

Hållbar utveckling av vägsektorn

Kan användningen av återvunnen asfalt ökas med hjälp av tillsatsmedel?



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för Teknik och samhälle/Trafik och väg**

Examensarbete:
Hannes Tornerefelt
Richard Wong

© Copyright Hannes Tornerefelt, Richard Wong

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

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

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2018

Sammanfattning

För att skapa ett samhälle med hållbar utveckling måste användningen av jordens finita resurser förändras, detta stämmer inte minst för oss inom infrastruktur. Varje år fräses flera tusen ton befintliga beläggningar upp och den största delen av detta återanvänds inte. Tekniken har gått framåt på senare år och idag finns ett antal olika tillsatsmedel som påstås kunna öka användningen av återvunnen asfalt vid tillverkning av nya asfaltmassor, detta arbete ämnar undersöka ett sådant "ZycoTherm". Tillsatsmedlet sägs förbättra vidhäftningen avsevärt mellan stenmaterial och bindemedel och fungerar alltså inte som ett "föryngringsmedel" som återställer förlorade egenskaper hos bindemedlet. Detta innebär även att användandet av andra, finita, vidhäftningsmaterial som till exempel cement kan minskas.

Laboration utfördes till största del av oss vid NCC:s anläggning utanför Södra Sandby och testen som utfördes innefattar penetration och mjukpunkt på bindemedel samt nötningsbeständighet (enligt prall-metod) och vattenkänslighet för färdiga asfaltmassor. Utöver detta utfördes även en enkätundersökning på utläggningspersonal hos NCC då klagomål lyfts fram att massorna innehållande ZycoTherm blir mer svårarbetade.

Resultaten av laborationen visade inga speciella förbättringar i testen penetration och mjukpunkt för bindemedel och nötningsbeständighet för färdiga asfaltmassor. Resultatet för vattenkänslighet visade dock tydligt att ZycoTherm förbättrade draghållfastheten för massor med asfaltgranulat markant. Detta kan leda till positiva förändringar på samhällsnivå då returafalt kan komma att användas i mycket större utsträckning än det är i dagsläget.

Nyckelord: ZycoTherm, Tillsatsmedel, Asfalt, Återvinning

Abstract

To create a society with sustainable development the use of our planets finite resources has to change, this is no less true for us in infrastructure. Every year thousands of tonnes of asphalt paving is ground up and most of it is not reused. The knowledge regarding the recycling of asphalt has gone forward recent years and today there is a couple of different dopes that claim to be able to reduce the use of greater volumes of recycled asphalt, this study intend to analyse one such dope “ZycoTherm”. The dope allegedly improves the bitumens adhesive properties, it is not a “rejuvenator” which try to restore lost properties of the binder. This also means that the use of other, finite, adhesives like cement can be reduced.

The laboratory work is for the most part done by us at NCCs facilities outside of Södra Sandby and the tests include penetration and softening point for the binder and abrasion permanence (according with the prall-method) and moisture susceptibility for the asphalt. In addition a questionnaire study was performed on the personnel of NCC who pave the roads, this because complaints have been raised that the asphalt batches containing ZycoTherm are “harder” to work with.

The results of the study showed no real improvements in the tests penetration and softening point for the binder and abrasion permanence for the asphalt. The result for water susceptibility, however, showed clearly that ZycoTherm improved the tensile strength for asphalts containing recycled asphalt. This can lead to positive changes for our society when recycled asphalt can be used to a much greater extent than it is today.

Keywords: ZycoTherm, Dope, Asphalt, Recycling

Förord

Denna rapport är resultatet av vårt examensarbete som utförts under vårterminen 2018 på 15 veckor. Examensarbetet är slutmomentet för högskoleutbildningen med inriktning väg- och trafikteknik vid Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg. Rapportskrivningen och laborationerna har delats upp lika mellan oss. För rapportskrivningen har vi använt oss av V-husets datorsalar och även våra egna datorer. Laborationerna utfördes på NCC:s asfaltlaboratorium i Södra Sandby.

Vi vill rikta ett stort tack till följande personer: Marie Hinton, Mats Andersson och Jens Hultzén som tillhör personalen på laboratoriet i Södra Sandby. Urban Amboldt som har väglett oss genom alla processer på laborationerna. Johan och Gustav som har varit våra handledare från NCC asfaltbeläggning som bistått med hjälp. Jörgen Magnusson från NCC:s asfaltsverk som hjälpte till med enkätundersökningen. Slutligen Sven Agardh som har varit vår handledare på universitet.

Innehållsförteckning

1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte och frågeställning	1
1.3	Metod.....	2
1.4	Avgränsning.....	2
2	Litteraturstudie.....	3
2.1	Vägkonstruktion	3
2.1.1	Överbyggnad	3
2.1.2	Underbyggnad	5
2.2	Asfalt	5
2.2.1	Nötningsbeständighet	5
2.2.2	Vattenkänslighet	6
2.3	Bitumen	6
2.3.1	Raffinerad bitumen.....	7
2.3.2	Sammansättning	8
2.3.3	Fysiska egenskaper	9
2.3.4	Hållbarhet	10
2.4	Tillverkning av asfalt	12
2.4.1	Lågtempererad asfalt	13
2.5	Återvinning av asfalt	13
2.5.1	Återvinningsmetoder	14
2.6	Tillsatsmedel.....	14
2.6.1	ZycoTherm.....	15
2.7	Asfaltsläggning.....	15
2.7.1	Utläggning av asfalt.....	15
2.8	Blindtest	17
3	Laboration	18
3.1	Materiel.....	18
3.2	Använda metoder	19
3.2.1	Tillverkning av provkroppar	19
3.2.2	Prall-metod för att mäta nötningsbeständighet	21
3.2.3	Vattenkänslighet	23
3.2.4	Penetrationstal	24
3.2.5	Mjukpunkt	24
3.2.6	Enkätundersökning	24
4	Resultat.....	26
4.1	Nötningsbeständighet	26
4.2	Vattenkänslighet.....	29
4.3	Penetrationstal.....	32
4.4	Mjukpunkt	32
4.5	Enkätundersökning	33

4.5.1	Toppmassor (ABS, ABT)	33
4.5.2	Massor för bärlager (AG, ABB)	35
4.5.3	Resultat baserat på vädret	38
5	Diskussion	39
5.1	Metoddiskussion.....	39
5.1.1	Tillverkning av asfalt.....	39
5.1.2	Nötningsbeständighet.....	39
5.1.3	Vattenkänslighet.....	39
5.1.4	Penetrationstal	39
5.1.5	Mjukpunkt.....	40
5.1.6	Enkätundersökning.....	40
5.2	Resultatdiskussion	40
5.2.1	Nötningsbeständighet.....	40
5.2.2	Vattenkänslighet.....	40
5.2.3	Penetrationstal	41
5.2.4	Mjukpunkt.....	41
5.2.5	Enkätundersökning.....	41
	5.2.5.1 <i>Toppmassor</i>	41
	5.2.5.2 <i>Bärlager</i>	42
	5.2.5.3 <i>Resultat baserat på vädret</i>	42
6	Slutsatser	42
6.1	Framtida studier	43
7	Referenser	44

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Miljö är ett begrepp som ligger väl i tiden, det har under många år och kommer i många år framåt att prägla politik på såväl nationell som global nivå. Ordet miljö är mycket brett och något svårt att ta på, regeringen sammanfattar till exempel begreppet “miljöpolitik” som “Miljöpolitiken handlar om att skapa ett samhälle som är fritt från utsläpp och farliga gifter med hänsyn till både människor, djur och natur. Den handlar också om att skapa ett hållbart samhälle som är anpassat till ett förändrat klimat. Många miljöfrågor är globala och därför sker en stor del av arbetet i samverkan med andra länder.”

För att ett hållbart samhälle ska kunna uppnås måste de ändliga resurser som nyttjas användas på ett bättre sätt och återanvändning av befintliga produkter är nödvändigt. För oss inom vägbranschen innebär detta till största del återvinning och återanvändning av befintliga asfaltmassor. Tidigare ställde Trafikverket krav på vad den högsta tillåtna procentandelen återvunnen asfalt som fick finnas i tillverkade asfaltmassor, detta är nu slopat och istället ställs, bland annat, krav att kulkvarnsvärdet ska vara lika bra för returafalten som för stenmaterialet. (Armboldt, 2018) Detta ger nya möjligheter att i större utsträckning nyttja återvunnen asfalt, om man kan göra det utan att försämra asfaltens kvalitet. För att åstadkomma detta finns det idag tillsatsmedel på marknaden som sägs kunna bibehålla asfaltens egenskaper trots att högre andel återvunnen asfalt blandas i.

1.2 Syfte och frågeställning

Examensarbetets mål är att ge en sammanfattad bild av asfalts uppbyggnad och vilka effekter detta ger på återvunnen asfalt, samt se hur tillsatsmedlet ZycoTherm påverkar asfaltens egenskaper. Enligt tillverkaren av ZycoTherm ska tillsatsmedlet göra asfalten mer lättarbetat och därför ska även detta undersökas.

De frågeställningar som arbetet ämnar besvara är:

- På vilket sätt påverkar ZycoTherm bitumens fysiska egenskaper?
 - Mjukpunkt
 - Penetrationstal
- Vilka effekter får inblandningen av ZycoTherm på den färdiga asfaltmassan?
 - Nöttningskänslighet
 - Vattenkänslighet

- Vilka effekter får detta på massor som är blandade med asfaltgranulat (granulat är ett annat ord för returafalt som beståndsdel i asfalt)?
- Gör ZycoTherm asfaltmassor svårare att arbeta med?

1.3 Metod

Examensarbetet inleds med en litteraturstudie som omfattar asfalt, återvunnen asfalt och bitumen. Faktan som tas upp här ligger som grund för laborationen där tillsatsmedlet ZycoTherm testas. Litteraturstudiens syfte är att fungera som ett underlag för att förstå och kunna analysera laborationens resultat. Utöver detta är även en del av litteraturstudien inriktad på psykologi och då först och främst teorin bakom blindtest vilket användes vid enkätundersökningen. Informationen i litteraturstudien samlades till största del in från andra tekniska rapporter och skrifter men även muntliga källor har använts.

Tillverkningen av asfaltmassorna och provkropparna gjordes på NCCs anläggning utanför Södra Sandby. Tillverkningen och testerna utförs efter gällande standarder specificerade av Trafikverket för att resultaten ska kunna jämföras och analyseras.

1.4 Avgränsning

NCC hade bara tillgång till en bitumenstyp därför var asfaltmassorna som tillverkades och testades endast av typen ABT 11 och innehållande bitumen var av typen 160/220. De fysiska attribut som testas på bitumenet med och utan tillsatsmedel är endast mjukpunkt och penetration och för asfalten är det endast nötningsbeständighet och vattenkänslighet, andra egenskaper kan bli påverkade av tillsatsmedlet men det är dessa fyra som berörs av arbetet. Undersökning är även utförd på nytillverkade provkroppar och ger därför ingen bild av hur tillsatsmedlet förändrar de fysiska egenskaperna över tid.

2 Litteraturstudie

Litteraturstudien är skriven för att läsaren ska få en bättre förståelse om bakgrundsteorier bakom det som har undersökts och även om de labbmetoder som använts i arbetet.

2.1 Vägkonstruktion

Vägkonstruktionens uppbyggnad består av olika material vilka mestadels är stenmaterial. Överst på konstruktionen ligger slitlager som oftast består av asfaltsbeläggning. Asfalt består av stenmaterial och bindemedel. Vägkroppen kan delas upp i överbyggnad och underbyggnad. Vägkonstruktionen byggs upp på schakt eller fyllning av material, som även kallas för underbyggnad. Därefter läggs överbyggnaden med sina lager på underbyggnaden. (Granhage, 2009)

2.1.1 Överbyggnad

En av överbyggnadens huvuduppgifter är att fördela trafikbelastningen neråt i vägkonstruktionen. Detta är för att undvika skador och deformationer. Det finns olika överbyggnader för olika typer av vägar, t.ex. motorväg kräver en överbyggnad som tål en större trafikbelastning än vad en mindre väg gör. Underlaget påverkar även överbyggnaden. En överbyggnad består av flera olika lager där det översta lagret har större bärighetskrav eftersom det belastas mest. Lagerna är uppbyggda så att ju längre ner i konstruktionen desto lägre bärighetskrav. (Granhage, 2009)

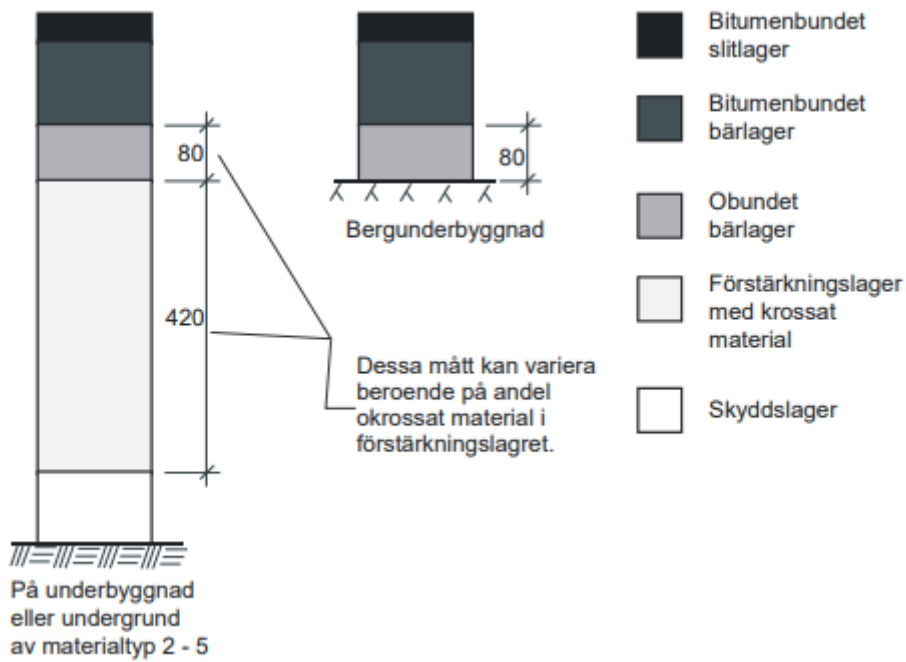
Överbyggnaden har även i uppgift att transportera bort vatten från vägytan och vägkroppen. (Agardh & Parhamifar, 2012) Vatten i överbyggnaden innebär att bärigheten blir sämre därför är det viktigt att överbyggnaden har en tilltagande vattengenomsläpplighet nedåt. (Granhage, 2009)

De tre mest förekommande överbyggnader som finns i Sverige är:

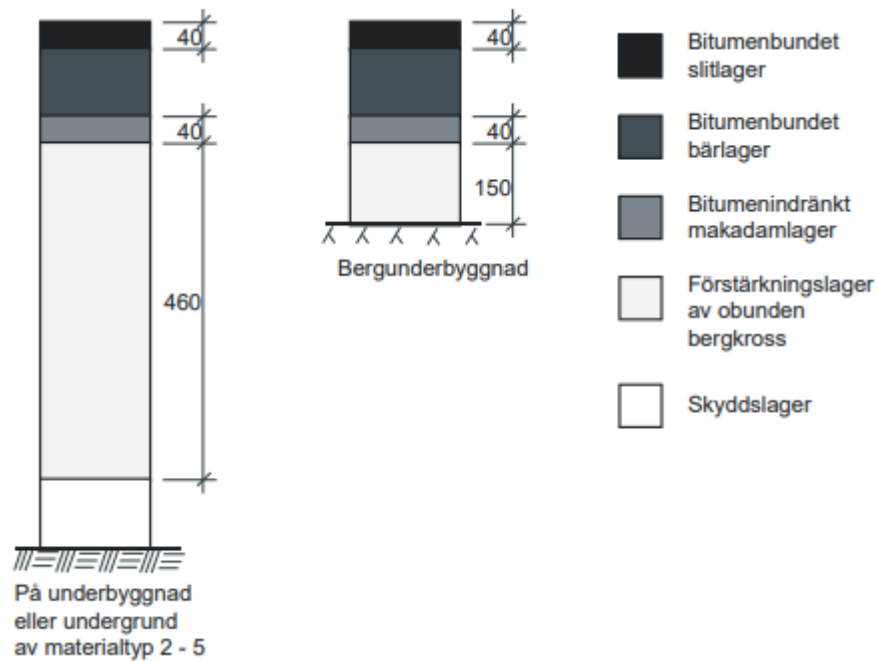
- Grusbitumenöverbyggnad (GBÖ)
- Bergbitumenöverbyggnad (BBÖ)
- Cementbitumenöverbyggnad (CBÖ)

(Trafikverket, 2011)

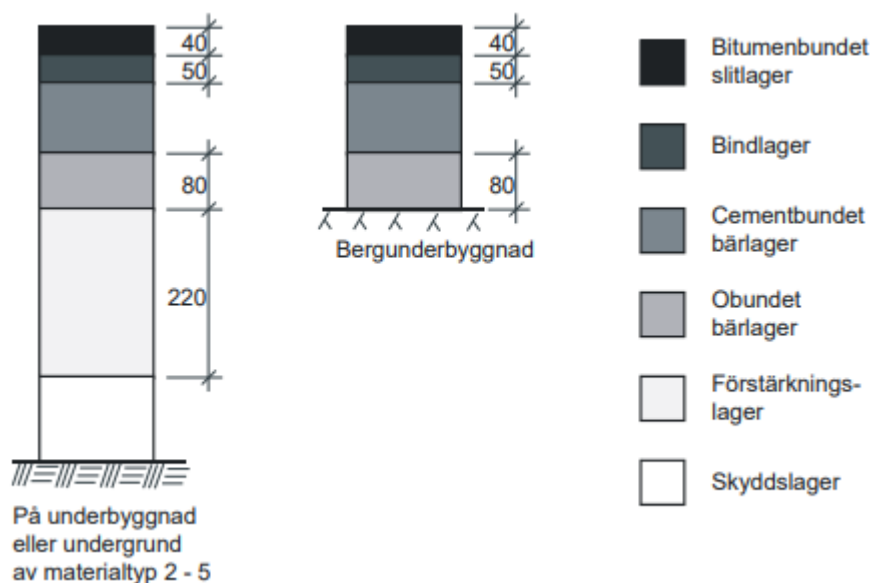
Dessa överbyggnader ska enligt krav från Trafikverket konstrueras enligt figur 2.1, 2.2 och 2.3.



