

Thesis 272

Asfaltmassans påverkan av fukt i granulatet

Linus Lindau Persson

Trafik och Väg

Institutionen för Teknik och Samhälle

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet



Copyright © Linus Lindau Persson

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5238)/1-91 /2015
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet
Lund 2015

Examensarbete

CODEN: LUTVDG/(TVTT-5238)/1-91/2015

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,
Institutionen för Teknik och samhälle,
Trafik och väg, 272

ISSN 1653-1922

Author(s): Linus Lindau Persson

Title: Asfaltmassans påverkan av fukt i granulatet

English title: The affect of moisture in the RAP on the asphalt mix.

Language: Swedish

Year: 2015

Keywords: RAP; Asphalt mix; Moisture; Overheating; Manufacturing temperature

Citation: Linus Lindau Persson, Asfaltmassans påverkan av fukt i granulatet, Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2015. Thesis. 272

Abstract:

Recycled asphalt pavement (RAP) is a way of constructing roads with less climate impact. However, the RAP often contain moisture which is known to be disadvantageous for the final product and will at the same time increase the production cost. A manufacturing method that also aims have less impact on the environment is NCC Green Asphalt. The method allows a lower manufacturing temperature than a conventional asphalt mix, which emits less carbon dioxide. The purpose of this study was to show how different moisture content of the RAP affects asphalt mixes if not overheated properly to get rid of the moisture. The investigations were made in a laboratory where the temperature was investigated during and after the mixing process. The density, the void content and the press tensile strength was also tested. The press tensile strength was evaluated with Trafikverkets programme PMS Objekt. The results shows that an increase of moisture content of the RAP will lower the overall quality of the final product and will lower the manufacturing temperature. It's therefore important to vaporize all the water when making the Green Asphalt mix due to the low manufacturing temperature that can drop to 100°C or lower. It is thus of great importance to protecting the RAP from precipitation and provide good drainage possibilities.

Trafik och väg
Institutionen för Teknik och samhälle
Lunds Tekniska Högskola, LTH
Lunds Universitet
Box 118, 221 00 LUND

Transport and Roads
Department of Technology and Society
Faculty of Engineering, LTH
Lund University
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

Innehåll

1 Inledning.....	11
1.1 Bakgrund	13
1.2 Syfte	13
1.3 Avgränsningar	14
1.4 Metod	14
2 Litteraturstudie	15
2.1 Väggroppen	15
2.1.1 Överbyggnad	15
2.2 Bitumen	17
2.2.1 Oxidationsbeteende	17
2.2.2 Skumbitumen	18
2.2.3 Polymermodifierat bitumen.....	18
2.3 Asfaltverket	18
2.4 Asfaltåtervinning	19
2.4.1 Lagring av asfaltgranulat.....	20
2.4.2 Varm återvinning.....	21
2.4.2 Krav för asfaltgranulat	23
2.4.3 NCC Green Asphalt	24
2.5 Spänning och töjning.....	25
2.5.1 Dimensionering enligt TRVK Väg	25
2.6 Värme	27
2.6.1 Värmekapacitet.....	27
2.6.2 Ångbildningsvärme	27
2.6.3 Värmetransport.....	28
2.7 Fukt.....	32
2.7.1 Fukttransport i vätskefas	32
2.7.2 Fukttransport i ångfas.....	32
2.7.3 Hydroskopisk fukt	33
2.8 Mätmetoder	33
2.8.1 Marshallmetoden	33
2.8.2 Gyropackning	34
2.8.3 Vätskemethoden	34
2.8.4 Hålrums halt	35
2.8.5 Pressdraghållfasthet.....	35

3 Utförda undersökningar.....	36
3.1 Proportionering.....	36
3.2 Fukthalt.....	37
3.3 Blandning av mindre massa Umeå.....	38
3.4 Gyropackning Umeå	38
3.5 Marshallpackning Umeå	39
3.6 Mätning skrymdensiteten	39
3.7 Mätning kompakt densitet och hålrumshalt	39
3.8 Blandning större massa Umeå.....	41
3.8.1 konventionell sats	44
3.8.2 Green sats	45
3.9 Temperaturloggning efter blandningsprocessen Umeå.....	45
3.10 Blandning större konventionell sats Södra Sandby	46
3.11 Marshallpackning Södra Sandby.....	47
3.12 Temperaturundersökning med IR mätare Södra Sandby	47
3.13 Mätning av restfukt Södra Sandby	47
3.14 Pressdraghållfasthet.....	47
3.15 PMS Objekt.....	48
4 Resultat.....	50
4.1 Medeltemperatur efter handblandning konventionell massa	50
4.2 Packningsresultat handblandade konventionella massor	50
4.3 Skrymdensitet konventionella massor.....	51
4.4 Kompakt densitet och hålrumshalt konventionella massor.....	52
4.5 Pressdraghållfasthet konventionella massor.....	53
4.6 Subjektiv bedömning konventionella massor efter marshallpackning.....	54
4.7 Restfukt större konventionell massa	54
4.8 Temperaturloggning under blandningsprocessen större konventionell sats	55
4.9 Temperaturundersökning efter blandning	56
4.9.1 Temperaturutveckling större konventionell massa	56
4.9.2 Temperaturutveckling större Green massa.....	57
4.10 Tillverkningstemperatur	58
4.11 PMS objekt.....	60
5 Diskussion och Slutsats.....	61
5.1 Resultatdiskussion.....	61
5.2 Metoddiskussion.....	62

5.3	Slutsatser.....	66
5.3.1	Rekommendationer	66
7	Referenser.....	67
Bilaga 1	Termodynamiskt beräkningsark	69
Bilaga 2	Gyropackningskurvor handblandade konventionella massor	70
Bilaga 3	Skrymdensiteten handblandade konventionella massor	71
Bilaga 4	Temperaturloggning större massor Umeå.....	75

Förord

Det här examensarbetet är skrivet som en avslutande del på Civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad, institutionen för Trafik och Väg. Arbetet påbörjades vårterminen 2015 och avslutades maj 2015. Arbetet är utfört i samarbete med NCC utifrån deras önskemål att studera hur asfaltmassan påverkas av på fukt i det inblandade asfaltgranulatet.

Jag vill börja med att tacka mina handledare, Sven Agardh och Roger Lundberg, för deras stöd och handledning under arbetets gång. Jag vill särskilt tacka Roger Lundberg för de resurser som ställts till mitt förfogande och som gjort det möjligt att genomföra arbetet.

Jag vill även passa på att tacka personalen på NCCs väglaboratorie i Umeå och i Södra Sandby som jag fått vara en del av under laborationerna och för deras expertis som hjälpt mig framåt i arbetet.

Ett stort tack till min examinator Ebrahim Parhamifar som har varit till stor hjälp och besvarat frågor som hjälpt mig avsluta mitt examensarbete.

Till sist vill jag även passa på att tacka min familj och alla nära och kära för deras stöd och support som gjort min tid i Lund något lättare.

Linus Lindau Persson

Lund, juni 2015

Sammanfattning

Dagens samhälle är beroende av transporter och en god infrastruktur, som är indirekt kopplade med sina utsläpp som påverkar klimatet. Samtidigt strävar samhället efter att bli mer hållbart och mindre klimatpåverkande. Det därför av vikt att även vägproduktionen går i samma riktning som övriga samhället. Ett sätt att göra detta är att använda krossad återvunnen asfalt, även kallat asfaltgranulat. Asfaltgranulatet innehåller dock ofta fukt som påverkar den färdiga produkten på ett negativt sätt och leder till ökad produktionskostnad, då stenmaterialet måste överhettas för att bli av med fukten.

En tillverkningsmetod som siktar på att minska klimat- och miljöpåverkan är NCC Green Asphalt som är framtagen av NCC. Metoden tillåter en lägre tillverknings temperatur och släpper ut mindre koldioxid än den konventionella varmassan.

Syftet med det här examensarbetet är att visa hur fukt i asfaltgranulat påverkar en konventionell massa om man inte överhettar stenmaterialet och om man inte överhettar det tillräckligt mycket. Undersökningarna gjordes i laboratorie där temperaturutvecklingen för olika satser undersöktes i blandaren och efter blandning, vilket också undersöktes på Green-satser. I övrigt undersöktes densiteten, hålrumshalten och pressdraghållfastheten för de konventionella massorna. Pressdraghållfastheten utvärderades också med hjälp av Trafikverkets program PMS objekt.

Resultatet visar på att en ökad mängd fukt sänker generellt kvalitén på den färdiga massan. Testerna som gjorts visar dock att en viss mängd vatten kan hanteras för en konventionell massa på grund av tillverknings temperaturen är så hög, den klarar alltså att tappa lite i temperatur och ändå förångas vattnet. Därför blir det viktigare att förångas allt vatten vid tillverkningen av Greenmassa eftersom den har en lägre tillverknings temperatur, så att man inte kommer nära eller under 100°C då vattnet riskerar att stanna massan och påverka slutprodukten på ett negativt sätt. Det är därför av vikt att redan vid upplagen skapa möjligheter att skydda asfaltgranulatet från nederbörd och försöka skapa förutsättningar för att dränera av upplagshögarna för att minska fukthalten i dem.

Summary

The society is dependent of transports and the infrastructure, which often are linked to climate change, and at the same time strive to become more sustainable with less impact on environment. Therefore it is important to also change the way roads are constructed. One way of doing this is by using recycled asphalt pavement also known as RAP. However, the RAP often contain moisture which is known to be disadvantageous for the final product and will increase the production cost, since it is necessary to overheat the stone material to vaporize the water.

A manufacturing method that also aims have less impact on the environment is NCC Green Asphalt which is developed by NCC. The method allows a lower manufacturing temperature than a conventional asphalt mix, which therefor also emits less carbon dioxide. The purpose of this study was to show how the moisture content of the RAP affects a conventional asphalt mix if one does not overheat the stone material and if the stone material is overheated but not enough. The investigations were made in a laboratory where the temperature over time was investigated during the mixing process and after the mixing process, which also were tested on NCC's Green Asphalt mix. Other tests that were performed on the conventional asphalt mixes was the density, the void content and the press tensile strength. The press tensile strength was also evaluated with Trafikverkets programme PMS Objekt.

The results shows that an increase of moisture content of the RAP will generally lower the overall quality of the final product. According to the results a certain amount of water can be dealt with for a conventional asphalt mix due to high manufacturing temperature, which makes it less vulnerable to a smaller drop in temperature. It's therefore more important to vaporize all the water when making the Green Asphalt mix due to the lower manufacturing temperature that makes it possible to reach 100°C or lower, creating a risk of water remaining in the asphalt mix. It is thus of great importance to protect the RAP from precipitation and provide good drainage possibilities which will keep the water content to a minimum.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sveriges riksdag har bestämt att miljöproblem ska lösas nu och inte skickas vidare till nästa generation. Detta har sammanfattats i ett miljömålssystem som består av ett generationsmål, 16 miljökvalitetsmål och 24 etappmål (Naturvårdsverket, 2015). Flera av de här målen kan kopplas till vägindustrin, inte minst på grund av produktionen men även transporten som sker på vägarna som också är nödvändiga för att samhället ska fungera. Det är därför av vikt att utveckla nya och mer resurssnåla lösningar som påverkar vår miljö mindre negativt för framtiden.

Det tillverkas cirka sju miljoner ton asfalt per år i Sverige (Asfaltskolan, 2015) och det krävs ungefär sju liter eldningsolja för tillverka ett ton asfalt. Vilket innebär att tillverkningen kräver cirka 50 miljoner liter eldningsolja årligen vilket gör att branschen står för 150,000 ton koldioxidutsläpp årligen (Lundberg J. A., 2015).

Genom att sänka tillverkningstemperaturen minskar energiåtgången och samtidigt släpps det ut mindre koldioxid- och andra kolväteföreningar. Med detta som grundidé tog NCC Roads väglaboratorium i Umeå fram produkten NCC Green Asphalt. Tillverkningen av den här produkten kräver 30 % mindre energi och släpper ut 30 % mindre koldioxid jämfört med konventionell varmassaproduktion. Detta är möjligt då man använder sig av en ny tillverkningsmetod som tillåter att man sänker tillverkningstemperaturen och samtidigt som man behåller bearbetbarheten och hållfastheten för konventionella massor. Man tillåts även att blanda in återvunnet asfaltgranulat vilket gör att produkten kan anses vara resurssnål vilket är positivt ur ett miljöperspektiv men även ur ett ekonomiskt perspektiv (Lundberg J. A., 2015).

Det är dock vanligt att den återvunna asfalten innehåller en viss mängd vatten som ofta är kopplat till försämring av slutprodukten egenskaper. Om det finns vatten i massans porer leds även värmen bort mer effektivt än om porerna skulle innehålla luft. För att bli av med vattnet överhettas det inblandade stenmaterialet och ökar på så sätt produktionskostnaden.

1.2 Syfte

Det är sedan tidigare känt att en förhöjd fukthalt är kopplat till sänkt hållfasthet för byggnadsmaterial (Burström, 2007), så även asfalt. Den förhöjda fukthalten i asfaltmassan kommer från det iblandade granulatet, krossad och återvunnen asfaltmassa. Förutom sänkt hållfasthet ger fukten även en ökad produktionskostnad då man måste överhätta stenmaterialet för att försöka bli av med fukten. Man har även stött på massor ute i produktionen som upplevs svampiga och svårpackad vilket också kan kopplas till för hög fukthalt (Lundberg R. , 2015). Det ligger därför i allas intresse att bli av med fukten för att uppnå en god kvalitet på slutprodukten och samtidigt minska produktionskostnaderna.

Det här examensarbetet ämnade ta reda på hur fukten påverkade massan om stenmaterialet inte överhettades tillräckligt mycket för att bli av med all fukt och det skulle göras genom att undersöka följande egenskaper:

- Densitet
- Hålrums halt
- Pressdraghållfasthet
- Temperaturutvecklingen under blandningsprocessen
- Temperaturutvecklingen efter blandningsprocessen
- Massans restfukt efter blandningsprocessen

Examensarbete har alltså för avsikt att ge en bättre bild av hur fukten kan påverka slutprodukten och ska upplysa om vikten att ta hand om granulatet på rätt sätt för att minska produktionskostnader och öka kvalitén på slutprodukten. Diskussionen ska sedan leda till nya frågeställningar och rekommendationer som är riktade mot den verkliga produktionen.

1.3 Avgränsningar

I det här examensarbetet undersöktes några egenskaper för en ABT 11 70/100 massa samt temperaturutvecklingen för NCC Green Asphalt. Eftersom att de utförda laborationerna främst gäller konventionell asfaltmassa som sedan ska utvärderas mot Green-massans förutsättningar ämnar det här examensarbetet inte att gå in på tillverkningsprocessen av NCC Green Asphalt i detalj och varumärket är för övrigt patentskyddat av NCC.

Testerna som utfördes gjordes på relativt små provkroppar, cirka 100 mm i diameter, jämfört med den verkliga produktionen. Därför måste resultaten ställas i relation till den verkliga produktionen.

1.4 Metod

Undersökningen av fuktens inverkan på den färdiga massan gjordes genom olika laborationer i Umeå och Södra Sandby. Testerna som utfördes gjordes på både mindre handblandade satser samt större satser som blandades med blandare. Samtliga satserna blandades med asfaltgranulat (krossad återvunnen asfalt) med varierande fukthalter. Laborationerna baserades på termodynamiska beräkningar som gav temperatur som stenmaterialet skulle ha för respektive sats.

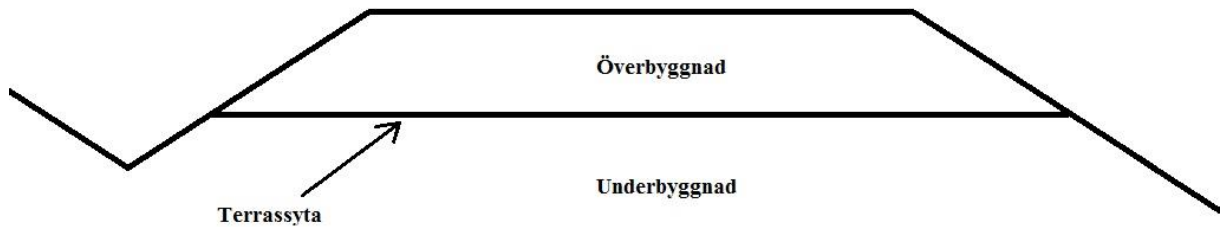
De mindre handblandade satserna användes för att ta fram densiteten med hjälp av vattenmetoden och skjutmåttmetoden, kompakt densiteten samt hålrums halten med hjälp av pyknometermetoden.

De större satserna var främst till för att undersöka temperaturutvecklingen under blandningsprocessen men även efter att blandningsprocessen. Densiteten och hålrums halten togs även fram för de större satserna som gjorde i Södra Sandby.

Pressdraghållfastheten testades på både de mindre och de större massorna efter packning. Resultatet av pressdraghållfasthetstesterna utvärderades sedan med hjälp av trafikverkets program PMS objekt.

2 Litteraturstudie

2.1 Vägkroppen



Figur 1 En förenklad bild av vägkroppens struktur i genomskärning.

Vägkroppen indelas i två olika delar, överbyggnaden och underbyggnaden.

Överbyggnaden har tre huvuduppgifter; Transportera bort vatten, sprida lasten till underbyggnaden utan att det uppstår stora deformationer och den ska samtidigt uppfylla de krav som gäller säkerhet och komfort.

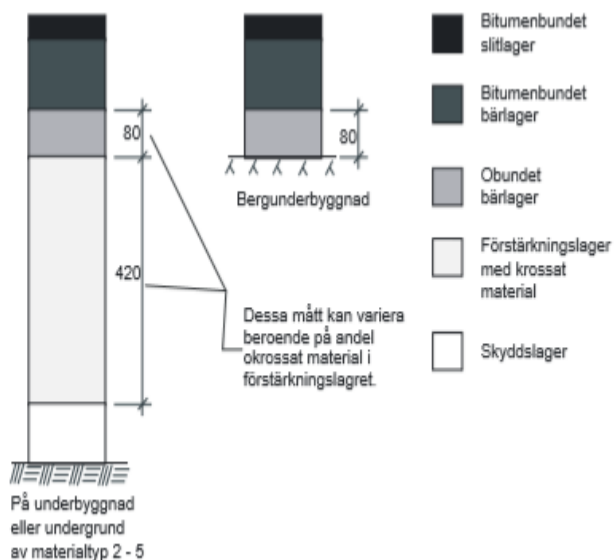
Terrassen är underbyggnadens översta yta och är antingen resultatet av schaktning eller bortschaktning och utfyllning. Terrassens yta måste vara jämn för att överbyggnaden skall få ett homogent skikt med jämn bärighet (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.1.1 Överbyggnad

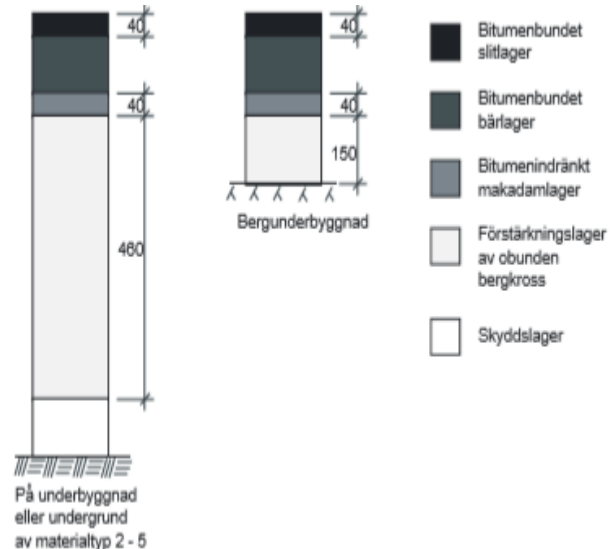
Överbyggnaden består av olika materiallager som har olika egenskaper och funktioner men som tillsammans ska fungera som en homogen konstruktion.

Det finns tre typer av överbyggnader styv, flexibel och halvstyva (Agardh & Parhamifar, 2014). Den styva överbyggnaden har minst ett hydrauliskt bundet lager och den flexibla överbyggnaden har antingen enbart obundna lager eller obundna och bitumenbundna lager (Trafikverket, 2011a).

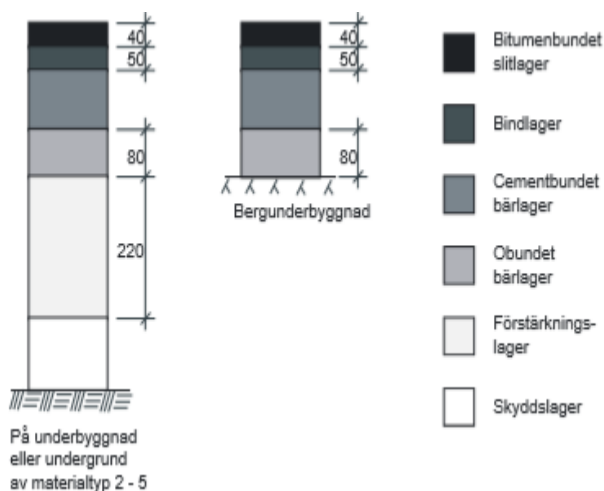
De tre vanligaste flexibla överbyggnaderna som används i Sverige är Grusbitumenöverbyggnad (GBÖ) Figur 2, Bergbitumenöverbyggnad (BBÖ) Figur 3 och Cementbitumenöverbyggnad (CBÖ) Figur 4 (Agardh & Parhamifar, 2014).



Figur 2 Visar en Grusbitumenöverbyggnad (GBÖ) dimensionerad för undergrund med materialtyp 2-5 (Trafikverket, 2011a).



Figur 3 Visar en Bergbitumenöverbyggnad (BBÖ) dimensionerad för undergrund med materialtyp 2-5 (Trafikverket, 2011a).



Figur 4 Visar en Cementbitumenöverbyggnad (CBÖ) dimensionerad för undergrund med materialtyp 2-5 (Trafikverket, 2011a).

2.1.1.1 Slitlager

Det översta lagret i en överbyggnad är slitlagret. Slitlagrets viktigaste funktion är att uppfylla de krav som gäller komfort, trafiksäkerhet och transportekonomi. Det finns många olika typer av slitlager, det vanligaste slitlagret i Sverige är en tät asfaltmassa (ABT) (Agardh & Parhamifar, 2014).

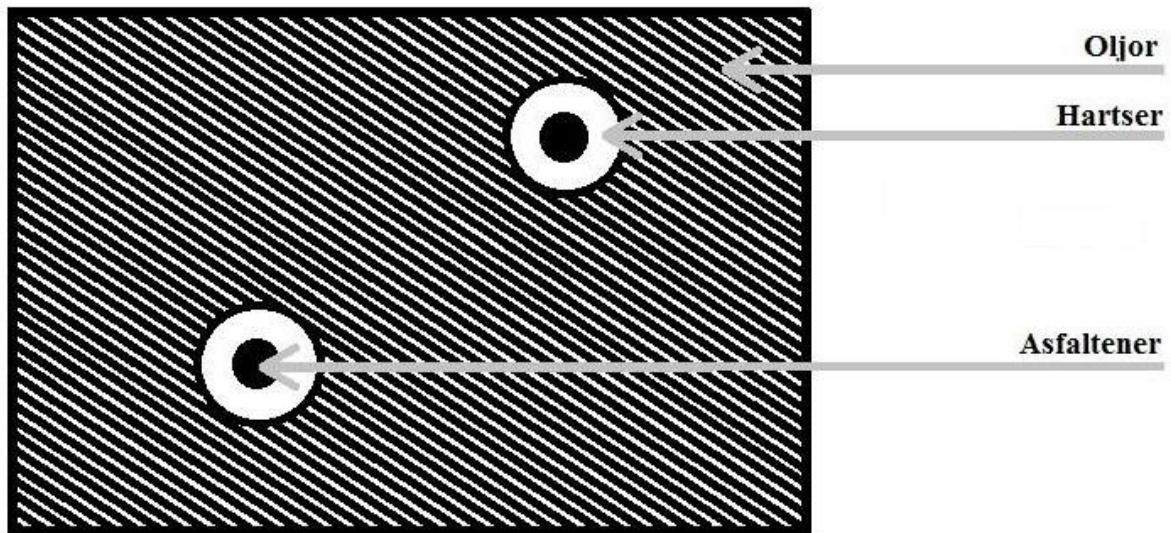
2.1.1.2 Bitumenbundet bärlager

Det bundna bärlagrets primära funktion är att fördela trafikbelastningen så att det inte uppstår för stora spänningar och deformationer i underliggande lager. Det här lagret benämns ofta AG-lager. Det här lagret trafikeras ofta ett antal månader innan man lägger på slitlagret. Detta gör att överbyggnaden hinner sätta sig, vilket senare kan justeras (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.2 Bitumen

Bitumen är bindemedlet som håller ihop stenmaterialet i en asfaltmassa. Färgen varierar mellan mörkbrunt till svart, är svårflyktigt och beroende på temperaturen är det ett fast till halvfast material. Bitumen framställs vanligen genom att man destillerar råolja i ett oljeraffinaderi men kan även bildas naturligt i naturen (Westergren, 2004).

Bitumen består av till mesta del av oljor, asfaltener och hartser enligt bilden här nedan:



Figur 5 Bilden visar bitumens olika beståndsdelar (Agardh & Parhamifar, 2014).

Asfaltenerna är partiklar som trots sin stora molekylvikt svävar i oljemediet. Asfaltenerna är främst uppbyggda av kol och väte men innehåller även svavel och kväve som är bundet till kolet. De här strukturerna är känsliga för höga temperaturer och oxidation.

Asfaltenerna attraheras till hartserna och tillsammans bildar de miceller i oljan. Maltener är benämningen på en del där hartserna samverkar med oljan (Agardh & Parhamifar, 2014).

Man brukar ange bituminets kvalitet med ett penetrationstal vid 25°C. Detta mäts genom att man låter en nål, som väger 50 gram, sjunka ner i bituminet under 5 sekunder. Antalet tiondels millimetrar som nålen sjunkit ner ger sen penetrationstalet vilket man brukar ange i intervall till exempel 70/100. Det finns även andra krav som måste uppfyllas för att ett bitumen ska tillhöra en penetrationsklass till exempel mjukpunkten vilket är den temperatur som bindemedlet börjar bli flytande (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.2.1 Oxidationsbeteende

Oxidation av bitumen är vad man även kallar för åldring av bitumen. När bitumen oxideras blir det hårdare och mer sprött, med andra ord så blir bindemedlet mindre flexibelt och sprickor kan lättare uppstå. Oxidationen ökar med ökad temperatur (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.2.2 Skumbitumen

Skumbitumen, som används vid tillverkningen av NCC Green Asphalt, görs med hjälp av vatten och luft som gör att bituminet kan expanderar upp till 20 gånger sin volym, det blir så kallat bitumenskum (NCC, 2015a). Expansionen gör att viskositeten snabbt sänks och täcker stenmaterialet bättre än vanligt bitumen (Nynäs, 2015). Processen tillåter att man använder vanligt penetrationsbitumen från 100/150 till 50/70, vilket man kan anpassas beroende på vilken flexibilitet och stabilitet som önskas av konstruktionen. Åtgången av bindemedel är ungefär den samma som vid traditionell tillverkning (NCC, 2015a).

