

UNDERSÖKNING AV VÄXTOLJOR SOM FÖRYNGRINGSMEDEL OCH ERSÄTTNING FÖR BITUMEN VID ÅTERVINNING AV ASFALT

- Mätningar med rotationsviskosimeter på returbitumen med föryngringsolja



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för Teknik och samhälle/Trafik och väg

Examensarbete
Maher El-Tahan

© Copyright Maher El-Tahan

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2022

Sammanfattning

Asfaltbeläggningar behöver fortlöpande repareras och slutligen bytas ut efter nötning och sönderbrytning men också av att asfalten förlorat sin eftergivlighet genom åldring. Det är en naturlig förändring som påverkas av luftens syre och solens strålning men också av ämnen i miljön. Tillvaratagen asfalt kan emellertid ges nytt liv igen, återvinnas, och användas på nytt som vägbeläggning. Det sker genom att krossad asfalt tillförs en mjukgörande olja innan den blandas med nytt material. Detta har gjorts sedan asfalt började tillverkas för 100 år sedan men intresset har varierat och just nu har klimatskussionen aktualiserat frågor om lämpliga val av uppmjukande oljor och effektiv produktionsteknik. I föreliggande examensarbete undersöks tre växtoljor och en mineralolja och hur mycket som behöver tillsättas för att uppnå ny kvalitet igen.

Bedömningen sker med samma kvalitetsparametrar som används för vanligt, nyproducerat bitumen. Undersökningen sker med en rotationsviskosimeter och med uppmätning respektive beräkning av kvalitetsparametrar med WLF-samband via formlerna för ett digitaliserat Heukelomdiagram. Förfarandet har utvecklats på Lunds Tekniska Högskola och har använts med framgång under en lång följd av år.

Extraherat bitumen från retur-asfalt blandades med ökande mängd av respektive olja tills blandningen fick samma Mjukpunkt som standardiserat bitumen av kvalitet 70/100. Övriga kvalitetsparametrar är viskositet vid 135 °C, viskositet vid 60 C, penetrationstal och brytpunkt enligt Fraass. Alla fem parametrarna finns representerade i ett enda diagram beskrivet av Willem Heukelom 1973. Diagrammet har digitaliserats enligt Heukeloms originalformler, vilket möjliggör beräkningar av parametrar utanför viskositetsdiagrammet. Det innebär stora besparingar och förbättringar för personalen på laboratoriet när de gamla metoderna ersätts med bara en enda.

En av växtoljorna under utprovning visade stor likhet med en etablerad produkt, Sylvaroad. Båda krävde ca 9 vikt% räknat på mängden returbitumen för önskad effekt. En etablerad mineralolja, STORFLUX, krävde ungefär 15 vikt%. Den fjärde växtoljan, Tall Oil Pitch, TOP, behövde nästan 20 vikt%. Alla egenskaper från 135 till -20 °C visade stor likhet mellan oljorna. De undersökta växtoljorna åstadkommer samma resultat som nytillverkat bitumen.

Frågan är om likheterna består över tid och efter värmebehandling. Därför behöver blandningar utsättas för verkliga påkänningar under en längre tid innan frågan om beständighet kan besvaras, inte bara vad gäller naturoljornas

hållbarhet utan även hela konceptet med återvunnen asfalt. Frågan är så pass viktig att svaret måste ges den tid som behövs.

Nyckelord: Asfalt, bitumen, återvinning, föryngring, växtolja, mineralolja

Abstract

Asphalt coatings need to be continuously repaired and finally replaced after abrasion and damage, but also because the asphalt has lost its flexibility due to aging. It is a natural change that is affected by the oxygen in the air and the sun's radiation, but also by substances in the environment. Recovered asphalt can, however, be given new life again, recycled, and reused as a road surface. This is done by adding a softening to crushed asphalt before mixing it with new material. This has been done since asphalt began to be manufactured 100 years ago, but interest has varied and right now the climate discussion has raised questions about appropriate choices of softening oils and efficient production technology. In this thesis, three vegetable oils and one mineral oil are examined to find out how much needs to be added to achieve new quality again.

The assessment is made with the same quality parameters as are used for ordinary, new bitumen. The examination is performed with a rotary viscometer and with measurement and calculation of quality parameters with the WLF equation via the formulas for a digitized Heukelom diagram. This procedure has been developed at the Technical Faculty of Lund University and has been used successfully for many years.

Extracted bitumen from recycled asphalt was mixed with increasing amount of the respective oil until the mixture got the same Softening Point as standard bitumen of quality 70/100. Other quality parameters are viscosity at 135 ° C, viscosity at 60 C, penetration number and breaking point according to Fraass. All five parameters are represented in a single diagram described by Willem Heukelom in 1973. The diagram has been digitized according to Heukelom's original equations, which enables calculations of parameters outside the viscosity diagram. This means great savings and improvements for the staff in the laboratory when the old methods are replaced by just one.

One of the vegetable oils under development showed great resemblance to an established product, Sylvaroad. Both required about 9% by weight of reclaimed bitumen for the desired effect. An established mineral oil, STORFLUX, required about 15% by weight. The fourth vegetable oil, Tall Oil Pitch, TOP, needed almost 20% by weight. All properties from 135 to -20 ° C showed great similarities between the oils. The examined vegetable oils achieve the same results as newly produced bitumen.

The question is whether the similarities remain over time and after exposure of heat. Therefore, mixtures need to be subjected to real conditions for a long time before the question of durability can be answered, not only in terms of

the durability of natural oils but also the whole concept of recycled asphalt. The question is of such importance that the issue must be given all the time needed.

Keywords: Asphalt, bitumen, recycling, rejuvenation, vegetable oil, mineral oil

Förord

Examensarbetet har genomförts som en avslutning på Högskoleingenjörsprogrammet i Väg- och trafikteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet är skrivet av Maher El-Tahan och utfördes på avdelningen för Teknik och väg under vårtermin 2022.

Jag vill rikta stort tack till Per Tyllgren för all hjälp under studiens gång, speciellt med resultat och slutsatsdelen. Med stort engagemang och kunskap för ämnet har Per varit till en enorm hjälp.

Jag vill också rikta ett stort tack till Pajtim Sulejmani för all vägledning och stöd under arbetets gång. Ett tack till Joacim Lundberg och Andreas Persson som hänvisade mig till Pajtim.

Ett tack till LTH för att ha låtit mig använda deras utrustning under denna studie och ger sina studenter en så bra studiemiljö samt personal runtomkring.

Tack även till Skanska för anskaffning av material

Helsingborg, maj 2022

Ordlista

Bitumen	Mörkbrunt till svart, svårflyktigt, fast till halvfast material med bindande förmåga. Framställs vanligen genom raffinering
BTDC	Bitumen Test Data Chart
Heukeloms BTDC-diagram	Grafisk och matematisk beskrivning av fyra bitumentest i ett och samma diagram presenterat av bitumenforskaren Willem Heukelom 1973
DSR	Dynamisk Skjuvreometer för viskoelastiska mätningar
Föryngring	Uppmjukning av gammalt bitumen i returafalt med föryngringsolja
Föryngringsolja	Lättflytande oljeliknande föryngringsmedel av mineral- eller naturslag
Mineralolja	Olja med ursprung från petroleum
Mjukpunkt	Temperaturen när bitumen har viskositeten 1 300 000 mPa·s
Naturolja	Olja med ursprung från växt- eller djurriket
PAV	Pressure Ageing Vessel, metod för långtidsåldring
Restprodukt	Material som blivit över efter tillverkning eller användning
Returprodukt	Restprodukt som insamlats för att återvinnas
RTFOT	Testmetod för att utvärdera bitumens åldring vid varmtillverkning på verk
RVB	Rotationsviskosimeter av fabrikat Brookfield
TDOK	Trafikverkets tekniska krav vid dimensionering och konstruktiv utformning och krav på vägmateriäl
Viskositet	Vätskors och gasers trögflutenhet
Vikt%	Blandningsförhållande mellan olika ämnen i en blandning där de ingående ämnenas viktandel anges av blandningens totalvikt
Viskoelastiska mätningar	Mätning av rörelsemotstånd och styvhet hos ämnen som är samtidigt viskösa och elastiska
Viskositetslinje	Grafiskt samband mellan mätpunkterna i en mätserie i Heukeloms BTDC-diagram. Beskrivs med hjälp av WLF samband
Växtolja	Olja med ursprung från växter
WLF-samband	Ett matematiskt samband som motsvarar viskositetslinjen, som består av tre konstanter: C1, C2 och referenstemperaturen, oftast Mjukpunkten
Återanvändning	Återbruk av produkt i ursprungligt skick
Återvinning	Bearbetning av en returprodukt för användning i samma eller ny funktion

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Metodbeskrivning	2
1.4 Avgränsning	3
2 Litteraturstudie	4
2.1 Reologi	4
2.2 Asfalt	4
2.2.1 Återvinning av asfalt	5
2.3 Bitumen	6
2.3.1 Mjukpunkt	8
2.3.2 Penetrationstal	8
2.4 Åldrande av bitumen	9
2.5 Viskositet	9
2.5.1 Newtonsk och icke-newtonska vätskor	11
2.6 Föryngringsmedel och bitumen	11
2.7 Rotationsviskosimeter	12
2.7.1 Heukelom-diagram	13
3 Metod	13
3.1 Utrustning	13
3.1.1 Spindel	14
3.1.2 Provrör	14
3.1.3 Genomförande av RVB	15
3.2 Beteckningar av föryngringsmedel och bitumen	19
4 Resultat	20
4.1 Använda bitumensorter och deras egenskaper	21
4.2 Föryngringsolja, returbitumen och blandningarna	22
4.3 Egenskaperna hos föryngrat bitumen	23
5 Kommentarer och diskussion	27
5.1 Föryngringsoljornas effektivitet	28
5.2 Kravparameter viskositet 135 °C	28
5.3 Kravparameter viskositet vid 60 °C	28
5.4 Kravparameter Mjukpunkt	28
5.5 Kravparameter penetration	28
5.6 Kravparameter brytpunkt enligt Fraass	29
6 Slutsatser och fortsättning	29
Referenser	31
BILAGOR	33

1 Inledning

1.1 Bakgrund

En väg som behöver drift- och underhållas efter många års användande i trafik sker på grund av att asfaltsbruket har förlorat de karaktäristiska egenskaper den hade från början. Bitumen, som är en viktig komponent, åldras med tiden och påverkas av externa faktorer som exempelvis klimatet runtomkring samt trafikmängd. Det resulterar i att bitumen blir styvare och behöver då tillsättas med oljeprodukter, så kallad förnygringsmedel. Oljans funktion fungerar på det sättet att det förenar sig med det åldrande bindemedlet för att kunna återskapa de ursprungliga egenskaper det jungfruliga bitumen hade från början vid utläggning (Tyllgren, 2010).

Förnygringsolja av fossilt bränsle är den mest praktiserade metod som används idag och rent historiskt. Det är inte förrän på senare tid som alternativa förnygringsmedel från djur och växtriket har tillkommit för att kunna bidra till minskat koldioxidutsläpp. Dock är miljövänliga förnygringsmedel fortfarande under utvecklingsfasen och enbart enstaka produkter har kommit ut på marknaden. Anledning till att varför inte miljöanpassade förnygringsmedel är en etablerad norm ute på marknaden och inte kommit längre i utvecklingen beror dels på två saker. Det är fortfarande relativt dyrt i förhållande till konventionella förnygringsmedel samt att det fortfarande idag saknas elementära kunskaper i hur materialet förenar sig med återvunnen asfalt samt vilken inverkan det har på asfaltens flyt- och deformation (reologiska) egenskaper (Tyllgren, 2011).

Detta examensarbete ska med hjälp av Brookfields rotationsviskosimeter, även kallad RVB, undersöka huruvida lämplig mängd miljöanpassade förnygringsolja kan undersöka om den återvunna bituminet kan återfå liknande egenskaper som jungfruligt bitumen, alltså de egenskaper bituminet hade första gången vid utläggning. Rotationsviskosimetern är en mätmetod som går ut på att mäta viskositeten i bituminets vid varierande temperatur. Resultaten från mätmetoden visas lämpligen med hjälp av ett Heukolomdiagram, som är ett diagram med logaritmisk skala på viskositet. I diagrammet kan man avläsa viskositeten vid olika temperaturer där resultaten ritas som en linje mellan mätpunkterna. Mätmetoden är inte ännu standardiserad i branschen utan används till mesta dels i forsknings- och utvecklingssammanhang för att kunna prediktera bituminets beteende vid blandning, utläggning och packning. Utrustningen kommer att användas på Lunds tekniska högskola (LTH) reolaboratorium och är det 22:a arbetet som utförs med denna utrustning på LTH.

1.2 Syfte

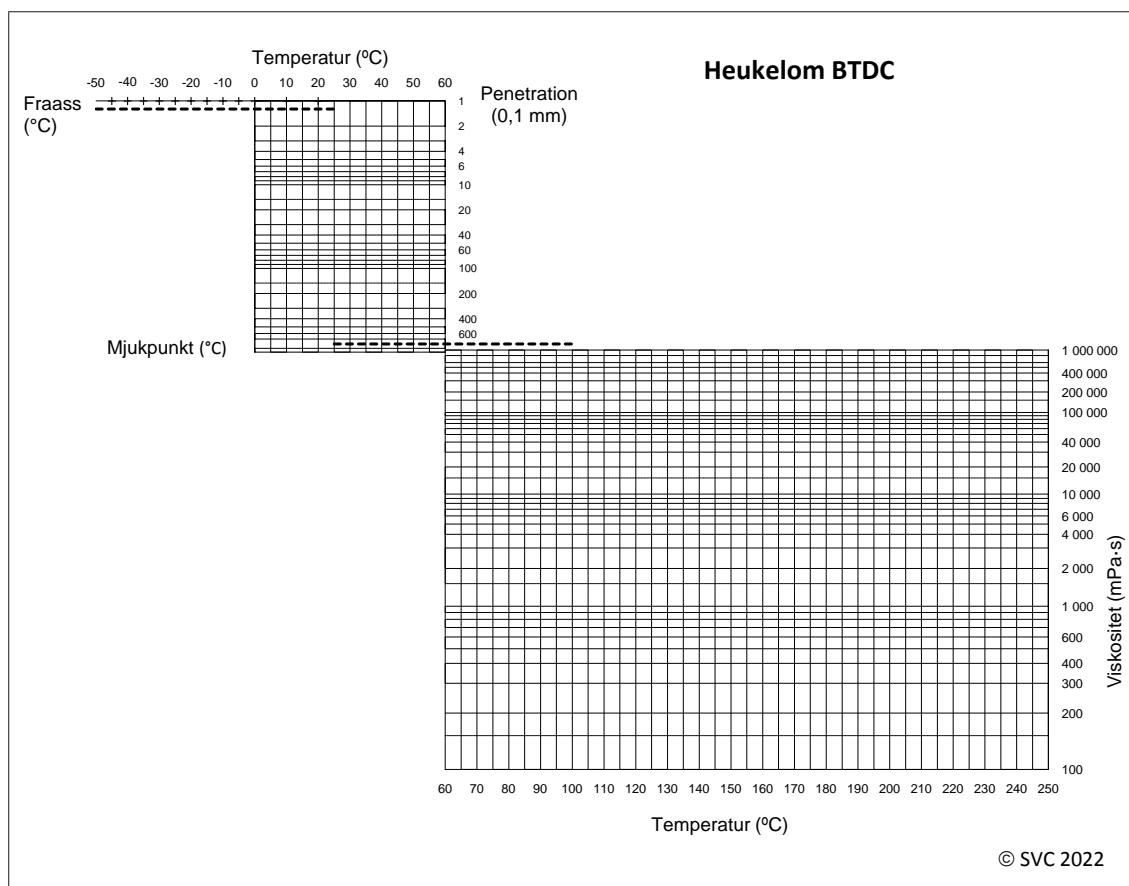
Syftet med det här examensarbetet är att undersöka vilken optimal inblandningsmängd föryngringsmedel behöver i returbitumen för att erhålla liknande egenskaper som jungfruligt bitumen. Med hjälp av Brookfields rotationsviskosimeter samt Heukoloms BTDC-diagram. I denna studie ska dessutom olika föryngringsmedels egenskaper jämföras inbördes och rangordnas utifrån deras potential att kunna föryngra återvunnet bitumen.

