

Gummiasfalt

Laboratorieförsök

Leif Viman

Förord

Denna undersökning har utförts av VTI på uppdrag av Vägverket. Kontaktpersoner på Vägverket har varit Thorsten Nordgren och Lars Preinfalk. Borrning av provkroppar har utförts av Lars Alm, Vägverket Produktion, och laboratorieförsöken har utförts på VTI av Hassan Hakim och Andreas Waldemarson. Safwat Said har bidragit med goda råd avseende funktionsprovningarna, främst för sprickutbredningstestet i VTI:s wheel tracking utrustning.

Linköping november 2009

Leif Viman

Kvalitetsgranskning

Extern peer review har genomförts av Thorsten Nordgren, Gustav Peterson och Lars Preinfalk. Leif Viman har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Projektledarens närmaste chef Gunilla Franzen har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 15 december 2009.

Quality review

External peer review was performed by Thorsten Nordgren, Gustav Peterson och Lars Preinfalk. Leif Viman has made alterations to the final manuscript of the report. The research director of the project manager Gunilla Franzen examined and approved the report for publication on December 15, 2009.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Bakgrund	9
2 Beskrivning av gummiastalten	10
3 Provningsmetoder.....	12
4 Utförda laboratorieförsök	13
4.1 Dynamisk kryptest	13
4.2 Utmattning	14
4.3 Styvhetsmodul – olika temperaturer	16
4.4 Styvhetsmodul - Masterkurvor	16
4.5 Beständighet.....	19
4.6 Prallslitage	21
4.7 Sprickutveckling hos gummiastalt.....	22
5 Avslutande kommentarer	25
Referenser.....	26
Bilaga 1 Amerikansk kravspecifikation för gummiastalt	
Bilaga 2 Provförteckning	
Bilaga 3–4 Sammanställning över uppmätta lagertjocklekar och skrymdensiteter på samtliga provkroppar	

Gummiasfalt – laborieförsök

av Leif Viman
VTI
581 95 Linköping

Sammanfattning

Borrkärnor och asfaltmassa från gummiasfaltbeläggning lagd 2007 på ringleden i Malmö (E6) har skickats till VTI för analys. Undersökningarna har koncentrerats på att bedöma följande funktionsegenskaper:

Funktionsegenskap	Provningsmetod	
<i>Stabilitet</i>	Dynamisk kryptest	FAS 468
<i>Flexibilitet</i>	Styvhetsmodul	FAS 454
<i>Nötningsresistens</i>	Prallslitage	FAS 471
<i>Beständighet</i>	Vattenkänslighet	FAS 446
	Vinterkonditionering	<i>enl. VTI metodik</i>
<i>Utmattning</i>	Pressdragprovet på cylindriska provkroppar	<i>enl. VTI metodik</i>
<i>Sprickutveckling</i>	WTT utrustning	<i>enl. VTI metodik</i>

Förutom dessa analyser har även masterkurvor för styvhetsmodul tagits fram. Masterkurvor tas fram för att kunna göra en helhetsbedömning av ett materials egenskaper under olika belastnings- och temperaturförhållanden.

Resultaten från laborieförsöken har jämförts med de krav som anges i Vägverkets anvisningar för funktionskrav på beläggningsslag enligt VVTR Väg.

Av de undersökningar som utförts på den aktuella gummiasfaltanläggningen kan man konstatera att den uppfyller kraven hos motsvarande slitlagerbeläggningar. De faktorer där gummiasfaltanläggningen uppvisar mest positiva egenskaper är främst god nötningsresistens och långsam sprickutveckling. Beläggningen har även visat god beständighet.

Gummiasfaltanläggningen visar bra egenskaper enligt de beständighetstester som utförts både när det gäller standardmetoden för bestämning av vattenkänslighet (ITSR = 86,8 %) och den på VTI utvecklade vinterkonditioneringsmetoden (Q-vinter = 109 %).

Nötningsresistensen mätt genom Prallslitage har givit mycket goda resultat med Prallvärden under 20 cm³. Prallslitage på vinterkonditionerade prover har endast givit 1–2 enheter högre Prallvärden. (Det är dock osäkert om Prallmetoden på rätt sätt speglar den nötningseffekt som dubbtrafik ger upphov till på gummiasfalt.)

Test av sprickutveckling har visat goda resultat. Jämfört med en referensbeläggning bestående av ABS16 70/100 tar det betydligt fler överfarter för sprickor i underkanten av beläggningen att tränga upp till ytan på gummiasfaltanläggningen än på referensbeläggningen.

Flexibiliteten har analyserats genom bestämning av styvhetsmodul vid olika temperaturer från -10 till +15 °C och stabiliteten har analyserats genom dynamisk kryptest vid +40 °C. Båda dessa analyser har visat jämförbara nivåer med kraven i VVTR Väg.

För att kunna göra en helhetsbedömning av beläggningen och för att verifiera laboratorieresultaten rekommenderas några års uppföljning av provsträckorna med gummi-asfalt.

Rubber asphalt – laboratory experiments

by Leif Viman

VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)

SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

Cored specimens and asphalt mass from rubber asphalt pavement laid in 2007 on the ring road in Malmö (E6) has been sent to VTI for analysis. The investigations have focused on assessing the performance characteristics:

Performance Characteristics	Test Method	
<i>Stability</i>	Dynamic creep test	FAS 468
<i>Flexibility</i>	Stiffness Modulus	FAS 454
<i>Abrasion Resistance</i>	Prall test	FAS 471
<i>Durability</i>	Water Sensitivity	FAS 446
	Winter conditioning test	<i>VTI methodology</i>
<i>Fatigue</i>	Indirect tensile test on cylindrical specimens	<i>VTI methodology</i>
<i>Crack propagation</i>	WTT equipment	<i>VTI methodology</i>

In addition to these tests also master curves by stiffness modulus have been developed. Master curves are produced to make an overall assessment of the materials under different load and temperature conditions.

The results from laboratory studies have been compared with the requirements specified in the Swedish Road Administration instructions for surface layers in VVTR Väg.

Of the studies carried out on the actual rubber asphalt pavement it can be concluded that it meets the requirements of the corresponding surface layers. The factors where rubber asphalt show most positive characteristics are mainly good abrasion resistance and slow crack propagation. The pavement has also shown good durability.

Rubber asphalt shows excellent properties according to the durability tests carried out both in the water sensitivity test (ITSR = 86.8%) as in the VTI-developed winter conditioning test (Q-winter = 109%).

The abrasion resistance measured by Prall method has yielded very good results with values under 20 cc and only 1–2 points higher on winter conditioned samples. (However, it is uncertain whether the test properly reflects the abrasion effect of studded tyres on a rubber asphalt pavement.)

Test of crack propagation have shown good results. Compared with a reference asphalt concrete consisting of ABS16 70/100, it takes much more overpasses for cracks to penetrate from the bottom to the surface in the rubber asphalt test sample than in the reference sample (tested in an extra large wheel track equipment).

Flexibility has been analyzed by determination of the stiffness modulus at different temperatures from -10 to 15°C and stability has been analyzed by dynamic creep test at

+40°C. Both of these tests have shown comparable levels with the requirements in VVTR Väg.

To make an overall assessment and to verify the laboratory results it is recommended to follow-up the test sections for a number of years.

1 Bakgrund

Vägverket har sedan 2007 provat att utföra beläggningar med gummi-asfalt på ett antal provsträckor i Sverige. Konceptet kommer från USA där man har mer än 25 års erfarenhet av gummi-asfalt. Syftet med provsträckorna är främst att se om tekniken är överförbar till nordiska förhållanden. Tidigare har andra typer av gummi-asfalt provats i Sverige. Till exempel "Rubit" där små gummibitar blandades in i asfaltmixen. Några av de positiva effekter som tidigare erfarenheter visat är:

- Ökad livslängd med gummi-asfalt
- Lägre antal partiklar frigörs ur gummi-asfalten
- Gummi-asfalt ger minskat buller
- Farliga ämnen lakas inte ur gummit när det blandas med bitumen i en gummi-asfalt.

Syftet med denna laboratorieundersökning är dock främst att studera flexibilitet och hållbarhet hos denna beläggningstyp bl.a. med tanke på den tuffa påkänningen som dubbtrafik innebär. Provkropparna till denna studie är borrade på ringleden (E6) i Malmö. Provsträckan lades i augusti 2007 och borrproven togs ut i direkt anslutning till läggningen .

2 Beskrivning av gummiasfalten

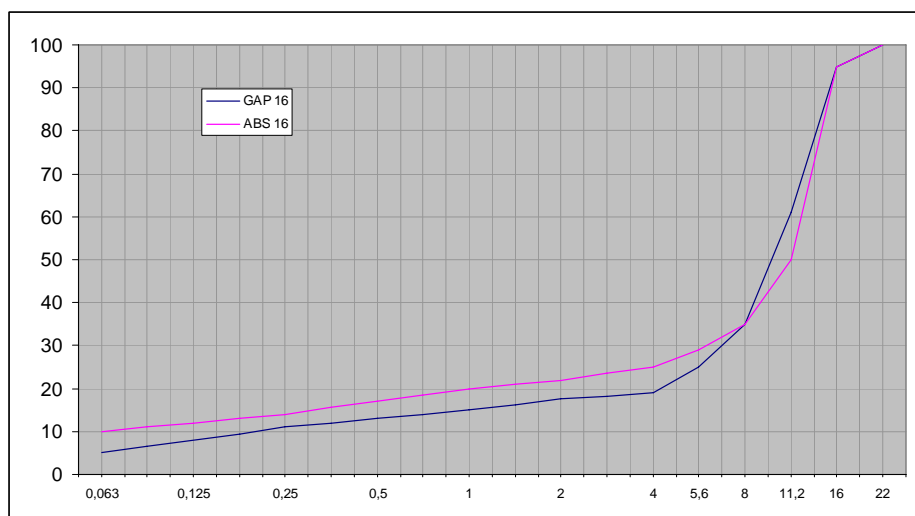
Tillverkning av gummiasfaltbeläggning sker i en speciellt framtagen blandningsutrustning. Den är mobil och kan placeras vid det asfaltverk som ska producera asfaltmassan. Det gummi som används för detta ändamål består av återvunna däck där stål- och fiberarmering har separerats innan däcken krossas till så kallat gummigranulat. Gummi-granulatet blandas i en sluten process med vanligt bitumen. När blandningen mognat i ungefär en timme tills viskositeten ligger mellan 1,5–4,0 Pas är den därefter färdig att användas på vanligt sätt vid asfalttillverkning. Andelen gummigranulat i bindemedlet är 15–20 % vilket innebär att andelen gummi i den färdiga asfaltbeläggningen blir 1,5–2 vikt-%.