2.2.3 Polymermodifierat bitumen

Polymermodifierat bitumen (PMB) även kallat högpresterande bitumen produceras genom att man blandar i termoplastiska polymerer i bitumen. Polymermodifierat bitumen delas in i två huvudgrupper, dessa är:

- Elastomertyp vilket är polymermodifierad bitumen som har en elastisk återgång större än 50 % provat enligt prEN 13398.
- Plastomertyp vilket är polymermodifierad bitumen som har en elastisk återgång större än 30 % men mindre än 50 % provat enligt prEN 13398.

Att använda högpresterande bitumen innebär oftast att projektet kostar mer att genomföra men syftar till att ge en ökad livslängd, vilket ska bli en billigare lösning ur ett årskostnadsperspektiv. Man har länge kunnat använda sig av polymermodifierat bindemedel i Sverige men användningen är fortfarande förhållandevis liten. I övriga Europa ökar användningen PMB hela tiden i och med att trafikbelastningarna samtidigt ökar (Olsson, 2009).

2.2.3.1 Polymerer

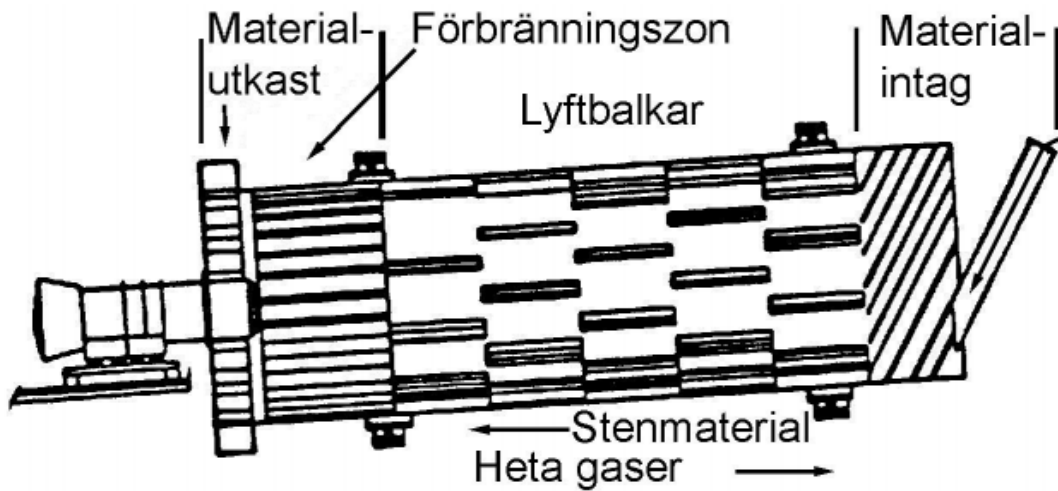
Polymerer är långa kedjor som består av repeterande molekyler. Det finns många naturliga polymerer runt oss till exempel trädens och växternas cellulosa och sen finns det även polymerer som vi själva har skapat vilka benämns som syntetiska polymerer. (NVF; NYNÄS, 2009)

2.3 Asfaltverket

Första delen i asfalttillverkningsprocessen är att kalldosera stenmaterialet. Stenmaterialet är då sorterat med avseende på fraktionsstorlek i olika fickor som sedan ska doseras i rätt mängd. Det är viktigt att justera matningen från fickorna så att man får rätt mängd material från rätt ficka enligt kallreceptet. Stenmaterialet transporteras sedan till en motströmstrumma. Här separeras filler från de grövre fraktionerna med hjälp av de heta gaserna som via ett filter leds till en egen silo. Men om fillerfraktionen upptagit fukt finns det risk för att det inte separerar från de grövre stenfraktionerna och resulterar i att man får för mycket filler i slutprodukten (Lundberg R. , 2015).

I motströmstrumma ska de grövre fraktionerna uppnå rätt temperatur för den slutliga blandningen. Men stenmaterialet får ej komma i kontakt med lågan från brännaren på grund av att materialet då riskerar att spricka. På grund av detta finns det specialkonstruerade lyftbalkar som förhindra kontakten med lågan och som ser till att materialet är jämt fördelat i blandaren. Efter motströmstrumman leds de grövre fraktionerna till en siktstation via en elevator där fraktionerna sedan delas upp igen till varmfickorna. Nästa steg är varmdoseringen

och då ska doseras rätt mängd ut av de grövre fraktionerna, bitumen och filler för att sedan blandas ihop till en homogen massa (Lundberg R. , 2015).



Figur 6 Genomsnitt av motströmstrumma (Lundberg R. , 2015)

2.4 Asfaltåtervinning

Asfalt som tas bort från vägen benämns returafalt. När returafalten sönderdelas och bindemedel och stenmaterial tillsätts benämns det asfaltåtervinning. Detta ska inte misstas för återanvändning, vilket är då materialet kan användas igen utan att förädlas. Sönderdelad returafalt har samlingsnamnet asfaltgranulat och de sönderdelade partiklarna är ofta mindre än 25 mm. Returafalten kan processas enligt följande schema, oftast är det dock bara en del av stegen som är aktuella (Westergren, 2004).

1. Mottagning och grovsortering
2. Frånskiljning
3. Krossning och siktning
4. Förvaring
5. Homogenisering

Som punkterna här ovan antyder är det av vikt att redan från början skilja på olika granulat från olika beläggningar med avseende på ursprung och kvalitet. För att granulatmassorna ska uppnå en god kvalitet brukar man krossa de gamla massorna och sen sortera dem. Ibland har dock frästa massor redan en lämplig kornstorleksfördelning och behöver därför inte krossas igen. Om granulatet sorteras efter krossningen möjliggör det att lättare proportionera den nya massan (Westergren, 2004).

Ibland anser man att det räcker med krossningen innan materialet används till ny asfaltmassa. Det är dock, som tidigare nämnts, inte att rekommendera då det oftast inte är tillräckligt för att man ska kunna säkerställa en god kvalitet på slutprodukten. Det finns två skäl till detta:

- Asfaltgranulatet har oftast ogynnsam form på kornen eller korngradering
- Materialen är normalt inte tillräckligt homogeniserade.

Som alltid finns det undantag då det har fungerat ganska bra t ex. när man återvinner den gamla formen av oljegrus.

Det finns tre metoder som asfaltgranulatet kan användas till vilka är varm återvinning i verk, halvvarm återvinning i verk och kall återvinning i verk. Användningsområdet, sorten av tillsatt bindemedel och andelen returafalt som kan användas anges i tabell 1, här nedan (Westergren, 2004).

Tabell 1 Metod för återvinning i verk (Westergren, 2004).

Metod	Användning	Tillsatt bindemedel	Normal andel returafalt
Varm återvinning i verk.	För slit- bind- och bärlager i samtliga trafikklasser och vägtyper.	Bitumen.	Mellan 5 och 40 % beroende på returafalt, process, typ av verk och lagertyp.
Halvvarm återvinning i verk.	För slit- och bärlager, oftast i något lägre trafikklasser.	Mjukbitumen.	Mer än 80 %.
Kall återvinning i verk.	För slit. Och bärlager, oftast i något lägre trafikklasser.	Bitumenemulsion, mjukbitumen eller bitumenskum.	Mer än 80 %.

2.4.1 Lagring av asfaltgranulat

Under lagringen bildas ofta en skorpa på granulatupplaget vilket inte ska ha någon större betydelse för användbarheten och den bryts lätt sönder av en lastmaskin. Asfaltgranulatet har även en benägenhet att kitta samman om materialet skall ligga en längre tid. Det händer speciellt under den varma årstiden (Westergren, 2004).

I granulatupplagen finns det ofta också en del fukt. Den här fukten vill man bli av med då den medverkar till en ökad produktionskostnad på grund av att man måste överhetta ballasten. På grund av detta är det fördelaktigt att minimera fukten i granulatet redan under lagringen. Några av metoderna som används för att bli av med fukten är: Upplagets form, Lutningen av upplaget och Skydd (Zhou et al., 2010).

2.4.1.1 Upplagets form

När man började lagra asfaltgranulat i USA gjordes det i låga, långa, horisontellt utformade högar på grund av rädsla att granulatet skulle packas vid för höga upplag. Av erfarenhet har det dock visat sig att den här utformningen ofta innehåller mer fukt än om upplagen görs högre och konformade. Man menar därför är bättre att lagra granulatet i högre konformade högar (Zhou et al., 2010). Upplagets höjd bör dock begränsas till ca 6 meter så att granulatet inte självkompakteras (West, 2010). Enligt en svensk källa kan den okrossade returafalten lagras i så höga upplag som det lämpar sig för med avseende på separation av materialet och för utseendets skull. Efter att returafalten krossats till granulat bör man dock inte göra upplag som är högre än 3 m (Westergren, 2004).

När man gör ett nytt upplag är det av vikt att rätta till ytor som blir oregelbundna med nedsänkningar där vattnet kan samlas. Detta kan lätt göras under tiden lagret fylls på med lastmaskin. Man bör dock undvika att använda tyngre maskiner uppe på högarna för att minska risken för att kompaktera granulatet precis som att man inte ska göra för höga upplag (West, 2010).

2.4.1.2 Lutningen av upplaget

I USA lagrar en del företag granulatet på en asfalterad yta som lutar ifrån lastningszonen. Tanken med detta är att fritt vatten då ska kunna dräneras från granulatet och samtidigt se till att minimera risken för materialförlust samt minska risken att förorena granulatet med annat material (Zhou et al., 2010).

2.4.1.3 Skydd

Man kan även skydda granulatet under tak. Bästa metoden för detta är att lagringen sker under ett tak med öppna sidor så att luft lätt kan passera över granulatet men vara i skydd från direkt nederbörd. Det är därför viktigt att man inte täcker upplagen med presenning eller liknande täta material så att luftomsättningen minskar (Zhou et al., 2010).

2.4.2 Varm återvinning

Varm återvinning kan ske i två olika typer av verk. Blandningen kan utföras i ett diskontinuerligt verk, även kallat satsverk, där blandningen sker satsvis i en tvångsblandare eller i ett kontinuerligt verk, även kallat trumblandningsverk (Westergren, 2004). Beroende på vilket verk som används kan mellan 5-50 % asfaltgranulat tillsättas till satsen (Lundberg R. , 2015). I det diskontinuerliga verket är mängden iblandat granulat ofta lägre än för det kontinuerliga verket. De diskontinuerliga verken kan dock utrustas med separat uppvärmd parallelltrumma vilket ger goda möjligheter att blanda i asfaltgranulat. Mängden granulat som kan tillsättas beror bland annat på returafaltens sammansättning, egenskaper, fukttinhåll och kraven för den typ av massa som skall tillverkas (Westergren, 2004).

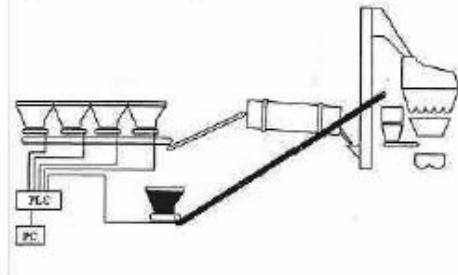
2.4.2.1 Satsverk

Det finns 4 olika metoder som asfaltgranulatet kan tillsättas på, de är (se Figur 7):

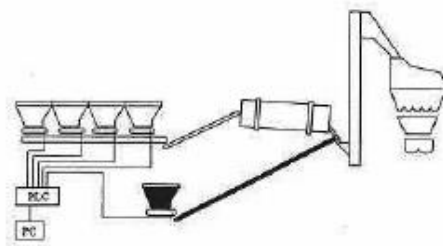
1. Direkt i blandaren
2. Till torkat och uppvärmt stenmaterial vid varmtransportören/elevatoren, innan varmsikten
3. I motströmstrumman
4. I separat torrtrumma, även kallad parallelltrumma

Metod 1-3 innebär att stenmaterialet måste överhettas för att asfaltmassan ska uppnå rätt tillverkningsstemperatur. Överhettningen kan som tidigare nämnts påverka åldringen av både det nya bindemedlet men även granulatets kvarvarande bindemedel. Med metod 1-3 kan man blanda i upp mot 20-25 % granulat. Vid större mängder iblandat granulat kan problem uppstå med massans tillverkningsstemperatur. Det kan dessutom uppstå ångbildning i verket. Använder man metod 4 behöver ballasten inte överhettas och rökgaserna från parallelltrumman förbränns i den ordinarie trumman vilket betyder att det blir mindre utsläpp. Uppvärmning genom en parallelltrumma gör det även möjligt att blanda i mer granulat än de andra metoderna (Westergren, 2004).

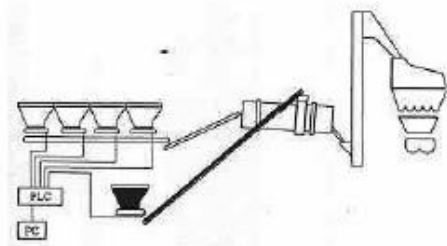
1) Inblandning direkt i blandaren



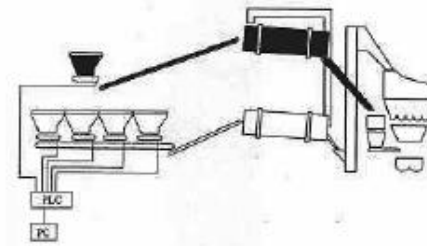
2) Inblandning i elevatorm



3) Inblandning i torktrumman



4) Inblandning genom parallelltrumma

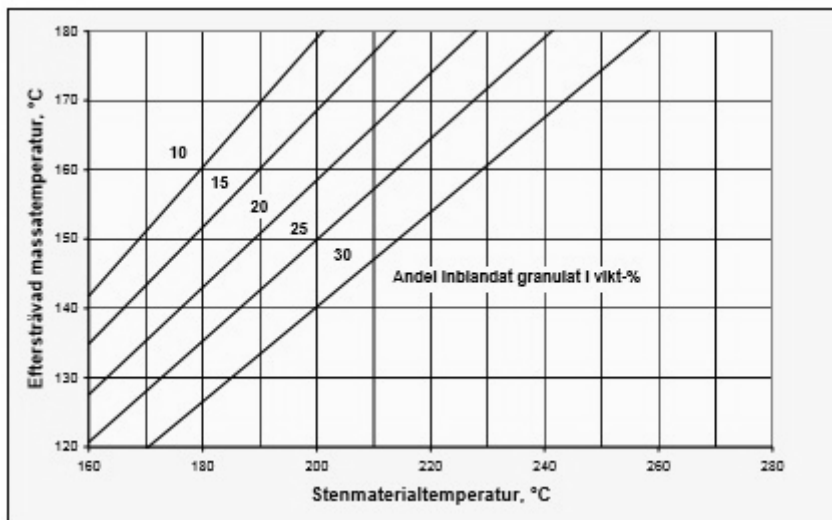


Figur 7 Schematisk skiss över olika metoder för iblandning av granulat vid tillverkning av varm massan. De ytor som är blåfärgade markerar var i processen granulatet blandas i (Westergren, 2004).

Tabell 2 och Figur 8 visar hur man på asfaltverken tar fram rätt överhettningstemperatur för ballasten med hjälp av diagram som tar hänsyn till både det kalla granulatet och granulatets fuktinnehåll.

Tabell 2 Korrigeringsvärde för stenmaterialets temperatur med avseende på fukthalten i granulatet (Westergren, 2004)

Andel granulat i vikt-%	Vattenhalt i granulatet i vikt-%					
	1	2	3	4	5	6
	Temperaturkorrektion i °C					
10	4	8	12	16	20	24
15	6	12	18	24	30	36
20	8	16	24	32	40	48
25	10	20	30	40	50	60
30	12	24	-	-	-	-



Figur 8 Förhållande mellan stenmaterialets temperatur, granulathalt och temperatur efter blandning (Westergren, 2004).

2.4.2 Krav för asfaltgranulat

Enligt TDOK 2013:0529 (Trafikverkets styrande och stödjande dokument för bitumenbundna lager) skall följande egenskaper redovisas för iblandat granulat:

- Bindemedelshalt
- Kornstorleksfördelning
- Största granulat Korn
- Halt främmande material

Vid varm nyttillverkning

- Mjukpunkt hos återvunnet bindemedel

När mer än 10 vikt-% asfaltgranulat används i ett slitlager med $\text{ÅDT}_{k,\text{just}} > 1\,500$ fordon ska kulkvarnsvärdet för den extraherade ballasten från asfaltgranulatet uppfylla samma krav på kulkvarnsvärdet som ställs på övrigt ballast material för beläggningstypen.

Det finns en högsta tillåtna mängd asfaltgranulat som får blandas in i den nyttillverkade varmblandade asfaltmassabeläggningen vilket också är beroende på vilket lager som granulatet ska blandas in i, se Tabell 3 här nedan:

Tabell 3 Högsta tillåtna mängd inblandat asfaltgranulat för olika lager enligt TDOK 2013:0529.

LAGER	MÄNGD [%]
SLITLAGER	20
BINDLAGER	30
BÄRLAGER	40

Vid inblandning av mer än 10 % granulat i slitlagret och mer än 20 % i bind- och bärlager med penetrationsbitumen krävs att man tar fram en ny beräknad mjukpunkt enligt Bilaga A, Punkt A3 i TDOK 2013:0529. Den beräknade mjukpunkten ska sedan uppfylla specifikationen för mjukpunkten för den beställda produkten enligt tabell 2.2.1-1, i TDOK 2013:0529. Det tillsatta bindemedlet får högst vara en penetrationsklass mjukare än bindemedel för beställd slutprodukt.

Om mjukpunkten hos det återvunna bindemedlet överstiger 65 °C ska en särskild utredning göras för att bestämma lämplig inblandningsmängd av asfaltgranulat.

När PMB används i tillverkningen av asfaltmassan accepteras högst 10 % inblandning av asfaltgranulat om inget annat anges i kontraktshandlingarna (Lind, 2014).

2.4.3 NCC Green Asphalt

Med den nya metoden NCC Green Asphalt är det möjligt att sänka tillverkningstemperaturen på massan till 120 °C, jämfört med den konventionella massan har en tillverkningstemperatur på 160 °C. Detta gör att man kan minska koldioxidutsläppen med upp till 30 procent och det släpps även ut betydligt mindre kvävedioxid, svaveldioxid och kolmonoxid vid tillverkningen.

Massan är dessutom packningsbara ner till 80 °C jämfört med 110 °C för den konventionella massan. En av anledningarna till att detta är möjligt är att man tillsätter vatten till bitumen och på så sätt skummar upp det. Skumningen gör massan blir mer lättarbetad, värmeseparationen minskar och viskositeten sänks. På grund av de här egenskaperna kan man använda sig av ett hårdare bitumen som också ger en mer beständig konstruktion. Massan är för övrigt även mer lättpackad än den konventionella massa och på grund av detta kan få en fin yta och låg hålrumshalt som minskar risken för frostsprängning samt oxidering.

Processen tillåter även inblandning av asfaltgranulat utan att kvaliteten påverkas. Dessutom innehåller granulatet redan en del bitumen vilket gör att man kan minska mängden tillsatt bitumen.

Arbetsmiljön blir också bättre vid utläggningen då rök och lukt minskar med temperatursänkningen. Vilket innebär att det blir mindre dammpartiklar, lättflyktiga organiska föroreningar och aromatiska kolväte i luften på och runt om arbetsplatsen (NCC, 2015b).

2.5 Spänning och töjning

Det finns många olika beräkningsmodeller för beräkning av spänningar och töjningar i vägkroppen. De flesta av dem bygger dock på elasticitetsteorin. Detta innebär att man antar att vägbyggnadsmaterial är elastiska, homogena och har isotropa egenskaper vilket inte överensstämmer med verkligheten. Dessutom ska en kropp återhämta sig efter avlastning enligt elasticitetsteorin. Med hjälp av Hookes lag kan man dock beskriva förhållandet mellan spänning och töjning (Agardh & Parhamifar, 2014):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{ekv 2.1}$$

där

E styvheten

σ den vertikala spänningen

ε töjningen

I verkligheten är de bundna lagren viskoelastiska, vilket innebär att materialets E-modul är beroende av både tid och temperatur. Vilket innebär att E-modulen varierar beroende på årstid. När det är kallt blir materialet styvare och får E-modulen stiger och när det blir varm blir materialet mjukare och E-modulen sjunker.

Det finns flera olika metoder för att bestämma E-moduler hos vägbyggnadsmaterial. E-modulen kan dock bero av många olika faktorer så som till exempel packningsgrad, fukthalt och kornstorlek. Detta gör det svårt att simulera i laboratorium (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.5.1 Dimensionering enligt TRVK Väg

Det finns tre dimensioneringsmetoder i TRVK Väg (Agardh & Parhamifar, 2014), dessa är:

- DK1: Lågtrafikerade vägar upp till 500 000 standardaxlar under vägens planerade livslängd. Kan dimensioneras med hjälp av tabeller.
- DK2: Vägar med trafik större än 500 000 standardaxlar. Stöds av trafikverkets program PMS objekt.
- DK3: Extrema laster. Stor frihet vid dimensionering. Vilket betyder att linjär-elastisk teori eller andra teorier kan användas vid dimensionering.

2.5.1.1 Dimensionering enligt DK2

Vid dimensioneringen använda som tidigare nämnts trafikverkets program PMS objekt. För att beräkningarna ska kunna utföras krävs följande data (Trafikverket, 2011a):

- Trafikmängd, ÅDT_k och andel tunga fordon
- Klimatzon
- Terrassmaterial
- Typ av överbyggnad
- Dimensioneringsperiod

För att beräkna antal standardaxlar under vägens livslängd, N_{ekv} , används följande ekvationer (Trafikverket, 2011a):

$$N_{ekv} = \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot \left(1 + \frac{100}{k}\right) \cdot \left(\left(1 + \frac{k}{100}\right) - 1\right) \quad \text{om } k \neq 0 \quad \text{ekv 2.2}$$

$$N_{ekv} = \dot{A}DT_k \cdot 3,65 \cdot A \cdot B \cdot n \quad \text{om } k = 0 \quad \text{ekv 2.3}$$

där

$\dot{A}DT_k$ är årsdygntrafik per körfält

A andel tunga fordon i %

B ekvivalent antal standardaxlar per tungt fordon

k antagen trafikökning per år i % för tunga fordon

n dimensioneringsperiod

Det finns olika kriterier för bitumenbundet bärlager och det man kallar för undergrunden i TRVK Väg. Här följer dessa kriterier.

Kriterier för bitumenbundet bärlager:

$$N_{till,bb} \geq N_{ekv} \quad \text{ekv 2.4}$$

$$N_{till,bb} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{bb,i}}} \quad \text{ekv 2.5}$$

$$N_{bb,i} = f_s \cdot \frac{2,37 \cdot 10^{-12} \cdot 1,16^{(1,8T_i+32)}}{\varepsilon_{bb,i}^4} \quad \text{ekv 2.6}$$

där

m antalet klimatperioder

n_i antal dygn underklimatperiod i

$N_{bb,i}$ tillåtet antal standardaxlar för bitumenbundet bärlager under klimat period i

f_s en korrigeringsfaktor med avseende på befintlig beläggnings sprickighet och krackelering som sätts till 1 för nybyggda vägar

$\varepsilon_{bb,i}^4$ största horisontella dragtöjning i bitumenbundet bärlager för klimatperiod i

T_i temperaturen i °C i bitumenbunden beläggning för klimatperiod i

Kriterier för undergrund

$$N_{till,te} \geq 2 \cdot N_{ekv} \quad \text{ekv 2.7}$$

$$N_{till,te} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{te,i}}} \quad \text{ekv 2.8}$$

$$N_{te,i} = f_d \cdot \frac{8,06 \cdot 10^{-8}}{\varepsilon_{te,i}^4} \quad \text{ekv 2.9}$$

där

m antalet klimatperioder

n_i antal dygn underklimatperiod i

$N_{te,i}$ tillåtet antal standardaxlar för terrassyta under klimat period i

f_d en korrigeringsfaktor med avseende på fukt och väta i terrassmaterialet

$\varepsilon_{te,i}^4$ största vertikala trycktöjning i terrassytan för klimatperiod i vid belastning med en standardaxel på vägytan

2.6 Värme

Värme är en form av energi som visar atomers och molekylers rörelser i förhållande till varandra vilket också är kopplat till temperatur. Energi mäts i SI enheten Joule (J) (Wadsö, 2013).

2.6.1 Värmekapacitet

Värmekapacitet är den mängd energi i som det krävs för att höja en kropps temperatur med en grad och den betecknas med bokstaven C .

$$C = J/K \quad \text{ekv 2.10}$$

Den specifika värmekapaciteten är den mängd energi det krävs att höja ett kilogram av en kropps temperatur med en grad och den betecknas med c (Burström, 2007).

$$c = J/(kg \cdot K) \quad \text{ekv 2.11}$$

2.6.2 Ångbildningsvärme

För att ett ämne ska gå från vätska till ånga krävs det en viss mängd energi, vilket kallas ångbildningsvärme. Fasövergången sker utan att temperaturen förändras. Beteckningen för ångbildningsvärme är Δh och har sorten J/g (Wadsö, 2013).

2.6.3 Värmetransport

Värmetransport är den totala värmeförlusten per tidsenhet och har enheten watt (J/s). När man undersöker transporten genom en ytenhet kallas det för värmeflödestäthet och betecknas q vilket är det samma som (J/sm^2). Det finns tre fysikaliska mekanismer, dessa är (Burström, 2007):

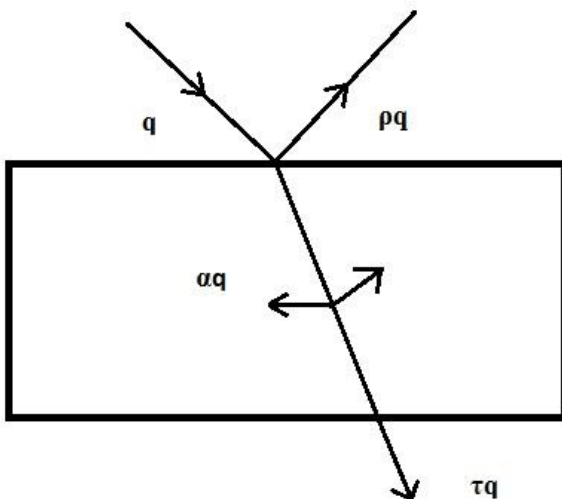
- Strålning
- Konvektion
- Ledning

2.6.3.1 Strålning

Strålning sker hela tiden, kroppar avger eller motar strålning. Styrkan av strålningen är proportionell mot T^4 , där T är temperaturen i Kelvin, se ekvationen här nedan.

$$q = \gamma \cdot T^4 \quad \text{ekv 2.12}$$

Där γ är en konstant som beror av strukturen på ytan samt färgen. Ekvationen avser den totala värmeflödestätheten, vilket betyder att samtliga våglängder är medräknade. När en yta träffas av strålning så absorberas en del, α , som värme en del reflekteras, ρ , och en del transmitteras, τ (Burström, 2007). Figur 9 visar hur värmeflödestätheten delas upp, här nedan.



Figur 9 Bilden visar hur den totala strålningen delas upp genom reflektion, absorption och transmission (Burström, 2007).

