
NCC Roads Sverige

FoU Asfalt

MJUK ASFALT TILLVERKNINGSTEMPERATURENS INVERKAN PÅ KVALITETEN



Jonas Ekblad, Robert Lundström
Bo Ericson, Nils Ulmgren

Rapport 2007-05
(SBUF-projekt 11846)

Distribution: FRI

FÖRORD

Föreliggande rapport utgör en avrapporterig av ett projekt finansierat av SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond) – Mjuk asfalt – Tillverkningstemperaturens inverkan på kvaliteten. Försök och uppföljning har genomförts av NCC Roads Öst med hjälp av KTH beträffande ett antal laboratorieanalyser.

Projektledare är Nils Ulmgren, NCC Roads AB och ansvarig för projektets genomförande Robert Lundström, NCC Roads AB. I projektets arbets- och referensgrupper har dessutom ingått Mats Wendel, Vägverket Borlänge, Bo Simonsson, Vägverket Region Väst, Jonas Ekblad, KTH Vägteknik (nu NCC Roads AB), Bo Ericson, NCC Roads AB samt Erik Zandén, Skanska Teknik - Väg & asfalt.

Stockholm i oktober 2007

Nils Ulmgren

Sammanfattning

Mjukbitumen har sedan början av 1980-talet använts i Sverige som bindemedel i en stor del av det belagda vägnätet. Det råder dock ingen enighet över landet vad gäller tillverkningsbetingelser och i synnerhet maximalt tillåten blandningstemperatur. Detta projekt syftar till att undersöka tillverkningsprocessens, med tyngdpunkt på temperatur, inverkan på beläggningsens funktionella egenskaper bl.a. beständighet och spårbildning.

Studien har omfattat två delar: ett inledande objekt år 2006 samt huvudobjektet år 2007. Massa (MJOG 16, V6000), med inblandning av 20 % asfaltgranulat, tillverkades vid tre olika temperaturer: 80 °C i ångturboverk, 100 °C respektive 120 °C i traditionellt fast verk. Eventuell inverkan av tillverkningsstemperatur på beläggningsens flexibilitet har bedömts, med hänsyn tagen till asfaltgranulatets bindemedel, genom att skatta mjukbitumenets förhårdning mätt som dynamisk viskositet vid 60 °C före respektive efter tillverkning. Även uppföljande mätningar avseende ytans textur (sand-patch-metoden) har inletts.

Resultat erhållna från denna undersökning indikerar ingen ökad förhårdning av mjukbitumen i massa tillverkad i traditionellt fast verk vid temperaturer upp till 120 °C jämfört med massa från blandning vid 80 °C i ångturboverk.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	4
1.1	SYFTE.....	5
1.2	PROJEKTBEKRIVNING	5
1.3	PROVNING.....	6
2	FÄLTFÖRSÖK-OBJEKTSBESKRIVNING	6
2.1	2006: VÄG 694 IRSTA-BADELUNDA OCH 792 FINNHYTAN-STÄLLBERG.....	6
2.2	2007: VÄG 752 TJUSEBOTORP-FAGERMON	7
3	UTLÄGGNING OCH PROVNING	9
3.1	MJUKBITUMENETS FÖRHÄRDNING	9
3.2	2006: 694 IRSTA-BADELUNDA OCH 792 FINNHYTAN-STÄLLBERG	10
3.3	2007: 752 TJUSEBOTORP-FAGERMON	13
3.4	FÖRHÄRDNINGSAKTORER: KÄNSLIGHET OCH SAMMANFATTNING 2006 OCH 2007	16
4	BILDER	18
4.1	FÄLTFÖRSÖK 2006.....	18
4.2	FÄLTFÖRSÖK 2007.....	19
5	DISKUSSION OCH SLUTSATSER.....	20
	REFERENSER.....	22

1 INLEDNING

Mjukbitumen har använts som bindemedel sedan början av 1980-talet (Isacsson, 1990). Vägverket har en inriktning som säger att andelen halvvarma massor skall öka på det lägre trafikerade vägnätet. Enligt Vägverkets övergripande norm ATB Väg skall halvvarmt blandad asfaltmassa, bl.a. MJOG (mjukbitumenbundet grus med oljegrusgradering), utföras i sats- eller trumblandningsverk eller i blandningsverk med uppvärmning av stenmaterial. Till dessa krav återfinns även följande rekommendation:

Vid tillverkning av halvvarma massor med kinematisk viskositet $\leq 12\ 000\ \text{mm}^2/\text{s}$ bör tillverkningsstemperaturen inte överstiga $100\ ^\circ\text{C}$

Beläggningar av typen MJOG har dock under de senaste åren varit föremål för diskussioner mellan vissa Vägverksregioner och entreprenörer eftersom kvaliteten på utförda beläggningar, från beställarens sida, upplevts som mycket varierande. Av den anledningen har olika typer av åtgärder vidtagits från beställarhåll för att erhålla jämnare kvalitet hos MJOG-beläggningar. Synen på kvaliteten och åtgärder skiljer sig dock mycket åt mellan Vägverkets olika regioner, eventuellt för att få, eller rent av inga vetenskapliga undersökningar, eller erfarenheter av MJOG-tillverkning, finns dokumenterade. Även om vissa Vägverksregioner följer regelverket i ATB VÄG, bl.a. region Öst och Norr, har andra regioner infört restriktioner avseende förutsättningarna för tillverkningen. Exempelvis föreskriver Vägverket region Väst och Vägverket region Mitt, i lokal teknisk beskrivning, att maximal tillverkningsstemperatur reduceras till $90\ ^\circ\text{C}$ (VVÄ 2006, VM 2006). Ett annat exempel är Vägverket region Mälardalen som i lokal teknisk beskrivning (VMN, 2007) föreskriver att tillverkning av halvvarma massor enbart tillåts ske i ångturboverk vid temperaturer understigande $90\ ^\circ\text{C}$. Syftet med temperatursänkningen, från 100 till $90\ ^\circ\text{C}$, bedöms vara att man från beställarhåll misstänkt att upplevda variationer berott på slarv med alltför höga tillverkningsstemperaturer. Huruvida detta verkligen orsakat upplevda variationer är dock svårt att verifiera eftersom få utredningar rörande MJOG-tillverkning finns publicerade. Som jämförelse kan även nämnas att Statens Vegvesen i Norge föreskriver temperaturintervallet $100\ ^\circ\text{C}$ till $120\ ^\circ\text{C}$ för V6000 (Asfalt 2005 - materialer og utførelse, 2005).

Inom Vägverket region Väst har man på senare tid delvis börjat att upphandla halvvarma beläggningar med funktionskrav (VVÄ, 2007). En väsentlig fördel med funktionskrav, jämfört med föreskrivna produktionsrestriktioner, är att de främjar både utveckling, av produktionsmetoder och material, och konkurrens mellan entreprenörer och leverantörer. I funktionsbeskrivningen anger Vägverket region Väst en kravnivå för mjukbitumenets förstuvning under produktion. I detta fall tillåts viskositeten hos det återvunna bitumenet maximalt att ha fördubblas jämfört med ursprungligt bitumen. Funktionskraven är dock än så länge nya varför viss osäkerhet föreligger vad gäller tillämpbarhet och nivåer. Detta projekt avser därför att undersöka betydelsen av produktionsmetod, traditionellt fast verk jämfört med ångturboverk, på MJOG-beläggningens egenskaper.

