

Datum

2012-09-17

Författare

Tobias Pålsson
Skanska Asfalt och Betong AB

Skanska Asfalt och betong AB

Asfalt Väst/Syd
Sperlingsholm
305 93 Halmstad
Tel: 010-448 48 03

Beteckning

12334

Stabilitetsprovning av polymermodifierade beläggningar

**Teknisk jämförelse och sambandsanalys av olika metoder att mäta
deformationsegenskaper på polymermodifierade
asfaltbeläggningar i Göteborgs Hamn**



SBUF PROJEKT 12334

Detta projekt har varit samfinansierat mellan SBUF, Nynas, Skanska och Göteborgs hamn.

Referensgruppen har bestått av följande personer:

Tobias Pålsson,	Skanska Asphalt och Betong AB	<i>Projektledare</i>
Sigvard Sundelid,	Skanska Asphalt och Betong AB	
Henrik Sjöholm,	Skanska Sverige AB, Teknik	
Krister Persson,	Nynas AB	
Stig Östfjord,	Göteborgs Hamn	

Det laborativa arbetet har utförts av Skanska Teknicks väglaboratorium i Angered, Malmö och Farsta, VTI, och Nynas laboratorium i Nynäshamn. Utläggning av provsträckorna genomfördes av Skanska Asphalt och Betong, Asphalt Sydväst.

Vi vill även tacka följande personer som bidragit genom att korrektur läsa rapporten och kommit med en hel del viktiga synpunkter som sedan har arbetats in i rapporten.

Henrik Arnerdal,	Nynas AB
Bengt Sandman,	Nynas AB
Kenneth Olsson,	Skanska Sverige AB, Teknik

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING.....	4
2. BAKGRUND.....	5
3. SYFTE.....	6
4. GENOMFÖRANDE.....	7
4.1 BITUMEN.....	8
4.2 ASFALTMASSA.....	9
4.3 UTLÄGGNING.....	9
4.4 ANVÄNDA METODER.....	10
4.4.1 Bindemedelsanalyser.....	10
4.4.2 Beläggningsanalyser.....	10
4.5 PROVTAJNINGSPLAN.....	11
5. ASFALTPROVNING.....	12
5.1 DYNAMISK KRYPSTABILITET.....	12
5.1.1 Utvärdering, deformationstest enligt dynamisk kryptest.....	15
5.2 STYVHETSMODUL.....	16
5.3 WHEELTRACK, APA.....	17
5.4 WHEELTRACK, HAMBURGER.....	18
6. ANALYS ASFALTPROVNING.....	19
6.1 Wheeltrack, Hamburger - APA.....	19
6.2 Wheeltrack – dynamisk kryptabilitet.....	22
7. BITUMENPROVNING.....	23
7.1 SYFTE MED TESTEN.....	23
7.2 BESKRIVNING AV BITUMENPROVNING ENLIGT AMERIKANSK MODELL.....	24
7.2.1 Beskrivning av provning av bitumen enligt superpave.....	24
7.2.2 Beskrivning av PG klassning.....	27
7.2.3 Litteraturstudie, PG klassningen.....	28
7.3 RESULTAT DSR.....	29
7.4 RESULTAT TRADITIONELL REOLOGISK PROVNING.....	31
8. ANALYS BITUMEN OCH ASFALT PROVNING.....	32
10. DISKUSSION.....	34
11. SLUTSATSER.....	37
REFERENSLISTA.....	39
Bilaga 1 sambandsanalys skrymdensitet - dynamisk kryptabilitet	40
Bilaga 2 beskrivning av använda metoder.....	41

1. INLEDNING

För att kunna göra en riktig riskanalys i en projektförberedelse avseende en beläggnings stabila egenskaper efter utförande finns ett behov av tillförlitliga verktyg. Med stabila egenskaper menas här främst beläggnings förmåga att stå emot spårdjupstillväxt uppkommen från en permanent deformation, omlagring.

De verktyg som används idag är framtagna för beläggningar med viskolinjära bitumen och genom empirisk provning d.v.s. man har provat och jämfört olika provresultats samband med verkligt utfall. Men när man modifierar en beläggning med polymerer så kan bituminets reologi förändras och ev. kan även dess viskolinjäritet påverkas och det föregående nämnda empiriska samband kan då ifrågasättas.

I detta projekt görs inget anspråk på att utveckla sambanden emellan icke viskolinjära bitumen och dess påverkan på beläggningsens egenskaper. Utan projektets mål är att visa på brister i det nuvarande förfaringssättet och de metoder som används och att ge rekommendationer för framtida projekt.

Tillägg:

Vid uppstarten av detta projekt började det Amerikanska systemet för att klassificera bitumen (PG klassning) att sprida sig i Sverige och hamna i diverse upphandlingar. Så även i Göteborgs Hamn. Då även vi såg detta som ett användbart verktyg så ville vi använda oss av detta i projektet. Under projektets gång har vi däremot förstått att detta inte var så enkelt som det verkade vid första anblicken och en del av denna rapport tillägnas åt att sprida lite mer ljus över vad detta system innebär.

2. BAKGRUND

Sveriges hamnar är under stark utveckling och stora investeringar görs i Göteborg, Malmö, Gävle m.fl. där förbättrade hamnkonstruktioner krävs för att klara den allt tyngre och intensivare trafiken.

En ojämn beläggning skapar problem för truckar att i tid leverera containers till båtarna och orsakar stora kostnader. Jämna beläggningar minskar även risken för olyckor, arbetsmiljöskador och ger lägre kostnader i form av minskat slitage och lägre drivmedelsförbrukning.

Kraven i hamnarna driver på asfaltutvecklingen och har medfört ett behov av att modifiera asfalten på olika sätt, främst för att öka beläggningens förmåga att stå emot plastiska deformationer.

Den mest förekommande provmetoden för kontroll av stabilitetsegenskaper på beläggningar i Sverige är dynamisk krypstabilitet enligt SS-EN 12697-25. Det har dock upplevts som problematiskt med att visa stabilitetsegenskaperna på dessa modifierade asfaltbeläggningar med denna metod. Testresultat upplevs sprida inom provserier såväl som emellan laboratorier, vilket försvårat möjligheten att förutse och dimensionera beläggningens stabilitetsegenskaper. Resultaten blir inte heller i nivå med de förväntade och resultaten uppvisar stora skillnader i jämförelse med t.ex. Wheeltrack undersökningar.

Dessutom är den s.k. Hamburger Wheeltrack den vanligaste förekommande metoden med vilken man mäter en beläggningens stabila egenskaper runt om i världen. Och för att kunna relatera till övriga länders erfarenheter vore det önskvärt att kunna korrelera de värden till den dynamiska krypstabilitets metoden vi använder.

3. SYFTE

1. Att undersöka om dynamisk kryptest enligt SS-EN 12697-25 är en lämplig provmetod för att undersöka stabilitetsegenskaperna på polymermodifierade beläggningar och om det finns alternativa metoder. I detta fall wheeltrack.

2. Att undersöka om man genom att analysera bituminets egenskaper kan förutse beläggnings stabilitetsegenskaper, d.v.s. underlätta dimensioneringsarbetet vid val av bitumen.

Utöver dessa syften så har resultaten som framkommit i projektet givet ytterligare erfarenheter som presenteras.

4. GENOMFÖRANDE

Jämförande provning utförs med olika versioner av dagens dynamisk krypstabilitets utrustningar, pneumatiskt eller hydrauliskt styrda.

Resultaten från dessa undersökningar jämförs med andra typer av utrustningar för stabilitetsprovning, APA Wheeltrack på borrhärdor och Hamburger Wheeltrack på tillverkade beläggingsplattor.

Anledningen till att vi analyserat borrhärdorna i APA wheeltrack och inte även de i Hamburger wheeltrack är att det vid projektets genomförande endast gick att analysera borrhärdor med diameter 200 mm i Hamburger wheeltrack. En förutsättning både praktiskt och arbetsmiljömässigt är att det går att analysera 150 mm borrhärdor för att metoden ska vara användbar för fältkontroll.

Bindemedlens egenskaper jämförs med resultaten på färdig beläggning.

Fyra olika polymerbitumen har valts att studeras i projektet. Två stycken väldigt styva och två mindre styva. Provytor bekostas av Göteborgs hamn och utförs på RPGs terminal vid Skandiahavnen.

Tabell 1, använda bitumensorter.

PMB sort	FD J/cm ²	Pen X 0,1 mm	KoR °C	Elast @ 25°C %
Högre styvhet				
PMB 1+	6,03	35	79,5	65%
PMB 2+	7,00	18	91,5	75%
Lägre styvhet				
PMB 3	2,00	56	65,5	65%
PMB 4	1,92	71	90,5	100%

4.1 BITUMEN

PMB 1+

Polymermodifierat bitumen framtaget främst för dess goda egenskaper avseende styvhet och kohesion. Använts i bindlager för att förbättra förmågan att motstå deformationer.

PMB 2+

Polymermodifierat bitumen framtaget för dess goda egenskaper avseende styvhet och kohesion. Använts främst i bindlager för att förbättra förmågan att motstå deformationer.

PMB 3

Polymermodifierat bitumen framtaget för dess speciellt goda egenskaper avseende bränsleresistens. Använts främst i slitlager och AG lager för att förbättra dess beständighet och förmåga att motstå deformationer.

PMB 4

Polymermodifierat bitumen framtaget för dess speciellt goda egenskaper avseende elasticitet. Använts i samtliga lager till att förbättra utmattning och elasticitet.

Inga av de ingående polymertyperna, halterna eller basbitumen sorterna redovisas då de kan betraktas som affärshemligheter. Det är inte heller av nödvändighet i detta projekt då det är modifieringen som sådan som utvärderas och inte de använda polymererna.

4.2 ASFALTMASSA

Valet av massa är en ABb 22 med ballastkurva enl. VVTBT-09. Samtliga fyra varianter tillverkas med samma bitumenhalt och ballastkurva samt med 1 % cement. På grund av problem med att växla mellan fyra olika bitumensorter på ett verk så tillverkades massorna med PMB 2+ och PMB 4 på Skanskas asfaltsverk i Kålleröd och massorna med PMB 1+ och PMB 3 på Skanskas asfaltsverk i Vikan.

Massorna har tillverkats med den ballasten som normalt används på verket. Det innebär att det inte går att jämföra massa densiteten emellan de olika verkens recept. Men då det är samma sort som jämförs med olika provningar spelar detta mindre roll.

Tillverkningstemperaturerna ligger på emellan 160-170°C på samtliga varianter.

4.3 UTLÄGGNING AV ASFALTMASSORNA

Massan lades ut med en Dynapac F181C och vältades med en Dynapac CS141 och en Hamm DV6.

Vardera 65 ton av varje sort lades ut med tjocklek av 65 mm.

