

Förbättring av asfaltens konsistens med tillsatsmedel

- Mätningar med rotationsviskosimeter på bitumen och asfaltbruk



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

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

Examensarbete:
Arwa Shukir
Martin Bakalov

© Copyright Arwa Shukir, Martin Bakalov

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 2017

Ordlista

Asfaltbeläggning - Övre lager i en vägöverbyggnad för lastfördelning eller som slitlager

Asfaltbruk - Blandning av bitumen och filler

Asfaltmassa - Hanterbar blandning av bitumen och stenmaterial för utläggning och komprimering till en asfaltbeläggning på en väg eller yta

Bitumen - Tungt destillat av petroleumolja eller naturligt förekommande ämne med en rad olika användningsområden, bland annat bindemedel i asfaltmassa

Filler - Stenmaterial som helt passerar en siktning på 0,074 mm

Filler/Bitumen-kvot - $(\text{vikt filler})/(\text{vikt bitumen})$ i ett asfaltbruk, förkortas F/B och uttrycks vanligtvis sortlöst men viktkvot i % kan förekomma som enhet; viktigt att undvika förväxling med begreppet vikthalt

Fillerhalt, bitumenhalt - Uttrycker förekomst av ämnena men måste preciseras med till exempel vikt% eller vol%

Halt - Andel av ett ämne i hela blandningen eller lösningen

Hanterbarhet - Hanterbarheten mäts med viskositet

Innehåll, mängd - Allmänt uttryck för förekomst av en komponent, som inte säger något om det inte preciseras med till exempel sorterna vikt% eller vol%

Konsistens - Allmänt uttryck för ett ämnes eller en produkts bearbetbarhet eller hanterbarhet för att uppnå ett önskat syfte; kan beskrivas genom mätning av viskositet

Kvot - Förhållandet mellan del komponenterna i en blandning.

MP - Mjukpunkt för bitumen är temperaturen när den dynamiska viskositeten är 1 300 000 mPa·s; tillståndet har tidigare definierats av mätmetoden Kula & Ring

MP-RVB - Mjukpunkt bestämd med RVB

DMP - Ökning av Mjukpunkt efter blandning av filler med bitumen; skrivs DMP-RVB bestämd med RVB och DMP-K&R med Kula och Ring

RVB - Rotationsviskosimeter av fabrikat Brookfield för bestämning av dynamisk viskositet

Temperaturdämpande - I detta examensarbete används ordet som synonym till *temperatursänkande*

Temperaturdämpare - Ämne eller åtgärd som ersätter en höjning av temperaturen för att förbättra egenskaperna

Temperatursänkande - I detta examensarbete används ordet som synonym till *temperaturdämpande*

Temperatursänkare - Ämne eller åtgärd som möjliggör en sänkning av temperaturen med oförändrade egenskaper.

Stabiliseringsindex - F/B-värde som resulterar i $DMP = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Vikthalt - Vikten av en komponent i en blandning dividerat med vikten av hela blandningen uttryckt som vikthalt i %; kan skrivas vikt% om risk för missförstånd inte föreligger

Viktkvot - Vikten av en komponent i en blandning dividerat med vikten av en annan komponent i blandningen och bör uttryckas som viktkvot i % för att undvika förväxling med begreppet vikthalt; exempel: fuktkvot = (vikt av fukt eller vatten)/(vikt av torrt material); kallas ibland oegentligt för ”vattenhalt”, även i tekniska sammanhang, av historiska skäl

Viktprocent - anger blandningsförhållande mellan olika ämnen i en blandning där de ingående ämnenas viktandel anges av blandningens totalvikt.

Viskositet - Trögflutenhet som kan mätas med en rad olika metoder och uttryckas med olika mått, till exempel för dynamisk viskositet, $\text{mPa}\cdot\text{s}$ (= cP, centipoise)

Viskositetslinje - Det grafiska sambandet mellan mätpunkterna i en mätserie i Heukeloms diagram. Beskrivs med hjälp av WLF samband.

Volymhalt - Volymen av en komponent i en blandning dividerat med volymen av hela blandningen uttryckt som volymhalt i %; kan skrivas vol%

WLF samband - Det matematiska sambandet som motsvarar viskositetslinjen. Består av 3 konstanter, C1, C2 och mjukpunkten

Sammanfattning

Asfalt är det vanligaste materialet på vägarna och är det lagret som är synlig för ögat. Asfalt förekommer som slitlager och bärlager. Asfalt består av stenmaterial i olika kornstorlekar som sammanfogas av ett bindemedel, bitumen, samt eventuella tillsatsmedel. Bitumen är utvunnet ur råolja. Asfaltbruk är bitumen blandat med filler. Filler är stenmaterial som helt passerar en siktning på 0,074 mm. Både bitumen och sten är ändliga resurser. Intresset av att återvinna asfalt ökar allt mer, men det uppstår problem på vägen dit. Man vill öka inblandningen av återvunnen asfalt i nyttillverkad asfalt utan att kvalitén på slutprodukten försämras. Man vill även öka hållbarheten på asfalten och minska miljöpåverkan som asfalt bidrar till. För att tillverka asfaltmassor krävs det stora mängder energi i form av värme som bidrar till koldioxidutsläpp. Ett annat problem som uppstår är överhettning vid asfaltåtervinning eftersom retur-asfalt, RAP, samt returbitumen kräver mer resurs i form av värme för att kunna bearbetas.

Ett forskningsområde som har gett framsteg i framtagningen av bättre, hållbara och starkare asfaltbeläggningar är framtagningen av olika tillsatsämnen som tillförs vid tillverkning av asfalt. Det finns många olika anledningar till att tillsatsmedel används vid asfalttillverkning. Tillsatsmedlen som använts i detta examensarbete är i form av vax och fungerar som temperatursänkare, samt fluider som fungerar som föryngringsmedel. De temperatursänkande tillsatsmedlen som undersöktes i denna rapport är: Sasobit, Redux, ZycoTherm och Rediset LQ-1102CE. Föryngringsmedlen som undersöktes i denna rapport är: STORFLUX, Sylvaroad RP1000 och Nygen 910.

Tillsatsmedlen undersöktes tillsammans med rent bitumen, returbitumen, rent asfaltbruk och retur-asfaltbruk. De undersöktes med hjälp av en rotationsviskosimeter av typ Brookfield, RVB i ett laboratorium på LTH, Lund. Det utfördes totalt 28 prover med RVB. Maskinen är speciellt avsedd

för att kunna mäta viskositeten, dvs. fluidernas inre friktion, hos fluider. Därför har RVB:n valts för detta examensarbete ty bitumen och asfaltbruk klassas som fluider. RVB kan även ta fram Mjukpunkten och har en högre precision i mätningarna än gamla testmetoder såsom Kula & Ring eller Penetration. Dessutom klarar inte Kula & Ring metoden att bestämma Mjukpunkt för asfaltblandningar, som exempelvis asfaltbruk, utan enbart för rent bitumen. Det som undersöktes var hur tillsatsmedlen påverkar konsistensen på bindemedlet och asfaltbruket, dvs. hur deras viskositet påverkas. Resultaten presenterades grafiskt i Heukelom BTCD-diagram i form av serier av mätpunkter sammanbundna till viskositetslinjer. BTDC-diagrammet visar hur viskositet och temperatur förhåller sig till varandra och hur olika bitumen uppträder vid samma temperaturer.

Inledningsvis började undersökningen med en förstudie på asfaltbruk där det utfördes viskositetsmätningar på asfaltbruk med olika mängder filler. Den inledande studien gjordes för att få en inblick om hur asfaltbruket reagerar med RVB-maskinen och för att kunna hitta en lämplig sammansättning på asfaltbruket som kunde anses representera en vanlig asfalt typ. I den inledande studien skulle vi även mäta den uppstyvande effekten av filler på bitumen. Resultatet av förstudien blev en fillermängd på 36,3 vol% vilket också representerar asfalttypen ABS 11. Fillermängden som bestämdes från förstudien var den mängden som undersökningen fortsatte med.

Tillsatsmedel som påstås bidra till att temperaturen kan sänkas med 25-30 °C i blandningen har låg effekt på bituminets viskositet. Asfaltbruket reagerade lite mer på tillsatserna men inte tillräckligt för att styrka påståendet. Det kan bero på att leverantörerna använt andra undersökningsmetoder för att testa temperaturdämpningen.

De reologiska effekterna på bitumen av föryngringsmedel var ganska tydliga. Även om föryngrat returbitumen får nytillverkade egenskaper är retur-asfaltbruket styvare än nytt bruk eftersom fillerhalten (F/B-värdet)

fortfarande är hög. F/B värdet är förhållandet mellan fillermängden och bitumenmängden. Är F/B värdet högt innebär det att det är för mycket filler än vad bituminet klarar att av. En given fillersort ger ett specifikt F/B värde som är unik för olika fillertyper. Situationen förbättras avsevärt med föryngringsmedel men det fattas en bit till nytillverkade egenskaper. Eftersom föryngringsmedel sänker viskositeten på returbitumen och returafaltbruk innebär det att det är lättare att hantera de med föryngringsmedlet än utan. En positiv effekt på hanterbarheten innebär också att det är lättare att blanda in returafalt i nytillverkning samt vid utläggning. Tillsatsmedlen bidrar till en temperatursänkning på ca 2-8 °C enligt resultatet av undersökningen. Detta är inte tillräckligt för att lösa överhettningproblemet. Ett fungerande temperaturdämpande tillsatsmedel skulle kunna kompensera återstående skillnad mot nytillverkat bruk. En kombination av både temperaturdämpande tillsatsmedel och föryngringsmedel kan även vara lösning till överhettningproblemet.

Nyckelord: Bitumen, asfaltbruk, viskositet, rotationsviskosimeter, tillsatsmedel, temperatursänkning, föryngring

Abstract

Asphalt is the most common material on the roads. It is the layer visible to our eyes. Asphalt occurs as both wearing coat and bearing coat. Asphalt consists of rock material in different grain sizes joined by a binder, bitumen, and eventually added additives. Bitumen is extracted from crude oil. Asphalt mix is bitumen mixed with filler. Filler is stone material that completely passes a 0.074 mm sieve. Both bitumen and rock are finite resources. The interest in recycling asphalt is increasing, but problems arise on the way. The goal is to increase the recycling of recycled asphalt in newly manufactured asphalt without deteriorating the quality of the finished product. Also, the goal is to increase the sustainability of the asphalt and reduce the environmental impact that asphalt contributes to. In order to produce asphalt mass, large amounts of energy are needed in form of heat that contributes to carbon dioxide emissions. Another problem that arises is overheating when recycling asphalt since recycled asphalt, RAP, and recycled bitumen requires more heat to be processed.

A research area that has made progress in the development of better, a durable and stronger asphalt coating is the production of various additives that are supplied in the manufacture of asphalt. There are many reasons why additives are used in asphalt manufacturing. The additives used in this project are in the form of wax and acts as temperature reducers, as well as fluids that acts as rejuvenating agents. The temperature reducing additives investigated in this report are: Sasobit, Redux, ZycoTherm and Rediset LQ-1102CE. The rejuvenating agents investigated in this report are: STORFLUX, Sylvaroad RP1000 and Nygen 910.

Additives were investigated together with pure bitumen, recycled bitumen, pure asphalt mix and recycled asphalt mix. They were examined using a Brookfield RVB rotational viscometer in a laboratory at LTH, Lund. A total of 28 samples were investigated with RVB. The machine is specially designed to

measure viscosity, i.e. internal friction of the fluid, in fluids. Therefore, the RVB has been selected for this project, because bitumen and asphalt mix are classified as fluids. RVB can also measure the Soft Point and have a higher precision in the measurements than old test methods such as Ball & Ring or Penetration. Additionally, the Ball & Ring method cannot measure the Soft Point of asphalt mixtures, such as asphalt mixes, but only for pure bitumen. What was investigated was how the additives affect the consistency of the binder and asphalt mixes, i.e. the effect of viscosity on the binders and asphalt mixes. The results were presented graphically in Heukelom BTDC chart where series of measurement points were bonded to viscosity lines. The BTDC chart shows how the viscosity and temperature relate to each other and how different bitumen occurs at the same temperatures.

Initially, the study began with a preliminary study on asphalt mixes where viscosity measurements were carried out on asphalt mixes with different amounts of filler. The initial study was made to gain an insight into how the asphalt mixes reacts with the RVB machine and to find an appropriate composition of the asphalt mixes that could be considered to represent an ordinary asphalt type. In the initial study, we would also measure the stiffening effect of filler on bitumen. The result of the preliminary study became a filler volume of 36.3 vol%, which also represents the asphalt type ABS 11. The amount of filler that was determined from the preliminary study was the amount with which the research continued.

Additives, which claim the possibility of lowering the temperature with 25-30 °C in the mixture, had a small effect on the viscosity of bitumen. Asphalt mix reacted a bit more to the additives but not enough to substantiate the claim. This may be due to the fact that suppliers used other testing methods to test the possible lowering temperature.

The rheological effects on bitumen of rejuvenation were quite clear. Although rejuvenated recycled bitumen got newly manufactured properties, recycled

asphalt is way stiffer than newly produced asphalt mass because the filler content, F/B, is still high. The F/B value is the ratio between the amount of filler and bitumen. If the F/B value is high, it means that too much filler is mixed with the bitumen. A given filler type contributes to a specific F/B value that is unique to different types of fillers. The situation is improved considerably with rejuvenating agents, but it takes a bit more to newly manufactured properties. Since rejuvenating agents reduce the viscosity of the recycled bitumen and recycled asphalt mix, it means that it is easier to handle those with the rejuvenator than without. A positive effect on manageability also means that it is easier to RAP in new production and when asphalt is laid on the roads. Additives contribute to a temperature reduction of about 2-8 °C according to the results of the study. This is not enough to solve the overheating problem. A functioning temperature-reducing additive could compensate the remaining difference from newly manufactured use. A combination of both temperature-reducing additives and rejuvenating agents can also be a solution to the overheating problem.

Keywords: Bitumen, asphalt mix, viscosity, rotational viscometer, additives, temperature reduction, rejuvenating

Förord

Examensarbetet har skrivits som en slutlig examination i vår högskoleingenjörsutbildning inom väg- och trafikteknik vid Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg. Litteraturstudien samt rapportskrivning har delats lika mellan oss. Resultat och slutsatsdelen har skrivits tillsammans med vår handledare Per Tyllgren. Laboratieförsöken har utförts i nedre laborationen i V-huset på Lunds Tekniska Högskola i Lund.

Laboratieförsöken har delats upp lika. Vi vill tacka vår examinator Ebrahim Parhamifar för den kunskapen han har upplyst oss med samt gjort det möjligt för båda att arbeta i laboratoriet och för den arbetsplats han tilldelat oss. Vi vill även tacka våra handledare Pajtim Sulejmani och Per Tyllgren för att ha hjälpt oss på traven med laboratieförsöken samt litteraturstudien. Deras kunskap om RVB, tillsatsämnen som användes samt tolkningen av resultatet från RVB-maskinen, har hjälpt oss att förstå och utvecklas inom reologistudier och asfaltforskning.

Helsingborg 2017

Arwa Shukir

Martin Bakalov

Innehållsförteckning

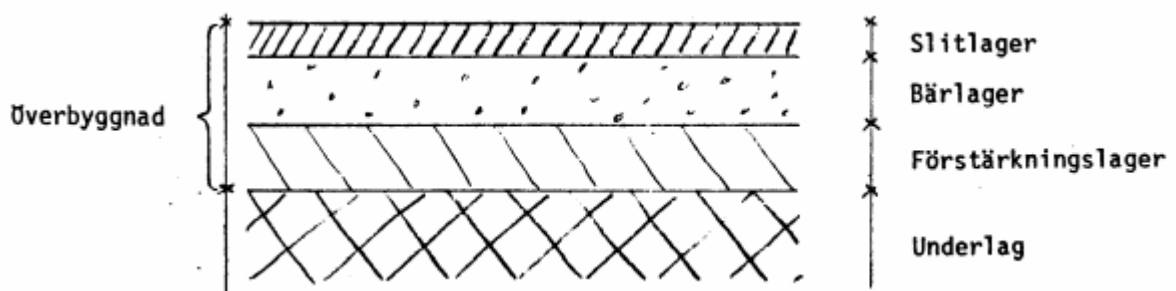
Bakgrund	2
Syfte	4
Avgränsningar	5
Metod	5
1 Litteraturstudie	7
1.1 Asfalt	7
1.1.1 Asfaltbruk	7
1.1.1.1 <i>Filler</i>	7
1.1.2 Bituminösa bindemedel	8
1.1.2.1 <i>Bitumen</i>	8
1.2 Nedbrytningsprocess för asfalt	12
1.2.1 Trafikbelastning	12
1.2.2 Tid	12
1.2.3 Klimat	13
1.3 Asfaltåtervinning	13
1.3.1 Typer av asfaltåtervinning	14
1.4 Asfalttillverkning	15
1.5 Tillsatsmedel	18
1.5.1 Tillsatsmedel för temperatursänkning	19
1.5.1.1 <i>Sasobit</i>	20
1.5.1.2 <i>Redux</i>	21
1.5.1.3 <i>ZycoTherm</i>	21
1.5.1.4 <i>Rediset-LQ1102CE</i>	22
1.5.2 Tillsatsmedel för temperaturdämpning och föryngring	22
1.5.2.1 <i>STORFLUX</i>	23
1.5.2.2 <i>Sylvaroad RP1000</i>	23
1.5.2.3 <i>Nygen 910</i>	24
1.6 Reologi	25
1.6.1 Viskositet.....	25
1.6.2 Brookfields rotationsviskosimeter, RVB	27
1.6.3 Heukeloms BTDC.....	29
2 Metod	30
2.1 Laboriematerial	31
2.1.1 Utrustning.....	32
2.1.2 Spindel	33
2.1.3 Provrör	34
2.1.4 Tillverkning av prover	35
2.1.5 Programmerad körning.....	35
2.1.6 Fel vid laboration	36
2.1.7 Fjärrstyrning	36

3 Resultat	36
3.1 Inledande undersökning av asfaltbruk	36
3.1.1 Resultat: inledande undersökning av asfaltbruk	37
3.1.2 Kommentarer	40
3.2 Undersökning av temperatursänkande tillsatsmedlen	41
3.2.1 Bitumen 70/100	41
3.2.1.1 <i>Resultat</i>	41
3.2.1.2 <i>Kommentarer</i>	42
3.2.2 Asfaltbruk med 70/100	43
3.2.2.1 <i>Resultat</i>	43
3.2.2.2 <i>Kommentarer</i>	44
3.3 Undersökning av föryngringsmedel	45
3.3.1 Effekter på rent bitumen och returbitumen	45
3.3.1.1 <i>Resultat</i>	45
3.3.1.2 <i>Kommentarer</i>	46
3.3.2 Effekter på asfaltbruk	46
3.3.2.1 <i>Resultat</i>	47
3.3.2.2 <i>Kommentarer</i>	48
4 Diskussion	49
4.1 Mättekniken.....	49
4.2 Temperatursänkande tillsatsmedel	50
4.3 Föryngringsmedel	50
5 Slutsatser	51
6 Förslag till fortsättning	53
7 Referenslista	54
8 BILAGOR	62
8.1 Bilaga 1. Sifvertabeller över viskositetsmätningar med RVB	62
8.2 Bilaga 2. Tillverkning av prover	67
8.3 Bilaga 3. Programmerad körning.....	68
8.4 Bilaga 4. Fel vid laboration.....	74

Inledning

Asfalt finner man oftast på vägarna man kör på. Det är det lagret av väggroppen som är synlig för ögat. En väggropp består av två delar, en överbyggnad och en underbyggnad. Överbyggnaden ska bl.a. fördela lasten så att underbyggnaden inte utsätts för större last än den klarar av.

Överbyggnaden består av slitlager, bundet och obundet bärlager samt förstärkningslager (Agardh & Parhamifar, 2014), se figur 1. I denna rapport undersöks endast det vi kallar för asfalt, vilket förekommer i både slitlager och bundet bärlager.



Figur 1. Förenklad bild av väggroppens uppbyggnad (Hein, 1990).

Det finns många olika sorters asfalt, däremot består alla asfaltsmassor av specifika blandningar av olika:

- sten storlekar
- filler, dvs. stenmaterial som helt passerar en siktning på 0,074 mm
- bitumentyper, dvs. det bindemedel som håller ihop stenmaterialet
- eventuella tillsatsmedel

Dessa blandningar bestäms utifrån specifika tillverkningsrecept (Asfaltboken, 2002).