2.6.3.2 Konvektion

Med konvektion menas att värmetransporten sker med ett strömmande medium, gas eller vätska, beroende av temperaturen (Burström, 2007). Grunden till detta fenomen är att varm luft är lättare än kall luft vilket man kan se i ekvationen för den allmänna gaslagen:

$$pV = nRT \quad \text{ekv 2.13}$$

där:

p trycket

V volymen

n antal mol

R den allmänna gaskonstanten

T temperaturen

Alltså, om man ökar temperaturen i ekvationen och låter alla andra variabler utom volymen vara konstant ser man att volymen kommer öka med temperaturen. Vilket då också innebär att densiteten minskar med temperaturen.

2.6.3.3 Ledning

Värmeledning sker genom att molekyler och atomer med hög rörelseenergi överför energi genom stötar till andra molekyler och atomer som har lägre rörelseenergi (Burström, 2007).

Den byggnadstekniska termen för värmeledning avser dock den totala värmetransporten. Alltså innefattar den alla tre mekanismerna strålning, konvektion och ledning. Strålning och konvektion sker dock främst i materialets porer.

Ekvationen för värmeflödestätheten genom ett materialskikt med stationärt förhållande är definierat enligt följande (Burström, 2007):

$$q = \lambda \frac{\theta_1 - \theta_2}{d} \quad \text{ekv 2.14}$$

där:

θ temperaturen °C

λ materialets värmekonduktivitet $W/(m \cdot ^\circ C)$

d avståndet i meter

Värmekonduktiviteten kan även uttryckas som ett materials värmeledningsförmåga. Här nedan kan några värden för olika material ses och jämföras med varandra (Burström, 2007).

Tabell 4 Tabellen visar värmekonduktivitet och specifik värmekapacitet för olika material. (1) (Burström, 2007), (2) (The Engineering toolbox, 2015b), (3) (The Engineering toolbox, 2015a), (4) enligt NCC, (5) (The Engineering Toolbox, 2015c)

Material	Värmekonduktivitet [W/(m·K)]	Specifik värmekapacitet [J/(kg·K)]
Luft ⁽¹⁾	0,026	1000
Vatten	0,6 ⁽¹⁾	4181 ⁽⁴⁾
Vattenånga (350-400 K)	/	~1900 ⁽⁵⁾
Granit	3,5 ⁽¹⁾	800 ⁽⁴⁾
Bitumen	0,17 ⁽²⁾	2039 ⁽⁴⁾
Asfalt	0,75 ⁽²⁾	920 ⁽³⁾

2.6.3.4 Värmeledningsförmåga poröst material

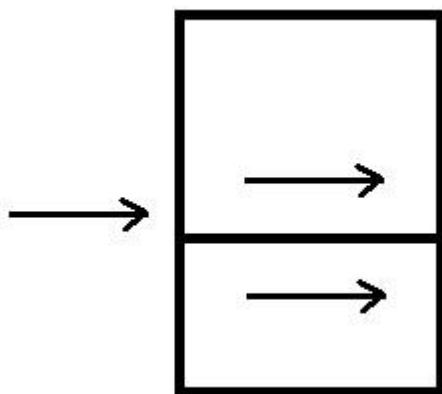
Porerna har en stor betydelse för ett materials värmeledningsförmåga eftersom porerna i torrt tillstånd innehåller luft och luft har ett lågt värmekonduktivitetstal jämfört med kompakta material så som granit. Generellt kan man därför säga att värmekonduktiviteten minskar med ökad porositet (Burström, 2007).

Det finns olika modeller för att beräkna ett materials totala värmekonduktivitet med två olika faser, parallellmodellen och seriemodellen är de enklaste (Burström, 2007).

Parallellmodellen:

$$\lambda = (V_1 \cdot \lambda_1 + V_2 \cdot \lambda_2)$$

ekv 2.15

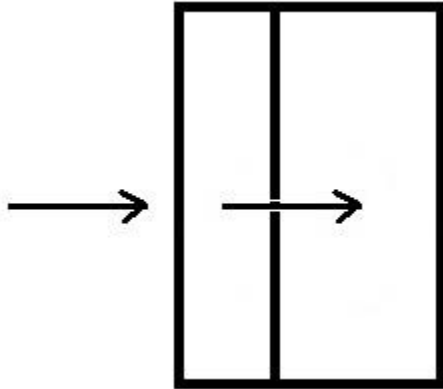


Figur 10 Bilden visar värmeledningen med parallellmodellen.

Seriemodellen:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{V_1}{\lambda_1} + \frac{V_2}{\lambda_2}$$

ekv 2.16



Figur 11 Bilden visar värmeledningen med seriemodellen.

Båda modellerna kan skrivas med en allmänformel enligt:

$$\lambda^n = V_1 \cdot \lambda_1^n + V_2 \cdot \lambda_2^n$$

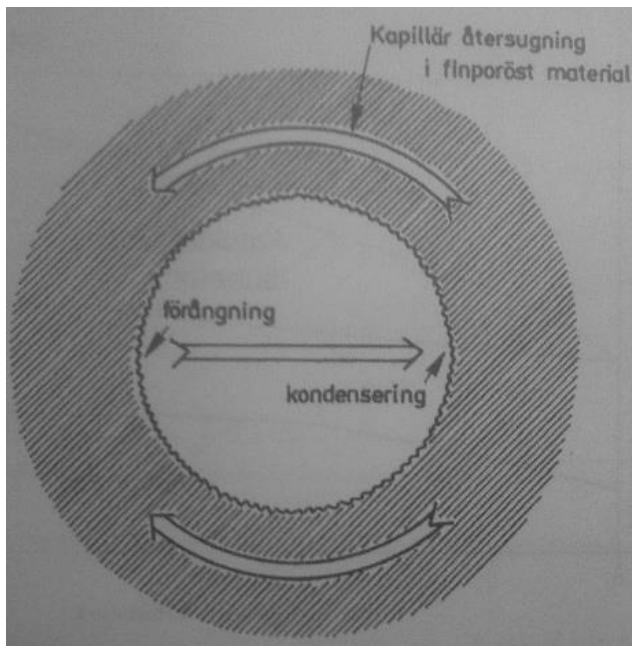
ekv 2.17

Där $n = +1$ för parallellmodellen och -1 för seriemodellen.

Modellerna kan dock inte anses vara realistiska då inget material ser ut eller fungerar så, sanning ligger mellan dem (Burström, 2007).

Värmetransportberäkningarna berör som tidigare nämnts samtliga tre mekanismer men strålning och konvektion är främst kopplat till materialets porer. Desto större porerna är desto mer inverkan har både strålningen och konvektionen. Om luften i porerna byts ut mot vatten kommer det att öka värmeledningsförmågan betydligt eftersom luft har $\lambda = 0,026$ och vatten har $\lambda = 0,6$, enligt tabell 2 (Burström, 2007).

Ytterligare en effekt av vatten i porerna är avdunstning och kondens. Vattnet förångas på porens varmare sida och förångas sedan på porens kallare sida. Sedan suges kondensvattnet tillbaka kapillärt i porväggen och på så sätt uppstår ett kretslopp. Den här effekten får större betydelse med större ånghalts-värde i porerna och med större mängd vatten som kapillärporerna har (Burström, 2007).



Figur 12 Visar hur värmen och vattnet kan bilda ett kretslopp i en por (Burström, 2007).

2.7 Fukt

Alla porösa byggnadsmaterial innehåller mer eller mindre fukt. Generellt ger en ökad fukthalt ogynnsamma konsekvenser för byggnadsmaterialets egenskaper. Förhöjd fukthalt är till exempel ofta kopplat med sänkt hållfasthet (Burström, 2007).

Fukten som finns i material kan vara olika starkt bundet till materialet. Starkast bindning har det kemiskt bundna vattnet. Näst starkast är det adsorberade vattnet, tätt följt av det kapillära vattnet och svagaste bindningen har det fria vattnet. Det adsorberade, kapillära och det fria vattnet räknas som förångningsbart vatten vilket. Definitionen av förångningsbart vatten är det vatten som förångas vid 105°C (Burström, 2007).

Fukt kan transporteras i två olika faser, i vätskefas eller i ångfas och tranposten medför att materialet antingen uppfuktas eller uttorkas (Burström, 2007).

2.7.1 Fukttransport i vätskefas

Om transport ska ske i vätskefas krävs det en sammanhängande vätskefas. Det finns redan vid låga fukthalter i form av adsorberat vattenskikt på porväggarna. Strömningsmotståndet i ett sådant skikt är dock relativt stort och därför sker transport i vätskefas främst då stora delar av kapillärporsystemet är vattenfyllt (Burström, 2007).

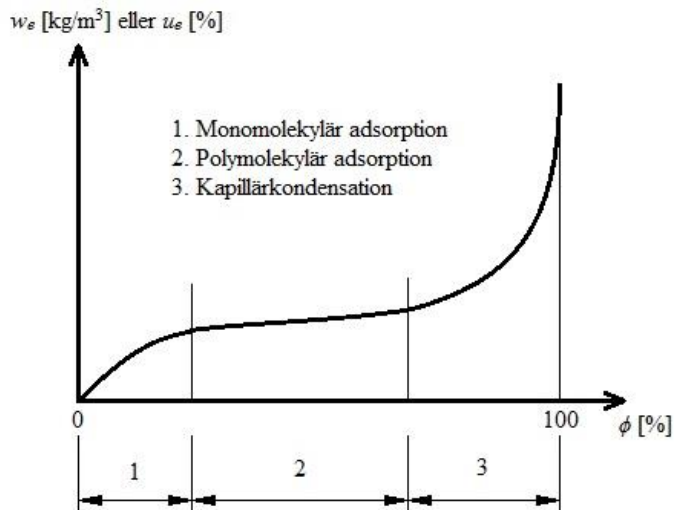
2.7.2 Fukttransport i ångfas

Fukt i ångfas kan transporteras på två olika sätt, antingen genom fuktkonvektion eller diffusion (Burström, 2007).

- Fuktkonvektion innebär att luften bär med sig fukt i form av vattenånga samtidigt som luften förflyttar sig.
- Diffusion innebär att vattenmolekylerna rör sig från ett område med hög ånghalt till ett område med lägre ånghalt, en form av utjämning.

2.7.3 Hydroskopisk fukt

När ett material förvaras en längre tid i samma klimat med konstant temperatur och ånghalt antar materialet en specifik fukthalt. Den här specifika fukthalten kallas för jämviktsfuktkvoten och det är luftens relativa fukthalt som är drivkraften till fenomenet som avgör vilken fukthalt materialet ska anta. Sambandet mellan den luftens relativa fukthalt och jämviktsfukthalten ser olika ut beroende på vilket material man tittar på (Burström, 2007).



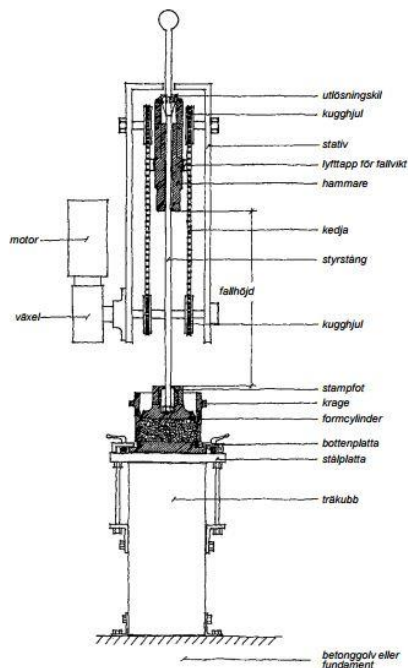
Figur 13 Jämviktsfuktkurva som beskriver hur stor fuktkvoten är för ett material beroende på den relativa fukthalten i luften (Burström, 2007).

2.8 Mätmetoder

För att kunna avgöra vägens kvalitet krävs det att man utföra olika tester under byggtiden, färdigställandet och under vägens livstid. Testerna kan antingen utföras enligt laboriemetoder eller fältmetoder. Laborietesterna ämnar undersöka samtliga material som ingår i asfaltmassan samt även på den färdiga asfaltmassan. Några av de egenskaper som kan undersökas är penetrationstal och mjukpunkt hos bituminet, kornstorleksfördelning och flisighetsindex hos stenmaterialet samt densitet, hålrumshalt och enaxiella press och drag försök av den färdiga massan (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.8.1 Marshallmetoden

För att kunna utföra laborietester på asfaltmassan krävs att använder sig av någon form av standardiserad packningsmetod. Den här metoden kan sedan ställas i relation till packningen som utförs ute på vägen. Den vanligaste metoden som används är Marshallmetoden som utför packningen med hjälp av en maskin. Trafikverket förutsätter att man använder sig av den här metoden vid utförande av laborietester på den färdiga asfaltmassan (Agardh & Parhamifar, 2014).



Figur 14 Bilden visar på hur en marshallpackningsmaskin kan se ut (FAS Service AB, 2015).

2.8.2 Gyropackning

Gyropackning, vilket är ett annat ord för gyrotorisk packning, är precis som marshallpackningen ett sätt att packa asfaltmassa med en maskin i laboratoriemiljö. Metoden möjliggör att styra packning mer noggrant med olika parametrar som packningsvinkel, packningstid, antalet packningsvarv samt packningstryck (Olsson, 1999).

2.8.3 Vätskemetoden

Med vätskemetoden beräknas provkropparnas skrymdensitet. Detta görs genom att man tar reda på provets torra vikt i luft, provets vattenlagrade vikt i vatten och provets vattenlagrade vikt i luft (Agardh & Parhamifar, 2014). Skrymdensiteten kan sedan tas fram enligt följande samband:

$$B = \frac{m_1 \cdot C}{m_2 - m_3} \quad \text{ekv 2.18}$$

där

B skrymdensiteten

C vattnets densitet $0,998 \text{ g/cm}^3$ vid $20\text{-}25^\circ\text{C}$

m_1 provets torrsvikt i luft

m_2 det vattenlagrade provets vikt i luft

m_3 det vattenlagrade provets vikt i vatten

2.8.4 Hålrums halt

Hålrums halten är den volym av asfaltmassan som består av luft och lättflyktiga ämnen och är en av de viktigaste parametrarna kopplade till deformationsbenägenhet, slitage och blödning med mera. Det är därför av vikt att undersöka detta hos den färdiga massan. Beroende på den övre kornstorleksgränsen hos ett slitlager brukar lämplig hålrums halt variera mellan 2.0 – 8.0 %. För ett bitumenbundet bärlager ligger variationen mellan 3.0 – 8.0 % (Agardh & Parhamifar, 2014).

Hålrums halten kan beräknas med följande ekvation:

$$H = 100 \cdot (A - B)/A \quad \text{ekv 2.19}$$

där

A kompaktdensiteten, provets volym utan hålrum

B skrymdensiteten, provets volym inklusive hålrum

2.8.5 Pressdraghållfasthet

En cylinderformad provkropp utsätts för en vertikal belastning genom en smal list. Det som mäts är det horisontella trycket som uppkommer av belastningen. Testet brukar utföras på provkroppar som har en temperatur på 10°C men eftersom metoden främst används i forskningsändamål finns inga standardiserade laster och belastningstider (Agardh & Parhamifar, 2014).

3 Utförda undersökningar

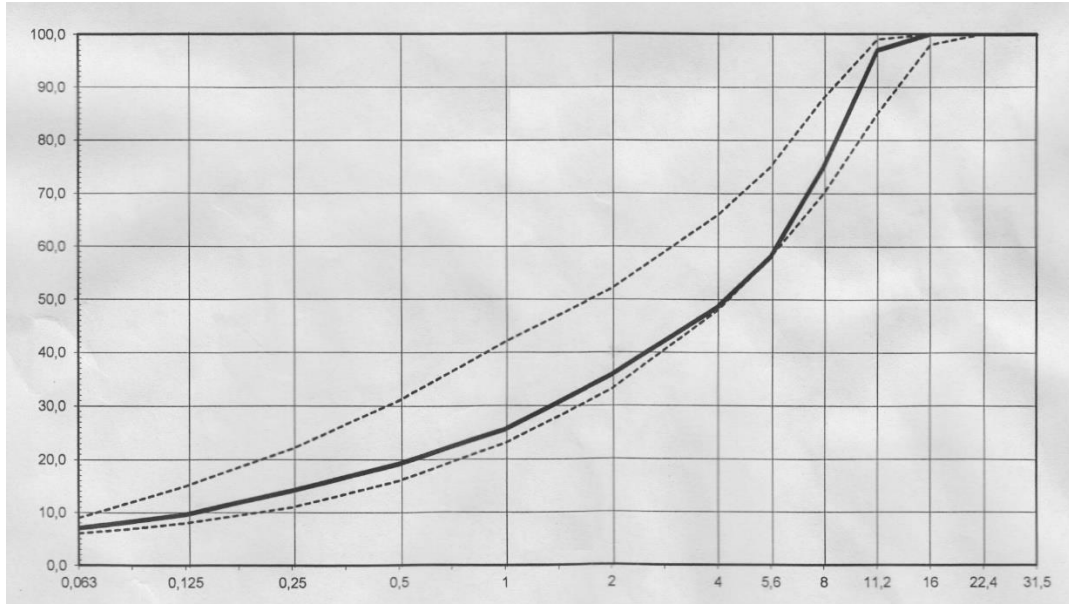
I Umeå gjordes två olika storlekar på satserna för den konventionella massan. Förhållandet mellan de iblandade materialen var samma för båda storlekarna. Den större satsstorleken gjordes även för Green-massan. De större satserna, 10 585 g, användes främst till temperaturloggning och behövde därför ha en tillräckligt stor massa för att provet skulle kunna utföras. Den mindre satserna, 1 220 g, användes till att göra testkroppar med hjälp av marshallpackning och gyropackning vilket gör att satserna kunde göras mindre.

I Södra Sandby tillverkades bara de större satserna för den konventionella massan. Anledningen till det var för att temperaturloggning skulle göras under blandningsprocessen och då behöver massan vara tillräckligt stor i förhållande till blandaren eftersom att IR-mätare registrerar temperatur på en yta. Efter blandningen togs en del av den här massan för att packas enligt marshallmetoden.

Efter marshallpackningen undersöktes pressdraghållfastheten. Detta gjordes både i Umeå och i Södra Sandby. Resultatet från pressdraghållfasthetstesterna användes sedan för att göra dimensionerande beräkningar med trafikverkets program PMS objekt.

3.1 Proportionering

Stenmaterialet kom från Gävle/Sälgsjön och kornkurvan för tillsatt stenmaterialet var framtagen enligt kraven gällande för en ABT 11, Asphaltbetong tät med största kornstorlek på 11 mm. Kurvan är brant för de grövre fraktionerna och sen följer kurvan den undre gränsen vilket leder till att man får en större mängd av de grövre fraktionerna och lite mindre av de mindre fraktionerna, se Figur 16 här nedan.



Figur 15 Kurvan som är heldragen är den kornfördelningskurva som användes till samtliga satser. De två streckade kurvorna visar på Max och Min krav gällande för en ABT 11 beläggning.

Fraktionsandelarna samt bitumenhalten, med penetrationstalet 70/100, som användes till satserna finns i Tabell 5 här nedan.

Tabell 5 Fraktionsfördelning.

FRAKTION	ANDEL (VIKT %)
FILLER	5,5
0/2	25,0
2/4	5,0
4/8	17,0
8/11	27,5
GRAN. (4,0 %)	20,0
TOTAL	100
BINDEMEDELSHALT	5,6

3.2 Fukthalt

Fukthalterna som undersöktes var 0 %, 3 %, 6 % och 9 %. Mängden vatten som skulle blandas med asfaltgranulatet togs fram genom följande formel:

$$fukthalt = \frac{m_{fukt}}{m_{torr\ massa}} \quad \text{ekv 3.1}$$

Tabell 6 visar hur mycket vatten som skall blandas med asfaltgranulatet beroende på om det är en större eller mindre sats som ska blandas.

Tabell 6 Mängden vatten som granulatet skall blandas med för respektive fukthalt och beroende på massans storlek.

Fukthalt (%)	Vatten mindre massa [g]	Vatten större massa [g]
0	0	0
3	6,9	60,0
6	13,8	120,0
9	20,7	180,0

Vattnet blandades tillsammans med granulatet i burkar som sedan slöts med lock. Burkarna fick sedan stå ca 24 timmar för att vattnet skulle fördelas jämnt med granulatet, se Figur 16.



Figur 16 Burkar preparerade med vatten och granulat.

3.3 Blandning av mindre massa Umeå

De mindre provkropparna handblandades, en sats i taget. För fukthalten som skulle undersökas gjordes 2 mindre satser, den ena av satserna marshallpackades och den andra gyropackades. Stenfraktionerna vägdes upp en i taget i en skål och hälldes sedan över i en större skål. Den större skålen med allt stenmaterialet ställdes därefter in i en ugn som var inställd på 167°C tillsammans med en bägare med bitumen. När stenmaterialet och bituminet uppnått rätt temperatur sattes skålen med stenmaterialet på en våg som nollställdes och därefter hälldes rätt mängd bitumen från bägaren på stenmaterialet. Skålen med stenmaterialet och bitumen blandades sedan med en sked tills stenmaterialet och bituminet ansågs vara jämt fördelat. Därefter sattes skålen tillbaka in i ugnen för att inte förlora värme till omgivningen.

Nästa steg var att förbereda iblandningen av granulatet. Burkarna med det färdigblandade granulatet öppnades och skålen med stenmaterialet och bitumen togs åter ut ur ugnen. Därefter hälldes granulatet snabbt över i skålen och blandades med stenmaterialet och bituminet tills massan ansågs ha en homogen svart färg. Den färdigblandade massan hälldes sedan genom en tratt till en plåtburk och på burken sattes ett lock med en termometer i. Burken sattes sen in i ugnen för att inte förlora energi till omgivningen när temperaturen avlästes.

3.4 Gyropackning Umeå

Efter temperaturavläsningen togs massan ut från ugnen och hälldes i en förvärmad form. Provet sattes sedan in i gyropackningsmaskin som var inställd att packa provet 200 varv med vinkeln 1,5°. För varje varv loggades höjdskillnaden vilket tillsammans med den kända vikten för massan gav densitetsförändringen med hjälp av ett datorprogram som var kopplad till gyropackningsmaskinen.



Figur 17 Maskin för gyropackning

3.5 Marshallpackning Umeå

Marshallpackningen utfördes efter temperaturavläsningen i ugnen. Massan hälldes över från burken till en förvärmad form. Därefter sattes provet in i marshallpackaren, som automatiskt packade provet 50 gånger. Formen vändes sedan för att packades ytterligare 50 gånger. Efter packningen togs formen ut och sattes för att svalna tills formen gick att hantera med händerna och då kunde testkroppen pressas ut.

3.6 Mätning skrymdensiteten

Efter att provkroppen svalnat efter marshallpackningen beräknades dess volym med hjälp av skjutmått. Skrymdensiteten erhöles sedan genom att dividera volym med provkroppens vikt. Skrymdensiteten togs även fram med hjälp av vätskemethoden, se kapitel 2.8.2 Vätskemethoden.

3.7 Mätning kompaktdensitet och hålrumshalt

Kompaktdensiteten togs fram med hjälp av en pyknometer, en speciell behållare med känd volym och vikt, och en provkropp som blandats med asfaltgranulat med 0 % fukthalt. Vikten för pyknometern är kalibrerad för en viss temperatur på vattnet och i det här fallet var det 25°C.



Figur 18 Pycnometerbehållare med markering för kalibreringen vid 25°C.

Provkroppen sönderdelades och sattes ner i pycnometern som sedan fylldes med vatten. Därefter sattes ett lock på som är kopplat till en vakuumpump via en slang i locket, se Figur 19. Efter 15 minuter var trycket i behållaren tillräckligt nära noll, vilket innebär att alla utrymme i provkroppen som tidigare innehöll luft ersattes med vatten.



Figur 19 Bilden visar hur vakuumpumpen är kopplad till behållaren.

Nästa steg var att fylla på med mer vatten för att det verkligen inte skulle finnas någon luft kvar i behållaren. Ett nytt lock sattes på pycnometern som sedan sattes ner i ett vattenbad för att både behållaren och innehållet skulle anta 25°C, se Figur 20.

När behållaren med vatten och provkroppen har uppnått 25°C togs behållaren upp ur vattenbadet och vägdes. Eftersom vikten för provkroppen, volymen för pyknometern och vikten för den vattenfyllda pyknometern var känd sedan tidigare kunde nu kompaktdensiteten beräknas med hjälp av ett program enligt ekvation 3.2.

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w}} \quad \text{ekv 3.2}$$

där

ρ provets kompaktdensitet

m_1 vikt pyknometer

m_2 vikt pyknometer och provkropp

m_3 vikt pyknometer, provkropp och vatten

V_p pyknometerens volym

När kompaktdensiteten var känd kunde hålrumshalten för samtliga provkroppar beräknas med hjälp av ett program som använde den kända skrymdensiteten och kompaktdensiteten för respektive provkropp.



Figur 20 Pyknometer behållaren i vattenbad inställt på 25°C.

3.8 Blandning större massa Umeå

Mätningen av temperaturutvecklingen efter blandning gjordes på de större massorna. Testerna gjorde precis som tidigare med asfaltgranulat som har 0, 3, 6 och 9 % fukthalt.

Blandningsförfarandet skiljer sig helt från hur de mindre satserna blandades. Bland annat så användes ett skumaggregat för iförandet av bitumen till en blandare och på grund av skumaggregatets utformning var locket till blandaren tvunget att vara öppet.

Först hälldes bitumen på i en tank som värmdes upp till 180°C och när temperaturen uppnåts i tanken kalibrerades maskinens utsprutning. Detta gjordes genom att man angav en bestämd tid för att spruta ut bituminet. Vikten av det utsprutade bituminet vägdes sedan. Detta gjordes om tills en stabil vikt erhöles för den utsprutade mängden bitumen. Därefter beräknades maskinens utsprutningstid för att få rätt mängd bitumen i enligt receptet.



Figur 21 Skumaggregat

Termodynamiska beräkningar gjordes för att få fram den temperatur som stenmaterialet måste ha för att få rätt tillverkningstemperatur på massan. Detta gjorde med utgångspunkt från ekvationen här nedan och förutsättningarna från Tabell 7 och 8.

$$m_g \cdot c_g \cdot \Delta T + m_b \cdot c_b \cdot \Delta T + m_s \cdot c_s \cdot \Delta T + m_v \cdot \Delta H_{vap} = 0 \quad \text{ekv 3.3}$$

där

m materialets massa

c materialets specifika värmekapacitet

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

ΔH_{vap} ångbildningsvärmets för vatten

För att lösa problemet skrevs ekvationen om till:

$$T_{s,1} = \frac{m_g \cdot c_g \cdot \Delta T + m_b \cdot c_b \cdot \Delta T + m_v \cdot \Delta H_{vap}}{m_s \cdot c_s} + T_2 \quad \text{ekv 3.4}$$

Konventionell massa

Tabell 7 Förutsättningar för beräkningar gällande den konventionella massan. Frågetecknet anger den temperatur som söks.

