

Provsträckor på E6, Fastarp–Heberg

Laboratorieprovning av bitumenbundna lager.
Uppföljning efter 7 års trafik

Leif Viman

Förord

VTI har av Vägverket Västra regionen fått uppdraget att dokumentera och följa upp prov med olika vägöverbyggnader på E6 norr om Halmstad, delen Fastarp–Heberg. Vår kontaktman på Vägverket har varit Hans Stjernberg.

I detta notat redovisas de laboratorieanalyser som utförts på bitumen samt kompletterande analyser av permeabilitet som utförts på borrhärdar från 1996 (efter utläggning) och 2003 (efter 7 års trafik). Permeabilitetsundersökningarna har utförts av Bo Carlsson och bindemedelsanalyserna av Janet Yakoub.

Övriga laboratorieanalyser finns redovisade i VTI notat 56:2-1997.

Beskrivningen av kemisk karaktärisering med GPC har utförts av Björn Kalman, VTI.

Linköping oktober 2005

Leif Viman

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
1 Laboratorieanalyser	7
2 Bindemedelsanalyser	7
2.1 Bakgrund	7
2.2 Resultat efter utläggning (1996)	8
2.3 Resultat efter 7 års trafik (2003)	18
2.4 Slutsatser av bindemedelsanalyserna	18
3 Permeabilitet	20
3.1 Beskrivning av utrustningen	20
3.2 Resultat efter utläggning (1996)	21
3.3 Resultat efter 7 års trafik (2003)	23
3.4 Slutsatser av permeabilitetsundersökningarna	26
4 Referenser	28

Sammanfattning

Provvägen består av både betong- och asfaltkonstruktioner. I denna rapport redovisas resultat från bindemedelsanalyser och permeabilitetsbestämningar utförda efter utläggning (1996) och efter 7 års trafik (2003). Endast asfaltkonstruktionerna har ingått i undersökningen.

Tidigare har även styvhetsmodul, dynamisk kryptest, utmattning, Prallslitage samt slitagetest i VTI:s provvägsmaskin utförts. Dessa analyser finns redovisade i VTI notat 56:2-1997.

Bitumenanalyser:

Jämförelse mellan återvunnet bitumen från borrkärnor som togs ut direkt efter utläggning och efter 7 års trafik visar att ingen nämnvärd bitumenåldring skett på belägningarna i FAS-konceptet under denna period. Övriga bitumenanalyser utfördes endast efter 7 års trafik (2003).

Jämförelse med entreprenörens kvalitetskontroll visar att bitumenet på referenssträckorna, B180 i AG-bärlagren och B85 i ABS-slitlagren har åldrats avsevärt. Se sammanställning nedan.

Bitumen	enhet	Laboratoriets kvalitetskontroll på levererat bitumen	Efter 7 års trafik
Penetration:			
B180 (AG)	0,1 mm	167–180	60
B85 (ABS)	0,1 mm	82	48
Mjukpunkt:			
B180 (AG)	°C	38–46	54
B85 (ABS)	°C	39–46	51

Permeabilitet:

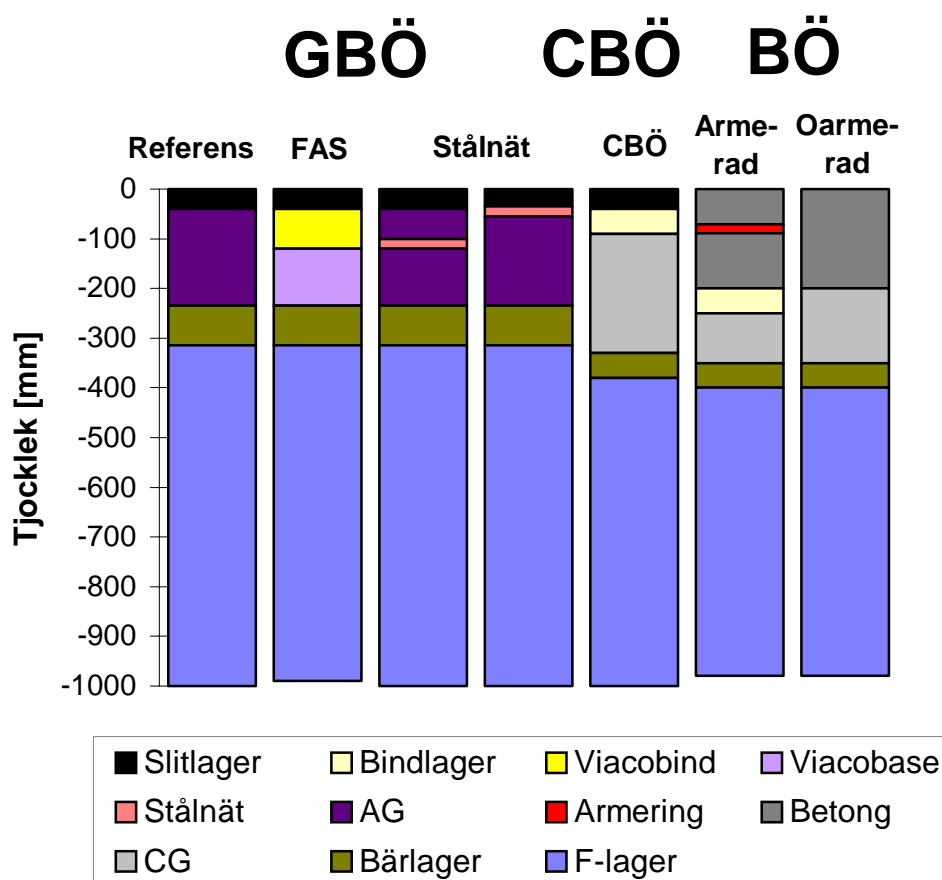
Generellt sett har samtliga prover blivit mindre permeabla över tiden, vilket också är rimligt med tanke på den efterpackning och knådning som belägningarna utsätts för av trafiken.

Vid utläggningen 1996 var det belägningarna i FAS-konceptet som var mer permeabla än de konventionella AG-lagren. Vid den förnyade permeabilitetsundersökningen 2003 efter 7 års trafik har FAS-konceptets belägningar närmast sig AG-lagrens permeabilitet, men fortfarande finns enstaka punkter som har högre permeabilitet.

1 Laboratorieanalyser

Provsträckorna på E6 Fastarp–Heberg har som huvudsyfte att jämföra olika överbyggnader utförda både med asfalt och med betong. Syftet är att studera egenskaper på lång sikt och då främst förmågan att motstå spårbildning, men även avseende buller och friktion. Som komplement till de mätningar som utförts på vägen har borrkärnor tagits vid 3 tillfällen från de olika provsträckorna och analyserats på VTI:s laboratorium. Provvägens uppbyggnad framgår av figur 1.

I detta notat redovisas samtliga laboratorieanalyser som utförts på bitumen samt kompletterande analyser av permeabilitet. Analyserna har utförts på provkroppar uppborrade 1996 (efter utläggning) och 2003 (efter 7 års trafik). Övriga analyser från borrkärnor tagna 1996, 2001 och 2003 finns redovisade i VTI notat 56:2-1997 och VTI notat 52-2002.



Figur 1 Provsträckornas uppbyggnad.

2 Bindemedelsanalyser

2.1 Bakgrund

Bindemedelsanalyserna har utförts på återvunnet bitumen från referenssträcka 12 bestående av slitlager och bärlager samt på sträckorna 13 och 14 byggda enligt det s.k. FAS-konceptet. Syftet med undersökningarna är att få en uppfattning om egenskaperna i dessa beläggningar, men även för att kunna avgöra i vilken mån eventuella deformationer i beläggningen i framtiden kan hänföras till bitumenegenskaper samt att följa upp hur bitumenegenskaperna hos beläggningen

påverkas av åldringen. Förutom traditionella bitumenanalyser har kemisk karakterisering samt bestämning av lågtemperaturregenskaper med Bending Beam Reometer (BBR) utförts.

Vilken typ av modifiering som NCC använt i de firmabundna beläggningarna till FAS konceptet redovisas inte. FAS-konceptet är upphandlat efter funktion varför dessa uppgifter endast redovisas till Vägverket. Detta gör redovisningen haltande och innebär bl.a. att det inte ges möjlighet att förklara vad skillnaderna i bitumenegenskaperna beror på.

Borrkärnor uttagna 1996 och 2003 (efter 7 års trafik) har analyserats med avseende på penetration, mjukpunkt, duktilitet, brytpunkt, BBR och kemisk karaktärisering med hjälp av GPC och Iatroscan. På proverna från 2003 utfördes inte BBR och kemisk karaktärisering.

2.2 Resultat efter utläggning (1996)

Resultat på utförda bitumenanalyser redovisas i följande tabeller och figurer. För att få en uppfattning om de speciella egenskaper som bitumenet från beläggningarna i FAS-konceptet uppvisar har en jämförelse med traditionella bitumen med olika penetrationsgrader tagits med i redovisningen. Dessa resultat är hämtade från VTI Notat 35-1997, Kvalitetsuppföljning av bitumen. Resultaten i det notatet baseras på de bitumenanalyser som utförts på VTI på prover från olika objekt under 1996 som skickades till VTI. Denna uppföljning av bitumenkvaliteten redovisades i årliga VTI-notat.

