

Dynamisk skjuvreometer för reologisk undersökning av bitumen

**- Utformning av manual för Lunds Tekniska
Högskola med mättekniska exempel**



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Teknik och samhälle/Trafik och väg**

Examensarbete:
Anders Emanuelsson
Andreas Jansson

© Copyright Anders Emanuelsson, Andreas Jansson

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 2013

Förord

Detta examensarbete är den avslutande delen i vår Högskoleingenjörsutbildning i Byggteknik med inriktning väg- och trafikteknik vid Campus Helsingborg, Lunds Tekniska Högskola. Omfattningen på arbetet är 22,5 högskolepoäng. Arbetet har utförts i samarbete med Svenskt VägCentrum och institutionen för Teknik och samhälle på LTH.

Vi vill rikta ett stort tack till vår examinator Ebrahim Parhamifar, universitetslektor vid LTH, som hjälpt oss att komma i kontakt med vår handledare Per Tyllgren, Svenskt VägCentrum. Vi vill även tacka Parhamifar för stödet och de resurser han gett oss under arbetets gång.

Ett stort tack till vår handledare Per Tyllgren, som med sitt stora engagemang och kunnande, har gett oss värdefull information och har hjälpt oss att styra arbetet i rätt riktning. Per har även hjälpt oss med analysering och presentation av mätresultat, vilket vi är oerhört tacksamma över.

Vi vill även tacka Nynas AB för att de har delat med sig av sin expertis och erfarenhet inom ämnet. Vi är tacksamma över det generösa mottagande vi fick i samband med vårt platsbesök i Nynäshamn.

Slutligen vill vi tacka familj och vänner som har stöttat oss under arbetets gång.

Samtliga moment i examensarbetet har utförts gemensamt.

Lund, maj 2013
Anders Emanuelsson
Andreas Jansson

Sammanfattning

Bindemedlets reologi i asfalt har en avgörande betydelse för vägbeläggnings funktion och beständighet. I det amerikanska vägkonceptet Superpave, som har varit i bruk i tjugotalet år, har gamla empiriska mätmetoder ersatts med reologisk mätteknik i form av DSR. Med hjälp av denna metod beskrivs bindemedlens funktion i grundläggande reologiska termer.

Institutionen för Teknik och Samhälle på LTH beslöt att införskaffa en DSR och sätta teknikerarbetet med hjälp av ett examensarbete. Syftet med arbetet är att lägga en bra grund för framtida examensarbeten, avhandlingar och forskning. En manual för handhavande av DSR har arbetats fram för att underlätta fortsatta studier av asfaltbindemedel.

Information och utbildning erhöles från leverantören av utrustningen, Anton Paar Nordic AB i Malmö, och från Nynas AB på plats i Nynäshamn, som har en motsvarande apparat.

För att ge några exempel på instrumentets användbarhet gjordes några standardmätningar kompletterade med ett par variationer, bland annat tagna från Superpave. Undersökta bitumensorter var standardbitumen 160/220, 70/100, 50/70 och 70/100 med tillsats av vax.

Karaktäristiskt för gruppen polymera ämnen, till vilka bitumen också räknas, är att deras reologiska respons beror på temperatur och belastningarnas frekvens eller varaktighet. För att få en fullständig bild av ett ämnes karaktär måste de parametrarna varieras. Det sker enligt standardmätningar som tillämpas av Nynas AB. I rapporten redovisas resultaten från mätningarna, som visar acceptabel överensstämmelse med mätningar utförda av en erfaren laborietekniker på Nynas AB.

Vaxmodifieringen hade effekter som kan ha positiv vägteknisk betydelse, bland annat uppstyvning i temperaturintervallet 40-80° C. Det kan motverka spårbildning, som vanligtvis inträffar vid de här temperaturerna. Denna slutsats styrks också av en begränsad delstudie enligt Superpave.

Fortsatt arbete bör inriktas på metodutveckling, utbildning och extern information om teknikens användbarhet. Mättekniken behöver anpassas till svenskt vägbyggande för att ersätta hittills använda empiriska mätmetoder och bana väg för funktionell utveckling av vägbeläggningar.

Nyckelord: Bitumen, DSR, Reologi, Komplex modul, Fasvinkel, Superpave, Funktionell mätteknik

Summary

The Rheology of asphalt binders is crucial for the function and durability of road pavements. In the American road concept Superpave, which has been in use for about 20 years, old empirical methods has been replaced with a rheological measurement technology in the form of DSR. With this technology, the functional properties of binders are described in basic rheological terms.

The department of Technology and Society at LTH decided to acquire a DSR and launch the engineering work with a thesis. The purpose of the work is to set good basis for future theses, dissertations and research. A manual for the operation of DSR has been developed to ease further studies of the asphalt binder.

Information and education was obtained from the supplier of the equipment, Anton Paar Nordic AB in Malmö, and from Nynas AB, in Nynäshamn, having a similar device.

To give a few examples of the instruments versatility, some standard tests was performed complemented with some variations, including methods from Superpave. The bitumens examined were of standard grade: 160/220, 70/100, 50/70 and 70/100 with the addition of wax.

Polymeric substances, among which bitumen is included, are characterized by their rheological response, depending on the temperature and the loads frequency or time duration. To get a complete picture of a substance quality, these parameters must vary. This is achieved by a standard measurements used by Nynas AB. Results from the measurements are presented in the report, showing an acceptable consistency with measurements made by a experienced laboratory engineer.

The wax modification exhibited effects having possible positive technical road significance, as enhanced stiffness in the temperature range 40 to 80° C. This can prevent rutting, which normally occurs at these temperatures. This conclusion is supported by a limited study according to Superpave.

Future studies should focus on development of methods, education and external information about the usefulness of this technology. This measurement technology needs to be adapted to Swedish road building techniques in order to replace hitherto used empirical measurement methods and to open up for a functional development of road pavements.

Keywords: Bitumen, DSR, Rheology, Complex Modulus, Phase angle, Superpave, Functional measurement technology

Innehållsförteckning

Terminologi	1
Inledning	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Syfte	3
1.3 Avgränsning	3
1.4 Metod	4
2 Litteraturstudie	5
2.1 Reologi	5
2.1.1 Viskositet.....	5
2.1.2 Elasticitet.....	5
2.1.3 Viskoelasticitet.....	5
2.2 Dynamisk skjuvreometer (DSR)	6
2.2.1 Oscillation.....	6
2.2.2 Amplitud, frekvens och period	7
2.2.3 Fasvinkel	8
2.2.4 Skjuvspänning, skjuvtöjning och komplex modul	9
2.3 Polymera ämnen	10
2.4 Bitumen	11
2.4.1 Framställning av bitumen	11
2.4.2 Penetrationsbestämda bitumen	12
2.4.3 Polymermodifierade bitumen (PMB)	13
2.4.4 Vaxer.....	13
2.5 Superpave	13
2.6 Nynas AB	14
2.7 Anton Paar GmbH	14
3 Metodbeskrivning	15
3.1 Dynamisk Skjuvreometer (DSR)	15
3.1.1 Linjärviskoelastiskt område	15
3.1.2 Frekvenssvep vid olika temperaturer	16
3.2 Superpave	16
3.3 Blackdiagram	17
3.4 Utbildning	17
4 Resultat av utförda mätningar	18
4.1 Översiktliga mätningar på olika bitumensorter	18
4.1.1 Syfte.....	18
4.1.2 Resultat.....	19
4.1.3 Kommentarer	21
4.2 Effekt av ökad skjuvtöjning	22
4.2.1 Syfte.....	22

4.2.2 Resultat.....	23
4.2.3 Kommentarer	23
4.3 Mätningar enligt Superpave.....	24
4.3.1 Syfte.....	24
4.3.2 Resultat.....	24
4.3.3 Kommentarer	24
4.4 Alternativ bedömning av resistens mot spårbildning.....	25
4.4.1 Syfte.....	25
4.4.2 Resultat.....	26
4.4.3 Kommentarer	26
4.5 Diskussion	26
5 Kvalitetssäkring av mätvärden	27
6 Slutsatser.....	29
Referenslista	30
Figurförteckning	32
Innehållsförteckning bilagor	33
Bilaga 1 - Mätresultat 50/70.....	34
Bilaga 2 - Mätresultat 70/100.....	36
Bilaga 3 - Mätresultat 160/220.....	38
Bilaga 4 - Mätresultat 70/100 + vax.....	40
Bilaga 5 - Mätresultat 70/100 Superpave.....	42
Bilaga 6 - Mätresultat 70/100 + vax Superpave.....	43
Bilaga 7 - Mätresultat Alternativ bedömning	44
Bilaga 8 - Manual Anton Paar MCR 302	45

Terminologi

Tabellen nedan beskriver begrepp och förkortningar som förekommer i rapporten.

Tabell 1 - Begrepp, förkortningar och definitioner

Amplitud	Den oscillerande rörelsens vinkelstorlek eller avstånd.
Anton Paar GmbH	Österrikisk företag som tillverkar avancerad mät- och laborieutrustning.
Bitumen	Oljeprodukt som bland annat används som bindemedel i asfalt.
Blackdiagram	Ett diagram som visar sambandet mellan fasvinkel och komplex modul.
DSR	Dynamisk skjuvreometer, maskin som utför oscillerande tester på viskoelastiska material. MCR 302 från Anton Paar har använts vid undersökningar i detta arbete.
Elasticitet	Beskriver ett materials deformationsegenskaper vid yttre belastning.
Elastisk modul, G', Pa	Återgående styvhetsrespons, beräknas.
Fasvinkel, δ, °	Parameter som beskriver i vilket viskoelastiskt tillstånd ett material befinner sig. Avläses under mätningförloppet. Utgör \tan^{-1} av kvoten G''/G' .
Frekvens, rad/s eller Hz	Hastighet och storhet för händelse under ett visst tidsintervall.
Komplex modul, G*, Pa	Linjärt samband mellan skjuvtöjning och skjuvspänning. Avläses under mätningförloppet.
LVE-område	LinjärViskoElastiskt område. Ett procentuelltvärde som anger vid vilken skjuvtöjning ett ämnes inre struktur brister.
Nynas AB	Svenskt företag som tillverkar bitumen.
Oscillation	Rörelse eller vibration som rör sig fram och tillbaka.
Period	En hel oscillerande rörelse.
PMB	Polymermodifierad bitumen. Bitumen tillsatt med polymera ämnen för att få förbättrade egenskaper.
Polymera ämnen	I vardagligt tal, plast.
Reologi	Läran om olika materials deformation- och flyteegenskaper.
Skjuvspänning, Pa	Mått på skjuvkraftsbelastningen per ytenhet.
Skjuvtöjning, %	Förhållandet mellan förskjutning i höjd och sidled, anges i procent.
Superpave	Dimensioneringskoncept för asfalt och klassificeringsmetod för bitumen i USA
Viskoelasticitet	Uppvisande av både viskösa och elastiska egenskaper.
Viskositet, mPa·s	Beskriver ett materials förmåga att flyta.
Viskös modul, G'', Pa	Ej återgående styvhetsrespons, beräknas.

Inledning

1.1 Bakgrund

Varje år läggs runt fyra miljarder kronor på underhåll av vägbeläggningar på det Svenska statliga vägnätet. Det påverkar inte bara Trafikverket utan även näringslivet i form av störningar och avbrott i trafiken. Tung trafik och skiftande klimat är faktorer som leder till spårbildning och sprickor i vägbeläggningen. Forskning för att förlänga livslängden och höja kvaliteten på material som används i vägkonstruktioner är därför av stor vikt.

År 1987 inledde American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) ett omfattande forskningsprojekt, kallat *Superpave*, för att analysera och klassificera olika typer av vägbeläggningar. I samband med projektet började det göras reologiska undersökningar på bitumen med hjälp av dynamisk skjuvreometer, DSR. Metoden beskriver bitumens reologiska temperatur- och frekvensberoende egenskaper (Nordtest, 2002).

Genom att jämföra skadeutvecklingen på vägar, med hänsyn till reologiska egenskaper hos bitumen uppmätta med DSR, fann man gränsvärden för olika parametrar. För varje klimatiskt område och typ av beläggning finns ett set parametervärden som bör gälla för bitumenet.

Visionen med mätningar i DSR är att kunna ersätta dagens svenska standardmetoder för klassificering av bitumen. Dagens klassificering kräver ett flertal olika utrustningar som i framtiden kan göras med ett instrument, DSR. För att detta ska vara genomförbart måste metoder med tydliga jämförbara resultat arbetas fram, som kan övertyga branschen att satsa på dynamiska undersökningar av bitumen.

LTH har nyligen införskaffat en DSR av fabrikatet Anton Paar, samma som finns på Nynas laboratorium i Nynäshamn. Avsikten är att med hjälp från Nynas göra LTH till ett kompetenscentrum av betydelse i bitumenfrågor, som i framtiden ska manifesteras i examensarbeten, forskningsprojekt och uppdrag från industrin.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att lägga en bra grund för framtida examensarbeten, avhandlingar och forskning som berör mätningar med bitumen i DSR. Arbetet innehåller två delmoment.

I projektets första del kommer en manual arbetas fram. Manualen ska beskriva hantering, skötsel samt preparering av prover för undersökning i DSR. Manualen skall anpassas för elever till fortsatta arbeten.

Arbetets andra del består av att genomföra egna mätningar med bitumen i DSR. Resultaten kommer att analyseras och presenteras. Dessutom kommer eventuella felkällor att utvärderas.

1.3 Avgränsning

Bifogad manual beskriver endast handhavandet av DSR och kompressor och berör inte tillhörande mjukvara eller tolkning av resultat.

De reologiska undersökningarna gjordes på tre standardtyper av bitumen:

- 160/220
- 70/100
- 50/70

Dessa kompletterades med en modifierad variant genom tillsättning av vax:

- 70/100 + vax

För att visa att mätningarna genomförts korrekt följs ett standardiserat provningsförfarande som praktiseras på Nynas AB i Nynäshamn. Det innebär mätningar från 10 till 100 °C i steg om 10 °C och frekvenser från 0,1 till 100 rad/s i sammanlagt 10 steg.

För att beskriva de reologiska egenskaperna används komplex modul (G^*), fasvinkel (δ) och i några fall utvärderingsparametrar från Superpave, det amerikanska dimensioneringskonceptet för bitumen och asfaltbeläggningar.

1.4 Metod

Grundläggande kunskaper inom reologi och om bitumen krävs för att komma igång med arbetet. Genom litteraturstudier inhämtas den kunskap som fordras för vårt fortsatta arbete.

Grunderna i handhavande av DSR erhålls genom en utbildning från leverantören Anton Paar GmbH. Utbildningen kommer att ligga till grund för manualen till DSR, som presenteras som en bilaga till denna rapport.

Genom utbildning i DSR av en erfaren operatör på Nynas AB får vi lära oss grunderna i tolkning och analysering av mätresultat. Utbildningen genomförs i form av ett studiebesök på Nynas AB:s raffinaderi och laboratorium i Nynäshamn.

För att bevisa att genomförda mätningar håller en god nivå, kommer en jämförelsestudie att göras. Ett frekvenssvep vid olika temperaturer genomförs på penetrationsbestämt bitumen 70/100 med DSR på LTH. En likadan mätserie med samma inställningar och samma bitumen genomförs därefter med DSR på Nynas av en erfaren operatör.

Vid mätningar utförda med DSR kommer den Svenska standarden *SS-EN 14770:2012 Bitumen och bituminösa bindemedel – Bestämning av komplex skjuvmodul och fasvinkel – Dynamisk skjuvreometer (DSR)* att tillämpas. Standarden är framtagen av Swedish Standards Institute.

2 Litteraturstudie

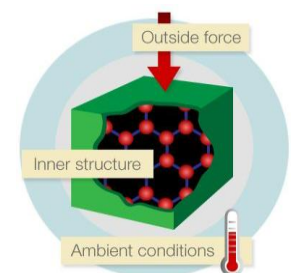
2.1 Reologi

Reologi är vetenskapen om olika materials deformations- och flytegenskaper under tid. Namnet reologi är en sammanslagning av de grekiska orden ”rhe” – flöde och ”logi” – läran om. Elasticitet, viskositet och plasticitet är storheter som berörs inom reologin.

