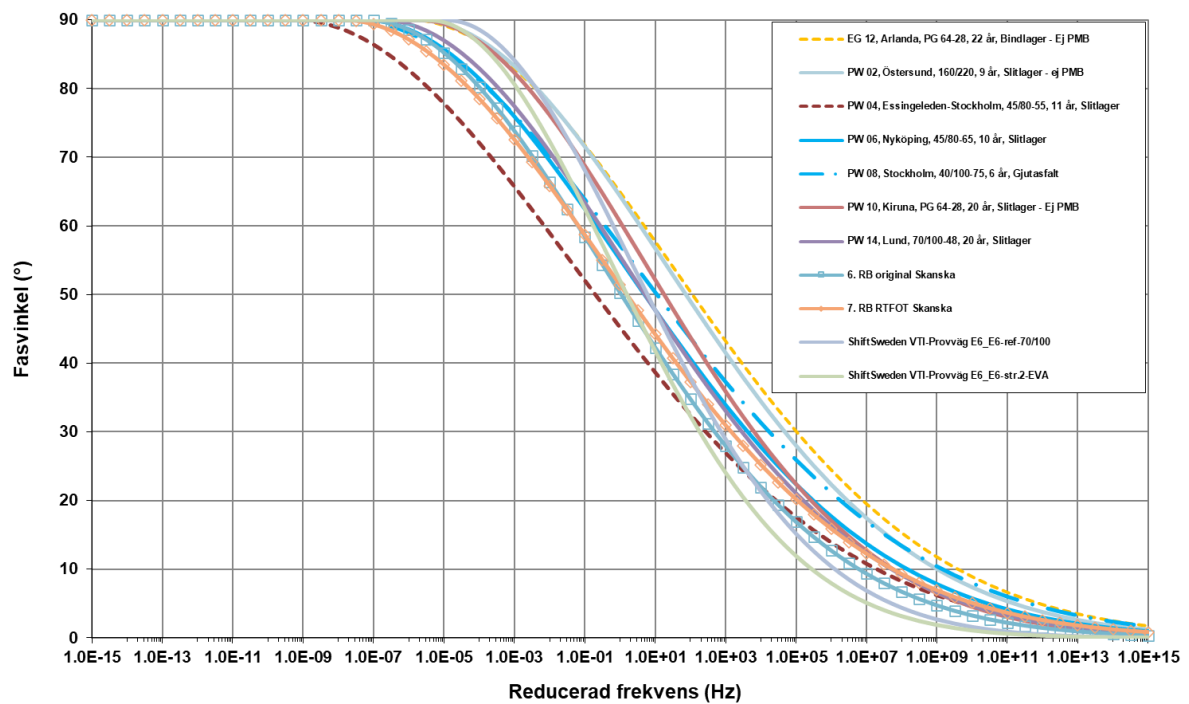
I Figur 20 och Figur 21 redovisas masterkurvor för dynamisk skjuvmodul ($|G^*|$) och fasvinkel (d) för de material som inte uppfyller kravet med avseende på %R från MSCR-testet (dvs, hamnar i den röda zonen).

Som nämnts betar sig dessa material mera som penetrationsbitumen. Den uppstyvande effekten vid låga frekvenser och/eller höga temperaturer uteblir och om fasvinklarna studeras kan inte den typiska S-formen, som indikerar PMB, alls observeras.

En jämförelse av fasvinklarna kan även ge en fingervisning om hur hårda materialen är. Ju längre till vänster i diagrammet fasvinkeln ligger desto hårdare är materialet. Jämförs Figur 19 och Figur 10 framgår att PW04 har en fasvinkel som ligger längst till vänster i figuren. Detta korrelerar även med högst T_{BTSV} (dvs. styvast material). Även returbitumen från ex-jobbet på LTH (6 & 7) ligger långt till vänster och har höga T_{BTSV} . Den andra ytterligheten är bindlagret EG12, som visade sig inte vara polymermodifierat, där fasvinkel ligger längst till höger i kombination med lägst T_{BTSV} (dvs, mjukast material).



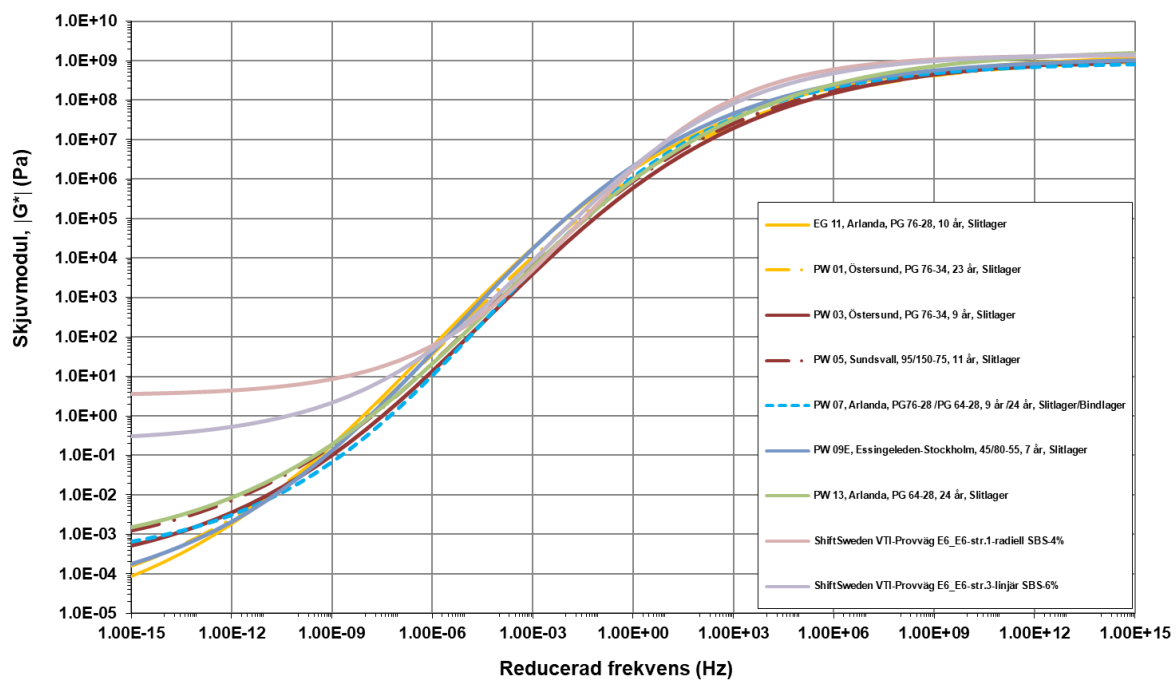
Figur 20 Masterkurvor för dynamisk skjuvmodul för de material som ej uppfyller krav på %R.



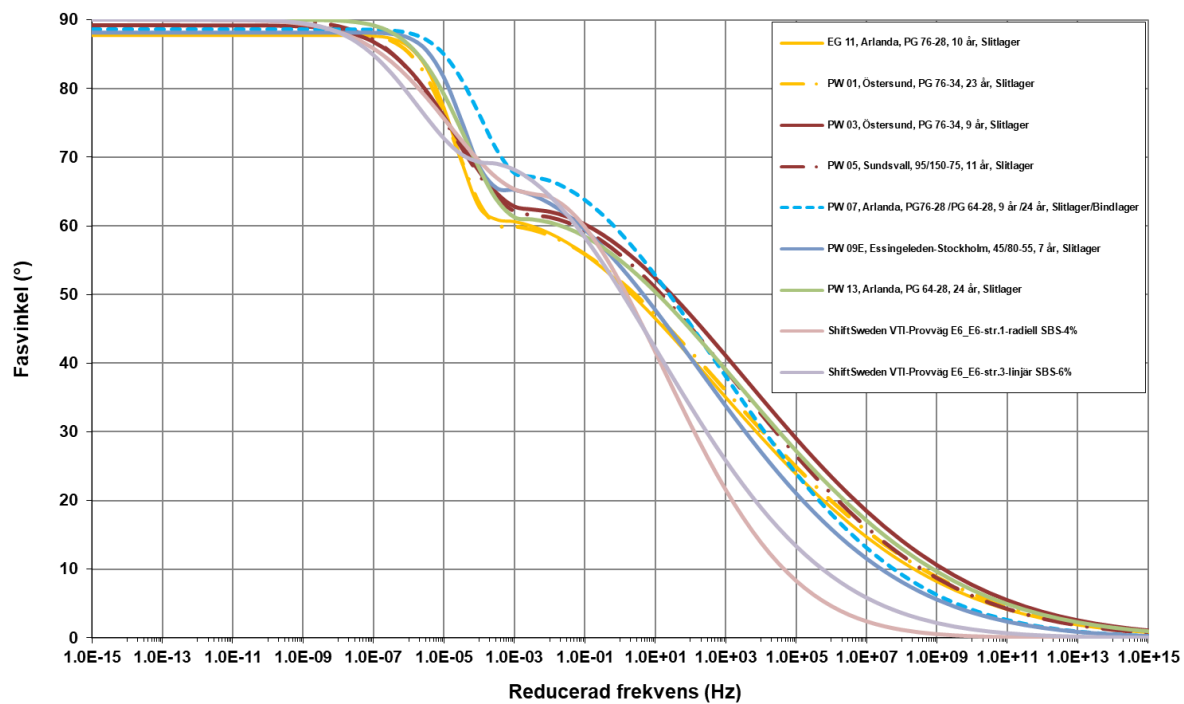
Figur 21 Masterkurvor för fasvinkel för de material som ej uppfyller krav på %R.

