



PROJEKTNR. 14372

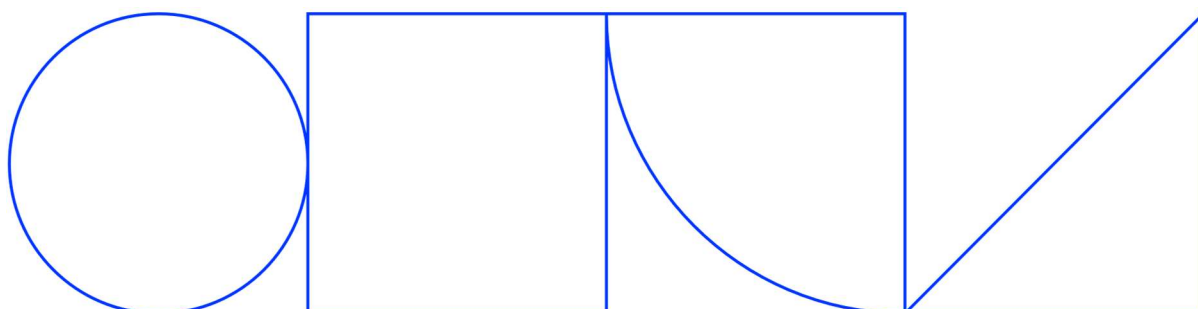
Undersökning av homogenisering av bitumen vid tillverkning med returasfalt.

Utvärdering av modifierad metod av bitumenåtervinning för provning

Eric Gardner
Skanska

2026-01-14

SKANSKA



1 Förord

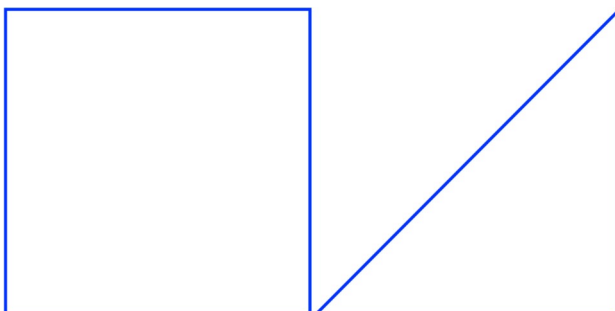
Detta projekt har till stor del genomförts genom finansiellt stöd från SBUF. Även stöd från medverkande entreprenörer och Trafikverket, har varit till hjälp för att vägleda projektet genom att bidra med sin tid och expertis. Så jag vill tacka SBUF och referensgruppen, för att ni möjliggjorde detta projekt. Ett kompletterande slutmöte har genomförts i december 2025.

Referensgrupp

Khalid Khader	NCC
Kenneth Lind	Trafikverket
Richard Nilsson	Skanska Industrial Solution
Jenny-Ann Östlund	PEAB
Mattias Andersson	SVEVIA

Projektledare

Eric Gardner	Skanska Teknik
--------------	----------------



Sammanfattning

Krav på minskad användning av naturresurser som bitumen och stenmaterial, ökar behovet av återvinning av gammal asfaltbeläggning. Den gamla asfalten krossas till returasfalt (RA) och blandas in vid tillverkning av ny asfaltmassa. Bituminet i asfalten oxiderar och blir styvare med åren ute på vägen. En utmaning vid tillsättning av returasfalt kan vara att få en homogen blandning tillsammans med nytillsatt mjukare bitumen. En inhomogen blandning kan leda till stabilitetsproblem och blödande beläggningar.

Vid otillräcklig blandning kan bituminet i returasfalten i stället för att blandas med den nya oljan bilda små klumpar som agerar mer som filler i blandningen snarare än olja. Fenomenet är känt som "blackrock", och är mycket svårt att bedöma till vilken grad det förekommer i asfalt med återvinning. I vissa studier har det påvisats att det kan bli svårare att blanda returasfalten till en homogen blandning tillsammans med nytillsatt bitumen vid tillverkning av ny massa. I en studie av Baoshan m.fl (2005) provades returasfalt som extraherades i flera steg genom tvätt med lösningsmedel. Där sågs tydliga skillnader mellan bitumenproverna från de olika tvättstegen, som indikerar på att massan inte var homogent blandad. Målet i föreliggande studie var att prova en modifierad version av denna metod genom en extraktion med tvättprogram i asfaltanalysator för att se om det gav samma skillnader på asfaltmassa innehållande RA. Tanken med den modifierade metoden var att få en snabbare och mer arbetsmiljövänlig metod.

Fyra asfaltmassor med hög halt RA och ett prov utan RA, valdes ut, från två verk med varmtillsättning, ett verk med kalltillsättning och ett verk med ringtillsättning. Asfaltanalysatorn modifierades för att få ett tvättprogram med så få tvättcykler som möjligt. Det gick dock inte att utföra färre än två cykler och det krävdes en tvätttrumma som var fylld till 3/4, för att inte allt bitumen i asfaltprovet skulle extraherats redan efter första tvättcyklen. För att jämföra bituminets egenskaper efter de olika tvättcyklerna, bestämdes mjukpunkt, och provning med Dynamic shear Rheometer (DSR) utfördes på samtliga prover. Detta är metoder som kräver små mängder prov och är därför lämpliga metoder, efter återvinning.

Ett försök med att replikera exakt den metod som (Baoshan Huang, 2005) utförde i sin studie genomfördes på Svevia's laboratorium i Umeå. Det utvunna bituminet från båda metoderna och de olika tvättcyklerna, analyserades och resultatet visade på små skillnader både på mjukpunkt och med DSR-analyser. De två tvättcyklerna som var minimum med asfaltanalysatorn gav en betydligt längre lösningstid än metodiken som genomfördes 2005. Detta kan ha bidragit till att vi inte kunde se några skillnader mellan de olika tvättcyklerna.

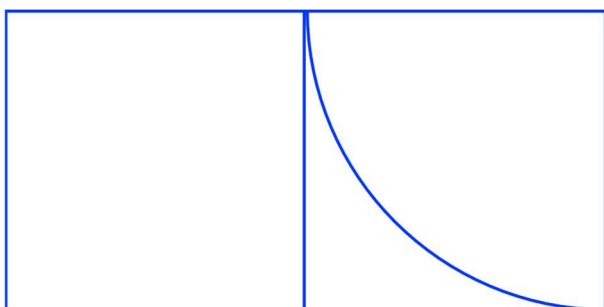
Den mest troliga slutsatsen som kan dras från föreliggande studie är att materialproverna är så pass homogena att det inte finns någon blackrock i något prov. Det går dock inte att till fullo verifiera den framtagna metodens förmåga att ta fram provmaterial som kan användas för att undersöka om en given asfaltmassa innehåller blackrock. Detta då inga skillnader i bitumenegenskaper mellan de olika körningarna erhöles.