Följande frågeställningar och mål ska uppnås i studien:

- Vilken inblandningsmängd optimal för diverse föryngringsmedel.
- Vilken inverkan har de olika inblandningsmängderna för respektive föryngringsmedel på återvunnet bitumen.

1.3 Metodbeskrivning

Examensarbetet kommer att påbörjas med en litteraturstudie för att kunna få en djupare förståelse om bitumen och reologi samt hur tillverkningsprocessen för asfalt sker. Litteraturstudien är även till hjälp för att kunna inhämta information om returbitumen, de olika föryngringsolja samt viskositetens roll inom bitumen. Laborationer kommer sedan att utföras för att undersöka vilken växtolja samt mängd ger optimalast effekt som föryngringsmedel för den återvunna bitumen. Mätning av viskositet kommer att utföras vid höga temperatur till bitumens mjukpunkt med hjälp av en rotationsviskosimeter, så kallad RVB. Mätmetoden och testerna som utförs kommer att styras samt bevakas med en pc-styrd körning. Syftet är för att kunna analysera hur de olika föryngringsolja förhåller sig till vid flera temperatursteg för att kunna finna rätt inblandningsmängd till det återvunna bituminet. Resultaten kommer att presenteras med hjälp av Willem Heukeloms diagram BTDC och av diagrammet kommer parametrar som Mjukpunkt, penetration samt brytpunkt kunna beräknas genom WLF-sambandet, se Figur 1. Därefter kommer en avslutande del med kommentarer, slutsatser och förslag till framtida examensarbeten för fortsatta studier samt komplettering.



Figur 1 Heukelom BTDC-diagram

1.4 Avgränsning

Examensarbetet är begränsad till fyra föryngringsoljor och två bitumensorter 160/220 och 50/70. Föryngringsoljorna har tillverkats av olika representanter och har förmedlats av Skanska i Malmö, en av oljornas produktnamn får dock inte anges utav sekretesskäl.

Endast en mätmetod kommer att köras och kommer inte att jämföras med konventionella samt standardiserade mätmetoder som exempelvis Kula & Ring samt kapillärviskosimeter. Ingen användning av RTFOT eller PAV har använts i detta examensarbete.

2 Litteraturstudie

2.1 Reologi

Läran om vätskor och materials tidsberoende deformationsegenskaper kallas för reologi och etablerade sig som en särskild vetenskap under 1930-talet av professor Eugene Bingham som även grundade Society of Rheology december 1929. Reologin utvecklades därefter av forskaren Marcus Reiner år 1940 och med reologin utvecklades sätt att kunna jämföra och beskriva förhållandet mellan olika materials spänning och töjning i viskösa- samt fasta tillstånd. Tre grundläggande egenskaper finns inom reologin: viskositet, elasticitet och plasticitet. Dessa grundelement kan kombineras för att skildra ämnen med viskoelastiska eller viskoplastiska egenskaper (NE, 2022A).

Inom reologin beskrivs elasticitetsmodulen E för elastisk deformation som representeras av Hookes-element. Vätskors deformation i visköst tillstånd representeras med viskositeten N av ett Newton-element och plastisk deformation med konstant flytspänning av ett friktionselement, så kallad Saint-Venant-element (NE, 2022A).

2.2 Asfalt

Vägtekniken har utvecklades enormt under de senaste decennier och idag är asfalt den mest favoriserade vägbeläggningstyp som förekommer runt om i Sverige. Asfalten besitter goda egenskaper och genomgått en stark utveckling för att klara av de krav som ställs på trafik. Material med goda hållfastegenskaper krävs för att exempelvis klara av befintlig samt ökad trafikmängd och asfaltsbeläggningar besitter de egenskaper för att uppfylla kraven. Asfalt som vägbeläggning är lätt att bryta upp, komplettera och återvinna både ur ett industriellt- samt kostnadseffektivt perspektiv (Agardh & Parhamifar, 2014).

Asfalten består i huvudsakligen av tre huvudkomponenter: stenmaterial i olika kornstorlekar, bitumen och filler, varav olika mängd filler samt bitumen appliceras beroende på vilken sorts konsistent asfalten skall besitta.

Asfaltsmassan byggs upp av stenmaterial med ett bindemedel, bitumen. Bitumens funktion är att hålla ihop stenmaterialet och kan utformas efter önskvärda trafik- och klimatbehov. Stenmaterialet står för 95 % av asfaltsbeläggningen. Därmed tillkommer eventuellt tillsatsmedel om man vill ha olika asfaltstyper. Vid tillverkning av asfaltsmassa är kvalitén på stenmaterialet av stor vikt, sämre råvaror resulterar i sämre asfaltsmassa att kunna uppfylla den önskvärda nivån och egenskapsfunktioner som ställs. Trafikmängd, geologiska förutsättningar samt klimat är även påverkande faktorer som påverkar hur vägens uppbyggnad ska konstrueras (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.2.1 Återvinning av asfalt

Återvinning och återanvändning av asfalt har sedan länge varit en väl praktiserad metod samt en företeelse inom vägområdet. Dagens vägar dimensioneras för 20 år (låg till normaltrafik) men under vägens tekniska livslängd återuppstår skador samt allmänt slitage på vägkonstruktionen. Vägarna behöver underhållas, exempel på kritiska skador enligt *AASHTO* är plastisk spårbildning, åldrande utmattning samt krympsprickor (Røkenes and Hansson, 2016). Tekniken för högkvalitativ återvinning har utvecklats och det finns stor potential att återvinna naturresurserna från exempelvis asfaltsbeläggningar (Per Tyllgren, 2022).

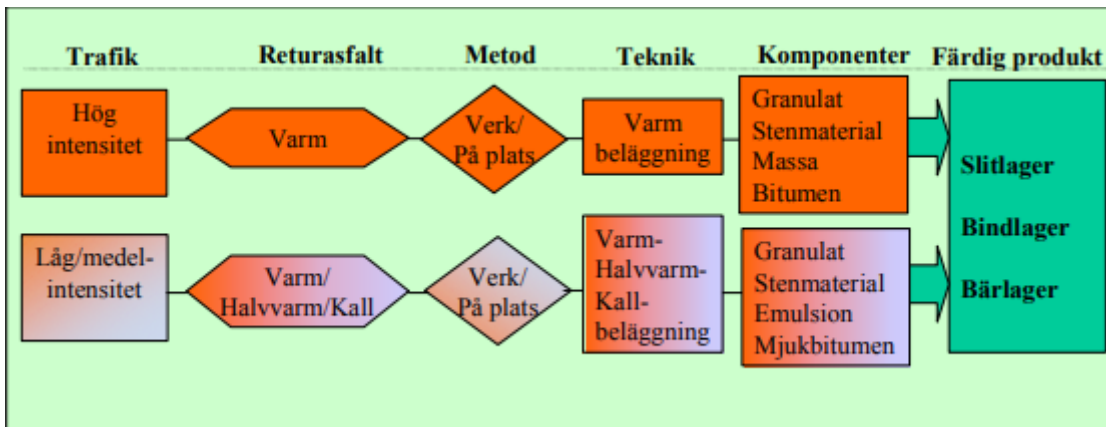
Trafikverket beräknar årligen att ungefär 9,5 miljarder kronor per år används för drift- och underhåll av statligt vägnät, en tredjedel är kostnader för underhåll av beläggningar. Årlig tillverkad asfaltsvolym beräknas upp till 7 miljoner ton varav 1–2 miljoner ton återvinns på Trafikverkets vägar (Svensk Byggtjänst, 2011).

Vid återvinning av asfalten finns det 6 nyckelfrågor, varav punkt 3 är en fråga som har två lösningar:

1. Upplagens homogenitet
2. Returasfaltens bitumenhalt
3. Returasfaltens bitumenkvalitet
4. Stenmaterialets kvalitet och sammansättning
5. Mjukt bitumen
6. Föryngringsmedel

Vid val av återvinningsmetod måste hänsyn till trafikbelastning uppmärksammas och är en faktor för hur man ska gå till väga.

Tekniken som används är återvinningsmetoder med hänsyn till varm-, halvvarm- och kall teknik. Olika tekniker utgås beroende på hur högtrafikerad en väg är, kall- och halvvarm teknik används där vägar beaktas vara låg- samt medeltrafikerade. Varmteknik används på vägar som beaktas vara högtrafikerade, se Figur 2 (Per Tyllgren, 2010).



Figur 2 Asfaltens återvinningsprocess

2.3 Bitumen

Bitumen är ett mörkbrunt till svart material och bindemedel till stenmaterialet. Ämnet kan bildas ur naturen men framställs främst ur destillation av råolja genom hög temperatur samt undertryck. Bitumen karakteriseras med att ämnet har en bindande förmåga, och består utav en blandning av kolväten. I Sverige har bindemedel såsom bitumen, naturasfalt, tjära (förbjudet sedan 70-talet), bitumenlösning, polymermodifierat bitumen (PMB) och bitumenemulsion använts. Den dominerande alternativet är petroleumbaserad bitumen då stenkoltjära, som tillhör gruppen naturbitumen används inte längre i Sverige. Anledningen till detta är på grund av de cancerogena effekter stenkoltjäran besitter vilket gör petroleumbitumen ett mer effektivt alternativ (NE, 2022B), (Per Redelius 1999).

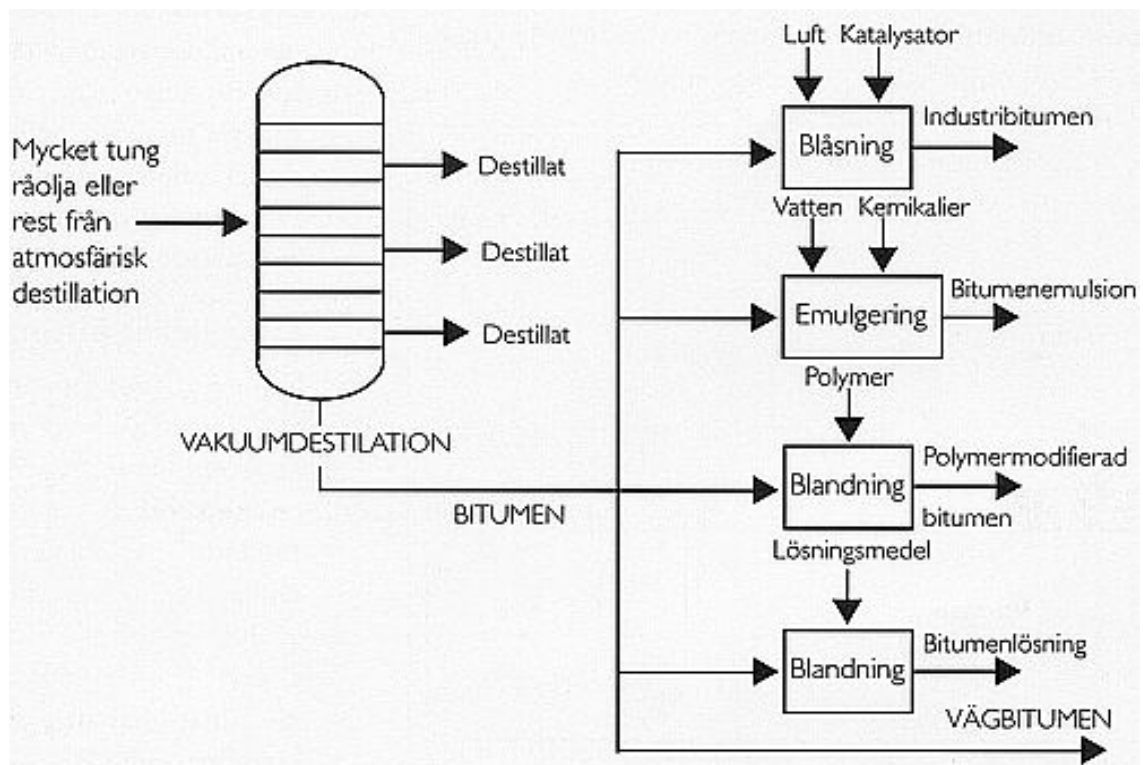
Bitumen, ur ett reologiskt perspektiv, beskrivs som ett termoplastiskt material. Det menas att bitumen vid uppvärmning mjuknar upp och med tiden samt avkylning blir styvare. Materialet kan deformerars på två olika sätt vid påkänningar då bitumen beskrivs som ett viskoelastiskt material. Bitumens egenskaper tillåter ämnet att kunna anpassa sig till de krav trafikförhållandet kräver som exempelvis trafikmängd och klimatförutsättningar (Per Redelius, 1999).

Innan bitumen kan komma till användning behöver ämnet raffineras. Raffineringen utförs med destillation som går ut på att skilja ämnena åt i materialet genom olika kokpunkter. Efter destilleringen av bitumen kan fem bitumensorter skapas:

- Oxiderat bitumen
- Extraherat bitumen
- Bitumenlösning
- Bitumen-emulsion
- Polymermodifierat bitumen (PMB)

(Read & Whiteoak 2003), (Per Redelius, 1999)

Destillationsprocessen utförs genom att uppvärma råoljan i en ugn mellan 300–350°C där råoljan i detta skede består enbart av gas och vätska. För att kunna separera ämnena i råoljan används ett destillationstorn för att kunna spruta in råoljan. Detta resulterar i att gasen stiger uppåt medan vätskan förskjuter sig ifrån gasen och stiger nedåt. På botten i destillationstornet skapas då bituminet med innehåll av styvare oljor. Destillationsprocessen behöver utföras en andra gång under vakuumtryck, så kallad vakuumdestillation, för att kunna framställa en mer renare bitumen. Efter destillationsprocesserna kan man producera fram önskad bitumenkvalité, se Figur 3 (Read & Whiteoak 2003), (Per Redelius, 1999).