4.4 ANVÄNDA METODER

4.4.1 BINDEMEDELSANALYSER

Penetration @ 25°C enl. SS-EN 1426

Mjukpunkt enl. SS-EN 1427

Elastisk återgång enl. SS-EN 13398

(FD) Bestämning av deformationsenergi enl. SS-EN 13703/13589

DSR (Dynamisk skjuvreometer) enl. SS-EN 14770

RTFOT enl. SS-EN 12607-1

PAV enl. SS-EN 14769

4.4.2 ANALYSER PÅ FÄRDIG BELÄGGNING

Skrymdensitet enl. SS-EN 12697-6

Dynamisk kryptest enl. SS-EN 12697-25

Styvhetsmodul @ 5, 10 och 20°C enl. SS-EN 12697-26

APA Wheeltrack enl. Mod. AASHTO TP 63

Förkortas APA i rapporten

Hamburger Wheeltrack enl. SS-EN 12697-22 (small device)

Förkortas HWT i rapporten

Anm. I bilaga 2 redovisas analysmetoderna mer utförligt.

4.5 PROVTAGNINGSPLAN

	Modifierade "styvare"		Modifierade "styv"	
	<i>PMB 1+</i>	<i>PMB 2+</i>	<i>PMB 3</i>	<i>PMB 4</i>
Borrkärnor (serier)				
Dynamisk kryptest Fas 468* ¹ Hydraulisk	2	1	1	1
Dynamisk kryptest Fas 468 * ¹ Pneumatisk lab. 1	2	1	1	1
Dynamisk kryptest Fas 468* ¹ Pneumatisk lab. 2	4	1	1	1
Styvhetsmodul	2	1	1	1
APA Wheeltrack	1	1	1	1
Hamburger Wheeltrack* ²	1			1
Laboratorie tillverkat (platta)				
Hamburger Wheeltrack	1	1	1	1
Bitumen provning				
DSR + (RTFOT+PAV)	1	1	1	1
FD, kraftduktilitet	1	1	1	1
Elastisk återgång	1	1	1	1
Mjukpunkt	1	1	1	1
Penetration	1	1	1	1

*¹ FAS 468 är numera ersatt av SS-EN 12697-25

*² Kompletterande provning

Beläggningen modifierad med PMB 1+ provades mer genomgående för att få en uppfattning om spridningar och ev. samband.

5. ASFALTPROVNING

5.1 Deformationstest enligt Dynamisk kryptest

Provning utförd på borrhärnor från färdig beläggning.

3 provserier per bitumensort provades. I en provserie så skall, enligt metoden, minst 5 st. 150 mm:s kärnor med minimum tjockleken 60 mm provas. I svenska regelverk är det vanligt förekommande att man ska analysera 6 st. prover, vilket är gjort i detta projekt. Då beläggningstjockleken var 65 mm så borrades 12 st. borrhärnor parvis och kapades till 30 mm vardera. Dessa lades sedan ihop för att erhålla den angivna tjockleken enligt metoden (60 mm). Detta är ett vedertaget tillvägagångssätt som stöds av metodbeskrivningen. Provningen är utförd vid +40°C.

Första provserien analyserades på VTI, andra analyserades på Skanskas laboratorie i Malmö (MLM) och tredje analyserades på Skanskas laboratorie i Angered (ANG).

De tre laboratorierna har vissa skillnader i sina utrustningar.

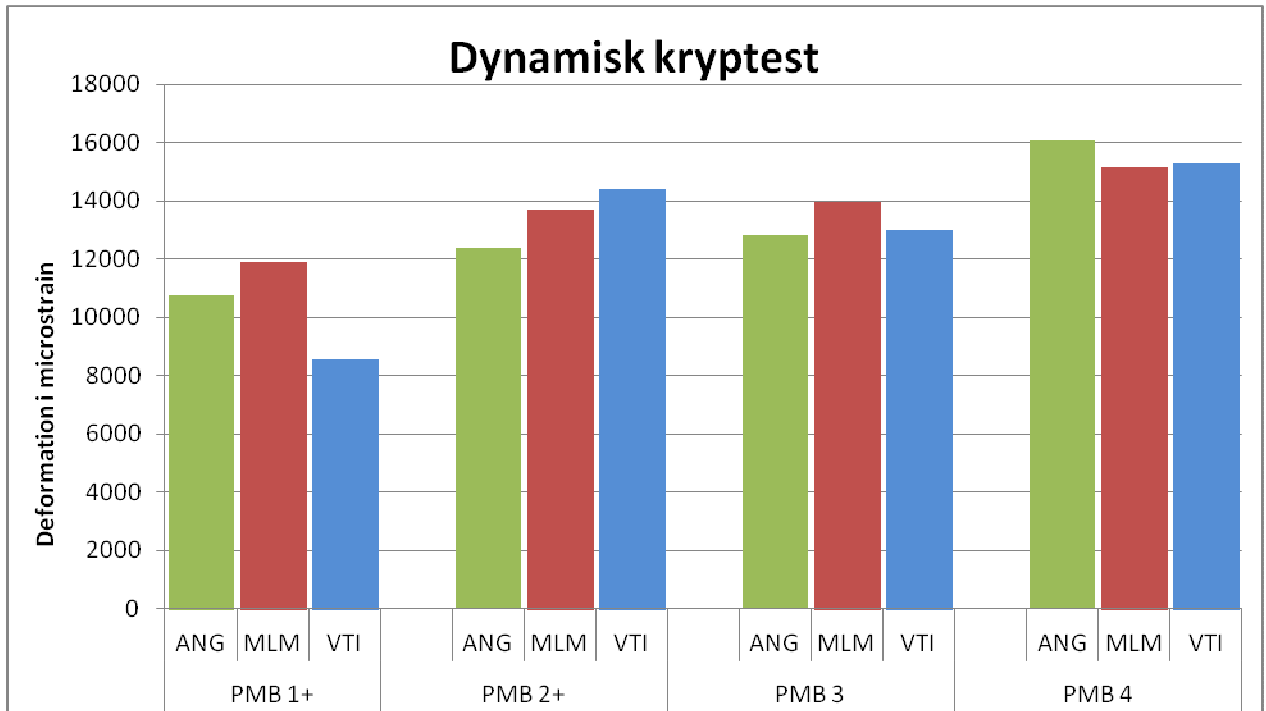
VTI använder sig av en Hydraulisk maskin, Skanska Malmö och Skanska Angered använder pneumatiska maskiner. Ingen ansats görs i projektet att utvärdera de tekniska skillnaderna emellan dessa maskiner, utan konstaterar endast att skillnader finns.

Ytterligare 5 provserier provades på massasorten med PMB 1+, för att erhålla ett större urval av resultat.

Ingen uppgift om precision finns i metodbeskrivningen, utan det hänvisas till två ringanalyser som gett $r=R=20\%$.

De olika laboratoriernas resultat avseende dynamisk kryptest provning redovisas på kommande sida.

Diagram 1, resultat dynamisk kryptest



Tabell 2, resultat dynamisk kryptest

PMB sort	Lab	Antal kärnor n	Töjning microstrain	Stdav microstrain	Variationskof.	Medel microstrain	Stdav microstrain	Variationskof.
PMB 1+	VTI	24	8550	2987	35 %	10402	1704	16 %
	MLM	12	11903	2968	25 %			
	ANG	24	10754	2773	26 %			
PMB 2+	VTI	6	14417	5305	37 %	13505	1036	8 %
	MLM	6	13720	2373	17 %			
	ANG	6	12378	3579	29 %			
PMB 3	VTI	6	13017	5523	42 %	13268	610	5 %
	MLM	6	13964	4674	33 %			
	ANG	6	12824	4807	37 %			
PMB 4	VTI	6	15300	3241	21 %	15521	496	3 %
	MLM	6	15173	5553	37 %			
	ANG	6	16089	2947	18 %			

Inom resp. laboratorium

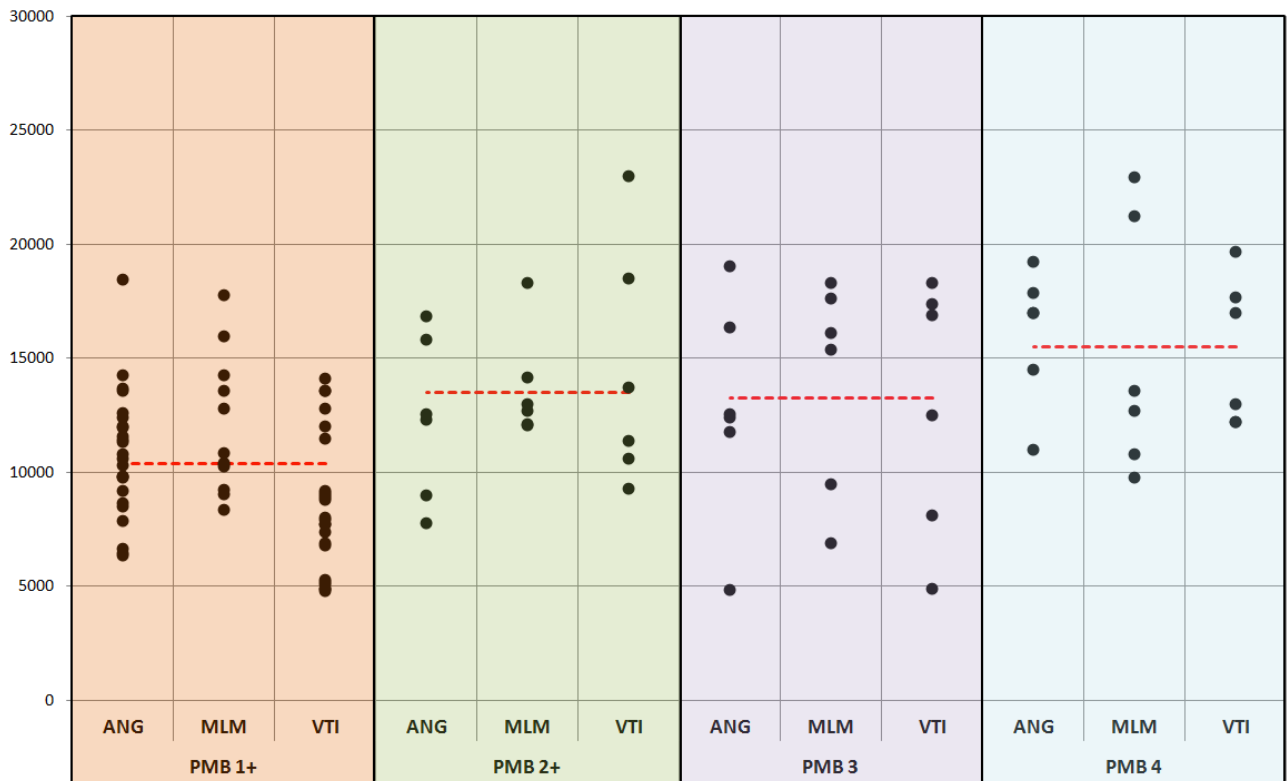
Emellan laboratorierna

Tre av serierna innehåller ett extremvärde vardera enl. TRVMB 705, dessa är inte borttagna då det inte går att fastställa anledningen till dessa.

De enskilda provserierna har en variationskoefficient på 17-42 % och emellan laboratorierna ligger variationskoefficienten på 3-16 %.

I en ringanalys utförd av VTI år 2000 (1) på en AG 16 160/220 så fick man en variationskoefficient på 6-23 % på de enskilda provserierna och 12 % emellan laboratorierna. Observera att detta var på ett omodifierat bindemedel.