Innehållsförteckning

1	Förord	1
1.	Bakgrund	4
2.	Syfte	7
3.	Metod	8
4.	Materialprovning	12
5.	Resultat	15
6.	Diskussion	21
7.	Slutsatser	23
8.	Litteraturförteckning	24

Bilagor

Sammanställning utav masterkurvor



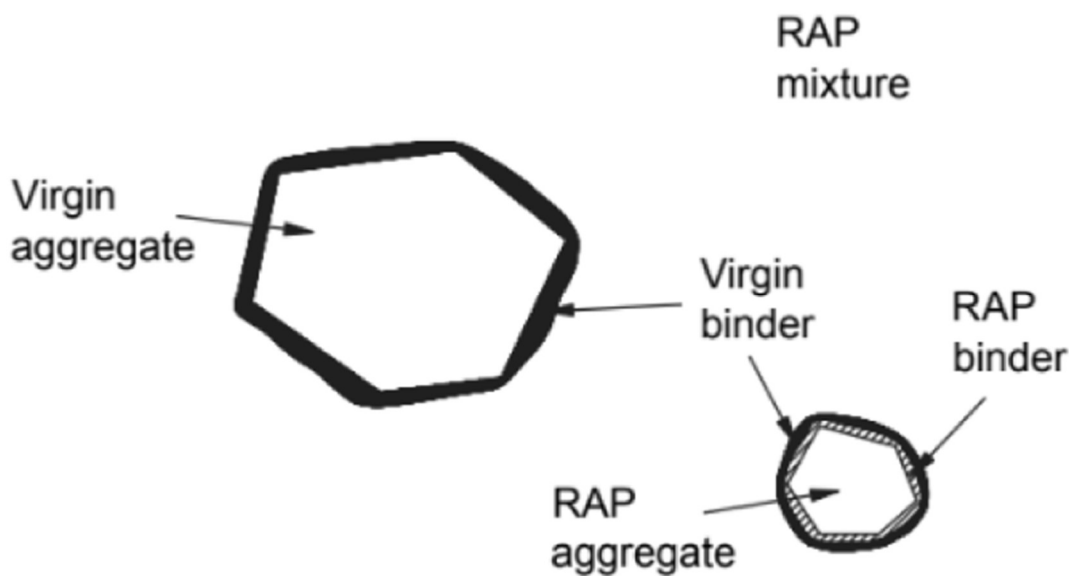
1. Bakgrund

Inom anläggningsbranschen står asfalt, betong och stål för cirka 80 procent av klimatpåverkan från byggskedet och drift och underhåll av statliga vägar och järnvägar står för ca 40 procent av den samlade klimatpåverkan. Detta innebär att det är centralt att dessa frågor får ett stort fokus då finns det stor potential till stora utsläppsminskningar genom att öka de cirkulära material- och produktflödena.

Under många år har byggbranschen jobbat för att minska resursanvändningen och en av de bästa metoderna för att uppnå detta är ökad återvinning av redan använda material. Ökade krav från omvärlden på bruk av naturresurser som råolja för bitumen utökar behovet av att hitta lösningar. För asfalt sker detta i form av återvinning av gammal asfaltbeläggning som frästs upp från befintlig väg, returasfalt (RA). Asfalt är i teorin 100 procent återvinningsbar men begränsas i praktiken av faktorer som bristande kunskap om returasfaltens sammansättning, dess hantering, val av återvinningsmetod och verkens uppbyggnad. Den huvudsakliga anledningen till gapet mellan teorin och verkligheten ligger i osäkerheterna som asfaltgranulatet tillför (Olsson, 2019).

Returasfalten tillsätts i produktionen av ny asfalt och den består av både stenmaterial och bitumen. Stenmaterialet åldras inte medan bituminet däremot oxiderar över tid då det ligger på vägen och dess egenskaper förändras. Detta innebär bland annat att bituminet blir styvare och sprödare. I vissa studier har det påvisats att det kan bli svårare att blanda med returasfalten det till en homogen blandning tillsammans med nytillsatt bitumen vid tillverkning av ny massa (Baoshan Huang, 2005).

Vid otillräcklig blandning kan bituminet i returasfalten i stället för att blandas med den nya oljan bilda små klumpar som agerar mer som filler i blandningen snarare än olja som principiellt visas Figur 1. Fenomenet är känt som "blackrock", och är mycket svårt att bedöma till vilken grad det förekommer i asfalt med återvinning. Om det uppstår kan den återvunna asfalten betraktas som stenmaterial d.v.s. bindemedlet är så åldrat att det inte längre har några bindemedelslika egenskaper och det kommer heller inte att blandas med nytillsatt bindemedel. För blandning av bindemedel i massabeläggning är sambanden emellertid komplexa och svåra att bestämma genom mätningar då dessa behöver utföras på massaprover som ger en, ur bindemedelssynpunkt, utjämnande effekt (Ekblad & Lundström, 2014). Problematiken med blackrock diskuteras i en nyligen publicerad artikel och där lyfts b.l.a svårigheterna om att veta hur stor andel av bitumenet som tillgodogörs från den tillsatta returasfalten (Allen, 2024). Detta kan leda till att asfalten inte möter de krav på kvalitet som ställs på den.



Figur 1. I asfaltmassa innehållande RA, blandas inte det åldrade bindemedlet från RA, med det nya bituminet, utan kapslar in stenmaterialet och bildar blackrock i asfaltmassan, enligt (Baoshan Huang, 2005).

Det finns dock motstridiga uppgifter om fenomenet "blackrock". McDaniel m.fl. (2000) poängterar starkt att återvunnen asfalt inte uppträder som blackrock, utan snarare erhålls full blandning som kan predikteras genom blandningsdiagram. Resultat från en mängd olika mekaniska provningar visar tydligt att blandning av ny och gammal massa ger samma resultat som om bindemedlen först noggrant blandats (mekaniskt) innan massatillverkning. Detta är ett starkt indicium för att bindemedlet i återvunnen asfalt helt blandas med nytt under massatillverkning. I deras undersökning fungerar inte återvunnen asfalt som blackrock.

Enligt gällande krav (Bitumenbundna lager TDOK 2013:0529, Version 4.0), tillåts nu att en större andel RA får tillsättas vid tillverkning av ny asfaltmassa. Mängdkrav finns endas för specifika fall som tex för PMB (polymer modifierat bitumen) i bär- och bindlager, där högst 10% RA får tillsättas. Generellt gäller dock att returasfaltens egenskaper skall deklarerars och uppfylla kvalitetskrav, där bindemedelshalt, kornkurva, bitumenegenskaper och ballastkvalitet är centrala parametrar. Det återvunna bindemedlet analyseras för bland annat mjukpunkt eller viskositet.