Figur 3 Bitumens framställningsprocess (Per Redelius, 1999)

Bitumens karakteristiska egenskaper som gör materialet så framgångsrikt och samhällsnyttigt beror på 6 punkter:

- **Vidhäftningsförmåga** – Bitumens har bra förmåga att binda sig till andra material som stenmaterial
- **Motstånd mot vatten** – Bitumen har bra impregneringsegenskaper och kan sägas vara vattentät
- **Resistans mot kemikalier** – Kan funktionera trots kemikaliska baser, syror samt salter vid måttlig mängd
- **Klimatisk resistans** – Klarar av olika sorters klimat som värme, kyla och luft
- **Hållbarhet** – Tål stor mängd trafikbelastning
- **Återvinningsbart** – Är återvinningsbart med rätt teknik

(Gustavsson och Thylander, 2013)

2.3.1 Mjukpunkt

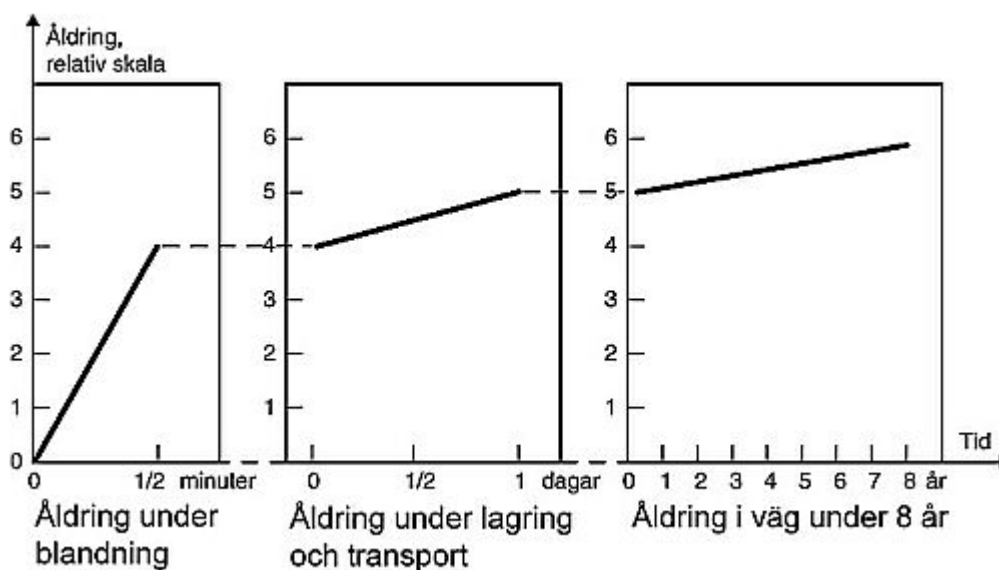
Bitumen har ingen definierad smältpunkt däremot blir bitumen mer lättflytande vid temperaturökning och mjukare. Denna mjukpunkt beskriver bitumens övergång från att vara styvt till att bli mjukt. (Emanuelsson & Jansson, 2013). Mjukpunkten definieras som temperaturen vid den dynamiska viskositeten $1\,300\,000\text{ mPa}\cdot\text{s}$ (Heukelom, 1973). Om man förutsätter beräkning utan föroreningar och tillsatser har man historiskt sätt beräknat mjukpunkten med hjälp av Kula & Ring (Tyllgren, 2017). Denna mätmetod sträcker sig långt tillbaka historiskt, men om man ska beräkna mjukpunkt för alla typer av bitumen är rotationsviskosimetern ett alternativ.

2.3.2 Penetrationstal

Penetrationstal definieras som ett sätt att mäta kvalitén på bitumen vid en temperatur på 25°C . Mätmetoden utförs genom att sätta en nål med en tyngd som sjunker ned i ett prov med bitumen under ett tidsintervall. Penetrationstal anger sedan de antal tiondels millimeter som nålen penetrerat bituminet. Kvalitén i bindemedlet anges ofta under ett intervall, t.ex. 70/100 vilket har fått benämning för standard penetrationstal hos bitumen för användning på vägar. Detta är dock inte det enda kravet som ska uppfyllas för att bindemedlet ska kunna kallas för 70/100 utan måste uppfylla en del andra krav också (Agardh & Parhamifar, 2014). De kraven kommer inte tas upp i denna rapport.

2.4 Åldrande av bitumen

Åldring av bitumen brukar delas in i två delar: kortsiktiga och långsiktiga, se Figur 5. Den kortsiktiga åldringen sker vid anläggningen då bindemedlet utsätts för värme vilket leder till ökad viskositet. De reologiska samt fysiokemiska egenskaperna hos bituminet förändras. Egenskaper som ändras är skjuvmodul och adhesion. Den långsiktiga åldringen inträffar då vägen används under vägens tekniska livslängd och resulterat i att den åldras samt styvnar genom olika mekanismer. (Al-Qadi m.fl., 2007). Direkt när den nyanlagda asfalten har placerats ut och får kontakt med syre resulterar det i oxidation (Hamlet & Svensson, 2013).



Figur 4 Åldrande av bitumen under asfaltstillverkning (Per Redelius, 1999)

2.5 Viskositet

Viskositet är ett fysikaliskt begrepp hos vätskor och gaser som beskriver hur trögflytande en vätska är, samt motstånd en vätska utsätts för. Den kan även uttryckas med den inre friktionen en vätska eller gas utsätts för. Kemikaliska ämnen med låg inre friktion och viskositet är mer lättflytande än ämnen med höga värden (NE, 2022C). De matematiska uttrycken beskrivs i ekvation 1,2 och 3.

Det finns två typer av viskositet beroende på mätning:

- Dynamisk viskositet
- Kinematisk viskositet

Dynamiska- och kinematiks viskositet har ett gemensamt matematiskt samband:

- η (dynamisk) = η (kinematik) \cdot ρ (ekv 1)

där ρ står för vätskans densitet. Uttrycket för både kinematiks och dynamisk viskositet kan beskrivas med ett gemensamt matematiskt samband:

$$\nu = \eta / \rho \text{ [mm}^2/\text{s]} \quad (\text{ekv 2})$$

Där

ν är kinematiks viskositet uttryckt mm^2/s

η är dynamisk viskositet uttryckt i $\text{mPa} \cdot \text{s}$

ρ är vätskan eller gasens densitet uttryckt i mg/mm^3 (g/cm^3 , kg/dm^3 , ton/m^3)

I detta examensarbete kommer endast dynamisk viskositet beräknas med avseende på skjuvspänning och skjuvhastighet då rotationsviskosimetern bara mäter viskositeten i hänsyn till dessa faktorer.

Matematiska sambandet för den dynamiska viskositeten är:

$$\eta = T / \gamma \text{ [mm}^2/\text{s]} \quad (\text{ekv 3})$$

där

η = dynamisk viskositet [$\text{mPa} \cdot \text{s}$]

T = skjuvspänning [Pa]

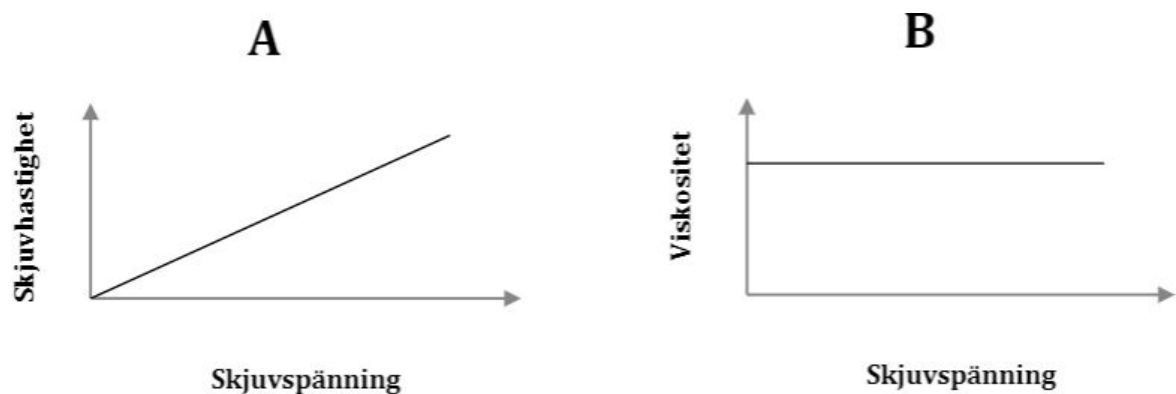
γ = skjuvhastighet [1/s]

2.5.1 Newtonsk och icke-newtonska vätskor

Inom viskositetsläran beskriver man vätskor som newtonska eller icke-newtonska vätskor. En newtonsk vätska definieras som den vätska där den applicerade skjuvspänningen är skjuvspänning T proportionell med skjuvhastigheten γ när temperaturen är given (Koenders, 2015).

Det betyder att om spindeln i rotationsviskosimetern roterar med dubbel hastighet under en konstant viskositet så fördubblas kraften, se Figur 4.

Konstant viskositet kommer att illustreras i samband med att temperaturen och trycket är konstant oberoende av skjuvhastigheten (Erlandsson, 2012).



Figur 5 Newtonsk vätska med konstant viskositet (Brookfield, 2011)

En icke-newtonsk vätska är en vätska som inte uppfyller de ovanliggande kraven samt vätskor som ändrar viskositeten i förhållande till skjuvspänningen (Subramanian, 2002).

2.6 Föryngringsmedel och bitumen

Föryngringsmedel är en nygamal metod och det är inte förrän på senare tid miljövänliga oljor etablerad sig på marknaden. Processen har oftast varit en inblandning av returbitumen med tillsatt mjukt bitumen, detta resulterar vanligtvis i en seg asfaltsmassa. Genom tillsättning av miljövänliga högraffinerade mineraloljor har en studie från SBUF (Svenska Byggbranschens utvecklingsfond) visat att resultatet till returafalt hade bättre utmattningssegenskaper på asfalt med mjuknande mineralolja. Den föryngrande returafalten testades på provvägar i Halland och Skåne (Svensk Byggtjänst, 2011).

Tillsatts av föryngringsmedel sker på två tillfällen:

1. Vid krossning av returafalt
2. Strax före inblandning av returafalt

Vid krossning av returafalt ges möjlighet att sprida föryngringsolja jämnt över hela materialet och samtidigt ge möjlighet, medan materialet hanteras, att sugas in i granulatet. Har det inte funnits möjlighet att sprida föryngringsmedlet i förväg kan det ske strax innan returafalten matas in i elevatoren till parallelltrumman (Per Tyllgren, 2022).

2.7 Rotationsviskosimeter

År 1932 efter att ha avslutat sina studier i MIT (Massachusetts Institute of Technology) bestämde sig ingenjören Dan Brookfield med hjälp av sina bröder och far två år senare att starta företaget Brookfield CO. Dons motiv bakom hans företagsidé var "högsta kvalitets mätinstrument till det absolut lägsta pris". Företaget var ett familjeägt företag fram tills 1986 och köptes upp av AMATEK. Idag har företaget försäljare i 60 länder varav produktionen tillverkas i deras högkvarter i Middleboro, Massachusetts (The National Provisioner, 2014).

RVB används för att mäta de reologiska egenskaperna bland vätskor.

Viskositet används för att beskriva ämnets tillstånd i förhållande till skjuvspänning och skjuvhastighet, enligt definitionen i kapitlet 2.5 Viskositet. Till utrustningen finns olika typer av spindlar för penetration av det studerande ämnet. Spindeln har en fast axel som kopplas in och används under hela mättningsförloppet. Mätmetoden har en termosel där man kan ställa in till önskad temperaturnivå. Inhämtning av data sker genom en PC där man kan sätta ut olika mätningpunkter vid olika temperaturer för att se hur ämnet förändras under mättningsförloppet. Resultatet av detta blir en rät linje som kan uttryckas ur ett matematiskt samband genom WLF-ekvationen (Williams-Landel-Ferry). Beräkningen finns tillgängligt i en Excel-fil och beräknar enligt minstakvadratmetoden. I detta examensarbete är RVB den enda metod som har använts för att ta fram mätdata av returbituminet med inblandad föryngringsolja.

WLF-Formeln:

$$\log(a_{T'}) = \frac{-C_1 \cdot (T - T_{ref})}{C_2 + (T - T_{ref})}$$

där

C1 och C2, konstanter

T, Temperatur [°C]

T_{ref}, Referenstemperatur [°C]

a_T, skiftfaktor som för Newtonska polymera vätskor

(Erlandsson, 2012)

2.7.1 Heukelom-diagram

År 1973 inrättade Willem Heukelom ett diagram som beskrev viskositet hos bitumen och hur den varierar i förhållande till temperatur. Diagrammet kallas för Heukelom BTDC (Bitumen Test Data Chart) och illustrerar ämnets viskositet, penetration och mjukpunkt och Fraass (Andersson & Sulejmani 2014), (Heukelom, 1973).

Diagrammet är en kombination av fyra olika tester: penetration, mjukpunkt, viskositet och Fraass. Fraass breaking point förklarar vilken temperatur ett bitumen spricker efter sänkning till en lägre temperatur. Dessa fyra tester presenteras i ett och samma diagram (Read & Whiteoak, 2003).

Diagrammet omfattar två innerdiagram, där den övre diagrammet är temperaturberoende med linjärskala samt den nedre diagrammet som står för penetrationstal och är logaritmiskt. En rät linje bildas och infaller i de båda innerdiagrammen och kallas för viskositetslinje. Med hjälp av Heukelom BTDC kan man beräkna mjukpunkten för bitumen som definieras vid 1 300 000 mPa·s (Andersson & Sulejmani, 2014).

3 Metod

Under genomförandet har returbitumen med fyra föryngringsmedel experimenteras med inblandningsmängd som ska resultera i en slutprodukt som efterliknar ett jungfruligt bitumen. En rotationsviskosimeter av typ Brookfield Viscometer DV-II Pro EXTRA med stativ har använts där mjukvaran Rheocalc sköter dataprocessen via PC. Rotationsviskosimetern innehar en Thermosel för att temperaturändrig och uppvärmning samt en spindel av typ SC4-27 som fästs vid. Den mätning som bör uppmärksammas var vid 1 300 000 mPa·s som är Mjukpunkten för ämnet.

3.1 Utrustning

- Brookfield Viscometer DV-II Pro EXTRA med stativ
- Brookfield Thermosel med tillhörande styrenhet
- Dator med mjukvaran Rheocalc
- Provbehållare med stativ
- Tång för hantering av provbehållare

- Spindel med fast axel SC4-27
- Lock vid provkörning
- Skyddsutrustning

3.1.1 Spindel

Under de mätningarna som utfördes i reolaboratoriet har en spindel av typ SC4-27 använts, se Figur 6. Spindeltypen #27 är anpassad för att kunna beräkna volymen på ett provrör på 10,5 ml för att få de mest fördelaktiga resultat. Spindeln för användning av mätningarna har en lång axel som kopplas in till rotationsviskosimetern och när den sitter fast så ska den föras i provröret. Fördelen med #27 är att den är självcentrerad när den kopplas in dock är nackdelen att just med den fasta axeln kan resultera i instabilitet vilket medför att spindeln kan börja 'wobbla'. Detta kan medföra att resultat misstolkas och läses fel av maskinen. Fördelen med just denna spindeltyp är att den klarar av större vridmotstånd och passar bra till mätning av mjukpunkten.



