

OPTIMAL TEMPERATUR VID VARMBLANDAD ASFALTTILLVERKNING, OTA



Författare

Per Tyllgren
SVC

Projektnummer

SBUF 12331

Datum

November 2013

Finansierat av

SBUF®

På uppdrag av

SKANSKA

 **Svenskt
VägCentrum**

Omslagsbilden av en trottoar i området Holma i Malmö är tagen i oktober 2013. OTA-asfalten tillverkades och lades ut av Skanska i november 2010 och kan hålla till år 2040. Den som lever får se.

Förord

”Man kan alltid räkna med att amerikaner gör det rätta – efter att de har provat allt annat.”

Winston Churchills reflektion över amerikansk målstrategi skulle också kunna gälla asfaltindustrin. Utvecklingen inom asfaltområdet går tveklöst framåt men på krokiga vägar.

LTHs examensarbetare och Skanskas produktionsfolk ska ha en eloge för sina prestationer. Deras insatser bidrog verksamt till att projektet kunde ros i land. Ett varmt tack till Skanska och SBUF, som inte bara finansierade arbetet utan också tålmodigt inväntat rapporten.

Malmö i november 2013

Per Tyllgren

/projektledare/

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ILLUSTRATIONER	ii
SAMMANFATTNING	1
1. BAKGRUND OCH SYFTE	2
2. GENOMFÖRANDE.....	3
3. ORSAKER TILL VAL AV TEMPERATUR	4
3.1 Viskositet för blandning	5
3.2 Asfaltmassans konsistens	5
3.2.1 Maskinläggning	6
3.2.2 Handläggning.....	7
3.3 Kall och fuktig väderlek	7
3.4 Förvaringstid.....	8
3.5 Inblandning av material med lägre temperatur.....	8
4. KONSEKVENSER AV AVVIKANDE TEMPERATURER.....	10
4.1 Asfaltens hållbarhet	10
4.1.1 Normal asfalt	10
4.1.2 Modifierad asfalt.....	10
4.1.3 Handläggningsmassor.....	11
4.2 Asfaltåtervinning	11
4.3 Asfaltverkets funktion	12
4.4 Emissioner	12
4.4.1 Yttre miljön.....	13
4.4.2 Arbetsmiljön	13
5. ÅTGÄRDER VID AVVIKANDE TEMPERATURER.....	14
5.1 Asfaltverket	14
5.2 Tillsatsmedel i bitumen och asfalt.....	14
5.2.1 LTA-tekniker	14
5.2.2 Val av tillsatsmedel	15
6. MATERIALUNDERSÖKNINGAR	16
6.1 Förstudie av effekten på bitumenviskositet.....	16
6.2 Inverkan på asfaltens egenskaper i fullskaligt försök.....	18
6.2.1 Sammansättning	19
6.2.2 Viskositet och penetration	19
6.2.3 Tillverkning av Marshallprovkroppar	20
6.2.4 Hållrumshalt	21
6.2.5 Pressdraghållfasthet (ITS)	22
6.2.6 Marshallstabilitet	23
6.3 Konsistensens påverkande faktorer och betydelse	24
6.4 Exempel på mätning av konsistens.....	25
6.5 OTA i praktiken.....	27
6.5.1 Föryngrad returafalt	27
6.5.2 Massa till handläggning.....	27

6.5.3 Exempel på utläggning av OTA	29
7. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	32
7.1 Normal temperatur, 150-165 °C	32
7.2 Reducerad temperatur, 135-150 °C	33
7.3 Låg temperatur, 120-135 °C	33
LITTERATUR OCH LÄNK	35
BILAGOR	1

ILLUSTRATIONER

<i>Tabell 3-1 Resultaterande temperatur för olika förutsättningar vid återvinning med kall respektive varm dosering av returafalt.</i> Källa: /3./	9
<i>Tabell 6-1 Resultat av penetrationsbestämning av extraherat bitumen från de olika massarecepten.</i> Källor: /2., 6./	20
<i>Tabell 6-2 Inställningar vid tillverkning av Marshallprovkroppar.</i> Källa: /6./	20
<i>Tabell 7-1: Temperatur i färdig massa med uppvärmd returafalt.</i> Källa: / 3./ ..	33
<i>Tabell 7-1: Temperatur på färdig massa med kalldosering.</i> Källa: / 3./ ..	33
<i>Diagram 3-1 Heukelomdiagram med exempel på nedre temperaturer för blandning, utläggning och vältning av asfalt med bitumen 100/150.</i> Källa: /2./	4
<i>Diagram 3-2 Heukelomdiagram med viskositetsmätning på rent bitumen och två polymermodifierade sorter.</i>	5
<i>Diagram 4-1 Diagrammet visar förhårdningen under tillverkningen och jämfört med tiden på vägen.</i>	10
<i>Diagram 4-2 Skillnad i viskositet mellan ett standardbitumen och bitumen i returafalt.</i>	11
<i>Diagram 6-1 Viskositet för 160/220 med Sasobit mätt med DRV i varje markerad punkt.</i> Källa: /2./	16
<i>Diagram 6-2 Viskositet för 50/70 med Sasobit mätt med DRV i varje markerad punkt.</i> Källa: /2./	17
<i>Diagram 6-3 Undersökning av effekten av ökande respektive minskande mätriktning för temperaturen.</i> Källa: /2./	17
<i>Diagram 6-4 Sammansättning av provmassorna från Valinge.</i> Källa: /6./	19
<i>Diagram 6-5 Viskositeter i extraherat bitumen från provmassorna i Valinge</i> Källa: /6./	19
<i>Diagram 6-6 Hålrumsalter i Marshallprovkroppar efter olika packningsarbete.</i> Källa: /6./	21
<i>Diagram 6-7 Pressdraghållfasthet, ITS, uppmätt vid 10 °C.</i>	22
<i>Diagram 6-8 Styvhet, TMm, från ITS-mätning vid 10 °C.</i>	22
<i>Diagram 6-9 Brottöjning från ITS-mätning vid 10 °C.</i>	22
<i>Diagram 6-10 Marshallstabilitet vid 60 °C.</i> Källa: /6./	23

Diagram 6-11 Marshallstyvhetsmätning, ett styvhetsmått från Marshallprovning uppmätt vid 60 °C. Källa: /6./	23
Diagram 6-12 Flytvärde (brottöjning) i Marshalltestet vid 60 °C. Källa: /6./	23
Diagram 6-13 Konsistensmätning på olika asfaltmassor. Källa: /9./	26
Diagram 6-14 Riktlinje enligt Fuller för stenmaterial till handläggningssmassa och rekommenderad sammansättning för OTA-massa.	28
Diagram 0-1 Heukelomdiagram med viskositetsmätning på rent bitumen och två polymermodifierade sorter.	1
Diagram 0-2 Viskositet för 160/220 med Sasobit mätt med DRV i varje markerad punkt.	2
Diagram 0-3 Viskositet för 50/70 med Sasobit mätt med DRV i varje markerad punkt.	3
Diagram 0-4 Undersökning av effekten av olika mätriktning på temperaturen.	4
Diagram 0-5 Viskositeter i extraherat bitumen från provmassorna i Valinge.	5
Bild 3-1 En lugn dag på jobbet med rätt konsistens och temperatur i asfaltmassan.	6
Bild 3-2 En vält som kavlar och slår behöver en asfaltmassa som både bär och ger efter.	6
Bild 3-3 Handläggning klaras även under ogynnsamt väder med uppvärmt, förslutet flak och Sprider. Extra värme behövs egentligen inte men får det i alla fall av gammal vana.	7
Bild 3-4 Asfaltläggning i snöglopp på den skånska slätten. För husfridens skull får massan extra värme.	7
Bild 3-5 En snabb och smidig semitrailer tar 32-35 ton asfalt.	8
Bild 3-6 Öppet flak och gripskopa jämfört med förslutet, isolerat flak med Sprider.	8
Bild 3-7 Kaldosering (t.v.) och uppvärmning av retur-asfalt med parallelltrumma.	9
Bild 4-1 Smidig massa (t.v.) jämfört med en grymig massa som förlorat läggbarhet och beständighet.	11
Bild 4-2 Ventilationskanaler går från flera utsug med damm och rökgaser till filteranläggningen för rening.	12
Bild 5-1 Vattenångorna kondenserar i vertikala rör vid sidan av filtret. Vattnet samlas upp i sedimentationstankar.	14
Bild 6-1 Konsistensmätare för asfaltmassa använd av NCAT. Källa: /9./	26
Bild 6-2 Väلتförarna tvingas vänta tills RA-massan svalnat innan maskinerna kan gå på utan att ytan spricker. Notera den vertikala kanten, som uppstår med en stum och oflexibel massa. Källa: /3./	27
Bild 6-3 Väلتarna kunde börja bearbeta FRA-massan direkt efter utläggaren. Kanten på läggardraget bildar en rasvinkel som resultat av massans levande karaktär. Källa: /3./	27
Bild 6-4 Sasobit anskaffades till Skanskas asfaltverk i Dalby för blandningsförsök. Sasobit levereras i storsäck i form av små kulor.	29
Bild 6-5 Doseringsluckan för Sasobit in i asfaltblandaren. "Spridern" fylls med handläggningssmassa för hela eller halva dagsbehovet.	29
Bild 6-6 Den gamla trottoarläggaren på bilden är fortfarande ett uppskattat hjälpmedel. OTA-massan var lättlagd vid normala temperaturer.	30

Bild 6-7 Den smidiga och formbara massan gav täta och starka övergångar till anslutande ytor. Närbilden visar att massan har en balanserad sammansättning av stenstorlekar och bruk.....	30
Bild 6-8 I trånga utrymmen måste asfaltmassans ibland bäras fram för hand. Då krävs att den fortfarande kan läggas ut och komprimeras när temperaturen sjunker.	30
Bild 6-9 En refug och trafikerade ytor belades med samma OTA-massa på ett exploateringsområde vid Hyllie tågstation i Malmö en blåsig och kylslagen novemberdag 2010.	31
Bild 6-10 Tre år efter utläggning och utan efterpackning av trafik ser refugytan med OTA-massa fortfarande tät ut.	31
Bild 6-11 Trafikerad yta i oktober 2013 efter 3 års byggtrafik.	31

SAMMANFATTNING

Asfaltens paradox är att ett material som är så förknippat med hög temperatur samtidigt är värmekänsligt. Bitumen tillverkas genom värmedestillation och oxidation. Därför är det ganska naturligt att den processen fortsätter efter mötet med varmt stenmaterial. Insikten om att oförsiktigt bruk av värme kan leda till sämre funktion och förkortad livslängd hos asfaltbeläggningarna har funnits länge. Asfalttekniker och verksmaskinister har i alla tider lärt sig att handskas varsamt med uppvärmningen, fram till våra dagar.

Allt tal om utsläpp av koldioxid, emissioner på arbetsplatser och hushållning med energi glöms när ökad temperatur löser problem i mer angelägna frågor.

Frågan aktualiserades i samband med lanseringen av lågtempererad asfalt, LTA. Många processtekniska lösningar och tillsatsmedel presenterades med den vällovliga avsikten att sänka tillverkningstemperaturen för varmblandad asfalt med 30 °C. Huruvida det har lyckats tas inte upp här men onekligen finns intressanta lösningar, som kan användas istället för höjd temperatur.

Andra konsekvenser av varierade temperaturer, både uppåt och nedåt, gäller stoftavskiljningen. Även under gynnsamma förhållanden och utan variation av asfalttemperaturerna är det en krävande uppgift att få filteranläggningen att fungera på bästa sätt.

Skanska inledde ett utvecklingsprojekt med stöd från SBUF med syfte att förklara orsakerna till avvikande temperaturer och föreslå lösningar. Åtgärderna ska hjälpa asfaltverket att fungera som det ska och samtidigt gynna beläggningens funktion och beständighet.

I två examensarbeten på Lunds Tekniska Högskola undersöktes bitumenblandningar och asfaltprover med ett vanligt tillsatsmedel, Sasobit. Rapporterna redovisar de reologiska effekterna och inverkan på egenskaperna hos provkroppar från verkstillverkad asfalt. Provningsresultaten tyder på ökad stabilitet.

Slutligen testades ett exempel på OptimalTempererad Asfalt, OTA, för handläggning. Asfalten utprovades under besök på en rad arbetsplatser och efter samtal med yrkesarbetarna. Massan uppfattades som smidig och funktionell, trots ogynnsamt väder.

Tre asfaltkategorier föreslås, definierade av de temperaturer som uppstår när asfaltverket tillåts arbeta på optimal värmenivå: *normal temperatur* (150-165 °C), *reducerad temperatur* (135-150 °C), *låg temperatur* (120-135 °C). De två senare uppkommer av sig själv vid asfaltåtervinning. Med praktisk proportionering och analytisk dimensionering kommer asfaltkategorierna bäst till nytta där de naturligt hör hemma och har möjlighet att motsvara vägtekniska behov och andra förväntningar.

1. BAKGRUND OCH SYFTE

Bitumen är en värmekänslig produkt. Även vid normala temperaturer hårdnar bitumenet men då bara så mycket att det kan förutses och kompenseras för i valet av kvalitet. Ökad temperatur med några tiotal grader påskyndar förhårdningen och försämrar asfaltens avsedda egenskaper. Ett alltför hårt bitumen riskerar att förkorta asfaltens livslängd.

Inställningen av temperaturen i ett varmblandningsverk för asfalttillverkning är en svår uppgift även under gynnsamma förhållanden. En rad faktorer påverkar värmebehovet och det är först när produktionen kommit i jämviktsläge som resultatet kan avläsas och finjusteras till önskad nivå. Erfarna maskinister vet ungefär vilka inställningar som ger önskat resultat men det finns alltid någon okänd faktor som behöver kompenseras. En ändrad inställning av brännaren kan avläsas först när stenmaterialet hamnat i varmstensfickan och kanske inte ens förrän asfalten blandats och hamnat i utlastningsfickan. Det betyder att förändringar av temperaturen på färdig asfaltmassa bara får ske med stor återhållsamhet för att normala variationer ska kunna hållas under kontroll.

Varje asfaltverk har ett temperaturintervall där alla produktionsenheter fungerar som bäst. Det handlar om risk för fuktutfällningar i frånluftkanalerna och filtren om temperaturen är för låg eller att filtren kan ta skada eller fungera sämre om temperaturen är för hög. Onödigt hög temperatur ökar energiförlusterna och kostnaderna.

Varmasfalt med uppstyvande tillsatser och långa hanteringstider brukar ges högre temperatur. Det finns också asfalt som tillverkas vid lägre temperatur än asfaltverkets bästa arbetstemperatur, t ex lågtemperaturasfalt (LTA), mjukasfalt och lagringsbara lagningsmassor.

Varierande temperatur i färdig massa försvårar inställningen av asfaltverkets värmeenhet. Eftersom uppvärmningen är en kontinuerlig process kan temperaturen inte ändras momentant från ett recept till ett annat. Det medför att asfaltmassan i skarven mellan recepten får en annan temperatur än avsett, förutsatt att asfalttemperaturen enbart kontrolleras med torktrummans brännare.

