

OptimalTempererad Asfalt - OTA

- en undersökning av asfalt med Sasobit.



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Teknik och samhälle/Trafik och väg

Examensarbete:
Azur Kujundzic
Johan Lund

© Copyright Azur Kujundzic, Johan Lund

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2012

Förord

Detta examensarbete är den avslutande delen i vår Högskoleingenjörsutbildning Byggt teknik med inriktning väg- och trafikteknik vid Campus Helsingborg, Lunds Tekniska Högskola. Arbetet är fördelat på 22,5 högskolepoäng och utfördes på uppdrag av Skanska Asfalt och Betong AB.

Vi vill först och främst tacka vår assisterade handledare Per Tyllgren, Svenskt VägCentrum Malmö, som med sin expertis och sitt stora engagemang har hjälpt oss under arbetets gång, samt givit oss värdefull feedback och support kring arbetet. Vi är tacksamma för de figurer och tabeller som sammanställts av Per Tyllgren.

Vidare vill vi också tacka vår handledare Åsa Leandersson, Skanska Asfalt och Betong i Helsingborg, för all hjälp vi fått under vårt examensarbete.

Ett stort tack till vår examinator Ebrahim Parhamifar, Universitetslektor vid LTH, som sammanförde oss med Per Tyllgren. Vi tackar även för all hjälp vi har fått under arbetets gång.

Tack till personalen på Skanska VTC i Malmö som vägledde oss vid arbetet med Marshallinstampning, hållrumshalt samt återvinning av bitumen.

Slutligen vill vi tacka vänner och familj som funnits där och stöttat oss.

Samtliga moment från litteraturstudie till mätningar och analyser i examensarbetet har utförts gemensamt.

Lund, juni 2012
Azur Kujundzic
Johan Lund

Sammanfattning

Begreppet *OptimalTempererad Asfalt*, *OTA* står för ett temperaturintervall där bitumen, tillverkning, utläggning och slutprodukt fungerar på sammantaget bästa sätt. Detta kan uppnås på olika sätt med alternativa tillverkningsprocesser, recept och tillsatser.

I examensarbetet undersöks tillsatsämnet Sasobit och dess inverkan på bitumen och asfalt ur ett OTA-perspektiv. Den eventuellt smörjande effekten undersöktes närmare i examensarbetet men även möjliga förstyvande effekter på färdig asfalt.

Tillverkning av asfalt med Sasobit förekommer i stora delar av världen. Sedan några år används produkten i stor skala även i Sverige. Positiva effekter som ökad hanterbarhet vid lägre utläggningstemperatur har kunnat konstateras vid tillverkning och utläggning.

Uttagna asfaltprover av typen AG16 med och utan Sasobit, som tillverkades i full skala i ett asfaltverk, packades till provkroppar med Marshallutrustning. Antal slag och temperaturen vid instampningen varierades.

Asfaltprovkropparna testas med avseende på hålrumshalt, stabilitet och draghållfasthet medan extraherat bitumen testades för dynamiskrotationsviskositet och penetration. Samtliga provmetoder beskrivs och har förutom viskositetsmätningar med Brookfield-utrustning utförts enligt gällande Svenska Standarder men med vissa angivna avsteg.

Någon ökad packningsbarhet kunde inte utläsas av Marshallprovkropparnas hålrumshalter. Andra faktorer kring tillverkningen av provkropparna har tydligen större inverkan än den smörjande effekt som omvittnas av verkspersonal och utläggare.

Bitumen med Sasobit är något mer lättflytande över 100°C, det vill säga över vaxets smältpunkt. Viskositeten stiger sedan kraftigt en bit under smältpunkten. Effekten är som störst ungefär vid 60°C. Mätningen av penetration visar också en uppstyvande effekt men något mindre vid 25°C. Det verkar som om det stelade vaxets inverkan minskar i takt med att bitumenet självt blir allt styvare med sjunkande temperatur.

Styvheten och stabiliteten ökade kraftigt i asfaltprovkropparna i Marshalltestet vid 60°C som en effekt av Sasobit. I Pressdragprovning vid 10°C observerades tendenser till uppstyvning och högre brottvärde men effekten var liten.

Den uppstyvande effekten av Sasobit i utlagd asfalt kan utnyttjas på flera sätt. Ett är att välja ett mjukare bitumen, som bara av det skälet ger en mer lätthanterlig massa. Beläggningen blir sedan tillräckligt styv för sitt syfte av vaxets inverkan. Frågan om Sasobits inverkan på hanterbarheten blev inte besvarad i den här utredningen och föreslås bli föremål för fortsatta studier.

Nyckelord: Asfalt, Sasobit, Vax, Stabilitet, Bitumen, Viskositet

Abstract

The concept of *OptimalTempered Asphalt*, *OTA*, stands for the best temperature all aspects considered for the bitumen and the manufacturing process as well as the final product. This is achieved in various ways using additives, choice of manufacturing procedure and changing mixture of asphalt.

This thesis is a study of the effects the additive Sasobit has on bitumen and asphalt from an OTA perspective. The assumed lubricating effect induced by Sasobit and possible stiffening effects are examined.

Sasobit is used globally in various countries and has been used in Sweden in a large scale over the last decade. Positive effects such as increased manageability at lower temperature have been noticed by producers.

The asphalt concrete used in this study was produced in a full scale asphalt plant. The type of asphalt was a bitumen bound roadbase asphalt and specimens were made using a Marshall impact compactor, but with variations in the number of blows and two different temperatures.

The specimens were tested for air void content, stability and indirect tensile strength while extracted bitumen was tested to determine viscosity and penetration at 25°C. All tests were carried out following current Swedish Standards with a few documented deviations except the determination of viscosity where test procedures were set by manufacturer of the Brookfield Viscometer.

There were no conclusive results in our specimens air void content with wax which would explain the lubricating effect mentioned by producers and those who first hand work with asphalt containing Sasobit.

Bitumen containing Sasobit had a slightly lower viscosity above temperatures of 100°C where the wax was melted. Below the melting point there was a substantial increase in viscosity compared to bitumen without wax. This difference in viscosity and stiffness was at its maximum at temperatures around 60°C. The wax continued to have a stiffening effect on bitumen at the penetration rate test which was carried out at 25°C but as the temperature falls the effects of Sasobit are overtaken by the stiffening effects of bitumen.

Marshall Stability and Marshall Quotient were very much elevated from the use of Sasobit at 60°C while in the Indirect Tensile Strength test at 10°C was very little affected regarding stiffness and the failure value.

The issue of Sasobits effect on workability was not concluded in this work. It still remains to be investigated and is recommended to be looked into in future works. The confirmed stiffening effect can be exploited in many different ways. One is to choose a softer kind of bitumen, to improve workability, which then stiffens to levels needed by the effect of Sasobit.

Keywords: Asphalt, Sasobit, Wax, Stability, Bitumen, Viscosity

Innehållsförteckning

Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Avgränsning	2
1.4 Metod	3
2 Grundläggande fakta	4
2.1 Bitumen	4
2.2 Sasobit	5
2.3 Viskositet	5
3 Metodbeskrivning	6
3.1 Marshallinstampning	7
3.2 Hållrumshalt	8
3.2.1 Skrymdensitet	8
3.2.2 Kompaktdensitet	9
3.3 Återvinning av bitumen från asfalt (Extraktion)	9
3.3.1 Kornfördelning	10
3.4 Penetration	11
3.5 Pressdragprov	13
3.6 Marshallpress	14
3.7 Brookfield	15
3.8 Heukeloms BTDC	16
4 Resultat	17
4.1 Sammansättning	17
4.2 Sammanställning av provningsresultat	17
4.2.1 Packningsprov	17
4.2.2 Penetration	18
4.2.3 Viskositet	19
4.2.4 Marshallprovning	22
4.2.5 Pressdragprovning ITS	24
5 Diskussion och slutsatser	27
5.1 Hanterbarhet	27
5.2 Viskositet	27
5.3 Hållfasthet	28
5.4 Slutsatser	28
6 Fortsättning	29
Referenslista	30
Innehållsförteckning bilagor	33
Bilaga 1	34
Bilaga 2	36
Bilaga 3	38
Bilaga 4	39

Inledning

1.1 Bakgrund

Sedan tiotalet år tillbaka har asfaltbranschen diskuterat möjligheten att sänka temperaturen vid tillverkning och utläggning av olika asfaltsbeläggningar. Intresset har accelererat under de senaste årens miljödebatt. Ursprungligen lanserades idén i slutet av 1990-talet av företagen Shell och Norska Veidekke under namnet Warm ("halvvarm") Mix Asphalt, WMA. Tekniken gick ut på att skumma upp ett mjukbitumen genom tillförsel av vatten. På så vis kan tillverkningstemperaturen sänkas. På svenska kallas konceptet LågTempererad Asfalt, LTA.

Under senare år har fler drivit på konceptet och idag finns en mängd WMA/LTA-varianter, främst pådrivet av leverantörer av olika processer och tillsatsmedel. Huruvida de olika asfaltsorternas egenskaper kan jämföras med konventionellt tillverkad varmasfalt har varit föremål för många diskussioner. Objektivt sett kan kvaliteten ifrågasättas men ingen vill egentligen vara kritisk, när det rör sig om så goda föresatser. Därför berörs frågan med hänsynsfull positiv särbehandling, som kanske inte alltid har förtjänats.

Avsikten med LTA är behjärtansvärd och spännande på många sätt men det finns ett mer angeläget problem som är i behov av en lösning. Det gäller missbruket av övertemperatur, som är en följd av förstyvande tillsatser i asfalten, onödigt styva bitumensorter eller långa hanteringstider. Konsekvensen blir förutom ökade kostnader för uppvärmning av stenmaterialet, att bindemedlet förlorar sina goda egenskaper. Bitumenet åldras i förtid och asfaltens livslängd förkortas.

För att dämpa behovet av övertemperatur lanserades för några år sedan OptimalTempererad Asfalt, OTA. Med alternativa recept och tillsatsmedel kan temperaturen hållas på en nivå där bitumenet, asfaltverket, utläggningen och slutprodukten fungerar sammantaget på bästa sätt, d.v.s. vid optimal temperatur.

I ett av flera utvecklingssteg provades tillsatsmedlet Sasobit, ett vax framtaget ur kol eller naturgas. Av samma asfaltssort tillverkades tre blandningar i ett asfaltverk, varav två med tillsatser av Sasobit (3 respektive 6 %) och prover togs på varje blandning för undersökningar.

1.2 Syfte och mål

Avsikten är att ur ett OTA-perspektiv undersöka effekter på asfalt och bitumen av inblandad Sasobit. Marshallprovkroppar tillverkade av asfaltstypen AG16 testas med avseende på hålrums halt, stabilitet och draghållfasthet. Extraherat bitumen undersöks med Brookfield viskosimeter och med penetrationsutrustning.

1.3 Avgränsning

Undersökningen gällde tre asfaltvarianter av typen asfalt grus, AG, som är det bärande lagret under ett slitlager. Massorna tillverkades i september 2011 på Skanskas Asfaltverk i Valinge utanför Varberg och lades ut på väg 810. Syftet var att under själva tillverkningen observera effekterna av inblandad Sasobit. Prover togs ut för efterkommande laborietester, vilka redovisas i nedanstående avsnitt. Resultaten av dessa kommer att ingå som del av det övergripande projektet OTA, OptimalTempererad Asfalt.

Undersökningen avser tester på tre asfaltmassor, referensasfalt AG 16 70/100 samt med tillsatt Sasobit av 3 och 6 %. Vardera massa ska packas i två serier vid framställning av provkroppar, 140°C med 50 slag och 120°C med 25 slag. Packningen utförs enligt Svensk Standard för framställning av provkroppar genom slagpackning med avsteg att 25 slag tillämpas vid den ena serien. Varje serie består av 8 provkroppar som testades med avseende på 7 testparametrar:

- Hålrums halt
- Skrymdensitet
- Kompaktdensitet
- Draghållfasthet
- Marshallstabilitet
- Penetration
- Viskositet

1.4 Metod

Det krävdes kunskap om mätutrustningen och insikter för Svenska Standarder för att kunna utföra testmetoderna. Genom litteraturstudier av mätutrustningen samt de Svenska standarderna inhämtades nödvändig kunskap för genomförandet av arbetet. För att kunna genomföra arbetet har tillverkning av provkroppar samt en del laborationer utförts på Skanska VTCs laboratorium i Fosie.

Av de 8 provkropparna testades 4 för marshallstabilitet och 3 för draghållfasthet ur varje provserie. De sorterades efter dess lämplighet till de olika testerna. Resterande provkroppar användes till inkörningsförsök för att lära känna provningsutrustningarna.

Viskositet bestämdes med en dynamisk rotationsviskosimeter av fabrikatet Brookfield. Mätningar utfördes efter rekommendationer från tillverkaren, samt med hjälp av tidigare erfarenheter från maskinen (Palmér & Žužo, 2011). Resultaten av mätningarna analyserades, jämfördes och sammanställdes.

Genom litteraturstudien inhämtades grundläggande kunskap för att få insyn om viskositet, bindemedel och Sasobit vax, samt de testmetoderna som tillämpas.

2 Grundläggande fakta

2.1 Bitumen

Bitumen är bindemedlet i asfalt. Ämnet saknar smältpunkt men blir mjukare vid högre temperaturer och beroende av sorten helt lättflytande vid 100 - 150°C. Genom att hetta upp bitumen fungerar det som ett klister på stenmaterialet. Tillsammans bildar sten och bitumen asfalt, som blir en hård sammanhållen massa då den svalnat.

Bitumen kan idag fås från två källor, antingen naturligt från sjöar och porer i stenar eller från råolja. Naturligt bitumen används väldigt lite idag, det är i huvudsak ur råolja som bitumen tas fram (Roberts, 1996).