Figur 6 Spindeltyp SC4-27 som användes i maskinen

3.1.2 Provrör

De provrör som använts i detta examensarbete rymmer 24 ml och är 8 cm långa, se Figur 7. Spindeln är utformad för att klara av provrören på 10,5 ml. Utifrån provrörets rekommenderade volym kunde returbitumen med förnygringsolja tillföras.



Figur 7 Provrör med markör (6B) som markerar provets innehåll



Figur 8 Utrustning för Brookfields rotationsviskosimeter, RVB

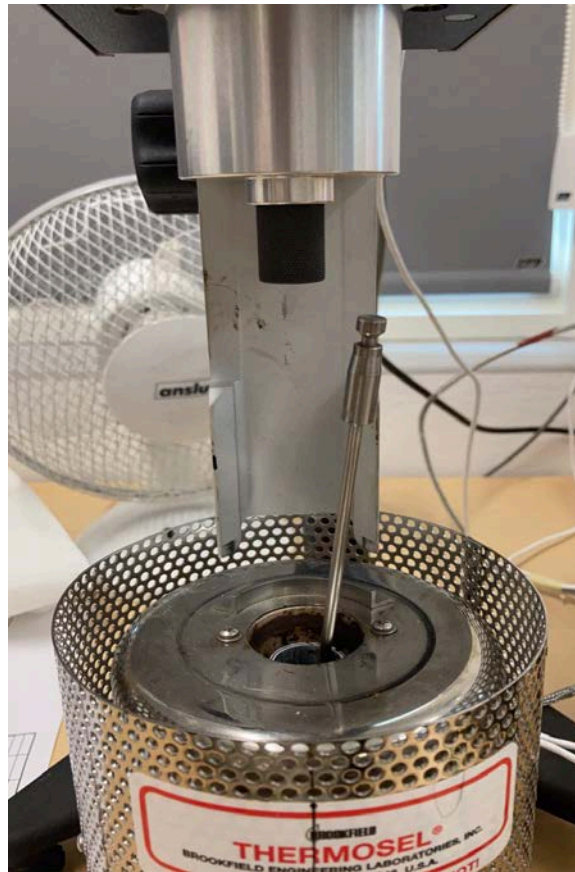
3.1.3 Genomförande av RVB

När returbitumen är tillsatt med föryngringsolja samt är blandad i provröret kan mätningen påbörjas. Föryngringsoljorna har kylts ned till en temperatur strax innan 20°C för att inte kunna påverkas av rumstemperatur. Tillverkningen av proverna gjordes efter en provberedningsmanual, se Bilaga 10. Den gjordes för att de inblandande ämnena skulle få samma procedur.

När RVB är startad kan man förbereda provet för körning. Första steget är att föra in provet i utrustningens provhållare, se Figur 9. När man för in provröret skall man rotera ungefär 30 grader för att den verkligen ska sitta fast, på så sätt minskar de risken för att resultaten skall påverkas.



Figur 9 Provrör förs in i provrörsbehållare



Figur 10 Spindel sänks ner i uppvärmd bitumen

När provröret sitter fast värmer man upp Thermoselen. Uppvärmningen styrs med datorprogrammet med Rheocalc. Det styva bituminet kommer att mjukna upp och tillåta spindeln att penetrera, se Figur 10. När bituminet är uppvärmt kan spindeln förberedas för insättning, den ska sjunkas ner ett par cm i provröret. Därefter kopplas spindeln in till den fasta axeln, se Figur 11.



Figur 11 Spindel späns med den fasta axeln

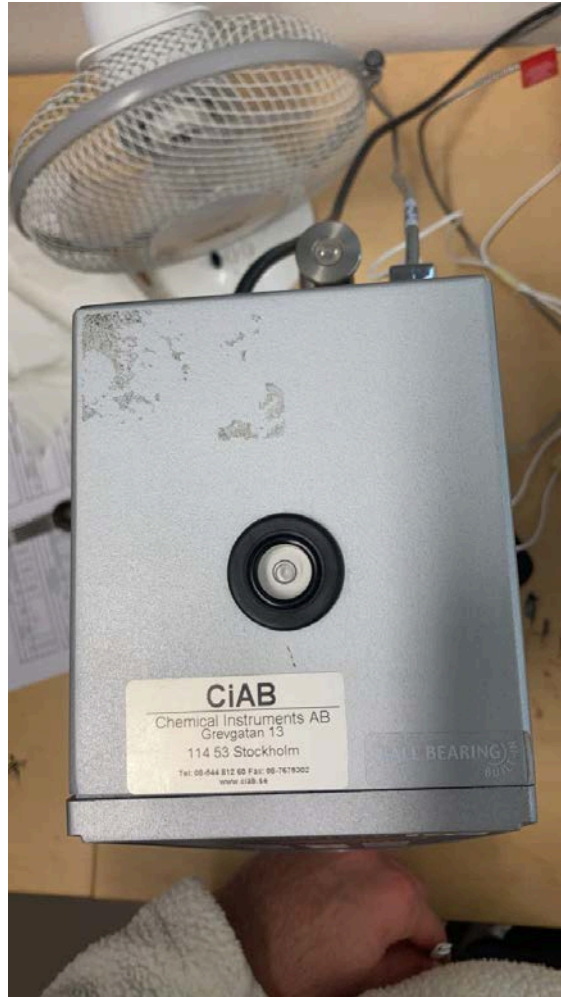


Figur 12 Nedsänkning med hjälp av spaken

Nu kan spindeln sänkas ner i provet och det utförs genom att sänka spaken som finns på baksidan av maskinen, se Figur 12. Efter justering skall Thermoselen samt RVB ha rätt inställning med hjälp av vattenpasset. Bubblan skall placeras i mitten innanför cirkeln för att undvika ojämnheter och obalans, se Figur 13 och Figur 14.

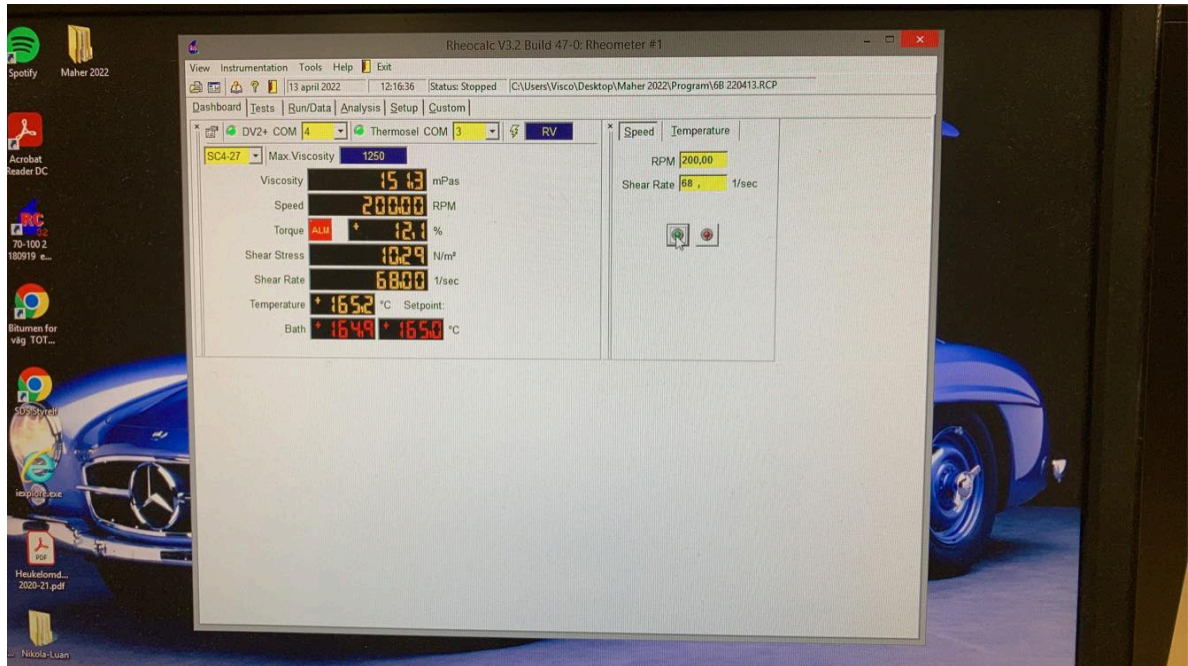


Figur 13 Vattenpass på thermoselen



Figur 14 Vattenpass på RVB

En programmerad körning utförs sedan med Rheocalc som utfördes enligt en programmeringsmanual, se Bilaga 11. Programmet har tillgång till fjärrstyrning vilket underlättar arbetet då man kunde observera testet från flera enheter utan att behöva närvara i laboratoriet. TeamViewer är ett program för fjärrstyrning som möjliggör styrning av Rheocalc. Detta ger möjligheten att kunna observera resultaten samt exportera utan att behöva utföra det fysiskt i laboratoriet, se Figur 15.



Figur 15 Rheocalc V3.2 Build 47-0 efter uppstart

För sammanställning av resultat utgick detta examensarbete utifrån fem kravparametrar:

- Viskositet vid 135°C
- Viskositet vid 60°C
- Mjukpunkt
- Penetration
- Brytpunkt enligt Fraass

3.2 Beteckningar av föryngringsmedel och bitumen

Testerna på returbitumen med föryngringsolja utfördes på de fyra oljor som tillhandahållits för utförandet av detta examensarbete. Testerna bestod av fyra olika tester samt beskrevs i numerisk ordning 4,5,6 och 7. För varje föryngringsolja utfärdades även tre tester på vardera olja och syftet var att hitta hur mycket mängd föryngringsolja som behövdes för att kunna återskapa returbitumen till en liknande bitumensort av typ 70/100 (jungfruligt bitumen). Följande provtabell skapades, se Tabell 1.

Tabell 1 Provtabell för föryngringsolja

Bitumen			Föryngringsoljor			
RB	Mjuk	Hård	TOP	Sylvaroad	STORFLUX	P18
1	2	3	4	5	6	7
			4A	5A	6A	7A
			4B	5B	6B	7B

Förklaring av tabell:

- RB: Returbitumen
- Mjukt bitumen: Bitumensort 160/220
- Hårt bitumen: Bitumensort 50/70

Fyra miljöanpassade föryngringsoljor har tillhandahållits för denna studie:

1. Tall Oil Pitch (Rest av tallolja)
2. Sylvaroad (Raffinerad tallolja)
3. STORFLUX (Returoolja)
4. P18 (Växtolja)

Alla ämnen har förmedlats av Skanska i Fosie i Malmö. Returbituminet kommer från ett av Skanskas asfaltverk i Skåne och som extraherats på Skanska VTC i Göteborg. Sylvaroad tillverkas av Kraton Chemical och är ett etablerat föryngringsmedel av raffinerad tallolja. STORFLUX tillverkas av tyska STORIMPEX och är också en etablerad produkt för föryngring och baseras på mineraliska returoljor. TOP uttyds Tall Oil Pitch och är en restprodukt från pappersmassaindustrin, i det här fallet utan angivelse av ursprung. P18 är ett växtoljebaserat föryngringsmedel under utveckling på ett företag som vill vara anonymt. Bitumensorterna 160/220 och 50/70 kommer från Skanskas asfaltverksamhet i Göteborg.

4 Resultat

Syftet med examensarbetet var att jämföra reologiska effekter av olika mängder naturolja jämfört med en mineralolja och med nyproducerat bitumen av kvalitet 70/100. Mätarbetet bestod av viskositetsmätningar med en rotationsviskosimeter av märket Brookfield. Med hjälp av WLF-sambandet beräknades Mjukpunkt, penetration och brytpunkt enligt Fraass med hjälp av Willem Heukeloms diagram BTDC. För varje föryngringsmedel provades fram den mängd som inblandad i returbitumen resulterade i en bitumenkvalitet med mjukpunkten 47 °C.

4.1 Använda bitumensorter och deras egenskaper

Bedömningen av föryngringen av extraherat returbitumen jämförs med egenskaperna hos konventionella bitumensorter som används i asfalttillverkningen. En standardanalys av dem redovisas i nedanstående tabell.

Tabell 2 Bitumenprodukter i undersökningen

Egenskaper hos använda bitumenprodukter					
Bitumen	Viskositet, mPa·s		Mjukpunkt	Penetration*	Fraass*
	135 °C	60 °C	°C	0,1 mm	°C
Returasfalt	1 147	2 565 484	64,0	18,1	-2,5
160/220	133	56 474	38,4	211,8	-26,9
50/70	287	369 280	52,2	58,1	-14,8
70/100**	423	173 713	46,7	97,7	-20,0

** 37,7 vikt% 160/200, 62,3 vikt% 50/70

* Beräknade värden

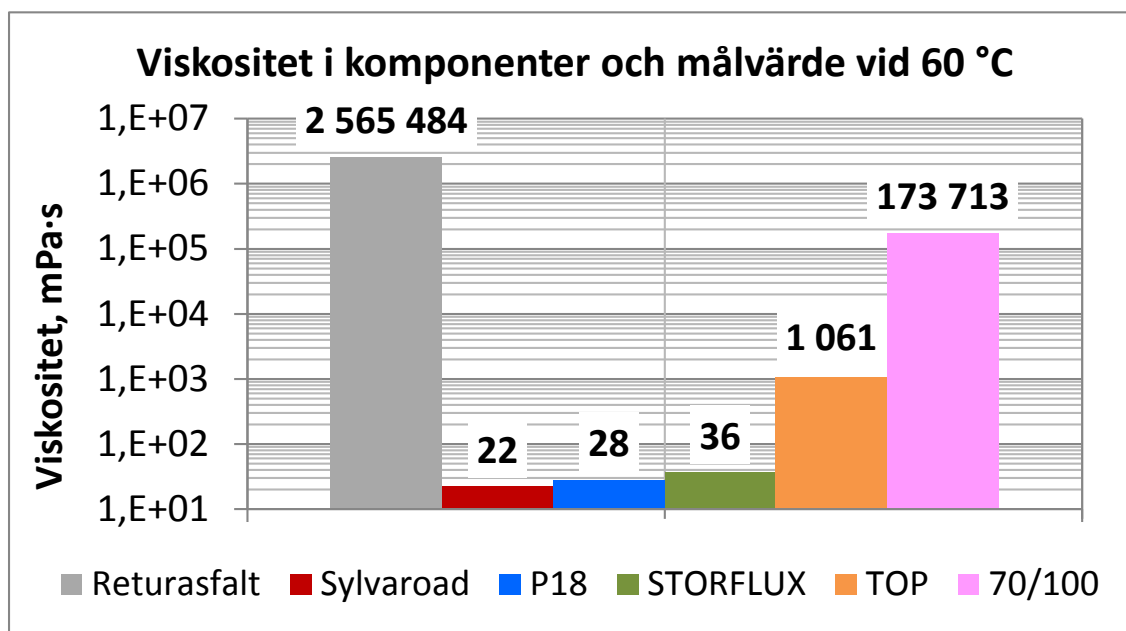
4.2 Föryngringsoljorna, returbitumen och blandningarna

Komponenterna i föryngrat returbitumen består av returbitumen och fyra olika föryngringsmedel. Nedanstående tabell och diagram beskriver några jämförande parametervärden som visar karaktäristiska skillnader. Mjukpunkterna för föryngringsoljorna är inte uppmätta utan beräknade ur WLF-sambanden och ska ses som matematiska konstanter. Värdena visar vilket stort spann det är mellan returbitumen och oljorna och att en av oljorna, TOP, skiljer sig från de övriga.

