Sänkt tillverkningstemperatur i varmtillverkad asfaltmassa

- en undersökning av möjligheten för miljövänlig asfaltsbeläggning

LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Trafik och samhälle/Väg och trafikteknik

Examensarbete:
Johan Pedersen

© Copyright Johan Pedersen

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 2009

Sammanfattning

Eftersom det går åt mycket energi för att tillverka asfalt, så är det viktigt att undersöka om det finns möjligheter att minska energiåtgången. Därför har detta examensarbete tillsammans med Peab Asfalt gjorts, för att undersöka möjligheterna till sänkt tillverkningstemperatur.
Detta examensarbete syftar till att undersöka om det är möjligt att sänka tillverkningstemperaturen med 30 °C för varmtillverkad asfaltmassa, utan att sänka kvalitén. Genom att undersöka hur packningsbarheten skiljer sig mellan asfaltmassa som packas vid 150 °C och 120 °C, kan man få reda på om det går att uppnå samma kvalité med sänkt temperatur som för hög temperatur. I teorin fungera det inte då bituminet blir för segt vid lägre temperaturer och gör det svårare att packa in. Därför kommer det göras ett antal prover med sänkt tillverkningstemperatur och olika tillsatsmedel för att underlätta packningsbarheten vid sänkt temperatur.

Problemet med att sänka tillverkningstemperaturen är att bituminet blir styvare och därför svårare att packa in och få samma hålrumshalt som med traditionell asfaltmassa. Bituminet är det svarta bindemedlet i asfalten som håller samman stenmaterialet.
Det finns idag olika tillsatsämnen som antingen rörs ner i bituminet eller hälls i blandaren på asfaltverket. Dessa tillsatsämnen är till för att sänka viskositeten på bituminet och på så vis underlätta packningen trots den sänkta temperaturen.
Energikrävande tillverkning ger stor miljöbelastning i form av CO2 utsläpp och har gjort att även asfaltindustrin börjat undersöka möjligheterna till minskade utsläpp.

För att undersöka huruvida det är möjligt att sänka tillverkningstemperaturen och ändå uppnå samma eller liknande resultat som traditionell asfalt så har ett antal labbförsök gjorts. Asfaltblandningar har gjorts på labb vid olika temperaturer samt med olika tillsatsämnen. För att sedan kunna jämföra de olika tillsatsämnen samt referenser så har olika labbförsök på massan gjorts. Massan har stampats in med Marshall- instampning och skrymdensitet, kompaktdensitet samt hålrumshalt har mätts upp för de olika provkropparna. Detta för att se hur packningsbarheten blir för de olika tillsatsämnena så det har varit möjligt att jämföra med en referens. Referensen har packats vid samma temperaturer som tillsatsämnena och de är 120 °C och 100 °C. En referensmassa packad vid 150 °C har dessutom gjorts för att kunna jämföra hur den verkliga asfaltmassan ser ut, i form av hålrumshalter. Detta för att det skall gå att jämföra referensen med de olika tillsatsämnena och se om det blir någon skillnad och vilken som eventuellt blev bäst. Genom att göra penetrations- och mjukpunktsförsök på bituminet efter blandningarna har

eventuella avvikningar och förändringar påträffats. Utöver Marshall-instampning har gyratorisk packning gjorts. Detta för att kunna se vilken packningsansträngning som behövts för de olika blandningarna, och på så sätt kunna se vilken packningsbarhet blandningarna har.

Labbtesterna visar på att det skulle vara möjligt att sänka temperaturen för varmtillverkad asfaltmassa, och ändå uppnå samma packningsbarhet. Detta arbete är ett första steg mot en implementering i produktionen. Fullskaleförsök skulle behövas göras för att kunna påvisa möjligheten till sänkt tillverkning och utläggningstemperatur, då det i labbmiljö skiljer sig en del från verkligheten ute i fält.

Nyckelord: Lågenergiasfalt, sänkt tillverkningstemperatur, minskad energiförbrukning, minskade miljöutsläpp, sänkta utsläpp av växthusgaser

Abstract

This thesis aims to examine whether it is possible to decrease the manufacturing temperature by 30 °C for hot mix asphalt, without compromising on quality. By examining how the compaction differs between asphalt concrete compacted at 150 °C and 120 °C, one can find out if it is possible to achieve the same quality with reduced temperature as for conventional hot mix asphalt. In theory it doesn't work with lowered temperature, because the viscosity of the bitumen gets higher with lower temperature. With higher viscosity the asphalt becomes more difficult to compact. Therefore, a number of samples with lowered manufacturing temperature and various additives that help facilitate compaction.

The problem of reducing the temperature is that the bitumen becomes stiffer and therefore more difficult to compact and get the same voids content as with hot mix asphalt. Bitumen is the black binder in the asphalt that holds the stone material together.
Therefore, there are currently several different additives that are either mixed down in the bitumen or poured into the stone material. These additives will help to reduce the viscosity of the bitumen and thus facilitate the compaction despite the reduced temperature.
Since it takes a lot of energy to produce asphalt, it is important to examine whether there are opportunities to reduce energy consumption and thereby environmental load. Therefore, this thesis is done together with Peab Asphalt in order to investigate the possibilities of reduced manufacturing temperature.

In order to examine whether it is possible to lower manufacturing temperature and still achieve the same or similar results as conventional hot mix asphalt, a number of laboratory tests have been done. Asphalt mixtures have been made in the laboratory at different temperatures and with different additives. To be able to compare the different additives and references, various laboratory tests on the asphalt mix have been made. The asphalt mix has been compacted with Marshall-method and apparent specific gravity, compaction density and air void content has been made for every asphalt mix. This is to see how the compaction is for the different subjects so it has been possible to compare with a reference. The reference has been compacted at the same temperatures as additives 120 °C and 100 °C. A reference mass compacted at 150 °C has also been made in order to compare how the real asphalt mix is, in the term of air void levels. This is to be able to compare the reference with the different additives and see if there was a difference and which possibly became the best. By making the penetration and softening point tests on the bitumen after the mixing any offs and changes have been found. Beyond the Marshall-method, gyratory compaction has been made. This is to be able to see what

compaction effort needed and a further test on how the compaction is for the different asphalt mixtures.

Lab tests show that it would be possible to lower the temperature of hot mix asphalt, and yet achieve the same compaction. But it is difficult to use the results produced in the laboratory, directly in the field. This is because the laboratory is a completely different environment compared to outside in the field. In the laboratory every temperature is kept very accurately and carefully, and also the compaction method used is too effective to be able to see a difference. Full-scale experiments would be needed to demonstrate the possibility of reduced production and paving temperature.

Keywords: warm mix asphalt, WMA, lowered manufacturing temperature, reduced energy consumption, reduced environmental emissions, lowered emissions of greenhouse gases

Förord

Detta examensarbete har varit ett väldigt lärorikt och givande kapitel i min utbildning till högskoleingenjör. Ämnet som jag fick tilldelat mig var ett mycket intressant och för miljöns hänsyn nyttigt ämne. Jag vill därför tacka alla som varit delaktiga i mitt examensarbete och framförallt Peab Asfalt som tog mig under sina vingar och lät mig utföra detta examensarbete på deras asfaltslabb. Framförallt ett stort tack till Peab Asfalts asfaltslabb i Stockholm och Helsingborg där alla varit väldigt tillmötesgående och villiga att hjälpa mig i mitt arbete.

Även ett stor tack till min handledare Nils Rydén som alltid hjälpt och stöttat mig. Ett stort tack till Ebrahim Parhamifar som varit min examinator och alltid varit villig att hjälpa mig, enda från den dagen jag började på LTH.

Jag vill även passa på att tacka alla övriga som funnits där och stöttat samt hjälpt mig under detta arbete. Tack fästmön Emma och tack hela min familj Mamma, Pappa, Henrik och Martin för ert stöd.

Innehållsförteckning

1 Inledning 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Syfte och målsättning 1
1.3 Problemformulering 1
1.4 Avgränsningar 1
1.5 Metod 2
2 Asfalt 3
2.1 Historia 3
2.2 Tillverkning 4
2.3 Miljöbelastning 5
2.3.1 Miljö 5
2.3.2 Ekonomi 6
2.3.3 Övriga åtgärder som hjälper till att spara energi 7
2.4 Fördelar med sänkt tillverknings- och utläggningstemperatur 7
2.5 Tidigare försök med sänkt tillverkningstemperatur 8
3 Metodbeskrivningar 10
3.1 Marshall instampning 10
3.2 Gyratorisk packning 11
3.3 Mjukpunkt 12
3.4 Penetration 13
3.5 Hålrumshalt 14
3.5.1 Skrymdensitet 15
3.5.2 Kompaktdensitet 15
3.6 Återvinning 15
3.7 Kornkurva 16
4 Tillsatsämnen 17
4.1 Cecabase 17
4.2 Aspha-min 17
4.3 Rediset 18
4.4 Sasobit 18
5 Resultat 20
5.1 Marshallmetoden 20
5.2 Gyratorisk packning 20
5.3 Penetration 22
5.4 Mjukpunkt 23
6 Diskussion 24
7 Slutsats 26

Referenser.....27
Bilaga 1.....30
Bilaga 2.....36
Bilaga 3.....37

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Dagens energikris och miljömedvetenhet har aktualiserat undersökningar om hur en sänkning av tillverkningstemperaturen för varmtillverkad asfaltmassa påverkar den färdiga beläggningen. En sänkning av tillverkningstemperaturen för asfaltmassa innebär ett antal fördelar:

- Sänkt energiförbrukning
- Sänkta miljöutsläpp
- Förbättrad arbetsmiljö för personal på asfaltverk
- Förbättrad arbetsmiljö för personal vid utläggning av asfalt, m.m.

En sänkning av tillverkningstemperaturen för asfaltmassa är en viktig faktor att undersöka vidare. Men det gäller att just den asfaltmassa som tillverkats vid en lägre temperatur får samma hållbarhet och har samma packningsbarhet som traditionell varmtillverkad asfaltmassa, annars faller konceptet.

1.2 Syfte och målsättning

Syftet är att i samarbete med Lunds Tekniska Högskola och Peab Asfalt se om det är möjligt att sänka temperaturen vid tillverkning av varmtillverkad asfaltmassa så att energiförbrukning och tillverkningskostnaden sänks utan att påverka asfaltens kvalitet.

1.3 Problemformulering

De problem som skall besvaras är:

- Går det att enbart sänka tillverkningstemperaturen vid tillverkning av asfaltmassa och ändå uppnå samma resultat i packningsbarheten som vid vanlig varmtillverkad asfaltmassa?
- Måste medel som hjälper till att mjuka upp bituminet tillsättas för att kunna uppnå samma packningsbarhet vid sänkt tillverkningstemperatur som man får vid vanlig varmtillverkad asfaltmassa?
- Vilket tillsatsmedel fungerar bäst och skulle i synnerhet väljas?

1.4 Avgränsningar

Arbetet omfattar enbart laboratoriestudier för att undersöka påverkan av sänkt tillverkningstemperatur. Samt se hur packningsbarheten blir för asfaltmassan, då man har sänkt tillverkningstemperaturen och eventuellt tillsatt olika kemiska tillsatsmedel. Vidare kommer Peab Asfalt att själva göra tester ute i

fält genom att pröva den nya asfaltmassan så den blir beprövad att lägga ut samt användas som körbar yta. Det kommer inte att omfattas i denna rapport.

1.5 Metod

För att ta fram resultatet till denna rapport har ett flertal labbförsök gjorts på PEAB Asfalts laboratorier. De labbförsök som gjorts är bl.a. Marshall-instampning av labblandad asfaltmassa. På de instampade provkropparna har sedan ett flertal undersökningar gjorts. Skrymdensitet och kompaktdensitet har bestämts för att få fram hålrumshalten på provkropparna. Detta för att kunna undersöka packningsbarheten för asfaltmassan. Hålrummet är helt beroende på hur väl asfaltmassan packas. En väl packad asfaltmassa får ett lägre hålrum än en dåligt packad asfaltmassa. Kornkurva samt penetration och mjukpunkt har dessutom gjorts på asfaltmassan. Detta för att se så rätt stenfraktioner använts vid blandningen samt se hur bituminet har förändrats av uppvärmningen och/eller tillsatsämnena.

2 Asfalt

Asfalt är ett samlingsnamn för bituminösa bindemedel. Bindemedlet är det svarta i asfalten som håller samman stenmaterialet, som även kallas bitumen. Det bitumen som i huvudsak används i dagens asfaltsbeläggningar är oljeasfalt, som är destillerad ur råolja. I berggrunder runtom i världen kan man finna oljekällor som innehåller råolja. Denna olja kan man borra fram och ta hand om för att sedan raffinera så man får oljeasfalt. Men det är inte enbart oljeasfalt från råolja som har använts genom åren för att sammanfoga stenar. Innan oljekällorna upptäcktes användes naturasfalt (Asfaltbok 1995). Naturasfalt som man kan höra på namnet finns naturligt ute i naturen. Allt från asfaltsjöar i Trinidad till bergarter som innehåller bitumen i stenporerna (Roberts 1996).

2.1 Historia

Under 1800-talet bestod trafiken mestadels av hästtransporter. Det ledde till att det var hästtransporterna som dimensionerade vägarna. Under 1900-talets början introducerades bilen. Detta gjorde att standarden på vägen samt behovet av mer väg ökade. Då grusvägar och dåliga stenvägar tog mer och mer skada från mer trafik och tyngre hästvagnar som drogs av flera hästar samtidigt, behövdes det en förbättring av vägarna (Asfaltbok 1995).
Långt tillbaka genom åren hade man sammanfogat stenar, tegel och trä i byggnader med asfalt. Dessutom hade det använts för att täta tak och båtskrov. Därför gjordes försök med att dränka in stenmaterial med asfalt för att få ett material som inte sköljdes iväg med regnet och inte gav vika för de tungt lastade fordonen. Stenkolstjära var den första typen av bitumen som användes för att binda samman stenmaterial. Det var England och Skottland som detta tidigt blev vanligt, tack vare de stora förekomsterna av stenkol. Redan under 1830-talet började tjärmakadambeläggningar att användas i England, då hästdragna vagnar började lastas mer och mer. Detta skulle komma att spela en stor roll för 1900-talets början då bilen introducerades (Asfaltbok 1995).