1.1 SYFTE

Syftet med denna undersökning är att utvärdera funktionella egenskaper hos MJOG-beläggning tillverkad i traditionellt asfaltverk och i s.k. ångturboverk vid olika temperaturer. Detta kommer att ske i form av produktions- och kvalitetskontroll enligt ATB VÄG (2005) samt i form av s.k. funktionella egenskaper uppmätta i laboratorium och i fält i enlighet med Vägverket region Västs funktionsbeskrivning. Ett annat viktigt syfte med detta forskningsprojekt är att i förlängningen kunna utvärdera vilka kravnivåer som kan vara lämpliga samt hur eventuella avvikelser bör regleras, antingen genom ekonomisk kompensation eller i form av ny åtgärd.

1.2 PROJEKTBESKRIVNING

Provningsen kommer, förutom tillämpliga delar av produktions- och kvalitetskontrollen enligt ATB VÄG (2005), att omfatta följande (funktions)egenskaper:

- Flexibilitet
- Beständighet/vidhäftning
- Spårbildning

En utmärkande egenskap för MJOG-beläggningar är att flexibiliteten är god. En viktig indikator för den funktionella prestandan, avseende flexibilitet, hos MJOG är hur mjukbitumenet påverkas under massatillverkningen. Åldring orsakas av fysikaliska/kemiska förändringar av bindemedlet, huvudsakligen genom att flyktiga komponenter dunstar och att bindemedlet oxideras. Denna åldring innebär i regel att bindemedlet förhårdnar. Den uppvärmning som sker i verket kan, om den är alltför hög, påverka flexibiliteten negativt, framförallt genom ökad risk för sprickbildning. För att undersöka de två tillverkningsmetodernas inverkan på åldringen kommer förändringen av använt viskositetsbitumen att följas under tillverkning, utförande och garantitid. För detta ändamål kommer bindemedlets dynamiska viskositet vid 60 °C att bestämmas vid tre tillfällen: på jungfruligt bitumen, återvunnet bitumen från vägyta direkt efter utförandet och vid garantitidens slut (efter fem år).

Ytterligare en möjlig konsekvens av alltför åldrat bindemedel är beständighetsproblem som oacceptabelt bruks- och stensläpp. För att undersöka skillnader mellan ångturbotillverkade massor och massor tillverkade i traditionellt verk kommer bruks- och stensläpp mätas genom texturförändring enligt sand patch-metoden (SS EN 13036-1). Mätningar kommer att genomföras efter beläggning och vid garantitidens slut (efter fem år).

För att undersöka eventuella skillnader i spårbildning mellan beläggningar med massa tillverkad enligt de olika tillverkningsmetoderna, kommer denna parameter hos aktuella objekt att utvärderas. Detta görs under garantitiden genom mätning med vägytemätbil.

1.3 *PROVNING*

I det nuvarande skedet har huvudsakligen följande mätningar av massa, bindemedel och vägyta utförts:

- Bindemedelshalt FAS 480-02
- Kornstorleksfördelning SS-EN 12697-2
- Dynamisk viskositet vid 60 °C hos återvunnet och jungfruligt bitumen SS-EN 12596
- Textur enl. sand-patch SS-EN 13036-1

Bindemedel återvanns från massa som uttagits under produktion, enligt SS-EN 12697-3-återvinning med rotationsindunstare. Då denna metod eventuellt påverkar mjukbitumen genomfördes återvinningen försiktigt, dvs. tider och temperaturer hölls så korta och låga som praktiskt möjligt, och likartat för alla prover.

Mätningar av bindemedelsegenskaper har utförts vid Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) vid avdelningen för vägteknik. Övriga mätningar har utförts av NCC Roads.

Under tillverkning och utläggning i respektive verk bedömdes de olika massornas utseende, konsistens och uppträdande vid läggning. Vid tillverkningen mättes även massans temperatur.

2 **FÄLTFÖRSÖK-OBJEKTSBESKRIVNING**

Undersökningen har omfattat två olika objekt: en inledande studie 2006 samt den mer omfattande huvudstudien 2007.

2.1 *2006: VÄG 694 IRSTA-BADELUNDA OCH 792 FINNHYTAN-STÄLLBERG*

Inledande fältförsök påbörjades 2006. Det aktuella projektet omfattade i huvudsak tre delsträckor mellan Irsta och Badelunda utförda med massa tillverkad i fast asfaltverk vid olika temperaturer (100 °C och 120 °C). Dessa sträckor jämfördes med väg 792 Finnhyttan-Ställberg som belades med massa tillverkad i ångturboverk (80 °C). Väg 694 ligger strax öster om Västerås och väg 792 norr om Kopparberg (se figur 1).



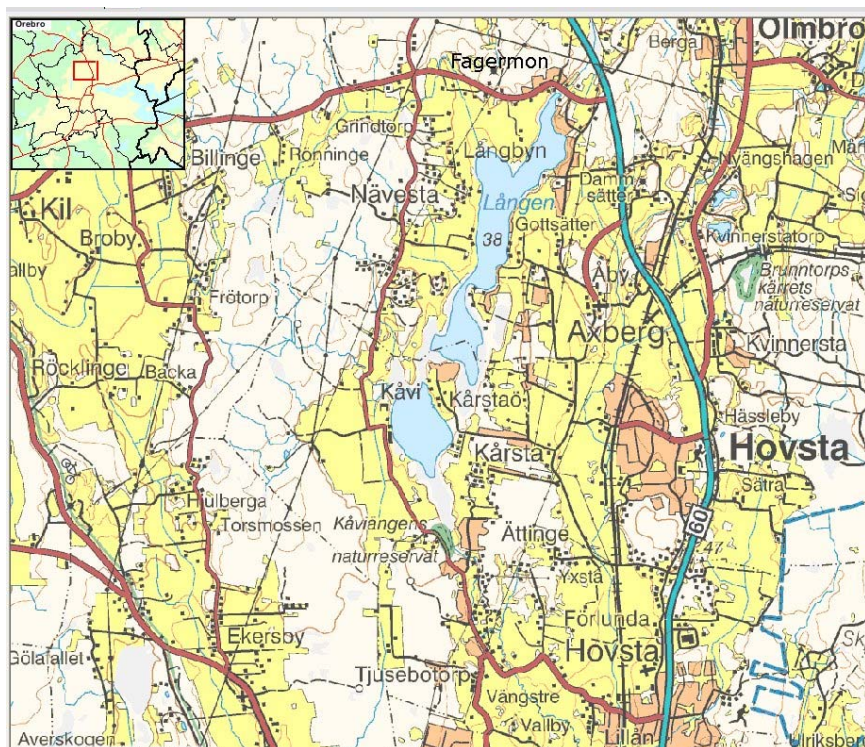
Figur 1. 694 Irsta-Badelunda och 792 Finnhyttan-Ställberg

Massatypen var MJOG 16 och nominell bindemedelshalt 4,2 vikt-% V6000 med tillsats av vidhäftningsmedel. Andelen granulat var 20 vikt-%.

