

Datum

2010-04-14

Författare

Kenneth Olsson – Skanska

Niclas Krona – Skanska

Thorsten Nordgren – Vägverket

Skanska Sverige AB

Teknik - Väg och Asfalt

Box 49

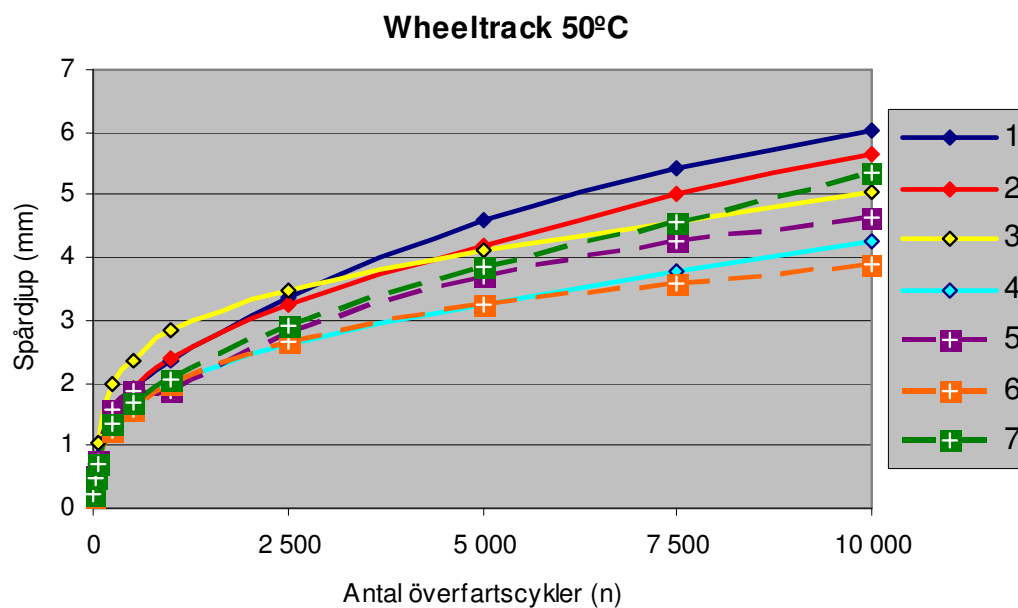
123 21 Farsta

Tel: 010-448 78 67

Beteckning

12091

# Asfaltbeläggningar med bindemedel av olika ursprung



# FÖRORD

Detta projekt har varit samfinansierat mellan SBUF och Vägverket.

Referensgruppen har bestått av följande personer:

Kenneth Olsson,	Skanska Teknik	<i>Projektledare</i>
Niclas Stenberg,	Skanska Teknik	
Thorsten Nordgren,	Vägverket	
Gustav Petersson	Vägverket	
Jonas Ekblad,	NCC Roads	
Lars Jansson,	PEAB Asfalt	

Det laborativa arbetet har utförts av laboratorier inom Skanska, NCC, Peab, Svevia, KTH, VTI och Pankas. Utläggning av provsträckorna genomfördes av Skanska Asfalt & Betong Väst. Jonas Ekblad har med sina statistiska kunskaper utfört en rangordning av bindemedlen utifrån de resultat som framkommit i denna undersökning.

Provsträckorna kommer att följas i framtiden.

/Kenneth Olsson

# SAMMANFATTNING

Från och med 2010 kommer Sverige att helt anpassa sig till den nya harmoniserade Europeiska bitumenspecifikationen (EN12591:2009). Sveriges strängare krav för dynamisk viskositet vid 60 °C, genom den sk A-deviationen försvinner och förändringen kommer förmodligen att innebära ett ökat utbud av bitumen där råoljan har varierande ursprung.

För att undersöka effekten av förändringen initierade Vägverket detta projekt 2008 där 7 olika bitumenleverantörer fick möjlighet att delta i ett fullskaleförsök där bitumen 70/100 upphandlades enligt den nya Europaspecifikationen för penetrationsbitumen. Två av dessa bitumen klarade inte den tidigare svenska specifikationen. Av vardera bitumentyp tillverkades ca 500 ton asfaltmassa som lades ut på Rv 49 mellan Mariesjö-Ingelstorp. Vid tillverkningen uttogs bindemedelsprover och massaprover för jämförande laboratorieundersökningar där de flesta av branschens aktörer medverkade. Även borrhprover från vägen har analyserats.

Laboratorieundersökningarna som utfördes täcker in de olika relevanta funktionella egenskaperna som antas avgörande för en beläggning t ex nötningsresistens, beständighet, lågtemperaturegenskaper samt deformationsegenskaper.

Undersökningen visar i några fall att de olika bitumen ger skilda resultat beroende på vilken funktionsegenskap som provats. De båda bitumen som låg utanför den svenska specifikationen uppvisar de bästa deformationsegenskaperna både med wheeltrack vid 50 °C och dynamisk kryptest vid 40 °C. Dessa båda bitumen tillhör också den grupp som har de högsta styvhetsmodulerna.

I projektet konstaterades att återuppvärmningen av asfaltmassa i värmeskåp före tillverkning av plattor gav ett kraftigt hårdnande av bitumen och där de olika bitumentyperna reagerade olika.

Analysen enligt ITSR på asfaltmassan visar inte på några skillnader mellan de olika bitumentyperna även efter det att provkropparna utsatts för frys/tö-konditionering. Inte heller nötningsegenskaperna skiljer sig åt mellan de olika bitumentyperna.

Den metod som särskiljer de olika bitumentyperna mest åt är rullflasketestet. Den utprovade kvartsiten har dokumenterat goda nötningsegenskaper men ytan är mycket slät och inget av bindemedlen klarade 24 h-testet utan vidhäftningsmedel. Vid tillsatt cement så klarade sig två bitumen klart bättre än övriga.

Framtiden med den nya europeiska specifikationen för penetrationsbitumen kommer att ställa större krav på entreprenören att ha erfarenheter kring bitumen. Speciellt då flertalet entreprenader i framtiden förmodligen kommer att upphandlas med funktionskrav på asfaltbeläggningsen.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1. BAKGRUND</b>	<b>6</b>
<b>2. SYFTE</b>	<b>7</b>
<b>3. GENOMFÖRANDE</b>	<b>7</b>
<b>4. PROVNINGAR</b>	<b>8</b>
<b>5. FINANSIERING</b>	<b>9</b>
<b>6. MATERIAL OCH METODER</b>	<b>10</b>
6.1 Bitumen	
6.1.1 Normanalyser	
6.1.2 Bindemedlets förhårdnande	
6.2 Slitage i vändskak	
6.3 Sammansättning på asfaltmassorna	
6.3.1 Tillverkning av asfaltplattor	
6.4 Testmetoder på asfaltprover	
6.4.1 Hamburger Wheeltrack	
6.4.2 Dynamisk krypstabilitet	
6.4.3 Styvhetsmodul	
6.4.4 Vattenkänslighet (ITSR)	
6.4.5 Vidhäftning enligt rullflaskemetoden	
6.4.6 Slitage enligt Prall	
6.4.7 Lågtemperaturregenskaper enligt TSRST	
<b>7. RESULTATREDOVISNING</b>	<b>21</b>
7.1 Bitumen	
7.1.1 Normanalyser	
7.1.2 Bindemedlets förhårdnande	
7.2 Slitage i vändskak	
7.3 Asfaltmassa	
7.3.1 Hamburger Wheeltrack, +50°C torrt	
7.3.2 Hamburger Wheeltrack, +50°C vatten	
7.3.3 Dynamisk krypstabilitet	
7.3.4 Styvhetsmodul	
7.3.5 Vattenkänslighet (ITSR)	
7.3.6 Vidhäftning enligt rullflaskemetoden	
7.3.7 Slitage enligt Prall	
7.3.8 Lågtemperaturregenskaper enligt TSRST	
<b>8. RESULTATDISKUSSION OCH SLUTSATSER</b>	<b>47</b>

Bilaga 1: Loggdata från packning av plattor

Bilaga 2: Åldringsegenskaper bitumen 1-7

Bilaga 3: Styvhetsmodul borrhärnor

Bilaga 4: Skiss på provytor

# 1. BAKGRUND

Den nya bitumensspecifikationerna EN 12591:2009 som börjar gälla 2010 innebär att nya bitumen (bindemedlet i asfalt) kan dyka upp på den svenska marknaden. För svensk del innebär det att kravnivån på dynamisk viskositet vid 60°C sänks eftersom vi tidigare haft ett undantag genom den sk A-deviationen. En förstudie som gjordes av Vägverket 2006-2007 på bitumen av sorten 160/220 antydde stora skillnader mellan hur bitumen av olika härkomst påverkade de funktionella egenskaperna på den färdigtillverkade asfaltmassan, även om alla de testade produkterna föll inom ramarna för den kommande EN-specifikationen. Testmetoden som visade på störst skillnad mellan olika bitumen var spårbildning efter Hamburg Wheeltrack i vatten. Denna metod, dock vid körning i torrt tillstånd, finns med i de nya europeiska materialspecifikationerna för asfalt (EN 13108). Det gick även att se stora skillnader i dynamisk krypstabilitet som för närvarande utgör stabilitetskravet i svenska VVTBT och asfaltmassorna delades även här in i olika klasser. Däremot var rangordningen baserad på de olika testmetoderna väldigt olika. Det fanns alltså en betydande tvetydighet i resultaten i kombination med tydliga indikationer på att bindemedlet kan ha stor inverkan på hur asfalten klassas.

För att fortsätta utreda vilken inverkan bindemedel av olika härkomst har på asfaltens egenskaper startades detta samfinansierade fullskaleprojekt mellan branschens företag och Vägverket.

## 2. SYFTE

Med utgångspunkt från erfarenheterna i Vägverkets förstudie i bitumenprojektet har nya bindemedel med olika härkomst jämförts. Denna gång har både bindemedlets och den färdiga asfaltmassans egenskaper utvärderas till fullo med en mängd metoder och inte bara de som ingår i aktuella kravspecifikationer. Genom att isolera inverkan från skillnader i asfaltmassans sammansättning och provberedningen skall tydliga slutsatser kring bindemedlets inverkan kunna dras.

## 3. GENOMFÖRANDE

Asfaltmassa av typen ABS 16 tillverkades på Skanskas asfaltverk i Billingsryd med sju olika bitumen av sorten 70/100. De av Vägverket utvalda bitumenleverantörerna är de dominerande i norra Europa och skall spegla de olika typer av råolja som förekommer i bitumen (Venezuela, Mellanöstern och Ryssland). Asfaltmassorna är utlagda på Rv 49 mellan Mariesjö-Ingelstorp (ca 500 ton av varje sort i en mängd av 90 kg/m<sup>2</sup>). Provytorna kodades med en nummerserie från bitumen 1 till bitumen 7 där enbart Vägverket har tillgång till kodnyckeln. Asfaltmassa för tillverkningen av laboratoriepackade plattor togs ut i samband med produktionen. Tillverkningstemperaturen låg kring 160-165 °C. Asfaltreceptet togs fram i en odokumenterad förstudie till projektet där en receptutvärdering gjordes för vardera bitumensort på laboratorieblandade asfaltmassor.

Marshallhålrummen från förstudien användes sedan för att korrigera bindemedelshalterna i fullskaleproduktionen. Vardera asfaltmassa har kontrollerats gentemot receptet (bindemedelshalt, kornkurva och hålrum) på produktionslaboratoriet i samband med provberedningen och tillverkningen av asfaltplattorna samt vid produktionstillfället vid asfaltverket. Ytorna på väg 49 har dokumenterats på skiss och finns med som bilaga 4 i denna rapport.

## 4. PROVNINGAR

Asfaltmassorna tillverkades på Skanskas asfaltverk i Billingsryd. Asfaltplattorna för Wheeltrack-provning och framställning av provkroppar har tillverkats på Skanskas laboratorium i Angered, Göteborg.

### Test:

Normkontroller Bindemedel  
Tillverkning av plattor  
Återvinning av bindemedel  
Åldringsegenskaper bindemedel  
Hamburg Wheeltrack torrt och i vatten  
Dynamisk Krypstabilitet  
Styvhetsmodul (före och efter åldring)  
Styvhetsmodul (före och efter frys/tö kond.)  
Styvhetsmodul borrhärnor 1 år  
Vattenkänslighet  
Vattenkänslighet efter frys/tö konditionering  
Rullflasketest  
Slitage i vändskak  
Slitage enligt Prall efter åldring  
Fältuppdragen, borrning

### Utfört av:

VTI  
Skanska  
Skanska  
Skanska  
Pankas A/S  
Skanska,  
Skanska  
Skanska  
Vägverket produktion  
PEAB  
PEAB, NCC  
Skanska, NCC  
Skanska  
Skanska



Köldegenskaper, TSRST	KTH
DSR – Temperatursvep på bindemedel*	VTI
Trafikmängdbaserad bindemedelskaraktärisering*	Asphalt Institute (USA)
Kemisk karaktärisering bindemedel*	VTI

\* Redovisas i separat rapport från VTI dock med annan kodning för respektive bitumensort.

## **5. FINANSIERING**

Projektet har genomförts med finansiering från SBUF och Vägverket.

## **6. MATERIAL OCH METODER**

### **6.1 Bitumen**

#### **6.1.1 Normanalyser**

Bindemedlen har kontrollerats mot specifikationen för kvalitet 70/100 enligt kraven i EN-12591:2009.

#### **6.1.2 Bindemedlets förhårdnande**

Bindemedelsprover uttagna i samband med asfaltproduktionen har analyserats som referens ( ”0-prov” i bilaga 2). Förutom att asfaltmassans bitumen hårdnats vid asfaltproduktionen och vid tillverkningen av plattor så har 3 olika typer av accelererad åldring av asfaltproverna utförts i laboratoriet och bindemedlet har sedan extraherats och analyserats. Även borrhärnor från väg efter 1 år har borrats upp och extraherats och analyserats.

Återvunnet bindemedel från tillverkade asfaltprovkroppar har viskositetsbestämts med rotationsviskosimeter typ Brookfield vid ett antal olika temperaturer. Även mjukpunkt och penetration har undersökts vid varje tillfälle.

#### **Förhårdning av bitumen vid tillverkningen i asfaltverket**

Bindemedlet från vardera asfaltmassa återvanns på laboratoriet efter en kortare uppvärmning på ca 2 timmar i ugn. Dessa resultat skall spegla hur tillverkningen vid asfaltverket påverkat (hårdnat) bindemedlet, dvs det som vi idag kallar mjukpunktsförändringen i VVTBT. Dessa prover benämns ”Efter tillverkning” i bilaga 2.

### **Lagring av provkroppar vid +60°C i ugn i 50 dagar**

Provkroppar från plattor har på laboratoriet lagrats vid 60 °C i ugn i 50 dagar. Bindemedlet har sedan extraherats med lösningsmedel och analyserats. Dessa prover benämns ”60 °C i ugn 50 dagar” i bilaga 2.

### **Osmotisk samt Frys/Tö- konditionering av provkroppar från plattor**

Provkroppar har på laboratoriet mättats med och lagrats i 30-procentig saltlösning under två dygn vid 40 °C (osmotisk konditionering). De osmotiskt lagrade provkropparna placerades i plastpåsar i klimatskåp där temperaturen fick växla mellan -20 och 20 °C med 12 h intervall under 7 dygn (frys/tö konditionering). Bindemedlet har därefter extraherats och analyserats. Dessa prover benämns ”Osmotisk-Frys/Tö” i bilaga 2.

### **Lagring av asfaltmassa på plåt i ugn**

Asfaltmassa från kartong har värmts upp till 150 °C under 4 timmar och därefter lagts ut på plåt i värmeskåp i 120 °C under 24 h. Bindemedlet har sedan extraherats och analyserats. Dessa prover benämns ”Massa i värmeskåp 24 h 120 °C” i bilaga 2.

### **Tillverkning av plattor omgång 2**

För att repetera vissa tester tillverkades ytterligare en omgång plattor. Eftersom asfaltmassan låg i 20-25 kg:s hinkar så blev uppvärmningstiden ca 9 timmar i ugn innan rätt tillverkningstemperatur (160 °C) uppnåddes. Bindemedlet har därefter extraherats från de tillverkade plattorna och analyserats. Dessa prover benämns ”omgång 2 i värmeskåp” i bilaga 2.