Material	Vikt [%]	Specifik Värmekapacitet [kJ/(kg·K)]	Förångningsvärme [kJ/kg]	T₁ [°C]	T₂ [°C]
Granulat	18,9	/	/	23,5	145
Varav sten	18,1	0,8	/	-	-
Varav restbitumen	0,8	2,039	/	-	-
Tillsatt fukthalt	0, 3, 6, 9	4,181	2,260	-	-
Tillsatt material	81,1	/	/	/	-
Varav sten	75,5	0,8	/	?	145
Varav bitumen	5,6	2,039	/	180	145
				Förångat vatten [%]	~ 20

Green-massa

Tabell 8 Förutsättningar för beräkningar gällande Green-massa. Frågetecknet anger den temperatur som söks.

Material	Vikt [%]	Specifik Värmekapacitet [kJ/(kg·K)]	Förångningsvärme [kJ/kg]	T₁ [°C]	T₂ [°C]
Granulat	18,9	/	/	23,5	120
Varav sten	18,1	0,8	/	-	-
Varav restbitumen	0,8	2,039	/	-	-
Tillsatt fukthalt	0, 3, 6, 9	4,181	2,260	-	-
Tillsatt material	81,1	/	/	/	-
Varav sten	75,5	0,8	/	?	120
Varav bitumen	5,6	2,039	/	180	120
				Förångat vatten [%]	0

Med förutsättningarna från Tabell 7 och 8 instoppade i formeln erhöles följande resultat se Tabell 9. Beräkningarna gjordes med hjälp av Microsoft Excel och beräkningsarket finns att se i bilaga 1 Termodynamiskt beräkningsark.

Temperatur Stenmaterial

Tabell 9 Beräknad starttemperatur för stenmaterial enligt de termodynamiska beräkningarna.

Typ av sats	0 % fukthalt	3 % fukthalt	6 % fukthalt	9 % fukthalt
Konventionell	170,6	179,6	188,6	197,6
Green	134,3	138,1	141,8	145,6

På grund av begränsat antal ugnar valdes följande temperatur för de olika satserna.

Tabell 10 Stenmaterialets starttemperatur vid inblandning för konventionel massa.

KONVENTIONELL MASSA

TEMP. STEN [°C]	172	187
FUKTHALTER [%]	0 och 3	6 och 9

Tabell 11 Stenmaterialets starttemperatur vid blandning av Green-massa.

GREEN-MASSA

TEMP. STEN [°C]	130	145
FUKTHALTER [%]	0 och 3	6 och 9

Eftersom allt vattnet inte beräknades att förångas i ekvation 3.4 påverkas massornas tillverkningstemperaturer. Därför gjordes beräkningen om för att ta fram tillverkningstemperaturen T_2 med den nu kända temperaturen för stenmaterialet. I den här beräkningen antogs att allt vatten förångas, vilket är sant om T_2 får ett värde över 100°C . Om T_2 inte har ett värde över 100°C betyder det att allt vatten kommer att förångas och då gäller inte ekvationen längre. När vattnet går över till vattenånga ändras den specifika värmekapaciteten och då antas värdet från Tabell 4 gällande specifik värmekapacitet för vattenånga mellan 350-400 K.

För att lösa det ut den nya tillverkningstemperaturen skrevs ekvationen om till:

$$T_2 = \frac{m_v \cdot (-\Delta H_{vap} - c_v \cdot (100 - T_{v,1}) + c_{vap} \cdot T_{vap,1}) + m_g \cdot c_g \cdot T_{g,1} + m_b \cdot c_b \cdot T_{b,1}}{m_v \cdot c_{v2} + m_g \cdot c_g + m_b \cdot c_b} \quad \text{ekv 3.5}$$

Tillverkningstemperaturer

Tabell 12 Visar den nya beräknade tillverkningstemperaturen T_2 för massorna beroende på fukten. Temperaturerna som är fetmarkerade med grå bakgrund stämmer inte med ekvationens förutsättningar.

Typ av massa	0 % fukthalt	3 % fukthalt	6 % fukthalt	9 % fukthalt
Konventionell	145	134	124	113
Green	120	109	98	87

3.8.1 konventionell sats

Först vägdes stenfraktionerna upp och hölls sedan över i ett större kärl. Därefter sattes det större kärlet in i en ugn enligt de framtagna temperaturerna från Tabell 10. När stenmaterialet uppnått rätt temperatur hölls det tillsammans med det preparerade granulatet i blandaren, som var inställd på 70°C . Stenmaterialet och granulat torrblandades därefter i 5 sekunder var på rätt mängd bitumen sprutades i från skumaggregatet. Efter 50 sekunder avlutades blandningsprocessen.

3.8.2 Green sats

Först vägdes stenfraktionerna upp och hälldes sedan över i ett större kärl, fillerfraktionen separerades dock från de övriga fraktionerna i ett mindre kärl. Därefter sattes det större kärlet och det mindre kärlet in i en ugn enligt de framtagna temperaturerna från Tabell 11. Satsen blandades därefter genom att stenmaterial, huvudsakligen fritt från filler, blandades tillsammans med granulatet varpå en skummad bindemedelsblandning tillsattes. Därefter tillfördes filler och blandades tills blandningsprocessen avslutades. Blandaren var precis som tidigare inställd på 70°C

3.9 Temperaturloggning efter blandningsprocessen Umeå

Efter att blandningsprocessen var avslutad tappades massan ut i en större plåtlåda och sattes på ett rullbord där 3 termometrar var preparerade enligt Figur 22. Termometrarna sattes sedan ner på olika djup i massan för att mäta temperaturen varje minut med start två minuter efter blandningsprocessen startade, vilket sattes till t_0 . Temperaturloggningen avslutades 20 minuter efter att blandningsprocessen startade. Den totala loggningstiden blev därför 18 minuter med 19 loggningar.



Figur 22 Preparerade termometrar med korklock som distanser för att mäta temperatur på olika djup i asfaltmassan.



Figur 23 Mätning av temperaturutveckling i blandarens tönningskärl.

Efter att temperaturloggningen var avklarad gjordes diagrammen som visar temperaturutvecklingen över tiden för de olika massorna. Det togs även fram en medelkurva för respektive massa och tillhörande standardavvikelse. Standardavvikelsen ger ett mått på hur långt ifrån de uppmätta värdena i genomsnitt ligger från medeltemperaturen. Beräkningen av standardavvikelsen gjordes som stickprov och därför användes följande formel:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\xi_i - \bar{\xi})^2} \quad \text{ekv 3.6}$$

3.10 Blandning större konventionell sats Södra Sandby

Först vägdes allt stenmaterialet upp. Här skedde en viss modifikation av receptet då det inte fanns något tillgängligt 0/2 eller 2/4 från Gävle/Sälgsjön. Detta ledde till att materialet fick ersättas med liknande stenmaterial från Södra Sandby. Efter att stenmaterialets hade vägts upp och hållts över i större kärl sattes de in i två olika ugnar med inställda temperaturer enligt Tabellen 13 här nedan.

Tabell 13 Stenmaterialets starttemperatur vid för konventionel massa.

KONVENTIONELL MASSA

TEMP. STENMTRL.	180 °C	195 °C
FUKTHALT	0 och 3 %	6 och 9 %

Bitumen ställdes in i en ugn som var inställd på 165°C, i en burk. När bituminet hade uppnått rätt temperatur hälldes rätt vikt upp i en bågare som var nollställd. Bågaren sattes sedan tillbaka i samma ugn som tidigare. När både stenmaterialet och bitumen hade uppnått rätt starttemperatur kunde blandningsprocessen börja. Ugnen var precis som i Umeå inställd på 70°C. För göra testet mer likt hur testet utfördes i Umeå blandades satsen med öppet lock på blandaren. Först torrblendades granulatet och stenmaterialet i blandaren i 5 sekunder. Varpå bitumen hälldes på ifrån bågaren. Efter 70 sekunder avslutades blandningsprocessen.

3.11 Marshallpackning Södra Sandby

Skillnaden jämfört med Umeå var att rätt mängd vägdes upp från den större massan istället för att all massa användes till marshallpackningen som i Umeå. 1 220 gram vägdes upp från den större massan och hälldes sen över i en förvärmad form. Därefter sattes provet in i marshallpackningsmaskinen som utförde packningen precis som i Umeå.

3.12 Temperaturundersökning med IR mätare Södra Sandby

Mätning gjordes med en IR-mätare som visar temperaturen i realtid utan att logga den, se bilden här nedan. På grund av att temperaturen inte loggades av instrumentet filmades mätningen för att sedan förhand överföras till tabellform. Med tabellen gjordes sedan en graf över temperaturförändringen över tiden.



Figur 24 IR-mätaren som användes för temperaturloggning under blandning.

3.13 Mätning av restfukt Södra Sandby

Den kvarvarande massan som inte gick till marshallpackningen hälldes ut på en större plåt och vägdes sedan. Därefter torkades den här massan i ca 24 timmar i en ugn som var inställd på 105°C. Efter torkningen vägdes massan igen, skillnaden i vikten gav den kvarvarande restfukten efter blandningsprocessen.

3.14 Pressdraghållfasthet

Efter att densiteten var fastställd för provkropparna sattes de in i ett kylskåp som var inställt på 10°C. När provkropparna hade uppnått 10°C sattes de i maskinen för mätning av pressdraghållfasthet. Maskinen startades och pressade därefter provkroppen till brott samtidigt som högsta belastningstrycket visades på en liten skärm.



Figur 25 Maskin för mätning av pressdraghållfasthet.

3.15 PMS Objekt

För att koppla resultatet från pressdraghållfasthetstesterna till trafikverkets krav så konverterades dessa värde till E-moduler som sedan fördes in i programmet PMS objekt. Programmets beräknade sedan $N_{\text{till, bb}}$ och jämförde det värdet med N_{ekv} . Väg 272 i Gävleborgslän valdes ut som lämpligt objekt att göra beräkningarna utifrån. Tabell 14 visar valda värde utifrån rådande förhållande med stöd från TRVK VÄG 2011:111 73.

Tabell 14 Framtagna förutsättningar för beräkningar av N_{ekv} och $N_{\text{till, bb}}$ med hjälp av PMS objekt.

<i>Dimensioneringens period</i>	20 år
<i>Klimatzon</i>	3
<i>Väglängd</i>	2000 m
<i>Överbyggnad</i>	GBÖ
<i>Vägbredd</i>	7 m
<i>Vägren</i>	0,25 m
<i>Körfält</i>	3,25 m
<i>ÅDT</i>	3000
<i>ÅDT_k</i>	1500
<i>Antagen trafikförändring lastbilar per år</i>	1 %
<i>Antagen trafikförändring personbilar per år</i>	1 %
<i>Andel tunga fordon</i>	8 %
<i>Vägtyp [B]</i>	1,7
<i>Körfältsbredd [f_a]</i>	1,3
<i>ÅDT [f_b]</i>	0,97
<i>Hastighet [f_c]</i>	0,95
<i>f_d</i>	1,0

Tjocklekarna för de olika lagren hämtades från PMS Objekts standard gällande en GBÖ och finns att se i Tabell 15.

Tabell 15 PMS objekts standardtjocklekar för de olika lagren gällande för en GBÖ.

Lager	Tjocklek [mm]
Bitumenbundet slitlager	40
Bitumenbundet bärlager	80
Obundet bärlager	80
Förstärkningslager krossat material	420
Skyddslager	0
3b blandkornig jord <= 30 %	0

Resultatet från pressdraghållfasthetstesterna som gjordes i Södra Sandby användes till beräkningarna, se kapitel 4.5 Pressdraghållfasthet. Resultatet från de testerna användes som viktning när de nya E-moduler togs fram med hjälp av PMS objekts standardvärde för de bitumenbundna lagren. De nya viktade E-modulerna avrundas sedan till närmaste 100-tal.

E-moduler slitlager

Tabell 16 Tabellen visar hur pressdraghållfastheten omräknas till spänningsmoduler beroende på årstid för slitlagret. 0 % motsvarar PMS objekts grundvärde för ett slitlager för GBÖ.

Fukthalt [%]	Pressdraghållfasthet [kPa]	Viktvärde från Pressdraghållfastheten [%]	MPa Vinter	MPa Tjällossning	MPa Sommar	MPa Höst
0	3 005	100	15 500	10 500	4 500	11 000
3	2 909	97	15 000	10 200	4400	10 700
6	2 672	89	13 800	9 300	4000	9 800
9	1 636	54	8 400	5 700	2,400	5 900

E-moduler bärlager

Tabell 17 Tabellen visar hur pressdraghållfastheten omräknas till spänningsmoduler beroende på årstid för bärlagret. 0 % motsvarar PMS objekts grundvärde för ett bärlager för GBÖ.

Fukthalt [%]	Pressdraghållfasthet [kPa]	Viktvärde från Pressdraghållfastheten [%]	MPa Vinter	MPa Tjällossning	MPa Sommar	MPa Höst
0	3 005	100	13 500	8 500	3 500	9 000
3	2 909	97	13 100	8 200	3 400	8 700
6	2 672	89	12 000	7 600	3 100	8 000
9	1 636	54	7 300	4 600	1 900	4 900

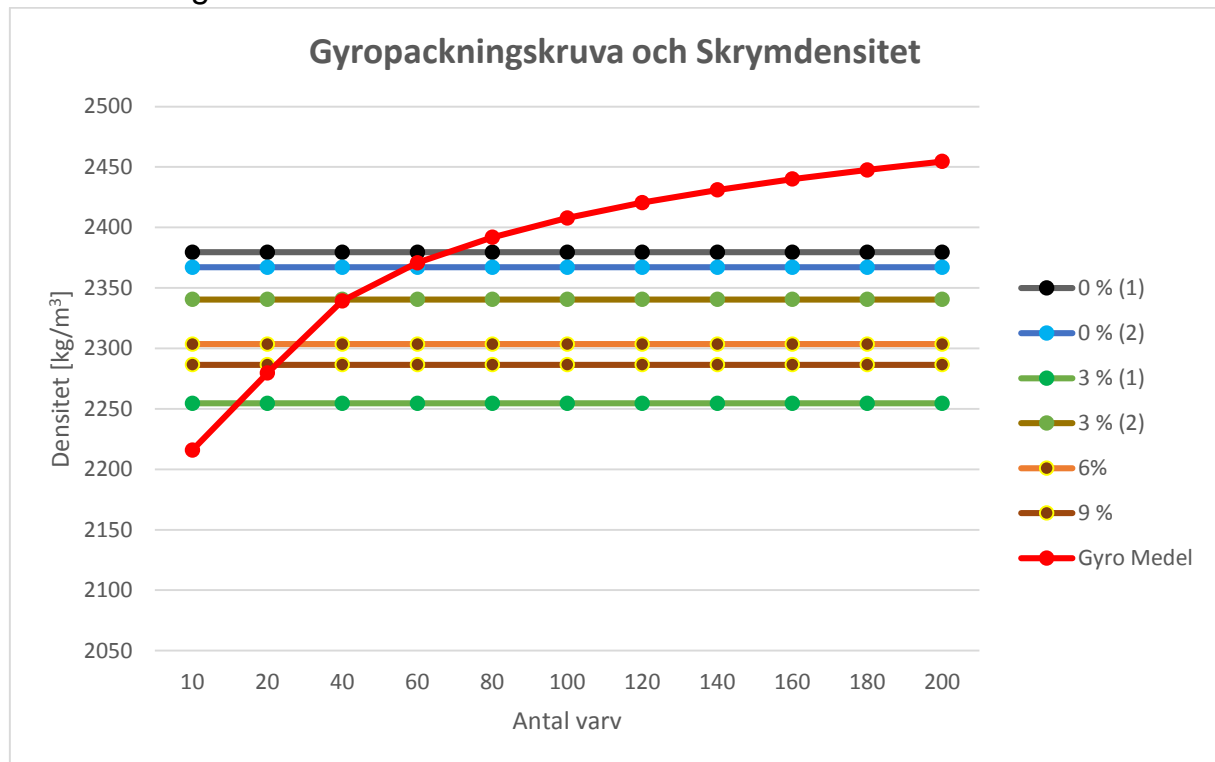
4 Resultat

4.1 Medeltemperatur efter handblandning konventionell massa

Tabell 18 Visar vilken medeltemperatur för de handblandade massorna.
Starttemperaturen för stenmaterial var 167°C.

Fukthalt [%]	0	3	6	9
Temperatur [°C]	117,5	123	112	107

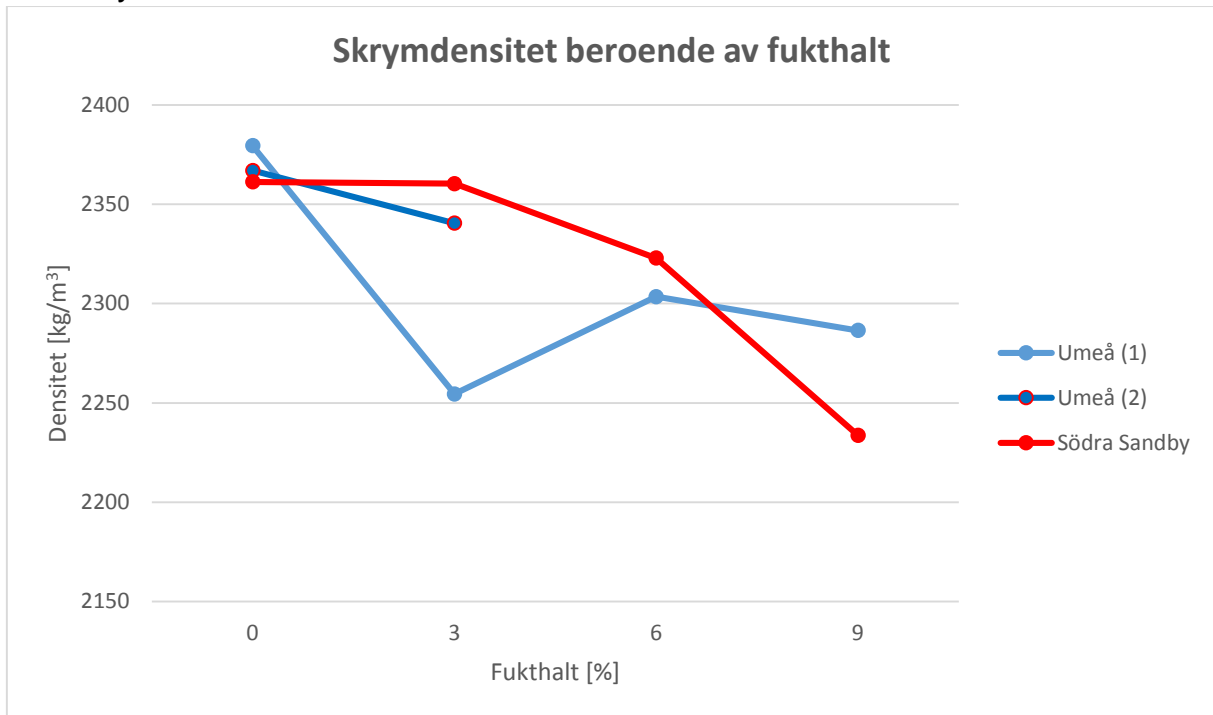
4.2 Packningsresultat handblandade konventionella massor



Figur 26 Diagrammet visar medelvärdet av skrymdensiteten, beräknat med vattenmetoden och skjutmåttmetoden samt även en kurva för som motsvarar medelvärdet från gyropackningstesten.

I Figur 26 kan man tydligt se att det krävs mindre antal varv för att uppnå skrymdensiteten med ökad mängd fukthalt i granulatet. Kurva 0 % (1) packades vid 143°C, kurva 0 % (2) packades vid 118°C, Kurva 3 % (1) kan ses som ett extremvärde och kurva 3 % (2) togs fram för att kontrollera giltigheten av kurva 3 % (1). Samtliga provkroppar hade en starttemperatur 167°C för stenmaterialet.

4.3 Skrymdensitet konventionella massor

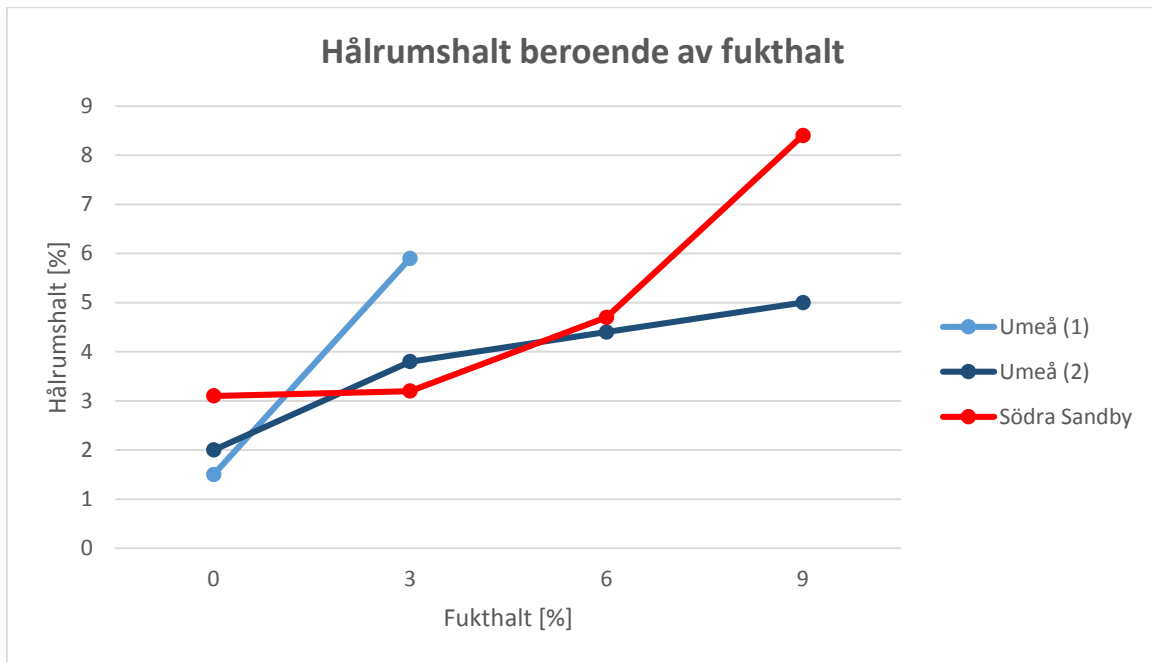


Figur 27 Diagrammet visar medelvärdet av skrymdensiteten, beräknat med skjutmåttmetoden och vattenmetoden, beroende på fukthalten.

Kurvorna Umeå (1) och Umeå (2) i Figur 27 är de handblandade massorna där hänsyn inte har tagits för fukthalten i granulatet och därför har stenmaterialet varit 167°C för samtliga massor. Resultatet för provkropparna som visas av Södra Sandby kurvan är blandade med hjälp av en blandare. Stenmaterialets temperatur varierade beroende på den inblandade fukthalten. 0 och 3 % fukthalt hade en temperatur på stenmaterialet på 180°C. 6 och 9 % fukthalt för samma kurva hade en temperatur på stenmaterialet på 195°C.

4.4 Kompaktdensitet och hålrums halt konventionella massor

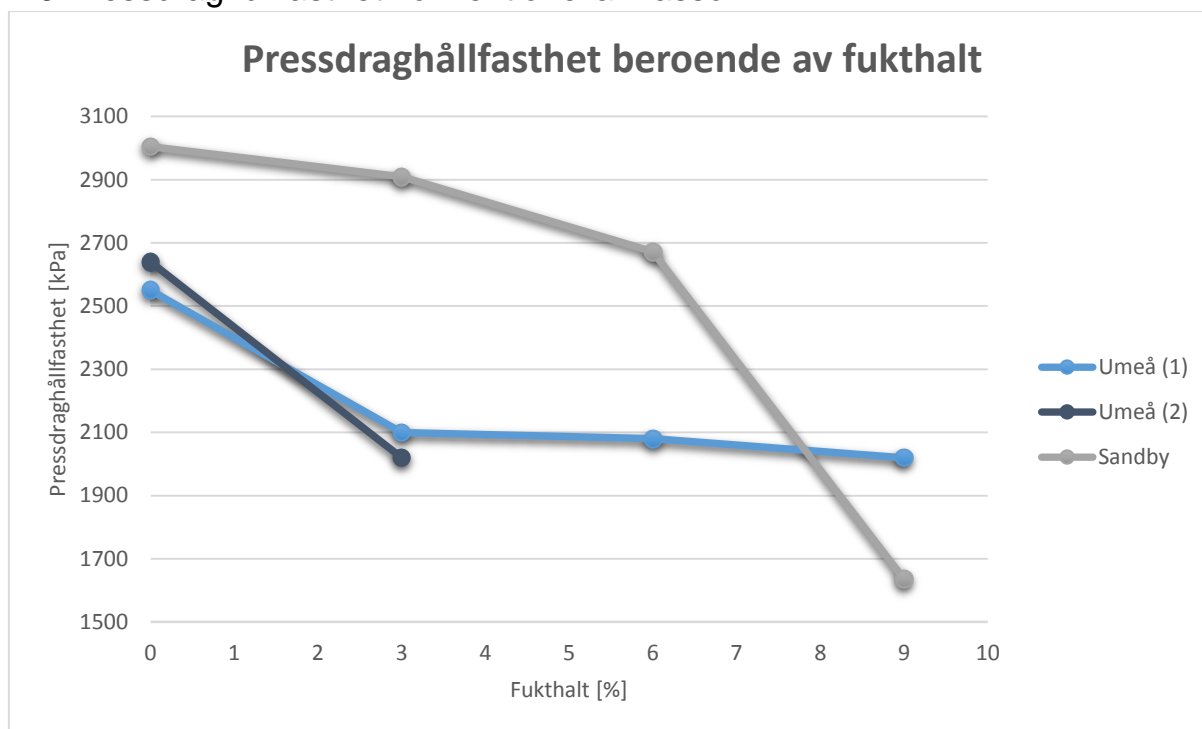
Kompaktdensiteten enligt pyknometermetoden blev 2438 kg/m³.



Figur 28 Diagrammet visar hålrums halten beroende av fukthalten i det inblandade granulatet.

Vid 3 % fukthalt kan man se ett extremvärde vars relevans kan ifrågasättas. Kurvorna Umeå (1) och Umeå (2) är de handblandade massorna där hänsyn inte har tagits för fukthalten i granulatet och därför har stenmaterialet varit 167°C för samtliga massor. 0 och 3 % fukthalt för kurvan Södra Sandby hade en temperatur på stenmaterialet på 180°C. 6 och 9 % fukthalt för samma kurva hade en temperatur på stenmaterialet på 195°C.

4.5 Pressdraghållfasthet konventionella massor



Figur 29 Diagrammet visar pressdraghållfastheten beroende på fukthalt.

Tabell 19 visar pressdraghållfasthetsvärdena från Figur 29.

Fukthalt [%]	Pressdraghållfasthet Umeå [kPa] (1)	Pressdraghållfasthet Umeå [kPa] (2)	Pressdraghållfastheten Södra Sandby [kPa]
0	2550	2640	3005
3	2100	2020	2909
6	2080		2672
9	2020		1636

Kurvorna Umeå (1) och Umeå (2) i Figur 29 är de handblandade massorna där hänsyn inte har tagits för fukthalten i granulatet och därför har stenmaterialet varit 167°C för samtliga massor. 0 och 3 % fukthalt för kurvan Sandby hade en temperatur på stenmaterialet på 180°C. 6 och 9 % fukthalt för samma kurva hade en temperatur på stenmaterialet på 195°C.