Bitumen är ett bindemedel i asfaltsmassa och utvinns ut råolja. Det finns olika sorters bitumen. Det bitumen som denna rapport omfattar benämns 70/100.

Vad benämningen står för finns vidare förklarat i kapitel 1.1.2.3

Penetrationstal.

Tillsatsmedel är något man tillsätter vid tillverkning av asfaltsmassa för att uppnå en förbättring i asfaltmassan. Det finns många olika tillsatsmedel som används och de har olika egenskaper och effekter. De tillsatsmedel vi använt oss av är temperaturssänkande tillsatsmedel samt föryngringsmedel. Vidare förklarat om dessa finns i kapitel 1.5.1 *Tillsatsmedel för temperaturdämpning* och 1.5.2 *Tillsatsmedel för temperaturdämpning och föryngring*.

Bakgrund

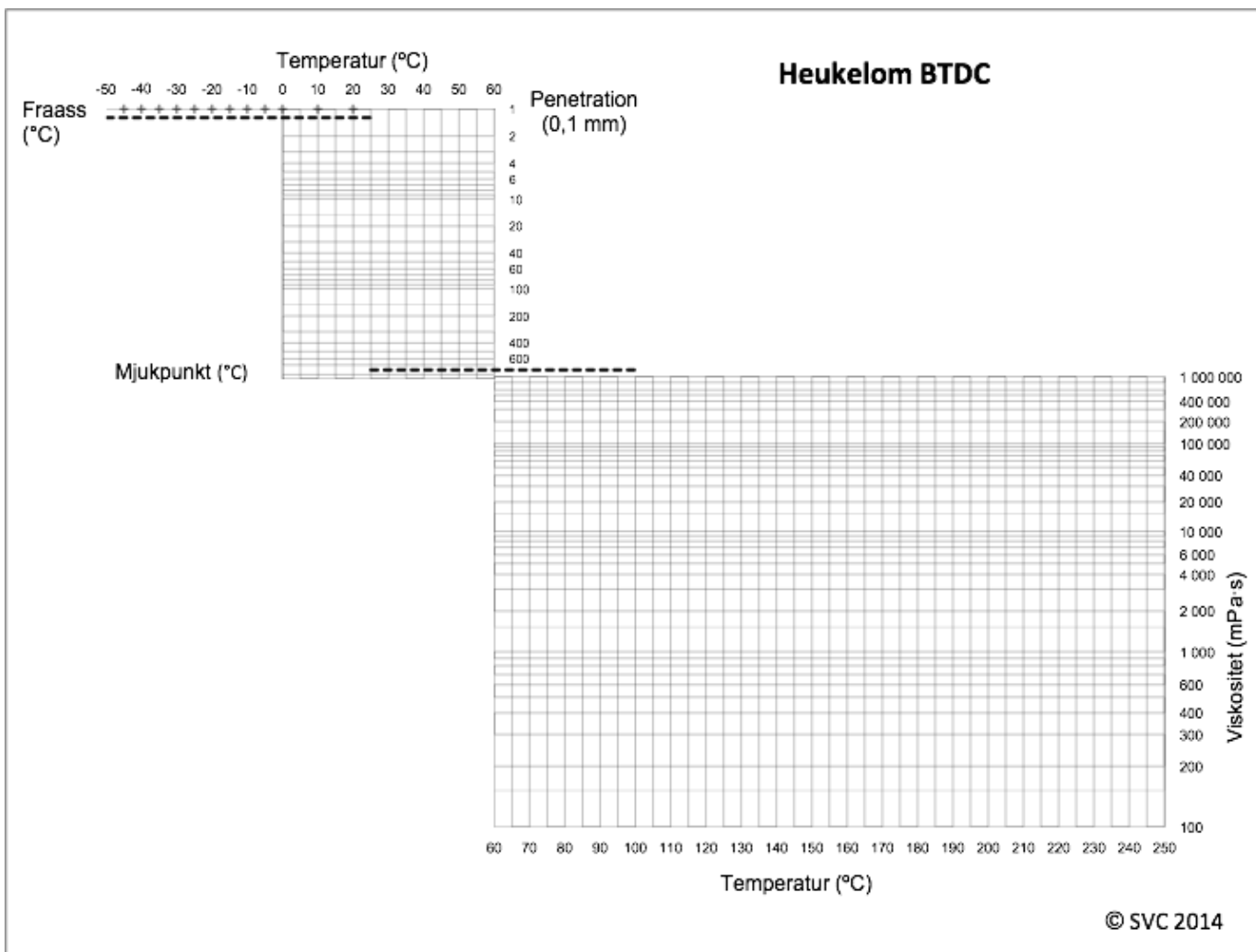
Både bitumen och sten är ändliga resurser. Intresset av att återvinna asfalt ökar allt mer, och det är fullt möjligt att återvinna till hög grad, men det uppstår problem på vägen dit. Man vill öka inblandningen av återvunnen asfalt i nytillverkad asfalt utan att kvalitén på slutprodukten försämras. Man vill även öka hållbarheten på asfalten och minska miljöpåverkan som asfalt bidrar till (Svevia, 2016).

Asfalttillverkning bidrar till höga koldioxidutsläpp då stenmaterial värms upp i en trumma innan det blandas in med ett uppvärmt bindemedel i en blandare där asfalt bildas för att sedan läggas ut på vägar och gator (Svevia, 2016). Då kall återvunnet asfaltgranulat, dvs. 'returasfalt som sönderdelas i mindre partiklar, vanligen med kornstorlek mindre än 25 mm, innehållande stenmaterial och bindemedel' (Trafikverket, 2005) tillsätts i blandaren är det nödvändigt för stenmaterialet att värmas upp till högre temperaturer för att kompensera granulatets kalla temperatur. Hur stor denna temperaturkompensation är beror på hur mycket fukt granulatet innehåller och hur stor andel granulat som tillsätts. Detta skapar en överhettning. Även om asfaltgranulatet först värms i en parallelltrumma innan inblandning, behövs ytterligare uppvärmning från stenmaterial som överhettas (Svevia, 2016).

Den höga temperaturen krävs för att massor med returafalt ska bli ordentligt blandade, men även för att de upplevs vara svåra vid utläggning, synnerligt då stora mängder returafalt blandats in. Konsekvensen av dessa problem blir att beläggningens livslängd förkortas, en onödig belastning på miljön och försämrade arbetsmiljö (Svevia, 2016).

För att undvika överhettning men behålla önskade egenskaper i asfaltmassor används tillsatsmedel, till exempel i form av föryngringsmedel och temperatursänkande medel.

För att mäta viskositeten, dvs. trögflutenheten i vätskor, och därmed också i bitumen används en rotationsviskosimeter av typ Brookfield. En RVB har en hög precision och resultaten presenteras i Heukelom - Bitumen Test Data Chart (BTDC) diagram, se figur 2. BTDC-diagrammet visar hur viskositet och temperatur förhåller sig till varandra och hur olika bitumen uppträder vid samma temperaturer. Vid blandning och utläggning av bitumen är det bra att känna till viskositeten vid en viss temperatur. Är temperaturen för låg eller för hög blir slutprodukten inte optimal (Tyllgren, 2013). I dagsläget används inte RVB flitigt i branschen. Mätmetoden med viskositetsmätningar med RVB används inte i branschen på grund av att det inte finns tillräckligt med kunskap kring tekniken, okunnighet kring mätmetoden samt tröghet i regelverken (Tyllgren, 2017).



Figur 2. Heukelom BTDC-diagram (Grybb & Nilsgart, 2014).

Syfte

Syftet med examensarbetet är att mäta viskositeten hos bitumen och asfaltbruk med olika tillsatsmedel som påverkar konsistensen hos färdig asfalt.

Asfaltbruk är en blandning av filler och bitumen. Med dessa mätningar på viskositeten är avsikten att kunna tolka hanterbarheten vid tillverkningen och blandningen av asfalt samt vid utläggningen.

En nackdel som uppkommer vid återvinning och tillverkning av asfalt är överhettning, dvs. man tillför högre energi i form av temperatur, precis som beskrivet i föregående kapitel *Bakgrund*. Syftet med examensarbetet är också att undersöka om tillsatsmedlen kan förebygga till exempel överhettningsproblemet.

Avgränsningar

Studien är avgränsad till en bitumen sort, 70/100. Det nytillverkade bituminet kommer från Nynäs och den återvunna kommer från Skanskas asfaltverk i Dalby. Fillern som blandats in är tagna från Skanskas asfaltverk i Dalby, med namnet "Dalby naturfiller av granit" och precis som det låter är det ett filler som tillkommit efter att granit krossas till mindre beståndsdelar. Tillsatsmedel som används till detta examensarbete är i form av temperatursänkande, dvs. som minskar värmebehov vid tillverkning av asfalt, samt föryngringsmedel. Följande tillsatsmedel har använts:

Tabell 1. Tillsatsmedel som undersökts i denna rapport.

Temperatursänkare	Temperaturdämpare/Föryngringsmedel
Sasobit	STORFLUX
Redux	Sylvaroad RP1000
ZycoTherm	Nygen 910
Rediset LQ-1102CE	

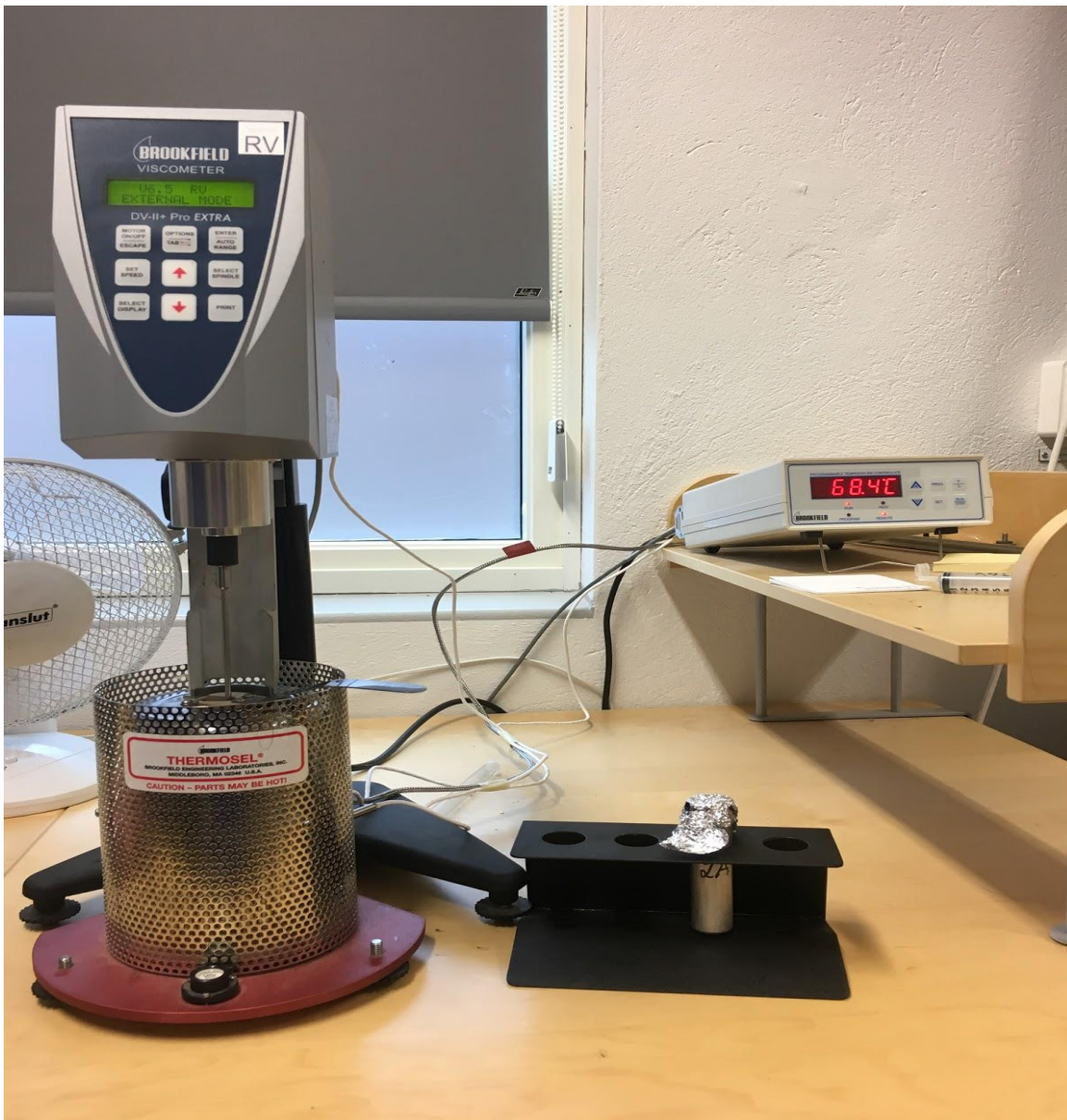
Rotationsviskosimetern som används är av typ Brookfield, RVB (Grybb & Nilsgart, 2014) och spindeln som körs i den är av typen SC4-27. Antalet provningar är avgränsade till 28 stycken, varav 4 stycken är en inledande studie. Examensarbetet är avgränsat till varmblandad asfalt, dvs. asfalt som tillverkas vid temperaturer högre än 120 °C.

Metod

För att ge en bakgrund till ämnet gjordes en litteraturstudie på bitumen, de olika tillsatsmedlen, samt tillverkningsprocessen av asfalt. Till detta användes bl.a. före detta examensarbeten från LTH samt ett doktorandarbete från KTH. Viskositeten mäts med laborieförsök med hjälp av en rotationsviskosimeter, se figur 3, enligt LTH-metoden (Grybb & Nilsgart, 2014).

Laborationen har utförts på ett laboratorium på LTH i Lund. Där har det utförts olika prover på tillsatsämnen blandade med asfaltsbruk där viskositeten har bedömts. För att testa återvinning med hjälp av föryngringsmedel användes återvunnet bitumen samt asfaltsbruk från asfaltverk. Resultaten redovisas i Heukelom diagram. Heukeloms diagram visar hur viskositeten ändras hos proven som körs.

Detta är det 8:e arbetet som gjorts med RVB på LTH.



Figur 3. Rotationsviskosimeter och tillhörande utrustning.

1 Litteraturstudie

1.1 Asfalt

Med en ökad trafikmängd på våra gator har även kraven på vägytans tillstånd och funktion ökat. Standarden på vägarna förbättras ständigt och utvecklas mot bättre hållfasthetsegenskaper för att klara trafikmängden. I Sverige används oftast bituminösa beläggningar, dvs. de beläggningar vi vardagligt kallar asfalt. Dessa beläggningar består av stenmaterial i olika kornstorlekar som sammanfogas av ett bindemedel, bitumen. Ibland förekommer tillsatsmedel av någon form i asfaltmassorna för att få önskade egenskaper. Bindemedlet som används för att hålla ihop stenmaterial kan bestå av enbart rent bitumen, bitumenlösning eller bitumenemulsion (Agardh & Parhamifar, 2014). I denna rapport undersöks endast rent bitumen.

1.1.1 Asfaltbruk

Asfaltbruk är en blandning av filler och bitumen under omrörning. När filler har blandats väl tillsammans med bitumen blir asfaltbruket homogent, dvs. all fillermaterial har blandats och omsluts helt av bituminet. Asfaltbruk är en homogen blandning och har låg hålrumshalt. Asfaltbruk blandas tillsammans med större fraktioner av sten för att tillverka asfaltmassor för packning och utläggning på vägarna (AsphaltMastics, 2013).

1.1.1.1 Filler

Filler är en viktig komponent i asfalten. Det är därför viktigt att ha förståelse kring vad filler är och definieras som. Filler definieras som det allra minsta stenmaterialet som används vid asfalttillverkning. Storleken på fillermaterial förknippas med material vars korndiameter passerar helt en siktning på 0,074 mm. Även om filler är det minsta byggmaterialet i en asfaltmassa uppfyller de några essentiella krav som påverkar asfaltmassan. På grund av sin storlek kan filler lätt tränga sig in i massan och fylla upp hålrummen som kan uppstå mellan de större partiklarna i en asfaltmassa. Beläggningen blir tätare vilket

leder till högre hållfasthet, dvs. dess förmåga att motstå belastning, och bättre beständighet, dvs. bättre förmåga att motstå yttre påfrestningar från exempelvis klimat. Det i sin tur leder till att beläggningen får en högre livslängd. En annan funktion som fyller upp i en asfaltmassa är uppstyvandet av bindemedlet. Detta leder till att Mjukpunkten, ökar. Med Mjukpunkt menas den temperatur varvid bituminet övergår från att vara styvt till att bli mjukt. Ökad Mjukpunkt minimerar risken för blödning vid utläggning (Agardh & Parhamifar, 2014).

Filler som undersöks är nytillverkad och återvunnen från Dalbys asfaltverk.

1.1.2 Bituminösa bindemedel

Bindemedlet i en asfaltmassa har en del viktiga uppgifter. Till exempel fungerar det som ett smörjmedel vid utläggning och packning, så att stenmaterialet får en tät och stabil uppbyggnad. Det finns till för att skydda stenmaterialet från krossning och påverkan från klimatet. Bitumen ger beläggningen en lastfördelande förmåga och flexibilitet. Det vill säga den ger beläggningen förmåga att utan brott forma sig efter de långsamma rörelser som uppstår i underlaget som beror på temperaturändringar, långsamtgående tunga fordon och ändringar i fuktighet (Agardh & Parhamifar, 2014).

Vid tillverkning och utläggning av asfaltmassa är det nödvändigt att bindemedlet är tillräckligt lättflytande. Det vanligaste sättet att få bindemedlet att bli lättflytande är via uppvärmning (Agardh & Parhamifar, 2014).

Under hela beläggningens bruktid måste bindemedlet ha en god vidhäftning mot sten aggregatet, samt ha tillräckligt hög draghållfasthet och styvhet för att klara av de krav som ställs på vägen (Agardh & Parhamifar, 2014).

1.1.2.1 Bitumen

Rent bitumen består i huvudsak av en blandning av kolväte, och har en mörkbrun till en svart färg. Bitumen kan hittas i naturen men kan även framställas genom destillation av petroleum, en råolja, vid undertryck.

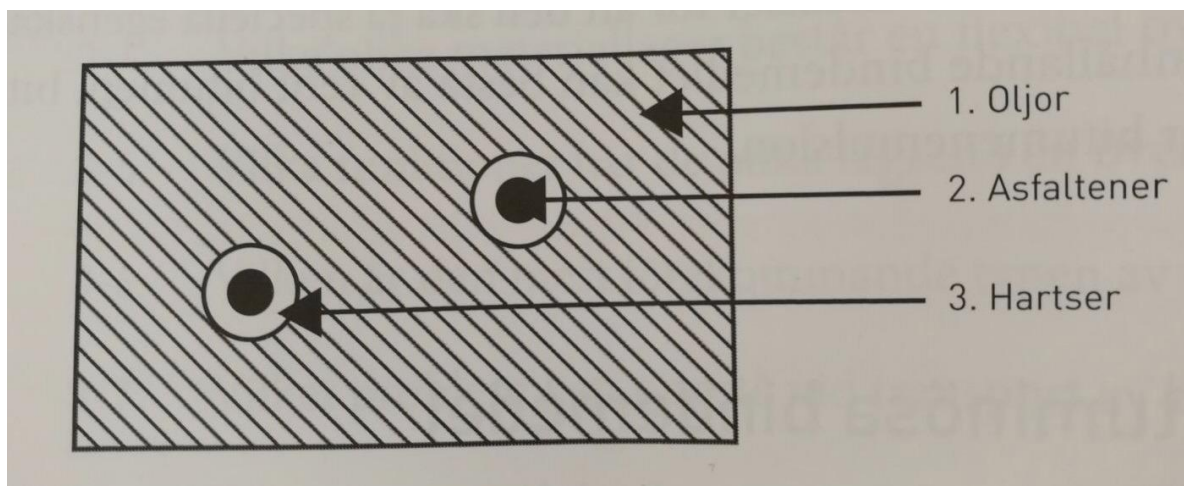
Bitumen har en bindande förmåga och används framförallt i asfalt som bindemedel för stenmaterialet (NE, 2017A).

Råvaran, tillverkning, kvaliteter och benämningar

Bitumen består av tre huvuddelar, vilka är:

- Oljor
- Partiklar av kolföreningar, asfaltener, som flyter i oljorna.
- Lättflytande kolväten, hartser, som omger partiklarna som ett skyddsskikt, se figur 4.

(Agardh & Parhamifar, 2014).



Figur 4. Bitumens beståndsdelar (Agardh & Parhamifar, 2014).