I Figur 22 och Figur 23 redovisas masterkurvor för dynamisk skjuvmodul ($|G^*|$) och fasvinkel (δ) för de material som uppfyller kravet med avseende på %R från MSCR-testet (dvs, hamnar utanför den röda zonen).

Även för dessa material kan det vara svårt att observera den uppstyvande effekten vid låga frekvenser och/eller höga temperaturer om materialen jämförs med nytt material. Undantaget är VTI-proverna, men här kan test- och analysmetodik, som diskuterats tidigare, spela viss roll. Detta kan indikera att polymeren till viss del åldrats och brutits ner. Studeras fasvinklarna blir bilden något annorlunda. I samtliga fall erhålls den för PMB så typiska S-formen för fasvinklarna. Dock ej lika uttalad som i fallet med nytt material. Detta indikerar att polymeren fortfarande är aktiv, vilket även bekräftas av MSCR-data, analysen av T_{BTSV} och δ_{BTSV} enligt Figur 10 samt FTIR-analysen enligt Tabell 4.



Figur 22 Masterkurvor för dynamisk skjuvmodul för de material som uppfyller krav på %R.



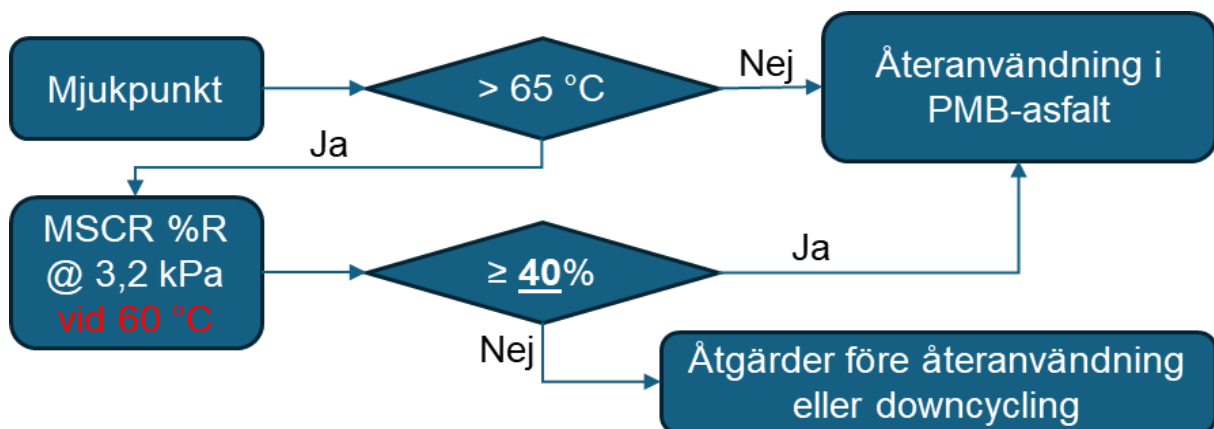
Figur 23 Masterkurvor för fasvinkel för de material som uppfyller krav på %R.

6. Slutsatser

Det omfattande materialet som undersökts visar att när mjukpunkten på bindemedlet från den provade returafalten analyseras till $>65^{\circ}\text{C}$, är samtliga MSCR-resultat för parameter %R vid 60°C högre än 40%.

Många polymermodifierade returafalter erhöill mjukpunkter $<65^{\circ}\text{C}$, precis som för vanliga åldrade penetrationsbitumen. Dessa är ok för återvinning enligt dagens regelverk, men vissa kravnivåer med avseende på mjukpunkt för färdig asfaltmassa med ett testintervall på 1 prov/5000 ton asfaltmassa måste uppfyllas. För att tillåta denna typ av returafalt i återanvändning till ny PMB-asfalt behöver kravnivåer på %R från MSCR-försök arbetas fram. Detta kommer att genomföras i etapp 2, inom ramen för Vinnova-projektet, där olika blandningsförhållanden av nytt PMB-bindemedel och återvunnet bindemedel kommer att testas.

Projektet föreslår preliminärt att när mjukpunkten är $>65^{\circ}\text{C}$ på det återvunna bindemedlet från returafalten måste %R @3,2kPa från MSCR-försök vid 60°C överstiga 40% för att materialet ska få återanvändas i ny PMB-asfalt, se Figur 24. Den föreslagna gränsen kommer att utvärderas och valideras ytterligare i framtida etapper av projektet.



Figur 24 Förslag på provningschema för returafalt till PMB-asfalt

Referenser

Airey, G.D (1997) - Rheological Characteristics of Polymer Modified and Aged Bitumens. PhD Thesis, the University of Nottingham.

Alisov, A., Riccardi, C., Schrader, J., Cannone Falchetto, A, & Wistuba, M, P, 2018, A Novel Method to Characterize Asphalt Binder at High Temperature, Road Materials and Pavement Design, Vol. 21, Issue 1, 143–155, Taylor & Francis, DOI: 10.1080/14680629.2018.1483258.

Andersson, Christoffer & Sulejmani, Pajtim, Undersökning av bitumen från asfalt med Dynamisk Skjuvreometer, DSR – Utveckling av mätteknik och jämförande bitumenstudier, Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle, Trafik och väg 2014, Thesis, 251, LUTVDG/(TVTT-5217)/1-114/2014.

Anton Paar <https://www.anton-paar.com/se-en/>

Baditha, A. K., Goli, A. K., Amaranatha Reddy, M., & Sudhakar Reddy, K. (2024). Thermal, rheological, and aging characterization of ethylene vinyl acetate polymer modified asphalt binder. Innovative Infrastructure Solutions, 9(8), 325. <https://doi.org/10.1007/s41062-024-01629-9>

Donald W, Christensen et al (2022) - National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022, Relationships Between the Fatigue Properties of Asphalt Binders and the Fatigue Performance of Asphalt Mixtures, Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26302>.

G.M Rowe (2017) - Binder Specifications with a Focus on Cracking, North East Asphalt User/Producer Group, October 18, 2017. <https://www.abatech.com/>

G.M Rowe (2019) - The development of the ΔT_c and Glover-Rowe parameters for the control of non-load associated cracking, 12th Conference on Asphalt Pavements for southern Africa, 13-16 October 2019, Sun city, South Africa. <https://www.abatech.com/>

G.M Rowe et al (2015) – Relaxation and Linear Visco-elastic Binder Properties and Asphalt Pavement Cracking, 52nd Petersen Asphalt Research Conference, Organized by Western Research Institute, July 13-15, 2015, Laramie, Wyoming.

<https://www.abatech.com/>

Jiqing Zhu et al (2021) - Bitumenegenskaper och skjuvmotstånd hos asfaltbeläggningar. Framtagning av en urvalsmodell för bitumen, VTI rapport 1084A, 2018/0519-9.2. VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut.

Kumar, Y., Singh, S. K., Oberoi, D., Kumar, P., Mohanty, P., & Ravindranath, S. S. (2020). Effect of molecular structure and concentration of styrene-butadiene polymer on upper service temperature rheological properties of modified binders. Construction and Building Materials, 249, 118790. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118790>

Mirwald, J., Khalighi, S., Varveri, A., Hofko, B., Adwani, D., Cannone Falchetto, A., ... & Zhu, J. (2025). Evaluating the reproducibility and consistency of different sample preparation techniques used for ATR-FTIR spectroscopy from the RILEM 295-FBB TG1 round robin test. Materials and Structures, 58(8), 255. <https://doi.org/10.1617/s11527-025-02755-1>

NCHRP Report 982 - National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2022, Relationships Between the Fatigue Properties of Asphalt Binders and the Fatigue Performance of Asphalt Mixtures, Washington, DC: The National Academies Press, <https://doi.org/10.17226/26302>.

R Bonaquist et al (2021) - National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021, Asphalt Binder Aging Methods to Accurately Reflect Mixture Aging, Washington, DC: The National Academies Press, <https://doi.org/10.17226/26089>.

Said, S., Carlsson, H., & Ahmed, A. (2021), Uppföljning av provväg E6 med polymermodifierade bundna lager: Uddevalla, (VTI rapport 1096), Statens väg-och transportforskningsinstitut. <https://vti.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1603806>

SS-EN 14770:2023 Bitumen och bituminösa bindemedel - Bestämning av komplex skjuvmodul och fasvinkel - Dynamisk skjuvreometer.