När ett material utsätts för yttre kraft reagerar den på ett speciellt sätt. Hur materialet reagerar beror på tre faktorer som är de väsentliga beståndsdelarna inom reologi (Mezger, 2011).

Dessa faktorer är:

- Materialets inre struktur och uppbyggnad.
- Den yttre kraften, hur materialet blir belastat.
- Omgivande tillstånd, t.ex. temperatur.



Figur 1 - Påverkande faktorer (Mezger, 2011)

2.1.1 Viskositet

Viskositet beskriver den inre friktionen hos en vätska eller gas. Den kan förenklat beskrivas som ett mått på hur lätt en vätska flyter. Storheten viskositetsmodulen, G'' används. En vätskas viskositet kan variera med temperaturen. Ett exempel på ett helt visköst material är vatten (Mezger, 2011).

2.1.2 Elasticitet

Elasticitet beskriver ett materials deformationsegenskaper, elasticitetsmodulen G' , vid yttre belastning. Den beskriver även ett materials förmåga att återhämta sig när belastningen avtar. Alla fasta material uppvisar någon typ av elasticitet. Vid ökande deformation uppnår materialet till slut sin maximala elasticitet, då uppstår plasticitet eller brott. Plasticitet innebär att materialets deformation blir bestående. Brott betyder att materialet bryts och antar en ny form. Ett exempel på ett helt elastiskt material är diamant (Nationalencyklopedin 1, 2013).

2.1.3 Viskoelasticitet

Det finns få material som är helt viskösa eller helt elastiska. Vanligast är att material uppvisar mer eller mindre mängd viskositet och elasticitet. Dessa material benämns som viskoelastiska material. Detta innebär att materialet deformeras både elastiskt och visköst, ett beteende som uppvisas av polymera

material. En viss spänning på materialet resulterar i en deformation. Storleken på deformationen beror exempelvis på det omgivande tillståndet och belastningstiden. Vid avlastning av viskoelastiska material återgår den elastiska deformationen till sin ursprungliga form, medan den viskösa deformationen blir bestående.

Man brukar illustrera de olika formerna genom något som kallas för ”den reologiska vägen”, se figur nedan. I figuren finns beskrivet vilka egenskaper de uppvisar, exempel på material och vilken lag som beskriver materialet.

Tabell 2 - Den reologiska vägen, från visköst till elastiskt (Mezger, 2011)

Vätskor		Fasta material	
(Ideal-) viskös	Viskoelastisk	Viskoelastisk	(Ideal-) elastisk
<i>Flödesegenskaper</i> <i>Ex. Vatten</i> <i>Newtons lag</i>	<i>Flödesegenskaper</i> - <i>Maxwells lag</i>	<i>Deformationsegenskaper</i> - <i>Kelvin/Voigts lag</i>	<i>Deformationsegenskaper</i> <i>Ex. Stål</i> <i>Hookes lag</i>

Om ett materials elasticitetsmodul är större än dess viskositetsmodul kallas det för ett viskoelastiskt fast material. Likaså, ifall ett materials viskositetsmodul är större än dess elasticitetsmodul kallas det för en viskoelastisk vätska (Mezger, 2011).

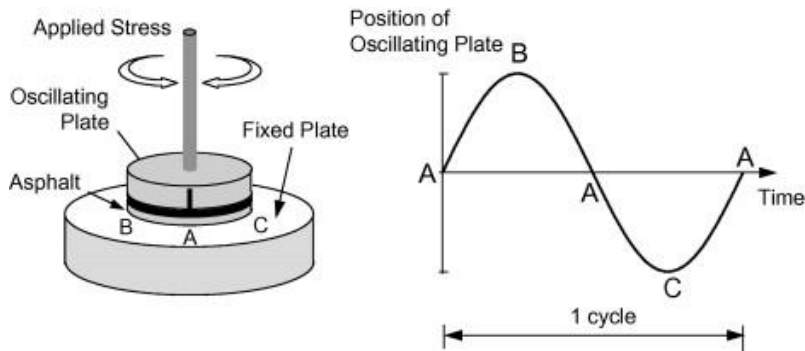
2.2 Dynamisk skjuvreometer (DSR)

Med hjälp av en dynamisk skjuvreometer kan man mäta ett materials reologiska egenskaper som till exempel viskositet, elasticitet, fasvinkel och komplex modul. Dessa tester görs vid olika skjuvtöjningar, frekvenser och temperaturer. Inom tillverkningsindustrin är bitumen bara ett av många ämnen som undersöks i DSR. Preparering av prover och genomförande av mätningar anpassas efter materialet.

2.2.1 Oscillation

För att mäta reologiska egenskaper i material används ofta oscillationstester. Oscillation är en rörelse eller vibration som harmoniskt och periodiskt rör sig fram och tillbaka. I DSR tillämpas oscillation genom att provmaterial appliceras mellan två platta parallellmonterade plattor som är cirkulära och lika stora. Ett givet avstånd bestäms mellan plattorna.

Den övre plattan belastar materialet med en oscillerande rörelse medan den nedre plattan är statisk. Belastningen av materialet påverkas av två parametrar, dessa är skjuvtöjningen (amplituden) och frekvensen, se figur 2. Förutom den oscillerande rörelsen visar även figuren en mätperiod (Mezger, 2011).



Figur 2 - Oscillerande rörelse, samt en mätperiod (Ahmedzade, 2013)

2.2.2 Amplitud, frekvens och period

Amplitud är en parameter som anger storleken på den oscillerande vinkeln, och mäts oftast i radianer (rad), se figur 3, som illustrerar den oscillerande rörelsen ovanifrån.

En hel oscillation kallas en *period*, och anges i tid (s), se figur 2. *Frekvens* är en parameter som beskriver hur snabbt en *period* sker, och anges i radianer per tidsenhet (rad/s) (Mezger, 2011).



Figur 3 – Amplitud (Mezger, 2011)

2.2.3 Fasvinkel

Fasvinkeln beskriver ett materials viskoelastiska proportioner och förhållandet mellan viskositeten och elasticiteten. Den kan även beskrivas som förskjutningen i amplituden under en oscillerande belastning.

Fasvinkeln beskrivs genom ekvationen 2.1 (Mezger, 2011).

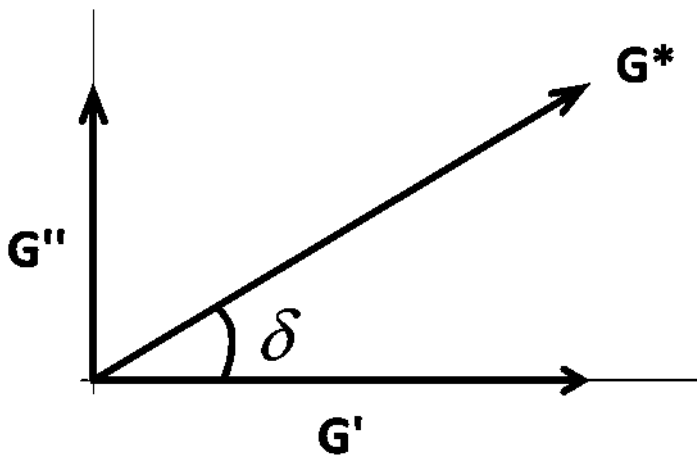
$$\delta = \tan^{-1}\left(\frac{G''}{G'}\right) \quad (2.1)$$

δ = Fasvinkeln ($^{\circ}$)

G'' = Viskositetsmodulen (Pa)

G' = Elasticitetsmodulen (Pa)

Fasvinkeln kan anta ett värde mellan $0 - 90^{\circ}$. Om fasvinkeln understiger 45° , $\delta < 45^{\circ}$, betyder det att materialet är mer elastiskt än visköst. Om fasvinkeln överstiger 45° , $\delta > 45^{\circ}$, betyder det att materialet är mer visköst än elastiskt. Om fasvinkeln är exakt 45° , $\delta = 45^{\circ}$, betyder det att materialet har lika delar viskositet och elasticitet (Mezger, 2011).



Figur 4 - Fasvinkel (Mezger, 2011)

I figur 4 beskrivs sambandet mellan fasvinkel, elasticitetsmodul, viskositetsmodul samt komplex modul.

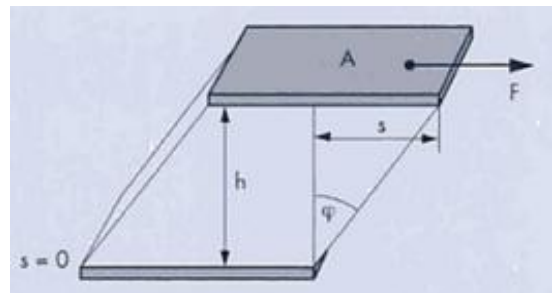
2.2.4 Skjuvspänning, skjuvtöjning och komplex modul

Tillsammans med fasvinkeln är den komplexa modulen en viktig parameter vid mätningar med DSR. Modulen beskrivs som det linjära förhållandet mellan skjuvspänning och skjuvtöjning, och är ett mått på ett materials styvhet vid en viss skjuvtöjning.

Skjuvspänning, betecknad τ , definieras som skjuvkraftsbelastning (F) per ytenhet (A), se figur 5. Skjuvspänning anges i SI-enheten Pascal.

Härledning av formel:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \quad (2.2)$$



Figur 5 - Skjuvtöjning och skjuvspänning (Mezger, 2011)

I samband med DSR-mätningar uppstår skjuvspänningen mellan den oscillerande mätplattan och provmaterialet.

Skjuvtöjning, betecknad γ , är ett mått på sambandet mellan höjden på provmaterialet (h) och den oscillerande plattans längdförskjutning (s), se figur 5.

Härledning av formel:

$$\gamma = \frac{s}{h} = \frac{m}{m} = \% \quad (2.3)$$

Eftersom skjuvtöjningen är ett mått på sambandet mellan två olika längder, anges den i procent. Töjningen mäts på den övre mätplattans ytterkant.

Skjuvtöjningen beror på den oscillerande mätplattans amplitud, där en större amplitud ger en större längdförskjutning, och i sin tur en större skjuvtöjning.

Den komplexa modulen, betecknad G^* , är ett mått på det linjära sambandet mellan skjuvspänning och skjuvtöjning, se formel 2.2 och 2.3.

Härledning av formel:

$$G^* = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{\text{Pa}}{\%} = \text{Pa} \quad (2.4)$$

Ju starkare ett materials inre struktur är, desto större blir materialets komplexa modul, också kallat G^* (Mezger, 2011).

2.3 Polymera ämnen

Polymera ämnen har en lång kedja molekyler som är hopbundna med varandra. Ordet polymer är en sammansättning av de grekiska orden poly (många) och mer (enhet). Polymera ämnen finns både som naturliga och konstgjorda, kallas då för syntetiska. Syntetiska polymerer är uppbyggda av kol eller kisel tillsammans med egenskapshöjande tillsatsämnen.

Ett typiskt område där syntetiska polymerer används är i plaster, där polymererna ger plasten dess karaktäristiska styvhet, formbarhet och seghet. Några exempel på polymerer är polyeten, polyamid och polyester. Plaster kan delas in i två olika typer beroende på dess inre molekylstruktur, dessa är *termoplaster* och *hårdplaster* (Nationalencyklopedin 2, 2013).

Termoplaster mjuknar och smälter långsamt vid uppvärmning. Detta medför att plasten är form- och återvinningsbar. En fördel med termoplasten är att den vid uppvärmning kan lösas i ämnen med likartad kemisk struktur. Plasten är också viskoelastisk, vilket innebär att materialet deformeras både elastiskt och visköst. Några exempel på termoplaster är PET-flaskor, plastpåsar samt PVC-material.

Hårdplasters inre struktur brister vid uppvärmning. Därför, till skillnad från termoplaster, är inte hårdplasten form- eller återvinningsbar (Nationalencyklopedin 3, 2013).

2.4 Bitumen

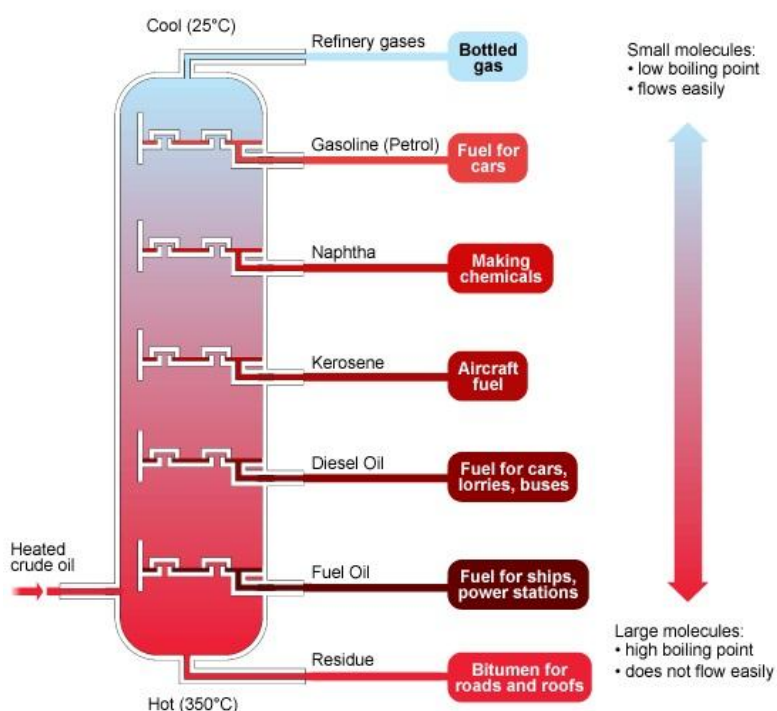
Bitumen är den viktigaste komponenten i asfalt. Bitumen är bindemedlet som håller ihop stenmaterialet och på så sätt får beläggningen att behålla formen. Bindemedlets egenskaper förklarar mycket av asfaltens karaktär och avgör till stor del beläggningens funktion och beständighet. Under normala temperatur- och trafikförhållande uppvisar en beläggning både elastiska och viskösa egenskaper (Read & Whiteoak, 2003).

Rent bitumen är en samling tunga kolväten som främst utvinns från råolja, även benämnt petroleum (från latinets *petra* – klippa och *oleum* – olja). Till skillnad från många andra ämnen saknar bitumen en definierad smältpunkt, istället mjuknar bitumen gradvis vid ökning av temperatur. En referenspunkt för olika bitumen är den så kallade mjukpunkten som markerar övergången från styvt till mjukt bitumen. Mjukpunkten för rent bitumen bestäms med metoden *Kula och Ringmetoden*, enligt SS-EN 1427. Denna metod fungerar inte för modifierade bitumensorter, istället rekommenderas att mjukpunkten för dessa sorter är temperaturen vid den dynamiska viskositeten 1 300 000 mPa·s.

2.4.1 Framställning av bitumen

Bitumen är en av flera produkter som kan utvinnas ur råolja, exempel på andra produkter är bensin, diesel och smörjoljor. För att framställa bitumen används främst råolja som kommer från Ryssland, Mellanöstern och Venezuela.

Det första steget i framställningsprocessen är uppvärmning av råolja i en ugn till 350-380° C. Den varma råoljan leds sedan in i ett högt torn, där de olika produkterna fraktioneras, se figur 6.



Figur 6 - Destillering av olja (BBC, 2013)

Olika sammansättningar av kolväten i råolja har olika egenskaper. Lätta oljor, till exempel bensin, består av lätta kolväten med en låg kokpunkt och hamnar därför i de övre facken i fraktionstornet. Tyngre oljor, som bitumen, består av tunga kolväten med en hög kokpunkt och hamnar i botten av tornet. Oljan som blir kvar längst ner destilleras ytterligare en gång vid en temperatur mellan 350 - 425° C och i ett vakuumtryck på mellan 10 – 100 mmHg. Resterna som blir kvar efter den sista destilleringen blir bitumen, och kan användas som bindemedel i asfalt (Read & Whiteoak, 2003).

2.4.2 Penetrationsbestämda bitumen

För att mäta och gradera bitumens styvhet utförs ett så kallat *penetrationstest*, enligt SS-EN 12591. Testet innebär att en nål med bestämd vikt (100 g) faller ner i ett bitumenprov under bestämd temperatur (25° C) och tid (5 s). Bitumen delas in i olika styvhetsklasser beroende på penetrationsdjupet, som mäts i tiondels millimeter (1/10 mm, dmm). Tabellen nedan visar de vanligaste bitumenklasserna med penetrationstal och mjukpunkt.