På östra sidan längs väg 694 finns de olika provsträckorna utmärkta med skyltar.

2.2 2007: VÄG 752 TJUSEBOTORP-FAGERMON

Huvuddelen av studien omfattade beläggning och mätningar av väg 752 mellan Tjusebotorp och Fagermon strax norr om Örebro (se figur 2). Massatypen var MJOG 16 med V6000 som bindemedel. Arbetsreceptets bindemedelshalt var 4,4 vikt-% med tillsats av 1,2 vikt-% av bindemedelsmängden vidhäftningsmedel Diamin OLBS. Andelen granulat var 20 vikt-%.

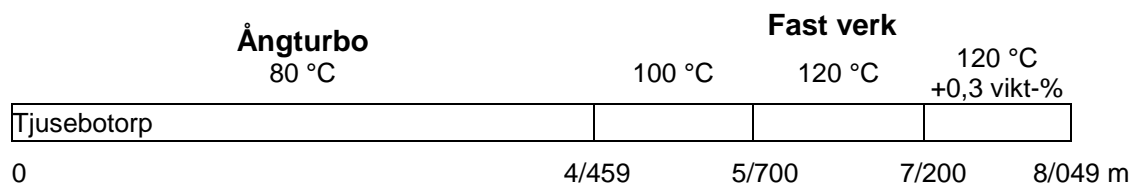


Figur 2. 752 Tjusebotorp-Fagermon.

Sträckans indelning i provsträckor redovisas schematiskt i figur 3. Vägen delades in i fyra delar efter tillverkningsprocess:

- 80 °C i ångturbo
- 100 °C i fast verk
- 120 °C i fast verk
- 120 °C i fast verk med förhöjd bindemedelshalt 0,3 vikt-%.

Ungefär hälften av sträckan, ca 4,5 km, belades med massa tillverkad i ångturboverket vid 80 °C medan resterande del delades i tre delar för beläggning med massa tillverkad i fast verk. Utläggning av provsträckorna skedde i månadsskiftet maj/juni 2007. Använd massamängd motsvarar 110 kg/m² (ca 45 mm tjocklek).



Figur 3. Identifiering och fördelning av provsträckor för 752 Tjusebotorp-Fagermon.

Under produktion mättes massans temperatur som också uttogs för kontroll. I tabell 1 redovisas mätningar gjorda i samband med produktion.

Tabell 1. Produktionsmätningar för de olika tillverkningsbetingelserna (provsträckorna). Angivna värden är medelvärden och standardavvikelse inom parentes

Provsträcka	Tillverkningstemp. [°C]	Fuktkvot stenmaterial [vikt-%]
Ångturbo	78 (2)	2,1 (0,2)
100 °C	102 (7)	0,2 (0,1)
120 °C	120 (3)	0,1 (0,0)
120 °C + 0,3 %	119 (1)	0,1 (0,1)

Enligt produktions- och kvalitetskontroll visade stenmaterialets kornstorleksfördelning måttlig variation med endast smärre avvikelser från recept dock inom normala toleranser. Bindemedelshalten låg för samtliga prover 0,1 till 0,3 % över arbetsreceptet.

3 UTLÄGGNING OCH PROVNING

3.1 MJUKBITUMENETS FÖRHÅRDNING

En stor del av den synbarliga förhårdningen av det återvunna bindemedlet, jämfört med jungfruligt mjukbitumen, beror på det hårda bindemedlet i det tillsatta granulatet. Vid extraktion och återvinning av bindemedel från asfaltmassa erhålls ett genomsnittligt bindemedel. För att uppskatta inverkan av blandningsprocessen på det nytillsatta mjukbitumenet beräknades åldringseffekten enligt två olika modeller. För båda modellerna antas det att granulatets bindemedel inte påverkas av blandning vid dessa temperaturer. Detta antagande anses rimligt då granulatets bindemedel i regel är tämligen förhårdnat.

Den första modellen beskrivs av:

$$\eta_{\text{efter}} = \eta_{V6000} f_1 f_2 \quad 1$$

där η_{efter} är det återvunna bindemedlets viskositet, η_{V6000} det jungfruliga mjukbitumenets viskositet, f_1 beskriver blandningseffekten och slutligen förhårdningsfaktorn f_2 som beskriver åldringseffekten. Faktorn för blandningseffekten, f_1 , ges av:

$$f_1 = \frac{\eta_{\text{blandning}}}{\eta_{V6000}} \quad 2$$

där $\eta_{\text{Blandning}}$ är den viskositet man skulle erhålla om granulatets bindemedel och tillsatt mjukbitumen blandades utan åldring. Denna blandnings viskositet kan bestämmas med Grunberg-Nissans (1949) blandningsekvation:

$$\ln(\eta_{\text{Blandning}}) = x \ln(\eta_{\text{Granulat}}) + (1 - x) \ln(\eta_{V6000}) \quad 3$$

där x är andelen bindemedel från granulatet och $\eta_{Granulat}$ dess viskositet.

Den andra modellen baseras på Grunberg-Nissans ekvation (3). Den grundläggande iden är att skatta viskositeten hos V6000 efter verksblandning när vi känner granulatets viskositet, det återvunna bindemedlets viskositet samt andel tillsatt mjukbitumen.

$$\ln(\eta_{V6000\text{-efter}}) = \frac{\ln(\eta_{\text{efter}}) - x \ln(\eta_{\text{Granulat}})}{1 - x} \quad 4$$

där $\eta_{V6000\text{-efter}}$ är mjukbitumenets viskositet efter verksblandning. Förhårdningen av mjukbitumenet indikeras av förhådningsfaktorn, f_3 enligt:

$$f_3 = \frac{\eta_{V6000\text{-efter}}}{\eta_{V6000}} \quad 5$$

Följande beräkningsexempel ges för massa tillverkad vid 100 °C, 2007. Indata till modellerna är viskositeter hos mjukbitumen, granulatets bindemedel och bindemedel återvunnet från den färdiga massan. Dessutom känner vi relativa andelar mjukbitumen och granulatbindemedel.

För den första modellen (ekvation 1) beräknas en fiktiv blandningsviskositet dvs. den viskositet vi skulle få om vi bara blandade mjukbitumen och granulat: mjukbitumenets viskositet = 3,8 Pas och granulatets = 1060 Pas och ung. 80 % mjukbitumen ger blandningsviskositeten = 11,0 Pas. Från tabell 4 kan vi utläsa att bindemedlet i den färdiga massan har viskositeten 18,2 Pas. Förhådningsfaktorn, f_2 , skall alltså förklara skillnaden mellan 11,0 och 18,2 Pas.