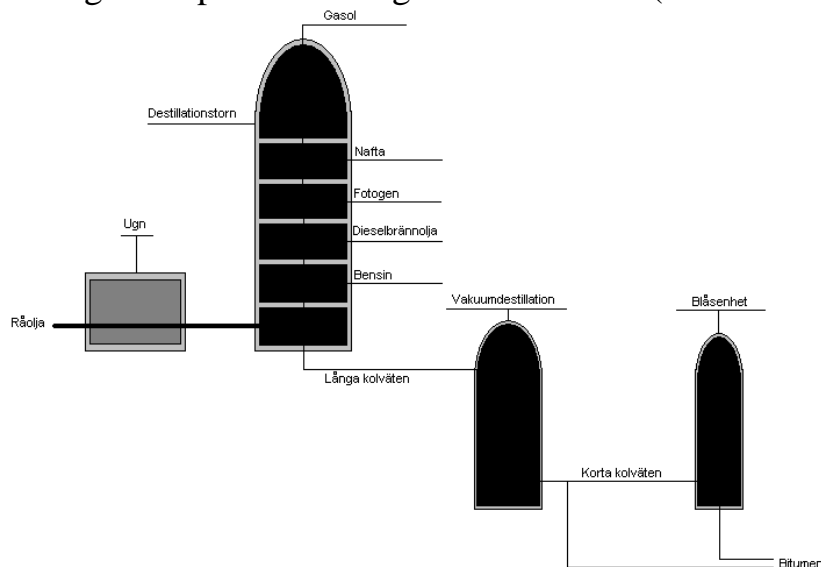
Framställningen av bitumen sker genom ett flertal processer. I det första steget värms oljan upp i en stor behållare till 350°C - 380°C på ett raffinaderi.

När oljan blivit varm flyttas den till ett destillationstorn, där oljan lägger sig i olika skikt i tornet. Detta beroende på om kokpunkten är hög eller låg.

Fraktionerna med lägst kokpunkt kommer högst upp i tornet.

Vid den lägsta nivån i tornet finns destillationsrester av långa kolväten. Av denna rest går det att utvinna bitumen, men först då det har destillerats på nytt. Den andra destillationen sker vid 350°C - 425°C i vakuum med ett tryck på 10 - 100 mmHg och ger produkterna gas, olja, destillat samt rester av korta kolväten. Resterna av den andra destillationen är råmaterial till framställning för mer än 20 olika bitumensorter.

Råmaterialet utsätts sedan för oxidation, vilket menas med att det blåses varm luft genom resterna vid en temperatur på 240°C - 320°C. Detta medför ändrade fysikaliska egenskaper som minskad penetration, ökad mjukpunkt samt lägre temperaturkänslighet för bitumen (Read & Whiteoak, 2003).



4 *Figur 2-1: Illustration på ett oljeraffinaderi. (Read & Whiteoak, 2003)*

2.2 Sasobit

Sasobit är ett vax som tillverkas i Sydafrika av företaget Sasol Wax. Vaxet består av långkedjiga kolväten med ett intervall på kedjelängden från 40 till mer än 115 kolatomer (Sasol, 2004). Sasobit produceras med Fischer-Tropsch-processen, som går ut på att utvinna syntetiska petroleumprodukter från syntesgas (kolmonoxid och vätgas). Syntesgasen erhålls i sin tur från kol samt biomassa som förgasas och sedan överförs till en katalysator av järn eller kobolt som bildar vätskeformiga kolväten (Claeys & Van Steen, 2008).

Sasobit har enligt tillverkaren en smältpunkt mellan 85°C - 115°C och är fullständigt lösligt i bitumen vid 115°C. Den låga smältpunkten möjliggör enligt Sasol (2004) en sänkning av temperaturen med 10°C - 30°C vid blandning samt utläggning. Inblandningen av vaxet i bitumen utgör en homogen lösning som i sin tur resulterar i en reduktion av viskositeten, jämfört med rent bitumen (Sasol, 2004).

2.3 Viskositet

Viskositet är ett mått på den inre friktionen för en vätska eller gas. Begreppet kan förenklat beskrivas som ett mått på hur lätt en vätska flyter. Viskositeten för en vätska kan variera vid temperaturförändringar. Bitumen har lägre viskositet vid ett flytande tillstånd än då bitumen ses som ett fast material.

Vid mätningar av viskositet sätts en vätska mellan två parallella plattor. Genom att förflytta den ena plattan med konstant skjuvkraft samtidigt som skjuvspänningen och skjuvhastigheten mäts kan viskositeten räknas fram med hjälp av följande ekvation (Brookfield).

Viskositet

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma} \quad (\text{ekv. 1})$$

η	Viskositet (mPa·s)
τ	Skjuvspänning (N/m ²)
γ	Skjuvhastighet (1/sek)

Skjuvspänning

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (\text{ekv. 2})$$

τ	Skjuvspänning (N/m ²)
F	Skjuvkraft (N)
A	Arean (m ²)

3 Metodbeskrivning

För att genomföra testerna krävdes kunskap om mätutrustning och metoderna som skulle användas. I de flesta fallen utfördes testerna enligt Svensk Standard, men med vissa avsteg. Standarderna är inhämtade från Svenska Institutet för Standardisering (SIS) och är godkända av ”The European Committee for Standardization” (CEN).

3.1 Marshallinstampning

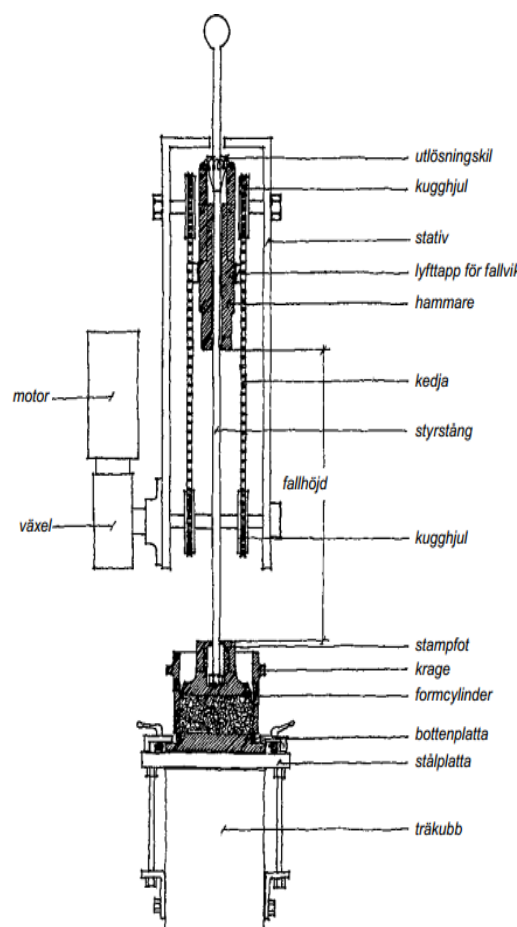
Marshall är en metod för framställning av provkroppar genom slagpackning. Provkropparna tillverkas med syftet att efterlikna en väl packad beläggning med avseende på bland annat hålrums halt. Provkroppar kan tillverkas av asfaltmassa, framtagen i laboratorium eller i ett asfaltverk (SIS-A, 2007). Marshallmetoden utvecklades av Bruce Marshall vid Mississippi Highway Department år 1939. Den amerikanska militärens ingenjörskår förfinade metoden under andra världskriget, för att i förväg på laboratorium kunna avgöra optimal bindemedelshalt vid konstruktion av landningsbanor (Lavin, 2003).

Provkroppen tillverkas i en formcylinder med en innerdiameter på $101,6 \pm 0,1$ mm och med höjden $63,5 \pm 2,5$ mm.

Det krävs mellan 1050g och 1400g asfaltmassa för att tillverka en provkropp, beroende på densiteten för att uppnå rätt höjd 63 - 64 mm.

Formcylindern ställs på en bottenplatta som har en upphöjning med samma innerdiameter som cylindern.

Ovanpå formcylindern ställs en krage som är till för att hålla asfaltmassan på plats efter att massan hållts över i formen. Massan packas genom att stampfoten med diametern $101,6 \pm 0,1$ mm slås ner av en fallvikt med massan 4535 ± 15 g och faller från höjden 460 ± 3 mm.



Figur 3-1:
Marshall instampningsapparat.
(FAS, 1992)

Innan packning påbörjas ska bottenplattan, formcylindern, kragen och stampfoten värmas upp till samma temperatur som den tänkta temperaturen som asfaltmassan ska packas vid.

Tillverkningstemperaturen väljs efter bitumenkvaliteten så att viskositeten är 170-280 mPa·s. Asfaltmassan ska packas med 50 slag på varje sida och detta måste utföras inom 4 minuter ifrån det att massan tempererats till önskad temperatur.

Den färdigpackade provkroppen ska låtas svalna till ca 40°C innan den trycks ut ur formcylindern, detta för att undvika att provkroppen deformeras. Därefter ska den svalna till rumstemperatur på ett hårt plant underlag (SIS-A, 2007).

Avsteg: Massor packades även in med 25 slag/sida för att påvisa eventuella förbättringar i hanterbarhet med inblandad Sasobit.

3.2 Hålrums halt

Hålrums halten är ett mått på hur stor del av en asfaltmassa som utgörs av hålrum. Hålrums halt anges i procent av provkroppens volym och avser de luftfickor som finns mellan de bitumenbelagda stenarna. Hålrums halten i en asfaltmassa beräknas med hjälp av den maximala densiteten av blandningen och provkroppens skrymdensitet (SIS-B, 2003).

$$V_m = 100(\rho_m - \rho_b) / \rho_m \quad (\text{ekv. 3})$$

V_m Hålrums halt (vol-%)

ρ_m Massans maximala densitet (Kg/m³)

ρ_b Provkroppens skrymdensitet (Kg/m³)

3.2.1 Skrymdensitet

Skrymdensitet är ett förhållande mellan en asfaltprovkroppens torr vikt och dess skrymvolym. Provkroppens torr vikt bestäms genom att en provkropp vägs i luft då den är torr. Skrymvolymen fås genom att provkroppen vattenmätas i ett vattenbad med bestämd temperatur i minst 30 minuter och därefter vägs i vatten. Provkroppen tas sedan ur vattenbadet och torkas på ytan med ett fuktigt sämskskinn så att överflödigt vatten avlägsnas. Därefter vägs provkroppen omedelbart. Med dessa tre massor och densiteten för vattnet vid testtemperaturen kan skrymdensiteten räknas ut (SIS-C, 2007).

$$\rho_{bssd} = \rho_w \times m_1 / (m_3 - m_2) \quad (\text{ekv. 4})$$

ρ_{bssd} Skrymdensitet (Kg/m³)

m_1 Torrmasa (g)

m_2 Massa i vatten (g)

m_3 Massa av pormättat prov (g)

ρ_w Densitet för vatten (0,1Kg/m³)

3.2.2 Kompaktdensitet

För kompaktdensitet av ett asfaltprov används pyknometer och vatten.

Asfaltprovet är det prov som tidigare använts för skrymdensitet.

Provkroppen placeras i ett värmeskåp så att asfaltmassan går att sönderdela.

Det sönderdelade materialet läggs sedan i en pyknometer, vilket är en behållare med känd volym och tätslutande lock. Behållaren vägs med lock och klämman, för att sedan fyllas med vatten nästan ända upp.

Pyknometern med asfaltprovet ska enligt anvisningarna ställas på ett skakbord och en vakuumpump eller annan suganordning ansluts till behållaren.

Skakningarna ansågs tidigare behövliga för att luften som finns i provet ska lossna och flyta upp. Detta moment har strukits av säkerhetsskäl.

Undertrycket som åstadkoms av suganordningen garanterar att tillräckligt mycket luft sugas ut utan skakningar. Denna procedur utförs under 15 minuter.

Därefter fylls behållaren helt med vatten upp till locket och då får det inte finnas någon luft kvar. Provet vägs på nytt och skillnaden mellan den vattenmättade vikten och den torra vikten i pyknometern, används för att beräkna provets kompaktvolymer. Kompaktdensiteten beräknas sedan fram med ett förhållande mellan provets torrsvikt och dess kompaktvolymer (FAS, 1992).

3.3 Återvinning av bitumen från asfalt (Extraktion)

Återvinning av asfalt är en metod som består av två delar. Den första delen separerar bitumen från stenmaterialet i två steg och den andra delen separerar lösningsmedlet från bitumenet.

Steg 1: Genom att tvätta asfaltmassan i en roterande trumma med hjälp av lösningsmedlet diklormetan, separeras bitumen från stenmaterialet.

I blandningen av lösningsmedel och bitumen följer dock filler med.

Steg 2: För att avlägsna filler från lösningen centrifugeras vätskan i en behållare. Filler-dammet sätter sig på insidan av behållaren medan vätskan med endast lösningsmedel och bitumen leds bort till en tank (SIS-D, 2006).