4.6 Subjektiv bedömning konventionella massor efter marshallpackning

Provkropparna upplevdes generellt mer ”svampiga” med ökad fukthalt efter marshallpackningen. ”Svampigheten” kan beskrivas som ett elastiskt beteende vid beröring av testkropparnas yta. Det såg ut som att det hade bildats ett övre lager som separerat från resten av provkroppen och vid beröring sjönk det in och fjädrade sedan tillbaka vid avlastning av ytan.

Tabell 20 Tabellen visar hur provkropparna uppfattats vid beröring av deras ytan efter marshallpackningen.

FUKTHALT (%)	BESKRIVNING UMEÅ	BESKRIVNING SÖDRA SANDBY
0	Stum	Stum
3	Lite svampig	Stum
6	Mer svampig	Stum
9	Mycket svampig	Lite svampig

4.7 Restfukt större konventionell massa

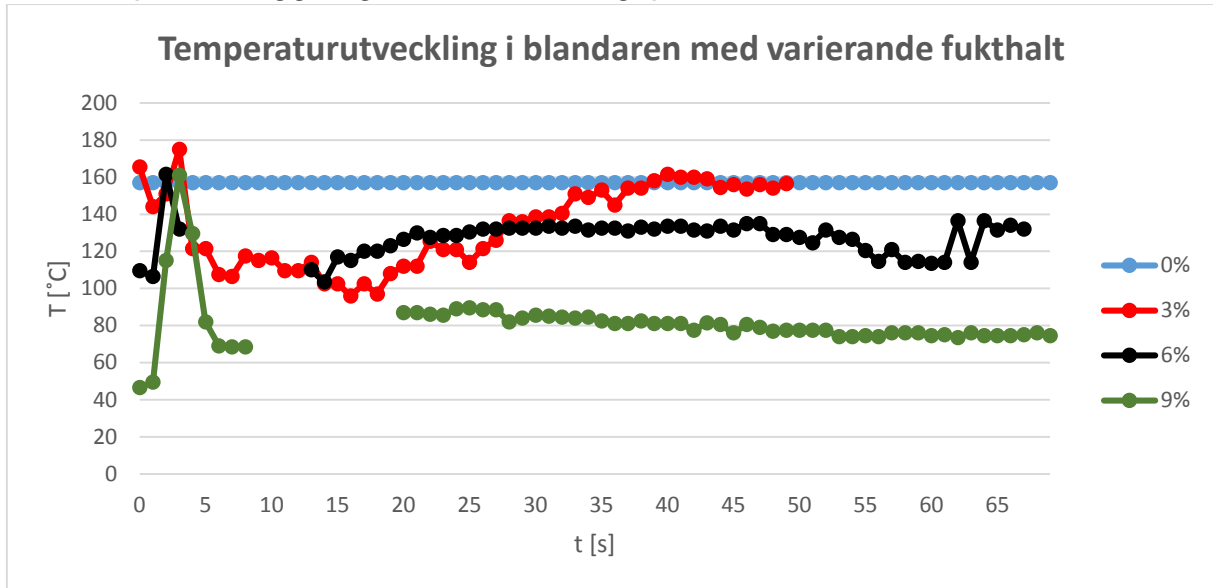
Testet gäller de större massorna som tillverkades i Södra Sandby.

Tabell 21 Tabellen visar massornas vikt efter blandningsprocessen, efter torkning, restfukten, restfukthalten och den förångade vikten vatten vilket är skillnaden i vikt efter blandning och efter torkning.

Fukthalt [%]	Vikt efter blandning [g]	Vikt efter torkning [g]	Restfukt [g]	Restfukthalt [%]	Förångat vatten under blandning [g]
0	11 217,3	11 215,5	-	-	1,8
3	9 595,6	9 592,9	2,7	0,028	57,3
6	9 624,4	9 614,2	10,2	0,106	109,8
9	10 852,6	10 848,3	4,3	0,040	175,7

Resultatet från restfuktmätningen, se Tabell 21, visar på att det finns fukt kvar i samtliga massor efter att blandningsprocessen är avslutad. Det går dock inte att avgöra någon trend för restfukten och massan med 6 % fukthalt i det inblandade asfaltgranulatet tycks visa på ett lokalt extremvärde som ej kan förklaras.

4.8 Temperaturloggning under blandningsprocessen större konventionell sats

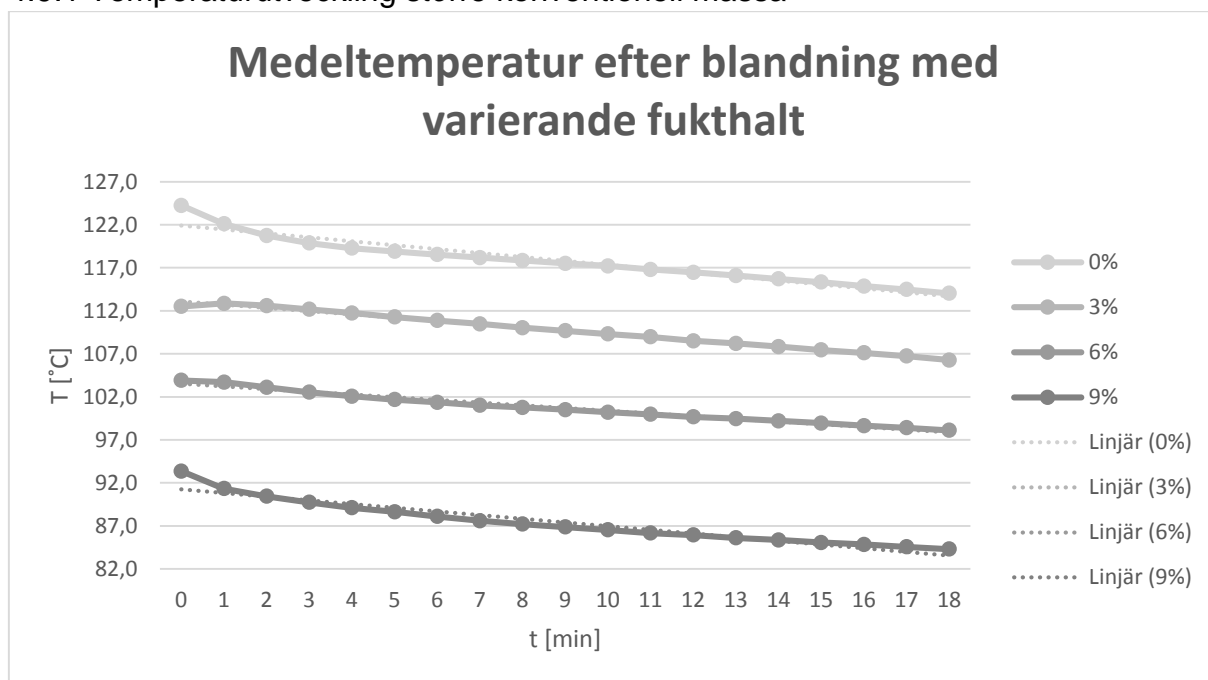


Figur 30 Diagrammet visar temperaturförändringen under blandningsprocessen för olika satser med varierande fukthalt i det iblandat asfaltgranulatet. Testet utfördes i Södra Sandby.

Man kan se av resultatet en tydlig nedkylning för samtliga massor dock stiger de lite i temperatur igen efter ett tag. Massan med 3 % fukthalt uppnår efter ett tag ungefär samma temperatur som massan med 0 % fukthalt i granulatet, vilket övriga massor med fukt inte gör. De olika satserna hade varierande temperatur på det inblandade stenmaterialet beroende på fukthalten. 0 och 3 % fukthalt hade 180°C som starttemperatur. 6 och 9 % fukthalt hade 195°C. Den nya tillverknings Temperaturen beräknades ligga i närheten av 145°C för 0 %, 134°C för 3 %, 124°C för 6 % och 113°C för 9 % fukthalt.

4.9 Temperaturundersökning efter blandning

4.9.1 Temperaturutveckling större konventionell massa



Figur 31 Diagrammet visar medeltemperaturen över tiden efter blandning för olika konventionella ABT 11 massor med varierande fukthalt i det iblandade asfaltgranulatet.

Mätningarna gjordes i Umeå och massorna hade varierande temperatur på det inblandade stenmaterialet. 0 och 3 % fukthalt hade 172°C som starttemperatur. 6 och 9 % fukthalt hade 187°C. Den nya tillverkningstemperaturen beräknades ligga i närheten av 145°C för 0 %, 134°C för 3 %, 124°C för 6 % och 113°C för 9 % fukthalt.

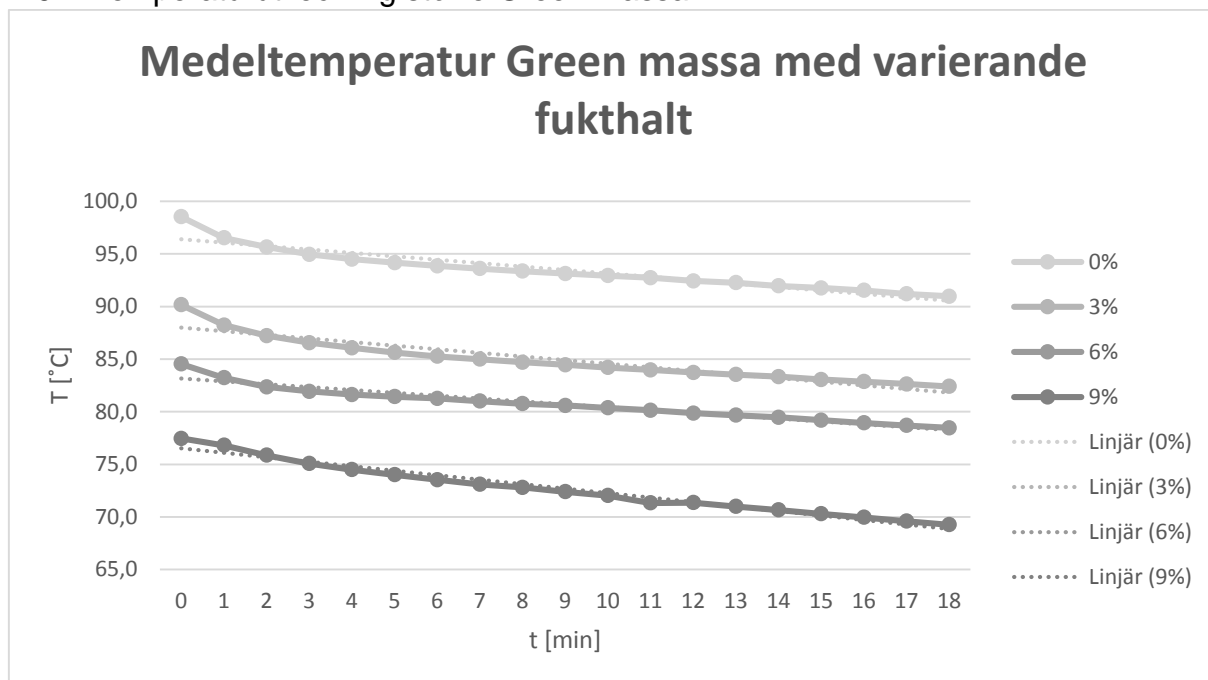
Tabell 22 Visar skillnaden mellan starttemperaturen och sluttemperaturen för de konventionella massorna enligt Figur 31.

Fukthalt [%]	T ₀	T ₁₈	ΔT
0	124,2	114,0	10,2
3	112,5	106,3	6,2
6	103,9	98,1	5,8
9	93,4	84,3	9,1

Tabell 23 Visar massornas trendekvationer beroende på fukthalten samt standaravvikelse för respektive fukthalt, enligt de linjära kurvorna från Figur 31.

Fukthalt [%]	Trendekvation	Lutning [°C /min]	Standardavvikelse
0	$y = -0,46x + 122,35$	-0,46	42,4
3	$y = -0,38x + 113,47$	-0,38	15,3
6	$y = -0,31x + 103,82$	-0,31	11,3
9	$y = -0,43x + 91,68$	-0,43	14,0
	Medellutning	-0,39	

4.9.2 Temperaturutveckling större Green massa



Figur 32 Diagrammet visar medeltemperaturen för olika Green massor över tiden där massorna har varierande fukthalter i det iblandade granulatet.

Mätningarna gjordes i Umeå och massorna hade varierande temperatur på det inblandade stenmaterialet. 0 och 3 % fukthalt hade 130°C som starttemperatur. 6 och 9 % fukthalt hade 145°C. Den nya tillverkningstemperaturen beräknades ligga i närheten av 120°C för 0 %, 109°C för 3 %, 98°C för 6 % och 87°C för 9 % fukthalt.

Tabell 24 Visar skillnaden mellan temperaturen och sluttemperaturen för Green massorna enligt Figur 32.

Fukthalt [%]	T ₀	T ₁₈	ΔT
0	98,5	91,0	7,5
3	90,2	82,4	7,8
6	84,5	78,5	6
9	77,5	69,3	8,2

Tabell 25 Visar massorna trendekvationer beroende på fukthalent samt standaravvikelse för respektive fukthalt, enligt de linjära kurvorna från Figur 32.

Fukthalt [%]	Trendekvation	Lutning [°C/min]	Standardavvikelse
0	$y = -0,33x + 96,74$	-0,33	20,2
3	$y = -0,34x + 88,33$	-0,34	16,7
6	$y = -0,27x + 83,44$	-0,27	22,6
9	$y = -0,43x + 76,96$	-0,43	19,4
	Medellutning	-0,34	

4.10 Tillverkningstemperatur

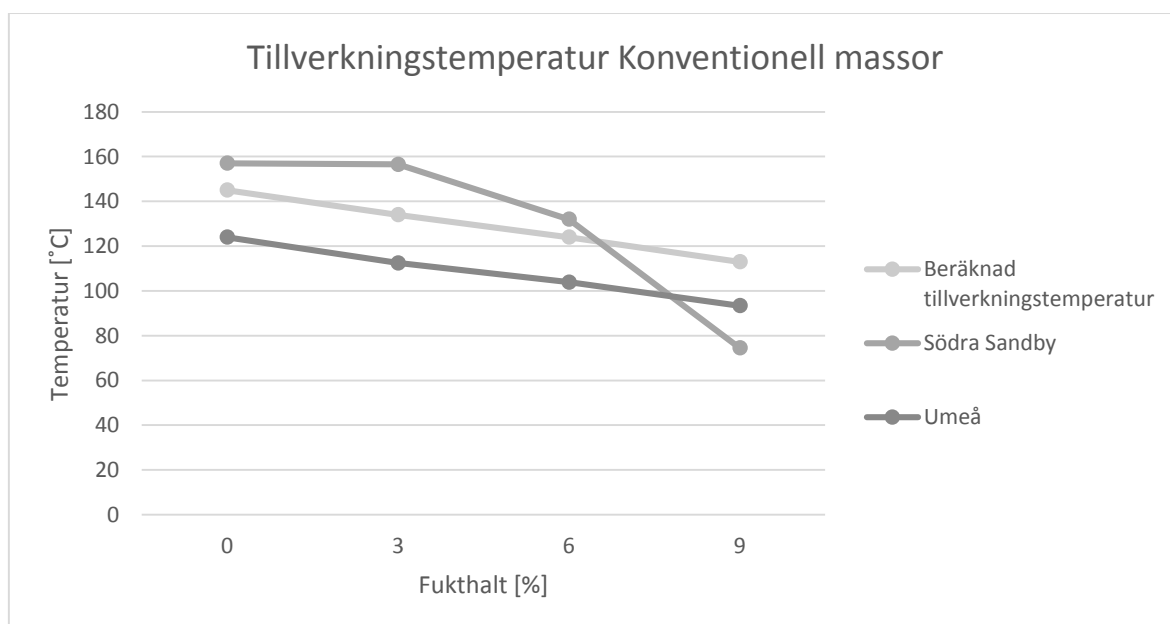
En jämförelse gjordes mellan de beräknade tillverkningstemperaturerna och de erhållna temperaturerna som loggats för både Green-massorna och de konventionella massorna. De verkliga värdena är tagna från det sista uppmätta temperaturen under blandningsprocessen och det första uppmätta värdet efter blandning. Resultatet blev följande:

Konventionell massa

Tabell 26 visar de beräknade tillverkningstemperaturerna för de konventionella massorna med utgångspunkt från att 20 % av fukten skulle förångas. Tabellen visar även vilka starttemperaturer som stenmaterialet hade i slutet av blandningsprocessen samt efter blandningsprocessen.

Tabell 26 visar de beräknade tillverkningstemperaturen för de konventionella massorna samt temperaturer för det inblandade stenmaterialet.

Fukthalt [%]	Beräknad tillverknings-temperatur [°C]	Temp. Blandnings-processen [°C]	T ₁ sten mtrl. [°C]	Temp efter blandning [°C]	T ₁ sten mtrl. [°C]
0	145	157,0	180	124,0	172
3	134	156,5	-	112,5	-
6	124	132,0	195	103,9	187
9	113	74,5	-	93,4	-



Figur 33 visar skillnaderna mellan den beräknade tillverkningstemperaturen och den sista loggade temperaturen under blandningsprocessen samt den första temperaturen som loggades efter blandningen för de konventionella massorna.

De beräknade tillverkningstemperaturerna visade att den konventionella massorna skulle skilja ungefär 11 °C mellan de undersökta fukthalterna. Detta visar sig inte att stämma med de sista registrerade temperaturen under blandningsprocessen som gjordes i Södra Sandby, se Tabell 26. Massan som hade 6 % fukthalt i det inblandade granulatet hade 30 °C lägre temperatur jämfört med massan som var blandad med 3 % fukthalt i granulatet och skillnaden mellan 6 och 9 % fukthalt var till och med större. Om man tittar på de första temperaturerna

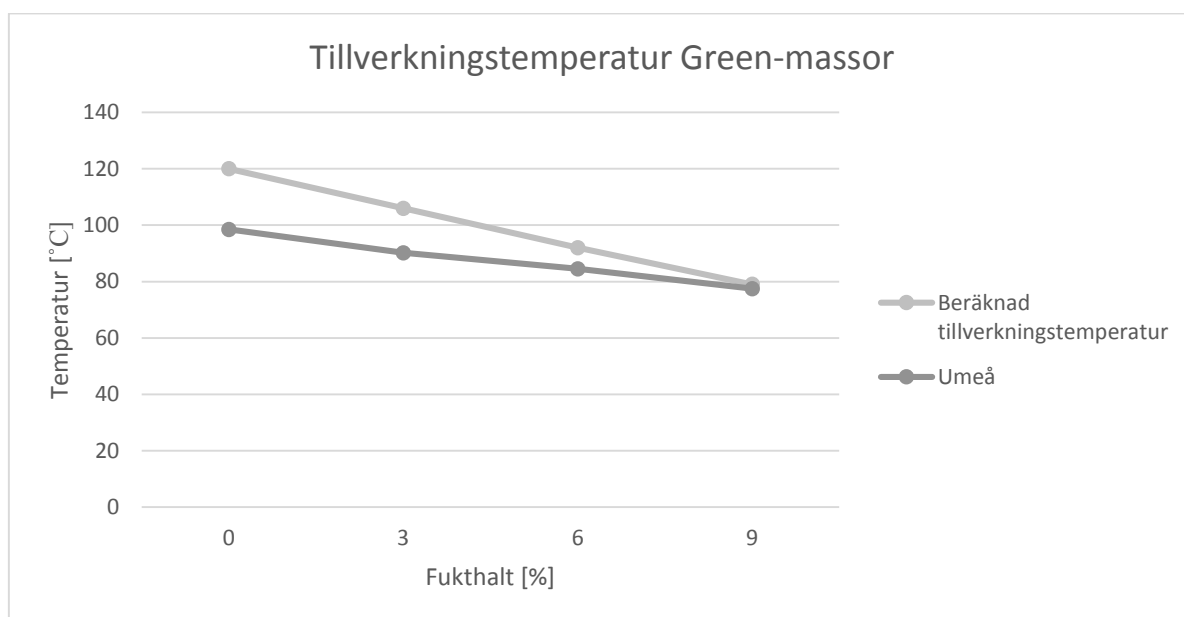
som loggades efter blandningen i Umeå så stämmer det ganska bra med temperaturskillnaden mellan fukthalterna men samtliga temperaturer är ungefär 20°C lägre än de beräknade tillverkningstemperaturerna.

Green-massa

Tabell 27 visar de beräknade tillverkningstemperaturen för Green-massorna med utgångspunkt från att 0 % av fukten skulle förångas. Tabellen visar även vilka starttemperaturer som stenmaterialet hade efter blandningsprocessen.

Tabell 27 visar de beräknade tillverkningstemperaturen för de Green-massorna även temperaturer för det inblandade stenmaterialet.

Fukthalt [%]	Beräknad tillverknings-temperatur [°C]	Temp efter blandning [°C]	T ₁ sten mtrl. [°C]
0	120	98,5	130
3	105,9	90,2	-
6	92,1	84,5	145
9	78,7	77,5	-

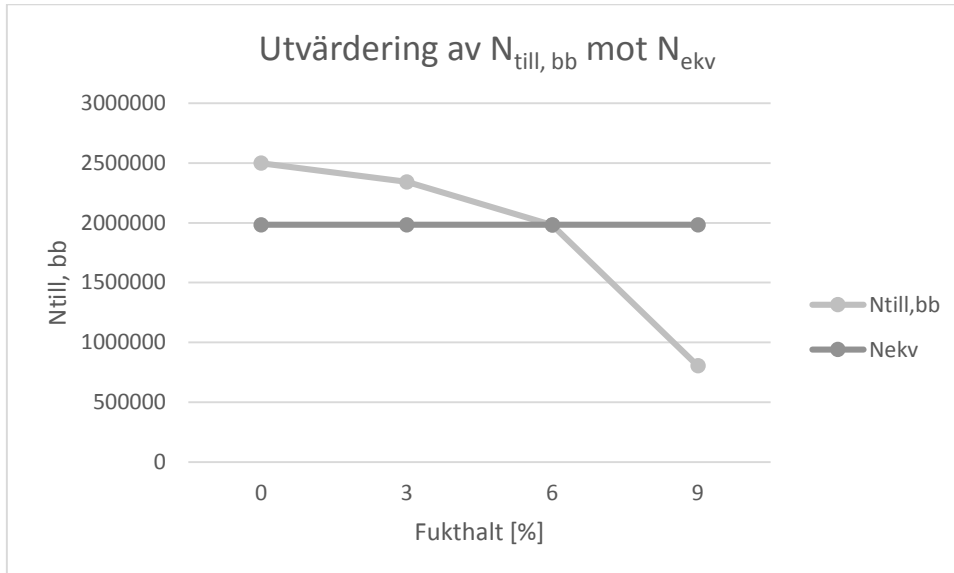


Figur 34 visar skillnaderna mellan den beräknade tillverkningstemperaturen och den sista loggade temperaturen under blandningsprocessen samt den första temperaturen som loggades efter blandningen för de Greenmassorna.

De beräknade tillverkningstemperaturerna visade att Green-massorna skulle skilja ungefär 14°C mellan de undersökta fukthalterna. De första temperaturerna som loggades efter blandningsprocessen var avslutad i Umeå visar dock på en skillnad som är mindre. Alla temperaturer ligger dessutom under 100°C och det finns inget tydligt mönster som ger en viss temperaturer som alla värde ligger under som för de konventionella massorna. Det man kan se är dock att när temperaturen sjunker under 100°C närmar sig den uppmätta temperaturen den beräknade tillverkningstemperaturen

4.11 PMS objekt

Utvärderingen gjorde med hjälp av PMS objekts standardvärde för E-moduler som viktades med hjälp av provkropparnas värde för pressdraghållfastheten. Pressdraghållfasthetsvärdena som användes för viktningen togs från de konventionella massorna som tillverkades i Södra Sandby.



Figur 35 visar det beräknade värdet $N_{till, bb}$ jämfört med kravet N_{ekv} .

Resultatets som erhöles av PMS objekt visar på att redan vid 6 % fukthalt i granulatet ligger värdet under godkändkravet för ekvivalent standardaxlar.

Tabell 28 visar $N_{till, bb}$ från Figur 35 och hur det minskar i procent jämfört med massan som hade 0 % fukthalt i asfaltgranulatet.

Fukthalt [%]	$N_{till, bb}$	Minskat värde [%]
0	2 498 500	0
3	2 342 000	6,3
6	1 981 500	20,7
9	804 900	67,8

5 Diskussion och Slutsats

5.1 Resultatdiskussion

Samtliga gyropackningskurvor följer samma trend, se Figur 36 Bilaga 2, därför beräknades ett medelvärde som användes för att jämföra med marshallpackningsvärdena i Figur 26.

Resultatet visar dock på att massan får lägre skrymdensitet med ökad fukthalt i asfaltgranulatet samtidigt som hållrumshalten ökar. Vilket betyder att fukten har en negativ påverkan för packningen.

Pressdraghållfasthetsmätningarna som gjordes i Umeå är svåra att utvärdera i och med att stenmaterialet har haft samma temperatur oberoende av fukthalten i granulatet. Detta gör det svårare att avgöra hur mycket vatten som kommer att förångas. Vilket i sin tur gör att man inte med säkerhet kan beräkna tillverkningstemperaturen för massorna. Men den uppmätta tillverkningstemperaturerna låg över 100°C för samtliga handblandade massor vilket gör att en del av vattnet borde ha försvunnit, se Tabell 18. Resultatet får man alltså se utifrån att man förutsatt att granulatet ska vara torrt, men att det inte är det och på så sätt ser hur massan påverkas av fukten. Redan efter marshallpackningen kunde fuktens påverkan ses då provkropparna uppträdde svampigt vid vidröring av ytan, se Tabell 19. Det är alltså inte så konstigt att resultatet av pressdraghållfasthetsmätningen i Umeå blev lågt för samtliga massor med inblandad fukt. Resultatet är dock intressant då det visar på att pressdraghållfastheten inte blir mycket sämre än den som erhålls vid 3 % fukthalt.

Pressdraghållfastheten som mättes i Södra Sandby gjordes visade på en helt annan trend än den trend som gavs av resultatet från Umeå, se Figur 29. Detta beror troligtvis på att man överhettat stenmaterialet, men inte tillräckligt för att bli av med vattnet och därför sänker man istället tillverkningstemperaturen något. Resultatet visar också på att det är möjligt att uppehålla en viss kvalitet med en viss förlust av hållfasthet fram till 6 % fukthalt. Men därefter sänks kvaliteten drastiskt. Det är viktigt att notera att hållfastheten för 9 % fukthalt är lägre än samtliga resultat från Umeå.

Man kan se en koppling mellan provkropparnas densitetsvärde enligt kurvan Södra Sandby, Figur 27, och deras pressdraghållfasthetsvärde, Figur 29, då kurvorna har liknande form. Detta gällde för så väl de mindre handblandade massorna i Umeå som de som större massa som tillverkades i Södra Sandby.

Av restfuktmätningarna går det inte att avgöra tydligt mönster beroende på en ökad fukthalt i asfaltgranulatet på grund av för få mätvärde. Extremvärdet för massan som hade 6 % fukthalt i asfaltgranulatet är dessutom underligt, då den rimligtvis inte borde ha ett högre restfuktsvärde än massan som hade 9 % fukthalt i asfaltgranulatet. Det råder dock ingen tvekan om att det blir lite fukt kvar efter blandningen och att det påverkar massans egenskaper på ett negativt sätt, vilket kan ses i resultaten för mätning av hållrumshalten, skrymdensiteten och pressdraghållfastheten.