Alternativ till temperaturförändringar skulle underlätta kontrollen av asfaltverket och gynna den yttre miljön (minskad energiåtgång och koldioxidutsläpp) och arbetsmiljön (lägre emissioner) och förbättra stoftavskiljningen.

Varje önskemål ska tillgodoses på sammantaget bästa sätt men utgångspunkten är att stenmaterialets och därmed asfaltverkets temperatur ligger inom det intervall där asfaltverkets alla delar fungerar som bäst. Om temperaturbehovet skulle ligga över eller under det här intervallet används istället andra åtgärder. Detta är vad OTA handlar om.

2. GENOMFÖRANDE

Materialtekniska studier genomfördes i två examensarbeten vid Ingenjörshögskolan Campus Helsingborg under Trafik och Väg vid Lunds Tekniska Högskola, med ekonomiska bidrag och praktisk hjälp från Skanska. Elmer Žužo och Jesper Palmér utförde viskositetsmätningar på bitumenblandningar med Sasobit våren 2011 med LTHs nyanskaffade rotationsviskosimeter.

Hösten 2011 gjordes fullskaleförsök med Sasobit i AG på Skanskas asfaltverk i Valinge. Av uttagna massaprover tillverkades provkroppar som undersöktes 2012 av Azur Kujundzic och Johan Lund på LTHs laboratorium.

Elevernas kursledare och examinator var Ebrahim Parhamifar vid Lunds Tekniska Högskola och handledare var Per Tyllgren, SVC i Malmö.

Sammansättningsanalyser och provkroppstillverkning utfördes på Skanska VTC Syd i Fosie.

Asfaltmassorna till försöken med handläggningssmassor producerades 2010 i Skanskas asfaltverk i Dalby och lades ut av personal från Skanska Asfalt och Betong AB i Skåne.

Behjälpliga kontaktpersoner och uppgiftslämnare på Skanska var i olika skeden Åsa Leandersson i Helsingborg, Mats Dahlgren i Dalby, Tobias Pålsson i Halmstad och Ole Grann Andersson i Horsens.

Finansiär av examensarbetena och beställare av slutrapporten var Kenneth Olsson, Skanska VTC Nord i Farsta.

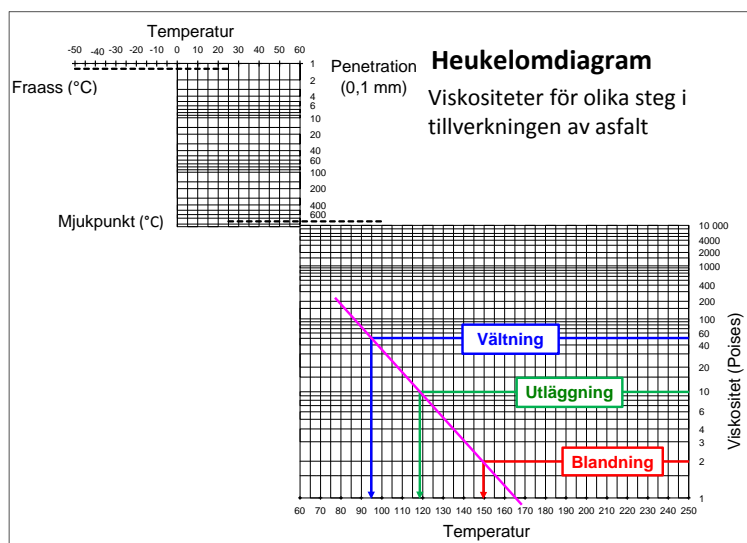
3. ORSAKER TILL VAL AV TEMPERATUR

Stenmateriallets temperatur väljs efter ett bedömt behov. Det kan handla om:

1. Asfaltblandarens fördelning av bitumen på stenmaterialet
2. Asfaltmassans allmänna konsistens vid utläggning och komprimering
3. Extra värme vid:
 - a. kall och fuktig väderlek
 - b. lång förvaringstid i fickor eller på lastfordon
 - c. inblandning av material med lägre temperatur
4. Lågtemperaturasfalt, LTA.

1-2 kan förledas av ett mycket styvt bitumen eller tillsatser som kräver hög värme för att smälta eller mjukna så att asfaltmassan kan blandas och läggas ut. Pkt 3.a inträffar i början och särskilt i slutet av säsongen. Pkt. 3.b sker vid handläggning eller långa transporter. Pkt 3.c handlar vanligtvis om kalldoserad eller uppvärmd retur-asfalt med temperaturer som understiger önskad sluttemperatur på asfalten. Pkt 4 är ett branschgemensamt projekt som syftar till minskade kostnader och emissioner.

När extra värme använts tillräckligt ofta minskar medvetandet om övervärmens skadliga inverkan och det blir till slut en vana, även när det inte behövs, kanske i förebyggande syfte för att slippa klagomål från fältet. Ytterst sällan handlar klagomålen från utläggarna om för hög temperatur, om den inte orsakar rök och lukt.



I Shellhandboken /1./ diskuteras lämpliga bitumenviskositeter för de olika produktionsstegen. Det förekommer olika uppgifter eftersom massans konsistens inte alltid är synonym med bitumennets. Temperaturerna i diagram 3-1 kan tjäna som riktmärken för ett givet bitumen.

Diagram 3-1 Heukelomdiagram med exempel på nedre temperaturer för blandning, utläggning och vältning av asfalt med bitumen 100/150. Källa: /2./

3.1 Viskositet för blandning

Olika bitumenkvaliteter har olika styvhet vilket kompenseras och styrs med temperaturen. En gång i tiden namngavs bitumenkvalitet med temperaturen där bitumenet hade viskositeten 500 cStoke (kinematisk viskositet). Det bedömdes vara gränsen för pumpbarhet. Idag be-

nämns bitumenkvaliteter i Europa efter penetrationsvärdet vid 25 °C för styvt bitumen eller viskositet vid 60 °C för så kallat mjukbitumen.

Olika tillsatsmedel som polymerer och gummi har en förstävande inverkan på bindemedlet respektive asfaltmassan. Det kompenseras med ökad temperatur i stenmaterialet.

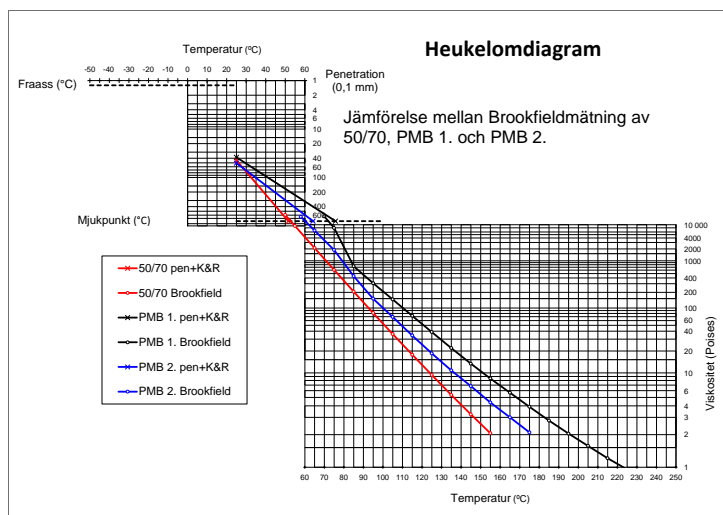


Diagram 3-2 Heukelomdiagram med viskositetsmätning på rent bitumen och två polymermodifierade sorter.

Källa: /2./

Diagrammet visar exempel på hur mycket temperaturen måste höjas för att kompensera den uppstyvande effekten som tillsatsmedlet orsakar: +20 °C för PMB 2 och +40 °C för PMB 1. Så mycket varmare behöver stenmaterialet vara vid blandningen för att det polymermodifierade bindemedlet ska ha samma viskositet vid blandningen som ett styvt standardbitumen 50/70 /2./. Diagram 3-2 visas i större format i bilagorna.

3.2 Asfaltmassans konsistens

I praktiken är det inte någon större skillnad mellan begreppen *läggbarhet* och *välthet*. Båda egenskaperna betingas av samma faktorer: brukets egenskaper och stenmaterialets sammansättning. Eftersom de handlar om två moment beskrivs de som två olika begrepp. Läggarlagets ser bara en påverkbar parameter: temperaturen. Brister i konsistensen brukar därför meddelas till asfaltverken som fel på temperaturen, oftast för låg. Det *kan* vara en riktig observation men korrigeras nästan alltid med ökad temperatur, även om orsaken skulle kunna vara en annan, t ex felaktig sammansättning.

3.2.1 Maskinläggning



Bild 3-1 En lugn dag på jobbet med rätt konsistens och temperatur i asfaltmassan.

En läggbar asfaltmassa karakteriseras av att den får en jämn, slät yta utan dragningar och sprickor. Asfaltläggarens avstrykare, screeden, flyter då jämnt med bara små vinkelförändringar för att justera tjockleken. Om massan är svårlagd händer det motsatta: ytan blir raggig, ojämn och screeden står i en brant attackvinkel för att den sega massan ska kunna passera under.



Bild 3-2 En vält som kavlar och slår behöver en asfaltmassa som både bär och ger efter.

Asfalt komprimeras i första skedet inte vertikalt utan kavlas ut som en deg. Framför valsem uppstår i smidig massa en liten våg. Efterhand som asfalten svalnar blir vågen mindre och ytan allt hårdare och till slut helt slät och jämn. En svårvältad massa kan antingen vara stum och livlös med små tvärsprickor eller mjuk och vek och utan förmåga att bära den tunga välten. Massan pressas då i sidled med längsgående sprickor som följd.

3.2.2 Handläggning



Bild 3-3 Handläggning klaras även under ogynnsamt väder med uppvärmt, förslutet flak och Sprider. Extra värme behövs egentligen inte men får det i alla fall av gammal vana.

Handläggning omsätter små volymer. Dagsbehovet för ett läggargång kan rymmas på ett lastbilsflak. Man åker ogärna en gång extra under dagen bara för att hålla asfalten färsk. Istället fylls lastbilen på morgonen med dagens behov och för att klara värmen till kväll får asfalten extra värme. Det ska ryka blått vid lastningen, vilket innebär en skadlig övertemperatur för massan.

3.3 Kall och fuktig väderlek



Bild 3-4 Asfaltläggning i snöglopp på den skånska slätten. För husfridens skull får massan extra värme.

Blåsiga, fuktiga och kalla dagar krävs extra värme i stenmaterialet, i synnerhet i början av dagen när alla maskindelarna är kalla, både i asfaltverket och ute på vägen. I de situationerna börjar skiftet med en extra dos värme i stenmaterialet, som sedan trappas ner framåt dagen. Det är inte gynnsamt för kvaliteten att asfalten används för uppvärmning av kalla maskiner men det finns just inget alternativ. Vissa maskindelar som asfaltfickor, lastbilsflak och asfaltläggarens screed (avstrykare) kan värmas i förväg men i huvudsak tas värmen från asfalten.

3.4 Förvaringstid



Bild 3-5 En snabb och smidig semitrailer tar 32-35 ton asfalt.

Färre antal asfaltverk har lett till längre transporter och därmed längre tid som asfalten förvaras på flaken. Det kompenseras till viss del av lastfordonens ökade transportförmåga och av isolerade flak. Denna ökade kapacitet utnyttjas emellertid till ännu längre transporter. Lite extra värme räddar leveransen vid stillestånd och väntetider, som lätt uppstår med långa avropstider.



Bild 3-6 Öppet flak och gripskopa jämfört med förslutet, isolerat flak med Sprider.

Fortfarande transporteras handläggningssmassor med enkla oisolerade flak. Asfalten svalnar relativt snabbt även i fint väder. Förslutna lastflak med uppvärmning håller värmen ganska bra men de finns inte tillgängliga för alla arbeten. Asfalten svalnar ändå men i långsammare takt. För säkerhets skull får massan extra värme på morgonen för att räcka hela dagen.

3.5 Inblandning av material med lägre temperatur

Den vanliga anledningen till inblandning av material med lägre temperatur är återvinning. Det sker i huvudsak på vanliga stationära asfaltverk genom *kalldosering* eller med uppvärmd returafalt genom en *parallelltrumma*.



Bild 3-7 Kalldosering (t.v.) och uppvärmning av returafalt med parallelltrumma.

I /3./ finns två tabeller för beräkning av resulterande temperatur efter inblandning av returafalt med respektive doseringsteknik. Tabellerna kan också användas för att avläsa vilken temperatur som behövs på nytt stenmaterial för att uppnå önskad temperatur i färdig asfaltmassa. Stenmaterialtemperaturen kan behöva höjas kraftigt, i vissa fall upp till 200 °C, för att slutprodukten ska få normal temperatur.

Tabell 3-1 Resultande temperatur för olika förutsättningar vid återvinning med kall respektive varm dosering av returafalt. Källa: /3./

		Temperatur i färdig massa med kalldoserad RA/FRA												
		Temperatur i stenmaterial, °C:												
		150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	
Andel RA/FRA i vikt% vid 5 °C i vikt% vid fuktqvot:	2 %	5	140	144	149	153	157	161	166	170	174	179	183	187
		10	131	134	138	142	146	150	155	159	163	167	171	175
		15	121	124	128	132	136	139	143	147	151	155	159	162
	4 %	5	137	141	146	150	154	159	163	167	171	176	180	184
		10	125	128	132	136	141	145	149	153	157	161	165	169
		15	113	115	119	123	127	131	134	138	142	146	150	154

		Temperatur i färdig massa med varmdoserad RA/FRA											
		Temperatur i stenmaterial, °C:											
		150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205
Andel RA/FRA i vikt% vid 138 °C.	10	149	153	157	161	165	169	173	177	181	185	189	193
	15	148	152	156	160	164	167	171	175	179	183	187	190
	20	148	151	155	159	162	166	169	173	177	180	184	187
	25	147	151	154	157	161	164	168	171	174	178	181	184
	30	147	150	153	156	159	162	166	169	172	175	178	181
	35	146	149	152	155	158	161	164	167	170	173	176	178
	40	145	148	151	154	156	159	162	165	167	170	173	175

4. KONSEKVENSER AV AVVIKANDE TEMPERATURER

Temperaturer utanför det optimala intervallet har negativa konsekvenser på olika områden:

1. Asfaltens hållbarhet
2. Asfaltverkets funktion
3. Emissioner.

Det finns en rad utredningar som belyser detta men det är svårt att fastlägga invändningsfria kvantifierade nivåer på effekterna. De flesta håller ändå med om att det finns miljömässiga, ekonomiska och tekniska konsekvenser på sådan nivå och i tillräcklig omfattning för att motivera åtgärder.