Tabell 1 Resultat från bindemedelsanalyser på återvunnet bitumen 1996 från Viacobind och Viacobasebeläggningarna.

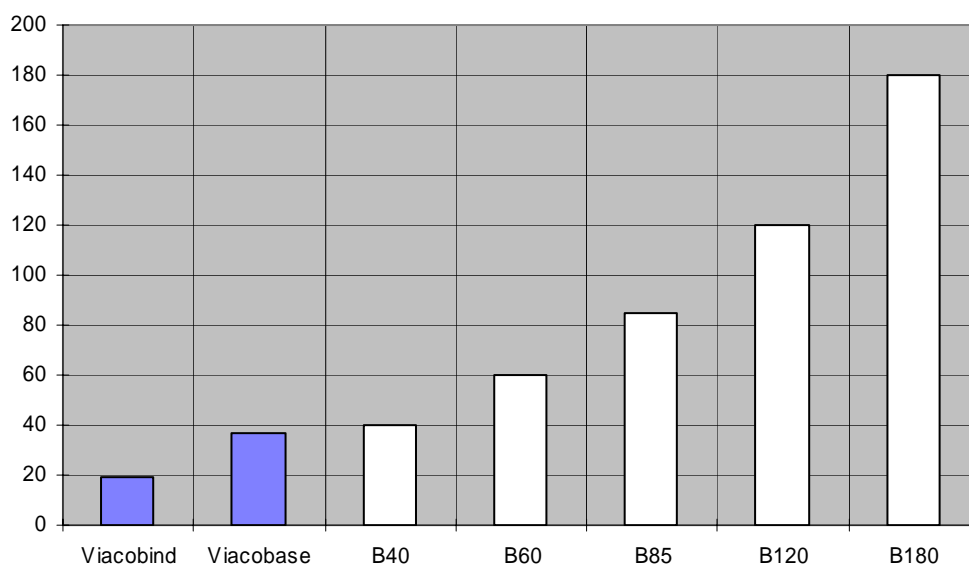
Massatyp	Penetration	Mjukpunkt	Brytpunkt	Duktilitet
Viacobind	19	68	-8	26
Viacobase	60	51	-13	>100

Samtliga resultat är medelvärden från minst två bestämningar.

Tabell 2 Jämförelseresultat från referensbitumen. Utdrag ur kvalitetsuppföljning av 1996 års bitumenprover.

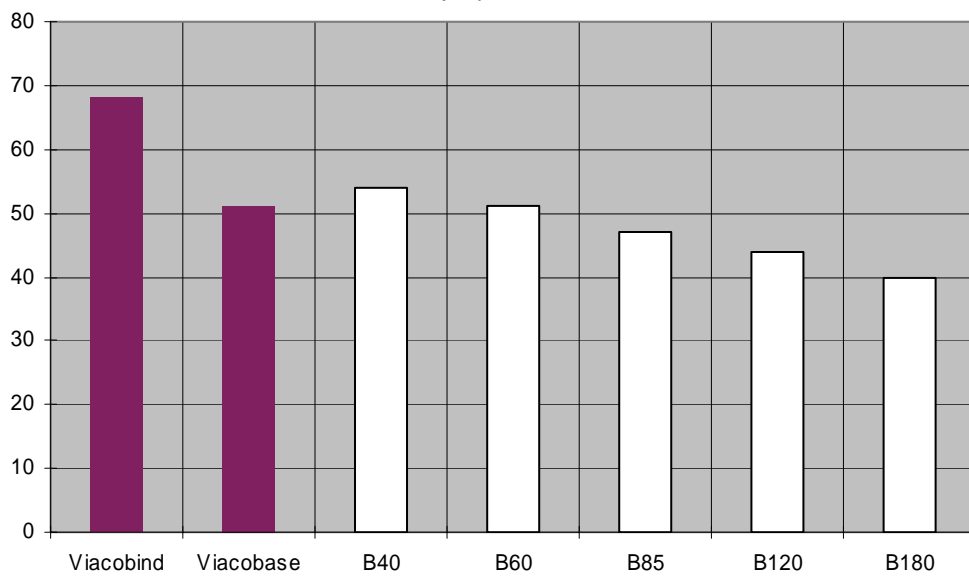
Ref. bitumen	Penetration	Mjukpunkt	Brytpunkt	Duktilitet
B40	40	54		
B60	60	51	-8	25
B85	85	47	-10	50
B120	120	44	-12	75
B180	180	40	-15	100