Bilanvändandet gjorde att det krävdes bättre vägar, men även att det skulle finnas flera vägar. Men i början på 1900-talet satsades det inte särskilt mycket på vägarna. Det var järnvägen som var prioriterad på den tiden. Skötsel av de befintliga vägarna gjordes därför av markägaren längs vägen. Det var först under 1920-talet som bilanvändandet och bilinnehavet hade vuxit så stort att väghållningsdistrikt inrättades och bilskatt infördes. Detta gjorde att mer pengar fanns tillgängligt att upprätta och underhålla vägar med. Efter att bilskatten introducerades kunde fler vägar byggas och befintliga vägar kunde förbättras. Tjärindränkt makadam och andra tjärbeläggningar blev allt mer

vanlig och detta förbättrade vägarna avsevärt, framförallt under regnperioder (Asfaltbok 1995).
Under 1970-talet förbjöds tjära att användas som beläggning av vägar, då forskning visat att cancerframkallande ämnen i tjäran frigjordes vid upphettning och användning av tjäran. Detta gjorde att nya typer av bitumen var tvunget att tas fram. Utvecklingen av nya och framtida bitumen fick en rivstart på grund av upptäckten av de skadliga ämnena i tjäran på 70-talet. Framtagningen av nya bitumen fick en helt annan syn efter upptäckten. Bituminet skall inte enbart sammanhålla stenmaterial, utan måste dessutom vara helt fritt från hälsoskadande ämnen. Hälsofarliga ämnen som kan förekomma vid tillverkningen, utläggning eller eventuella återvinningar (Asfaltbok 1995).

2.2 Tillverkning

Det finns i huvudsak två resurser som det går att få bitumen ifrån idag. Det är från naturligt bitumen som finns i sjöar eller i porer på stenar. Sedan är det från råolja som borras upp från sjöbottnar och i öknar. Naturasfalt används idag väldigt lite, det är råoljeasfalt som används i huvudsak (Roberts 1996). Naturasfalten kan som sagt förekomma i stora sjöar, som man helt enkelt kan gräva upp och ta tillvara på. En sådan sjö finns bland annat i Trinidad. Trinidad sjön innehåller ca 50-57 % asfalt som går att använda för beläggning. Resterande är finfördelat lera i vulkaniska rester, samt en liten del organiskt material. Asfalten från Trinidad har en väldigt låg penetration, och är därför ett väldigt hårt bitumen (Roberts 1996).

Naturasfalt kan även finnas i stenars porer. Bland annat kan kalksten innehålla naturasfalt i porerna. Men det finns även naturasfalt som går att hitta i gruvor då det förekommer som hårt men sprött glasliknande material. Produktnamnet för detta är Gilsonite och bryts bland annat i Utah, USA. Gilsonite är ett väldigt hårt bitumen och kan därför användas för att göra ett mjukt bitumen hårdare. Gilsonite naturasfalt är ett väldigt rent bitumen och innehåller inga partiklar som måste tas bort före användning (Roberts 1996).

Från råolja kan man få råoljeasfalt. Råoljeasfalten är den asfalt som idag är det vanligaste bituminet att använda för beläggningar av våra vägar. Den råolja som borras upp från marken ur oljekällor måste raffineras för att man skall få ut råoljeasfalten. Då man raffinerar råoljan värms oljan upp i en stor behållare. Sedan hälls oljan över till ett destillationstorn där oljan får svalna. Under avsvalningen kommer de lättaste komponenterna i oljan att förångas och lägga sig på olika nivåer i tornet. På de olika nivåerna i tornet tappas sedan vätska ut och vid de olika nivåerna är det olika produkter som tappas ut. Beroende på deras kokpunkt placerar de sig olika högt i tornet. Vid en nivå i tornet får man

ut destillerat bitumen. Med detta kan man sedan fortsätta förädlingen och få fram olika sorters bitumen(Roberts 1996).

2.3 Miljöbelastning

Länder runt om i världen kämpar alla tillsammans för att sänka koldioxidutsläppen (CO_2) och därmed minska på växthuseffekten. Kyoto protokollet, som ett flertal länder har skrivit på, är ett avtal där växthuseffekten skall minskas. Varje land skall göra vad de kan för att sänka sitt lands utsläpp av CO_2. Kyoto protokollets mål är att varje land skall sänka sitt CO_2 - utsläpp med 5,2 % av år 1990's värde mellan 2008-2012. EU i sig har sedan satt en egen önskad nivå för sänkning av CO_2 - utsläpp med 15 % till 2010. Ett av många sätt att sänka ett lands CO_2 - utsläpp vore att förbättra och förfina sättet att tillverka asfalt på. Asfalt används överallt i världen, och i varierande utsträckning. En sänkt tillverkningstemperatur skulle innebära stora vinster i att försöka minska sitt lands CO_2 - utsläpp (FHWA 2008).

2.3.1 Miljö

Genom att sänka temperaturen vid tillverkning av asfalt sminskar CO_2 - utsläppen. En minskning mellan 30-40 % CO_2 - utsläpp gå att uppnå genom att sänka tillverkningstemperaturen med 30 °C (FHWA 2008). Det innebära ca 4,1 till 5,5 kg CO_2 mindre per ton tillverkad asfaltmassa (Croteau 2008). Svaveldioxid- utsläpp (SO_2) går att minska med upp till 30-40 % och lättflyktiga organiska ämnen (VOC - volatile organic compunds) går att minska med så mycket som 50 %. Lika så kväveoxider (NO_x) går minska med 60-70 %. Det damm som uppstår vid torkning av stenmaterial samt själva tillverkningen av asfaltmassan går dessutom att minska med 20-25 % (FHWA 2008).
Växthuseffekten är som mest påverkad av CO_2 – utsläppen och är därför viktigt att minska. Men NO_x- utsläpp och olika VOC- utsläpp är lika viktigt att minska, då dessa bidrar till bildandet av maknära ozon (FHWA 2008).

Ämne	**Minskning**
CO_2 (Koldioxid)	30-40 %
SO_2 (Svaveldioxid)	30-40 %
NO (Kväveoxid)	60-70 %
Damm, lättflyktiga ämnen	20-25 %

Figur 1, sammanställning över de minskade utsläppen

Stora mängder dieselolja eller gas används för uppvärmningen samt torkning av stenmaterial till asfaltmassa. En sänkning av tillverkningstemperaturen innebär att det stenmaterial som kommer in, inte behövs värmas upp till samma höga temperatur som innan. Detta gör att det gå åt mindre av den dieselolja eller gas som används vid förbränning. En sänkt tillverkningstemperatur innebär en minskning på upp till 20-35 % av

användningen av dieselolja eller gas (FHWA 2008). Översatt till liter blir det ca 1,5-2 liter sparad dieselolja per ton tillverkad asfaltmassa eller ca 1,5-2 m^3 sparad gas per ton tillverkad asfaltmassa. Detta innebär att en stor besparing av både dieselolja och gas (Croteau 2008).

2.3.2 Ekonomi

En sänkt tillverkningstemperatur innebär mer än bara miljöbesparingar. Som nämnts ovan så minskas användningen av dieselolja eller gas. Så mycket som 35 % går att spara in på en sänkt tillverkningstemperatur (FHWA 2008).
En undersökning gjordes på ett av deras större asfaltverk i Singapore, där man undersökte energiåtgång vid hela processen för tillverkning av asfaltmassa. Största delen av energin som användes gick då åt till att torka och värma upp stenmaterialet. Genom att enbart använda sig av en sänkt tillverkningstemperatur kan upp till 35 % dieselolja sparas. Då detta asfaltverk använder sig av 8,61 liter dieselolja per ton tillverkad asfaltmassa, kommer 35 % besparing av dieselolja per tillverkat ton bli mycket i längden. För varje ton tillverkad asfaltmassa kommer ca 3 liter dieselolja sparas. Då en liter dieselolja kostar 9 kr kommer 3 liter dieselolja spara 27 kr per ton tillverkad asfaltmassa. En kombination av torrhållning av stenmaterialet samt en sänkt tillverkningstemperatur hjälper ytterligare till att minska dieselförbrukningen. Asfaltverket i Singapore kunde producera upp till 300 ton asfaltmassa per timme. För varje ton massa kan 3 liter dieselolja sparas vilket ger 900 liter varje timme. Detta asfaltverk kan därför spara 8100 kr per timme i enbart minskad dieselanvändning. För ett års producering blir detta 4 050 000 kr i besparingar (Ang 1993).

Men det är inte enbart torkning och uppvärmning av stenmaterialet som slukar energi. Uppvärmningen av bituminet tar även en del energi. För det ändamålet används oftast elektricitet. En sänkt tillverkningstemperatur innebär att bituminet inte behöver värmas upp till samma höga temperatur. Därför går det även att spara pengar vid denna del av tillverkningen (Ang 1993).

Peab Asfalt har gjort en liknande kalkyl som den som gjordes i Singapore (Bilaga 3). Men med inriktning på sänkt tillverkningstemperatur där avdrag för energibesparing är gjord för varje ton tillverkad asfalt. I denna beräkning har även kostnaderna för de olika tillsatsämnena tagits med och sedan jämfört vilket tillsatsämne som skulle ge den största. Kalkylen visar att tillsatsämnet Cecabase teoretiskt sparar 8,45 kr/ton tillverkad massa. Det dyraste av de olika alternativen tillsatsämnen skulle vara Rediset. Det skulle göra att varje ton tillverkad asfaltmassa skulle bli 29,32 kr dyrare, trots energibesparingarna. Det är därför viktigt att ta hänsyn till vad de tillsatsämnen som eventuellt kommer att användas vid tillverkning av asfaltmassa vid lägre temperatur, tas med i beräkningen. Alla tillsatsämnena presenteras i kapitel 4. Kalkylen finns redovisad i bilaga 3.

2.3.3 Övriga åtgärder som hjälper till att spara energi

Det finns fler möjligheter att kunna spara energi och miljö på än att enbart sänka tillverkningstemperaturen. Det finns gott om energi att spara på att torrförvara stenmaterialet till asfaltmassan. Då huvuddelen av energin i ett asfaltverk går åt till att torka det stenmaterial som skall användas, så finns potentialen till att spara energi enbart genom att torrförvara stenmaterialet. Detta är en enkel och relativt billig lösning. Det som behövs är någon form av tält eller enkel hall där stenmaterial kan förvaras så det inte utsätts för direkt regn. Detta gör att vattenhalten i stenmaterialet hålls nere avsevärt. Varje % mindre fukt i stenmaterialet kan spara upp till 0,8 l dieselolja per ton asfaltmassa tillverkad. Det ger ungefär 5-10 % mindre användning av dieselolja. Detta i sin tur gör att pengar och inte minst naturen sparas (Energimyndigheten 2002).

Genom att planera bättre vid tillverkning av asfaltmassa skulle flera liter dieselolja sparas varje år. Varje start och stopp kräver 40-80 liter dieselolja extra. Dålig planering av leveranser och receptbyten gör det att det blir stopp i tillverkningen och en uppstart kräver extra energi och förbrukning. Genom att sammanställa leveranser och organisera för olika recept och produkter skulle detta innebära färre starter och stopp för ett asfaltverk. Detta är en billig och enkel lösning för att spara pengar och miljö på. Med bättre planering skulle det gå att spara ungefär 2-3 % dieselolja (Energimyndigheten 2002).

2.4 Fördelar med sänkt tillverknings- och utläggningstemperatur

Besparade pengar och minska påverkan på naturen är sådant som en sänkning av tillverkningstemperaturen för asfalt skulle innebära, man skulle vinna mer än så. Arbetsmiljön för anläggare som lägger asfalten skulle förbättras. De skulle inte bli utsatta för samma höga temperaturer vilket skulle ge en behagligare arbetsmiljö. Dessutom skulle de slippa att andas in röken från den varma asfaltmassan och andra partiklar som frigörs vid den höga temperaturen. Partiklar som i längden kan komma att vara skadliga och kanske ge bestående men (FHWA 2008).

Då asfaltmassan är tillverkad i lägre temperatur och då tillsatsämnen är tillsatta för att göra bituminet mjukare, möjliggör detta till längre fraktavstånd. Massan stelnar inte lika fort och får inte sämre läggningsegenskaper bara för att den tappat mer i temperatur. Detta gör även att asfaltsäsongen kan bli längre då kallare väder inte påverkar massan i samma utsträckning som den skulle göra för en konventionell massa.

Packning av asfaltmassa tillverkad vid lägre temperatur skulle bli enklare och krävas färre överfarter då denna asfaltmassa är enklare att packa. Tack vare tillsatsämnen som ger en lägre viskositet på bituminet gör detta att packningen blir enklare (FHWA 2008).
Eftersom asfaltmassan har en lägre temperatur då den läggs än konventionell asfaltmassa, så gör detta att trafik kan släppas på tidigare. På grund av snabbare stelning.

Återvinning av asfaltmassa som är tillverkad vid lägre temperatur skulle dessutom bli enklare. Åldringen av bituminet sker inte lika fort, eftersom tillverkningstemperaturen är lägre och påverkar därför inte bituminet lika mycket. Detta gör att större mängd asfalt kan användas i återvinningen och mindre del ny asfalt behöver användas. Alla dessa fördelar gör att pengar och tid sparas, samt att arbetsmiljön blir bättre samtidigt som miljön sparas (FHWA 2008).