Diagram 2, visar spridningen av töjningen i microstrain för varje lab samt medelvärdet.



5.1.1 Utvärdering, deformationstest enligt Dynamisk kryptest

En av bakgrunderna till detta projekt var att det finns en utbredd uppfattning att testresultat sprider inom provserier såväl som emellan laboratorier. Men medan variationskoefficienterna för de enskilda provserierna är väldigt höga, så är de relativt låga emellan laboratorier. Jämför man med den ringanalys (1) som är gjord på en AG massa med omodifierat bitumen så är det likvärdig skillnad emellan laboratorier medan spridningen är betydligt högre inom de enskilda provserierna i detta projekt.

Det är alltid en svårighet att bedöma om spridningar är stora eller små, man får relatera till erfarenhet. Men man kan också titta på trafikverkets krav regler som finns avseende kryptabilitet enligt denna metod. Ett normalt intervall emellan olika trafik klasser för denna massatyp är 3000 microstrain (2). Räknet med 2 gånger standardavvikelsen så kan en standardavvikelse på ca 750 microstrain vara ett mått på lämplig högsta standardavvikelse i en provserie.

Spridningen emellan de olika skrymdensiteterna är liten, ett medel på standardavvikelse på ca 10 kg/m³. Men då den massatypen med högst standardavvikelse (29 kg/m³) var PMB 1+ som även var den med högst variationskoefficient så är en sambandsanalys gjord (bilaga 1) på skrymdensitet kontra stabilitetsvärde. Med ett R² värde på 0,20 på samtliga prover och R² på 0,06 på proverna från PMB 1+ serierna så visar det att inget sådant samband finns i detta fall.

Med de resultat som framkommit i detta projekt kan vi inte se någon anmärkningsvärd spridningen på resultaten emellan de olika laboratorier. Inte heller någon skillnad beroende på typ av polymermodifiering. Däremot är det en väldigt stor spridning inom de olika provserierna. Om detta beror på metodiken, materialval, homogenitet, att det är väldigt små töjningar som mäts eller någon kombination av ovanstående är osäkert.

5.2 Styvhetsmodul

Provning utförd på borrhärnor från färdig beläggning.

Analys av styvhetsmodulen utfördes på Skanskas laboratorie i Angered.

Tabell 3, resultat styvhetsmodul

PMB sort	Styvhet 5°C MPa	Styvhet 10°C MPa	Styvhet 20°C MPa
PMB 1+	13574	10136	4655
PMB 2+	9638	5764	1816
PMB 3	18934	15756	6213
PMB 4	12855	9625	2869

Resultaten på PMB 3 är extremt höga, på inga andra prover på denna sort har så pass höga värden producerats. Vi kan inte finna någon anledning till de höga värdena och ytterligare prover tagna på andra ytor visar på en helt annan nivå.

Dessa resultat har inte analyserats i rapporten utan togs fram utifall de skulle komma att behövas. Anledningen är att denna provning inte är lämplig att analysera i efterhand.

5.3 Wheeltrack, APA

Provning utförd på borrhärnor från färdig beläggning.

1 provserie per bitumensort provades. Varje provserie omfattar 4 st. 150 mm:s borrhärnor, 2 borrhärnor bildar ett delprov. Proverna är samtliga upptagna i samband med borring av prover till dynamisk krypstabilitet. På beläggningen med bitumensort PMB 1+ togs ytterligare 3 provserier, för att få en uppfattning om ev. spridningar.

Provningen utfördes av Skanskas laboratorie i Farsta på en Asphalt Pavement Analyser.

Provningen utförs i +50°C och provresultaten man erhåller är den permanenta deformationen i mm vid 8 000 överfarter.

Tabell 4, resultat medelvärde APA Wheeltrack

PMB sort	Deformation mm	Skrymdensitet Kg/m³
PMB 1+	1,65	2499
PMB 2+	1,72	2555
PMB 3	1,79	2556
PMB 4	2,19	2543

Tabell 5, resultat APA Wheeltrack, provserier tagna på PMB 1+, utökad provning

Provserier på PMB 1+				
PMB sort	Deformation mm	STDAVP mm	Variationskof.	Skrymdensitet Kg/m³
PMB 1+	0,93	0,43	26 %	2536
PMB 1+	2,05			2489
PMB 1+	1,91			2511
PMB 1+	1,71			2458

5.4 Wheeltrack, Hamburger

Provning utförd på laboratorie tillverkade plattor.

Samtliga plattor är tillverkade av massa uttagen i samband med utläggning av provytorna. Totalt har 6 plattor per bitumensort provats (3 dubbelbestämningar).

Platt tillverkningen och provningen utfördes av Nynas laboratorie i Nynäshamn. Använd wheeltrack utrustning är en s.k. Hamburger wheeltrack.

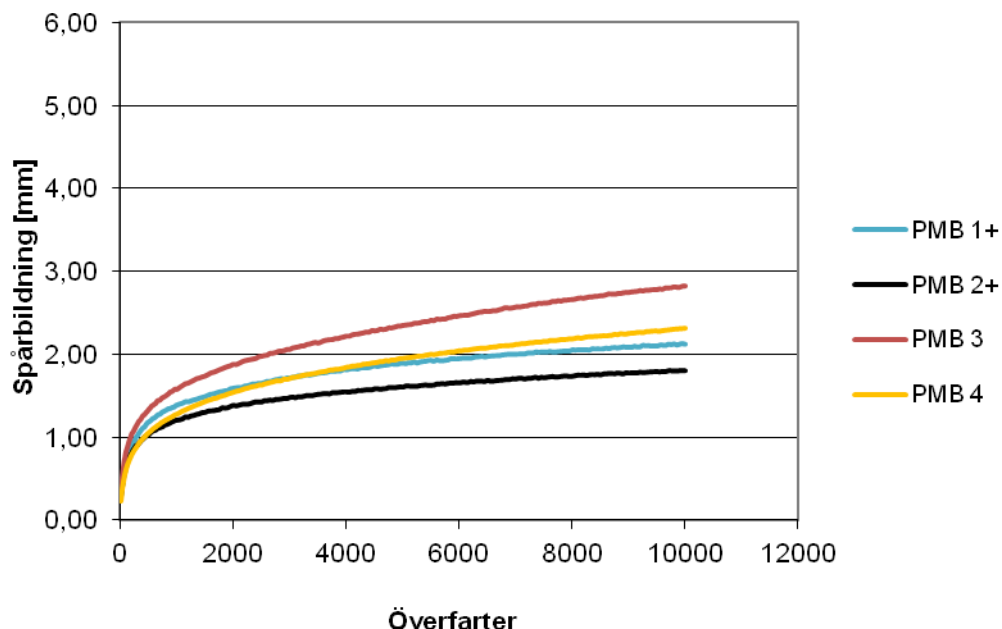
Provningen är kört torrt (möjlighet finns att köra i vatten, men då provas ytterligare egenskaper än stabilitet).

Provningen utfördes i +50°C och det erhållna provresultatet är, i detta fall, den permanenta deformationen i mm vid 10 000 överfarter. I tabellen redovisas även deformationen vid 8 000 överfarter för att kunna jämföra med resultaten från provningen med APA.

Tabell 6, resultat Hamburger Wheeltrack

PMB sort	Deformation mm	Skrymdensitet Kg/m ³	WTS <i>wheel-tracking slope, mm</i>	Deformation @ 8 000 mm
PMB 1+	2,13	2566	0,05	2,06
PMB 2+	1,80	2497	0,04	1,74
PMB 3	2,83	2483	0,10	2,66
PMB 4	2,32	2495	0,07	2,19

Diagram 3, resultat Hamburger Wheeltrack



6. ANALYS ASFALTPROVNING

6.1 Wheeltrack

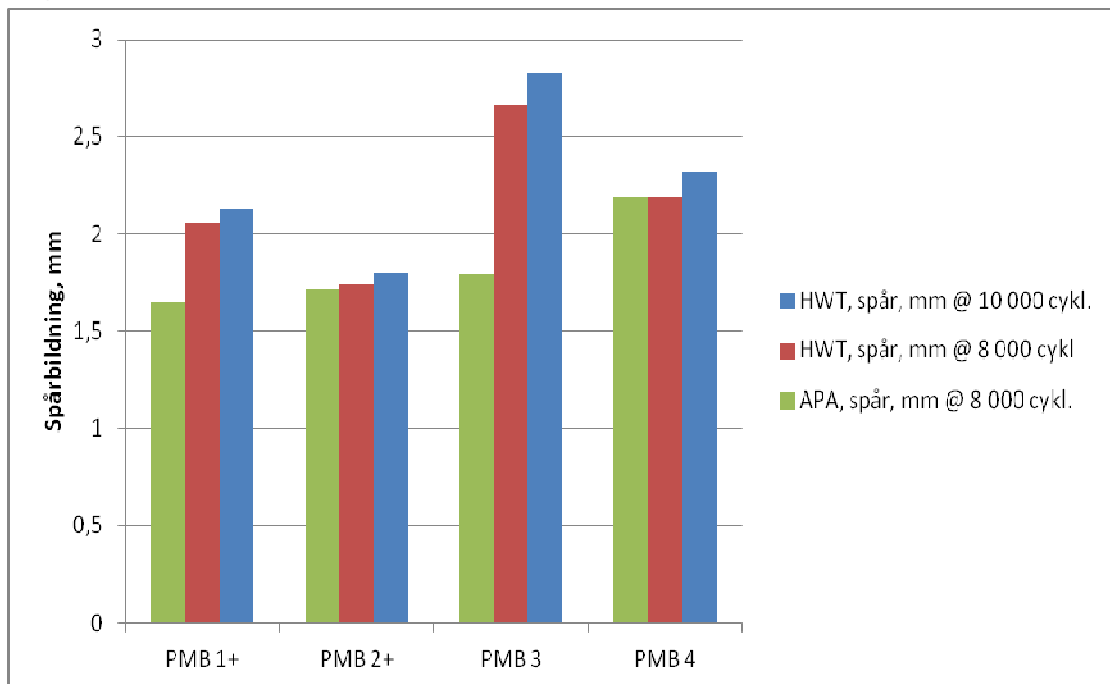
HWT – Hamburger wheeltrack på laboratorietillverkade plattor

APA – Asphalt Pavement Analyzer, wheeltrack på borrkärnor

Tabell 7, resultat wheeltrack HWT och APA

PMB sort	HWT Spår, mm @ 10 000 överf.	HWT Spår, mm @ 8 000 överf.	Skrymdens. Kg/m ³	APA Spår, mm @ 8 000 överf.	Skrymdens. Kg/m ³
PMB 1+	2,13	2,06	2566	1,65	2499
PMB 2+	1,80	1,74	2497	1,72	2555
PMB 3	2,83	2,66	2483	1,79	2556
PMB 4	2,32	2,19	2495	2,19	2543

Diagram 4, resultat wheeltrack HWT och APA



Det finns en väldigt god korrelation på två av massasorterna medan på två avviker resultaten. Men totalt sett ger provningen ett R^2 värde på 0,06, vilket indikerar att inget samband är funnet emellan wheeltrack metoderna.

Diagram 5, regressionslinje APA och Hamburger wheeltrack



Av ovanstående anledning så provades även 2 borrhärnor i HWT för att komplettera resultaten på plattförsöken.