Figur 2.1 Grusbitumenöverbyggnad (Trafikverket, 2011)



Figur 2.2 Bergbitumenöverbyggnad (Trafikverket, 2011)



Figur 2.3 Cementbitumenöverbyggnad (Trafikverket, 2011)

2.1.2 Underbyggnad

Terrassytan är den del som kommer efter överbyggnaden i vägkonstruktionen. Terrassytan ligger därför mellan överbyggnaden och underbyggnaden. Underbyggnadens huvuduppgifter är att se till att vägen kommer i rätt nivå och lutning genom att schakta eller fylla med massa. (Agardh & Parhamifar, 2012)

2.2 Asfalt

Den mest förekommande beläggningen på Sveriges vägar och gator är asfaltsbeläggning. Asfalt består av stenmaterial i olika fraktioner och bitumen. Bitumen är ett sorts bindemedel som består av en tung oljeprodukt. För att tillverka asfalt blandas stenmaterialet och bitumenet i hög temperatur. (Granhage, 2009)

Det finns olika typer av asfalt beroende på trafiken, klimatet och geologiska förutsättningar. Innehållet i asfalten varierar därför på grund av dessa förutsättningar. Det som varierar kan vara stenmaterialets storlek, bitumenhalt eller typ av bitumen. (Granhage, 2009)

2.2.1 Nötningsbeständighet

Vinterväglag kan innebära att det är halt på vägarna där dubbdäck är ett alternativ för att minska på olyckor och få bättre grepp på vägen. Dubbdäck är därför väldigt bra för trafiksäkerheten dock är det väldigt dåligt för vägen då den slits upp av dubbarna. Nötningen från dubbarna blir dyrt då vägens slitlager måste underhållas. Nötningen bildar även spårdjup som regnvatten

kan samlas i och som i sin tur kan leda till vattenplaning. I och med nötningen bildas även dammpartiklar från beläggningen som nöts bort. Prall-test är ett test som har visat god potential för att mäta nötning av dubbdäck där testet följer europastandarden EN12697-16. Testet ger en bättre förståelse på hur mycket nötning asfaltsbeläggningen kan ta. En förbättring på asfaltbeläggningar kan utvecklas genom att testa nötningen på olika typer av asfaltmassor. (Cooper, 2018)

2.2.2 Vattenkänslighet

Asfaltsbeläggningen måste stå emot många olika typer av mänsklig påverkan men den måste även klara av de naturliga påfrestningarna, bland annat är det viktigt att nederbörd inte har stor påverkan på dess egenskaper. De skador som nederbörd orsakar på asfaltsbeläggningen är oftast att vidhäftningen mellan stenmaterialet och bindemedlet försvagas vilket kan leda till stensläpp. Ifall stensläpp och sprickor uppstår till följd av vattnets påverkan kan detta leda till att vattnet också kan ta sig in i vägkroppen vilket är en av de största anledningarna till att en vägkroppens livslängd förkortas. Det finns många olika sätt att undersöka en asfaltmassas vattenkänslighet, vissa bättre än andra men då också dyrare. Testen kan delas upp i två grupper, de som utförs på lösa massor och de som utförs på kompakta massor (provkroppar). De som utförs på lösa massor har fördelen att de är oftast lättare och billigare att utföra men nackdelarna är att det är svårt att definiera ett kriterium som ska uppfyllas för att testet ska anses vara godkänt. Vid "static immersion", som är ett test på lösa massor, används visuell utvärdering för att redovisa resultatet, detta har klart mycket dålig repeterbarhet. Det vanligaste testet som utförs på kompakta massor är *Modified Lottman* (AASHTO T283) vilket är ett test där draghållfasthetsindex (ITSR) testas på tre provkroppar som legat i vattenbad i lågt tryck för att bli vattenmättade, därefter utförs samma test på tre "torra" provkroppar och resultaten jämförs. Det test som används i Sverige enligt Trafikverkets krav TDOK 2017:0650 följer till stor del principerna från *modified lottman* testet. (Amelian et al. 2014)

2.3 Bitumen

Bitumen är en tjärliknande substans sammansatt av olika kolväten som är utvunnen från råolja, antingen genom destillation eller genom naturliga processer. Naturligt förekommande bitumen har använts av människor i över 5000 år på grund av dess vattenavstötande och bindande egenskaper. Enda sättet att få tag på bitumenet förr i tiden var då sprickor i markytan i närheten av råoljefyndigheter ledde till läckage. Det gjorde att det först och främst var i områden där sådana fyndigheter fanns som bitumen kunde användas i någon vidare utsträckning, till exempel i mellanöstern. Det äldsta föremålet som hittats där bitumen använts är en vattentank hittad i Indusdalen vilken är

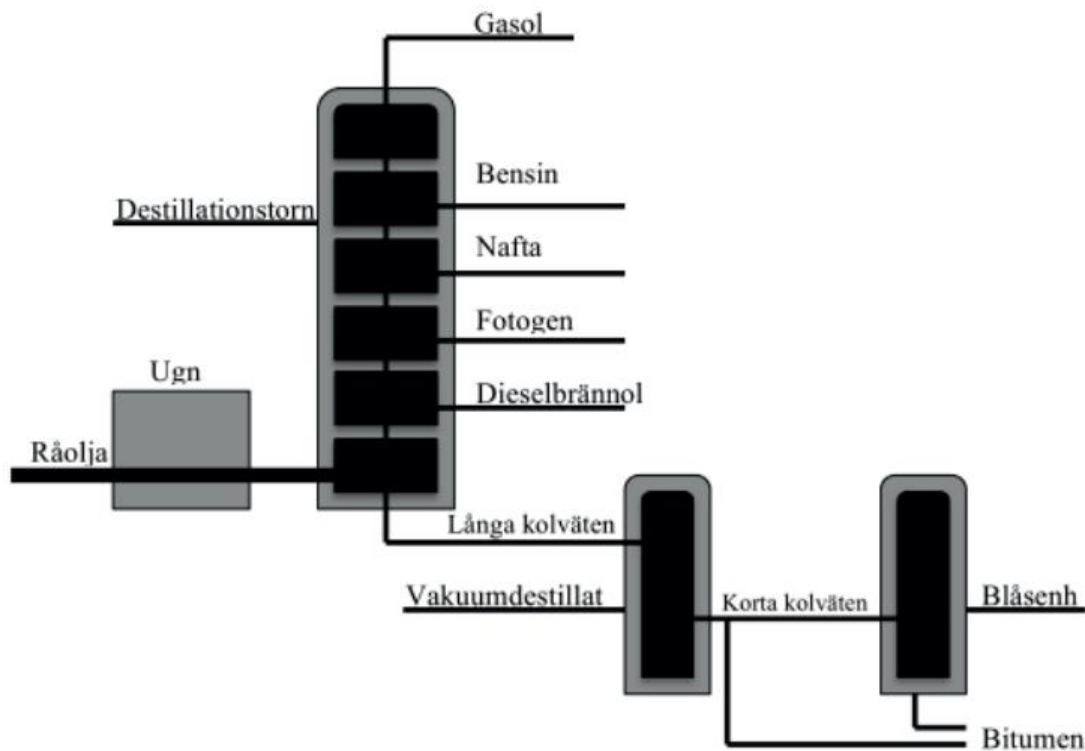
daterad till Sumernas tid cirka 3000 f.Kr. (Read & Whiteoak, 2003) Då bitumen endast använts där råoljafyndigheter funnits var det inte förrän på slutet av 1800-talet som bitumen började användas på andra platser, som till exempel Sverige och Storbritannien. (Vägverket Produktion, 2018) Bitumenets primära användningsområde idag är som bindemedel i asfalt där det håller stenmaterialet på plats men det används även inom andra områden som till exempel vid vissa typer av takläggning. (Read & Whiteoak, 2003)

2.3.1 Raffinerad bitumen

Råolja, som bitumen tillverkas av, är en komplex blandning av kolväten. Det anses generellt att råolja har uppstått från avlagringar av marina- och växtorganismer som samlats på havsbotten. Under miljontals år har dessa avlagringar pressats av sedimentära bergarter som bildats ovanpå och tillsammans med värme från jordens inre, bakterier och radioaktivitet kan även ha påverkat processen, har det vi idag kallar råolja bildats. Oljefyndigheterna hittas i största utsträckning i porösa bergarter vilka har skyddats av ogenomträngliga bergarter vilket har förhindrat oljan från att försvinna ut i haven. Detta betyder dock att oljan måste lokaliseras genom seismiska undersökningar och sedan borrar fram. Råolja kan se mycket olika ut, från en trögflytande svart substans till en beige friflytande vätska. Nästan 1500 olika typer av råolja produceras på jorden och endast ett fåtal anses lämpliga för tillverkning av bitumen, detta på grund av aspekter som kvalité och kvantitet på den utvunna bitumenen. (Read & Whiteoak, 2003)

Det första steget för att raffinera råolja till bitumen är "fraktal destillation" vilket innebär att råoljan värms upp till mellan 350 och 380°C, de olika beståndsdelarna i råoljan börjar då förångas. När ångorna stiger börjar de kylas igen och de samlas i olika kärl beroende på vid vilken temperatur de övergår till vätskor igen, på detta sätt utvinns till exempel propan, butan och kerosene. Den tyngsta delen av råoljan, som inte förångas, kallas för "långfällning" (long residue) och det är denna som sedan används för tillverkning av bitumen. Långfällningen destilleras vidare vid annat tryck för att "kortfällning" (short residue) ska kunna utvinnas utan att långfällningen spricker eller att "termisk förvittning" (thermal decomposition) uppstår. Kortfällningen är det som sedan används för att framställa bitumen.

Proceduren redovisas i figur 2.4 (Read & Whiteoak, 2003)



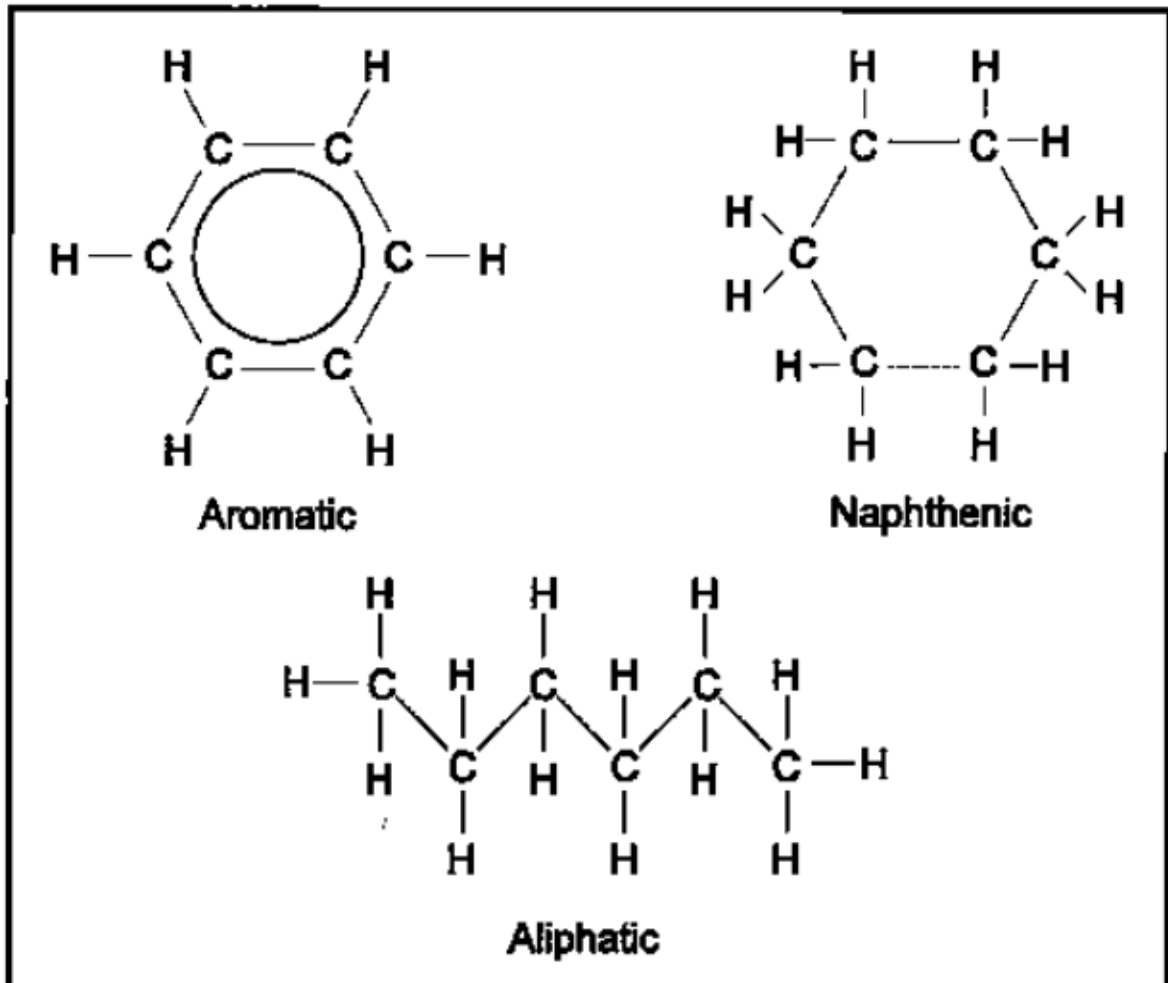
Figur 2.4: Framställning av bitumen (Read & Whiteoak, 2003. Bearbetad av Gustavsson & Thylander, 2013)

2.3.2 Sammansättning

Precis som råoljan som bitumen utvinns från så består bitumen till största del av kolväten, vanligen mellan 90-99%. Molekylerna innehåller dock ofta en eller fler så kallade heteroatomer (I detta fall en kväve-, svavel- eller syreatom som tar en kol- eller väteatoms plats i en kolvätekedja), och även metaller som vanadin, nickel och järn kan hittas. Hur stor del av dessa ämnen som hittas i en viss typ av bitumen spelar mindre roll för dess fysiska egenskaper, det som har störst påverkan är hur molekylerna är uppbyggda. Bitumens uppbyggnad varierar stort och det finns en oerhört stor mängd olika typer av molekyler, för att underlätta brukar de delas in i tre olika principmolekyler, alifatiska-, naften- och aromatiska kolväten. Dessa molekyler är uppbyggda på olika sätt, till exempel är alifatiska kolväten uppbyggda i kedjemolekyler medans naften- och aromatiska kolväten är olika former av cykliska molekyler. Det som är viktigt att känna till här är att då de hålls samman av kemiska bindningar som kan brytas vid högre temperaturer så är, strukturellt, ett uppvärmt och sedan avkyllt bitumen inte nödvändigtvis samma som det var före proceduren. (Scholz, 1995)

För att ytterligare underlätta uppdelningen av beståndsdelarna i bitumen har många olika system tagits fram, en av de mest använda är Corbetts

fraktioneringsprincip. Denna metod delar in bitumen i asfaltén och maltén. Asfaltén består av de mer komplexa molekylerna som har högst polaritet och tendens till att reagera. (Scholz, 1995) Asfalténmolekylerna brukar tillskrivas egenskaperna som ger bitumen sin viskositet, detta eftersom de är tunga molekyler. Desto större del av bitumenen som består av dessa tunga molekyler desto tyngre blir det och därför också mer trögflytande. Maltén består av aromatiska kolväten *aromatics*, mättade kolväten *saturates* och harts vilka är lättflytande. I bitumenet omges asfalténmicellerna av malténerna som en hinna. (Read & Whiteoak, 2003)