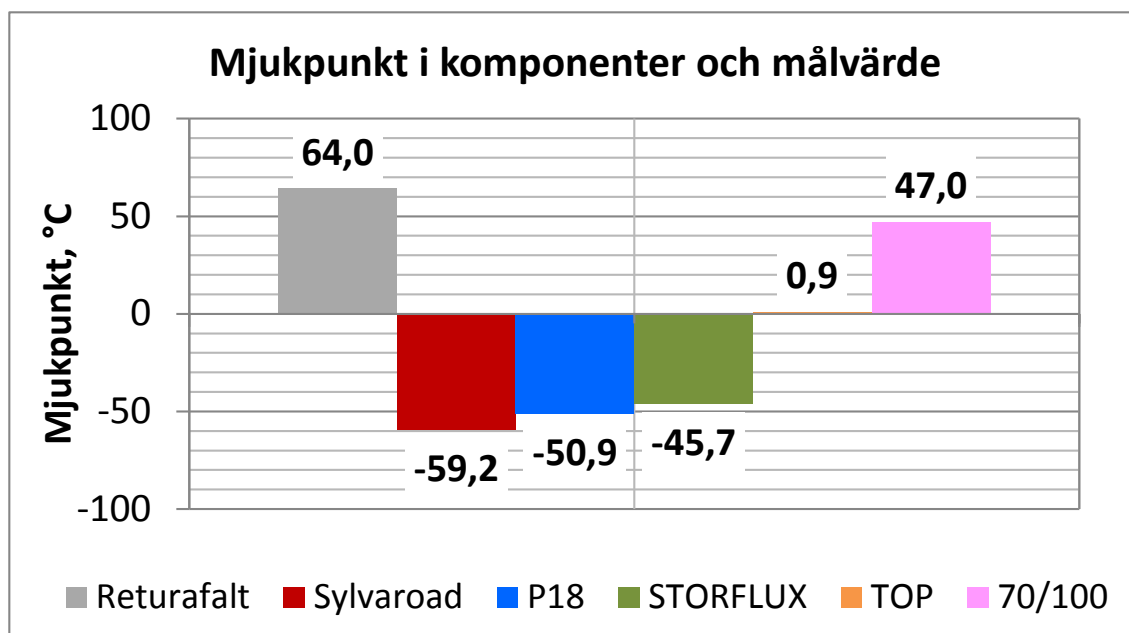
Tabell 3 Föryngringsoljornas egenskaper

Egenskaper hos föryngringsolja		
Komponenter	Viskositet vid 60 °C	Mjukpunkt
	mPa·s	°C
Returafalt	2 565 484	64,0
TOP	1 061	0,9*
Sylvaroad	22	-59,2*
STORFLUX	36	-45,7*
P18	28	-50,9*
70/100	173 713	47,0

* Beräknade värden



Figur 16 Delkomponenternas viskositet och målvärdet för blandningarna vid 60 °C.



Figur 17 Delkomponenternas Mjukpunkt och målvärde för blandningarna.

4.3 Egenskaperna hos förnygrat bitumen

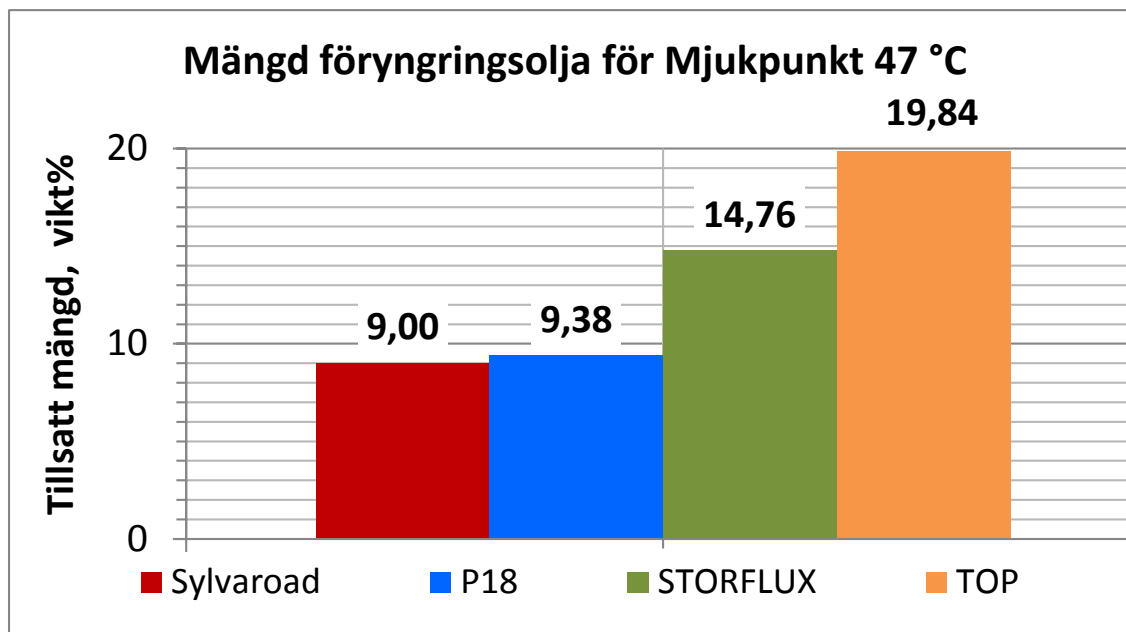
Tabellen samlar mätvärdena för respektive förnygringsolja i två steg. Det första som förundersökning av effekten, den andra för att med ledning av det resultatet träffa Mjukpunkten 47 °C så nära som möjligt. Till slut beräknades ett justerat värde med hjälp av ett bildat samband som anger den exakta behövliga mängden (justerat värde, redovisat i första stapeldiagrammet). Efterföljande diagram visar utvecklingen och slutvärdet för övriga parametrar när Mjukpunkten är 47 °C.

Tabell 4 Blandningarnas egenskaper vid olika inblandningsmängder.

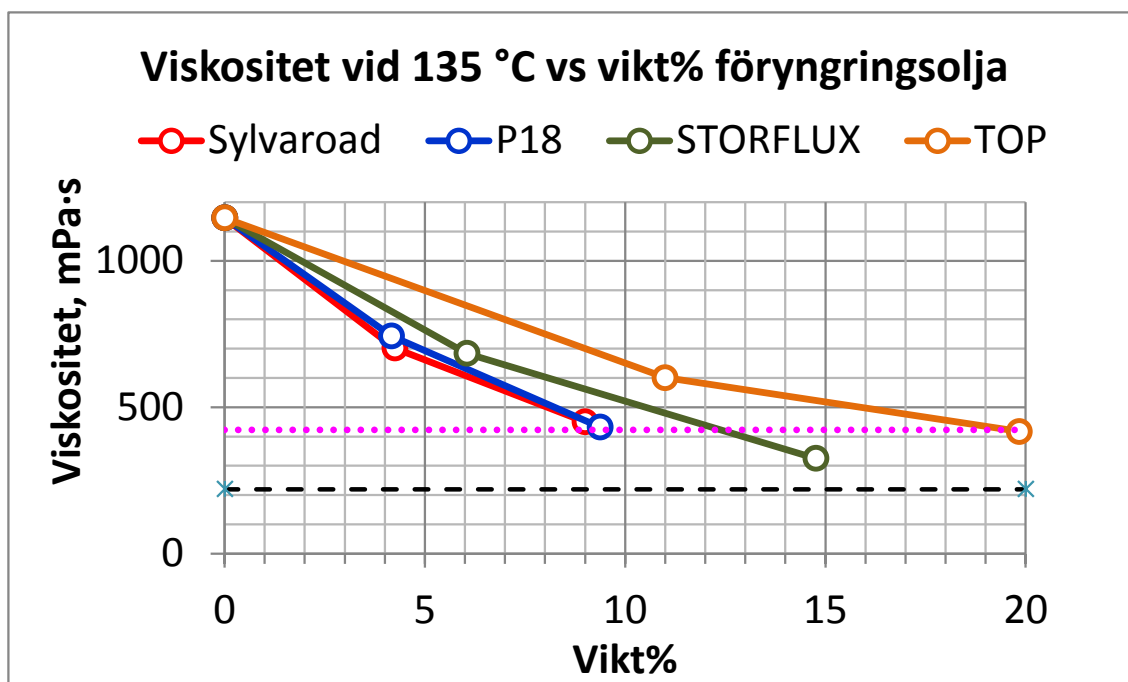
Egenskaper hos föryngrat bitumen						
Olja	Mängd vikt%	Viskositet, mPa·s		Mjukpunkt °C	Penetration* 0,1 mm	Fraass* °C
		135 °C	60 °C			
TOP	11,00	601	498611	53,9	47,6	-12,2
	19,02	434	215399	47,9	85,6	-18,3
Justerade värden	19,84	417	199046	47,0	93,5	-18,8
Sylvaroad	4,25	702	725568	56,1	38,6	-10,2
	9,31	433	179478	46,3	103,3	-20,9
Justerade värden	9,00	450	231366	47,0	81,3	-20,2
STORFLUX	6,05	684	811364	57,0	33,9	-8,4
	14,76	325	168662	47,0	85,5	-16,5
Justerade värden	14,76	325	169361	47,0	85,5	-16,5
P18	4,17	743	744318	56,4	38,7	-10,6
	9,44	429	192614	46,9	95,9	-19,7
Justerade värden	9,38	432	197291	47,0	94,3	-19,6
70/100**		423	173713	46,7	97,7	-20,0

** Referensbitumen

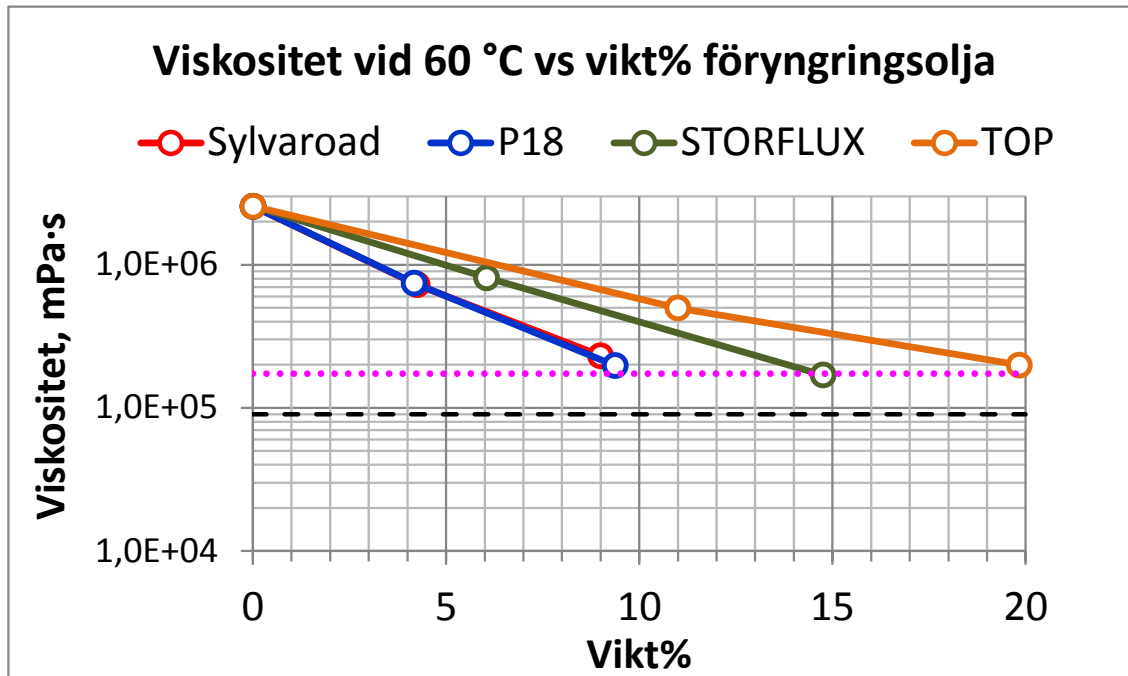
* Beräknade värden



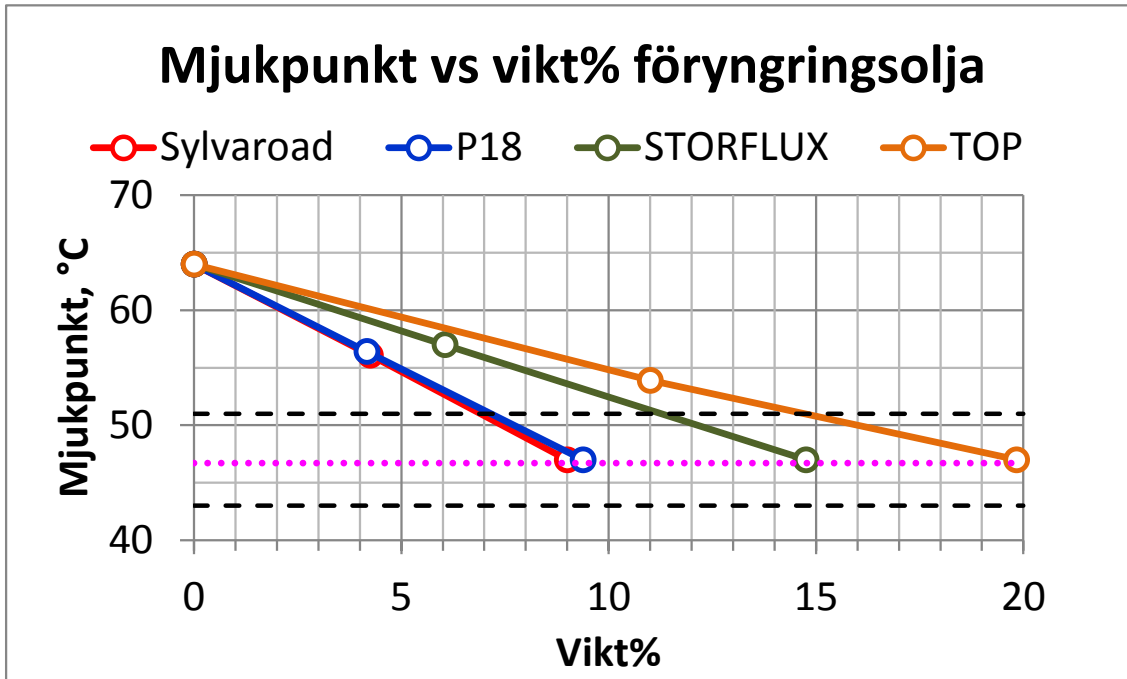
Figur 18 Tillsatt mängd föryngringsmedel till returbitumen för att blandningen ska ha Mjukpunkten 47 °C.