Tabell 8, komplettering wheeltrack HWT

PMB sort	HWT Spår, mm @ 8 000 överf. Laboratorie tillverkad platta	HWT Spår, mm @ 8 000 överf. Borrhärnor	APA Spår, mm @ 8 000 överf. Borrhärnor
PMB 1+	2,06	1,4	1,65
PMB 4	2,19	2,0	2,19

Den kompletterande provningen visar att jämförelsen mellan borrhärnor och laborietillverkade plattor bör utredas vidare.

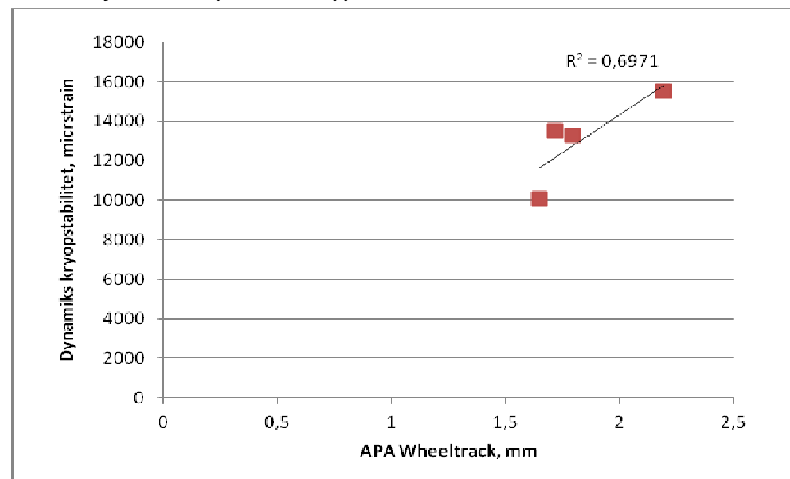
Vi har i Sverige en begränsad erfarenhet av jämförelse emellan laboratorietillverkade plattor och borrhärdor avseende wheeltrack. Vi har däremot mer erfarenhet på jämförelse på dynamisk krypstabilitet och där är vår erfarenhet att det är ytterst sällan att man finner korrelationer emellan laboratorie tillverkade prover och prover tagna i fält

Det är ett begränsat provunderlag. Endast två delprov per massasort på APA och 6 delprov per sort på HWT, samt den kompletterande provningen med borrhärdor på HWT.

6.2 Wheeltrack - Dynamisk krypstabilitet

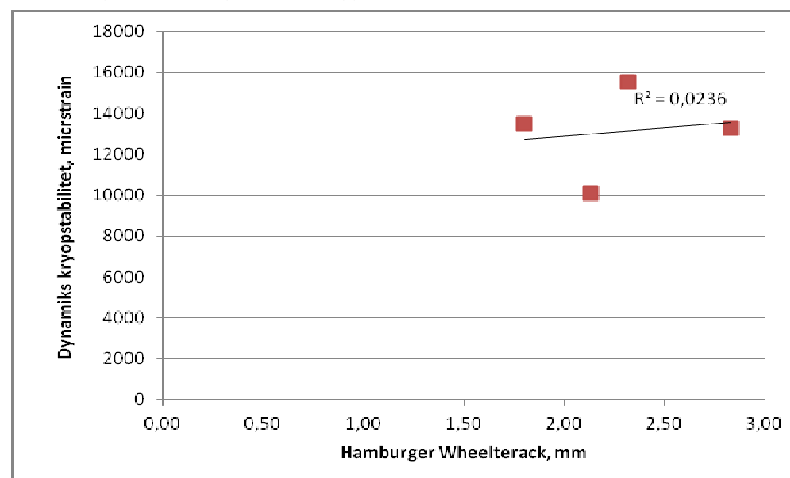
Sambandet emellan wheeltrack APA (borrkärnor) och dynamisk krypstabilitet (borrkärnor) är $R^2=0,70$ vilket är ett något svagt samband. Sambandet är kört med medelvärdet på dynamisk krypstabilitet och resultaten från APA.

Diagram 6, regressionslinje APA – dynamisk krypstabilitet



Samma jämförelse emellan wheeltrack HWT och dynamisk krypstabilitet ger ett R^2 värde på 0,02 vilket indikerar att det inte finns något samband. Men som nämnt i kap 6.2 så bör man utreda relevansen med att jämför resultat på laborietillverkade plattor med resultat på borrkärnor.

Diagram 7, regressionslinje HWT – dynamisk krypstabilitet



7 BITUMENPROVNING

7.1 Syfte med testen

Anm. för detaljerad metodbeskrivning se bilaga 1.

Index provning (empirisk)	Syfte med test och applicering på PMB
KoR – Kula och Ring	Ett test på konsistens vid höga temperaturer. Anses inte som tillförlitlig för att bedöma hög temperatur egenskaper på beläggningen. Kan användas för att mäta instabiliteter av modifierade bindemedel (3). Olika polymerer har olika, mer eller mindre väl definierade, smältindex vilket även kan påverkar provningen.
Pen – Penetration @ 25°C	Anses vara ett test på konsistens vid medeltemperatur. Även om testet är ifrågasatt och av lite värde, så används det i många specifikationer. Kan både bli högre och lägre som effekt av en modifiering av bituminet. (3)
Dragegenskaper	
FD – Kraft duktilitet @ 10°C	Den energin som krävs för att dra ut ett bitumenprov till en viss längd under en viss tid. Ett mått på bituminets kohesions styrka.
Elast – Elastisk återgång @ 25°C	Bituminet dras ut till en viss längd, klipps av och återgången mäts och resultatet redovisas i procent. Används för att avgöra om bituminet innehåller elastomerer.
Metoder använda i Superpave	
DSR – Dynamic Shear Rheometer	Används för bestämning av skjuvmodul (styvhet) och fasvinkel (elasticitet) hos bitumen i temperaturer >4°C i frekvensområdet 3 rad/s till 100 rad/s. Vid normaltemperatur ett mått på utmattningsförmåga och vid högre temperaturer ett mått på motstånd mot permanenta deformationer.
Metoder för att simulera åldring	
RTFOT – Rolling Thin Film Oven Test	Används för att simulera korttidsåldring på ett bitumen i en asfaltkonstruktion. Grovt uppskattat från blandning av asfaltmassan upp till 2 år utlagt.
PAV – Pressure Aging Vessel	Används för att simulera långtidsåldring på ett bitumen i en asfaltkonstruktion. Grovt uppskattat från 7 år och längre.

7.2 Beskrivning av bitumenprovning enligt Amerikansk modell

7.2.1 Provning av bitumen enligt superpave*

**(amerikanskt system för bl.a. design av asfalt)*

förenklad förklaring sammanställt från [3]

1992-1993 infördes ett nytt system för att gradera bitumen i USA. Bitumens viskoelastiska egenskaper mäts avseende två egenskaper. Motståndet mot deformation och det motståndets relativa fördelning mellan en elastisk och en viskös del. För att testa dessa egenskaper används ett dynamisk oscillerande test (DSR). Från detta test får man en dynamisk modul (styvhetsmodul) (G^*) och en fasvinkel (δ). G^* representerar det totala motståndet mot deformation under last medan δ representerar den relativa fördelningen av detta motstånd mellan en elastisk och en viskoelastisk del.

Dessa reologiska egenskaper kan presenteras antingen med en förändring av G^* som en funktion av belastningsfrekvensen vid en fast temperatur (masterkurva) eller med en förändring av G^* och δ med temperatur vid en förvald belastningsfrekvens (isokron kurva). [3]

Av praktiska skäl har en isokron kurva valts i superpave, med en frekvens på 10 rad/s, (1.59 Hz). Den frekvensen är menat att motsvara en trafikhastighet på 90 km/h. [4]

Bild 1, DSR utrustning

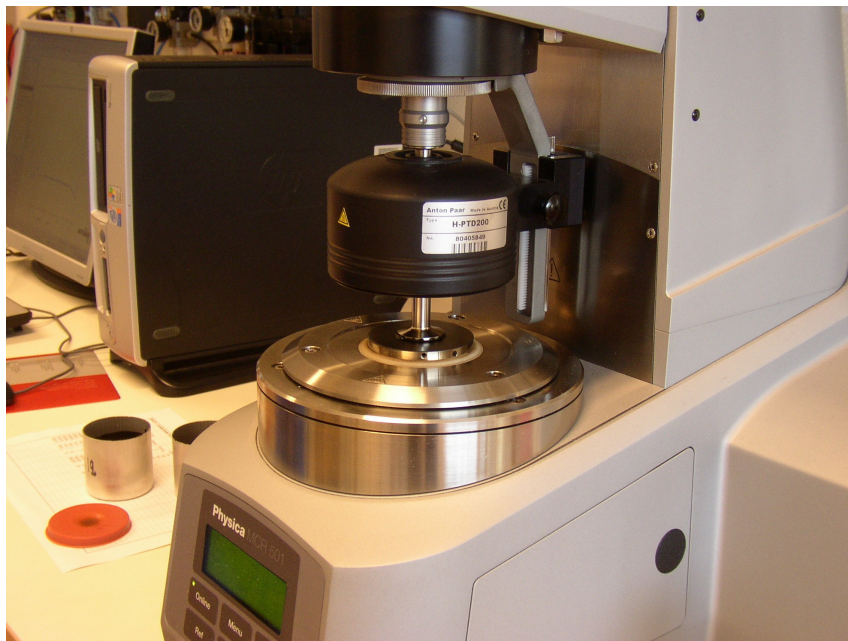
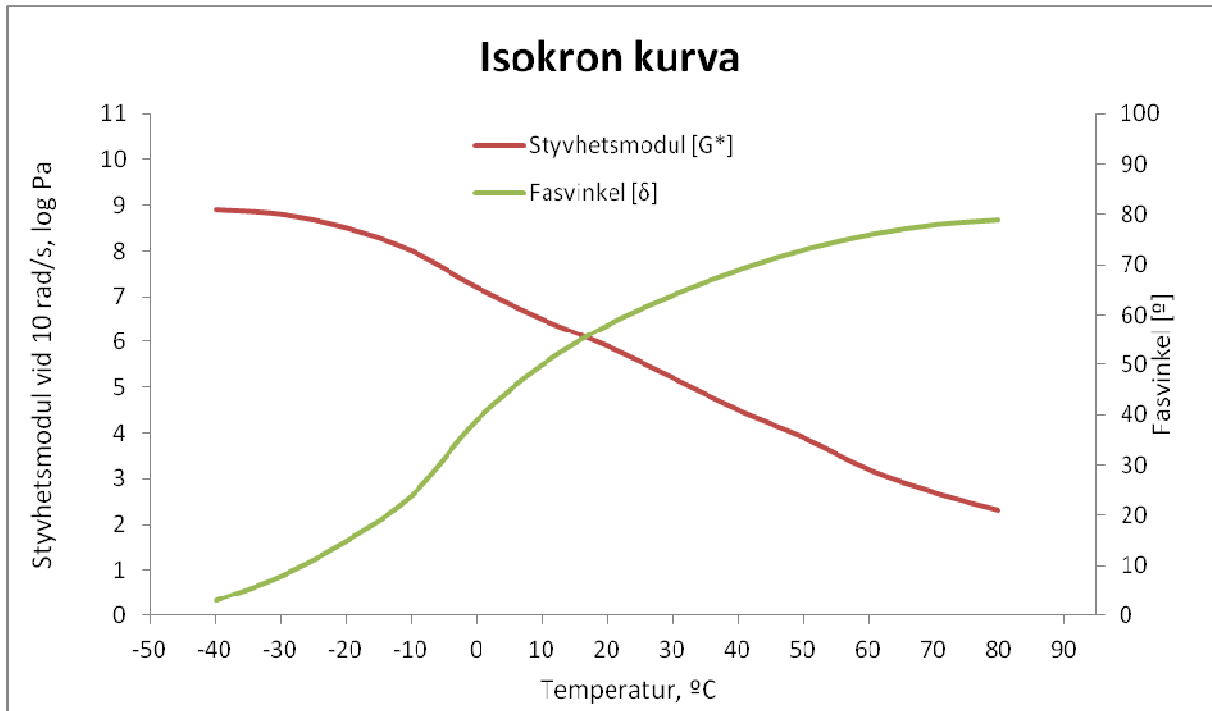