Figur 2.5: Olika molekylära uppbyggnader av bitumen (Read & Whiteoak, 2003)

2.3.3 Fysiska egenskaper

På grund av att bitumenets egenskaper förändras stort när dess temperatur gör det måste det finnas många olika typer av bitumen. Detta kan tydligast ses på global skala där man till exempel inte kan använda samma typ av bitumen i afrika som i norra Sverige, den typ av bitumen vi använder här hade varit praktiskt taget flytande om de använts där klimatet är varmt. För att kunna klassificera de olika typerna av bitumen så används vanligen två olika tester, penetrationstest och mjukpunktstest (det finns flera olika mjukpunktstest, den vanligaste är enligt kula-ring metoden). Då dessa test är empiriska labbttest är

resultaten man får något godtyckliga och speglar nödvändigtvis inte exakt hur bitumenet kommer att uppföra sig då det ligger som utlagd asfalt. Trots detta kan man utifrån resultaten uppskatta vilka, ungefärliga, egenskaper bitumenet kommer att ha. Eftersom testen är empiriskt härledda är det viktigt att testerna utförs under samma förhållanden över hela världen, därför finns det fastslagna standarder som ska följas. Trots detta blir testen inte utförda på exakt samma sätt beroende på labbmiljö och vem det är som utför testen, det finns därför vissa toleranser som tillåter testen att utföras på olika platser av olika personer. (Read & Whiteoak, 2003)

Utifrån resultaten på penetrationstal- och mjukpunktstesten kan ett penetrationsindex (PI) bestämmas. Penetrationsindexet beskriver hur temperaturkänsligt bitumenet är och de flesta bitumen som används i vägar har ett penetrationsindex mellan -1 och 1. Penetrationsindexet bestäms enligt Ek.1

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A}$$

Ek.1

där

$$A = \frac{\log(\text{pen}_{T_1}) - \log(\text{pen}_{T_2})}{T_1 - T_2}$$

Ek.2

pen_{T_1} och pen_{T_2} är penetrationstalet för bitumenet vid två olika temperaturer. Penetrationstalet bestäms oftast endast vid 25° men penetrationstalet för bitumen vid dess mjukpunkt (enligt kula-ring) är för nästan alla väldigt nära 800 och därför beräknas A som

$$A = \frac{\log(\text{pen}_{25}) - \log(800)}{25 - \text{mjukpunkt K\&R}}$$

Ek.3

(Pfeiffer & Van Doormaal, 1936)

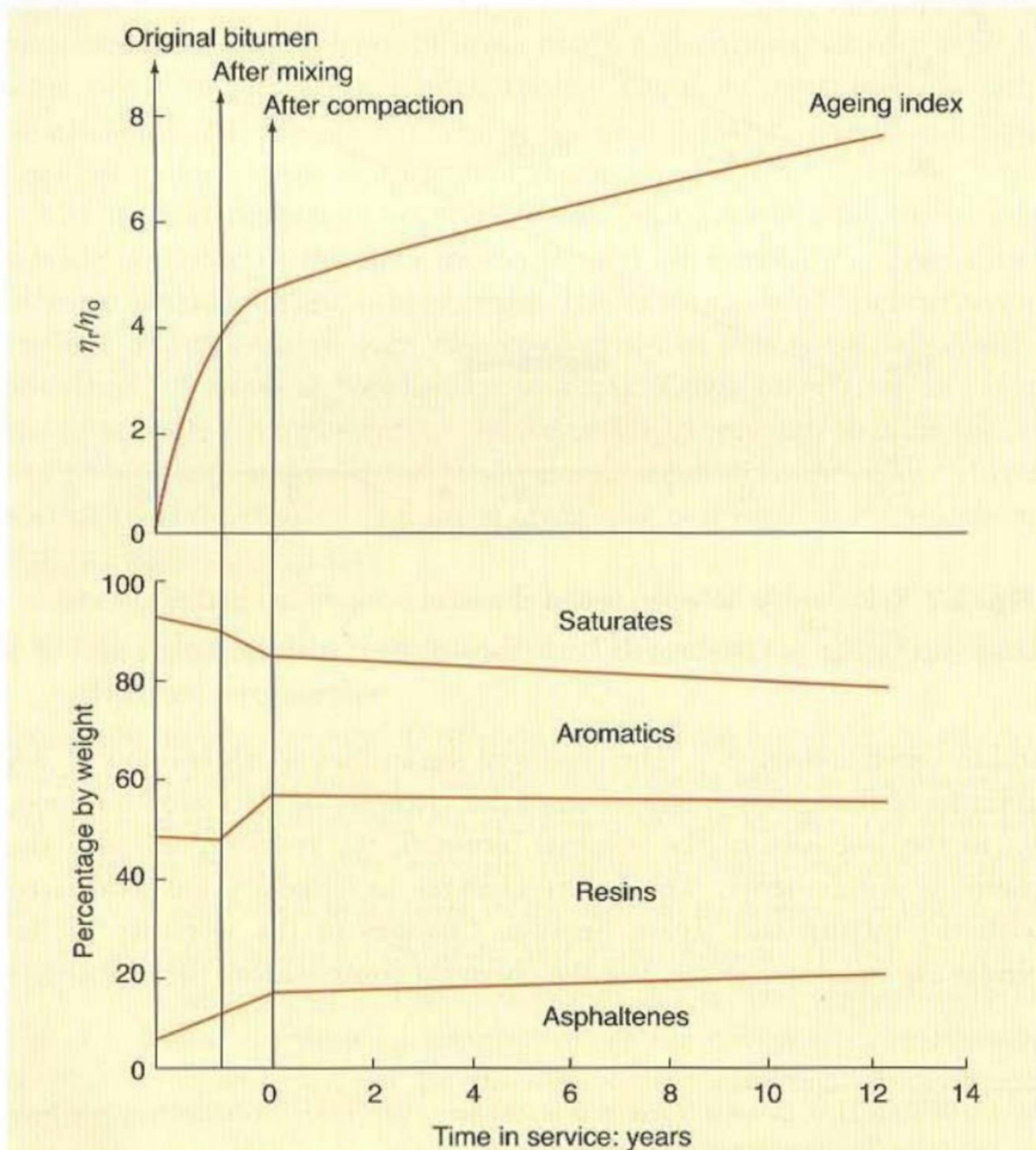
2.3.4 Hållbarhet

Under bitumens livslängd, från tillverkning tills de fyllt sitt syfte som bindemedel, kommer det att reagera på olika sätt med olika material. Dessa reaktioner leder de flesta gånger till att bitumenet hårdnar, det får en högre mjukpunkt och ett lägre penetrationsvärde. Man skiljer på förhårdning av bitumen beroende på ifall det medför positiva eller negativa följder. "Curing" innebär en ökning av asfaltens styvhet och därför också dess förmåga att

sprida last, detta tros öka asfaltens livslängd. Motsatsen till curing är "hardening" och uppstår i det lager av asfalten som påverkas mest av väder och vind, det översta. Hardening leder ofta till erosion och sprickbildning i asfalten och förkortar även dess livslängd. (Read & Whiteoak, 2003)

Förhårdning av bitumen är ett fenomen som länge har känts till och studerats, över 15 olika anledningar har observerats och den mest framträdande är att bitumen oxiderar när det kommer i kontakt med syre. Denna typ av oxidation används ibland vid tillverkning för att framställa hårdare bitumen, processen kallas för "air blowing". Eftersom oxidation av bitumen även händer ofrivilligt så är det en faktor som måste tas med i beräkningarna då bitumen framställs, försiktighetsåtgärder måste tas för att så lite oxidation som möjligt ska ske. Tester har utförts för att undersöka hur bitumens kemiska sammansättning förändras över tid, resultaten kan ses i figur 2.6. Det som framgår är att andelen asfaltén i bitumen ökar över tid, detta leder till att materialet blir styvare vilket kan ge upphov till bland annat sprickor. Då kvalitén på bitumenen försämras gradvis över tid så blir det även ett problem då asfaltsbeläggningar ska återvinnas, asfalt blandad med granulat blir styvare

eftersom det också innehåller en del åldrad bitumen. (Read & Whiteoak, 2003)



Figur 2.6: Kemisk sammansättning av bitumen över tid (Read & Whiteoak, 2003)

2.4 Tillverkning av asfalt

Förenklat kan tillverkning av asfalt beskrivas på följande sätt: stenmaterial och filler torkas upp sedan värms dessa komponenter upp till blandningstemperaturen, detta för att få bort all fukt i stenmaterialen och fillert. Därefter siktas stenmaterialen för att få ut den önskade mängden för varje fraktion. Bindemedlet är uppvärmt i tankar tills blandningen sker mellan stenmaterialen och bitumenet. Blandningen sker tills bindemedlet har täkt stenmaterialen där blandningstiden varierar beroende på vilken typ av asfaltrecept som använts och asfaltverk. Eventuella tillsatsmedel kan användas

för att tillverka speciella asfaltsmassor och returafalt kan också förekomma som beskrivs mer i kap 2.5. (Asfaltboken, 2002) (Bakalov & Shukir, 2017)

2.4.1 Lågtempererad asfalt

Ett sätt att minska miljöpåverkan när tillverkning av asfalt sker är att minska på energianvändningen i produktionen och ett sätt är att sänka tillverkningsstemperaturen. En teknik som används idag är lågtempererad asfalt som är ett miljövänligare sätt att tillverka asfalten på. Jämfört med traditionell tillverkning av varmasfalt kan en sänkning av tillverkningsstemperaturen ske med 30 procent. Asfalten blandas i lägre temperatur utan tillsatsmedel och där kvalitén håller samma standard som varmasfalt. Tillverkning av lågtempererad asfalt fungerar på samma sätt som vanlig tillverkning förutom att här tillsätts vatten i bindemedlet som sedan "skummas". "Skumning" gör att massan blir mer lättarbetad och det leder till att tillverkningsstemperaturen kan sänkas från 160°C till 120°C. (NCC, 2018)

Lågtempererad asfalt bidrar till nya möjligheter till återvinning av asfalt eftersom bindemedlets egenskaper behåller samma eller bättre kvalitet än varmasfalt när det gäller stabilitet, hållrum, vid häftning och slitstyrka. Andelen returafalt kan därför ökas utan att kvalitén på massan blir sämre. Bitumenet i returafalt kan återanvändas vilket leder till att ny bitumen minskas. (NCC, 2018)

2.5 Återvinning av asfalt

Vägar används i många år och under tiden byggs de om eller byggs ut. Den ökande trafiken utgör att vägarna ibland måste förstärkas eller friläggas. För att underhålla nedgrävd infrastruktur måste asfalten antingen grävas bort eller fräsas. För att hålla givna höjder tas det gamla asfaltslagret bort innan nytt läggs på. Dessa exempel betyder att det bildas stora volymer av asfaltshögar. Ett sätt att minska dessa högar är att återvinna asfalten. (Tyllgren, 2010)

År 2004 användes cirka sju miljoner ton ballast och 400 000 ton bitumen till asfaltbeläggningar. Det går åt väldigt mycket stenmaterial och bitumen, dessa är även ändliga resurser. Det finns stor potential att spara på naturresurserna genom att återvinna asfalt. År 1998 återvanns mer än en miljon ton asfalt men har minskat i mängd fram tills 2004, dock har återvinning av asfalt goda möjligheter att ökas i framtiden. (Vägverket, 2004) Användandet av återvunnen asfalt innebär att det inte blir lika mycket nytillverkad asfalt och som i sin tur ger en mindre förbrukning av bitumen. (Svenska kommunförbundet, 2004)

Den ökade lönsamheten i återvinning och den tekniska utveckling påverkar hur mycket återvinning som används. Lönsamheten beror på hur priserna är för materialen och om dessa blir dyrare kan återvinningen ökas.

En analys på returafalten behövs för att få ut hur kvalitet på bitumen är, detta för att optimera återvinningen. Även rätt teknik krävs för att det ska bli optimalt. De metoder som finns kan indelas i tre olika områden varm återvinning, halvvarm återvinning och kallåtervinning. (Vägverket, 2004)

2.5.1 Återvinningsmetoder

De tre återvinningsmetoderna för asfalt är varm , halvvarm och kallåtervinning. Metoderna kan användas i både asfaltsverk och på plats. Det finns olika metoder eftersom det finns för- och nackdelar beroende på till exempel vilken klimatzon vägen ligger i, trafikmängd, hur gammal vägen är och beräknad trafikmängd. (Vägverket, 2004)

Varm återvinning används till både vägar med hög och låg trafikmängd medan de andra två metoder används för vägar med låg trafikmängd. Returasfalt i varm återvinningen ligger runt 10-40 % däremot för kall- och halvvarm återvinningen kan i extremfall returafalten vara upp till 100%. (Hornwall & Jacobson, 2000)

2.6 Tillsatsmedel

Bitumen är en värmekänslig produkt, detta leder till att förhårdning sker under tillverkning av asfalt och när det är på vägen på grund av yttre påverkningar. Detta leder till att bitumen har en dimensionerande livslängd och för att återvinna bitumen behövs det att bitumenet återfår sin form som den hade när vägen anlades. Denna process kan även kallas för föryngring. Tekniken har funnits länge men tillsatsmedel har inte varit bra ur ett miljöperspektiv vilket har lett till att tekniken inte har använts de senaste åren. Dock gav högraffinerade petroleumoljor en ny chans för tekniken att åter användas. Eftersom petroleumoljor bidrar till en föryngrande effekt på det gamla bitumenet. (Tyllgren, 2010)

Det finns två olika tillsatsmedel, mjukgörande- och återställande tillsatsmedel. Det mjukgörande tillsatsmedlet ska göra asfaltmassan lättarbetad och läggbar igen genom att tillsatsmedlet ska mjuka upp det åldrande bitumenet. Det finns dock inget som tyder på att detta stämmer. Det mjukgörande tillsatsmedel ersätter maltènfraktionens funktion i det åldrande bitumenet vilket betyder att egenskaperna i bitumenet inte återskapas men istället kompenserar det åldrande bitumenet med ett

mjukare bitumen. Detta betyder att bindemedelshalten i asfaltsmassan blir högre än förut. (Tyllgren, 2010)

Det återställande tillsatsmedlet gör att det åldrande bitumenet får tillbaka sina egenskaper det hade i början av dimensioneringstiden. En stor del av det åldrande bitumenet återgår till sin ursprungliga form och bindemedelhalten är densamma som den var. (Aurell & Olsson, 2015) (Tyllgren, 2010)

2.6.1 ZycoTherm

ZycoTherm är ett tillsatsmedel som har tagits fram för att förbättra tillverkningstekniken lågtempererad asfalt genom att sänka produktions- och packningstemperaturen. Tillsatsmedlet ska förbättra vidhäftningen, detta medför att det även ökar fuktresistansen på asfaltsbeläggningar med ZycoTherm inblandat. Asfaltmassor med tillsatsmedlet ska produceras i 120°C - 135°C och packas när massan är 90°C - 120°C, beroende på asfaltsrecept ska tillverkningstemperaturen i slutänden reduceras. ZycoTherm fungerar bra till alla sorter och typer av bindemedel. Eftersom det är ett tillsatsmedel kommer bindemedelshalten och bindemedlets egenskaper inte att förändras. (Rohith & Ranjitha, 2013)

2.7 Asfaltsläggning

Beroende på hur stort beläggningsprojektet är används både maskiner och handläggning för att lägga asfalt. Under ett skift beläggs en väg mestadels av maskiner, procentmässigt ligger det runt 22-45 procent. Handläggning kan ta upp från 6 - 38 procent av ett skift och för justering av brunnar ligger det mellan 0 - 22 procent. Förberedelser för ett skift ligger mellan 11 - 32 procent av ett skift. Alla dessa moment är viktiga aspekter för att en väg ska läggas men maskinläggningen är det moment som ger mest resultat. (Tykesson, 2010)

2.7.1 Utläggning av asfalt

Det finns olika sätt att lägga asfalt på, två sätt är asfaltering med asfaltläggare eller utläggning med Sprider-lastbil. (Olsson, 2018)

Den mest effektiva utläggningen är med asfaltläggaren, där asfalt tippas ner till den främre delen av asfaltläggaren och sedan transporteras asfalten med band till den bakre delen. I den bakre delen fördelas asfalten med rätt tjocklek och bredd med hjälp av "screeden" och därefter lägger "screeden" ut asfalten där den även kan bestämma tvärfall, tjocklek och bredd. Efter att asfaltläggaren har gjort sitt packas asfalten med hjälp av olika vältar. Denna

typ av utläggning används till ytor där maskinen har tillräckligt med plats för att kunna arbeta i till exempel vägar, gator och parkeringar. Se figur 2.7 för en typ av asfaltläggare. (Olsson, 2018)



Figur 2.7 En typ av asfaltläggare (Wirtgen, 2018)