Tabell 3 - Penetrationsbestämd bitumen (Read & Whiteoak, 2003)

Benämning	Kvalitet			
	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetration vid 25°C (dmm)	50-70	70-100	100-150	160-220
Mjukpunkt (°C)	46-54	43-51	39-47	35-43

Majoriteten av det penetrationsbestämda bitumen används i vägkonstruktioner. Styvare bitumen används oftast i områden med varmare klimat, och tvärtom. Valet görs för att exempelvis undvika spårbildning vid varma temperaturer och samtidigt undvika sprickbildning vid lägre temperaturer (Read & Whiteoak, 2003).

2.4.3 Polymermodifierade bitumen (PMB)

För att få en tåligare asfalt med bättre funktionella egenskaper som kan klara tyngre fordon och större temperatursvängningar används polymermodifierade bitumen, även kallat PMB. PMB har modifierats med termoplastiska polymerer, vilket gör bitumenet mer elastiskt och mindre temperaturkänsligt (Read & Whiteoak, 2003).

Asfalt som används i hamnar, godsterminaler och flygplatser har sedan många år tillbaka modifierats med polymerer för att få större motståndskraft mot exempelvis belastning och kemikaliespill. Däremot har användningen av polymermodifierad asfalt i vägbeläggningar fram tills i dag varit mer sällsynt. De senaste åren har intresset för PMB ökat eftersom utvecklingen gått mot tyngre transporter och kraven på vägbeläggningar höjts (Roads, 2012).

De vanligaste förekommande tillsatserna för PMB är SBS (Styren-Butadien-Styren) och EVA (Etylvinylacetat). Dessa tillsatser ger asfalten en ökad elastisk effekt, som medför en höjning av asfaltens mjukpunkt (BP, 2013).

2.4.4 Vaxer

Vaxer kan användas som tillsatsmedel i bitumen för att kunna sänka temperaturen och spara energi vid läggning av asfalt. Vaxet säljs i fast form och tillsätts i bitumen före blandning med ballast. När asfaltsmassan stelnar kristalliseras vaxet och bildar ett gallerverk i bitumenet, vilket i sin tur ökar asfaltens stabilitet (Read & Whiteoak, 2003).

Ett exempel på vax är Sasobit, tillverkat av företaget Sasol Wax, med smältpunkt mellan 85-115° C och lösligt med bitumen över 115° C. Enligt Sasol kan Sasobit sänka utläggningstemperaturen med mellan 10 - 30° C.

Produkten säljs i fast form och tillsätts normalt i bitumen före blandning med ballast. Under smältpunkten kristalliserar vaxet, vilket ökar styvheten i bindemedlet (Sasol, 2004)

2.5 Superpave

Superpave är resultatet av ett omfattande forskningsprojekt lett av American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), mellan åren 1987 och 1993. Målet med projektet var att arbeta fram nya metoder för att klassificera bitumen som tydligare kan beskriva hur bindemedlet uppför sig i en vägbeläggning.

För att specificera bitumen enligt Superpave krävs fyra olika mätmetoder: DRV (Dynamisk rotationsviskosimeter), DSR (Dynamic Shear Rheometer), BBR (Bending Beam Rheometer) och DTT (Direct Tension Test). Proverna utsätts dessutom för åldring med RTFOT (Rotating Thin Film Oven Test) och PAV (Pressure Ageing Vessel). Metoderna kan tillsammans simulera hur en vägbeläggning påverkas och förändras när den åldras och utsätts för påfrestningar.

De tre metoderna resulterar i en PG-klassificering (Performance Grade) för varje typ av bitumen. Klassificeringen beskriver den lägsta och den högsta temperaturen som är optimal för vägbeläggningen i ett givet klimatiskt område. Ett exempel på en klassificering är PG 64-22, där den högsta temperaturen som beläggningen bör utsättas för är 64° C, och den lägsta temperaturen är -22° C (Nordtest, 2002).

2.6 Nynas AB

Nynas AB är ett företag som är nischat för framställning av specialoljor. De är verksamma i alla världsdelar och har i Sverige bland annat verksamhet i Nynäshamn, där företaget grundades 1930. I Nynäshamn finns, utöver ett oljeraffineri, också ett laboratorium där forskning och utveckling av deras oljeprodukter bedrivs (Nynas, 2013).

Företaget är världsledande inom framställning av naftentiska specialoljor till industrin men har också dominerat den nordiska bitumenmarknaden i många år. Nynas bitumen används bland annat i vägbeläggningar, men också som tätning i tak och som rostskydd på rör. Exempel på användningsområden för de naftentiska oljorna är i transformater och till framställning av gummi (Nationalencyklopedin 4, 2012).

2.7 Anton Paar GmbH

Anton Paar är ett företag som tillverkar avancerad mät- och laborieutrustning till industri och forskning. Företaget är världsledande inom mätningar av bland annat densitet, koncentration och koldioxid. Anton Paar är ett familjeföretag som grundades 1922. Idag har de försäljningsnätverk i 110 länder, med huvudkontor i Graz, Österrike. Det skandinaviska dotterbolaget Anton Paar Nordic AB är placerat i Malmö. (Anton Paar, 2013).

3 Metodbeskrivning

Under detta kapitel beskrivs de metoder som använts under arbetets gång.

3.1 Dynamisk Skjuvreometer (DSR)

Vid mätningar utförda med DSR har metoder enligt den Svenska standarden *SS-EN 14770:2012 Bitumen och bituminösa bindemedel – Bestämning av komplex skjuvmodul och fasvinkel – Dynamisk skjuvreometer (DSR)* använts. Standarden är framtagen av Swedish Standards Institute.

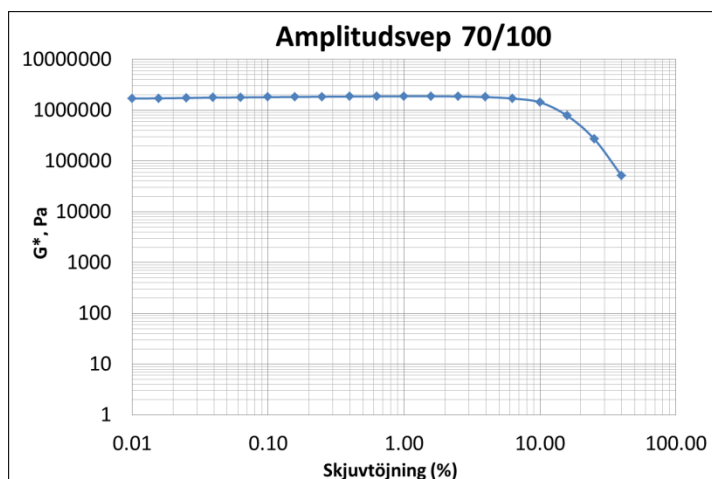
3.1.1 Linjärviskoelastiskt område

Vid oscillerande tester får inte materialet utsättas för sådan skjuvspänning som medför att den inre strukturen förstörs. Genom att bestämma det linjärviskoelastiska området (LVE) bestäms den maximala töjningen som materialet klarar av vid en viss temperatur och frekvens innan den inre strukturen brister.

LVE-området bestäms genom amplitudsvep. Amplitudsvep görs vid två olika temperaturer och vid varje mättemperatur görs två svep, vilket resulterar i sammanlagt fyra mätningar. När ett amplitudsvep utförs ökar amplituden succesivt för att se maximala skjuvtöjning materialet tål.

- Mätning 1: Högsta temperatur och högsta frekvens.
- Mätning 2: Högsta temperatur och lägsta frekvens.
- Mätning 3: Lägsta temperatur och högsta frekvens.
- Mätning 4: Lägsta temperatur och lägsta frekvens.

Varje mätning resulterar i ett skjuvtöjningsvärde, även kallat *strain*, som anger var LVE-området ligger vid varje mätpunkt. Mätresultaten anger den högsta skjuvtöjning som provmaterialet kan utsättas för utan att den inre strukturen förstörs, vid respektive frekvens och temperatur.



Figur 7 - Exempel på bestämning av LVE-område

Detta inträffar när G^* minskar från att ha varit nära nog konstant, se figur 7. Temperaturer och frekvenser vid bestämning av LVE-område ska vara de som gäller för aktuell provning.

3.1.2 Frekvenssvep vid olika temperaturer

För att undersöka och kunna jämföra de viskoelastiska egenskaperna hos bindemedel genomförs frekvenssvep vid olika temperaturer. Mätningarna utförs inom LVE-området. Resultatet från ett frekvenssvep beskriver hur materialet påverkas av snabba och långsamma belastningar.

Mätningar genomförs i ett temperaturspann mellan 10° C och 100° C, med mätningar vid intervall om 10° C. Mätutrustningen som används har en diameter på 25 mm.

Vid varje mättemperatur utförs ett frekvenssvep. Svepet sträcker sig mellan 0,1 – 100 rad/s. Skjuvtöjningen som används vid varje frekvens bestäms genom bindemedlets beräknade LVE-område.

Undersökningarna visar, utifrån belastning vid olika temperaturer, ett bindemedels reologiska egenskaper. Dessa egenskaper kan sedan jämföras med andra sorters bindemedel eller användas i dimensioneringsberäkningar.

Resultaten från dessa mätningar presenteras i avsnitt 4.1.2.

3.2 Superpave

Vid mätningar enligt Superpave med DSR görs tre kontroller mot gränsvärden. Varje mätning genomförs i form av ett temperatursvep med konstant frekvens och skjuvtöjning. Frekvensen skall vid alla mätomgångar vara 10 rad/s. Mätomgångarna redovisas i tabell 4.

Tabell 4 – DSR-bedömningar enligt Superpave

Mätomg.	Syfte	Kriterium	Skjuvtöjning (%)	Frekvens (rad/s)
1	Spårbildning i nylagd	$G^*/\sin\delta = 1.0 \text{ kPa}$	12	10
2	Senare spårbildning	$G^*/\sin\delta = 2.2 \text{ kPa}$	10	10
3	Utmattningsprickor	$G^* \sin\delta = 5000 \text{ kPa}$	1	10

Tabell 4 beskriver de tre bedömningskriterierna samt syftet med mätningen. Resultaten kan antingen anges med temperaturen vid vilket kriteriet har uppnåtts eller kontrolltemperaturens värde.

För bestämning av skjuvtöjning, se ekvation 3.1.

$$\gamma = \frac{12}{(G^*)^{0,29}} \quad (3.1)$$

γ = Skjuvtöjning (%)

G^* = Komplex modul (kPa)

Den komplexa modulen som används i ekvation 3.1 är det värde som står under kolumnen *kriterium* i tabell 4, för respektive mätomgång.

3.3 Blackdiagram

Resultat och jämförelser från frekvenssvepen kan studeras grafiskt med ett Blackdiagram. Kurvan visar sambandet mellan fasvinkeln och den komplexa modulen för och är oberoende av frekvens och temperatur. För ett rent bitumen orienteras linjerna i en parabelliknande formation som har ett typiskt utseende för varje kvalitet. Om bitumenet modifierats med ett polymert tillsatsmedel kan mätpunkterna orientera sig med helt andra formationer beroende på ämnets reologiska karaktär.

3.4 Utbildning

Anton Paar GmbH

Ett första steg i arbetet, att på egen hand kunna utföra mätningar av bitumen, var en introduktion av DSR från leverantören Anton Paar. De höll i en introduktion i grundläggande handhavande av DSR och dess komponenter. Denna introduktion ligger i stor del till grund för den manual som ingår i detta arbete.

Nynas AB

Ett andra steg i vårt arbete, att utföra DSR-mätningar av bitumen, var ett studiebesök vid Nynas oljeraffinaderi och laboratorium i Nynäshamn. Nynas har bedrivit reologiska undersökningar av bitumen med DSR under många år. I studiebesöket ingick undervisning från en erfaren laborietekniker i provberedning och mätning av bitumen. I Nynäshamn gavs värdefull information om hur en optimal provberedning genomförs. Dessutom gavs kunskap i hur resultat tolkas och redovisas. I studiebesöket ingick även en guidad tur på raffinaderiet där fokus låg på framställning av bitumen.

4 Resultat av utförda mätningar

I detta kapitel redovisas den andra delen av arbetets syfte, egna mätningar på bitumen med DSR. Den första delen av arbetets syfte, en manual för handhavande av DSR, finns som bilaga till denna rapport.

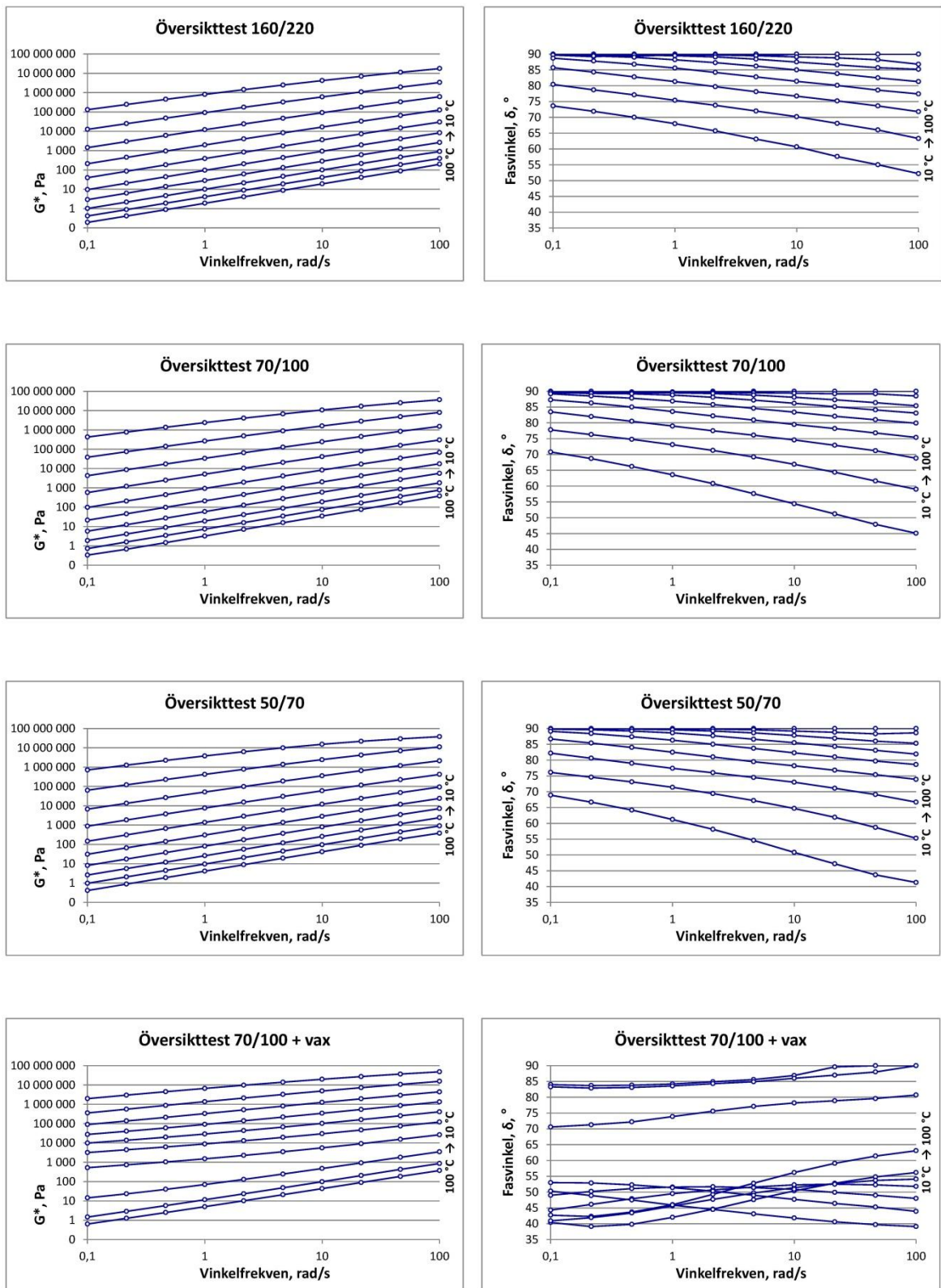
4.1 Översiktliga mätningar på olika bitumensorter