2.5 Tidigare försök med sänkt tillverkningstemperatur

Länder i Europa som har provat asfalt som är tillverkad vid lägre temperatur är bland annat Norge, Tyskland och Frankrike.
I Norge har man lagt sex vägsträckor med asfalt som var producerad med lägre tillverkningstemperatur. Vägarna hade en variation mellan 3500 till 25 000 i fordon per dag. Fyra av dem var lagda med en tät asfaltbetong (ABT) och två var lagda med en stenrik asfaltbetong (ABS). Beläggningarna har inte visat på några ovanliga skador och skiljer sig inte mot en vanlig beläggning tillverkad på traditionellt sätt. Slitage har påträffats på alla sträckor, men inte av någon ovanlig grad. Slitaget beror på dubbdäck som är tillåtet i Norge. Slitaget är liknande för konventionell asfalt. Överlag har inga skador på sträckor lagda med asfalt tillverkad vid låg temperatur skilt sig åt från sträckor med asfalt tillverkad med hög temperatur (FHWA 2008).

I Tyskland har ett antal sträckor lagts med asfalt tillverkad vid låg temperatur. Det har lagts på allt från autobahn till mindre vägar i landsbygden. På dessa sträckor har det även lagts en kontrollsträcka intill eller efter, av asfalt tillverkad vid hög temperatur. Alla sträckorna har visat på liknande egenskaper både för asfalten tillverkad vid låg temperatur som vid hög temperatur. För dessa sträckor har man använt sig av tre olika tillsatsämnen. Tillsatsämnen som skall hjälpa till att underlätta packning och bearbetning av asfaltmassan. I ett flertal av försöken har asfalten tillverkad vid låg temperatur påvisat bättre egenskaper jämfört med traditionell asfalt. I de övriga försöken har lågtemperaturasfalten samma egenskaper som traditionell asfalt. Med andra ord, lågtemperaturasfalten har inte påvisat sämre egenskaper än traditionell asfalt. Tillsatsämnena som användes till lågtemperaturasfalten hjälper till att mjuka upp bituminet. Försöken har visat på att sprickbildning i

asfalten vid kalla årstider minskar för sträckorna med lågtemperaturasfalten eftersom tillsatsämnen är iblandade (FHWA 2008).

I Frankrike har även ett antal vägar lagts med asfalt tillverkad vid låg temperatur. Framförallt har en större motorväg belagts med lågtemperaturasfalt. Motorvägen har 21 000 fordon per dygn och är utsatt för mycket lastbilstrafik. De skador och egenskaper som observerats på vägar lagda med lågtemperaturasfalt skiljer sig inte från liknande vägar belagda med traditionell asfalt. I övrigt har lågtemperaturasfalten varit uppskattad och ses som allmänt positiv i Frankrike. Det är nämligen inte enbart uppvisade egenskaper på färdig väg som anses viktigt i Frankrike. Eftersom lågtemperaturasfalten släpper ut mindre föroreningar och det blir mindre rök vid beläggning av asfaltmassan anses detta som en bra och viktig egenskap (FHWA 2008).

3 Metodbeskrivningar

3.1 Marshall instampning

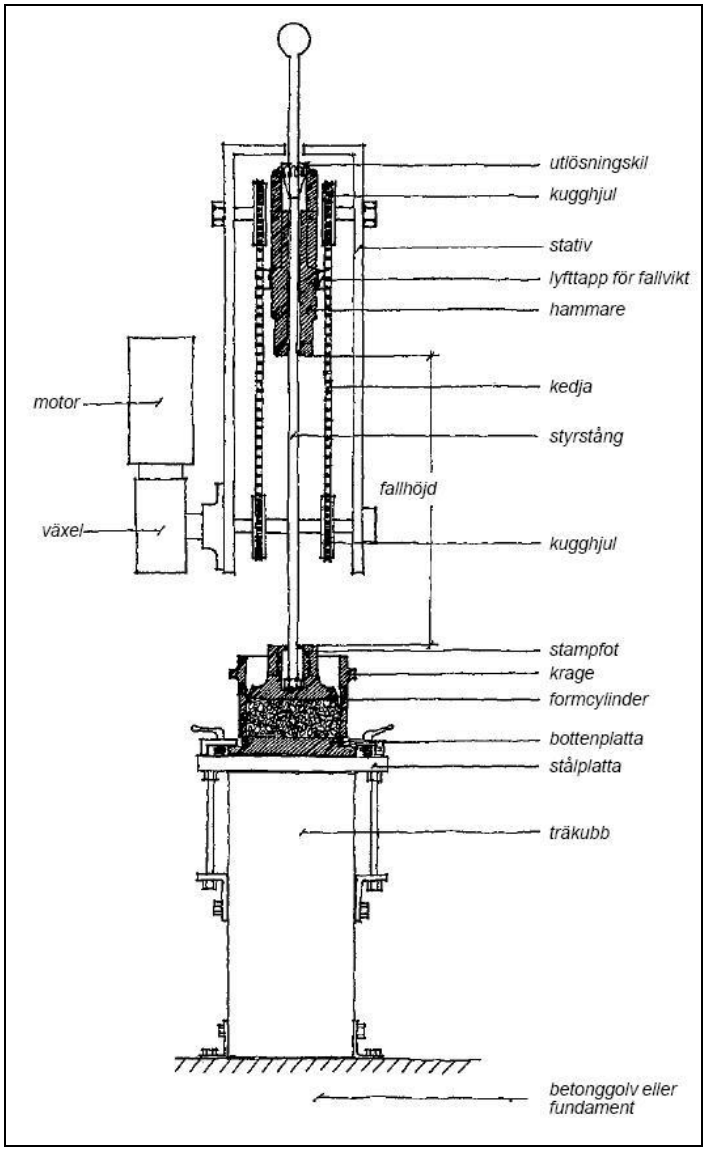
Bruce Marshall är mannen bakom denna metod. Det var 1939 som Bruce Marshall uppfann denna metod för att packa asfaltmassa då han jobbade på Mississippi Highway Department. Metoden var ett snabbt och enkelt sätt att packa asfaltmassa för att i laboratorium kunna bestämma det ultimata bituminet för asfaltmassan beroende på dess användningsområde. Metoden användes mycket under andra världskriget för att bestämma ultimata asfaltmassan för landningsbanor. Detta då däckstrycken ökade avsevärt, pga. tyngre laster på planen samt större plan. Metoden utvecklades och blev en standard för provning och packning av asfaltmassa (Lavin 2003).

Marshall packning är en metod som är till för att packa in asfaltmassa till provkroppar som skall efterlikna väl packad beläggning med avseende på hålrumshalt. Detta för att kunna ta reda på hålrumshalten för en asfaltmassa. Metoden går ut på att en asfaltmassa som skall packas in (antingen laboratorieblandad asfaltmassa eller verkblandad asfaltmassa) värms till den önskade inpackningstemperaturen. Den önskade temperaturen bestäms utifrån den typ av bitumen som används i asfaltmassan och är normalt mellan 130-160 °C. En form som består av en bottenplatta, formcylinder samt en krage värms upp till samma temperatur. Detta för att det inte skall ske någon temperatursänkning då asfaltmassan hälls i formen. Då asfaltmassan har rätt temperatur hälls den i formen och sätts in i instampningsapparaten (FAS 1995).

Formcylindern har en diameter av 101,6 mm och då går det åt 1200 g asfaltmassa, eller så har formen en diameter av 150 mm och då går det åt 2600 g för att man skall få den önskade höjden av 63,5 ± 5,0 mm på provkropparna. Bottenplattan och kragen har samma diametrar som formcylindern (FAS 1995).
Själva instampningsapparaten är en maskin med en stampfot som har samma diameter som den formcylinder man använder. En vikt används för att packa materialet.

Vikten är beroende på vilken formcylinder man använder och är 4550 ± 50 g för den lilla formcylindern och 9920 ± 50 g för den stora. Den släpps upprepandes från en höjd av 460 ± 3 mm 50 gånger på asfaltmassan, sedan vänds formcylindern och sedan släpps vikten ytterligare 50 gånger på den andra sidan. Den tid det får ta för 50 slag är 50-70 sekunder.

Efter att packningen är klar så skall proverna svalna tills det att de går att pressa ut ur formcylindern. Sedan är provkroppen klar och tester kan påbörjas på provkroppen (FAS 1995).



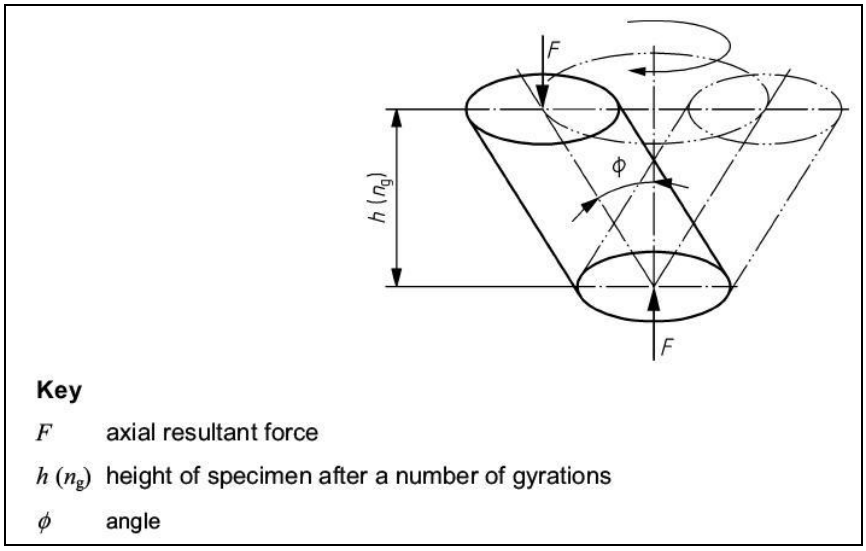
Figur 2, Marshallinstampningsapparat (FAS 1995)

3.2 Gyratorisk packning

Denna packningsmetod går ut på att försöka efterlikna vältens packningsfunktion. Genom att applicera tryck samtidigt som det sker en roterande rörelse i sidledes gör att packningen efterliknar vältens statiska vikt och knådningsmöjlighet (Gibson 2006).
Metoden används för att bestämma hålrumshalten för en asfaltmassa. Det går till på så vis att en asfaltmassa som skall packas in vägs upp i rätt mängd, asfaltmassan kan antingen vara laboratorietillverkad eller verktillverkad. Mängden bestäms utifrån önskad densitet på provet samt minsta höjd som provkroppen får vara och diametern på formcylindern. Massan värms sedan tillsammans med formcylinder och ett lock till önskad inpackningstemperatur.

Temperaturen bestäms utifrån det bitumen som används i massan. Formcylindern har en diameter på antingen 100 ± 0,1 mm, 150 ± 0,1 mm eller 160 ± 0,1 mm (SIS 2007).
Då temperaturen uppnått önskad nivå hälls asfaltmassan i formarna och ett lock läggs över. Formen med asfaltmassan förs in i den gyratoriska pressen. Sedan anges olika värden i programvaran, så som vilken vikt asfaltmassan har, vilken vinkel man vill använda vid rotationerna samt vilket tryck som skall läggas på.

Då maskinen packar materialet gör den det genom att lägga på det önskade trycket på massan, samtidigt som den roterar formcylindern med den angivna vinkeln. Maskinen räknar ut den höjd som krävs på provkroppen för att den skall få den önskade densiteten och utför rotation efter rotation under tryck tills dess att den önskade höjden är uppnådd. Antalet rotationer noteras och man har då fått ett mått på hur packningsbarheten är för denna asfaltmassa (SIS 2007).



Figur 3, Gyratoriskt rörelsediagram (SIS 2007)

3.3 Mjukpunkt

Metoden går ut på att ta reda på vid vilken temperatur bituminet blir så pass flytande att det inte längre kan bära en 3,5 gram tung stålkula, mjukpunkten. Eller kan man säga att det är den temperatur då bituminet inte längre skulle kunna hålla ihop en asfaltmassa och den skulle trilla ihop (Shell Bitumen 2003).

Det bitumen som skall testas värms upp så det är flytande. Sedan hälls det upp i två kopparringar, med ett papper under så det stannar kvar i ringarna. Bituminet får sen svalna och ställs sedan kallt i t.ex. ett kylskåp. De två ringarna placeras i en hållare. Hållaren har plats för två ringar överst och precis under sitter en platta på ett avstånd av 25 mm. Detta ställs i ett

vattenbad och kyls ner i kylskåp. En hållare som är till för att centrera stålkulan sätts ovanpå ringarna med bitumen. En stålkula på 3,5 gram läggs i hållaren (FAS 1995).

Då allt är nedkylt till ca 5 °C så ställs behållare med vatten och hållaren för ringarna på en värmeplatta. Vattnet värms nu upp med 5 °C per minut och under omrörning tills dess att bituminet har blivit så pass varmt att stålkulan trillar ner till den undre plattan. Då stålkulorna träffar den undre plattan antecknas temperaturen på vattenbadet. Det får inte skilja mer än 1 °C för proverna då kulan träffar den undre plattan. I annat fall måste provet göras om. Mjukpunkten för det testade bituminet är sedan medelvärdet av de två provernas temperatur (FAS 1995).

Figur 4, Hållare med ring och kula för mjukpunktstestning (Humboldt)

För de olika bitumen kvalitéerna finns det krav på mjukpunkt som skall uppfyllas. Dessa visas i tabellen nedan.