Asfaltenerna är partiklar med hög molekylvikt och är uppbyggda i huvudsak av kol och väte, men råolja innehåller även svavel och kväve, som är bundna till kolet i asfaltenerna. Strukturen är känslig för höga temperaturer och oxidation. Asfaltenerna tillsammans med hartserna bildar miceller. Micellerna är lösta i oljan. Harts- och oljedelarna benämns gemensamt som maltener (Agardh & Parhamifar, 2014).

Kvaliteten på bitumen bestäms ofta utefter dess konsistens. Det vill säga hur visköst, eller trögflytande, bindemedlet är. Ju högre viskositet desto mer trögflytande är bituminet. När bitumen kommer i kontakt med luftens syre

oxideras bituminet och blir hårdare och sprödare. Kvalitén på bitumen påverkas då avsevärt gällande hållbarhet och hårdhet. Dessutom påverkas flexibiliteten genom att den minskar och sprickor bildas. Med andra ord åldras materialet (Agardh & Parhamifar, 2014).

Penetrationstal

Penetrationstal är ett sätt att definiera kvalitén på bitumen. Detta görs genom att mäta penetrationen på bituminet vid 25 °C. Mätmetoden fungerar på så sätt att en nål med viss tyngd sjunker ner i ett bitumenprov under en viss tid.

Penetrationstalet anger sedan de antal tiondels millimeter som nålen penetrerar bituminet. Kvalitén i bindemedlet anges ofta som ett intervall, till exempel 70/100 vilket innebär att penetrationstalet är mellan 70 och 100. Detta är inte det enda kravet för att bindemedlet ska kallas 70/100, utan det måste uppfylla en del andra krav också (Agardh & Parhamifar, 2014). De kraven kommer inte att tas upp i denna rapport.

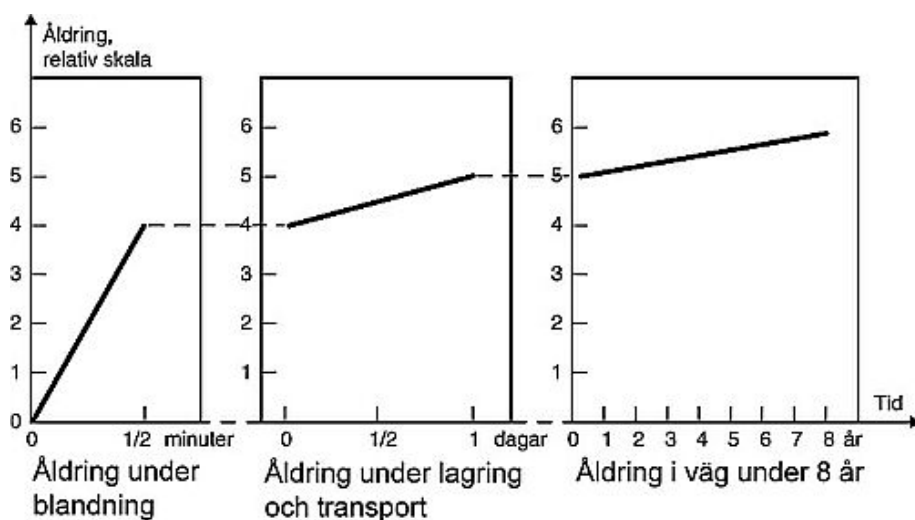
Mjukpunkt

Bitumen saknar en definierad smältpunkt. Dock blir bitumen mjukare och mer lättflytande vid temperaturökning. Istället för att referera till en specifik smältpunkt, talar man i bitumen sammanhang om Mjukpunkt, som markerar då bitumen övergår från att vara styvt till att bli mjukt (Emanuelsson & Jansson, 2013). Mjukpunkten för rent bitumen har historiskt definierats med Kula & Ring-metoden. Kula & Ring-metoden fungerar enbart på rent bitumen utan föroreningar eller tillsatser (Tyllgren, 2017). För andra bitumensorter än rent bitumen kan Mjukpunkten bestämmas vid den temperatur då den dynamiska viskositeten är 1 300 000 mPa·s (Heukelom, 1973) (Emanuelsson & Jansson, 2013). En fungerande metod som mäter Mjukpunkten för alla typer av bitumen, har visat sig vid flera examensarbeten vid LTH, är rotationsviskosimeter av modell Brookfield, RVB (Tyllgren, 2017).

Åldrande av bitumen

Åldring av bitumen sker i princip i två delar: kortsiktiga och långsiktiga, se figur 5. Den kortsiktiga åldringen sker vid anläggningen då bindemedlet utsätts för värme som ökar viskositeten och de reologiska och fysiokemiska egenskaperna förändras, ex. komplex skjuvmodul och adhesion. Den långsiktiga åldringen sker under vägens användning, då den successivt åldras och hårdnar genom olika mekanismer (Al-Qadi m.fl., 2007).

Direkt efter att den nytillverkade asfalten läggs ut och kommer i kontakt med syre börjar den oxidera (Hamlet & Svensson, 2013). Med tiden så blir bituminet i en beläggning allt hårdare och för att förklara förfarandet på ett enklare sätt, har det att göra med att den lättflytande oljedelen av maltén minskar gentemot andelen trögflytande asfaltener. Det finns olika ämnen i maltén som har betydelse för bituminets egenskaper (Tyllgren, 2010). Då andelen malténer minskar klumpar i sin tur asfaltenerna ihop sig, vilket leder till ökad viskositet och minskad duktilitet. Duktilitet är materialets förmåga att utsättas för plastisk deformation utan att sprickbildning uppstår. Beläggningen blir i sin tur mer torr och porös. För att det ska vara möjligt att återvinna en stor andel material i en beläggning bör tillsatsmedel användas för att få tillbaka de idealiska egenskaperna hos en jungfrumassa (Hamlet & Svensson, 2013).



Figur 5. Graf som visar relativ åldring av bitumen (Asfaltboken, 2002).

1.2 Nedbrytningsprocess för asfalt

Vägarna som byggs idag utsätts för olika nedbrytande faktorer. Nedbrytningen av en ny väg påbörjas kontinuerligt efter utläggningen. Faktorerna som påverkar asfaltkonsistensen och dess egenskaper kan vara hårt klimat, trafikbelastningar eller rörelse i marken under vägen. Slitaget av vägen kan delas in i olika kategorier; trafikbelastning, klimat, asfaltmassans sammansättning, åldring och bindemedelstyp (Agardh & Parhamifar, 2014).

1.2.1 Trafikbelastning

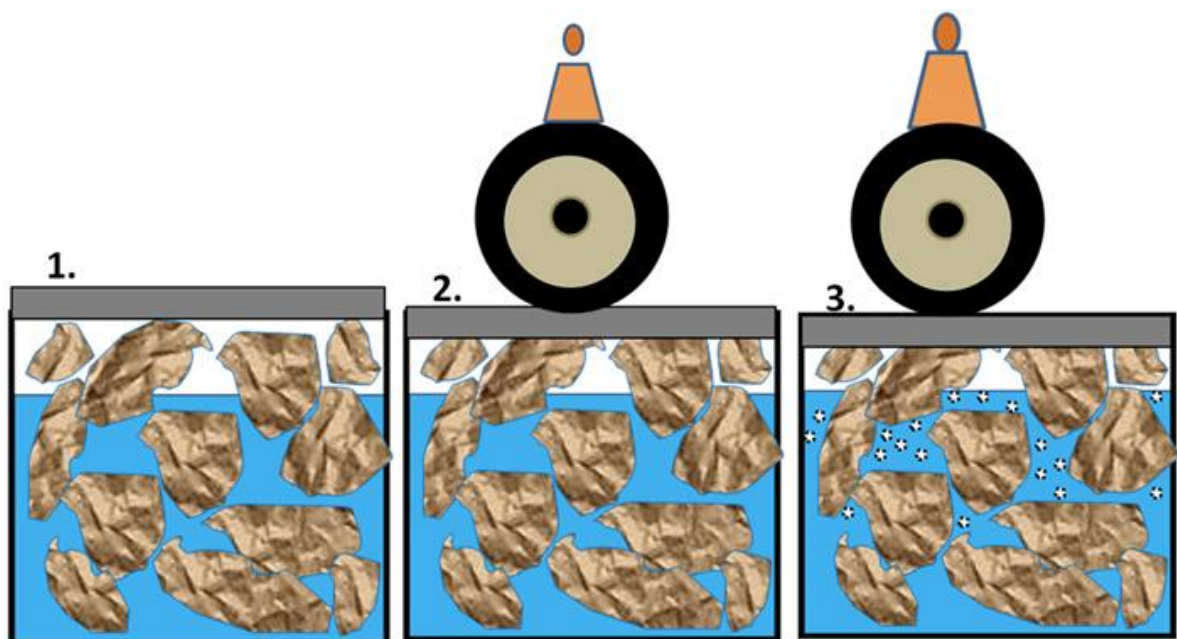
Trafiken spelar en viktig roll i nedbrytningen av asfalten. Högtrafikerade vägar har kravet att kunna stå ut mot trafikbelastningen som den utsätts för eftersom det kan bli dyrt att åtgärda skadorna. Trafiken utgör belastning från däcken som har en kontaktyta mot asfalten. Slitaget bildas av belastningen samt belastningstiden som trafikens hjul skapar vid varje överfart. Dessutom skapar dubbdäck även ytligt slitage genom att slita loss stenmaterialet från beläggningen. Till följd av för mycket belastning från trafiken reagerar asfaltbeläggningen genom att bilda spår i körfälten, sprickor och ojämnheter längst körbanan (Svenska Kommunförbundet, 2003).

1.2.2 Tid

Även om vägen inte utsätts för hög trafikbelastning åldras vägen kontinuerligt med tiden. Den här åldringseffekten är mest synlig på lågtrafikerade vägar. Bituminets egenskaper ändras med tiden efter utläggningen. Det är på grund av att bituminet alltid har kontakt med syre och oxidation av bituminet sker successivt. Bituminet blir då hårdare, mindre elastisk och därmed sprödare. Kontakten mellan bituminet och stenmaterialet blir sämre och vidhäftningen minimeras. Till slut bidrar den låga vidhäftningen till stensläpp (Agardh & Parhamifar, 2014).

1.2.3 Klimat

Klimatpåverkan på vägens tillstånd brukar delas in i två faktorer: temperatur och fukt. Temperaturen har en påverkan på asfaltens styvhet. Ju högre temperatur, som exempelvis under sommaren, desto mjukare blir asfalten. Mjuk asfalt leder till dålig lastfördelning till underliggande lager under vägen samt att det finns högre risk för spårbildning. Vintertid, där temperaturen är låg, blir asfalten däremot hård och då ökar risken för sprickbildning istället. Vattnets påverkan gäller främst i underliggande obundna lager, se figur 6. Enorma vattenmängder som tränger igenom beläggningen och når de obundna lagren bidrar till en svagare undergrund och högre skaderisk. Skadorna som kan uppkomma på grund av det är sprickor, spårbildning och deformation (Agardh & Parhamifar, 2014).



Figur 6. Vatten som trängts genom asfaltbeläggningen till de obundna lagren (ROADEX Network, 2017).

1.3 Asfaltåtervinning

Vägar har använts i många år och under tiden byggs de dels om, eller byggs ut. Ibland friläggs vägar och förstärks på grund av ökade trafikmängder och underhåll av nedgrävd infrastruktur kräver att beläggningar fräses bort.

Utslitna slitlager tas bort innan nytt läggs på vägen för att vägen ska behålla dess angivna höjder. Detta i sin tur skapar högar av bortfrästa asfaltmassor som antingen deponeras eller återanvänds (Tyllgren, 2010).

Årligen produceras det omkring 7-8 miljoner ton asfalt, varav ungefär 1,5-2 miljoner ton återvinns (Svenska kommunförbundet, 2004). En stor anledning till varför asfalt återvinns är att minska andelen nytillverkad asfalt, som i sin tur minskar användandet av bitumen (Svenska kommunförbundet, 2004). Det finns olika återvinningsmetoder för asfalt och vilken typ av återvinning som väljs beror bland annat på vilken typ av väg som ska byggas där den återvunna asfalten ska återanvändas. Återvinningen sker i princip i tre steg. Första steget är borttagningen av asfalten. I andra steget lagras och behandlas asfalten och i tredje steget väljs den återvinningsmetoden som ska användas för att sedan lägga ut den nya asfalten på en väg (Törnblom, 2011).

1.3.1 Typer av asfaltåtervinning

Återvinningen av asfalt är en viktig beståndsdel för att behålla hållbarheten hos produkten och är dessutom gynnande för byggbranschen.

Asfaltbeläggningen åldras med tiden då den utmattas av trafiken och inre jordrörelser samt oxideras av klimatet. När asfalten har blivit tillräckligt gammal och sliten, uppkommer synliga skador på vägkroppen, såsom sprickor, slaghål, kantdeformation osv. Beläggningen bör då bytas ut. Asfalten fräses upp och körs till återvinningscentralen. Väl hos återvinningscentralen bestämmer man vilken typ av återvinning som ska användas (Hornwall & Jacobson, 2000).

Det finns nämligen flera metoder:

- Varm återvinning
- Halv-varm återvinning
- Kall återvinning

(Hornwall & Jacobson, 2000)

I det här examensarbetet har fokus endast lagts på varm återvinning i verk ty laboratorieundersökningarna skedde vid temperaturer över 150 °C vilket också är arbetstemperaturen för varm asfaltåtervinning.

Metoden innebär att returafalten först krossas och sedan mals försiktigt till asfaltgranulat. Efter att returafalten krossats, samlas den i stora tält. I tälten kan den lätt dra åt sig fukt och förstyvas, då returafalten kan stå i långa perioder. I tälten finns det många olika asfalttyper, dvs. man sorterar inte dem var för sig. När krossningen sker kan asfaltgranulatet innehålla olika asfalttyper, vilket utgör ett problem eftersom när returafalten ska blandas in i ny tillverkad asfalt har man inte full kontroll på vad returafalten innehåller. Halten asfaltgranulat som blandas in kan variera beroende på vilken blandningsmetod man använder (Hornwall & Jacobson, 2000) (Asfaltboken, 2002).

1.4 Asfalttillverkning

Asfalt delas upp i undergrupper som bestäms av dess tillverkningstemperatur:

- Varmblandad asfalt
- Lågtempererad asfalt
- Halvvarm asfalt
- Kallblandad asfalt

(Asfaltboken, 2002)

Vanligaste är varmblandad asfalt som tillverkas mellan 150–165 °C. Hot Mix Asphalt, HMA, är den internationella benämningen på den varmblandade asfalten som tillverkas i temperaturer på ca 150–180 °C. Lågtempererad asfalt har en tillverkningstemperatur på ca 25–30 °C lägre än den varmblandade asfalten, med hjälp av temperatursänkande tillsatsmedel (SBUF, 2017).

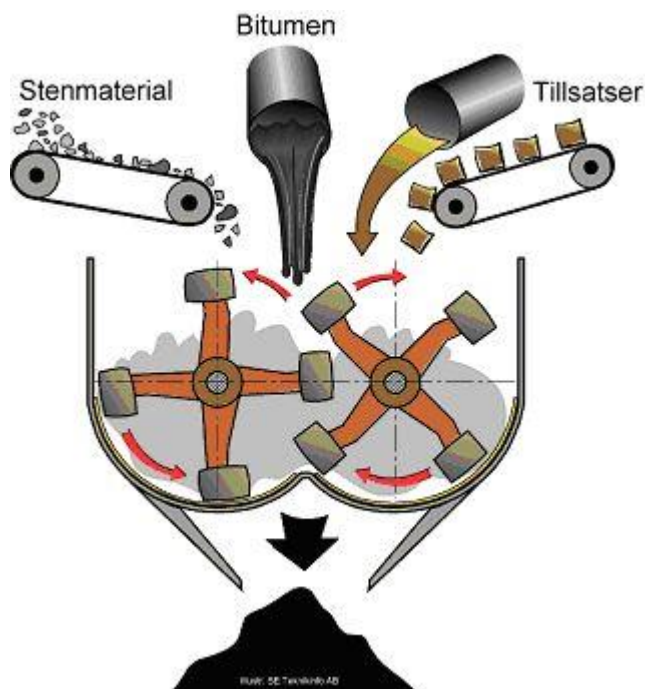
Halvvarm asfalt tillverkas vid en temperatur på ca 50–120 °C och kallblandad asfalt blandas under 50 °C, med eller utan uppvärmning. För den senare typen

av tillverkning används mjukgjord eller emulgerat bitumen. Emulgerat bitumen är oftast blandat med vatten (PEAB, 2017).

I detta examensarbete har det lagts endast fokus på HMA eftersom vår undersökning sker vid blandningstemperaturer högre än 150 °C.

Alla asfaltmassor består av specifika blandningar av olika stenmaterialfraktioner, kornstorleksfördelning, filler, bitumenstyper och eventuella tillsatsmedel utifrån specifika tillverkningsrecept. Kvaliteten för de ingående komponenterna är avgörande för slutkvaliteten på asfaltmassan. Asfaltmassan består av ungefär 93-96 vikt% stenmaterial. Resten är bl.a. bindemedel och tillsatsmedel. Det är viktigt att proportioneringen av de olika stenmaterialsorterna stämmer efter recepten vid tillverkningen för att få optimal kvalitet på slutprodukten.

På ett förenklat sätt sker asfalttillverkningen till på följande sätt: stenmaterial torkas och upphettas till blandningstemperaturen för att torka bort eventuell fukt hos stenmaterialet. Fyllern skapas då stenmaterial behandlas i ett asfaltverk. Man återanvänder det filler som skapas och man tillägger eventuellt nytt filler vi behov. Så småningom sker siktning av stenmaterialen, vilket innebär att en uppdelning sker av de olika partikelstorlekarna. Här delas de mindre partiklarna till en fraktion och de grövre till en annan fraktion. Bindemedlet lagras i uppvärmda tankar tills doseringen till blandningen sker. Bindemedlet doseras sedan till önskad mängd och pumpas in i en blandare som blandar bindemedlet tillsammans med stenmaterial, eventuellt returafalt och tillsatsmedlet, se figur 7. Dessa blandas sedan under en viss tid till en homogen blandning. Blandningstiden varierar beroende på vilken typ av asfaltmassa det är och beroende på asfaltverk. När asfaltmassan är färdig lagras den i isolerade lagringsfickor i väntan på leverans. Vanliga problem vid lagring är separation, sänkt temperatur och att asfalten oxideras då ständig kontakt med syre förekommer (Asfaltboken, 2002).



Figur 7. Exempel på asfaltblandare (Asfaltboken, 2002).

Det finns två olika metoder att blanda in returafalt i nyttillverkad asfalt:

- via kalldosering
- via parallelltrumma

Kalldosering innebär att returafalten är kall när den blandas in i blandaren tillsammans med de övriga komponenterna. När returafalten är kall innehåller den fukt. Detta innebär att stenmaterialet överhettas för att kompensera den kalla temperaturen och förånga fukten som returafalten medför.

Överhettningen kräver stora mängder energi. Det går inte att blanda in hur mycket returafalt som helst eftersom stenmaterialet inte kan upphettas till vilken temperatur som helst utan att negativa konsekvenser sker, som ex. att stenmaterialet förlorar sin kvalitet (Asfaltboken, 2002).

Returafalten kan istället för att kalldoseras värmas upp i en parallelltrumma innan den blandas in i blandaren. Metoden är dock väldigt dyr och kan innebära stora investeringar (Asfaltboken, 2002).

1.5 Tillsatsmedel

Det finns många olika anledningar till att tillsatsmedel används vid asfalttillverkning. Viktigaste anledningen är för att man vill uppnå någon viss egenskap hos bitumenet, asfaltmassan eller beläggningen, i förbättringssyfte (Asfaltboken, 2002) (Hamlet & Svensson, 2013). Man vill oftast uppnå önskade egenskaper med så låg halt tillsatsmedel som möjligt då de ofta är dyra i jämförelse med de andra ingående beståndsdelarna som stenmaterialet och bindemedlet. Det finns olika sorters tillsatsmedel man kan använda (Asfaltboken, 2002). De tillsatsmedel som använts i denna studie är i form av vax som fungerar som temperatursänkande och fluid som fungerar som föryngringsmedel.

Man får använda tillsatsmedel om de kan hanteras och användas på ett miljövänligt sätt, om de inte orsakar problem vid hantering, läggning, användning, återvinning, deponering och destruktion (Asfaltboken, 2002) (Trafikverket, 2005). Det är även viktigt att man ser till så att tillsatsmedlen inte påverkar någon annan egenskap negativt (Asfaltboken, 2002).