4.1.1 Syfte

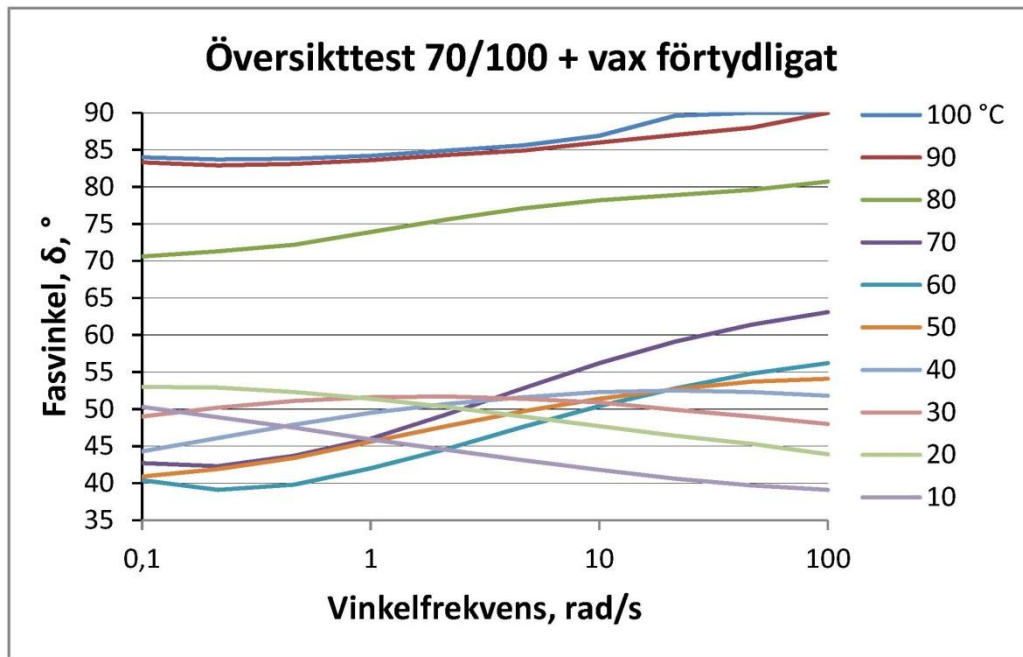
För att beskriva ett bitumens reologiska profil mäts komplex modul, G^* , och fasvinkel, δ , över ett valt temperaturintervall och vid olika frekvenser. Baserat på datamängden kan en masterkurva utformas, ur vilken resultatet av valfria parametervärden på temperatur och frekvens kan beräknas. För en översiktlig bedömning kan värdena skattas direkt ur diagrammen. Den grafiska bilden kan också illustrera språng eller avvikelser som orsakats av olika omständigheter, till exempel genom tillsatser av ämnen för olika syften (vax, SBS, EVA).

Parametervärdena i mätningarna bakom nedanstående diagram valdes efter ett vanligt förekommande upplägg på Nynas laboratorium i Nynäshamn. Bitumensorterna 160/220, 70/100 och 50/70 är standardkvaliteter som kompletterades med en vaxmodifierad variant av 70/100. Vaxet finns på marknaden och är tänkt att förbättra olika egenskaper. Den senare blandningen undersöktes för att visa hur tillsatser kan förändra den reologiska responsen i DSR-testet.

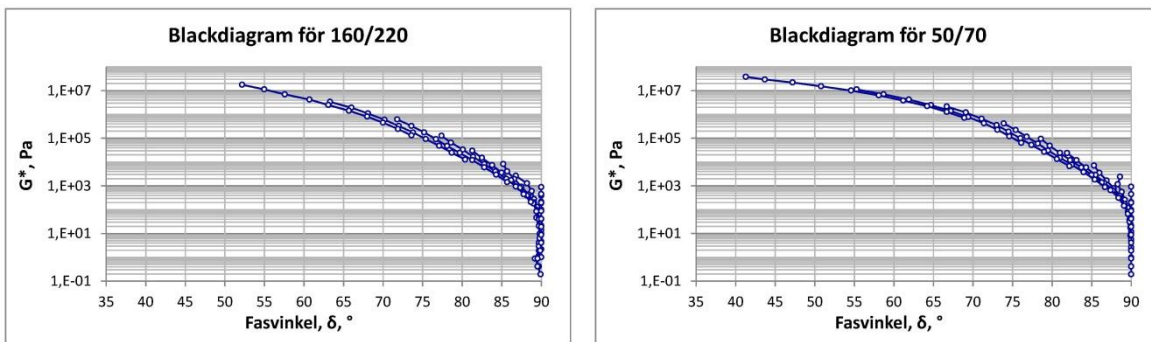
4.1.2 Resultat



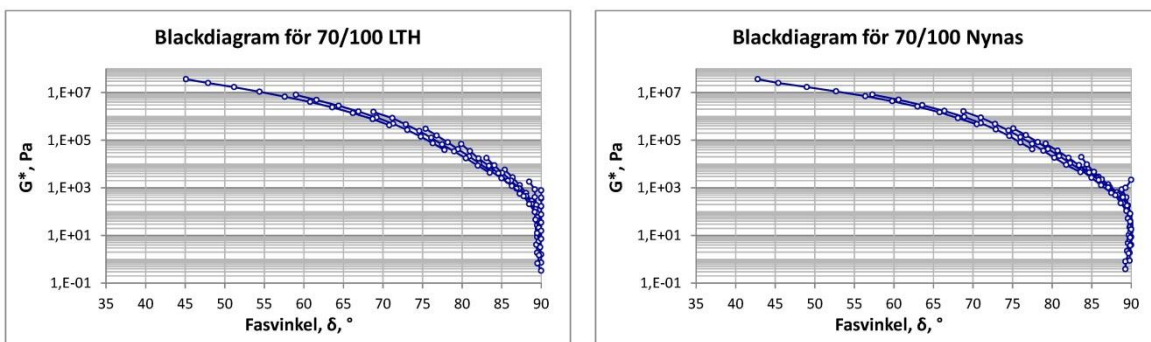
Figur 8 - Översiktlig bestämning av olika bindemedels reologiska egenskaper



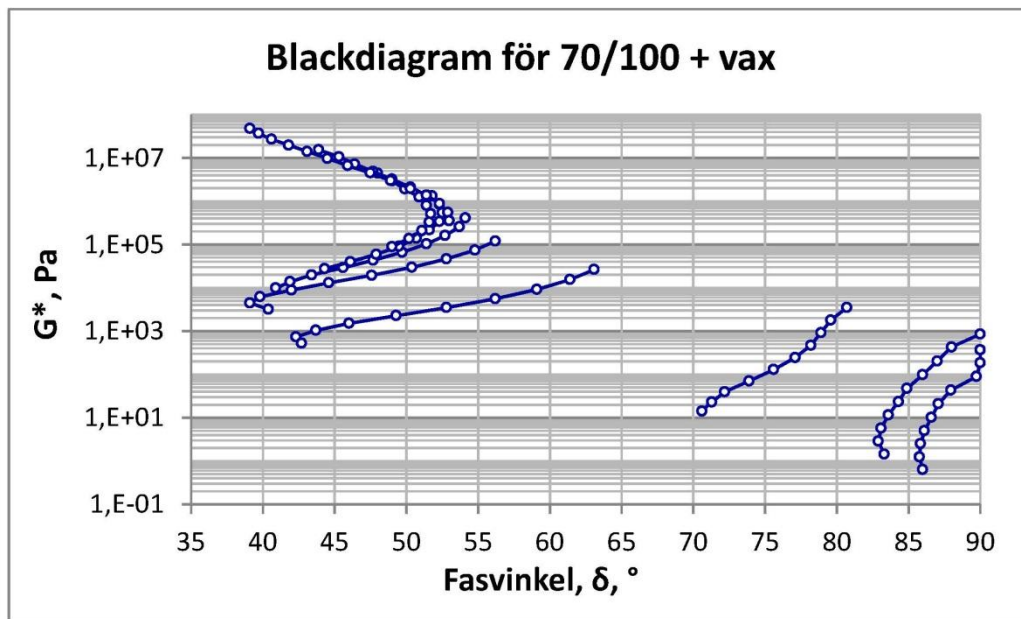
Figur 9 - Förtydligande av vaxblandningens växlande förändringar av fasvinklar



Figur 10 - Jämförelse mellan Blackkurvor för 160/220 och 50/70 framtagna på LTH



Figur 11 - Jämförelse mellan Blackkurva för samma 70/100 framtagen av LTH och av Nynas



Figur 12 - Effekterna av vaxinblandningen beskrivna i ett Blackdiagram

4.1.3 Kommentarer

Med ökad temperatur och minskad belastningsfrekvens följer minskad G^* och ökad fasvinkeln δ och vice versa för ett rent bitumen. Resultaten i den här mätserien ordnar sambandslinjerna för 160/220, 70/100 och 50/70 på ett logiskt sätt. Inblandningen av vax stör den här bilden eftersom vaxet har en smältpunkt, till skillnad från bitumen. Över smältpunkten, 110-115 °C i koncentrerad form, agerar vaxet som om en vätska uppblandad i bitumen.

Under smältpunkten börjar vaxet kristallisera och uppför sig mer som partiklar svävande i bitumenet. Det sker en kraftig förändring av reologin mellan 60° C och 80° C som visar sig grafiskt särskilt tydligt i fasvinklarna men även i tydligt ökat G^* -värde. Vinkelförändringen ändrar riktning gentemot frekvensförändringen på ett sätt som skiljer sig från rent bitumen. Effekten av detta i en asfaltbeläggning återstår att förklara men det ligger utanför syftet med det här arbetet.

Sambandet mellan fasvinkel och G^* i ett Blackdiagram är unikt för varje typ av bindemedel. Rent bitumen från samma tillverkning visar likheter mellan olika kvaliteter (styvheter/penetrationsvärden) så till vida att överlappande kurvdelar ligger på samma nivå, bara ändpunkterna skiljer sig åt. Blackkurvorna för 70/100 uppmätta på LTH respektive på Nynas har acceptabel överensstämmelse med tanke på fåtalet mätningar.

Blackkurvan för 70/100 + vax kan verka ologisk och svårförklarlig men är ett typiskt exempel på vad som sker när ämnen med olika reologisk karaktär samverkar. Den asfalttekniska betydelsen av detta är delvis känd empiriskt från laborietest och ute på vägarna men mycket återstår att klarlägga.

4.2 Effekt av ökad skjuvtöjning

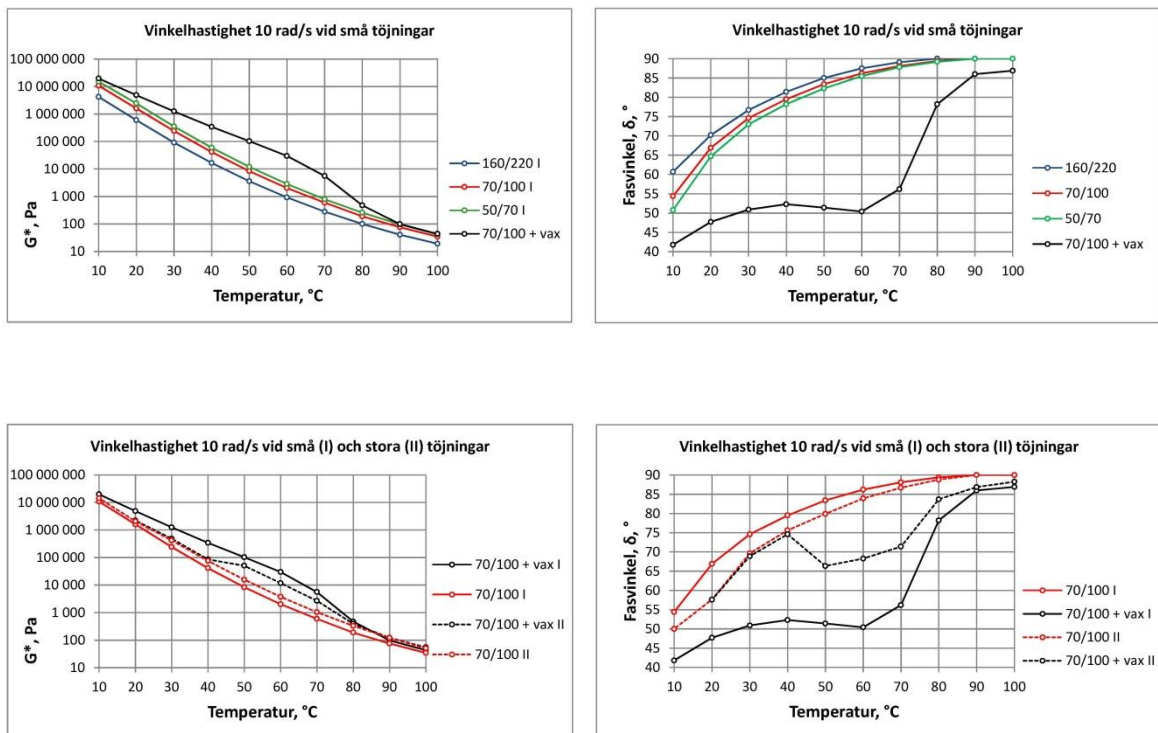
4.2.1 Syfte

I avsnittet om LVE redogörs för varför det är viktigt att befinna sig inom det linjära mätområdet. När det gäller rent bitumen är området ganska brett och det går att göra trovärdiga mätstudier med korta respektive långa skjuvtöjningar respektive låga och höga skjuvspänningar. Det finns anledning att tro att modifierat bitumen inte reagerar på samma sätt i det avseendet.

Nynas val av skjuvtöjning/skjuvspänning är lägre jämfört med värden som nämns i Nordtest (2002) som handlar om mätningar för Superpavekonceptet. Publikationen är relativt gammal och innehållet kan ha reviderats sedan dess. Det skulle i alla händelser vara intressant att jämföra utfallet av olika skjuvtöjningar/skjuvspänningar med rent bitumen respektive med ett modifierat bitumen. Superpave utgår från mätningar vid endast en frekvens, 10 rad/s motsvarande 1,59 Hz. Därför används temperaturen som oberoende variabel för den komplexa modulen, G^* , respektive fasvinkeln, δ .

För valet av skjuvtöjning används formel 3.1, se tidigare avsnitt. Det resulterade i en skjuvtöjning på cirka 1 % vid 10-20° C upp till 10-12 % vid 60-70° C med linjär fördelning utmed temperaturskalan. Det ska jämföras med i storleksordningen 1/10 så stor skjuvtöjning som användes vid de föregående översiktstesterna.

4.2.2 Resultat



Figur 13 - Illustration av töjningens betydelse för den reologiska responsen

4.2.3 Kommentarer

De rena bitumenkvaliteterna rangeras i förväntad ordning. Höjningen av G^* och vinkelförändringarna i 70/100 + vax illustreras tydligt. En bit under vaxets smältpunkt händer något med blandningen, eller snarare dispersionen, som påverkar den reologiska responsen jämfört med rent bitumen. Axelskalan för fasvinklarna gör att förändringen ser större ut än för G^* , som emellertid är minst lika markant.

När töjningen ökar med nära nog en faktor 10 minskar effekten av vaxinblandningen men den är fortfarande tydlig, framförallt i temperaturintervallet 40-80° C. Under 40° C ses inte längre någon effekt av den större töjningen. Eftersom det rör sig om samma mätförutsättningar som gäller för Superpave har den observationen en särskild poäng, som kommenteras i nedanstående avsnitt.

Som framgår ändras även 70/100, om än i mindre omfattning. Om detta är en slump eller har en förklaring i mätförarandet bör utredas närmare i kommande arbeten.