Beläggningstypen i det aktuella fallet är en GAP 16 (enligt Amerikansk standard från Arizona, ADOT). Bindemedlet, 70/100, kommer från Vägverkets depå i Norrköping och gummigranulatet från Genan i Tyskland. Recept för aktuell gummiasfalt och referensbeläggning med resultat från produktions- och kvalitetskontroll redovisas i följande tabeller och figurer.

Tabell 1 Recept för gummiasfalt och referensbeläggning.

Typ av material	Parameter	GAP 16	ABS 16
Bindemedel	Bindemedelshalt, %	8,3*	6,1
	Andel gummi/bitumen	16,5/83,5	–
Stenmaterial	Kornkurva (sikt, mm)		
	22,4	100	100
	16	95	95
	11,2	61	50
	8	35	35
	5,6	25	29
	4	19	25
	2	17,5	22
	1	15	20
	0,5	13	17
	0,25	11	14
	0,125	8	12
	0,063	5	10

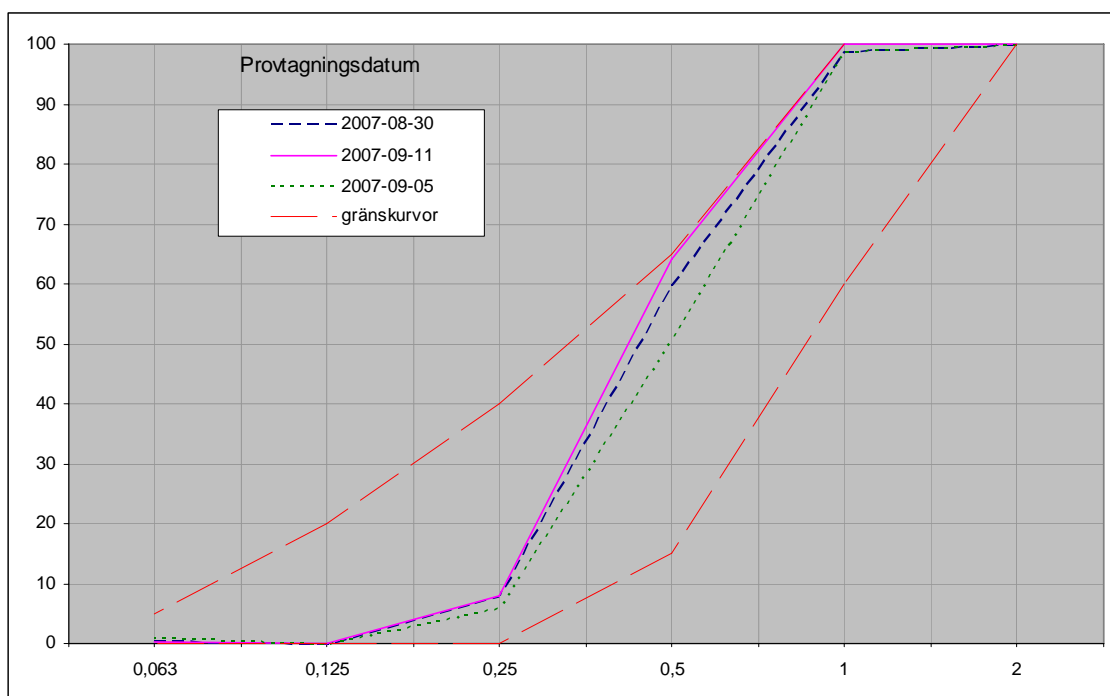
*/ inkl. gummi



Figur 1 Kornkurva för gummi- och referensbeläggning.

Tabell 2 Tekniska data för belägningarna.

Typ av material	Egenskaper	GAP 16	ABS 16
Belägning	Skrymdensitet, g/cm ³	2,363	2,388
	Kompaktdensitet, g/cm ³	2,408	2,465
	Marshallhålrum, vol-%	1,9	3,1
	Cementtillsats, vikt-%	1,0	
Stenmaterial	Korndensitet, g/cm ³	2,72	2,76
	Flisighetsindex, FI	15	
	Kulkvarnsvärde, A _N	7	< 6
	Micro-Deval, M _{DE}	10	
	Los Angeles, L _A	20	



Figur 2 Kornkurvor för gummiгранulat från produktionskontrollen. Gränsskurvan är från Vägverkets handledning för gummi-asfalt. (Se Vägverket, 2009.)

Tabell 3 Kvalitetskontroll på uppborrade provkroppar från gummi-asfalten.

Provtagningsdatum	2007-08-29	2007-08-29	2007-08-29	2007-09-04	2007-09-04	2007-09-13
Bitumenhalt, %	7,0	–	–	–	–	–
Beläggningstjocklek, mm	–	44,5	36,5	39,5	39,5	44
Skrymdensitet, g/cm ³	2,360	2,330	2,338	2,309	2,328	2,317
Kompaktdensitet, g/cm ³	2,387	2,391	2,403	2,384	2,4	2,376
Hålrumshalt, %	1,1	2,6	2,7	3,1	3,0	2,5

3 Provningsmetoder

De provningsmetoder som använts vid dessa försök syftar till att mäta funktionsegenskaper hos beläggningen. Egenskaper som flexibilitet, stabilitet, utmattning och beständighet är centrala för att bedöma kvaliteten på en vägbeläggning. För närvarande råder dock en brytningstid vad gäller vilka provningsmetoder som skall användas. Därför ges här en överblick över de svenska metoder som använts i denna undersökning med hänvisningar till motsvarande europastandard. Skillnaden mellan de svenska och europeiska metoderna är ofta mycket små, men man behöver vara uppmärksam på att det ibland finns väsentliga skillnader emellan dem. För några av undersökningarna har provningsmetoder framtagna på VTI använts när det saknas någon standardiserad metodbeskrivning för att mäta en viss egenskap. Det gäller främst vinterkonditionering och sprickutbredningstest.

Tabell 4 Sammanställning över använda provningsmetoder.

Egenskap	Svensk metod	Europeisk motsvarighet
Lagertjocklek	VVMB 903	SS-EN 12697-35
Skrymdensitet vägning under vatten	FAS 427	SS-EN 12697-6
Skrymdensitet mätning med skjutmått	FAS 448	SS-EN 12697-29
Dynamisk kryptest	FAS 468	SS-EN 12697-26
Styvhetsmodul	FAS 454	SS-EN 12697-25
Prallslitage	FAS 471	SS-EN 12697-16
Vattenkänslighet	FAS 446	SS-EN 12697-12
Vinterkonditionering	VTI metodik	–
Utmattning	VTI metodik	SS-EN 12697-24
Sprickutbredningstest	VTI metodik	SS-EN 12697-22*

*/Använd utrustning enligt SS-EN 12697-22 (ej själva provningsmetoden).

4 Utförda laboratorieförsök

Undersökningarna avser provning av borrkärnor uttagna från gummiasfalt på yttre ringvägen i Malmö mellan trafikplats Sallerup och Fredriksberg. Borrkärnor med 100 och 150 mm diameter har tagits ut och skickats till VTI.

Provtagningsdatum: 2007-08-29–2007-09-05

All provning är utförd på borrkärnor förutom spricktestet som utförts på laboratorie-tillverkade plattor tillverkade av asfaltmassa från samma provsträcka. Borrkärnorna är tagna både i K1 och K2. Av provförteckningen i bilaga 1 framgår det vilka tester som utförts och vilka provkroppar som använts för respektive försök. I bilaga 2 och 3 finns sammanställningar över uppmätta lagertjocklekar och skrymdensiteter för varje provkropp.

En sammanställning av resultaten framgår av *Tabell 5* nedan. För mer ingående beskrivning av resultaten och för några provningar där resultaten är mer komplexa att redovisa i en enkel tabell, hänvisas till respektive kapitel. Det gäller främst utmattnings-test, framtagning av masterkurvor och studier av sprickutveckling i wheel tracking utrustning.