Bild 2, exempel på resultat från DSR



Som förklaring till bilden

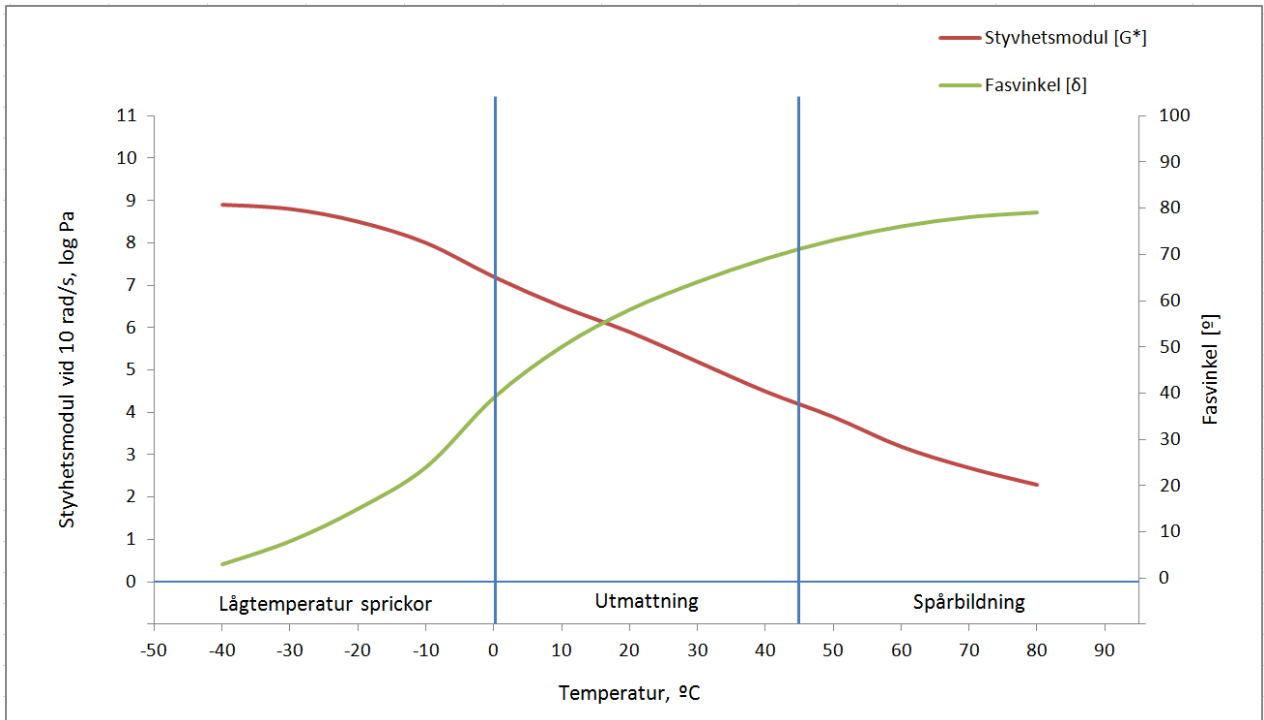
Då temperaturen ökar så sjunker G^* medan δ stiger. Att G^* sjunker visar att motståndet mot deformation minskar (bituminet mjuknar) och att δ stiger visar på en minskning i elasticitet alt. förmågan att lagra energi.

Vid höga temperaturer så närmar sig δ 90° , på alla bitumen, vilket visar på en övergång till ett helt visköst material, avsaknad av förmåga att lagra energi. G^* kan däremot variera väldigt vid högre temperaturer vilket reflekterar olika bitumens konsistens egenskaper (viskositet).

I en beläggning vid högre temperaturer är den främsta mekaniska skadan orsakad av spårbildning. För motstånd mot spårbildning är det därför fördelaktigt med en hög styvhet (G^*), det indikerar på en bättre förmåga att motstå deformation. Och en lägre fasvinkel (δ) som indikerar på en mer elastiskt (återgående) deformation.

För att relatera bitumen egenskaper till egenskaper på färdig beläggning kan man dela in diagrammet i tre ungefärliga klimatzoner med karaktäristiska skadeproblem.

Bild 3, exempel på indelning av temperatur relaterade skador



Enligt SHRP (Strategic Highway Research Program) så finns följande samband [5]:

Utmattningsmotstånd = skjuvmodul [G*] * sin(fasvinkel [δ])

Spårbildningsresistens = skjuvmodul [G*] / sin(fasvinkel [δ])

7.2.2 PG klassning

(förenklad förklaring)

En del av en design enligt superpave är en s.k. PG klassning (Performance Grade) av bituminet. Där har de klassificerat de tre olika temperaturzonerna genom givna kontrollparametrar.

Kontrollparameter	Vid mätvärde	PG klass
	kPa	°C
1. $G^*/\sin(\delta)$ bestäms med DSR	1,0	$\leq t$ -hög
2. $G^*/\sin(\delta)$ bestäms med DSR efter RTFOT	2,2	$\leq t$ -hög
3. $G^* \times \sin(\delta)$ bestäms med DSR efter RTFOT+PAV	5 000	$\leq t$ -med
4a. S bestäms med BBR efter RTFOT+PAV	300 000	$\geq t$ -låg ^{*1)}
4b. m-värde bestäms med BBR efter RTFOT+PAV	0,3	$\geq t$ -låg ^{*2)}

^{*1)} DTT används om S är 300-600 MPa och $m \geq 0,3$.

^{*2)} av praktiska skäl utförs testet vid t -låg + 10°C

PG klassen väljs i steg om 6°C enligt tabellen nedan.

t-hög =	46	52	58	64	o.s.v.
t-låg =	- 16	- 22	- 28	- 34	o.s.v.

Ett bitumen som tillskrivs t.ex. PG klass 64-22 är då lämpligt i en beläggning i ett klimat där beläggningstemperaturen inte är högre än 64 och inte är lägre än -22. Att göra sådana temperaturberäkningar enligt superpave är relativt komplicerat och är en del av systemet. Utöver detta så gör man även vissa justeringar om det är viss andel tung trafik, långsamt gående trafik etc. då höjer man t-hög. Även detta finns reglerat hur det ska gå till med beräkningar av standardaxlar etc.

I detta projekt har jag fokuserat på t-hög, det värdet som enligt SHRP [4] skall ha ett samband med en beläggnings förmåga att motstå deformation.

7.2.3 BEGRÄNSNINGAR

I boken Modeling of Asphalt Concrete kan man bl.a. läsa följande. Fritt översatt och sammanfattat.

Kim 2009 s.38-s.42 [3]

Det amerikanska superpave systemet att gradera bitumen baseras på vissa antagna samband för att förenkla provningen.

Antagandena är att bitumen bindemedel är enkla system som kan beskrivas genom linjär viskoelastiska egenskaper och enkel geometri inom vilka belastning och spänning är enkla att beräkna.

Några viktiga antaganden för att superpave systemet skall vara användbart är:

1. att spännings-/töjningsförhållandet är en funktion av tid (viskolinjär)
2. att viskositeten inte är beroende av skjuvhastigheten (newtonsk)
3. att prova i en belastningshastighet är tillräckligt
4. att bindemedlet är homogent och isotropiskt
5. att alla bindemedel har liknande tid - temperatur ekvivalens
6. att bindemedlet inte är tixotropiskt (ingen effekt av mekanisk bearbetning)
7. att stabiliteten hos ett bindemedel är främst beroende av oxidation

Vissa polymermodifieringar bryter en eller flera av dessa antaganden.

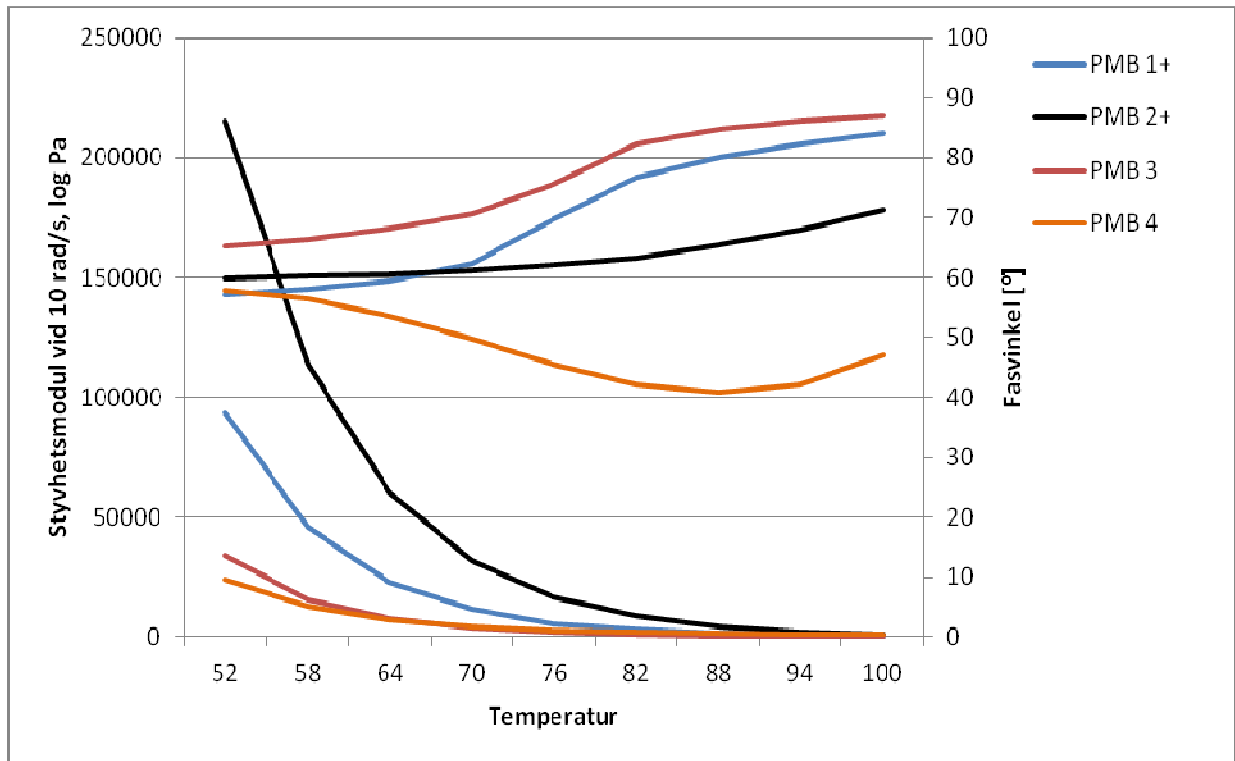
Detta innebär att det inte är lämpligt att PG klassa polymermodifierade bindemedel om man inte har säkerställt att de är av "enkel" karaktär. En polymermodifiering kan bl.a. ge olika, icke linjära, resultat vid en förändrad frekvens. Så det bituminet som är styvast vid en viss frekvens och temperatur behöver inte vara så vid en förändrad frekvens eller belastning.