### **Borrkärnor efter 1 år.**

Efter 1 års trafikering borrades provkroppar upp som efter ITSR konditionering (Fas 446-01) extraherades och analyserades. Dessa prover benämns ”borrkärnor 1 år” i bilaga 2.

## 6.2 Slitage i vändskak

Asfaltmassans finkorniga stenmaterial tillsammans med bindemedlet brukar kallas asfaltbruk eller ”Mastix”. Asfaltbrukets egenskaper kopplas bl.a. samman med belägningens beständighet och fuktresistens. En serie (9st) laboratorietillverkade mastixprovkroppar med aktuell 0 – 2 mm stenmaterialfraktion är tillverkad för vardera bitumen. Metoden för tillverkning av mastix-provkroppar är under utveckling.

Vändskakmetoden är en metod under utveckling som är avsedd att bedöma nöttningsresistensen hos asfaltbruket. Mastixprovkropparna mättas i undertryck och lagras sedan vid 40 °C i 48 timmar. Därefter vägs de och placeras i ett delvis vattenfyllt metallrör. Röret roteras 3600 varv under två timmar i vändskakutrustningen så att provkropparna faller fram och tillbaka mellan topp och botten. Efter behandlingen vägs provkropparna och mängden bortnött material som del av ursprungsvikten antecknas som slitagevärdet (vikt-%).



**Bild 1: Mastixprovkroppar före och efter slitage i vändskak.**



**Bild 2: Vändskakutrustning.**

## 6.3 Sammansättning på asfaltmassorna

Alla asfaltprover är uttagna under produktion på Skanskas asfaltverk i Billingsryd. Sammansättningen på asfaltmassan och överensstämmelse mot recept kontrollerades i samband med provberedningen samt under provtagningen vid asfaltverket. Ett medelvärde av dessa analyser visas i nedanstående tabell 1.

Bitumen	BH (rec)	Komp.d.	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4
1	6,4 (6,2)	2,448	9,6	12	15	17	20	24	27	31	39	59	95	100
2	6,4 (6,4)	2,447	9,6	12	14	15	18	23	28	31	42	62	94	100
3	6,4 (6,3)	2,459	9,6	12	14	17	19	23	27	32	41	59	95	100
4	6,3 (6,2)	2,450	9,2	12	14	15	18	23	27	31	39	59	95	100
5	6,2 (6,2)	2,460	9,5	12	14	16	18	23	26	30	39	60	95	100
6	6,2 (6,1)	2,451	9,9	12	14	15	17	22	25	30	39	58	96	100
7	6,2 (6,2)	2,458	9,5	12	14	15	18	23	26	30	39	59	96	100

**Tabell 1 Sammanställning över sammansättning (medel 2 analyser)**

Sammansättningen visar på mycket små variationer i kornstorleksfördelning och bindemedelshalt. Hålrumshalten i recepten är proportionerade till 2,5 vol-% för samtliga varianter av bitumen.

### 6.3.1 Tillverkning av asfaltplattor

Tillverkning av plattor har gjorts i en s.k. Plate Compactor-utrustning från MLPC i Frankrike.

Plattan packas i en stålform med hjälp av ett luftfyllt gummihjul som rullas fram och tillbaka över plattan i olika positioner enligt ett visst schema. Plattorna har längd-bredd förhållandet 600mm x 400mm.

Eftersom höjden på plattorna som tillverkats för HWT-analys är låst till 50 mm har exakt mängd massa vägts in ( $\pm 1$  g) istället för att som annars anpassa plattans höjd till den uttagna provvikten.



**Bild 3: Plate Compactor.**

I samband med tillverkningen av varje platta har datum, mängd massa, temperatur samt antal överfarter med gummihjulet dokumenterats, se bilaga 1. I den första omgången packades 44 st plattor för framställning av de olika provkroppar som behövdes för de funktionella testerna. För att öka bindemedlets inverkan på den strukturella styrkan hos proverna var målet att underpacka alla plattor mot 5 % i hålrums halt.

Under projektets gång konstaterades att resultaten från dynamisk krypstabilitet gav mycket höga värden vid de låga packningsgraderna och att det var svårt att dra några jämförelser mellan de olika bindemedlen. Misstanke fanns att packning av ABS16 till en tjocklek på 80 mm för att få fram 60 mm:s provkroppar inte ger representativa provkroppar. För att bekräfta dessa misstankar togs beslutet att upprepa både wheeltrack och krypstabilitetsförsöken på en ny serie plattor. Denna gång tillverkades asfaltplattorna för dynamisk krypstabilitet på samma sätt som plattorna för wheeltrackanalys, d v s packning till 50 mm:s höjd.

Provkropparna sågades sedan till 30 mm och kombinerades parvis för att uppnå 60 mm tjocklek som metoden kräver.

Loggdata från packningen av asfaltprovplattorna från omgång 1 samt omgång 2 redovisas i bilaga 1. Packningstemperaturen har varit mellan 155 – 160 °C.

Temperering har skett i ugn där provstorleken var ca 20-25 kg. Det krävdes ca 8-9 timmars uppvärmning. Packningsinsatsen som krävdes för att nå önskad måldensitet varierade mellan asfaltmassorna.

## 6.4 Testmetoder på asfaltprover

### 6.4.1 Hamburg Wheeltrack (EN 12697-22)

I denna variant av wheeltrack används ett mindre hjul med solitt gummidäck och 50 mm bred rektangulär profil som rullar över plattan med en hastighet av 26,5 cykler per minut och ett tryck på 0,7 kN. En cykel är lika med en överfart fram och tillbaka och provningen pågår i 20000 överfarter eller 20 mm spår djup. För wheeltrackanalyserna har två plattor tillverkats som delats och sedan återkombinerats så att de två hjulen i wheeltracktestet körts på en platta vardera.



**Bild 4: Hamburg Wheeltrack.**

Deformationen redovisas sen som ett medelvärde från de båda hjulen/plattorna. Provningsen har utförts i både luft och vattenbad i en tempererad klimatkammare. Allteftersom deformationen ökar ändras hjulets vertikala läge och förändringen mäts vid bestämda intervall. Innan provningen bestäms plattans skrymdensitet enligt FAS 427.

Resultatet redovisas dels som uppmätt proportionellt spår djup i mm (PRD) och dels som lutningen på spårtillväxten mellan 5000 och 10000 cykler (WTS).



### 6.4.2 Dynamisk krypstabilitet (FAS-468)

Denna metod är avsedd för bestämning av permanent deformation hos en provkropp genom pulserande belastning. En provkropp, diameter 150 mm, med 60 mm tjocklek utsätts för en vertikal periodisk belastning med frekvensen 0,5 Hz och belastning 100 kPa. Efter 3600 pulser mäts deformationen och redovisas i förhållande till provkroppens tjocklek. Provningen utförs i klimatskåp på prover tempererade till 40 °C.

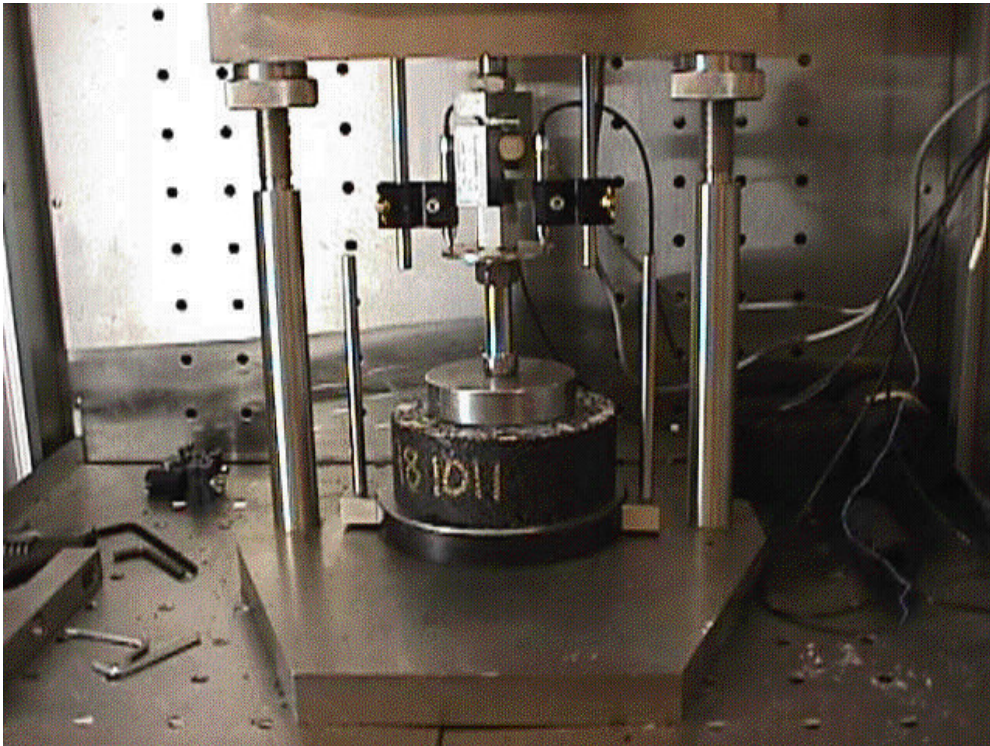


Bild 5: Dynamisk kryptest.

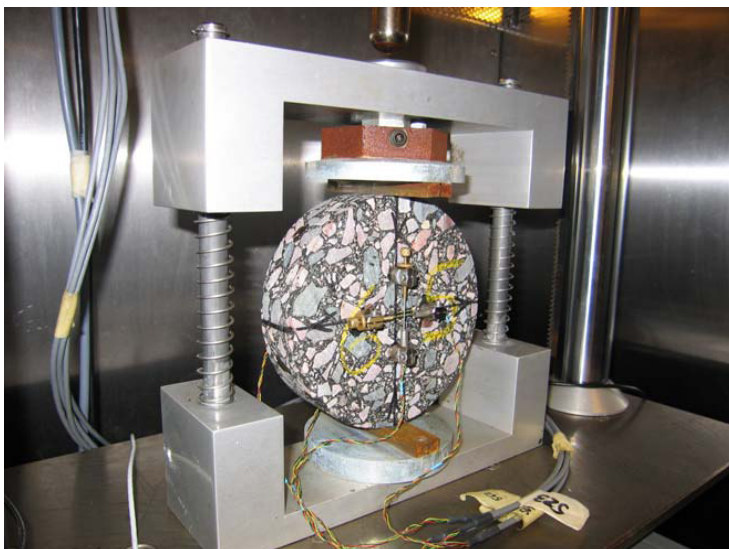


### 6.4.3 Styvhetsmodul

Metoden avser att bedöma belägningens styvhet vid olika temperaturer. I detta projekt har bara mätning utförts vid 10°C. Under analysen belastas en cylinderformad provkropp på mantelytan under 0,1 s. Kraften som krävs för att uppnå en förutbestämd töjning används för att beräkna belägningens styvhetsmodul (FAS Metod 454 / SS EN 12697-26).

En omgång provkroppar har laboratorieåldrats vid 60°C och styvhetsmodul har mätts efter 25 respektive 50 dagar. En andra omgång provkroppar har mättats med och lagrats i 30-procentig saltlösning under två dygn vid 40 °C (osmotisk lagring). Därefter mättes styvhetsmodulen. De osmotiskt lagrade provkropparna placerades i vatten i klimatskåp där temperaturen fick växla mellan -20 och 20°C med 12 h intervall under 7 dygn (frys/tö konditionering). Därefter mättes styvhetsmodulen än en gång vid 10°C.

Även upptagna borrhärnor efter 1 år har testats dels direkt och dels efter en normal konditionering enligt ITSRS-metoden, (FAS 446).



**Bild 6: Styvhetsmodul.**

#### 6.4.4 Vattenkänslighet (ITSR, FAS 446)

Genom att jämföra den indirekta draghållfastheten för asfaltprovkroppar som mättats med vatten under tryck och lagrats i vattenbad vid 40 °C under 7 dygn med obehandlade prover kan ett måttetal för vattenkänsligheten hos asfaltmassan bestämmas. Den indirekta draghållfastheten bestäms genom att de cylinderformade provkropparna pressas mot mantelytan med en konstant hastighet på 50 mm/min och den största uppnådda kraften innan brottet bestäms (draghållfastheten i kPa). Kvoten av draghållfastheten hos de vattenbehandlade provkropparna och draghållfastheten för de obehandlade proverna anges i procent som beläggningsens vidhäftningstal.

Samma förfarande har även utförts med ytterligare en serie/bitumensort fast med skillnaden att de påverkade asfaltprovkropparna har genomgått frys/tö cykler, dvs cykler mellan -20 och 20 °C med 12 h intervall under 7 dygn.



**Bild 7: ITSR genom pressdrag.**

### 6.4.5 Vidhäftning enligt rullflaskemetoden (Fas 455-01)

Metoden avser att bedöma bindemedlets förmåga att klistra mot det aktuella stenmaterialet. Stenar med diametern 5,6 – 8mm täcks med ett tunt lager bindemedel och placeras i en vattenfylld flaska som rullas mellan två valsar. Andelen yta som fortfarande är täckt med bindemedel efter 24 h bedöms av två personer och anges i procent. Försök har utförts både med och utan cement.

### 6.4.6 Slitage enligt Prall (Fas 471)

Metoden avser att bedöma asfaltbelägningens slitstyrka. En cylinderformad borrkärna (Ø 100 mm) placeras i en tättslutande metallbehållare med öppen ovansida. Locket som fästs på behållaren har öppningar för genomflödande vatten och ett fritt utrymme på 4 cm mellan locket och provets yta. I locket placeras 40 stålkulor med diametern 12 mm. Behållaren med provkropp och metallkulor sätts i rörelse (slaghöjd 43 mm, frekvens 950 slag/min) under 15 min, bortnött material förs bort med genomflödande vatten. Både provkroppen och vattnet är tempererat till 5 °C. Volymen bortnött material anges i cm<sup>3</sup> som belägningens slitagevärde.

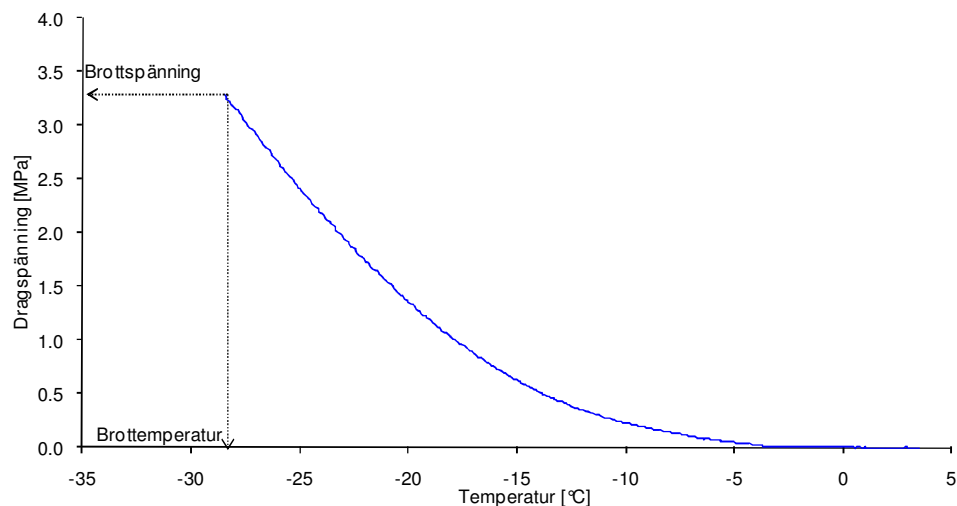
Försöken har utförts på urborrade kärnor från platta som åldrats i 60 °C under 50 dygn.



Bild 8: Provkroppar efter Prall.

## 6.4.7 Lågtemperaturregenskaper enligt TSRST

Bedömningen avseende belägningens sprickbenägenhet vid låg temperatur baseras på mätningar av köldbrottstemperatur med sk. TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test), vilket har utförts vid Kungliga Tekniska Högskolan, avdelningen för väg- och banteknik. Principen vid denna provning är att asfaltprovets längd hålls konstant under kontinuerlig nedkylning varvid de uppkommande termiska dragspänningarna så småningom leder till brott. De huvudsakliga parametrar som bestäms är brottemperatur och brottspänning (se figur 1).



Figur 1. Typiskt resultat från provning enl. TSRST samt definition av bestämda parametrar.