4.1 Asfaltens hållbarhet

4.1.1 Normal asfalt

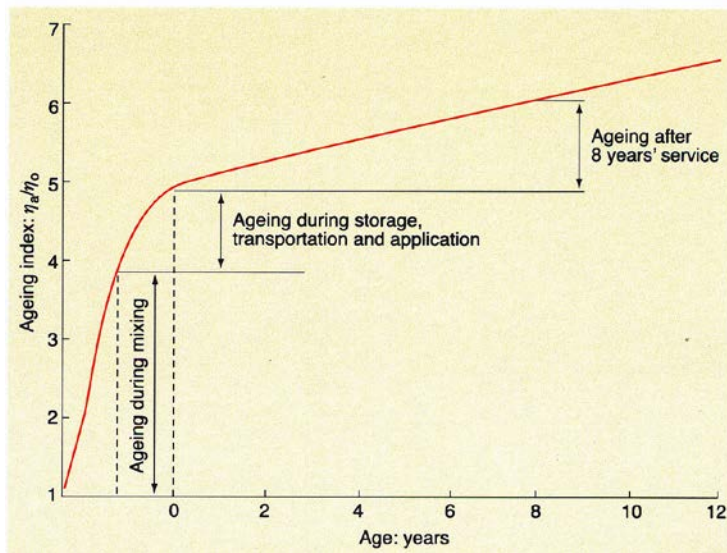


Diagram 4-1 Diagrammet visar förhårdningen under tillverkningen och jämfört med tiden på vägen.

Källa: /1./

Oförsiktig användning av värme gör bitumenet hårdare än vad som tas höjd för i recepten. Det kan ha förödande inverkan på hållbarheten. Förkortad hållbarhet riskerar att ta mer pengar ur anslagen än värdet av kvalitetsförbättringarna.

Förutom förhårdningen, som får konsekvenser senare, visar sig en annan effekt omedelbart. Alltför lättflytande bitumen förmår inte stanna på stenytorna och kan rinna ut ur asfalten i förvaringsfickorna och under

transporten. Det finns alltså en gräns för hur lättflytande ett bitumen kan vara för att kunna bygga upp ett sammanhållande bruk tillsammans med det finkorniga stenmaterialet. För hög temperatur kan alltså leda till att asfalten förlorar sammanhållning och beständighet enbart av det här skälet. Till detta kommer förhårdningen, som ytterligare försämrar situationen.

4.1.2 Modifierad asfalt

Syftet med polymermodifiering av bitumen eller tillsats av gummi är att göra beläggningen mer motståndskraftig mot trafikens påkänningar. Det gör beläggningen seg och stark men också massan trögarbetad, vilket klaras med hög tillverkningsstemperatur. Bitumenet som polymeren eller gummit tillsatts hårdnar emellertid. Enligt Shellhandboken /1./ fördubblas bitumenets oxidation (förhårdning) för var 10:e °C över 100 °C, motsvarande en ökning av mjukpunkten med 1,25 °C. Effekten maskeras av att förväntat resultat av modifieringen delvis är ökad styvhet.

Övertemperaturer i modifierade asfalttyper har spillt över till andra asfaltsorter som inte modifierats. Problemet drabbar speciellt stenrika asfaltsorter, som svalnar snabb-

bare och exponerar bitumenet mot luftens syre. Beläggningarna riskerar att drabbas av spröda och plötsliga sönderfall, i synnerhet i slutet av vintern.

4.1.3 Handläggningssmassor



Bild 4-1 Smidig massa (t.v.) jämfört med en grymig massa som förlorat läggbarhet och beständighet.

Vid handläggning märks skiftningar åt det styva hållet på flera sätt. Massan blir inte bara tung att bearbeta. Ytan får inte den jämna och släta struktur med bruk runt stenmaterialet som behövs för hållbarheten. Efterhand som massan stelnar blir massan grusaktig i konsistensen, som kommer av att asfalten rullar ihop sig till granuler. Dessa förmår sedan inte de lätta packningsredskapen som används vid handläggning att trycka samman. Ytan får en grov och skiftande karaktär och blir helt enkelt osnygg.

Den grova ytan släpper in vatten och luft i beläggningen, som leder till ett förtida sönderfall

Ökningen av temperaturen för att förlänga hanteringstiden på handläggningssmassor skapar en ond spiral. Ju mer temperaturen höjs desto hårdare blir så småningom bitumenet och desto fortare blir massan svår att lägga ut. En obetänksam överhettning kan alltså styva upp en handläggningssmassa och göra den oläggbar vid en temperatur som normalt borde räcka till.

4.2 Asfaltåtervinning

Vid återvinning tillsätts retur-asfalt antingen kallt eller uppvärmt till 20-50 °C under normal asfalttemperatur. Stenmaterialet måste ges extra värme för att kompensera detta.

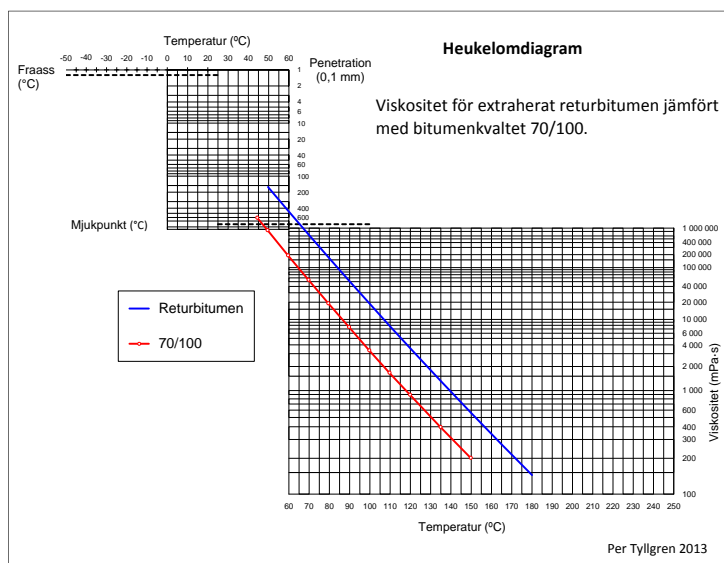


Diagram 4-2 Skillnad i viskositet mellan ett standardbitumen och bitumen i retur-asfalt.

Problemet vore tillräckligt stort om retur-asfalten hade samma kvalitet som nytillverkad asfalt. Så är nu inte fallet utan bitumen i retur-asfalt är mycket hårdare än någon förekommande bitumenkvalitet. Returbitumenet skulle behöva ytterligare 20 °C för att få samma viskositet som en vanligt förekommande bitumenkvalitet 70/100. Istället har retur-asfalten efter paral-

Utsugstrummans uppvärmning väsentligt lägre temperatur. Läget är detsamma för kall-doserad returafalt. I båda fallen krävs, vid de doseringsmängder som behövs för lönsamhet, stenmaterialtemperaturer som med bred marginal överstiger 165 °C, alltså potentiellt skadliga temperaturnivåer.

4.3 Asfaltverkets funktion

Värmetrummans brännare har hög kapacitet. Stenmaterialet kan värmas i princip hur mycket som helst. Gränsen nås när andra delar av asfaltverket tar skada. Den värmekänsliga funktionen är reningen av rökgaser genom filteranläggningen.



Bild 4-2 Ventilationskanaler går från flera utsug med damm och rökgaser till filteranläggningen för rening.

Rökgaserna från värmetrumman och evakueringsluften från asfaltverkets olika utrymmen med undertryck tar med sig fukt, damm och förbränningsrester som avskiljs i filteranläggningen. Fukten kommer från stenmaterialet och uppvärmd returafalt. Luft och gas måste ha tillräckligt hög temperatur för att inte fukten ska falla ut på ventilationskanalernas insidor och slutligen i stoftavskiljningens filter. Utfälld fukt binder findelar till beläggningar som tynger ner konstruktionen och till slut måste avlägsnas för hand, vilket är ett smutsigt och mödosamt arbete. Fukt som stannar i filtren av för låg temperatur gör att de till slut slår igen och upphör att fungera.

Det optimala läget är att hålla rökgasernas fukthalt på en jämn och låg nivå. Det sker genom att styra luftmängd, hastighet och värme till ett balansläge när filtret renar som bäst utan fuktutfällningar någonstans i kanalerna. Det kräver ett jämnt körsätt i processens alla steg. Det gäller inte minst valet av stenmaterialtemperatur, som inte får hamna utanför det optimala temperaturspannet och inte variera för mycket mellan asfaltsorterna.

4.4 Emissioner

Utsläpp från asfalttillverkning handlar om partiklar och gasformiga ämnen. Någon utlakning av betydelse förekommer inte. Den viktigaste påverkan av omgivningen, vid sidan av damm och buller, är koldioxiden från fossila bränslen, som är den vanliga energikällan i asfalthanteringen.

Asfaltarbetarnas hälsotillstånd och arbetssituation har belysts i flera arbeten /4., 5./. Stressen över trafiksituationen är den helt dominerande orosfaktorn. Några bestående hälsoeffekter av emissioner har inte konstaterats. Däremot kan rök och lukt, framför-

allt orsakade av höga temperaturer, ge upphov till övergående huvudvärk och illamående.

4.4.1 Yttre miljön

Växthusgaser kommer från tillverkning av asfaltens komponenter, från uppvärmningen, transporterna och utläggningen. Emissionerna kan inte undvikas men de kan minimeras, bl a genom att undvika övertemperaturer. Låg temperatur får samtidigt inte vålla annan miljöbelastning eller alltför korta livscyklar, som i sig belastar miljön på olika sätt genom att underhållsarbeten och nybyggnation måste utföras oftare.

4.4.2 Arbetsmiljön

Arbetsmiljön är den viktigaste miljöaspekten på hanteringen med asfalt och där är temperaturen en avgörande faktor. Övertemperaturer kan orsaka mångdubbelt högre emissioner av rök, lukt och ämnen med betydelse för välbefinnande och komfort i arbetet. Samtidigt arbetar personalen i en öppen och ofta väl ventilerad miljö som minskar exponeringen. Situationen är en annan i stillastående luft, t ex inomhus eller i trånga stadsmiljöer. Asfjaltläggarens förare har svårare att dra sig undan emissionerna än övriga i läggjarlaget. I det fallet har introduktionen av hytter inneburit en avsevärd förbättring /Bild 3.1/.

5. ÅTGÄRDER VID AVVIKANDE TEMPERATURER

Tillfälliga eller permanenta avvikelser från den ideala verkstemperaturen kan kompenseras med processtekniska lösningar eller tillsatsmedel.

5.1 Asfaltverket

De flesta asfaltverken kan variera temperaturen över ett brett register och utan större problem avvika uppåt och nedåt från den optimala temperaturen under kortare



perioder. Överhettade rökgaser kan kylas ned med extra intag av luft före filtret. Fukt från blöt kalldoserad asfalt kan avledas från asfaltblandaren via särskilda kanaler för att inte nå fram till filtret. En intressant lösning finns på Skanskas asfaltverk i Hallsberg, som kondenserar förångad fukt i särskilda kyltorn. Kondenserat vatten, som också innehåller dammpartiklar, sedimenterar i flera steg innan vattnet släpps vidare.

Bild 5-1 Vattenångorna kondenserar i vertikala rör vid sidan av filtret. Vattnet samlas upp i sedimentationstankar.

5.2 Tillsatsmedel i bitumen och asfalt

5.2.1 LTA-tekniker

Konceptet lågtemperaturasfalt, LTA, står för tillverkning av varmmassa långt under normala temperaturer. Det talas om sänkningar på 25-30 °C. Framförallt leverantörer av maskiner och tillsatsmedel hakade på trenden i början av 2000-talet och en rad process- och materialtekniska lösningar har tagits fram /11/. Möjligheten att minska koldioxidutsläpp och sänka uppvärmningskostnaderna och samtidigt göra något för att minska emissionerna på arbetsplatserna och omgivningsmiljön är behjärtansvärda syften som väckt berättigad uppmärksamhet. Flera rapporter och utredningar har producerats i ämnet för att undersöka en del givna frågor: håller asfalten lika länge och är den lika läggbar som konventionellt blandad asfalt? Svaren avgör om konceptet är ett framsteg eller inte.

Eftersom hållbarhet bara kan påvisas i verkliga fall, och få har tid att vänta, handlar det om att finna övertygande indicier. Den som lyckas vidmakthålla sin tes uppnår så småningom trovärdighet. Ett sådant läge uppstår när en lanserad teknik återkommande vinner uppdrag i konkurrens med andra. Den verkliga effekten av en LTA-teknik kanske aldrig kan bevisas. Det kan lika gärna bero på ett välorganiserat företag eller enskilda individers yrkesskicklighet. Den ovissheten får omvärlden leva med.

Tillsatsmedel för sänkning av temperaturen, och därmed också för bibehållen istället för höjd temperatur, som återkommande provas är:

1. Cecabase (Ceca)
2. Rediset (AkzoNobel)
3. Aspha-min (MHI)
4. Sasobit (Sasol)

Produkterna beskrivs ingående på företagens hemsidor och i en rad publikationer. En vetenskaplig studie av Sasobit genomfördes vid amerikanska National Center for Asphalt Technology (NCAT) vid Auburn University, Alabama, USA /10./. Ämnet motsvarade utlovade egenskaper som temperatursänkande tillsatsmedel.

5.2.2 Val av tillsatsmedel

Varje alternativ har för- och nackdelar, som kan vara svåra att väga mot varandra. De kan handla om tekniska, ekonomiska eller miljömässiga aspekter. Ett av tillsatsmedlen uppfyller flera angelägna krav, nämligen Sasobit. Det luktar inte, har ingen miljömärkning av något slag och är enkelt att dosera och blanda in. Ett plusvärde framför de övriga konsistensgivande ämnena är att bitumenet stabiliseras efter att asfalten har kommit på plats. Det beror på att Sasobit kristalliserar (stelnar) ungefär vid 100 °C. För att i någon mån klarlägga påståenden om Sasobit's effekter genomfördes utredningar i form av examensarbeten vid Lunds Tekniska Högskola /2., 5./.

Ett annat tungt vägande skäl till valet av tillsatsmedel är referensen till Skanska Asfalt i Danmark. Man har lyckats övertyga den egna organisationen och marknaden om medlets nyttiga effekter och har tagit entreprenader under en lång följd av år i konkurrens med kompetenta medtävlare. Företaget tvekar inte i sin uppfattning om nyttan och har lyckats lösa en rad produktions- och materialtekniska problem. Om det skulle handla om en placeboeffekt ("sockerpiller") kvarstår att förklara de goda resultaten på vägarna. Det danska exemplet är inte isolerat. Företaget Sasol har haft framgångar världen över med sin produkt. Huruvida allt som utlovas verkligen är korrekt kan ifrågasättas. Det räcker om egenskaperna som berör OTA-konceptet stämmer.

Ett annat tillsatsmedel som minskar behovet av temperatur är *föryngringsmedel* till returafalt. Det underlättar blandningen av returafalt med jungfruliga material utan att behöva ta till kraftiga temperaturhöjningar på stenmaterialet, som annars är helt nödvändigt. Slutresultatet liknar också mer en nytillverkad produkt än vad som annars är fallet. Detta är utrett och redovisas i /3./.

6. MATERIALUNDERSÖKNINGAR

I två examensarbeten vid LTH:s Ingenjörshögskola i Helsingborg /2., 6./ redovisas effekter av Sasobit i *bitumen* respektive i *asfalt* tillverkad i Skanskas asfaltverk i Valinge utanför Varberg.