penetration

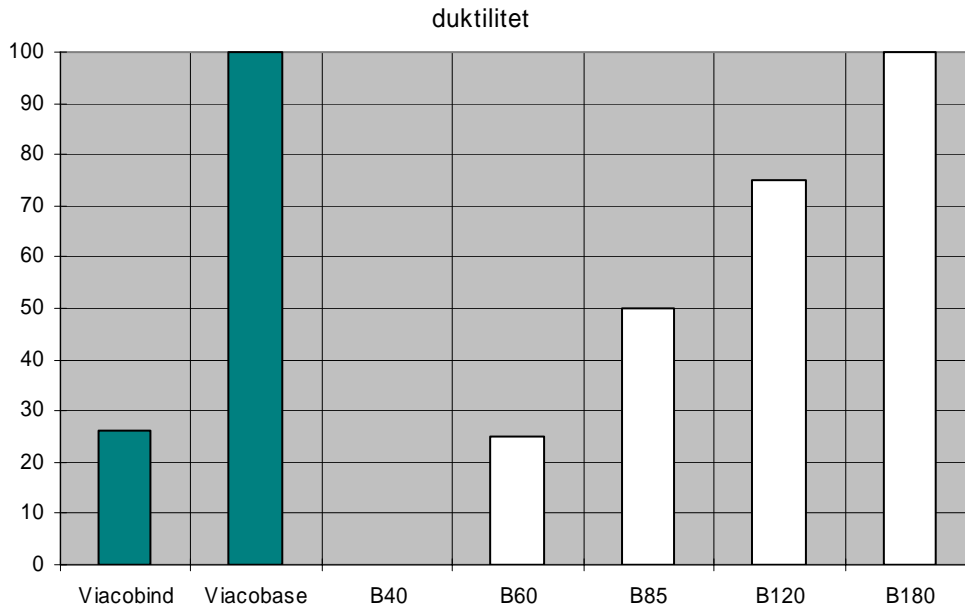


a/

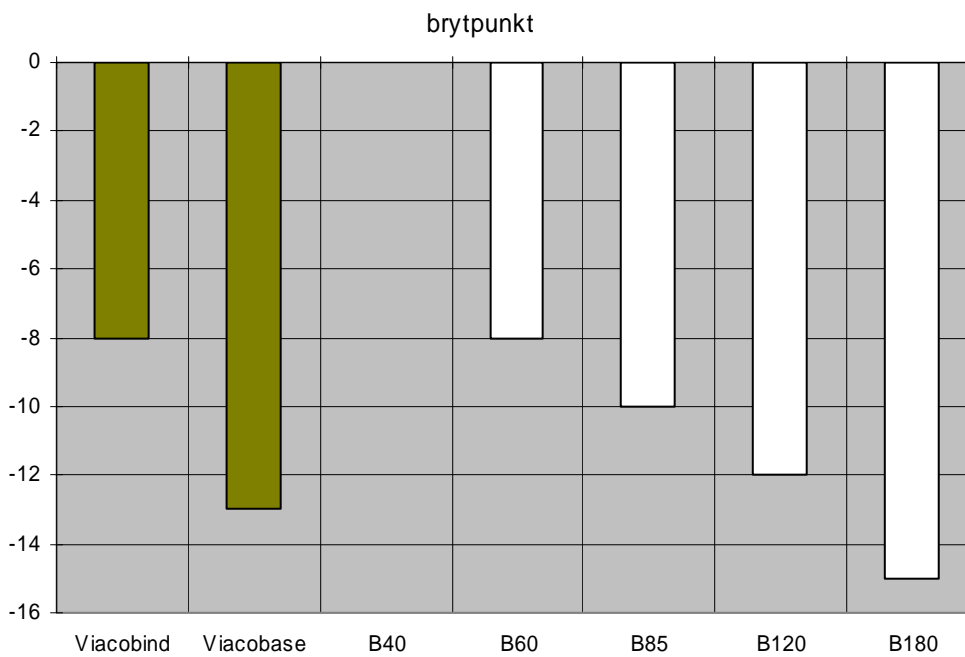
mjukpunkt



b/

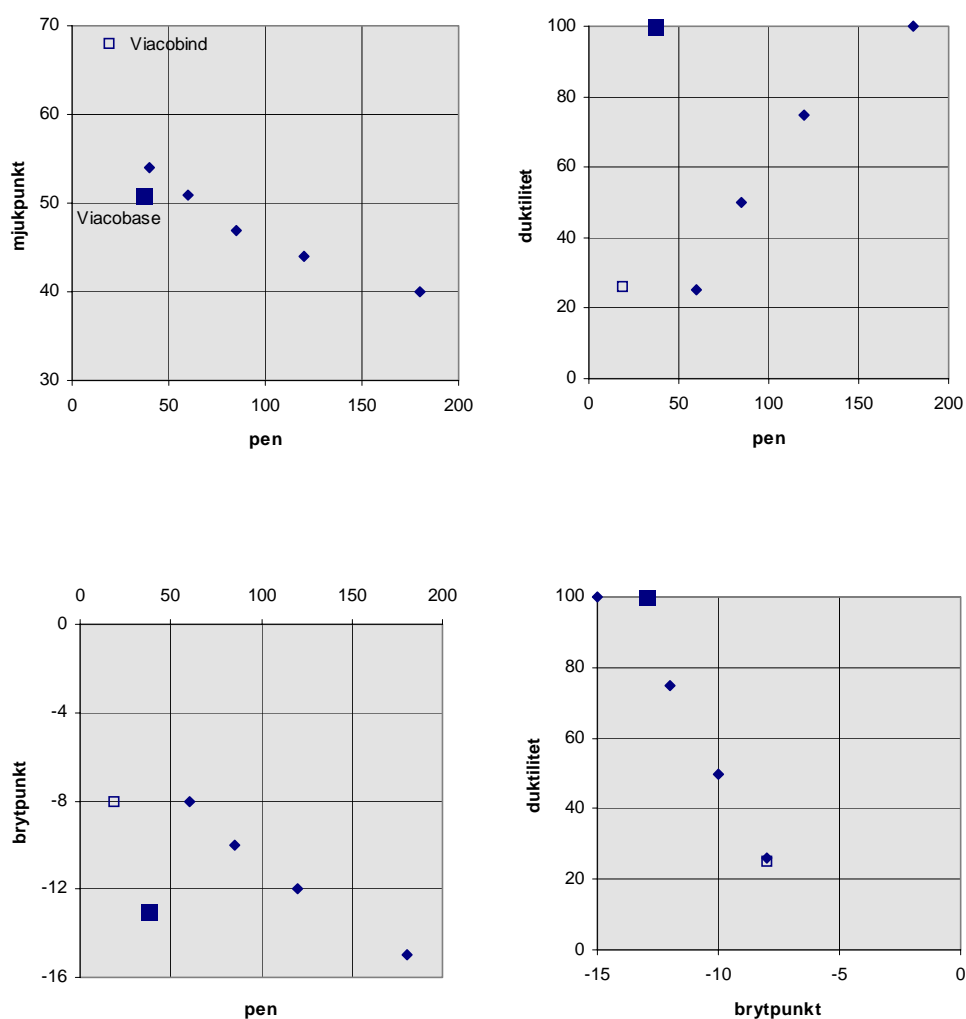


c/



d/

Figur 2 a-d. Bitumenegenskaper hos prov från E6 återvunnet bitumen från Viacobind och Viacobase samt som jämförelse resultat från VTI:s kvalitetsuppföljning.



Figur 3 Jämförelse mellan olika bitumenegenskaper hos återvunna bitumen från Viacobind och Viacobasebeläggningarna och som jämförelse prov från VTI:s kvalitetsuppföljning av bitumen.

I figur 3 framgår det hur egenskaperna hos de modifierade bitumenen i Viacotop respektive Viacobase avviker från de traditionella. Trots att bitumenen är hårda med relativt låga penetrationsvärden så uppvisar de ändå goda egenskaper när det gäller seghet (duktilitet), mjukpunkt och lågtemperaturegenskaper i form av brytpunkt. Detta ger stabila beläggningar utan de brister i form av sprickbildning m.m. som erhålls med motsvarande traditionella bitumen.

För att få en uppfattning om hur dessa bitumen fungerar vid låga temperaturer har BBR-analys utförts.

- **Tre-punkts böjtest med Bending Beam Reometer** vid låga temperaturer, enligt SHRP-metodik. En liten provbalk av bitumen belastas för att simulera hur spänningar byggs upp vid fallande temperatur i en beläggning.

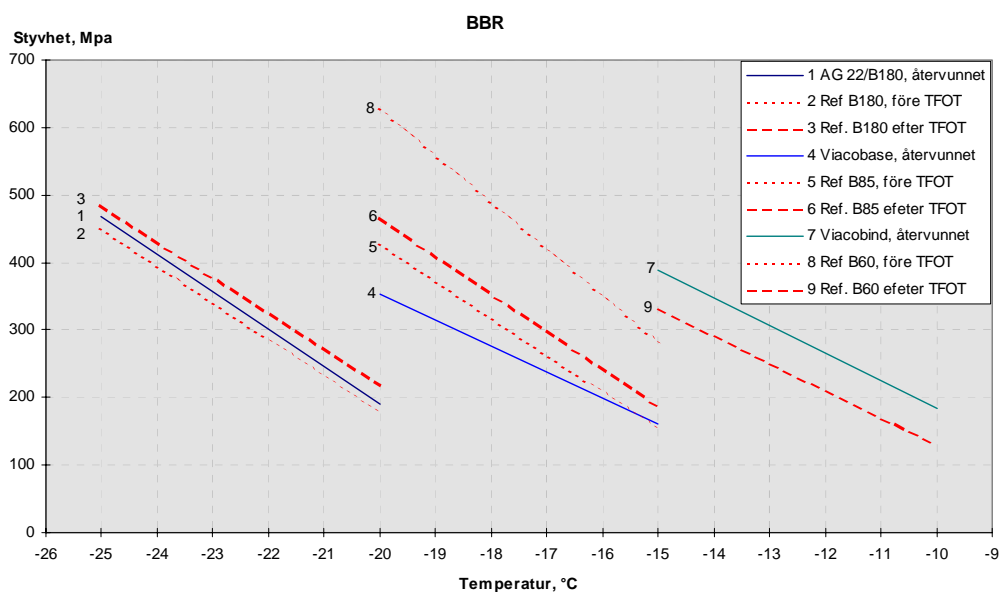
Bestämning av lågtemperaturflexibilitet med BBR Bending Beam Rheometer har utförts på återvunnet bitumen från AG, Viacobind och Viacobase. Provning har

även utförts efter att proverna åldrats på laboratoriet i en värmeugn enligt TFOT-metoden (Thin Film Oven Test). Vid BBR-provningen bestäms styvheten vid krypbelastning samt styvhetsförändringen som en funktion av tiden. $T_{300\text{MPa}}$ har beräknats. $T_{300\text{MPa}}$ är den temperatur vid vilken styvheten uppgår till 300 MPa och m-värdet samtidigt är minst 0,300. Som jämförelse har VTI:s referensbitumen tagits med i redovisningen. Resultaten redovisas i tabell 3 och figur 4.

m-värdet beskriver hur fort den uppmätta styvheten sjunker med tiden. Är denna hastighet för låg finns det risk att materialet inte tillräckligt snabbt hinner anpassa sig till den krympning som sker när temperaturen faller och därmed blir spänningarna för stora så att materialet spricker.

Tabell 3 BBR resultat.

Prov			Styvhet, Mpa			
			-25°C	-20°C	-15°C	-10°C
1	AG 22/B180	återvunnet	468	191		
2	Ref B180	före TFOT	452	176		
3	Ref. B180	efter TFOT	484	217		
4	Viacobase	återvunnet		353	160	
5	Ref B85	före TFOT		428	152	
6	Ref. B85	efter TFOT		467	187	
7	Viacobind	återvunnet			388	184
8	Ref B60	före TFOT		630	279	
9	Ref. B60	efter TFOT			332	129
			Styvhetsförändring (m-värde)			
1	AG 22/B180	återvunnet	0,304	0,396		
2	Ref B180	före TFOT	0,338	0,466		
3	Ref. B180	efter TFOT	0,304	0,406		
4	Viacobase	återvunnet		0,331	0,435	
5	Ref B85	före TFOT		0,338	0,442	
6	Ref. B85	efter TFOT		0,303	0,408	
7	Viacobind	återvunnet			0,307	0,371
8	Ref B60	före TFOT		0,275	0,381	
9	Ref. B60	efter TFOT			0,341	0,425