Provningsgeometrin var kvadratiska balkar med sidan 35 mm och längden 250 mm. Balkarna sågades ur provplattor tillverkade vid Skanska i Angered. Proverna har lagrats lika lång tid och testats i samma ordning som de kom till KTH. TSRST-mätningen påbörjades vid 2 °C varefter temperaturen sänks med 10 °C per timme tills dragbrott uppträder. För samtliga blandningar provades 2 balkar.

## 7. RESULTATREDOVISNING

### 7.1 Bitumen

#### 7.1.1 Normanalyser

Egenskap	Krav enl EN 12591:2009	Bitumen						
		1	2	3	4	5	6	7
Penetration (1/10mm)	70 - 100	71	83	83	72	83	80	84
Mjukpunkt (°C)	43 - 51	47	46	46	46	46	47	46
Kinematisk visk. 135°C (mm <sup>2</sup> /s)	≥230	357	386	367	336	192	465	366
Dynamisk visk. 60°C (Pa s)	≥90	150	137	174	112	105	172	171
Löslighet (vikt-%)	≥99,0	100,0	99,8	100,0	99,8	99,5	100,0	100,0
Fraass brytpunkt (°C)	≤-10	-16	-19	-18	-19	-18	-20	-19
Flampunkt (°C)	≥230	352	346	320	356	326	340	284
Viktförlust RTFOT (%)	≤±0,8	0,1	0,0	-0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1
Bibehållen pen. e RTFOT (%)	≥46	65	67	67	64	48	64	61
Mjukpunkt e RTFOT (°C)	≥45	51	52	52	51	52	52	51
Mjukpunktsökning e RTFOT (°C)	≤9	4	5	5	5	6	5	5
Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	-	1019	1015	1019	1012	1028	1022	1023

**Tabell 2: Normanalyser bitumen**

Bindemedelsproverna som togs ut i samband med tillverkningen av asfaltmassorna har analyserats två gånger m a p penetrationsvärde och mjukpunkt, både som del av normanalyserna (tabell 2) och i samband med att förhårdningen av bindemedlen undersöktes. Resultaten jämförs i Tabell 3 och i den fortsatta texten kommer analysvärdena som benämns ”0-prov åldring” att användas för att få ett grepp om de olika bindemedlens förhårdning. Resultaten i tabell 3 visar också att reproducerbarheten mellan de båda labben ligger inom de givna toleranserna enligt EN 1426 Penetration och EN 1427 Mjukpunkt.

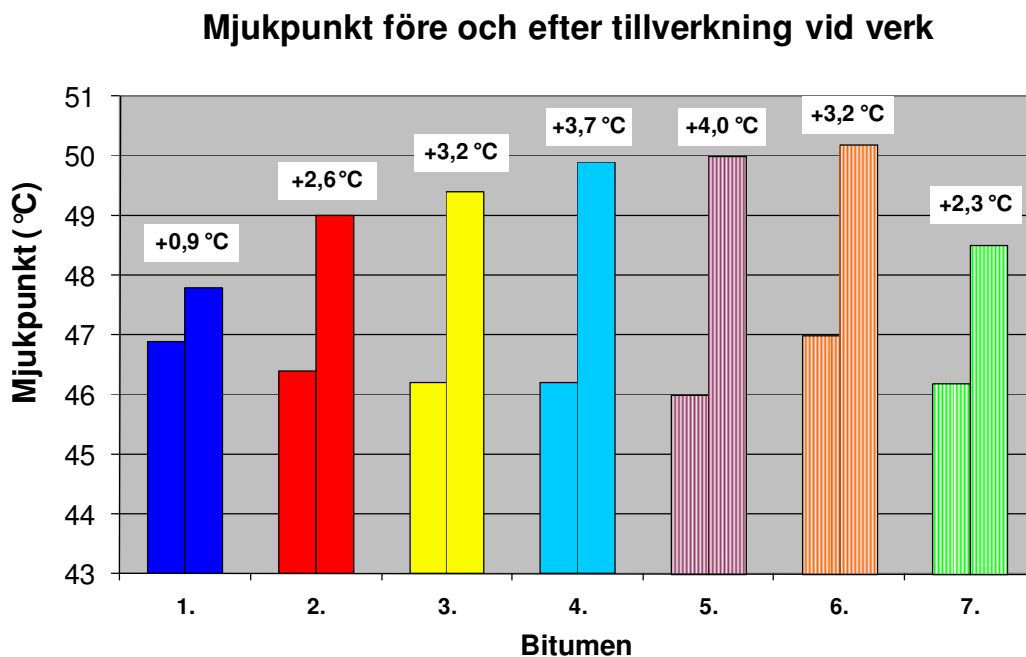
De olika bindemedlen härstammar från olika råoljebaser. Normanalyserna visar att samtliga sju bindemedel ryms inom den aktuella Europaspecifikationen för 70/100 förutom bitumen nr 5 där den kinematiska viskositeten vid 135 °C är lägre. Bitumen 4 och 5 klarar inte den tidigare svenska specifikationen för dynamisk viskositet vid 60 °C men gott och väl Europaspecifikationen.

Bindemedel	Mjukpunkt (°C) (EN 1427)			Penetration (1/10mm) (EN 1426)		
	Normanalys	0-prov åldring	Δ	Normanalys	0-prov åldring	Δ
1	47,0	46,9	-0,1	71	78	7
2	45,7	46,4	0,7	83	85	2
3	45,9	46,2	0,3	83	87	4
4	46,8	46,2	-0,6	72	82	10
5	45,7	46,0	0,3	83	86	3
6	46,6	47,0	0,4	80	84	4
7	45,9	46,2	0,3	84	82	-2

Tabell 3: Jämförelse av analysresultat på samma bitumen utfört på två olika laboratorier

## 7.1.2 Bindemedlets förhårdnande

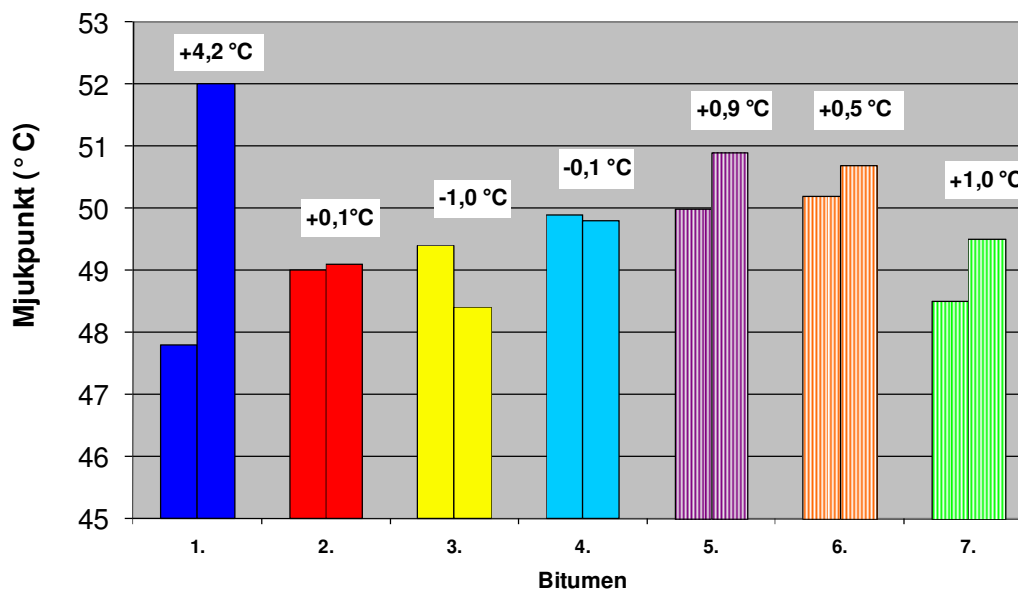
Resultaten redovisas i bilaga 2. Mjukpunktsförändringen efter tillverkningen vid asfaltverket ligger för samtliga bindemedel mellan 1- 4 °C, se figur 2, vilket är godkänt enligt Vägverkets krav i VVTBT (< 6 °C).



Figur 2: Mjukpunkt före och efter tillverkning vid verk samt mjukpunktsförändring.

Resultaten från borrkärnorna efter 1 år visar att mjukpunktsförändringen i stort sett ligger på samma nivå som efter förhårdningen som asfaltverket bidrog med, dvs ingen signifikant förhårdning av bindemedlet har skett på vägen under det första året, se figur 3. Enda avvikande resultatet är bitumen 1. Lägst mjukpunktsförändring efter första året på vägen har bitumen nr 3 och nr 7. Detta stämmer även med penetrationsförändringen, se bilaga 2.

### Mjukpunktsförändring på väg efter 1 år

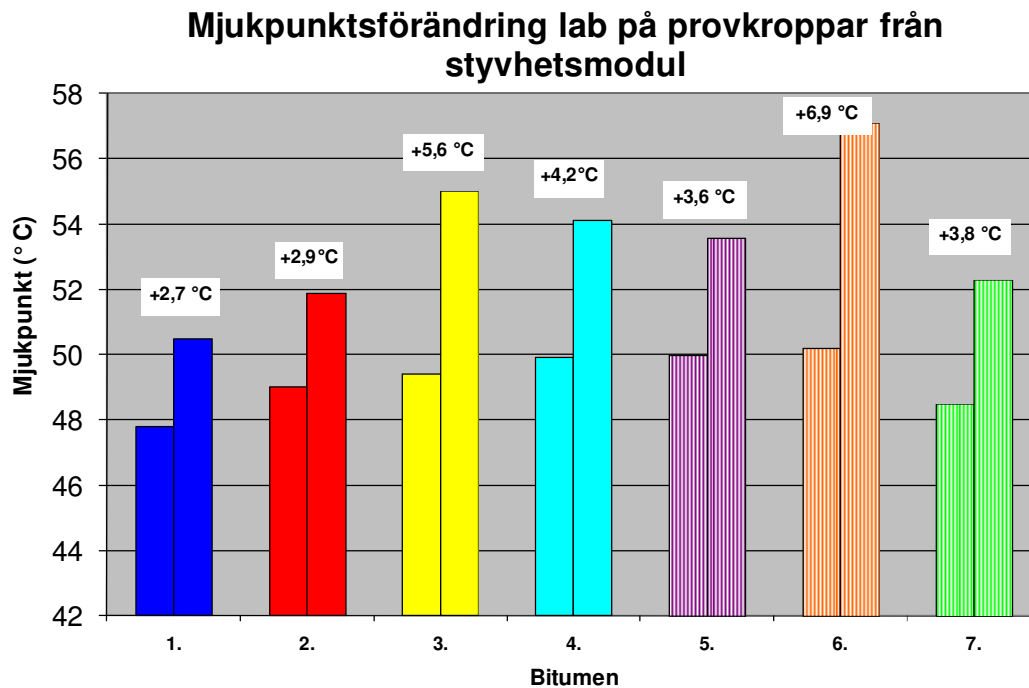


Figur 3: Jämförelse av mjukpunkt efter tillverkning vid verk och bitumen som åldrats i beläggningen under 1 år på väg.

Ett antal förfarande där bindemedlet hårdnar har utförts vid tillverkningen av provkroppar på lab samt vid efterföljande konditionering. Resultaten visar att bindemedlen påverkats väldigt mycket. Tillverkningen av plattor har medfört en lång uppvärmningstid som hårdnat bindemedlen. Vid omgång 1 för tillverkning av plattor värmdes massorna ca 5-6 tim innan rätt tillverkningstemperatur uppnåddes. Från provkroppar som tillverkats för analys av styvhetsmodul och som genomgick osmotisk lagring återvanns bindemedlet.

Mjukpunktsförändringen visar på ett kraftigt hårdnande bitumen, se figur 4. Den mesta förhårdningen kommer från uppvärmning av asfaltmassan innan tillverkning av plattorna. De olika bitumentyperna påverkas olika mycket och mest påverkad är bitumen 3 och 6.

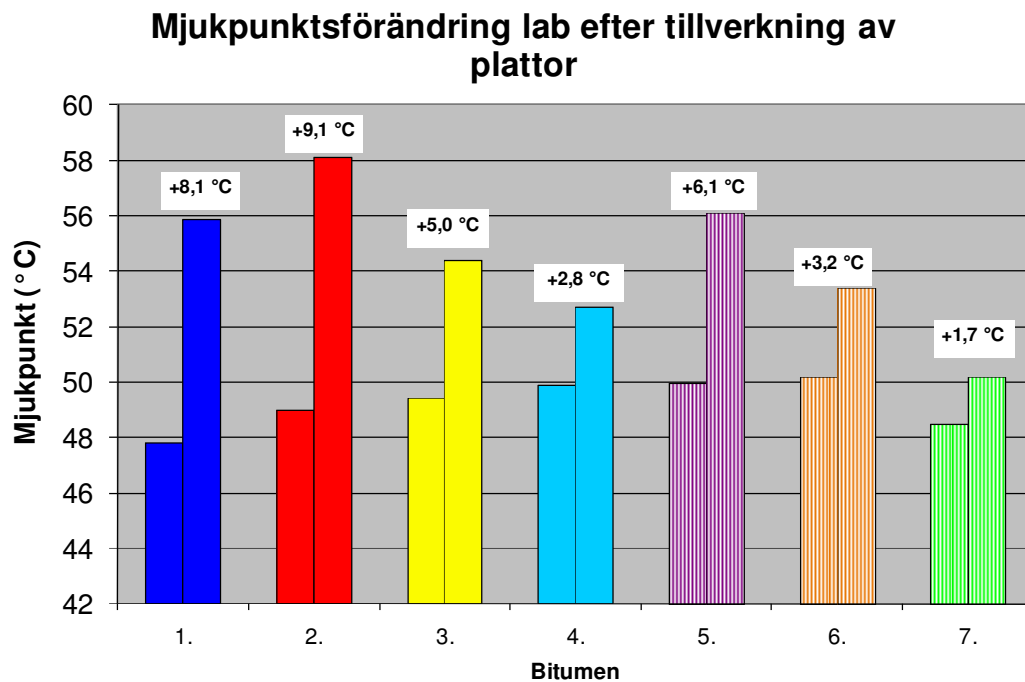




**Figur 4: Jämförelse av mjukpunkt efter tillverkning vid verk och bitumen som åldrats genom upphettning i värmeskåp samt osmotisk konditionering.**

Vid omgång 2 av tillverkning av plattor var massan lagrad i 20-25 kg:s hinkar som behövdes värmas upp i ca 9 h för att få rätt tillverkningstemperatur på 160 °C. Trots att lock funnits på hinkarna har en betydande förhårdning av bindemedlen skett.

Från resultaten som erhållits kan man utläsa att olika bitumen i figur 5 är olika känsliga för hög värme under en längre tid. Minst påverkad av dessa olika uppvärmnings-förfarande är bitumen nr 7.

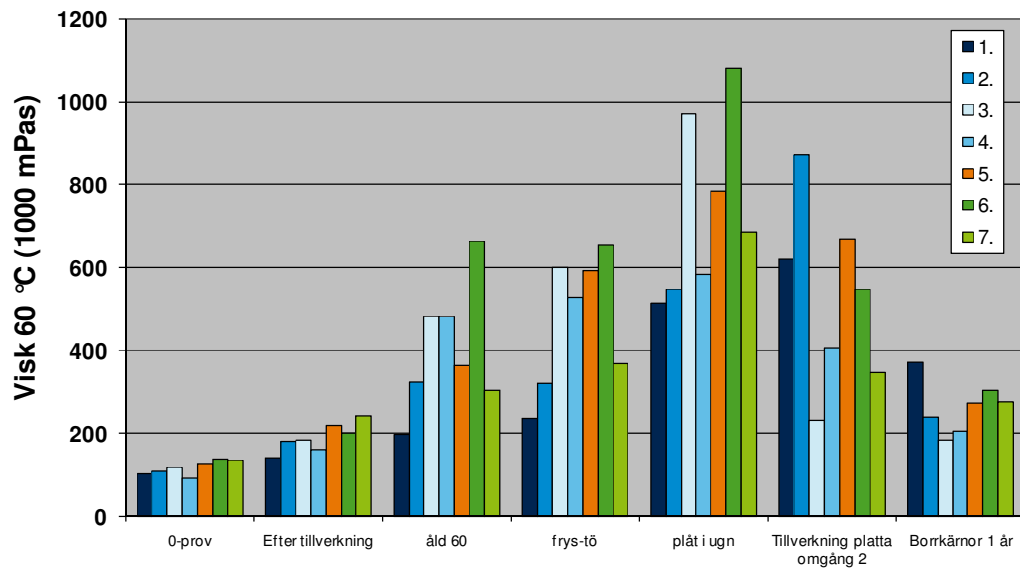


**Figur 5: Jämförelse av mjukpunkt efter tillverkning vid verk och bitumen som åldrats genom upphettning i värmeskåp innan tillverkning av plattor.**

I bilaga 2 redovisas alla bitumenundersökningar som utfördes inom projektet.