Spridmaskinen används till ytor där asfaltläggaren inte kommer åt, det kan bero på grund av till exempel bredden eller längden. Spridmaskinen har en arm som kan fällas ut där asfalten hälls ut ifrån. För att få asfalten till en jämn yta måste yrkesarbetare jämna ut asfalten med en asfaltsraka och därefter välts ytan eller packas med hjälp av en vibroplatta. Denna typ av utläggning medför att det blir mer handläggning för yrkesarbetarna än vad utläggning med asfaltläggaren. Se figur 2.8 för en typ av sprider maskin. (Olsson, 2018)



Figur 2.8 Sprider maskin (SpriderMaskiner, 2018)

De lastbilar som kör asfalt från verket till asfialläggaren är isolerade och har kapell för att behålla värmen under transporten, detsamma gäller för spriderlastbilen. Problemet med att transportera asfalt är att asfalten kan kylas ner om det blir en längre sträcka. Dåligt väder (regn och vind) är även ett annat problem och asfalten kan också kylas ner på grund av detta. Problemet med kylningen medför att det blir svårare att hantera asfalten vid utläggning och packning som i sin tur leder till att yrkesarbetarna klagat på att asfalten är kall, trög eller styv. (Olsson, 2018)

Massorna blir som sagt svårarbetad på grund av längre transporter och vädret men det finns många faktorer som kan påverka att asfalten blir svårhanterad. Några exempel är vid tillsättning av returafalt, fukthalten i ingående material (bärlager och returafalt), tillverkningstemperaturen och kvaliteten på bitumenet. (Olsson, 2018)

2.8 Blindtest

Då ett test eller experiment utförs och data insamlas från en grupp individer kommer deras fördomar alltid att ha ett inflytande på den information de ger, vare sig detta inflytande är stort eller litet. Människors uppfattning av en situation har visats påverkas av faktorer som kontext, motivation, förväntning och erfarenhet, man kan därför säga att världen aldrig uppfattas objektivt på

grund av faktorer som ligger i vårt undermedvetna. Studier har visat att människor i stor utsträckning är benägna att hålla kvar vid vad de trodde från första början trots att motsägelsefull information presenteras och att de är benägna att tolka information på ett sätt som överensstämmer med vad inledande trodde. Detta tros bero på att man alltid bombarderas med oerhört mycket information och eftersom den kognitiva förmågan inte är oändlig blir det som mottages och processeras selektivt, fördomar appliceras. För att eliminera dessa fördomar som finns kan blindtest användas, fördomarna som finns bland testgruppen kan då till stor del elimineras. Blindtest kan delas upp *single-blind* test och *double-blind* test. I ett *single-blind* test är det endast “försökspersonerna” som inte har information om testet, i ett *double-blind* test saknar även handledaren för testet information om det. Fördelar med *double-blind* test är att omedvetna/medvetna “hintar” från handledaren som ger information till testpersonerna inte finns närvarande. (Robertson & Kesselheim, 2016)

3 Laboration

3.1 Materiel

Det materiel som använde för att genomföra laborationen kommer att listas upp i punktform nedan.

- Asfaltsblandare
- Asfaltskopa
- Bitumen 160/220 (med och utan ZycoTherm)
- Diverse formar och
- Kylskåp
- Marshallstamp
- Prall-maskin
- Provbehållare
- Skyddsutrustning (skyddsglasögon, handskar och ansiktsmask)
- Skålar till att torka och förvara stenmaterial
- Stenmaterial
- Såg
- Termometer
- Utrustning för mätning av mjukpunkt (kula-ringmetoden)
- Utrustning för mätning av penetrationstal (nålar och mätningsmaskin)
- Vattenbadsvåg
- Våg
- Värmeskåp

3.2 Använda metoder

Laborationens syfte är att jämföra egenskaperna för fyra olika asfaltmassor gjorda på olika recept. Asfalten är av typen ABT 11 och bitumen är av typen 160/220, de fyra massorna är följande.

1. Enligt recept med vanlig bitumen (1-2)
2. Enligt recept med vanlig bitumen och med återvunnen asfalt (3-4)
3. Enligt recept med ZycoTherm i bitumen (5-6)
4. Enligt recept med ZycoTherm i bitumen och med återvunnen asfalt (7-8)

Dessa fyra olika massor kallades vid tillverkning för serie: 1-2, 3-4, 5-6 och 7-8 respektive. Dessa definitioner finns med i diagrammen som presenteras senare i rapporten, på grund av tillkortakommanden i Excel presenteras de även ibland som 12 (1-2), 34 (3-4), 56 (5-6) och 78 (7-8).

De provmetoder utförts i laborationen är:

- Nöttningsbeständighet (prall)
- Vattenkänslighet (vidhäftningen)
- Penetration på extraherad bitumen, med och utan ZycoTherm
- Mjukpunkt på extraherad bitumen, med och utan ZycoTherm

Även de fysiska egenskaperna för 160/220 bitumenet kommer att testas, med och utan ZycoTherm.

Eftersom klagomål från yrkesarbetare inkommit om att asfaltmassor innehållande ZycoTherm är mer svårarbetade kommer även ett blindtest utföras under två veckors tid. Asfaltläggarna får då inte information ifall asfalten innehåller ZycoTherm eller inte, de får även inte reda på om asfalten är gjort med sänkt temperatur (Green) eller inte. Dock får de reda på vilken typ av asfalt det är t.ex. en ABT 11 eller en AGF 16 och så vidare. Vad flaket har för temperatur har ingen betydelse på tillverkningstemperaturen om det har till exempel tillverkats som ”Green”massa. Asfaltläggarna får sen vid utläggningens slut svara på en enkät där de beskriver hur de tycker att asfalten var att arbeta med, resultaten kommer sedan att sammanställas och delas upp i ”topp-massor” (ABT, ABS) med och utan ZycoTherm och ”bitumbundna bärlager-massor” (AG, ABB) med och utan ZycoTherm. De resultaten kommer jämföras och slutsats kommer dras ifall massor innehållande ZycoTherm faktiskt är mer svårarbetade.

3.2.1 Tillverkning av provkroppar

För att tillverka provkropparna samlades först stenmaterial in i fraktionerna 0/2, 2/4, 4/8, 8/11 samt filler. Då stenmaterialet innehöll fukt torkades det före blandning i värmeskåp. När allt stenmaterial var torrt vägdes varje fraktion in och blandades efter recept. Innan stenmaterialet och bitumenet blandades

värmdes de upp i värmeskåp till 160° respektive 140°, detta görs för att bitumenet ska häfta bättre på stenmaterialet. När båda komponenter var varma hälldes de i asfaltsblandaren och blandades i cirka fem minuter eller tills alla stenar var helt täckta av bitumen, detta gjordes i två omgångar då asfaltsblandarens kapacitet var mindre än de cirka tio kilo asfaltmassa som behövdes till provkropparna. De två asfaltmassorna värmdes sedan upp till 140° och blandades därefter till en homogen massa vid en arbetsbänk. Till de provkropparna som skulle testas för vattenkänslighet vägdes sex stycken massor upp som vägde cirka 1135 gram (mellan 1126 - 1147 gram) och till de som skulle testas i prall-maskin vägdes två massor som vägde cirka 1330 gram upp. De viktade massorna lades i asfaltsskopor och placerades än en gång i värmeskåp för att få rätt temperatur (140°) innan de placerades i marshallstampen. När en massa uppnått 140° hälldes denna ner i en form som sedan placerades i marshallstampen. Stampen slår 50 slag, sedan plockas formen ut och den halvfärdiga provkroppen vänds upp och ner och placeras sedan tillbaka i stampen vilken då slår 50 slag till. Provkropparna får sedan vila tills de är rumstemperatur.



Figur 3.1: Marshallstampen som användes vid tillverkning av provkroppar

För de tester som skulle utföras på provkropparna (nötningsbeständighet och vattenkänslighet) krävdes två respektive sex provkroppar per massa, totalt gjordes därför 32 provkroppar. De provkroppar som testades för vattenkänslighet vägde mellan 1125 och 1147 gram medan de som gjordes för att testa deras nötningsbeständighet vägde cirka 1330 gram.



Figur 3.2: Färdig provkropp

Vid testerna av penetrationstal och mjukpunkt behövdes enbart bitumen med och utan ZycoTherm. Totalt gjordes det sex tester, två på penetrationstalet och fyra på mjukpunkt.

3.2.2 Prall-metod för att mäta nötningsbeständighet

Prall-metoden är en metod för att mäta slitstyrkan på asfaltsprov. Metoden kom ursprungligen från USA där gummikulor användes, till skillnad från de stålkulor som används idag, för att testa en asfaltsmassas vidhäftning. När metoden kom till Sverige på 80-talet (under namnet "FAS Metod 471") kunde stora likheter mellan slitaget som provkroppen utsätts för under prall-test och slitaget som uppstår på svenska vägar som trafikeras av hög andel fordon med dubbdäck noteras. Idag faller denna metod samt den finska metoden PWR- (SRK) under en europastandard med beteckningen SS-EN 12697-16. Metoden innebär att en provkropp sågas itu och dess vikt noteras sedan slår 40 stycken stålkulor ($\text{\O} = 12 \text{ mm}$) mot provkroppen med en frekvens på 950 ± 10 slag per minut under cirka 15 minuter. (Viman, 2001) Efter testet vägs provkroppen igen och slitagevärdet beräknas enligt formeln:

$$S = \frac{m_1 - m_2}{\gamma}$$

Ek.4

S = Slitagevärde, cm^3

m_1 = provkroppens vikt före provning, g

m_2 = provkroppens vikt efter provning, g

γ = skrymdensitet på provkroppen, $\frac{g}{cm^3}$

Slitagevärdet som beräknas delas in i en femgradig skala enligt tabellen.

Klass	Slitagevärde	Slitstyrka
1	<20	Mycket bra slitstyrka
2	20-29	Bra slitstyrka
3	30-39	Tillfredsställande slitstyrka
4	40-50	Mindre tillfredsställande slitstyrka
5	>50	Dålig slitstyrka

(Jacobson & Viman, 1998)



Figur 3.3: Sågad provkropp före prall-test



Figur 3.4: Provkropp i prall-maskin efter utfört test



Figur 3.5: Provkropp som har blivit utsatt för prall (OBS. inte en av våra provkroppar).

3.2.3 Vattenkänslighet

Testet för provkropparnas vattenkänslighet följde kraven ställda i TDOK 2017:0650, en skillnad var dock att trafikverkets dokument säger att tio provkroppar ska testas detta kändes överflödigt och därför testades endast sex. Proceduren som följdes innefattar att hälften av provkropparna (3) vattenmätas vid undertryck (6,7 kPa absoluttryck) och förvaras sedan i ett vattenbad med temperaturen 40 ± 1 °C i sju dygn. De andra tre provkropparna förvaras torrt under denna tid vid cirka 20-25 °C. Efter dessa sju dygn

tempereras alla 6 provkroppar till provningstemperaturen $10 \pm 0,5$ °C varefter draghållfastheten bestäms enligt metod SS-EN 12697-23. Draghållfastheten är den kraft provkroppen klarar av innan det blir brott och det bestäms med hjälp av en maskin som trycker på provkroppen tills det blir brott. Då draghållfastheten bestämts beräknas ett draghållfasthetsindex (ITSR - Indirect Tensile Strength Ratio) som är definierat som den procentuella skillnaden mellan draghållfastheten på det vattenmättade provet och det torrlagda provet. (Trafikverket, 2017)

3.2.4 Penetrationstal

Penetrationstal testats för att se hur styvt bitumenet är. För penetrationstestet hölls bitumen i en bägare som sedan lades ner i vattenbad med destillerat vatten som hade temperaturen 25°C, bägaren var i vattenbadet mellan 1,5 timme - 2 timmar. Därefter testas penetrationen med hjälp av nål och penetrationsmaskin, nålen som används vid penetrationstest har noga specificerad form och vikt ($100\text{g} \pm 0,05\text{ g}$). Penetrationstalet definieras utav hur djupt en nål kommer ner i bitumenet (25°C) under fem sekunder med hjälp av maskinen och beräknas i tiondels millimeter, om nålen sjunker tio millimeter har bitumenet alltså ett penetrationstal på 100. Totalt ska tre nålar penetreras för varje test.

3.2.5 Mjukpunkt

Bitumen har ingen smältpunkt därför används mjukpunkt för att beskriva när materialet går från viskoelastisk till viskös form. För att bestämma mjukpunkten används kula och ring metoden där destillerat vatten i en bägare sakta värms upp under omrörning med hjälp av mjukpunktsmaskinen. Två bitumenfyllda ringar läggs på en ställning som är 25mm ifrån bägarens botten och en kula läggs på vardera ring. Det destillerade vattnet, kulorna och ringarna har varit i kylskåp för att temperaturen ska vara 5°C. När vattnet når en viss temperatur kommer kulorna att sjunka ner med mjuka bitumenet och det är temperaturen när de träffar botten som är resultatet på mjukpunkten. Det används två ringar för att få ut ett medelvärde enligt "ring och kula metoden". (Swedish Standards Institute, 2015)

3.2.6 Enkätundersökning

Enkäten som delades ut kan ses som figur 3.1, de första fyra frågorna berör hur vädret och temperaturen varit på asfalten och de tre sista tar upp hur asfalten var att jobba med där ett kryss ska sättas längs en linje. Var krysset hamnar kommer sedan att ges ett numeriskt värde mellan 1-10 där 1 är längst till vänster (bra och lättarbetad massa) och 10 är längst till höger (dålig och svårarbetad massa). Resultaten kommer att delas upp i åtta olika kategorier, fyra för asfalt som är avsedd för toppskikt (ABS, ABT) och fyra för de massor

som är avsedda för de bitumenbundna bärlagren (AG, ABB). De fyra olika kategorierna är samma för båda typerna av massor och innefattar:

- Vanlig massa
- Massa med ZycoTherm
- “Green” massa med ZycoTherm
- “Green” massa utan ZycoTherm

“Green” innebär här en massa som tillverkats vid lägre temperatur än en vanlig massa, eftersom bitumenet inte har lika hög temperatur som i vanliga fall kan denna typen av massa vara något mer svårarbetad än en vanlig.

En sammanställning kommer även att göras baserat på vädret, samma skala kommer att användas där “krysset” som är satt får ett numeriskt värde mellan 1 och 10. Vid denna jämförelse kommer massorna inte att skiljas åt utan här kommer endast vädrets påverkan på hur svårarbetad massan upplevs att undersökas. Se figur 3.6 för enkäten som lämnades ut.

Namn	Lag	Datum
------	-----	-------

NCC Industry – Asfaltsmassor

Följesedelnummer: _____

1. Hur är vädret idag? (sätt kryss i en ruta)

Sol	Moln	Regn

2. Vilken temperatur har det varit under arbetets gång?

3. Vad är temperaturen på massan i flaket?

4. Vad är det för typ av asfaltsmassa som lagts?

Sätt ett kryss på linjen.

1. Hur lättarbetad har asfaltsmassan varit?
Lätt _____ Svår

2. Hur upplevs färdig struktur på ytan?
Jämn _____ Stenig

3. a) Hur upplevs packningen?
Bra _____ Dålig

b) Går skarvarna ihop? (Svara med text)

Figur 3.6: Enkäten som användes vid enkätundersökningen

4 Resultat

4.1 Nötningsbeständighet

Fyra test på nötningsbeständighet utfördes per asfaltsmassa, eftersom provkropparna sågas på mitten och båda sidor kan användas till testet behövdes endast åtta provkroppar framställas för testet (två per massa). De provkropparna som gjordes för att testa nötningsbeständigheten var den sjunde

samt åttonde provkroppen för varje asfaltmassa. Då de sågades på mitten gavs de namnen 7A, 7B, 8A och 8B och de redovisas så i diagrammen nedan. Resultaten som erhöles från testen redovisas i diagrammen 4.1 – 4.6 där resultaten först jämförs inom serien och ett medelvärde beräknas (vilket blir seriens “slitagevärde”) och sedan jämförs de fyra seriernas medelvärde med varandra. Notera att slitagevärdet är avrundat till närmaste heltal men värdena för de enskilda provkropparna redovisas med en decimal. Skrymdensiteten beräknades före testet utfördes och inom serierna är de väldigt lika men de skiljer sig något mellan serierna, se diagram 4.6 där densiteter redovisas.