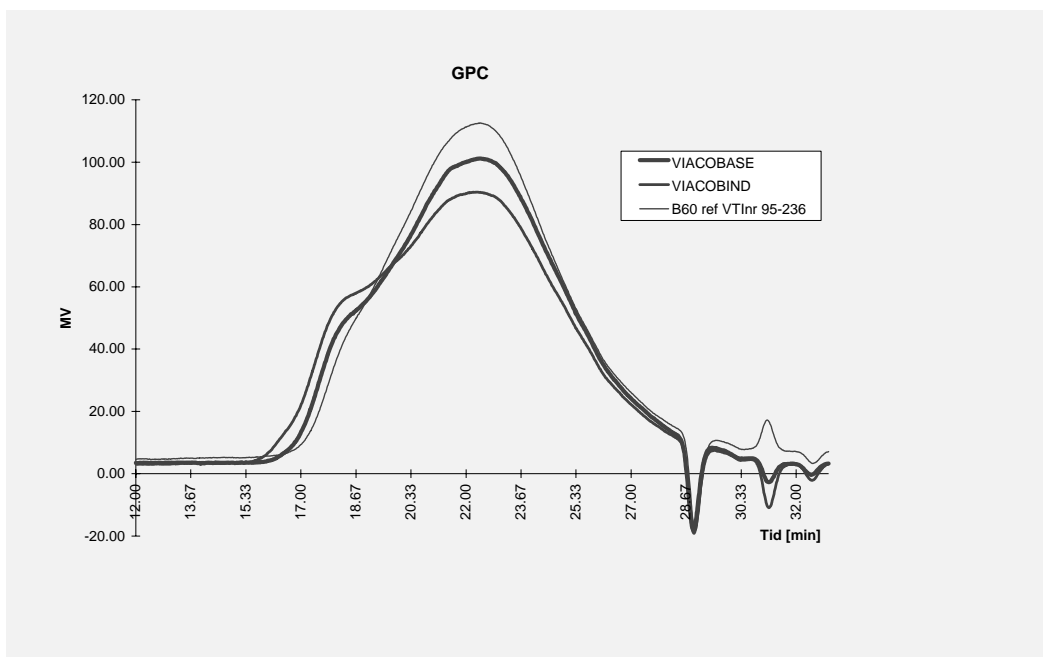
Figur 4 BBR resultat på prover från E6 samt prover från VTI (VTI:s referensbitumen).

Kemisk karakterisering har utförts med hjälp av GPC och Iatrosan.

- **GPC-analys** (Gel Permeation Chromatography) innebär analys av molekylvikt och molekylviktsfördelning hos bitumen. Resultaten redovisas i tabell 4 och figur 3
- **Iatrosan-analys** innebär en selektiv kvantitativ uppdelning av bitumen i asfaltener, hartser, aromatiska oljor och mättade oljor. (Tunnskiktskromatografi i kombination med flamjonisering). Resultaten redovisas i samt tabell 4 och figur 6.

Tabell 4 GPC resultat på återvunnet bitumen.

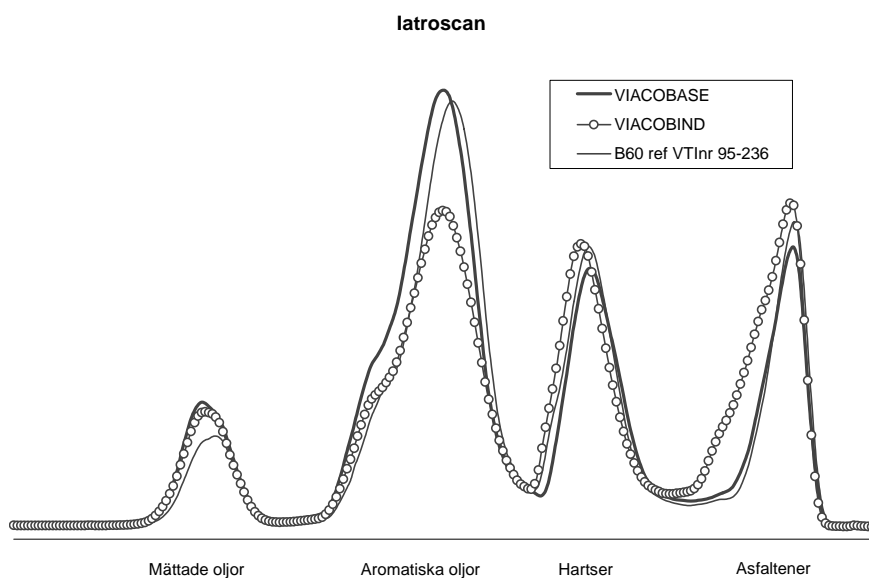
Prov	Mz+1	Mz	Mw	MP	Mn	Polydispersitet
VIACOBIND	30 635	12 383	2 713	912	804	3,374
VIACOBASE	19 605	7 532	2 061	878	763	2,698
Referensbitumen B60 VTInr 95-236	16 309	5 369	1 719	883	754	2,279



Figur 5 Resultat från GPC-analys.

Tabell 5 Iatroskan-resultat på återvunnet bitumen och referensbitumen.

Prov	Halt bitumenkomponenter (%)			
	Mättade oljor	Aromatiska oljor	Hartser	Asfaltener
VIACOBIND	10	40	24	26
VIACOBASE	11	48	22	19
Referensbitumen	10	48	23	18
B60 VTI nr 95-236				



Figur 6 Resultat från Iatroskan-analys.

2.2.1 Beskrivning av kemisk karaktärisering med GPC

Att den kemiska sammansättningen av en substans bestämmer dess fysikaliska/mekaniska egenskaper är allmänt accepterat. De två viktiga kemiska egenskaperna hos en organisk substans är dels dess molekylvikt, dels dess kemiska funktionalitet, dvs. vilka funktionella grupper som finns representerat i molekylen. Många fysikaliska egenskaper hos ett ämne, t.ex. de reologiska egenskaperna, bestäms i stor utsträckning av molekylvikten hos ämnet eller molekylviktsfördelningen om det inte är fråga om bara ett molekyllag utan en blandning. En vanligen förekommande teknik för att bestämma molekylviktsfördelning är GPC – Gel Permeation Chromatography. Metoden betecknas också med SEC – Size-Exclusion Chromatography. Nedan presenteras denna teknik kortfattat tillsammans med en allmän diskussion om molekylviktsfördelningar och hur resultaten från en GPC-analys kan tolkas när bitumen och PmB undersöks.

I GPC får ett upplöst prov av en substans eller en komplex blandning passera genom en gel. På mikroskopisk nivå består gelen av en mängd hålrum av olika storlek. Stora molekyler kan bara komma in i de allra största hålrummen medan små molekyler kan komma in i de flesta av hålrummen. Den tillgängliga volymen lösningsmedel blir därför större ju mindre de lösta molekylerna är. Effekten av att man pumpar igenom en lösning genom gelen blir att de små molekylerna kvarhålls längre i gelstrukturen än de stora molekylerna. De stora molekylerna kommer att passera gelen på kortare tid än de små molekylerna. Man kan alltså med GPC separera en blandning av lösta ämnen efter deras molekylvolym. Vanligen gör man också förenklingen och likställer molekylvolymen med molekylmassan, en approximation som låter sig göras om det aktuella lösningsmedlet är ett lika bra lösningsmedel för alla ämnen i en blandning. Genom att mäta tiden det tar (retentionstiden) för molekyler med kända molekylvikter att passera genom en kolonn kan man erhålla en kalibreringskurva med vars hjälp man kan bestämma molekylvikten för ett okänt ämne, eller molekylviktsfördelningen för en okänd blandning av ämnen.

Ett sätt att karaktärisera en molekylviktsfördelning är att beskriva den så exakt som möjligt, dvs. hur mycket det finns av ämnen med olika specifik molekylvikt. GPC ger under förutsättningarna att förhållandet mellan molekylvolymerna och molekylvikterna är detsamma för alla ämnen i lösningen (se ovan) samt att man har en detektionsmetod efter gelen som ger samma utslag oavsett vilket löst ämne (vid lika koncentration) som passerar detektorn, den exakta molekylviktsfördelningen i lösningen. Det senare kravet är förstås omöjligt att uppfylla fullt ut så de molekylviktsfördelningar man bestämmer med GPC är till viss del beroende av vilken sorts detektor man använder sig av. Vanliga detektorer när det gäller GPC är UV-detektorer och refraktometrar.

Andra sätt att karaktärisera en molekylviktsfördelning är att t.ex. bestämma medelvärdet av molekylvikten. Det finns ett flertal olika sätt att definiera en medelmolekylvikt på. Många andra experimentella metoder än GPC kan också användas för att karaktärisera storleken på molekylerna i en lösning men ger ofta endast en speciell medelmolekylvikt som resultat. Har man hela molekylviktsfördelningen som i fallet med GPC kan man bestämma alla olika typer av medelmolekylvikter. Ett sätt att ange medelmolekylvikten på är att summera vikten av alla lösta molekyler och dividera med antalet lösta molekyler. Man får då antalsmedelvärdet som betecknas med M_n . Om vi t.ex. har två molekyler i lösningen där den ena väger 50 enheter och den andra 100 enheter, så

blir medelmolekylvikten uttryckt som antalsmedelvärde 75 enheter. Ett annat sätt att definiera medelmolekylvikten är att summera produkten av molekylvikten med viktsfraktionen av de lösta ämnena. Man får då viktsmedelvärdet som betecknas med M_w . I exemplet med de två molekylerna ovan blir viktsmedelvärdet:

$$50 \frac{50}{(50+100)} + 100 \frac{100}{(50+100)} \approx 83$$

Explicit uttryckt är antalsmedelvärdet och viktsmedelvärdet:

$$M_n = \sum_i \frac{N_i M_i}{\sum_j N_j} \quad M_w = \sum_i \frac{N_i M_i^2}{\sum_j N_j M_j}$$

Där N_i är antalet i -molekyler i lösningen och M_i är molekylmassan för i -molekylerna.