Figur 6 sammanfattar hur viskositeten vid 60 °C förändrats vid de olika åldringsförfaranden och resultaten visar att olika bitumen har påverkats olika mycket. De största skillnaderna erhålls när asfaltmassan blivit uppvärmd i ugn på laboratoriet. Förmodligen avgår vissa lättare komponenter från vissa bindemedel vid denna hantering vid höga temperaturer under en längre tid.

### Brookfield viskositet 60 °C.



Figur 6: Jämförelse av brookfield viskositet vid 60 °C med de olika åldringsförfaranden av bitumen.

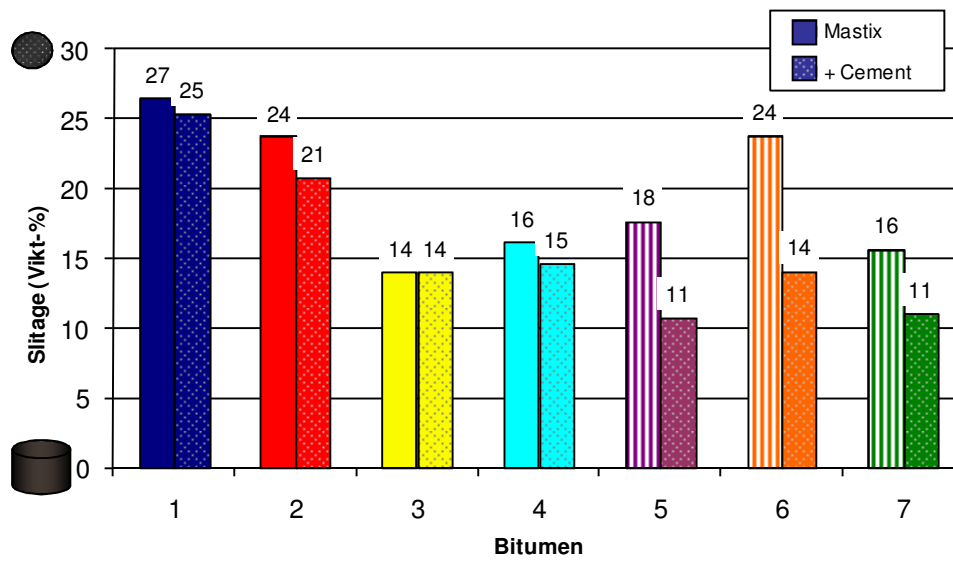
## 7.2 Slitage i vändskak

Mastixblandningarna med bitumen 1, 2 och 6 gav något högre slitagevärden än övriga. Detta bekräftades av båda laboratorierna som utförde testet. Däremot låg slitagevärdena på två skilda nivåer mellan de båda laboratorierna vilket indikerar bristande reproducerbarhet i vändskaksmetoden som fortfarande är under utveckling (Tabell 4).

Cementtillsatsen har haft en konsekvent positiv effekt men i storlek varierande inverkan på slitagevärdet för samtliga blandningar. För bitumen 1 till 4 var förbättringen avsevärt mindre än för bitumen 5 till 7, se figur 7.

<b>Bitumen</b>	<b>Lab. A Mastix Slitage (vikt-%)</b>	<b>Lab. B Mastix Slitage (Vikt-%)</b>	<b>Lab. B + cement Slitage (Vikt-%)</b>
1	16,3	26,5	25,4
2	15,0	23,7	20,8
3	12,1	14,3	13,5
4	11,8	16,1	14,6
5	13,2	17,7	10,7
6	15,3	23,8	14,1
7	12,3	15,7	11,0

**Tabell 4: Resultat efter slitage i vändskak.**



**Figur 7: Slitage i vändskak för mastixprovkroppar med och utan cement.**



**Bild 9: Vändskakustrustning.**

## 7.3 Asfaltmassa

### 7.3.1 Hamburg Wheeltrack, 50 °C torrt.

Totalt provades fyra stycken plattor från vardera bitumenkvalitet. Samtliga prover klarade att fullfölja testet till 10 000 cykler vid 50 °C och det totala spårdjupet efter HWT i torrt tillstånd varierade från 3,6 mm (Bitumen 5) och 6,2 mm (Bitumen 1), se figur 8. Hålrums halten varierar mellan 2,3-3,7 vol-% för de olika bindemedlen (medel 4 plattor). Man kan ej se någon tendens till att högsta hålrums halten ger störst spårdjup, snarare tvärtom, se tabell 5.

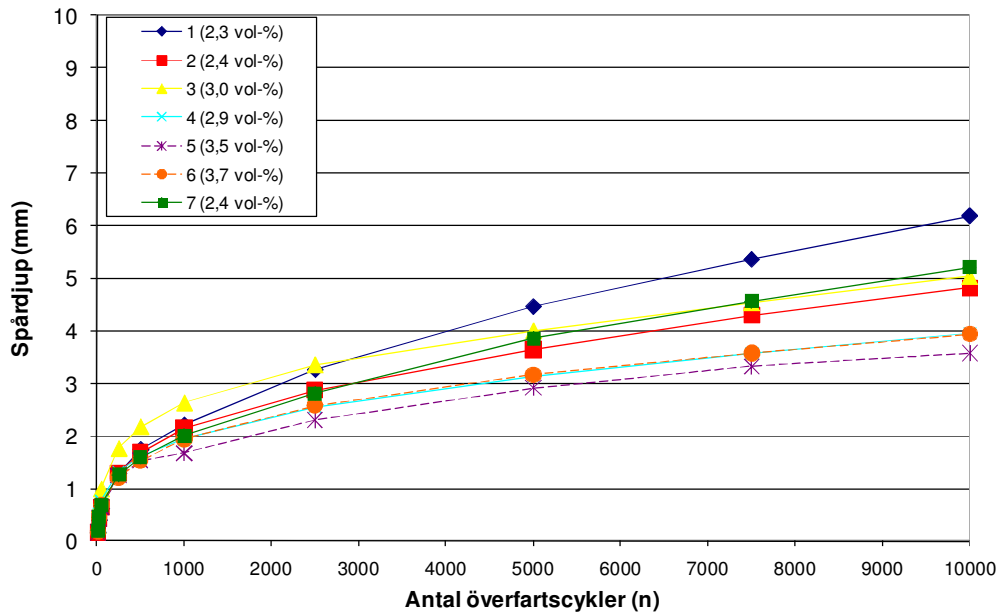
Enligt EN 13108-5:2006 klassas massa 5 och 6 som  $WTS_{AIR 0,15}$  med avseende på deformationsförloppet (WTS, wheel tracking slope) medan bitumen 2-4 samt 7 klassas ett steg sämre som  $WTS_{AIR 0,30}$ . Bitumen 1 klassas som  $WTS_{AIR 0,40}$ .

Med avseende på proportionellt spårdjup (PRD, proportional rutting depth) så klarar massorna 2 – 7 kravet  $PRD_{AIR 1,0}$  medan bitumen 1 klassas ett steg sämre som  $PRD_{AIR 1,5}$ .

Bit.	Hålrum (Vol-%)	Spårdjup vid n antal cykler (mm) ; Temperatur 50 °C										WTS <sub>air</sub> (mm/1000 cykler)	PRD <sub>air</sub> (%)
		10	25	50	250	500	1000	2500	5000	7500	10000		
1	2,3	0,2	0,4	0,6	1,3	1,7	2,2	3,3	4,5	5,4	6,2	0,34	1,2
2	2,4	0,2	0,4	0,6	1,3	1,7	2,2	2,9	3,6	4,3	4,8	0,24	1,0
3	3,0	0,3	0,7	1,0	1,8	2,2	2,6	3,4	4,0	4,5	5,0	0,20	1,0
4	2,9	0,2	0,5	0,8	1,3	1,6	1,9	2,6	3,1	3,6	4,0	0,18	0,8
5	3,5	0,2	0,4	0,6	1,2	1,5	1,7	2,3	2,9	3,3	3,6	0,14	0,7
6	3,7	0,2	0,5	0,7	1,2	1,5	2,0	2,6	3,2	3,6	3,9	0,13	0,8
7	2,4	0,2	0,5	0,7	1,3	1,6	2,0	2,8	3,9	4,6	5,2	0,27	1,0

Tabell 5: Resultat HWT (torrt).

### Wheeltrack 50 °C. Torrt (Medel av 4 plattor).



Figur 8: Deformationsförlopp HWT (torrt), medel av 4 plattor.

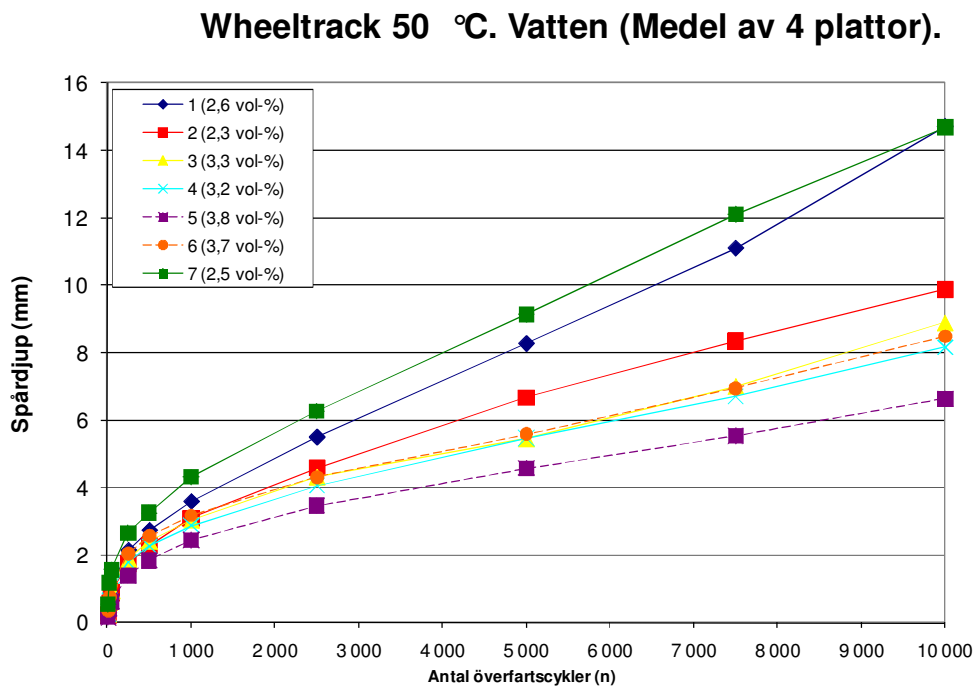
### 7.3.2 Hamburg Wheeltrack, +50 °C vatten.

Även för Hamburg wheeltrack i vatten kunde samtliga försök fullföljas och spår djupet varierade där från 6,6 mm (Bitumen 5) till 14,7 mm (Bitumen 1 och 7), se figur 9. Hålrums halten varierar mellan 2,3-3,8 vol-% för de olika bitumensorterna (medel 4 plattor). Man kan ej heller här se någon tendens till att högsta hålrums halten ger störst spår djup, se tabell 6.

Bit.	Hålrum (Vol-%)	Spår djup vid n antal cykler (mm) ; Temperatur 50 °C vatten										WTSw (mm/1000 cykler)	PRDw (%)
		10	25	50	250	500	1000	2500	5000	7500	10000		
1	2,6	0,3	0,7	1,1	2,1	2,7	3,6	5,5	8,3	11,1	14,7	1,28	2,9
2	2,3	0,2	0,6	0,9	1,8	2,3	3,1	4,6	6,7	8,3	9,9	0,64	2,0
3	3,3	0,3	0,6	0,9	1,9	2,4	3,0	4,3	5,5	7,0	8,9	0,68	1,8
4	3,2	0,3	0,6	1,0	1,8	2,3	2,9	4,1	5,5	6,7	8,2	0,54	1,6
5	3,8	0,2	0,4	0,6	1,4	1,8	2,4	3,5	4,6	5,5	6,6	0,40	1,3
6	3,7	0,3	0,8	1,1	2,0	2,6	3,2	4,3	5,6	7,0	8,5	0,58	1,7
7	2,5	0,5	1,2	1,6	2,7	3,3	4,3	6,3	9,1	12,1	14,7	1,12	2,9

Tabell 6: Resultat Hamburg Wheeltrack i vatten.

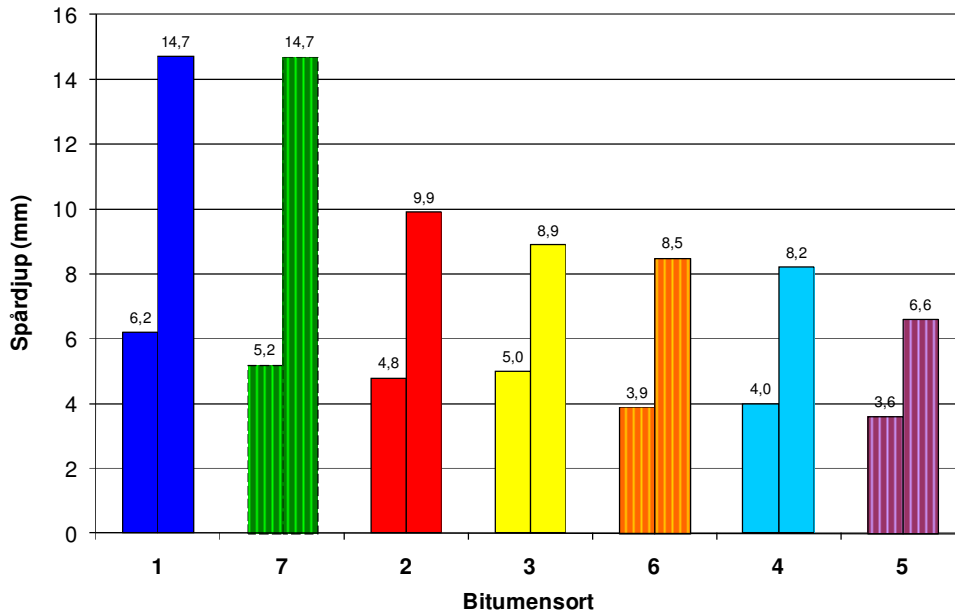
Rangordningen baserad på spår djupet är nästan helt identisk mellan HWT torrt och HWT i vatten för de olika bindemedlen men HWT i vatten gav de mest utslagsgivande resultaten (se figur 10).



**Figur 9: Deformationsförlopp HWT (vatten).**



### Hamburger wheeltrack, spårdjup vått och torrt.



Figur 10: Sammanfattning spårdjup efter HWT torrt och i vatten.

### 7.3.3 Dynamisk krepstabilitet

Slutdeformationerna för de dynamiska krepstabilitetstesten redovisas i Tabell 7. Hålrumsalterna inom varje serie varierade en hel del beroende på var på plattan de borrats ut. Plattorna packades till 80 mm för att sedan kapas till 60 mm:s provkroppar. Spridningarna redovisas i figur 11.

Eftersom dynamisk krepstabilitet-testet är starkt påverkande av utförandet där sammansättning och packning har betydande inverkan tillverkades ytterligare serier med provkroppar för tre av massorna med avsikt att helt kunna ”nolla ut” även små skillnader i packning. Det fanns även en misstanke att en eventuell avvikelser i sammansättningen på massa 5 kunde ha orsakat avvikande värden, därför tillverkades en ny serie provkroppar även där och sammansättningen

bestämdes även för det nya provet. Resultaten från den utökade provningen redovisas i Tabell 8.