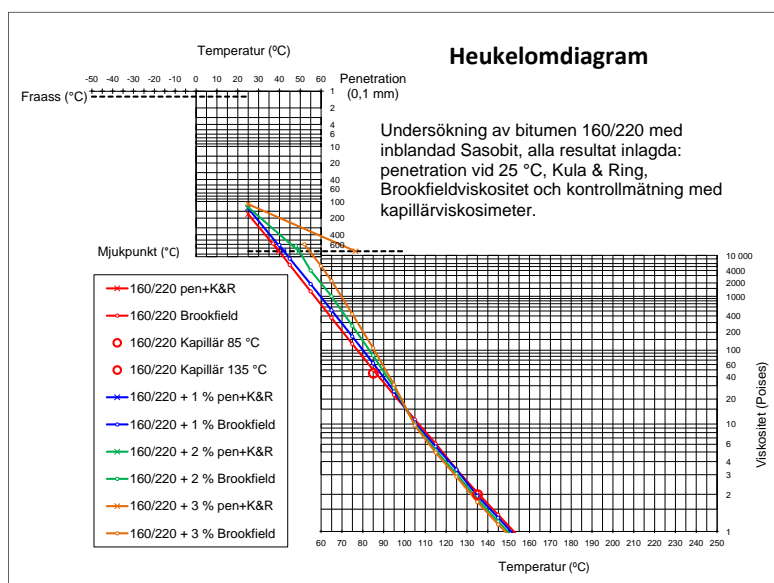
Examensarbetena, som stöddes ekonomiskt av Skanska, utfördes på LTH:s laboratorium i Lund och Skanska VTC Syd i Malmö. Det första arbetet från våren 2011 inriktades på viskositetsmätning av olika bitumenblandningar med hjälp av *dynamisk rotationsviskosimeter*, DRV. Den andra undersökningen från våren 2012 utfördes på laboratorietillverkade provkroppar av asfaltmassa från asfaltverket i Valinge. Massorna lades ut hösten 2011 som förstärkningslager på en närbelägen väg.

6.1 Förstudie av effekten på bitumenviskositet

Olika uppgifter förekommer om lämpliga mängder Sasobit för olika syften men följande är vanliga:

- 1-2 % för sänkning av tillverkningstemperatur med 25-30 °C
- 3 % för att öka stabiliteten i asfaltmassan.

I examensarbetet /2./ blandades Sasobit in i två bitumenkvaliteter, 160/220 och 50/70, med 1, 2 respektive 3 %.



Viskositeten uppmättes med rotationsviskosimeter i steg om 10-15 °C från ca 200 mPa·s till mjukpunkten vid 1 300 000 mPa·s. Syftet var att registrera var förändringarna i viskositeten inträffar.

Diagram 6-1 Viskositet för 160/220 med Sasobit mätt med DRV i varje markerad punkt.

Källa: /2./

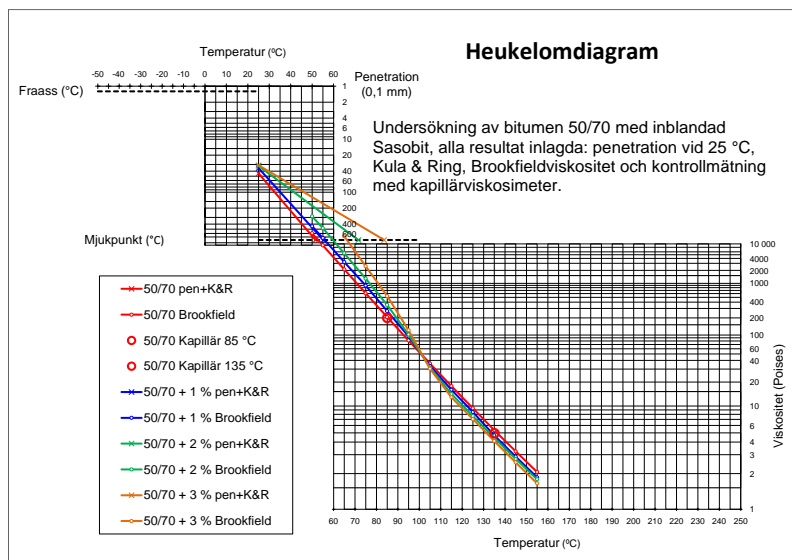


Diagram 6-2 Viskositet för 50/70 med Sasobit mätt med DRV i varje markerad punkt. Källa: /2./

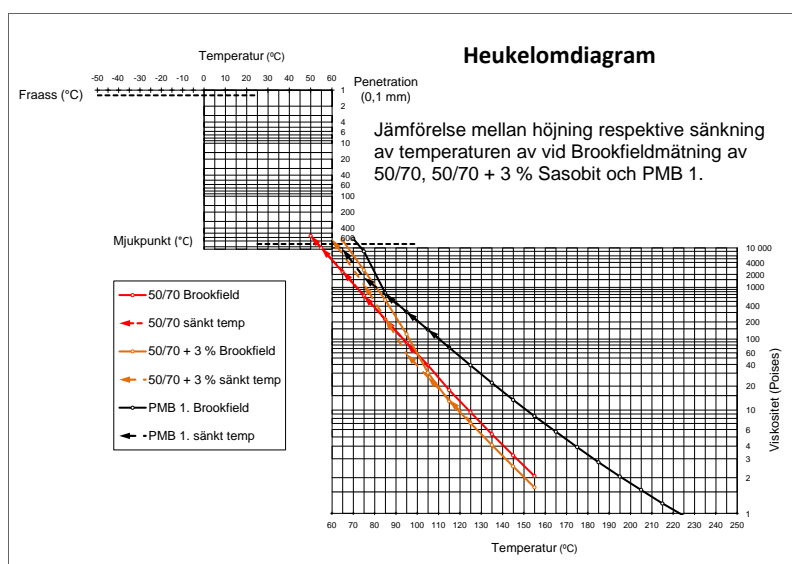


Diagram 6-3 Undersökning av effekten av ökande respektive minskande mätriktning för temperaturen. Källa: /2./

Kommentarer

Diagrammen visas i större versioner i bilagorna.

Penetrationstestet fungerar också för modifierade bitumenblandningar, till skillnad från Kula&Ring-metoden. Penetrationsvärdena faller ut på ett trovärdigt sätt. Därför har metoden fortfarande en vettig funktion att fylla i jämförande test, även om den inte kan tolkas i reologiska termer. Den är också snabb och enkel att utföra. I det här fallet kompletterar den viskositetsmätningarna på en temperaturnivå som är svår att mäta med rotationsviskosimeter. Willem Heukelom valde skalan i det viskösa diagrammet för att värdena skulle bilda rätta linjer. Flera examensarbeten på LTH har visat att sambanden är lätt krökta, vilket inte minskar användbarheten av Heukelomdiagrammet i jämförande tester.

I båda diagrammen ändras viskositeten markant mellan 95-115 °C under uppvärmning. Smältpunkten för ämnet Sasobit ligger vid uppvärmning på 115 °C. I den smälta fasen ligger Sasobitblandat bitumen förskjutet åt vänster ca 1 °C/vikt% för 160/220 och 1,5 °C/vikt% för 50/70. Stegringen efter Sasobits kristallisering är tydlig men måttlig för 1 %, något större för 2 % och kraftig för 3 %, så kraftig att det var svårt att avläsa ett stabilt mätvärde.

Resultaten bekräftar andra utförda mätningar och lokaliserar punkten där kristalliseringen börjar visa effekt. Det finns en annan presenterad rapport med ännu tätare steg i mätningen men eftersom det rör sig om blindtest av flera vaxsorter kan resultaten inte jämföras med säkerhet men det står var och en fritt att gissa vilket ämne som kan vara Sasobit /7./.

En intressant observation gällande modifierat bitumen är att temperaturen vid 1 300 000 mPa·s (mjukpunkten) är betydligt lägre registrerad med DRV än med Kula&Ring-testet. Det är allmänt känt att Kula&Ring-testet inte är tillförlitligt för bitumenblandningar med polymerer och vaxer. K&R-värdet säger i de fallen inget av reologisk betydelse. Däremot ger temperaturen vid 1 300 000 mPa·s, uppmätt med dynamisk viskositetsmätare, relevant reologisk information som kan kopplas till många års erfarenhet.

Mätningarna var de första som gjordes med den nyanskaffade rotationsviskosimetern. Mättekniken var därför inte helt utprovad. Huvuddelen gjordes med stegvis ökad temperatur. Den naturliga temperaturförändringen är i minskande riktning, eftersom produktionen sker under avsvälning. Mätarbetet avslutades med att undersöka vilken inverkan det kunde ha för resultatet. Det visade sig att polymermodifierat bitumen nådde mjukpunkten vid 1 300 000 mPa·s vid lägre temperatur under avsvälning. Uppstyvningen av Sasobitblandningen försköts ned till ca 95-85 °C, alltså ungefär 15 °C lägre än vid stegrad temperering. En avsvalnande smälta av Sasobit visade sig började stelna först vid 105 °C, vilket förklarar resultaten med bitumenblandningarna. För rent bitumen och blandningar över Sasobits smältpunkt hade emellertid tempereringens riktning ingen betydelse. För att undvika de här olikheterna i framtiden bestämdes att mätningar med rotationsviskosimeter alltid ska börja vid den högsta temperaturen och avslutas vid den lägsta.

6.2 Inverkan på asfaltens egenskaper i fullskaligt försök

Skanska beslöt göra ett fullskaleförsök med inblandning av Sasobit på asfaltverket i Valinge hösten 2011. Vägen förbi asfaltverket skulle förstärkas och man valde att göra försök med olika bitumenblandningar med Sasobit i AG 16. Som jämförelse med ordinarie recept blandades två andra med 3 respektive 6 % Sasobit. Prover togs ut för undersökning på laboratorium av massornas läggbarhet och beläggningarnas hållfasthet, vilket gjordes inom ramen för ett examensarbete finansierat av Skanska /6./.

Variationer i hållrumshalt anses återspegla ändringar i läggbarhet. Metoden har tidigare använts för att visa effekterna av olika tillsatsmedel. Därför valdes samma utvärdering i den här studien.

Hållfastheten kan återspeglas med en rad mätmetoder, och ett vanligt test som finns i flera varianter är spårbildning, bland annat i NCAT-utredningen om Sasobit /10./. Eftersom metoden inte fanns tillgänglig på LTH:s eller Skanskas laboratorium valdes två andra vanliga mätmetoder: pressdraghållfasthet vid 10 °C och Marshallstabilitet vid 60 °C. På så vis jämfördes blandningarnas egenskaper på olika temperaturnivåer, även om mätningarna är av skilda slag.

Tillverkade provkroppar undersöktes med avseende på:

- Hålrums halt
- Pressdraghållfasthet (ITS) (brottvärde, styvhet och brottöjning)
- Marshallstabilitet (stabilitetsvärde, styvhet och brottöjning)

Utöver sammansättningen undersöktes också:

- Viskositet (DRV) och penetration på extraherat bindemedel.

6.2.1 Sammansättning

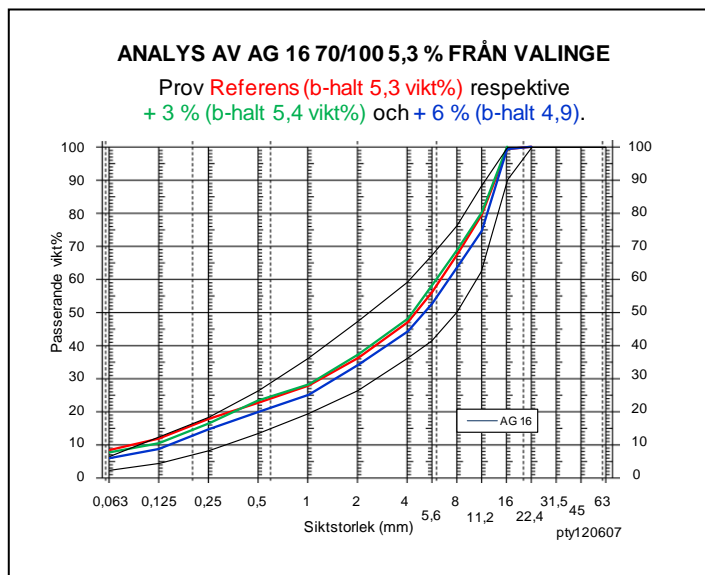


Diagram 6-4 Sammansättning av provmassorna från Valinge. Källa: /6./

6.2.2 Viskositet och penetration

Från massorna extraherades bitumen som sedan undersöktes med DRV.

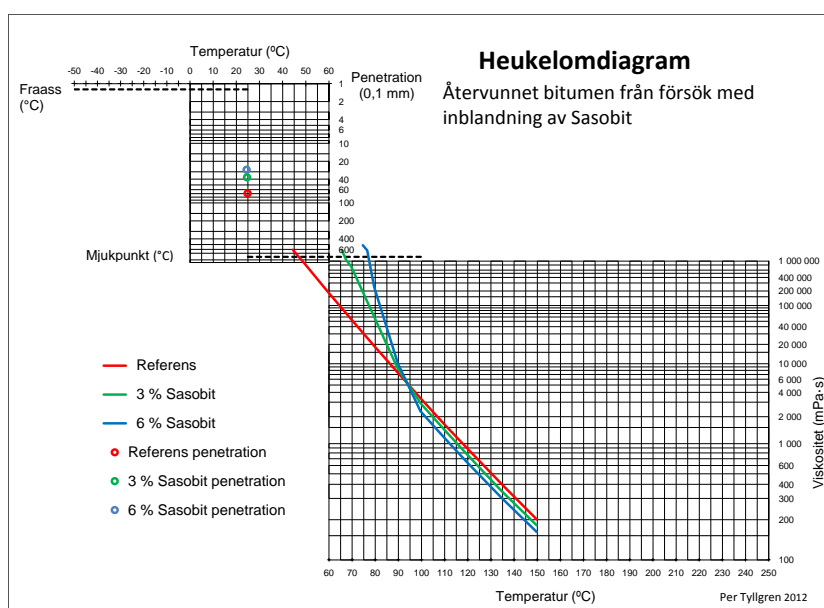


Diagram 6-5 Viskositeter i extraherat bitumen från provmassorna i Valinge Källa: /6./

Den ursprungliga bitumenkvaliteten motsvarar 70/100 som har passerat ett asfaltverk och lagts ut. Viskositeterna stämmer väl överens med resultaten i förstudien. Ökningen av viskositeten börjar mellan 100 – 90 °C, vilket är ca 5 °C högre än i förförsöket. Stegringen av viskositeten med 6 % Sasobit var så kraftig under 85 °C att mätvärdena var svåra att avläsa.