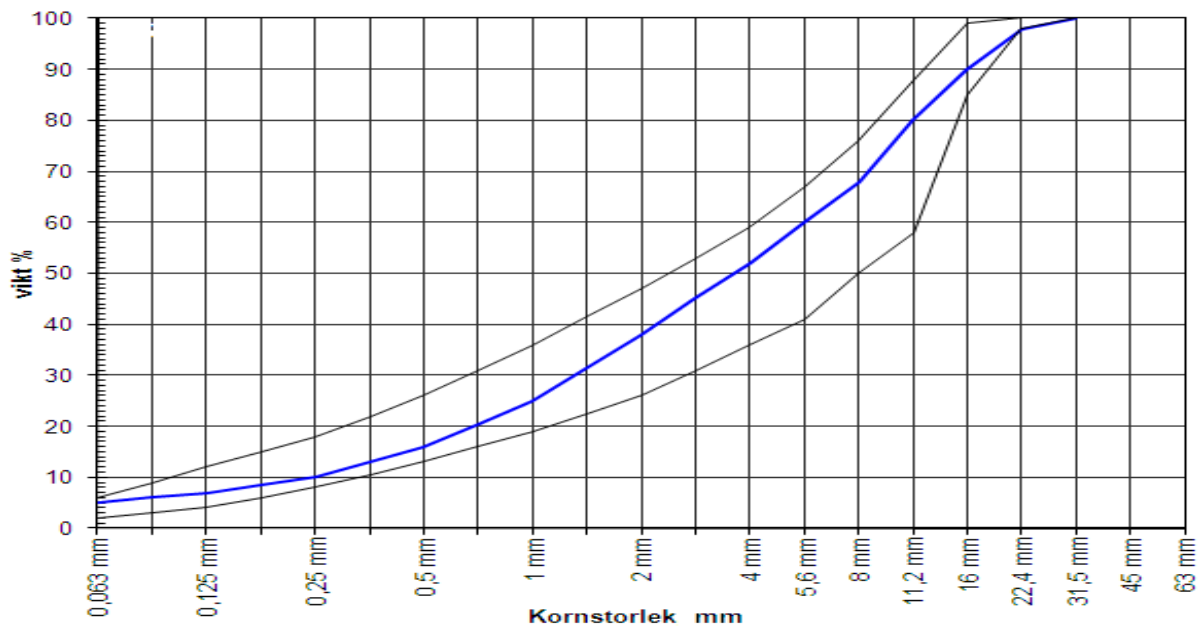
Steg 3: Diklormetan har en låg kokpunkt vid 40°C. I tanken hettas vätskan upp och där får lösningsmedlet till större del avdunsta och åter kylas ner för återanvändning. Kvar återstår bitumen med en mindre mängd lösningsmedel som hålls ner i en behållare.

Steg 4: Med hjälp av en rotationsindunstare värms lösningen med lösningsmedel upp samtidigt som det utsätts för ett undertryck.

Detta underlättar indunstningsprocessen för diklormetan-lösningen och kvar återstår rent bitumen (SIS-F, 2005).

3.3.1 Kornfördelning

Denna metod används för att bestämma hur stor andel av stenarna i en blandning som är av en viss fraktion. Metoden går ut på att en stenblandning hålls ovanpå en serie siktfat. Med fallande storlek på sikthålen kommer stenar som är större än hålen att stanna på de olika siktfaten. Genom att vibrera siktserien på en vibrationsplatta försäkras det att stenarna stannar på rätt sikt. Stenarna i respektive sikt vägs sedan för att bestämma den passerade andelen viktprocenten för varje fraktionsintervall. Resultatet kan sedan matas in i ett diagram likt (Figur 3-2) för att se om en asfaltsmassa tillverkats efter rätt recept (SIS-E, 2007).



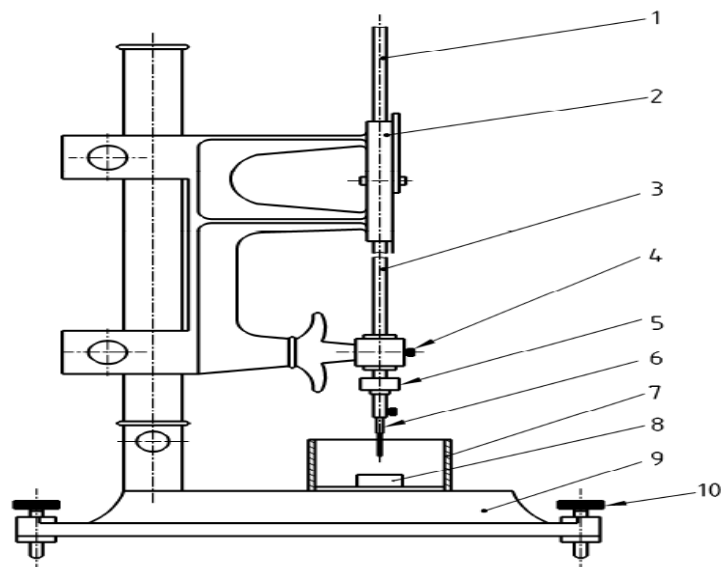
Figur 3-2: Grafen visar hur en kornkurva kan se ut för en tänkt AG 16 massa. Den blå linjen visar den faktiska andelen medan de svarta linjerna visar inom vilket intervall en AG 16 massa ska ligga inom. (Wendel, 2002)

3.4 Penetration

Penetration för bitumen bestäms av hur djupt en standardiserad nål kan tränga ner i ett bitumenprov under viss temperatur, last och tid. Provet mäter om ett bitumen är hårt eller mjukt, beroende på hur långt nålen tränger in.

Ett mjukt bitumen får ett högt penetrationstal, medan ett hårt bitumen får lågt penetrationstal.

Vid framställning av ett prov för penetrationstest, hålls varmt bitumen upp i en behållare med ett inre djup på 60 mm och inre diametern 60 mm. Bitumenet får sedan svalna till en temperatur mellan 15°C och 30°C, under 90 - 120 min. Bitumenproverna placeras i ett tempererat vattenbad tillsammans med ett vattenfyllt metallkärl som rymmer minst 350 ml i 25°C. Bitumenprovet ställs i det vattenfyllda metallkärlet och placeras i penetrometern.

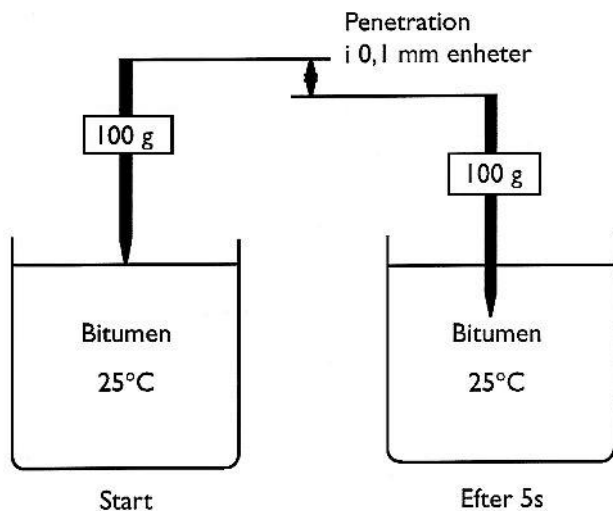


Key

- | | |
|---------------------|-----------------------------------|
| 1. Spindle | 6. Needle and ferule |
| 2. Dial assembly | 7. Transfer dish with flat bottom |
| 3. Needle holder | 8. Test sample container |
| 4. Release assembly | 9. Base plate (stand) |
| 5. 50 g mass | 10. Level adjustment screw |

Figur 3-3: Penetrometer. (SIS-G, 2007)

Penetrometern som utför penetration består av en nålhållare som kan justeras vertikalt. Apparaten har en monterad längdmätare för att kunna mäta den vertikala förskjutningen i nålhållaren. Nålhållaren utsätts för en belastningsvikt samt penetrationsnålens egenvikt. Dessa tillsammans ska ge en totalvikt på 100g. När nålen har fästs i apparaten förs nålspetsen ner manuellt tills den precis vidrör ytan. Nålen frigörs i stort sätt friktionsfritt och får penetrera ner i bitumenet under 5 sekunder. Testets utförs 3 gånger och resultaten antecknas och medelvärdet beräknas. (SIS-G, 2007).

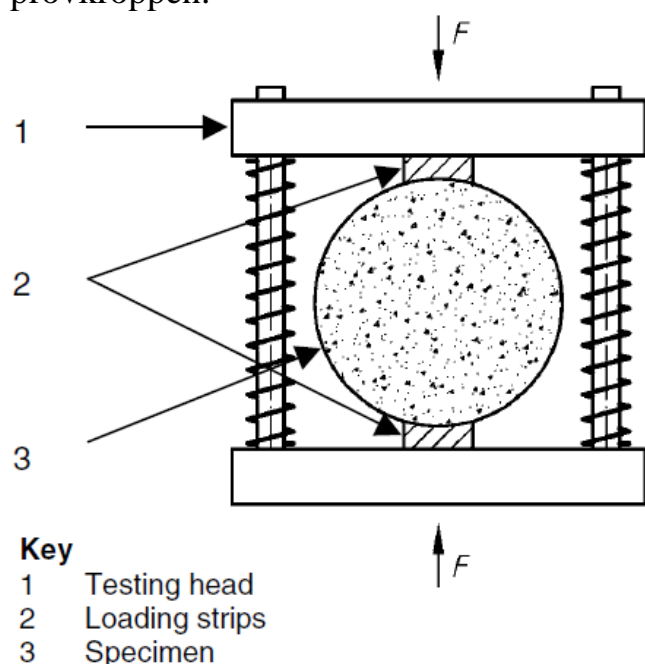


Figur 3-4: Principen för penetrations test. (FAS, 1995)

Avsteg: För bitumen med 3-6 % tillsatt Sasobit utfördes penetrationstestet inte under vattenytan p.g.a. svårigheter att se nålspetsen vid provets yta.

3.5 Pressdragprov

Vid pressdragprov testas draghållfastheten för en cylindrisk provkropp genom att en kompressionsmaskin pressar provkroppen med sina lastremсор (punkt 2, figur 3-5). Testet utförs diametralt längs riktningen för cylinderns axel med en konstant hastighet, tills den spricker. Draghållfastheten är den maximala dragpåckänning som ges vid maxbelastning som appliceras vid brott hos provkroppen.



Figur 3-5: Pressdragprovets huvud. (SIS-H, 2003)

Testhuvudet är utrustat med lastningsremсор av härdat stål med konkav yta och en krökningsradie som motsvarar den nominella radien hos provet. Kompressionsmaskinen bör ha en kapacitet på minst 28 kN och komprimera med en konstant hastighet av 50 ± 2 mm/min. Provkropparna till testet kan antingen vara tillverkade i ett laboratorium, eller tas från en borrhärna. Provkropparna kan ha tre olika dimensioner i diameter.

Tabell 3-1: Dimensioner på lastremсор. (SIS-H, 2003)

	Dimensioner mm		
Provkroppens diameter	100 ± 3	150 ± 3	160 ± 3
Lastremсорs bredd	$12,7 \pm 0,2$	$19,1 \pm 0,2$	$20,0 \pm 0,2$

Höjden skall vara mellan 35 mm och 75 mm. Provkropparna ska tempereras i antingen vattenbad eller i ett klimatskåp och ha en vald provningstemperatur som ligger mellan intervallet 5°C och 25°C . Vid diameter under 150 mm ska de tempereras i minst 2 h, och för större diameter minst 4 h. När provkropparna är tempererade placeras de i testhuvudet mellan lastremсорna.

Maskinen börjar sedan komprimera provkroppen tills den går sönder och brott sker dvs. maximal belastning har uppnåtts. Detta test ska vara utfört inom 2 minuter från det att provet tagits från antingen vattenbad eller klimatskåp. Testet anses färdigt då brott uppstått, då sparas all data från komprimeringen i ett datorprogram. Provkroppens spricka studeras och kategoriseras i tre olika kategorier. Provkroppen bryts upp och ytorna inspekteras visuellt utifrån tecken huruvida brottet uppstått i aggregatet eller om bitumenet släppt från aggregatet, vilket kan vara ett tecken på dålig vidhäftningsförmåga (SIS-H, 2003).

3.6 Marshallpress

Med Marshallpress testas maximalt motstånd i kN mot deformationen samt deformation i mm, för en asfaltprovkropp.

Testhuvudet består av en cylinder som är delad i två separerade halvkor. Kompressionsmaskinen är densamma som för pressdragprov, med en konstant hastighet av 50 ± 2 mm/min. Provkropparna ska packas enligt Marshallinstampning SS-EN 12697-30:2004+A1:2007 för att kunna testas. Provkropparna ställs på sin plana yta i ett vattenbad vid $60 \pm 1^\circ\text{C}$, mellan 40-60 minuter.

Samtidigt som provkropparna värms upp, tempereras testhuvudet till $60 \pm 1^\circ\text{C}$ under minst 30 minuter.

Vid en provtryckning ska testhuvudet tas upp från vattenbadet till pressen samt rengöras och smörjas.

En provkropp tas sedan upp från vattenbadet och torkas lätt från överflödigt vatten. Kroppen placeras i det smorda testhuvudet och justeras till rätt position.

Maskinens mätgivare nollställs därefter ifrån programvaran på datorn och pressen startar med en konstant deformationshastighet. Programvaran sparar mätdata och ritar en graf över belastningen.

Strax efter att grafen visat maxbelastning stoppas pressen och hissas ner i bottenläge. Tiden får inte överstiga 40 sek från det att provkroppen tas från vattenbadet tills maximal belastning är uppnådd.

Resultaten av testet blir den maximala belastningen S i kN och Flow F , F_t vid den maximala belastningen i mm. Resultatet av S är endast representabelt om höjden på provkroppen är 63,5 mm, därför tillämpas en korrektionsfaktor (SIS-I, 2007).

Avsteg: Testhuvudet värmdes inte upp till 60°C innan utförandet av pressning.



Figur 3-6: Marshallpress med presshuvud och provkropp.

3.7 Brookfield

Mätningar av viskositet i bitumen genomfördes med en Brookfield Viskometer. Det finns en SS-EN-standard för provning med dynamisk rotationsviskosimeter men ingen för just den här utrustningen.

Genomförandet har därför skett enligt tillverkarens anvisningar.

Bitumen hettades upp över dess smältpunkt och 10,0g flytande bitumen hölls sedan upp i särskilda behållare anpassade för viskosimetern.

Följande mätutrustning krävs för mätningar:

- En rotationsviskosimeter
- Thermosel, för uppvärmning av bitumenprov
- Spindle Modell: Spindle 27
- Bitumenbehållare
- Styr dator

Mätningen inleddes med en förprovning genom att bitumenprovet värmdes till den lägsta temperaturen för mätningen, i det här fallet den antagna mjukpunkten, för en preliminär bestämning av lämpligt varvtal för mätningen.