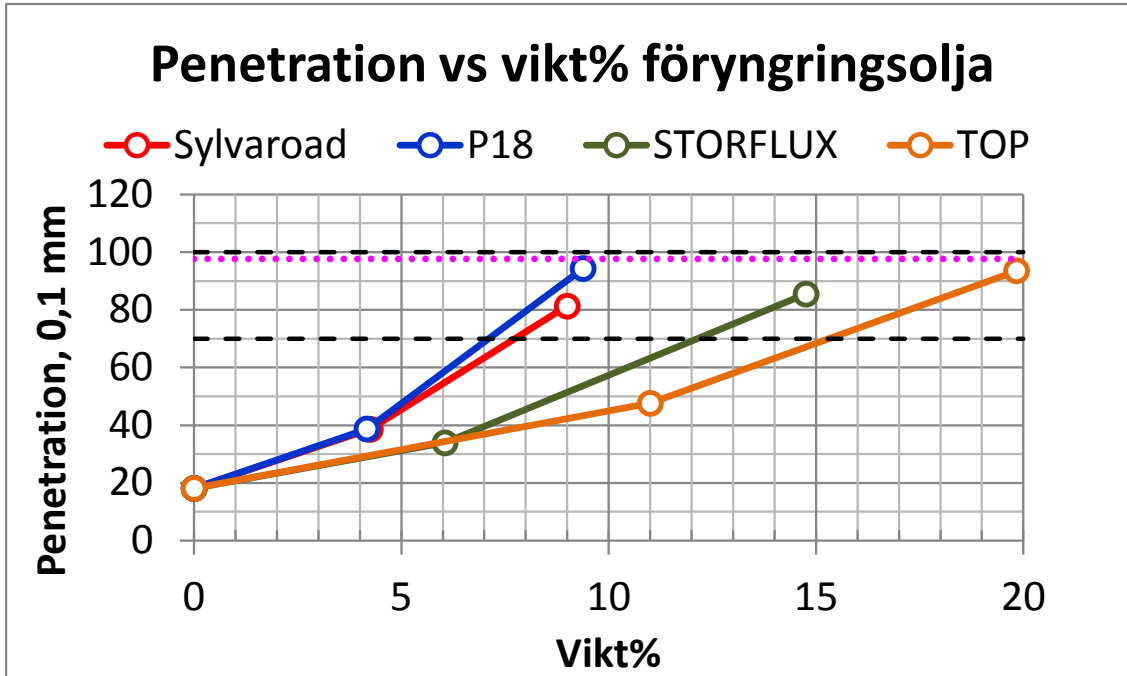
Figur 19 Resulterande viskositet vid 135 °C efter ökad inblandning av respektive förnygringsolja till avsett målvärde för Mjukpunkten. Minimigräns för 70/100 enligt TDOK 230 mm²/s (ca 220 mPa·s). Undersökt referensbitumen 70/100 i lila punktlinje.



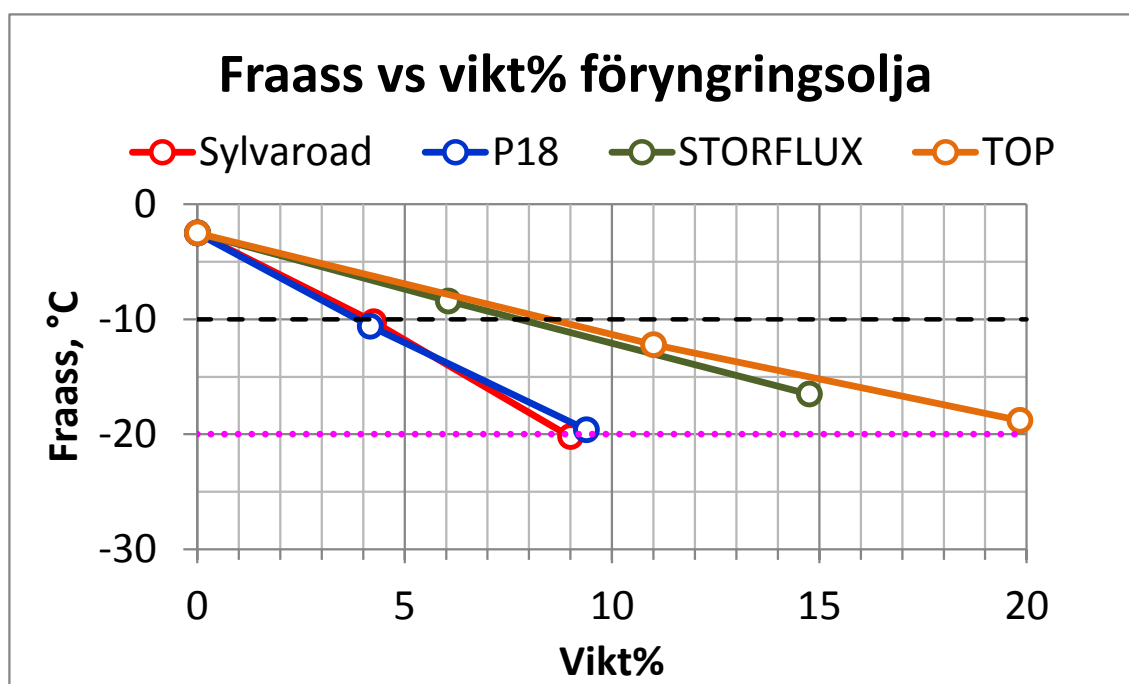
Figur 20 Resulterande viskositet vid 60 °C efter ökad inblandning av respektive förnygringsolja till avsett målvärde för Mjukpunkten. Minimigräns för 70/100 enligt TDOK 90 000 mPa·s. Undersökt referensbitumen 70/100 i lila punktlinje.



Figur 21 Mjukpunkt efter ökad inblandning av respektive föryngningsolja till avsett målvärde. Gränser för 70/100 enligt TDOK 43-51 °C. Undersökt referensbitumen 70/100 i lila punktlinje.



Figur 22 Penetration efter ökad inblandning av respektive föryngningsolja till avsett målvärde för Mjukpunkten. Gränser för 70/100 enligt TDOK 70-100 mm⁻¹. Undersökt referensbitumen 70/100 i lila punktlinje.



Figur 23 Brytpunkt enligt Fraass efter ökad inblandning av respektive föryngringsolja till avsett målvärde för Mjukpunkten. Maximigräns för 70/100 enligt TDOK -10 °C. Undersökt referensbitumen 70/100 i lila punktlinje.

5 Kommentarer och diskussion

Målet för examensarbetet var att undersöka behövlig mängd av några olika föryngringsoljor och jämföra egenskaperna med nytillverkat bitumen. Det har skett med vissa avgränsningar, bland annat utfördes inte åldring av bituminet (RTFOT). Ett annat avsteg är bruket av RVB, rotationsviskosimeter av fabrikat Brookfield, för samtliga kvalitetsparametrar.

Överlag uppfyller alla resultat för kravparametrarna Trafikverkets kravspecifikation i TDOK. Tillsatt mängd av respektive föryngringsolja valdes i två steg så att Mjukpunkten skulle hamna så nära 47 °C som möjligt. Därefter justerades tillsatt mängd för respektive föryngringsolja en aning med hjälp av ett bildat andragradspolynom så att Mjukpunkten blev exakt 47 °C. Övriga parametrar justerades på samma sätt, se Tabell 4.

En av kravparametrarna i TDOK saknas, förändringen efter uppvärmning med RTFOT. Av resursskäl fick den undersökningen utelämnas men det bör genomföras i kommande arbeten tillsammans med åldringstester och viskoelastiska studier. Se nedanstående förslag till fortsättning.

Det finns små variationer hos de övriga kravparametrarna men inte större än att de håller sig inom respektive på rätt sida om gränserna. Några små skillnader kan konstateras, vilket kommenteras nedan.

5.1 Föryngringsoljaernas effektivitet

Två av ämnena, Sylvaroad och P18 är stort sett lika effektiva, därefter kommer STORIMPEX och minst effekt per vikt% har TOP, som kräver mer än dubbla tillsatsen jämfört med de lägsta värdena. Det innebär inte att tillsatsen av TOP automatiskt blir dyrast. De beror på priset och den faktorn finns inte med i den här studien. Eftersom det tekniska utfallet av de olika föryngringsoljaerna ser likartat ut kommer den frågan att ha stor betydelse i valet, tillsammans med resultaten från kompletterande studier av viskoelastiska egenskaper och åldring.

5.2 Kravparameter viskositet 135 °C

Sylvaroad och P18 har likartad effekt och landar tillsammans med TOP på samma nivå med god marginal till gränsvärdet. STORFLUX hamnar något lägre men fortfarande med rimlig marginal till gränsen. Det behöver inte vara till nackdel eftersom det kan betyda mindre behov av uppvärmning av asfaltmassan med en trolig temperaturvinst på drygt 5 °C.

5.3 Kravparameter viskositet vid 60 °C

Bilden är i stort densamma som för 135 °C med den skillnaden att Sylvaroad ligger något över de andra. Skillnaden är emellertid liten och motsvarar en temperaturskillnad på drygt 1°C.

5.4 Kravparameter Mjukpunkt

Eftersom målet för val av mängd föryngringsmedel var att Mjukpunkten skulle hamna mitt i specifikationen för 70/100 skiljer sig inte värdena åt. Det är ganska vanligt att Mjukpunkten används för det här syftet men penetration förekommer också. Eftersom penetration är ett index på styvhet och inte står för någon viskoelastisk egenskap föredras Mjukpunkten, som av Willem Heukelom definierades till viskositeten 1 300 000 mPa·s, vilket framgår av Heukeloms BTDC, Bitumen Test Data Chart, i bilagorna.

Föryngringspunktens Mjukpunkter är resultatet av en ganska lång extrapolering från ett uppmätt WLF-samband. Därför ska deras Mjukpunkt ses som en matematisk konstant, som brukar kallas T_{ref} . Förmodligen har ämnena en kristallisationspunkt (smältpunkt) långt över dessa Mjukpunkter men det har ingen betydelse i det här fallet.

5.5 Kravparameter penetration

Mätvärdet för penetration har kommit att definiera bitumenkvalitetet, både rent bitumen och modifierade varianter. Det är ett enkelt och pålitligt test som emellertid i det här fallet beräknas med viskositetssambandet WLF och framgår av Heukelomdiagrammet. Mätvärdena är i det här fallet extrapolerade från Mjukpunkten, som är den lägsta uppmätta punkten längs temperaturaxeln.

Viskositetssambandet baseras på ett mätområde av ca 90 °C varför en extrapolering från 47 till 25 °C är en ganska kort väg och därmed är värdet ganska säkert uppskattat. Det har visats i en lång rad examensarbeten på LTH (Per Tyllgren, 2022). Sylvaroad och P18 skiljer sig åt en smula, vilket syns tydligt eftersom de legat så nära varandra i övriga kravparametrar. Skillnaderna mellan ämnena är emellertid små och fortsatta studier får visa om de består.

5.6 Kravparameter brytpunkt enligt Fraass

Mätvärdena för brytpunkt enligt Fraass är precis som penetration ett resultat av beräkningar med WLF-samband, baserade på en rad viskositetsmätningar med rotationsviskosimeter Brookfield, RVB. Här är extrapoleringen lång, nästan 70 °C. Med tanke på att det uppmätta området bara spänner över knappt 90 °C ställer det höga krav på precisionen i mätningarna och i den matematiska modellen. Här finns mycket lite jämförelsedata utan resultaten får tala för sig själva. Med det i åtanke reproducerar sig bilden för de andra kvalitetsparametrarna överraskande väl. För att säkert kunna avgöra lågtemperaturregenskaperna bör de emellertid göras genom mätning, antingen med Fraass eller med andra mätmetoder av typ BBR (Bending Beam Rheometer) eller DSR (Dynamisk Skjuvreometer).

6 Slutsatser och fortsättning

Syftet med examensarbetet var att undersöka effekterna av olika naturoljor för förnygring av returbitumen, som extraherats från returafalt. Mängderna som gav samma resultat som ett standardbitumen provades ut och slutresultaten utvärderades på samma sätt som ett nytt bitumen med de avgränsningar och förutsättningar som anges i arbetet.

Mätresultaten kan sammanfattas på följande sätt:

- Alla förnygringsolja åstadkommer godtagbara bitumenkvaliteter i enlighet med Trafikverkets specifikationer
- Växtolja ger liknande resultat som ren 70/100
- Sylvaroad och P18, båda baserade på växtolja, ger liknande resultat med samma inblandningsmängd
- Mineralolja STORFLUX kräver ungefär 60 vikt% mer för samma effekt på Mjukpunkten som Sylvaroad och P18
- STORFLUX ger en lite brantare viskositetslinje med något lägre uppvärmningsbehov
- Tall Oil Pitch, TOP, kräver mer än dubbelt så stor tillsats som de båda andra växtoljorna

- Rotationsviskosimetern RVB visade hög precision i mätningarna och i jämförelserna mellan de olika föryngringsoljorna.

Fortsatta studier bör inriktas på kompletteringar av redovisade studier med följande:

- Värmetest med RTFOT och åldringstest över tid i verklig miljö
- Viskoelastiska studier i DSR och lågtemperaturtest
- Fullskaliga försök baserade på genomförda laboratoriestudier.

Referenser

Agardh, S. & Parhamifar, E. (2014) *Vägbyggnad*. Stockholm: Liber AB

Al-Qadi, I. & Elseifi, M. & Carpenter, S. (2007) *Reclaimed Asphalt Pavement- A Literature Review*. University of Illinois, Illinois Center for Transportation. Urbana, Champaign County, Illinois, United States of America.

Andersson, C. & Sulejmani, P. (2014) *Undersökning av bitumen från asfalt med hjälp av dynamisk skjuvreometer, DSR - Utveckling av mätteknik och jämförande bitumenstudier*. Lunds universitet, Lund, Sverige.

Aurell, O., Olsson, G. (2015) *Bitumen, en återvinningsbar produkt - Återvinning av åldrat bitumen med förnyngsmedel*. LTH/Helsingborg

Erlandsson, I. (2012) *Predikterad viskositet i blandningar av olika bitumensorter*. Lunds universitet, Lund, Sverige

Gustavsson, N. and Thylander, E. (2013) *Metod för bestämning av mängd förnyngsmedel till returafalt*.

Hamlet, G. & Svensson, E. (2013) *Undersökning av tillsatsmedel i returafalt*. Halmstad, Sverige.