Trafikverket har satt följande krav om tillsatsmedel:

“Tillsatsmedel, övriga material samt alternativa material ska verifieras genom tillverkarförsäkran enligt aktuella Europastandarder. För material där Europastandard saknas ska verifiering ske genom tillverkarförsäkran i kombination med egenkontroll. Alternativa material som inte beskrivs i detta dokument får användas om:

dokumenterade undersökningar påvisar att slutprodukten får förbättrade egenskaper materialet inte ger problem vid användning, återanvändning, återvinning, deponering eller destruktion.”

(Trafikverket, 2015).

Att förändra asfaltens egenskaper med hjälp av tillsatsmedel är inte en ny metod, men har blivit mer och mer aktuell i användning på senaste tiden.

Tillsatsmedel började användas i samband med oljekrisen år 1973 eftersom raffinaderierna blev tvungna att övergå från en till flera olika råoljor.

Processen vid tillverkning av bitumen ändrades och tillverkningen av bra bitumen blev svårare. För att uppnå de önskade egenskaperna användes tillsatsmedel (Asfaltboken, 2002). Det finns även andra faktorer som bidragit till ökat användande av tillsatsmedel i branschen. Till exempel risk för ökat bitumenpris, strävan att reducera kostnader genom att bygga tunnare lager, trafikökningar, ökade totalvikter och högre ringtryck, samt miljöaspekter som tas i anspråk allt mer och mer (Asfaltboken, 2002).

1.5.1 Tillsatsmedel för temperatursänkning

I början av 2000-talet introducerade företagen Shell och Veidekke ett asfaltkoncept under namnet Warm Mix Asphalt, WMA, som på svenska fick namnet lågtemperaturasfalt, LTA. Det väckte snabbt stort intresse hos olika aktörer och de började testa olika ämnen som hade förmågan att sänka temperaturen. Syftet var att producera varmasfaltblandning med hög kvalitet vid lägre temperatur och därmed spara energi och minska koldioxidutsläppen. Tankarna lever kvar än idag men har tappat fart sedan det visat sig att kvalitetsmålen inte var så lätta att uppnå och att vinstmöjligheterna var lite överskattade. Några tillsatsmedel har överlevt fram till idag och anses ha påvisad effekt i verkligheten och i arrangerade laboratorieundersökningar. Detta examensarbete avser att foga ytterligare kunskap till dessa arbeten (Tyllgren, 2017).

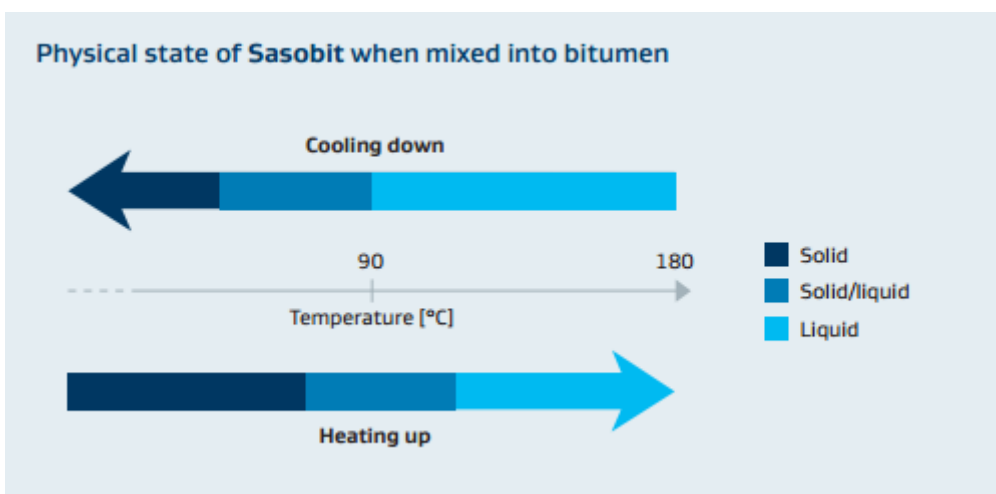
Fyra tillsatsmedel för temperatursänkning har undersökts och testats:

- Sasobit

- Redux
- ZycoTherm
- Rediset LQ-1102CE

1.5.1.1 Sasobit

Sasobit är ett syntetisk tillverkad hårt vax som är fri från sulfider och andra kemiska ämnen. Sedan 1997 har Sasobit används globalt som ett tillsatsämne till asfalt för exempelvis hamnområde, industriområde samt flygplatser där belastningarna är väldigt stora pga. enorma laster under långsamma rörelser. Sasobit har två grundläggande effekter. Vid höga temperaturer, då asfalten tillverkas, löses Sasobitvaxen upp i bitumenet och bidrar till att göra lösningen mer lättflytande. Det i sin tur påverkar asfalmixens viskositet. När viskositeten minskar blir överhettning inte aktuell längre vilket innebär att tillverkningstemperaturen kan sänkas. Vid låga temperaturer brukar Sasobitvaxen bete sig annorlunda och ha en styvnande effekt. Vaxet kristalliserar runt 90 °C, se figur 8. Den uppstyvande effekten skapas av att vaxet kristalliserar och därmed ökar asfaltens viskositets. De i sin tur leder till högre nötningsresistens och mindre deformationsförmåga (Sasobit, 2016).

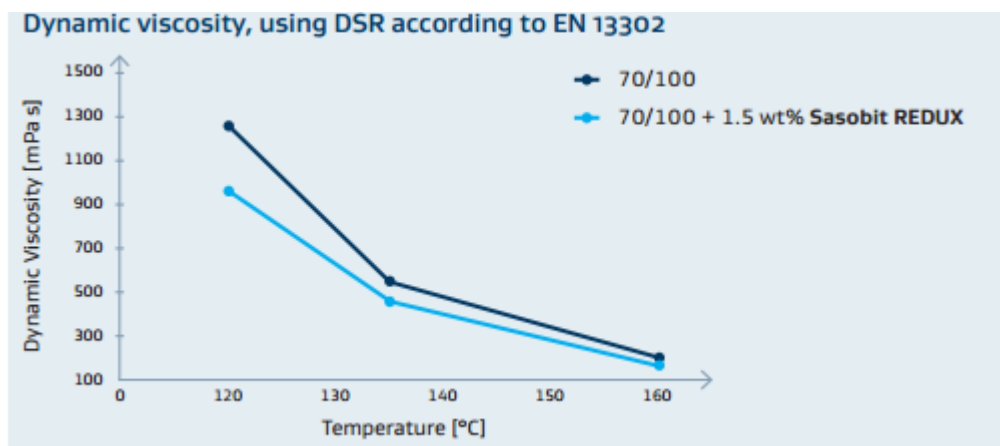


Figur 8. Sasobits form vid olika temperaturer. Notera att Sasobit övergår från fast till flytande vid uppvärmning och vid kylning (Sasol, 2017).

1.5.1.2 Redux

Sasobit Redux är ett syntetisk Fischer-Tropsch (FT) vax framställd av oljebaserat vax. Redux stelnar runt 72-83 °C och har penetration av 16-30 dmm vid 25 °C. Det gör det till ett mjukare tillsatsmedel än Sasobit som förklarades i föregående kapitel, 2.5.1.1 Sasobit. Redux är ett vax som är tillverkad av företaget Sasol (Sasol, 2017).

Effekterna av Redux beskrivs som temperaturdämpande vid tillverkning och utläggning av asfalt. En annan positiv effekt av Redux är att det kan sänka viskositeten hos bindemedlet och därmed sänka temperaturen med mellan 15 – 20 °C, se figur 9. Vid tillverkning och utläggning av asfalt är temperaturen väl över den temperatur då vaxet kristalliseras. Därför har vaxet en viskositetsminskande effekt. Efter att asfalten med tillsatsmedlet är utlagt stelnar Redux-vaxet bidrar till, på samma sätt som Sasobit, att öka nötningsresistansen för beläggningen samt dämpa åldrandet av bindemedlet (Sasol, 2017).



Figur 9. Diagram över hur viskositeten varierar hos bitumen 70/100 i jämförelse med bitumen 70/100 blandat med Reduxvax. Notera hur viskositeten minskar ju lägre temperatur (Sasol, 2017).

1.5.1.3 ZycoTherm

Nynäs Ab marknadsför en färdigblandad produkt, ZycoTherm, som modifierats med tillsatsmedlet ZycoTherm. Blandningen gjordes i förväg av Nynäs eftersom det kräver handlag och vana att blanda in och homogenisera ämnet. Basbituminet är detsamma som användes i blandningar som gjordes på

plats på laboratoriet i Lund. Syftet med ZycoTherm är att sänka tillverkningstemperaturen i varmblandad asfalttillverkning med 25-30°C under normal tillverknings temperatur. Ämnet anges också förbättra vidhäftning och beständighet. I Skottland användes ZycoTherm för att motverka vågbildning vid trafikljus och andra stoppställen, där retardation och acceleration orsakar dessa deformationer. ZycoTherm rapporteras förbättra packning och stabilitet och förmågan att motstå trafikbelastningen (Nynäs, 2015).

1.5.1.4 Rediset-LQ1102CE

Rediset-LQ är ett temperatursänkande tillsatsmedel, dvs. ett tillsatsmedel vars funktion är att sänka värmen som krävs vid tillverkningen av asfalt. Den är mer nötningsresistent och bidrar till högre livslängd hos beläggningen.

Rediset-LQ har förmågan att förvandla en varm asfaltmassa till en halv-varm asfaltmassa. Genom att sänka temperaturen minskar man emissionerna från temperaturskillnaden samt bidrar till bättre arbetsmiljö ty minskade ångor (Rediset, 2017).

1.5.2 Tillsatsmedel för temperaturdämpning och föryngring

Asfaltåtervinning med föryngringsmedel är en gammal metod men precis som andra tillsatsämnen är det inte förrän på senare år som miljövänliga oljor finns tillgängliga på marknaden. Vid återvinning av asfalt har det varit vanligt att ett mjukt bitumen blandas med krossad returafalt. Det mjuka bituminet blandas emellertid inte med returafalten utan omsluter asfaltgraulet. Resultatet har blivit ett segt och svårt material. På senare tid har man därför börjat arbeta med föryngringsmedel vid återvinning vilket bidrar till bättre läggbarhet och förbättrade egenskaper i färdig asfalt (Svensk Byggtjänst, 2011).

Föryngringsmedlen är oftast lättare destillat som mjukar upp förhårdnat bitumen. Vanligast är destillat av petroleumoljor men naturoiljor förekommer också. Ämnena kan vara sammansatta av smörjoljeextrakt och utdrysningssoljor, som innehåller en hög andel av de nafteniska eller polära

aromatiska kolväten. Detta anses viktigt för att återuppbygga de fysikaliska och kemiska egenskaperna i det åldrande bindemedlet (Chadbourn m.fl., 2002). Alla tillsatsmedel har inte detta kemiskt återställande syfte utan avser bara att återställa de reologiska egenskaperna.

Tre föryngringsmedel har undersökts och testats:

- **STORFLUX**
- Sylvaroad RP1000
- Nygen 910

1.5.2.1 STORFLUX

STORIMPEX har under decennier haft samarbete med asfaltbranschen och därmed utvecklat och distribuerat tillsatser för asfalt. STORFLUX är ett föryngringsmedel vars funktion är att mjuka upp oxiderat bitumen i returafalt. Föryngringsmedlet är baserat på återvunnen olja. Tillsatsmedlet har genomgått raffinering och levereras liksom alla andra tillsatsmedel med säkerhetsdatablad som anger ingående ämnen (STORIMPEX, 2017).

Tillverkaren framhåller att användningen av STORFLUX är koldioxidneutral eftersom den möjliggör återvinning av asfalt (STORIMPEX, 2017). Det gäller för övrigt alla föryngringsmedel. STORFLUX undersöktes tillsammans med andra föryngringsmedel i ett examensarbete på LTH i Helsingborg (Aurell & Olsson, 2015). STORIMPEX framstår i den rapporten som reologiskt mycket lik Nygen 910, vilket inte är så konstigt eftersom båda är mineraloljor (Aurell & Olsson, 2015).

1.5.2.2 Sylvaroad RP1000

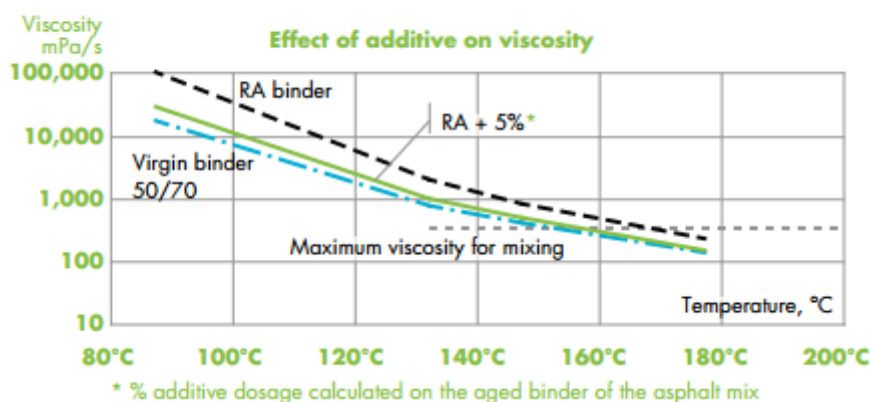
Sylvaroad RP1000 är ett föryngringsmedel som har skapats av företaget Arizo Chemicals, som numera ägs av företaget Kraton. Kraton är ett företag med verksamheter världen runt. Företaget etablerades 1945 och har sedan dess

vuxit och utvecklats inom olika produktområde såsom gummi, medicinsk teknologi och tillsatsmedel för asfalt.

Föryngringsmedlet syftar till att underlätta och öka återvinningen av asfalt genom att göra asfalten mer hanterbar och hållbar i alla vägfunktioner som bind- och slitlager. Ökad mängd återvunnen asfalt bidrar till hushållning med resurser och produktionen av koldioxid. Föryngringsmedlet möjliggör sänkning av tillverkningstemperaturen vilket leder till minskad energianvändning och lägre energikostnader. Sylvaroad framställs ur tallolja, som är en biprodukt från pappersindustrin (Arizona Chemicals, 2016). En schematisk bild över hur temperatursänkningen sker kan man se i figur 10.

Improved PROCESS EFFICIENCY

The mixing process in the asphalt plant is optimized by matching the viscosity of aged and added virgin binder.



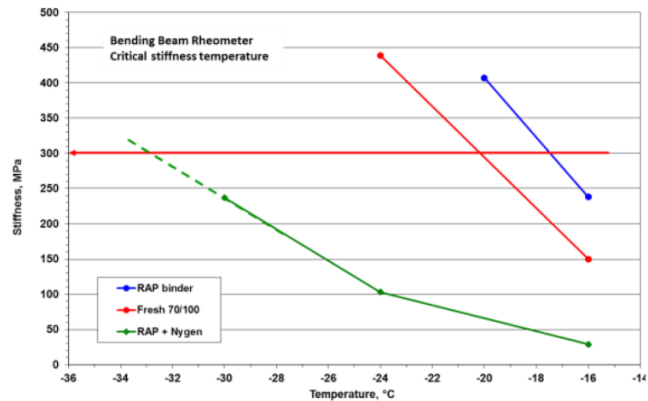
Figur 10. Jämförelse mellan viskositeten vid olika temperaturer på 50/70 bitumen (blåstreckad), returbitumen (svart streckad) och returbitumen blandat med 5 % Sylvaroad (grön heldragen) (Arizona Chemical, 2016).

1.5.2.3 Nygen 910

Nygen 910 tillverkas av Nynas AB och är ett hydrerat petroleumdestillat för föryngring av returafalt. Hydreringen ger ämnet en gynnsam bedömning i miljöhänseende. Åldrat bitumen mjukas upp och får reologiska egenskaper som inte bara kan jämföras med nytt bitumen utan också vara bättre när det gäller lågtemperaturegenskaper (Nynäs, 2016). Ur figuren nedan, se figur 11, kan man uppmärksamma minskning av styvheten hos den gröna linjen, som

representerar RAP (returasfalt) blandat med Nygen 910, utmed lägre temperaturer.

- ▶ Improved low temperature properties compared to virgin and RA + virgin blends
- ▶ Lower rate of change in stiffness at low temperature
- ▶ Implies less brittle
- ▶ Equivalent performance at high temperatures
- ▶ Effective at low dose rates



Figur 11. Nynäs presentation av Nygen 910 (Nynäs, 2015).

1.6 Reologi

Reologi är läran om hur material reagerar och fungerar beskrivet utifrån olika förhållanden mellan spänning och töjning när de utsätts för kraft eller annan yttre påverkan. Reologin beskriver deformationsegenskaperna hos flytande och fasta ämnen under en viss tid (NE, 2017B). För detta examensarbete spelar reologi om bitumen en viktig roll till senare behandling av resultatet ty det som undersöks är påverkan på bindemedlets och asfaltbrukets viskositet som också är en del av reologin.

1.6.1 Viskositet

Viskositet beskriver motståndet mot en rörelse eller kraft hos fluider och påminner om den inre friktionen hos vätskor och gaser, dvs. segheten hos en fluid. Viskositeten motverkar hastighetsförändringar mellan oändligt tunna skikt i vätskor eller gaser vid strömning. Ämnen med låg inre friktion och viskositet är mer lättflytande än ämnen med höga värden. Till exempel har vatten en lägre inre friktion än vad sirap har och har därmed en lägre viskositet och är mer lättflytande. Viskositetskonstanten, η , har enheten (kg/m·s) eller

(Pa·s) och anger viskositetens storlek definierat enligt SI-systemet (NE, 2017C).

Vätskor benämns utifrån hur deras viskositets påverkas av faktorer som temperatur, hastighet och spänning. Nedan följer olika fluider samt vilka ämnen kategoriseras under dem:

- Newtonska vätskor: vatten, oljor, bitumen m.m.
- Dilatanta vätskor: kalk, cement m.m.
- Tixotropa vätskor: målarfärg, fett, såpa m.m.

(Jernkontorets energihandbok, 2017).

Utgångspunkten för viskositetsmätningarna i detta examensarbete är att bituminet och olika asfaltbruk har newtonska egenskaper vid temperatur som gör bituminet och blandningarna lättflytande. Det innebär att viskositeten vid en given temperatur är oberoende av hastigheten eller spänningen, se figur 12 (Erlandsson, 2012). Vätskor där viskositeten varierar kallas icke-newtonska och kan ha olika utseende beroende på ämnets karaktär (Jernkontorets energihandbok, 2017). Ibland ges ämnet sådana egenskaper för ett särskilt syfte till exempel tixotropvätska, exempelvis målarfärg, som man vill hänga kvar på väggen efter utstrykning och inte rinna av (Tyllgren 2017).

Viskositeten definieras enligt sambandet:

$$\eta = \sigma / \gamma \quad (\text{ekv.1})$$

där

η är dynamisk (eller absolut) viskositet i mPa·s

σ är skjuvspänning i mPa

γ är skjuvhastighet i 1/s

Kinematisk viskositet mäts med uttrinningsviskosimetrar och har bara egenvikten som påskjutande kraft. Kinematisk och dynamisk viskositet har följande samband:

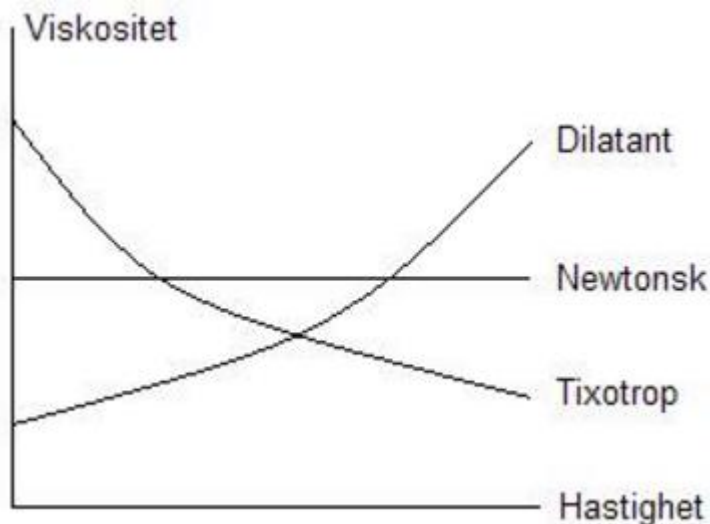
$$v = \eta / \delta \quad (\text{ekv.2})$$

där

v är kinematisk viskositet i mm^2/s

η är dynamisk viskositet i $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ($\text{mg}/(\text{mm}\cdot\text{s}^2)$)

δ är ämnets densitet uttryckt i mg/mm^3 (g/cm^3 , kg/dm^3 , ton/m^3)



Figur 12. Diagram på hur hastigheten påverkar viskositeten hos olika fluider (Jernkontorets energihandbok, 2017).