Figur 3-7: Brookfield utrustning

Detta upprepades genom uppvärmning till alla temperaturnivåerna ända upp till högsta. Dessa varvtalsvärden lades in i instrumentets programvara för den slutliga automatiska mätningen. Eftersom slutmätningarna är tidskrävande används programmerad körning för att slippa manuell övervakning och styrning av mätprocessen.

Den slutliga provningen utfördes under avsvälning för att efterliknar det som sker vid tillverkning av asfalt, som väsentligen är ett avsvälningförlopp. Tidigare har det observerats att bitumen med tillsatsmedel har reagerat olika under uppvärmning jämfört med avsvälning (hysteresiseffekt, Palmér & Žužo, 2011). Det automatiska programmet var utformat på så sätt att vid en angiven temperatur skulle spindeln rotera med en konstant hastighet. Mätvärden skulle avläsas och sparas med 60 sek mellanrum. Mättiden för varje temperaturnivå varierade från 60-120 minuter, längre mätningar skedde vid lägre temperaturer då stabiliseringstiden för utrustningen var längre.

Noggrannheten på temperaturen sattes till $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (Brookfield).

3.8 Heukeloms BTDC

I Read & Whiteoak (2003) beskrivs ett diagram som på ett enkelt och informativt sätt presenterar resultaten från fyra olika provningar av bitumen:

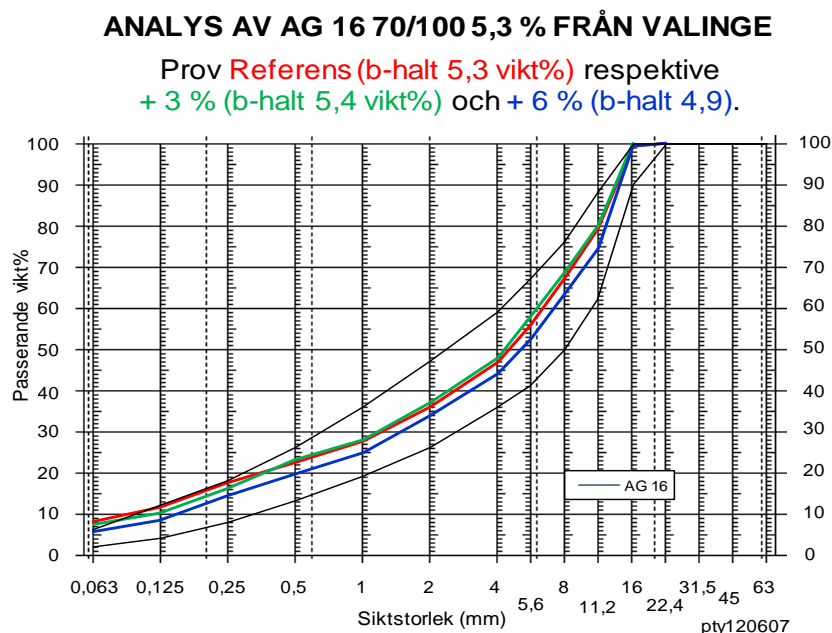
- Fraass (ett lågtemperaturtest),
- Penetration (för det fasta stadiet)
- Mjukpunkt (markerar övergången till det flytande tillståndet)
- Viskositet

Den senare kan bestämmas med flera metoder, i den här utredningen med dynamisk rotationsviskosimeter, DRV.

Skalorna och placeringarna av diagrammen är valda så att analysresultaten av ett bitumen bildar en ungefärligt rät linje. Detta gäller endast rena bitumensorter. Om inblandade ämnen har smältpunkter inom temperaturintervallet, som i fallet med Sasobit, uppträder avsteg från detta, vilket framgår i kapitel 4.2.3 Viskositet (Read & Whiteoak, 2003).

4 Resultat

4.1 Sammansättning



Figur 4-1: Jämförelse mellan sammansättningarna för de tre recepten.

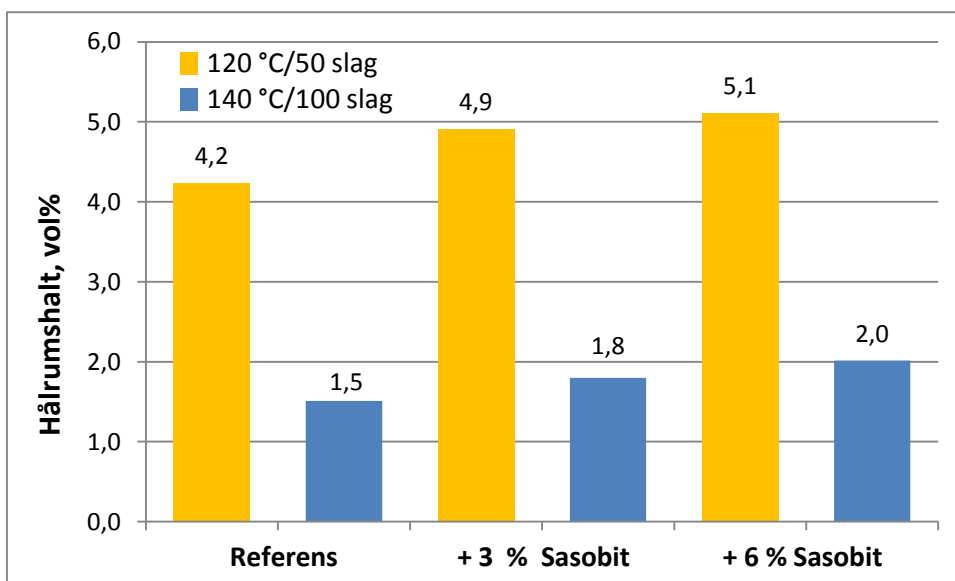
Kommentarer: Kornfördelningarna ligger mycket nära varandra. 6 %-provet är lite grövre och har lite mindre bitumen men det är inom toleranserna 4,9-5,9%.

4.2 Sammanställning av provningsresultat

4.2.1 Packningsprov

Tabell 4-1: Medelvärden av densitet och hålrums halt för samtliga instampade prover.

	Referens		+ 3 % Sasobit		+ 6 % Sasobit	
	120 °C 50 slag	140 °C 100 slag	120 °C 50 slag	140 °C 100 slag	120 °C 50 slag	140 °C 100 slag
Skrymdensitet cm ³	2,349	2,416	2,328	2,404	2,322	2,398
Kompaktdensitet cm ³	2,453	2,453	2,448	2,448	2,447	2,447
Hålrums halt vol%	4,2	1,5	4,9	1,8	5,1	2,0
Ythålrums halt vol%	3,1	2,6	3,0	3,0	3,0	2,8



Figur 4-2: Jämförelse mellan hålrums halterna för de tre recepten och olika instampningar.

Kommentarer: Den lågtempererade och lätt packade serien svarade som väntat med en tydlig ökning av hålrums halten. Den mindre hålrumsökningen mellan recepten är inte större än att den kan förklaras av slumpvisa variationer i tillverkningen. Inte desto mindre går förändringen i samma riktning i båda serierna, vilket är anmärkningsvärt.

4.2.2 Penetration

Mätningen av penetration är en smula problematisk med vax inblandat. Ytan blir konkav och matt, vilket leder till att den förlorar sin förmåga att spegla nålens spets. Det innebär att provningen gjordes utan vatten över provytan för Sasobitproven. Detta avsteg utfördes för att möjliggöra precisionsplacering av nålen. Avsteget har sannolikt inte påverkat resultatet, eftersom det utfördes under kort tidsrymd efter vattentempereringen och i en rumstemperatur som bara med någon grad understeg vattenbadets. Förutom i tabellen nedan visas resultatet grafiskt i Heukeloms BTDC-diagram i efterföljande avsnitt.

Tabell 4-2: Resultat av penetrationsbestämning av extraherat bitumen från de olika massarecepten

Bindemedel	Penetration, 1/10 mm		Kommentarer
	Enskilda värden	Medelvärde	
Referens	67,0	69,3	Helt enligt standardmetod
	70,2		
	70,6		
+ 3 % Sasobit	37,2	37,3	Detsamma som standardmetoden fast utan vatten över bitumenprovets yta
	36,8		
	37,8		
	37,4		
+ 6 % Sasobit	29,3	27,9	Detsamma som standardmetoden fast utan vatten över bitumenprovets yta
	26,6		
	27,7		

Kommentarer: Värdet för referensbitumen stämmer ganska väl med ett förväntat penetrationsvärde för ett bitumen som genomgått tillverkningsprocessen. Ett vanligt startvärde på ca 85 dmm för bitumenkvaliteten 70/100 som minskar till ca 70 dmm efter utläggning är en fullt normal förhårdningseffekt av oxidationen efter syresättningen under hanteringen av asfalten, se Read & Whiteoak (2003). Förändringen efter tillsats av Sasobit är logisk. Storleken av förändringen diskuteras i kommande avsnitt.

4.2.3 Viskositet

Parametrarna som särskilt berör mätning med en rotationsviskosimeter:

- *Speed* - rotationshastighet
- *Torque* - vridmotstånd relativt instrumentets maximala utslag

De allmänna viskositetsbegreppen redovisas i följande tabeller, en för varje recept.

Tabell 4-3: Viskositetsmätning av extraherat referensbitumen.

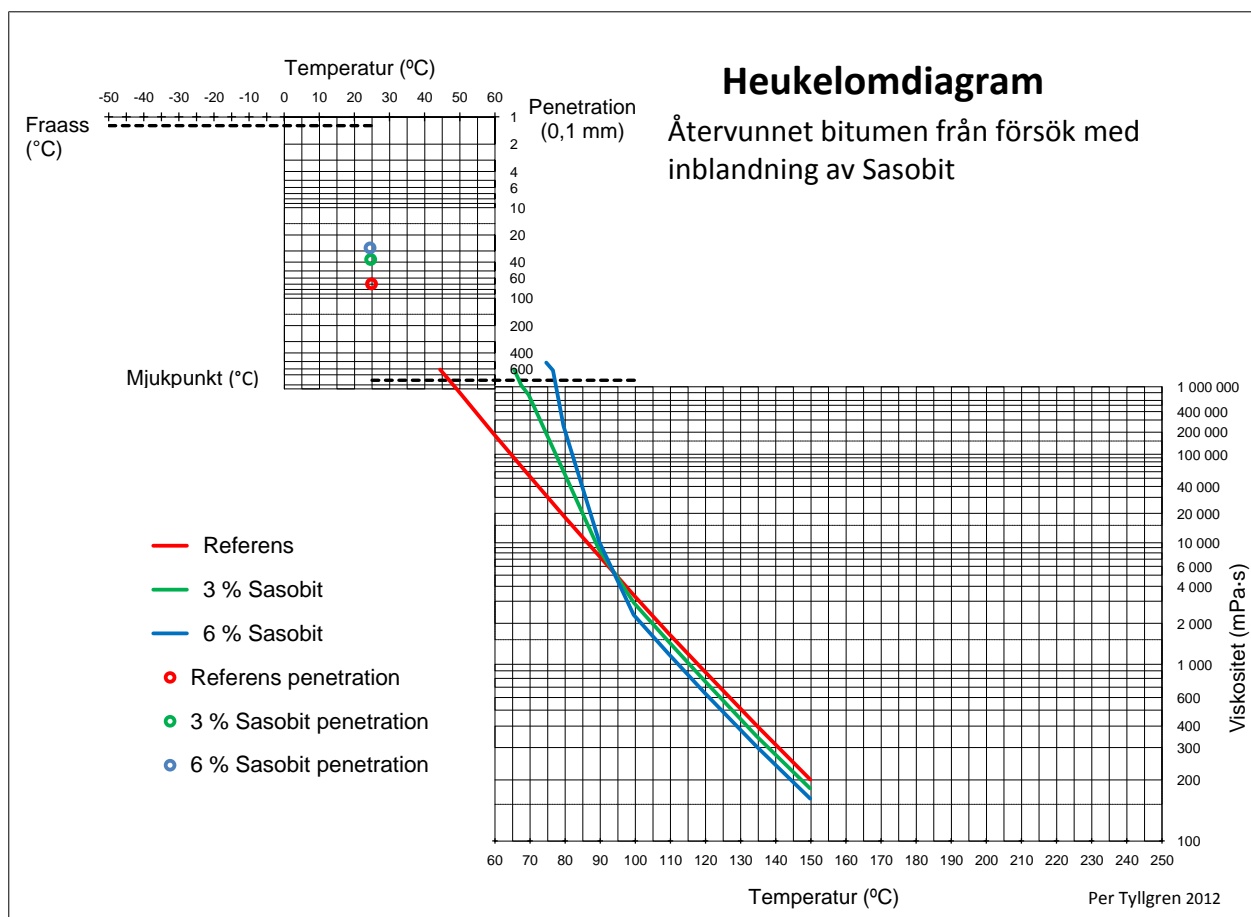
Brookfield Spindle 27	Speed	Torque	Shear Stress	Shear Rate	Viscosity	Temp.
Referens	(RPM)	(%)	(N/m ²)	(1/sec)	(mPa·s)	(°C)
Inställt						Avläst
150°C	200	16,1	13,69	68	201	149,8
135°C	200	31,7	26,95	68	396	134,9
120°C	135	48,1	40,89	45,9	891	119,8
110°C	80	52,8	44,88	27,2	1650	109,7
100°C	35	46,5	39,53	11,9	3321	99,7
90°C	17	50,9	43,27	5,78	7485	89,7
80°C	6	45,5	38,68	2,04	18958	79,5
70°C	2	43,3	36,81	0,68	54125	69,7
60°C	0,65	49,3	41,91	0,22	189615	59,6
50°C	0,1	34,4	29,24	0,03	860000	49,5
45°C	0,08	64,3	54,66	0,03	2009375	44,4

Tabell 4-4: Viskositetsmätning av extraherat bitumen med 3 % Sasobit.