Enligt samma mönster kan man definiera M_z och M_{z+1} medelvärdena:

$$M_z = \sum_i \frac{N_i M_i^3}{\sum_j N_j M_j^2} \quad M_{z+1} = \sum_i \frac{N_i M_i^4}{\sum_j N_j M_j^3}$$

Med vårt enkla exempel med två molekyler blir $M_z = 90$ respektive $M_{z+1} \approx 94$. Av exemplet framgår att de tunga molekylerna viktas upp i när man går från M_n till M_w till M_z etc. Ett sätt att beskriva spridningen i en molekulviktsfördelning är att ange polydispersiteten, som brukar definieras som M_w/M_n .

Man kan också definiera högre moment av molekulviktsfördelningen (medelmolekylvikter) samt medelmolekylvikter som inte tillhör denna serie. Orsaken till att man rör sig med flera olika definitioner av medelmolekylvikten är att dessa definitioner kommer in naturligt när man studerar olika fysikaliska fenomen. Ett exempel är viskositeten hos polymerlösningar där man kan visa att viskositeten är proportionell mot M_η :

$$M_\eta = \left[\frac{\sum_i N_i M_i^{\gamma+1}}{\sum_j N_j M_j} \right]^{1/\gamma}$$

där γ är ett tal som är specifikt för varje typ av polymer.

Rent generellt brukar följande egenskaper öka med ökad molekulvikt:

- Viskositet
- Styrka
- Mjukningspunkt
- Sprödhet.

Följande egenskaper brukar generellt minska med ökad molekulvikt:

- Utmattningsmotstånd
- Duktilitet.

Mer specifikt är relationerna mellan olika medelmolekylvikter och olika fysikaliska egenskaper följande:

- M_n är relaterat till sprödheten och flödesegenskaperna
- M_w är relaterat till styrkan
- M_z är relaterat till duktiliteten och flexibiliteten
- M_{z+1} är relaterat till svällningsegenskaperna.

För PmB så är det ofta ganska lätt att ur ett GPC-diagram kvantifiera och karaktärisera polymeren. Polymermolekylerna har oftast högre molekylvikt än merparten av de naturliga molekylerna i bitumen och eluerar därför ut i ett relativt tidigt skede i GPC-analysen. GPC kan därför vara ett hjälpmedel vid produktkontroll och studier av nedbrytningsförlopp av PmB.

Sammanfattningsvis kan man säga att GPC är ett effektivt hjälpmedel för att studera bitumen eftersom det är en metod med hög reproducerbarhet och därför att relativt små förändringar i ett GPC-diagram kan indikera stora förändringar i t.ex. reologiska egenskaperna hos ett bindemedel.

Från GPC diagrammet i figur 5 är det uppenbart Viacobind innehåller mer polymerer än Viacobase eftersom ”knölen” på diagrammets vänstra sida, som utgörs av högmolekylära ämnen, är större för Viacobind än för Viacobase. Från storleken av knölen i förhållande till resten av diagrammet kan man göra en grov uppskattning av polymerinnehållet i de två produkterna. Skillnaderna i mängden högmolekylära ämnen i de olika produkterna avspeglar sig också i skillnaderna i medelmolekylvikterna som presenteras i tabell 4. Om de två produkterna i övrigt är lika i sammansättning så tyder skillnaderna i molekylvikter på att Viacobind är den starkaste, hårdaste, produkten som samtidigt är den minst duktila produkten. Detta konfirmeras av resultaten i tabell 7.

2.3 Resultat efter 7 års trafik (2003)

Resultat från utförda bitumenanalyser redovisas i tabell 6. Jämfört med resultaten från 1996 kan man konstatera att ingen nämnvärd åldring skett på bituminet från FAS konceptets bindlager (Viacobind) eller bärlager (Viacobase). Slitlagret i form av Viacotop undersöktes inte 1996. Bindemedlet i referenssträckan var B85 i slitlagret och B180 i AG lagret. Om man förutsätter att det var normala värden för dessa bitumenkvaliteter vid utläggningen (testades inte i detta projekt) så syns en märkbar förändring både på slitlagret och på AG lagret. Detta gäller även Viacotopbeläggningen och får nog anses vara normala förändringar över denna tidsperiod. Slitlagren utsätts betydligt mer för klimatpåverkan än övriga lager som ligger skyddade i konstruktionen.

Tabell 6 Resultat från bindemedelsanalyser på återvunnet bitumen 2003.

Massatyp	Penetration	Mjukpunkt	Brytpunkt	Duktilitet
Referens(Str 12)				
ABS	48	54	-12	>100
AG	60	51	-14	>100
FAS (Str 13)				
Viacotop	54	52	-13	>100
Viacobind	19	66	-7	32
Viacobase	51	53	-13	>100
FAS (Str 14)				
Viacotop	45	54	-12	>100
Viacobind	20	66	-4	31
Viacobase	66	50	-11	>100

Anm. Samtliga resultat är medelvärden från minst två bestämningar.

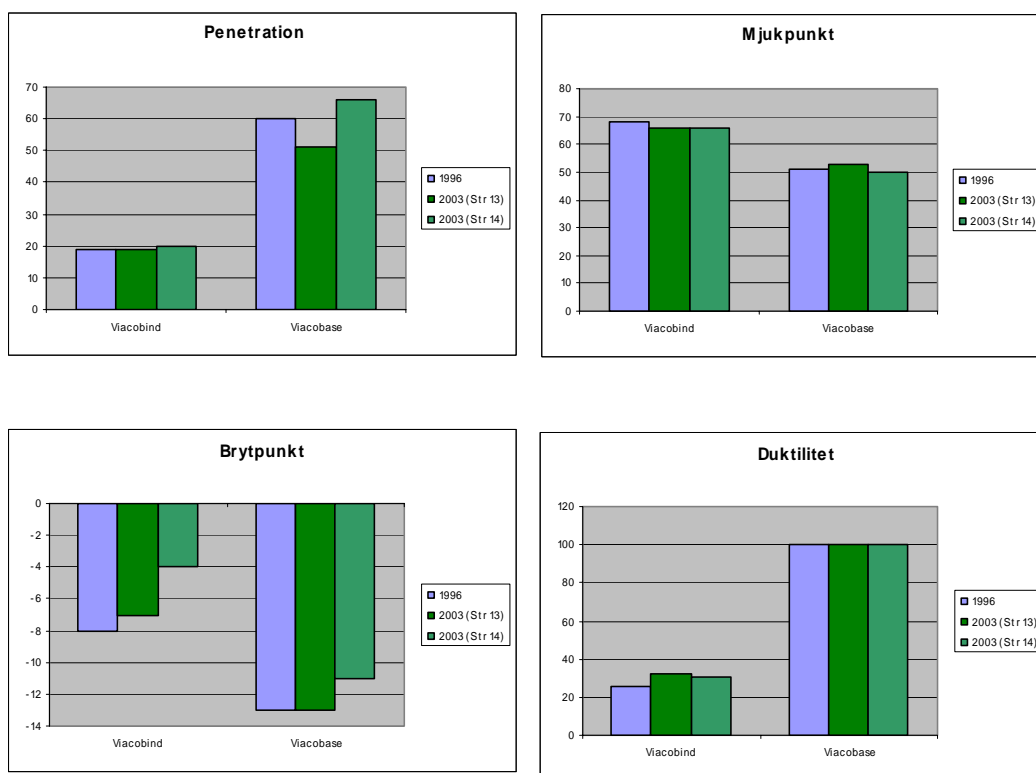
2.4 Slutsatser av bindemedelsanalyserna

Jämförelse mellan återvunnet bitumen från borrkärnor som togs ut direkt efter utläggning och efter 7 års trafik visar att bitumen från referenssträckorna åldrats betydligt medan ingen nämnvärd bitumenåldring skett på bindemedlen från beläggningarna i FAS-konceptet förutom något försämrade lågtemperatur-egenskaper (brytpunkt). Se tabell 7 och figur 7.

Övriga bitumenanalyser, BBR, GPC och Iatrosan, utfördes endast vid det första tillfället direkt efter utläggning 1996.

Tabell 7 Jämförelse mellan resultat från 1996 och 2003 års provning av återvunnet bitumen.

Analys	Utfört	Viacobind	Viacobase
Penetration	1996	19	60
	2003 (Str 13)	19	51
	2003 (Str 14)	20	66
Mjukpunkt	1996	68	51
	2003 (Str 13)	66	53
	2003 (Str 14)	66	50
Duktilitet	1996	26	>100
	2003 (Str 13)	32	>100
	2003 (Str 14)	31	>100
Brytpunkt	1996	-8	-13
	2003 (Str 13)	-7	-13
	2003 (Str 14)	-4	-11



Figur 7 Jämförelse mellan resultat från 1996 och 2003 års provning av återvunnet bitumen.