SS-EN 16659:2016 Bitumen och bituminösa bindemedel - Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCRT).

SS-EN 12697-3:2013+A1:2019 Vägmateriäl - Asfaltmassor - Provningsmetoder - Del 3: Återvinning av bindemedel: Rotationsindunstare.

SS-EN 1427:2015 Bitumen och bituminösa bindemedel - Bestämning av mjukpunkt - Kula och Ring-metoden.

Yan, C., Huang, W., Ma, J., Xu, J., Lv, Q., & Lin, P. (2020). Characterizing the SBS polymer degradation within high content polymer modified asphalt using ATR-FTIR. Construction and Building Materials, 233, 117708.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117708>

Zhu, J., Lu, X., Langfjell, M., & Gudmarsson, A. (2021), Quantitative relationship of fundamental rheological properties of bitumen with the empirical Ring and Ball softening point, Road Materials and Pavement Design, 22(sup1), ss,S345-S364.

<https://doi.org/10.1080/14680629.2021.1900898>

Zhu, J. (2025). Polymermodifierat bitumen i returafalt: En förstudie om bindemedelsegenskaper och tekniska krav. (VTI resultat 2025:10). Linköping: VTI.

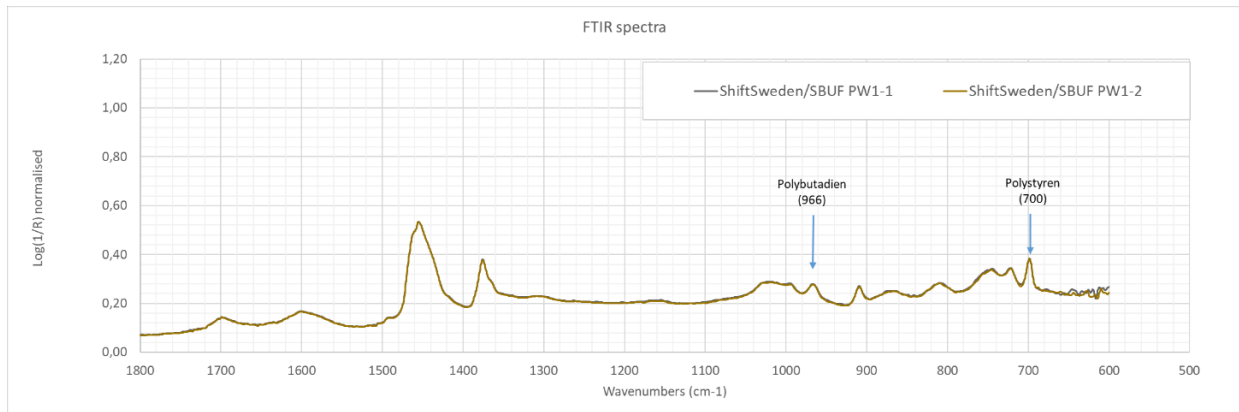
<https://vti.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A2022178>

Bilagor

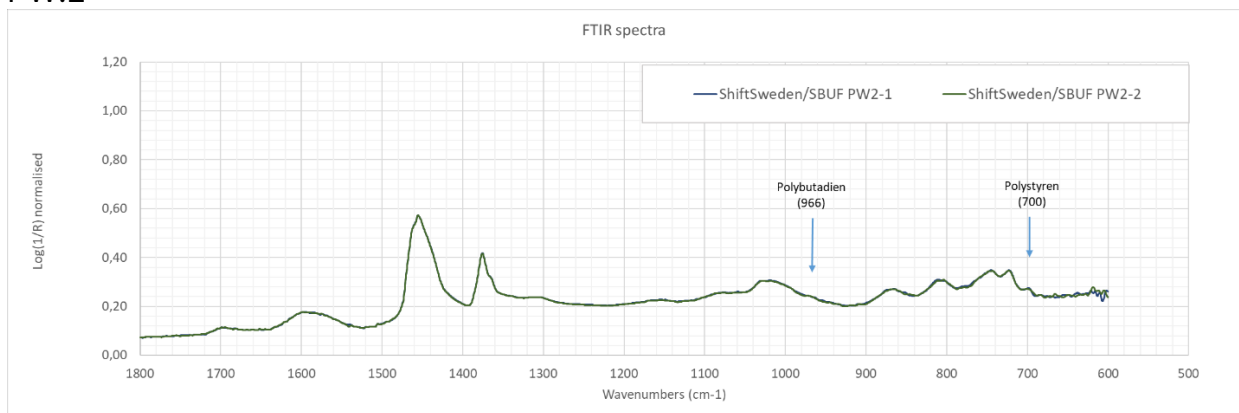
FTIR-bilagor

Prov, återvunnet bindemedel	Signalintensitet från SBS, polystyren vid 699 cm ⁻¹	Signalintensitet från SBS, vinylgrupp i 1,2-polybutadien vid 910 cm ⁻¹	Signalintensitet från SBS, polybutadien vid 966 cm ⁻¹	Signalintensitet från EVA, vinylacetat vid 1240 cm ⁻¹ och 1740 cm ⁻¹	Kommentar
#1	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
#2	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ej PMB.
#3	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
#4	Stark	Mycket svag	Stark	Ingen	PMB med SBS
#5	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
#6	Svag	Mycket svag	Mycket svag	Ingen	PMB med SBS, lågmodifierat
#7	Stark	Medelstark	Stark	Ingen	PMB med SBS
#8	Stark	Mycket svag	Stark	Ingen	PMB med SBS
#9	Stark	Medelstark	Stark	Ingen	PMB med SBS
#10	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ej PMB.
#11	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
#12	Svag	Mycket svag	Svag	Ingen	PMB med SBS, lågmodifierat
#13	Stark	Mycket svag	Stark	Ingen	PMB med SBS
#14	Medelstark	Mycket svag	Svag	Ingen	PMB med SBS, lågmodifierat
Ref. PMB-1	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
Ref. PMB-2	Stark	Stark	Stark	Ingen	PMB med SBS (hög vinylhalt)
Ref. PMB-3	Stark	Svag	Stark	Ingen	PMB med SBS
E6-70/100	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ej PMB.
E6-str.1	Stark	Ingen	Stark	Ingen	PMB med SBS
E6-str.2	Ingen	Ingen	Ingen	Stark	PMB med EVA
E6-str.3	Stark	Ingen	Stark	Ingen	PMB med SBS