Tabell 5 Sammanställning av provresultat

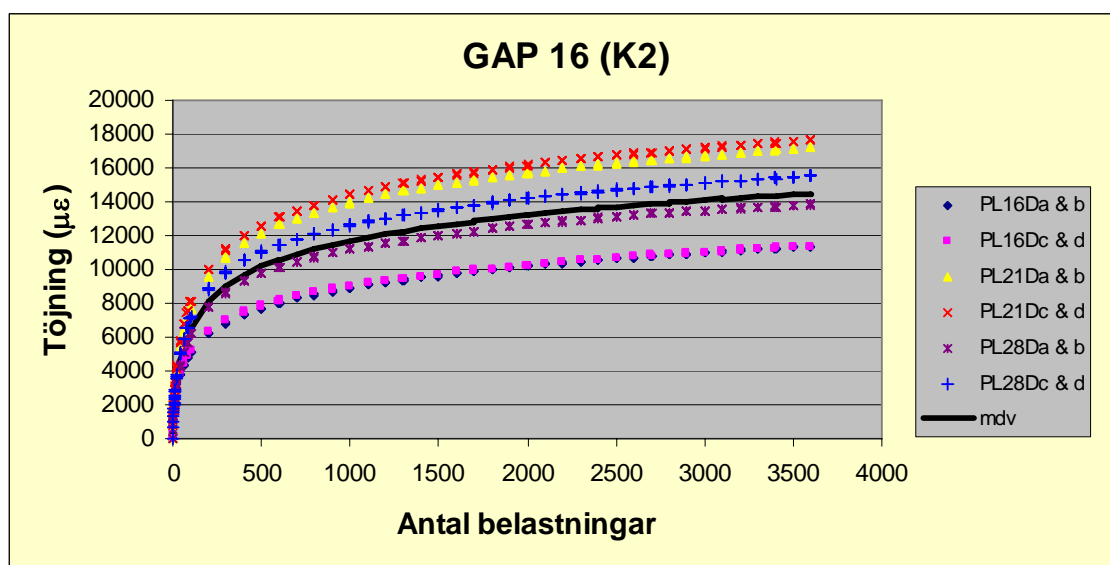
Egenskap	Metod	Antal prk	Medelvärde	Standard-avvikelse	Variationskoefficient %
Lagertjocklek	VVMB903	60	39,5 mm	2,8	7,1
Skrymdensitet	FAS 427	60	2,336 g/cm ³	0,033	1,4
	FAS 448	60	2,279 g/cm ³	0,048	2,1
Vattenkänslighet	FAS 446	10	86,8 %		
Vinterkonditionering	VTI metod	10	109 %	-	
Styvhetsmodul	-10°C	FAS 454	20 326 MPa	931	4,6
	±0°C	"	13 329 MPa	412	3,1
	+10°C	"	6 624 MPa	360	5,4
	+15°C	"	3 985 MPa	289	7,3
Dynamisk kryptest	FAS 468	6	14 500 με	2 748	19,0
Prall	FAS 471	5	16,7 cm ³	5,6	33,5
Prall (efter vinterkonditionering)		5	18,4 cm ³	1,3	7,1

4.1 Dynamisk kryptest

Stabilitetstest har utförts genom bestämning av dynamisk kryptest enligt FAS 468. Medelvärde för dynamisk kryptest uttryckt som töjning efter 3600 belastningar ligger på 14 500 με. Detta resultat ligger i nivå med det strängaste funktionskravet för slitlager (<15 000 με) enligt Vägverkets anvisningar 2008 (VVTR Väg).

Tabell 6 Sammanställning av dynamisk kryptest.

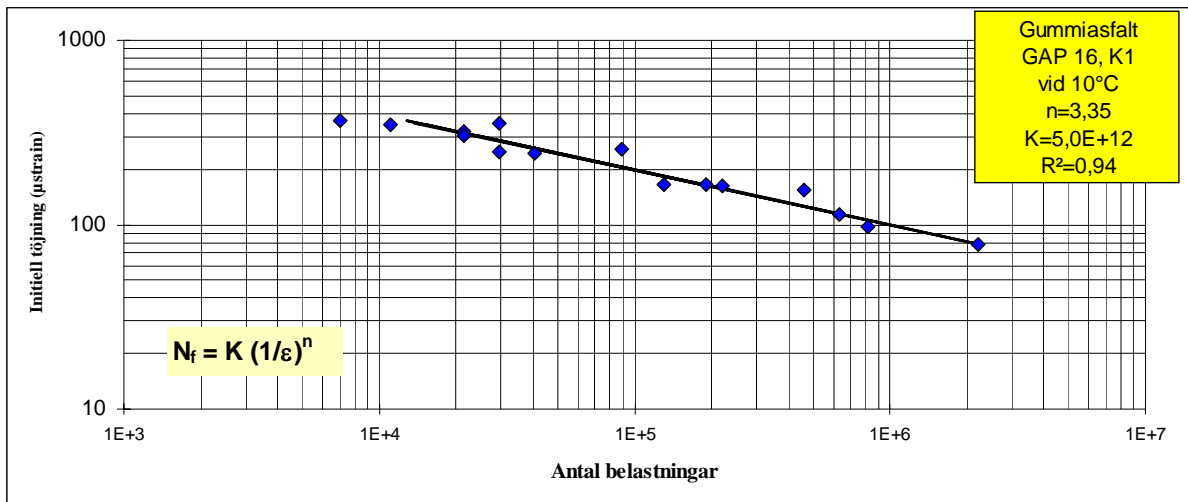
GAP16 (K2)						
Prov	Tjocklek	Diameter	Skrym- densitet FAS 427	Kryp- hastighet	Krypmodul vid n=3600	Töjning (n=3600)
	mm	mm	g/cm ³	με/h	MPa	με
PL16D a	61,4	153,1	2,355	0,61	8,79	11 400
b			2,362			
PL16D c	61,1	153,0	2,362	0,6	8,79	11 400
d			2,357			
PL21D a	61,4	153,1	2,369	0,77	5,81	17 200
b			2,348			
PL21D c	61,6	152,9	2,351	0,71	5,67	17 600
d			2,374			
PL28D a	59,5	153,5	2,353	0,57	7,23	13 900
b			2,375			
PL28D c	60,2	153,5	2,360	0,7	6,44	15 500
d			2,381			
Medelvärde	60,9	153,2	2,362	0,7	7,1	14 500
Standardavvikelse	0,9	0,3	0,011	0,1	1,4	2 738



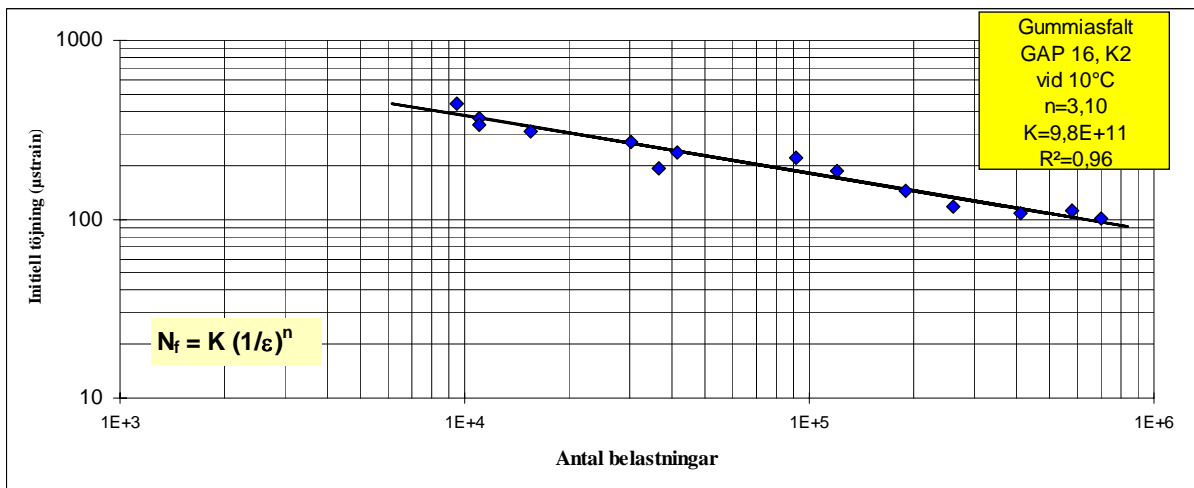
Figur 3 Dynamisk kryptest, enskilda prov och medelvärde.

4.2 Utmattning

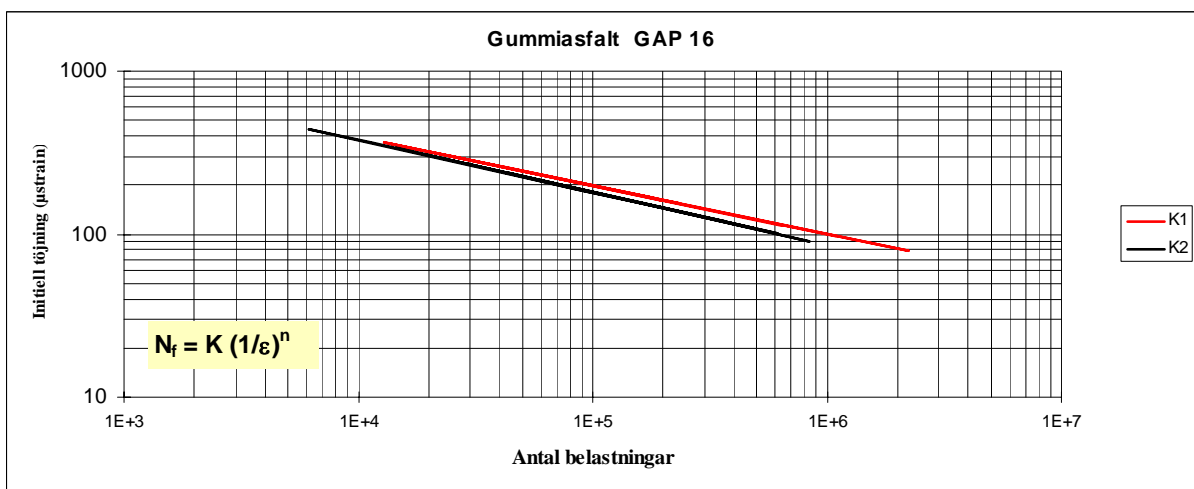
Utmattningsförsök har utförts enligt VTI:s metodik beskriven i VTI notat 38-1995. Provningsen utförs som vid bestämning av styvhetsmodul med den skillnaden att belastningen fortsätter tills brott uppstår i provkroppen. Gummi-asfalten klarar ca 1 miljon belastningar vid 100 mikrostrains töjning. Vid bedömning av utmattning måste alltid antal belastningar bedömas vid den töjningsnivå som den aktuella beläggningen ligger på. Detta resultat klarar det strängaste kravet för slitlager (>80 με vid en miljon belastningar) enligt Vägverkets anvisningar 2008(VVTR Väg).



Figur 4 Utmattning på prover från körfält K1.



Figur 5 Utmattning på prover från körfält K2.