Vid provning av bindemedel (SS EN 12697-1:2020, 2020), extraheras ett asfaltsprov och bituminet i asfaltmassan löses upp med lösningsmedel, vanligtvis metylenklorid. Lösningsmedlet destilleras sedan ut ur bitumenlösningen (SSEN12697-3:2013+A1:2019, 2019), och rent bitumen kan analyseras på laboratoriet (SSEN1427:2015, 2015). Denna process har till stor del automatiserats i ett slutet system genom att nyttja en Asfaltsanalysator (A-maskin) och på så sätt erhålla en säkrare arbetsmiljö. Det finns en långsiktig målsättning att hitta alternativa lösningsmedel som belyses i SBUF-projekt 14126 "Ersättning av metylenklorid vid asfaltsextraktioner". (Katarina Ekblad. Jiqing Zhu, 2023).

Den konventionella metoden för extraktion av bitumen ur asfalt som innehållet retur-asfalt ger ett i princip perfekt homogeniserat material efter upplösning och destillation. Metodiken är därför inte tillämplig för att undersöka hur pass homogent bitumen i asfalten är. Vid beräkning av asfaltsrecept och dimensionering används denna teoretiskt perfekta homogena blandning, men som då eventuellt inte motsvarar verkligheten. Detta gäller speciellt när retur-asfalt tillsätts och hela bitumenmängden inte blir aktiverad tillsammans med det nya bindemedlet utan en del kvarstår som hårt åldrat bitumen på ballastmaterialet, så kallad "blackrock".

Konsekvensen kan då bli att huvuddelen av bindemedlet i asfalten blir mjukare än vad som beräknats då det inte homogeniserats med det hårdare bindemedlet. För att undersöka detta fenomen skulle en modifierad metod för analys av bitumenblandningen behövas.

Exempel på en undersökning som påvisar "blackrock" fenomenet är (Vassaux, o.a., 2023) (Baoshan Huang, 2005) där provning av retur-asfalt utfördes med flera stegvis utförda tvättar med lösningsmedel. Asfaltsprover fick under kort tid (3 minuter) utsättas för lösningsmedel varefter denna fraktion avlägsnades, detta upprepades sedan tre gånger på varje prov. Slutresultatet blev fyra olika fraktioner som alla visade på en gradvis övergång från det jungfruliga bituminets egenskaper till returbindemedlets egenskaper. Detta tyder på att metodiken skulle kunna vara ett sätt för att bedöma bitumens heterogenitet i retur-asfalt. Studien utgick ifrån betydligt styvare asfaltprodukter än vad vi normalt har här i Sverige.

Arbetsmiljö är en aspekt som kommer i fråga med tanke på hur materialet behandlas i citerade studien med starka lösningsmedel. Planen är att i föreliggande projekt göra försök med modifierade tvättprogram i en asfaltsanalysator med ett lågt antal tvättar för att bara delvis lösa upp bituminet i asfalten. Genom detta tillvägagångssätt skulle metoden kunna förbättras så att den kan användas på ett sätt som är förenligt med svenska arbetsmiljöstandarder. Detta tillvägagångssätt testas och utvärderas i föreliggande studie.

2. Syfte

Den övergripande målsättningen med föreliggande projekt är att möjliggöra en metodik där blackrock-effekt kvantifieras för att optimera asfaltsrecept där returasfalt tillsätts.

Syftet är att undersöka om en modifierad flerstegsmethodik med asfaltsanalysator kan ge likvärdiga resultat som metoden med flerstegs upplösning av bitumen. Genom att modifiera metodiken för att fungera i asfaltsanalysator hanteras arbetsmiljörisker. Flerstegsmethoden förväntas ge ett bättre underlag vid receptframtagning och dimensionering, och därmed skapa förutsättningar för en mer förutsägbar kvalitet.

3. Metod

Asfaltprover har tagits ut från fyra asfaltverk. Fyra prover innehöll hög andel retur-asfalt och ett prov var referensprov utan tillsatt retur-asfalt (Tabell 1). Asfaltverken delades in i tre kategorier med avseende på hur retur-asfalt behandlas och tillsätts i asfaltverket. Dessa metoder är varmtillsättning, kalltillsättning och ringtillsättning. Valet blev två verk med varmtillsättning, varav på ett av dem togs ett referensprov utan retur-asfalt. Detta kan jämföras mot materialet som användes utav (Baoshan Huang, 2005) där de använde sig utav labtillverkad asfalt där huvuddelen av ballasten var kalksten, och med en 20% RA-halt. Ett prov togs vardera från ett asfaltverk med ringtillsättning och ett med kalltillsättning. Eftersom målet var att undersöka möjligheten att observera heterogenitet i asfaltmassor med retur-asfalt, valdes asfaltmassor med en hög halt retur-asfalt utifrån vald tillsättningsmetodik.

Tabell 1. Visar asfaltprov, vilken tillsättningsmetod som nyttjats, andel retur-asfalt i provet och dess deklarerade mjukpunkt

Asfaltprov	Tillsättningsmetod	Andel retur-asfalt (%)	Deklarerad RA mjukpunkt °C
1 AG	Varmtillsättning	40%	62
2 AG	Ringtillsättning	40%	60
3 AG	Kalltillsättning	20%	58
4 ABT PMB	Varmtillsättning	30%	58
Referens ABT PMB	Varmtillsättning	0%	58

3.1. Återvinningsmetod

För att få ut bituminet ur en asfaltmassa, måste man först extrahera bituminet enligt provningsmetod (SS EN 12697-1:2020, 2020) och sedan återvinna bituminet från lösningsmedlet enligt provningsmetod (SS EN 12697-3:2013+A1:2019, 2019). Projektets huvudsakliga utmaning var modifiering av återvinningsprocessen i asfaltanalysatorn, för att likna den metod som användes i studien utförd av (Baoshan Huang, 2005). Det som redan var känt var att om inte tillräckligt antal tvättcykler utförs, blir det rester kvar av bitumen på asfaltprover av vissa svårupplösta massatyper. Det blir dock inte tillräckligt mängd bitumen kvar, för att kunna extrahera och analysera på något meningsfullt sätt. För att kunna få tillräckligt för analys krävdes alltså att metoden modifierades på något vis.

Tre huvudsakliga faktorer identifierades ha störst påverkan på den återstående mängden bitumen, efter den första tvätten. Dessa var:

1. Bitumentyp och bitumenhalt i asfaltmassan.
2. Mängd prov i provbehållaren (Figur 2)
3. Inställning av asfaltanalysatorns tvättprogram.

Den första faktorn, *bitumentyp och bitumenhalt i asfaltmassan*, går inte att förändra eftersom det är materialets egenskap som skall provas. Därför var det de andra två

egenskaperna, *mängd prov och inställning av asfaltsanalysatorns tvättprogram*, som fick justeras, för att uppnå önskad effekt.