Den andra modellen bygger på att beräkna en fiktiv viskositet hos mjukbitumenet efter blandning: vi känner granulatets viskositet = 1060 Pas och dess relativa andel (ung. 20 %) och vi vet den färdiga massans viskositet = 18,2 Pas. Då kan vi med hjälp av ekvation 4 beräkna vilken viskositet mjukbitumenet måste ha för att tillsammans med granulatets bindemedel få den färdiga massans viskositet. I detta fall blir den 7,0 Pas vilket skall jämföras med mjukbitumenets ursprungliga viskositet (3,8 Pas).

3.2 2006: 694 IRSTA-BADELUNDA OCH 792 FINNHYTTAN-STÄLLBERG

Tillverkningen av massa (MJOG 16, V6000) i fast asfaltverk skedde under juli månad 2006 vid verket i Vändle utanför Västerås. Massor till väg 694 tillverkades vid två olika temperaturer, 100 respektive 120 °C, med inblandning av 20 procent granulat. Även en massa med förhöjd bindemedelshalt (+ 0,3 %) producerades. Motsvarande tillverkning i ångturboverk för väg 792 utfördes vid 80 °C. Doseringen av granulat sker manuellt vid tillverkning i ångturboverk, vilket möjligen kan ge upphov till större spridning jämfört med fast verk.

Vid det fasta asfaltverket uppmärksammades inga nämnvärda problem vad gäller tillverkningen vid någon av temperaturerna. Väderleken bedömdes som gynnsam med sol och torr luft, vilket reducerade risken för potentiella fuktproblem som kan uppstå i bl.a. filter vid relativt låga tillverkningstemperaturer. Massan upplevdes av personalen som en normal homogen varmmassa. Till skillnad från massan som tillverkades i ångturboverk, bedömdes antalet otäckta stenar som mycket få. Jämfört med den massa som tillverkades i ångturboverket så uppfattades massorna från det fasta verket som mer instabila/lättflytande både vid utläggning och packning; massor tillverkade i ångturbo "sätter sig" snabbare, möjligen som en följd av bindemedelsfasens högre viskositet i kombination med vattnets/ångans inverkan. Den relativt låga viskositeten innebar även att det tog längre tid att producera en slät beläggningssyta. Massorna från det fasta verket bedömdes resultera i större separationsbenägenhet samt sämre på att enkelt ta upp större ojämnheter. Båda dessa till synes negativa egenskaper är sannolikt en följd av den högre tillverkningstemperaturen och därmed lägre viskositet hos bindemedlet vilket påverkar massans flytegenskaper. Slutresultatet anses dock mycket bra och inga anmärkningar gjordes vid besiktning. Av massor tillverkade i fast verk var utläggningssmässigt sett massan som innehöll 0,3 % mer bitumen och som var tillverkad vid 120 °C, enklast att hantera. Denna massa uppfattades som något fetare vid utläggningen, ungefär som en konventionell varmmassa. Massa tillverkad i ångturbo upplevdes som "grådaskig och luktar unket".

Jungfruligt bitumen bestämdes enligt ATB Väg (2005) vilket redovisas i tabell 2.

Tabell 2. Provning av jungfruligt V6000 enligt ATB Väg 2005

Egenskap/Provning	Resultat	Specifikation	Enhet	Testmetod
Kinematisk viskositet vid 60 °C	5736	4000-8000	mm ² /s	SS-EN 12595
Viktförändring, TFOT 120 °C, max ±	-0,07	1,4	%	SS-EN 12607-2
Viskositetsknot: efter/före TFOT vid 60 °C, max	1,1 (6415 mm ² /s)	2,5		SS-EN 12595

Jungfruligt mjukbitumen V6000 uppfyller krav enligt ATB Väg för mätta parametrar. Till skillnad från specifikationen i ATB Väg, som använder kinematisk viskositet, har återvunnet bitumen i detta projekt analyserats m.a.p. dynamisk viskositet. Omräkning mellan dynamisk och kinematisk viskositet kan göras med ekvation 6 (se avsnitt 3.3). Om man antar att bitumens densitet är 1000 kg/m³ blir den dynamiska viskositeten kinematisk viskositet delat med 1000, eller omvänt, kinematisk viskositet är ca 1000 gånger dynamisk viskositet.

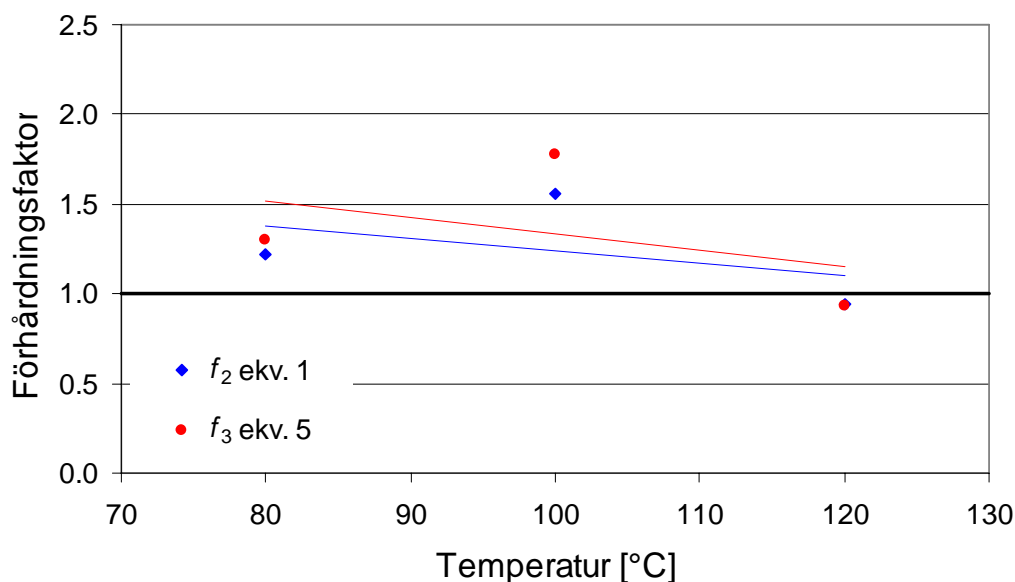
Mätningar av dynamisk viskositet vid 60 °C för jungfruligt mjukbitumen och återvunnet bindemedel, sammanfattas i tabell 3. Från tillverkning i ångturbo och fast verk vid 100 °C togs två massaprover för återvinning och bindemedelsanalys, för övriga

bindemedel analyserades ett prov. Det jungfruliga bindemedlet uttogs för analys under beläggning av sträckan Irsta-Badelunda. Nynäs leveransprover visar måttliga fluktuationer under perioden för läggning av sträckan Finnhyttan-Ställberg varför mjukbitumenets viskositet antas vara densamma.

Tabell 3. Dynamisk viskositet för de olika tillverkningsmetoderna.