Heukelom, W. (1973) *An improved method of characterizing asphaltic bitumens with the aid of their mechanical properties*. Kloninklijke/Shell Laboratorium, Amsterdam. Proc Assoc Asph Pav Tech, vol 42, pp 62-98, 1973. Association of Asphalt Paving Technologies, Seattle.

Koenders, B. (2015). "Routine testing and mechanical properties of bitumens". The Shell Bitumen Handbook, sixth edition. London: ICE Publishing. s. 87-118

Ne. 2022. *Bitumen*. Tillgänglig på:
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bitumen> [Hämtad 14 Maj 2022].

Ne. 2022. *Viskositet*. Tillgänglig på:
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/viskositet> [Hämtad 18 Maj 2022].

Ne.se. 2022. *Reologi*. Tillgänglig på: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/reologi> [Hämtad 13 Maj 2022].

Provisioneronline.com. 2014. / *The National Provisioner*. Tillgänglig på: <https://www.provisioneronline.com/articles/100559-brookfield-celebrates-80th-anniversary> [Hämtad 16 May 2022].

Read & Whiteoak (2003) *The Shell Bitumen Handbook*, fifth edition. TTP (Thomas Telford Publishing), London.

Redelius, P., 1999. *Bindemedel*. Asfaltboken.se. Tillgänglig på: <https://asfaltboken.se/bindemedel/#5.13> [Hämtad 21 Maj 2022].

Røkenes, O. and Hansson, P., 2016. *Bära eller brista*. 2nd ed. Gleerups Utbildning AB.

Subramanian, R. S., (2002) *Non-Newtonian Flows*. Department of Chemical and Biomolecular Engineering Clarkson University

Svenskbyggjtjänst (2011) *Ökat intresse för grön asfalt*. <https://omvarldsbevakning.byggjtjanst.se/artiklar/2011/mars/okat-intresse-forgron-asfalt/>

TeamViewer (2016) *TeamViewer 12 Manual - Remote control*. Göppingen, Tyskland.

Tyllgren, P., (2010) *Föryngrings av returafalt med miljöanpassade tillsatsmedel*. Skanska/SBUF

Tyllgren, P., (2022). *Intervjuer med Per Tyllgren under våren 2022*.

Tyllgren, P., (2011) *Uppföljning av försök med föryngringsmedel i returafalt*. Nynas/SVC.

BILAGOR

- Bilaga 1. Viskositetsmätningar på bitumen
- Bilaga 2. Viskositetsmätningar på föryngringsolja
- Bilaga 3. Viskositetsmätningar på föryngrat returbitumen
steg 1
- Bilaga 4. Viskositetsmätningar på föryngrat returbitumen
steg 2
- Bilaga 5. Heukelomdiagram över delmaterial
- Bilaga 6. Heukelomdiagram över samtliga blandningar, helt diagram
- Bilaga 7. Heukelomdiagram över Mjukpunkt, penetration
och Fraass
- Bilaga 8. Heukelomdiagram över viskositet
- Bilaga 9. Sammanställning av WLF-samband
- Bilaga 10. Provberedning
- Bilaga 11. Genomförande av test

Bilaga 1. Viskositetsmätningar på bitumen

Bitumen:	Returbitumen. 220401			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
519	149,8	42	35	68	200
1147	135,0	57	48	44	130
10009	105,1	55	47	4,7	13,8
43121	90,0	55	47	1,08	3,18
1073958	65,2	52	44	0,04	0,12
1300000:	64,0	C1:	7,74	C2:	109,2

Bitumen:	160/220. 220402			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
133	150,0	11	9	68	200
249	135,1	19	16	68	200
1992	97,6	62	53	26,6	78,2
56474	60,0	57	48	0,85	2,51
1177083	39,0	57	48	0,04	0,12
1300000:	38,4	C1:	7,51	C2:	98,5

Bitumen:	50/70. 220404			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
287	149,9	23	20	68	200
589	134,9	46	39	68	200
6706	97,5	85	72	10,7	31,5
369280	60,0	87	74	0,20	0,59
1894231	50,0	99	84	0,04	0,13
1300000:	52,2	C1:	7,53	C2:	103,7

Bitumen:	37,7 % 160/220, 62,3 % 50/70.			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
216	149,8	17	15	68	200
423	134,9	33	28	68	200
4161	97,4	50	43	10,2	30,1
173713	60,0	47	40	0,23	0,68
1235000	47,0	50	42	0,03	0,10
1300000:	46,7	C1:	7,51	C2:	101,7

Bilaga 2. Viskositetsmätningar på föryngringsolja

Bitumen:	TOP. 220328			Spindel:	21
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
28	135,0				
48	120,0				
121	97,5				
1061	60,0				
2983	47,0				
1300000:	0,9	C1:	7,79	C2:	89,9

Bitumen:	Sylvaroad. 220324			Spindel:	21
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
5	135,0				
6	120,0				
9	97,5				
22	60,0				
33	47,0				
1300000:	-59,2	C1:	7,00	C2:	55,3

Bitumen:	STORFLUX. 220328			Spindel:	21
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
6	135,0				
8	120,0				
12	97,5				
36	60,0				
59	47,0				
1300000:	-45,7	C1:	7,07	C2:	58,2

Bitumen:	P18. 220527			Spindel:	21
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
7	135,0				
8	120,0				
12	97,5				
29	60,0				
44	47,0				
1300000:	-50,9	C1:	6,61	C2:	46,9

Bilaga 3. Viskositetsmätningar på föryngrat returbitumen steg 1

Bitumen:	11,0 % TOP. 220406			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
291	149,9	23	20	68	200
601	135,2	43	37	64	188
7430	97,6	42	36	4,8	14,2
498611	60,0	36	31	0,06	0,18
915000	56,0	37	31	0,03	0,10
1300000:	53,9	C1:	7,68	C2:	106,1

Bitumen:	4,25 % Sylvaroad. 220406			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
335	150,0	27	23	68	200
702	135,1	53	45	68	200
10203	97,4	65	56	5,4	16,0
725568	60,0	64	54	0,07	0,22
1557500	55,0	62	53	0,03	0,10
1300000:	56,1	C1:	8,00	C2:	114,9

Bitumen:	6,05 % STORFLUX. 220406			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
328	149,9	26	22	68	200
684	135,2	53	45	68	200
9430	97,6	60	51	5,4	16,0
811364	60,0	71	61	0,07	0,22
1840000	55,0	74	63	0,03	0,10
1300000:	57,0	C1:	7,63	C2:	104,0

Bitumen:	4,17 % P18. 220408			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
356	149,8	29	24	68	200
743	135,1	57	48	68	200
9859	97,6	63	54	5,4	16,0
744318	60,0	66	56	0,07	0,22
1637500	55,0	66	56	0,03	0,10
1300000:	56,4	C1:	7,69	C2:	108,1

Bilaga 4. Viskositetsmätningar på föryngrat returbitumen steg 2

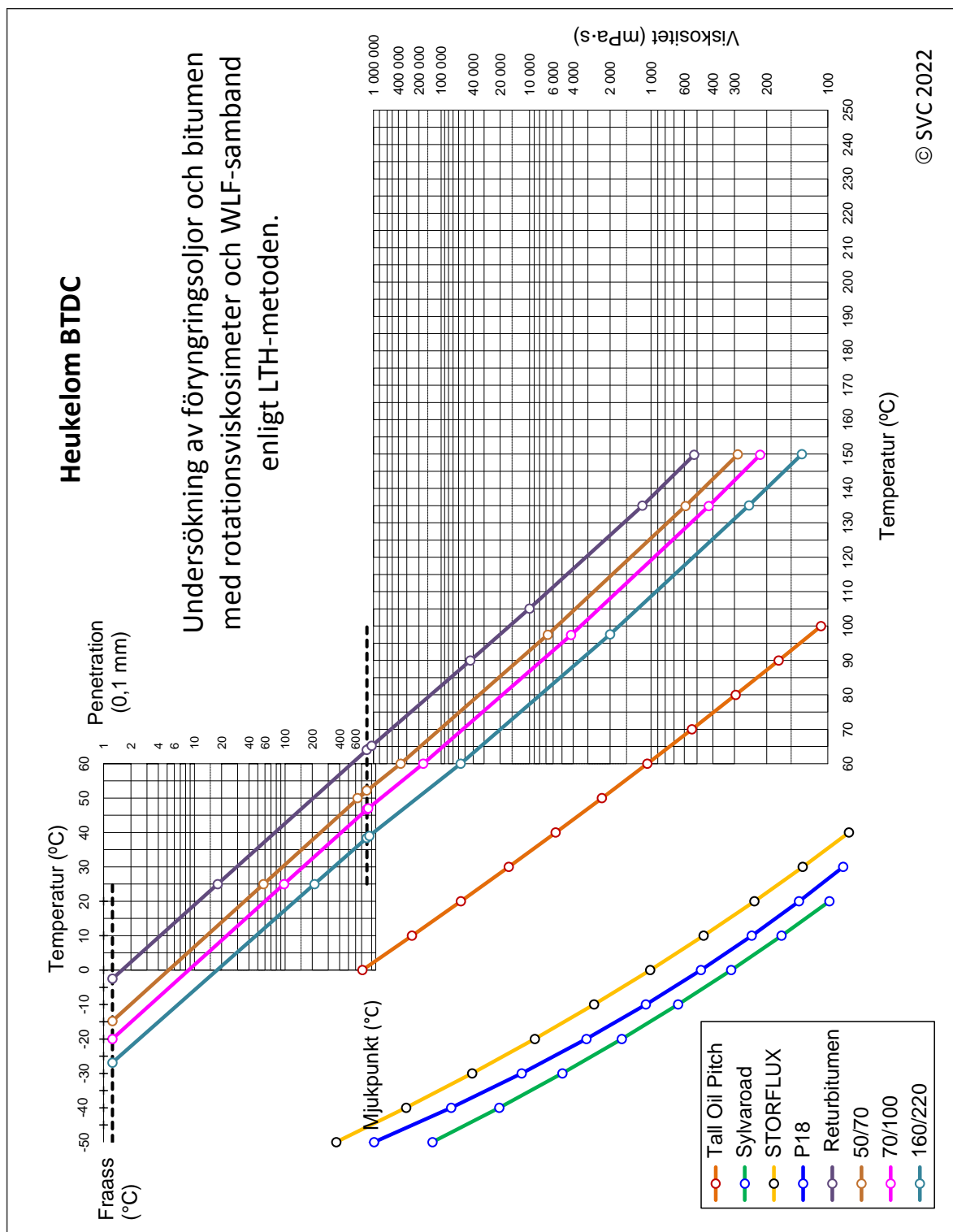
Bitumen:	19,02 % TOP. 220411			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
219	150,1	18	15	68	200
434	135,1	33	28	68	200
4435	97,6	57	49	11,0	32,3
215399	60,0	59	51	0,23	0,69
1516250	47,0	61	52	0,03	0,10
1300000:	47,9	C1:	7,60	C2:	103,6

Bitumen:	9,31 % Sylvaroad. 220412			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
219	149,8	18	15	68	200
433	135,2	34	29	68	200
4228	97,6	50	43	10,1	29,8
179478	60,0	48	41	0,23	0,67
1156250	47,0	46	39	0,03	0,10
1300000:	46,3	C1:	7,71	C2:	108,0

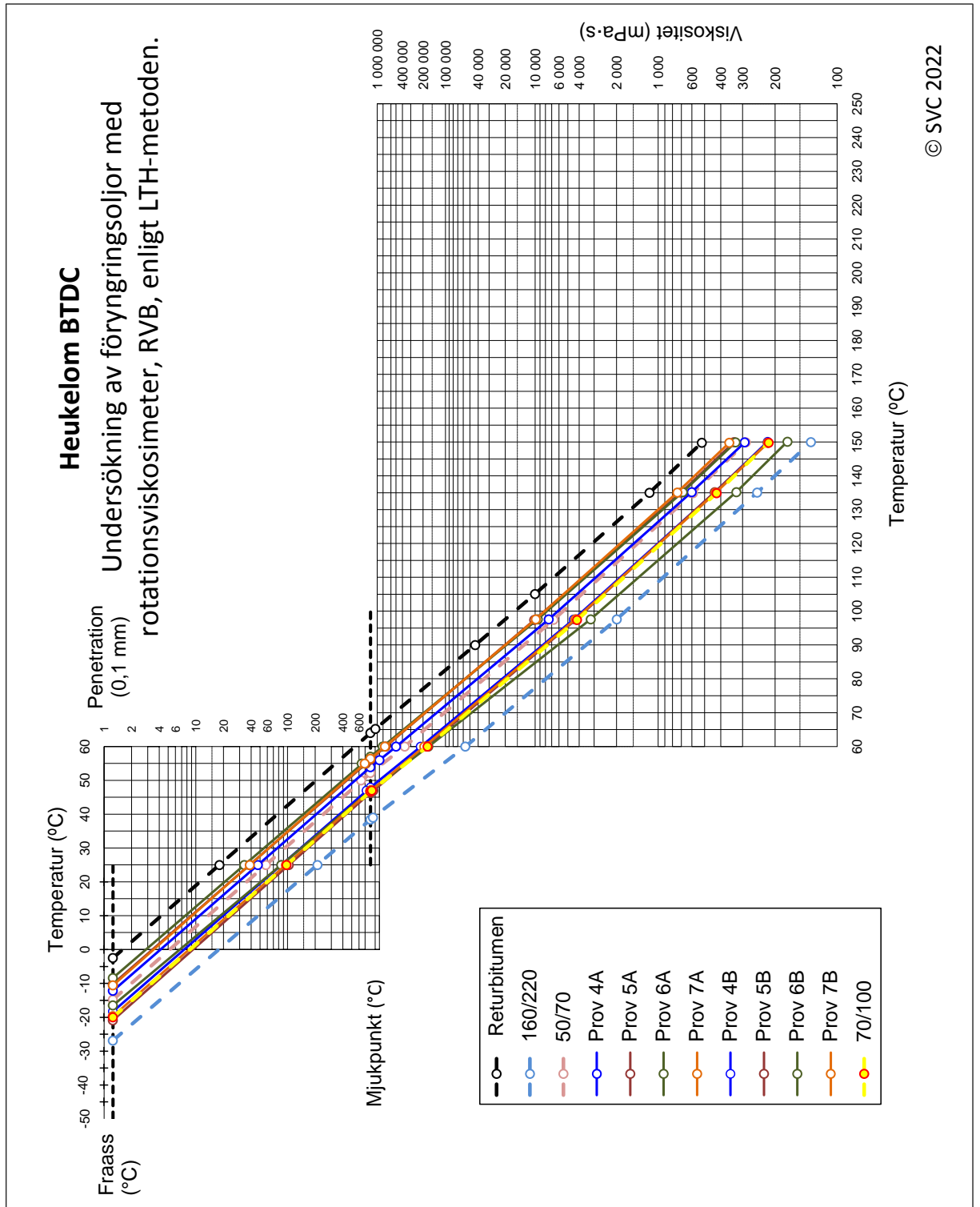
Bitumen:	14,76 % STORFLUX. 220412			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
173	150,1	14	12	68	200
325	135,2	25	22	68	200
3201	97,6	43	36	11,4	33,5
168662	60,0	48	41	0,24	0,71
1293750	47,0	52	44	0,03	0,10
1300000:	47,0	C1:	7,36	C2:	92,3