Figur 2 *Provbehållare som fylls med nedsmulad asfalt, metylenklorid kan sedan rinna in igenom behållarens nätbeklädda sidor, för att lösa upp bituminet i provet.*

Det första som provades var en justering av utrustningens tvättprogram, där antalet tvätt cykler ställdes ned till det lägsta alternativet som var möjligt, vilket var två tvättcykler. Två tvättcykler tar ungefär 10 minuter vilket kommer att skilja sig från metodiken som det refereras till (Baoshan Huang, 2005). Resultatet med en typisk provmängd (~2 kg), blev ett helt rent prov utan något kvarvarande bitumen.

Provmängden justerades och en provbehållare fylldes helt och extraherades med samma tvättprogram. Resultatet visade att det fanns mycket bitumen kvar i provet efter extraktion. Efter ytterligare sex tvättcykler, fanns det spår kvar av bitumen i provcylindern men för liten mängd för att kunna provas.

Försöksserien fortsatte med en provbehållare fylld till cirka tre fjärdedelar, vilket var ca 4,5 kg asfaltmassa (figur 3). Resultatet visade att det fanns tillräckligt med bitumen dels efter två tvättcykler, samt efter den slutliga tvättningen för att kunna utföra efterföljande analyser. Dessutom fick vi ungefär samma mängd bitumen i de båda proverna.



Figur 3. Asfaltprov efter två tvättcykler med 4,5 kg provmängd.

Försöksserierna visade att det uppstår problem när materialet i tvättkammaren inte tvättas helt rent (två tvättcykler). Problemet är att det blir rester av upplöst bitumen kvar i asfaltanalysatorns centrifugkammare efter att programmet är avslutat.

Resterna kan påverka nästa extraktion om inte asfaltanalysatorn startas och några tvättningar utförs utan prov mellan varje extraktion. Detta skulle fördubbla tidsåtgången på ett redan tidskrävande moment, så en kompromiss fick göras mellan precision och effektivitet.

3.2. Verifikation

Ett försök med att replikera exakt den metod som (Baoshan Huang, 2005) utförde i sin artikel genomfördes på Svevia's laboratorium i Umeå där de har tillgång till en centrifug och därmed kunde göra den manuella extraktionen som krävdes. I denna metod smulas granulatet ned och lösningsmedel tillförs, granulatet får vila i lösningsmedel och därefter destilleras bituminet fram. Metoden upprepas fyra gånger tills allt bitumen i granulatet har lösts upp. Se (Baoshan Huang, 2005) för exakt detaljer.

Detta resulterade i fyra delprov av bitumen som sedan provades på samma sätt som övriga material.

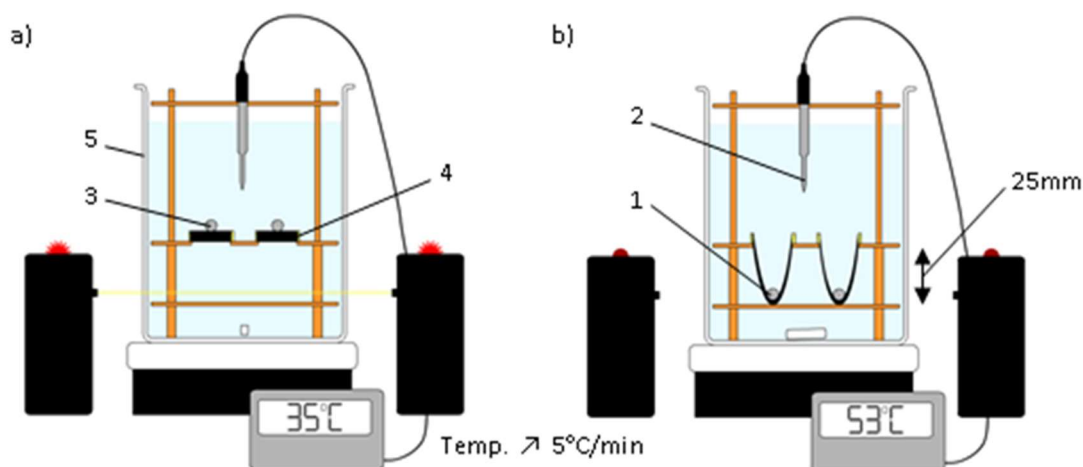
4. Materialprovning

Klassificering av bitumen genomförs generellt på olika sätt inom Europa och Amerika. Kvalitetsbestämning av bitumen för vägändamål i Europa görs med mätmetoder på styvheten med hjälp av penetrationstest och mjukpunktstest med kula-ring. Testresultaten stäms av mot empiriska erfarenheter. Vid den amerikanska klassificeringen ställs däremot krav på de tekniska egenskaperna som kan erhållas vid mätning med Dynamic shear Rheometer (DSR). Klassificering av bitumen är under översyn sedan en längre tid. (Andersson & Sulejmani, 2014)

Inom föreliggande studie har materialprovning genomförts med såväl mjukhetstest med kula-ring-metoden samt med DSR. Bituminets egenskaper har utvärderats efter de första och andra tvättarna. Detta för att ge ett underlag för att kunna bedöma om återvinningsmetoden som tidigare redovisas i kapitel 3.1 har den effekt som det var tänkt.

4.1.Mjukpunkt

Bitumen har inte någon smältpunkt, istället används mjukpunkten för att karakterisera övergång från viskoelastiskt till viskös respons. Mjukpunkten har provats genom kula och ring-metoden enligt (SSEN1427:2015, 2015). Mjukpunkten definieras som den temperatur vid vilken en stålkula sjunker igenom ett bindemedelskikt, som är ingjuten i en ring. Metoden innebär att bitumen hålls i en ringform för att skapa en cylinderformad provkropp (Figur 4). Två provkroppar placeras i en ställning med en stålkula placerad på varje provkropp, sänks ned i vätska, antingen i vatten eller glycerin, beroende på i vilket spann mjukpunkten förväntas bli. Temperaturen i vätskan höjs gradvis och när bitumenprover blir tillräckligt mjukt faller stålkulan ner till botten på ställningen och temperaturen mäts.



Figur 4. Mjukpunktsutrustning.

4.2. Dynamic Shear Rheometer

Dynamic Shear Rheometer (DSR) är ett instrument för att undersöka de reologiska egenskaperna hos material beroende på belastningsfrekvens och temperatur. För ett material som bitumen är detta intressant då det uppvisar olika egenskaper beroende på just dessa faktorer. Att asfaltsbeläggningar uppvisar försämrade förmåga ta upp laster vid högre temperatur och lägre frekvens är välkänt, och att då undersöka detta närmare möjliggör en förbättrad förståelse av hur bituminet i fråga kommer bete sig. I en DSR mäts detta genom att undersöka materialets skjuvmodul (G) och dess fasvinkeln (δ), vilka är mått på materialets styvhet samt ett mått på förhållandet mellan viskositet och elasticitet i materialet. Skjuvmodulen, G är förhållandet mellan skjuvspänningen och skjuvtöjningen och desto mer materials skjuvmodul ökar ju starkare är dess inre struktur.