Tabell 6-1 Resultat av penetrationsbestämning av extraherat bitumen från de olika massarecepten. Källor: /2., 6./

Bindemedel	Penetration vid 25 °C					
	Förstudie				Fullskala	
	160/220		50/70		70/100	
	1/10 mm	log pen	1/10 mm	log pen	1/10 mm	log pen
Referens	170	2,23	44	1,64	69	1,83
+ 1 % Sasobit	133	2,12	35	1,54		
+ 2 % Sasobit	127	2,10	32	1,51		
+ 3 % Sasobit	112	2,05	31	1,49	37	1,57
+ 6 % Sasobit					28	1,45

I Heukelomdiagrammet avsätts logaritmen av penetrationsvärdet. Skillnaden mellan de logaritmerade mätvärdena motsvarar i princip effekten av tillsatt Sasobit. Mätningen var svår att genomföra. Vid 3 och 6 % buktade ytan i penetrationsburken kraftigt och var immig av Sasobit, vilket försvårade placeringen av nålen. Riktningen är emellertid entydig. För varje ökning av tillsatsen minskar penetrationen. Redan 1 % ger en påtaglig uppstyvning. Vid 3 % är förändringen avsevärd. 6 % förefaller onödigt mycket. Man kunde lika gärna välja en styvare bitumenkvalitet. Det bör tilläggas att tillverkaren Sasol inte rekommenderar högre tillsatser än 3 %.

6.2.3 Tillverkning av Marshallprovkroppar

För att belysa effekten av Sasobit på konsistensen kompletterades normal tillverkning av Marshallprovkroppar med färre antal slag vid lägre temperatur. En eventuell smörjande effekt av Sasobit antogs resultera i lägre hålrum.

Tabell 6-2 Inställningar vid tillverkning av Marshallprovkroppar. Källa: /6./

	Antal slag	Temperatur, °C
Normal tillverkning	100	140
Lättare komprimering	50	120

6.2.4 Hålrums halt

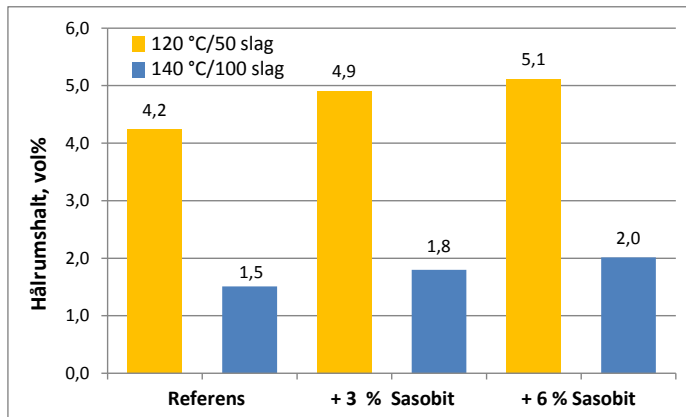


Diagram 6-6 Hålrums halter i Marshallprovkroppar efter olika packningsarbete. Källa: /6./

Hålrums halten är påfallande låg för att vara AG 16. Det tyder på att den relativt magra massan i sig är mycket lättkomprimerad eller i varje fall har en tätlagrad struktur i stenmaterialet. Redan här väcktes en misstanke om att hålrums halten inte skulle bli den utslagsgivande parameter som antogs i början. Lägre tempe-

ratur och färre antal slag hade emellertid avsedd effekt, vilket framgår av att hålrums met ökar överlag. Någon skillnad mellan recepten syns emellertid inte. Snarare verkar recepten med Sasobit ha högre hålrums halt. Det finns ingen annan logisk förklaring än att små förändringar i massans sammansättning har större inverkan än tillsatsen av Sasobit. Att smält Sasobit, som har lägre viskositet än bitumen, skulle göra massan obenägen till packning känns inte som en rimlig förklaring.

Om hålrums halt ska användas som ett mått på hanterbarhet i en jämförelse bör sammansättningen vara av ett utslagsgivande slag och garanterat lika. Huruvida vertikal komprimering i en form kan stå för alla aspekter på läggbarhet kan diskuteras. Förbättring av hanterbarheten med hjälp av Sasobit blev i varje fall *inte* bekräftad i den här provningen.

6.2.5 Pressdraghållfasthet (ITS)

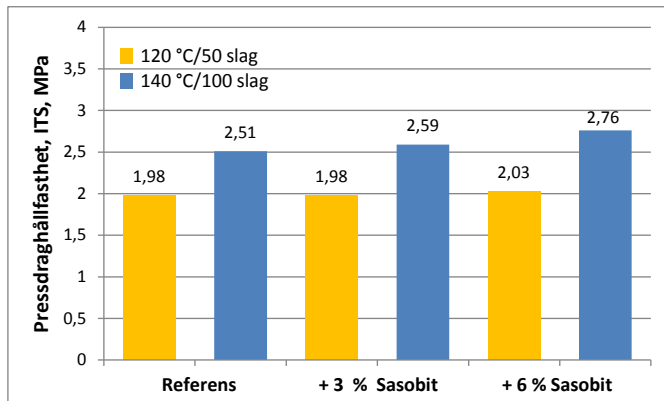


Diagram 6-7 Pressdraghållfasthet, ITS, uppmätt vid 10 °C.
Källa: /6./

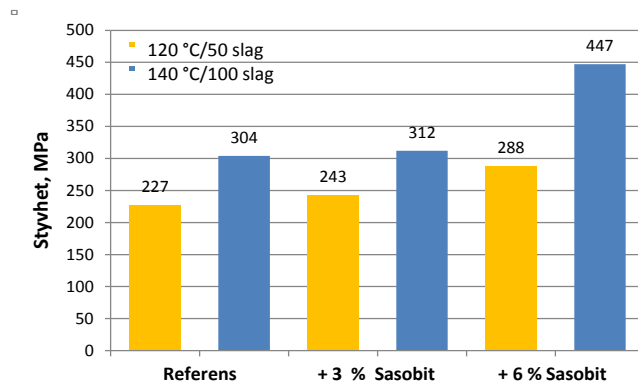


Diagram 6-8 Styvhet, TMm, från ITS-mätning vid 10 °C.
Källa: /6./

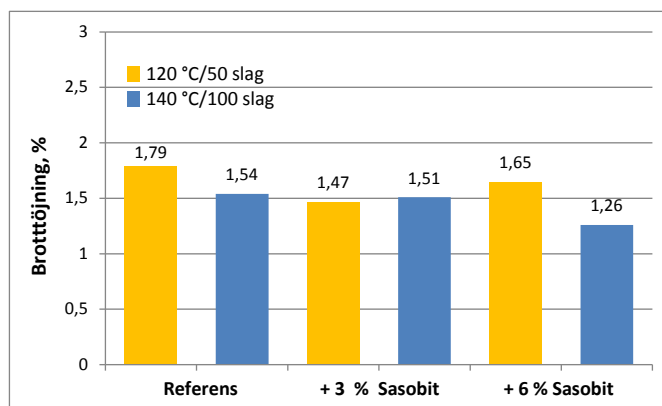


Diagram 6-9 Brotttöjning från ITS-mätning vid 10 °C.
Källa: /6./

Styvhetsmättet *töjningsmodul*, TMm, är den *maximala lutningen* i sambandet mellan pressdraghållfasthet och brotttöjning. Effekten av Sasobit på draghållfasthet och styvhet finns men är storleksmässigt osäker. Det är ganska logiskt att inverkan av Sasobit minskar vid lägre temperatur, 10 °C i det här fallet. Bitumenet styvnar till

snabbare än Sasobit vid minskande temperatur och är till slut lika styvt som kristalliserad Sasobit. Mindre effekt av Sasobit på styvheten vid låg temperatur är inte negativt, eftersom goda egenskaper i det fallet snarare präglas av eftergivlighet och inte styvhet.

6.2.6 Marshallstabilitet

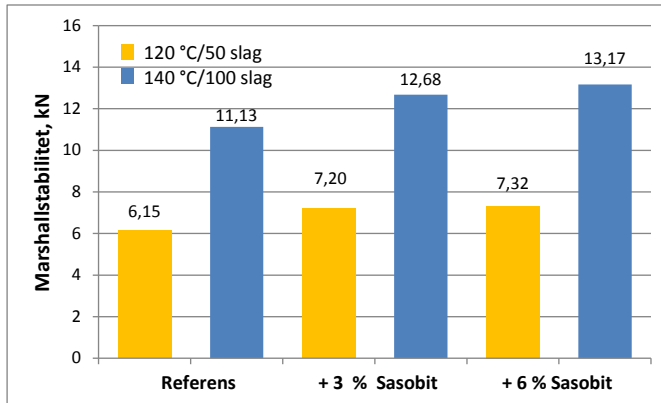


Diagram 6-10 Marshallstabilitet vid 60 °C. Källa: /6./

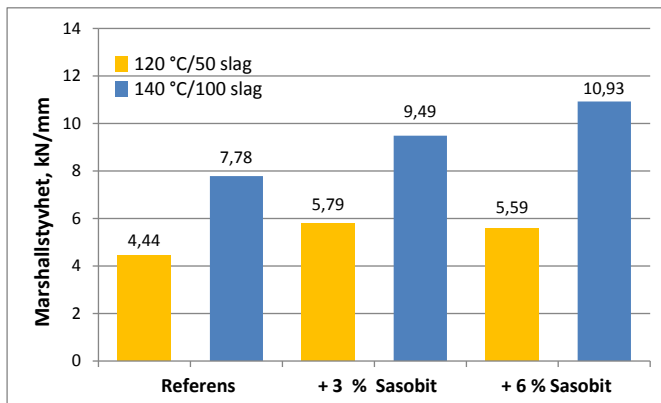


Diagram 6-11 Marshallstyvhet, ett styvhetsmått från Marshallprovning uppmätt vid 60 °C. Källa: /6./

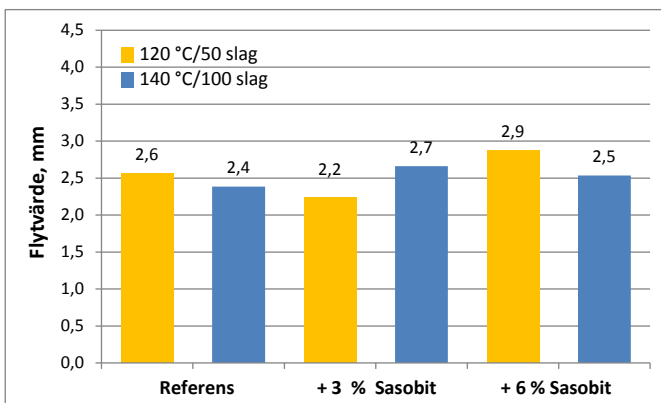


Diagram 6-12 Flytvärde (brottöjning) i Marshalltestet vid 60 °C. Källa: /6./

Marshallstyvhet är den *maximala lutningen* i sambandet mellan stabilitet och flytvärde och inte kvoten mellan maximal stabilitet och flytvärde vid brott, som annars används som styvhetsmått. Marshallstyvhet är i det här fallet ett bättre mått på materialets styvhet i oförstört tillstånd.

Den tydligaste effekten av Sasobit, vid sidan av mjukpunktsförändringen, ses i Marshallstabilitet och Marshallstyvhet uppmätt vid 60 °C. Det är logiskt eftersom Sasobit är styvare än bitumen vid de temperaturerna. Förbättrat motstånd mot plastisk deformation vid höga beläggningstemperaturer brukar framhållas som en av fördelarna med Sasobit. Tester av hållbarhet mot spårbildning brukar också göras vid 50-60 °C. En koppling mellan spårtest och Marshallstabilitet är därför rimlig. God spårresistens påvisas också av NCAT-utredningen om Sasobit/10./.

6.3 Konsistensens påverkande faktorer och betydelse

Bitumenets viskositet är den mest avgörande faktorn för asfaltmassans konsistens men inte den enda. Rätt bitumenkonsistens är inte någon garanti för att asfaltmassan är läggbar men med den faktorn i fel läge försvåras fortsatt proportionering. Egentligen är det *brukets konsistens* som är avgörande och i den blandningen ingår förutom bitumen också filler och stenmaterial upp till 2 mm. Stenmaterialet över 2 mm har också inverkan på massakonsistensen genom stenarnas storleksfördelning, form och yttextur.

Konsistensen är en sammansatt egenskap som har skiftande betydelse i tillverkningsprocessens olika steg. Det rör sig om:

1. Fördelning av bindemedel på stenmaterial och findelar som är grundläggande för asfaltens karaktär som flexibelt material
2. Sammanhållning mellan grovt material och bruk som betingar separation och beläggningens funktion och varaktighet
3. Smidighet, bärförmåga och sammanhållning under utbredning med maskin eller för hand som i sin tur är avgörande för den mest fundamentala egenskapen: jämnhet
4. Förmåga att knådas och kavlas utan att spricka under vältning, komprimering med vibroplattor eller med handstöt, som slutligen avgör beständigheten.

För att asfaltbeläggningens avsedda funktion och hållbarhet ska utvecklas maximalt måste de här förutsättningarna vara optimalt uppfyllda. I en situation där någon egenskap snabbt behöver förbättras är ökad värme ibland en möjlighet. Dessvärre har den lösningen också negativa konsekvenser, vilket har berörts i det föregående.

6.4 Exempel på mätning av konsistens

Frågan om asfaltmassors konsistens (eller hanterbarhet och läggbarhet) har tagits upp i flera sammanhang under årens lopp. Ibland har det skett i samband med lansering av nya asfaltkoncept. Under perioden 1975-2000 handlade det om kallblandad asfalt och på senare tid om LTA, lågtempererad asfalt.

Försök har gjorts att bedöma konsistensen på olika sätt. 1979 mättes den på AEB Ö, öppen asfalemulsionsbetong, med genomrinning av en hink med hål i botten (se bilaga 6.). Brytningen av bitumenemulsionen och massans tilltagande styvhet kunde beskrivas men till föga glädje eftersom den var närmast omöjlig att kontrollera.

En ambitiös och omfattande utredning med undersökning av hanterbarhet som ett av syftena gällde LTA och utfördes av norska *Foreningen Asfalt og Veiservice (FAV)* /8./. Med tryckmätare i asfaltrakor och pulsmätare på yrkesarbetarna skulle hanterbarheten hos olika lågtemperaturtekniker mätas och jämföras. Slutsatsen av studien om arbetsbelastning formulerades på följande sätt: *”De mekaniske belastningsmålingene som ble gjennomført under legging av både varmasfalt (referanse) og lavtemperaturasfalt (LTA) viser ingen statistisk eller fysiologisk signifikant forskjell i hjertefrekvens eller statistisk signifikant forskjell i belastning målt med kraftsensor i asfaltrake ved håndlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt. Studien viser dermed ingen forskjell i mekanisk belastning ved håndlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt, men antall forsøk som ble utført var noe begrenset.”* En annan möjlig slutsats är att mätarna inte registrerade massans hanterbarhet utan bara avspeglade det faktum att yrkesarbetarna anstränger sig lika mycket oavsett massans hanterbarhet. Ett bättre och enklare alternativ vore att fråga yrkesarbetarna vad de tyckte, de som har större erfarenhet av detta än någon annan.

En intressant studie av konsistenspåverkande faktorer utfördes av NCAT /9./. Med hjälp av en torsionsmätare placerad på blandaraxeln i en laboratorieblandare för asfalttillverkning mättes vridmotståndet för olika recept. En rad parametrar varierades, även temperaturen.