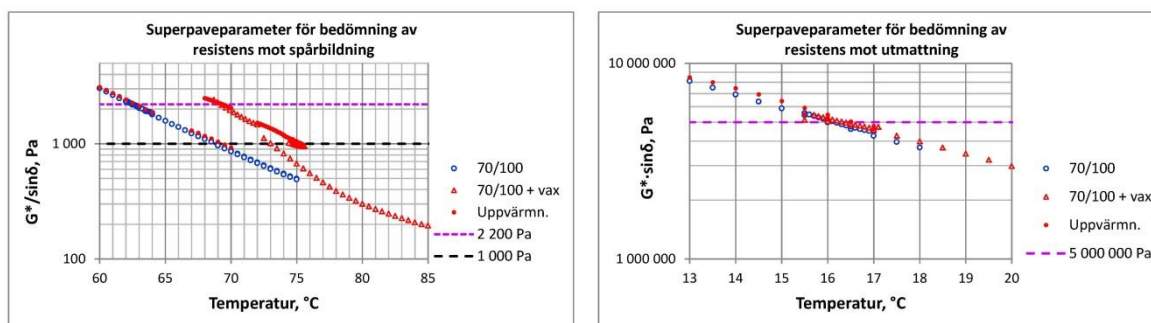
4.3 Mätningar enligt Superpave

4.3.1 Syfte

En fullständig utvärdering av bitumen enligt Superpavekonceptet förutsätter en rad mätningar som inte ryms inom det här arbetet, bland annat mätning med BBR/DTT och behandling med RTFOT och PAV. Emellertid kan parametrarna för bedömning av resistens mot spårbildning och utmattning bestämmas för att i någon mån illustrera effekten av inblandning av vax.

I endast ett fall, $G^*/\sin(\delta)$ jämfört med gränsvärdet 1 000 Pa som ska återspegla risken för spårbildning i nylagd asfalt, följer bedömning Superpaves anvisningar. Vid gränsen 2 200 Pa ska bitumenet ha genomgått RTFOT, som ska simulera härdningen under det första året. Vid utmattningskontrollen av $G^*\cdot\sin(\delta)$ vid 5 000 000 Pa ska bitumenet dessutom ha utsatts för långtidsåldring med PAV. Det innebär att absolutnivån inte stämmer vid 2 200 Pa och vid 5 000 000 Pa men att en jämförelse fortfarande kan göras mellan 70/100 med och utan vax eftersom det rör sig om samma bitumen. Det förutsätter att vaxet inte ändrar sig eller att dess inverkan påverkas. Den saken återstår att utreda.

4.3.2 Resultat



Figur 14 - Bestämning av resistens mot spårbildning och utmattning

4.3.3 Kommentarer

Superpave kan utvärderas på två sätt. Antingen avläses mätvärdet vid en given testtemperatur för att sedan jämföras med gränsvärdet, eller så avläses aktuell temperatur vid respektive gränsvärde. Det senare sättet passar bäst för jämförelser och för att utröna effekter av åtgärder eller tillsatser. Mätvärdet uttrycks då i temperaturgrader, som är lättare att förhålla sig till istället för värden på viskositet eller styvhet, som ofta handlar om stora mätvärden som förändras med 10-potenser och som inte är lika lättolkade.

Mätningarna gjordes med ökande och minskande temperatur, inledningsvis i steg om 0,5° C innan sökt nivå ringats in och därefter i steg om 0,1° C. Rent bitumen 70/100 var relativt okänsligt för temperatursteg och riktning. Vid spårbildningsstudiens inledning med 70/100 + vax ses en eftersläpning som tas ifatt när tempereringen ändrar riktning och saktas ned. Det här inträffar just där de reologiska förändringarna av vaxinblandningen är som störst, vilket antyder att man bör ge provet tillräckligt med tid för att tempereras och hinna utveckla sina egenskaper. Därefter tycks tempereringsriktningen inte ha någon större inverkan.

Den kritiska spårbildningstemperaturen för $G^*/\sin(\delta)$ vid 1 000 Pa ligger cirka 6° C högre för 70/100 + vax, vilket är gynnsamt. Vid 2 200 Pa är skillnaden lika stor men eftersom RTFOT inte utförts är differensen inte säkerställd. Vid utmattningskontrollen 5 000 000 Pa för $G^*\sin(\delta)$ föreligger ingen skillnad. Det skulle kunna tolkas till vaxinblandningens fördel att både ha högre spårbildningstemperaturen och måttlig utmattningstemperatur, som ska vara så låg som möjligt. Höjningen vid hög temperatur ”kostar” alltså inte en höjning vid låg temperatur, vilket annars är det normala fallet.

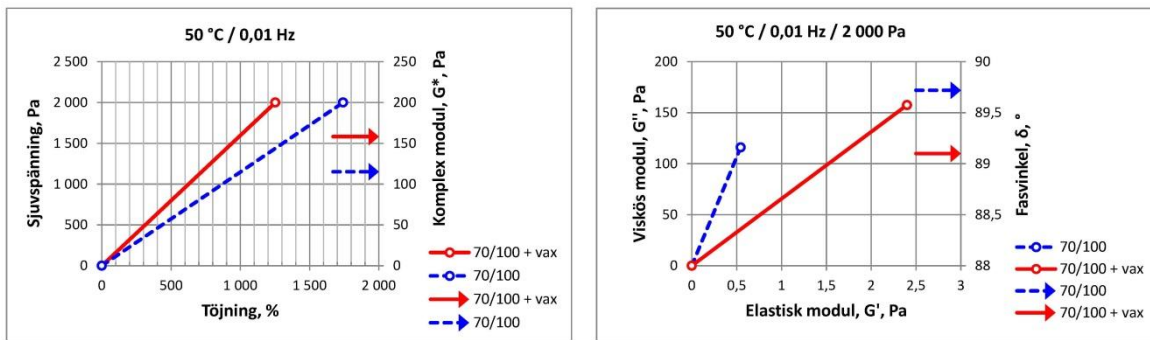
4.4 Alternativ bedömning av resistens mot spårbildning

4.4.1 Syfte

Enligt en teori som framförts i en vaxutredning av Nynas, belgiska BRRC och Soenen, Hilde et al (2006) skulle en särskild DSR-mätning spegla resistensen mot spårbildning bättre än Superpaves upplägg. Istället skulle frekvensen väljas mycket låg, 0,01 Hz (motsvarande 0,063 rad/s), och skjuvspänningen hållas konstant vid 2 000 Pa. Mätningen skulle göras vid 50 °C som vid det tillfället var en etablerad provningstemperatur för spårbildningstest.

Töjningen fick bli den som krävdes för att skjuvspänningen skulle nå den önskade nivån. Jämförelser med ett visst spårtest utfört på laboratorium hade visat god överensstämmelse. För att se effekten av vaxinblandningen bedömd på det här sättet gjordes en liknande mätning.

4.4.2 Resultat



Figur 15 - Alternativ bedömning av resistens mot spårbildning

4.4.3 Kommentarer

Fasvinklarna är höga i båda fallen, vilket indikerar en betydande eftergivlighet vid denna mycket låga frekvens och relativt höga temperatur. Det krävs också stora töjningar, 1 742 % för 70/100 och 1 253 % för vaxblandningen, för att uppnå skjuvspänningen 2 000 Pa. LVE-området vid de här förutsättningarna skulle behöva kontrolleras. Värdena för töjning och fasvinkel är till vaxblandningens fördel. För att avgöra om det är tillräcklig skillnad för ökad resistens mot spårbildning krävs fler jämförande studier.

4.5 Diskussion

Arbetets primära uppgift var att starta upp den nyinförskaffade utrustningen, från levererade kollin till ett funktionsdugligt utrustningspaket med DSR-apparat och en specialutrustad kompressor för renad tryckluft. En manual på svenska för framtida användare inom LTH skulle också tas fram. För att visa att allt fungerar som det ska och att man lärt sig hantera processen på ett riktigt sätt gjordes ett antal standardmätningar och några kompletterande studier med varierade förutsättningar. Syftet med mätningarna var inte att presentera några nya rön eller undersöka några speciella material, för det krävs mer omfattande mätserier. Trots detta kunde vissa effekter med vägteknisk betydelse noteras, till exempel vaxinblandningens uppstyvning i temperaturintervallet 40-80° C. Eftersom eventuella hjulspår brukar utvecklas när det är som varmast i asfaltbeläggningen är man särskilt intresserad av stabilitet i det temperaturintervallet. Därför finns det anledning att fortsätta de studierna i kommande arbeten.

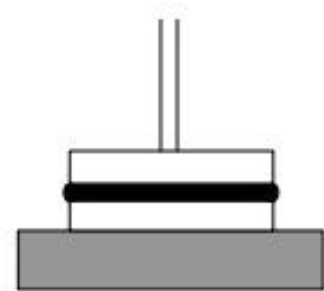
5 Kvalitetssäkring av mätvärden

I detta avsnitt beskrivs våra erfarenheter efter genomförda DSR-mätningar.

Optimal provberedning

För att enkelt kunna dosera rätt mängd vid provberedning värmdes bitumenet upp till 150° C. Vi applicerade sedan 0,49 gram bitumen på en silikonplatta. Därefter placerades bitumenet i ett kylskåp med en temperatur runt 6° C i cirka 15 minuter.

Provet fästes sedan på den övre mätplattan samtidigt som den nedre plattan värmdes upp till 110° C. Vi minskade därefter gapet så att bitumenet precis fick kontakt med den nedre plattan. Efter någon minut när provet anpassats till temperaturen, sänktes gapet ner till gällande mätposition. Det väsentliga är att provet har kontakt med de båda mätplattornas hela ytor, se figur 16.



Figur 16 - Optimal provberedning (Nordtest, 2002)

Höjdjustering

Eftersom bitumenets volym ändras vid olika temperaturer är det viktigt att gapet justeras under testet när temperaturen ändras. En regel är att när temperaturen sänks, så skall gapet minskas, och tvärtom. Detta är väsentligt eftersom DSR mäter på utkanten av mätplattorna. Om inte mätplattornas utkant har kontakt med provet, blir resultaten felaktiga. Vi har därför tagit hänsyn till höjdjusteringen under våra mätningar.

LVE-område

Frågan om lämplig töjning under oscillerande test är ganska vagt beskriven i olika utredningar och regelverk. Vanligtvis hänvisas till att töjningen ska ligga inom det linjära området men inte mer preciserat än så. Nordtest presenterade en formel för Superpavemätningar men den återfinns inte i CEN-reglerna för DSR. Så länge det rör sig om rent bitumen är frågan mindre komplicerad. Rent bitumen har ett brett LVE-område och töjningarna kan också vara mycket små utan att mätresultaten påverkas. LVE-området för modifierat bitumen kan emellertid vara mer svårdefinierat, som en effekt av ämnens reologiska karaktär. I utredningar av forskningskaraktär bör LVE redovisas tillsammans med valda töjningar om resultaten ska kunna bedömas.

Stabilisering

Vid temperatursvep i olika temperaturer måste bitumenet hinna stabilisera sig vid ändrad temperatur. Vi gav därför bitumenet utrymme att anpassa sig till den nya temperaturen i 10 minuter mellan varje temperaturjustering om 10 °C. Detta innebar att bitumenets temperatur hade utrymme att sänkas med 1° C/min, vilket anses tillräckligt för rent bitumen. Exemplet med vaxblandningen i Superpavemätningen visar emellertid att modifierat bitumen kan behöva längre tid för att utveckla förändrade egenskaper som inte bara betingas av temperaturen. Detta kan kontrolleras med grafisk bedömning av mätpunkternas förändring under mätningsförloppet. Det görs numera rutinmässigt med LTHs rotationsviskosimeter.

Temperatursvep i båda riktningarna

Det finns en allmän uppfattning om att framförallt modifierat bitumen kan påverkas av minneseffekter, dvs att den reologiska responsen styrs av hur ämnet har hanterats innan mätningen. Det handlar vanligtvis om i vilken riktning tempereringen har gått eller om och hur länge ett prov har legat i vila. Frågan tas upp i regelverk och handledningar med tips om hur proverna ska förberedas men inte direkt hur själva testet ska genomföras i detta avseende.

Först och främst bör denna inverkan konstateras och storleken uppskattas innan några åtgärder vidtas eller rekommenderas. Om den finns har den kanske betydelse i det verkliga fallet och ska då inte döljas bakom förenklingar i mätproceduren för att slippa svårigheter i uttolkningen av resultaten.

En enkel studie av denna effekt är att utföra mätningarna under uppvärmning respektive avsvälning med olika vilopausar inlagda. Om resultaten skiljer sig åt kan man möjligen få ett tolkningsproblem, som egentligen ska ses som ett tillskott av intressant och beskrivande information.

6 Slutsatser

Användningen av DSR är inte ovanlig inom svensk industri och forskning som sysslar med polymera ämnen. Inom vägbyggandet och bitumenhanteringen är den däremot mycket ovanlig. Anledningen är bland annat att utrustningen är ganska kostsam men också att hanteringen kräver ett visst mått av kunnande. Behovet har hittills inte heller varit särskilt påträngande. Bitumentekniken har redan sina egna ganska enkla provningsmetoder, nedärvda och inarbetade i branschen sedan lång tid. Sverige är ett litet land i trafikhänseende med begränsade utvecklingsresurser, vilket också spelar in.

Den amerikanska satsningen på Superpave har nu pågått i 20-talet år. I konceptet har DSR en helt central och vardaglig funktion, vilket inte har gett den europeiska vägbyggnadsbranschen någon ro. Polymermodifierat bitumen ställer också krav på mer sofistikerade mätmetoder än de traditionella, som egentligen bara är avsedda för rent bitumen. Det vore oklokt att inte förbereda sig för en framtid utan petroleumoljebaserade vägbyggnadsmaterial. I ett sådant läge krävs hjälpmedel som kan mäta och bedöma alla slag av ämnen och produkter. DSR hör därför framtiden till.

Både vägindustrin och väghållare har anledning att hjälpa utvecklingen av DSR på traven. Här finns möjligheter till att både utveckla företagsintressen och främja väghållningen. För det krävs att mättekniken anpassas till att spegla de svenska vägtekniska behoven. Innan det arbetet kan påbörjas måste DSR bli vardaglig och välkänd. Bilden av reologi som en närmast otillgänglig vetenskap måste också tvättas bort genom standardiserad mätteknik och pedagogiska presentationer av resultat.

På det mättekniska planet finns ett par punkter som behöver betas av:

1. Standardisering av LVE-studier
2. Mätresultatens beroende av olika töjnings- eller spänningsförhållanden för olika materialtyper
3. Redovisning av minneseffekter och sätt att hantera dem
4. Ersättning av lågtemperaturtest med DSR-mätningar.

På tillämpningsområdet handlar det om:

5. Information och utbildning om reologins tillämpning i vägbyggnad
6. Bestämning av reologiska egenskaper för vägtekniska behov i Sverige.

Den sista punkten är en svensk motsvarighet till studierna bakom Superpave.

Referenslista

Tryckta källor

- Ahmedzade, P (2013) Construction and Building Materials. Elsevier Ltd, Amsterdam.
- H. Soenen, T. Tanghe, P. Redelius, J. De Visscher, F. Vervaeke, A. Vanelstraete (2008) A laboratory study on the use of waxes to reduce paving temperatures. Nynas Bitumen AB, Antwerpen/Belgian Road Research Centre, Bryssel.
- Mezger, T. (2011) The Rheology Handbook. Vincentz Network, Hannover
- Nordtest (2002) Superpave test methods for Asphalt – Procedure for DSR testing. Nordtest, Espoo.
- Read, J. Whiteoak, D. (2003) The Shell Bitumen Handbook, Fifth edition. Thomas Telford Publishing, London.