Bitumen värms upp i ugn till för att sedan gjutas i cirkulära formar om 8 och 25 mm i diameter. Proven står i en till tre dagar efter gjutning innan de provas. Frekvenssvep kördes i temperatur intervaller om 10°C mellan 30°C till -30°C för 8 mm proverna och 20°C till 80°C för 25 mm proverna. Frekvenserna som provades i projektet är 0,1 rad/s till 100 rad/s i logaritmisk följd i 10 steg. Val av temperatur- och frekvensintervall är inte reglerat i standarden utan är utvalda baserade på praktisk erfarenhet med tekniken för att erhålla mätdata som täcker materialets egenskaper, i detta fall -30°C till 80°C.

För att underlätta tolkningen av dessa materialegenskaper har en så kallad masterkurva tagits fram för varje material. Masterkurva beskriver bitumens egenskaper för en viss temperatur över ett brett frekvensområde, där principen för att rita kurvan går ut på att en viss temperatur omvärderas till motsvarande frekvens. Masterkurvor används för att minimera antalet mätserier, genom att approximerar mätdata till en funktion med hjälp utav passningsvariabler, där skjuvmodulen (G) och fasvinkel (δ) kan ges för valfria värden på temperatur och frekvens. För att göra en masterkurva behövs ett antal frekvenssvep vid olika temperaturer som sedan ställs samman till en kurva.

Masterkurvorna har här tagits fram utifrån William-Lander-Ferry-ekvationerna (WLF). (Ferry, 1955), som framgår av ekvation 1 och 2. Indata i dessa är skjuvmodul (G) och fasvinkel (δ) som passas till en vald referenstemperatur (T_r). T är den temperatur som en given mätserie har provats vid. Detta görs genom iterativa beräkningar av passningsvariablerna α , β , γ , $C1$ och $C2$.

$$\log G = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma(\log t + \log a_t)}} \quad \text{Ekvation 1}$$

$$\log(a_t) = \frac{-C1(T - T_r)}{T - T_r + C2} \quad \text{Ekvation 2}$$

Från masterkurvan beräknades gränsvärdena för sprickbildning och spårbildning enligt AASHTO's Superpave metodik i syfte för att ge en förbättrad bild av bituminets egenskaper. Superpave (Superior Performing Pavements), var ett amerikanskt forskningsprogram (1987 - 1983) där alla aspekter av fysiska tester som gjordes på bitumen genomfördes. Målsättningen i superpave var att ta fram en ny metod för klassificering av bitumen, som på ett tydligare sätt beskriver hur bindemedlet uppför sig i en vägbeläggning (Nordtest, 2002). Superpave benämner mellan vilka temperaturer bindemedlet har de önskvärda egenskaperna istället för att ange konsistensen på bindemedlet vid en viss temperatur.

Kriteriet för risk för sprickbilningskänslighet och spårbildningsresistens definieras i de två nedanstående ekvationerna 3 och 4. Dessa anges som de temperaturer i Celsius där de når sina gränsvärden 5 MPa för sprickbildningskänslighet (ekvation 3) respektive 1 kPa för spårbildningsresistens (ekvation 4) givet att frekvensen är 10 rad/s. G är skjuvmodul, och δ är fasvinkel vilka beräknas utifrån respektive ekvations masterkurva som en funktion av temperatur.

$$G * \sin(\delta) = 5 \text{ MPa} \quad \text{Ekvation 3}$$

$$\frac{G}{\sin(\delta)} = 1 \text{ kPa} \quad \text{Ekvation 4}$$

5. Resultat

I detta kapitel sammanställs resultaten för mjukpunkt och DSR-proverna på de bitumen som provats i projektet. Resultat är sammanställda dels från den ursprungliga modifierade undersökningen och dels för den kompletterande verifierande undersökningen.

5.1. Resultat från modifierad undersökning

Mjukpunkt provades enligt metoden i kapitel 4. I Tabell 2 redovisas resultatet efter de två tvättcyklerna som kördes i asfaltsanalysatorn från de fyra olika asfaltverken (prov 1-4) och för referensprovet utan RA. Dessa benämns som tvätt 1 och tvätt 2, där tvätt 1 är det första bitumen som togs ut. Om den framtagna metoden fungerar skall tvätt 1 innehålla en högre grad jungfruligt bitumen än tvätt 2 som togs fram när asfalten tvättades en andra gång i asfaltsanalysator och resterande bitumen återvanns. Det förväntade resultatet om det finns blackrock och metoden fungerar så skall tvätt 1 uppvisa en lägre mjukpunkt jämfört mot tvätt 2.

Mjukpunkterna i tabell 2 visar ingen eller mycket liten skillnad i resultaten mellan de två tvättarna. Det finns alltså inga tecken på att det skulle finnas någon blackrock i asfaltsprovern utifrån uppmätt mjukpunkt.

Tabell 2. Mjukpunktsresultat tvätt 1 och 2 tvätt 2 för de fyra provade massaproverna och referensprov.

	Mjukpunkt (°C)	
Prov	Tvätt 1	Tvätt 2
1	44,6	44,2
2	47,8	47,8
3	54,0	54,0
4	60,8	60,8
Referens	58,9	58,9

Tabell 3 och 4 redovisas resultaten från DSR-provning enligt (SSEN14770:2023, 2023). Temperaturerna för sprickkänslighet ($G \times \sin(\delta) = 5 \text{ Mpa}$) har beräknats enligt ekvation 3 (kapitel 3) och temperaturerna för spårbildningresistens ($G / \sin(\delta) = 1 \text{ kPa}$) har beräknats enligt ekvation 4 (kapitel 3).

Tabell 3. Framtagna kvalitetsvärden från DSR på sprickbildningskänslighet

	Sprickbildningskänslighet	
Prov	T1 (°C)	T2 (°C)
1	10,7	11,6
2	13,1	12,7
3	19,4	17,1
4	12,5	7,6
Referens	20,2	21,1

Tabell 4 Framtagna kvalitetsvärden från DSR på spårbildningsresistens

Spårbildningsresistens		
Prov	T1 (°C)	T2 (°C)
1	62,1	61,9
2	65,4	65,9
3	74,1	78,2
4	78,2	79,3
Referens	77,7	78,5

Resultaten som redovisas i tabell 3 och 4 uppvisar något större skillnader mellan resultaten än vad mjukpunkten gjorde, men är små överlag. Det resultat som avviker är sprickbildningskänsligheten på prov nummer 4 där differensen är avsevärt större än övriga.