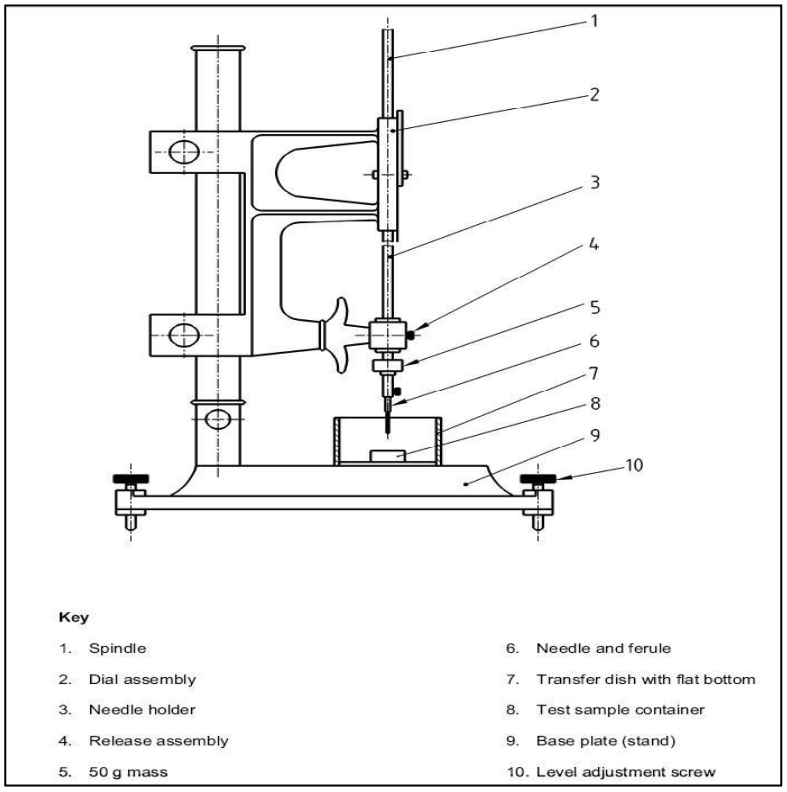
Kvalitet	50/70	70/100	100/150	160/220	330/430
Mjukpunkt (°C)	46-54	43-51	39-47	35-43	-

Figur 5, sammanställning mjukpunkt för olika bitumen (Vägverket 2007)

3.4 Penetration

Vid mätning av penetrationen för ett bitumen så mäts hur djupt en nål kan tränga ner i bituminet med en viss last och under en viss tid och i en viss temperatur. Man får då fram hur djupt nålen trängt ner i bituminet och det ger ett värde på hur pass hårt eller mjukt detta bitumen är. Ett hårt bitumen ger en liten penetration och ett mjukt bitumen ger en djup penetration.
Det är även denna metod som givit namn på de vanligaste av våra bitumen. Ett bitumen med t.ex. namnet 70/100 har en penetration som ligger mellan 70 och 100 dmm (decimillimeter). (Shell 2003)
Bituminet som skall provas hälls upp i behållare som har en inre diameter på 60 mm och ett inre djup på 60 mm. Bituminet skall sedan svalna för att sedan tempereras i ett vattenbad där det är 25 °C under 1,5-2 timmar. Behållaren placeras sedan i penetrometern. Penetrometern är den apparat som används för att utföra testet. Apparaten består av en hålhållare som kan röra sig vertikalt. En längdmätare är monterad på apparaten som kan mäta förskjutningen vertikalt i nålhållaren. Nålhållaren är belastad med en vikt på 100 g (FAS 1995).

Nålen skall nu fästas i apparaten och sedan föras ner så långt ner att spetsen på nålen är precis ovanför ytan på bituminet. Nålen skall sedan frigöras och få penetrera ner i bituminet under en tid på 5 sekunder och med angiven belastning (FAS 1995). Djupet som nålen penetrerar ner i bituminet mäts och antecknas då testet är klart. Testet upprepas sedan 3 gånger och medelvärdet av mätningarna är det som är det testade bituminets penetration (Shell 2003).



Figur 6, Penetrometer (SIS 2007)

Kvalitet	50/70	70/100	100/150	160/220	330/430
Penetration (dmm)	50-70	70-100	100-150	160-220	330-430

Figur 7, sammanställning penetration för olika bitumen (Vägverket 2007)

3.5 Hålrumshalt

Hålrumshalten är ett mått på hur mycket hålrum det finns i den provade asfaltmassan, i procent. Man mäter alltså de hålrum som luftfyllda och helt slutna mellan sten och bitumen (PTC 1).
För att kunna ta reda på hålrumshalten behövs skrymdensiteten och kompaktdensiteten för en asfaltmassa. Dessa metoder förklaras i kap 3.5.1 och 3.5.2. Hålrumshalten beräknas sedan med en ekvation där medelvärdet av skrymdensiteten och medelvärdet av kompaktdensiteten förs in.
Ekvationen ser ut så här:

$H_b = 100(\rho_b-\gamma_b)/\rho_b$
där
H_b = hålrumshalten i vol-%,
γ_b = skrymdensitet i g/cm³
ρ_b = kompaktdensitet i g/cm³ (FAS 1995).

Hålrumshalten är ett mått på hur stabilt och hur pass hållfast den undersökta asfaltmassan är. Det är även ett sätt att jämföra packningsbarheten för en asfaltmassa. Genom att undersöka hålrumshalten för en referensmassa kan man sedan jämföra det med andra massor som man t.ex. sänker tillverkningstemperaturen på (PTC 1).

3.5.1 Skrymdensitet

Skrymdensiteten tas fram från tillverkade provkroppar, antingen från verktillverkad asfalt eller från laboratorietillverkad asfalt. Genom att man vet förhållandet mellan provkroppens torrvikt och skrymvolym så får man reda på skrymdensiteten. Skrymvolymen fås genom att provkroppen vägs i vatten. Provkroppen tas sedan ut ur vattenbadet och torkas lätt av på ytan och vägs sedan direkt igen. Då vet man vad provkroppen väger i vatten och vad det väger med dess porer fyllda med vatten i luft. Skrymdensiteten räknas sedan fram genom att ta vikten för det torra provet och dividera med provets skrymvolym (FAS 1995).

3.5.2 Kompaktdensitet

Denna metod används för att ta fram kompaktdensiteten på ett sönderdelat asfaltprov. Man använder sig av det provet man använde vid skrymdensitets testningen. Provkroppen värms upp i värmeskåp så det går att dela ner.
Det lösa provmaterialet läggs i en pyknometer (behållare med känd volym och med ett väl slutande lock) och vägs med lock och klämma. Sedan fylls den med vatten, nästan ända upp. Pyknometer med prov ställs sedan på ett skakbord samt att en vakuumpump kopplas till pyknometern. Skakbordet gör att de möjliga luftbubblor som finns i provet lossnar och kan flyta upp. Vakuumpumpen hjälper till att förstärka effekten och suger ut eventuellt luft. Efter 15 min skakning tas provet loss från vakuumpumpen och lyft ut från skakbordet. Vatten fylls på hela vägen upp och locket förs över för att sluta helt tätt och inga luftbubblor får finnas kvar. Provet skall sedan tempereras till 25 °C för att sedan vägas på våg.

Vikten man fick från provet då det var torrt i pyknometern och det vattenlagrade provet utan luftbubblor används sedan för att ta fram provets kompaktvolym. För att sedan ta fram kompaktdensiteten tas förhållandet fram mellan provets torrvikt och provets kompaktvolym. (FAS 1995)

3.6 Återvinning

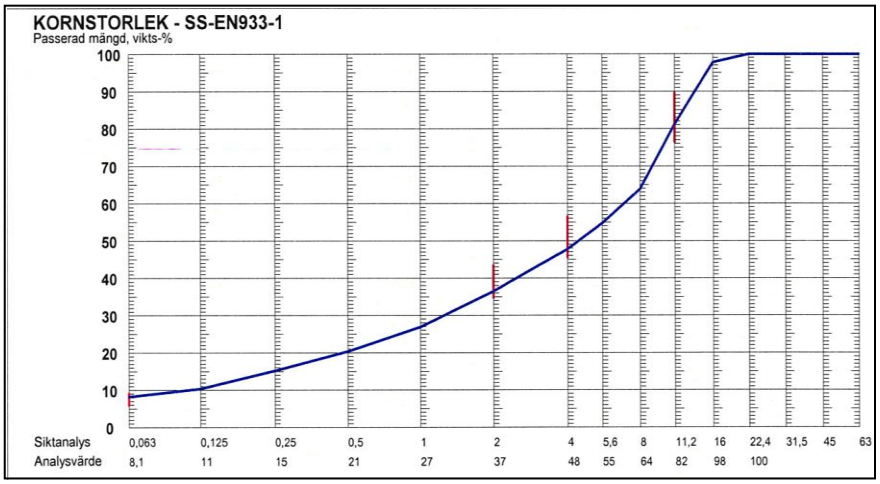
Denna metod går ut på att bituminet har tvättats bort från stenmaterialet med hjälp av en extraktionsapparat genom att tillsätta lösningsmedel i form av diklormetan. En extraktionsapparat är en maskin där bitumen tvättas bort från ett stenmaterial med diklormetan samtidigt som provet roteras i en väldigt hög hastighet. Genom att göra detta så centrifugeras allt som inte är stenmaterial bort. Genom att använda sig av denna metod kan man för det första få fram

bindemedelshalten på asfaltmassan. Detta görs genom att asfaltmassan vägs innan extraktion av bituminet och sedan vägs stenmaterialet efter att allt bitumen är borttvättat. På det kvarvarande stenmaterialet kan man sedan göra en kornkurva (FAS 1995). Kornkurva förklaras mer i kap 3.7.
Det borttvättade bituminet kan man sedan göra själva återvinningen på, som dessutom innehåller diklormetan. Detta sker med hjälp av en rotationsindunstare, då diklormetanet måste avdunstas för att enbart få kvar bituminet. På bituminet, som fås efter avdunstning av diklormetanet, kan sedan penetrationstester samt mjukpunktstester göras (FAS 1995).

Återvinningen går ut på att avdunsta diklormetanet från bituminet genom att använda en rotationsindunstare som värmer upp blandningen av bitumen och diklormetan samtidigt som trycket sänks. Genom att sänka trycket så underlättas kokningseffekten i blandningen och diklormetanet kan dunsta från lösningen. Diklormetanångorna kyls ner och samlas upp i en behållare och kvar har man nu en behållare med rent bitumen och en behållare med rent diklormetan (FAS 1995).

3.7 Kornkurva

Denna metod går ut på att bestämma ett stenmaterials kornfördelning. Det stenmaterial som skall undersökas hälls i en siktserie. Siktserien består av ett antal fat med nät i botten med olika stora masker i. Dessa fat släpper bara igenom en viss storlek på stenar och gör att man kan ta reda på hur mycket av en viss stenstorlek ett stenmaterial innehåller.
Efter att stenmaterialet hällts i siktserien ställs hela siktserien i en skakmaskin. Denna skakar hela siktserien inklusive stenmaterialet så det går att försäkra sig om att rätt stenmaterial har stannat på rätt fat.
Efter skakningen vägs varje stenfraktion var för sig och antecknas. Från de olika vikterna kan man sedan rita upp en kornkurva. Det är ett diagram som förklarar hur många procent av stenmaterialet som trillade igenom varje siktfraktion (FAS 1995).
Genom att använda denna metod kontrolleras så att den asfalt som tillverkas har rätt sorts stenmaterial i sig.



Figur 8, Exempel på en kornkurva (Peab Asfalt)

4 Tillsatsämnen

De tillsatsämnen som använts vid provning för sänkt tillverkningstemperatur beskrivs närmare här. Alla uppgifter är hämtade från tillverkarnas egna specifikationer.

4.1 Cecabase

Cecabase är ett tillsatsämne som tillverkas av Ceca Arkema Group. Ceca Arkema Group är ett företag som finns i över 100 länder och har en stark industriell bas i Europa och med ett antal forskningscentra utspridda (Ceca 2008).

Tillsatsämnet cecabase är ett flytande tillsatsämne som antingen tillsätts samtidigt som bituminet blandas ner i bitumentanken. Doseringen är 0,2-0,5 % av vikten av asfaltmassan. Cecabase fungerar som så att ytaktiva föreningar orienterar sig i gränsytan mellan sten och bitumen. Detta gör att ytspänningen sänks och vidhäftning mellan sten och bitumen förbättras. De ytaktiva föreningarna tränger därför undan de föreningar i bituminet som inte är speciellt benägna att adheras till själva stenmaterialet. För att få dessa föreningar att adhera stenmaterialet bättre utan tillsatt cecabase behövs lägre viskositet, som fås av högre temperatur. Det är därför dagens asfaltmassa tillverkas vid så hög temperatur. För att just få de vidhäftande egenskaperna man är ute efter. Cecabase hjälper till att adhera och smörja stenmaterialet med bitumen och gör därför att det är möjligt att sänka temperaturen på bituminet. Just för att den lägre viskositeten inte behövs. Med cecabase tillsatt i asfaltmassan går det enligt tillverkaren att sänka utläggningstemperaturen med 50 °C och tillverkningstemperaturen går att sänka från 160 °C till 120 °C. Cecabase förändrar inte bituminet i sig så som penetration och mjukpunkt. (Ceca 1). Det som står ovan är vad tillverkaren anger.

4.2 Aspha-min

Aspha-min tillverkas av det tyska företaget Aspha-min GmbH. Aspha-min tillsätts i stenmaterialet precis innan bituminet tillsätts. Doseringen är 0,3 % av den totala vikten på asfaltmassan (Aspha-min).

Aspha-min består av syntetisk zeolit, zeolit är en kristalliserad natrium-aluminium-silikat. Silikater är kemiska föreningar av kisel och syre. I dessa zeoliter finns även en del kristallvatten, och aspha-min innehåller upp till 21 vikt-% vatten.
Kristallvattnet förångas ut ur aspha-minet vid en temperatur på 100 °C eller mer. Vattnet ger en skummande effekt till bituminet vilket gör att viskositeten minskar och bituminet kan då lättare täcka stenmaterialet trots den sänkta

temperaturen. Temperaturen kan sänkas med upp till 30 °C. Sänkningen i viskositet på bituminet gör att bearbetning och utläggning blir lättare, än vad det skulle varit utan aspha-min tillsatt samtidigt som temperaturen är sänkt. Då vattnet avdunstar blir kvarvarande produkt från aspha-min extra filler. Aspha-min påverkar inte bituminet på något vis så som penetration eller mjukpunkt (Aspha-min). Det som står ovan är vad tillverkaren anger.

4.3 Rediset

Rediset tillverkas av företaget Akzo Nobel som har sitt huvudsäte i Amsterdam, Nederländerna och finns utspridda över hela världen. De specialiserar sig på färg, lim och limsystem samt speciella kemikalier (Akzo 2009).