Detta var för oss okänt vid uppstartandet av detta projekt har varit en viktig lärdom. I denna rapport har det inte gjorts någon undersökning om de använda polymermodifieringarna är av enkla eller komplexa system.

7.3 Resultat DSR

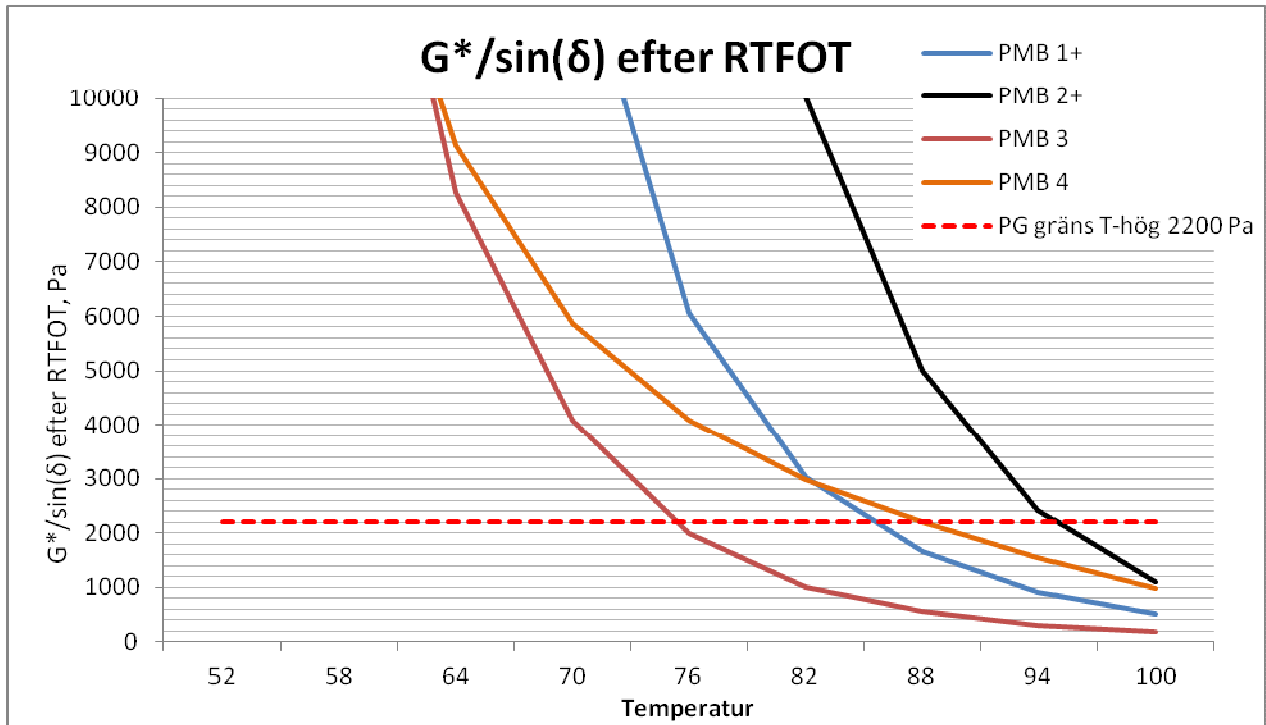
Provningen utfördes av Nynas laboratorie i Nynäshamn.

Diagram 8, resultat DSR, styvhet/fasvinkel efter RTFOT



Tabell 9, resultat DSR, $G^*/\sin(\delta)$ efter RTFOT

PMB sort	$G^*/\sin(\delta) = 1 \text{ kPa}$ @ 10 rad/s	$G^*/\sin(\delta)$ efter RTFOT = 2,2 kPa	PG t-hög C°
PMB 1+	81,6	85,2	82
PMB 2+	99,5	94,7	94
PMB 3	75,7	75,2	76
PMB 4	86,9	88,0	82

Diagram 9, resultat DSR, $G^*/\sin(\delta)$ efter RTFOT

Enligt utfallet i denna provning så borde, enligt PG klassningssystemet, asfalten med PMB 2+ vara den som uppvisar godast förmåga att stå emot deformationer och därefter en rangordning enligt diagrammet från höger till vänster vid den röd streckade T-hög linjen. Observera att detta är vid en given frekvens (10 rad/s).

7.4 Resultat, traditionell reologisk provning

Tabell 10, resultat traditionell reologisk provning.

PMB sort	FD J/cm ²	Pen X 0,1 mm	KoR °C	Elast @ 25°C %
PMB 1+	6,03	35	79,5	65%
PMB 2+	7,00	18	91,5	75%
PMB 3	2,00	56	65,5	65%
PMB 4	1,92	71	90,5	100%

FD – Kraftduktilitet @ 10°C

Pen – Penetration @ 25°C

KoR – Kula och Ring

Elast – Elastisk återgång @ 25°C

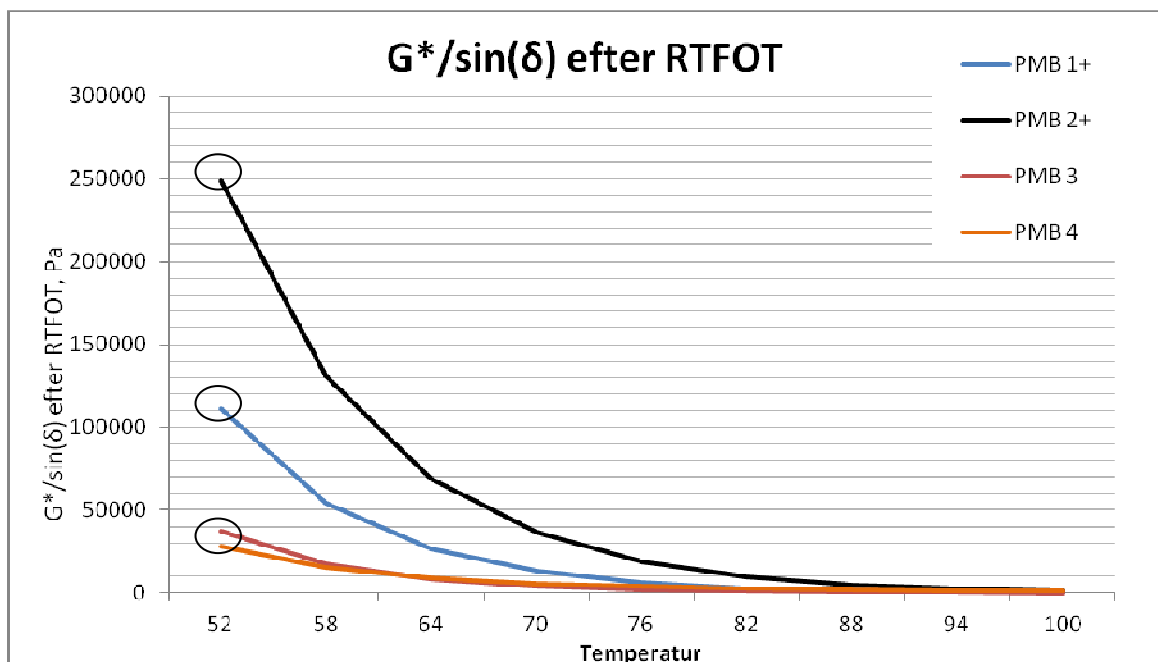
8. ANALYS BITUMEN OCH ASFALTPROVNING

För att undersöka ev. samband mellan DSR resultaten på bituminen och stabilitetsprovningen på beläggningen så har vi gjort det genom att jämföra det värde på spårbildningsresistens enl. SHRP som erhållits vid 50 grader med värdena från wheeltrack undersökningen.

50 grader är den provningstemperatur som har använts vid wheeltrack försöken.

Observera att PMB 3 och PMB 4 nu har bytt plats, mot ordningen i diagram 9, på vilket som borde ge det bästa resultatet vid deformationstest på beläggningen.

Diagram 10, resultat DSR, $G^*/\sin(\delta)$ (spårbildningsresistens enl. SHRP) efter RTFOT

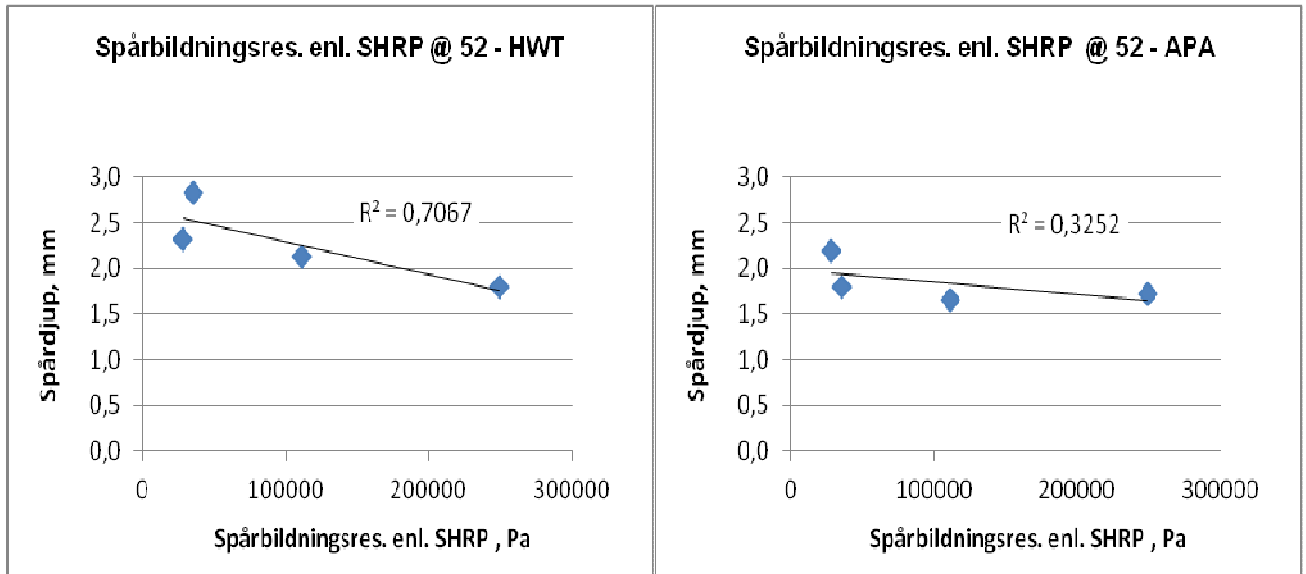


Tabell 11, resultat, spårbildningsresistens enl. SHRP @ 52°C, APA och HWT

PMB Sort	$G^*/\sin(\delta)$ efter RTFOT @ 52°C Pa	HWT mm	APA mm
PMB 1+	111380	2,13	1,651
PMB 2+	248890	1,80	1,718
PMB 3	35577	2,83	1,793
PMB 4	28199	2,32	2,193

Följande samband går att plotta fram.