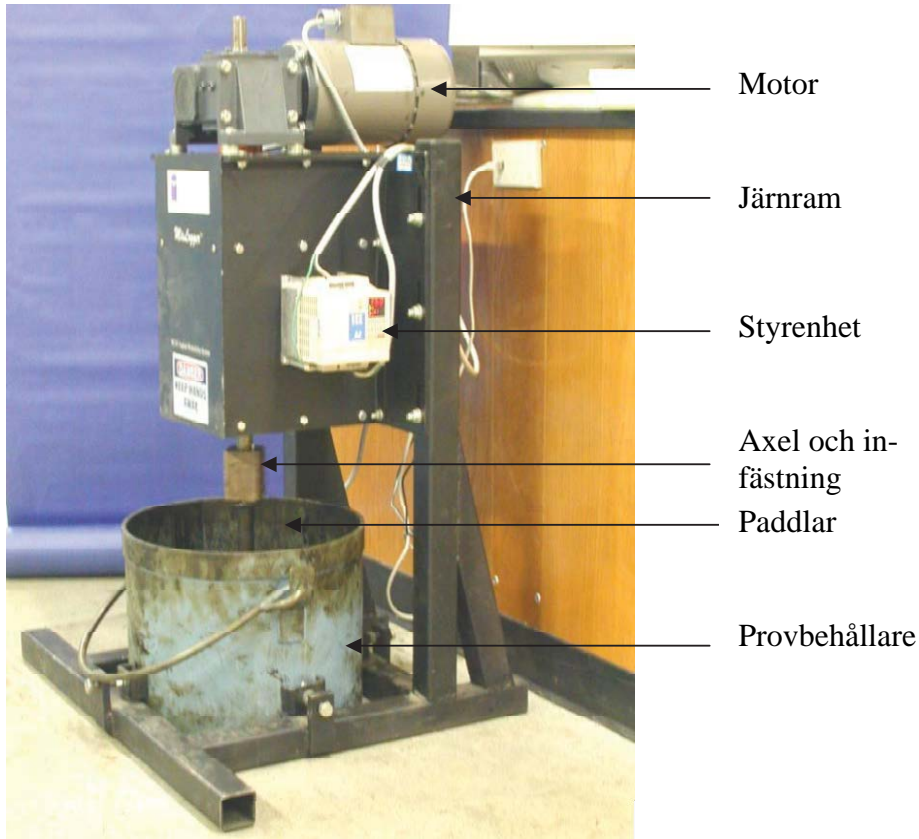


Bild 6-1 Konsistensmätare för asfaltmassa använd av NCAT. Källa: /9./

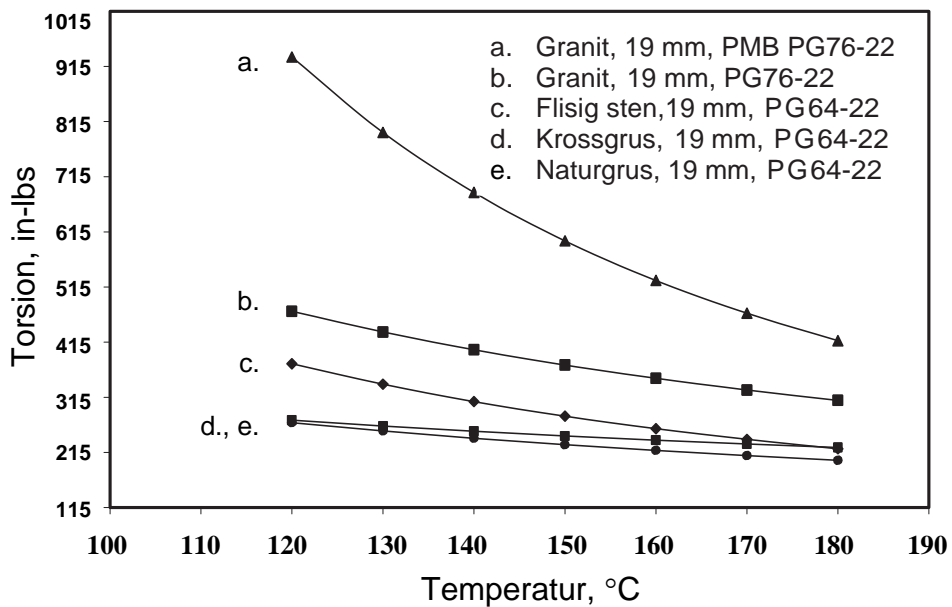


Diagram 6-13 Konsistensmätning på olika asfaltmassor. Källa: /9./

Dessvärre provades inga konsistensbefrämjande tillsatser vid det här tillfället.

6.5 OTA i praktiken

6.5.1 Föryngrad returafalt

I /3./ provades effekten av föryngringsmedel på återvunnen asfalt och i det sammanhanget noterades skillnader i hanterbarhet mellan oföryngrad (RA) och föryngrad returafalt (FRA). Massan med RA upplevdes som stum och livlös. Beläggningen kunde inte vältas som vanligt eftersom den då fick tvärgående sprickor. Beläggning med FRA uppförde sig normalt och kunde hanteras som nytillverkad asfalt.



Bild 6-2 Vältförarna tvingas vänta tills RA-massan svalnat innan maskinerna kan gå på utan att ytan spricker. Notera den vertikala kanten, som uppstår med en stum och oflexibel massa.
Källa: /3./



Bild 6-3 Vältarna kunde börja bearbeta FRA-massan direkt efter utläggaren. Kanten på läggardraget bildar en rasvinkel som resultat av massans levande karaktär.
Källa: /3./

6.5.2 Massa till handläggning

Ett fall som är särskilt beroende av asfalt med rätt konsistens är handläggningsmassor. Den vanliga lösningen när det blir problematiskt är att öka temperaturen men det finns två bättre alternativ:

- Ändrad sammansättning
- Sasobit.

Asfaltmassa till handläggning är en liten produkt för asfaltverket, som ofta får stå tillbaka för viktigare leveranser. Det händer att massorna tillverkas tidigt på morgo-

nen före alla andra. Eftersom massorna har liten stenstorlek vill man också undvika att större stenar från tidigare tillverkning kommer med av misstag, vilket annars är mycket störande för handläggarna. Utlastning bör ske innan de större leveranserna börjar tillverkas. Massan ska gärna räcka hela dagen för att inte störa produktionen på asfaltverket och för att slippa en extra transport och stillestånd i utläggningsarbetet. Allt sammantaget resulterar i extra hög temperatur på massan. Det får gärna ryka blått när asfalten lastas ut. Ökad temperatur gör att bitumenet hårdnar och att asfalten ändå styvnar lika fort, temperaturhöjningen till trots. Asfalten blir istället svårlagd vid en högre temperatur, som annars borde vara tillräcklig.

För att prova ett alternativ till ökad temperatur valdes en handläggningsmassa som tillverkas på Skanskas asfaltverk i Dalby. Receptet hade efter några misslyckanden på garageinfarter med märken efter cykelställ fått ett styvare bitumen, 70/100, och lägre bindemedelshalt och en stenrik korngradering. Följden blev ytterligare ökat temperaturbehov och förkortad hanteringstid eftersom steniga massor svalnar snabbare. När stenrik massa rakas ut lossnar stenen från massan och ansamlas i ytan med ett grovt och osnyggt utseende som följd.

Besök på olika arbetsplatser för handläggning under hösten 2010 och samtal med yrkesarbetarna resulterade i en förbättrad sammansättning enligt följande:

1. Bitumenkvalitet 100/150
2. Ökad bindemedelshalt med 0,1 %
3. Minskad mängd naturfiller
4. Minskad andel 4-8 mm och ökad mängd 2-4 mm för bättre balans mellan fraktionerna
5. 1 % Sasobit beräknat på bitumenmängden
6. Stenmaterialtemperatur 165 °C.

Bitumen 160/220 hade varit ett bättre alternativ men den sorten fanns inte tillgänglig. Av sekretesskäl avslöjas inte hela sammansättningen. Exemplet visar att det finns en bästa sammansättning för varje täkt och asfaltverk, som får provas fram i varje enskilt fall efter principerna för OTA.

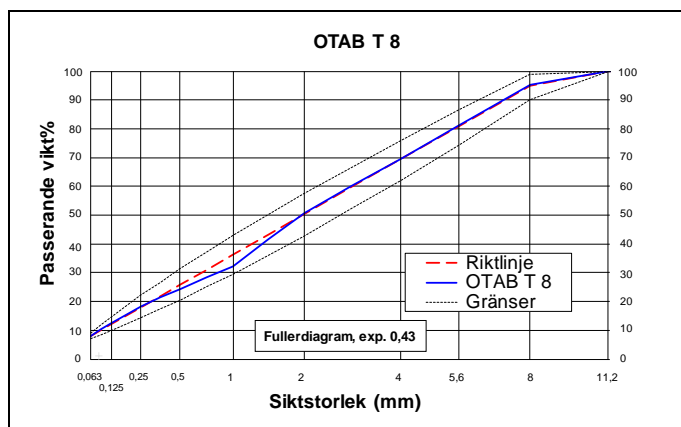


Diagram 6-14 Riktlinje enligt Fuller för stenmaterial till handläggningsmassa och rekommenderad sammansättning för OTA-massa.

En viktig punkt i proportioneringen, efter valet av bitumen, är att stenstorlekarna sammansätts enligt en så kallad Fullerkurva, som används i amerikanska asfaltkonceptet Superpave. Stenmaterialen över 2 mm bildar ett stenskelett som hålls samman av ett bruk (bitumen+filler+0-2 mm). Om kornen inte kuggar ihop uppstår separation som inte kan återställas med handredskapen. Ytan blir grov och öppen som

innebär att beläggningen exponeras för nedbrytande faktorer.

6.5.3 Exempel på utläggning av OTA

Från Skanskas asfaltverk i danska Køge anskaffades Sasobit paketerat i storsäck.



Bild 6-4 Sasobit anskaffades till Skanskas asfaltverk i Dalby för blandningsförsök. Sasobit levereras i storsäck i form av små kulor.

Sasobit doserades genom en lucka när bitumen sprutades in. Vaxet smälter vid 115 °C och blandas lätt i bitumenet. Vanligtvis används en doseringsutrustning för pellerade tillsatsmedel men den var upptagen av annat material vid det här fallet. Om doseringen sker för snabbt kan klumpar av osmält Sasobit uppstå i asfalten men det undviks om materialet skruvas in i jämn takt. Hanteringen är okomplicerad ur miljösynpunkt och är fri från emissioner.



Bild 6-5 Doseringsluckan för Sasobit in i asfaltblandaren. "Spridern" fylls med handläggningsmassa för hela eller halva dagsbehovet.



Bild 6-6 Den gamla trottoarläggaren på bilden är fortfarande ett uppskattat hjälpmedel. OTA-massan var lättlagd vid normala temperaturer.



Bild 6-7 Den smidiga och formbara massan gav täta och starka övergångar till anslutande ytor. Närbilden visar att massan har en balanserad sammansättning av stenstorlekar och bruk.



Bild 6-8 I trånga utrymmen måste asfaltmassans ibland bäras fram för hand. Då krävs att den fortfarande kan läggas ut och komprimeras när temperaturen sjunker.

OTA-massan klarade utläggning ned till 125 °C utan problem. Eftersom Sasobit börjar kristallisera vid 100 °C under avsvälning bör temperaturen hållas däröver tills den komprimerats. Det är inte säkert att uppstyvningen därunder blir särskilt märkbar men det har inte undersökts.



Bild 6-9 En refug och trafikerade ytor belades med samma OTA-massa på ett exploateringsområde vid Hyllie tågstation i Malmö en blåsig och kylslagen novemberdag 2010.



Bild 6-10 Tre år efter utläggning och utan efterpackning av trafik ser refugytan med OTA-massa fortfarande tät ut.



Bild 6-11 Trafikerad yta i oktober 2013 efter 3 års byggtrafik.

Trots bistert väder under utläggningen fungerar OTA-beläggningarna tillfredsställande 3 år senare både under trafik och helt ofrafikerad på refuger. Det visar att sammansättningen var lämpligt komponerad för läggbarhet och beständighet.

7. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Asfaltverkets uppvärmningskapacitet är dimensionerad för att på kort tid värma upp kalla maskindelar och driva bort fukt ur ett kallt stenmaterial. Det innebär att det torra stenmaterialet kan värmas till mycket höga nivåer, långt över vad som behövs. Tanken är inte att det ska utnyttjas eftersom det har skadliga effekter på bitumenet. Kvaliteten blir hårdare än avsett och kan försämra funktion och hållbarhet. Tyvärr händer det att den här möjligheten missbrukas. Det är en billig och enkel åtgärd som bara kan upptäckas av ett tränat öga eller med särskilda analyser. Risken att bli avslöjad är ganska liten. Vissa arbeten följs upp i det här avseendet men merparten av produktionen ligger utanför sådan kontroll.

Ett asfaltverk är svårt nog att sköta ur värmesynpunkt utan att temperaturen på tillverkad asfalt dessutom varierar. Viss anpassning måste göras för olika bitumensorter eller behov (transportlängder, förvaringstider, klimat) men det ska hållas inom ett begränsat intervall och framförallt aldrig överskrida den övre gränsen. Om det fortfarande skulle behövas används istället tillsatser som ersätter värme.

LTA-koncepten har visat att det finns alternativ till värme, som också kan användas för att undvika övertemperatur. Några av tillsatsmedlen lämpar sig för det syftet. Ett av dem är Sasobit.

Effekten av smält Sasobit på bindemedlets viskositet i uppvärmt tillstånd är inte särskilt markant. Det skulle bara motsvara en temperaturhöjning på ca 5 °C. Tillverkaren Sasol och användarna hävdar att effekten i praktiken motsvarar betydligt större temperaturförändring, närmare 25 °C.

En fördel med Sasobit framför andra tillsatser för värmereducering är att ämnet har förstyvande verkan när det har kristalliserat i färdig beläggning. Undersökningar visar att detta kan utnyttjas för ökad stabilitet och som alternativ till andra tillsatser för samma syfte men som då inte har Sasobits förmåga att reducera värmebehovet.

Utan övertemperatur i stenmaterialet resulterar både kalldoserad och uppvärmd returafalt i lägre temperatur i färdig asfalt. Avsedda kvaliteter och användningen i en överbyggnadskonstruktion bör utgå från den förutsättningen. Förespråkarna av LTA-konceptet hävdar att kvaliteten kan vara densamma som för varmblandad asfaltbetong men det är inte alldeles nödvändigt. Utvecklingen går allt mer mot analytisk dimensionering, som hittar den bästa lösningen för varje materialteknisk förutsättning och definierat behov. Med ett sådant synsätt kommer alla kvaliteter till nytta.