1.6.2 Brookfields rotationsviskosimeter, RVB

I mer än 80 år har Brookfield viskositetsmätare varit erkända som ledande inom många industrier och laboratorier. Det började med att Don Brookfield, medan han var i slutskedet av sina studier, bestämde sig att bygga sin egen viskosimeter. "I can build a better one" var motivet bakom beslutet och redan efter några år hade han sålt några enheter. Därefter startade han företaget Brookfield CO. tillsammans med sin far och bröder (Brookfield, 2017A). Företaget kunde snabbt etablera sig och expanderade väldigt mycket. Det gjorde i sin tur att företaget kunde bredda ut sig mer till andra industrier som

matproduktion, bläck, målarfärg, oljeprodukter, kosmetik osv. (Brookfield, 2017A).

Företaget har nyligen blivit uppköpt av AMETEK som är ett ledande globalt företag som bygger och säljer elektriska- och elektromekaniska instrument. Företaget, känt numera som AMETEK Brookfield, fortsätter med sin dagliga produktion av viskositetsmätare (Brookfield, 2017A).

RVB är en maskin som används för att mäta reologiska egenskaper hos vätskor. RVB används för att mäta viskositeten hos en rad olika industriprodukter, bland annat på bitumen. Maskinen kan beskriva de reologiska egenskaperna på olika sätt. Här blir viskositeten den beskrivande faktorn. Dessutom ger instrumentet vetenskaplig grunddata, *skjuvspänning* och *skjuvhastighet*, enligt definitionen av viskositet i kapitel 1.6.1 *Viskositet* som är används för senare undersökning och tolkning. En och samma spindeltyp med fast axel används för hela mätningförloppet. Mätningen sker i en programmerad mätserie vid fem temperaturer från hög temperatur ned till i närheten av Mjukpunkten. Mätresultaten sammanbinds med en linje, viskositetslinjen, som kan beskrivas med ett matematiskt samband enligt WLF-ekvationen (Williams- Landen-Ferry). Beräkningen sker enligt minstakvadratmetoden med hjälpmedel som finns tillgängligt i programvaran Excel (Tyllgren, 2017). I detta examensarbete är RVB den enda metoden som har använts för att ta fram viskositeten hos vätskorna.

WLF-formeln:

$$\log(a_T) = \frac{-C_1 \cdot (T - T_{ref})}{C_2 + (T - T_{ref})} \quad (\text{ekv.3})$$

där

C_1 och C_2 Konstanter

T Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

T_{ref} Referenstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

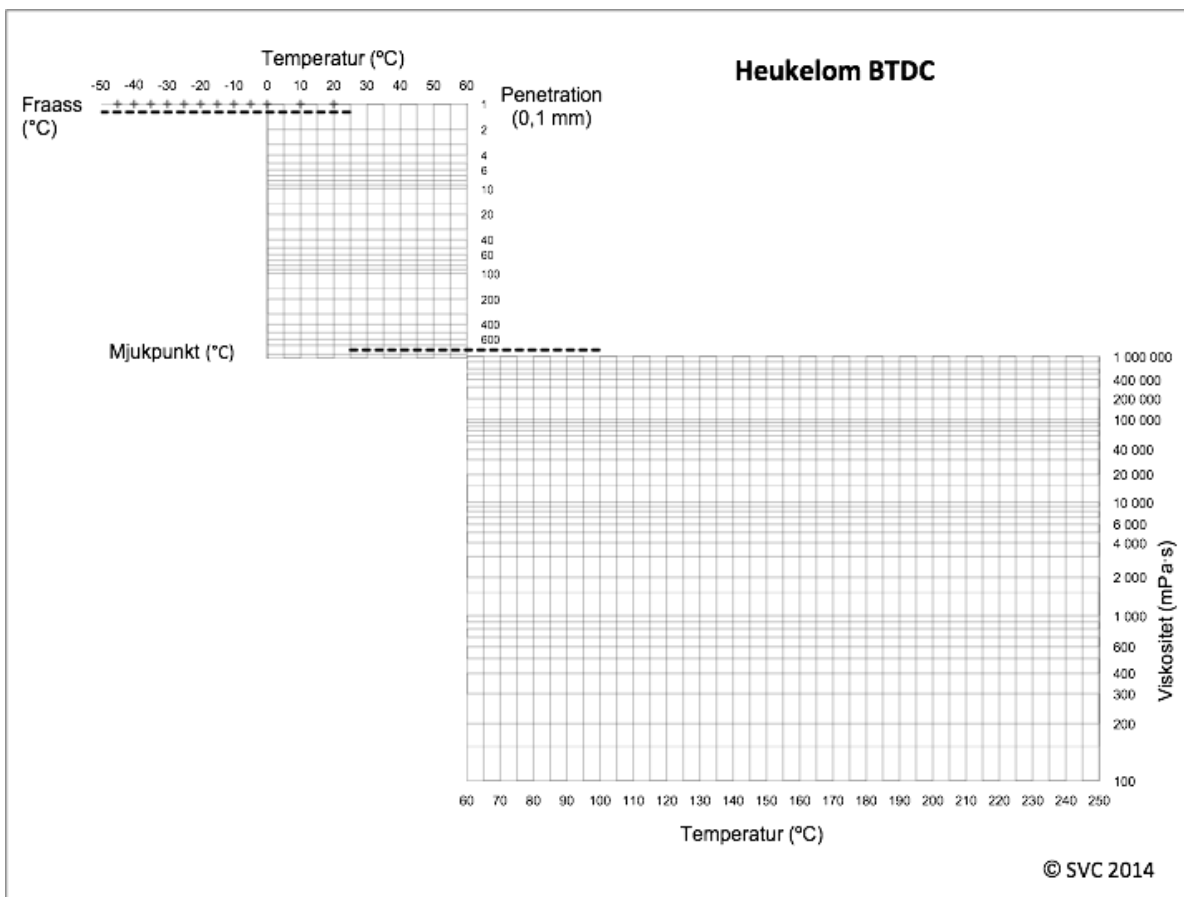
a_T skiftfaktor som för Newtonska polymera vätskor (Erlandsson, 2012).

1.6.3 Heukeloms BTDC

År 1973 införde Willem Heukelom ett diagram som kunde beskriva viskositeten hos bitumen och hur den varierar beroende på temperatur.

Diagrammet benämns Heukelom BTDC och innehåller flera olika uppmätta tester som viskositet, penetration, mjukpunkt m.m. (Andersson & Sulejmani, 2014)(Heukelom, 1973).

Diagrammet består av två innerdiagram, se figur 13. Det övre diagrammet är ett temperatur diagram med linjär skala medan det nedre diagrammet står för penetrationen och är logaritmisk. Viskositetslinjen som avbildas i diagrammen sammanfaller i båda diagrammen i en rät linje. Det finns möjlighet till extra- och interpolära viskositetslinjen vid behov. Med hjälp av Heukelom kan man läsa ut mjukpunkten för bitumen vid 1 300 000 mPa·s (Andersson & Sulejmani, 2014).



Figur 13. Heukelom BTDC-diagram (Grybb & Nilsgart, 2014).

2 Metod

Före laboratorieproverna, som examensarbetet är baserat på, gjordes en inledande studie med 4 prover i rotationsviskosimetern, RVB. För att alla prover ska behandlas lika har en provberedningsmanual gjorts som laborationen går efter, se bilaga 2. Det första provet i den inledande studien innehåller endast bitumen. De tre resterande innehåller filler i en volymprocent på 20 %, 30 % och 40 %. Därefter förbereddes proverna efterhand och kördes i RVB enligt provplanen. Syftet med den inledande studien är att man skall kunna använda sig av resultatet, som tolkas med hjälp av Heukeloms diagram, för att sedan bestämma en volymhalt på hur mycket filler som ska användas senare tillsammans med tillsatsämnen. Volymen filler som bestämdes till fortsatta studien blev 36,3 vol% vilket är detsamma som i tillverkningsreceptet för asfalttypen ABS 11. Denna vol% bestämdes utifrån

grundläggande aritmetiska formler för volymhaltbestämning, kvotbestämning samt viktprocentsbestämning. Formlerna som använts är en beräkning av stabiliseringsindex, dvs. F/B-värde som resulterar i $DMP = 20\text{ °C}$, där F/B värdet är förhållandet mellan fillermängden och bitumenmängden. Med hjälp av stabiliseringsindex, som blev 1,601, kunde vikthalten för filler beräknas. Med hjälp av vikthalten för filler och densiteten för bitumen samt kompaktdensiteten för filler ($2,742\text{ g/cm}^3$) kunde vol% för filler beräknas till 36,3 vol%. En tydligare uträkning finns i kapitel 3.1 *Inledande undersökning av asfalt bruk*.

Notera att asfaltbrukens volymandel av ny naturfiller skiljer sig från extraherad returfiller. Metoden för examensarbetet har utförts och följt svensk standard för rotationsviskosimetermetoden, SS-EN 13302:2010.

Inför provkörningen gjordes antagande gällande Mjukpunkten hos proven. Den antagna mjukpunkten fördes in i en Excelblad som sedan tog fram viskositetsvärde vid de temperaturerna som testkördes. Viskositeten mäts med RVB maskinen och beräknades med hjälp av WLF-formeln där konstanterna C_1 och C_2 är kända.

2.1 Laboriematerial

Rotationsviskosimetern som användes i detta arbete är av typen Brookfield Viscometer DV-II+ Pro EXTRA med stativ, se figur 14. Den består av en roterande spindel SC4-27, Thermosel värmeenhet, termisk styvhet och mjukvaran Rheocalc som styr data processen via PC. Det finns tillgång till en knappsats på instrumentet som man kan styra genom, men det var inget vi använde oss utav. Den mätningen som noterades viktigast var vid $1\ 300\ 000\text{ mPa}\cdot\text{s}$ som även antogs vara mjukpunkten vid den viskositeten.



Figur 14. Rotationsviskosimeter, RVB, som användes i laboratoriet vid Lunds Tekniska Högskola.

2.1.1 Utrustning

- Brookfield Viscometer DV-II+ Pro EXTRA med stativ
- Brookfield Thermosel värmeenhet med tillhörande styrenhet.
- Dator med Rheocalc Programvara
- Våg med noggrannhet $\leq 0,1$ g
- 10 ml engångs plasticsprutor
- Provbehållare med stativ
- Tång för hantering av provbehållare
- Spindel med fast axel SC4-27 (#27)
- Lock vid provkörning
- Skyddsutrustning

2.1.2 Spindel

Labororiemätningarna har utförts med spindeltypen, SC4-27 (#27), se figur 15. Spindeltypen #27 är anpassad för att klara av ett provrörs volym på 10,5 ml för att få ut bäst resultat. Spindeltypen #27 har mätområdet: 150-2 500 000 mPa·s. Spindeln som används till försöken har en lång axel som fästs i RVB och sedan förs ner i provrören. Fördelen med #27, jämfört med andra spindeltyper, är att den är självcentrerad när den är kopplad till viskosimetern. Nackdelen med den fasta axeln är att den kan bli sned då man rengör den eller vid installationen som medför instabilitet och den kan börja att ”wobbla”. Det i sin tur kan förvirra maskinen och resultat kan misstolkas eller förstöras. Det stora vridmotstånd som #27 klarar av passar till våra mätningar och vår analys (Brookfield, 2017B) (Tyllgren, 2017).



Figur 15. Spindeln som användes i RVB maskinen.

2.1.3 Provrör

Provrören som använts rymmer 24 ml och är 8 cm långa, se figur 16.

Mängden (gram) uppvägt bitumen och asfaltbruk varierade. Kravet var att det skulle vara 10,5 ml av varje prov eftersom det är vid den volymen spindeln är skapad för. Utifrån den volymen kunde mängden bitumen samt asfaltbruk bestäms och vägas upp i provrören. Vid uppvägningen av proverna användes en svart provrörshållare. Notera att i provröret lindrades i aluminiumfolie för att förhindra uppstigningen av provrörhållaren vid uppvägningen pga. de höga temperaturerna som förekommer, se figur 17. Uteslutningen av aluminiumet kan bidra till att värmen lyfter provrörhållaren vilket i sin tur gör att uppvägningen inte stämmer. Efter uppvägning av provet användes aluminiumfolie som lock för att skydda provet från att blandas med andra föroreningar i luften tills den skulle sättas igång i maskinen, se figur 16.



Figur 16. Provrör som användes vid laboratorieförsöken samt markör (6B) som visade vad provet innehöll.



Figur 17. Provrörshållare med provrör i vid uppvägning. Provrörshållaren står på en våg och aluminiumet som är inringat används för att förhindra uppstigning av provrörshållaren.

2.1.4 Tillverkning av prover

Tillverkningen av proverna gjordes utefter provberedningsmanualen, se bilaga 2. Provberedningen följde manualen för att de skulle blandas och behandlas lika.

2.1.5 Programmerad körning

Vi utförde en programmeringsmanual, se bilaga 3, dels för att underlätta för oss själva men även för att underlätta för kommande examensarbeten som använder RVB.

2.1.6 Fel vid laboration

Fel som kan uppstå vid laboration och dess lösningar redovisas i bilaga 4.

2.1.7 Fjärrstyrning

RVB maskinen har även möjligheten att köras med hjälp av fjärrstyrning vilket avsevärt minskar behovet av att fysisk vara närvarande på labbet. Det hjälpte till med mätningarna eftersom det krävdes att endast en av laboranterna sätter in provet och sedan kunde man följa programmeringen samt körningen via TeamViewer. TeamViewer är applikation för fjärrstyrning som gör det möjligt att styra allt som görs via laborationsdatorn men från en annan dator (TeamViewer, 2016). Detta sparade oerhört mycket tid och möjligheten att kunna följa resultat samt exportera resultat när som helst utan att fysiskt behöva vara i laborationssalen.

3 Resultat

3.1 Inledande undersökning av asfaltbruk

Undersökningarna inleddes med att finna en lämplig sammansättning på asfaltbruket, som kunde anses representera en vanlig asfalttyp, i det här fallet ABS 11 med 70/100 som bindemedel. I en äldre utgåva av Trafikverkets anvisningar anges som vanliga värden bitumenhalten till 6,7 vikt% och fillerhalten till 11,5 vikt% (Trafikverket, 2005). Det ger en viktkvot mellan filler och bitumen (F/B-värdet) på:

$$11,5 \cdot \frac{\left(1 - \frac{6,7}{100}\right)}{6,7} = 1,601 \quad (\text{ekv. 4})$$

Viktandelen för filler i asfaltmassan måste reduceras med stenmaterialets andel av asfaltreceptet eftersom fillerhalten i en kornfördelning anges på mängden stenmaterial.

Viktkvoten motsvaras av vikthalten:

$$\frac{100 \cdot 1,601}{(1,601+1)} = 61,6 \text{ vikt\%} \quad (\text{ekv.5})$$

Densiteten för bitumensorten antogs till 0,974 g/cm³ vid 100 °C. En tidigare bestämning av kompaktdensiteten hos fillern från Dalby gav värdet 2,742 g/cm³. Det ger fillern en volymhalt i asfaltbruket vid 100 °C på:

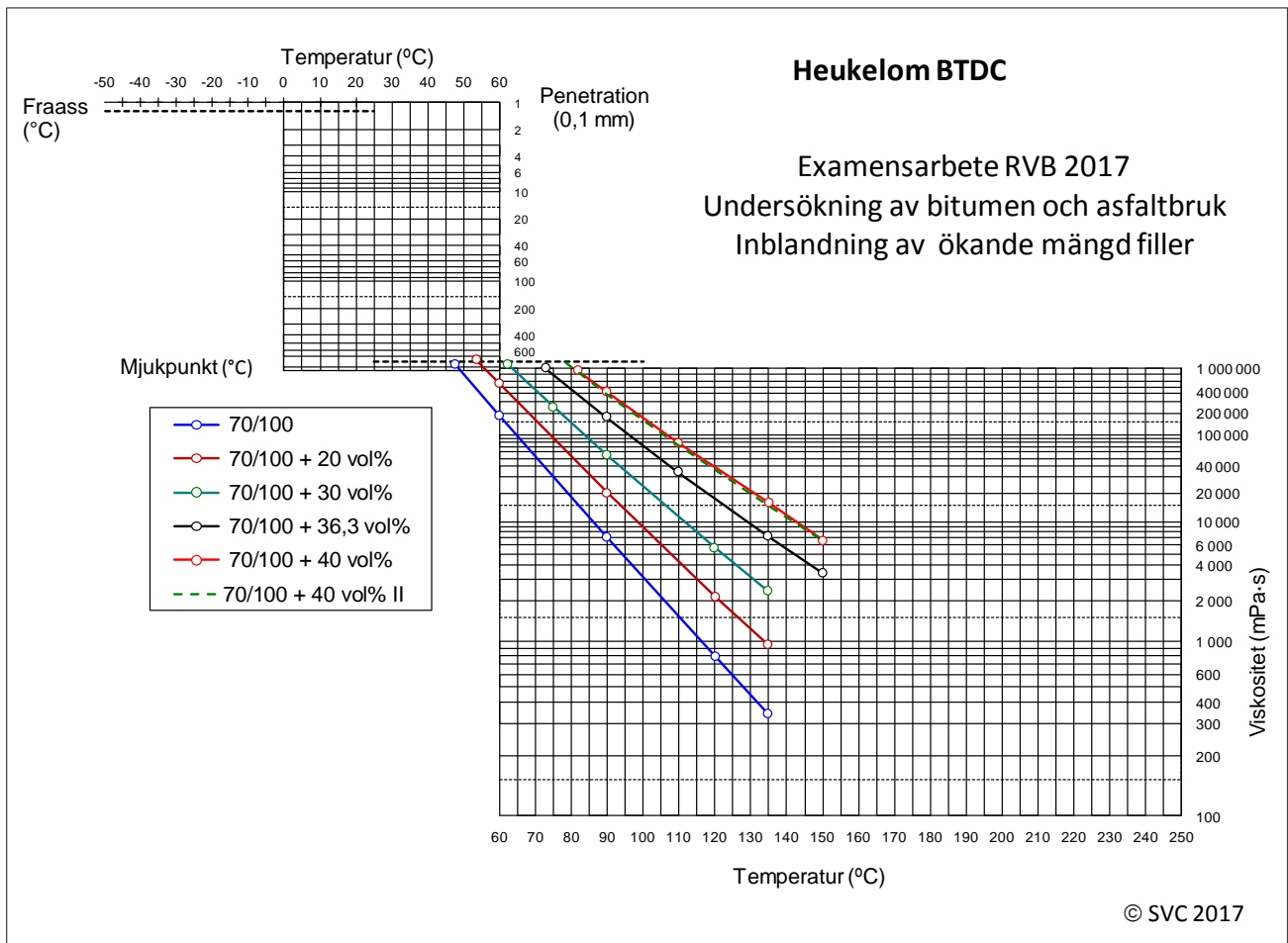
$$\frac{100 \cdot \frac{61,6}{2,742}}{\frac{61,6}{2,742} + \frac{(100-61,6)}{0,974}} = 36,3 \text{ vikt\%} \quad (\text{ekv.6})$$

För att undersöka uppstyvningseffekten av Dalbyfillern och mäta på ett vanligt förekommande asfaltbruk blandades fyra olika volymhalter: 20, 30, 36,3 och 40 vol%. Mängden 40 vol% bedömdes vara den svåraste att homogenisera och ta ut ett representativt prov på. Därför upprepades det testet för att få en observation på repeterbarheten.

3.1.1 Resultat: inledande undersökning av asfaltbruk

Syftet med den inledande studien var att mäta effekten av olika mängder inblandat filler från Skanskas asfaltverk i Dalby. Det var också ett bra sätt att bekanta oss med mätmetoden, där asfaltbruk mäts i rotationsviskosimeter.

Resultaten presenteras i nedanstående figurer, 18 och 19, och tabeller, 2 och 3, med uttolkning i sifvertabeller.