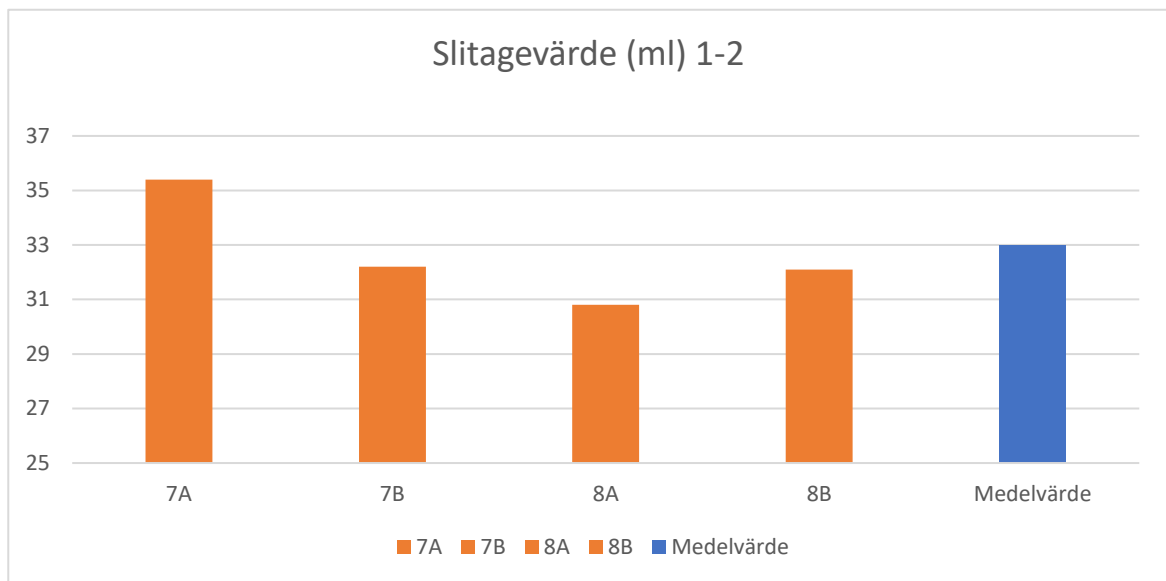


Diagram 4.1: Provkropparnas resultat nötningsbeständighet för massa 1-2 (Y-axel börjar på 25)

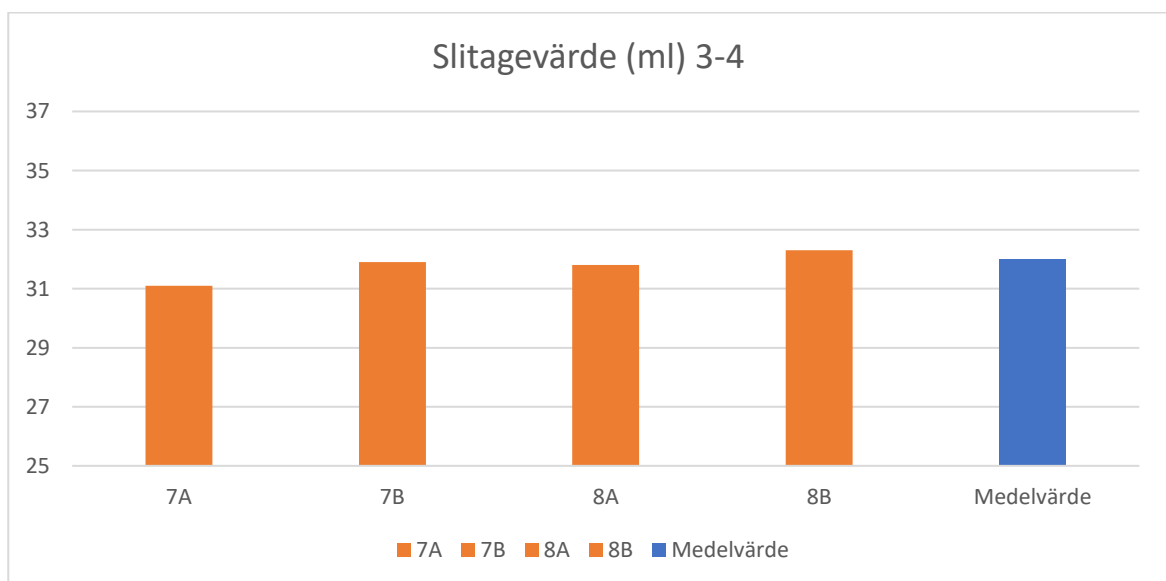


Diagram 4.2: Provkropparnas resultat nötningsbeständighet för massa 3-4 (Y-axel börjar på 25)

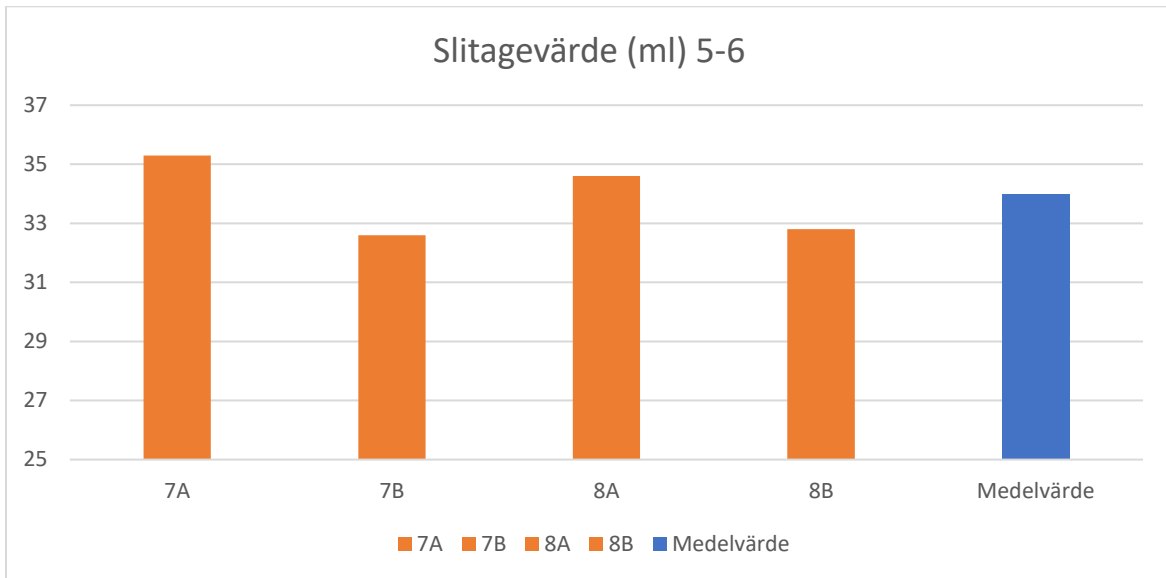


Diagram 4.3: Provkropparnas resultat nötningsbeständighet för massa 5-6 (Y-axel börjar på 25)

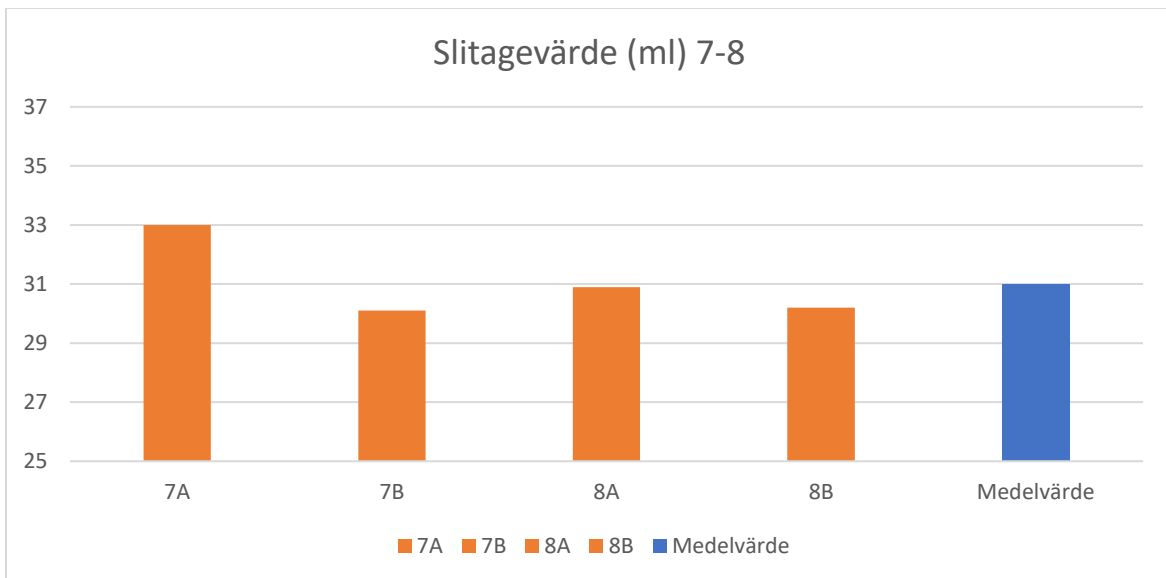


Diagram 4.4: Provkropparnas resultat nötningsbeständighet för massa 7-8 (Y-axel börjar på 25)

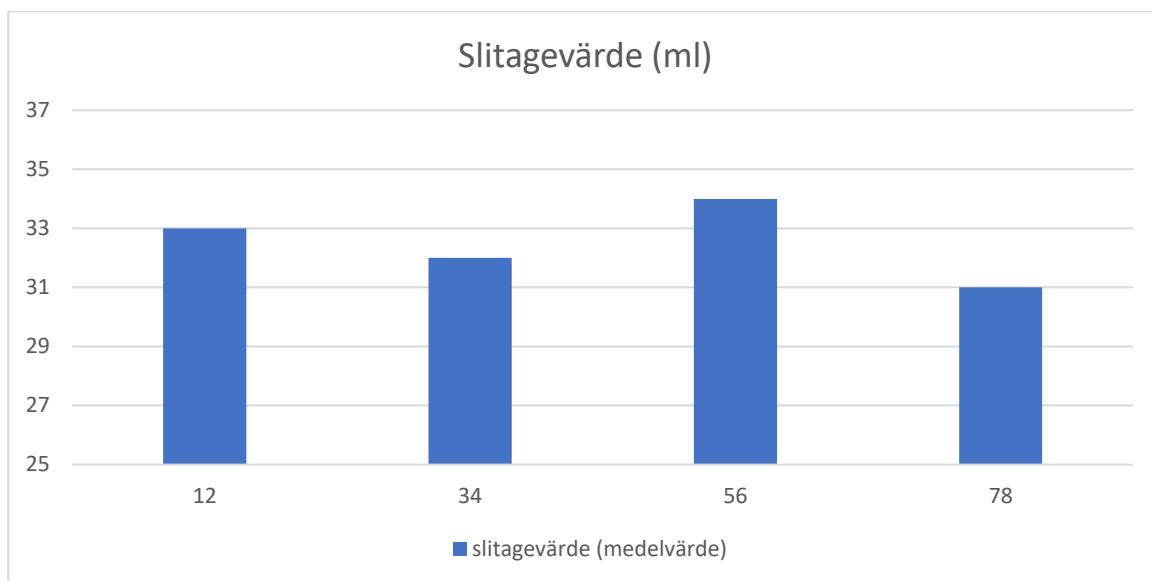


Diagram 4.5: Provkropparnas resultat nötningsbeständighet för medelvärdet på alla fyra massor (Y-axel börjar på 25)

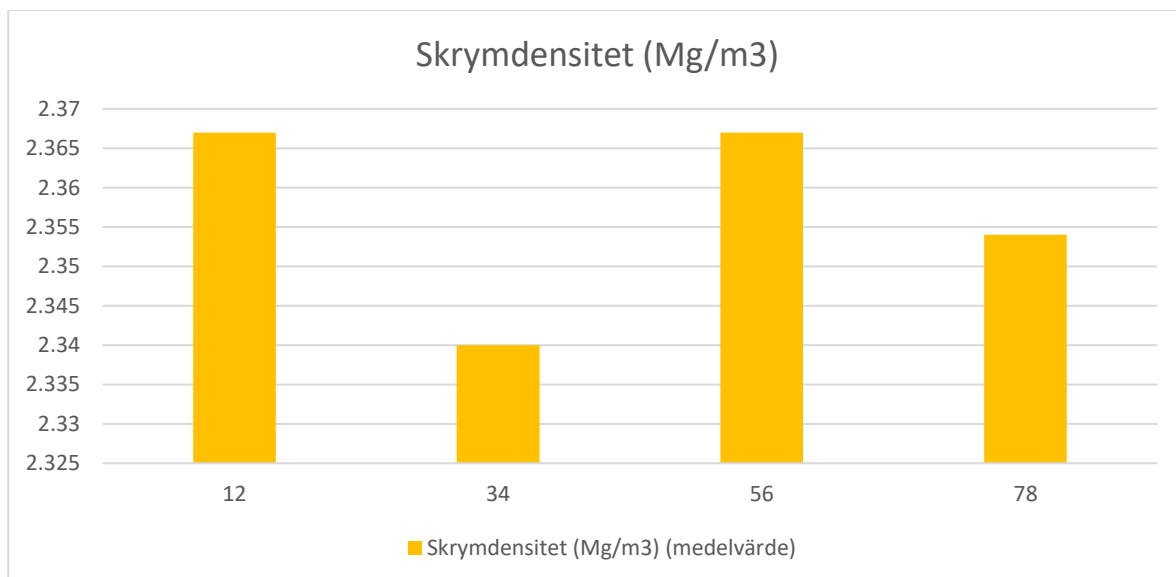


Diagram 4.6: Provkropparnas medelskrymdensitet för de fyra massorna (Y-axel börjar på 2,325)

4.2 Vattenkänslighet

Det är sex provkroppar i ett test, totalt utfördes det fyra tester vilket medför att det var totalt 24 provkroppar. Provkropparna är gjorda efter recept med de fyra olika massorna som beskrevs i början av kapitel 3.2 Metod. Testet visade draghållfastheten på provkropparna.

I det första testet på massa 1-2 fick de tre torra provkropparna ett medelvärde på 1710 kPa (1630, 1820 och 1690) och de tre provkropparna som varit i vattenbad låg medelvärdet på 1580 kPa (1600, 1520 och 1610).

Draghållfasthetindex låg på 92%. Se diagram 4.7 för resultat på draghållfastheten.

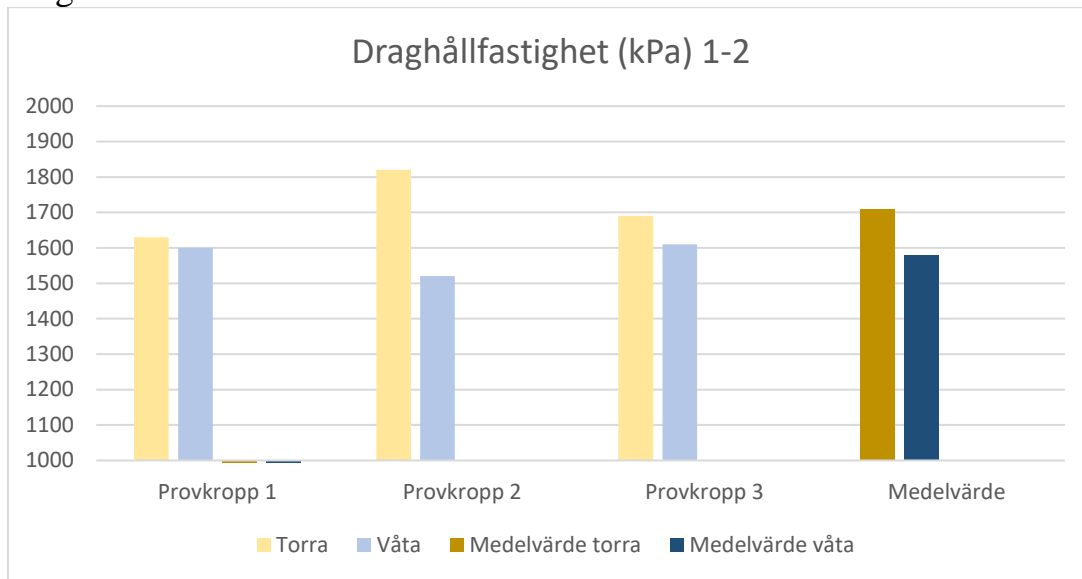


Diagram 4.7 Resultat på draghållfastheten på massa 1-2. (Y-axel börjar på 1000)

Det andra testet på massa 3-4 asfalt blev det ett lägre medelvärde för både de torra och de i vattenbad. Medelvärdet låg på 1270 kPa (1290, 1310 och 1200) respektive 1150 (1170, 1180 och 1100). Draghållfasthetindex låg på 91%. Se diagram 4.8 för resultat på draghållfastheten.