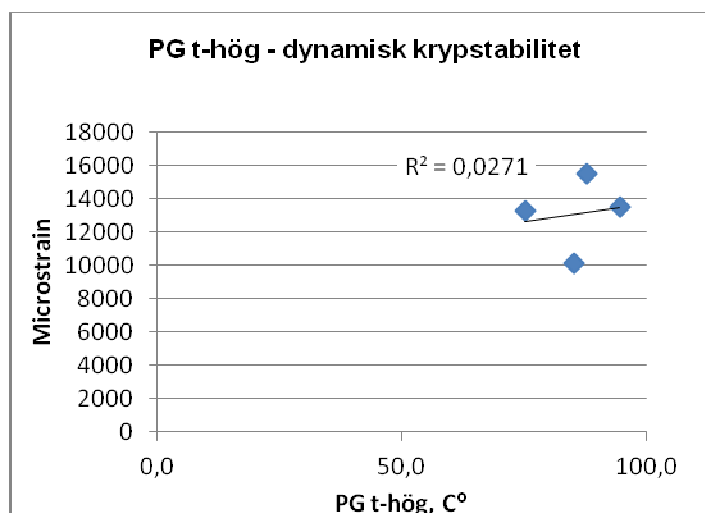
Diagram 11-12, regressionslinjer spårbildningsresistens enl. SHRP och HWT - APA



Ett svagt samband mellan spårbildningsresistens enl. SHRP vid 50 grader och resultaten från HWT utförda på laboratorieplattor ($R^2=0,71$). Sambandet på spårbildningsresistens enl. SHRP och resultaten från borrkärnorna körda på APA är däremot mycket tveksamt ($R^2=0,33$).

Tyvärr mättes aldrig styvheten vid lägre temperaturer än 50 grader vid körningen i DSR. Och då provtemperaturen för dynamisk krypstabilitet är 40 grader går inte ovanstående sambandsanalys att utföra på de resultaten. Jag gjorde ändå en regressionsanalys där jag använde t-hög temperaturen framtagna från PG klassningen mot resultaten från dynamisk krypstabilitetsförsöken. Inget samband går att se.

Diagram 13, regressionslinjer PG t-hög och dynamisk krypstabilitet



10. DISKUSSION

Allmänt

De provningarna som är utförda i detta projekt är kostsamma och omständiga och som en följd av detta så är resultatunderlaget begränsat. Detta är en svaghet i detta och många andra liknande projekt. Med för få resultat är det tveksamt om det är lämpligt att ta fram regressionslinjer, tyda tendenser och dra slutsatser.

Variationskoefficienter

Variationskoefficienterna för borrhövsanalyserna på dynamisk krypstabilitet är väldigt stora på de enskilda provserierna (ca 30%). Mellan laboratorier är den mindre men ändå betydande (ca 8 %).

Trots detta ligger de i samma storhet som framkommit i tidigare ringanalys.

Variationskoefficienten för borrhövsanalyserna på APA wheeltrack visar på stor spridning (26%) inom den provserie som provades mer omfattande. Samma nivå som på dynamisk krypstabilitet. På APA gjordes ingen jämförelse mellan några laboratorier.

Kvar att utreda är variationskoefficienter för analyser utförda med Hamburger wheeltrack. Samt att utföra en ringanalys på wheeltrack för att undersöka variationerna mellan olika laboratorier.

Wheeltrack

När man jämför resultaten från de olika wheeltrack testerna, HWT och APA, med varandra så stämmer två mätningar väldigt bra medan två avviker. Men sammantaget går det inte att finna någon korrelation emellan dessa två metoderna.

En komplettering med att analysera två borrhövsanalyser i HWT visar att det bör utredas hur väl det går att jämföra resultat från laboratorietillverkade plattor med fältupptagna borrhövsanalyser.

Att resultaten ändå till viss del överensstämmer är lovande. En brist som vi upplever i branschen är att vi inte får ut relevanta resultat på dynamisk krypstabilitet från laborietillverkade prover. Skulle man få en bättre korrelation mellan laborietillverkad plattor och borrhärnor tagna i fält körda med wheeltrack skulle det avsevärt förbättra möjligheterna att göra tillförlitliga förprovningar på olika asfaltkoncept.

Att det sedan är tveksamt att förutse ev. spår djupstillväxt på färdig beläggning utifrån såväl dynamisk krypstabilitet som wheeltrack [4][6] är en vidare utvecklingsfråga för asfaltbranschen. Här dyker många parametrar upp som vi har svårt att simulera på laboratorium såsom, klimat skiftningar, trafik variationer, fördelat trafikflöde etc.

Wheeltrack kontra dynamisk krypstabilitet

Sambandet mellan borrhärnor körda på APA wheeltrack och dynamisk krypstabilitet är något svagt ($R^2=0,70$). Att detta samband finns men är något svagt är förväntat. Båda testerna mäter deformation men under olika förutsättningar och med olika krafter, frekvenser, kraftfördelningar etc.

Inget samband kan ses mellan laborietillverkade plattor körda i Hamburger wheeltrack och borrhärnor körda med dynamisk krypstabilitet ($R^2=0,02$).

PG klassning med DSR

PG klassning upplevs som ett väldigt användbart system för att beskriva funktionella egenskaper på reologiskt "enkla" bitumensorter. För att kunna användas på polymermodifierade bitumen måste man först säkerställa att dessa inte bryter någon av de förutsättningarna som är grunden till PG klassningen. Det pågår utredningar i framförallt Amerika med att ta fram lämpliga system för att definiera egenskaper på polymermodifierade bitumen.

PG klassning och stabilitetsprovning

Vid jämförelsen på bindemedlens max temperaturer framtagen genom PG klassningen och resultaten från dynamisk krypstabilitetsprovning fanns inget samband.

Det framkom ett något svagt samband mellan spårbildningsresistensvärdet på bindemedlen vid 50 grader och resultaten från de laboratorietillverkade plattorna körda med Hamburger wheeltrack och ett mycket svagt samband mot de borrhärdningar körda i APA wheeltrack.

Att det finns ett samband med HWT, om än svagt, är intressant och mer undersökning med DSR resultat kontra en beläggnings deformationsegenskaper borde utföras. Troligen behöver man en mer komplex provning över polymerbituminets egenskaper vid olika frekvenser och temperaturer. Tveksamt om det räcker med en masterkurva, man skulle troligen behöva flera isokronkurvor per bitumensort körda med temperatursvep vid olika frekvenser och belastningar.

Ytterligare en sak som man bör undersöka är hastigheten på belastningarna vid wheeltrack undersökningarna. Som nämnt innan så kan olika polymertyper bete sig olika beroende på vald frekvens.

11. SLUTSATSER

I detta projekt får vi fram följande samband, observera att det är något svaga samband och baserade på en liten population:

Framräknad spårbildningsresistens enl. SHRP på bituminet visar tendens att kunna korrelera med HWT på laborietillverkade plattor ($R^2=0,7$)

Stabilitetsprovning på borrhärnor med wheeltrack APA visar tendens att kunna korrelera med dynamisk krypstabilitet ($R^2=0,7$)

Inget samband emellan wheeltrack HWT på laborietillverkade plattor och dynamisk krypstabilitet på borrhärnor ($R^2=0$).

Framräknad spårbildningsresistens enl. SHRP på bituminet visar mycket svagt samband med APA på borrhärnor ($R^2=0,3$)

Följande saker bör utredas vidare:

Korrelation wheeltrack analys på laborietillverkade plattor och borrhärnor.

Repetier och reproducerbarhet vid analys med Hamburger wheeltrack, både på plattor och på borrhärnor. Samtidigt bör man då modifiera metoden för att analyser på 150 mm:s kärnor.

Red anm.

I SBUF projekt 11692 [5] sammanfattas att det är en tydlig förbättring på stabiliteten på polymermodifierade beläggningar gentemot referenser av standardbitumen i tester med HWT och mindre tydlig förbättringar med APA och dynamisk krypstabilitet.

Även resultaten i detta projekt ger en viss indikation på att stabilitetsundersökningar med Hamburger wheeltrack ger en bättre korrelation med förväntade resultat på polymermodifierade beläggningar än APA wheeltrack och dynamisk krypstabilitet.

REFERENSER

1. **VTI-notat 24-2001**: Ringanalys 2000. Hakim, H & Wiman,L.
2. **TRV 2011:094**, Trafikverkets regler för reglering av beläggningsarbeten. 2011-06-30
3. **Kim, R. Modeling of asphalt concrete**. McGraw-Hill. 2009.
4. <http://www.pavementinteractive.org/>
5. **PMB – Inverkan på asfaltbeläggnings funktionella egenskaper SBUF projekt 11692**. Stenberg, N. 2007
6. **Metodhandledning, Bestämning av stabilitet med pulserande kryptest (ver 1)**. METODGRUPPEN för provning och kontroll av vägmateriäl. 2011

BILAGA 1, SAMBANDSANALYS SKRYMDENSITET - DYNAMISK KRYPSTABILITET

Två sambandsanalyser är utförda på skrymdensitet i förhållande till dynamisk kryptest resultat. Första med samtliga enskilda prover totalt 114 st. Detta gav ett R^2 värde på 0,15 som indikerar på ett väldigt lågt samband. I andra försöket användes endast kärnorna från PMB 1+ massorna totalt 60 st. Detta gav ett R^2 värde på 0,05 vilket indikerar att inget samband finns.