Tillverkningstemperatur	Dynamisk viskositet 60 °C [Pas]		
	Provning 1	Provning 2	medel
Jungfruligt V6000	5,75		
Fast verk, 100°C	32,0	27,0	30
Fast verk, 120°C, +0,3 % bindemedel	15,9		
Ångturbo, 80 °C	21,8	28,4	25

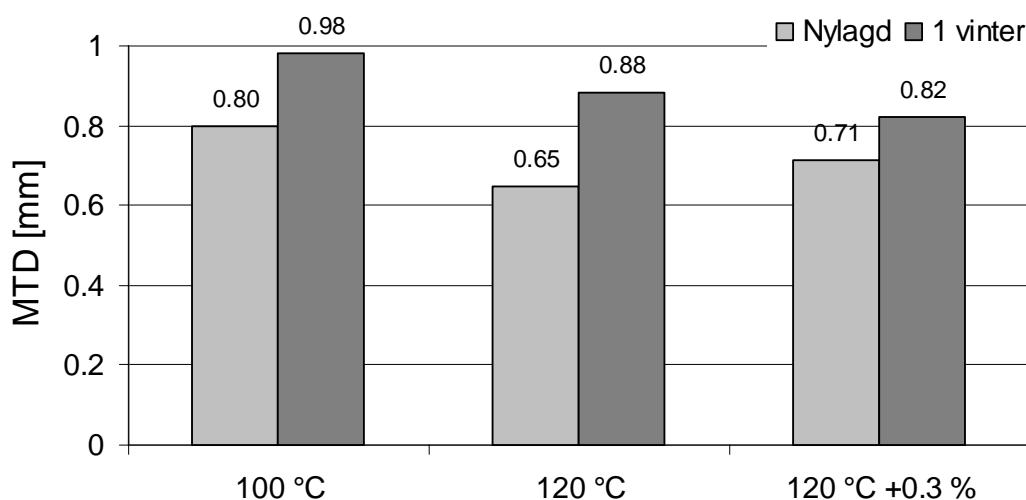
Det återvunna bindemedlet, från såväl ångturbo som fast verk, uppvisar avsevärt högre viskositet jämfört med jungfruligt V6000. Detta beror troligen till stor del på det tillsatta asfaltgranulatet. Då granulatets bindemedelshalt var i paritet med den tillverkade massan utgjorde det förhårdnade bindemedlet ungefär samma andel av den totala bindemedelsmängden dvs. 20 vikt-%. Förhårdningsfaktorerna har beräknats enligt de modeller som tidigare beskrivits. I detta fall behöver vi skatta granulatets dynamiska viskositet vid 60 °C utifrån tillgängliga data, penetration och mjukpunkt: (30 dmm resp. 59,0 °C). Detta kan göras i ett Heukelom-nomogram. Avsätts granulatets penetration och mjukpunkt i nomogrammet erhålls en dynamisk viskositet vid 60 °C på ungefär 1200 Pas. Resultatet av beräkningar sammanfattas i figur 4.



Figur 4. Förhårdningsfaktorer för V6000 enligt ekvationer 1 och 5 som funktion av blandningstemperatur samt linjär regression.

Ingen tydlig trend kan skönjas i detta fall. Ingen tillverkningsprocess avviker från de övriga på något avgörande sätt: högst förhårdning erhöles efter tillverkning vid 100 °C och lägst vid 120 °C med förhöjd bindemedelshalt. Resultaten från 120 °C med förhöjd bindemedelshalt visar t.o.m. ett något mjukare bindemedel efter tillverkning. Resultaten bör tolkas försiktigt då massorna från fast verk resp. ångturboverk producerades för olika objekt och antalet prover är lågt.

Som en del av den årliga uppföljningen av väg Irsta-Badelunda mättes texturen efter läggning i augusti samt i april efter en vinter. Två bestämningar per delsträcka utfördes vilket sammanfattas i figur 5 nedan.



Figur 5. Mätningar av medeltexturdjup på sträckan Irsta-Badelunda efter läggning resp. efter en vinter

En statistisk utvärdering av texturmätningarna genomfördes genom en s.k. tvåvägs variansanalys med samverkansseffekt. I detta fall med tidpunkt (efter läggning eller en vinter) och produktionsmetod som huvudfaktorer. Nollhypotesen är att inga skillnader föreligger på signifikansnivån 5 %. Resultaten visar att medeltexturdjupet är signifikant högre efter vintern ($p = 0,008$). Däremot kan ingen skillnad mellan delsträckorna påvisas.

3.3 2007: 752 TJUSEBOTORP-FAGERMON

Tillverkningen av MJOG (MJOG 16, V6000) skedde i ett fast verk samt ett ångturboverk. Det fasta verket tillverkade massor vid två olika temperaturer, 100 respektive 120 °C, med inblandning av 20 % granulat. Granulatet var av fraktion 0-11 mm med bindemedelshalt 4,3 vikt-%.

Den praktiska bedömningen av de olika massorna vid produktion och utläggning var snarlik den som redovisas för objektet utfört 2006 (se kapitel 3.2).

Mätningar av dynamisk viskositet vid 60 °C hos återvunnet bindemedel sammanfattas i tabell 4.

Tabell 4. Dynamisk viskositet vid 60 °C för de olika blandningarna

Tillverkningstemperatur	Dynamisk viskositet 60 °C [Pas]
Ångturbo 80 °C	19,7*
Fast verk 100 °C	18,2
Fast verk 120 °C	14,5
Fast verk 120 °C, +0,3 % bindemedel	16,6

* Medelvärde av 2 mätningar: 19,4 resp. 20,0 Pas

I detta fall uttogs mjukbitumen från bitumentank vid det fasta verket för bestämning av dynamisk viskositet vid 60 °C. Vid denna analys bestämdes viskositeten till ung. 3,8 Pas. Detta innebär att troligen underskrider analysprovet specifikationen för V6000 vad avser kinematisk viskositet. Förhållandet mellan dynamisk och kinematisk viskositet beskrivs av:

$$\eta = \frac{\nu}{\rho} \quad 6$$

där η är dynamisk viskositet, ν kinematisk viskositet och slutligen ρ är densitet. I detta fall är bindemedlets densitet okänd men bitumens viskositet är vanligtvis omkring 1000 kg/m³. Antages detta värde kan kinematisk viskositet (överslagsmässigt) bestämmas. Ingen bestämning av dynamisk viskositet av bindemedel från tank vid ångturboverket utfördes, men leveransprover från Nynäs visar en kinematisk viskositet vid 60 °C på 5800 mm²/s. Enligt ekvation 6 motsvarar detta en dynamisk viskositeten på ungefär 5.8 Pas, vilket antas vara mjukbitumenets viskositet vid tillverkning i ångturbo. Detta antagande medför att förhårdningsfaktorerna för massa tillverkad i ångturbo blir relativt något lägre. Om man istället antar att mjukbitumenet i ångturbo var av samma viskositetsgrad som vid det fasta verket (3,8 Pas) skulle de beräknade förhårdningsfaktorerna för ångturbo bli högre (jämför avsnitt 3.4).