3 Permeabilitet

Bestämning av vattengenomsläpplighet utfördes med VTI:s permeabilitetsutrustning på borrhärdar upptagna direkt efter utläggning 1996. De belägningstyper som ingår i detta projekt anses normalt vara täta. Det finns dock indikationer på att så inte alltid är fallet. Syftet med undersökningarna är att se om beläggningarna på dessa provsträckor är täta eller om bristande packning och separationer m.m. gör att det finns ytor som är vattengenomsläppliga och i så fall i vilken omfattning de är permeabla. Syftet är också att se om hålrumsinnehåll är ett tillräckligt bra mått på vattengenomsläpplighet. Undersökningarna efter 7 års trafik görs för att se om de ytor som visat sig permeabla vid den första mätningen tätats genom trafikpackning. Provningsarna har utförts både på prover från hjulspår och mellan hjulspår. Beläggningsslag som är vattengenomsläppliga försämrar beständigheten hos hela vägkonstruktionen. Det kan ge stripping i beläggningsslag och deformationer i de obundna lagren pga. ökat vatteninnehåll.

3.1 Beskrivning av utrustningen

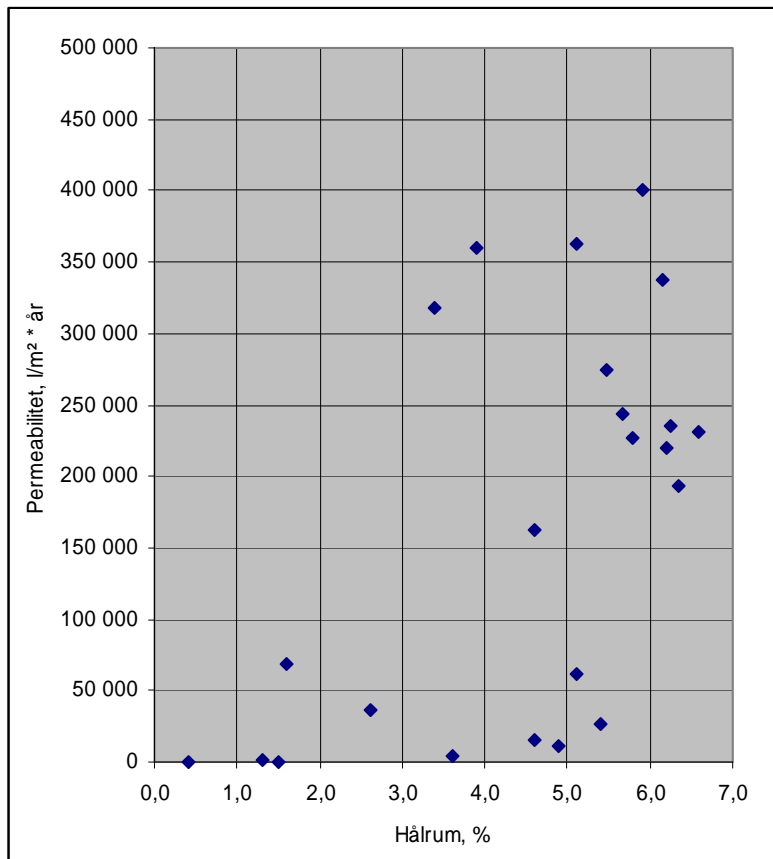
Denna typ av utrustning används normalt för mätningar på jord- och grusmaterial. VTI:s utrustning har dock kompletterats med en bubbelmätare vilket gör det möjligt att mäta lägre flöden som det oftast är fråga om när det gäller asfaltprover. Normalt anges vattengenomsläppligheten (permeabiliteten) i m/s, men i detta notat redovisas även resultaten omräknat till liter per m² och år för att lättare få en uppfattning om vilka flöden som är aktuella genom asfaltlagren.



Figur 8 VTI:s permeabilitetsutrustning.

3.2 Resultat efter utläggning (1996)

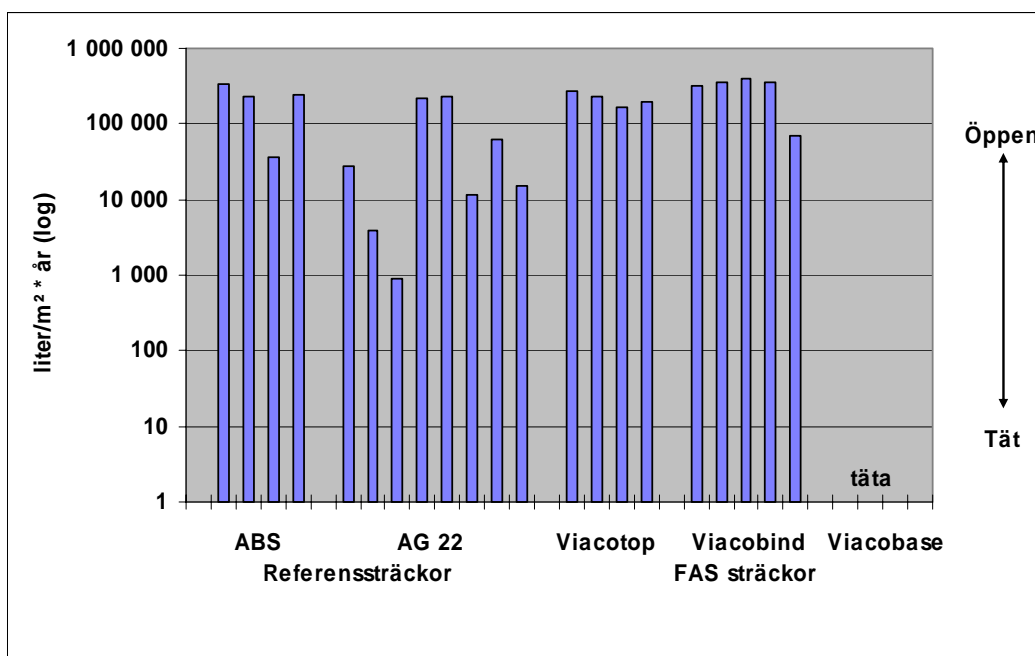
Resultaten visar att samtliga lager utom Viacobasen är mer eller mindre permeabla. Strax efter att beläggningslagren lagts ut uppmärksammades vid regnväder att vatten trängde upp till ytan vid gränsen mellan sträcka 14 (FAS) och 15 (Ref). Dessa sträckor ligger i nedförsbacke och en teori är att vatten trängt ner genom slitlagret (Viacotop) och eventuellt även genom bindlagret (Viacobind) och sedan följt det täta Viacobaselagret tills AG lagret i sträcka 15 tvingat upp det till ytan igen. Mätningarna redovisade i tabell 8 visar att AG lagren endast är marginellt tätare än FAS-konceptets beläggningar men denna skillnad kanske är tillräcklig för att denna effekt skall uppstå. (Vattnet väljer den lättaste vägen att ta sig fram.) Jämförelsen mellan hålrums halt och permeabilitet visar att det tycks finnas en gräns vid ca 3 % hålrums halt, se figur 9. Under denna gräns är alla undersökta prover täta men över denna gräns finns vissa prover som är täta och vissa som är permeabla. Vid prover >5,5 % hålrums halt finns inga täta prover. Förklaringen till det relativt dåliga sambandet är troligen att strukturen och fördelningen av hålrummen har större betydelse för vattengenomsläppligheten än halten hålrums halt.



Figur 9 Permeabilitet som funktion av hålrums halt.

Tabell 8 Resultat av permeabilitetsmätningar för de olika beläggningslagren.

Massatyp	Provsträcka (lager: ö/m/u)	Skrymdensitet (g/cm ³)	Kompakt-densitet (g/cm ³)	Hålrums (%)	Permeabilitet, K ₂₀	
					m/s	l/m ² *år
ABS	6	2,262	2,410	6,1	1,07E-05	337 435
"	6	2,274	2,414	5,8	7,20E-06	227 059
"	12	2,350	2,413	2,6	1,17E-06	36 897
"	12	2,280	2,417	5,7	7,71E-06	243 143
AG	6ö	2,333	2,465	5,4	8,64E-07	27 247
"	6m	2,377	2,465	3,6	1,23E-07	3 879
"	6u	2,384	2,416	1,3	2,77E-08	874
"	10ö	2,317	2,470	6,2	6,99E-06	220 437
"	12ö	2,320	2,484	6,6	7,32E-06	230 844
"	12m	2,343	2,465	4,9	3,68E-07	11 605
"	12u	2,338	2,464	5,1	1,97E-06	62 126
"	15ö	2,344	2,458	4,6	4,83E-07	15 232
Viacotop	13	2,262	2,393	5,5	8,70E-06	274 363
"	13	2,250	2,400	6,3	7,45E-06	234 943
"	14	2,279	2,389	4,6	5,13E-06	161 780
"	14	2,258	2,411	6,3	6,13E-06	193 316
Viacobind	13ö	2,347	2,430	3,4	1,01E-05	318 514
"	13ö	2,341	2,436	3,9	1,14E-05	359 510
"	13ö	2,298	2,443	5,9	1,27E-05	400 507
"	14ö	2,313	2,437	5,1	1,15E-05	362 664
"	14u	2,377	2,416	1,6	2,19E-06	69 064
Viacobase	13ö	2,404	2,440	1,5	1,00E-08	0
"	14u	2,411	2,420	0,4	1,00E-08	0



Figur 10 Permeabiliteten hos de olika beläggningslagren uttryckt i liter/m² och år.