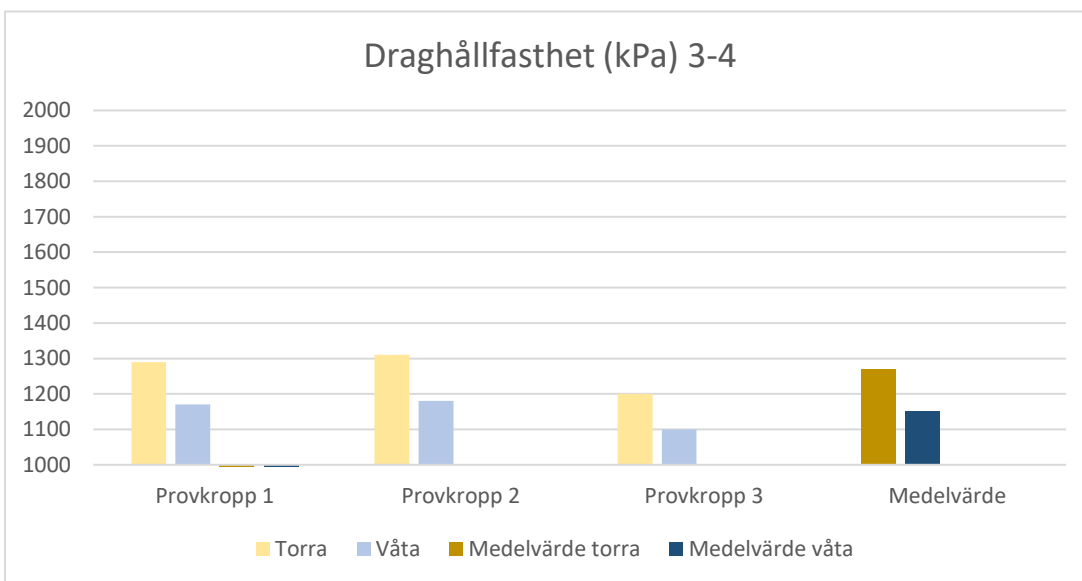


Diagram 4.8 Resultat på draghållfastheten på massa 3-4. (Y-axel börjar på 1000)

Det tredje testet på massa 5-6 fick ett högre medelvärde jämfört med de två testerna innan. Medelvärdet låg på 1830 kPa (1820, 1800 och 1880) för de torra provkropparna och 1730 kPa (1690, 1770 och 1720) för de våta.

Draghållfasthetindex låg på 95%. Se diagram 4.9 för resultat på draghållfastheten.

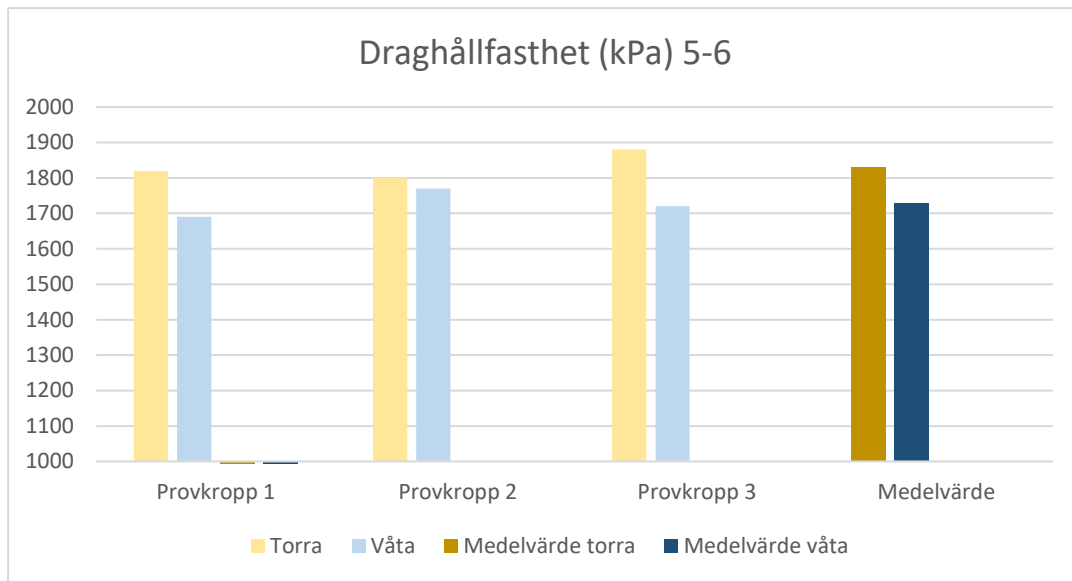


Diagram 4.9 Resultat på draghållfastheten på massa 5-6. (Y-axel börjar på 1000)

Det fjärde och sista testet på massa 7-8 fick liknande värden som det tredje testet men det var lite högre. På de torra provkropparna låg medelvärdet på 1860 kPa (1880, 1810 och 1890) och de våta provkropparna fick ett medelvärde på 1850 kPa (1850, 1830 och 1880). Draghållfasthetindex låg på 99%. Se diagram 4.10 för resultat på draghållfastheten.

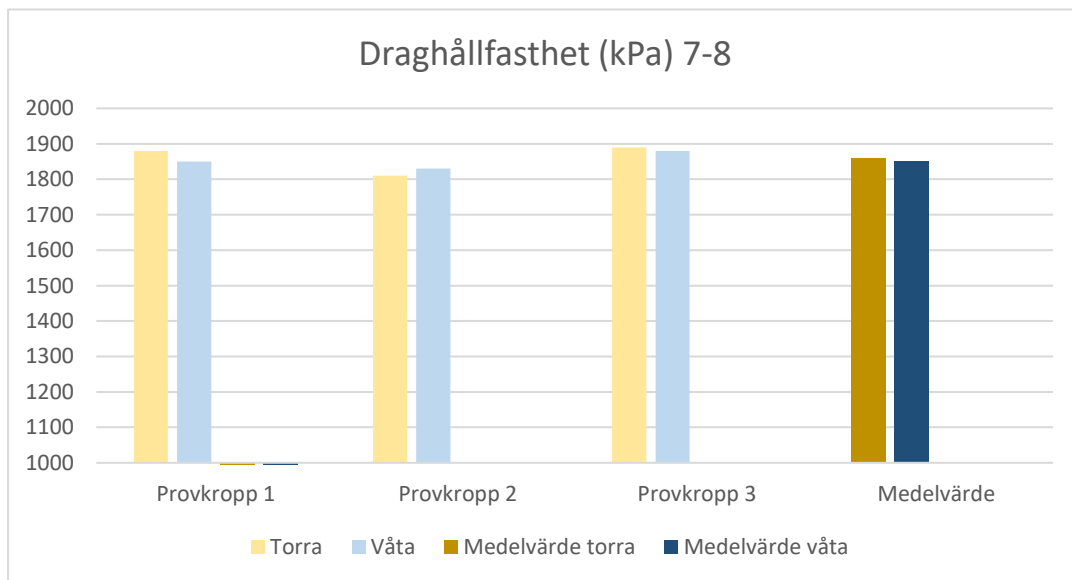


Diagram 4.10 Resultat på draghållfastheten på massa 7-8. (Y-axel börjar på 1000)

4.3 Penetrationstal

NCC:s asfaltlaboratorium i Södra Sandby hade redan gjort tester utan ZycoTherm, deras senaste resultat på typen 160/220 blev penetrationstalet 178. Istället för att göra ännu ett test utan ZycoTherm och få ut samma resultat så valde vi att använda oss utav deras resultat. Resultatet för bitumen med ZycoTherm inblandad fick medeltalet 172 där första nålen fick penetrationstalet 173, andra nålen 172 och sista 170. För att provet ska vara godkänt får avvikelserna endast vara sex enheter och i detta fall var det inom intervallet. Se diagram 4.11 för resultat på penetrationstalet med och utan ZycoTherm.

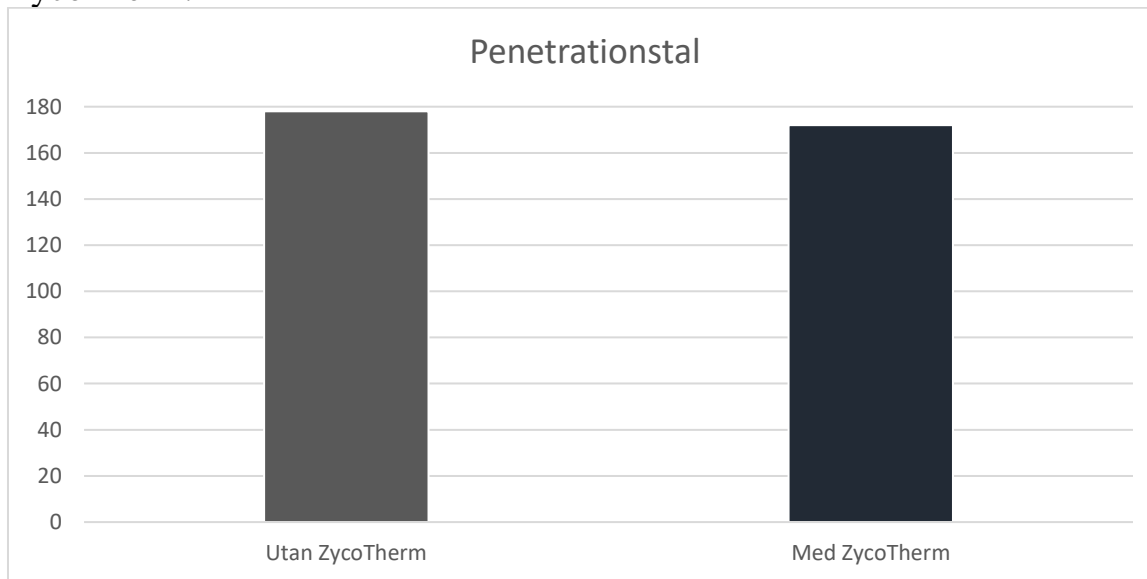


Diagram 4.11 Resultat på penetrationstal med och utan ZycoTherm. (Y-axel börjar på 169)

4.4 Mjukpunkt

Samma som penetrationstalet hade asfaltlaboratoriet redan gjort tester på mjukpunkten utan ZycoTherm och där deras senaste resultat blev 41,6°C. Två tester gjordes på mjukpunkt för att försäkra att resultaten inte hade alltför stora avvikelser. Första testet blev resultaten 42,2°C och 42,4°C när kulorna hamnade i bägarens botten. Det andra testet blev resultaten 41,7°C och 42,0°C. Medelvärde för första testet blir 42,3°C och för det andra 41,9°C, medelvärdet på medelvärdena blir därför 42,1°C. Se diagram 4.12 för resultat på mjukpunkten för bindemedel utan och med ZycoTherm.

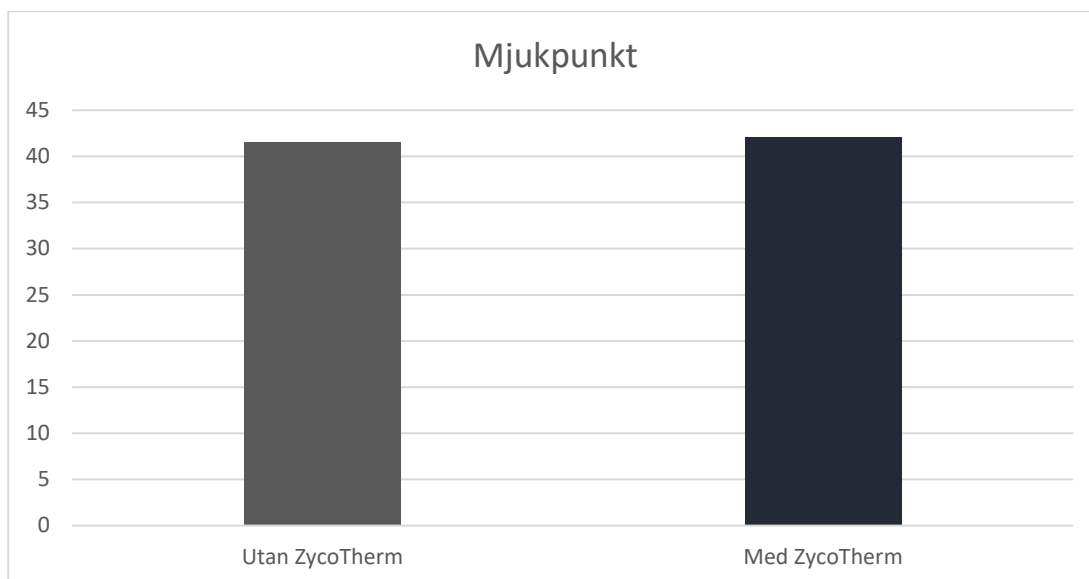


Diagram 4.13 Resultat på mjukpunkt med och utan ZycoTherm i bindemedel.

4.5 Enkätundersökning

4.5.1 Toppmassor (ABS, ABT)

60 enkäter användes för att sammanställa medelvärdet på hur lättarbetad massan var, strukturen på utlagd massa och packningen på utlagd massa. Sammanställningen redovisas i diagram i de fyra olika kategorierna.

- 23 enkäter för Vanlig massa (utan ZycoTherm och utan "Green")
- 1 enkät för massa utan ZycoTherm med "Green"
- 32 enkäter för massa med ZycoTherm utan "Green".
- 4 enkäter för massa med ZycoTherm med "Green"

Resultaten för de fyra olika typerna av massor redovisas i diagrammen 4.13-4.16. Man kan se att resultaten för de massor som har få enkäter knutna till sig (utan ZycoTherm med "Green" och med ZycoTherm med "Green") har fått resultat som ger mycket höga värden, först och främst på hur lättarbetad massan upplevdes. För de andra två massorna (Vanlig massa utan ZycoTherm utan "Green" och med ZycoTherm utan "Green"), där det finns större mängd underlag, är värdena mer lika men vissa olikheter kan noteras. Den "vanliga massan" utan ZycoTherm och utan "Green" har generellt lägst värden på alla tre olika kategorier och den som innehåller ZycoTherm utan "Green" har mellan ungefär 10-40% högre värden.

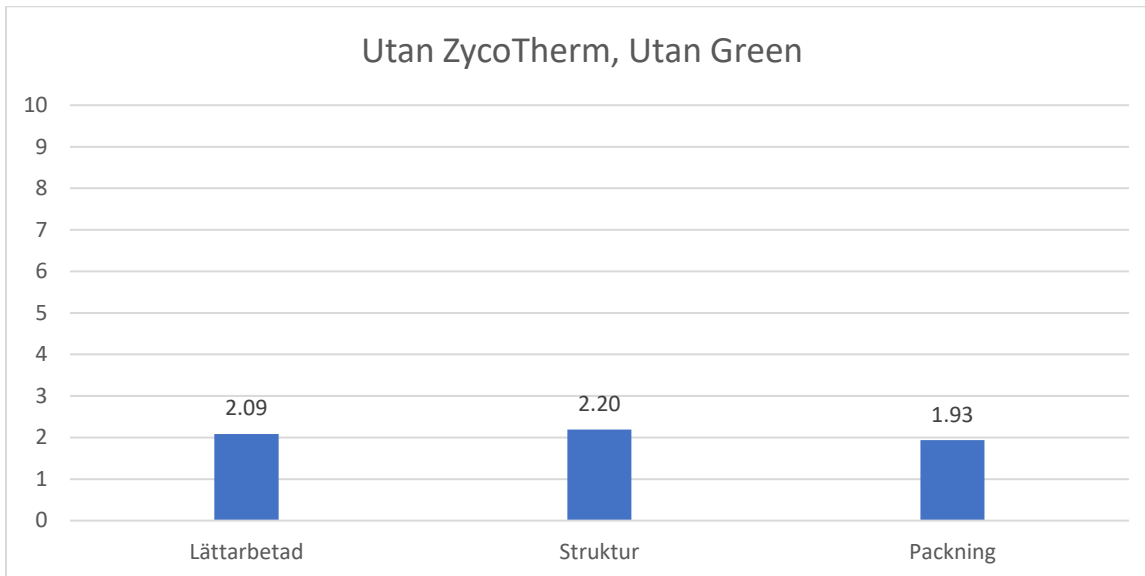


Diagram 4.13: Resultat enkätundersökning för massor utan ZycoTherm, utan "Green"

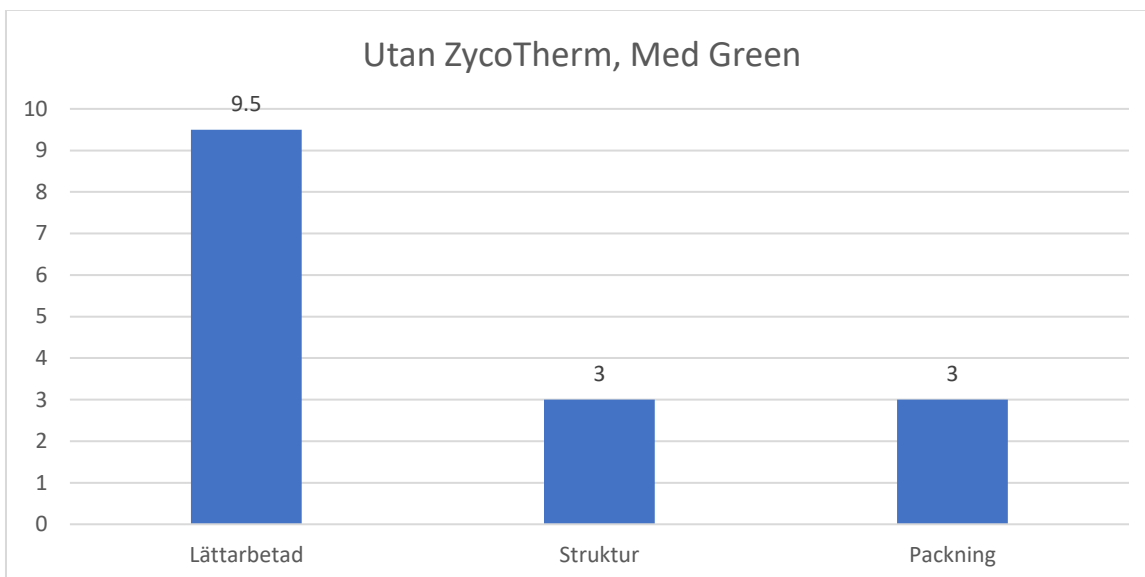


Diagram 4.14: Resultat enkätundersökning för massor utan ZycoTherm, med "Green". Få enkäter