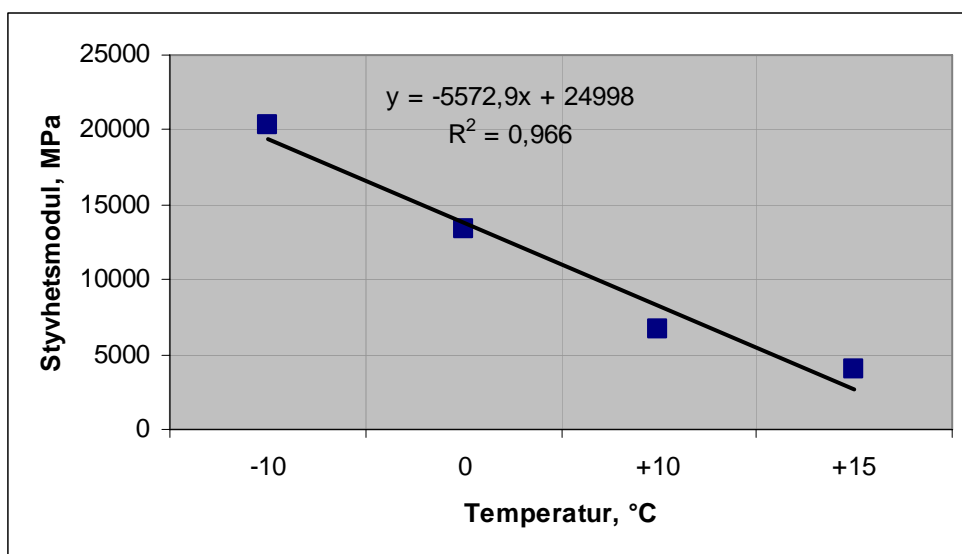
Figur 6 Sammanställning av utmattning på prover från körfält K1 och K2.

4.3 Styvhetsmodul – olika temperaturer

Styvhetsmodul har utförts enligt FAS 454 vid -10°C, ±0°C, +10°C och +15°C grader för att kunna bedöma beläggningens flexibilitet över ett temperaturområde motsvarande nordiskt klimat. Dessa resultat ligger något över kravet för slitlager enligt Vägverkets anvisningar 2008 (VVTR Väg). Kravet är <9 000 MPa vid +5°C medan resultatet enligt sambandet blir 10 242 MPa.

Tabell 7 Styvhetsmodul vid olika temperaturer.

Prov nr	Styvhetsmodul, MPa			
	-10°C	±0°C	+10°C	+15°C
PL16V	19 601	13 325	6 232	3 647
PL22V	20 715	13 644	6 962	3 912
PL25V	19 089	12 779	6 343	3 829
PL26V	21 210	13 802	7 031	4 391
PL28V	21 016	13 096	6 550	4 147
Medelvärde	20 326	13 329	6 624	3 985
Standardavvikelse	931	412	360	289



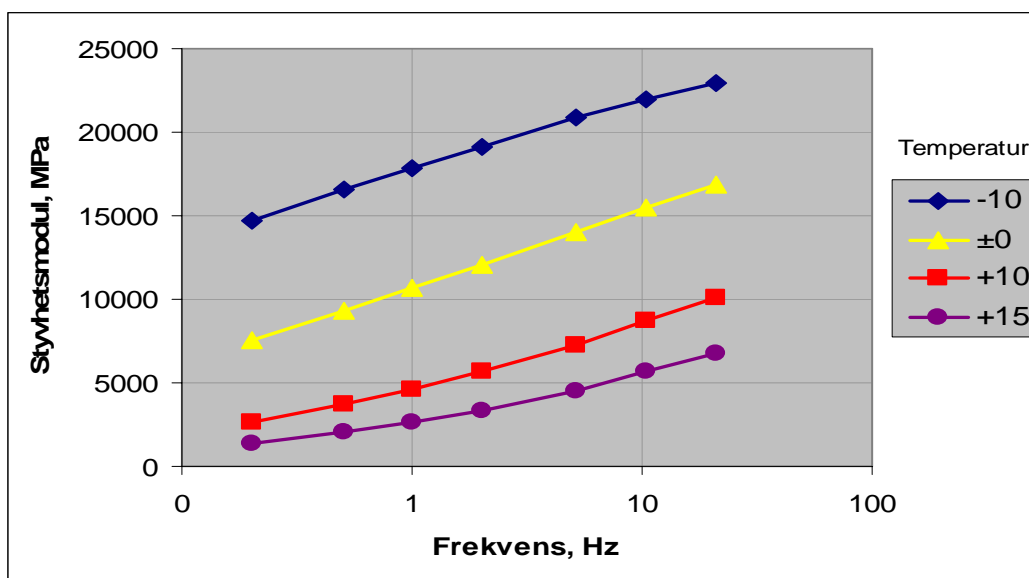
Figur 7 Styvhetsmodul vid olika temperaturer (medelvärden).

4.4 Styvhetsmodul – Masterkurvor

Masterkurvor tas fram för att kunna göra en helhetsbedömning av ett materials egenskaper. För att spegla hur beläggningen klarar trafikbelastningen under olika årstider bestäms styvhetsmodulen vid olika frekvenser och temperaturer. Dessa sammanställs sedan till s.k. Masterkurvor.

Provningsen utförs på följande sätt:

Fem provkroppar testas vid flera temperaturer (I detta fall vid -10, ± 0 , +10 och +15°C). Vid varje temperatur belastas provet med sinusformig belastning vid olika frekvenser. (I detta fall vid 20, 10, 5, 2, 1, 0,5 och 0,2 Hz). Därefter bestäms modul och fasvinkel för varje frekvens och temperatur (totalt 30 värden). Fasvinkel är en parameter som påverkas av hur viskoelastiskt materialet är. *Figur 8* visar beräknade moduler för varje temperatur på y axeln mot frekvens på x axeln (medelvärde av 5 provkroppar). Deformationsmätningen är gjord på mantelytan av provkropparna.



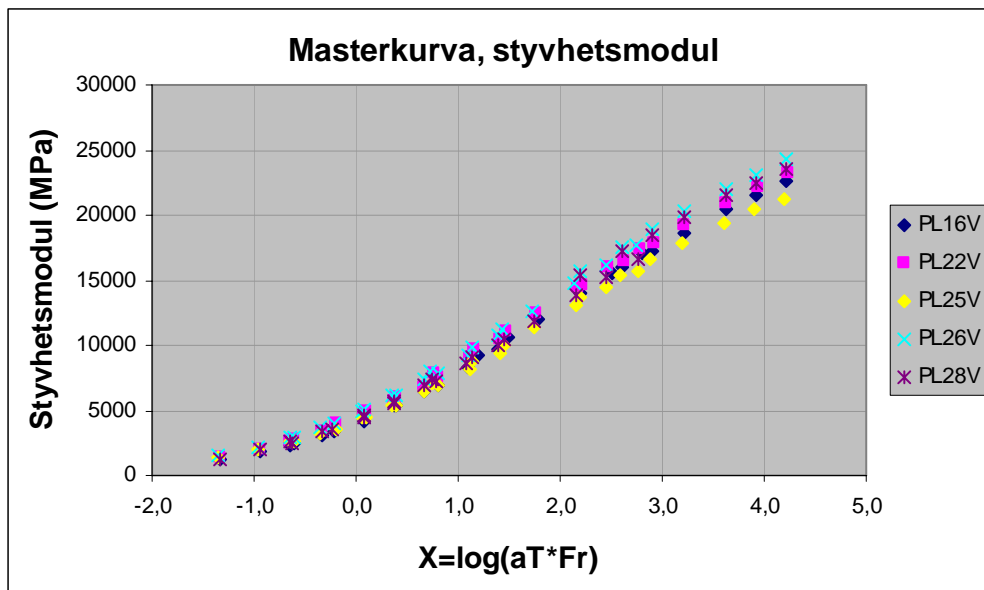
Figur 8 Styvhetsmodul vid olika temperaturer.

Beräkning av Masterkurvor:

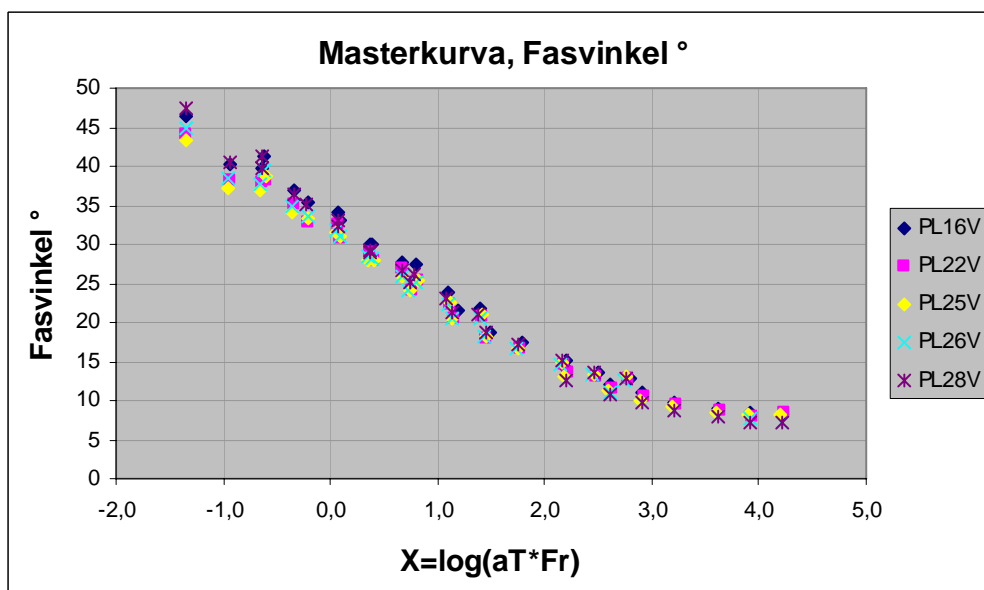
Genom flyttning av kurvorna horisontellt, tills de kommer i kontakt med varandra, bildas en gemensam kurva, så kallad masterkurva, vilken styvhet och frekvens transformeras till en referenstemperatur. Styvhetsmodulen kan beräknas vid olika temperaturer och frekvenser (som motsvarar trafikhastigheten). På så sätt kan man få en bättre bild av materialets beteende under olika fältförhållanden. Det finns olika beräkningsmodeller för framtagning av masterkurva. I det här arbetet har Arrhenios-modellen använts. *Figur 7* och *8* visar masterkurvor för styvhetsmodul och fasvinkel. Med hjälp av *Figur 11* kan X väljas för olika temperaturer och frekvenser. Man kan sedan gå in med detta värde i *Figur 7* och *8* och läsa av styvhetsmodul respektive fasvinkel.