Bitumen:	9,44 % P18. 220413			Spindel:	27
Viskositet	Temp	Torsion	Skjuvsp.	Skjuvhast.	Rotation
mPa·s	°C	%	Pa	1/s	rpm
218	149,8	17	15	68	200
429	135,0	33	28	68	200
4309	97,6	49	42	9,7	28,4
192614	60,0	51	43	0,22	0,66
1271250	47,0	51	43	0,03	0,10
1300000:	46,9	C1:	7,72	C2:	107,3

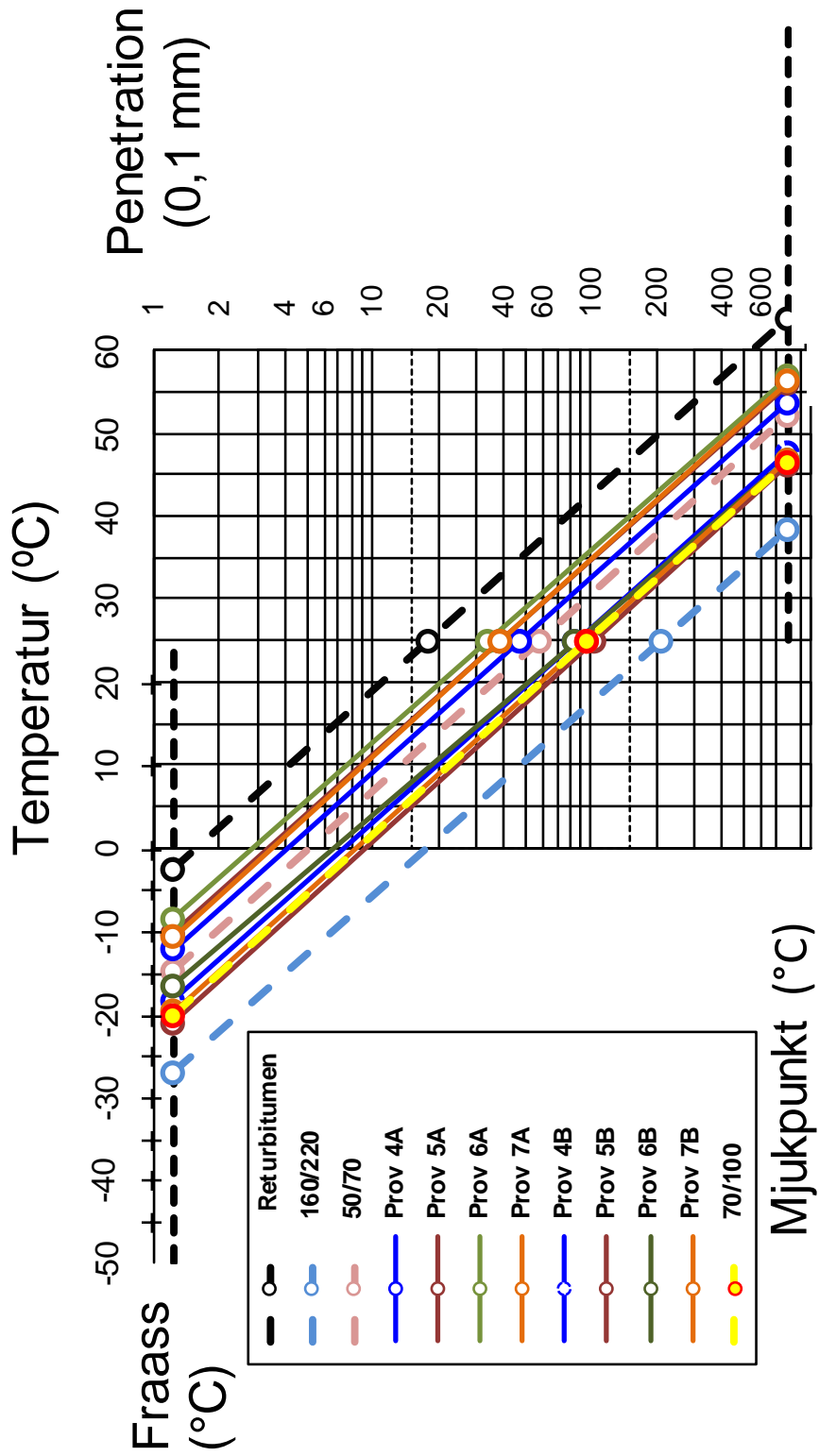
Bilaga 5. Heukelomdiagram över delmaterial och målprodukt



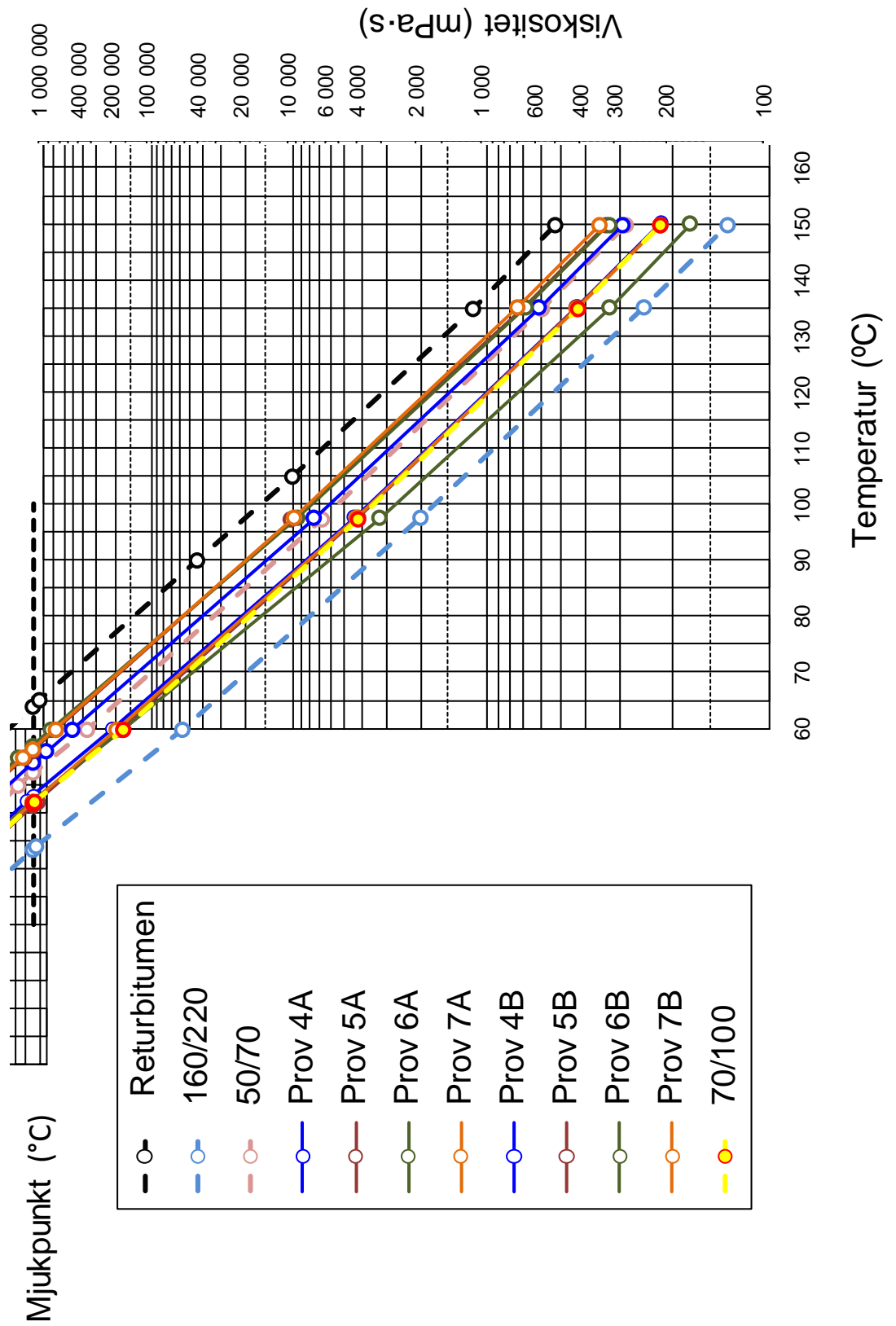
Bilaga 6. Heukelomdiagram över samtliga blandningar, helt diagram



Bilaga 7. Heukelomdiagram över Mjukpunkt, penetration och Fraass



Bilaga 8. Heukelomdiagram över viskositet



Bilaga 9. Sammanställning av WLF-samband

Bitumen				
	Vikt% 160/220	MP	C1	C2
Returbitumen	0	64,0	7,74	109,2
50/70	0	52,2	7,53	103,7
160/220+50/70	37,7	46,7	7,51	101,7
160/220	100	38,4	7,51	98,5
Beräknat	36,9	47,0	7,52	101,8

TOP				
	Vikt%	MP	C1	C2
Uppmätt	0	64,0	7,74	109,2
	11,00	53,9	7,68	106,1
	19,02	47,9	7,60	103,6
	100	0,9	7,79	89,9
Beräknat	19,84	47,0	7,69	103,5

Sylvaroad				
	Vikt%	MP	C1	C2
Uppmätt	0	64,0	7,74	109,2
	4,25	56,1	8,00	114,9
	9,31	46,3	7,71	108,0
	100	-59,2	7,00	55,3
Beräknat:	9,00	47,0	7,78	108,1

STORFLUX				
	Vikt%	MP	C1	C2
Uppmätt	0	64,0	7,74	109,2
	6,05	57,0	7,63	104,0
	14,76	47,0	7,36	92,3
	100	-45,7	7,07	58,2
Beräknat:	14,76	47,0	7,54	98,3

P18				
	Vikt%	MP	C1	C2
Uppmätt	0	64,0	7,74	109,2
	4,17	56,4	7,69	108,1
	9,44	46,9	7,72	107,3
	100	-50,9	6,61	46,9
Beräknat:	9,38	47,0	7,66	105,0

Bilaga 10. Provberedning

- Värm upp bitumen.
- Väg upp bitumen i provburk (Tara).
- För de prov som innehåller tillsatsämne: tillsätt tillsatsämne i provburkarna med bitumen enligt provplan.
- Värm upp bitumen till 150 °C. För prov som innehåller returbitumen: värms upp till 175 °C.
- För de prov som innehåller filler: Väg upp filler och värm upp därefter för att torka bort all fukt som kan finnas i.
- Blanda filler i provburkarna med bitumen samt provburkarna med bitumen och tillsatsämne till en homogen blandning.
- Värm upp provet.
- Rör om provet.
- Värm upp provet.
- Prover som innehåller returbitumen samt returfiller: upprepa punkt 8 och 9 innan man går vidare till punkt 11.
- Rör om innan uppvägning i provrör med hjälp av spruta.
- Väg upp den mängd (g) som utgörs av det specifika provet till 10,5 ml i provrör. Anledningen till att uppvärmning och omrörning görs om i flera steg är för att minska sedimentationen i proven och få proven att vara homogena så att allt filler omsluts av bitumen.

Bilaga 11. Genomförande av test

- Öppna Rheocalc V3.2 Build 47-0
- Lägg in provröret i badet.
- Gå under fliken “Dashboard” och värm upp badet till den temperatur som ska testköras innan provet körs. Detta görs under “Temperature”. Där man lägger den önskade temperaturen och klickar på grön knapp.
- När provet är tillräckligt uppvärmt kan man fästa spindeln och sänka ner den i provet. Man sänker RVB:n genom att hålla in spaken på baksidan av maskinen, se figur 24.
- Se till att badet med provet och RVB:n har rätt inställning, se figur 25. Bubblan, placerad på RVB samt badet, skall ställas in i mitten för att undvika ojämnheter och obalans.
- Klicka på fliken “Tests”
- Öppna “Load Program”
- Öppna det program som ska köras och klicka på “Open”
- Dubbelkolla så att programmet i Rheocalc stämmer med programmeringen.
- Dubbelklicka på sista siffrorna för RMR.
- Klicka på de tre prickarna “...” där det står “File name”.
- Skriv namnet på det prov som körs och klicka på “Save”, tryck sedan på “Apply”
- Testkör provet genom klicka på “Speed” och skriv under “RPM” $\frac{1}{3}$ av den hastighet som ska uppnås. Klicka sedan på grön knapp. Då “Torque” kommer under ca 50 % kan hastigheten höjas successivt. Vid fullt varvtal för den lagda temperaturen ska viskositeten vara i närheten av den som finns i programmeringen. Först då kan man fortsätta. Om viskositeten inte sänks till programmeringen bör man ändra viskositeten 69 i Excel samt ändra programmeringen i RheoCalc eftersom varvtalen vid de olika temperaturerna kan ändras. Därefter utför man punkt 13 igen.
- Efter testkörningen sänk varvtalet till 0 genom att klicka på röd knapp under “Speed”.
- Gå in under “Temperature” och höj temperaturen till 15 °C mer än första prov temperaturen och sedan grön knapp. OBS! Viktigt steg.
- Därefter kopplas spindeln bort och nollas genom att klicka på blixten under “Dashboard”. OBS! Viktigt steg. Om torquen på dashboarden inte ändras till 0 efter nollningen, bör man nolla igen för säkerhets skull.
- Efter nollningen kopplas spindeln på igen och okulära kontroller utförs igen, se figur 26.
- Lägg på locket över provet, se figur 27.
- Gå in under “Speed” och lägg “RPM” till första mätpunktens RPM och avvakta tills viskositeten blir till $\frac{2}{3}$ av antaget startvärde.

- Gå in under “Run/Data“ och klicka på “play” knappen. Spara dokumentet med det provets namn. Därefter kommer det en förfrågning om att vilken spindeltyp maskinen ska använda. Se till att den överensstämmer med spindeln som provet utförs med. Därefter tryck ok och vänta tills provkörningen är klar.
- Efter att provet är klart ska data exporteras ut till ett Excel dokument. Klicka på export knappen (med röd pil) under “Run/Data“. Spara dokumentet med prov namnet + exp på skrivbordet. OBS! Spara endast på skrivbordet!
- Öppna Excel dokumentet och markera all data genom att klicka på pilen som pekar åt sydöst (finns i vänstra hörnet längst upp mellan kolumn A och rad 1).
- Högerklicka någonstans på pappret och klicka på “Formatera Celler“. Gå in under fliken “Allmänt” och klicka sedan “OK”. 70
- Markera endast kolumn A eller där Viskositeten står och högerklicka. Klicka på “Formatera Celler” igen. Gå in under fliken “Tal” och skriv “0” i “Decimal placeringen”. Klicka sedan “OK”.
- Spara som Excel filen och döp till prov namnet + exp red. Nu kan Excel dokumenten flyttas från skrivbordet till önskad mapp.
- Med hjälp av Excel filen kan man föra in värden i ett Heukeloms diagram och analysera resultatet.