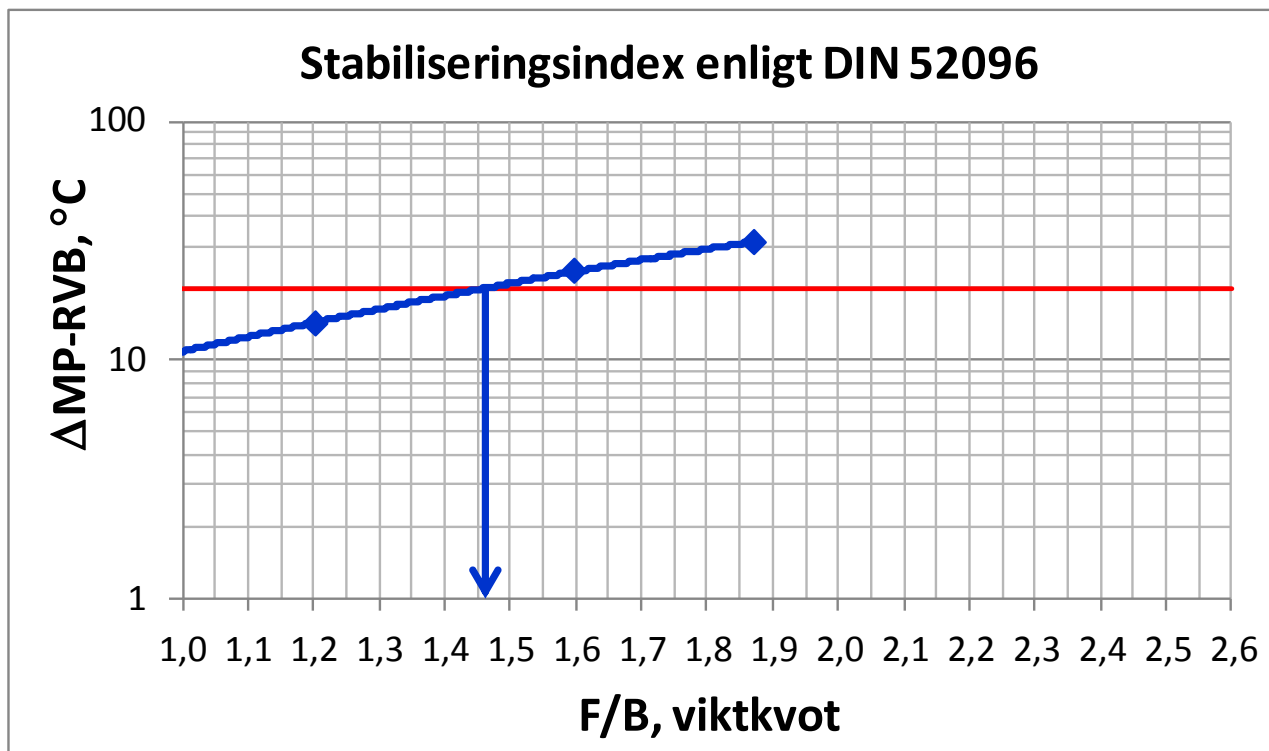


Figur 18. Heukelom BTDC för inledande undersökning av asfaltbruk.

Tabell 2. Tabell över resultat från inledande undersökning av asfaltbruk.

Fillerhalt vol%	Mjukpunkt RVB *) °C	Viskositet vid 150 °C *) mPa·s	Temperatur vid 3380 mPa·s *) °C
0	47,1	175	100
20	54,1	454	113
30	61,5	1 130	127
36,3	70,6	3 380	150
40	78,5	6 770	165
40 II **)	78,1	6 650	165

*) Beräknade värden ur WLF-samband, se ekv.3. **) Upprepat prov



Figur 19. Diagram över bestämning av Stabiliseringsindex för filler i asfaltbruk.

Tabell 3. Tabell över resultat från bestämning av Stabiliseringsindex för filler i asfaltbruk.

Fillerhalt i asfaltbruk med 70/100		Fillerkvot, F/B, i asfaltbruk med 70/100 viktkvot	MP-RVB °C	ΔMP-RVB °C
vol%	vikt%			
0	0	0	47,1	0
20	41,2	0,70	54,1	7,0
30	54,6	1,20	61,5	14,4
36,3	61,6	1,60	70,6	23,5
40	65,2	1,87	78,5	31,4
Stabiliseringsindex:		1,46	←	20,0

3.1.2 Kommentarer

Figur 18 visar en grafisk bild över den inledande studien av asfaltbruk som utfördes med olika mängd filler inblandat med bitumen 70/100. Varje prov har en särskild färg. Med ökad fillermängd ökar mjukpunkten medan lutningen på viskositetslinjen minskar, vilket innebär att asfaltbruket blir styvare. Tabell 3 visar mängden filler i förhållande till bitumeninnehållet med olika förekommande mätetal och förändringen av Mjukpunkt i siffror. Figur 19 visar hur stabiliseringsindex bestämdes grafiskt med hjälp av DIN 52096. Stabiliseringsindex är F/B värde som resulterar i $\Delta MP = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. ΔMP är ökning av Mjukpunkt efter inblandning av filler med bitumen.

Sedimentering av filler i bruket skulle kunna påverka resultaten.

Sedimentering innebär att fillerpartiklarna rör sig ner mot provets botten och bildar en icke homogen blandning (Tyllgren, 2017). I den här undersökningen ses inga tecken i resultaten på något sådant. Om sedimentering hade förekommit i betydande grad hade resultaten inte rangordnat sig som ren bitumenprover brukar göra. Proverna är därmed homogena. Inte heller under prepareringen av proverna kunde någon separering märkas under den korta tid blandningen pågick. Partikelvandringen nedåt måste dessutom vara mycket långsam eftersom fillerpartiklarna är små, vätskan är trög (200 – 1 300 000 mPa·s) och andelen partiklar är hög (20-44 vol%). Sedimentering föreutsätter en stillastående suspension. Under den inledande delen av mätserien, när sedimenteringen teoretiskt skulle kunna ske, är proverna under omrörning. Sedimentering förekommer naturligtvis men i så liten omfattning att det inte har någon betydelse i de här jämförande mätningarna, vilket resultatet illustrerar. Den eventuella sedimenteringseffekten ingår i så fall som en metodeffekt som alla mätmetoder är behäftade med. Inblandning och homogenisering har förmodligen större betydelse för precision och repeterbarhet hos mätmetoden. Dalbyfillerns Stabiliseringsindex, 1,46, är ett

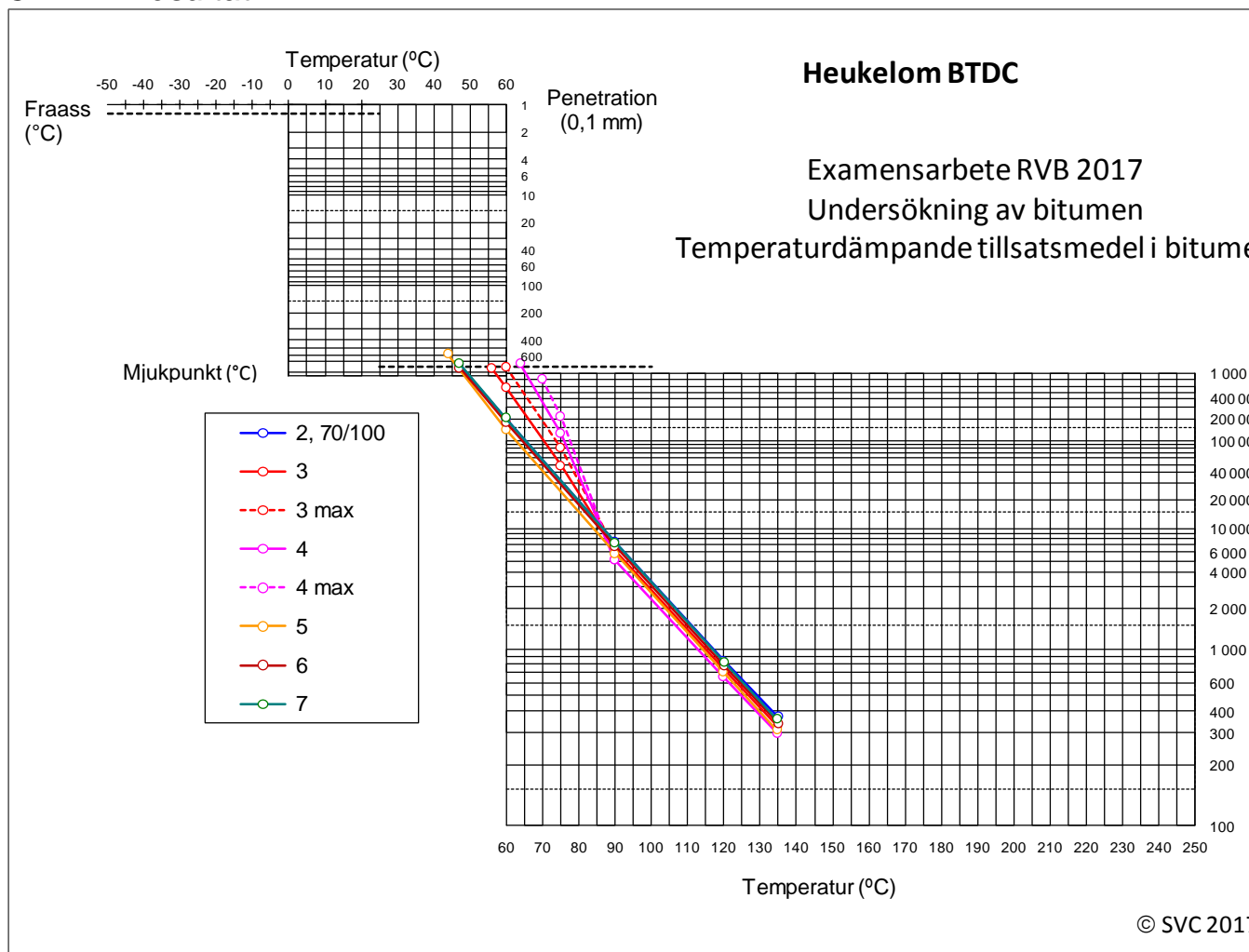
vanligt värde för mineraliska fillersorter från krossning av stenmaterial till asfaltmassor.

Uttryckt i % av viskositeten ligger den upprepade mätningen vid 40 vol% ungefär 5 % under den första. Utmed temperaturskalan skiljer det i medeltal 0,4 °C mellan viskositetslinjerna. Det får betraktas som en liten avvikelse.

3.2 Undersökning av temperatursänkande tillsatsmedlen

3.2.1 Bitumen 70/100

3.2.1.1 Resultat



Figur 20. Heukelom BTDC över temperaturdämpande tillsatsmedel till 70/100.

Tabell 4. Tabell över resultat från undersökning av temperaturdämpande tillsatsmedel till 70/100.

Bindemedelsprov nr	Viskositet vid 150 °C *) mPa·s	Temperatur vid 181 mPa·s *) °C	Differens från 70/100 *) °C
70/100	181	150,0	0
3	156	146,8	-3,2
4	148	145,3	-4,7
5	152	146,0	-4,0
6	166	148,0	-2,0
7	170	148,9	-1,1

*) Beräknade värden ur WLF-samband

3.2.1.2 Kommentarer

Figur 20 visar Heukelom BTDC för proverna som innehöll temperaturdämpande tillsatsmedlen jämfört med rent bitumen 70/100 utan tillsatser. Effekten uttrycks i horisontell temperaturdifferens i tabell 4. Linjerna som syns är markerade med olika färger för respektive prov.

Det som är noterbar är viskositeten för varje prov är mindre än referensen. Det i sin tur leder till en temperaturdifferens som syns i sista kolumnen till höger.

Det är positivt då de tillsatsmedlen verkligen fungerar och dämpar temperaturbehovet för rent bitumen. Det tillsatsmedlet som sticker ut som bästa temperaturdämparen är prov 4.

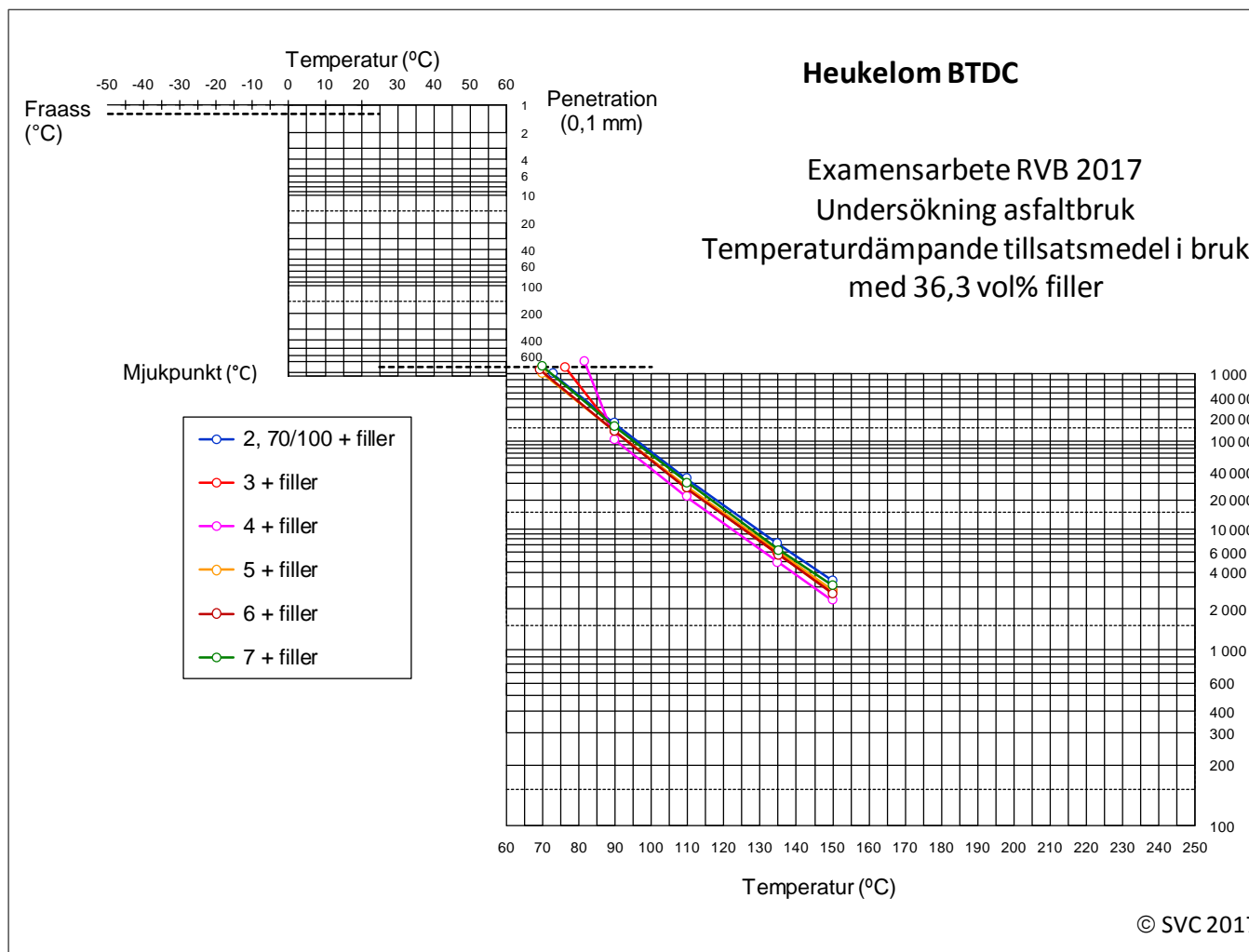
Förskjutningarna av viskositetslinjerna sker egentligen vertikalt (\updownarrow) men kan också bedömas utmed temperaturskalan ($\leftarrow\rightarrow$). Det är egentligen den effekten som eftersträvas. En sänkning av temperaturen till vänster, dvs. linjen förskjuts till vänster, ersätter motsvarande temperaturhöjning.

Blandningarna 3–5 har något större verkan än 6–7 men effekterna är överlag små och kan förklaras med ämnenas utspädning av bituminet.

Blandningarna 3 och 4 visar kraftig stigning i viskositeten under 90 °C, vilket orsakas av kristallisering, dvs. ämnena stelnar. I det här stadiet får blandningen icke-Newtonska egenskaper, vilket visar sig i att viskositet inte är konstant vid olika varvtal och tyder på att skjuvspänning och skjuthastighet varierar. Blandning 5 har liknande tendenser men mycket svagare. Effekten visar sig här först under 60°C.

3.2.2 Asfaltbruk med 70/100

3.2.2.1 Resultat



Figur 21. Heukelom BTDC över temperaturdämpande tillsatsmedel till asfaltbruk med 70/100.

Tabell 5. Tabell över resultat från undersökning av temperaturdämpande tillsatsmedel till asfaltbruk med 70/100.

Asfaltbruks- prov nr	Viskositet vid 150 °C *) mPa·s	Temperatur vid 3 380 mPa·s *) °C	Temperatur- differens från nr 2 vid 150 °C °C
2 **)	3 380	150,0	0
3	2 800	146,1	-3,9
4	2 360	142,2	-7,8
5	2 800	146,1	-3,9
6	2 670	145,1	-4,9
7	3 070	147,9	-2,1

*) Beräknade värden ur WLF-samband **) Nytt bruk utan tillsatser

3.2.2.2 Kommentarer

Figur 21 och tabell 5 visar resultatet för rent bindemedel med 36.3 vol% inblandat filler från Dalby. Även här är viskositeten för varje prov är mindre än referensen. Det i sin tur leder till en temperaturdifferens som syns i sista kolumnen till höger.

Förskjutningarna av viskositetslinjerna är större i asfaltbruk än för rent bitumen, jämför diagram 20 och 21. Det beror delvis på uppmjukningen av bituminet men antyder kanske även den smörjande effekt som tillsatsmedel tillför.

Stegringen av asfaltbrukets viskositet under 90 °C för blandningarna 3 och 4 har samma förklaring som i bitumenfallet. Den icke-Newtonska karaktären provades inte.

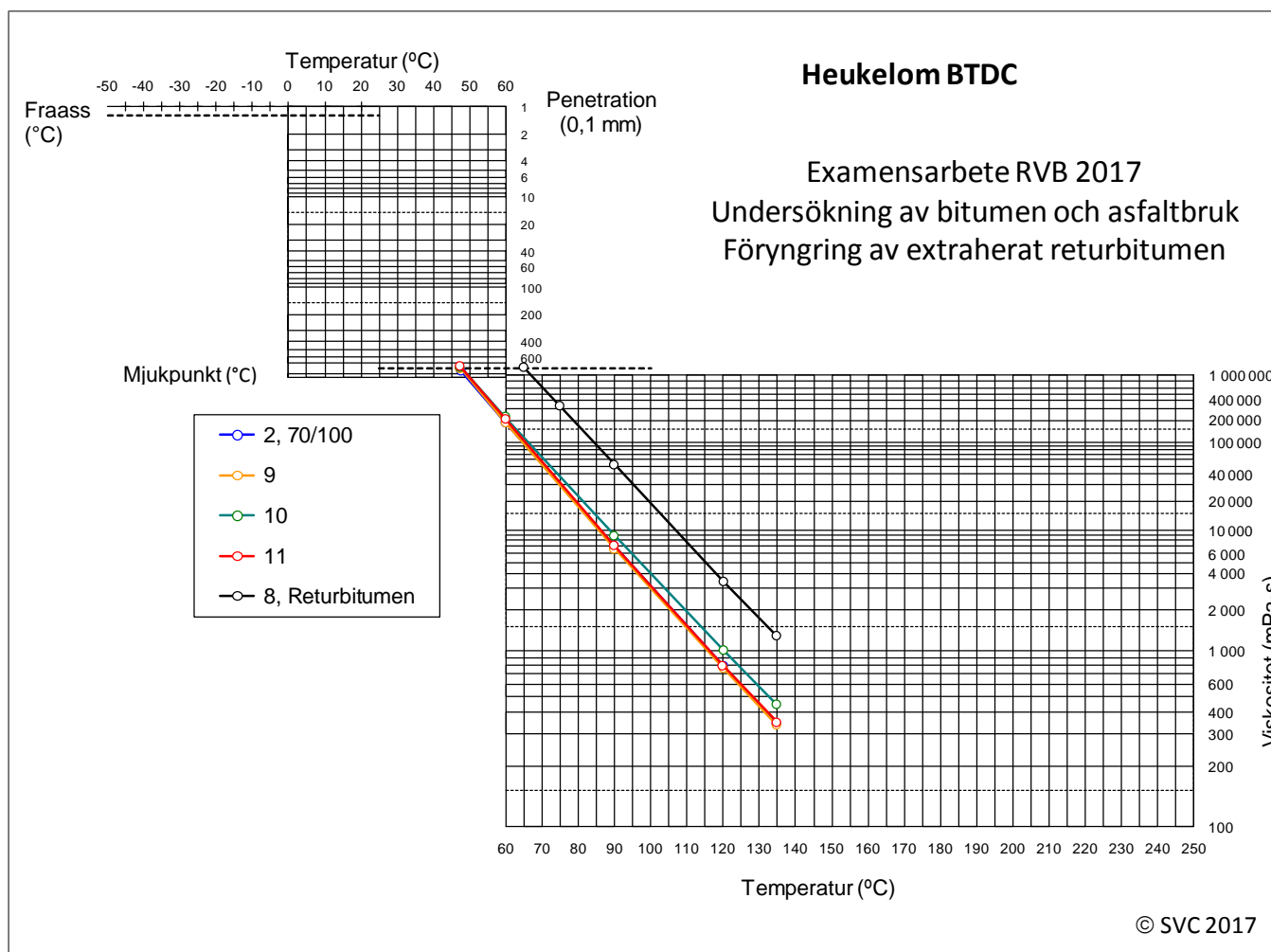
3.3 Undersökning av förnyngsmedel

Förnyngsmedel har samma verkan i tillverkningen som temperaturdämpande tillsatser. De har dock i första hand en kvalitetshöjande funktion i färdig beläggning.