I praktiken kan man med hjälp av masterkurvan bestämma modulen eller fasvinkeln vid aktuella temperaturer och hastigheter (frekvensen kan man beräkna från hastigheten). Styvhetsmodul är en fundamental materialparameter som behövs vid dimensionering av vägöverbyggnader. Fasvinkel är en parameter som beskriver materialets motstånd mot permanenta deformationer under olika förekommande belastningar i fält.

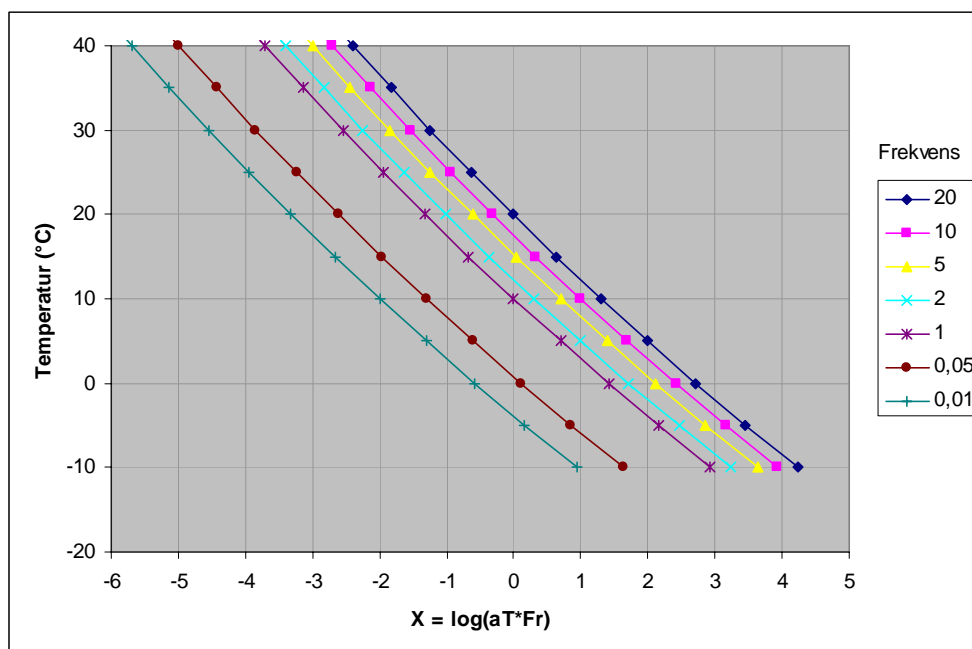
Masterkurvor är ett bra hjälpmedel för att t.ex. jämföra effekten av polymer eller uppskatta deformationen för en beläggningstyp om trafikförhållanden är kända.



Figur 9 Masterkurva för gummiäsfalten GAP 16 för styvhetsmodul.



Figur 10 Masterkurva för gummiäsfalten GAP 16 för fasvinkel.



Figur 11 Bestämning av X från temperatur och frekvens.

4.5 Beständighet

För att kunna bedöma gummiastfaltens beständighet har flera laboriemetoder använts. Dels vattenkänslighet enligt FAS 446, dels vinterkonditionering enligt VTI metodik där proverna analyserats både genom bestämning av styvhetsmodul och Prallvärde (§ 4.6) före och efter vinterkonditionering. Vägverkets krav avser vattenkänslighet enligt FAS 446, där kravet är ITSR-värde >75%. Detta klaras med god marginal för gummiastfalten (ITSR >87) som också visat god beständighet vid vinterkonditionering.

4.5.1 Vattenkänslighet

Metoden, FAS 446, för bestämning av vidhäftningstal eller ITSR-värde (Indirect Tensile Strength Ratio) heter vattenkänslighet vilket är något vilseledande då metoden främst syftar till att bedöma kohesionen i bruksdelen och adhesionen (vidhäftningen) mellan bruk och sten. Konditioneringen utförs visserligen genom vakuummätning av provkropparna i vatten men huvudsyftet är att bedöma vidhäftningen hos beläggningen under inverkan av vatten.

Tabell 8 Vidhäftningstal (ITSR) enligt FAS 446.

Provkropp nr	Skrymd FAS 427 (g/cm ³)	Svällning efter vattenmättnings vol-%	Svällning efter konditionering vol-%	Upptagen vattenmängd vikt-%	Kraft (N)	Dragh (kPa)	Anm.
Torra gruppen							
PL3V	2,325				-		Pressen räckte ej till
PL5V	2,365				-		"
PL10V	2,318				12242	2066	Annan tryckpress
PL11V	2,348				12812	2163	"
PL15V	2,362				13001	2194	"
Medelv	2,344				12685	2141	
Stdavv	38,2						
Våta gruppen							
PL1V	2,350	0,5	0,3	0,3	9585	1618	
PL2V	2,371	-0,3	-0,7	0,3	12052	2034	
PL7V	2,380	-0,4	0,3	0,2	9870	1666	
PL9V	2,248	0,6	1,3	4,1	10249	1730	extrapolerad
PL13V	2,367	-0,2	0,6	0,2	13286	2243	
Medelv	2,343	0,0	0,3	1,0	11008	1858	
Stdavv	37,5						

Vidhäftningstal (ITSR):	86,8 %
-------------------------	---------------

4.5.2 Vinterkonditionering

Vinterkonditionering är en provningsmetod utvecklad av Peet Höbada på VTI. Syftet är att konditioneringsfaserna i metoden skall efterlikna de påfrestningar som vägar i nordiskt vinterklimat utsätts för med växlande temperaturer runt nollstrecket i kombination med saltning. I denna metod mäts effekten av konditioneringen genom styvhetsmodul. Förhållandet mellan styvhetsmodulen före respektive efter konditioneringen benämns Q-vinter (100 % motsvarar oförändrade värden före och efter konditionering). Fördelen med styvhetsmodul, förutom att den är känslig och tydligt reagerar på variationer i beläggningen, är att det är en oförstörande provning vilket innebär att samma provkropp kan testas före och efter konditionering. I detta fall har vinterkonditioneringen inte givit någon nedsättning av styvhetsmodulen hos gummi-asfalten utan snarare en liten förstärkning vilket givit värden på Q-vinter >100 %.

Tabell 9 Resultat före och efter vinterkonditionering.

		Svällning – %						
		Enskilda värden					Medelv	Stdav
1	Referensmätning	0	0	0	0	0		
2	Efter saltmätning	1,4	-0,9	0,7	0,0	-0,1	0,2	0,9
3	Efter saltlagring i +40°C	1,3	-0,1	0,4	0,3	0,0	0,4	0,6
4	Efter vattenmätning	0,5	-0,4	0,7	0,2	0,5	0,3	0,4
5	Efter 7 frys-töcykler	0,1	0,0	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4
		Styvhetsmodul – Mpa						
		Enskilda värden					Medelv	Stdav
1	Referensmätning	6 232	6 962	6 343	7 031	6 550	6 624	360
5	Efter 7 frys-töcykler	7 023	7 166	6 562	7 843	7 363	7 191	469
	Q-vinter	113	103	103	112	112	109	5,0

4.6 Prallslitage

Prallslitage är en utpräglad slitagetest vars syfte är att bedöma en beläggnings nötningsresistens mot dubbslitage. Vid dessa undersökningar av gummi-asfalt har dock Pralltestet även utförts efter vinterkonditionering vilket förutom nötningsmotstånd ger en uppfattning om beläggningsens beständighet.

Resultaten visar att gummi-asfalt har mycket bra nötningsmotstånd med Prallvärden mellan 15-20 cm³. Prallförsöken på vinterkonditionerade prover har givit ca 2 enheter högre slitagevärden. Det strängaste kravet enligt Vägverkets anvisningar 2008 är prallvärden <20 cm³ vilket även de vinterkonditionerade proverna klarar.

Kommentar:

När det gäller Prallförsök på gummi-asfalt måste dock en reservation göras eftersom det saknas validering om Prallmetoden på rätt sätt speglar vägslitage när det gäller denna typ av beläggning. Riveffekten som dubbar ger saknas i Prallmetoden där det är stålkulor som studsar mot provkroppen som ger nötningseffekten.