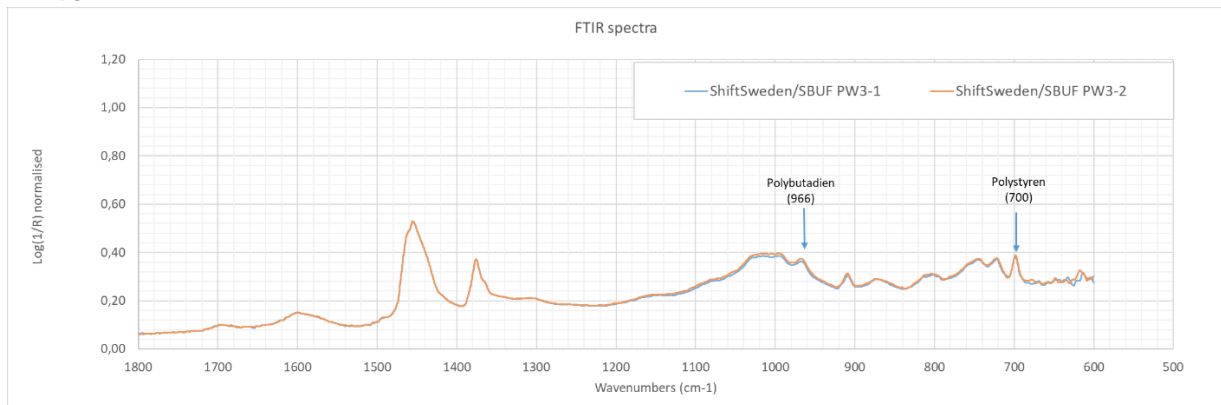
PW:1



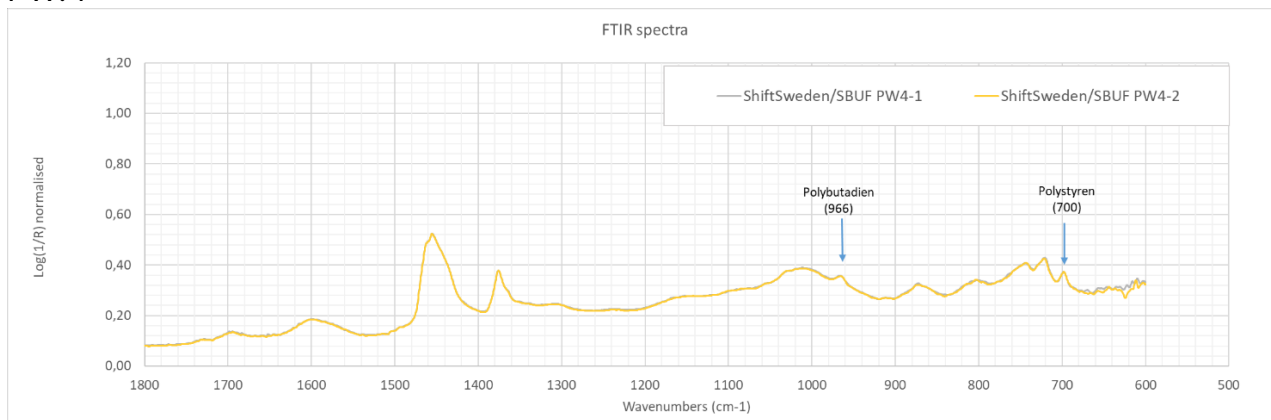
PW:2



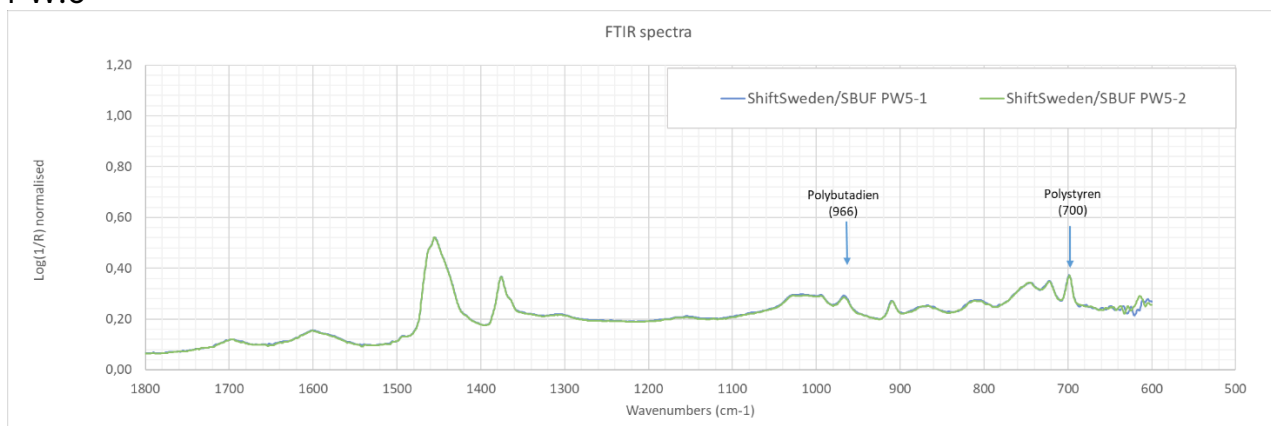
PW:3



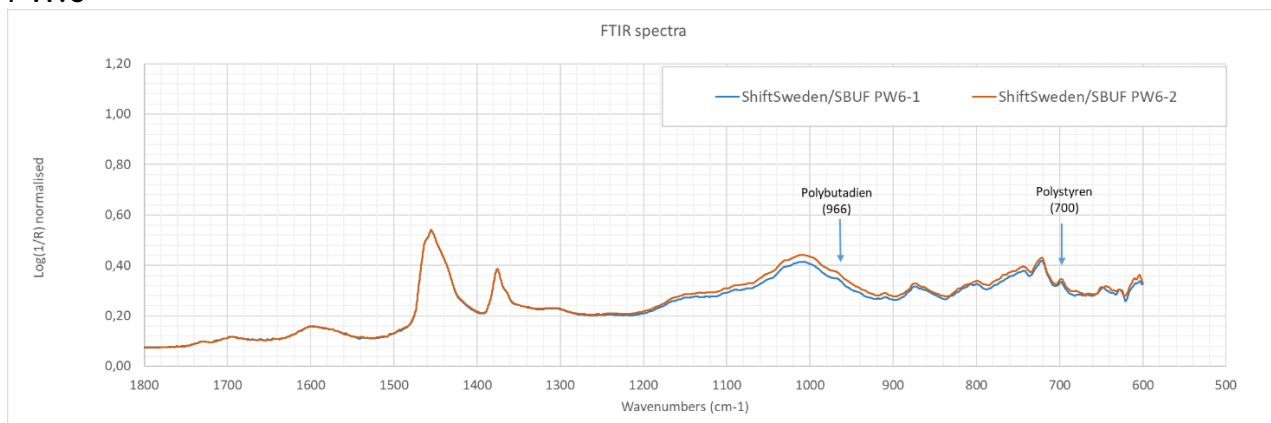
PW:4



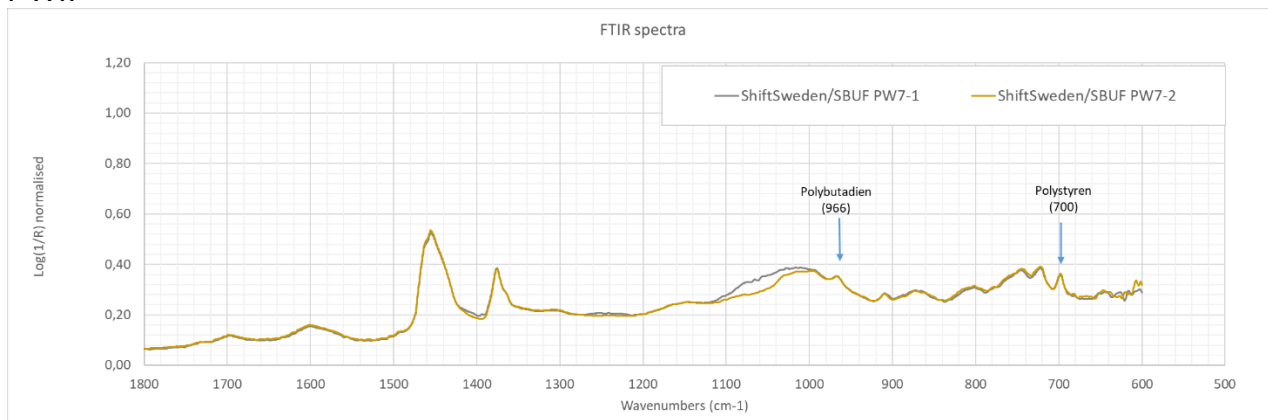
PW:5



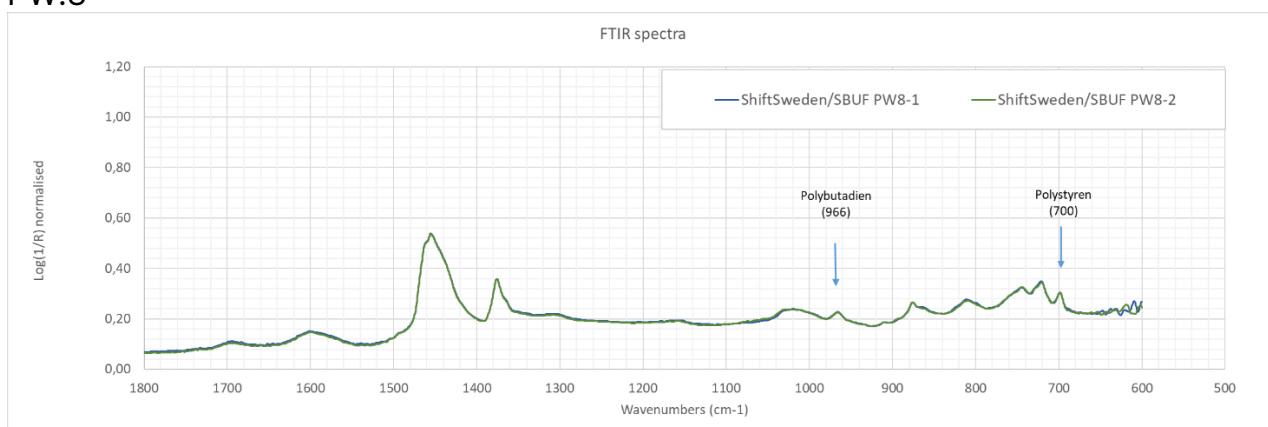
PW:6



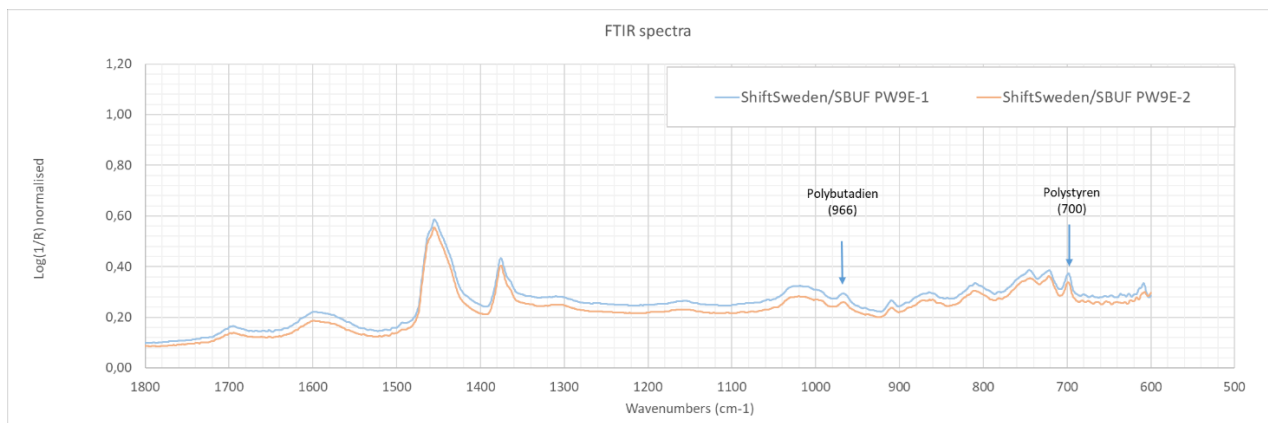
PW:7



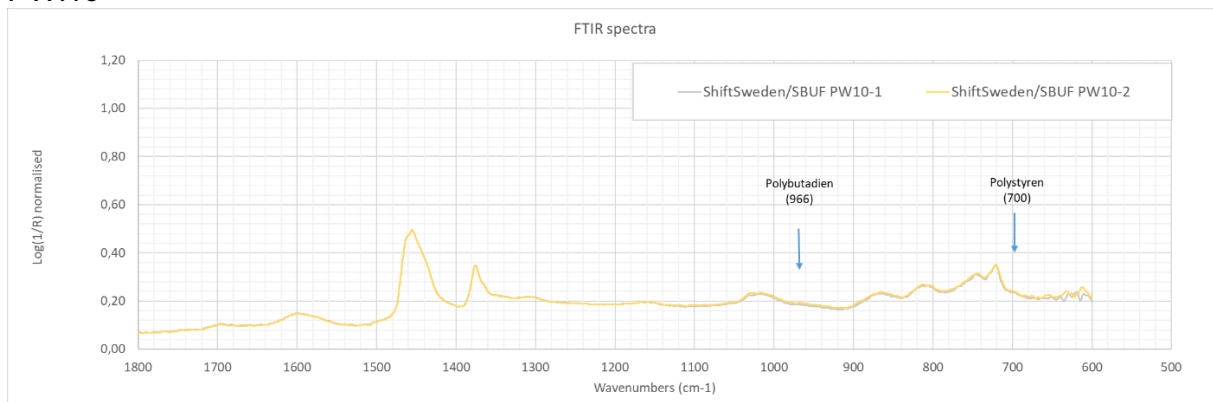
PW:8



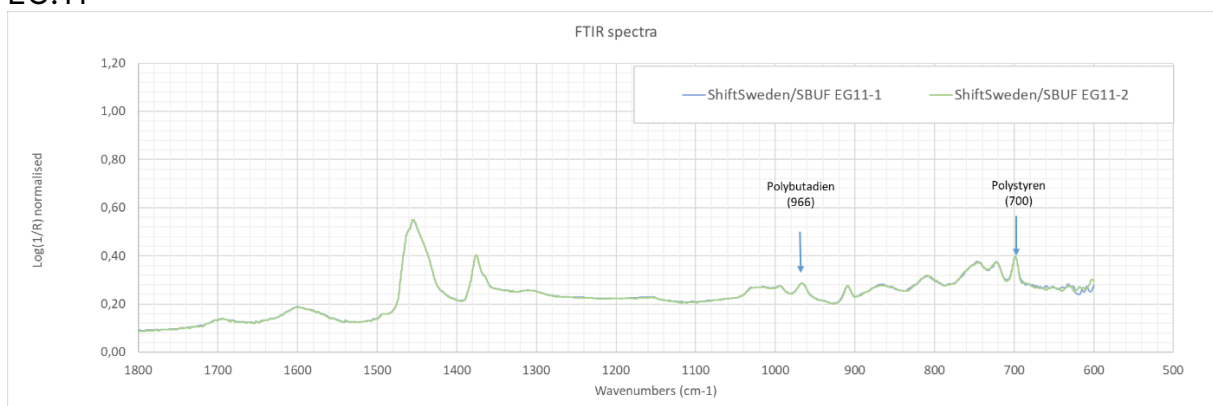
PW:9



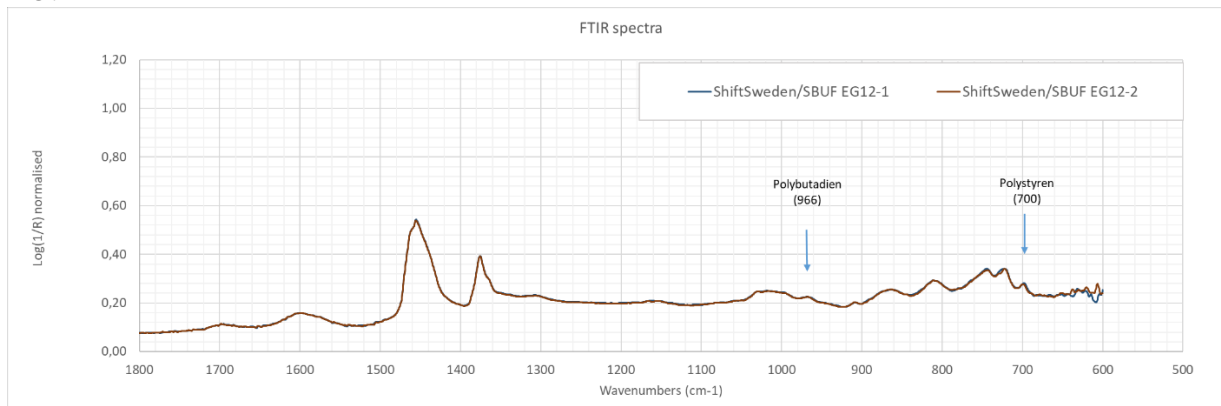
PW:10



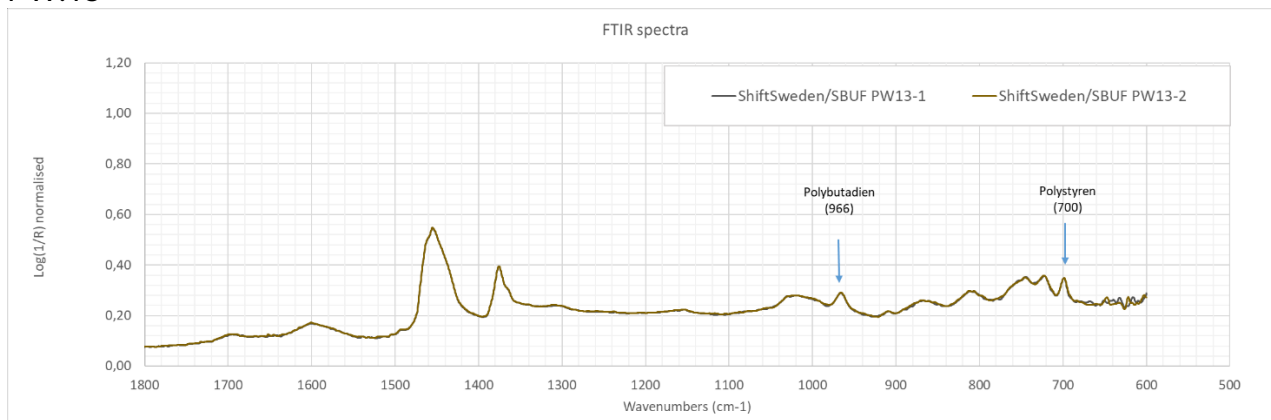
EG:11



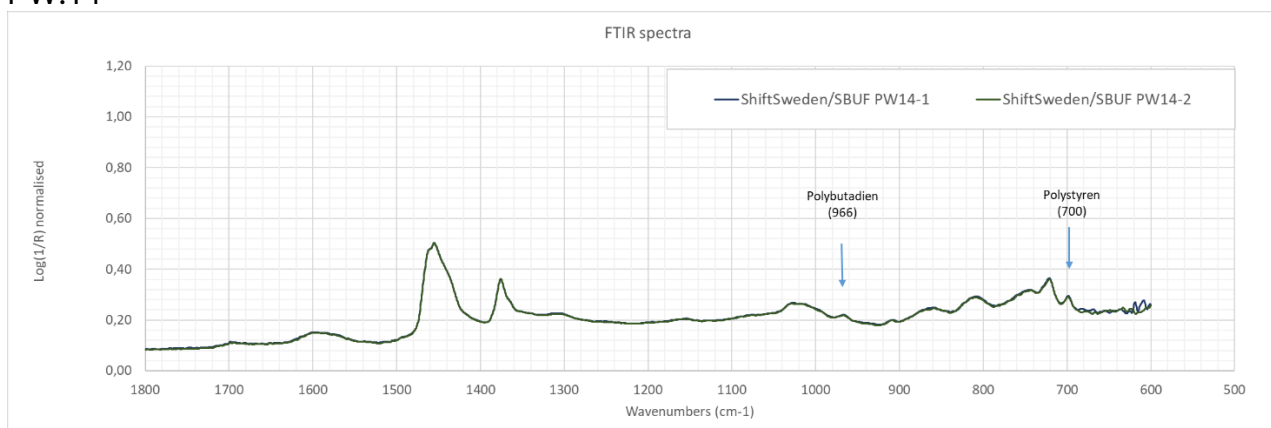
EG:12



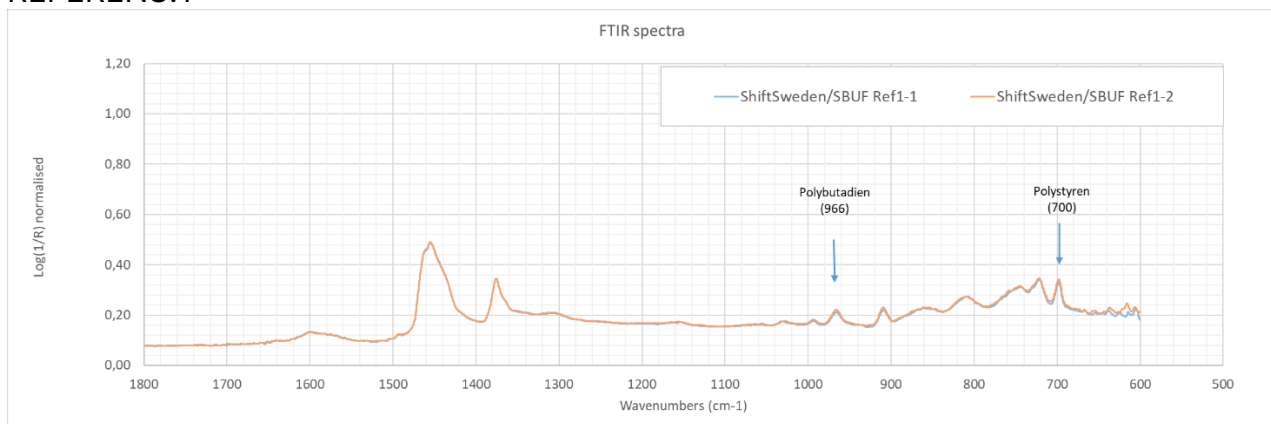
PW:13



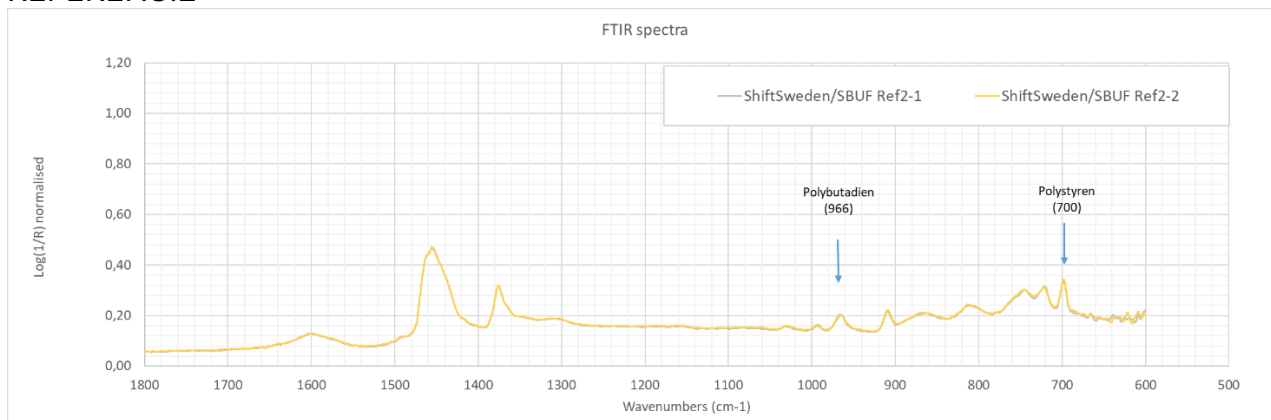
PW:14



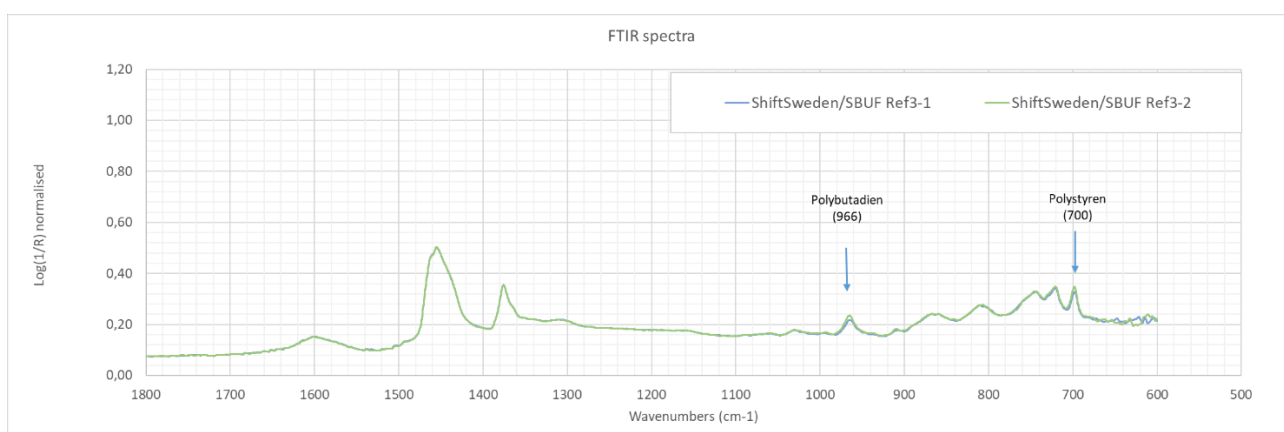
REFERENS:1



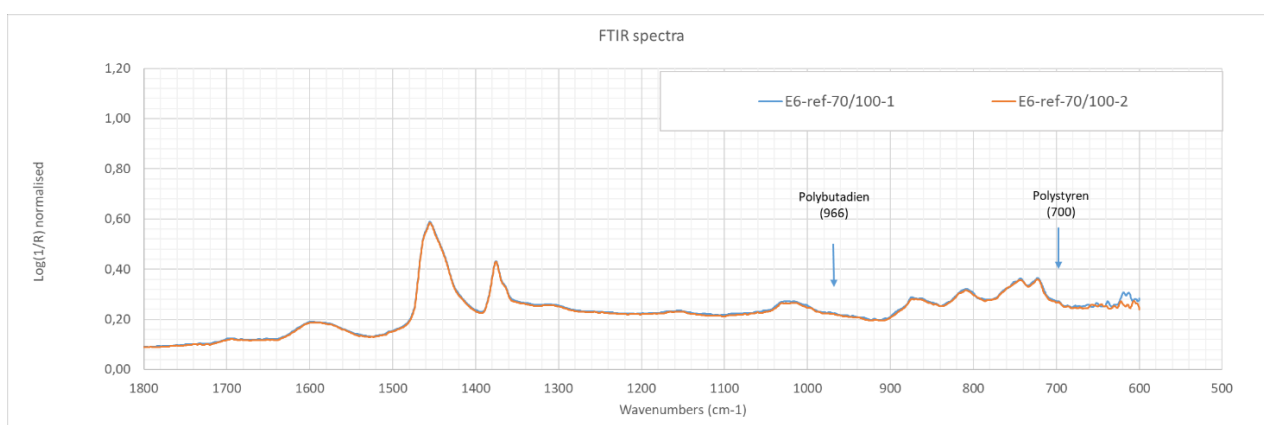
REFERENS:2



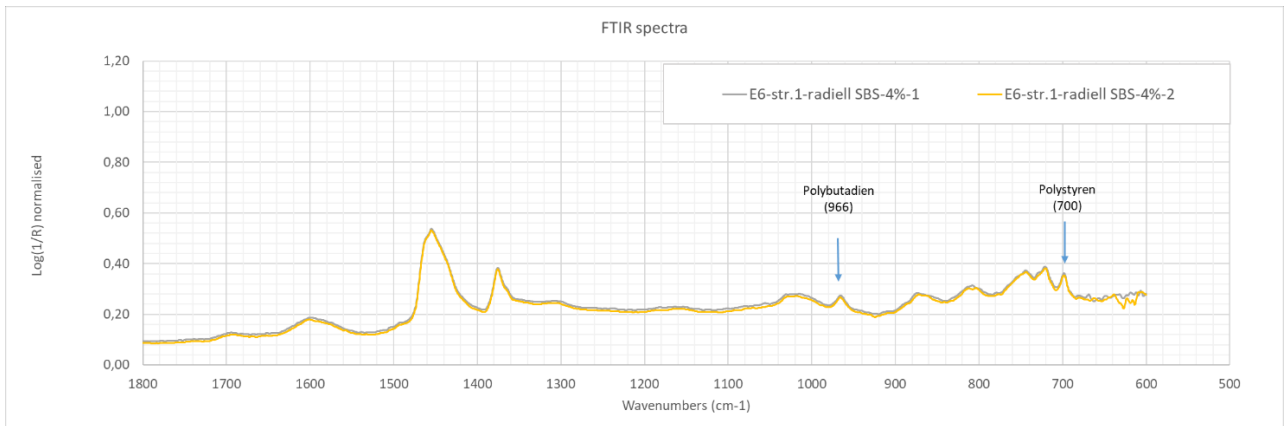
REFERENS:3



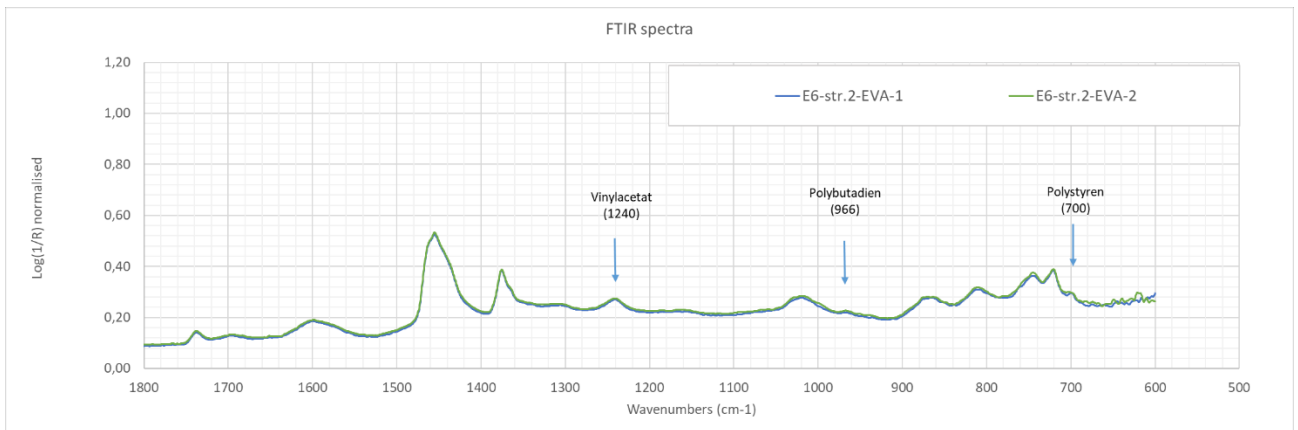
E6 ref 70/100



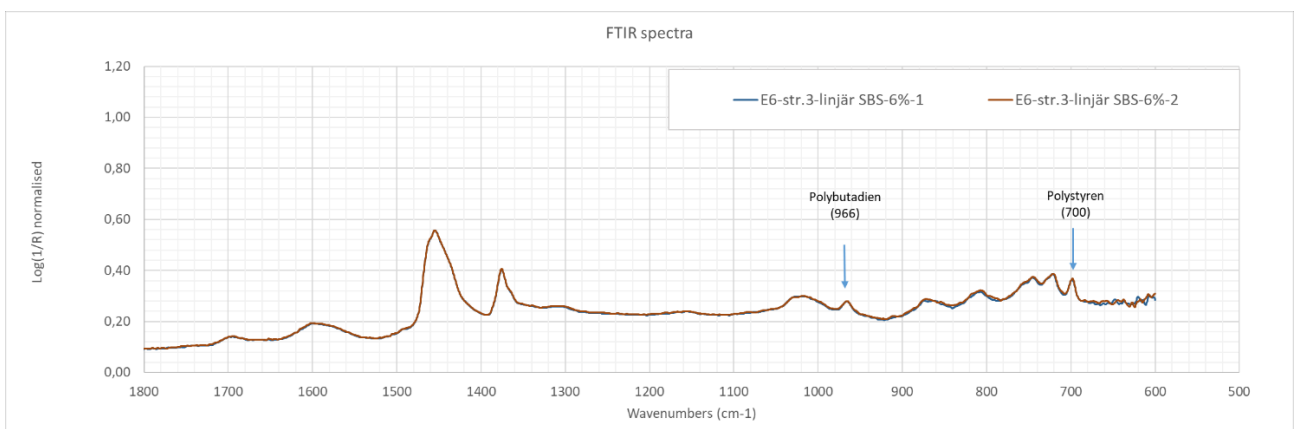
E6 str 1 radiell SBS 4%



E6 str 2 EVA





E6 str 3 linjär SBS 6%





MSCR-bilagor





Analys Bitumen		Provnummer: 11B260011		Sidan 1 av 1	
Beställare Skanska industrial Solutions AB	Provtagningsdatum	Analysdatum 2026-12-08		Ankomstdatum	
Mänskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör	ID-nummer	Provtagare		Följesedels nr	
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB	Märkning PW1	Levererande Asfaltverk		Levererande Depå	
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt					