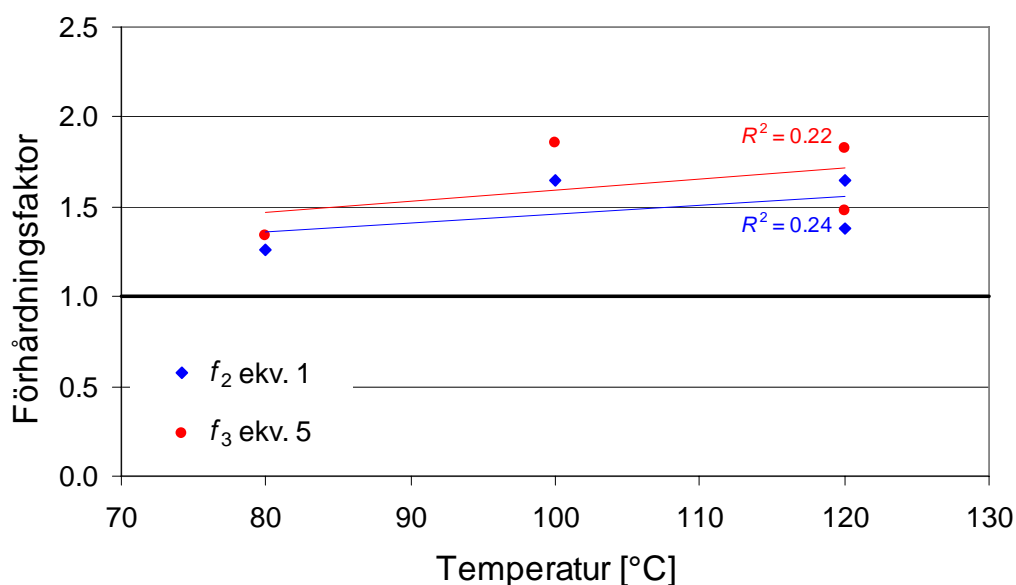
Analyser av återvunnet bindemedel från granulat gav: penetration vid 25 °C 30 dmm, mjukpunkt 57,8 °C och dynamisk viskositet vid 60 °C 1060 Pas.

Sammanfattningsvis användes följande ursprungliga viskositeter som indata i förhårdningsmodellerna: granulatets viskositet = 1060 Pas, mjukbitumen vid fast verk 3,75 Pas och för ångturbo 5,8 Pas.

Resultat av uppskattningar av förhårdning enligt de två redovisade modellerna sammanfattas i tabell 5 och figur 6.

Tabell 5. Förhårdningsfaktorer för de olika blandningarna

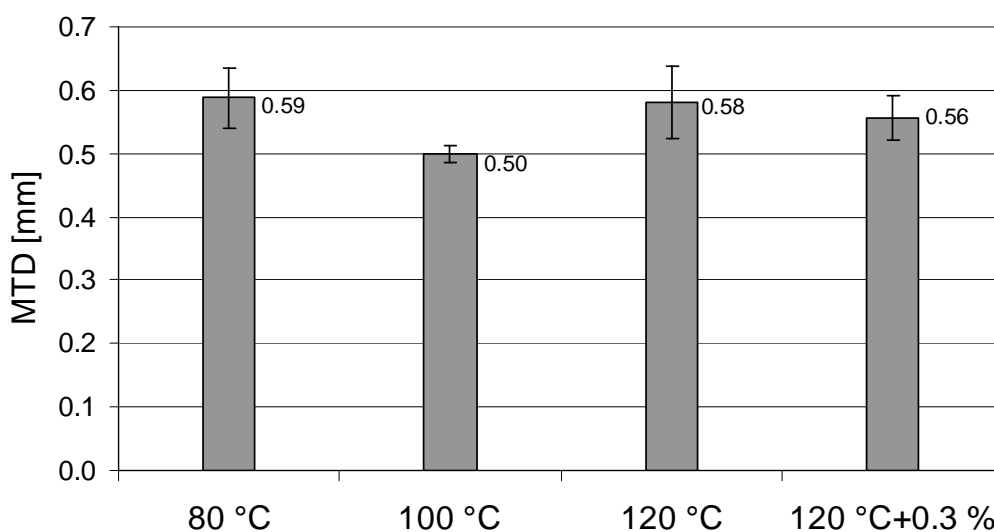
Tillverkningstemperatur	Förhårdningsfaktor	
	f_2	f_3
Ångturbo 80 °C	1,26	1,34
Fast verk 100 °C	1,65	1,86
Fast verk 120 °C	1,38	1,45
Fast verk 120 °C, +0,3% bindemedel	1,64	1,83



Figur 6. Förhårdningsfaktorer för V6000 enligt ekvation 1 och 5 som funktion av blandningstemperatur samt linjär regression.

Linjernas lutning i figur 6 är inte statistiskt signifikanta ($\alpha = 0,05$) dvs. det går inte påvisa att förhårningen beror av blandningstemperatur.

För att bedöma beläggningens kvalitet efter läggning utfördes även texturmätningar enligt sand patch-metoden (SS-EN 13036-1). Dessa mätningar skall även ligga till grund för ytterligare uppföljning under funktionstiden/garantitid. I figur 7 sammanfattas medeltexturdjupet (MTD) för de olika provsträckorna. På provsträckan med massa tillverkad i ångturboverk genomfördes fyra mätningar, för de övriga sträckorna två.

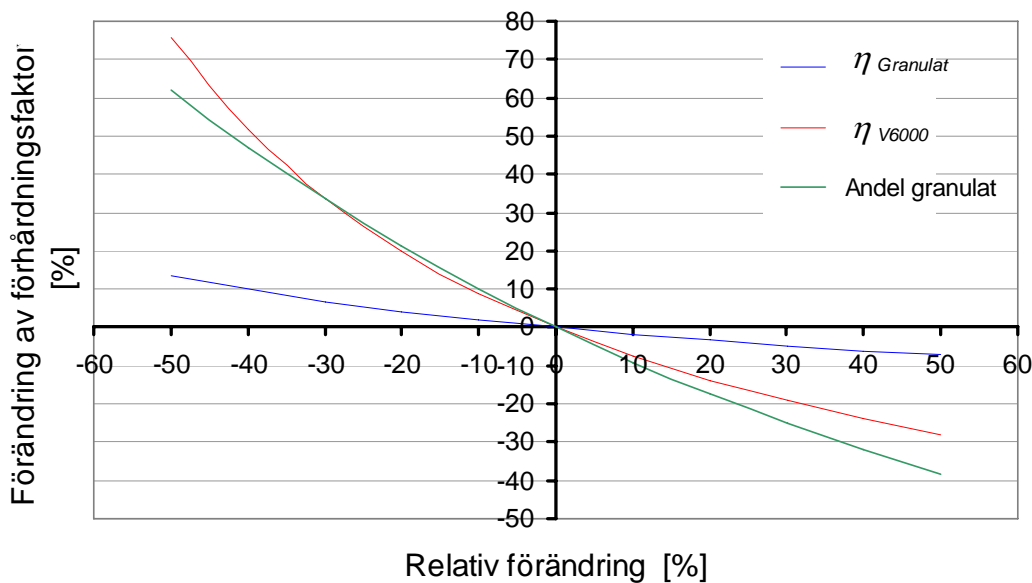


Figur 7. Medeltexturdjup (MTD) enligt sand patch-metoden för de olika massorna, medelvärde och standardavvikelse

För att undersöka om det är någon skillnad i initialt medeltexturdjup mellan de olika sträckorna genomfördes en envägs variansanalys (ANOVA). Det föreligger ingen statistiskt signifikant (95 % konfidensnivå) skillnad mellan provsträckorna.