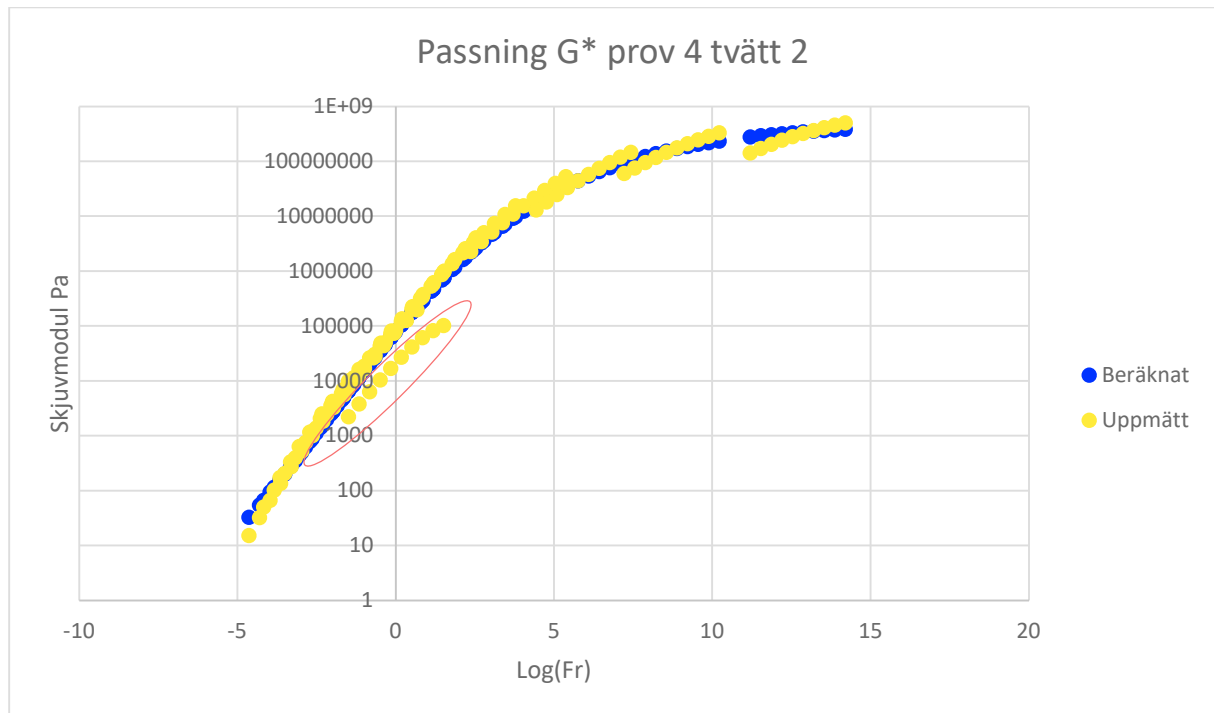
För att undersöka avvikelserna för prov 4 som redovisats i tabell 3, redovisas skillnaden mellan bitumenprovernas uppmätta skjuvmodul (från DSR-mätningar) och beräknad skjuvmodul (från masterkurva) i tabell 5. Detta är en enhetslös parameter som enbart kan användas för att jämföra modellens passningsform. Värdet är summan på kvadraten på avvikelserna mellan uppmätt värde och beräknat värde för masterkurvan för varje datapunkt i den sammanställda mätdata som beräkningen baseras på. Ett högre värde indikerar att modellen inte ger lika träffsäkra resultat.

Tabell 5. Kumulativ avvikelse mellan uppmätta värden och beräknade värden i masterkurvan för skjuvmodulen G. Data är enhetslös och kan inte jämföras mot andra modeller.

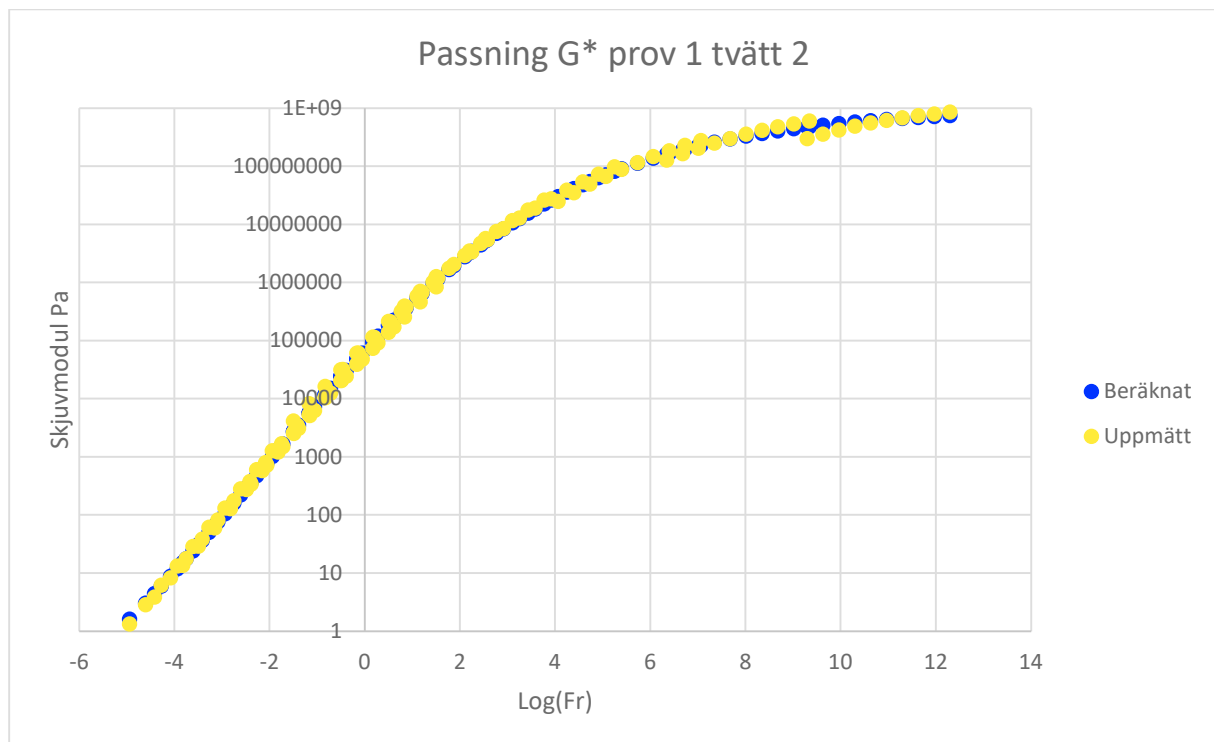
Avvikelse för paramtern G		
Prov	Tvätt 1	Tvätt 2
1	0,35	0,59
2	0,37	0,25
3	3,4	0,28
4	0,58	5,4
Referens	0,16	0,34

För prov 4, som är en varmtillsatt ABT PMB, blir avvikelserna 5,4 för tvätt 2. Detta är en markant högre avvikelse än för de övriga materialen och kan förklara de stora skillnaderna på kvalitetsvärdena för prov 4, i tabell 3. Även tvätt 1 för prov 3 är högre än övriga avvikelser (3,4) och kan också förklara de lite större skillnaderna för kvalitetsvärdena i tabell 3 och Tabell 4.