Rediset är ett fast ämne i form av flingor stora som havregryn som blandas ner i bituminet innan det tillsätts till stenmaterialet. Doseringen är 2 % av den totala bitumenvikten. Rediset innehåller speciella vaxprodukter som gör att viskositeten minskar på bituminet för att få det att enklar kunna täcka stenmaterialet då temperaturen sänks. Rediset innehåller även en liten del kväve. Det är till för att eventuellt vatten som kan finnas i stenmaterialet pga. den sänkta temperaturen skall försvinna och inte försämra vidhäftningen mellan bituminet och stenmaterialet. Detta gör att det inte spelar någon roll om det skulle finnas kvar vatten i stenmaterialet då bituminet tillsätts. Då asfaltmassan är lagd och då det stelnat så har de passiva vidhäftningsegenskaperna börjat verka. Dessa kommer att finnas kvar hela dimensioneringsperioden.
Då rediset är tillsatt till bituminet går det att sänka tillverkningstemperaturen och även utläggning med upp till 30 °C (Akzo 2009). Det som står ovan är vad tillverkaren anger.

4.4 Sasobit

Sasobit tillverkas av det tyska företaget Sasol Wax som finns i ett flertal länder och har sitt huvudkontor i Hamburg. Sasol Wax specificerar sig på produkter baserade på naturligt samt syntetiskt parafinvax men även övriga vaxprodukter (Sasobit 2004).

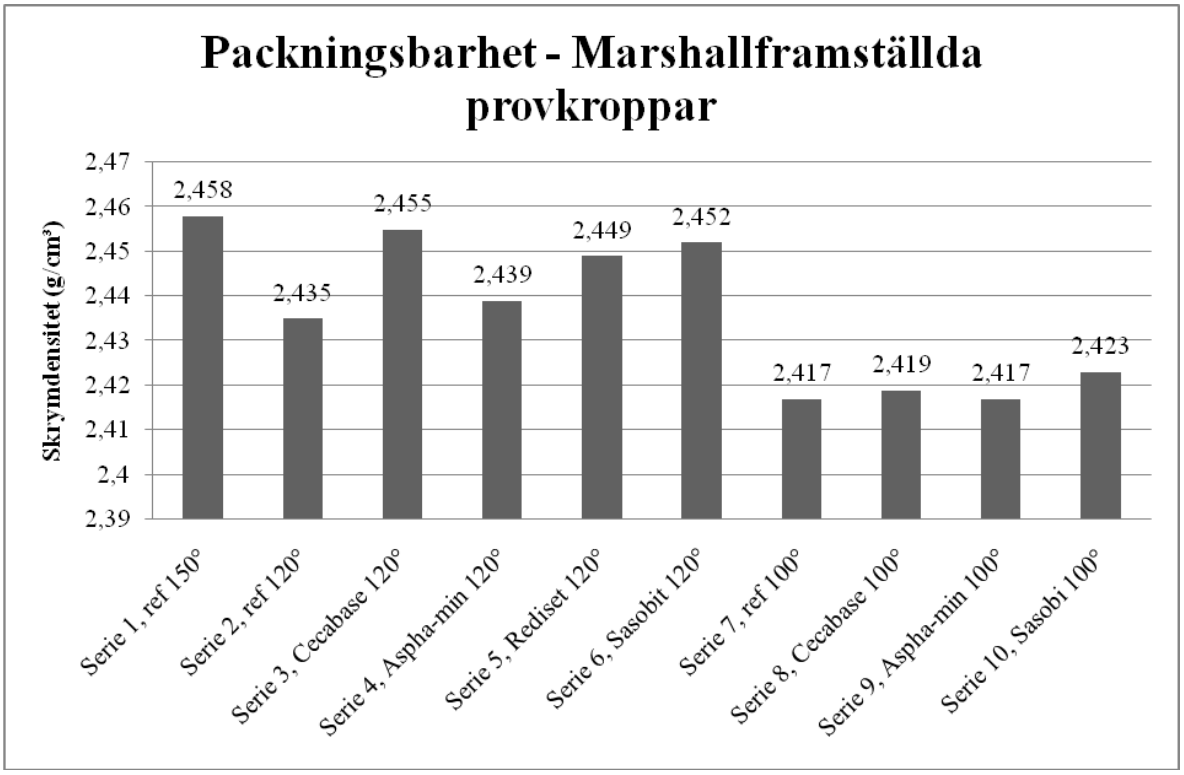
Sasobit är ett fast ämne som levereras i små eller stora korn eller i flingor. Det skall blandas ner i varmt bitumen och röras om så det löser sig. Det smälter vid ca 115 °C. Doseringen är 1,5 % på den totala vikten av bitumen. Sasobit är en lång kedja av kristalliserat kolväte, vilket är ett speciellt vax. Det är inte sådant vax som finns i naturligt bitumen, utan består av en mycket längre kedja kolväten.
Då sasobit smält i bituminet så hjälper det till att förbättra vidhäftningen av bitumen mot stenmaterialet. Sasobit sänker bituminets viskositet och gör att

det blir mer lätthanterligt och lättare att bearbeta vid lägre temperaturer. Då sasobit är tillsatt i bituminet går det att sänka tillverkningstemperaturen med upp till 30 °C och utläggningstemperaturen med ytterligare 20 °C. När asfaltmassan svalnar och stelnat, kristalliseras sasobiten och bildar ett gallerverk av kristaller i bituminet som förstärker asfaltens stabilitet (Sasobit 2004). Det som står ovan är vad tillverkaren anger.

5 Resultat

5.1 Marshallmetoden

Då asfaltmassan packades in med hjälp av marshallmetoden påvisades inga stora skillnader på kompaktdensitet. Detta gjorde även att hålrumshalten blev ganska lika för de olika asfaltblandningarna. Detta gör att det inte är någon större skillnad på en traditionell asfaltmassa och en traditionell asfaltmassa med sänkt temperatur. Det är dessutom ingen större skillnad på en asfaltmassa blandad med tillsatta tillsatsämnen. Det som dock går att se är att asfaltmassan med Cecabase packad vid 120 °C har den mest liknande skrymdensitet som referensmassan fick, som var blandad vid 150 °C. Vilket i sin tur gör att Cecabase troligen (i detta labbförsök) är det tillsatsämne som bäst fungerar, och gör att packningsbarheten blir bättre med Cecabase tillsatt. Nedan visas en sammanställning av de skrymdensitet som jag fick för de olika blandningarna. Alla övriga labbresultat som tagits fram hålrumshalt och kompaktdensitet m.m. finns i bilaga 2.

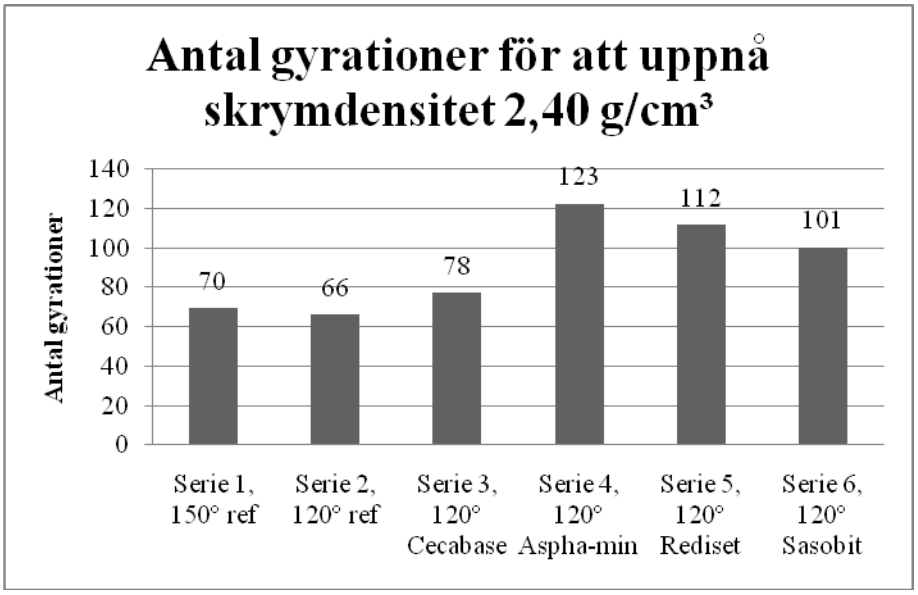


Figur 9, skrymdensiteter för de olika provserierna

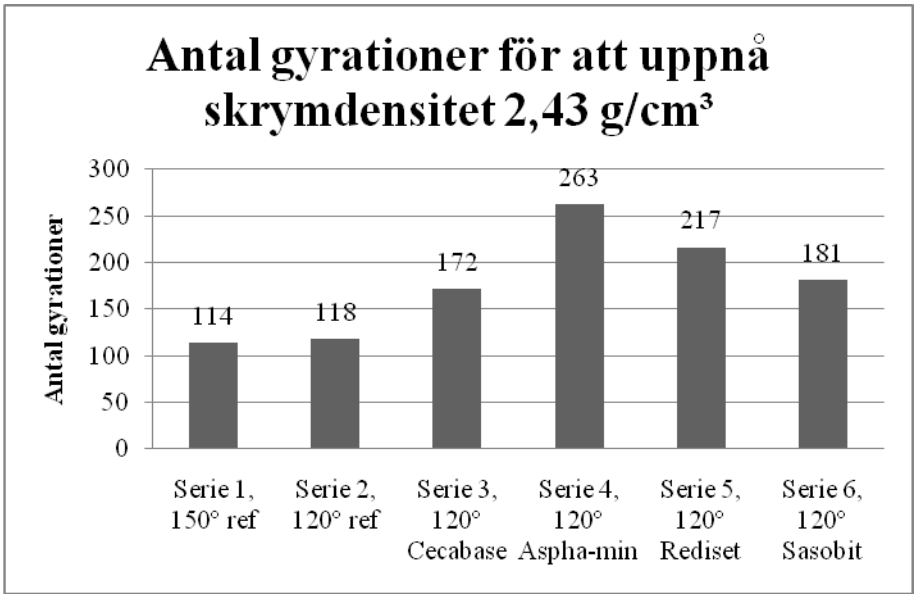
5.2 Gyratorisk packning

Den gyratoriska packningsmetoden visar på en skillnad, gentemot Marshall-metoden. Antalet varv som erfordrades antecknades noga under den gyratoriska packningen. Vid denna typ av packning gick det lättare att se ett mönster för hur packningsbarheten förändrades beroende på temperatur och

tillsatsämne. Det som går att se från dessa resultat är att referensen packad vid 120 °C och 150 °C följer varandra till stor del. Asfaltmassan blandad med Cecabase kommer strax efter referensen på 120 °C, vilket tyder på att Cecabase fungerar bäst i detta fall. Det som även går att se är att de andra tillsatsämnena kräver mer packningsarbete gentemot vad referensen vid 120 °C gör. Detta visar på att Cecabase varken förbättrar eller försämrar packningsbarheten och de övriga tillsatsämnena försämrar packningsbarheten. Den densitet som används för jämförelse är i huvudsak 2,40 och 2,43. Detta då det är denna densitet som ger störst information och variation. De lägre densiteterna är så enkla för maskinen att packa in och går på så få varv att det är svårt att jämföra. All data finns presenterat i bilaga 1.



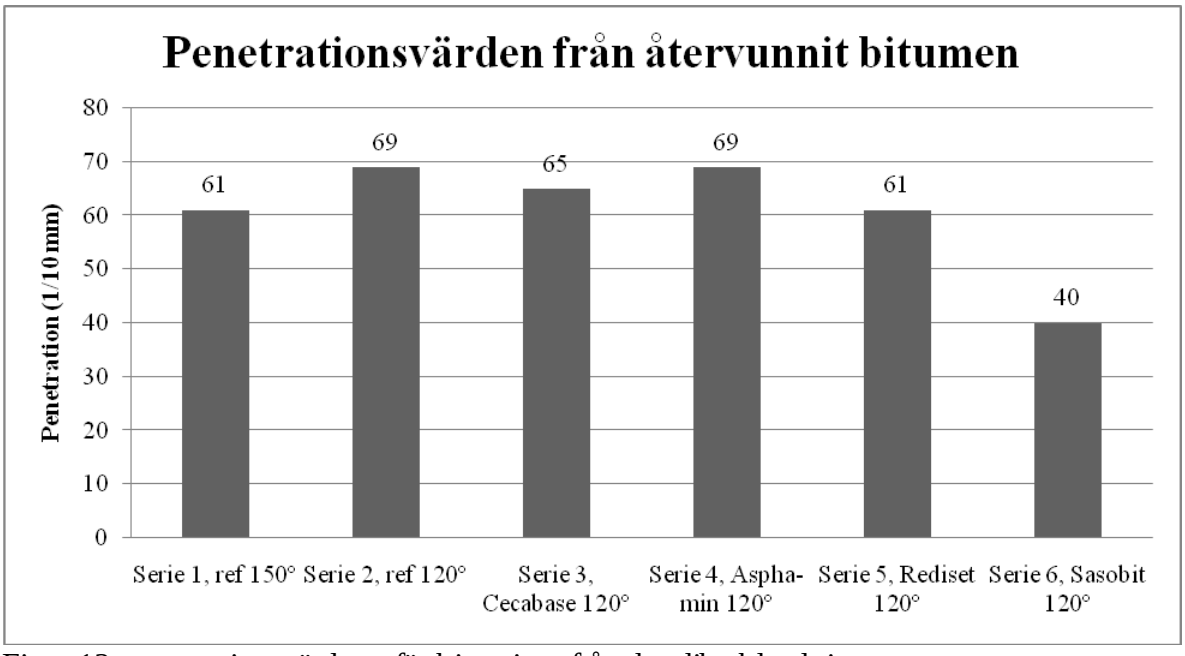
Figur 10, antal gyrationer som krävdes för att uppnå skrymdensitet 2,40 g/cm³