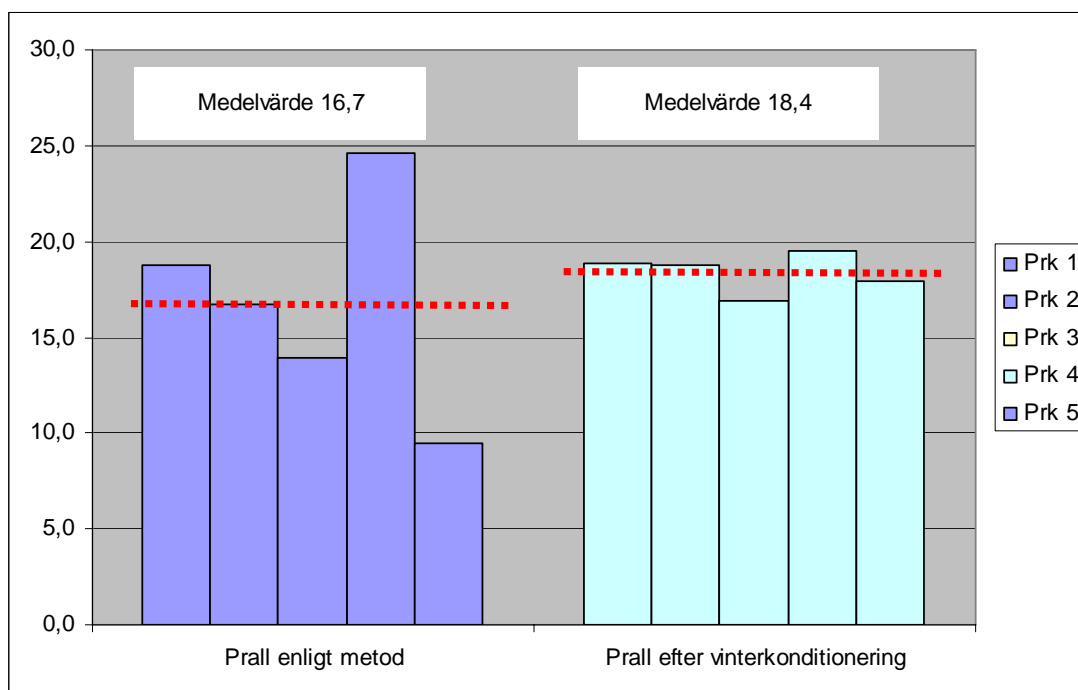
Tabell 10 Prallslitage enligt FAS 471.

Provrnr	Skrym- densitet (g/cm ³)	Vikt efter vattenlagring (g)	Vikt efter Prall (g)	Prallslitage (cm ³)
PL2P	2,374	540,7	496,2	18,7
PL5P	2,358	718,2	678,7	16,8
PL17P	2,305	754,5	722,4	13,9
PL23P	2,290	722,2	665,8	24,6
PL28P	2,349	698,4	676,2	9,5*
Medelvärde:				16,7
Stdav:				5,6
V-%				33,8

*/ Notera de extremt höga och låga värdena för ej vinterkonditionerade prover vilka givit mycket hög variationskoefficient för denna provserie.

Tabell 11 Prallslitage efter vinterkonditionering.

Provnr	Skrymdensitet (g/cm ³)	Vikt efter vattenlagring (g)	Vikt efter Prall (g)	Prallslitage (cm ³)
PL8P	2,369	645,5	600,9	18,8
PL10P	2,323	678,9	635,4	18,7
PL13P	2,372	717,8	677,7	16,9
PL20P	2,282	653,8	609,3	19,5
PL25P	2,332	665,9	624,0	18,0
Medelvärde:				18,4
Stdav:				1,3
V-%				7,1



Figur 12 Prallslitage enligt FAS 471 före och efter vinterkonditionering.

4.7 Sprickutveckling hos gummi-asfalt

Med hjälp av VTI:s Wheeltrackingutrustning (WTT) har sprickutveckling av gummi-asfalten undersökts. Det finns ingen färdig standard för studie av sprickutveckling hos asfaltbeläggningar. Vid dessa försök har ett förfarande som är framtaget på VTI använts. Utrustningen som använts finns beskriven under benämningen "Extra-large size device" i provningsstandarden SS-EN 12697-22 medan utförandet beskrivs nedan.

Provningsförfarande:

Provplattor placeras i WTT på delat mjukt underlag för att generera sprickor genom beläggningen. Metoden illustreras i figur 10. Dubbla töjningsgivare monteras i under- och överkant av beläggningen så att sprickförloppet kan registreras.

Provningsen utfördes på 3 plattor med gummi-asfalt och 3 plattor med referensbeläggning (ABS16 70/100).

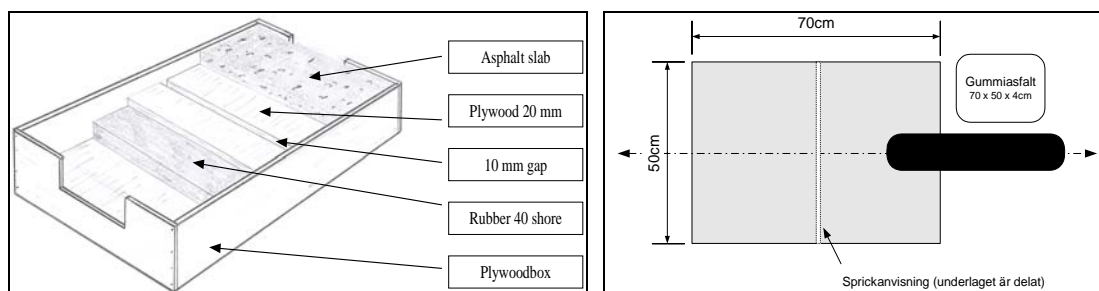
Provningsparametrar:

Plattstorlek: 50 x 70 x 4 cm (30 kg massa).

Temperatur: +5°C.

Belastning: Anpassas till önskad töjningsnivå

Antal överfarter: Anpassas efter sprickutvecklingen



Figur 13 Uppbyggnad av provplatta och principskiss för test av sprickutveckling i WTT.

Töjningen har registrerats från dubbla töjningsgivare i underkant och överkant hos respektive provplatta (3 gummiplattor och 3 referensplattor). I Figur 15 a–f visas uppmätt töjning efter olika antal överfarter i under- respektive överkant av beläggningssplattorna vid olika belastningsnivåer.

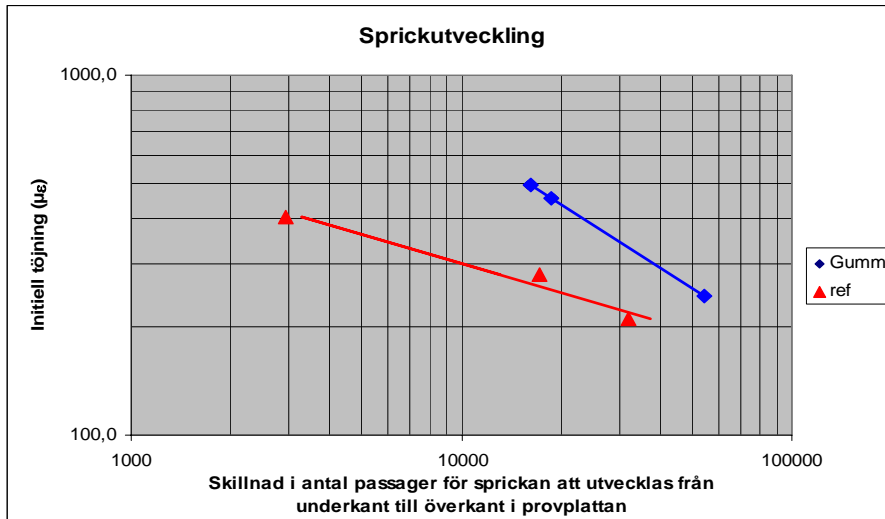
I Tabell 12 framgår det när sprickorna börjar i underkant respektive när överkant av provplattan (angivet i antal passager). Differensen visar hur snabbt sprickorna utvecklas genom provplattan (skillnad i antal passager).

I Figur 14 visas sambandet mellan den initiala töjningen (= töjningen efter 100 passager vilket speglar hur stor kraft som applicerats på provet) och skillnaden i antal passager från det att sprickan börjar i underkant tills den når överkanten av beläggningssplattan. (Denna skillnad är ett mått på hur snabbt sprickorna utvecklas).

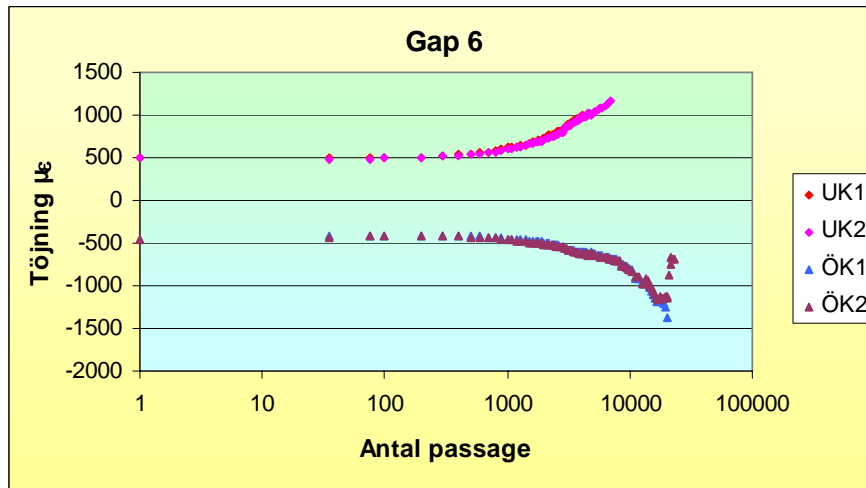
Tabell 12 Sprickutveckling i provplattorna vid WTT försök.

Beläggningstyp	Belastning kN	Initiell töjning μs	Antal passager innan spricka når		Diff
			underkant	överkant	
Gummi-asfalt	15	494	5 550	21 500	15 950
	11,3	455	19 000	38 000	19 000
	4,0	244	66 000	120 000	54 000
Referens	15	404	5 450	8 375	2 925
	9,0	280	16 250	33 500	17 250
	7,5	211	67 000	99 000	32 000

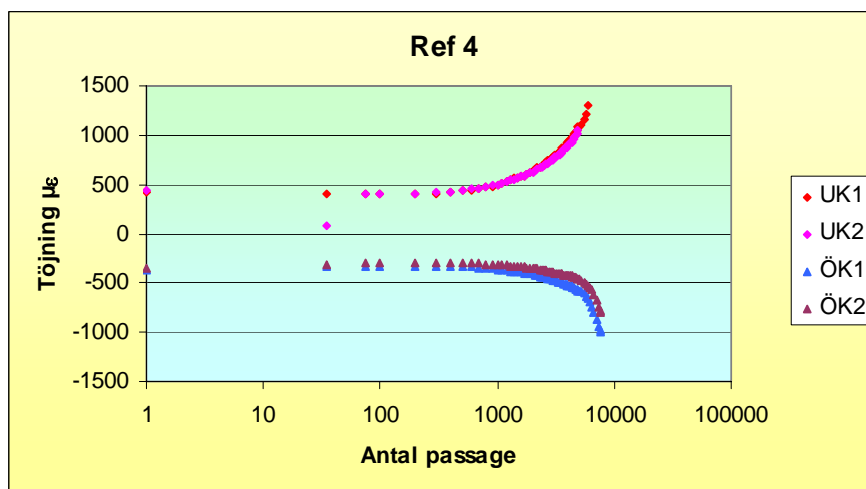
Resultaten visar att gummi-asfalten har en gynnsammare sprickutbredningstakt än motsvarande referensbeläggning.