Diagram 14. Sambandsanalys skrymdensitet – töjning enl. dynamisk kryptest, samtliga prover

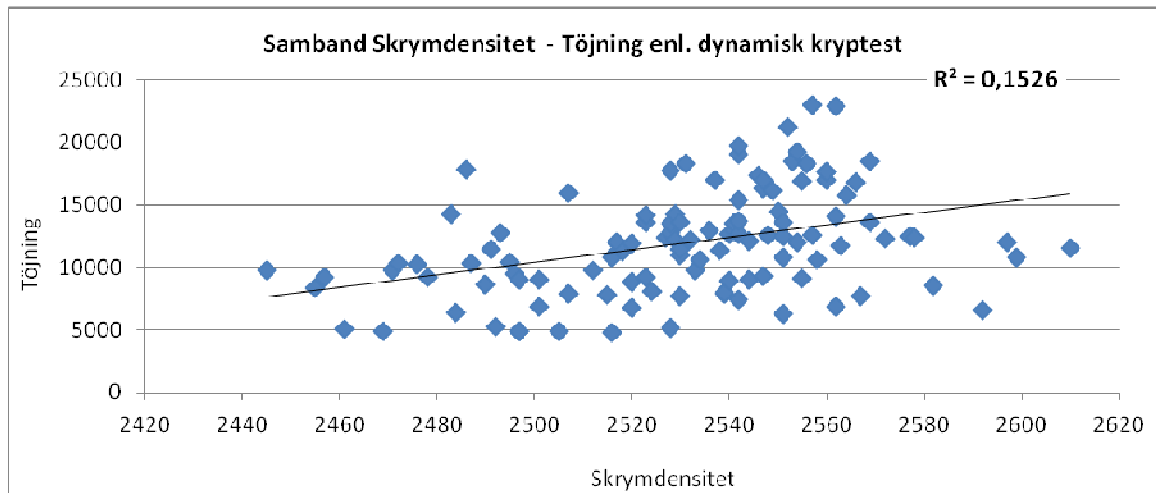
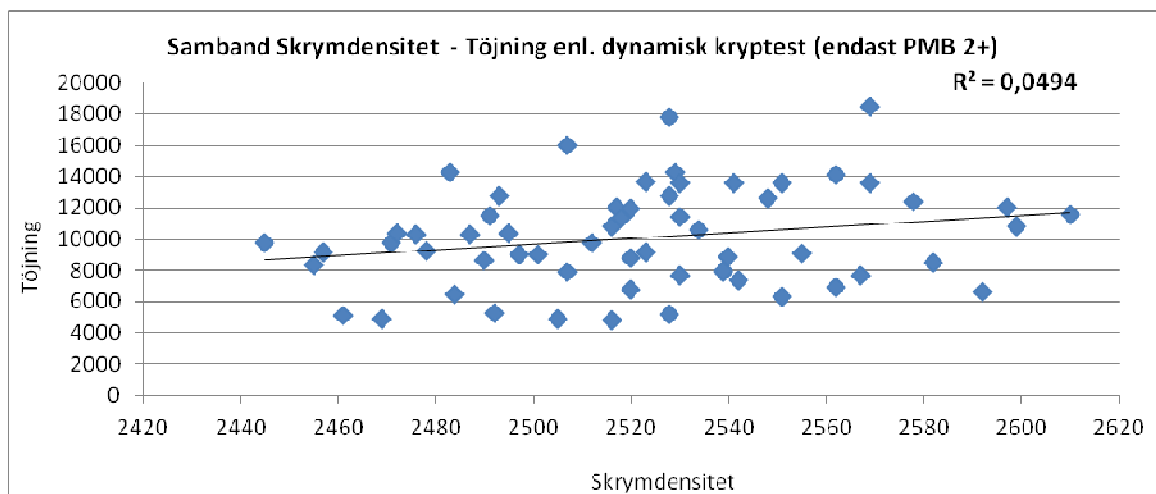


Diagram 15. Sambandsanalys skrymdensitet – töjning enl. dynamisk kryptest, endast en PMB sort



BILAGA 2, BESKRIVNING AV ANVÄNDA METODER

Bindemedelsanalyser

Penetration, SS-EN 1426

Ett mått på bindemedlets konsistens vid 25°C.

En nål släpps ner i en behållare med bindemedel vid 25°C. Djupet nålen når efter 5 s mäts. Resultatet redovisas i tiondels mm.

Mjukpunkt, SS-EN 1427

Ett mått på bindemedlets temperatur vid övergång från fast till flytande form.

En metallkula läggs ovanpå en ring med bindemedel som placeras 25 mm ovanför botten på en vattenfylld bägare. Temperaturen höjs med 5°C i minuten och temperaturen då kulan når botten av bägaren är bindemedlets mjukpunkt. Resultatet redovisas i +C°

Elastisk återgång, SS-EN 13398

Ett mått på bindemedlets elastiska egenskaper.

Ett bitumenprov sträcks ut 20 cm i ett vattenbad, normalt tempererat till 10°C eller 25°C, i en given hastighet. Bindemedlet klipps av och den sträckan som bitumen provet återgår divideras med den utsträckta längden. Resultatet redovisa i %.

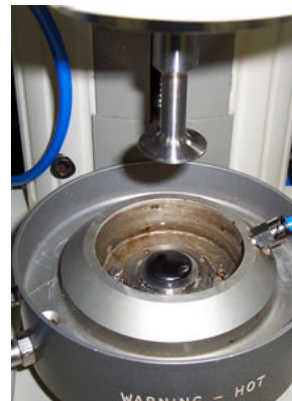
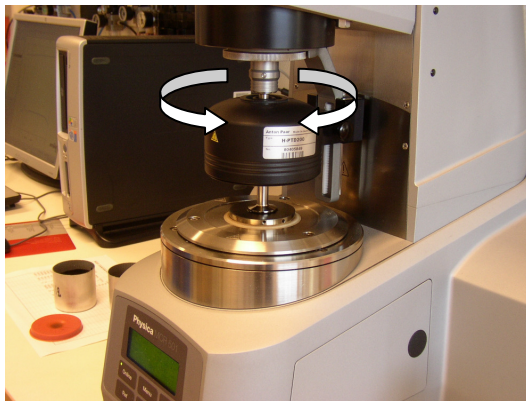
Bestämning av deformationsenergi, SS-EN 13703/13589

Ett mått på bindemedlets kohesionsstyrka.

Ett bitumenprov sträcks ut minst 400 mm i ett vattenbad, normalt tempererat till 5°C eller 10°C, i en hastighet av 50 mm/min. Kraften som krävs för att dra ut bindemedlet från 200 mm till 400 mm registreras och resultatet redovisas i J/cm².

DSR, dynamisk skjuvreometer, SS-EN 14770

Mäter bindemedlets komplexa skjuvmodul och fasvinkel. D.v.s. de viskösa resp. elastiska egenskaperna mäts vid olika temperaturer och vid olika frekvenser. Den vanligaste DSR testerna går till så att man lägger ett bindemedelsprov mellan två cirkulära metallplattor. Den undre är fixerad medan den övre roterar runt sin egen axel, fram och tillbaka och skapar då en skjuvtöjning. Resultatet redovisas som styvhetsmodul i Pa och fasvinkel i grader.



RTFOT, Rolling Thin-Film Oven, SS-EN 12607-1

Simulerar korttidsåldring av bindemedlet. Ett bindemedelsprov placeras i en glasburk som placeras liggande i en vertikalt roterande skiva i en ugn. Skivan roterar med en hastighet av 15 rpm i 85 minuter. Ugnen tempereras till 163°C och varje gång provet passerar översta läget blåses varm luft på provet.



Till höger provet före testet
och till vänster efter

PAV, Pressure Aging Vessel, SS-EN 14769

Simulerar långtidsåldring av bindemedlet. Ett bindemedelsprov som först körs med RTFOT hålls ut på en metallplatta. Plattan placeras i ett upphettat trycksatt kärl under 20 timmar. Temperaturen i kärlet ställs in beroende på vilket klimat som skall simuleras.



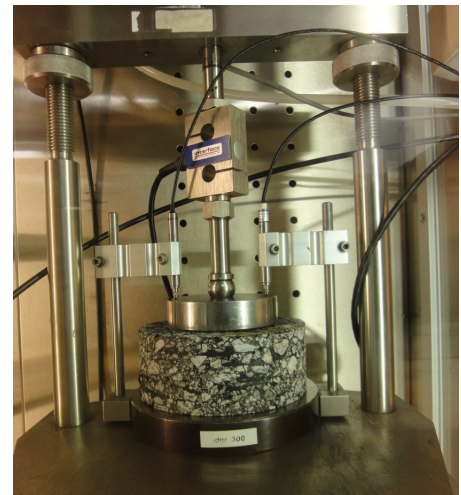
Analyser på färdig beläggning

Skrymdensitet, SS-EN 12697

Ett mått på materialets totala volym, inklusive volymen av hålrum. Redovisas i kg/m³.

Dynamisk krypstabilitet, SS-EN 12697-25

Mäter deformationskänsligheten hos färdigkompakterad asfalt. En \varnothing 150 mm cylindrisk beläggningsskärna tempereras till 40°C och utsätts för 3600 belastningar av en \varnothing 96 mm metallplatta med trycket av 100 kPa. Varje belastning varar i 1 s för att sedan vara avlastad i 1 s. Resultatet redovisas i microstrain. (1 mm deformation motsvarar 16667 microstrain)

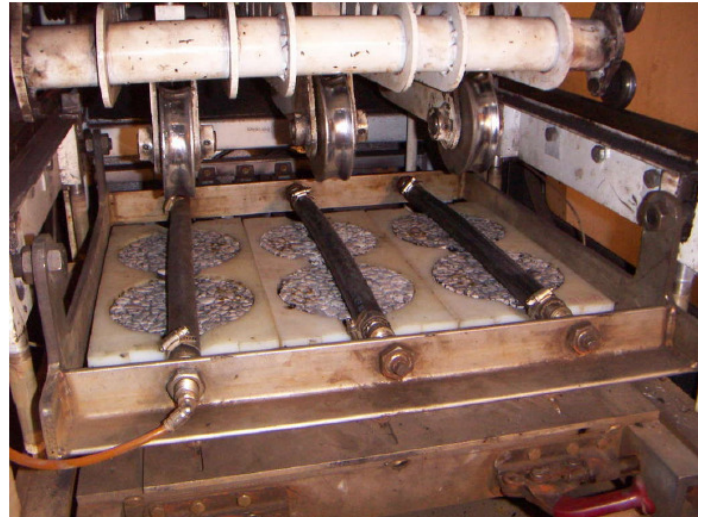


Styvhetsmodul, FAS 454-98

Mäter en cylindrisk provkropp's styvhet vid olika temperaturer. Ett cylinderformat prov utsätts på mantelytan för en vertikal, periodiskt återkommande given belastning (normal frekvens = 0,3 Hz med en pulslängd på 0,1 s). Den vid avlastning horisontella, återgående deformationen mäts. Styvhetsmodulen beräknas sedan enligt en formel från teorin för elastiska cylindrar. Resultatet redovisas i MPa vid varje provtemperatur.

Wheeltrack APA, AASHTO TP 63

Mäter deformationskänsligheten hos färdigkompakterad asfalt. Två \varnothing 150 mm cylindrisk beläggingskärna eller en laboratorie tillverkad platta med en tjocklek på 60 mm utsätts för 8 000 överfarter av ett rullande hjul vilande på en trycksatt gummislang. Varje singelöverfart tar ca 1 s. Slangtrycket är 100 psi, hjulet trycks ner med en kraft på 0,5 kN och provningstemperaturen är +50°C. Samtliga inställningar går att variera. Resultatet redovisas i mm deformation.



Wheeltrack Hamburger, SS-EN 12697-22 (small device)

Mäter deformationskänsligheten hos färdigkompakterad asfalt. Två \varnothing 200 mm cylindrisk beläggingskärnor eller en laboratorie tillverkad platta utsätts för 20 000 överfarter av ett helgjutet rullande gummihjul. Varje singelöverfart tar ca 1 s. Hjulet trycks ner med en kraft på ca 0,7 kN och provningstemperaturen är +50°C. Samtliga inställningar går att variera. Resultatet redovisas i mm deformation. (I många länder har metoden anpassats för att kunna köra borrhärdar med diameter 150 mm).