Massa 1			Massa 2			Massa 3			Massa 4		
Prov. ID	Hålrums (%)	Deformation (µstrain)	Prov. ID	Hålrums (%)	Deformation (µstrain)	Prov. ID	Hålrums (%)	Deformation (µstrain)	Prov. ID	Hålrums (%)	Deformation (µstrain)
A	1,6	24 648	A	3,1	32 432	A	3,7	30 513	A	4,4	33 468
C	2,1	26 731	B	4,2	37 437	C	2,9	22 934	B	5,3	33 000
D	3,7	40 198	C	3,1	24 372	D	2,6	20 962	C	4,9	39 738
E	3,6	35 917	E	4,0	34 921	E	4,1	31 490	D	3,6	20 705
F	1,7	25 326	F	2,9	25 138	F	3,3	28 904	F	5,4	57 095
<b>Medel</b>	<b>2,5</b>	<b>30 600</b>	<b>Medel</b>	<b>3,5</b>	<b>30 900</b>	<b>Medel</b>	<b>3,3</b>	<b>27 000</b>	<b>Medel</b>	<b>4,7</b>	<b>36 800</b>

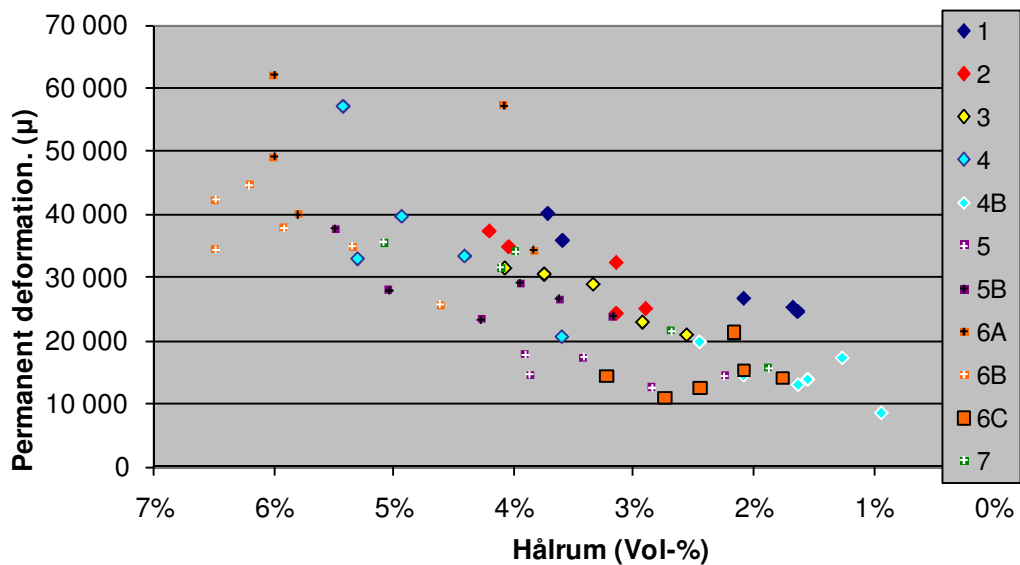
  

Massa 5			Massa 6			Massa 7		
Prov. ID	Hålrums (%)	Deformation (µstrain)	Prov. ID	Hålrums (%)	Deformation (µstrain)	Prov. ID	Hålrums (%)	Deformation (µstrain)
A	3,9	14 587	A	6,0	62 046	A	4,1	31 471
B	3,9	17 782	B	6,0	49 057	B	4,0	34 090
C	2,8	12 573	C	3,8	34 315	C	2,7	21 501
D	3,4	17 363	E	4,1	57 215	D	1,9	15 576
F	2,2	14 442	F	5,8	39 970	F	5,1	35 529
<b>Medel</b>	<b>3,2</b>	<b>15 300</b>	<b>Medel</b>	<b>5,1</b>	<b>48 500</b>	<b>Medel</b>	<b>3,6</b>	<b>27 600</b>

Tabell 7: Hålrums och slutdeformation för delprover

Massa 4B			Massa 5B			Massa 6B			Massa 6C		
Prov. ID	Hålrums (%)	Deformation (µstrain)	Prov. ID	Hålrums (%)	Deformation (µstrain)	Prov. ID	Hålrums (%)	Deformation (µstrain)	Prov. ID	Hålrums (%)	Deformation (µstrain)
A	0,9	8 510	A	5,0	27 970	A	5,9	37 840	A	1,8	14 020
B	2,1	14 560	B	3,2	23 790	B	6,5	42 364	B	2,4	12 495
C	1,3	17 270	C	4,3	23 350	C	6,5	34 386	C	3,2	14 328
D	1,6	12 980	D	3,6	26 580	D	5,3	34 892	D	2,7	10 928
E	2,4	19 860	E	5,5	37 750	E	4,6	25 705	E	2,2	21 250
F	1,6	13 850	F	3,9	29 090	F	6,2	44 682	F	2,1	15 258
<b>Medel</b>	<b>1,7</b>	<b>14 500</b>	<b>Medel</b>	<b>4,3</b>	<b>28 100</b>	<b>Medel</b>	<b>5,8</b>	<b>36 600</b>	<b>Medel</b>	<b>2,4</b>	<b>14 700</b>

Tabell 8: Utökad provning, hålrums och slutdeformation för delprover.



**Figur 11: Inverkan av packning på slutdeformationen.**

Det är viktigt att komma ihåg att packningen av de olika massorna skett vid samma temperatur och att bindemedlets viskositet kan ha haft inverkan på packningen. Provp Plattorna 4B och 6C är medvetet packade mot ett hålrumsintervall som motsvarar 1-3 vol-%.

## Omgång 2.

Eftersom alla beläggningar verkade vara starkt beroende av packningsgraden beslutades att utöka undersökningen med ytterligare en omgång med plattor. Denna gång tillverkades ABS-massorna till en tjocklek av 50 mm vilket medförde att dynamisk kryptest utfördes på 2\*30 mm:s provkroppar. Plattorna packades även till en så hög packningsgrad som möjligt, dvs låga hålrumsalter. Detta för att ta bort effekten av dålig packningsgrad.

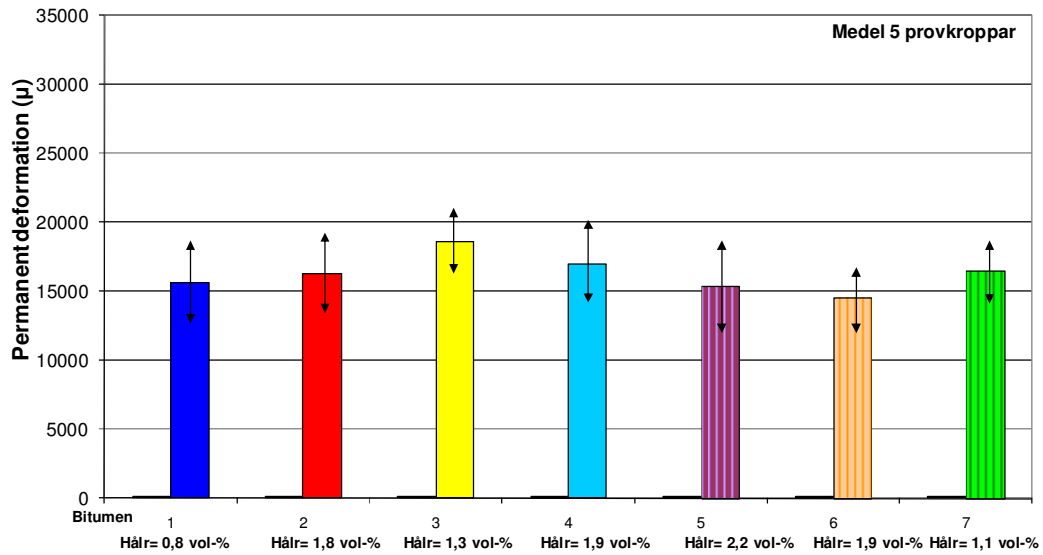
Resultaten visar att samtliga beläggningstyper erhöjll krypstabilitetsvärden mellan 14 600- 18 600 microstrain och där hålrumsalten varierade mellan 0,8-2,2 vol-%, se tabell 9 och figur 12. I figur 12 redovisas även standardavvikelsema för respektive serie och värdena visar att inte någon serie med statistisk signifikans är bättre än någon annan.

Massa 1			Massa 2			Massa 3			Massa 4		
Prov. ID	Hålrum (%)	Deformation ( $\mu$ strain)	Prov. ID	Hålrum (%)	Deformation ( $\mu$ strain)	Prov. ID	Hålrum (%)	Deformation ( $\mu$ strain)	Prov. ID	Hålrum (%)	Deformation ( $\mu$ strain)
A	1,2	18 025	A	2,3	19 067	A	1,9	22 166	A	2,4	17 193
C	0,9	13 179	B	2,2	17 681	C	1,3	16 427	B	2,2	12 868
D	0,7	17 971	C	2,0	14 277	D	1,2	16 216	C	2,1	22 484
E	0,7	14 135	E	1,3	18 178	E	1,1	18 824	D	1,6	16 476
F	0,6	14 471	F	1,1	12 531	F	0,8	19 178	F	0,9	15 842
<b>Medel</b>	<b>0,8</b>	<b>15 600</b>	<b>Medel</b>	<b>1,8</b>	<b>16 300</b>	<b>Medel</b>	<b>1,3</b>	<b>18 600</b>	<b>Medel</b>	<b>1,9</b>	<b>17 000</b>

Massa 5			Massa 6			Massa 7		
Prov. ID	Hålrum (%)	Deformation ( $\mu$ strain)	Prov. ID	Hålrum (%)	Deformation ( $\mu$ strain)	Prov. ID	Hålrum (%)	Deformation ( $\mu$ strain)
A	2,7	14 669	A	2,7	14 902	A	1,7	14 234
B	2,4	14 405	B	2,1	15 595	B	1,5	16 283
C	2,2	11 632	C	1,9	11 699	C	1,0	18 211
D	2,1	19 564	E	1,8	13 882	D	0,8	18 284
F	1,7	16 836	F	1,1	16 705	F	0,5	15 263
<b>Medel</b>	<b>2,2</b>	<b>15 400</b>	<b>Medel</b>	<b>1,9</b>	<b>14 600</b>	<b>Medel</b>	<b>1,1</b>	<b>16 500</b>

Tabell 9: Utökad provning omgång 2, hålrum och slutdeformation för delprover.

**Dynamisk kryptest 40 °C, 2\*30 mm.  
Laboratorietillverkade plattor tjocklek=50 mm.**

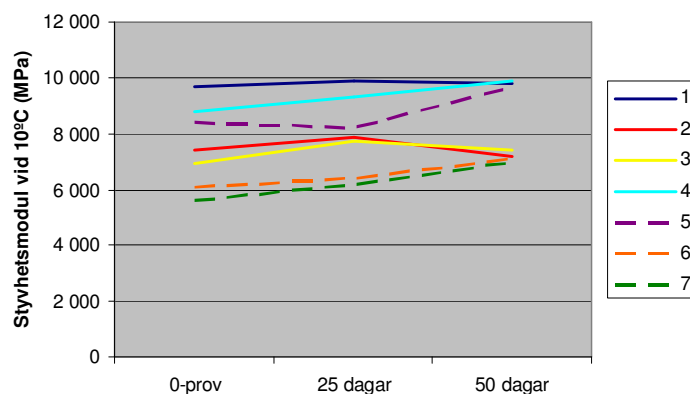


**Figur 12: Inverkan av packning på slutdeformationen.**

### 7.3.4 Styvhetsmodul

Det går att se en viss nivåskillnad i styvhetsmodul mellan massorna men eventuella skillnader i hålrum har haft en förhållandevis liten eller ingen inverkan (Figur 15). Varken lagringen av provkroppar i 60 °C upp till 50 dagar eller frys/tö konditioneringen har haft betydande inverkan på styvhetsmodulen ( Tabell 10-11 och Figur 13-14). Efter förvaringen i ugn 60 °C i 50 dagar ligger bindemedel 1,4 och 5 på en nivå ungefär 2 500 MPa över de övriga fyra.

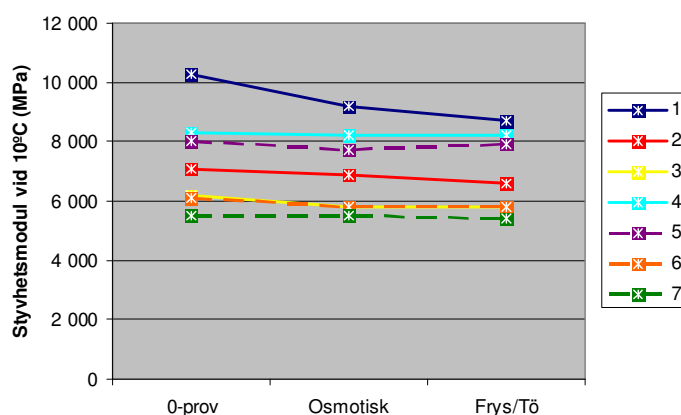
Bitumen	Förvaring i ugn 60 °C Styvhetsmodul (MPa)		
	0-prov	25 dagar	50 dagar
1	9 700	9 900	9 800
2	7 400	7 900	7 200
3	6 900	7 700	7 400
4	8 800	9 300	9 900
5	8 400	8 200	9 700
6	6 100	6 400	7 100
7	5 600	6 200	7 000



Tabell 10 Styvhetsmodul efter förvaring i ugn 60 °C.

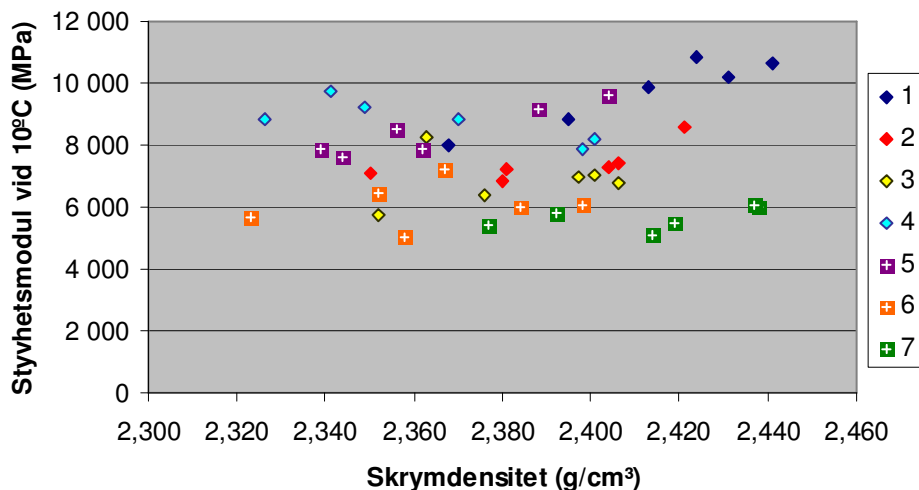
Figur 13 Styvhetsmodul efter förvaring i ugn 60 °C.

Bitumen	Frys/Tö konditionering Styvhetsmodul (MPa)		
	0-prov	Osmotisk	Frys/Tö
1	10 300	9 200	8 700
2	7 100	6 900	6 600
3	6 200	5 800	5 800
4	8 300	8 200	8 200
5	8 000	7 700	7 900
6	6 100	5 800	5 800
7	5 500	5 500	5 400



Tabell 11 Styvhetsmodul efter konditionering.

Figur 14 Styvhetsmodul efter konditionering.



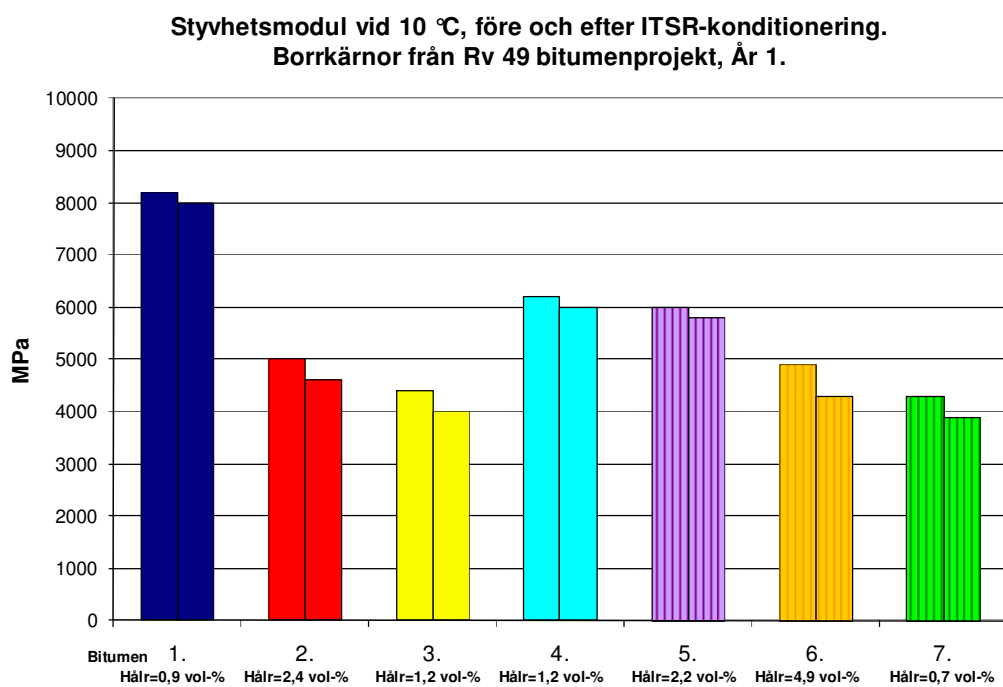
Figur 15: Förhållande mellan styrhetsmodul och skrymdensitet för bitumen 1-7.