Brookfield Spindle 27	Speed	Torque	Shear Stress	Shear Rate	Viscosity	Temp.
3% Sasobit	(RPM)	(%)	(N/m ²)	(1/sec)	(mPa·s)	(°C)
Inställt						Avläst
150°C	200	14,5	12,33	68	181	149,7
135°C	200	27,8	23,63	68	348	134,6
120°C	145	45	38,25	49,3	776	119,6
110°C	80	46	39,1	27,2	1438	109,6
100°C	45	52,1	44,29	15,3	2894	99,6
90°C	15	52,8	44,88	5,1	8800	89,5
80°C	2	48,2	40,97	0,68	60250	79,6
70°C	0,2	59	50,15	0,07	737500	69,6
68°C	0,1	42,3	35,96	0,03	1057500	67,6
66°C	0,05	39,8	33,83	0,02	1990000	65,5

Tabell 4-5: Viskositetsmätning av extraherat bitumen med 6 % Sasobit.

Brookfield Spindle 27	Speed	Torque	Shear Stress	Shear Rate	Viscosity	Temp.
6% Sasobit	(RPM)	(%)	(N/m ²)	(1/sec)	(mPa·s)	(°C)
Inställt						Avläst
150°C	200	12,8	10,88	68	160	149,8
135°C	200	24,3	20,66	68	304	134,6
120°C	170	44	37,4	57,8	647	119,6
110°C	100	47,5	40,38	34	1188	109,4
100°C	35	32,6	27,71	11,9	2329	99,5
90°C	9	36,9	31,37	3,06	10250	89,7
80°C	0,5	49,2	41,82	0,17	246000	79,5
77°C	0,05	38,7	32,9	0,02	1935000	76,5
75°C	0,05	53,5	45,48	0,02	2675000	74,6

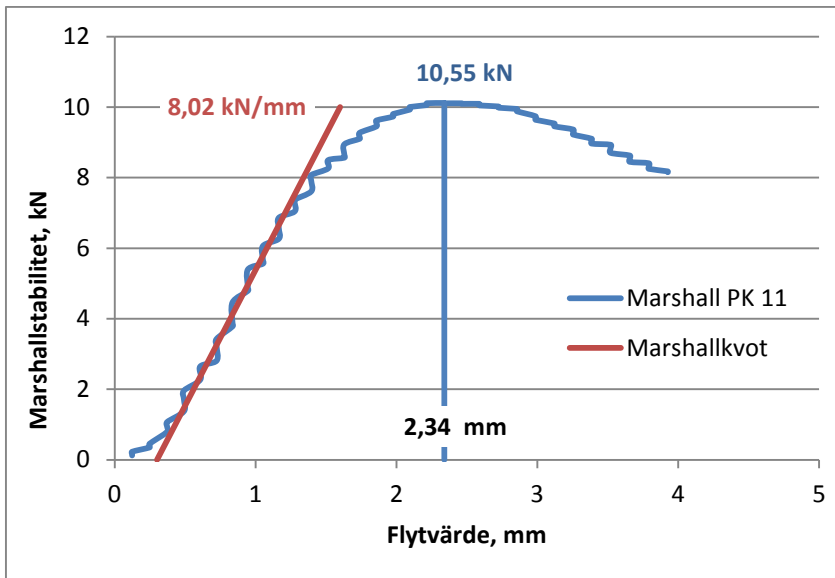


Figur 4-3: Viskositeten bestämd med rotationsviskosimeter och penetrationsvärden för extraherat bitumen från de olika massarecepten.

Kommentarer: Det allmänna utseendet av viskositeten är rimligt och stämmer med förväntade resultat. Stegringen efter 100°C sker på samma ställe för 3 % och 6 % Sasobit, men sedan stiger linjen kraftigare för 6 %. Från mätningen noterades att det var svårt att uppnå stabilitet under 80°C, mycket svårt för 6 %. Värdena får betraktas som ungefärliga eftersom det är tveksamt om vätskan i de fallen hade de viskösa egenskaper och om vidhäftningen mot spindeln var sådan som mättekniken förutsätter. Den kraftiga stegringen upplevdes emellertid helt korrekt registrerad ned till och med 80°C. De inbördes förhållandena mellan penetrationsvärdena och viskositetsmätningarna efter att Sasobit har stelnat tycks spegla varandra. Parallelliteten mellan viskositetslinjerna mellan 100°C och 150°C visar att mätmetoden är trovärdig och att mätningarna utförts på ett korrekt sätt.

4.2.4 Marshallprovning

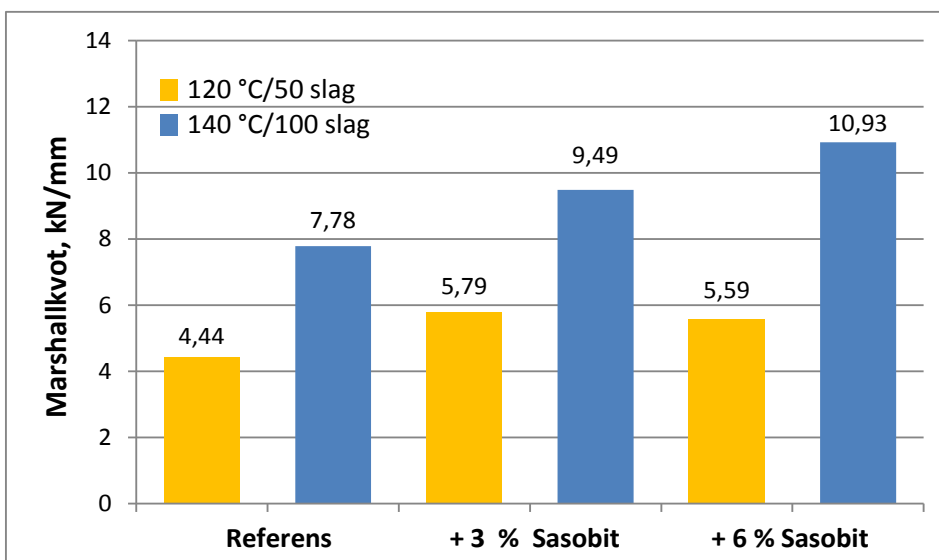
Varje Marshalltest ritades upp som i nedanstående figur. Medianvärdet av parametervärdena från fyra provkroppar visas numeriskt i tabellen 4-6 och grafiskt i stapeldiagram 4-5,-6,-7. Medianvärdet väljs istället för medelvärdet för att minska påverkan av avvikande värden i en liten population.



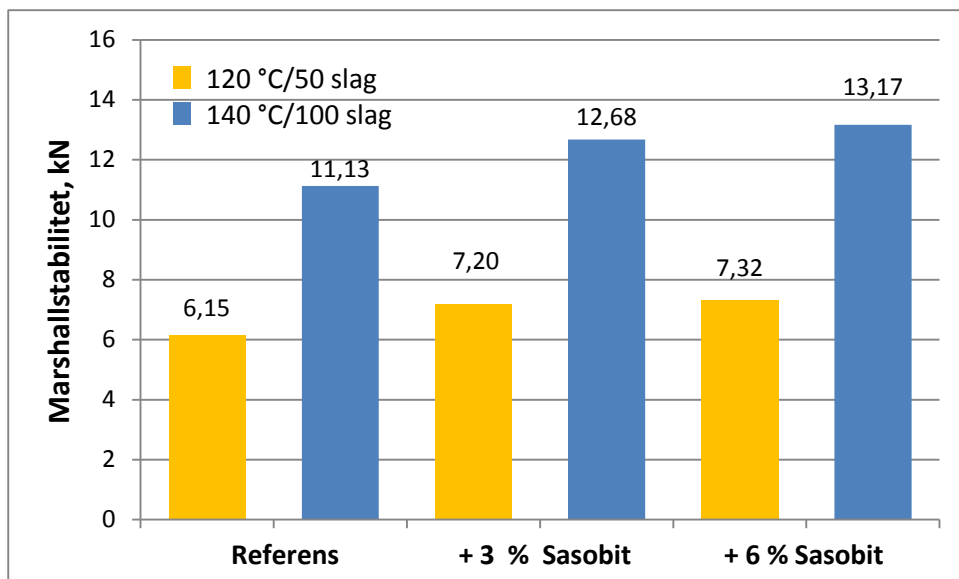
Figur 4-4: Exempel på avläsning och beräkning av data från Marshallprovning.

Tabell 4-6: Tabell över medianvärden från Marshallprovning av samtliga instampade prover.

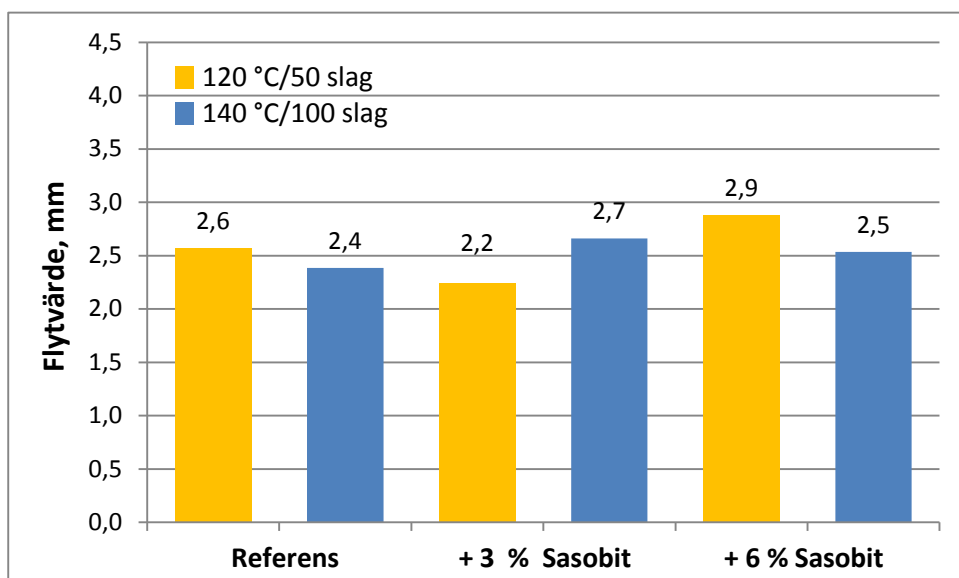
	Referens		+ 3 % Sasobit		+ 6 % Sasobit	
	120 °C	140 °C	120 °C	140 °C	120 °C	140 °C
	50 slag	100 slag	50 slag	100 slag	50 slag	100 slag
Marshallkvot, kN/mm	4,44	7,78	5,79	9,49	5,59	10,93
Marshallstabilitet, kN	6,15	11,13	7,20	12,68	7,32	13,17
Flytvärde, mm	2,6	2,4	2,2	2,7	2,9	2,5



Figur 4-5: Jämförelse mellan Marshallkvoterna för de tre recepten och olika instampningar.



Figur 4-6: Jämförelse mellan Marshallstabilitet för de tre recepten och olika instampningar.

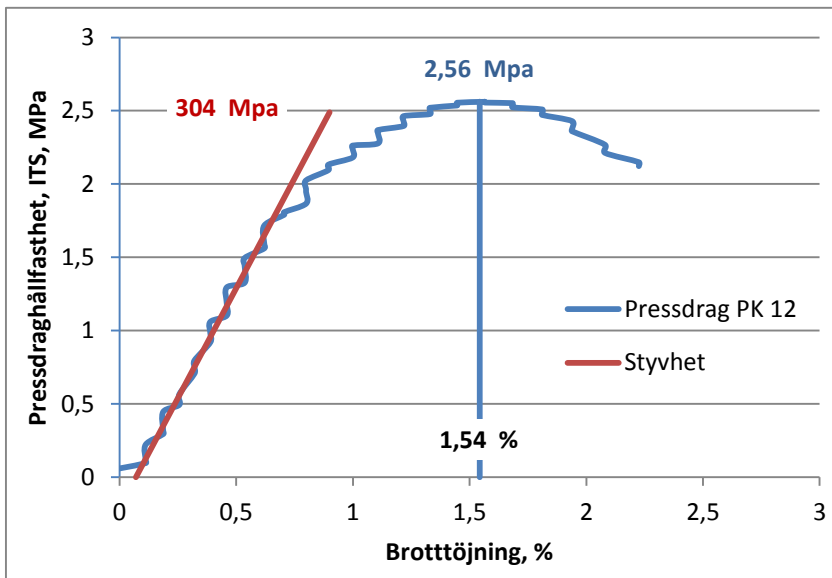


Figur 4-7: Jämförelse mellan Flytvärde för de tre recepten och olika instampningar.

Kommentarer: Marshallkvoten (eng. *Marshall Quotient*), ett styvhetsmått, och Marshallstabiliteten, ett brottvärde, ökar båda av inblandad Sasobit, styvheten mest. Nivåskillnaderna mellan packningsserierna är också tydliga och logiska för testet med tanke på vad som skiljer dem åt. Flytvärdet, som beskriver deformationen till brott, kan betraktas som oförändrat. En viss skillnad var förväntad men parametern är tydligen inte känslig för variationerna i recept och i tillverkningen.