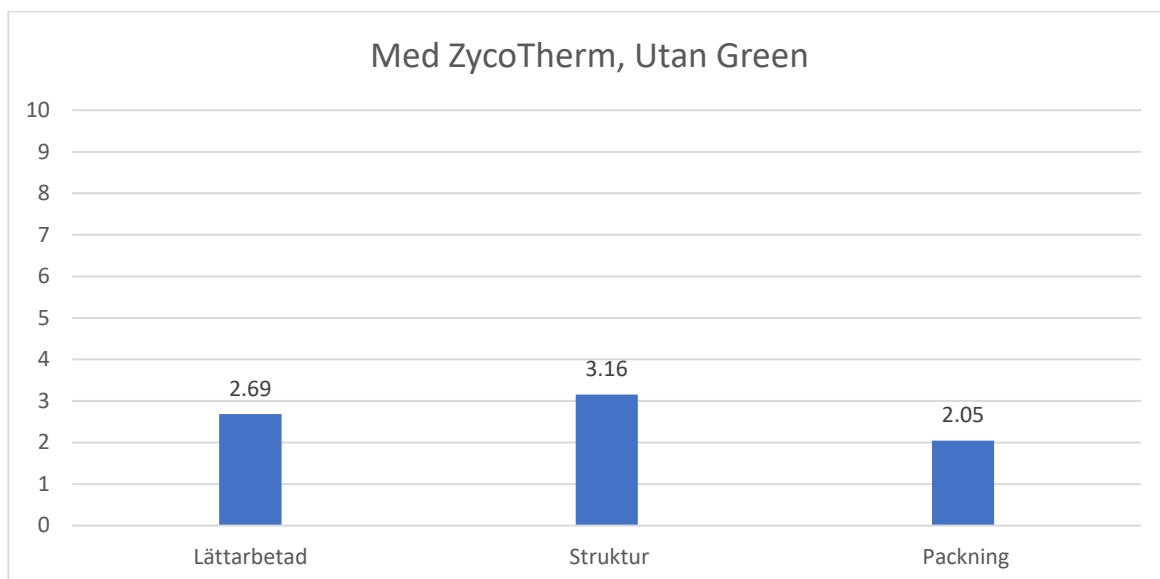


Diagram 4.15: Resultat enkätundersökning för massor med ZycoTherm, utan ”Green”

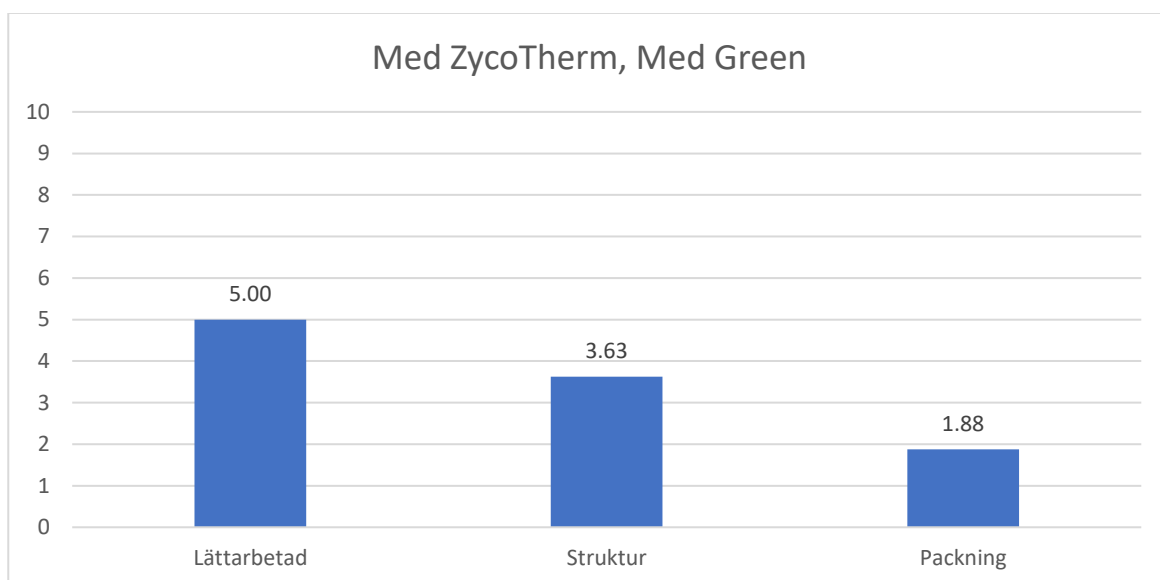


Diagram 4.16: Resultat enkätundersökning för massor med ZycoTherm, med ”Green”. Få enkäter

4.5.2 Massor för bärlager (AG, ABB)

22 enkäter användes för att sammanställa medelvärdet på hur lättarbetad massan var, strukturen på utlagd massa och packningen på utlagd massa. Sammanställningen redovisas i diagram i de fyra olika kategorierna.

- Fyra enkäter för Vanlig massa (utan ZycoTherm utan "Green")
- Sju enkäter för massa utan ZycoTherm med "Green"
- Fyra enkäter för massa med ZycoTherm utan "Green"
- Sju enkäter för massa med ZycoTherm med "Green"

Massorna utan ZycoTherm (Vanlig massa och "Green"massa utan ZycoTherm) hade liknande och relativt låga värden. Strukturen på den vanliga massan fick lägst resultat utav alla kategorier och packningen upplevdes som bäst när det var en "Green"massa utan ZycoTherm. Se diagram 4.17 och 4.18 där resultaten redovisas.

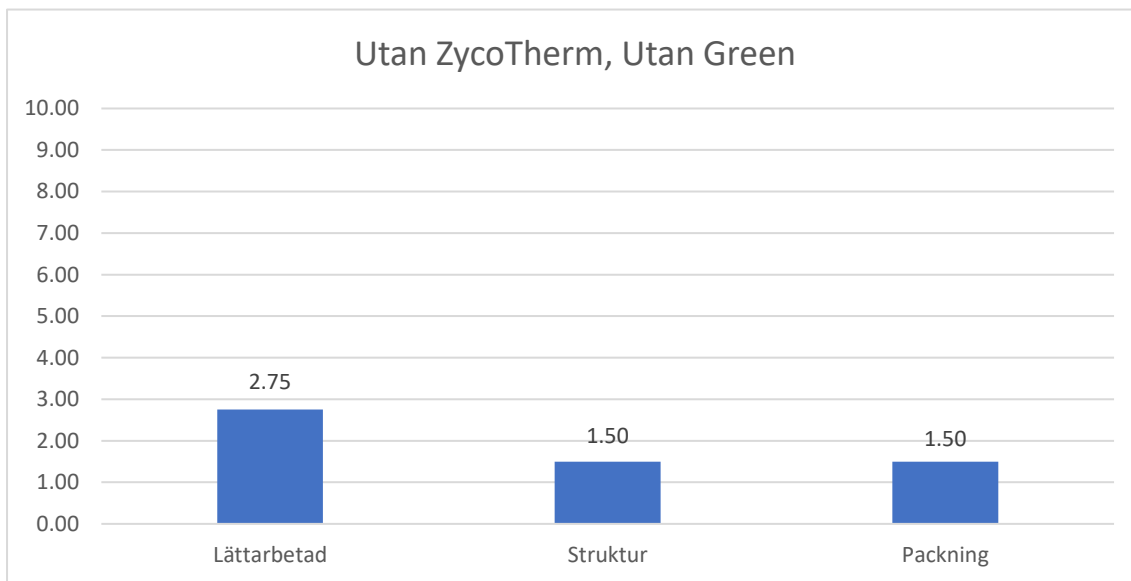


Diagram 4.17: Resultat enkätundersökning för massor utan ZycoTherm, utan "Green"

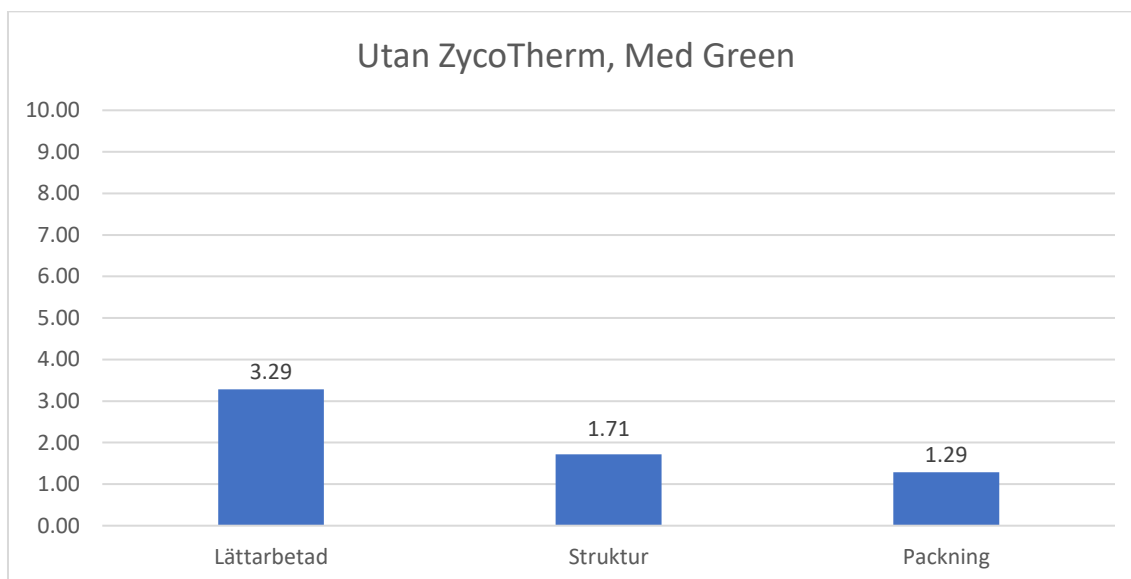


Diagram 4.18: Resultat enkätundersökning för massor utan ZycoTherm, med "Green"

De två andra massorna (massa med ZycoTherm och "Green" massa med ZycoTherm) hade varierande resultat jämfört med varandra. Resultaten för massa med ZycoTherm var den högsta av alla kategorier och för "Green" massa med ZycoTherm upplevdes massan som mest lättarbetad av alla kategorier. Se diagram 4.19 och 4.20 där resultaten redovisas.

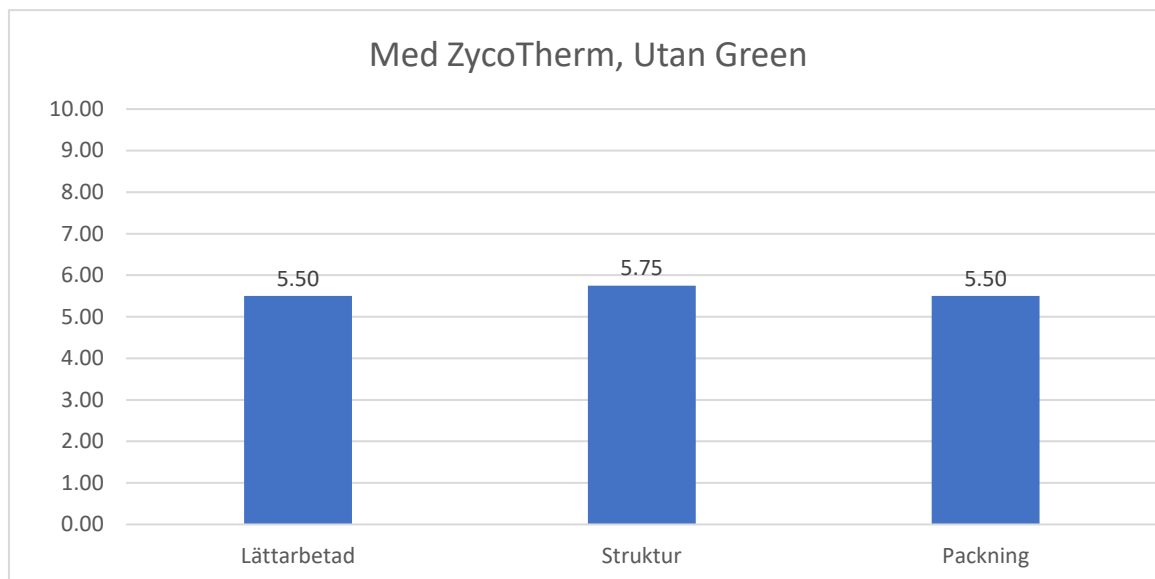


Diagram 4.19: Resultat enkätundersökning för massor med ZycoTherm, utan "Green"

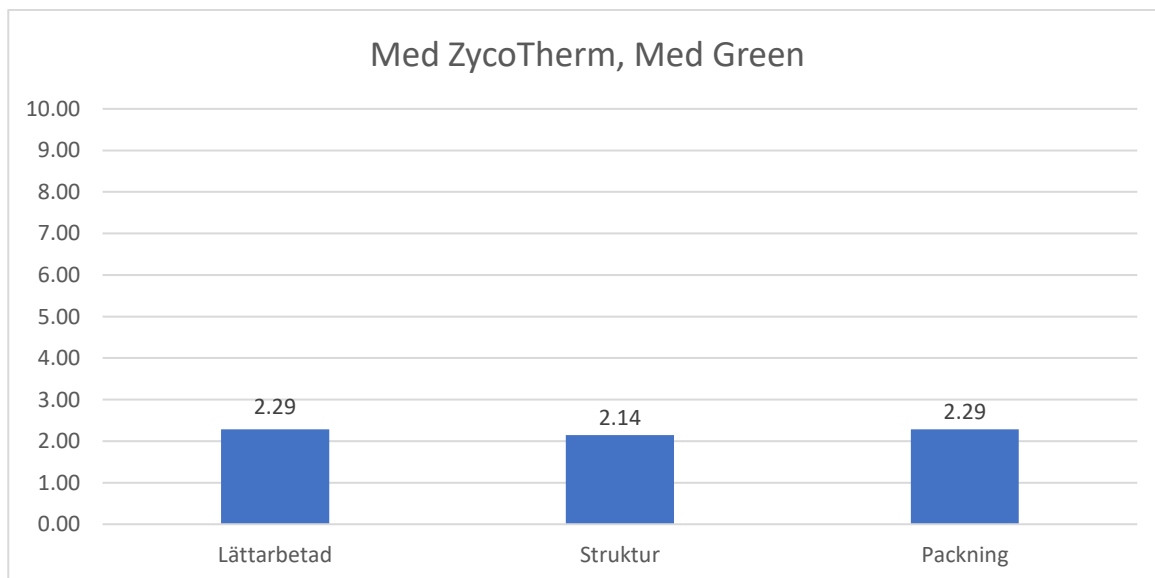


Diagram 4.20: Resultat enkätundersökning för massor med ZycoTherm, med "Green"

4.5.3 Resultat baserat på vädret

På 75 av enkäterna som lämnades in hade vilket väder det var den dagen fyllts i. Det var övervägande fint väder de under de två veckorna som undersökningen utfördes. På 55 av enkäterna som lämnades in var soligt väder ikryssat, 19 hade molnigt och endast en hade regnigt kryssat.

Resultaten som beräknades från enkäterna gav att massorna upplevdes som bäst under soliga förhållanden, de resultaten som gavs under molnigt väder var generellt cirka 25% högre på alla tre kategorier. Resultaten redovisas i diagrammen 4.21 - 4.22.