Figur 14 Sprickutveckling hos gummi- respektive referensbeläggning.



a/ Gummiasfalt



b/ Referensbeläggning

Figur 15a–b Uppmätta töjningar för belastningsnivå 15,4 kN vid olika antal överfarer.

5 Avslutande kommentarer

Dessa laboratorieförsök har främst inriktats på att bedöma gummiastfaltens funktionella egenskaper och jämföra dessa mot de krav som finns angivna i Vägverkets anvisningar. När det gäller sprickutveckling har resultaten istället jämförts mot en referensbeläggning.

Av de undersökningar som utförts på den aktuella gummiastfalten kan man konstatera att den uppfyller Vägverkets krav hos motsvarande slitlagerbeläggningar. De faktorer där gummiastfalten uppvisar mest positiva egenskaper är främst god nötningsresistens och långsam sprickutveckling. Beläggningen har även visat god beständighet.

En sammanfattning av resultaten visar att:

Gummiastfalten visar mycket bra egenskaper enligt de beständighetstester som utförts både när det gäller standardmetoden vattenkänslighet (ITSR = 86,8 %) som den på VTI utvecklade vinterkonditioneringsmetoden (Q-vinter = 109 %).

Nötningsresistensen mätt genom Prallslitage har givit mycket goda resultat med Prallvärden under 20 cm³. Prallslitage på vinterkonditionerade prover har endast givit 1–2 enheter högre Prallvärden. (Det är dock osäkert om denna provningsmetod på rätt sätt speglar den nötningseffekt som dubbtrafik ger upphov till på gummiastfalt.)

Test av sprickutveckling har visat goda resultat. Jämfört med en referensbeläggning bestående av ABS16 70/100 tar det betydligt fler överfarter för sprickor i underkanten av beläggningen att tränga upp till ytan på gummiastfalten än på referensbeläggningen.

Flexibiliteten har analyserats genom bestämning av styvhetsmodul vid olika temperaturer från -10 till +15 °C och stabiliteten har analyserats genom dynamisk kryptest vid +40°C. Båda dessa analyser har visat jämförbara nivåer med Vägverkets krav.

För att kunna göra en helhetsbedömning och validera laboratorieresultaten rekommenderas några års uppföljning av provsträckorna med gummiastfalt.

Referenser

Vägverkets broschyr. (2007) *Vi utför provsträckor med gummiasfalt*, Vägverket Borlänge, 2007.

S. Said. (1995) *Bestämning av utmattningshållfasthet hos asfaltbetong genom pulserande pressdragprovning*, VTI notat 38-1995, VTI, Linköping 1995.

P. Höbeda. (2000) *Testing the durability of asphalt mixes for severe winter conditions*, 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona 2000.

Vägverket. (2009) *Handledning för asfaltmassa/beläggning med gummimodifierat bitumen inom ramen för gummiasfaltprojektet 2009*. Version 1, 2009-04-06.

Använd amerikansk kravspecifikation för gummiäsfalt Arizona, ADOT

1009-1 Description:

The work under this section shall consist of furnishing, proportioning and mixing all the ingredients necessary to produce an asphalt-rubber material. Asphalt-rubber material is also referred to as crumb rubber asphalt (CRA).

1009-2 Materials:

1009-2.01 Asphalt-Rubber:

(A) Asphalt Cement:

Asphalt cement shall be a performance grade (PG) asphalt binder conforming to the requirements of Section 1005. The pressure aging temperature for PG 58-22 in Section 1005 of the Standard Specifications shall be 100°C.

(B) Crumb Rubber:

Crumb rubber shall meet the following gradation requirements when tested in accordance with Arizona Test Method 714.

TABLE 1009-1		
Sieve Size	Percent Passing	
	Type A	Type B
No. 8	100	
No. 10	95 - 100	100
No. 16	0 - 10	65 - 100
No. 30		20 - 100
No. 50		0 - 45
No. 200		0 - 5

The crumb rubber shall have a specific gravity of 1.15 ± 0.05 and shall be free of wire or other contaminating materials, except that Type A crumb rubber shall contain not more than 0.1 percent fabric and Type B crumb rubber shall contain not more than 0.5 percent fabric. Calcium carbonate, up to four percent by weight of the crumb rubber, may be added to prevent the particles from sticking together.

Certificates of Compliance conforming to Subsection 106.05 shall be submitted. In addition, the certificates shall confirm that the rubber is a crumb rubber, derived from processing whole scrap tires or shredded tire materials; and the tires from which the crumb rubber is produced are taken from automobiles, trucks, or other equipment owned and operated in the United States. The certificates shall also verify that the processing does not produce, as a waste product, casings or other round tire material that can hold water when stored or disposed of above ground.

1009-2.02 Asphalt-Rubber Proportions:

The asphalt-rubber shall contain a minimum of 20 percent crumb rubber by the weight of the asphalt cement.

1009-2.03 Asphalt-Rubber Properties:

Asphalt-rubber shall conform to the following:

TABLE 1009-2			
Property	Requirement		
	CRA Type 1	CRA Type 2	CRA Type 3
Grade of base asphalt cement	PG 64-16	PG 58-22	PG 52-28
Rotational Viscosity*: 350 °F; Pascal-seconds	1.5 - 4.0	1.5 - 4.0	1.5 - 4.0
Penetration: 39.2 °F, 200 g, 60 sec. (ASTM D 5); 0.1 mm, minimum	10	15	25
Softening Point: (ASTM D 36); °C, minimum	57	54	52
Resilience: 77 °F (ASTM D 5329); %, minimum	25	20	15
<p>* The viscotester used must be correlated to a Rion (formerly Haake) Model VT-04 viscotester using the No. 1 Rotor. The Rion viscotester rotor, while in the off position, shall be completely immersed in the binder at a temperature from 350 to 355 degrees F for a minimum heat equilibrium period of 60 seconds, and the average viscosity determined from three separate constant readings (± 0.5 Pascal-seconds) taken within a 30 second time frame with the viscotester level during testing and turned off between readings. Continuous rotation of the rotor may cause thinning of the material immediately in contact with the rotor, resulting in erroneous results.</p>			

TABLE 1009-3						
ASPHALT-RUBBER PAY ADJUSTMENT TABLE						
Test Property	CRA Type 1		CRA Type 2		CRA Type 3	
	Test Value	Percent of Contract Unit Price	Test Value	Percent of Contract Unit Price	Test Value	Percent of Contract Unit Price
Penetration	≥ 10	100	≥ 15	100	≥ 25	100
	8 – 9	85	13 – 14	85	23 – 24	85
	< 8	70*	< 13	70*	< 23	70*
Softening Point	≥ 57	100	≥ 54	100	≥ 52	100
	55 – 56	85	52 – 53	85	50 – 51	85
	< 55	70*	< 52	70*	< 50	70*
Resilience	≥ 25	100	≥ 20	100	≥ 15	100
	20 – 24	85	15 – 19	85	10 – 14	85
	15 – 19	70	10 – 14	70	6 – 9	70
	< 15	50*	< 10	50*	< 6	50*
* Reject Status: The pay adjustment applies if allowed to remain in place.						
Should the asphalt-rubber be deficient on more than one property, the pay adjustment will be the greatest reduction to the contract unit price specified considering individual test results.						

1009-2.04 Asphalt-Rubber Design:

At least two weeks prior to the use of asphalt-rubber, the contractor shall submit an asphalt-rubber design prepared by an approved laboratory. The design shall be formulated using asphalt cement and crumb rubber that are representative of the materials to be utilized in production, and shall meet the requirements specified herein. The design shall show the values obtained from the required tests, along with the following information: percent, grade and source of the asphalt cement used; and percent, gradation and source(s) of crumb rubber used.

1009-3 Construction Requirements:

During production of asphalt-rubber, the contractor shall combine materials in conformance with the asphalt-rubber design unless otherwise approved by the Engineer.

1009-3.01 Mixing of Asphalt-Rubber:

The temperature of the asphalt cement shall be between 350 and 400 degrees F at the time of addition of the crumb rubber. No agglomerations of crumb rubber particles in excess of two inches shall be allowed in the mixing chamber. The contractor shall document that the amount of crumb rubber used does not deviate more than plus or minus 1.0% from the percentage specified in the accepted asphalt-rubber mix design.

The temperature of the asphalt-rubber immediately after the initial dispersion of the crumb rubber into the asphalt cement shall be between 325 and 375 degrees F. The contractor shall ensure that the crumb rubber and asphalt cement are thoroughly mixed prior to the beginning of the reaction period. The reaction period shall be a minimum of one-hour, during which time the asphalt-rubber is continued to be mixed while a temperature between 325 and 375 degrees F is maintained. The reaction period shall be completed before the asphalt-rubber is used. The contractor shall demonstrate that the crumb rubber particles have been uniformly incorporated into the mixture and that they have been "wetted." The occurrence of crumb rubber floating on the surface or agglomerations of crumb rubber particles shall be evidence of insufficient mixing.

Prior to use, the viscosity of the asphalt-rubber shall be tested by the use of a rotational viscotester, which is to be furnished by the contractor or supplier.