Internetkällor

- Anton Paar (2013) Company :: Anton-Paar.com
http://www.anton-paar.com/Company/10_UK_en
Nerladdad: 2013-03-18
- BBC (2013) Fractional distillation
http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/images/5_fractional_distillation.gif
Nerladdad: 2013-03-18
- BP (2013) PMB Facts
http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/bitumen/bp_bitumen_australia/STAGING/local_assets/downloads_pdfs/pq/pmb_facts.pdf
Nerladdad: 2013-05-27
- Nationalencyklopedin 1 (2013) Elasticitet
<http://www.ne.se/lang/elasticitet/160567>
Nerladdad: 2013-03-04

- Nationalencyklopedin 2 (2013) Polymer
<http://www.ne.se/polymer>
 Nerladdad: 2013-05-03

- Nationalencyklopedin 3 (2013) Plast
<http://www.ne.se/plast>
 Nerladdad: 2013-05-03

- Nationalencyklopedin 4 (2013) Nynas AB
<http://www.ne.se/nynas-ab>
 Nerladdad: 2013-03-04

- Nynas (2013) Vår verksamhet
<http://www.nynas.com/sv/Om-oss/Var-verksamhet>
 Nerladdad: 2013-03-07

- Roads (2012) Polymerer i fokus på nya riksväg 50
<http://www.roads.nu/sv/Artiklar/Arkiv/2012-nr-4/Polymerer-i-fokus-pa-nya-riksvag-50/>
 Nerladdad: 2013-06-11

- Sasol (2004) Sasobit
<http://www.sasolwax.us.com/sasobit.html>
 Nerladdad: 2013-03-15

Figurförteckning

Figur 1 - Påverkande faktorer (Mezger, 2011)	5
Figur 2 - Oscillerande rörelse, samt en mätperiod (Ahmedzade, 2013).....	7
Figur 3 – Amplitud (Mezger, 2011).....	7
Figur 4 - Fasvinkel (Mezger, 2011)	8
Figur 5 - Skjuvtöjning och skjuvspänning (Mezger, 2011).....	9
Figur 6 - Destillering av olja (BBC, 2013)	11
Figur 7 - Exempel på bestämning av LVE-område	15
Figur 8 - Översiktlig bestämning av olika bindemedels reologiska egenskaper	19
Figur 9 - Förtydligande av vaxblandningens växlande förändringar av fasvinklar.....	20
Figur 10 - Jämförelse mellan Blackkurvor för 160/220 och 50/70 framtagna på LTH	20
Figur 11 - Jämförelse mellan Blackkurva för samma 70/100 framtagen av LTH och av Nynas	20
Figur 12 - Effekterna av vaxinblandningen beskrivna i ett Blackdiagram.....	21
Figur 13 - Illustration av töjningens betydelse för den reologiska responsen .	23
Figur 14 - Bestämning av resistens mot spårbildning och utmattning	24
Figur 15 - Alternativ bedömning av resistens mot spårbildning	26
Figur 16 - Optimal provbredning (Nordtest, 2002)	27

Innehållsförteckning bilagor

Bilaga 1: Mätresultat 50/70

Bilaga 2: Mätresultat 70/100

Bilaga 3: Mätresultat 160/220

Bilaga 4: Mätresultat 70/100 + vax

Bilaga 5: Mätresultat 70/100 Superpave

Bilaga 6: Mätresultat 70/100 + vax Superpave

Bilaga 7: Mätresultat Alternativ bedömning

Bilaga 8: Manual Anton Paar MCR 302

Bilaga 1

Bitumen 50/70

Temp. [°C]	Frekvens [rad/s]	Töjning [%]	Skjuvspänning [Pa]	Komplex modul [Pa]	Fasvinkel [°]	Lagringsmodul [Pa]	Förlustmodul [Pa]
100	100	2.44	9.34	383	90.0	0	383
100	46.4	3.09	5.87	190	90.0	0	190
100	21.5	3.91	3.5	89	90.0	0	89
100	10	4.94	2.06	42	90.0	0	42
100	4.64	6.25	1.21	19	90.0	0	19
100	2.15	7.92	0.707	9	90.0	0	9
100	1	10	0.414	4	90.0	0	4
100	0.464	12.7	0.242	2	90.0	0	2
100	0.215	16.1	0.142	1	90.0	0	1
100	0.1	20.3	0.0836	0	90.0	0	0
90	100	1.69	15.4	910	90.0	0	910
90	46.4	2.14	9.44	440	90.0	0	440
90	21.5	2.71	5.61	207	90.0	0	207
90	10	3.43	3.31	96	90.0	0	96
90	4.64	4.35	1.94	45	90.0	0	45
90	2.15	5.5	1.14	21	90.0	0	21
90	1	6.97	0.671	10	90.0	0	10
90	0.464	8.82	0.395	4	90.0	0	4
90	0.215	11.2	0.232	2	90.0	0	2
90	0.1	14.1	0.137	1	90.0	0	1
80	100	1.16	28.1	2420	88.6	60	2420
80	46.4	1.47	17.1	1160	88.3	34	1160
80	21.5	1.87	10.3	550	88.8	12	550
80	10	2.36	6.08	257	89.2	4	257
80	4.64	3	3.59	120	89.6	1	120
80	2.15	3.78	2.11	56	89.8	0	56
80	1	4.8	1.24	26	89.9	0	26
80	0.464	6.08	0.731	12	90.0	0	12
80	0.215	7.69	0.429	6	90.0	0	6
80	0.1	9.72	0.252	3	90.0	0	3
70	100	0.792	56.7	7160	85.3	587	7140
70	46.4	1	35	3490	86.0	244	3480
70	21.5	1.27	21.2	1670	86.9	92	1670
70	10	1.61	12.8	794	87.8	31	794
70	4.64	2.04	7.6	373	88.6	9	373
70	2.15	2.58	4.49	174	89.2	2	174
70	1	3.26	2.65	81	89.6	1	81
70	0.464	4.13	1.56	38	89.8	0	38
70	0.215	5.22	0.916	18	89.9	0	18
70	0.1	6.61	0.539	8	89.9	0	8
60	100	0.533	128	24000	81.9	3390	23800
60	46.4	0.674	80.4	11900	83.1	1440	11800
60	21.5	0.853	49.9	5850	84.3	584	5820
60	10	1.08	30.7	2840	85.5	224	2830
60	4.64	1.37	18.7	1360	86.6	80	1360
60	2.15	1.73	11.2	646	87.7	26	646
60	1	2.19	6.66	304	88.6	7	304
60	0.464	2.77	3.94	142	89.2	2	142
60	0.215	3.51	2.32	66	89.6	0	66
60	0.1	4.46	1.37	31	89.8	0	31

Bitumen 50/70 forts.

Temp. [°C]	Frekvens [rad/s]	Töjning [%]	Skjuvspänning [Pa]	Komplex modul [Pa]	Fasvinkel [°]	Lagringsmodul [Pa]	Förlustmodul [Pa]
50	100	0.354	332	93900	78.6	18600	92000
50	46.4	0.448	214	47800	79.7	8530	47100
50	21.5	0.566	136	24100	81.0	3780	23800
50	10	0.718	86.2	12000	82.3	1610	11900
50	4.64	0.908	53.7	5910	83.7	653	5870
50	2.15	1.15	33.1	2870	85.0	251	2860
50	1	1.46	20.2	1380	86.3	90	1380
50	0.464	1.84	12.1	659	87.4	30	658
50	0.215	2.33	7.26	311	88.4	9	311
50	0.1	2.95	4.3	146	89.1	2	146
40	100	0.232	973	419000	73.9	116000	403000
40	46.4	0.293	650	222000	75.4	55800	214000
40	21.5	0.371	429	116000	76.8	26400	112000
40	10	0.47	280	59600	78.2	12200	58400
40	4.64	0.597	182	30400	79.5	5520	29900
40	2.15	0.754	115	15300	81.0	2400	15100
40	1	0.954	72.9	7640	82.5	997	7570
40	0.464	1.21	45.5	3760	84.0	392	3740
40	0.215	1.53	28	1830	85.4	146	1820
40	0.1	1.94	17.1	877	86.7	51	876
30	100	0.15	3220	2140000	66.7	850000	1970000
30	46.4	0.19	2280	1200000	69.1	429000	1120000
30	21.5	0.24	1580	657000	71.1	213000	622000
30	10	0.304	1080	355000	73.0	104000	339000
30	4.64	0.386	728	189000	74.5	50300	182000
30	2.15	0.488	484	99200	76.0	24000	96200
30	1	0.617	318	51500	77.4	11200	50300
30	0.464	0.783	207	26500	79.0	5070	26000
30	0.215	0.992	133	13400	80.6	2190	13200
30	0.1	1.25	83.8	6700	82.2	908	6640
20	100	0.0956	10700	11200000	55.3	6400000	9240000
20	46.4	0.121	8460	6990000	58.7	3630000	5970000
20	21.5	0.153	6420	4190000	61.9	1980000	3700000
20	10	0.194	4740	2440000	64.7	1050000	2210000
20	4.64	0.246	3400	1390000	67.2	537000	1280000
20	2.15	0.311	2400	772000	69.4	271000	723000
20	1	0.393	1660	422000	71.4	135000	400000
20	0.464	0.499	1140	227000	73.1	66200	218000
20	0.215	0.63	763	121000	74.6	32100	117000
20	0.1	0.798	508	63700	76.1	15300	61800
10	100	0.0599	22600	37800000	41.3	28400000	24900000
10	46.4	0.0758	22200	29300000	43.7	21200000	20300000
10	21.5	0.0959	20900	21800000	47.2	14800000	16000000
10	10	0.121	18500	15200000	50.8	9620000	11800000
10	4.64	0.154	15400	10000000	54.6	5810000	8170000
10	2.15	0.195	12300	6290000	58.1	3330000	5340000
10	1	0.247	9360	3800000	61.2	1830000	3330000
10	0.464	0.312	6960	2230000	64.2	970000	2000000
10	0.215	0.395	5020	1270000	66.7	503000	1170000
10	0.1	0.5	3570	714000	68.9	257000	667000

Bilaga 2

Bitumen 70/100

Temp. [°C]	Frekvens [rad/s]	Töjning [%]	Skjuvspänning [Pa]	Komplex modul [Pa]	Fasvinkel [°]	Lagringsmodul [Pa]	Förlustmodul [Pa]
100	100	2.44	10.3	422	90.0	0	422
100	46.4	3.09	6.18	200	90.0	0	200
100	21.5	3.91	3.65	93	90.0	0	93
100	10	4.94	2.15	44	90.0	0	44
100	4.64	6.25	1.26	20	90.0	0	20
100	2.15	7.92	0.741	9	90.0	0	9
100	1	10	0.435	4	90.0	0	4
100	0.464	12.7	0.255	2	90.0	0	2
100	0.215	16.1	0.15	1	90.0	0	1
100	0.1	20.3	0.0882	0	89.7	0	0
90	100	1.69	16.3	964	90.0	0	964
90	46.4	2.14	10	467	90.0	0	467
90	21.5	2.71	5.94	219	90.0	0	219
90	10	3.43	3.5	102	90.0	0	102
90	4.64	4.35	2.06	47	90.0	0	47
90	2.15	5.5	1.21	22	90.0	0	22
90	1	6.97	0.711	10	89.9	0	10
90	0.464	8.82	0.418	5	89.8	0	5
90	0.215	11.2	0.246	2	89.5	0	2
90	0.1	14.1	0.145	1	89.1	0	1
80	100	1.16	29.5	2530	87.8	96	2530
80	46.4	1.47	18.1	1220	87.8	46	1220
80	21.5	1.87	10.9	583	88.4	16	583
80	10	2.36	6.46	274	89.0	5	274
80	4.64	3	3.83	128	89.4	1	128
80	2.15	3.78	2.25	59	89.7	0	59
80	1	4.8	1.32	28	89.8	0	28
80	0.464	6.08	0.784	13	89.9	0	13
80	0.215	7.69	0.46	6	89.8	0	6
80	0.1	9.73	0.269	3	89.6	0	3
70	100	0.792	59.4	7500	84.6	706	7470
70	46.4	1	36.8	3670	85.3	304	3660
70	21.5	1.27	22.5	1770	86.2	118	1770
70	10	1.61	13.6	847	87.2	41	846
70	4.64	2.04	8.15	400	88.1	13	400
70	2.15	2.58	4.84	188	88.9	4	188
70	1	3.26	2.85	88	89.4	1	88
70	0.464	4.13	1.68	41	89.7	0	41
70	0.215	5.22	0.988	19	89.8	0	19
70	0.1	6.6	0.582	9	89.9	0	9
60	100	0.532	132	24900	80.7	4000	24600
60	46.4	0.674	84	12500	81.9	1750	12300
60	21.5	0.852	52.7	6180	83.3	723	6130
60	10	1.08	32.6	3020	84.6	284	3010
60	4.64	1.37	20	1460	85.9	105	1460
60	2.15	1.73	12.1	698	87.1	36	697
60	1	2.19	7.23	330	88.1	11	330
60	0.464	2.77	4.3	155	88.9	3	155
60	0.215	3.51	2.54	72	89.4	1	72
60	0.1	4.46	1.5	34	89.7	0	34

Bitumen 70/100 forts.

Temp. [°C]	Frekvens [rad/s]	Töjning [%]	Skjuvspänning [Pa]	Komplex modul [Pa]	Fasvinkel [°]	Lagringsmodul [Pa]	Förlustmodul [Pa]
50	100	0.354	336	94900	76.9	21400	92500
50	46.4	0.448	219	49000	78.2	10100	48000
50	21.5	0.566	142	25000	79.5	4560	24600
50	10	0.718	90.6	12600	80.9	1990	12500
50	4.64	0.909	57.1	6290	82.4	826	6230
50	2.15	1.15	35.6	3090	84.0	325	3070
50	1	1.46	21.9	1500	85.4	121	1500
50	0.464	1.84	13.3	721	86.7	42	720
50	0.215	2.33	8	343	87.8	13	342
50	0.1	2.95	4.76	161	88.7	4	161
40	100	0.232	950	410000	71.9	127000	389000
40	46.4	0.293	646	220000	73.5	62600	211000
40	21.5	0.371	434	117000	74.9	30400	113000
40	10	0.471	289	61300	76.3	14500	59600
40	4.64	0.597	190	31800	77.8	6720	31100
40	2.15	0.753	123	16300	79.4	3000	16000
40	1	0.954	78.3	8210	81.1	1280	8110
40	0.464	1.21	49.4	4080	82.7	516	4050
40	0.215	1.53	30.7	2000	84.3	198	1990
40	0.1	1.95	19	973	85.8	72	970
30	100	0.15	2920	1940000	64.6	834000	1760000
30	46.4	0.19	2100	1110000	66.8	435000	1020000
30	21.5	0.24	1480	618000	68.8	223000	577000
30	10	0.305	1040	340000	70.7	112000	321000
30	4.64	0.386	712	185000	72.4	55900	176000
30	2.15	0.488	482	98800	73.9	27500	94900
30	1	0.618	323	52300	75.4	13200	50600
30	0.464	0.782	214	27400	77.1	6130	26700
30	0.215	0.989	139	14100	78.8	2740	13800
30	0.1	1.25	89.5	7160	80.6	1170	7060
20	100	0.0956	9250	9680000	54.8	5570000	7910000
20	46.4	0.121	7290	6010000	57.5	3230000	5070000
20	21.5	0.153	5580	3650000	60.0	1820000	3160000
20	10	0.194	4190	2160000	62.5	996000	1920000
20	4.64	0.246	3080	1250000	64.9	531000	1130000
20	2.15	0.311	2210	712000	67.0	278000	655000
20	1	0.395	1570	397000	68.9	143000	371000
20	0.464	0.498	1090	219000	70.7	72500	207000
20	0.215	0.629	750	119000	72.3	36200	113000
20	0.1	0.797	510	64000	73.9	17700	61500
10	100	0.0597	24800	41600000	44.3	29800000	29000000
10	46.4	0.076	22100	29100000	46.3	20100000	21000000
10	21.5	0.0961	19100	19900000	48.7	13100000	14900000
10	10	0.122	16000	13100000	51.1	8230000	10200000
10	4.64	0.154	13000	8440000	53.8	4990000	6810000
10	2.15	0.195	10300	5300000	56.6	2920000	4420000
10	1	0.247	7980	3230000	59.2	1660000	2780000
10	0.464	0.314	6040	1920000	61.8	908000	1700000
10	0.215	0.395	4450	1130000	64.2	491000	1010000
10	0.1	0.501	3240	646000	66.3	260000	592000

Bilaga 3

Bitumen 160/220

Temp. [°C]	Frekvens [rad/s]	Töjning [%]	Skjuvspänning [Pa]	Komplex modul [Pa]	Fasvinkel [°]	Lagringsmodul [Pa]	Förlustmodul [Pa]
100	100	2.44	4.78	196	90.0	0	196
100	46.4	3.09	2.7	88	90.0	0	88
100	21.5	3.91	1.6	41	90.0	0	41
100	10	4.94	0.944	19	90.0	0	19
100	4.64	6.25	0.547	9	90.0	0	9
100	2.15	7.91	0.321	4	90.0	0	4
100	1	10	0.189	2	89.8	0	2
100	0.464	12.7	0.111	1	89.3	0	1
100	0.215	16.1	0.0661	0	89.3	0	0
100	0.1	20.3	0.0392	0	89.9	0	0
90	100	1.69	6.58	388	90.0	0	388
90	46.4	2.14	4.02	187	90.0	0	187
90	21.5	2.71	2.36	87	90.0	0	87
90	10	3.43	1.39	41	90.0	0	41
90	4.64	4.34	0.817	19	90.0	0	19
90	2.15	5.5	0.484	9	90.0	0	9
90	1	6.96	0.284	4	89.7	0	4
90	0.464	8.81	0.168	2	89.7	0	2
90	0.215	11.2	0.098	1	89.2	0	1
90	0.1	14.1	0.0585	0	89.7	0	0
80	100	1.17	10.4	891	90.0	0	891
80	46.4	1.47	6.69	454	90.0	0	454
80	21.5	1.87	3.97	213	90.0	0	213
80	10	2.36	2.35	100	90.0	0	100
80	4.64	2.99	1.38	46	89.4	0	46
80	2.15	3.79	0.81	21	90.0	0	21
80	1	4.79	0.476	10	90.0	0	10
80	0.464	6.06	0.281	5	90.0	0	5
80	0.215	7.67	0.165	2	90.0	0	2
80	0.1	9.71	0.0977	1	90.0	0	1
70	100	0.792	20.8	2630	86.8	148	2620
70	46.4	1	12.7	1270	88.2	39	1270
70	21.5	1.27	7.62	601	88.8	13	600
70	10	1.61	4.52	281	89.1	4	281
70	4.64	2.03	2.66	131	89.5	1	131
70	2.15	2.57	1.57	61	89.7	0	61
70	1	3.27	0.923	28	89.8	0	28
70	0.464	4.13	0.574	14	90.0	0	14
70	0.215	5.23	0.326	6	89.8	0	6
70	0.1	6.61	0.192	3	89.7	0	3
60	100	0.532	44.1	8280	85.2	691	8250
60	46.4	0.674	27.2	4030	85.7	300	4020
60	21.5	0.853	16.6	1940	86.6	117	1940
60	10	1.08	9.98	924	87.5	40	923
60	4.64	1.37	5.96	435	88.4	12	435
60	2.15	1.73	3.53	204	89.1	3	203
60	1	2.19	2.08	95	89.5	1	95
60	0.464	2.78	1.23	44	89.7	0	44
60	0.215	3.51	0.721	21	89.7	0	21
60	0.1	4.44	0.425	10	89.8	0	10

Bitumen 160/220 forts.