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT					
R vid 0,1 kPa		%	69,8		
R vid 3,2 kPa		%	64,9		
R diff		%	7,0		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,127		
Jnr vid 3,2 kPa		1/kPa	0,153		
Jnr diff		%	20,5		
Notering					
			Ort och datum Gunnåse, 2026-01-12  Eric Gardner, Digitalt utfärdad signatur		


Analys Bitumen		Provnummer: 11B260012		Sidan 1 av 1	
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum	Analysdatum 2025-12-10		
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm		Ankomstdatum			
Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		ID-nummer	Provtagare		
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		Provtagningsplats	Följesedels nr		
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt		Märkning PW2	Levererande Asphaltverk		
			Levererande Depå		
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT	60,0				
R vid 0,1 kPa		%	6,9		
R vid 3,2 kPa		%	1,2		
R diff		%	82,6		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	2,492		
Jnr vid 3,2 kPa		1/kPa	2,841		
Jnr diff	%	14,0			
Notering					
			Ort och datum Gunnilse, 2026-01-12  Eric Gardner, Digitalt utfärdad signatur		


Analys Bitumen		Provnummer: 11B260013		Sidan 1 av 1	
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum	Analysdatum 2025-12-15		
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm		Ankomstdatum			
Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		ID-nummer	Provtagare		