Baserat på ovanstående resonemang definieras tre temperaturintervall för varmtillverkad asfalt, inom vilka optimerade materialkvaliteter produceras för passande syften:

1. *Normal temperatur:* 150-165 °C
2. *Reducerad temperatur:* 135-150 °C
3. *Låg temperatur:* 120-135 °C

Om något behov påkallar högre temperatur än den normala kompenseras det med tillsatser. De två nedre intervallen åstadkoms genom tillsats av stenmaterial eller returafalt med lägre temperatur och kompenseras kvalitetsmässigt med tillsatser om det behövs.

7.1 Normal temperatur, 150-165 °C

Varje asfaltverk har en bästa temperatur, som kan variera över säsongen men bör ligga inom ett givet intervall om 15 °C. För nordiskt vidkommande med de vanliga bitumensorterna 160/220 till 50/70 kan det röra sig om 150-165 °C. För högpreste-

rande beläggningar används styvare bitumensorter, 50/70 eller modifierade varianter, som tillsätts Sasobit eller motsvarande temperatursänkande tillsatser.

7.2 Reducerad temperatur, 135-150 °C

Återvinning av returafalt har kommit för att stanna av ekonomiska och miljömässiga skäl. För att det också ska bli en beläggningsteknisk framgång måste den resulterande temperaturen tas med i utformningen av slutprodukten och valet av användningsområde. Efter parallelltrumman kan returafalten som mest komma upp i 140 °C. Under ogynnsamma förhållanden med mycket fukt och kall väderlek kan det stanna vid 110 °C. Ett spann på 20-40 % returafalt ger rimlig lönsamhet. Högsta och lägsta temperaturerna blir enligt tabellen:

Tabell 7-1: Temperatur i färdig massa med uppvärmd returafalt. Källa: / 3./

Doserad mängd returafalt, %	Temperatur i uppvärmd returafalt, °C	
	110	140
20	142-154	148-160
40	134-143	146-155

Den lägre tillsatsen kan i bästa fall jämföras med normalt tillverkad asfalt medan högre tillsatser bör klassas i det reducerade temperaturspannet. Lämpligt bindemedel för intervallet är 160/220 eller mjukare.

Resonemanget bygger på att returafalten är föryngrad. Utan föryngring har slutresultatet ingen möjlighet att hanteras vid resulterande temperaturer utan kräver övertemperatur i stenmaterialet. Hur mycket beror på hårdheten i returbitumenet men det kan handla om 180-200 °C. Fallet är emellertid inte aktuellt i ett OTA-sammanhang som detta.

7.3 Låg temperatur, 120-135 °C

Kalldosering åstadkommer låg temperatur på ett naturligt sätt utan sänkning av temperaturen på det varma stenmaterialet. Det kan handla om kallt stenmaterial eller kall returafalt. Energivinsten är densamma som om stenmaterialet skulle ges motsvarande låga temperatur men asfaltverket fungerar sannolikt sämre i det fallet. Med kalldosering kan produktionen kombineras med varmtillverkad asfalt utan avbrott för omställning av temperaturen.

Mängden kalldoserat materialet har tillsammans med fukthalten kraftig inverkan på resulterande temperatur. 5-15 % returafalt ger ett rimligt ekonomiskt resultat. Om syftet är låg temperatur utan återvinning väljs en mellanliggande stenfraktion med låg fukthalt.

Tabell 7-2: Temperatur på färdig massa med kalldosering.

Källa: / 3./

Kalldoserad mängd returafalt eller stenmaterial, %	Fuktkvot i doserat material, vikt%	
	2	4
5	140-153	137-150
10	131-142	125-136
15	121-132	113-123

5 % kalldosering med 2 % fukt platsar i det reducerade temperaturintervallet. Övriga fall hamnar i kategorin för låg temperatur. I fallet med returafalt förutsätts förnygring om resultatet ska jämföras med asfalt avsedd för ett LTA-koncept.

Det förekommer uppgifter om 30 % kalldoserad returafalt. En sådan blandning kräver mycket hög temperatur på stenmaterialet, över 200 °C, bara för att platsa i kategorin för låg temperatur, eftersom mycket energi åtgår till att förångas fukten. 150 °C som resulterande temperatur skulle kräva över 250 °C på stenmaterialet. Som nämntes i avsnittet om värmestrukturans kapacitet är det maskintekniskt ingen omöjlig uppgift. Förstört bindemedel och en asfalt med kort hållbarhet är i det fallet inte bara en uppenbar risk utan kan betraktas som ett faktum.

Produkter som innehåller höga andelar returafalt utan förnygringsmedel, över 50 %, brukar användas i kvaliteter som mer motsvarar mjukasfalt än varmblandad asfalt.

Intresserade av LTA-produkter kan välja de tillsatser eller tekniker som passar. Det finns en uppsjö /11./ och bland dem finns Sasobit. Annars är ett *styvare mjukbitumen* ett passande alternativ för asfaltkvaliteter som liknar mjukasfaltens hårdare sorter. Sådana kvaliteter har av hävd sin huvudsakliga användning på lågtrafikerade vägar i kallare klimat. De kan med fördel användas överallt utan klimatiska avgränsningar.

LITTERATUR OCH LÄNK

1. Shell Bitumen Handbook. *5th edition. 2003.*
2. Palmér, J., Žužo, E. Faktorer som påverkar hanterbarheten hos asfalt. *LTH Ingenjörshögskolan. Helsingborg. 2011.*
3. Tyllgren, P. Föryngring av returafalt med miljöanpassade tillsatsmedel. *SBUF/Skanska. 12230/ra100215a. Stockholm/Malmö. 2010.*
4. Järvholm, B., Bergdahl, I. Undersökning av förekomst av cancer bland svenska asfaltarbetare – Resultat av den svenska delen av en internationell studie. *Umeå Universitet, Yrkesmedicin, Institutionen för folkhälsa och klinisk medicin. Umeå. 1999.*
5. Tyllgren, P. Bättre arbetsmiljö för asfaltarbeta på väg. *SBUF/Skanska. 11736. Stockholm/Malmö. 2007.*
6. Kujundzic, A., Lund, J. OptimalTempererad Asfalt – en undersökning av asfalt med Sasobit. *LTH Ingenjörshögskolan. Helsingborg. 2012.*
7. Soenen, H., Tanghe, T., Redelius, P., De Visscher, J., Vervaecke, F., Vanelstraete, A. A laboratory study on the use of waxes to reduce paving temperatures. *Nynas Bitumen AB/Belgian Road Research Centre. Nynäshamn/Antwerpen.*
8. Olsen, R., Line Daae, H., Halgard, K., Hersson, M., Thorud, S., Madsen, R. A., Knardahl, S., Ellingsen, D. G. Prosjekt LavTemperaturAsfalt 2011. Del 1. Kartlegging av kjemisk arbeidsmiljø og mekanisk belastning ved utlegging av varmasfalt og lavtemperaturasfalt. *FAV. Høvik/Oslo. 2012.*
9. Gudimettla, J.M., Cooley Jr, A.L., Brown, E.R. Workability Of Hot Mix Asphalt. *NCAT. Auburn University, AL, USA. 2003.*
10. Hurley, G.C., Prowell, B.D. Evaluation Of Sasobit For Use In Warm Mix Asphalt. *NCAT. Auburn University, AL, USA. 2005.*
11. <http://www.warmmixasphalt.com/WmaTechnologies.aspx>

BILAGOR

Bilaga 1. Viskositetsdiagram över 50/70 och två PMB.

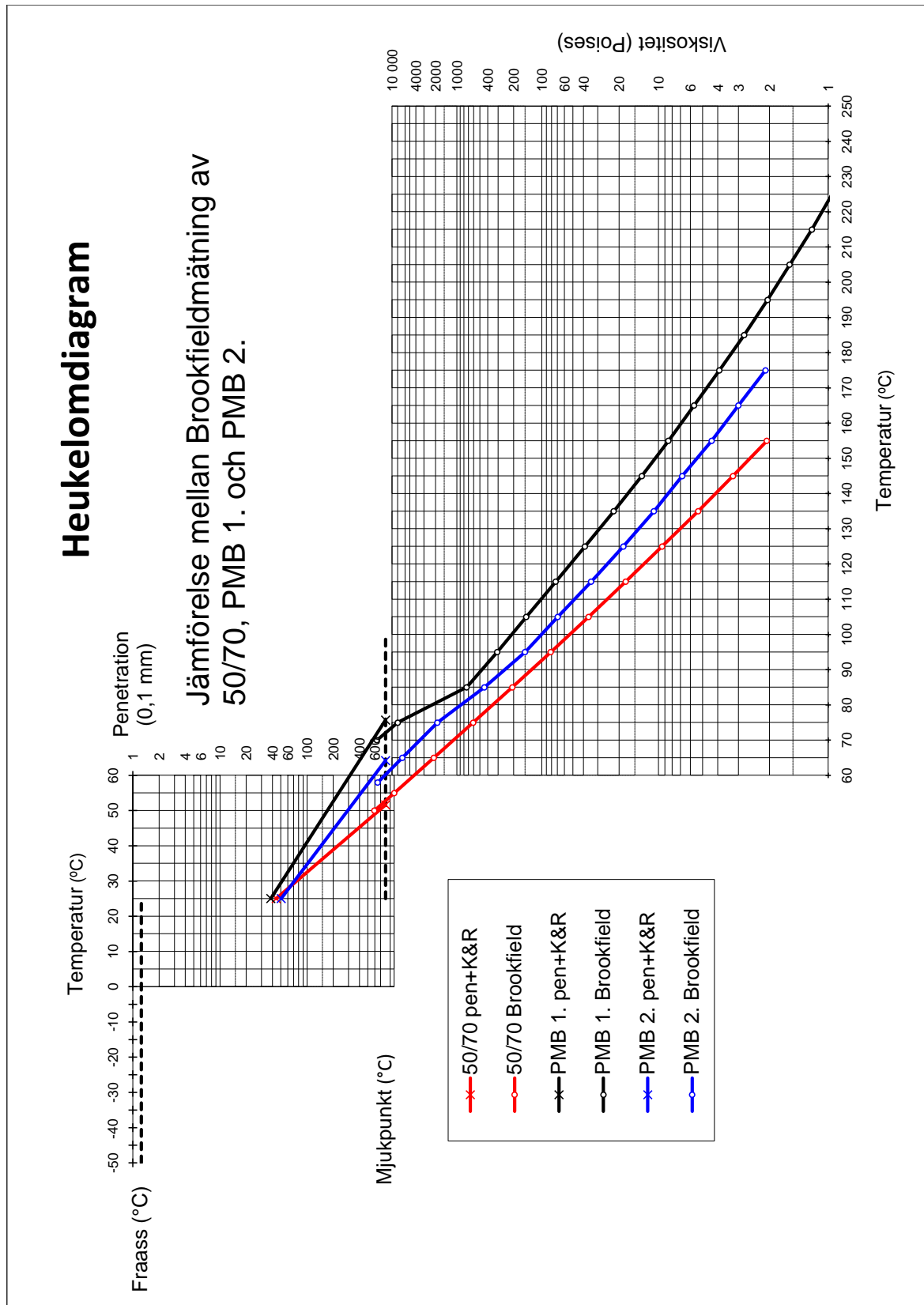


Diagram 0-1 Heukelomdiagram med viskositetsmätning på rent bitumen och två polymermodifierade sorter.

Källa: /2./

Bilaga 2. Viskositetsdiagram över 160/220 med Sasobit.

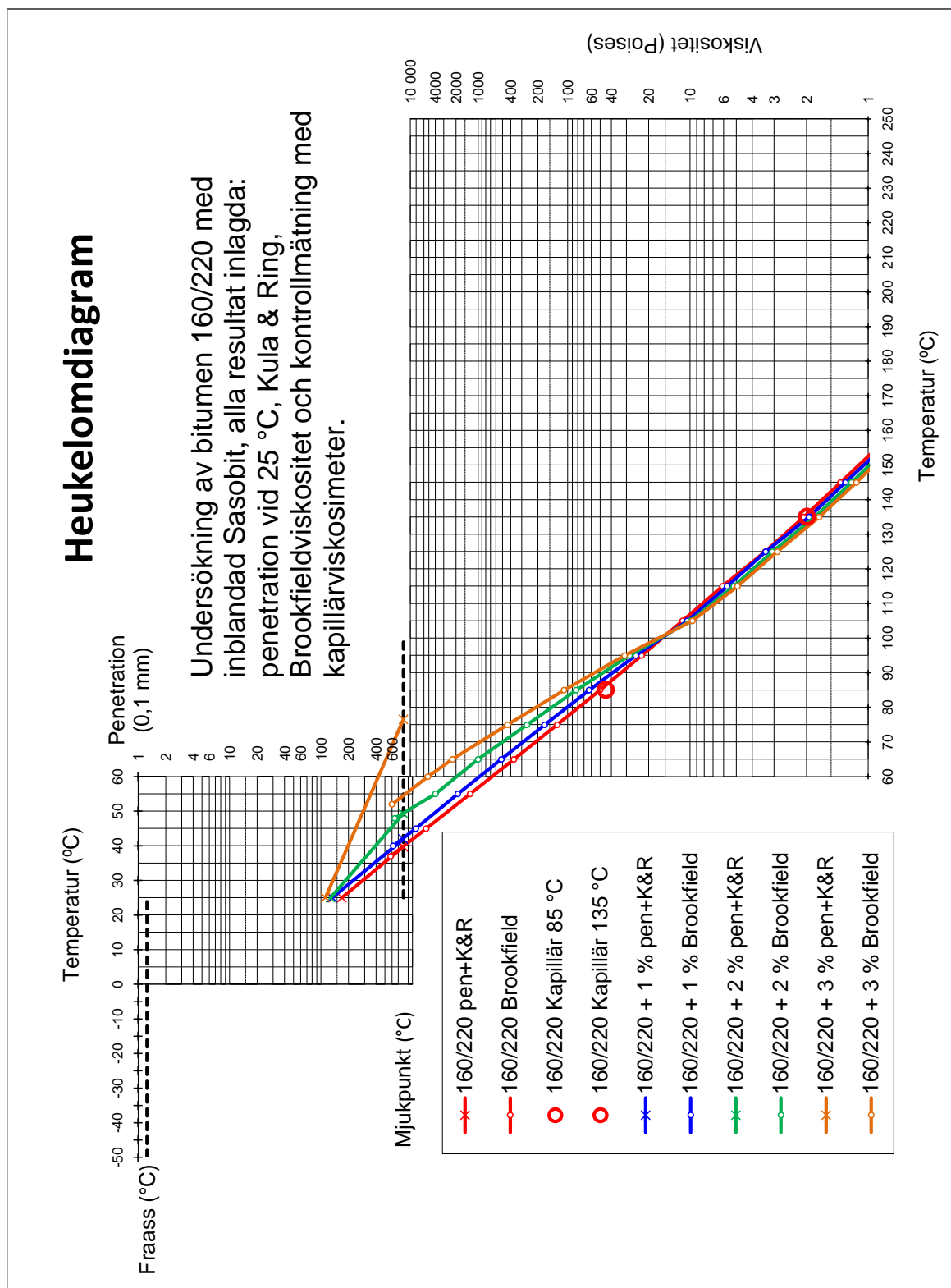


Diagram 0-2 Viskositet för 160/220 med Sasobit mätt med DRV i varje markerad punkt.