### Styrhetsmodul på borrhärdar

Från vägen borrhärdades 6 st kärnor från vardera massatyp där styrhetsmodulen bestämdes vid 10 °C dels direkt och dels efter en ITSR konditionering i 7 dygn, se bilaga 3. Denna konditionering gav en ytterst marginell sänkning av värdena för samtliga bindemedel. Precis som för de laboratorietillverkade provkropparna så är styrhetsmodulen för bindemedel 1, 4 och 5 på en högre nivå än de övriga, se tabell 12 och figur 16.

Borrkärnor År 1 Styvhetsmodul (MPa)		
Bitumen	Före	Efter ITSR- konditionering
1	8200	8000
2	5000	4600
3	4400	4000
4	6200	6000
5	6000	5800
6	4900	4300
7	4300	3900

Tabell 12



Figur 16 : Styvhetsmodul borrkärnor år 1.



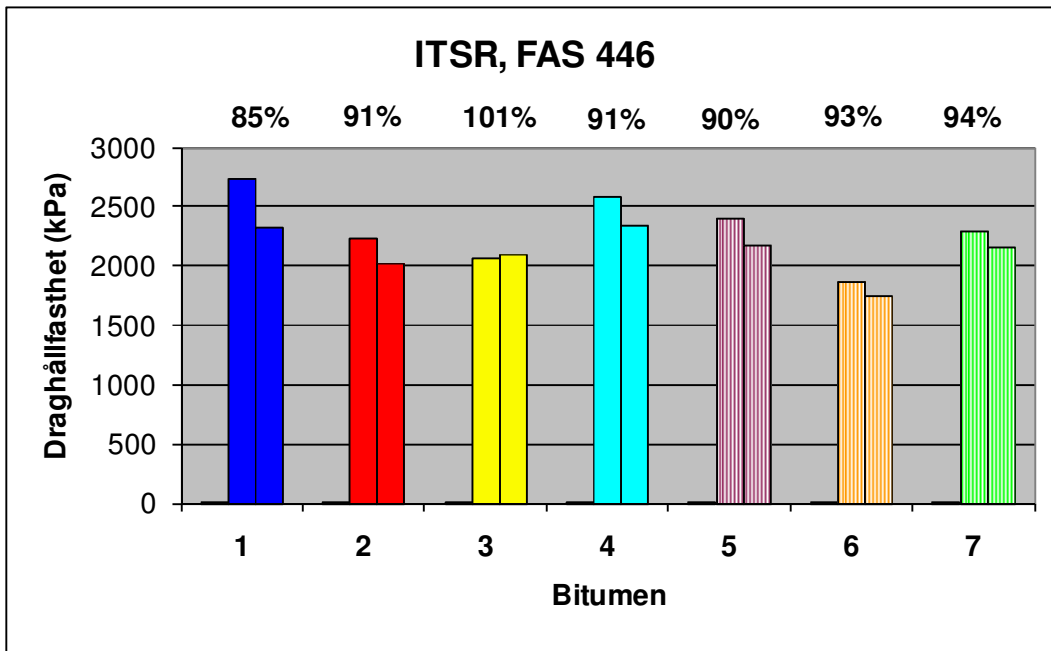
### 7.3.5 Vattenkänslighet (ITSR)

Vid provkroppstillverkning eftersträvades en något förhöjd hålrums halt och de flesta provkropparna låg mellan 3-4 vol-%. Som framgår av Tabell 13 gav ingen av de sju undersökta massorna upphov till låga ITSR-värden. Att pressdraghållfastheten varierar något mellan massorna kan bero på bindemedlets styvhet såväl som cementtillsatsen och små skillnaderna i packning och sammansättning. Den särskilda frys/tö-konditionering som utfördes på hälften av proverna var i det här fallet inte mer utslagsgivande än det konventionella vattenkänslighetstestet.

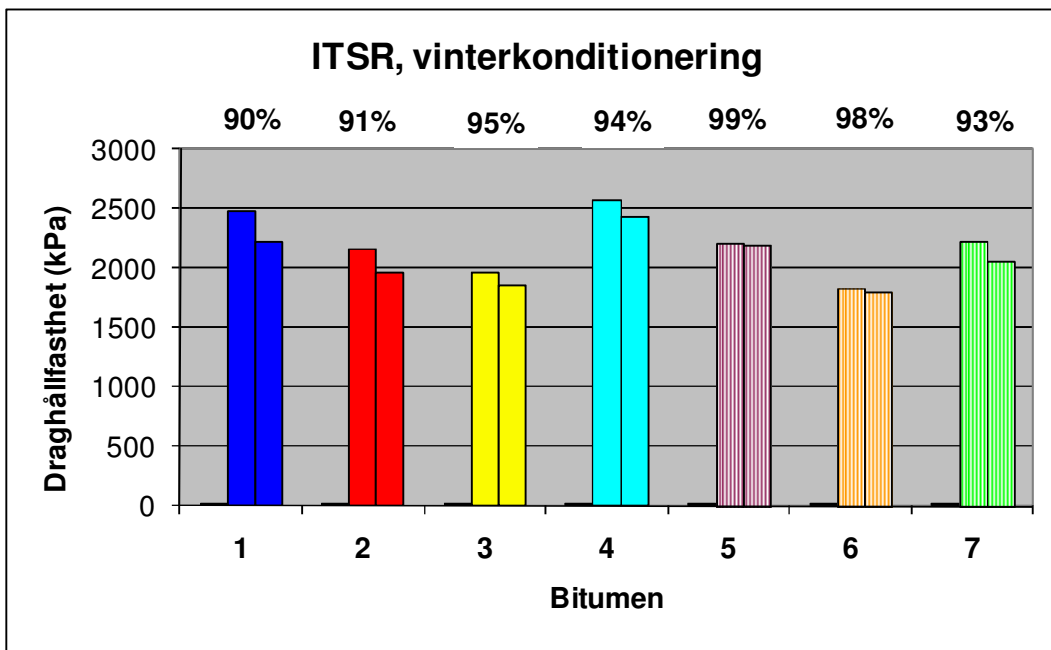
Resultaten från rullflasketestet (se kap 7.3.6) rangordnade bitumentyperna annorlunda än denna analys enligt ITSR-metoden. Skillnaden är att ITSR-metoden tar hänsyn till den sammanblandande asfaltmassan medan rullflasketestet enbart visar på vidhäftningen mellan kvartsit-fraktionen och de olika bitumentyperna. Den färdiga asfaltmassan med de olika bitumentyperna skiljer sig alltså ej nämnvärt i ITSR-kvot, se figur 17 och 18.

Bitumen	Vattenkänslighet enligt FAS Metod 446				Vattenkänslighet med frys/tö-konditionering			
	Hålrums	Draghållfasthet		ITSR	Hålrums	Draghållfasthet		ITSR
	vol-%	Torra (kPa)	Våta (kPa)	(%)	(vol-%)	Torra (kPa)	Våta (kPa)	(%)
1	3,1	2729	2329	85	3,2	2475	2227	90
2	2,8	2232	2023	91	2,8	2154	1969	91
3	3,1	2059	2088	101	3,1	1965	1863	95
4	3,8	2582	2339	91	3,6	2572	2428	94
5	3,6	2407	2176	90	3,6	2217	2196	99
6	4,7	1877	1753	93	4,7	1832	1801	98
7	1,8	2299	2163	94	2,0	2224	2068	93

**Tabell 13: Resultat från vattenkänslighetstesterna ; konventionellt och med frys/tö konditionering.**



Figur 17 : ITSr



Figur 18 : ITSr efter vinterkonditionering

### 7.3.6 Vidhäftning enligt rullflaskemetoden

#### Laboratorie A

Samtliga bindemedel gav 0 % täckningsgrad på stenmaterialet efter 24 h, se tabell 14. Tillsats av cement som vidhäftningsbefrämjande medel hade mycket begränsad inverkan förutom i kombination med bindemedel 3 och 7. På tre bitumentyper tillsattes hydratkalk för att se om detta gav bättre effekt än cementen. Ingen förbättring påvisades.

Bitumen	Täckningsgrad		
	% - Stenyta täckt med bindemedel		
	Referens	med cement	med hydratkalk
1	0	10	0
2	0	20	5
3	0	63	-
4	0	25	18
5	0	38	-
6	0	15	-
7	5	65	-

Tabell 14: Resultat rullflasketest utförda på laboratorie A

#### Laboratorie B

Samtliga bindemedel gav även vid laboratorie B 0 % täckningsgrad på stenmaterialet efter 24 h, se tabell 15. Tillsats av cement som vidhäftningsbefrämjare hade även här mycket begränsad inverkan på resultatet förutom i kombination med bindemedel 3 och 7.

Bitumen	Täckningsgrad		
	% - Stenyta täckt med bindemedel		
	Referens	med cement	med hydratkalk
1	0	10	
2	0	10	
3	0	53	
4	0	22	
5	0	30	
6	0	0	
7	0	62	

Tabell 15: Resultat rullflasketest utförda på laboratorie B

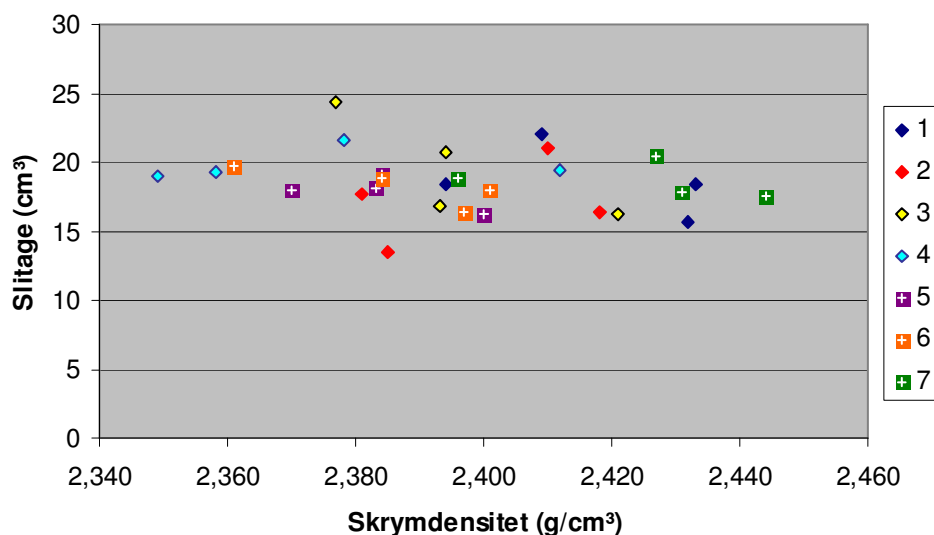
### 7.3.7 Slitage enligt Prall

Alla de sju bindemedlen gav likvärdiga slitagevärden både gällande borrhärdor från väg samt provkroppar från laborietillverkad platta (Tabell 16). En studie av eventuella skillnader i skrymdensitet på de labtillverkade provkropparna har i det här fallet inte haft någon betydande inverkan på resultaten, se figur 19. Stenmaterialet större än 4 mm är en kvartsit som har dokumenterat goda slitageegenskaper.

	Skrymd.	Slitage Lab.tillv (Medel av 4)	Slitage Borrhärda (Medel av 4)
Bitumen	(g/cm <sup>3</sup> )	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
1	2,417	19	20
2	2,399	17	21
3	2,396	20	19
4	2,374	20	20
5	2,385	18	17
6	2,386	18	21
7	2,424	19	19



Tabell 16: Slitage enligt Prallmetoden



Figur 19: Skrymdensitetens inverkan på slitagevärdet.

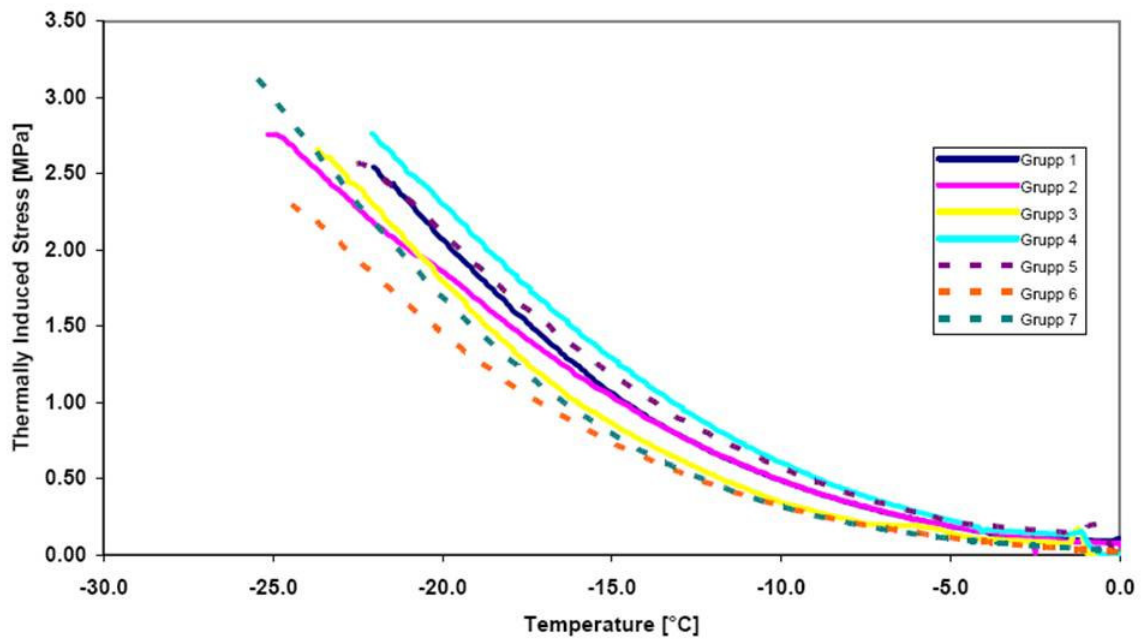
### 7.3.8 Lågtemperaturregenskaper enligt TSRST.

Från plattor sågades 2 st balkar till en storlek på 35\*35\*250 mm från vardera bindemedel. Dessa sändes till KTH för vidare analys enligt TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test, AASHTO TP10). Proverna lagrades lika lång tid innan test. Resultaten kan utläsas i form av brottemperatur och brottspänning och samtliga resultat redovisas i tabell 17. För bitumen 6 och 7 fick en balk avvikande resultat pga limbrott och dessa resultat tas ej med.

Resultaten visar att brottemperaturen ligger kring -21- -25 (°C). Jämför man den lägsta brottemperaturen från vardera bindemedel, se figur 20, så går bitumen 1, 4 och 5 snabbare till brott. För dessa bitumen har tidigare också uppmätts en högre styvhetsmodul.

Bitumen	Brottemperatur (°C)	Brotts <span>­</span> pänning (MPa)
1	-22,1	2,54
	-21,0	2,46
2	-20,5	2,15
	-25,2	2,76
3	-23,7	2,66
	-22,6	2,08
4	-22,1	2,76
	-22,0	2,52
5	-22,8	2,33
	-22,6	2,56
6	-17,2	1,70* (avvikande kurva)
	-24,5	2,30
7	-25,7	3,19
	-16,1	0,93* (limbrott)

Tabell 17: Resultat för brottemperatur och brottspänning, TSRST.



Figur 20: TSRST, Brottspänning som funktion av temperatur.

## 8. RESULTATDISKUSSION OCH SLUTSATSER

Förutom ett bitumen (bitumen nr 5) klarar samtliga sju bitumina specifikationerna i den nya europanormen (EN 12591:2009) för penetrationsbitumen. Enbart den kinematisk viskositet vid 135 °C låg utanför specifikationerna för bitumen nr 5.

Asfaltverkets förhårdnande av bindemedlet och 1 års trafikering av asfaltbeläggningarna visar att mjukpunkten förändrats mellan 2-5 °C beroende på bitumen. Bitumen nr 1 har åldrats mest.