Eftersom massan med 3 % fukthalt rör sig upp mot 160°C, under temperaturloggningen under blandningsprocessen, antar jag att majoritet av vattnet måste ha förångats vilket kan förklara att pressdragtestet blir tillräckligt bra för att klara utvärderingen med PMS objekt och 6 % fukthalt ligger på gränsen. Det saknas dock en del mätpunkter för temperaturloggningen under blandningsprocessen men det anses inte vara av någon större betydelse då man fortfarande tydligt kan se hur temperaturen förändras över tiden beroende på fukthalten i granulatet. Då sluttemperaturen för de olika massorna är olika i slutet av blandningsprocessen kan man även visa på en naturlig övergång till temperaturloggningen efter blandningen som gjordes i Umeå.

Lutningarna från massornas olika medeltemperaturs-trendekvationer ligger relativt nära varandra oberoende av den ökade fukthalten, enligt Tabell 23 och Tabell 25, vilket betyder att fukten inte verkar påverka värmeledningsförmågan i någon större utsträckning.

Standardavvikelsen för medeltemperaturkurvorna är dock relativt stort vilket visar att det finns en spridning på massornas temperatur vilket gör att användbarheten av resultatet kan ifrågasättas. Dessutom så får den konventionella massan med 0 % fukthalt i granulatet en större standardavvikelse än de andra massorna, se Tabell 23. Anledningen till detta är att en av termometrarna hållit relativt stabil temperatur under loggningen jämfört med de andra två termometrarna som tappade i temperatur i stil med de övriga massorna med fukt i. Den här skillnaden mellan termometrarnas värde gör alltså att standardavvikelsen ökar. Detta kan vara ett tecken som visar att värme transporten sker långsammare från massan med 0 % fukt i det inblandade granulatet. Green-massan har dock inte samma skillnad mellan den torra massan som haft 0 % fukthalt i asfalt granulatet och har innehållit fukt men det kan bero på att det rör sig om lägre temperaturer vilket gör att det blir mindre tydligt. Enligt teorin bör dock lutningarna, som motsvarar värmetransporten, ha varit mindre lutning för massorna med 0 % oberoende vilken typ av massa som undersökts vilket anses något underligt i och med att vattnet leder värme betydligt bättre än luft. Temperaturundersökningarna som gjordes efter blandningen, beräkning av medeltemperaturen och tillhörande standardavvikelse finns att se i Bilaga 4 Temperaturloggning större massor Umeå.

5.2 Metoddiskussion

Enligt empirin krävs det att många tester utförs och att resultatet ska ha en mindre spridning för att man sedan ska kunna visa hur saker och ting verkligen fungerar. Empirin med hjälp av statistikens spridningsmått kan alltså ge en bild som liknar verkligheten och desto fler värde man har att jämföra med ökar precisionen och minskar spridningen. Det är därför svårt att avgöra hur vida resultat är likt verkligheten i och om med att de flesta prov som gjordes är enkelttest. Jag menar därför på att man inte ska ta resultaten för en absolut sanning utan att se det mer som en fingervisning om hur verkligheten kan vara. Detta examensarbete blir därför mer en start för hur man ska gå vidare med metoderna för erhålla ett bättre resultat som ligger närmare verkligheten.

De termodynamiska beräkningarna är egentligen inte rimliga med tanke på att det söks en temperatur för stenmaterialet där sluttemperaturen på massa ska vara över 100°C och bara en del eller inget av vattnet ska förångas. I verkligheten kommer vattnet att fortsätta att förångas tills massans temperatur är under 100°C. Därför gjordes nya beräkningar för att ta reda på tillverkningstemperaturen beroende på stenmaterialets starttemperatur. Om tillverkningstemperaturen då blir under 100°C får man ändra på ekvationen igen. Då blir den obekanta istället mängden vatten som förångas. Men med tanke på att det samtidigt försvinner energin till omgivningen under hela blandningsprocessen blir problemet ännu mer komplext

och därför gjordes inte den sista beräkningen för att ta reda mängden förångat vatten. På grund av komplexiteten i beräkningarna är det därför lättare att söka den temperatur som stenmaterialet ska ha för att allt vatten skall förångas vid blandningen.

Helt enligt teorin om värmeledning skiljer sig temperatursänkning över tiden mellan den konventionella massan och Green massan. Den konventionella massan avger värme något snabbare än Green-massan men skillnaden är enbart 0,05°C per minut. Detta kan, som teorin förutsäger, bero på att massornas har olika höga temperatur jämfört med omgivningen. En varmare massa ska då leda värmen snabbare till omgivningen än en kallare. Men frågan är om det är det resultatet visar med tanke på möjligheterna att hantera den upplösningen på resultatet med avseende på hur undersökningen utfördes. Massorna som undersöktes gav även relativt stora spridningsvärde vilket gör att temperaturen för massan inte kan antas vara homogen. Metoden för att undersöka temperaturen bör därför utformas annorlunda för att försöka minska spridningen. Förslagsvis kan man försöka efterlikna hur massan fraktas från asfaltverket till utläggningen.

Det gjordes en avvägning när massan som inte skulle ta hänsyn till fukten skulle blandas i Umeå. Antingen kunde man blanda för hand eller med hjälp av en blandare. Fördelen med att blanda för hand var att energiförlusten blir mindre eftersom det är en mindre massa och man kan blanda den snabbt och på så sätt behålla vattnet i massan. Nackdelen med att blanda för hand är att massan inte nödvändigtvis blir homogen även om den ser ut att vara det och det är svårt att säga hur lång tid blandningen skall ta i tid. Fördelen med att blanda i blandare är att det är lättare att få en homogen massa och det är lättare att avgöra blandningstiden. Nackdelen är att det tar längre tid att blanda vilket påverkar massan temperatur och mängden vatten som finns kvar i massan. Energiförlusten och att försöka behålla vattnet i massan blev avgörande i valet av blandningsmetod och därför ansågs det rimligt att blandningsförfarandet skedde för hand. Metoden kräver dock att man är medveten om att det kan påverka hur vida massans blir homogen eller ej. Därmed borde egenskaperna bli skilda från produktionen där man använder sig av kalibrerade blandare för att få en homogen massa. Det visa sig dock att massorna fick en del likheter med de massor man ibland har fått ut i produktionen, då massan har uppfattats som svåra att packa samt svampig.

Den första satsen som gjordes av de mindre provkropparna i Umeå med 0 % fukthalt i asfaltgranulatet värmdes upp till 140°C i en burk efter att granulatet hade blandats med stenmaterialet och bituminet. Det borde inte spela någon roll för just det här testet eftersom asfaltgranulatet inte innehöll någon fukt men tanken med testet var att undersöka massans egenskaper beroende på att man inte tog hänsyn till fukten. Därför reviderades metoden till att burken med den färdigblandade massan sattes in i ugnen med isolerande lock med termometer i sig för att man snabbt skulle kunna avläsa temperaturen och sedan ta ut burken med massan för att fortsätta med packningstesterna. Det är därför det finns två olika mätvärden för 0 % fukthalt för de tester som utfördes i Umeå. Anledningen till att det finns två mätvärden för 3 % fukthalt för testerna som utfördes i Umeå är för att kurva 3 % (1) fick värde som ansågs vara underliga med tanke på att densiteten och hållrumshalten blev sämre än provkroppen som blandats med 6 % fukthalt i asfaltgranulatet. Därför tillverkades en ny provkropp för att kunna avgöra rimligheten av extremvärdena.

De uppmätta temperaturerna för de mindre massorna efter handblandningen ansågs underligt nära varandra trots olika mängder inblandat vatten. Anledningen till detta kan vara för att vattnet förångas i lägre takt när massan närmar sig 100°C och att värmeledningskoefficienten har minskat då temperaturskillnaden mellan massan och omgivningen har minskat.

Mätningen av skrymdensiteten med hjälp av skjutmättet tar inte hänsyn till skrovligheten i provet vilket ger en något överskattad volym. Detta gör att provet kan få en något lägre skrymdensitet än det verkliga värdet. Med vattenmetoden får man dock en något mindre volym eftersom vattnet tränger in i porerna och sedan blir det lite vatten kvar i provet vilket ökar provets vikt något vilket totalt sett ger ett större värde för densiteten. Därför anses ett medelvärde av skjutmättsmetoden och vattenmetoden vara ett representativt värde för den verkliga skrymdensiteten.

Som tidigare nämndes i resultatdiskussionen fick en av provkroppen med 3 % fukthalt i granulatet ett oväntat värde för både skrymdensiteten och hålrumshalten. När provkropparna sedan analyserades var det kanske inte så konstigt att den stack ut från mönstret eftersom provkroppen inte såg lika homogen och tät ut som de övriga provkropparna. Därför gjordes en ny provkropp med 3 % granulat som erhöll de förväntade egenskaperna. Detta är också ett bevis för att handblandningen gör det svårt att avgöra om hur vida en massa är homogen eller ej. Det är även ett bevis för att empiri bör eftersträvas.

Av ren nyfikenhet vägdes det stora blandningskärlet som blandades med 9 % fukthalt i granulatet efter temperaturloggningen efter blandning i Umeå. Sedan sattes kärlet med massan i en ugn för att torkas för att sen vägas igen. Skillnaden mellan massans vikt före och efter torkningen visade att det fanns en del vatten kvar direkt efter loggningen. Detta kan betyda att fukten sluts in av bitumenblandningen och på så sätt får det svårare att förångas. Eller att fukten förångas i massan och sen blir kondens vid avsvälningen vilket har beskrivits i kapitlet 2.8.3.4 Värmeledningsförmåga poröst material. Detta ledde till att examensarbetet utökades och fyra större konventionella massor med samma fukthalter som använts tidigare undersöktes därför enligt samma metod för att se om det gick att få fram en trendkurva. Som tidigare nämnts gick det ej att avgöra någon tydlig trend mer än att det blir vatten kvar i samtliga massor.

På grund av att massorna hade så skilda starttemperatur efter blandningen bestämdes det att testet skulle göras om i Södra Sandby och istället för att mäta temperaturen efter blandning skulle nu temperaturen i blandaren undersökas. Temperaturen valdes även att höjas något för det tillsatta stenmaterialet.

Satserna som blandades i Södra Sandby kunde ej blandas på exakt samma sätt som i Umeå på grund av att det inte fanns tillgång till ett skumaggregat i Södra Sandby. Jag försökte dock att utföra blandningsprocessen enligt samma blandningsschema som användes i Umeå. Men på grund av andra arbetsförhållande än de som gällde i Umeå gick mer tid åt för transporter av material mellan ugnarna och blandaren. Sen kunde inte bituminet hållas på lika effektivt som skumaggregatet kunde spruta ut. Detta gjorde att den första satsen som blandades med samma tidschema som i Umeå fick ett gråaktig utseendet och såg inte homogen ut. Därför valde jag att ändra på tidsschemat. Den totala blandningstiden ändrades till 70 sekunder istället för 50 sekunder som gällde i Umeå. I övrigt gällde samma tid för ihällning av bitumen. Detta gjorde att massan fick ett svartare utseende och såg ut att vara mer homogen. På grund av den här

erfarenheten väcktes frågan om blandningstidens betydelse för att bli av med vattnet och hur det påverkar slutprodukten.

Testerna som gjordes i Södra Sandby gjordes med 0/2 och 2/4 stenmaterial från Södra Sandby istället för Gävle/Sälgsjön som övriga materialet kom ifrån. Detta gör att kornkurvan kommer att skilja sig något jämfört med korkurvan i Umeå. Men jag anser att detta inte kommer att påverka resultatet något nämnvärt i och med att det finns felkällor som mer tydligt påverkar resultatet som till exempel att det fastnar en del stenmaterial och bitumen i blandaren vilket gör att massans sammansättning inte blir exakt den som eftersträvades och temperaturförlusterna till omgivningen.

En fråga som uppkommit under arbetets gång är om det bildas mer hålrum eller större porer med mer inblandad fukt i granulatet oberoende av om man förångar vattnet eller inte. Anledningen till att jag funderar över det är för att mätningarna för skrymdensiteten och hålrumshalten visar på samma trend oavsett om stenmaterialet har överhettats eller ej. Det som skiljer testerna som gjordes Umeå ifrån de som gjordes i Södra Sandby är sättet att blanda massan på och tiden för blandningen. Värdena för pressdraghållfastheten blev dock något bättre i Södra Sandby. Detta indikerar att blandningstiden kan ha betydelse för att få ut ångan som skapats av den överhettade ballasten men att en avvägning måste göras för att inte tappa för mycket energi till omgivningen. Detta måste undersökas mer.

Som tidigare nämnts är något som inte stämmer med restfuktsmätningen på grund av testkroppen som hade en fukthalt på 6 % innehåller mer restfukt än testkroppen som hade en fukthalt på 9 %. Det här resultatet visar på att fukt är svår att kontrollera och det är möjligt att fukt stängs in i massan. Detta är ytterligare en anledning till att undersöka blandningstidens roll för att bli av med fukten.

Svampigheten undersöktes både i Umeå och i Södra Sandby. Det var dock bara testkroppen med 9 % fukthalt i granulatet som upplevdes svampig när testet gjordes i Södra Sandby. Skillnaden mellan testerna är att testerna som gjordes i Umeå inte tog hänsyn till fukthalten och därför överhettades inte stenmaterialet vilket förmodligen ledde till mer vatten i den färdiga massan. Om en massa upplevs svampig ute i produktion är det förmodligen ett tecken på att massan innehåller rikligt med vatten.

Alla de större massorna blandades med öppet lock både i Umeå och i Södra Sandby. Det betyder att massan exponeras betydligt mer mot omgivningen och locket förlorar sin isolerande effekt. Det hade varit intressant och se om locket har någon påverkan på slutproduktens kvalitet. Om det till exempel skulle bildas kondens på insidan av locket som sedan återgår till massan och på så sätt försämrar kvalitén på slutprodukten.

Om man ska göra en IR-mätning i framtiden kan detta göras bättre i framtiden genom att till exempel använda ett stativ för mätverktyget vilket fixerar ytan som mäts på och eventuellt en mätare som har ett minne som kan logga temperaturen över tiden. Detta gör att man kan få en ännu bättre uppfattning om hur temperaturen varierar i blandaren.

Anledningen till att inte Green-massans densitet, hålrumshalt och pressdraghållfasthet inte testades var på grund av det inte kunde göras några mindre Green-massor som kunde jämföras med de mindre konventionella massorna i och med att blandningsprocessen kräver att man använder ett skumaggregat och den utrustningen fanns bara i Umeå.

5.3 Slutsatser

1. Densiteten samt pressdraghållfastheten sjunker med ökad mängd fukt i det inblandade granulatet och hålrumshalten ökar.
2. Fukten sänker blandningstemperaturen mer eller mindre direkt i blandaren.
3. Temperaturutvecklingen efter blandningsprocessen har ej en tydlig trend som kan kopplas med en ökad fukthalt. Men för att kunna avgöras detta med större säkerhet krävs en större undersökning av hur värmeledningsförmågan påverkas av torrt respektive fuktigt asfaltgranulat.
4. Det är svårt att avgöra hur mycket fukt som kommer finnas kvar i massan efter blandningsprocessen. Resultatet visar dock att det finns en begränsad mängd fukt kvar som restfukt men det måste undersökas mer för att konfirmeras.
5. Det krävs mer forskning på hur fukten i samspel med temperatur och blandningstid påverkar slutprodukten.

5.3.1 Rekommendationer

Fukt i granulatet har helt klart en negativ påverkan på slutprodukten. Därför bör det lagras på ett sådant sätt att det kan skyddas från nederbörd och samtidigt har goda dräneringsmöjligheter.

För att få bättre grepp om hur fukthalten påverkar pressdraghållfasthet krävs en utökad provning med andra överhettningstemperaturer på stenmaterialet. Detta kan ge en bättre uppfattning om hur mycket tillverkningstemperaturen kan falla för att slutprodukten fortfarande ska uppnå god kvalitet.

Man bör även göra tester med olika blandningstider för att se hur det påverkar massan temperatur och kvalitet. Man kan även jämföra massornas egenskaper om man blandar med locket stängt eller öppet.

Eftersom mina resultat inte visa på någon skillnad för värmeledningen mellan massor som innehåller torrt granulat eller fuktigt granulat bör man kanske undersöka värmeledningsförmågan mer noggrant. Man kanske ska försöka efterlikna hur massan lagras och fraktas efter blandningen i verkligheten. Man kan även besöka olika asfaltverk där man mäter fukthalten i granulatet och sedan undersöker temperaturutvecklingen under transporten, för att sedan vara med och analysera massan under utläggningen.

För att få en bättre uppfattning om hur granulatet fungera kan man även titta på dess porstruktur och försöka ta fram sorptionskurvor för att se hur mycket vatten som granulatet innehåller vid olika relativa fuktigheter.

7 Referenser

- Agardh, S., & Parhamifar, E. (2014). *Vägbyggnad*. Stockholm: Liber AB.
- Asfaltskolan. (den 19 Januari 2015). *Asfaltskolan*. Hämtat från Detta är asfalt: <http://www.asfaltskolan.se/Allmantomasfalt.htm>
- Burström, P. G. (2007). *Byggnadsmaterial*. Lund: Studentlitteratur.
- FAS Service AB. (den 24 april 2015). *ASFALTBELÄGGNING OCH -MASSA Framställning av provkroppar enligt Marshall*. Hämtat från Trafikverket: http://www.trafikverket.se/contentassets/5757e1e5ee8048ed8611d9c84c47829e/31_fa_s414-01.pdf
- Lind, K. (2014). *TDOK 2013:0529 Bitumenbundna lager*. Trafikverket.
- Lundberg, J. A. (den 19 Januari 2015). *Roads TIDNINGEN OM BALLAST OCH BELÄGGNING*. Hämtat från Svart asfalt blir grönare med ny teknik: <http://www.roads.nu/sv/artiklar/arkiv/December-2008/svart-asfalt-blir-gron/>
- Lundberg, R. (den 26 Januari 2015). Grundkurs Asfaltbeläggning - Tillverkning. 7. (L. Persson, Intervjuare)
- Naturvårdsverket. (den 19 Januari 2015). *Naturvårdsverket*. Hämtat från Sveriges miljömål: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/#>
- NCC. (den 10 April 2015a). *Skumbitumen*. Hämtat från [ww.ncc.se](http://www.ncc.se): <http://www.ncc.se/documents/skumbitumen.pdf>
- NCC. (den 10 April 2015b). *Minska utsläppen med NCC Green Asphalt*. Hämtat från www.ncc.se: http://www.ncc.se/pagefiles/1819/faktablad_greenasphalt.pdf
- NVF; NYNÄS. (den 29 Januari 2009). *Teknisk introduktion till Polymermodifierad bitumen, PMB*. Hämtat från [nvfnorden](http://nvfnorden.org): <http://nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=1742>
- Nynäs. (den 4 Maj 2015). *Årsunda, Gävle*. Hämtat från Nynäs: <http://www.nynas.com/sv/Segment/Bitumen-for-vagbelaggnig/Sverige/Bitumen-for-Vagbelaggnig/Referensobjekt/Arsunda-Gavle/>
- Olsson, K. (1999). *Utveckling och värdering av funktionella provningsmetoder för asfalt, för att ersätta hålrumskrav med funktionella beskrivningar*. Farsta: ATC.
- Olsson, K. (2009). *Utvärderingen av högpresterande bitumen*. Farsta: SBUF.
- The Engineering toolbox. (den 23 Mars 2015a). *Specific Heat of some common Substances*. Hämtat från The Engineering Toolbox: http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d_391.html
- The Engineering toolbox. (den 23 Mars 2015b). *Thermal Conductivity of some common Materials and Gases*. Hämtat från The Engineering Toolbox: http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html
- The Engineering Toolbox. (den 21 April 2015c). *Water Vapor - Specific Heat*. Hämtat från The Engineering Toolbox: http://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-d_979.html

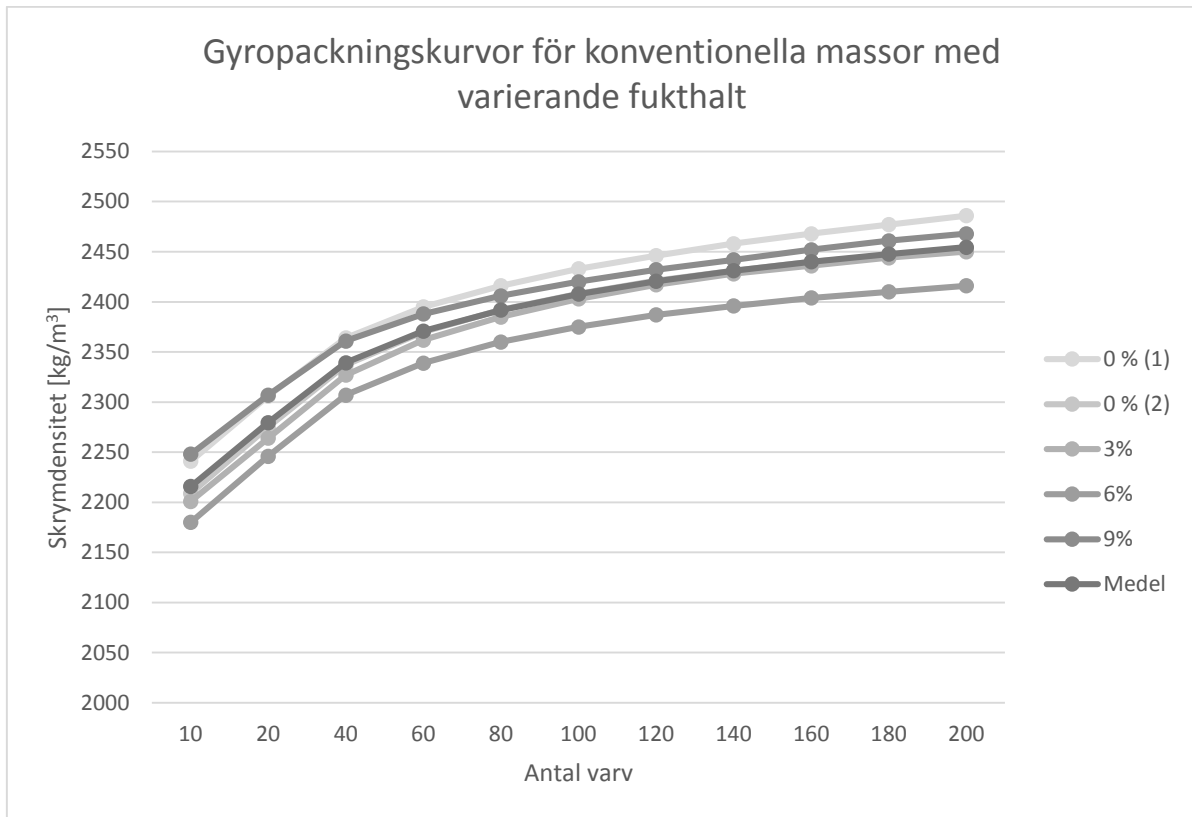
- Trafikverket. (2011a). *TRVK Väg TDOK 2011:264*. Borlänge: Trafikverket.
- Wadsö, L. (2013). *Byggmaterialvetenskap*. Lund: KFS.
- West, R. C. (2010). *Reclaimed asphalt pavement management*. Auburn, Alabama: NCAT.
- Westergren, P. (2004). *Handbok för återvinning av asfalt*. Borlänge: Vägverket, sektionen för vägteknik.
- Zhou, F., Das, G., Scullion, T., & Hu, S. (2010). *RAP STOCKPILE MANAGEMENT AND PROCESSING IN TEXAS: STATE OF THE PRACTICE AND PROPOSED GUIDELINES*. Springfield, Virginia: National Technical Information Service.

Bilaga 1 Termodynamiskt beräkningsark

Tabell 29 Tabellen visar det Excel-dokument som skapades för att beräkna stenmaterialets starttemperatur samt den nya tillverkningstemperaturen med valda förutsättningar. Siffrorna som har en fetare stil är indata till beräkningarna.

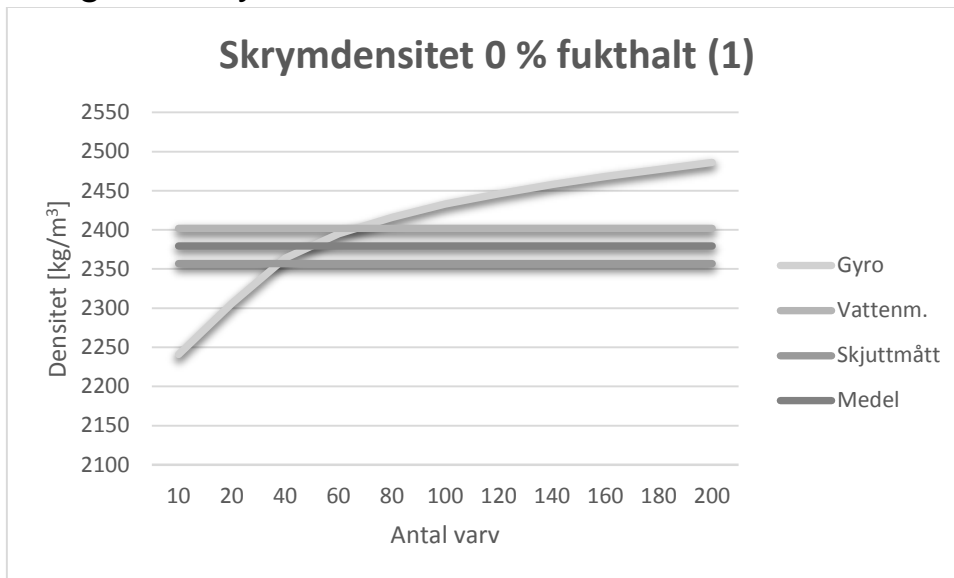
Satsstorlek [g]	10595			Temp./Fukthalt
				3,0
Granulat [%]	18,9			
Granulat [g]	2 000,3		T ₁ Granulat [°C]	23,5
Bitumenhalt [%]	4		T ₁ Bitumen [°C]	180
Sten [g]	1 920,3		T ₂ Slut [°C]	145
Bitumen [g]	80,0			
Tillsatt material				
Sten [g]	8 001,4			
Bitumen [%]	5,6			
Bitumen [g]	593,3		Förångat vatten [%]	20
Fukthalt Granulat [%]	0	3	6	9
Förångat vatten [g]	0	12,0	24,0	36,0
Restfukt [g]	0	48,0	96,0	144,0
Fukthalt [%]	0	3	6	9
T Sten [°C]	170,6	179,6	188,6	197,6
Ny T ₂	145,0	134,1	123,5	113,2
E granulat [kJ]	E bitumen [kJ]	Sten $m \cdot c$ [kJ/K]		
206 474,0	- 42 342,3	6 401,1		
264 082,2				
321 690,3				
379 298,4				
c [kJ/(kg·K)]				
Vatten:	4,181			
Vatten ånga (300-400 K):	1,9			
Sten:	0,80			
Bitumen:	2,039			
Ångbildningsvärme [kJ/kg]				
Vatten:	2260			

Bilaga 2 Gyropackningskurvor handblandade konventionella massor

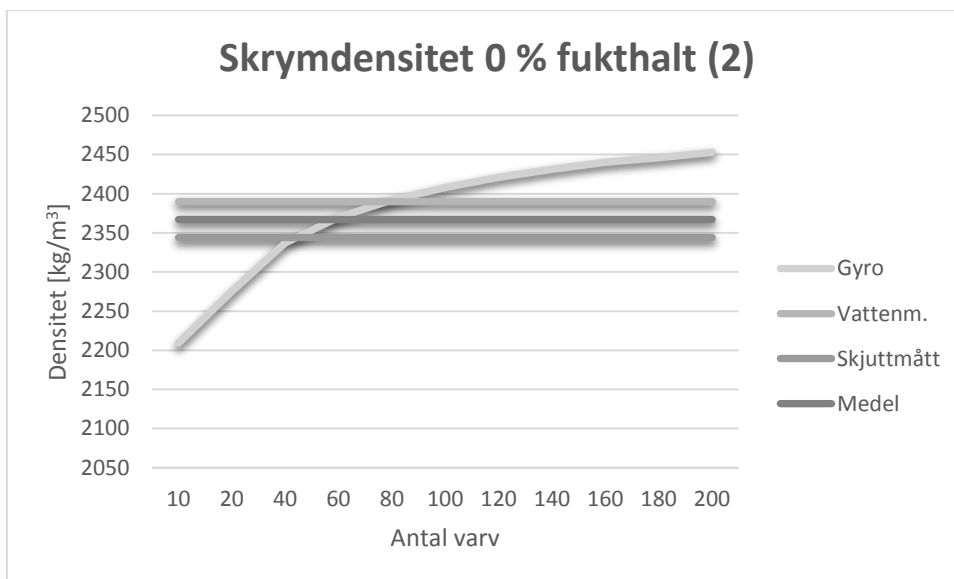


Figur 36 Diagrammet visar olika gyropackningskurvor som togs fram med varierande fukthalt i det inblandade granulatet samt medelvärde som anses kunna representera samtliga packningskurvor.