Källa: /2./

Bilaga 3. Viskositetsdiagram över 50/70 med Sasobit.

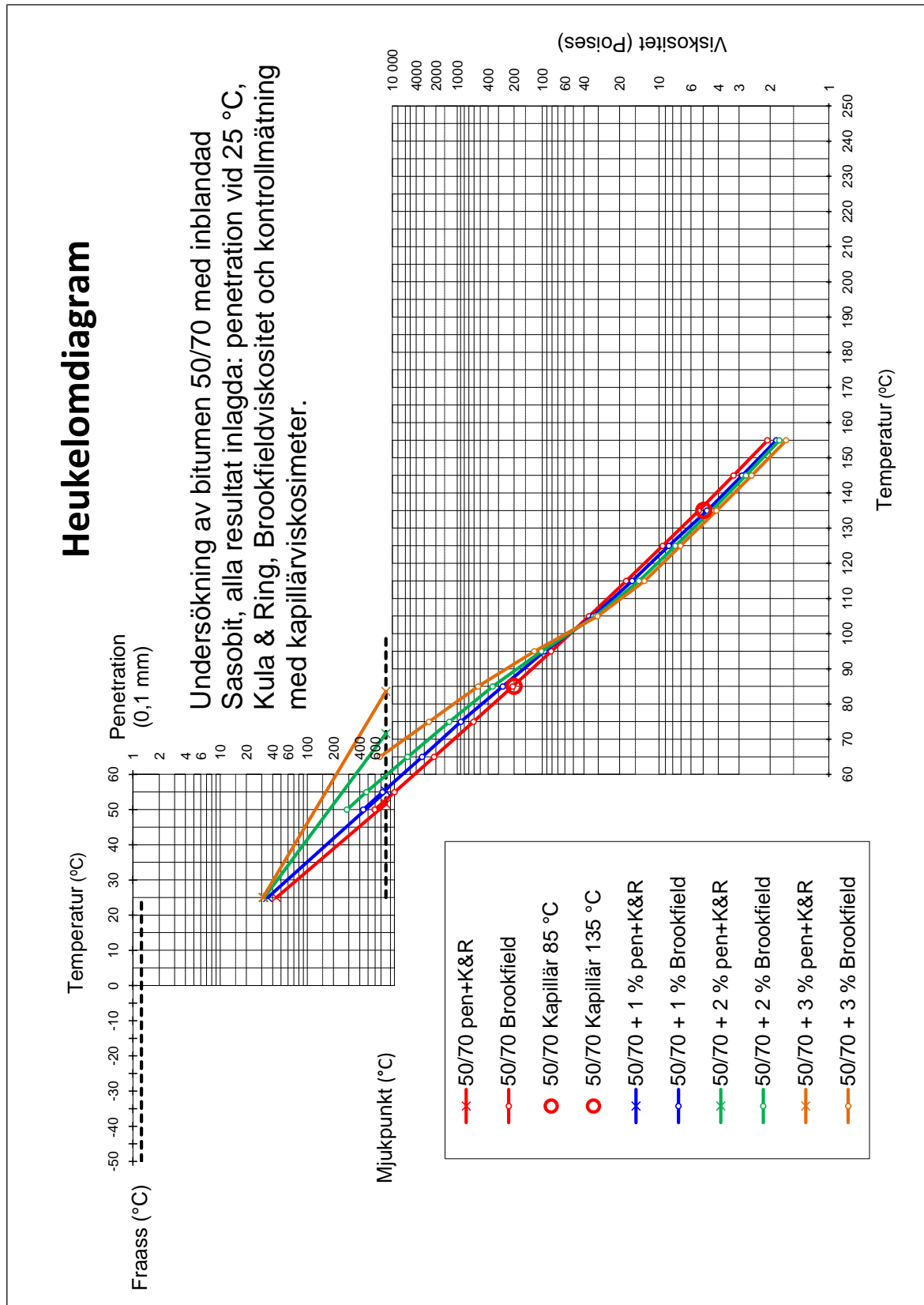


Diagram 0-3 Viskositet för 50/70 med Sasobit mätt med DRV i varje markerad punkt.

Källa: /2./

Bilaga 4. Viskositetsdiagram över olika mätriktningar för temperaturen.

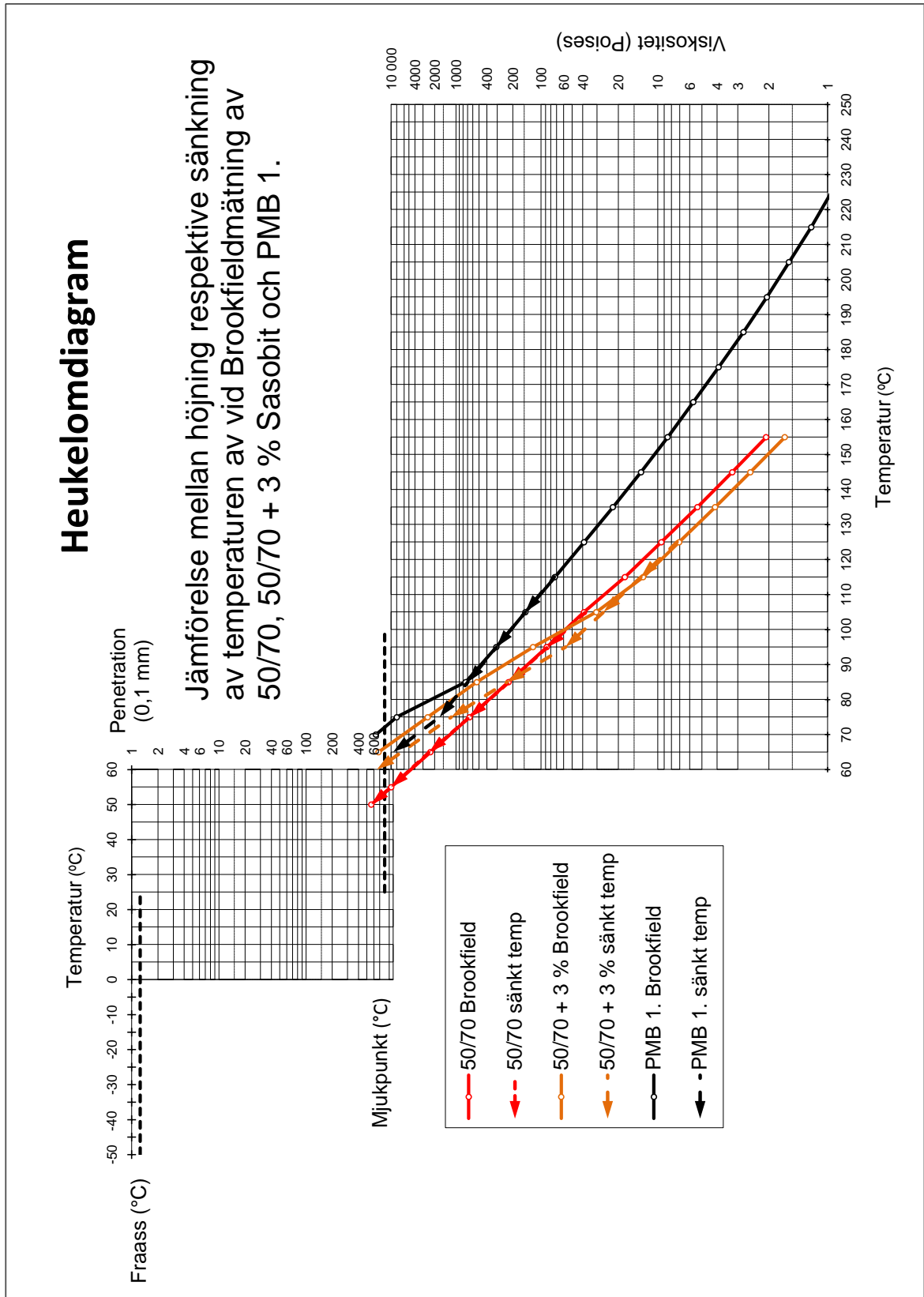


Diagram 0-4 Undersökning av effekten av olika mätriktning på temperaturen.

Källa: /2./

Bilaga 5. Viskositetsdiagram över bitumen med Sasobit från fullskaleförsök.

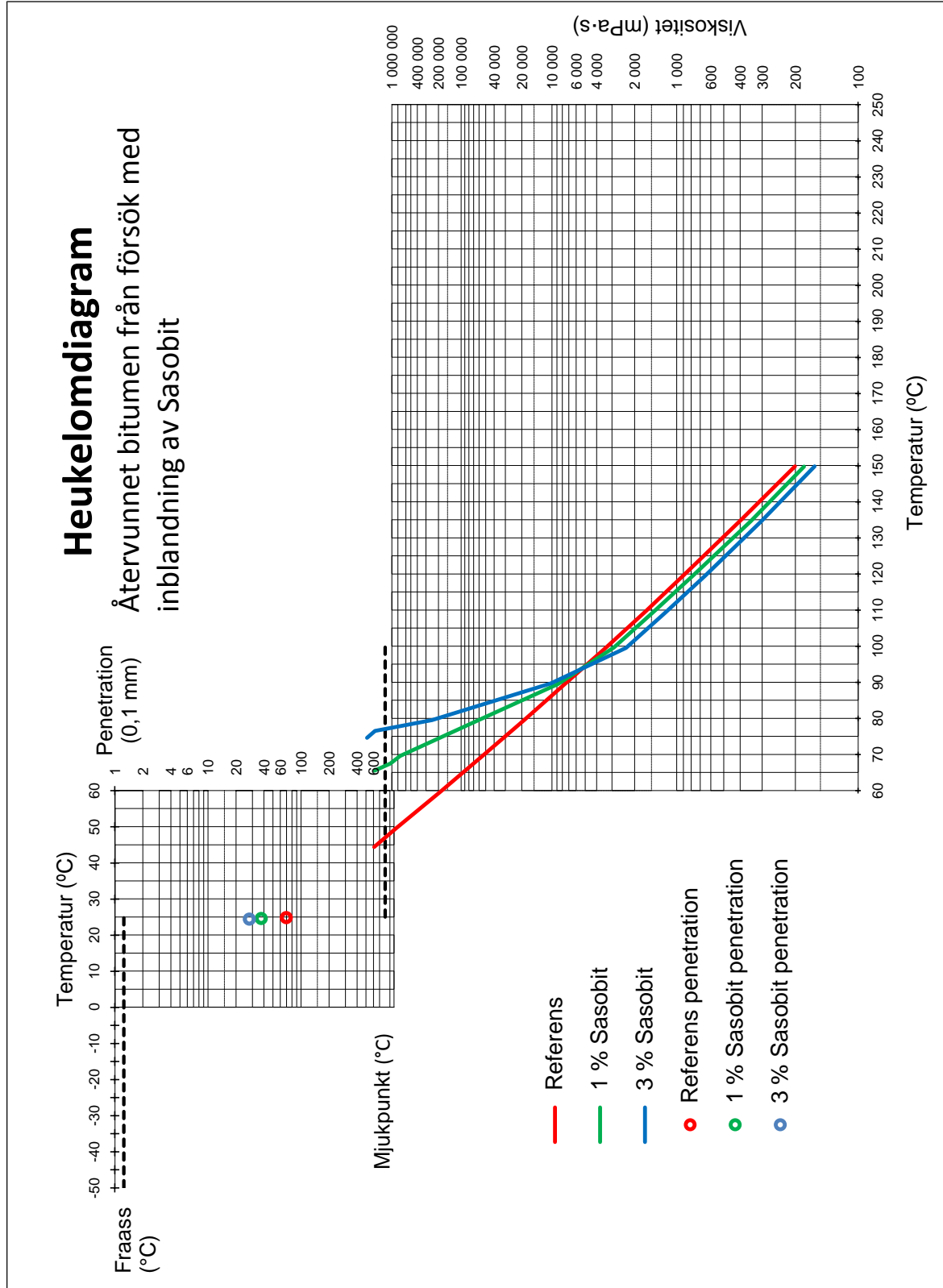


Diagram 0-5 Viskositeter i extraherat bitumen från provmassorna i Valinge

Källa: /6./

Bilaga 6. Konsistensmätning på AEB Ö på E4 vid Gävle 1979.



BILD 1. Temperaturmätning (här i samma hink som ska undersökas).



BILD 2. Hinken lyfts och kronometern startas.

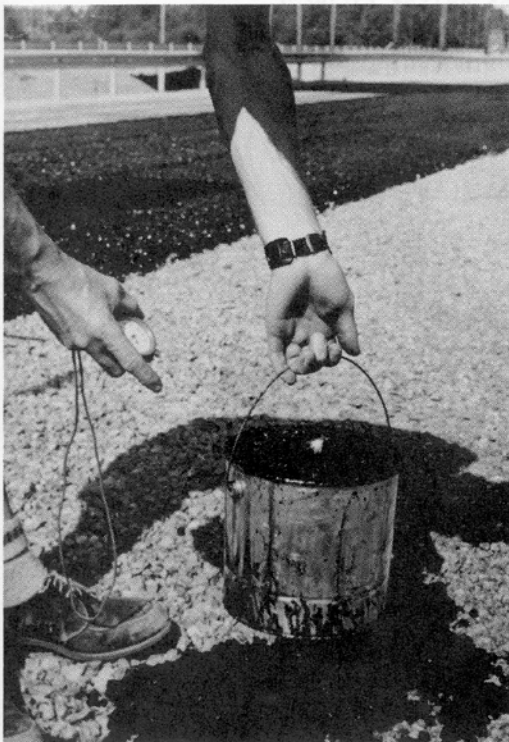


BILD 3. Massan rinner genom hålet i hinkens botten.

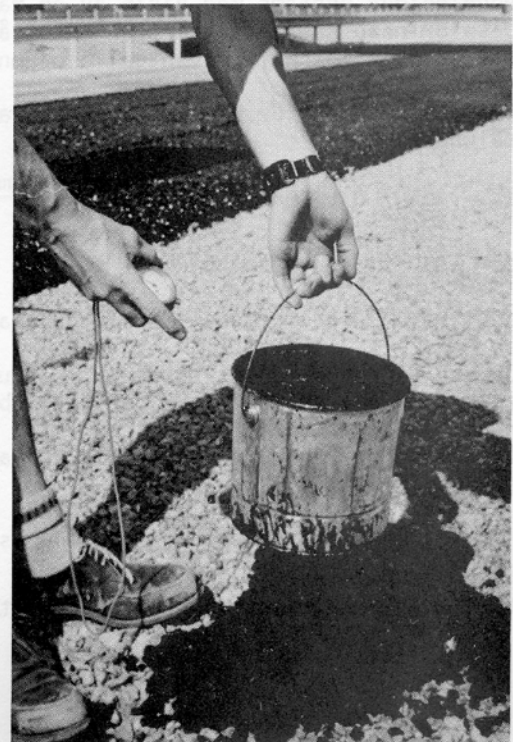


BILD 4. Kulan faller genom hålet och kronometern stoppas.