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		Provtagningsplats	Följesedels nr		
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt		Märkning PW3	Levererande Asfaltverk		
		Levererande Depå			
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT					
R vid 0,1 kPa		%	72,6		
R vid 3,2 kPa		%	56,3		
R diff		%	22,5		
Jnr vid 0,1 kPa		1k/Pa	0,228		
Jnr vid 3,2 kPa		1k/Pa	0,388		
Jnr diff		%	70,2		
Notering					
			Ort och datum Gunnilse, 2026-01-12		
			 Eric Gardner, Digitalt utfärdad signatur		


Analys Bitumen		Provnummer: 11B260014		Sidan 1 av 1	
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum	Analysdatum		
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		Ankomstdatum			
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		ID-nummer	Provtagare		
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt		Provtagningsplats	Följesedels nr		
		Märkning PW4	Levererande Asfaltverk		
		Levererande Depå			
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT					
R vid 0,1 kPa		%	56,7		
R vid 3,2 kPa		%	53,9		
R diff	60,0	%	4,9		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,075		
Jnr vid 3,2 kPa		1/kPa	0,082		
Jnr diff		%	9,3		
Notering					
			Ort och datum		
			Gunnise, 2026-01-12		
					
			Eric Gardner,		
			Digitalt utfärdad signatur		


Analys Bitumen		Provnummer: 11B260022		Sidan 1 av 1	
Beställare Skanska Industrial Solutions AB		Provtagningsdatum		Analysdatum 2025-11-13	