3.3 Resultat efter 7 års trafik (2003)

Vid permeabilitetsmätningarna efter 7 års trafik har samtliga beläggningsslager från 3 olika provsträckor testats. Referenssträckan (Str 12) består av slitlager och AG lager medan de övriga 2 sträckorna (Str 13 och 14) är byggda enligt FAS konceptet (Viacotop, Viacobind och Viacobase).

Tabell 9 Resultat av permeabilitetsmätningar för referenssträcka 12.

Beläggning	Provpunkt hj/m.hj (ö/m/u)*	Permeabilitet, K_{20}		Skrymdensitet	Hållrum
		m/s	liter/m ² *år	g/cm ³	%
ABS	hj	7,89E-09	249	2,340	3,1
"	hj	3,99E-08	1 258	2,361	2,2
"	hj	2,98E-09	94	2,355	2,5
"	m.hj	3,25E-09	102	2,365	2,1
"	m.hj	5,85E-10	18	2,369	1,9
"	m.hj	5,05E-08	1 593	2,294	5,0
AG	hj (ö)	6,93E-08	2 185	2,410	2,5
"	hj (m)	2,88E-08	908	2,395	3,1
"	hj (u)	9,68E-09	305	2,410	2,5
"	m.hj (ö)	8,20E-08	2 586	2,393	3,2
"	m.hj (m)	1,68E-07	5 298	2,373	4,0
"	m.hj (u)	2,26E-07	7 127	2,365	4,3

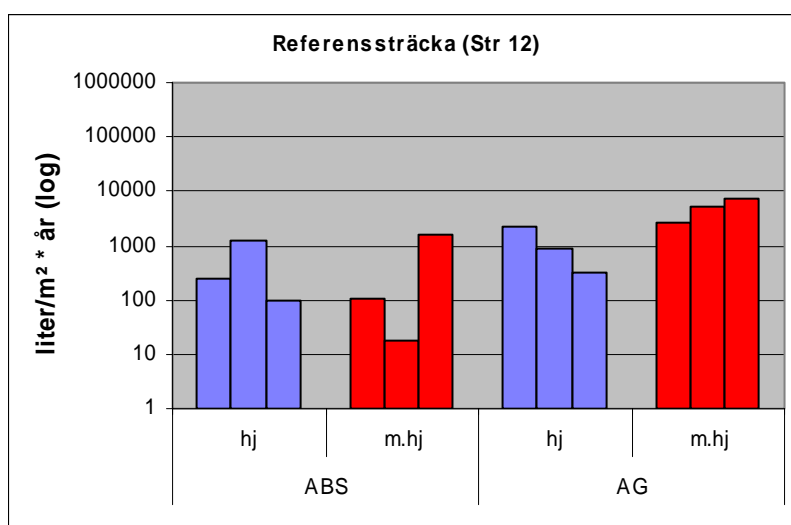
*hj=hjulspår, m.hj=mellan hjulspår, ö/m/u=övre/mitten/undre lager

Tabell 10 Resultat av permeabilitetsmätningar för FAS sträcka 13.

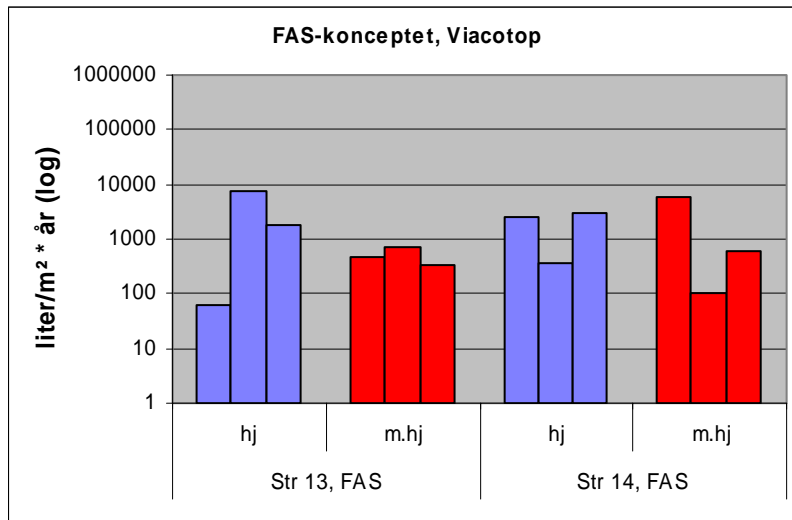
Beläggning	Provpunkt hj/m.hj	Permeabilitet, K_{20}		Skrymdensitet	Hållrum
		m/s	liter/m ² *år	g/cm ³	%
Viacotop	Hj	1,92E-09	61	2,337	2,5
"	Hj	2,31E-07	7 285	2,320	3,2
"	Hj	5,78E-08	1 823	2,324	3,0
"	m.hj	1,51E-08	476	2,320	3,2
"	m.hj	2,34E-08	738	2,331	2,7
"	m.hj	1,06E-08	334	2,333	2,6
Viacobind	Hj	7,59E-10	24	2,353	3,4
"	Hj	3,01E-09	95	2,362	3,1
"	Hj	2,66E-06	83 886	2,295	5,8
"	m.hj	1,50E-06	47 304	2,332	4,3
"	m.hj	2,05E-06	64 649	2,329	4,4
"	m.hj	6,00E-06	189 216	2,304	5,4
Viacobase	Hj	2,32E-11	1	2,314	5,2
"	Hj	2,16E-09	68	2,389	2,1
"	Hj	9,83E-10	31	2,395	1,9
"	m.hj	4,44E-11	1	2,394	1,9
"	m.hj	4,65E-10	15	2,386	2,2
"	m.hj	1,82E-10	6	2,403	1,5

Tabell 11 Resultat av permeabilitetsmätningar för FAS sträcka 14.

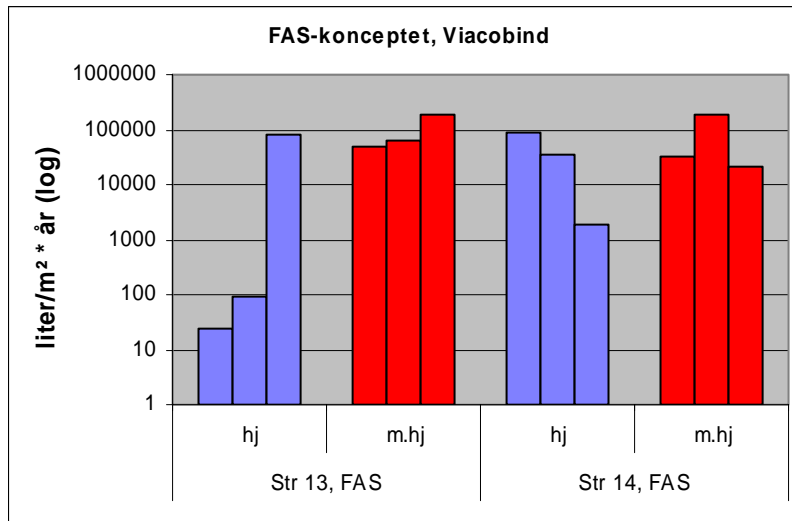
Beläggning	Provpunkt hj/m.hj	Permeabilitet, K_{20}		Skrymdensitet g/cm ³	Hållrum %
		m/s	liter/m ² *år		
Viacotop	Hj	8,34E-08	2 630	2,321	3,3
"	Hj	1,16E-08	366	2,311	3,7
"	Hj	9,61E-08	3 031	2,330	2,9
"	m.hj	1,81E-07	5 708	2,331	2,9
"	m.hj	3,18E-09	100	2,325	3,1
"	m.hj	1,95E-08	615	2,328	3,0
Viacobind	Hj	2,74E-06	86 409	2,334	3,8
"	Hj	1,14E-06	35 951	2,357	2,9
"	Hj	6,14E-08	1936	2,372	2,3
"	m.hj	1,04E-06	32 797	2,321	4,4
"	m.hj	5,96E-06	187 955	2,323	4,3
"	m.hj	6,60E-07	20 814	2,353	3,0
Viacobase	Hj	1,44E-08	454	2,418	0,1
"	Hj	2,65E-10	8	2,437	-0,7
"	Hj	1,75E-08	552	2,413	0,3
"	m.hj	5,32E-08	1 678	2,405	0,6
"	m.hj	4,15E-11	1	2,410	0,4
"	m.hj	4,60E-10	15	2,403	0,7