4.2.5 Pressdragprovning ITS

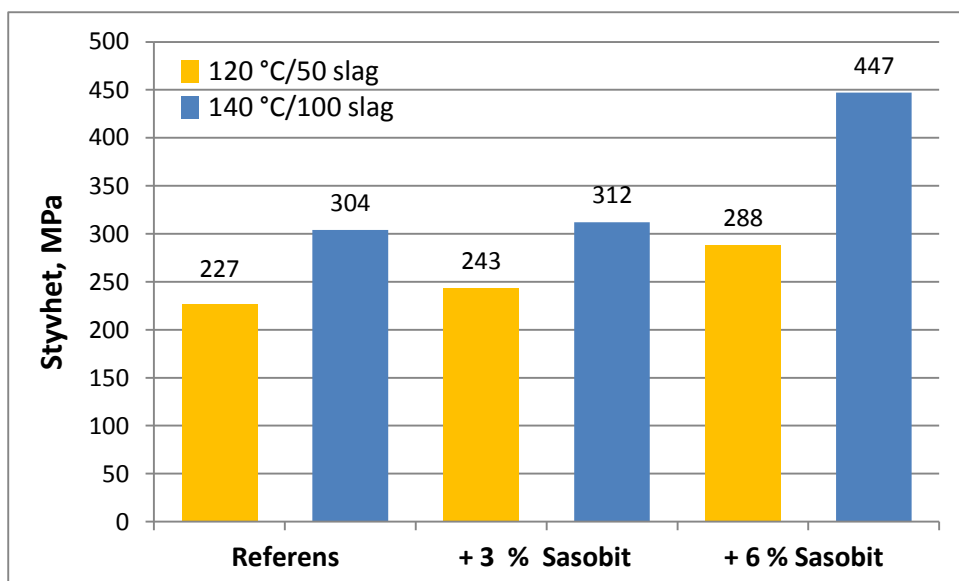
ITS-testet tolkades på ett liknande sätt som Marshalltestet, vilket är en utökning av standarden för testet. Styvheten finns inte med där och inte heller relativ brottöjning. Den senare anges inte som i fallet Marshall i mm utan i % på det klassiska sättet relativt provningselementets storlek, här ca 101 mm. Medianvärdet av parametervärdena från tre provkroppar visas numeriskt i tabellen och grafiskt stapeldiagrammen. Medianvärdet väljs av samma skäl som i Marshallfallet.



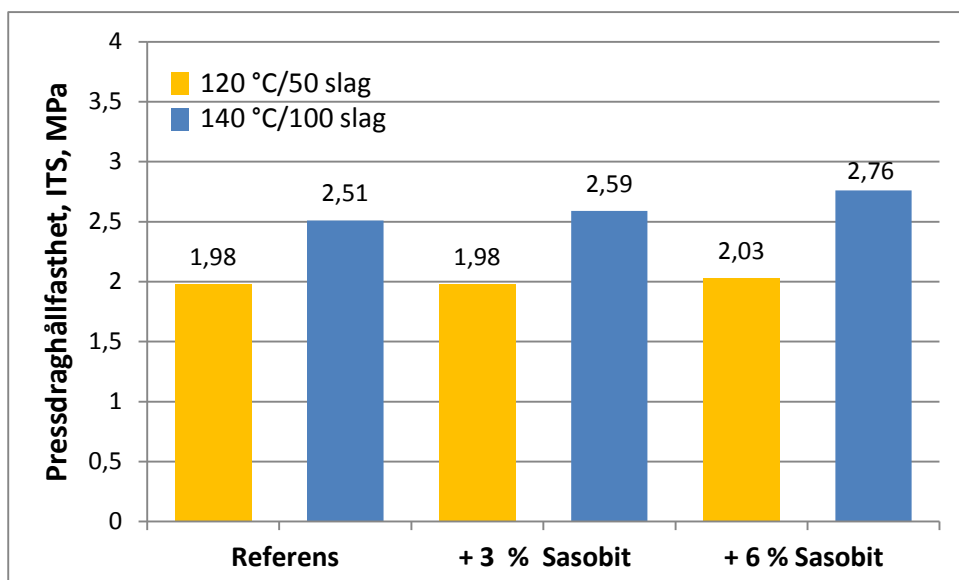
Figur 4-8: Exempel på avläsning och beräkning av data från Pressdragprovning.

Tabell 4-7: Tabell över medianvärden från Pressdragprovning av samtliga instampade prover.

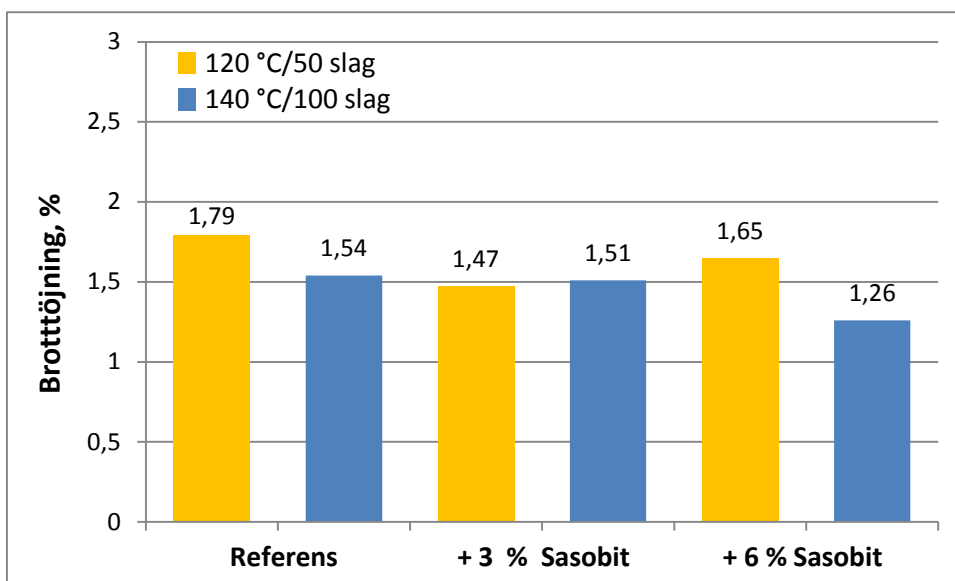
	Referens		+ 3 % Sasobit		+ 6 % Sasobit	
	120 °C 50 slag	140 °C 100 slag	120 °C 50 slag	140 °C 100 slag	120 °C 50 slag	140 °C 100 slag
Styvhet, MPa	227	304	243	312	288	447
Pressdraghållfasthet, ITS, MPa	1,98	2,51	1,98	2,59	2,03	2,76
Brottöjning, %	1,79	1,54	1,47	1,51	1,65	1,26



Figur 4-9: Jämförelse mellan Styvhet för de tre recepten och olika instampningar.



Figur 4-10: Jämförelse mellan Pressdraghållfasthet, ITS, för de tre recepten och olika instampningar.



Figur 4-11: Jämförelse mellan Bröttjöjning för de tre recepten och olika instampningar.

Kommentarer: Skillnaden mellan packningsserierna är tydlig men förväntades kanske vara lite större. Parametrarna rör sig i en logisk riktning efter recepten men inte speciellt mycket, förutom styvheten för 6 % Sasobit. Där kan det röra sig om en lokal variation i massan eller tillverkningen av provkropparna, annars borde 3 % Sasobit ha reagerat lite mer.

5 Diskussion och slutsatser

5.1 Hanterbarhet

Hypotesen inför packningsprovet var att tillsatsen av Sasobit skulle "smörja" massan till att bli mer lätthanterlig och att tillverkningstemperaturen samtidigt skulle kunna sänkas. Det säger erfarenheterna från tillverkning och utläggning, från bland andra Skanska Asfalt i Danmark. Därför gjordes en packningsserie med lägre temperatur och färre antal slag för att sådana effekter skulle få en chans att visa sig. Den minskade packningen och temperaturen hade tydlig effekt men något resultat av Sasobit visade sig inte i form av lägre hålrums halt. Andra faktorer har kanske större inverkan. Slutsatsen är att antingen är packningsbarhet i en Marshallform inte verklighetsefterliknande när det gäller massans hanterbarhet eller så påverkas just den här egenskapen inte av Sasobit. Frågan blev i varje fall inte tillräckligt utredd och besvarad i föreliggande packningstest.

5.2 Viskositet

Förändringen av penetrationsvärdet med 3 % Sasobit är större i det här fallet än vid försöken i ett examensarbete från Palmér & Žužo (2011). Det styrks av förändringen av viskositeten, som är betydligt större i det här försöket än 2011. Försöken 2011 gjordes på laboratorieblandningar med stor noggrannhet vid inblandningarna med 1, 2 och 3 % Sasobit och i två bitumensorter, 160/220 och 50/70. Genom att bilda kvoten mellan penetrationen för rent bitumen och med 3 % Sasobit och sedan logaritmera talet fås en jämförelsefaktor som styrker antagandet att halten 3 % Sasobit i detta fullskaleförsök kanske i realiteten var högre. I varje fall var effekten mycket kraftigare, vilket också styrks av viskositetsmätningarna. Stegringen av viskositeten med 3 % Sasobit under 100°C är mycket större jämfört med examensarbetet 2011.

Den uppstyvande effekten av Sasobit jämfört med referensbitumenet tycks vara som störst runt 60°C för att sedan minska ned till penetrationsmätningarna vid 25°C. Frågan är hur det ser ut vid lägre temperaturer? Det borde kunna redas ut med annan lämplig mätteknik. Den uppmjukande effekten av smält Sasobit är inte uppseendeväckande stor med tanke på vad som sägs om den goda effekten på hanterbarheten på den temperaturnivån. Omräknat till ökad temperatur skulle det motsvara 5 - 10°C och det är en närmast försumbar skillnad. Det måste alltså finnas någon annan faktor som ger denna upplevda och konstaterade effekt i verkligheten. Detta kvarstår att utreda.

En möjlighet att avsevärt sänka tillveknings Temperaturen är att utnyttja uppstyvningseffekten i beläggningen till att välja ett mjukare utgångsbitumen, som sedan blandas med Sasobit. Uppstyvningen av Sasobit gör att slutresultatet blir som om asfalten från början hade tillverkats av ett styvare bitumen.

Mätningen med rotationsviskosimetern får betraktas som lyckad och trovärdig, bortsett från fallen med temperatur under 70 - 80°C och stor mängd inblandad Sasobit. Det finns anledning att se närmare på instrumentets funktion i den typen av reologiska fall. Med rent bitumen har instrumentet visats vara pålitligt och produktivt.

5.3 Hållfasthet

Den kraftigaste effekten av inblandad Sasobit visade sig i Marshallstabiliteten men framförallt i styvhetsparametern Marshallkvot. Det är just på den här temperaturnivån som effekten på viskositeten av inblandad Sasobit är som störst. Den förstyvande effekten tycks avta vid lägre temperatur, vilket kan ses i penetrationstestet inlagt i Heukeloms BTDC-diagram. En förklaring kan vara att bitumen styvnar till betydligt snabbare än stelnat vax när temperaturen sjunker och därmed blir den förstyvande inverkan mindre. Vid 10°C, där Pressdragprovet gjordes är effekten märkbar men inte mycket mer.

5.4 Slutsatser

- Sasobit har tydlig reologisk inverkan på bitumen, som i det verkliga fallet kan utnyttjas till förbättrad hanterbarhet och sänkt tillveknings Temperatur.
- Sasobit påverkar egenskaperna i asfalt på ett sätt som kan förbättra funktionen, framförallt stabiliteten.

6 Fortsättning

Den upplevda förbättringen av hanterbarheten behöver ett måttetal. Hållrumshalt är uppenbarligen en opålitlig parameter, trots att det finns exempel där den har använts för just det syftet och passande nog gett det resultat som eftersträvades. I ljuset av den här utredningen får det betraktas som en tillfällighet. Hanterbarheten har också beskrivits med vridmotståndet hos blandaraxlarna i en laboratorieblandare eller till och med i asfaltverkets blandare. Det förekom en gång i tiden att Ampère-mätare lästes av för att registrera förändringar i massans rörelsemotstånd. Osäkerheten i mätningarna är stor i samtliga fall. Ingen har hittills med ett måttetal lyckats fånga in det som upplevs med synintryck eller från maskinernas reaktion och från handutläggarnas yrkesmässiga bedömning av massans beteende. Det senare är, trots det vanskliga med subjektiva värderingar, egentligen det enda pålitliga facit som finns.

Som en fortsättning på detta examensarbete föreslås att en sammansatt bedömningsmall av hanterbarheten tas fram, som innehåller intryck från tillverkningsprocessens alla steg, mätbara som subjektiva. Därefter kan olika mått och steg som kan antas ha verkan provas och värderas.

Referenslista

Tryckta

Brookfield. More solutions to sticky problems. Brookfield, Middleboro.

Föreningar för Asfaltbeläggningar i Sverige, Metoder 1992, FAS
Metodbeskrivningar för provning av stenmaterial, bituminösa bindemedel,
asfaltbeläggningar och –massa. Svenskt Tryck 1992.

Föreningar för Asfaltbeläggningar i Sverige, Asfaltboken 1995, FAS
Metodbeskrivningar för provning av stenmaterial, bituminösa bindemedel,
asfaltbeläggningar och –massa. Svenskt Tryck 1995.

Lavin, P. (2003) Asphalt Pavements- A practical guide to design, production
and maintenance for engineers and architects. Spon Press, ISBN 0-415-24733-
0 London.

Read, J. Whiteoak, D. (2003) The Shell Bitumen Handbook, Fifth edition.
Thomas Telford Publishing, London

Roberts. F., Kandhal. P., Brown. R., Lee. D-Y., Kennedy. T. (1996) HOT
MIX ASPHALT MATERIALS, MIXTURE DESIGN, AND
CONSTRUCTION. Second Edition. National Center For Asphalt Technology.
NAPA Educational Foundation, Lanham, Maryland.

Palmér, J., Žužo, E. (2011) Faktorer som påverkar hanterbarheten hos asfalt.
Examensarbete, LTH Ingenjörsskolan vid Campus Helsingborg, Teknik och
Samhälle, Trafik och Väg.

SIS-A, SVENSK STANDARD SS-EN 12697-30:2004+A1:2007, (2007).
Vägmateriäl-Asfaltmassor-Provningsmetoder för varmblandad asfalt-Del 30:
Framställning av provkroppar genom slagpackning (enligt Marshall). SIS,
Stockholm.