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		Ankomstdatum		ID-nummer	
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		Provtagningsplats		Följesedels nr	
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt		Märkning PW5 Levererande Asfaltverk		Levererande Depå	
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT	60,0	%	69,5		
R vid 0,1 kPa		%	60,1		
R vid 3,2 kPa		%	13,5		
R diff		1/kPa	0,186		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,261		
Jnr vid 3,2 kPa		%	40,323		
Jnr diff					
Notering			Ort och datum Gunnilse, 2026-01-16		
			 Eric Gardner, Digitalt utfärdad signatur		


Analys Bitumen		Provnummer: 11B260023		Sidan 1 av 1	
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum	Analysdatum 2025-11-13		
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm		Ankomstdatum			
Kontaktperson Kenneth Olsson		ID-nummer	Provtagare		
Entreprenör		Provtagningsplats	Följesedels nr		
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		Märkning PW6	Levererande Asfaltverk		
Produkt Atervunnet bitumen från returafalt		Levererande Depå			
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT	60,0				
R vid 0,1 kPa		%	56,7		
R vid 3,2 kPa		%	20,2		
R diff		%	64,4		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,403		
Jnr vid 3,2 kPa		1/kPa	0,448		
Jnr diff		%	11,166		
Notering					
			Ort och datum Gunnilse, 2026-01-16		
			 Eric Gardner, Digitalt utfärdad signatur		