Uppvärmningen av asfaltmassa för tillverkning av plattor har gett en tydlig förhårdning av bindemedlet och olika bitumen har påverkats olika mycket.

Bitumen nr 4 och 5 klarade ej den tidigare tom 2009 gällande svenska tillämpningen av europanormen för bitumen EN 12501:1999. De deformationsundersökningar som utfördes visade att dessa båda bitumen klarade sig bäst i både wheeltrack vid +50 °C och dynamisk kryptest vid +40 °C. Däremot var lågtemperaturegenskaperna enligt TSRST något sämre för dessa båda bitumen. Logiskt nog visade också undersökningarna av styvhetsmodul ett högre värden för bitumen 4 och 5.

Vattenkänslighetstesterna enligt ITSR gav likvärdiga resultat för samtliga testade bitumen både före och efter vinterkonditionering. Vidhäftningstesterna enligt rullflaska mellan kvartsit och de olika bindemedlen visade att bitumen 3 och bitumen 7 gav bäst resultat efter att cement påförts stenmaterialet. Provningsen utan vidhäftningsmedel visade ingen täckningsgrad på stenmaterialet för något av bindmedlen.

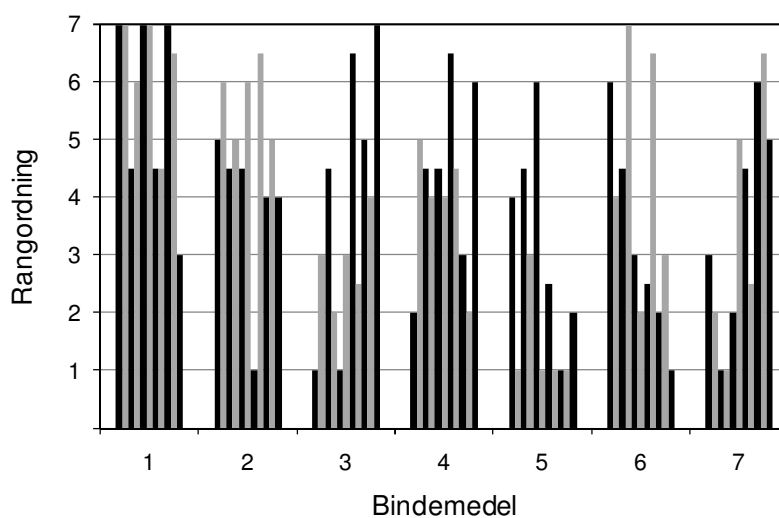
Nötningsegenskaperna mätta enligt Prall gav likvärdiga resultat för alla bitumentyperna.

## Sammanfattande rangordning av bindemedel

Undersökningen har omfattat en stor mängd mätningar av egenskaper som uppfattas som viktiga för beläggningens funktion i fält. Redovisade resultat visar varierande funktionell prestanda för de olika bindemedlen beroende på vilken egenskap som undersöks; inget bitumen presterar genomgående bäst eller sämst. Detta gäller för de provningar där man på ett meningsfullt sätt kan gradera uppmätta egenskaper som bättre eller sämre jämfört med ett annat bitumen. I denna undersökning antas detta gälla för följande analyser:

- Nötning enligt vändskak med/utan cement
- Vidhäftning enl. rullflaskemetoden med/utan cement
- Vattenkänslighet (ITSR) FAS 446, frys-tö konditionering
- Slitage enligt Prall labprover, fältprover
- Deformation enligt Wheeltrack torr, våt
- Dynamisk kryp (Omgång 2)

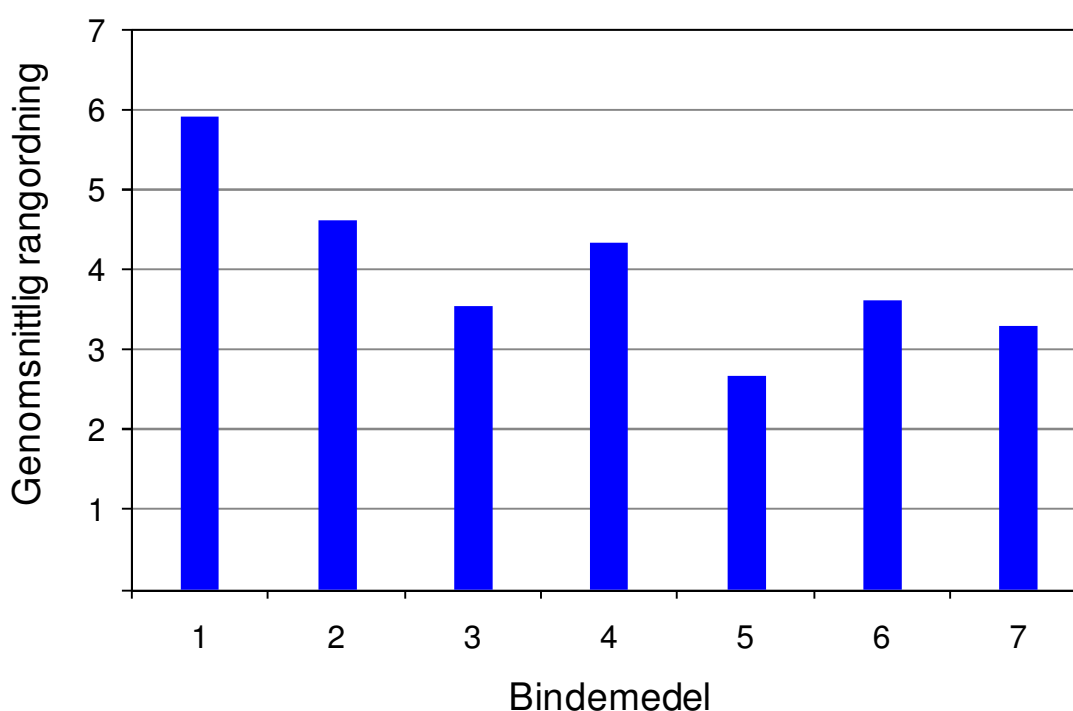
Inom ovanstående provningar rangordnas bindemedlen efter funktion där 1 är bäst. Figur 21 sammanfattar rangordningen för samtliga analyser uppdelad efter bindemedel.



**Figur 21. Rangordning av bindemedel inom de olika provningarna.**



Som framgår av figur 21 är spridningen inom varje bitumen avsevärd. Trots detta kan vissa mönster skönjas: exempelvis har bindemedel 5 ofta en bra rangordning medan bindemedel 1 ofta rangordnas som ett av de sämre bindemedlen. För de olika bindemedlen kan den genomsnittliga rangordningens statistiska signifikans undersökas genom ett s.k. Friedman test (signifikansnivå  $\alpha = 0,05$ ). Den genomsnittliga rangordningen för de olika bindemedlen visas i figur 22.



**Figur 22. Genomsnittlig rangordning för de olika bindemedlen.**

Av de provade bindemedlen i figur 22, har bindemedel 5 den bästa rangordningen och bindemedel 1 den sämsta. Friedmans rangordningstest visar att det föreligger statistiskt signifikanta skillnader mellan de använda bindemedlen ( $p = 0,02$ ). För att undersöka vilka skillnader i rangordning som är statistiskt signifikanta genomförde ett s.k. Conover-test. De huvudsakliga slutsatserna från denna analys är att bindemedel 1 har signifikant sämre rangordning än samtliga övriga bitumen

utom bindemedel 2, och att bindemedel 5 har bättre rangordning än bindemedel 1, 2 och 4. De flesta av de övriga skillnaderna kan förklaras med slumpfel. Det bör påpekas att de statistiska resultaten gäller för de mätningar som genomförts i denna undersökning. Den statistiska metoden (Friedman rangordningstest) påverkas inte av uppmätta skillnaders storlek dvs. skillnaden mellan två bindemedel kan i praktiken vara försumbar, vilket dock inte visar sig i rangordningen. Vidare görs inte heller någon viktning av de enskilda mätningarna, samtliga mätningar tillskrivs samma grad av betydelse.

Slutsatsen från dessa undersökningar visar att det finns vissa skillnader mellan olika bitumen av samma kvalitet (70/100) och att det i framtiden krävs att både entreprenörer och beställare aktivt arbetar med ett funktionellt tänkande vid framtagande av asfaltbeläggningar med god kvalitet.

# Bilaga 1: Loggdata från packning av plattor

## Omgång 1

Analys	Märkn	Temp	Mängd	Tj.	Volym	Skrymdensitet	Överfarter			
	Bit+ID	(°C)	(g)	mm	cm <sup>3</sup>	(g/cm <sup>3</sup> )	Front	Center	Back	Totalt
ITSR	15	158	33 813	65	15 600	2,168	14	24	11	49
ITSR	16	155	32 788	63	15 120	2,169	11	25	8	44
ITSR	25	158	33 413	64	15 360	2,175	12	31	10	53
ITSR	26	156	33 813	65	15 600	2,168	15	25	12	52
ITSR	35	157	33 813	65	15 600	2,168	20	23	13	56
ITSR	36	155	33 813	65	15 600	2,168	17	21	9	47
ITSR	45	158	34 800	66	15 840	2,197	19	28	12	59
ITSR	46	156	34 800	67	16 080	2,164	24	28	13	65
ITSR	55	159	33 880	65	15 600	2,172	24	37	17	78
ITSR	56	156	33 400	64	15 360	2,174	24	29	21	74
ITSR	65	158	34 100	66	15 840	2,153	12	30	11	53
ITSR	66	156	33 900	65	15 600	2,173	16	31	12	59
ITSR	75	156	34 400	66	15 840	2,172	15	25	13	53
ITSR	76	157	34 400	66	15 840	2,172	15	29	13	57
Stabilitet	14	158	39 726	76	18 240	2,178	10	28	8	46
Stabilitet	24	157	41 600	80	19 200	2,167	17	24	10	51
Stabilitet	34	156	40 110	77	18 480	2,170	12	28	10	50
Stabilitet	44	154	40 000	77	18 480	2,165	15	29	11	55
Stabilitet	54	156	39 015	75	18 000	2,168	23	33	18	74
Stabilitet	57	155	41 160	79	18 960	2,171	17	23	14	54
Stabilitet	64	155	41 568	80	19 200	2,165	13	27	11	51
Stabilitet	67	157	43 192	83	19 920	2,168	16	31	12	59
Stabilitet	74	158	40 823	78	18 720	2,181	20	31	11	62
Styvhet	13	160	28 611	55	13 200	2,168	17	32	14	63
Styvhet	23	158	28 611	55	13 200	2,168	14	33	12	59
Styvhet	33	158	28 611	55	13 200	2,168	17	25	13	55
Styvhet	43	157	28 611	55	13 200	2,168	14	20	15	49
Styvhet	53	157	30 035	57	13 680	2,196	30	31	16	77
Styvhet	63	158	29 200	56	13 440	2,173	35	39	19	93
Styvhet	73	158	28 611	55	13 200	2,168	20	31	17	68

	<b>Märkn</b>	<b>Temp</b>	<b>Mängd</b>	<b>Tj.</b>	<b>Volym</b>	<b>Skrymdensitet</b>	<b>Överfarer</b>			
<b>Analys</b>	<b>Bit+ID</b>	<b>(°C)</b>	<b>(g)</b>	<b>mm</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Front</b>	<b>Center</b>	<b>Back</b>	<b>Totalt</b>
Wheeltrack	17	158	26 576	50	12 000	2,215	32	30	16	78
Wheeltrack	18	156	26 576	50	12 000	2,215	20	31	11	62
Wheeltrack	21	158	26 576	50	12 000	2,215	31	36	16	83
Wheeltrack	22	156	26 576	50	12 000	2,215	16	30	13	59
Wheeltrack	31	158	26 576	50	12 000	2,215	31	35	15	81
Wheeltrack	32	156	26 576	50	12 000	2,215	33	37	13	83
Wheeltrack	41	157	26 576	50	12 000	2,215	35	43	20	98
Wheeltrack	42	155	26 576	50	12 000	2,215	29	36	23	88
Wheeltrack	51	158	26 576	50	12 000	2,215	31	24	14	69
Wheeltrack	52	156	26 576	50	12 000	2,215	16	28	12	56
Wheeltrack	61	158	26 576	50	12 000	2,215	29	44	20	93
Wheeltrack	62	156	26 576	50	12 000	2,215	30	43	22	95
Wheeltrack	71	158	26 576	50	12 000	2,215	31	30	14	75
Wheeltrack	72	156	26 576	50	12 000	2,215	20	32	14	66

## Omgång 2

	<b>Märkn</b>	<b>Temp</b>	<b>Mängd</b>	<b>Tj.</b>	<b>Överfarer</b>			
<b>Analys</b>	<b>Bit+ID</b>	<b>(°C)</b>	<b>(g)</b>	<b>mm</b>	<b>Front</b>	<b>Center</b>	<b>Back</b>	<b>Totalt</b>
Wheeltrack	11	158	27520	50	30	36	18	84
Wheeltrack	12	156	27520	50	29	33	11	73
Wheeltrack	21	159	27520	50	29	38	19	86
Wheeltrack	22	159	27520	50	27	33	17	77
Wheeltrack	31	158	27520	50	30	41	20	91
Wheeltrack	32	156	27520	50	38	40	21	99
Wheeltrack	41	157	27520	50	26	46	20	92
Wheeltrack	42	156	27520	50	32	44	24	100
Wheeltrack	51	158	27520	50	35	37	25	97
Wheeltrack	52	156	27520	50	33	48	26	107
Wheeltrack	61	159	27520	50	37	46	27	110
Wheeltrack	62	156	27520	50	31	46	23	100
Wheeltrack	71	159	27520	50	22	31	17	70
Wheeltrack	72	156	27520	50	31	40	23	94
Stabilitet	13	159	28298	51	29	37	20	86
Stabilitet	14	157	27997	51	18	37	19	74
Stabilitet	23	158	27520	50	31	38	17	86
Stabilitet	24	155	27520	50	17	28	13	58
Stabilitet	33	159	31262	57	33	44	19	96
Stabilitet	34	156	31262	57	31	37	25	93

Stabilitet	43	158	28203	51	32	41	21	94
Stabilitet	44	156	28203	51	31	36	19	86
Stabilitet	53	160	28366	52	37	47	24	108
Stabilitet	54	157	28885	53	34	46	22	102
Stabilitet	63	159	31415	57	32	46	21	99
Stabilitet	64	156	30107	55	35	34	22	91
Stabilitet	73	156	29761	54	32	40	22	94
Stabilitet	74	158	31903	58	19	33	15	67

## Bilaga 2 Åldringsegenskaper bitumen 1 - 7

<b>Bitumen 1</b>	0-Prov	massa Efter tillverkning	provkropp 60 °C ugn i 50 dagar	provkropp Osmotisk +/Frys-tö	massa i värmeskåp 24 h 120 °C	Omgång 2 I värmeskåp 9 h	Åldring Borrkärna 1 år	
Pen. (1/10mm)	78	62	47	38	35	29	53	
Mjukpunkt (°C)	46,9	47,8	50,5	51,5	52,6	55,9	52,0	
Temp. (°C)	Brookfieldviskositet (mPas)							
60	103 000	142 000	196 000	238 000	514 000	622 000	373 300	
80	11 161	13 894	17 500	20 092	41 400	45 567	32 664	
90	5 899	-	6 753	7 683	15 100	15 744	12 356	
100	2 778	2 919	4 287	4 001	6 290	6 645	5 400	
135	344	496	454	489	612	704	607	
150	168	208	227	239	289	326	294	

<b>Bitumen 2</b>	0-Prov	massa Efter tillverkning	provkropp 60 °C ugn i 50 dagar	provkropp Osmotisk +/Frys-tö	massa i värmeskåp 24 h 120 °C	Omgång 2 I värmeskåp 9 h	Åldring Borrkärna 1 år	
Pen. (1/10mm)	85	59	48	41	39	30	54	
Mjukpunkt (°C)	46,4	49	51,9	53,2	53,2	58,1	49,1	
Temp. (°C)	Brookfieldviskositet (mPas)							
60	109 000	181 000	324 000	322 000	546 000	871 000	240 300	
80	10 728	14 406	26 778	25 528	43 500	56 555	21 833	
90	4 422	6 487	9 953	9 377	15 700	19 417	8 453	
100	2 814	3 340	4 654	4 708	6 500	7 608	3 715	
135	349	424	516	571	623	782	437	
150	181	215	251	258	294	335	208	