I Figur 5 och Figur 6 ses styvhetsmodulen för masterkurva plottad i jämförelse mot uppmätt data för två prover, dessa är Prov 4 tvätt 2, och Prov 1 tvätt 2. När data visualiseras på dessa sätt kan orsaken för den dåliga passningen för prov 4 tvätt 2, lätt upptäckas. I figur 6 ligger passad uppmätt och beräknad data mycket väl över hela mätspannet. Däremot som det väl syns i Figur 5 finns det en delserie (röd markering) av mätdata som inte följer den förväntade kurvan. Detta är troligen anledningen till att denna har så pass mycket sämre passning mellan data och modell jämfört med övriga prover.



Figur 5. Jämförelse mellan skjuvmodul av uppmätta värden och beräknade enligt masterkurva för Prov 4 tvätt 2



Figur 6. Jämförelse mellan skjuvmodul av uppmätta värden och beräknade enligt masterkurva för Prov 1 tvätt 4

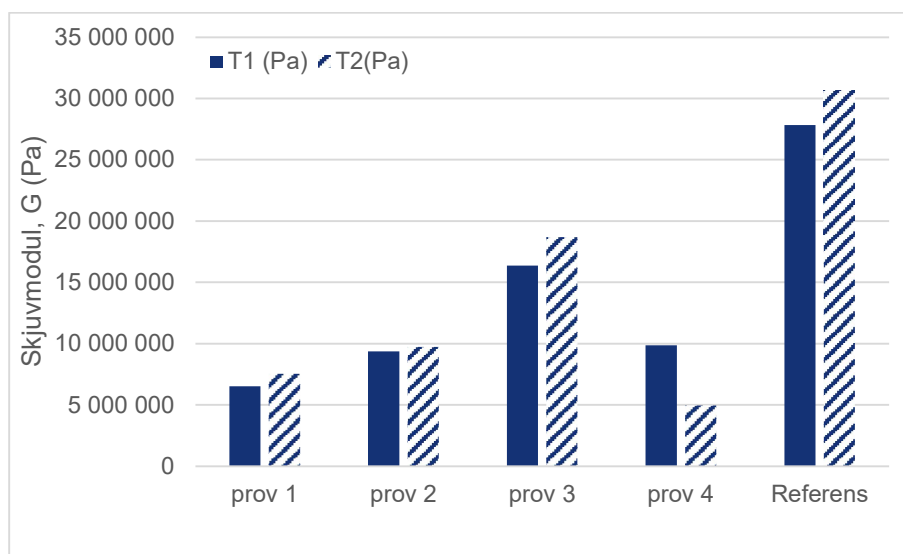
I tabell 6, tabell 7 samt figur 7 visas ett urval av rådata från DSR mätningarna vilka tydligt visar numeriskt på att det inte finns någon större skillnad mellan tvätt 1 och 2. Dock är skjuvmodulen något högre på alla prover utom 4, detta är inklusive referensprovet som inte innehåller någon RA. Undantaget är prov 4, där syns istället data som visar på motsatsen ifrån vad som väntats, och tvätt två uppvisar här ett värde som är ungefär hälften av vad tvätt 1 har. Den systematiska skillnaden mellan tvätt 1 och 2 syns tydligt i figur 7.

Tabell 6. Rådata från DSR för skjuvmodul vid 10 °C och 10 rad/s

Skjuvmodul G		
Prov	Tvätt 1 (Pa)	Tvätt 2(Pa)
1	6 521 800	7 527 300
2	9 372 400	9 739 800
3	16 357 000	18 698 000
4	9 865 600	4 950 300
Referens	27 820 000	30 650 000

Tabell 7. Rådata från DSR för fasvinkel vid 10 °C och 10 rad/s

Fasvinkel δ		
Prov	Tvätt 1(°)	Tvätt 2(°)
1	52,8	52,7
2	48,8	48,8
3	42,3	42,4
4	44,1	47,4
Referens	37,6	36,8



Figur 7. Jämförelse av skjuvmoduler vid 10 °C och 10 rad/s

5.2. Resultat från verifierad undersökning

På Svevias laboratorium i Umeå, utfördes ett verifikationsprov, på prov 2 för att undersöka om det var metoden i A-maskin som inte fungerade eller om provresultaten berodde på att det inte fanns någon blackrock i provet. Detta referensprov gjordes genom att man följde metoden från (Baoshan Huang, 2005) så exakt som var möjligt enligt den beskrivning som fanns i rapporten. Extrakt innehållande bitumen, lösningsmedel och filler, togs ut från varje steg, centrifugerades och destillerades i fyra steg där materialet hade exponerats för lösningsmedel i 5 minuter per steg. Dessa prover analyserades med avseende på mjukpunkten för att undersöka homogeniteten mellan de fyra tvättomgångarna, se tabell 8 för resultaten.

Mängden bitumen som var kvar i granulatet vid tvätt 4, var för liten för att räcka till en mjukpunktsanalys, därför beräknades mjukpunkten från DSR-data i stället, detta för att upptäcka om det fanns ett hårdare material längst in mot ballasten i tvätt 4.

Tabell 8. Mjukpunkter för verifikationsprovet..

Tvätt	Mjukpunkt (°C)	Mjukpunkt beräknad (°C)
1	49,4	48,6
2	49,5	48,8
3	50,4	50
4	*)	49

*) Det fanns ej tillräckligt med bitumen för bestämning av mjukpunkt på tvättsteg nummer 4, så dessa beräknades även från DSR-data för att få hela serien.

De tre resultaten på de analyserade mjukpunkterna, ligger inom metodens repeterbarhet. De fyra beräknade mjukpunkterna har något större avvikelse men inte mycket mer än en grad. Resultaten tyder på att returbitumen och jungfruligt bitumen har blandats till ett homogent tillstånd vid tillverkningen.

6. Diskussion

När projektet startade var den övergripande målsättningen att möjliggöra en metodik där blackrock-effekt kvantifieras för att optimera asfaltsrecept där returasfalt tillsätts. Det första delmålet för att uppnå detta var modifiera tvättmetoden i A-maskinen för att få ut flera bitumenprov. Detta genom att justera tiden som asfalten var exponerad för lösningsmedlet. Dock fungerade bara denna metodik till tvättning i två steg och inte fyra steg som var förhoppningen i början av projektet. Det visade sig att metylenkloriden var för effektiv på att lösa bitumen inom ramen för A-maskinens tekniska begränsningar. Den framtagna tvåstegs tvättmetoden i A-maskin resulterar i en mycket bättre arbetsmiljö då exponeringen för metylenklorid blir betydligt mindre.