Figur 11, antal gyrationer som krävdes för att uppnå skrymdensitet 2,43 g/cm³

5.3 Penetration

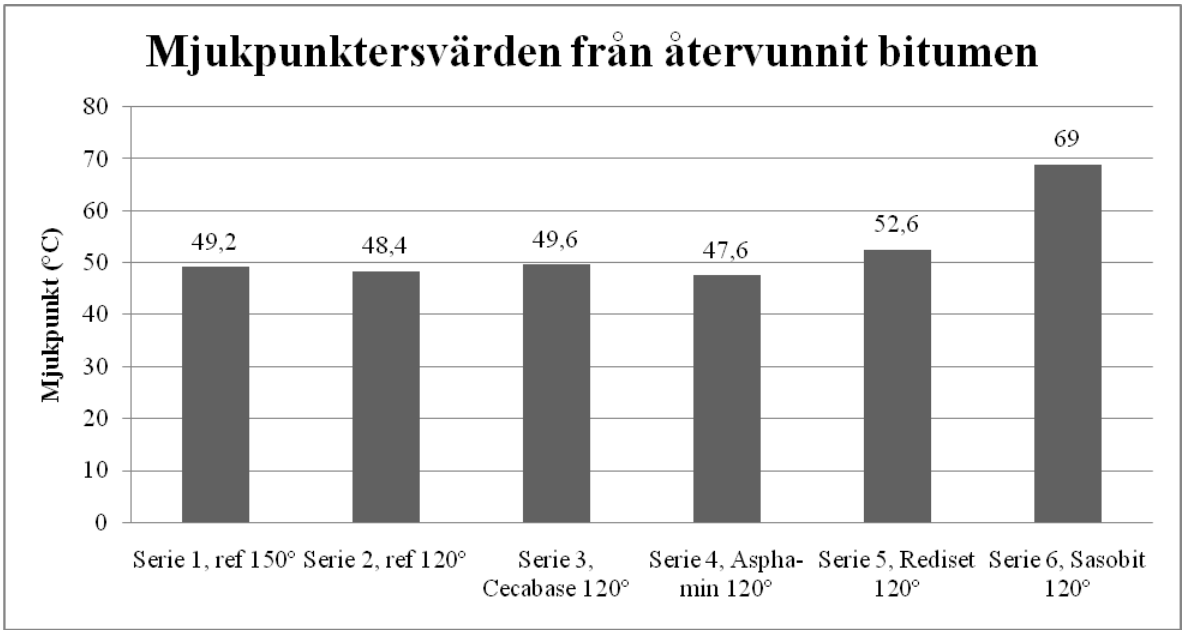
Penetration gjordes för alla asfaltmassor efter att bituminet hade blivit urtvättat och återvunnit ur massorna. Detta för att se hur bituminets styvhet eventuellt hade förändrats av en upphettning samt med en tillsatt tillsatsämne. Genom att göra detta test samt mjukpunktstestet på det återvunna bituminet går det att se om och hur pass mycket de olika tillsatsämnena påverkar bituminet. Man vill gärna inte att tillsatsämnena skall styva upp bituminet eller för den delen göra det mjukare. Genom att tillsätta tillsatsämnena bör samma egenskaper på bituminet återfinnas som för det jungfruliga bituminet. Eftersom det användes en 70/100 bitumen så ligger alla penetrationstesterna lite lågt, förutom för det jungfruliga bituminet (ej upphettat bitumen). Värt att nämna är att Sasobiten styvar upp bituminet väldigt mycket. Det märktes även i mjukpunktsförsöken, som redovisas i kapitel 5.4. Detta är en negativ inverkan på bituminet på grund av tillsatsämnet. Hade det varit på andra hållet, att bituminet blev mjukare, hade även detta varit en negativ inverkan på bituminet och en egenskap man inte önskar från tillsatsämnena. Ett styvare bitumen blir sprödare och spricker lättare. Ett mjukare bitumen ger en mjukare asfaltmassa och detta gör att stora spår och plastiska deformationer uppkommer vid varmare temperaturer. Detta är egenskaper man inte vill ha, och därför är det viktigt att undersöka penetrationsvärden samt mjukpunktsvärden för bituminet. Nedan visas en tabell över de penetrationstal jag fick fram från de olika asfaltmassornas bitumen.



Figur 12, penetrationsvärdena för bituminet från de olika blandningarna

5.4 Mjukpunkt

Mjukpunktsförsök gjordes även på det bitumen som tvättats bort och återvanns från de olika asfaltmassorna. Detta för att se hur de olika tillsatsämnena eventuellt har påverkat bituminet samt se hur referensen ändrats sedan uppvärmningen.
Från denna testmetod går det att se att bituminet har styvat till sig en aning efter uppvärmning för referenserna gentemot det jungfruliga bituminet. Det går även att se att varken Cecabase eller Aspha-min har inte påverkat bituminet i speciellt stor utsträckning. Däremot har Rediset och framförallt Sasobit styvat upp bituminet en aning jämför med referenserna och det jungfruliga bituminet. Detta är en egenskap man inte vill ha från de olika tillsatsämnena. Då ett tillsatsämne tillsätts vill man varken att det skall styva upp bituminet eller göra det mjukare. Det skall likna det jungfruliga bituminet trots tillsatta tillsatsämnen. Nedan visas de mjukpunkter som jag fick fram från de olika asfaltmassorna.



Figur 13, mjukpunktsvärdena för bituminet från de olika blandningarna

6 Diskussion

De resultat som tagits fram från de olika labbförsöken har visat på en variation i hålrumshalt. Marshallmetoden, som är en standard för att packa in asfaltmassor, har inte givit den stora variationen mellan de olika referenserna som först antagits. Det finns säkert ett antal felkällor att ta hänsyn till, men då alla förfaranden var lika för alla labbförsök så borde flertalet felkällor elimineras. Trots detta har inte marshallmetoden gett de resultat som har kunnat antas. Detta beror kanske på att marshallmetoden är en alldeles för brutal och ”hårdhänt” metod. Packningsansträngningen är väldigt hög för denna metod och den komprimerar antagligen inte enbart ihop asfaltmassan, utan slår nog sönder en och annan sten också under själva utförandet. Detta resulterar i att en mer kompakt massa fås av denna metod, som inte skulle fås ute på fält där vältar packar in på ett annat sätt. Eftersom det är svårt att efterlikna vältarnas packningssätt, så är marshallmetoden den metod som fortfarande används. Därför blev det naturligt att även använda den metoden i detta projekt. För framtida studier bör flertalet provsträckor läggas och packas in med vält för att få ett mer representativt resultat som dessutom är mer likt verkligheten.

Den gyratoriska packningen blev i det här fallet ett bättre mätverktyg för att kontrollera packningsbarheten för de olika blandningarna, än marshallmetoden. Eftersom gyratorisk packning använder sig av konstant tryck och en knådande egenskap är det denna metod som efterliknar vältpackning mest. Denna metod slår inte ihop materialet, och därför kan man anta att inga stenar krossas under packningen. Detta gör att materialet inte blir tätare än det borde bli, på grund av eventuellt krossade stenar om man använder marshallmetoden.
På de gyratoriskt inpackade provkropparna gjordes inga kompakt- eller skrymdensitets tester. Istället jämfördes antalet varv som krävdes för att uppnå en viss densitet på asfaltmassan. Vid mer tid skulle även på dessa provkroppar kompakt- och skrymdensitet tas fram för att få fram en hålrumshalt på provkropparna. Det skulle ge ett noggrannare och mer rättvist resultat. Men genom att enbart titta på antalet varv gick det att se en skillnad.

Från dessa labbresultat kan man då se att det är möjligt att sänka temperaturen för asfaltmassor. Enligt marshallmetoden så skulle det inte behövas några tillsatsämnen. Det skulle gå att köra med en helt vanlig asfaltmassa och enbart sänka temperaturen. Enligt den gyratoriska metoden skulle det behövas tillsatsämnen som hjälper till att mjuka upp bituminet och underlätta packningen. Det är troligen detta resultat som skulle bli mest likt fullskaleförsök. För vid labbtester så tas asfaltmassan från ugnen vid exakt 120 °C och packas in direkt, utan temperaturfall. Så fungerar det inte ute i

verkligheten. Där ligger asfaltmassan på lastbilsflak och svalnar. Det är just därför det skulle behövas ett tillsatsämne som underlättar packningen vid lägre temperaturer än 120 °C. Dessutom är vältarna inte lika effektiva på att packa in asfaltmassan som marshallmetoden är.

I valet av tillsatsämnen kommer mjukpunkts- och penetrationsvärdena att hjälpa till. Vid dessa tester går det att se exakt vad tillsatsämnen gör mot bituminet. I flertalet av fallen blev det inga stora skillnader, jämfört med det jungfruliga bituminet. Med jungfruligt bitumen menas det bitumen som används vid testerna, fast som då ej blivit blandat i något stenmaterial eller uppvärmt. Det är precis som det är när det kommer från leverantören. För Sasobiten blev bituminet bra mycket styvare jämfört med det jungfruliga bituminet. Detta är en viktig aspekt att ta tillvara på.
Det kan både vara för och nackdelar med att Sasobit styvar upp bituminet. Nackdelen med det är att med styvare bitumen fårs ett mer sprödare material. Detta kan ge upphov till sprickor vid kallt väder. I varma klimat kan detta däremot vara en fördel, då bituminet inte blir lika lättflytande vid varma temperaturer. Rediset gav även upphov till liknande resultat, dock inte i samma utsträckning som för Sasobit.

7 Slutsats

En sänkning av tillverkningstemperaturen är i allra högsta grad möjlig. Genom en sänkning på 30 °C av tillverkningstemperaturen går det att spara upp till 35 % energi vid uppvärmning och torkning av stenmaterial. En sänkt tillverkningstemperatur och utläggningstemperatur går enligt labbförsöken att genomföra. Det är däremot osäkert hur det resultera i ute på fält, där asfaltmassan skulle bli ytterligare kallare innan den hinner läggas ut. De labbtester som gjorts visar ingen direkt stor skillnad på en traditionell varm asfaltmassa jämfört med en asfaltmassa tillverkad och packad vid lägre temperatur.

Enligt de labbtester som gjorts är det ingen skillnad på packningsbarheten för asfaltmassa packad vid lägre temperatur (120 °C) med och utan tillsatsämne. Så enligt labbtesterna behövs det inte tillsättas några tillsatsämnen för att underlätta packningen av asfaltmassan. Det behövs fullskaleförsök för att se större skillnader.

Då fullskaleförsök skulle kunna påvisa att det faktiskt behövs ett tillsatsämne för att kunna packa in asfaltmassan vid lägre temperatur, så bör Cecabase väljas. Detta då de små skillnader i resultaten som funnits visat på att detta tillsatsämne fungerar bäst, samt att det ekonomiskt ger den största vinsten.

Referenser

Akzo Nobel 2009
Technical Paper: Rediset WMX
Akzo Nobel Surface Chemistry AB

Ang, B.W., Fwa, T.F., Ng, T.T (1993)
Analysis of Process Energy use of Asphalt-Mixing Plants
Great Britain, Pergamon Press 1993

Aspha-min Online
Aspha-min
Hemsida:
http://www.aspha-min.de/en/html/news.html
[Hämtad 2009-03-17]

Ceca Arkema Group (2008)
Warm Mix Asphalt. Without making any changes: Cecabase RT's magical touch
Warm asphalt mix brochure, April 2008

Ceca Arkema Group (Ceca 1)
Green Road Formulation – Warm Mix Asphalt: Cecabase RT
Hemsida:
http://www.cecachemicals.com/sites/ceca/en/business/bitumen_additives/warm_coated_material/warm_coated_material.page
[Hämtad 2009-03-17]

Croteau, Jean-Martin., Tessier, Bernard (2008)
Warm Mix Paving Technologies: a Road Builder's Perspective
Tillgänglig på internet:
http://worksalberta.ca/site/worksalberta/content/warmmixasphaltpavingtechnologies.pdf
[Hämtad 2009-03-30]

Energimyndigheten, Statens Energimyndighet (2002)
Projektrapporter: Energianalys vid asfaltstillverkning, Etapp 1 och 2
Rapportnummer: PRO 02/7
2002-11-15

FHWA (Federal Highway Administration), U.S. Department of Transportation
Warm Mix Asphalt: European Practice
February 2008

Föreningar för Asfaltsbeläggningar i Sverige, Asfaltbok 1995
Metodbeskrivningar för provning av stenmaterial, bituminösa bindemedel, asfaltsbeläggningar och – massa
Svenskt Tryck 1995

Föreningar för Asfaltsbeläggningar i Sverige, Metoder 1995, FAS
Metodbeskrivningar för provning av stenmaterial, bituminösa bindemedel, asfaltsbeläggningar och – massa
Svenskt Tryck 1995

Gibson, Nelson (2006)
U.S. Department of Transportation., Federal Highway Administration
Asphalt Pavement Technology
Hemsida:
http://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/labs/mixtures/sgc.cfm
[Hämtad 2009-02-23]

Humboldt, Testing Equipment for Construction Materials
Hemsida:
http://www.humboldtmfg.com/c-5-p-362-id-5.html
[Hämtad 2009-02-26]

Lavin, Patrik (2003)
Asphalt Pavements: A Practical Guide to Design, Production and Maintenance for Engineers and Architects
Taylor & Francis 2003

Pavement Tools Consortium (PTC 1)
Pavement Guide Interactive
Hemsida:
http://training.ce.washington.edu/PGI/Modules/05_mix_design/hma_volume_weight.htm#air_voids
[Hämtad 2009-02-27]

Peab Asfalt, Helsingborg
Cathrine Johansson, Laboratorieföreståndare

Shell Bitumen (2003)
Read, John., Whiteoak, David.,
The Shell Bitumen Handbook, Fifith Edition
Thomas Tellford, 2003

Roberts. F., Kandhal. P., Brown. R., Lee. D-Y., Kennedy. T (1996)
Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction
National Center for Asphalt Technology
Lanham, Maryland. Second Edition, 1996