Returbituminet är extraherat från returafalt på Skanskas asfaltverk i Dalby. Returfillern kommer från centrifugören i en Asfalttester och från bottenskålen efter siktningsanalys.

3.3.1 Effekter på rent bitumen och returbitumen

3.3.1.1 Resultat



Figur 22. Heukelom BTDC över förnyngsmedel till rent returbitumen.

Tabell 6. Tabell över resultat från undersökning av föryngringsmedel till rent returbitumen.

Bindemedel prov nr	Mjukpunkt RVB *) °C	Viskositet vid 60 °C *) mPa·s	Viskositet vid 150 °C *) mPa·s	Temperatur-differens från prov nr 2 vid 181 mPa·s *) °C
2, 70/100	47,5	200 000	181	0
8 **)	65,3	3 130 000	525	22,0
9	47,4	185 000	165	-2,1
10	47,8	219 000	215	4,0
11	47,9	205 000	169	-1,6

*) Beräknade värden ur WLF-samband **) Returbitumen

3.3.1.2 Kommentarer

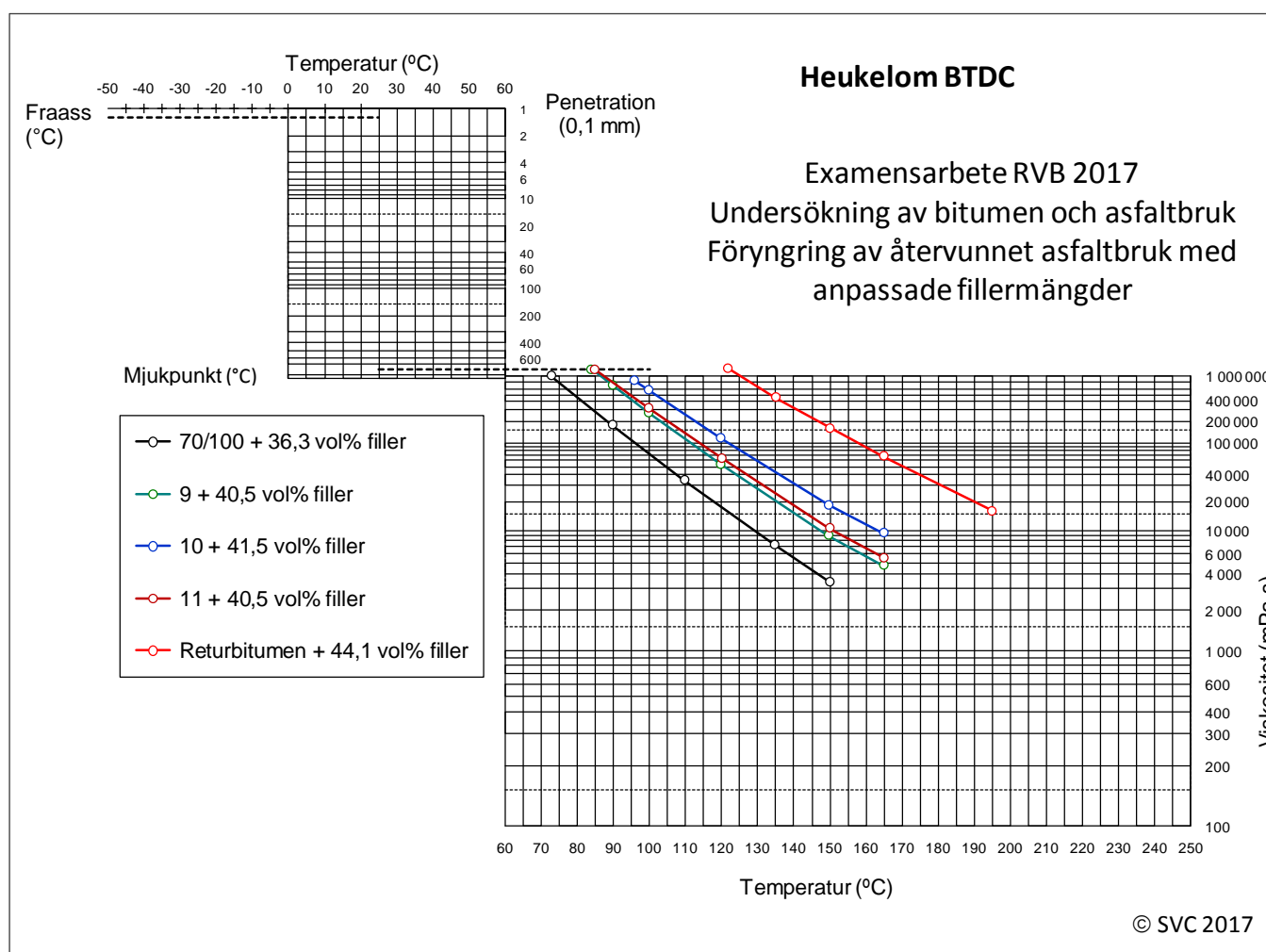
Med hjälp av provblandningar och beräkningar valdes mängder för tre föryngringsmedel, som resulterade i ungefär samma Mjukpunkt bestämd med RVB (MP-RVB) som 70/100. Returbituminet blandades med 9,4 vikt% respektive 16,4 vikt% föryngringsmedel. Blandningarna 9 och 11 är jämfört med 70/100 helt identiska medan nr 10 har en annan lutning på viskositetslinjen, se figur 22. Enligt tabell 6 kan man se blandning 10 behöver en temperatur på 154 °C för att uppnå samma viskositet som 70/100 vid 150 °C. Det är ingen slump utan återspeglar föryngringsmedlets egen viskositetslutning, som ger blandningen den här karaktären. Betydelsen av denna skillnad behöver studeras närmare med viskoelastiska undersökningar.

3.3.2 Effekter på asfaltbruk

Av praktiska skäl tillsattes föryngringsmedlen före fillern. För att efterlikna verkligheten borde det ha gjorts i omvänd ordning men i den här jämförande studien har det liten betydelse.

Kvoten mellan filler och bitumen (F/B) har stor inverkan på asfaltbrukets viskositet. Överlag tillsatt föryngringsmedel i så stor andel att det påverkar F/B-värdet i avgörande grad och därmed viskositeten. Eftersom föryngringsmedlen tillsätts olika mycket varierar F/B-värdena därefter. Fillerhalten anpassades i efterhand i doseringen av returfillern men skulle ha uppkommit av sig själv i en omvänd doseringsordning av föryngringsmedel och filler.

3.3.2.1 Resultat



Figur 23. Heukelom BTDC över föryngringsmedel till rent returbitumen.

Tabell 7. Tabell över resultat från undersökning av föryngringsmedel till återskapat retur-asfaltbruk.

Asfaltbruk prov nr	Fillerhalt vol%	Mjukpunkt RVB *) °C	Viskositet vid 150 °C *) mPa·s	Temperatur-differens från prov nr 2 vid 3380 mPa·s *) °C
2 **)	36,3	70,6	3 380	0
8 ***)	44,1	122,3	159 000	90
9	40,5	83,9	9 180	23
10	41,5	91,7	18 700	42
11	40,5	84,9	10 900	27

*) Beräknade värden ur WLF-samband **) Nytt bruk ***) Returbruk

3.3.2.2 Kommentarer

Returasfalt innehåller förhållandevis mycket filler och alltid mer än i recepten för nytillverkad asfalt i jämförelse med mängden bindemedel. Det är svårt att bedöma hur mycket mer filler retur-asfalt innehåller än nytillverkad asfalt. Utifrån tabell 7 ser man att vol% filler i blandningen är 44.1 %. Det betraktas som väldigt högt. Orsaken brukar förklaras med nedkrossning av stenmaterialet från trafiken och med tillskott av vägsmutts. Det är inte säkert att all filler har funnits inne i det gamla asfaltbruket men under uppvärmningen i en parallelltrumma eller tillsammans med hett stenmaterial kommer all filler till slut att knådas in i bruket. Detta bruk är uppenbarligen mycket segt och skulle fordra 240 °C för att få samma hanterbarhet som nytillverkat bruk. Viskositeten vid 80-100 °C för returbitumen är inte optimal för att blandningen ska ske på ett bra sätt. Hanterbarheten är heller inte optimal då högre temperaturer egentligen skulle behövas. Om man vill värma upp bruket skulle det kräva en temperatur över 240 °C vilket direkt bidrar till att risken för överhettning ökar.

4 Diskussion

4.1 Mättekniken

Intresset för konsistensen i asfaltbruket har funnits sedan starten av industriell asfaltproduktion för 100-tals år sedan. Gjutasfalt var en av de första beläggningstyperna och man förstod tidigt att förhållandet mellan bitumen och filler var avgörande för läggbarhet och egenskaper. Snart insågs det att asfaltbrukets egenskaper också var viktiga för asfaltbetong, alltså för asfaltmassor med betydligt mindre bruk än i gjutasfalt. För att mäta egenskaperna i asfaltbruk finns det standardiserade mätmetoder.

Mätmetoderna beskrivs i bland annat DIN 52096 och en avlagd metod, FAS Metod 253-02. Både DIN 52096 och FAS Metod 253-02 är mätmetoder för bestämning av fillers förstyvande inverkan på bitumen.

Idén med att mäta viskositeten på asfaltbruk med rotationsviskosimeter kommer från ett doktorandarbete på KTH (Hesami, 2014). Avhandlingen studerar faktorer som påverkar viskositeten i asfaltbruk och presenterar mätningar på industrifiller men inte mineralfiller från ballastproduktion till asfalt. Felaktiga antaganden ledde till onödiga begränsningar i utförandet.

Bland annat mätte man enbart viskositeten vid 100 °C pga. rädsla för sedimentering och höga skjuvhastigheter, som kräver en avancerad utrustning med särskilda tillbehör. I det här examensarbetet upptäcktes inga sedimenteringseffekter av betydelse. Skjuvspänningarna och skjuvhastigheterna begränsades så att det blev möjligt att använda vanligt förekommande mätinstrument.

En rad examensarbeten med RVB på LTH har resulterat i en unik mätteknik, LTH-metoden. I en automatiserad mätomgång registreras viskositeten vid flera temperaturer, från blandningstemperaturen ned till i närheten av mjukpunkten. Resultaten ritas upp i ett digitaliserat Heukelom-diagram. Det skattade sambandet har samma precision som instrumentet och uppfyller

kravet på noggrannhet i anvisningarna. Därmed kan temperaturen för en valfri viskositet beräknas, i första hand bestämning av Mjukpunkt, som inträffar vid 1 300 000 mPa·s (Heukelom, 1973).

Mätningarna har överlag fungerat utan problem, även bestämningen av Mjukpunkt för asfaltbruk. Det innebär att DIN 52096 kan få en nystart och ger asfaltbrukets egenskaper en roll att spela i proportionering och dimensionering. Optimeringen av mängd och kvalitet på fillern kan till och med minska behovet av värme vid asfalttillverkningen.

4.2 Temperatursänkande tillsatsmedel

Tillsatsmedel som påstås bidra till att temperaturen kan sänkas med 25–30 °C i blandningen har låg effekt på bituminets viskositet. Enligt försöket lyckas de endast sänka med mellan 2–8 °C. Det visar sig att prov 6 och 7 hade lägst påverkan på temperaturbehovet medan de andra proverna ligger ungefär på samma nivå. Asfaltbruket reagerar lite mer på tillsatserna men inte så mycket att det styrker påståendet. Anledningen till att vårt resultat för temperatursänkningen inte överensstämmer med vad leverantörerna påstår kan vara att vi använt oss av olika undersökningsmetoder.

Det finns mycket att vinna på temperaturdämpande insatser att frågan förtjänar välplanerade och fullskaliga försök över en längre tid. Det fordrar ordentliga utmaningar där tillsatserna får chans att bekänna färg och att påverkan av gynnsamma omständigheter undviks eller beaktas, till exempel varmt väder mitt i sommaren eller korta transporter.

4.3 Föryngringsmedel

Föryngringsmedlen hade en uppmjukande effekt på returbitumen dock behöver returasfaltbruk en temperatur på ungefär 240 °C för att kunna hanteras som ett nytt tillverkat bruk. Föryngrat asfaltbruk är oprövat och resultaten skiljer sig från bitumenstudierna. Även om föryngrat returbitumen får ungefärligt nytillverkade egenskaper är returasfaltbruket styvare än nytt

bruk eftersom fillerhalten (F/B-värdet) fortfarande är hög. Föryngringsmedlen ökar bindemedelsmängden avsevärt och minskar därmed F/B-värdet, men inte i tillräcklig grad. Med en extra portion nytt bitumen, kanske på bandet före parallelltrumman eller före elevatoren i kalldoseringen, skulle F/B kunna justeras ned till samma värde som för nytt bruk, 1,60, och eventuellt resultera i motsvarande viskositet. Det förutsätter tillräckligt utrymme i asfaltmassan för tillskottet. Andra aspekter på lämpligt F/B-värde vid sidan av hanterbarhet är hållbarhet mot utmattnings och egenskaper vid låg temperatur.

5 Slutsatser

- Resultatet av undersökningen visar att både temperaturdämpande- och föryngringsmedel påverkar viskositeten positivt. En positiv påverkan inträffade via sänkning av viskositeten på både nytillverkad bitumen och asfaltbruk samt returbitumen och returafaltbruk. Dock påverkas de inte i den stora graden som leverantörerna dessa till tillsatsmedel hävdar att de gör. Som tidigare nämnts kan detta bero på att leverantörerna av tillsatsmedlen har använt andra undersökningsmetoder för att testa temperatursänkningen.
- Överhettningsproblemet som oftast förekommer vid hanteringen av returafalt dämpas avsevärt men inte tillräckligt mycket. En kombination av både temperatursänkande- och föryngringsmedel behövs för att minska överhettningen.
- Från tabell 4 i kapitel 3.2.1 *Bitumen 70/100* och tabell 5 i kapitel 3.2.2 *Asfaltbruk med 70/100*, kan man se att temperaturdämpande tillsatsmedlen endast hade en temperatursänkande effekt på cirka 2–8 °C. Temperaturdämpande tillsatsmedel nr.4 hade bäst effekt av alla beprövade tillsatsmedlen medan tillsatsmedel nr.7 hade lägst effekt. Utöver det skiljer sig medlen inte något nämnvärt med undantag av

tillsatser som kristalliserar, dvs. som har en smältpunkt inom provat temperaturområde.

- Hanterbarheten vid blandning och tillverkning påverkades också. Mest påverkades den för returbitumen och returasfaltbruk då föryngringsmedlen sänkte viskositeten, se tabell 6 i kapitel 3.3.1 *Effekter på rent bitumen och returbitumen* och tabell 7 i kapitel 3.3.2 *Effekter på asfaltbruk*, vilket innebär att det är lättare att blanda returasfalt i tillverkningen med föryngringsmedlen än utan. Dock krävs det fortfarande för hög temperatur för att kunna blanda in returasfalten i tillverkningen och risken för överhettning kvarstår.
- Asfaltbrukets viskositet påverkas starkt av mängden filler och fillerns egenskaper. Det är känt sedan gammalt, bland annat genom mätmetoden i DIN 52095. Med hjälp av LTH-metoden med RVB kunde effekterna beskrivas med trovärdiga mätetal, vilket blir till nytta i framtida proportionering av asfaltmassa.
- Föryngringsmedel mjuknar inte bara upp bituminet i returasfalt utan tillför en betydande andel bindemedel, vilket har ytterligare uppmjukande effekt på returasfalt. Från tabell 6 i kapitel 3.3.1 *Effekter på rent bitumen och returbitumen*, kan man notera en avsevärd temperatursänkning. Rent returbitumen behöver egentligen en temperatur på 172 °C för att kunna hanteras som ny rent bitumen. Dock visar både prov 9 och 11 att de klarar av att sänka temperaturen med cirka 20–23 °C och till och med under 150°C. Undantag är prov 10 som hade en längre temperatursänkande effekt på cirka 15 °C.
- Asfaltbruket i returasfalt är mycket styvt och kan under normala förhållanden inte värmas tillräckligt mycket för att blandas med nytillverkad asfalt. Temperaturen som skulle behövas för att kunna hantera returasfalt som nytillverkadasfalt stiger mot 240 °C. Det kan man se i tabell 7, i kapitel 3.3.2 *Effekter på asfaltbruk*, där resultatet på

föryngringsmedlen på returafaltbruk visar en temperaturdifferens på 90 grader, se prov 8.

- Även tekniken med föryngringsmedel behöver hjälp av temperatursänkande tillsatsmedel. Den kalla doseringstekniken medför ofrånkomligen sluttemperaturer under normal nivå men det gäller även uppvärm returafalt i parallelltrumma, som alltid understiger vanlig tillverkningstemperatur. I båda fallen har det tidigare krävt övertemperatur i den nytillverkade asfaltdelen. Här kommer det att krävas andra åtgärder för att kompensera temperaturunderskottet, till exempel fungerande temperaturkompenserande tillsatsmedel.
- Tillsatsmedlens effekt på bitumen och afaltbruk skiljer sig åt eftersom de olika leverantörerna av dem tillverkar dem på olika sätt. Det var därför inte förvånande att inte ett enda tillsatsmedel hade samma sänkande effekt som någon annans.
- Temperaturen i returafalt efter en parallelltrumma är i bästa fall 140 °C, vilket innebär att det gamla bruket har en viskositet motsvarande nytt bruk vid 80-100 °C. Situationen förbättras avsevärt med föryngringsmedel men det fattas en bit till nytillverkade egenskaper beroende på den höga fillerhalten i utgångsläget. Ett fungerande temperaturdämpande tillsatsmedel skulle kunna kompensera återstående skillnad mot nytillverkat bruk för blandningarna 9 och 11 som representeras i figur 23.

6 Förslag till fortsättning

Tillsatsmedel för temperaturdämpning måste provas i full skala för en slutlig utvärdering. Ett lämpligt försök är att jämföra konventionell nytillverkning vid normal tillverkningstemperatur med tillsatsmedel vid 30 °C lägre och i övrigt samma förutsättningar. Det kan ordnas på ett afaltverk med kalldosering.

Även föryngringsmedel med temperaturdämpande tillsatsmedel behöver provas i full skala.

Ett särskilt avseende som inte har kunnat undersökas i laboratorieskala är förekomst av besvärande rök eller lukt. Det räcker med att det upplevs som en betydande arbetsbelastning av yrkesarbetarna för att stoppa användningen, eftersom det handlar om en varaktig verksamhet.

Nästa examensarbete bör handla om viskositetsmätning med RVB på asfaltbruk med olika typer av filler. F/B-värdets betydelse för spårbildning, utmattning och låg temperatur kan undersökas och kompletteras med dynamisk skjuvreometer, DSR.

Ett annat förslag till examensarbete kan vara viskositetsmätningar med RVB på asfaltbruk med olika bindemedelstyper. Även där kan man undersöka F/B-värdets betydelse för spårbildning, utmattning .m.m. Påverkan av kristalliseringen av temperatursänkande vaxet med viskoelastiska studier kan även vara nästa examensarbete.

7 Referenslista

Böcker och rapporter

Agardh,S & Parhamifar,E (2014) Vägbyggnad. Egypten.

Al-Qadi,I & Elseifi,M & Carpenter,S (2007) Reclaimed Asphalt Pavement- A Literature Reviwe. 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.

ASTM D4402/D3302M-13 Standard Test Method of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer

Aurell,O & Olsson,G (2015) Bitumen, en återvinningsbar produkt - Återvinning av åldrat bitumen med föryngringsmedel. Lunds universitet, Lund, Sverige.