3.4 FÖRHÅRDNINGSAKTORER: KÄNSLIGHET OCH SAMMANFATTNING 2006 OCH 2007

De beräknade förhårdningsfaktorerna påverkas av variation i indata, vilket i detta fall är viskositeter och andelar bindemedel från granulat respektive nytillsatt mjukbitumen. Förhårdningsfaktorernas, f_2 och f_3 , känslighet för variation i ingående viskositeter åskådliggörs i figur 8. I denna figur visas den relativa förändringen av förhårdningsfaktorerna som funktion av relativ skillnad i viskositet hos granulat resp. mjukbitumen V6000, samt relativ skillnad i andel granulat.

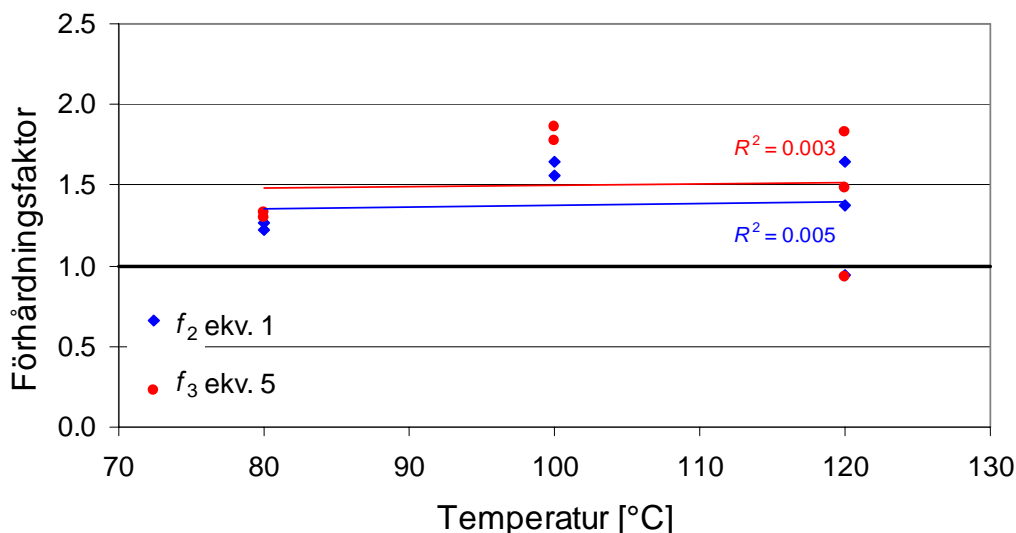


Figur 8. Känslighetsanalys: relativ förändring av förhådningsfaktor som funktion av förändring av ingående parametrar: viskositet hos V6000 och granulatets bindemedel samt andel granulat.

Känslighetsanalysen i figur 8 visar att om ingående viskositeter skulle vara högre än de mätta och skattade skulle detta medföra en sänkning av förhådningsfaktorerna. En motsvarande underskattning av viskositeter skulle medföra en ökning av förhådningsfaktorerna. För att ge ett exempel: om granulatets viskositet skulle vara 50 % lägre än den som uppmätts – 530 Pas i stället för 1060 Pas – skulle detta medföra en ökning av förhådningsfaktorn på ungefär 14 %. Detta skulle innebära att f_2 för massa från ångturbo 80 °C år 2007 skulle bli 1,43 i stället för 1,26 (se tabell 5). Känslighetsanalysen visar att, i detta fall, är beräknade förhådningsfaktorer tämligen okänsliga för variationer i granulatets viskositet. Figur 8 visar samtidigt att förhådningsfaktorerna är mer känsliga för variation i mjukbitumenets viskositet. Enligt specifikation i ATB Väg tillåts å andra sidan inte mjukbitumenets viskositet att variera i lika hög grad som visas i figur 8. Specifikationsgränserna är ungefär mellan 4 och 8 Pas vid 60 °C vilket innebär att variationen tillåts vara ungefär ± 30 %. Om mjukbitumenet skulle varit vid den nedre specifikationsgränsen, 4 Pas, skulle förhådningsfaktorerna vara ung 34 % högre dvs. maximalt 1,68 för massa från ångturbo; viskositet vid den övre gränsen, 8 Pas, skulle innebära en sänkning av förhådningsfaktorn med ungefär 23 % dvs. f_2 skulle bli 0,97 (ångturbo). Och slutligen, en halvering av andelen granulat innebär en ökning av förhådningsfaktorn med ungefär 62 %. Ett ångturboverk har jämfört med ett varmverk normalt sämre kalldoseringsmöjligheter, vilket eventuellt medför något större variation i andelen tillsatt asfaltgranulat.

Känslighetsanalysen, och exempel, gäller även för de övriga mass typerna. Det bör påpekas att givna exempel inte återspeglar förväntad variation. Den är troligen avsevärt mindre.

I figur 9 sammanfattas de båda årens resultat vad avser förhårdningsfaktorer.



Figur 9. Förhårdningsfaktorer för tillsatt mjukbitumen 2006 och 2007 som funktion av blandningstemperatur.

De lägsta förhårdningsfaktorerna vid 120 °C härrör från beläggning med förhöjd bindemedelshalt från 2006. Från 2007 års provningar är däremot förhårdningsfaktorerna högre för massa med förhöjd bindemedelshalt jämfört med normalmassa producerad vid samma temperatur (120 °C). Sammanfattningsvis indikerar gjorda analyser inga tydliga samband mellan förhårdningsfaktor och tillverkningstemperatur.

4 BILDER

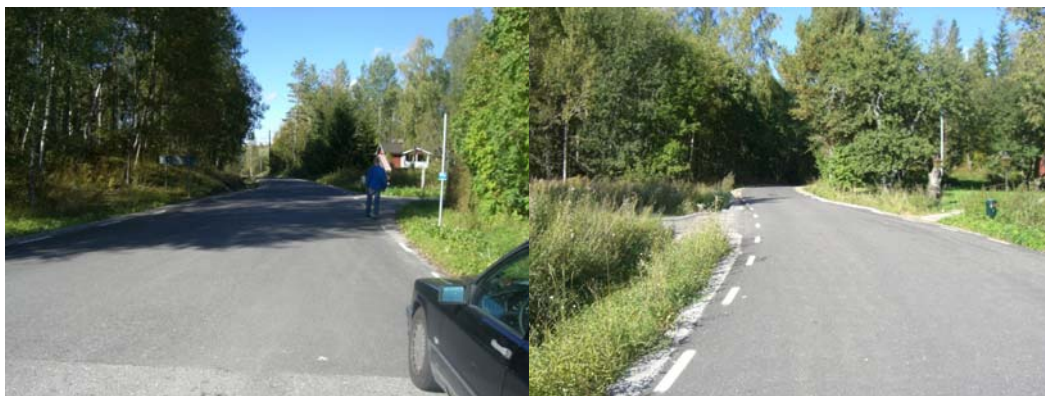
4.1 FÄLTFÖRSÖK 2006



Figur 10. Delsträcka Irsta-Badelunda. Bilderna tagna 2007.