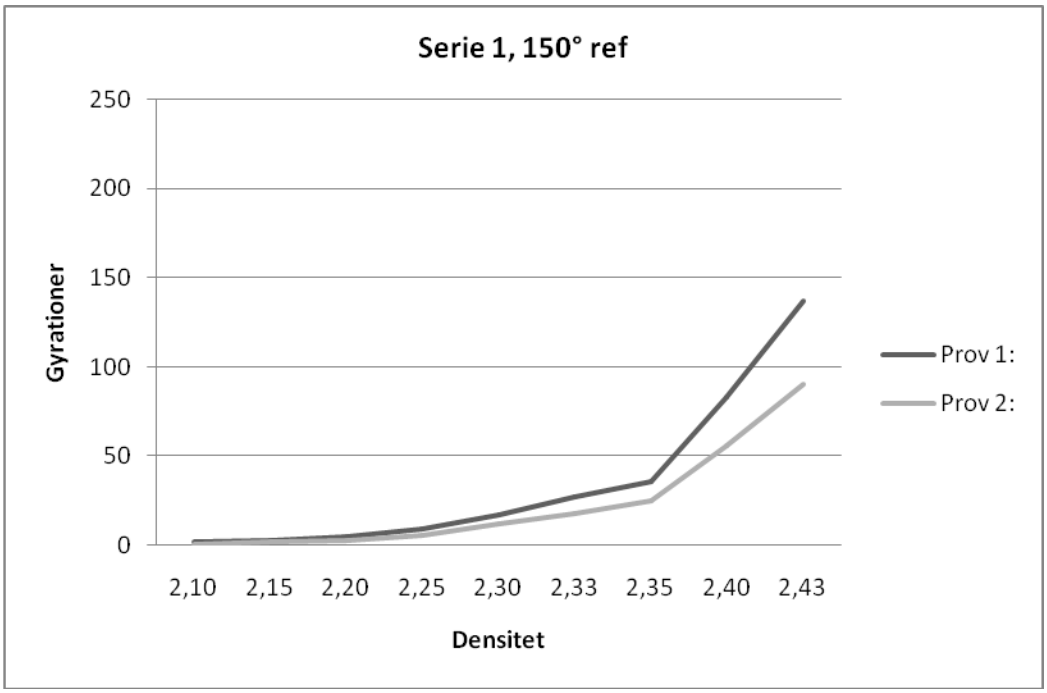
Sasobit, Production information 124 (2004)
The Bitumen Additive for Highly Stable Easily Compactible Asphalts
Sasol Wax GmbH 2004-04-22

Swedish Standard Institute, SIS
Svensk standard
Juni 2007

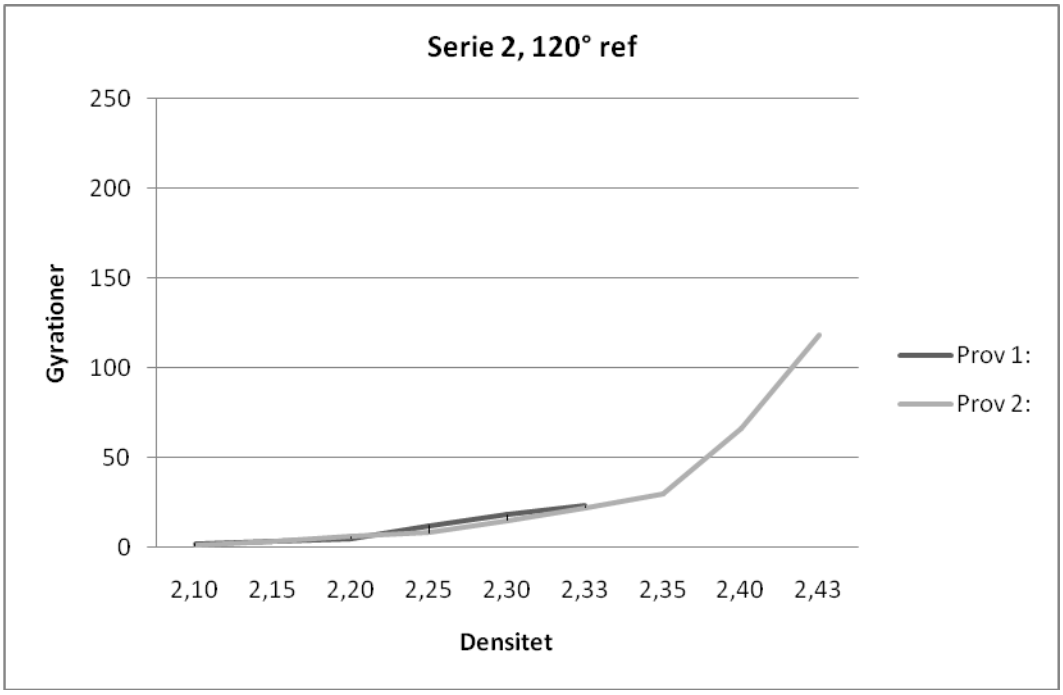
Vägverket, Vägverket Publikationer, (2007)
VVTBT, Bitumenbundna lager
Publikation 2007:119
Hemsida:
http://publikationswebbutik.vv.se/upload/3774/2008_vvtbt_bitumenbundna_lager_publ_2007_119m2.pdf
[Hämtad 2009-06-08]

Bilaga 1

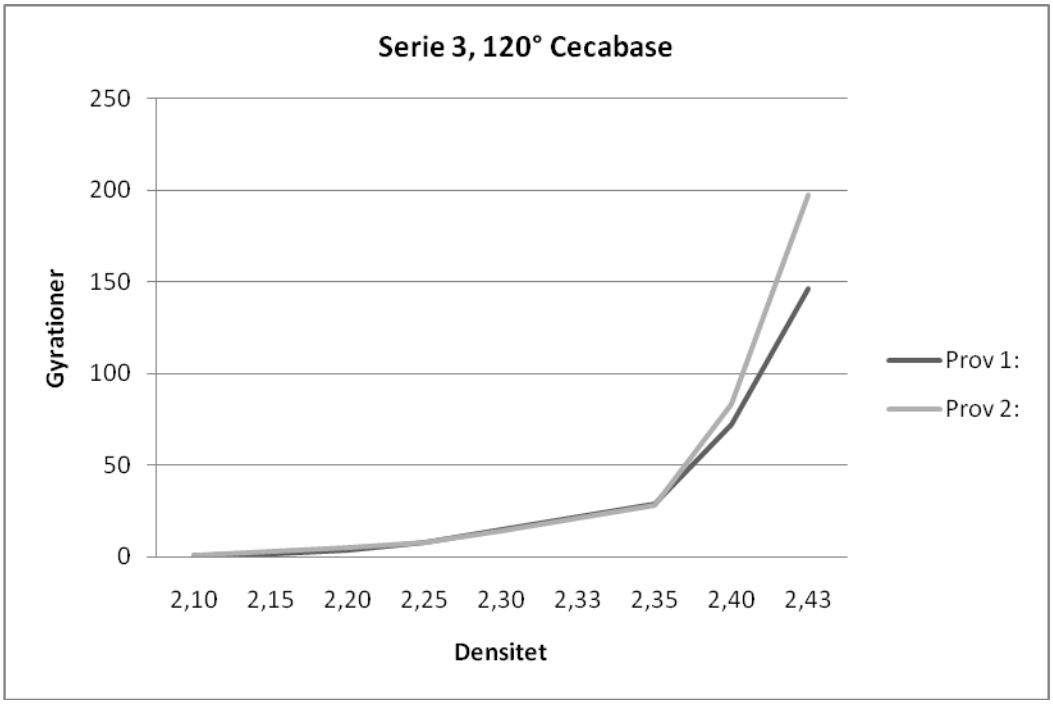
Serie 1, 150°			
Prov 1		Prov 2	
Densitet	Gyrationer	Densitet	Densitet
2,10	2	2,10	1
2,15	3	2,15	2
2,20	5	2,20	3
2,25	9	2,25	6
2,30	17	2,30	12
2,33	27	2,33	18
2,35	36	2,35	25
2,40	83	2,40	56
2,43	137	2,43	90



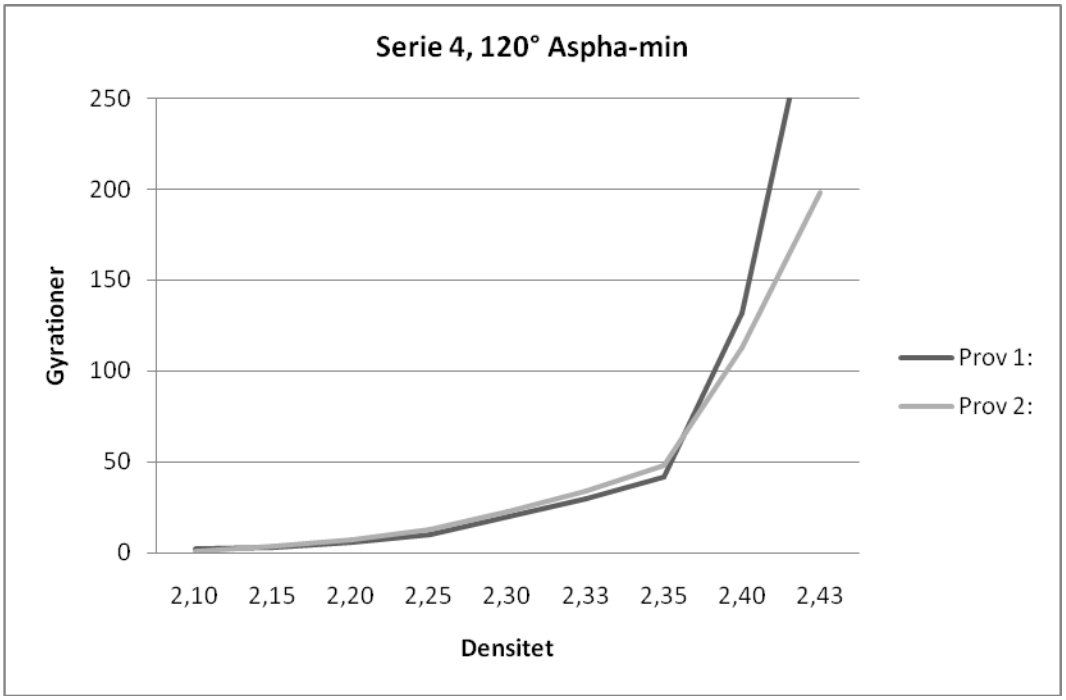
Serie 2, 120°			
Prov 1		Prov 2	
Densitet	Gyrationer	Densitet	Densitet
2,10	2	2,10	1
2,15	3	2,15	3
2,20	5	2,20	6
2,25	12	2,25	8
2,30	18	2,30	15
2,33	23	2,33	22
2,35		2,35	30
2,40		2,40	66
2,43		2,43	118



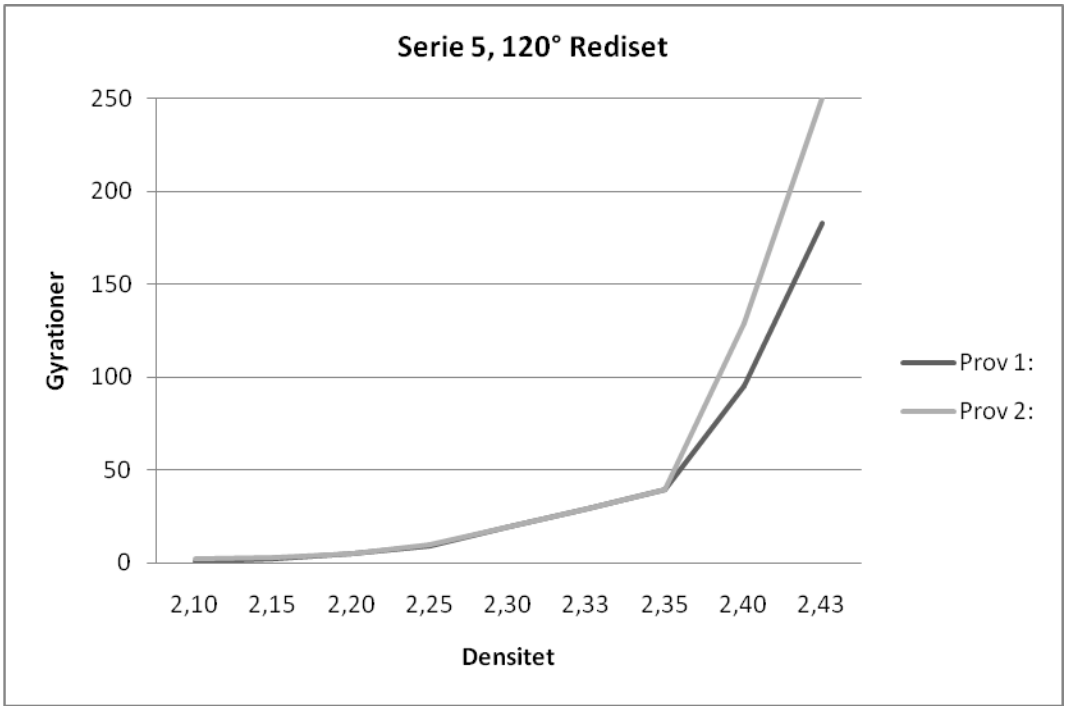
Serie 3, 120° Cecabase			
Prov 1		Prov 2	
Densitet	Gyrationer	Densitet	Densitet
2,10	1	2,10	1
2,15	2	2,15	3
2,20	4	2,20	5
2,25	8	2,25	8
2,30	15	2,30	14
2,33	22	2,33	21
2,35	29	2,35	28
2,40	72	2,40	83
2,43	146	2,43	197