De fyra olika massorna med returasfalt (prov 1-4) som analyserades visade inte på någon form av heterogenitet vid analys av mjukpunkt. Vid analys med DSR framkom dock en liten skillnad mellan tvätt 1 och 2 på respektive material, där tvätt 2 för alla prover utom prov 4 visade på högre skjuvmodul (cirka 1,1 gånger). Detta inkluderade då även referensprovet som inte innehåller någon returasfalt. För prov 4 var förhållandet det motsatta, och analys av data visar på att det troligen beror på ett mättekniskt fel snarare än verkliga materialegenskaper. De uppmätta skillnaderna är troligen inte blackrock då skillnaden syns på prover med och utan returasfalt.

Det finnas två troliga förklaringar till dessa marginella förhöjningar i skjuvmodulen. Den ena är att under tillverkningsprocessen där stenen hettas upp till väldigt höga temperaturer skulle det bitumen som kommer i direktkontakt med denna åldras något. Den andra förklaringen är att det skulle kunna finnas filler kvar i maskinen efter första tvätten som sedan kommer med i destillatet vid den andra tvätten. När bituminet sedan provas så skulle detta filler då kunna ge en förstyvande effekt.

Då den marginella skillnad som uppmäts vid DSR-mätningarna rimligen inte kan vara blackrock, är frågan varför det inte syns några tecken på förekomst utav blackrock? Detta kan förklaras på två olika sätt, att provmaterialet är helt homogent för att det inte finns någon blackrock, eller att metoden inte klarar av att upptäcka den heterogenitet som finns. För att reda ut detta utökades studien med att försöka reproducera metoden som ursprungligen användes (Baoshan Huang, 2005) på ett verifikationsprov. Resultaten från denna körning visade dock inte heller på några större skillnader i bitumenegenskaper mellan tvättstegen. I Huangs försök var skillnaden på skjuvmodul mellan tvätt 1 och 4 stor, cirka fyra gånger jämfört med 1,1 som var differensen i denna studie.

Problematiken kring blackrock är något som noterats och undersökta tydligt i flertalet amerikanska publikationer så som (Baoshan Huang, 2005; Allen, 2024) och även i andra länder som i den franska studien (Vassaux, o.a., 2023). Varför är det då så att inga tecken på blackrock kunde upptäckas i denna studie? Produktionsmetoder är relativt likvärdiga världen över så detta bör inte vara den underliggande orsaken. Däremot är det troligt att länder med varmare klimat som använder sig av styvare bitumen har ett större problem med blackrock, då dessa blir svårare att homogenisera i tillverkningsprocessen. Speciellt efter att materialet har legat på vägen ett antal år och oxiderat, en process som ytterligare påskyndas i ett varmare klimat. Detta kan vara en

förklaring i föreliggande undersökning att det inte finns några spår av blackrock i de undersökta massorna då vi i Sverige använder oss av mindre styva bitumenklasser. En viktig aspekt att notera som kan ha stor betydelse är att (Baoshan Huang, 2005) använde sig utav labbtilverkad massa i jämförelse mot denna studie där massa togs direkt från asfaltsverk. Deras material var därför troligen inte lika väl homogeniserat.

7. Slutsatser

Projektet lyckades med målet att ta fram en metod för att analysera återvunnet bitumen i två steg. Denna metod uppfyllde även målet om att uppnå en bättre arbetsmiljö. Detta eftersom personen som utför arbetet inte utsätts för metylenklorid på samma sätt då lösningsmedlet befinner sig i ett slutet system.

Inga tecken på blackrock indikerades med hjälp av den framtagna metoden, eller när ursprungsmetoden verifierades steg för steg. Den mest troliga förklaringen är att ingen av de provade materialen hade någon nämnvärd blackrock i sig.

För att helt kunna säkerställa om metoden fungerar som produktionsprovning eller i utvecklingsprojekt skulle ytterligare försök behövas med prover där förekomsten av blackrock redan fastställts på annat sätt.

8. Litteraturförteckning

- Allen, G. (den 5 april 2024). Is RAP just a black rock? *ASFHALT The magazine of Asphalt Institute*.
- Baoshan Huang, G. L. (2005). Laboratory Investigation of Mixing Hot-Mix Asphalt with Reclaimed Asphalt Pavement. *Transportation Research Record 1929*.
- Bitumenbundna lager TDOK 2013:0529. (2020-10-12 Version 4.0). Trafikverket.
- Ferry, M. L. (1955). Predicting the Effect of Temperature on Viscosity by the WLF Equation. *J. Am. Chem. Soc.* 1955, 77, 14, 3701–3707.
- Katarina Ekblad, Jiqing Zhu, P. N. (2023). *ERSÄTTNING AV METYLENKLORID VID ASFALTSEXTRAKTIONER*. SBUF.
- SS-EN 12697-1:2020, Vägmateriel - Asfaltmassor - Provningsmetoder - Del 1: Löslig bindemedelshalt. (2020-03-16). SIS, Svenska Institut för standarder. s.1-52.
- SS-EN 12697-3:2013+A1:2019, Vägmateriel - Asfaltmassor - Provningsmetoder - Del 3: Återvinning av bindemedel: Rotationsindunstare. (2019-01-02). SIS, Svenska Institut för standarder. s.1-13.
- SS-EN 1427:2015 Bestämning av mjukpunkt - Kula och Ring- metoden. (2015-07-05). SIS, Svenska Institut för standarder. s.1-18.
- SS-EN 14770:2023 Bestämning av komplex skjuvmodul och fasvinkel – Dynamisk skjuvreometer. (2023-07-11). SIS, Svenska Institut för standarder. s.1-22.
- Vassaux, S., Gaudefroy, V., Boulange, L., Pevere, A., Michelet, A., Baragan-Montera, V., & Mouillet, V. (2023). *Experimental investigation of blending phenomena in intergranular zones of recycled asphalt mixtures using customized infrared imaging and stage extractions*. HAL Open Science.
- McDaniel, R.S. Soleymani, H. Anderson, R.M. Turner, P. och Peterson, R. 2000. Recommended use of reclaimed asphalt pavement in the Superpave mix design method. NCHRP Web Document 30 (Project D9-12).
- Olsson, Kenneth (2019), Återvinning i högkvalitativa slitlagerbeläggningar, SBUF, Skanska, Trafikverket. ID: 13588
- Ekblad, Jonas; Lunström Robert Lunström (2015), Proportionering/sammansättning av MJOG med inblandning av asfaltgranulat, SBUF, NCC. ID: 12015

Bilaga: Sammantällning av masterkurvor