1009-3.02 Handling of Asphalt-Rubber:

Once the asphalt-rubber has been mixed, it shall be kept thoroughly agitated to prevent settling of the crumb rubber particles. The temperature of the asphalt-rubber shall be maintained between 325 and 375 degrees F.

If in the first ten hours after the completion of the reaction period the temperature of the asphalt-rubber drops below 325 degrees F, it may be reheated to a temperature between 325 and 375 degrees F.

In no case shall the asphalt-rubber be held at a temperature between 325 to 375 degrees F for more than 10 hours after the completion of the reaction period. Asphalt-rubber held for more than 10 hours shall be allowed to cool and gradually reheated to a temperature between 325 and 375 degrees F before use.

The reheating of asphalt-rubber that has cooled below 325 degrees F shall not be allowed more than one time.

Asphalt-rubber shall not be held at temperatures above 250 degrees F for more than four days after the completion of the reaction period.

For each load or batch of asphalt-rubber, the contractor shall provide the Engineer with the following documentation:

- (1) The source, grade, amount, and temperature of the asphalt cement prior to the addition of crumb rubber.
- (2) The source and amount of crumb rubber, and the crumb rubber content expressed as percent by the weight of the asphalt cement.
- (3) Times and dates of the crumb rubber additions and resultant viscosity test.
- (4) A record of the temperature, with time and date reference for each load or batch. The record shall begin at the time of the addition of crumb rubber and continue until the load or batch is completely used. Readings and recordings shall be made at every temperature change in excess of 20 degrees F, and as needed to document other events which are significant to batch use and quality

Bilaga 2
Sid 1 (1)

Provförteckning över borrhävar

Provbeteckning	Tjocklek VVMB 903	Skrymdensitet		Prall FAS 471		Styvhetsmodul			Vatten- känslighet 7 dygn 40°C FAS 446	Dynamisk kryptest FAS 468	Utmattning VTI metodik
		FAS 448	FAS 427	vinterkond		FAS 454	Master- kurvor	Vinterkond VTI metod			
				före	efter						
Körfält K1:											
PI 1 0/400 h1,0	1	1	1						1		1
PI 2 0/700 h2,0	1	1	1	1					1		1
PI 3 0/902 h3,4	1	1	1						1		1
PI 4 1/103 h0,6	1	1	1								1
PI 5 1/374 h2,0	1	1	1	1					1		1
PI 6 1/521 h3,4	1	1	1								1
PI 7 1/760 h2,0	1	1	1						1		1
PI 8 2/005 h0,7	1	1	1		1						1
PI 9 2/300 h2,0	1	1	1						1		1
PI 10 2/455 h3,4	1	1	1		1				1		1
PI 11 2/605 h0,7	1	1	1						1		1
PI 12 2/808 h2,0	1	1	1								1
PI 13 3/000 h3,4	1	1	1		1				1		1
PI 14 3/172 h0,7	1	1	1								1
PI 15 3/408 h2,0	1	1	1						1		1
Antal:	15	15	15	2	3				10		15
Körfält K2:											
PI 16 0/279 h4,5	1	1	1			1	1	1		4	1
PI 17 0/581 h2,5	1	1	1	1							1
PI 18 0/781 h1,0	1	1	1								1
PI 19 0/982 h2,5	1	1	1								1
PI 20 1/250 h4,5	1	1	1		1						1
PI 21 1/500 h2,5	1	1	1							4	1
PI 22 1/800 h1,0	1	1	1			1	1	1			1
PI 23 2/006 h2,5	1	1	1	1							1
PI 24 2/300 h4,5	1	1	1								1
PI 25 2/551 h1,0	1	1	1		1	1	1	1			1
PI 26 2/650 h2,5	1	1	1			1	1				1
PI 27 2/800 h4,5	1	1	1					1			1
PI 28 3/000 h3,4	1	1	1	1		1	1	1		4	1
PI 29 3/200 h2,5	1	1	1								1
PI 30 3/315 h4,5	1	1	1								1
Antal:	15	15	15	3	2	5	5	5		12	15

Bilaga 3
Sid 1 (1)

Tjocklek och skrymdensitet på 100 mm borrhärnor

Prov nr	VVMB 903	FAS 427	FAS 448	Prov nr	VVMB 903	FAS 427	FAS 448
PL1U	35,9	2,328	2,269	PL1V	41,8	2,350	2,316
PL2U	36,8	2,384	2,309	PL2V	37,7	2,371	2,326
PL3U	33,7	2,308	2,236	PL3V	33,1	2,325	2,263
PL4U	41,3	2,301	2,229	PL5V	39,7	2,365	2,328
PL5U	39,7	2,368	2,329	PL7V	38,2	2,380	2,348
PL6U	41,3	2,339	2,250	PL9V	38,3	2,248	2,192
PL7U	38,1	2,378	2,342	PL10V	36,5	2,318	2,271
PL8U	35,4	2,361	2,322	PL11V	43,3	2,348	2,305
PL9U	38,7	2,320	2,251	PL13V	41,4	2,367	2,327
PL10U	36,5	2,327	2,285	PL15V	40,9	2,362	2,294
PL11U	42,4	2,332	2,292	PL16V	38,8	2,334	2,280
PL12U	42,4	2,344	2,309	PL17V	41,2	2,275	2,206
PL13U	40,5	2,372	2,326	PL18V	36,0	2,363	2,305
PL14U	41,7	2,369	2,331	PL20V	37,3	2,291	2,205
PL15U	41,3	2,363	2,296	PL22V	36,9	2,334	2,270
PL16U	40,5	2,341	2,305	PL24V	44,1	2,298	2,215
PL17U	41,1	2,289	2,206	PL25V	37,1	2,333	2,302
PL18U	36,5	2,349	2,288	PL26V	43,6	2,362	2,325
PL19U	43,4	2,324	2,245	PL28V	37,8	2,355	2,295
PL20U	38,6	2,264	2,157	PL30V	43,0	2,334	2,293
PL21U	42,9	2,357	2,302	PL2P	36,3	2,374	2,304
PL22U	38,0	2,345	2,285	PL5P	39,1	2,358	2,326
PL23U	43,1	2,286	2,196	PL8P	35,9	2,369	2,322
PL24U	44,2	2,297	2,223	PL10P	36,1	2,323	2,266
PL25U	38,2	2,354	2,323	PL13P	40,8	2,372	2,336
PL26U	42,8	2,360	2,315	PL17P	41,4	2,305	2,262
PL27U	36,9	2,275	2,164	PL20P	38,6	2,282	2,213
PL28U	38,4	2,354	2,288	PL23P	42,3	2,290	2,181
PL29U	43,2	2,373	2,314	PL25P	36,2	2,332	2,291
PL30U	42,7	2,333	2,253	PL28P	39,0	2,349	2,308
Medelvärde:	39,9	2,337	2,275	Medelvärde:	39,1	2,335	2,282
Maxvärde:	44,2	2,4	2,3	Maxvärde:	44,1	2,4	2,3
Minvärde:	33,7	2,3	2,2	Minvärde:	33,1	2,2	2,2

Anm.

U= prover till utmattningsförsök, V= prover till vattenkänslighet, P= prover till prall

Bilaga 4
Sid 1 (1)

Tjocklek och skrymdensitet på 150 mm borrhärnor

	Provnr	h1	h2	h3	h4	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Medel h	Medel Ø	diff h	diff Ø
Enskilda värden	PL16Da	31,1	31,0	30,4	30,7	153,0	152,8	153,3	152,7	30,8	153,0	0,7	0,5
	PL16Db	30,0	30,4	30,8	30,7	153,4	153,2	153,2	153,2	30,5	153,2	0,7	0,2
	PL16Dc	30,7	30,6	30,8	30,1	152,8	153,1	153,3	152,9	30,5	153,0	0,7	0,5
	PL16Dd	30,6	30,9	30,9	29,9	152,6	152,4	153,4	153,0	30,6	152,9	1,0	1,0
	PL21Da	31,1	30,5	31,2	31,7	152,8	152,7	153,0	153,4	31,1	153,0	1,2	0,7
	PL21Db	29,7	30,3	30,6	30,5	153,2	153,2	153,2	153,4	30,3	153,3	0,9	0,2
	PL21Dc	30,6	29,9	29,9	30,6	152,4	152,9	153,2	153,1	30,2	152,9	0,7	0,8
	PL21Dd	31,0	31,3	30,8	30,5	152,3	152,4	152,8	152,5	30,9	152,5	0,8	0,5
	PL28Da	30,2	29,3	30,1	30,2	153,4	153,4	153,6	153,0	29,9	153,3	0,9	0,6
	PL28Db	29,7	29,7	29,1	29,3	153,2	153,3	153,6	153,8	29,4	153,5	0,7	0,6
	PL28Dc	30,0	30,1	29,7	29,7	153,0	153,3	153,4	153,3	29,8	153,2	0,4	0,4
	PL28Dd	30,6	29,2	30,3	30,5	153,7	153,1	153,1	153,8	30,2	153,4	1,5	0,8
Sammanlagda värden	PL16Da	61,0	61,6	61,7	61,3	153,1	152,8	153,2	153,2	61,4	153,1	0,7	0,4
	PL16Db												
	PL16Dc	61,2	61,7	60,8	60,8	152,8	153,2	152,9	153,1	61,1	153,0	0,9	0,4
	PL16Dd												
	PL21Da	61,3	61,6	61,0	61,8	153,1	153,0	153,0	153,2	61,4	153,1	0,7	0,2
	PL21Db												
	PL21Dc	61,7	61,5	61,6	61,7	153,1	152,9	152,8	152,7	61,6	152,9	0,3	0,4
	PL21Dd												
	PL28Da	60,0	59,1	59,4	59,4	153,2	153,5	153,4	153,8	59,5	153,5	0,8	0,5
	PL28Db												
PL28Dc	60,7	59,9	59,9	60,4	153,3	153,7	153,3	153,6	60,2	153,5	0,8	0,4	
PL28Dd													

VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportsystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovningsanläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.