Analys Bitumen		Provnumme 11B26002		Sida a 1	
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum	Analysdatum 2025-11-18		
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm		Ankomstdatum			
Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		ID-nummer	Provtagare		
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		Provtagningsplats	Följesedels nr		
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt		Märkning PW7	Levererande Asphaltverk		
		Levererande Depå			
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT	60,0				
R vid 0,1 kPa		%	48,2		
R vid 3,2 kPa		%	37,7		
R diff		%	21,8		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,390		
Jnr vid 3,2 kPa		1/kPa	0,488		
Jnr diff		%	25,128		
Notering		Ort och datum			
		Gunnåse, 2026-01-16			
					
		Eric Gardner, Digitalt utfärdad signatur			


Analys Bitumen		Provnummer: 11B260025		Sidan 1 av 1		
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum	Analysdatum			
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm		Ankomstdatum	2025-11-19			
Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		ID-nummer	Provtagare			
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		Provtagningsplats	Följesedels nr			
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt		Märkning PW8	Levererande Asfaltverk			
		Levererande Depå				
Provresultat		Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT		60,0	%	32,3		
R vid 0,1 kPa			%	15,0		
R vid 3,2 kPa			%	53,6		
R diff			1/kPa	0,950		
Jnr vid 0,1 kPa			1/kPa	1,370		
Jnr vid 3,2 kPa			%	44,211		
Jnr diff						
Notering						
			Ort och datum			
			Gunnåse, 2026-01-16			
						
			Eric Gardner,			
			Digitalt utfärdad signatur			


Analys Bitumen		Provnummer: 11B260026		Sidan 1 av 1	
Beställare Skanska industrial Solutions A		Provtagningsdatum	Analysdatum		
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		Ankomstdatum	2025-11-25		
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		ID-nummer	Provtagare		
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt		Provtagningsplats	Följesedels nr		
		Märkning	9E		
		Levererande	Asfaltverk		
		Levererande Depå			
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT					
R vid 0,1 kPa		%	52,6		
R vid 3,2 kPa		%	48,2		
R diff		%	8,4		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,167		
Jnr vid 3,2 kPa		1/kPa	0,187		
Jnr diff		%	11,976		
Notering					
			Ort och datum		
			Gunnilse, 2026-01-16		
					
			Eric Gardner,		
			Digitalt utfärdad signatur		


Analys Bitumen		Provnummer: 11B260027		Sidan 1 av 1		
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum	Analysdatum			
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm		Ankomstdatum	2025-11-24			
Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		ID-nummer	Provtagare			
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		Provtagningsplats	Följesedels nr			
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt		Märkning PW10	Levererande Asfaltverk			
		Levererande Depå				
Provresultat		Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT		60,0	%	5,8		
R vid 0,1 kPa			%	1,1		
R vid 3,2 kPa			%	81,0		
R diff			1/kPa	1,866		
Jnr vid 0,1 kPa			1/kPa	2,095		
Jnr vid 3,2 kPa			%	12,3		
Notering						
				Ort och datum		
				Gunnise, 2026-01-16		
						
				Eric Gardner,		
				Digitalt utfärdad signatur		


Analys Bitumen		Provnummer: 11B260028		Sidan 1 av 1	
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum		Analysdatum 2025-11-26	
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm		Ankomstdatum			
Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		ID-nummer		Provtagare	
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		Provtagningsplats		Följesedels nr	
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt		Märkning EG11		Levererande Asphaltverk	
		Levererande Depå			
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT	60,0				
R vid 0,1 kPa		%	66,4		
R vid 3,2 kPa		%	63,0		
R diff		%	5,1		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,106		
Jnr vid 3,2 kPa		1/kPa	0,122		
Jnr diff	%	15,1			
Notering					
				Ort och datum	
				Gunnise, 2026-01-16	
					
				Eric Gardner,	
				Digitalt utfärdad signatur	


Analys Bitumen		Provnummer: 11B260029		Sidan 1 av 1	
Beställare Skanska Industrial Solutions AB		Provtagningsdatum	Analysdatum	2025-11-27	
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm		Ankomstdatum			
Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		ID-nummer	Provtagare		
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		Provtagningsplats	Följesedels nr		
Produkt Atervunnet bitumen från returafalt		Märkning EG12	Levererande Asfaltverk		
		Levererande Depå			
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT	60,0	%	12,9		
R vid 0,1 kPa		%	2,6		
R vid 3,2 kPa		%	79,8		
R diff		1/kPa	3,232		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	3,998		
Jnr vid 3,2 kPa		%	23,7		
Notering			Ort och datum		
			Gunnilse, 2026-01-16		
					
			Eric Gardner, Digitalt utfärdad signatur		

Analys Bitumen		Provnummer: 11B260030		Sidan 1 av 1	
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum	Analysdatum		
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		Ankomstdatum			
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		ID-nummer	Provtagare		
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt		Provtagningsplats	Följesedels nr		
		Märkning PW13	Levererande Asfaltverk		
		Levererande Depå			
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT	60,0				
R vid 0,1 kPa		%	70,9		
R vid 3,2 kPa		%	68,2		
R diff		%	3,8		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,142		
Jnr vid 3,2 kPa		1/kPa	0,157		
Jnr diff	%	10,6			
Notering			Ort och datum		
			Gunnilse, 2026-01-16		
					
			Eric Gardner,		
			Digitalt utfärdad signatur		

Analys Bitumen		Provnummer	11B260031	Side	ε	1
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum	Analysdatum 2025-12-05			
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		Ankomstdatum				
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		ID-nummer	Provtagare			
Produkt Återvunnet bitumen från returafalt		Provtagningsplats	Följesedels nr			
		Märkning PW14	Levererande Asfaltverk			
		Levererande Depå				
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser	
SS-EN 16659:2016, MSCRT	60,0					
R vid 0,1 kPa		%	29,4			
R vid 3,2 kPa		%	19,8			
R diff		%	32,7			
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,619			
Jnr vid 3,2 kPa		1/kPa	0,738			
Jnr diff	%	19,2				
Notering						
			Ort och datum Gunnåse, 2026-01-16			
			 Eric Gardner, Digitalt utfärdad signatur			

Analys Bitumen		Provnummer 11B260008		Sida 1	
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum		Analysdatum 2025-11-10	
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm		Ankomstdatum			
Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		ID-nummer		Provtagare	
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returasfalt med PMB		Provtagningsplats		Följesedels nr	
Produkt Nytt bitumen		Märkning Referens 1		Levererande Asfaltverk	
		Levererande Depå			
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT	60,0				
R vid 0,1 kPa		%	77,2		
R vid 3,2 kPa		%	53,8		
R diff		%	30,3		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,267		
Jnr vid 3,2 kPa		1/kPa	0,605		
Jnr diff		%	126,6		
Notering					
			Ort och datum Gunnåse, 2026-01-12		
			 Eric Gardner, Digitalt utfärdad signatur		

Analys Bitumen		Provnummer	11B260009	Sida	ε	1
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum	Analysdatum			
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm		Ankomstdatum	2026-01-12			
Kontaktperson Kenneth Olsson Entreprenör		ID-nummer	Provtagare			
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		Provtagningsplats	Följesedels nr			
Produkt Nytt bitumen		Märkning	Referens 2			
		Levererande Asfaltverk				
		Levererande Depå				
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser	
SS-EN 16659-2016, MSCRT	60,0	%	97,8			
R vid 0,1 kPa		%	98,9			
R vid 3,2 kPa		%	0,9			
R diff		1/kPa	0,010			
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,130			
Jnr vid 3,2 kPa		%	1200			
Jnr diff						
Notering						
			Ort och datum			
			Gunnise, 2026-01-12			
						
			Eric Gardner,			
			Digitalt utfärdad signatur			

Analys Bitumen		Provnummer 11B260010		Sida 1	
Beställare Skanska industrial Solutions AB		Provtagningsdatum		Analysdatum 2025-11-12	
Månskärsvägen 10 A 141 25 Stockholm Kontaktperson		Ankomstdatum			
Entreprenör		ID-nummer		Provtagare	
Objekt SBUF-projekt: Högvärdig återvinning av returafalt med PMB		Provtagningsplats		Följesedels nr	
Produkt Nytt bitumen		Märkning Referens 3		Levererande Asfaltverk	
		Levererande Depå			
Provresultat	Provnings-temperatur °C	Enhet	Resultat	Tillåtna toleranser	Avvikelser
SS-EN 16659:2016, MSCRT	60,0				
R vid 0,1 kPa		%	94,5		
R vid 3,2 kPa		%	90,7		
R diff		%	4,0		
Jnr vid 0,1 kPa		1/kPa	0,072		
Jnr vid 3,2 kPa		1/kPa	0,130		
Jnr diff		%	80,5		
Notering					
			Ort och datum Gunnise, 2026-01-12		
			 Eric Gardner, Digitalt utfärdad signatur		