<b>Bitumen 3</b>	0-Prov	massa Efter tillverkning	provkropp 60 °C ugn i 50 dagar	provkropp Osmotisk +/Frys-tö	massa i värmeskåp 24 h 120 °C	Omgång 2 I värmeskåp 9 h	Åldring Borrkärna 1 år	
Pen. (1/10mm)	87	68	43	38	36	42	69	
Mjukpunkt (°C)	46,2	49,4	55	56,3	55,8	54,4	48,4	
Temp. (°C)	Brookfieldviskositet (mPas)							
60	118 000	183 000	482 667	602 000	972 000	230 000	183 000	
80	12 477	16 883	36 086	42 150	66 250	19 975	17 917	
90	5 803	-	13 839	14 556	22 800	8 807	6 925	
100	3 176	3 581	5 153	5 767	8 950	6 584	3 060	
135	339	420	568	676	768	639	414	
150	180	208	298	318	348	301	206	

<b>Bitumen 4</b>	0-Prov	massa Efter tillverkning	provkropp 60 °C ugn i 50 dagar	provkropp Osmotisk +/Frys-tö	massa i värmeskåp 24 h 120 °C	Omgång 2 I värmeskåp 9 h	Åldring Borrkärna 1 år	
Pen. (1/10mm)	82	49	36	28	34	38	52	
Mjukpunkt (°C)	46,2	49,9	54,1	55,9	54,2	52,7	49,8	
Temp. (°C)	Brookfieldviskositet (mPas)							
<b>60</b>	93 750	161 000	481 000	528 000	584 000	407 000	206 000	
<b>80</b>	8 910	15 061	34 033	33 889	43 000	32 278	17 833	
<b>90</b>	4 740	5 925	12 256	11 894	15 300	11 867	6 808	
<b>100</b>	2 329	3 106	5 150	4 892	6 260	5 195	2 988	
<b>135</b>	304	390	541	578	594	545	361	
<b>150</b>	161	201	267	290	280	286	182	

<b>Bitumen 5</b>	0-Prov	massa Efter tillverkning	provkropp 60 °C ugn i 50 dagar	provkropp Osmotisk +/Frys-tö	massa i värmeskåp 24 h 120 °C	Omgång 2 I värmeskåp 9 h	Åldring Borrkärna 1 år	
Pen. (1/10mm)	86	46	38	34	32	32	56	
Mjukpunkt (°C)	46,0	50	53,6	56,5	55	56,1	50,9	
Temp. (°C)	Brookfieldviskositet (mPas)							
<b>60</b>	126 000	221 000	363 333	592 000	785 000	668 000	273 000	
<b>80</b>	8 743	16 022	25 548	34 561	51 700	39 972	25 083	
<b>90</b>	4 582	6 089	9 137	11 594	17 450	13 939	9 717	
<b>100</b>	1 988	3 118	4 342	4 478	6 800	5 928	4 195	
<b>135</b>	256	436	465	599	584	521	467	
<b>150</b>	130	213	225	253	269	245	231	

<b>Bitumen 6</b>	0-Prov	massa Efter tillverkning	provkropp 60 °C ugn i 50 dagar	provkropp Osmotisk +/Frys-tö	massa i värmeskåp 24 h 120 °C	Omgång 2 I värmeskåp 9 h	Åldring Borrkärna 1 år	
Pen. (1/10mm)	84	65	39	41	37	49	60	
Mjukpunkt (°C)	47,0	50,2	57,1	56,9	56,6	53,4	50,7	
Temp. (°C)	Brookfieldviskositet (mPas)							
<b>60</b>	138 000	199 667	663 000	654 000	1 082 000	548 000	304 000	
<b>80</b>	14 133	19 133	47 967	46 500	77 700	46 417	26 028	
<b>90</b>	6 145	7 510	17 275	16 428	27 150	16 789	9 787	
<b>100</b>	3 094	3 990	7 017	6 870	10 750	6 970	4 072	
<b>135</b>	436	512	766	757	930	676	456	
<b>150</b>	220	250	390	383	419	323	281	

<b>Bitumen 7</b>	0-Prov	massa Efter tillverkning	provkropp 60 °C ugn i 50 dagar	provkropp Osmotisk +/Frys-tö	massa i värmeskåp 24 h 120 °C	Omgång 2 I värmeskåp 9 h	Åldring Borrkärna 1 år	
Pen. (1/10mm)	82	52	55	50	42	61	69	
Mjukpunkt (°C)	46,2	48,5	52,3	52,8	53	50,2	49,5	
Temp. (°C)	Brookfieldviskositet (mPas)							
<b>60</b>	125 000	241 000	305 000	370 000	685 000	348 000	276 000	
<b>80</b>	11 673	21 908	25 389	30 111	50 900	29 278	26 750	
<b>90</b>	5 651	8 380	8 853	10 844	17 900	10 889	9 723	
<b>100</b>	2 929	3 635	4 580	5 006	7 200	4 614	4 072	
<b>135</b>	332	397	514	530	647	464	456	
<b>150</b>	170	216	247	252	299	227	226	

**Åldringsegenskaper bitumen 1 – 7.**



# Bilaga 3: Styvhetsmodul borrhävar

Id.	Märkning	Skrymsdensitet (g/cm³)	Innan vattenmätning och konditionering					Efter vattenmätning			Efter konditionering					Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)															
			Vikt (g)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Styvhetsmodul (Mpa)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)				Vikt (g)	Upptaget vatten (g)													
13828	1.A	2,433	696,8	39,2	97,7	293,9	7300	39,3	98,2	297,6	1,6	39,3	98,2	297,6	1,3	700,6	3,8	7300	0														
13829	1.B	2,430	702,6	39,7	97,6	297,0	8300	39,7	98,1	300,1	1,3	39,8	98,1	300,8	1,3	706,1	3,5	8100	-200														
13830	1.C	2,435	702,4	38,8	97,7	290,9	7600	39,4	98,2	298,4	3,2	39,3	97,7	294,6	1,3	705,2	2,8	7700	100														
13832	1.D	2,425	589,4	33,4	97,6	249,9	8300	33,7	98,1	254,7	2,1	33,9	98,1	256,2	2,5	593,3	3,9	7500	-800														
13833	1.E	2,415	591,6	33,8	97,1	250,3	9500	34,7	97,7	260,1	4,2	33,7	97,8	253,2	1,1	597,9	6,3	8400	-1100														
13834	1.F	2,423	606,4	34,3	97,5	256,1	8100	34,7	97,8	260,7	1,9	33,9	98,1	256,2	0,1	610,2	3,8	8900	800														
Mv.	1-BIT	2,427	648,2	36,5	97,5	273,0	8183	36,9	98,0	278,6	2,4	36,7	98,0	276,5	1,3	652,2	4,0	7983	-200														
stdav 760																	stdav 601																

Id.	Märkning	Skrymsdensitet (g/cm³)	Innan vattenmätning och konditionering					Efter vattenmätning			Efter konditionering					Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)															
			Vikt (g)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Styvhetsmodul (Mpa)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)				Vikt (g)	Upptaget vatten (g)													
13851	2.A	2,372	585,6	33,8	97,6	252,9	5000	34,1	98,3	258,8	2,5	34,1	98,8	261,4	3,4	595,3	9,7	4000	-1000														
13853	2.B	2,396	594,9	34,4	97,5	256,8	5700	34,6	98,0	261,0	1,6	34,4	98,4	261,6	1,9	600,6	5,7	5200	-500														
13854	2.C	2,378	604,6	35,6	97,4	265,3	4800	35,8	97,8	268,9	1,6	35,8	98,2	271,1	2,2	613,8	9,2	4100	-700														
13855	2.D	2,382	577,4	33,8	97,6	252,9	4600	34,0	97,6	254,4	0,6	34,0	98,4	258,6	2,2	583,9	6,5	4600	0														
13857	2.E	2,371	526,1	31,6	97,0	233,5	5100	32,3	97,3	240,2	2,8	32,4	97,9	243,9	4,4	532,8	6,7	4600	-500														
13858	2.F	2,393	593,7	33,9	97,6	253,6	4900	34,1	98,1	257,7	1,7	34,4	98,4	261,6	3,1	599,2	5,5	5000	100														
Mv.	2-BIT	2,382	580,4	33,9	97,5	252,5	5017	34,2	97,9	256,8	1,8	34,2	98,4	259,7	2,9	587,6	7,2	4583	-433														
stdav 376																	stdav 475																

Id.	Märkning	Skrymsdensitet (g/cm³)	Innan vattenmätning och konditionering					Efter vattenmätning			Efter konditionering					Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)															
			Vikt (g)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Styvhetsmodul (Mpa)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)				Vikt (g)	Upptaget vatten (g)													
13860	3.A	2,411	582,2	33,4	97,2	247,8	4900	33,8	97,2	250,8	1,3	33,6	97,3	249,8	0,8	587,5	5,3	4800	-100														
13861	3.B	2,405	599,4	34,4	97,8	258,4	4700	34,5	97,8	259,2	0,3	34,6	97,8	259,9	0,6	603,4	4,0	4000	-700														
13862	3.C	2,410	526,9	29,9	97,3	223,3	4400	29,9	97,7	224,2	0,8	29,9	97,8	224,6	1,0	530,3	3,4	3600	-800														
13863	3.D	2,410	540,1	30,5	97,9	229,6	4200	30,6	97,9	230,3	0,3	30,6	98,2	231,8	0,9	543,4	3,3	4400	200														
13864	3.E	2,409	524,2	30,1	97,9	226,6	4700	30,1	98,0	227,0	0,2	30,4	98,2	230,2	1,6	528,5	4,3	4600	-100														
13865	3.F	2,412	516,9	33,9	97,7	254,1	3600	34,0	97,8	255,4	0,5	34,0	97,7	254,9	0,3	520,0	3,1	2600	-1000														
Mv.	3-BIT	2,410	548,3	32,0	97,6	239,8	4417	32,2	97,7	241,2	0,6	32,2	97,8	241,9	0,9	552,2	3,9	4000	-417														
stdav 471																	stdav 810																

Id.	Märkning	Skrymsdensitet (g/cm³)	Innan vattenmätning och konditionering					Efter vattenmätning			Efter konditionering					Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)															
			Vikt (g)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Styvhetsmodul (Mpa)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)				Vikt (g)	Upptaget vatten (g)													
13836	4.A	2,432	593,5	33,4	97,6	249,9	5200	33,4	98,6	255,0	2,2	33,2	98,2	251,4	0,6	614,7	21,2	5100	-100														
13836	4.B	2,433	611,0	34,6	97,9	260,5	4600	34,8	97,9	262,0	0,6	34,5	98,2	261,3	0,3	617,5	6,5	4400	-200														
13838	4.C	2,430	593,3	33,5	97,5	250,1	5500	33,8	97,6	252,9	1,2	33,8	98,1	255,5	2,1	597,0	3,7	5000	-500														
13839	4.D	2,430	553,0	31,7	97,2	235,2	6700	31,7	97,4	236,2	0,4	31,7	98,0	239,1	1,7	556,3	3,3	6900	200														
13840	4.E	2,422	585,9	33,3	97,9	250,7	8000	33,3	98,0	251,2	0,2	33,3	98,5	253,8	1,2	589,0	3,1	7000	-1000														
13842	4.F	2,418	594,8	33,7	97,9	253,7	7100	33,8	98,1	255,5	0,8	33,7	98,5	256,8	1,2	597,8	3,0	7800	700														
Mv.	4-BIT	2,428	588,6	33,4	97,7	250,0	6183	33,5	97,9	252,1	0,9	33,4	98,3	253,0	1,2	595,4	6,8	6033	-150														
stdav 1292																	stdav 1372																

Id.	Märkning	Skrymsdensitet (g/cm³)	Innan vattenmätning och konditionering					Efter vattenmätning			Efter konditionering					Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)															
			Vikt (g)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Styvhetsmodul (Mpa)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)				Vikt (g)	Upptaget vatten (g)													
13844	5.A	2,387	622,9	36,3	97,2	269,4	5700	36,3	97,7	272,1	1,2	36,3	97,7	272,1	1,0	630,1	7,2	5800	100														
13845	5.B	2,398	620,4	35,2	97,6	263,3	6100	35,8	97,8	268,9	2,4	35,8	98,1	270,6	2,7	627,0	6,6	5600	-500														
13846	5.C	2,380	625,3	36,7	97,3	272,9	6300	36,7	97,7	275,1	1,0	36,7	97,8	275,7	1,0	632,6	7,3	6500	200														
13847	5.D	2,390	520,5	29,9	97,5	223,2	5900	30,1	97,7	225,7	1,0	30,1	98,2	228,0	2,1	525,5	5,0	5600	-300														
13848	5.E	2,405	598,3	34,2	97,6	255,9	6400	34,3	97,7	257,1	0,5	34,3	97,9	258,2	0,9	602,7	4,4	5700	-700														
13850	5.F	2,393	572,0	33,2	97,5	247,9	5700	33,2	97,8	249,4	0,6	33,4	98,0	251,9	1,6	576,1	4,1	5600	-100														
Mv.	5-BIT	2,392	593,2	34,3	97,5	255,4	6017	34,4	97,7	258,1	1,1	34,4	98,0	259,4	1,6	599,0	5,8	5800	-217														
stdav 299																	stdav 352																

Id.	Märkning	Skrymsdensitet (g/cm³)	Innan vattenmätning och konditionering					Efter vattenmätning			Efter konditionering					Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)															
			Vikt (g)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Styvhetsmodul (Mpa)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)				Vikt (g)	Upptaget vatten (g)													
13819	6.A	2,347	533,5	30,1	99,8	235,5	5300	30,5	100,5	241,9	2,8	30,1	99,8	235,5	0,0	542,0	8,5	5600	300														
13820	6.B	2,351	532,2	30,3	99,8	237,0	4800	30,8	100,4	243,8	2,9	30,7	99,8	240,2	1,3	542,4	10,2	4100	-700														
13821	6.C	2,336	493,9	30,3	96,7	222,5	4700	30,5	97,4	227,3	2,0	30,8	97,6	230,4	3,6	504,8	10,9	4200	-500														
13823	6.D	2,363	594,8	35,1	97,3	261,0	4600	35,3	97,9	265,7	2,0	35,2	98,0	265,5	1,7	605,3	10,5	3900	-700														
13825	6.E	2,357	590,9	34,5	97,7	258,6	5700	35,1	98,0	264,8	2,6	34,5	98,0	260,2	0,6	600,7	9,8	4600	-1100														
13826	6.F	2,337	588,6	35,2	97,5	262,8	4200	35,4	98,2	268,1	2,3	35,4	98,2	265,9	1,2	599,1	10,5	3500	-700														
Mv.	6-BIT	2,349	555,7	32,6	98,1	246,2	4883	32,9	98,7	251,9	2,4	32,8	98,5	249,6	1,4	565,7	10,1	4317	-567														
stdav 534																	stdav 725																

Id.	Märkning	Skrymsdensitet (g/cm³)	Innan vattenmätning och konditionering					Efter vattenmätning			Efter konditionering					Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)	Styvhetsmodul (Mpa)	
			Vikt (g)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Styvhetsmodul (Mpa)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)	Höjd (mm)	Diameter (mm)	Volym (cm³)	Volymökning (%)				Vikt (g)
13867	7.A	2,426	515,7	29,4	97,4	219,1	4300	29,5	97,7	221,2	0,9	29,5	97,7	221,2	1,0	519,6	3,9	3500	-800
13868	7.B	2,427	678,9	38,5	97,6	288,0	4500	38,5	97,7	288,6	0,3	38,5	97,7	288,6	0,2	682,8	3,9	3900	-600
13871	7.C	2,433	582,5	34,3	97,8	257,7	4500	34,4	97,9	258,9	0,5	34,4	98,6	262,7	1,9	585,0	2,5	3400	-1100
13872	7.D	2,429	600,3	33,5	98,2	25													

## BILAGA 4: SKISS PÅ PROVYTOR

			4/802
4/241			
	<b>3</b>	<b>3</b>	
3/808			3/797
3/760	<b>7</b>	<b>7</b>	3/760
	<b>2</b>	<b>2</b>	
2/760			2/748
	<b>5</b>	<b>5</b>	
2/001			1/995
	<b>7</b>	<b>4</b>	
1/575			1/340
	<b>4</b>	<b>7</b>	
0/952			0/940
0/886	<b>7</b>		
0/817		<b>1</b>	
	<b>1</b>		
0/461			0/540
		<b>7</b>	
	<b>6</b>	<b>6</b>	0/413
			0/233
			0/000

Skövde