SIS-B, SVENSK STANDARD SS-EN 12697-8, (2003). Vägmateriäl-
Asfaltmassor-Provningsmetoder för varmblandad asfalt-Del 8: Bestämning av
hålrumshalt hos asfaltprovkroppar. SIS, Stockholm.

SIS-C, SVENSK STANDARD SS-EN 12697-6+A1:2007, (2007).
Vägmateriäl-Asfaltmassor-Provningsmetoder för varmblandad asfalt-Del 6:
Bestämning av skrymdensitet hos asfaltprovkroppar. SIS, Stockholm.

SIS-D, SVENSK STANDARD SS-EN 12697-1:2005, (2006). Vägmateri-
Asfaltmassor-Provningsmetoder för varmblandad asfalt-Del 1: Lös-
lig bindemedelshalt. SIS, Stockholm.

SIS-E, SVENSK STANDARD SS-EN 12697-2+A1:2007, (2007).
Vägmateri-Asfaltmassor-Provningsmetoder för varmblandad asfalt-Del 2:
Bestämning av kornstorleksfördelning. SIS, Stockholm.

SIS-F, SVENSK STANDARD SS-EN 12697-3:2005, (2005). Vägmateri-
Asfaltmassor-Provningsmetoder för varmblandad asfalt-Del 3: Återvinning av
bindemedel: Rotationsindunstare. SIS, Stockholm.

SIS-G, SVENSK STANDARD SS-EN 1426:2007, (2007). Bitumen och
bituminösa bindemedel – Bestämning av penetration. SIS, Stockholm.

SIS-H, SVENSK STANDARD SS-EN 12697-23, (2003). Vägmateri-
Asfaltmassor-Provningsmetoder för varmblandad asfalt-Del 23: Bestämning
av bituminösa provkroppars draghållfasthet. SIS, Stockholm.

SIS-I, SVENSK STANDARD SS-EN 12697-34:2004+A1:2007, (2007).
Vägmateri-Asfaltmassor-Provningsmetoder för varmblandad asfalt-Del 34:
Marshallprovning. SIS, Stockholm.

Internetkällor

Sasol (2004) The Bitumen Additive for Highly Stable Easily Compactible
Asphalts.

[http://www.sasolwax.com/sasolwaxmedia/Downloads/Bitumen+Modification/
Sasobit+since+1997.pdf](http://www.sasolwax.com/sasolwaxmedia/Downloads/Bitumen+Modification/Sasobit+since+1997.pdf)

Nerladdad 2012-06-13

Wendel, M (2002) Vägverket – Kornkurva

www.trafikverket.se/PageFiles/29659/diagramverktyg_for_kapitel_i.xls

Nerladdad 2012-06-13

Wikipedia (2012) Fischer-Tropsch-processen.

<http://sv.wikipedia.org/wiki/Fischer-Tropsch-processen>

Nerladdad 2012-06-13

Vetenskaplig artikel

Claeys, M & Van Steen, E. (2008) Fischer-Tropsch Catalysts for the Biomass-to-Liquid Process. *Chemical Engineering & Technology*. 2008, 31(5): 655-666.

Innehållsförteckning bilagor

Bilaga 1: Provkroppar

Bilaga 2: Hålrum

Bilaga 3: Skrymdensitet & Kompaktdensitet

Bilaga 4: Manual till Marshall

Bilaga 1

UPPMÄTNING AV PROVKROPPARNAS VOLYM									
Serie	Provkropp ID	Höjd mm				Medelhöjd mm	Diameter mm	Volym cm ³	Kommentarer
Referensmassa 120°C med 25 slag på vardera sidan	1	63,6	63,7	65,0	64,9	64,3	101,6	Marshallprovning	
	2	63,1	64,9	65,1	64,5	64,4	101,6		
	3	65,3	65,3	65,3	65,2	65,3	101,4	Pressdragprovning	
	4	65,7	65,1	65,5	66,0	65,6	101,6		
	5	65,0	64,2	64,6	65,2	64,8	101,5		
	6	65,1	64,4	64,7	65,6	65,0	101,6		
	7	63,6	64,0	63,4	63,4	63,6	101,5		
	8	64,4	64,4	65,3	65,3	64,9	101,6		
		Medelvärde:				64,7	101,6	524,1	
Referensmassa 140°C med 50 slag på vardera sidan	11	62,0	62,2	62,8	63,3	62,6	101,4		
	12	63,0	63,5	63,1	62,6	63,1	101,4		
	13	62,7	62,7	62,6	61,7	62,4	101,3		
	14	62,4	62,4	63,3	63,0	62,8	101,4		
	15	63,7	63,1	63,7	63,5	63,5	101,4		
	16	62,8	62,6	62,7	62,1	62,6	101,5		
	17	62,6	62,6	62,0	62,6	62,5	101,4		
	18	62,8	62,3	62,7	63,1	62,7	101,5		
		Medelvärde:				62,8	101,4	506,9	
3 % Sasobit 120°C med 25 slag på vardera sidan	31	65,0	65,3	64,6	64,9	65,0	101,4		
	32	65,3	65,3	64,7	65,0	65,1	101,3		
	33	65,5	65,8	65,5	66,0	65,7	101,3		
	34	66,1	64,7	65,5	65,3	65,4	101,3		
	35	65,6	65,7	65,8	65,7	65,7	101,3		
	36	64,9	64,9	65,4	65,5	65,2	101,3		
	37	65,2	65,7	65,8	64,3	65,3	101,3		
	38	64,7	64,7	65,0	64,3	64,7	101,3		
		Medelvärde:				65,2	101,3	525,9	

UPPMÄTNING AV PROVKROPPARNAS VOLYM

Serie	Provkropp ID	Höjd mm				Medelhöjd mm	Diameter mm	Volym cm ³	Kommentarer
3 % Sasobit 140°C med 50 slag på vardera sidan	41	64,0	64,0	64,0	64,0	64,0	101,3		
	42	64,0	64,0	64,0	63,2	63,8	101,3		
	43	63,5	63,8	64,2	63,7	63,8	101,3		
	44	64,7	63,7	62,7	63,7	63,7	101,4		
	45	61,6	60,4	60,0	61,0	60,8	101,3	Vägde 50 g för lite	
	46	62,4	62,9	63,4	63,4	63,0	101,2		
	47	64,7	65,1	64,0	64,7	64,6	101,3		
	48	62,8	63,8	63,8	63,0	63,4	101,4		
		Medelvärde:				63,4	101,3	510,9	
6 % Sasobit 120°C med 25 slag på vardera sidan	61	65,4	65,0	66,1	66,6	65,8	101,4		
	62	65,6	65,6	66,1	66,3	65,9	101,4		
	63	65,5	64,9	65,1	66,1	65,4	101,4		
	64	66,0	65,6	65,0	66,0	65,7	101,5		
	65	65,5	64,9	65,6	66,3	65,6	101,4		
	66	65,5	66,0	66,0	66,0	65,9	101,4		
	67	64,0	64,1	64,6	64,2	64,2	101,4		
	68	66,5	66,0	65,0	66,0	65,9	101,4		
		Medelvärde:				65,5	101,4	529,3	
6 % Sasobit 140°C med 50 slag på vardera sida	71	64,4	63,3	63,0	63,8	63,6	101,4		
	72	63,2	63,6	63,9	62,9	63,4	101,4		
	73	64,0	63,6	63,6	64,8	64,0	101,3		
	74	63,7	63,7	63,7	63,7	63,7	101,3		
	75	63,3	63,3	63,4	63,4	63,4	101,3		
	76	63,5	64,0	63,6	63,2	63,6	101,3		
	77	63,4	63,1	63,9	63,7	63,5	101,3		
	78	63,2	62,9	62,7	63,7	63,1	101,3		
		Medelvärde:				63,5	101,3	512,3	

Bilaga 2

BESTÄMNING AV PROVKROPPARNAS HÅLRUMSHALT								
Serie	Referensmassa 120°C med 25 stamp på vardera sidan							
Provkropp ID	1	2	3	4	5	6	7	8
Vattentemperatur (°C)	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
Vikt torrt prov (g)	1198,5	1192,9	1195,1	1195,0	1195,1	1195,9	1186,8	1190,3
Vikt prov i vatten (g)	693,9	689,3	689,1	690,1	686,6	688,5	688,7	686,7
Vikt yttorr prov (g)	1201,5	1196,7	1196,7	1202,9	1199,1	1201,4	1190,4	1195,7
Skrymdensitet (kg/m ³)	2,365	2,355	2,358	2,334	2,335	2,335	2,369	2,342
Kompaktdensitet (kg/m ³)	2,453	2,453	2,453	2,453	2,453	2,453	2,453	2,453
Hålrums halt (vol%)	3,6	4,0	3,9	4,9	4,8	4,8	3,4	4,5
Referensmassa 140°C med 50 stamp på vardera sidan								
Marshallprovning	11	12	13	14	15	16	17	18
Pressdragprovning, ITS								
	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
	1186,4	1201,3	1187,0	1192,5	1201,0	1200,7	1188,3	1194,2
	695,0	705,2	697,6	698,5	703,1	706,0	697,6	702,7
	1188,1	1202,2	1188,4	1193,7	1203,8	1202,5	1190,2	1196,3
	2,410	2,421	2,422	2,412	2,402	2,422	2,416	2,423
	2,453	2,453	2,441	2,452	2,453	2,453	2,453	2,453
	1,8	1,3	1,3	1,7	2,1	1,3	1,5	1,2
3 % Sasobit 120°C med 25 stamp på vardera sidan								
	31	32	33	34	35	36	37	38
	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
	1190,3	1192,2	1194,4	1183,4	1190,2	1191,4	1185,9	1180,9
	683,4	684,8	687,7	679,5	682,3	682,7	680,6	677,6
	1195,8	1196,2	1200,5	1187,6	1195,6	1195,5	1193,3	1184,9
	2,326	2,335	2,333	2,333	2,322	2,327	2,317	2,331
	2,448	2,448	2,448	2,448	2,448	2,448	2,448	2,448
	5,0	4,6	4,7	4,7	5,1	5,0	5,4	4,8

BESTÄMNING AV PROVKROPPARNAS HÅLRUMSHALT								
Serie	3 % Sasobit 140°C med 50 stamp på vardera sidan							
Provkropp ID	41	42	43	44	45	46	47	48
Vattentemperatur (°C)	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4
Vikt torrt prov (g)	1193,3	1197,0	1202,1	1199,1	1153,3	1197,8	1200,6	1199,0
Vikt prov i vatten (g)	697,8	700,2	703,2	700,5	675,8	701,9	702,4	702,6
Vikt yttorrprov (g)	1195,0	1198,5	1204,8	1201,2	1155,4	1199,6	1203,6	1201,6
Skrymdensitet (kg/m ³)	2,404	2,406	2,400	2,398	2,408	2,410	2,399	2,406
Kompaktdensitet (kg/m ³)	2,448	2,448	2,448	2,448	2,448	2,448	2,448	2,448
Hålrumshalt (vol%)	1,8	1,7	2,0	2,0	1,6	1,5	2,0	1,7
Marshallprovning	6 % Sasobit 120°C med 25 stamp på vardera sidan							
Pressdragprovning, ITS	61	62	63	64	65	66	67	68
	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
	1196,0	1188,4	1190,5	1200,6	1196,4	1196,4	1186,6	1193,2
	682,6	680,8	681,3	687,0	683,9	683,9	681,5	684,5
	1200,1	1193,4	1195,1	1204,3	1204,3	1200,0	1189,4	1197,4
	2,315	2,322	2,321	2,324	2,302	2,322	2,340	2,330
	2,447	2,447	2,447	2,447	2,447	2,447	2,447	2,447
	5,4	5,1	5,2	5,0	5,9	5,1	4,4	4,8
	6 % Sasobit 140°C med 50 stamp på vardera sidan							
	71	72	73	74	75	76	77	78
	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6
	1196,5	1197,1	1195,8	1196,5	1192,7	1190,8	1195,0	1193,6
	701,1	699,5	696,6	699,2	697,1	695,7	697,5	696,8
	1198,1	1198,9	1197,7	1198,6	1194,9	1193,9	1197,9	1195,8
	2,411	2,401	2,390	2,399	2,400	2,394	2,392	2,396
	2,447	2,447	2,447	2,447	2,447	2,447	2,447	2,447
	1,5	1,9	2,3	1,9	1,9	2,2	2,3	2,1

Bilaga 3

Serie	Referens 120°C 25 stamp		Referens 140°C 50 stamp	
Provkropp ID	1	4	13	14
Vattentemperatur (°C)				
Vikt av Pyknometer (g)	1437.3	1430.4	1431.8	1428.4
Volym (ml)	2100.2	2036.4	2119.2	2075.2
Vattentemperatur (°C)	23.0	22.5	23.5	23.0
Pyknometer ID med lock	17.0	18.0	19.0	20.0
Prov + pyknometer (g)	2674.0	2621.9	2604.5	2620.0
Prov + pyknometer + vatten (g)	4267.9	4177.1	4243.3	4209.3
ρ_w (Mg/m ³)	0.99998808	0.99999980	0.99997609	0.99998808

Serie	3% 120°C 25 stamp		3% 140°C 50 stamp	
Provkropp ID	34	36	46	47
Vattentemperatur (°C)				
Vikt av Pyknometer (g)	1437.3	1430.4	1431.8	1428.4
Volym (ml)	2100.2	2036.4	2119.2	2075.2
Vattentemperatur (°C)	24.0	23.0	24.0	25.0
Pyknometer ID med lock	17.0	18.0	19.0	20.0
Prov + pyknometer (g)	2617.5	2616.4	2637.8	2626.5
Prov + pyknometer + vatten (g)	4236.0	4169.0	4260.7	4214.6
ρ_w (Mg/m ³)	0.99996383	0.99998808	0.99996383	0.99993853