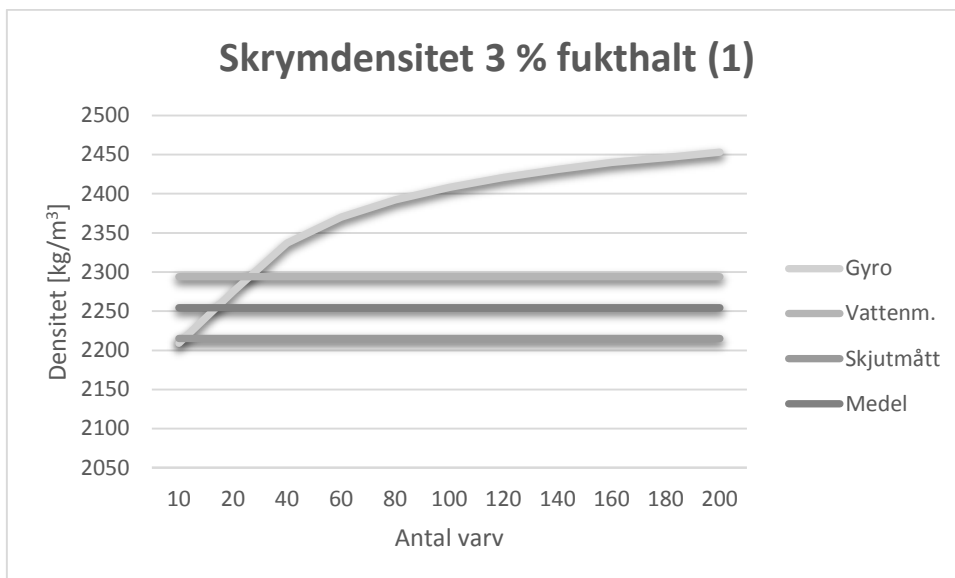
Bilaga 3 Skrymdensiteten handblandade konventionella massor



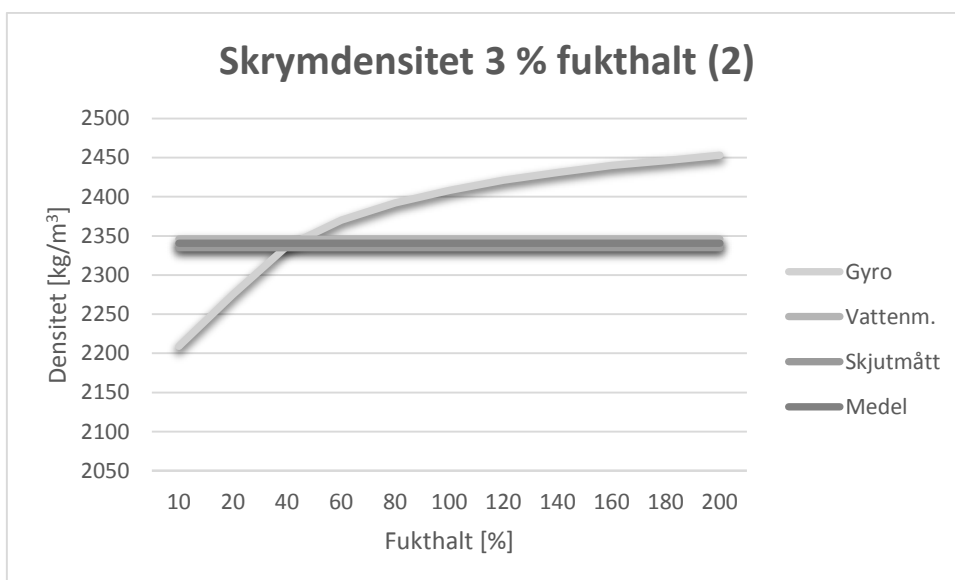
Figur 37 Diagrammet visar den framtagna skrymdensiteten för 0 % fukthalt i granulatet med vattenmetoden, skjutmåttmetoden och tillhörande gyropackningskurva samt även medelvärdet. Massan temperatur på 123 °C då den packades.



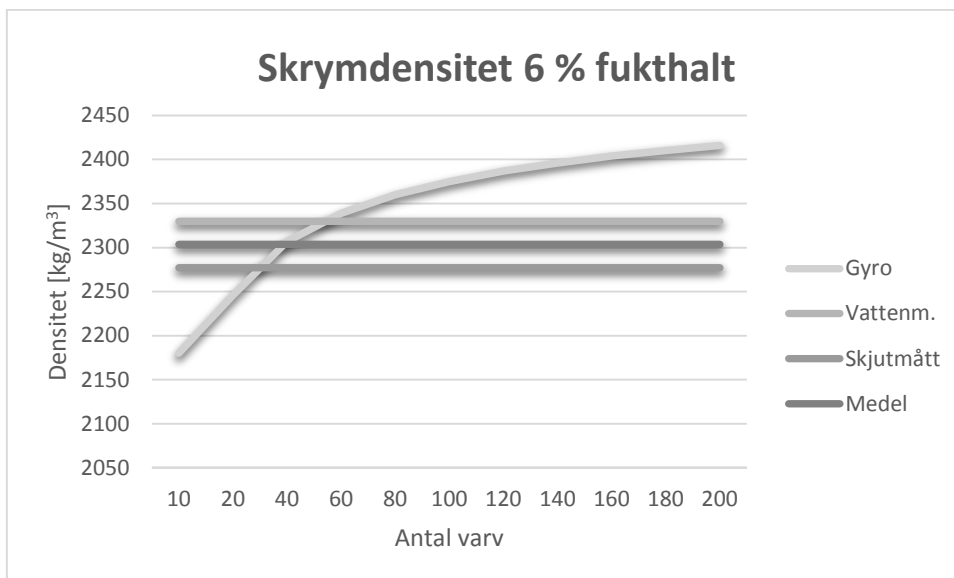
Figur 38 Diagrammet visar den framtagna skrymdensiteten för 0 % fukthalt i granulatet med vattenmetoden, skjutmåttmetoden och tillhörande gyropackningskurva samt även medelvärdet. Massan medeltemperatur var 117,5 °C då den packades.



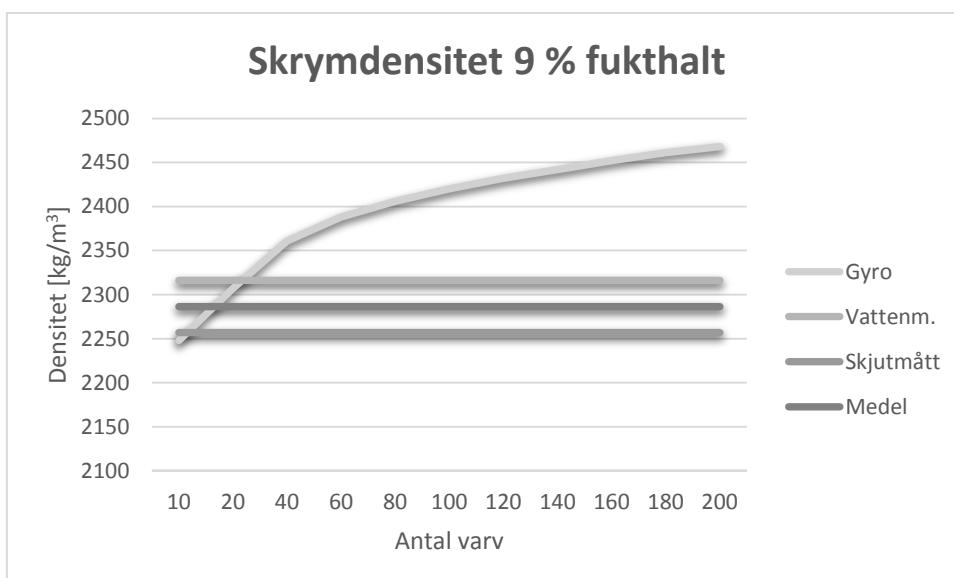
Figur 39 Diagrammet visar den framtagna skrymdensiteten för 3 % fukthalt i granulatet med vattenmetoden, skjutmåttmetoden och tillhörande gyropackningskurva satm även medelvärdet. Massan medeltemperatur var 123 °C då den packades.



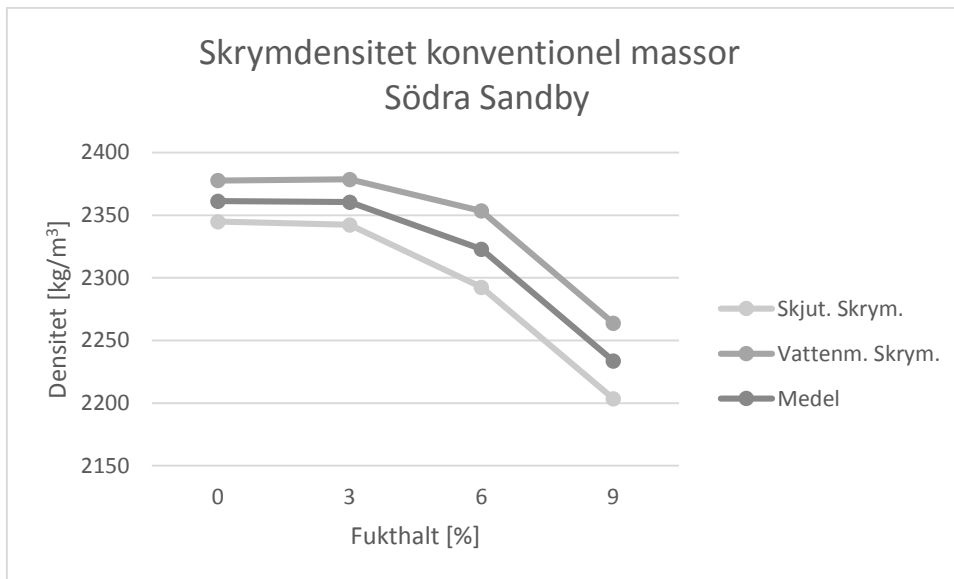
Figur 40 Diagrammet visar den framtagna skrymdensiteten för 3 % fukthalt i granulatet med vattenmetoden, skjutmåttmetoden och tillhörande gyropackningskurva samt även medelvärdet. Massan medeltemperatur var 123 °C då den packades.



Figur 41 Diagrammet visar den framtagna skrymdensiteten för 6 % fukthalt i granulatet med vattenmetoden, skjutmåttmetoden och tillhörande gyropackningskurva samt även medelvärdet. Massan medeltemperatur var 112°C då den packades.

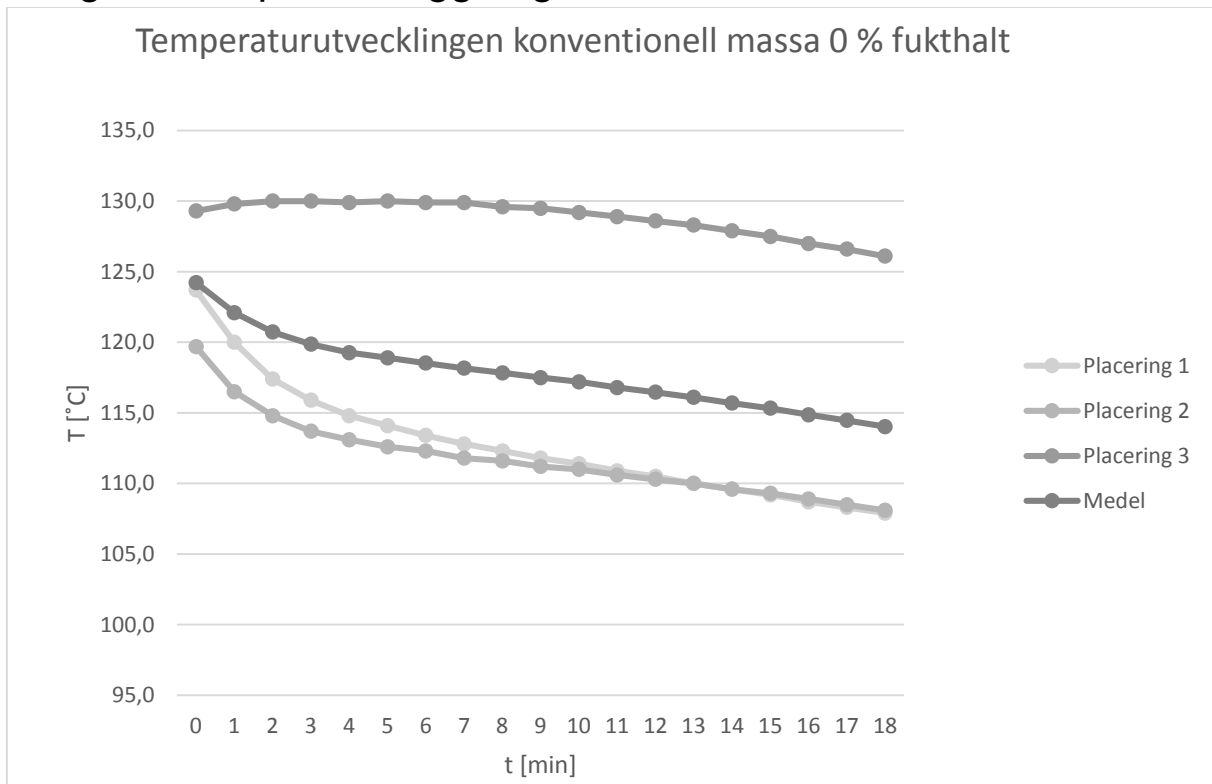


Figur 42 Diagrammet visar den framtagna skrymdensiteten för 9 % fukthalt i granulatet med vattenmetoden, skjutmåttmetoden och tillhörande gyropackningskurva samt även medelvärdet. Massan medeltemperatur var 107°C då den packades.



Figur 43 Diagrammet visar den framtagna skrymdensiteten för 0, 3, 6 och 9 % fukthalt i granulatet med vattenmetoden, skjutmåttmetoden samt medelvärdet för skrymdensiteten. Stenmaterialets temperatur för 0 och 3 % fukthalt var 180 °C för 6 och 9 % fukthalt 195 °C.

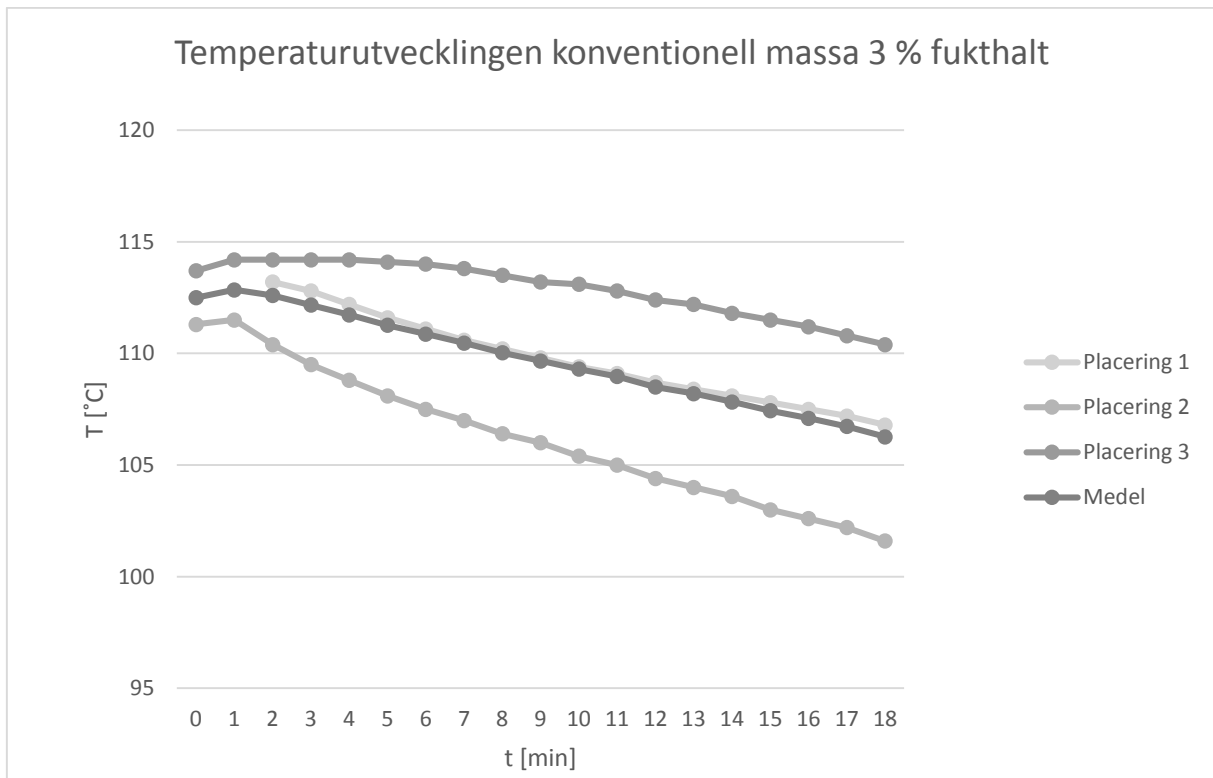
Bilaga 4 Temperaturloggning större massor Umeå



Figur 44 Diagrammet visar temperaturloggningen för en konventionell massa med 0 % fukthalt i det inblandade granulatet. Detta gjordes med tre termometrar och resulterade i en medelkurva som också finns med i diagrammet. Stenmaterialet hade en temperatur på 172°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 145°C vilket ska motsvara T_0 .

Tabell 30 visar temperaturloggningen för en konventionell massa med 0 % fukthalt i det inblandade granulatet. Det tre termometrarna motsvarar 1,2 och 3 överst i tabllen följt av medelvärdet. Därefter är standardavvikelsen (Std) framtagen för varje loggningstillfälle och variansen. Den totala standardavvikelsen är framtagen längst ner i tabellen (Total Std). Stenmaterialet hade en temperatur på 172 °C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 145 °C vilket ska motsvara T_0 .

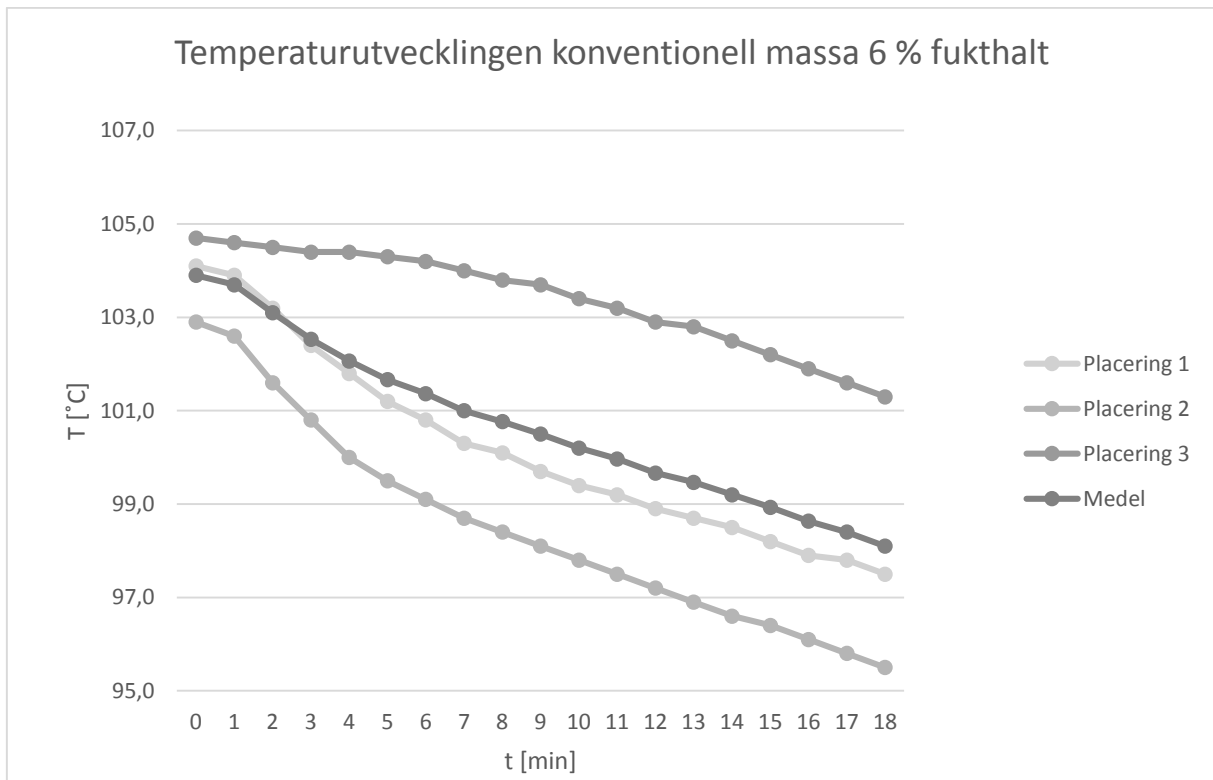
	1	2	3	Medel	Std	Varians
0	123,7	119,7	129,3	124,2	4,822171	23,25333
1	120,0	116,5	129,8	122,1	6,8942	47,53
2	117,4	114,8	130,0	120,7	8,129781	66,09333
3	115,9	113,7	130,0	119,9	8,844396	78,22333
4	114,8	113,1	129,9	119,3	9,247883	85,52333
5	114,1	112,6	130,0	118,9	9,642095	92,97
6	113,4	112,3	129,9	118,5	9,859175	97,20333
7	112,8	111,8	129,9	118,2	10,17366	103,5033
8	112,3	111,6	129,6	117,8	10,19624	103,9633
9	111,8	111,2	129,5	117,5	10,39663	108,09
10	111,4	111,0	129,2	117,2	10,39423	108,04
11	110,9	110,6	128,9	116,8	10,47998	109,83
12	110,5	110,3	128,6	116,5	10,50825	110,4233
13	110,0	110,0	128,3	116,1	10,56551	111,63
14	109,6	109,6	127,9	115,7	10,56551	111,63
15	109,2	109,3	127,5	115,3	10,53676	111,0233
16	108,7	108,9	127,0	114,9	10,50825	110,4233
17	108,3	108,5	126,6	114,5	10,50825	110,4233
18	107,9	108,1	126,1	114,0	10,45052	109,2133
					Total Std	42,4145



Figur 45 Diagrammet visar temperaturloggningen för en konventionell massa med 3 % fukthalt i det inblandade granulatet. Detta gjordes med tre termometrar och resulterade i en medelkurva som också finns med i diagrammet. Stenmaterialet hade en temperatur på 172°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 134°C vilket ska motsvara T_0 .

Tabell 31 visar temperaturloggningen för en konventionell massa med 3 % fukthalt i det inblandade granulatet. De tre termometrarna motsvarar 1,2 och 3 överst i tabllen följt av medelvärdet. Därefter är standardavvikelsen (Std) framtagen för varje loggningstillfälle och variansen. Den totala standardavvikelsen är framtagen längst ner i tabellen (Total Std). Stenmaterialet hade en temperatur på 172 °C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 134 °C vilket ska motsvara T_0 .