Temp. [°C]	Frekvens [rad/s]	Töjning [%]	Skjuvspänning [Pa]	Komplex modul [Pa]	Fasvinkel [°]	Lagringsmodul [Pa]	Förlustmodul [Pa]
50	100	0.354	106	29900	81.3	4500	29500
50	46.4	0.447	66.6	14900	82.5	1930	14800
50	21.5	0.566	41.5	7330	83.8	793	7290
50	10	0.717	25.6	3580	85.0	312	3560
50	4.64	0.91	15.7	1720	86.2	115	1720
50	2.15	1.15	9.45	822	87.3	39	822
50	1	1.45	5.65	388	88.2	12	388
50	0.464	1.84	3.35	182	89.0	3	182
50	0.215	2.33	1.98	85	89.4	1	85
50	0.1	2.95	1.17	40	89.7	0	40
40	100	0.232	292	126000	77.4	27400	123000
40	46.4	0.293	190	64900	78.6	12800	63600
40	21.5	0.372	123	33000	80.1	5700	32500
40	10	0.471	78.1	16600	81.4	2470	16400
40	4.64	0.596	49.1	8240	82.8	1030	8170
40	2.15	0.755	30.5	4040	84.2	406	4020
40	1	0.956	18.7	1950	85.6	152	1950
40	0.464	1.21	11.3	936	86.8	53	934
40	0.215	1.53	6.79	444	87.8	17	444
40	0.1	1.94	4.05	209	88.7	5	209
30	100	0.15	921	614000	71.8	192000	583000
30	46.4	0.19	625	330000	73.6	92900	316000
30	21.5	0.24	418	175000	75.2	44700	169000
30	10	0.305	278	91400	76.7	21000	88900
30	4.64	0.386	182	47200	78.1	9700	46200
30	2.15	0.487	117	24100	79.7	4290	23700
30	1	0.617	74.7	12100	81.3	1840	12000
30	0.464	0.781	47	6020	82.8	757	5970
30	0.215	0.991	29.2	2940	84.3	292	2930
30	0.1	1.26	17.9	1420	85.7	107	1420
20	100	0.0956	3200	3350000	63.3	1500000	2990000
20	46.4	0.121	2330	1930000	66.0	786000	1760000
20	21.5	0.153	1660	1090000	68.1	405000	1010000
20	10	0.194	1160	600000	70.2	203000	565000
20	4.64	0.246	803	326000	72.0	101000	310000
20	2.15	0.311	543	175000	73.8	48600	168000
20	1	0.393	363	92300	75.4	23200	89300
20	0.464	0.499	240	48100	77.1	10800	46900
20	0.215	0.631	156	24800	78.7	4840	24300
20	0.1	0.799	100	12600	80.4	2090	12400
10	100	0.0599	10500	17600000	52.2	10800000	13900000
10	46.4	0.076	8550	11200000	55.0	6460000	9210000
10	21.5	0.0963	6720	6980000	57.6	3740000	5900000
10	10	0.122	5150	4210000	60.7	2060000	3670000
10	4.64	0.155	3860	2480000	63.1	1120000	2210000
10	2.15	0.196	2800	1430000	65.7	588000	1300000
10	1	0.247	2000	810000	68.0	304000	751000
10	0.464	0.313	1410	449000	70.0	154000	421000
10	0.215	0.396	969	244000	71.9	76100	232000
10	0.1	0.501	659	131000	73.6	37000	126000

Bilaga 4

Bitumen 70/100 + vax

Temp. [°C]	Frekvens [rad/s]	Töjning [%]	Skjuvspänning [Pa]	Komplex modul [Pa]	Fasvinkel [°]	Lagringsmodul [Pa]	Förlustmodul [Pa]
100	100	2.44	9.05	371	90.0	0	371
100	46.4	3.09	5.72	185	90.0	0	185
100	21.5	3.91	3.5	90	89.6	1	90
100	10	4.95	2.14	43	86.9	2	43
100	4.64	6.26	1.31	21	85.6	2	21
100	2.15	7.92	0.809	10	84.9	1	10
100	1	10	0.504	5	84.2	1	5
100	0.464	12.7	0.317	3	83.8	0	2
100	0.215	16.1	0.201	1	83.7	0	1
100	0.1	20.3	0.128	1	84.0	0	1
89.9	100	1.69	14.5	858	90.0	0	858
90	46.4	2.14	9.16	427	88.0	15	427
90	21.5	2.71	5.53	204	87.0	11	204
90	10	3.43	3.38	98	86.0	7	98
90	4.64	4.35	2.08	48	84.9	4	48
90	2.15	5.51	1.28	23	84.3	2	23
90	1	6.97	0.798	12	83.6	1	11
90	0.464	8.82	0.502	6	83.1	1	6
90	0.215	11.2	0.319	3	82.9	0	3
90	0.1	14.1	0.205	1	83.3	0	1
80	100	1.16	40.7	3500	80.7	563	3450
80	46.4	1.47	26.5	1800	79.6	324	1770
80	21.5	1.86	17.2	923	78.9	177	905
80	10	2.36	11.2	473	78.2	97	463
80	4.64	2.99	7.33	245	77.1	55	239
80	2.15	3.78	4.9	129	75.6	32	125
80	1	4.79	3.37	71	73.9	20	68
80	0.464	6.06	2.41	40	72.2	12	38
80	0.215	7.67	1.78	23	71.3	7	22
80	0.1	9.71	1.39	14	70.6	5	14
70	100	0.792	210	26500	63.1	12000	23600
70	46.4	1	155	15500	61.4	7390	13600
70	21.5	1.27	116	9170	59.1	4710	7870
70	10	1.61	89.5	5570	56.2	3100	4630
70	4.64	2.04	71.2	3490	52.8	2110	2780
70	2.15	2.58	58.3	2260	49.3	1470	1710
70	1	3.26	49.2	1510	46.0	1050	1090
70	0.464	4.15	43	1040	43.7	750	716
70	0.215	5.26	38.7	735	42.3	544	495
70	0.1	6.74	35.2	523	42.7	384	355
60	100	0.533	646	121000	56.2	67400	101000
60	46.4	0.674	503	74600	54.8	43000	61000
60	21.5	0.854	399	46800	52.8	28200	37300
60	10	1.08	322	29800	50.4	19000	23000
60	4.64	1.37	267	19500	47.6	13100	14400
60	2.15	1.74	226	13000	44.6	9270	9130
60	1	2.2	195	8860	42.0	6590	5930
60	0.464	2.79	174	6230	39.8	4780	3990
60	0.215	3.56	158	4450	39.1	3450	2800
60	0.1	4.55	145	3180	40.4	2420	2060

Bitumen 70/100 + vax forts.

Temp. [°C]	Frekvens [rad/s]	Töjning [%]	Skjuvspänning [Pa]	Komplex modul [Pa]	Fasvinkel [°]	Lagringsmodul [Pa]	Förlustmodul [Pa]
50	100	0.354	1450	409000	54.1	240000	331000
50	46.4	0.448	1150	256000	53.7	152000	206000
50	21.5	0.567	915	161000	52.7	97700	128000
50	10	0.717	737	103000	51.4	64000	80300
50	4.64	0.908	602	66300	49.7	42900	50600
50	2.15	1.15	500	43400	47.7	29200	32100
50	1	1.46	422	29000	45.6	20300	20700
50	0.464	1.84	365	19800	43.4	14400	13600
50	0.215	2.35	323	13800	41.9	10300	9190
50	0.1	2.96	292	9850	40.9	7450	6440
40	100	0.232	3080	1330000	51.8	821000	1040000
40	46.4	0.294	2490	848000	52.3	519000	671000
40	21.5	0.371	2000	539000	52.5	328000	427000
40	10	0.47	1610	342000	52.3	209000	271000
40	4.64	0.596	1300	219000	51.6	136000	171000
40	2.15	0.754	1060	140000	50.7	88700	109000
40	1	0.954	866	90800	49.5	58900	69000
40	0.464	1.2	719	59700	47.9	40000	44300
40	0.215	1.52	611	40100	46.1	27800	28900
40	0.1	1.93	531	27500	44.3	19700	19200
30	100	0.15	6620	4410000	48.0	2950000	3280000
30	46.4	0.19	5560	2930000	49.0	1920000	2210000
30	21.5	0.24	4620	1920000	49.9	1240000	1470000
30	10	0.304	3790	1250000	50.9	787000	967000
30	4.64	0.386	3100	803000	51.4	501000	628000
30	2.15	0.488	2500	513000	51.7	318000	403000
30	1	0.616	2020	328000	51.6	204000	257000
30	0.464	0.78	1640	211000	51.1	132000	164000
30	0.215	0.984	1340	137000	50.2	87400	105000
30	0.1	1.24	1120	89800	49.0	59000	67800
20	100	0.0955	14700	15400000	43.9	11100000	10700000
20	46.4	0.121	12900	10700000	45.3	7500000	7570000
20	21.5	0.153	11100	7250000	46.4	5000000	5250000
20	10	0.194	9450	4870000	47.7	3280000	3600000
20	4.64	0.246	7930	3230000	49.0	2120000	2440000
20	2.15	0.311	6570	2110000	50.3	1350000	1630000
20	1	0.393	5370	1370000	51.4	851000	1070000
20	0.464	0.497	4340	874000	52.3	534000	692000
20	0.215	0.63	3500	556000	52.9	336000	443000
20	0.1	0.794	2820	355000	53.0	214000	283000
10	100	0.0598	28900	48200000	39.1	37400000	30400000
10	46.4	0.0758	27800	36700000	39.7	28200000	23400000
10	21.5	0.0959	26100	27200000	40.6	20700000	17700000
10	10	0.122	23900	19700000	41.8	14600000	13100000
10	4.64	0.154	21500	14000000	43.1	10200000	9530000
10	2.15	0.195	18900	9700000	44.5	6920000	6800000
10	1	0.247	16400	6650000	45.9	4630000	4780000
10	0.464	0.311	14000	4500000	47.5	3040000	3320000
10	0.215	0.394	11800	2990000	48.9	1960000	2250000
10	0.1	0.499	9750	1960000	50.3	1250000	1500000

Bilaga 5

Bitumen 70/100 Superpave

Töjning [%]	Frekvens [rad/s]	Fasvinkel [°]	Temperatur [°C]	$G^*/\sin(\delta)$ [Pa]	$G^*\cdot\sin(\delta)$ [Pa]
12	10	87.2	70	869	
12	10	87.1	69.5	923	
12	10	87	69	980	
12	10	86.8	68.5	1050	
12	10	86.7	68	1120	
12	10	86.6	67.5	1180	
12	10	86.5	67.5	1240	
12	10	86.6	68	1170	
12	10	86.7	68.5	1110	
12	10	86.8	69	1040	
12	10	86.9	69.5	981	
12	10	87	70	924	
10	10	85.8	64	1790	
10	10	85.7	63.5	1910	
10	10	85.6	63	2040	
10	10	85.4	62.5	2180	
10	10	85.3	62	2320	
10	10	85.1	61.5	2480	
10	10	85	61	2650	
10	10	84.9	61	2750	
10	10	85	61.5	2590	
10	10	85.2	62	2420	
10	10	85.3	62.5	2270	
10	10	85.5	63	2130	
10	10	85.6	63.5	1990	
10	10	85.5	63	2090	
10	10	85.5	62.9	2100	
10	10	85.5	62.8	2120	
10	10	85.5	62.8	2140	
10	10	85.4	62.7	2160	
10	10	85.4	62.6	2180	
10	10	85.4	62.5	2200	
10	10	85.4	62.4	2240	
1	10	61.4	18		3,710,000
1	10	61	17.5		3,960,000
1	10	60.6	17		4,260,000
1	10	60.1	16.5		4,610,000
1	10	59.6	16		4,990,000
1	10	59	15.5		5,420,000
1	10	58.5	15		5,880,000
1	10	57.7	15		6,410,000
1	10	58.3	15.5		5,920,000
1	10	58.8	16		5,460,000
1	10	59.3	16.5		5,030,000
1	10	59.9	17		4,620,000
1	10	59.7	16.5		4,740,000
1	10	59.6	16.4		4,810,000
1	10	59.5	16.3		4,880,000
1	10	59.4	16.2		4,960,000
1	10	59.3	16.1		5,040,000

Bilaga 6

Bitumen 70/100 + vax Superpave

Töjning [%]	Frekvens [rad/s]	Fasvinkel [°]	Temperatur [°C]	G*/sin(δ) [Pa]	G*·sin(δ) [Pa]
12	10	81.1	75	974	
12	10	81.1	74.9	981	
12	10	81.1	74.8	989	
12	10	81.1	74.7	997	
12	10	81.1	74.6	1010	
12	10	81.1	74.5	1020	
12	10	81.1	74.4	1020	
12	10	80.9	75	1050	
12	10	80.9	75.1	1030	
12	10	81	75.2	1020	
12	10	81	75.3	1010	
12	10	81	75.4	994	
12	10	81	75.5	981	
10	10	75.7	70.8	1710	
10	10	75.6	70.5	1790	
10	10	75.4	70.2	1870	
10	10	75.2	69.9	1960	
10	10	75	69.6	2060	
10	10	74.8	69.3	2170	
10	10	74.6	69	2290	
10	10	74.4	68.7	2410	
10	10	79.7	68.5	2390	
10	10	79.7	68.6	2360	
10	10	79.7	68.7	2340	
10	10	79.7	68.8	2320	
10	10	79.7	68.9	2300	
10	10	79.7	69	2270	
10	10	79.7	69.1	2250	
10	10	79.7	69.2	2230	
10	10	79.7	69.3	2210	
10	10	79.7	69.4	2190	
10	10	79.8	69.5	2160	
1	10	55.2	19		3450000
1	10	54.7	18.5		3710000
1	10	54.2	18		3990000
1	10	53.6	17.5		4270000
1	10	53.1	17		4560000
1	10	52.5	16.5		4860000
1	10	51.8	16		5060000
1	10	51.1	15.5		5140000
1	10	50.8	15.5		5490000
1	10	51.2	16		5240000
1	10	51.9	16.5		5000000
1	10	52.5	17		4770000
1	10	52.5	16.8		4740000
1	10	52.5	16.7		4790000
1	10	52.4	16.6		4850000
1	10	52.3	16.5		4910000
1	10	52.2	16.4		4970000
1	10	52	16.3		5030000