Serie	6% 120°C 25 stamp		6% 140°C 50 stamp	
Provkropp ID	63	68	72	76
Vattentemperatur (°C)				
Vikt av Pyknometer (g)	1437.3	1430.4	1431.8	1428.4
Volym (ml)	2100.2	2036.4	2119.2	2075.2
Vattentemperatur (°C)	23.5	23.5	23.0	23.0
Pyknometer ID med lock	17.0	18.0	19.0	20.0
Prov + pyknometer (g)	2625.9	2622.7	2627.0	2612.8
Prov + pyknometer + vatten (g)	4240.3	4169.6	4256.7	4207.3
ρ_w (Mg/m ³)	0.99997609	0.99997609	0.99998808	0.99998808

Bilaga 4

Manual Marshall Press

Denna manual beskriver tillvägagångssättet för genomförande av metod

Marshalltest SS-EN 12697-34:2004+A1:2007

Pressdragprov SS-EN 12697-23

OBS! Läs igenom hela manualen innan körning

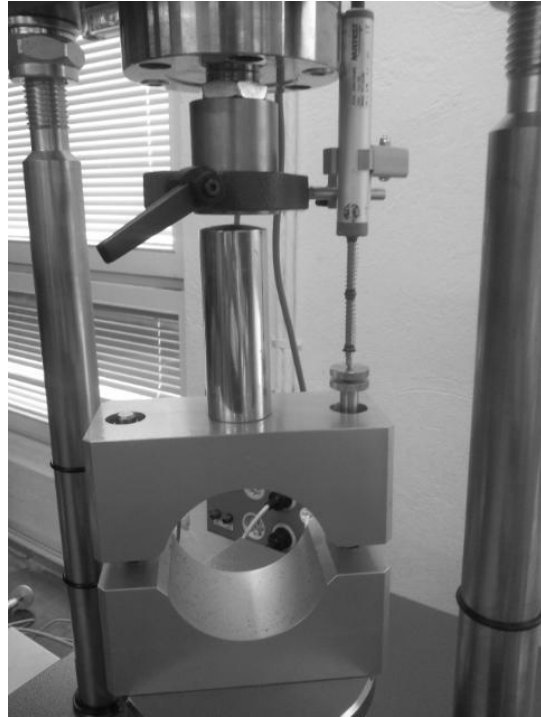


Vid fördjupning & felsökning av maskinen läs:

- Matest manual för cybertronic Modell B044SET
- Matest Operation Manual UTM II Software
- Matest Instruction Manual B047-02

Pressupplägg för Marshall test

- Penngivaren ska stå rakt på den plattan som syns på bilden. Det är viktigt att den står helt lodrät och det gör inget om givaren är lite nertryckt. Kom ihåg att dra åt fästena som håller givaren.
- Ett glapp mellan presshuvudet och pressen på ca 5-10 mm så att motorn hinner upp i rätt hastighet vid test.
- Smörj hela insidan med CRC 5-56

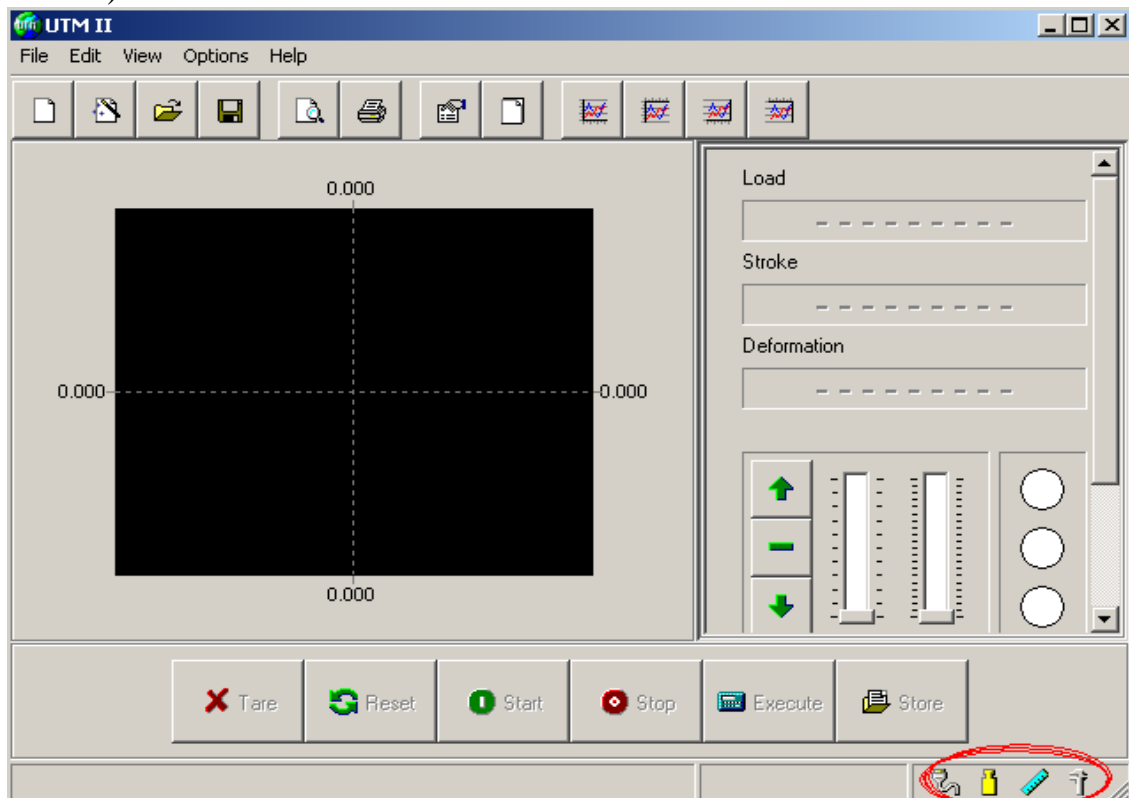


Pressupplägg för Pressdragprov

- Penngivaren ska stå rakt på den plattan som syns på bilden. Det är viktigt att den står helt lodrät och det gör inget om givaren är lite nertryckt. Kom ihåg att dra åt fästena som håller givaren.
- Ett glapp mellan presshuvudet och pressen på ca 5-10 mm så att motorn hinner upp i rätt hastighet vid test.
- Smörj bladen med 5-56



- Se till så att penngivaren är ansluten till kanal 2 i dosan.
- Slå på Cybertronic-enheten genom att vrida på brytaren som sitter på baksidan.
- Slå på Marshallpressen genom att vrida den röda brytaren åt höger.
- Se till så att USB-nyckeln som låser upp mjukvaran är ansluten till den datorn som kommer att köra fjärrstyrningen.
- Starta programmet UTM II (ligger på skrivbordet eller installeras från CD)



De fyra inringade symbolerna i nedre höger hörn ska EJ vara överkryssade och Cybertronic enheten ska vara i ”Remote Control”.

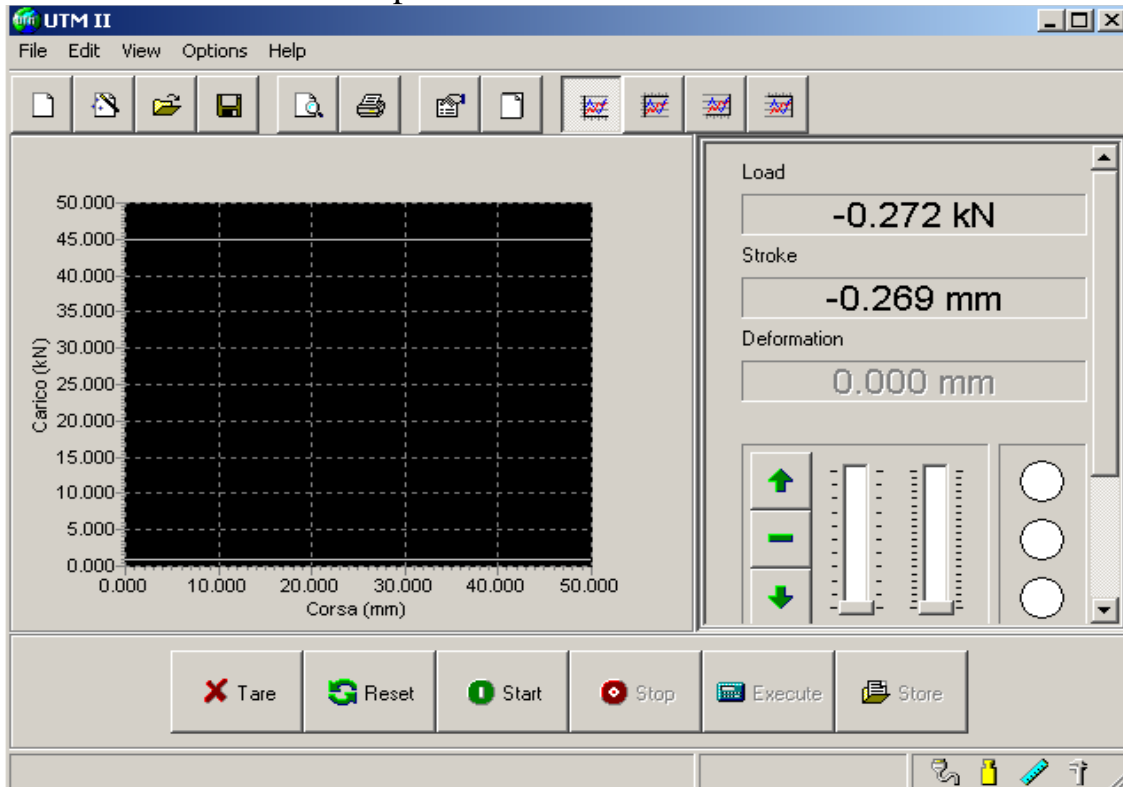
För att sedan ladda ett förprogrammerat test

Välj: File > Open > Den här datorn > Lokal Disk C > Program > UTM 2

Välj sedan :

EN12697-23 för Pressdragprov

EN12697-34 för Marshallprov



- Smörj presshuvudet med CRC 5-56 spray. Placera provkroppen i pressen.
- Tryck på den första rutan ”Tare”. Detta nollställer Load & Stroke som syns höger i bilden ovan.
- Tryck på Start. Då bör det blinka ”Start” eller ”Avvio” i den mittersta nedre rutan.

Nu är mjukvaran redo för mätning, kvar återstår bara att köra igång pressen.



↑ Starta pressen genom att trycka på knappen en gång.

○ Manuell stopknapp.

↓ Återgå till bottenläge genom att trycka en gång. Pressen stannar själv.

- Kör igång pressen genom att trycka på pil upp ↑

En positivt lutande kruva kommer att dyka upp på skärmen. Då kurvan har nått sin peak och börjat få en negativ lutning är det **VIKTIGT** att ni manuellt bryter pressen genom att trycka på den manuella stopknappen. **OBS!** Det är viktigt att presshuvuds halvorna aldrig går ihop.

- När pressen är stoppad, tryck på rutan Stop i UTM II då slutar givarna ta mätdata.
- Tryck på Execute. Då kommer programmet efterfråga bland annat diameter och höjd på provkroppen. Denna data ändrar inte rådatan från mätningen utan skrivs bara ut på rapportbladet.

OBS! För Marshall 12697-34 finns det 9 okända rutor. Dessa kan ignoreras tills vidare.

- För att Exportera mätdata till en text fil för senare beräkningar
File > Export

OBS! Viktigt att detta görs direkt efter mätningen.

Kalibrering

Denna del avser hur kalibrering av givare utförs i Cybertronic-enheten.

- Genom att trycka på knappen **F5** och sedan ange lösenordet **8671** med hjälp av kontrollratten kommer kalibreringsfönstret fram på Cybertronic-enheten.



Det pågår en diskussion om hur pass många kalibreringspunkter en givare behöver för att ge ett exakt mätvärde. Förändringen i givarna är nästintill linjär och därför är givaren kalibrerad i två punkter, utan belastning samt ett maximalt utslag. Värden anges i Steps (mm) och Pts som står för mätpunkten i givaren vid det aktuella Steps.

Indicator		Equipment	
Name :	MP10	Name :	B044SET
Tested on :	14/06/2006	Date :	17/05/2008
Reference		Serial n°:	B044SET-AZ-0010
Name :	TCE-TM - s.n.:205746	Temperature :	20°
Tested on :	14/06/2006	Increment :	0,002
Unit :	kN	Oscillation :	0,002
Scale :	100	Resolution :	0,04 %
Transducer		Zero error :	0,00 %
Name:	PC-K5M-F-S	Class	1
Serial number:	10160023		

n°	Fi	F1°	F2°	F3°	F̄	q %	b %	U %
1	5,000	4,995	5,008	5,003	5,002	-0,04	0,26	0,00
2	10,000	9,988	9,990	9,987	9,988	0,12	0,03	0,00
3	15,000	14,980	14,972	14,989	14,980	0,13	0,11	0,00
4	20,000	19,988	19,983	19,986	19,986	0,07	0,03	0,00
5	25,000	24,989	24,986	24,983	24,986	0,06	0,02	0,00
6	30,000	29,990	29,988	30,000	29,993	0,02	0,04	0,00
7	35,000	34,997	34,986	35,002	34,995	0,01	0,05	0,00
8	40,000	40,006	39,983	39,997	39,995	0,01	0,06	0,00
9	45,000	45,008	44,995	45,011	45,005	-0,01	0,04	0,00
10	50,000	50,016	50,005	50,007	50,009	-0,02	0,02	0,00

n°	Steps	Points
0	0,000	32945
1	5,000	31308
2	10,000	29648
3	15,000	27980
4	20,000	26308
5	25,000	24636
6	30,000	22960
7	35,000	21283
8	40,000	19607
9	45,000	17929
10	50,000	16255

Kalibreringsvärden för penngivaren. Vid kalibrering använd Points (Pts) värde för Steps 0.000 & 50.000