Chadborn,B & Drescher,A & Sondag,M (2002) INVESTIGATION OF RECYCLED ASPHALT PAVEMENT (RAP) MIXTURES.University of Minnesota, Department of Civil Engineering. Minneapolis, Minnesota, United States of America.

FAS Asfaltboken (2002) Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige - FAS 2002

Emanuelsson,A & Jansson,A (2013) Dynamisk skjuvreometer för reologisk undersökning av bitumen - Utformning av manual för Lund Tekniska Högskola med mättekniska exempel. Lunds universitet, Lund, Sverige.

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

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.

Hornwall,F & Jacobson,T (2000) Varm återvinning av asfaltbeläggning i verk. Väg- och transportforskningsinstitut, Linköping, Sverige.

Håkansson,A & Härstedt,M (2015) Reologiska egenskaper för bitumen och asfaltbruk - Inblandning av returafalt samt framtagande av mätmetod DSR. Lunds universitet, Lund, Sverige.

Grybb,T & Nilsgart,E (2014) Rotationsviskosimeter, RVB Ett alternativ till konventionella metoder för viskositetsmätning på bitumen. Lunds universitet, Lund, Sverige.

Nynäs AB (2015) Recycling: Towards a better understanding. Stockholm, Sverige.

SIS, Swedish Standard Institute (2010) Bitumen och bituminösa bindemedel - Bestämning av bituminösa bindemedels dynamiska viskositet med hjälp av rotationsviskosimeter, Vägmaterial, SS-EN 13302:2010

Svenska kommunförbundet (2004) På väg igen: vägen tillbaka för återvunnen asfalt.

Stockholm: EO Print Stockholm-Hammarby.

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

The Mastic Asphalt Industry (2013) A Global Perspective. Bern, Schweiz.

Trafikverket (2005) ATB VÄG 2005.Vägverket, Borlänge, Sverige.

Trafikverket (2011) TRVK Väg. Borlänge, Sverige.

Trafikverket (2015) KRAV - Bitumenbundna lager - TDOK 2013:0529 -
Version 2.0 - 2015-11-02.

Tyllgren,P (2010) Föryngring av returafalt med miljöanpassade tillsatsmedel.
Malmö, Sverige.

Tyllgren, P. (2013) Optimal temperatur vid varmblandad asfalttillverkning,
OTA. SBUF 12331

Törnblom,P (2011) Återvinning av asfalt och betong – ekonomisk lönsamhet,
Lunds universitet, Lund, Sverige.

Internetkällor

AkzoNobel (2017)

<https://www.akzonobel.com/about-us/what-we-do/rediset>

Hämtad: 2017-03-28

Arizona chemical (2016) SYLVAROAD RP1000 - Performance Additive -
Taking recycling to the next level <http://www.sylvaroad.com/wp-content/uploads/SYLVAROAD-RP1000-Performance-Additive-Brochure-English-for-the-web.pdf>

Hämtad: 2017-03-28

Brookfield (2017A)

<http://www.brookfieldengineering.com/company/company-history.asp>

Hämtad: 2017-03-10

Brookfield (2017B)

<http://www.brookfieldengineering.com/products/accessories/temp-thermosel-system.asp>

Hämtad: 2017-03-10

DIN 52096, Testing of filler for road construction - Stiffening effect of filler on bitumen - Stabilization index. 2016

Jernkontorets energihandbok (2017)

<http://www.energihandbok.se/viskositet/>

Hämtad: 2017-03-21

NE (2017A)

<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/bitumen>

Hämtad: 2017-03-21

NE (2017B)

<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/reologi>

Hämtad: 2017-03-10

NE (2017C)

<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/viskositet>

Hämtad: 2017-03-20

Nynäs AB (2017) NYGEN 910 SOFTENS ASPHALT FOR INCREASED RECYCLING

<https://www.nynas.com/en/product-areas-solutions/bitumen-for-paving/bitumen-for-paving-applications/news/nygen-910-softens-asphalt-for-increased-recycling/>

Hämtad: 2016-04-26

Nynäs AB (2015) Nytherm PMB 103 - Hot and Warm mix applications

https://www.nynas.com/globalassets/bitumen-for-paving-applications/uk/case-studies/site-profile-aberdeen-pdf_aw_screen.pdf

Hämtad: 2017-04-26

PEAB (2017) Asfalt

<http://www.peabasfalt.se/Produkter-och-tjanster/Asfalt/>

Hämtad: 2017-05-08

Sasobit (2016) The versatile additive for asphalt mixes, Product information

http://www.sasobit.com/files/downloads/en/sasobit/ProductInformation_en.pdf

Hämtad: 2017-03-15

Sasol (2017) Sasobit Redux Product Information

http://www.sasobit.com/files/downloads/en/redux/0433.SAS-Sasobit-Redux-BR_en_WEB.pdf

Hämtad: 2017-05-16

SBUF (2017) Lågtempererad varmasfalt

http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/InfoSheets/PublishedInfoSheet/a3f62185-065f-4689-9d5c-36ce2a959eea/SBUF_1022_p.pdf

Storimpex, 2017, Produkte & Dienstleistungen Storimpex Im- und Export GmbH

<http://www.storimpex.de/index.php/de/de-unternehmensgruppe/storimpex-im-und-export-gmbh-de/im-und-export-produkte>

Hämtad: 2017-03-28

Svenskbyggjtjänst (2011) Ökat intresse för grön asfalt.

<https://omvarldsbevakning.byggjtjanst.se/artiklar/2011/mars/okat-intresse-for-gron-asfalt/>

Hämtad: 2017-04-03

Bilder

Agardh,S & Parhamifar,E (2014) Vägbyggnad. Egypten.

Arizona chemical (2016) SYLVAROAD RP1000 - Performance Additive - Taking recycling to the next level <http://www.sylvaroad.com/wp-content/uploads/SYLVAROAD-RP1000-Performance-Additive-Brochure-English-for-the-web.pdf>

Hämtad: 2017-03-28

FAS Asfaltboken (2002) Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige - FAS 2002

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

Grybb,T & Nilsgart,E (2014) Rotationsviskosimeter, RVB Ett alternativ till konventionella metoder för viskositetsmätning på bitumen. Lunds universitet, Lund, Sverige.

Hein,R (1990) Borstteknik för ogräsbekämpning på hårdgjorda ytor. SLU, Institutionen för lantbruksteknik. ISBN 91-576-4194-3, ISSN 0283-0086

Jernkontorets energihandbok (2017)

<http://www.energihandbok.se/viskositet/>

Hämtad: 2017-03-21

Nynäs AB (2015) Nytherm PMB 103 - Hot and Warm mix applications

https://www.nynas.com/globalassets/bitumen-for-paving-applications/uk/case-studies/site-profile-aberdeen-pdf_aw_screen.pdf

Hämtad: 2017-04-26

ROADDEX Network (2017)

<http://www.roadex.org/sv/e-learning/lektioner/dranering-av-vagar/2-vatten-i-vagmaterial-och-undergrundsjordar-terminologi/>

Hämtad: 2017-05-17

Sasol (2017) Sasobit Redux Product Information

[http://www.sasobit.com/files/downloads/en/redux/0433.SAS-Sasobit-Redux
BR_en_WEB.pdf](http://www.sasobit.com/files/downloads/en/redux/0433.SAS-Sasobit-Redux_BR_en_WEB.pdf)

Hämtad: 2017-05-16

Muntliga källor

Tyllgren. P, 2017.

Intervjuer med Per Tyllgren under våren 2017.

8 BILAGOR

8.1 Bilaga 1. Sifvertabeller över viskositetsmätningar med RVB

Bitumen: 7					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
359	134,8	29	24	68	200
823	120,1	46	39	51	149
7337	90,1	50	42	5,7	16,9
204167	60,0	54	46	0,22	0,66
1473750	47,1	59	50	0,034	0,10
1300000:	47,8	C1: 7,97		C2: 107,7	

Bitumen: 8					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
1266	135,0	52	44	35	102
3399	120,1	50	43	13	37
51490	90,1	54	46	0,88	2,6
321429	74,9	54	46	0,14	0,42
1370000	65,0	55	47	0,034	0,10
1300000:	65,3	C1: 8,14		C2: 118,4	

Bitumen: 9					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
335	135,0	27	23	68	200
758	120,1	47	40	55	163
6582	90,1	47	40	6,0	17,7
184615	60,0	48	41	0,22	0,65
1282500	47,5	51	44	0,034	0,10
1300000:	47,4	C1: 7,76		C2: 101,7	

Bitumen: 10					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
446	134,9	36	30	68	200
1012	120,2	64	54	55	163
8792	90,1	62	53	6,0	17,7
219231	60,0	57	48	0,22	0,65
1365000	47,5	55	46	0,034	0,10
1300000:	47,8	C1: 7,95		C2: 112,6	

Bitumen: 11					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
349	134,9	28	24	68	200
794	120,0	49	41	55	163
7041	90,1	50	42	6,0	17,7
205000	60,0	53	45	0,22	0,65
1382500	47,5	55	47	0,034	0,10
1300000:	47,9	C1: 7,85		C2: 104,2	

Bruk: 2					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
3355	150,2	42	35	11	31
7233	135,0	43	36	5,1	15
34191	109,9	47	40	1,2	3,4
174219	89,9	45	38	0,22	0,64
995000	72,9	40	34	0,034	0,10
1300000:	70,6	C1: 6,79		C2: 134,9	

Bruk: 3					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
2761	150,2	49	41	15	44
5952	135,2	49	42	7,1	21
27261	110,0	51	44	1,6	4,7
132048	90,1	50	42	0,32	0,94
1011250	70,0	40	34	0,034	0,10
1300000:	67,9	C1:		C2:	

Bruk: 4					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
2350	150,1	52	44	19	55
4870	134,9	53	45	9,2	27
21615	109,9	56	48	2,2	6,5
102241	90,1	59	50	0,49	1,45
1643750	81,6	66	56	0,034	0,10
1300000:	82,3	C1:		C2:	

Bruk: 5					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
2761	150,2	49	41	15	44
5952	135,2	49	42	7,1	21
27261	110,0	51	44	1,6	4,7
132048	90,1	50	42	0,32	0,94
1011250	70,0	40	34	0,034	0,10
1300000:	67,9	C1:		C2:	

Bruk: 6					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
2654	150,1	41	35	13	39
5653	135,2	41	35	6,1	18
26625	109,9	43	36	1,4	4,0
133488	90,1	43	37	0,28	0,81
1155000	69,5	46	39	0,034	0,10
1300000:	68,5	C1: 6,98		C2: 130,3	

Bruk: 7					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
3079	150,2	47	40	13	38
6264	135,2	46	39	6,1	18
30592	110,0	47	40	1,3	3,8
155357	90,1	48	41	0,26	0,77
1315000	70,1	53	45	0,034	0,10
1300000:	70,2	C1: 6,68		C2: 123,1	

Bruk: 8					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
15822	195,1	46	39	2,5	7
66974	165,0	51	43	0,65	2
158642	150,2	51	44	0,28	0,8
440948	135,1	51	43	0,10	0,29
1346250	121,9	54	46	0,034	0,10
1300000:	122,3	C1: 5,95		C2: 153,4	

Bruk: 9					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
4713	165,1	38	32	6,8	20
8975	149,8	36	31	3,4	10
53438	119,8	34	29	0,54	1,6
260000	100,0	36	31	0,12	0,35
691250	90,0	28	24	0,034	0,10
1300000:	83,9	C1: 6,23		C2: 125,5	

Bruk: 10					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
9406	165,1	45	38	4,1	12
18417	149,8	45	38	2,0	6
114375	119,9	37	31	0,27	0,8
583036	100,0	33	28	0,048	0,14
835000	96,0	33	28	0,034	0,10
1300000:	91,7	C1: 5,94		C2: 129,6	

Bruk: 11					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
5556	165,1	44	38	6,8	20
10538	150,0	43	36	3,4	10
62969	120,1	40	34	0,54	1,6
304643	100,0	43	36	0,12	0,35
1295000	84,9	50	4	0,030	0,10
1300000:	84,9	C1: 6,40		C2: 135,7	

Bitumen: 70/100					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
344	134,7	28	23	68	200
788	120,1	45	38	51	150
7069	90,1	48	41	5,8	17,1
184180	60,0	47	40	0,22	0,64
1190000	47,6	48	40	0,034	0,10
1300000:	47,1	C1: 8,02		C2: 110,4	
Bruk: 70/100 + 20 vol% (41,2 vikt%) filler					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
954	134,8	55	47	49	145
2173	120,1	54	46	21	62
19962	90,1	53	45	2,2	6,6
560417	60,0	54	46	0,08	0,24
1391250	53,7	56	47	0,034	0,10
1300000:	54,1	C1: 7,58		C2: 114,3	
Bruk: 70/100 + 30 vol% (54,6 vikt%) filler					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
2396	135,0	46	39	16	48
5650	119,9	45	38	6,8	20
54702	90,1	46	39	0,71	2,1
243617	75,1	46	39	0,16	0,47
1183750	62,2	47	40	0,034	0,10
1300000:	61,5	C1: 7,32		C2: 123,1	
Bruk: 70/100 + 40 vol% (65,2 vikt%) filler					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
6600	150,2	53	45	6,8	20
15531	135,2	50	42	2,7	8
77857	109,9	44	37	0,48	1,4
406522	90,0	37	32	0,08	0,23
913750	81,9	37	31	0,034	0,10
1300000:	78,5	C1: 7,29		C2: 156,8	
Bruk: 70/100 + 40 vol% (65,2 vikt%) filler II					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
6633	149,9	40	34	5,1	15
14714	135,0	41	35	2,4	7
73214	109,9	41	35	0,48	1,4
373276	90,0	43	37	0,10	0,29
1243750	78,5	50	42	0,034	0,10
1300000:	78,1	C1: 6,72		C2: 139,0	
Bruk: 2, 70/100 + 36,2 vol% (61,5 vikt%) filler					
Viskositet mPa·s	Temp °C	Torsion %	Skjuvsp. Pa	Skjuvhast. 1/s	Rotation rpm
3355	150,2	42	35	11	31
7233	135,0	43	36	5,1	15
34191	109,9	47	40	1,2	3,4
174219	89,9	45	38	0,22	0,64
995000	72,9	40	34	0,034	0,10
1300000:	70,6	C1: 6,79		C2: 134,9	

8.2 Bilaga 2. Tillverkning av prover

Provberedningsmanual:

- 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.

8.3 Bilaga 3. Programmerad körning

Programmeringsmanual:

- 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

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”.

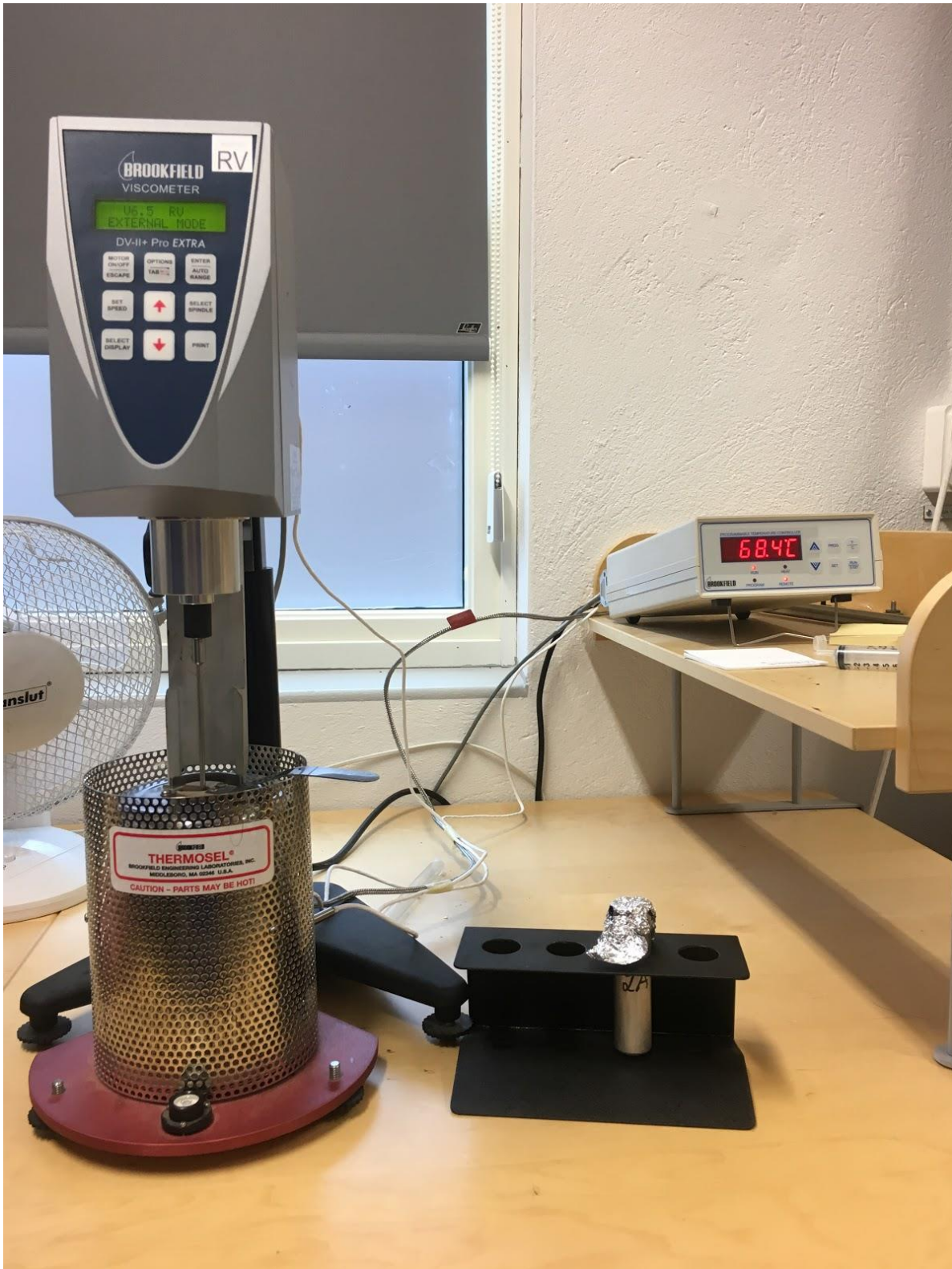
- Markera endast kolumn A eller där Viskositeten står och högerklicka. Klicka på "Formatera Celler" igen. Gå in under fliken "Tal" och skriv "0" i "Decimal placeringen". Klicka sedan "OK".
- Spara som Excel filen och döp till prov namnet + exp red. Nu kan Excel dokumenten flyttas från skrivbordet till önskad mapp.
- Med hjälp av Excel filen kan man föra in värden i ett Heukeloms diagram och analysera resultatet.



Figur 24. Spaken för att sänka och höja RVB maskinen med.



Figur 25. Korrekt inställning av både RVB och badet. Notera att bubblan är i mitten i båda ringarna.



Figur 26. Bild på hur utrustningen korrekt ska se ut efter nollning av maskinen. Badet ska vara rätt placerad, provröret fastspänd i badet och lock sätts på ovanför provröret.



Figur 27. Lock som läggs över provröret under körning.

8.4 Bilaga 4. Fel vid laboration

Fel som kan uppstå vid laboration och dess lösning redovisas nedan. Notera att det kan uppstå även andra fel än dessa och andra lösningar till nedanstående fel. Detta var felen vi stötte på under processens gång och de lösningar hittade för att åtgärda felen.

Om man är uppkopplad via Teamviewer och en error ruta kommer upp kan det bero på att RVB maskinen är avstängd. Stäng då av Rheocalc och starta RVB på plats. Starta sedan Rheocalc och fortsätt som vanligt.

Om "Torquen" och viskositeten verkar orimliga, tex. att "Torquen" inte verkar ändras mycket och står still dubbelkolla genom att röra spindeln med fingret. Om "Torquen" är ok kommer den att ge ett avslag, eftersom den är känslig vid vidrörning. Om inget händer är det något som inte stämmer.

Koppla bort spindeln och nolla RVB. Koppla sedan på spindeln och rör den med ett finger. Nu bör "Torquen" ge ett avslag.

Under provkörning: Om Viskositeten helt plötsligt hoppar till "0" och "Torquen" hamnar utanför intervallet 10 % och 90 % måste provet stoppas och göras om. Detta fel kan ha uppstått av ett strömavbrott, att RVB har fått en stöt, att en kabel rörts till, eller någon annan form av störning uppstått då maskinen är väldigt känslig.