Bilaga 7

Alternativ bedömning 70/100

Temp. [°C]	Frekv. [rad/s]	Frekv. [Hz]	Töjning [%]	Shear Stress [Pa]	Komplex modul [Pa]	Fasvinkel [°]	Lagringsmodul [Pa]	Förlustmodul [Pa]
50	0.063	0.01	1790	2000	113	89.8	0.48	110
50	0.063	0.01	1740	2000	115	89.7	0.54	110
50	0.063	0.01	1740	2000	116	89.7	0.56	120
50	0.063	0.01	1720	2000	116	89.7	0.57	120
50	0.063	0.01	1720	2000	116	89.7	0.57	120

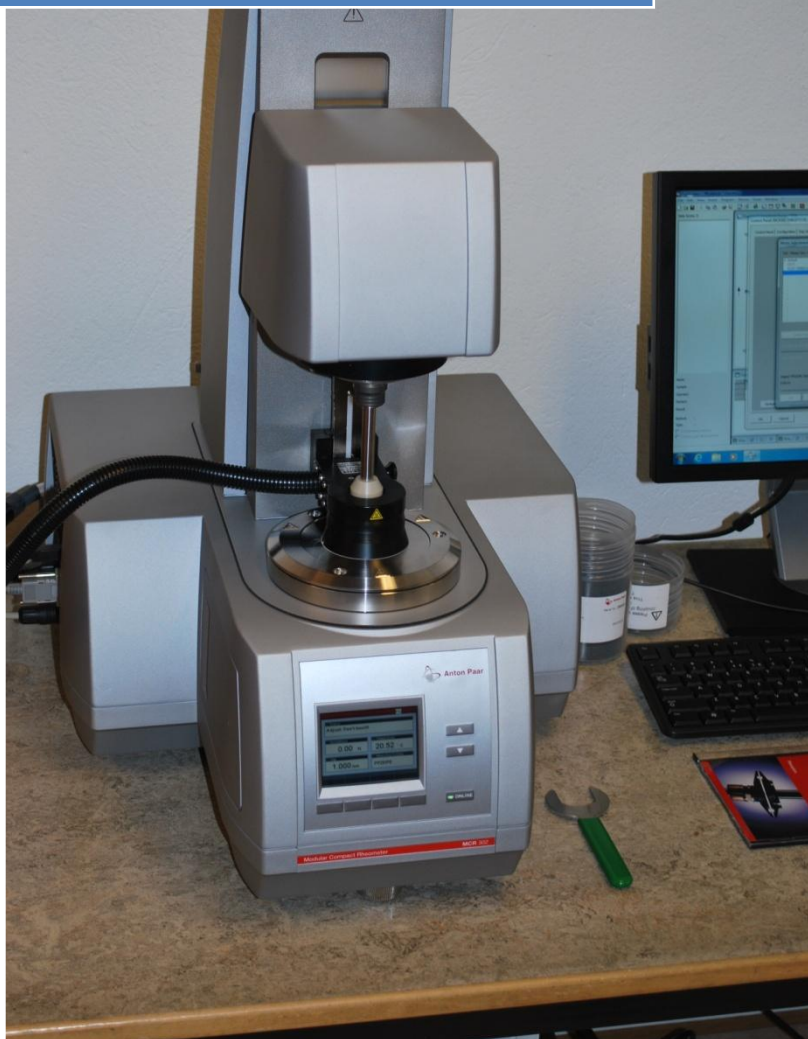
Alternativ bedömning 70/100 + vax

Temp. [°C]	Frekv. [rad/s]	Frekv. [Hz]	Töjning [%]	Shear Stress [Pa]	Komplex modul [Pa]	Fasvinkel [°]	Lagringsmodul [Pa]	Förlustmodul [Pa]
50	0.063	0.01	1210	2000	162	89.1	2.50	160
50	0.063	0.01	1250	2000	159	89.1	2.40	160
50	0.063	0.01	1270	2000	157	89.1	2.40	160
50	0.063	0.01	1280	2000	155	89.1	2.30	150

Bilaga 8

Maj 2013

Manual MCR 302 Anton Paar



Inledning

OBS! KOMPRESSORN TILL MASKINEN FÅR ALDRIG STÄNGAS AV OM INTE DSR ÄR TRANSPORTSÄKRAD! HUR MASKINEN TRANSPORTSÄKRAS FINNS FÖRKLARAT LÄNGRE FRAM.

Denna manual är avsedd för maskinen **Anton Paar MCR 302**. Manualen går stegvis igenom handhavande av maskin, rengöring samt avstängning. Tolkning av resultat berörs inte av denna manual.

TIPS: Gå igenom CD-skivan ”**Basics of Rheometry: Oscillation**” innan användning av maskin. Detta för att få en grundläggande kunskap om reologi och oscillation.

För manual till mjukvaran, Rheoplus, hänvisar vi till manual gjord av Anton Paar.

Uppstart

Har maskinen inte varit transportsäkrad kan användaren hoppa över steg 1 under denna rubrik. Läs om detta under rubriken *Transportavsäkring* längre fram innan ni fortsätter guiden.

1. Kontrollera vattenavskiljaren som hänger bak på kompressorn. Denna ska tömmas om det finns vatten i den.
2. Sätt igång kompressor. Bak, mitt på kompressorn finns ett reglage och munstycke. När tryckmätaren visar minst **5 bar** vrid reglaget så att det pekar inåt väggen, se figur.



Figur 1 - Ventil aktiverad

3. Starta upp vattenbadet. Börja med att trycka igång badet på chassit, sedan knappen i höger hörn på kontrollenheten ovanför. Vänta till displayen på enheten blinkar on/off. Tryck på I/O knappen under displayen, se figur. När vald temperatur syns som på figuren är vattenbadet redo.
4. Starta upp MCR-maskin genom knapp på vänster sida om apparaten. Vänta på att maskinen startar upp (ca 30sek). Kontrollera att displayen visar **Status: O.K.**



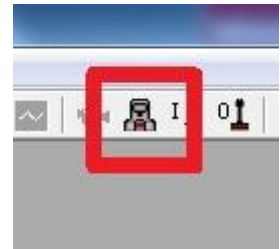
Figur 2 - Uppstart vattenbad

5. Starta upp datorn och sätt igång programmet ”**Rheoplus**”.

Transportavsäkring

Har maskinen varit transportsäkrad måste den avsäkras innan DSR mätningar kan påbörjas. Gå in i kontrollpanelen för maskinen, se figur nedan för att komma till kontrollpanel i Rheoplus.

1. Klicka på **Initialize** i kontrollpanelen. Detta gör att datorn ansluter till DSR.
2. Klicka på **lift position (80 mm)** i kontrollpanelen, för att köra upp mät huvudet. Plocka bort viloskyddet när mät huvudet kommit till sin utgångspunkt.
3. Montera mätutrustning, se figur nedan. Montera mätplattor, antingen 8 mm eller 25 mm, se till att strecken på mätplatta och DSR överensstämmer någorlunda. Displayen på DSR visar sedan att plattan är monterad. Klicka på **Detect** i kontrollpanelen för att datorn ska registrera mätplattan.



Figur 3 -
Kontrollpanel



Figur 4 - Montering
mätutrustning



Figur 5 - Mätplattor DSR

Kalibrering

För att undvika felaktiga mätresultat är det viktigt att kalibrering av DSR görs. Nedan följer ett antal olika kalibreringstest.

1. Använd vattenpass för att kontrollera att maskin står i lod, se figur. (OBS! Kontrollera i båda led). Använd annars fötterna under DSR för att justera.
2. I kontrollpanelen finns fliken *Service*. Klicka på *Drive* under *Inertia* i denna flik. Starta testet. När testet är klart, klicka på **Save** och tryck sedan på **Cancel**. OBS: Mätplattan ska inte vara monterad under detta test!

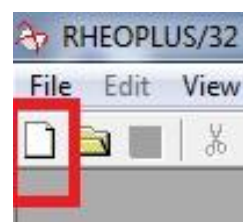
3. Klicka på *Meas. System...* under *Inertia* under samma flik. Starta testet. När testet är klart, klicka på **Save** och tryck sedan på **Cancel**. OBS: Mätplattan ska vara monterad under detta test!



Figur 6 - Kalibrering vattenpass

4. I kontrollpanelen finns knappen **Set Zero Gap**, detta kalibrerar nollpunkten för plattorna. Detta måste alltid utföras innan mätning med olika plattor genomförs.

5. Öppna en ny arbetsbok uppe i vänster hörn i programmet, se figur. Använd mallarna som finns under Standard Templates. Gå till flik <Support> och mallen *Expert: Adjustment: Motor Adjustment and Air Check* för att göra en kontroll av lufttrycket.



Figur 7 - Ny arbetsbok

Starta testet genom att trycka på play-knappen i kontrollmenyn. Spara filen under lämpligt namn.

6. Gå tillbaka till kontrollpanelen och fliken *Service*. Klicka på *Motor Adjustment...* Ange rätt mätsystem, klicka på **Start**. OBS! Följ anvisningarna, under detta test får DSR inte utsättas för vibrationer. Denna kalibrering förbättrar värdet vid *Air check* testet.
7. När steg 6 har genomförts, upprepa steg 5 en gång till för att kontrollera att systemet är för en jämnare kurva.

8. Gör ett kalibreringstest med det viskoelastiska referensmaterialet. Öppna en ny arbetsbok och välj mall under <Support>. Välj *SMART Application: Visco-Elastic Verification in Oscillation with PSTD1000VE with 25mm geometry*. Följ stegen och starta testet.

Preparering av prover

Enligt SS-EN 14770:2012 ska bitumen värmas upp till mjukpunkt plus ytterligare 80° C innan viskoelastiska mätningar påbörjas. Värm därför upp provet i ugn till lämplig temperatur.

Applicera ungefär 0,49 gram bitumen på silikonplattan som bild visar, vid mätning med 25 mm plattor. Ställ sedan provet i kylskåp i 15 minuter för att stelna. Fäst provet på den övre mätplattan, se bild.



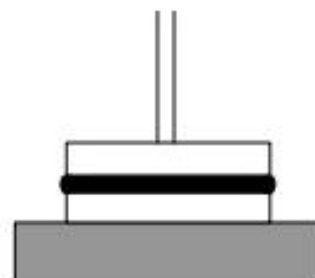
Figur 8 - Preparering silikonplatta



Figur 9 - Preparering mätplatta

Höj upp temperaturen på mätutrustningen till strax över 100° C. Sänk ner mät huvudet så att provmaterialet precis når den nedre plattan. Snurra sakta den övre leden så provet fördelas jämnt mellan plattorna.

Sänk ytterligare tills att hela kontaktytan på mätplattorna har kontakt med bitumen. Viktigt att det trycks ut som en bulle runt hela, se figur.



Figur 10 - Optimal provbredning

Starta ett test

Öppna en ny arbetsbok och välj en ny mall under fliken **Oscillation**. Här finns mall för att göra amplitudsvep och frekvenssvep.

- *Amplitude sweep: Standard template with LVE-Range analysis at 10rad/s.*
- *Frequency sweep: Standard Sweep.*

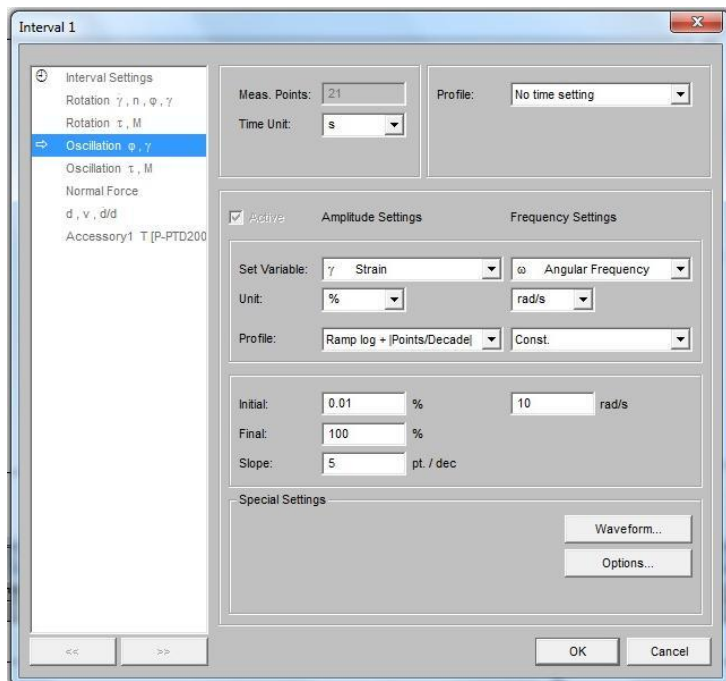
Measure profile

I fönstret measure profile, se figur, ställer du in parametrar till testet, t.ex. frekvens och amplitud för testet.



Figur 11 - Mätprofil

Fyll i önskade värde för parametrarna och klicka sedan på ”OK”.



Figur 12 - Mätprofil

Starta därefter testet genom att klicka på **Start test** uppe i höger hörn under Measure profile. Ett popup fönster visas.

- Under första fliken ”Information Texts and Start” anges namn för testet.
- Under fliken *Temperature Settings* kan en bestämd temperatur och eventuell tid för denna temperatur anges innan provet börjar.

Börja testen genom att trycka **Start the Test Now**.

Rengöring

Det är viktigt att maskinen rengörs mellan mätningarna och efter att mätningarna är klara. Var noga med att se till att mätplattorna är helt rengjorda från provmaterial. Använd medföljande nyckel för att lossa den nedre plattan, se figur.

Använd medlet ”SmartSolve” för att lösa bitumen. För att lättare få bort provmaterial, såsom bitumen, kan plattorna värms upp. Detta görs på maskinens kontrollpanel och under temperatur.



Figur 13 -
Monteringsnyckel

För att lättare rengöra eventuella verktyg såsom sked rekommenderas att dessa också värms upp med exempelvis en tändare.

Avstängning

Beroende på om maskinen ska transportsäkras eller inte krävs olika procedurer. Här följer hur maskinen stängs av utan att transportsäkras.

OBS! Kompressorn får EJ stängas av om inte maskinen är transportsäkrad.

Börja med att gå in i kontrollpanelen för DSR. Klicka på lift position (80 mm). Stäng av MCR genom knapp nere till vänster om maskinen. Stäng av vattenbadet på samma sätt som under rubriken Uppstart.

Transportsäkring

Om maskinen inte ska användas på en längre tid, ska flyttas eller kompressorn ska stängas av måste DSR transportsäkras. Steg följer för att ställa maskinen i detta läge.

Transportsäkra MCR

1. Börja med att gå in i MCR kontrollpanel.
2. Klicka på **lift position** (80 mm).
3. Montera av mätplattor och mätutrustning.
4. Gå offline på maskinen genom att klicka på knappen **Online** på framsidan av DSR. Grön lampa ska sluta lysa. Datorn är nu fränkopplad och maskinen kan endast styras genom knapparna på DSR framsida.
5. Lägg transportskyddet som på bilden och håll in neråt knappen på framsidan. Maskinen kommer att gå sakta neråt till en början, sen öka och när det närmar sig kudden sakta ner igen. Håll in knappen tills att **Park** syns i displayen.
6. Håll därefter in **Park** tills att rutan under *position* visar ”---,---”.
7. Stäng av maskinen genom knapp nere till vänster om maskinen.



Figur 14 - Transportsäkring

Maskinen är nu transportsäkrad och det går bra att stänga av kompressor.

Transportsäkra kompressor

Kompressorn behöver inte transportsäkras mellan användning utan behöver endast transportsäkras när den ska flyttas. Detta för att den inte ska skadas.

1. Lossa den främre luckan på kompressorn. Detta görs genom två skruvar högst upp på maskinens framsida.
2. Lossa jordkabeln.
3. Montera de två medföljande distanserna under fjärdringen och på varje sida om maskinen, se bilder.



Figur 15 - Transportdistanser



Figur 16 - Monterade distanser