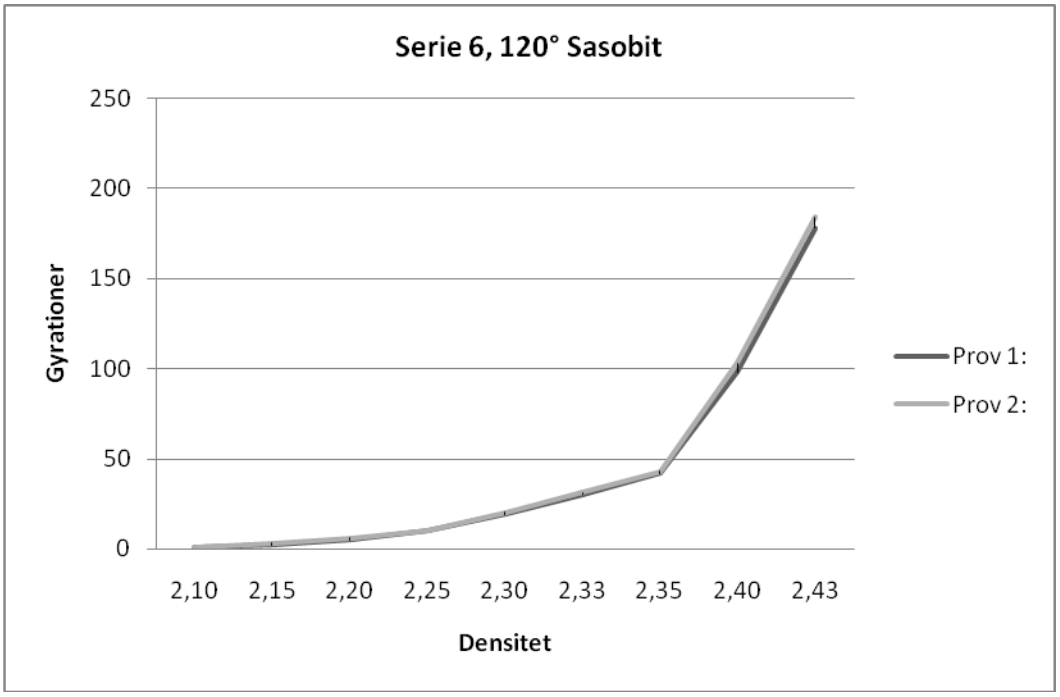
Serie 4, 120° Aspha-min			
Prov 1		Prov 2	
Densitet	Gyrationer	Densitet	Densitet
2,10	2	2,10	1
2,15	3	2,15	4
2,20	6	2,20	7
2,25	10	2,25	13
2,30	20	2,30	23
2,33	30	2,33	34
2,35	42	2,35	48
2,40	132	2,40	113
2,43	327	2,43	198



Serie 5, 120° Rediset			
Prov 1		Prov 2	
Densitet	Gyrationer	Densitet	Densitet
2,10	1	2,10	2
2,15	2	2,15	3
2,20	5	2,20	5
2,25	9	2,25	10
2,30	19	2,30	19
2,33	29	2,33	29
2,35	39	2,35	39
2,40	95	2,40	129
2,43	183	2,43	250



Serie 6, 120° Sasobit			
Prov 1		Prov 2	
Densitet	Gyrationer	Densitet	Densitet
2,10	1	2,10	1
2,15	2	2,15	3
2,20	5	2,20	6
2,25	10	2,25	10
2,30	19	2,30	20
2,33	30	2,33	31
2,35	42	2,35	43
2,40	98	2,40	103
2,43	178	2,43	184



Bilaga 2

Sammanställning provresultat. Här redovisas alla provresultat från de olika asfaltmassorna. Gyratoriska packningstesterna är dock uteslutna, de återfinns i bilaga 1.

	Serie 1, ref 150°	**Serie 2, ref 120°**	**Serie 3, Cecabase 120°**	**Serie 4, Aspha-min 120°**	**Serie 5, Rediset 120°**	**Serie 6, Sasobit 120°**	**Önskade värden enligt recept**
Penetration (1/10 mm)	61	69	65	69	61	40	(Kolla ”Jungfruligt bindemedel”)
Mjukpunkt (grader C)	49,2	48,4	49,6	47,6	52,6	69	(Kolla ”Jungfruligt bindemedel”)

Jungfruligt bindemedel	
Penetration (1/10 mm)	88
Mjukpunkt (grader C)	45,2

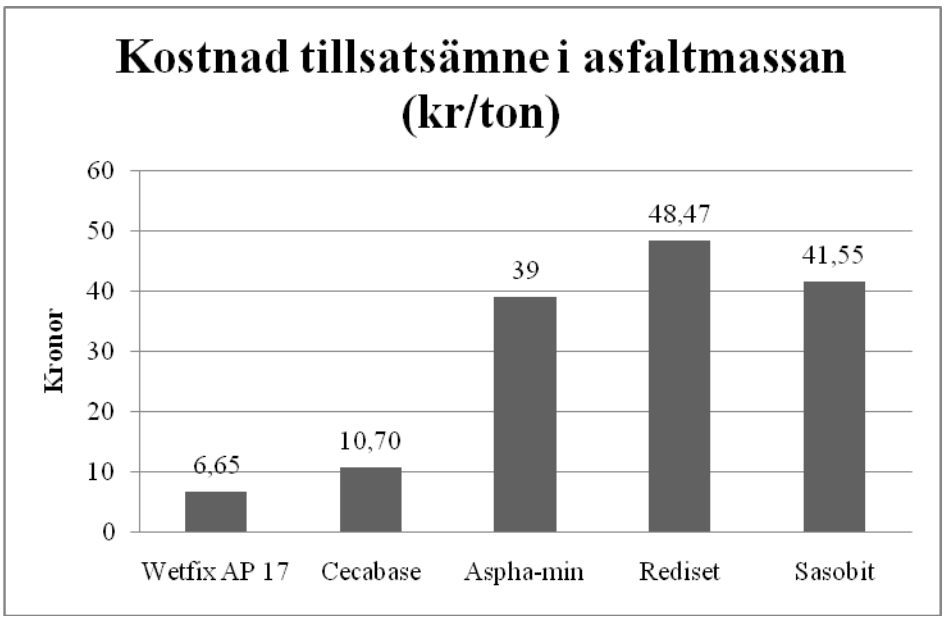
	Serie 1, ref 150°	**Serie 2, ref 120°**	**Serie 3, Cecabase 120°**	**Serie 4, Aspha-min 120°**	**Serie 5, Rediset 120°**	**Serie 6, Sasobit 120°**
Skrymdensitet (g/cm³)	2,488	2,435	2,455	2,439	2,449	2,452
Kompaktdensitet (g/cm³)	2,493	2,476	2,488	2,478	2,480	2,497
Hålrumshalt (%)	1,4	1,7	1,3	2,4	1,2	1,8

	Serie 7, ref 100°	**Serie 8, Cecabase 100°**	**Serie 9, Aspha-min 120°**	**Serie 10, Sasobit 100°**	**Önskade värden enligt recept**
Skrymdensitet (g/cm³)	2,417	2,419	2,417	2,417	-
Kompaktdenstiet (g/cm³)	2,442	2,452	2,451	2,451	-
Hålrumshalt (%)	1,0	1,4	1,4	1,4	2,4

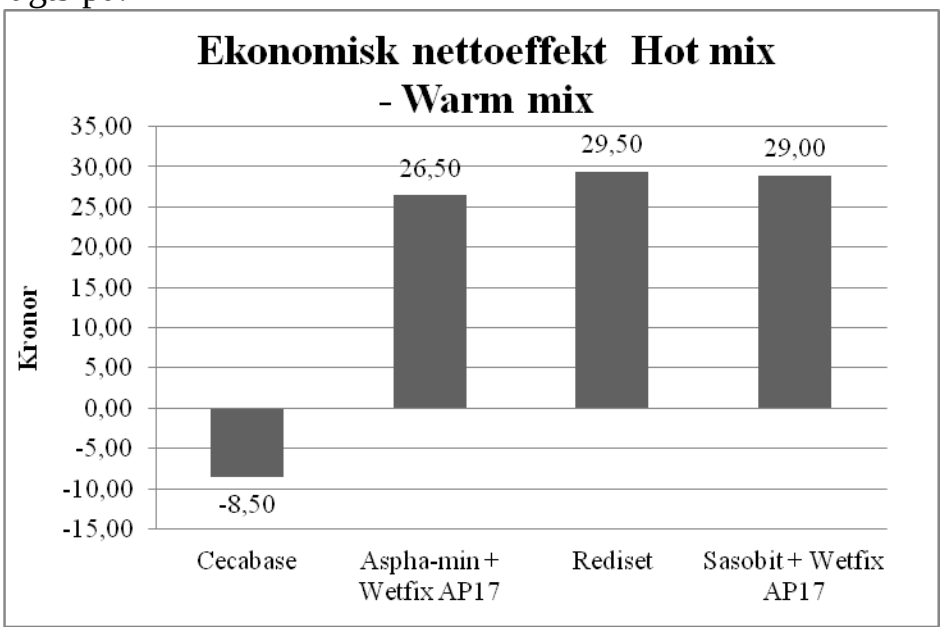
Bilaga 3

Kalkyl tillsatsmedel

Diagrammet nedan visar kostnaden för varje tillsatsämne, baserat på tillsatsämnets kilopris och den mängd som går åt för att tillsätta i ett ton asfaltmassa.



Diagrammet nedan visar den ekonomiska nettoeffekten för att tillverka ett ton asfaltmassa med sänkt tillverkningstemperatur och med tillsatta tillsatsämnen. Besparingar för energiåtgång har dragits av och priset för tillsatsämnet har lagts på.



Notis: Hela beräkningskalkylen går att se nedan där alla uträkningar är med.

Kalkyl tillsatsmedel

Kalkylen är beräknad på energiåtgång för att värma upp stenmaterialet till konventionell temperatur och temperatur som är sänkt med 30 grader. Denna sänkning ger ca 20% besparing av energiåtgång. Till uppvärmningskostnaden har kostnad för tillsatsmedel adderats, beräkning av mängd tillstasmedel har baserats på den massatyp som har använts, vilken har 6,4% bindemedelshalt.

Ett ton referensmassa (ABT 11 70/100 6,4%) Konventionell temperatur

Uppvärmning stenmaterial:	7l olja/ton á9kr/liter	63	kr/ton
	Kostnad /ton	**63**	

ABT 11 70/100 6,4% med Wetfix AP 17 konventionell temperatur

Dosering: 0,25% av BM	0,0025*64kg = 0,16kg WetixAP17/ton massa		
Pris Wetfix AP 17:	40,92kr/kg		
Kostnad Wetfix AP 17:	0,16kg*40,92kr/kg = 6,55kr/ton massa		
Uppvärmning stematerial:	7l olja/ton á9kr/liter	63	kr/ton
	Kostnad WetfixAP17 / ton massa	6,55	kr/ton
	Kostnad /ton	**69,55**	**kr/ton**

ABT 11 70/100 6,4% med Cecabase RT 945 tempsänkning 30 grader

Dosering: 0,3% av BM	0,003*64kg = 0,192kg Ceca/ton massa		
Pris Cecabase:	38,45DKR/kg*1,45=55,75SEK/kg		
Kostnad Cecabase/ton:	0,192kg*55,75kr = 10,704 kr/ton massa		
Uppvärmning stematerial reducerat med 20%:	5,6l olja/ton á9kr/liter	50,4	kr/ton
	Kostnad Cecabase / ton massa	10,70	kr/ton
	Kostnad /ton	**61,10**	**kr/ton**
Differens: Hot mix med Wetfix AP17 - Warm mix med Cecabase RT 945:		**8,45**	**kr/ton**

ABT 11 70/100 6,4% med Aspha-min tempsänkning 30 grader

Dosering: 0,3% av massan	0,003*1000kg = 3kg Aspha-min/ton massa		
Pris Aspha-min:	13kr/kg		
Kostnad Aspha-min/ton:	3kg*13kr = 39kr/ton massa		
Uppvärmning stematerial reducerat med 20%:	5,6l olja/ton á9kr/liter	50,4	kr/ton
	Kostnad Aspha-min / ton massa	39	kr/ton
	Kostnad /ton	**89,4**	**kr/ton**
	Kostnad/ton med WetfixAP17	**96,0**	**kr/ton**
Differens: Hot mix med Wetfix AP17 - Warm mix med Asphamin med Wetfix AP 17:		**-26,40**	**kr/ton**

ABT 11 70/100 6,4% med Rediset WMX tempsänkning 30 grader

Dosering: 2% av BM	0,02*64kg = 1,28kg/ton massa		
Pris Rediset:	3,5euro/kg * 10,82=37,87SEK/kg		
Kostnad Rediset:	1,28kg*37,87kr = 48,47kr/ton massa		
Uppvärmning stematerial reducerat med 20%:	5,6l olja/ton á9kr/liter	50,4	kr/ton
	Kostnad Rediset / ton massa	48,47	kr/ton
	Kostnad /ton	**98,9**	**kr/ton**
Differens: Hot mix med Wetfix AP17 - Warm mix med Rediset WMX:		**-29,32**	**kr/ton**

ABT 11 70/100 6,4% med Sasobit tempsänkning 30 grader

Dosering: 3% av BM	0,03*64kg = 1,92kg/ton massa		
Pris Sasobit:	2euro/kg*10,82=21,64SEK/kg		
Kostnad Sasobit:	1,92*21,64 = 41,55kr/ton massa		
Uppvärmning stematerial reducerat med 20%:	5,6l olja/ton á9kr/liter	50,4	kr/ton
	Kostnad Sasobit / ton massa	41,55	kr/ton
	Kostnad /ton	**91,95**	**kr/ton**
	Kostnad/ton med WetfixAP17	**98,50**	**kr/ton**
Differens: Hot mix med Wetfix AP17 - Warm mix med Sasobit med Wetfix AP 17:		**-28,95**	**kr/ton**

Sammanfattning:

Genom att tillsätta Cecabase och sänka temperaturen 30 grader **sparas** 8,45kr/ton jämfört med att tillverka massa med Wetfix AP17 vid konventionell temperatur.

Aspha-min med tillsats av Wetfix AP17 och sänkt tillverkningstemperatur blir 26,40kr/ton **dyrare** jämfört med konventionellt tillverkad massa med Wetfix AP17.

Rediset och sänkt tillverkningstemperatur blir 29,32kr/ton **dyrare** jämfört med konventionellt tillverkad massa med Wetfix AP17.

Sasobit med Wetfix AP 17 och sänkt tillverkningstemperatur blir 28,95kr/ton **dyrare** jämfört med konventionellt tillverkad massa med Wetfix AP17. Vid kostnaden för Sasobit är vidhäftningsmedlet Wetfix AP17 medräknat.

Referens: Cathrine Johansson, Peab Asfalt