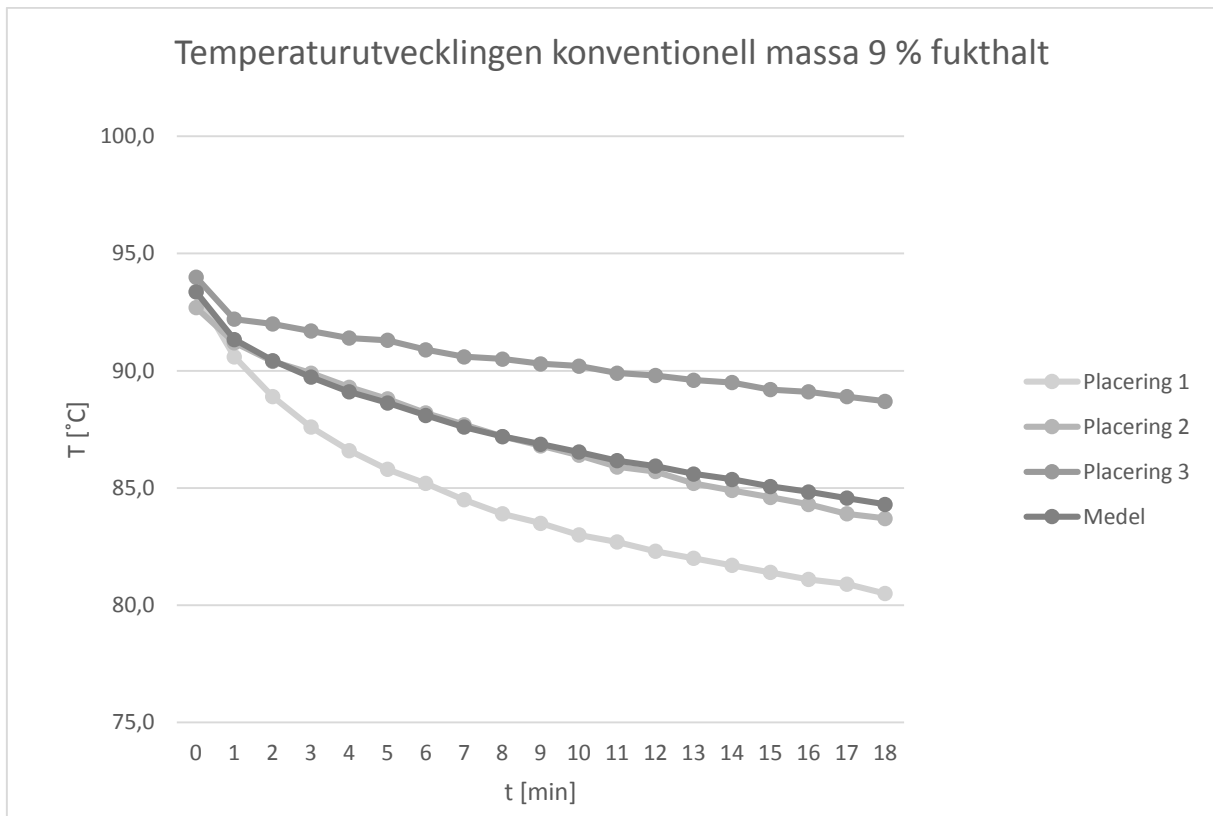
	1	2	3	Medel	Std	Varians
0		111,3	113,7	112,5	1,697056	2,88
1		111,5	114,2	112,9	1,909188	3,645
2	113,2	110,4	114,2	112,6	1,969772	3,88
3	112,8	109,5	114,2	112,2	2,413158	5,823333
4	112,2	108,8	114,2	111,7	2,730079	7,453333
5	111,6	108,1	114,1	111,3	3,013857	9,083333
6	111,1	107,5	114,0	110,9	3,256276	10,60333
7	110,6	107,0	113,8	110,5	3,40196	11,57333
8	110,2	106,4	113,5	110,0	3,552933	12,62333
9	109,8	106,0	113,2	109,7	3,601851	12,97333
10	109,4	105,4	113,1	109,3	3,850974	14,83
11	109,1	105,0	112,8	109,0	3,901709	15,22333
12	108,7	104,4	112,4	108,5	4,003748	16,03
13	108,4	104,0	112,2	108,2	4,103657	16,84
14	108,1	103,6	111,8	107,8	4,106499	16,86333
15	107,8	103,0	111,5	107,4	4,261846	18,16333
16	107,5	102,6	111,2	107,1	4,313931	18,61
17	107,2	102,2	110,8	106,7	4,31895	18,65333
18	106,8	101,6	110,4	106,3	4,424176	19,57333
					Total Std	15,34031



Figur 46 Diagrammet visar temperaturloggningen för en konventionell massa med 6 % fukthalt i det inblandade granulatet. Detta gjordes med tre termometrar och resulterade i en medelkurva som också finns med i diagrammet. Stenmaterialet hade en temperatur på 187°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 124°C vilket ska motsvara T_0 .

Tabell 32 visar temperaturloggningen för en konventionell massa med 6 % fukthalt i det inblandade granulatet. De tre termometrarna motsvarar 1,2 och 3 överst i tabllen följt av medelvärdet. Därefter är standardavvikelsen (Std) framtagen för varje loggningstillfälle och variansen. Den totala standardavvikelsen är framtagen längst ner i tabellen (Total Std). Stenmaterialet hade en temperatur på 187°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 124°C vilket ska motsvara T_0 .

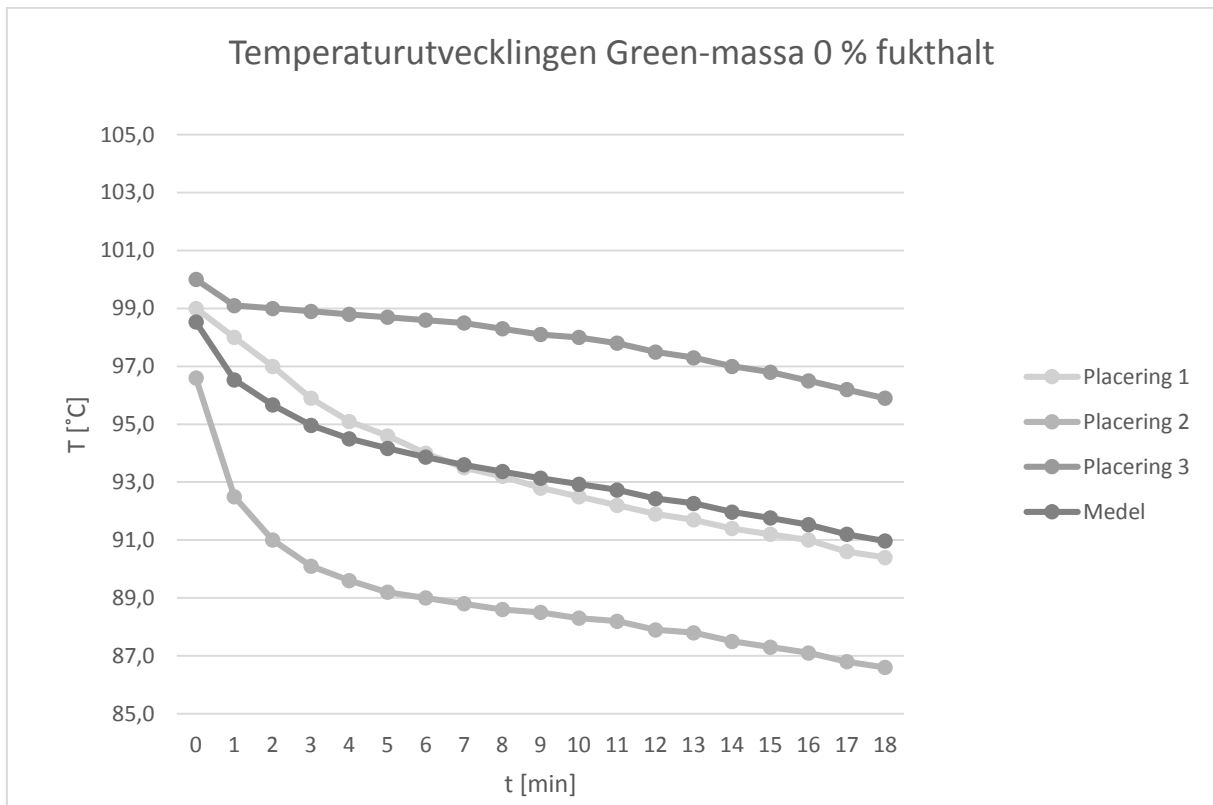
	1	2	3	Medel	Std	Varians
0	104,1	102,9	104,7	103,9	1,280625	1,64
1	103,9	102,6	104,6	103,7	1,421267	2,02
2	103,2	101,6	104,5	103,1	1,452584	2,11
3	102,4	100,8	104,4	102,5	1,8037	3,253333
4	101,8	100,0	104,4	102,1	2,212088	4,893333
5	101,2	99,5	104,3	101,7	2,43379	5,923333
6	100,8	99,1	104,2	101,4	2,596793	6,743333
7	100,3	98,7	104,0	101,0	2,718455	7,39
8	100,1	98,4	103,8	100,8	2,761038	7,623333
9	99,7	98,1	103,7	100,5	2,884441	8,32
10	99,4	97,8	103,4	100,2	2,884441	8,32
11	99,2	97,5	103,2	100,0	2,926317	8,563333
12	98,9	97,2	102,9	99,7	2,926317	8,563333
13	98,7	96,9	102,8	99,5	3,023795	9,143333
14	98,5	96,6	102,5	99,2	3,011644	9,07
15	98,2	96,4	102,2	98,9	2,968726	8,813333
16	97,9	96,1	101,9	98,6	2,968726	8,813333
17	97,8	95,8	101,6	98,4	2,946184	8,68
18	97,5	95,5	101,3	98,1	2,946184	8,68
					Total Std	11,33858



Figur 47 Diagrammet visar temperaturloggningen för en konventionell massa med 9 % fukthalt i det inblandade granulatet. Detta gjordes med tre termometrar och resulterade i en medelkurva som också finns med i diagrammet. Stenmaterialet hade en temperatur på 187°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 113°C vilket ska motsvara T_0 .

Tabell 33 visar temperaturloggningen för en konventionell massa med 9 % fukthalt i det inblandade granulatet. De tre termometrarna motsvarar 1,2 och 3 överst i tabllen följt av medelvärdet. Därefter är standardavvikelsen (Std) framtagen för varje loggningstillfälle och variansen. Den totala standardavvikelsen är framtagen längst ner i tabellen (Total Std). Stenmaterialet hade en temperatur på 187°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 113°C vilket ska motsvara T_0 .

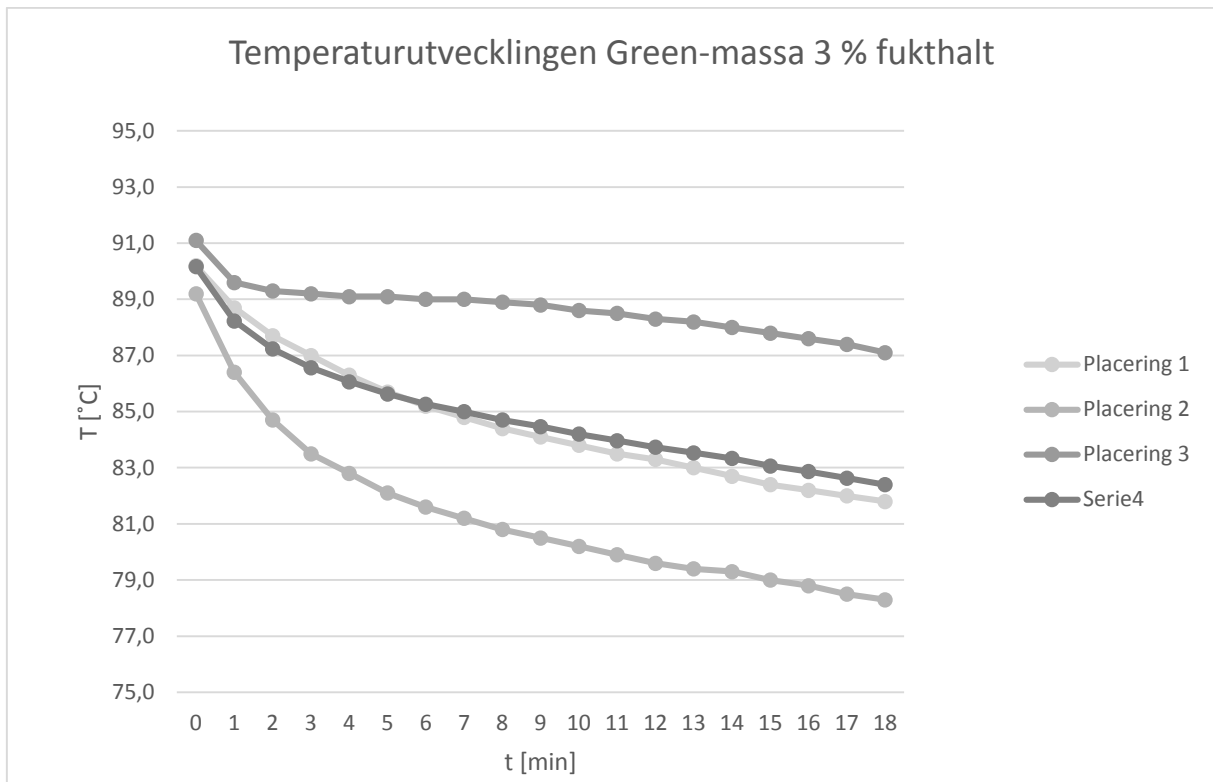
	1	2	3	Medel	Std	Varians
0	93,4	92,7	94,0	93,4	0,919541	0,845556
1	90,6	91,2	92,2	91,3	0,876863	0,768889
2	88,9	90,4	92,0	90,4	1,550269	2,403333
3	87,6	89,9	91,7	89,7	2,055075	4,223333
4	86,6	89,3	91,4	89,1	2,406242	5,79
5	85,8	88,8	91,3	88,6	2,753785	7,583333
6	85,2	88,2	90,9	88,1	2,851315	8,13
7	84,5	87,7	90,6	87,6	3,051229	9,31
8	83,9	87,2	90,5	87,2	3,3	10,89
9	83,5	86,8	90,3	86,9	3,40049	11,56333
10	83,0	86,4	90,2	86,5	3,601851	12,97333
11	82,7	85,9	89,9	86,2	3,6074	13,01333
12	82,3	85,7	89,8	85,9	3,75544	14,10333
13	82,0	85,2	89,6	85,6	3,815757	14,56
14	81,7	84,9	89,5	85,4	3,920884	15,37333
15	81,4	84,6	89,2	85,1	3,920884	15,37333
16	81,1	84,3	89,1	84,8	4,026578	16,21333
17	80,9	83,9	88,9	84,6	4,041452	16,33333
18	80,5	83,7	88,7	84,3	4,132796	17,08
					Total Std	14,01896



Figur 48 Diagrammet visar temperaturloggningen för en Green-massa med 0 % fukthalt i det inblandade granulatet. Detta gjordes med tre termometrar och resulterade i en medelkurva som också finns med i diagrammet. Stenmaterialet hade en temperatur på 130°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 120°C vilket ska motsvara T_0 .

Tabell 34 visar temperaturloggningen för en Green-massa med 0 % fukthalt i det inblandade granulatet. De tre termometrarna motsvarar 1,2 och 3 överst i tabellen följt av medelvärdet. Därefter är standardavvikelsen (Std) framtagen för varje loggningstillfälle och variansen. Den totala standardavvikelsen är framtagen längst ner i tabellen (Total Std). Stenmaterialet hade en temperatur på 130°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 120°C vilket ska motsvara T_0 .

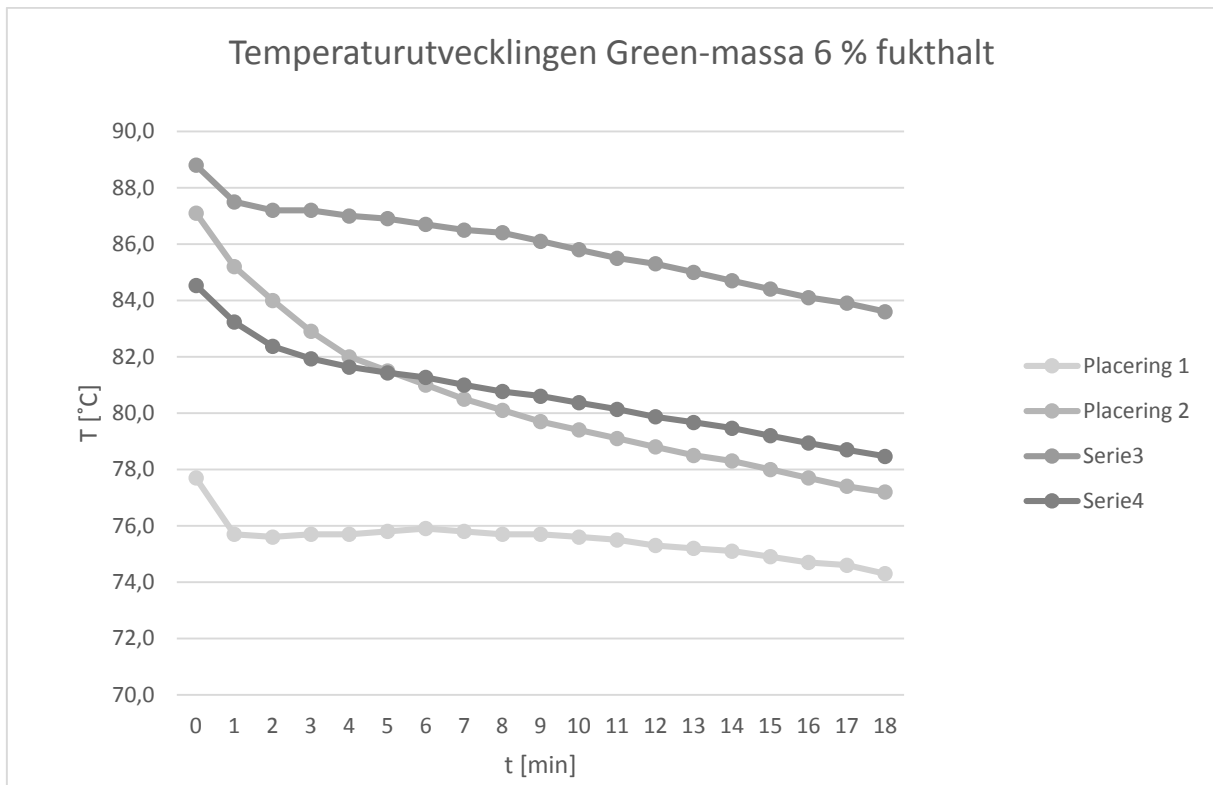
	1	2	3	Medel	Std	Varians
0	99,0	96,6	100,0	98,5	2,426703	5,888889
1	98,0	92,5	99,1	96,5	4,780748	22,85556
2	97,0	91,0	99,0	95,7	4,163332	17,33333
3	95,9	90,1	98,9	95,0	4,473626	20,01333
4	95,1	89,6	98,8	94,5	4,629255	21,43
5	94,6	89,2	98,7	94,2	4,764801	22,70333
6	94,0	89,0	98,6	93,9	4,801389	23,05333
7	93,5	88,8	98,5	93,6	4,850773	23,53
8	93,2	88,6	98,3	93,4	4,852147	23,54333
9	92,8	88,5	98,1	93,1	4,808673	23,12333
10	92,5	88,3	98,0	92,9	4,864497	23,66333
11	92,2	88,2	97,8	92,7	4,822171	23,25333
12	91,9	87,9	97,5	92,4	4,822171	23,25333
13	91,7	87,8	97,3	92,3	4,775284	22,80333
14	91,4	87,5	97,0	92,0	4,775284	22,80333
15	91,2	87,3	96,8	91,8	4,775284	22,80333
16	91,0	87,1	96,5	91,5	4,722641	22,30333
17	90,6	86,8	96,2	91,2	4,728636	22,36
18	90,4	86,6	95,9	91,0	4,675824	21,86333
					Total Std	20,21339



Figur 49 Diagrammet visar temperaturloggningen för en Green-massa med 3 % fukthalt i det inblandade granulatet. Detta gjordes med tre termometrar och resulterade i en medelkurva som också finns med i diagrammet. Stenmaterialet hade en temperatur på 130°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 109°C vilket ska motsvara T_0 .

Tabell 35 visar temperaturloggningen för en Green-massa med 3 % fukthalt i det inblandade granulatet. Det tre termometrarna motsvarar 1,2 och 3 överst i tabllen följt av medelvärdet. Därefter är standardavvikelsen (Std) framtagen för varje loggningstillfälle och variansen. Den totala standardavvikelsen är framtagen längst ner i tabellen (Total Std). Stenmaterialet hade en temperatur på 130°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 109°C vilket ska motsvara T_0 .

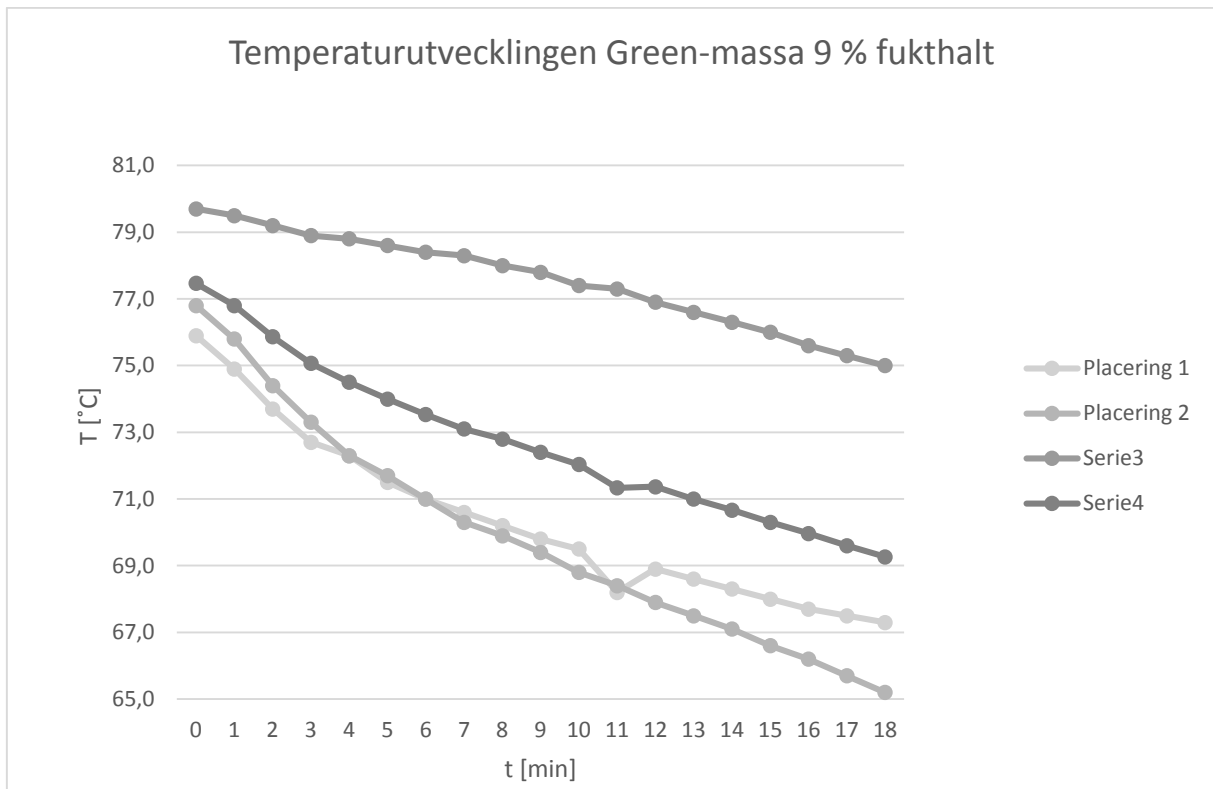
	1	2	3	Medel	Std	Varians
0	90,2	89,2	91,1	90,2	1,34371	1,805556
1	88,7	86,4	89,6	88,2	2,286676	5,228889
2	87,7	84,7	89,3	87,2	2,335237	5,453333
3	87,0	83,5	89,2	86,6	2,874601	8,263333
4	86,3	82,8	89,1	86,1	3,156475	9,963333
5	85,7	82,1	89,1	85,6	3,500476	12,25333
6	85,2	81,6	89,0	85,3	3,70045	13,69333
7	84,8	81,2	89,0	85,0	3,903844	15,24
8	84,4	80,8	88,9	84,7	4,058325	16,47
9	84,1	80,5	88,8	84,5	4,162131	17,32333
10	83,8	80,2	88,6	84,2	4,214262	17,76
11	83,5	79,9	88,5	84,0	4,31895	18,65333
12	83,3	79,6	88,3	83,7	4,366158	19,06333
13	83,0	79,4	88,2	83,5	4,424176	19,57333
14	82,7	79,3	88,0	83,3	4,384442	19,22333
15	82,4	79,0	87,8	83,1	4,437717	19,69333
16	82,2	78,8	87,6	82,9	4,437717	19,69333
17	82,0	78,5	87,4	82,6	4,483674	20,10333
18	81,8	78,3	87,1	82,4	4,430576	19,63
					Total Std	16,70592



Figur 50 Diagrammet visar temperaturloggningen för en Green-massa med 6 % fukthalt i det inblandade granulatet. Detta gjordes med tre termometrar och resulterade i en medelkurva som också finns med i diagrammet. Stenmaterialet hade en temperatur på 145°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 98°C vilket ska motsvara T_0 .

Tabell 36 visar temperaturloggningen för en Green-massa med 6 % fukthalt i det inblandade granulatet. Det tre termometrarna motsvarar 1,2 och 3 överst i tabllen följt av medelvärdet. Därefter är standardavvikelsen (Std) framtagen för varje loggningstillfälle och variansen. Den totala standardavvikelsen är framtagen längst ner i tabellen (Total Std). Stenmaterialet hade en temperatur på 145°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 98°C vilket ska motsvara T_0 .

	1	2	3	Medel	Std	Varians
0	77,7	87,1	88,8	84,5	4,979179	24,79222
1	75,7	85,2	87,5	83,2	4,698108	22,07222
2	75,6	84,0	87,2	82,4	5,992356	35,90833
3	75,7	82,9	87,2	81,9	5,810622	33,76333
4	75,7	82,0	87,0	81,6	5,663038	32,07
5	75,8	81,5	86,9	81,4	5,550826	30,81167
6	75,9	81,0	86,7	81,3	5,403394	29,19667
7	75,8	80,5	86,5	81,0	5,363767	28,77
8	75,7	80,1	86,4	80,8	5,378197	28,925
9	75,7	79,7	86,1	80,6	5,24738	27,535
10	75,6	79,4	85,8	80,4	5,156388	26,58833
11	75,5	79,1	85,5	80,1	5,066393	25,66833
12	75,3	78,8	85,3	79,9	5,075103	25,75667
13	75,2	78,5	85,0	79,7	4,987818	24,87833
14	75,1	78,3	84,7	79,5	4,889615	23,90833
15	74,9	78,0	84,4	79,2	4,846132	23,485
16	74,7	77,7	84,1	78,9	4,80295	23,06833
17	74,6	77,4	83,9	78,7	4,771792	22,77
18	74,3	77,2	83,6	78,5	4,760077	22,65833
					Total Std	22,64125



Figur 51 Diagrammet visar temperaturloggningen för en Green-massa med 9 % fukthalt i det inblandade granulatet. Detta gjordes med tre termometrar och resulterade i en medelkurva som också finns med i diagrammet. Stenmaterialet hade en temperatur på 145°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 87°C vilket ska motsvara T_0 .

Tabell 37 visar temperaturloggningen för en Green-massa med 9 % fukthalt i det inblandade granulatet. De tre termometrarna motsvarar 1,2 och 3 överst i tabllen följt av medelvärdet. Därefter är standardavvikelsen (Std) framtagen för varje loggningstillfälle och variansen. Den totala standardavvikelsen är framtagen längst ner i tabellen (Total Std). Stenmaterialet hade en temperatur på 145°C och beräknades att ha en tillverkningsstemperatur på 87°C vilket ska motsvara T_0 .

	1	2	3	Medel	Std	Varians
0	75,9	76,8	79,7	77,5	2,330713	5,432222
1	74,9	75,8	79,5	76,8	2,879236	8,29
2	73,7	74,4	79,2	75,9	2,996387	8,978333
3	72,7	73,3	78,9	75,1	3,421744	11,70833
4	72,3	72,3	78,8	74,5	3,752999	14,085
5	71,5	71,7	78,6	74,0	4,043513	16,35
6	71,0	71,0	78,4	73,5	4,273172	18,26
7	70,6	70,3	78,3	73,1	4,534865	20,565
8	70,2	69,9	78,0	72,8	4,594018	21,105
9	69,8	69,4	77,8	72,4	4,739198	22,46
10	69,5	68,8	77,4	72,0	4,778773	22,83667
11	68,2	68,4	77,3	71,3	5,197275	27,01167
12	68,9	67,9	76,9	71,4	4,935585	24,36
13	68,6	67,5	76,6	71,0	4,9684	24,685
14	68,3	67,1	76,3	70,7	5,002833	25,02833
15	68,0	66,6	76,0	70,3	5,072968	25,735
16	67,7	66,2	75,6	70,0	5,052722	25,53
17	67,5	65,7	75,3	69,6	5,10441	26,055
18	67,3	65,2	75,0	69,3	5,161234	26,63833
					Total Std	19,36786