Delsträckorna på väg 694 Irsta-Badelunda är utmärkta med skyltar.

4.2 FÄLTFÖRSÖK 2007



Figur 11. Tjusebotorp-Fagermon. Vänstra bilden: objektets början i Tjusebotorp. Högra bilden: skarv (ung. i höjd med infarterna.) mellan massa från ångturbo (nederst) resp. fast verk 100 °C.



Figur 12. Tjusebotorp-Fagermon. Övre delen: i samband med läggning. Undre delen: efter 3 månader. Vänster: massa från ångturbo. Höger: massa tillverkad i fast verk vid 100 °C. Bilderna är inte tagna vid samma plats

En tydlig visuell observation är att för massa tillverkad i ångturbo är inte alla grövre stenar täckta med bindemedel. För massa tillverkad i fast verk är samtliga stenar väl

täckta oavsett tillverkningstemperatur och bindemedelshalt. Detta gäller även för beläggningen efter tre månader även om det inte tydligt framgår av figur 12.

5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Projektets huvudsyfte var att undersöka om det uppstår någon skillnad i MJOG-beläggningens egenskaper på grund av tillverkningssätt och produktionstemperatur. Detta bedömdes genom att bestämma mjukbitumenets (V6000) förhårdning under tillverkningsprocessen. Tillsats av granulat vid produktion försvårar bedömningen av denna påverkan. Det från massa återvunna bindemedlet har påverkats av både åldring och inblandning av ett väsentligt hårdare bitumen från granulatet. I samband med detta bör det nämnas att extraktions- och återvinningsprocessen av bindemedel, i sig kan påverka bindemedlet. Under framförallt återvinningsproceduren under vilken lösningsmedlet avskiljs från bitumenet, utsätts bindemedlet för höga temperaturer och samtidigt lågt absolut tryck. Det är möjligt att mjukbitumen är något mer känsligt för detta, jämfört med penetrationsbitumen då de kan tänkas innehålla förhållandevis högre andel lättflyktiga komponenter. I detta fall har dock alla återvinningar av bindemedel genomförts på samma sätt varför det kan antas att alla bindemedel påverkats på ett likartat sätt.

Mjukbitumenets förhårdning har skattats enligt två olika modeller. Gemensamt för båda dessa är att Grunberg-Nissans blandningsekvation har använts i en något förenklad form. Detta samband innehåller även en interaktionsterm dvs. blandningens viskositet är inte bara en funktion av de ingående komponenternas viskositet utan påverkas även av fysikalisk/kemisk interaktion mellan dessa. Detta gäller i synnerhet om delkomponenterna har stor skillnad i viskositet och/eller grundläggande kemi. I detta fall är denna interaktion okänd. I regel är dock den, i förhållande till andra felkällor, tämligen begränsad varför blandningsekvationen brukar användas vid inblandning av mjukgörande bitumen i asfaltgranulat. Detta skulle dessutom vara ett systematiskt fel som inte skulle påverka den relativa jämförelsen mellan produktionsmetoderna.

Eventuell åldring av granulatets bindemedel under tillverkningsprocessen är ytterligare en faktor som inverkar på ett systematiskt sätt dvs. påverkar inte den relativa jämförelsen. I förhårdningsmodellerna antas att granulatets bindemedel inte påverkas. Då granulatets bitumen är tämligen förhårdnat och blandningstemperaturerna måttliga bedöms detta inte vara en stor felfaktor. För mjukbitumenets förhårdning innebär detta antagande att förhårdningskvoten blir högre än om även förhårdningen av granulatets bindemedel skulle medräknas dvs. detta antagande inverkar ogynnsamt vad avser skattningen av mjukbitumenets förhårdning.

Det finns inget tydligt mätbart krav på mjukbitumenets förändring under tillverkningsprocessen. ATB Väg anger inte något specifikt krav på mjukbitumenets förhårdning under tillverkning. I bindemedelsspecifikation för V6000 anges en förhårdning, mätt som kinematisk viskositet vid 60 °C före respektive efter TFO-åldring

vid 120 °C. Denna viskositetskvot för vara maximalt 2,5. Vägverket väst (VVÄ, 2007) anger att för funktionsentreprenader får viskositeten maximalt fördubblas fram till prov tagna efter läggaren jämfört med prov från tank (VVÄ, 2007). I denna undersökning underskrider samtliga prov denna gräns.

Projektet kan sammanfattas i följande punkter:

- Tillverkningen skedde vid 3 olika temperaturer: 80, 100 och 120 °C.
- Då det återvunna bitumenets egenskaper även påverkats av tillsatt asfaltgranulat har mjukbitumenets förhårdning skattats enligt två olika modeller.
- Resultat erhållna från denna undersökning indikerar ingen ökad förhårdning av mjukbitumen tillverkade i fast verk vid temperaturer upp till 120 °C jämfört med massa från blandning vid 80 °C i ångturboverk.
- Samtliga prov, oavsett produktionsbetingelser, visade lägre grad av viskositetsökning än den fördubbling som anges som maximal nivå enligt den funktionsbeskrivning av mjuka underhållsbeläggningar som används av Vägverket region väst.
- Praktisk upplevdes massa tillverkad vid ångturboverk som den mest lätthanterliga vid läggning och packning. Massa från fast verk upplevdes också som tämligen oproblematiske.

REFERENSER

- Asfalt 2005 - materialer og utførelse. 2005. Statens Vegvesen (Norge).*
- ATB Väg 2005. *Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion.* Vägverket.
- Isacsson, U. 1990. *Mjukbitumen- Sammanställning av svenska erfarenheter 1984-1989.*
Rapport 1. Tekniska Högskolan i Luleå, avdelningen för gatuteknik.
- Grunberg, L. och Nissan, A. H. 1949. Mixture law for viscosity. *Nature* 164: 799-800.
- VM. 2006. *Teknisk beskrivning väg/beläggningsarbeten för utförande av halvvarma beläggningsobjekt år 2007.* Vägverket Region Mitt.
- VMN. 2007. *Teknisk beskrivning väg/beläggningsarbeten för utförande av beläggnings- och förstärkningsobjekt år 2007.* Vägverket Region Mälardalen.
- VSÖ. 2007. *Administrativa föreskrifter. Utförandeentreprenad. För utförande av beläggningsarbeten, underhållsbeläggning omg 2-2007 inom VSÖ.* Vägverket Region sydöst.
- VVÄ. 2006. *Teknisk beskrivning väg/beläggningsarbeten för utförande av beläggningsobjekt år 2007.* Vägverket Region väst.
- VVÄ. 2007. *Funktionsbeskrivning för underhållsbeläggningar enligt det mjuka och flexibla konceptet 2007.* Vägverket Region väst.