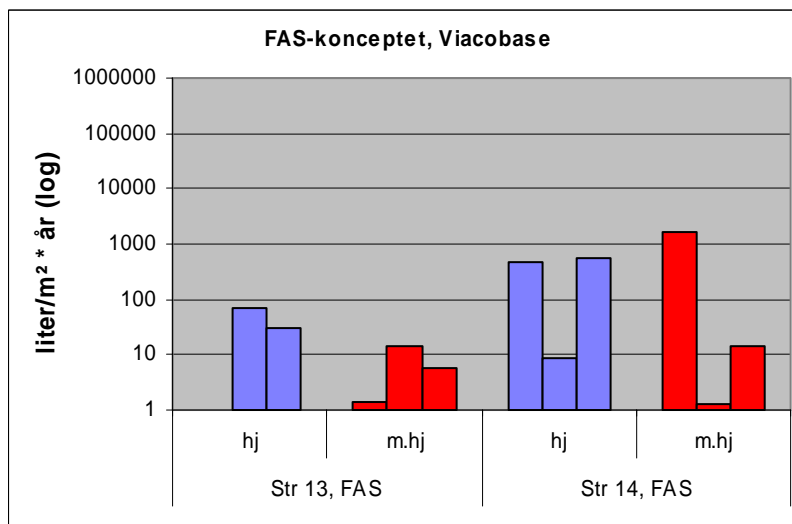
Figur 11 Permeabiliteten hos de olika beläggningslagren på referenssträcka 12 uttryckt i liter/m² * år.



a/



b/



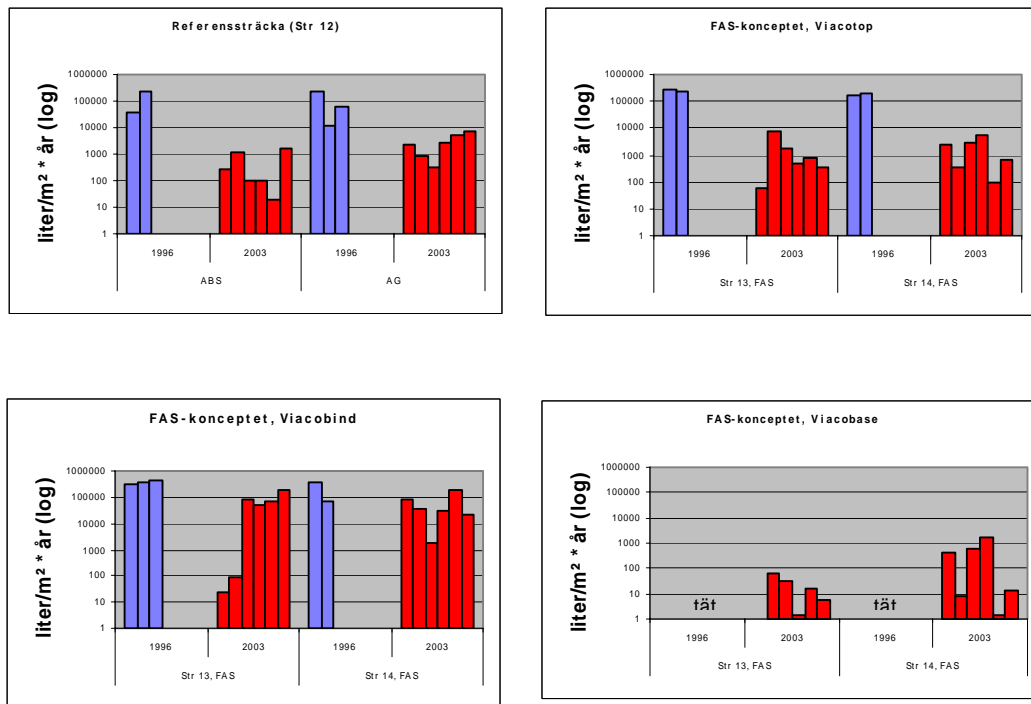
c/

Figur 12 a-c. Permeabiliteten hos de olika beläggningslagren på FAS-sträckorna uttryckt i liter/m² * år.

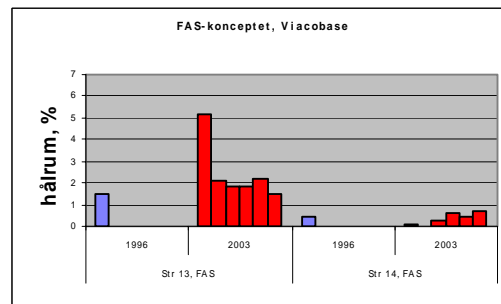
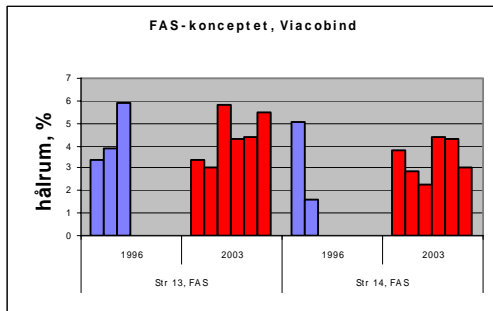
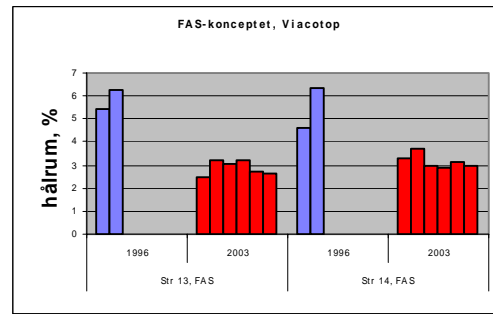
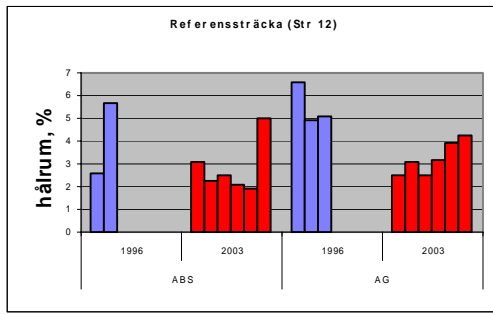
3.4 Slutsatser av permeabilitetsundersökningarna

Generellt sett har samtliga prover blivit mindre permeabla över tiden, vilket också är rimligt med tanke på den efterpackning och knådning som beläggningarna utsätts för av trafiken. Först när beläggningarna åldrats eller utmattats så att sprickor börjar uppträda kan man förvänta sig att permeabiliteten kan öka igen. Detta stadium nås förhoppningsvis aldrig vid ett normalt vägunderhåll på den här typen av väg.

Vid utläggningen 1996 var det beläggningarna i FAS-konceptet som var mer permeabla än de konventionella AG-lagren. Vid den förnyade permeabilitetsundersökningen 2003 efter 7 års trafik har FAS-konceptets beläggningar närmast sig AG-lagrens permeabilitet, men fortfarande finns enstaka punkter som har högre permeabilitet. Det syns dock ingen tydlig skillnad på prover från hjulspår respektive mellan hjulspår. Att Viacobasen har högre permeabilitet 2003 än 1996 kan förklaras av att vi har bättre mätutrustning 2003 för att mäta vid mycket låga permeabiliteter.



Figur 13 Jämförelse av permeabiliteten hos de olika beläggningsslagen på FAS-sträckorna och referenssträcka 12 mellan åren 1996 och 2003, uttryckt i liter/m² * år.



Figur 14 Jämförelse av permeabiliteten hos de olika beläggningsslagen på FAS-sträckorna och referenssträcka 12 mellan åren 1996 och 2003, uttryckt i hålrum.

4 Referenser

- Viman, Leif & Eriksson, Lars: **Prov med olika överbyggnadstyper: observationssträckor på E6, Fastarp–Heberg. Del 2: Laboratorieprovningar av bitumenbundna lager.** VTI notat 56:2-1996. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping. 1997.
- Wiman, Leif G (Red): **Prov med olika överbyggnadstyper: Observationssträckor på E6, Fastarp–Heberg. Del 1: byggnadsrapport.** VTI notat 56:1-1996. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping. 1997.
- Wiman, Leif G (Red): **Prov med olika överbyggnadstyper: Observationssträckor på väg E6, Fastarp–Heberg. Lägesrapport hösten 1997.** VTI notat 27-1998. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping. 1998.
- Wiman, Leif G (Red): **Prov med olika överbyggnadstyper: Observationssträckor på väg E6, Fastarp–Heberg. Lägesrapport hösten 1998.** VTI notat 29-1999. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping. 1999.
- Wiman, Leif G (Red): **Prov med olika överbyggnadstyper: Observationssträckor på väg E6, Fastarp–Heberg. Lägesrapport hösten 2000.** VTI notat 26-2001. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping. 2001.

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-transportssystem 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, däckprovsningsanläggning, 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.

vti

HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE

LINKÖPING

POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING

TEL +46 (0)13 20 40 00

www.vti.se

BORLÄNGE

POST/MAIL BOX 760

SE-781 27 BORLÄNGE

TEL +46 (0)243 446 860

STOCKHOLM

POST/MAIL BOX 6056

SE-171 06 SOLNA

TEL +46 (0)8 555 77 020

GÖTEBORG

POST/MAIL BOX 8077

SE-402 78 GÖTEBORG

TEL +46 (0)31 750 26 00