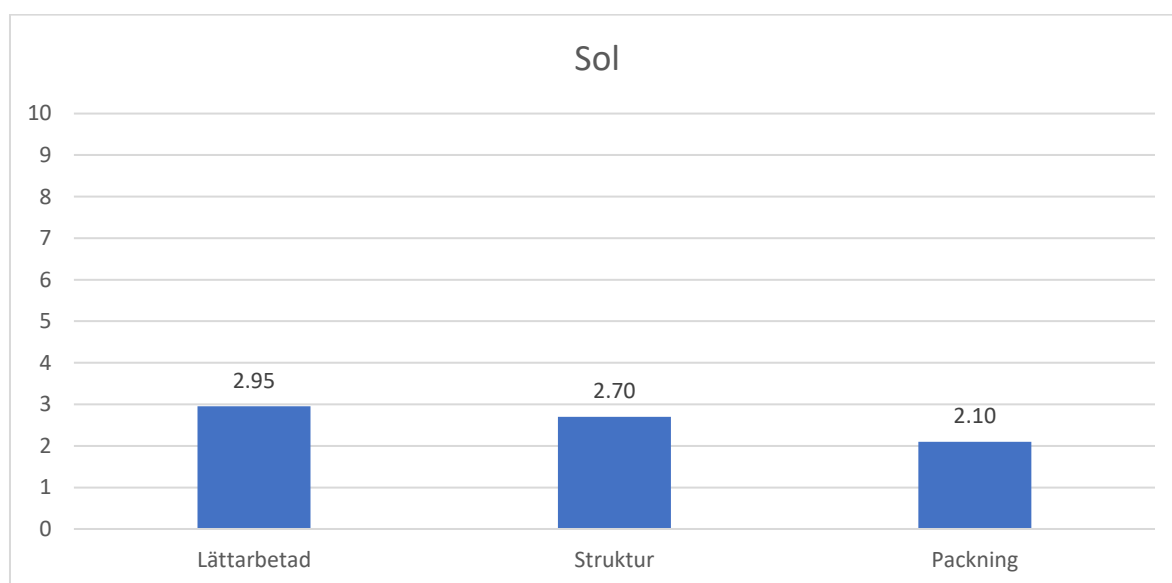


Diagram 4.21: Resultat enkätundersökning i soligt väder

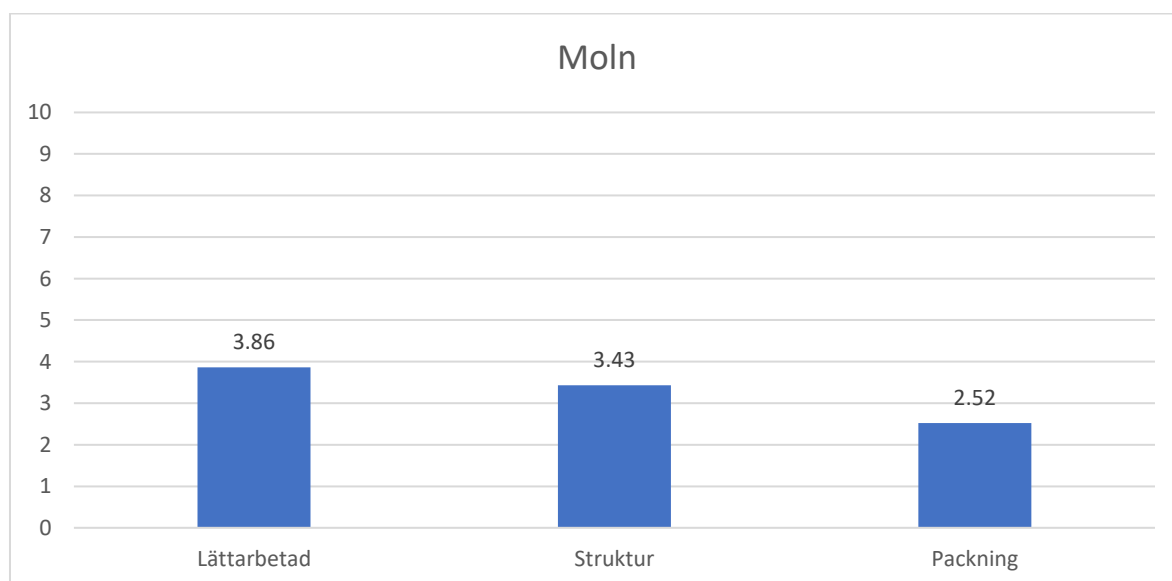


Diagram 4.22: Resultat enkätundersökning i molnigt väder

5 Diskussion

5.1 Metoddiskussion

5.1.1 Tillverkning av asfalt

Den utrustning som fanns tillgänglig för oss att använda vid tillverkning av asfaltmassorna ledde till vissa skillnader från hur massorna hade tillverkats på ett asfaltverk. Asfaltsblandaren vi använde hade till exempel en maxtemperatur på 80 °C vilket är påtagligt lägre än vad blandningstemperaturen hade varit om massan tillverkats vid ett asfaltverk. Stenmaterialet och bitumenet höll rätt temperatur då de blandades i blandaren men då temperaturen sjunker kan det leda till att bitumenet blir mer visköst vilket kan leda till sämre täckningsgrad av stenmaterialet. Uppvägning av stenmaterialen var väldigt precist till decimalen men för uppvägning av bindemedlet var det svårare att få det exakt. Alla massor fick därför lite mer bitumen än vad som var tänkt enligt recept. Det kan ha påverkat massorna men det var som sagt inte stora mängder vilket inte bör förändra massan så mycket.

Då endast bitumen med ZycoTherm tillverkas av NCC i Södra Sandby var det något svårt att få tag i bitumen utan tillsatsmedlet. Den bitumen som vi använder oss av var något äldre och därför kan dess egenskaper potentiellt vara påverkade.

Den ursprungliga tanken vid tillverkningen av de 4 olika asfaltmassorna var att göra massorna som inte innehöll ZycoTherm först, detta för att det inte skulle finnas några spår av bitumen med ZycoTherm i blandaren då massor utan ZycoTherm skulle tillverkas. På grund av att tillgången på bitumen utan ZycoTherm var begränsad blev det dock så att planen inte kunde följas och det finns förmodligen spår av ZycoTherm även i de massorna som inte ska ha det, det rör sig dock om mycket små mängder.

5.1.2 Nötningsbeständighet

Testet har utförts enligt SS-EN 12697-16 (prall) och inga avvikelser har noterats.

5.1.3 Vattenkänslighet

Då NCC:s anläggning i Södra Sandby saknade utrustning för att utföra test på vattenkänslighet skickades de provkropparna till deras anläggning i Halmstad där utrustning fanns.

5.1.4 Penetrationstal

Testet har utförts efter gällande standarder och inga avvikelser har noterats.

5.1.5 Mjukpunkt

Testet har utförts efter gällande standarder och inga avvikelser har noterats.

5.1.6 Enkätundersökning

Att få ett lyckat resultat från enkätundersökningen bygger först och främst på att de som fyller i den tar den på allvar och ger rimliga svar, det finns till exempel vissa enkäter där svar fyllts i utanför "linjen" som sedan gjordes om till ett numeriskt värde mellan 1-10, alltså en 11a. Att enkäten valdes att göras på det sätt som den är, där ett kryss ska sättas på en linje och inte att arbetarna själva får ge ett numeriskt värde, var för att motverka att de pratar med varandra och bestämmer sig för samma resultat. Det fanns även dokument som inte kunde tas med eftersom dessa inte kunde kopplas till något följesedelnummer och det beror på att arbetarna har glömt att skriva i numret.

5.2 Resultatdiskussion

5.2.1 Nötningsbeständighet

Som det framgår av resultaten i diagram 4.1 - 4.4 är slitagevärde för alla 4 massor mycket lika och det skiljer endast knappt 10% från det högsta till det lägsta värdet. Den massa som hade lägst slitagevärde, 31, (och därför slets minst av massorna) var massa 7-8, innehållande både ZycoTherm och asfaltgranulat. Den massa som fick högst värde var massa 5-6, 34, innehållande ZycoTherm utan asfaltgranulat. Den jämförelse som här känns mest rimlig att göra är att jämföra resultaten mellan massa 1-2 och 5-6 (massorna utan asfaltgranulat) och 3-4 med 7-8 (massorna med asfaltgranulat). I båda fallen fick massorna som innehöll ZycoTherm ett slitagevärde som var en enhet lägre än de massorna som inte innehöll tillsatsmedlet. Eftersom slitagevärdena är så pass lika och endast fyra provkroppar per massa har testats kan inte en direkt slutsats dras ifall massorna som innehåller ZycoTherm är "bättre". Skillnaderna i resultatet kan vid dessa små avvikelser bero på tillfälligheter och hade testet upprepats hade resultatet kanske sett tvärtom ut.

5.2.2 Vattenkänslighet

Resultaten av testerna för vattenkänslighet för alla fyra massor var väldigt varierande. Massorna med ZycoTherm fick ett bättre resultat på draghållfastheten än massorna utan ZycoTherm. Den jämförelsen som gjordes var likadan som nötningsbeständighet där 1-2 jämfördes med 5-6 (massorna utan asfaltgranulat) och 3-4 med 7-8 (massorna med asfaltgranulat). Skillnaden på resultatet mellan massa 1-2 och 5-6 var inte stor, massan 5-6 som har tillsatsmedlet inblandad fick dock ett bättre resultat. För massorna

med returafalt fick 7-8 med ZycoTherm inblandad ett bättre resultat än 3-4 som var utan tillsatsmedlet. Skillnaden var väldigt stor och det kan säkert bero på att ZycoTherm gör att det åldrande bindemedlet i granulatet återskapas till viss del sina egenskaper som det hade vid början av dimensioneringstiden. Orsaken till att 3-4 fick ett lågt värde kan bero på det åldrande bindemedlet i granulatet som har fått försämrade egenskaper under den tid den har varit ute på vägen. En intressant jämförelse som kan göras är att draghållfastheten för massa 7-8 (med granulat, med ZycoTherm) blev bättre än för massa 1-2 (vanlig massa), detta betyder att asfaltens draghållfasthet inte försämras i massor som innehåller asfaltgranulat när tillsatsmedlet blandas i. Detta medför att användning av returafalt kan ökas om inblandning med tillsatsmedlet sker, det betyder att jungfruligt material (sten och bitumen) kan minskas.

Draghållfasthetindex visade även högre värden för massorna med ZycoTherm än de utan ZycoTherm. Detta tyder på att vidhäftningen blir bättre och att inte lika mycket vatten kan tränga sig in i provkroppen när tillsatsmedlet är inblandat. Resultaten från detta test visade att asfaltmassor med ZycoTherm fick bättre värden än asfaltmassor utan ZycoTherm vilket gör att tillsatsmedlet har en positiv effekt på vidhäftningen enligt detta test.

5.2.3 Penetrationstal

Skillnaden på resultaten mellan bindemedlet utan ZycoTherm och med ZycoTherm är på 6 enheter vilket inte är mycket. Enligt testet gör ZycoTherm att bindemedlet blir lite hårdare eftersom det fick ett lägre resultat. Det går dock inte att bevisa att tillsatsmedlet förändrar bindemedlet eftersom det inte skiljde sig så mycket i resultaten.

5.2.4 Mjukpunkt

Likadant som penetrationstalet var det inte stora skillnader i resultaten mellan bitumen utan ZycoTherm och med ZycoTherm. Bitumen med ZycoTherm behöver lite högre temperatur för att gå till viskös form. Det skiljer sig som sagt väldigt lite och går därför inte att säga om någon förändring sker med ZycoTherm.

5.2.5 Enkätundersökning

5.2.5.1 Toppmassor

Det var väldigt få toppmassor som tillverkades som "Green" asfalt och då underlaget är tunt kan ingen direkt slutsats dras rörande dessa massor. För vanligt tillverkade asfaltmassor kan man se att de som innehåller ZycoTherm upplevs något mer svårarbetade, den största skillnaden enligt enkätresultaten är på asfaltens struktur som upplevs som drygt 30% sämre i massor innehållande ZycoTherm. Detta är motsatsen till vad Zydex säger på sitt

informationsblad där de säger att ZycoTherm ska göra asfaltmassan mer lättarbetad. Eftersom arbetarna inte vet om vilken typ av asfalt det är dom lägger så tyder detta på att där finns någon form av sanning i de klagomål de fört fram och att det inte bara är fördomar.

5.2.5.2 Bärlager

Resultaten visade att "Green"massa med ZycoTherm var den massan som var lättast att arbeta med. Packning blev bäst i "Green"massa utan ZycoTherm och bäst struktur fick vanliga massan. Massan med ZycoTherm fick sämst resultat på alla tre kategorierna (lättarbetad, struktur och packning) det var dock bara fyra enkäter totalt som sammanställdes för denna massan. Det var som sagt inte många enkäter som sammanställdes för de bitumenbundna lagerna men det verkar som att med ZycoTherm blir massan svårarbetad, strukturen och packningen blir inte så bra enligt arbetarna. "Green"massa med ZycoTherm fick relativ jämna och låga värden vilket betyder att möjligheten för att använda sig av denna massa kan minska på miljöpåverkan och klagomål från arbetarna.

5.2.5.3 Resultat baserat på vädret

Resultaten baserat på vädret visar tydligt att utläggningen i helhet upplevs som sämre ju sämre vädret blir. Det finns endast ett resultat från när det var regnigt, vilket i och för sig är bra då utläggning i regn ger sämre kvalité på asfalten, på grund av detta kan ingen direkt slutsats dras. Skillnaderna mellan asfalten utlagd i soligt väder och i molnigt väder är påtaglig, mellan 15 och 25 % högre på de tre kategorierna. Detta kan bero på lägre temperaturer men kan också vara en mental aspekt då man blir mer motiverad i bra väder.

6 Slutsatser

I majoriteten av testerna som utfördes visade resultaten att tillsatsmedlet ZycoTherm inte hade någon nämnvärd effekt på bitumenet eller asfaltens egenskaper. Där var dock ett test som stack ut, vattenkänslighet. Resultatet som erhöles från vattenkänslighet visade inte bara bättre resultat för massor innehållande ZycoTherm utan även hur draghållfastheten blev bättre i en massa innehållande asfaltgranulat jämfört med en vanlig asfaltmassa utan granulat och utan tillsatsmedel. Detta har intressanta antydningar då andelen asfaltgranulat i praktiskt taget alla asfaltmassor kan ökas markant (förutsatt vidare utredning och säkerställning av tillsatsmedlets alla effekter). Varje år fräses gamla beläggningar upp i Sverige och stor del av den gamla asfalten används inte idag. Ifall retur-asfalt kan börja användas i större utsträckning kan dessa högar minska från år till år istället för att bara bli större. Vidare innebär det en ekonomisk och miljömässig vinst då mindre jungfruligt stenmaterial

och, till viss del även, bitumen behöver produceras, detta är speciellt viktigt då dessa resurser är ändliga.

Eftersom de massorna som undersöks i detta arbete alla är nytillverkade är det viktigt att om några år när dessa massor legat som asfaltsbeläggning testas igen för att se vilka långsiktiga effekter det får på asfalten.

Rörande enkätundersökningen verkar det finnas underlag som stödjer arbetarnas klagomål om att massorna blir mer svårarbetade om de innehåller ZycoTherm, motsatsen till vad företaget som tillverkar tillsatsmedlet säger. Enkäterna som var ifyllda för massor som ska användas som toppmassor visar genomgående att arbetarna tycker att de är sämre då de innehåller tillsatsmedlet, för de bitumenbundna lagrena är det inte lika tydligt men det verkar gå i samma riktning. Ifall detta beror på tillfälligheter eller ifall det bygger på något underliggande är svårt att säga. En slutsats som kan dras dock är att asfaltmassorna upplevs som sämre ju sämre vädret är vilket pekar på en mental aspekt då man, förmodligen, inte är på lika gott humör jämfört med när solen skiner.

6.1 Framtida studier

Som nämnt i slutsatsen genomfördes arbetet i laboratoriemiljö, detta betyder att vind, vatten och alla andra naturliga faktorer som asfaltsprocessen (från tillverkning till dimensioneringsperiodens slut) påverkas av inte tas med i laborationerna. De långsiktiga effekterna är fortfarande okända därför krävs det en längre studie för att fastställa om ZycoTherm påverkar asfaltens egenskaper. En studie som kan genomföras är att lägga två provsträckor där ena asfaltmassan är med ZycoTherm och den andra utan tillsatsmedlet, för att sedan jämföra dessa med varandra.

Det bitumentyp som användes i undersökningen var 160/220 därför skulle det vara intressant att studera ZycoTherm med andra bitumenstyper. Förändras resultaten eller kommer det vara oförändrat? Detsamma gäller för granulat, där man kan studera vidare på vad som händer när mer granulat blandas in i asfaltmassan.

7 Referenser

Agardh, S. & Parhamifar, E. (2012) Boken Vägbyggnad.

Amelian, S. Abtahi, S M. & Hejazi, S M. (2014) Construction and Building Materials 63.

Armboldt, U. Region Labchef på NCC väglab (2018) muntl. Intervju 2018-05-15

Aurell, O. & Olsson, G. (2015) Bitumen, en återvinningsbar produkt - Återvinning av åldrat bitumen med förnyngsmedel.

Cooper Research Technology Ltd. (2018) High quality, repeatable and reproducible machine, complies with EN 12697-16 A. Dual chambers for reduced variability.

<http://cooper.co.uk/wp-content/uploads/downloads/2013/08/Prall-Tester-Cooper.pdf>

FAS Asfaltboken (2002) Föreningen för asfaltbeläggningar i Sverige - FAS 2002.

Granhage, L (2009) Kompendium i vägbyggnad.

Hornwall, F & Jacobson, T (2000) Varm återvinning av asfaltbeläggning i verk.

Jacobson, T & Viman, L (1998) Modifiering av Prallmetoden och nordisk ringanalys. VTI notat 58-1998.

NCC (2018) Minska utsläppen med NCC Green Asphalt.

<https://www.ncc.se/globalassets/vart-erbjudande/greenasphalt.pdf>

Olsson, G. Platschef på NCC asfaltbeläggning (2018) muntl. Intervju 2018-05-03.

Pfeiffer, J P H & Van Doormaal, P M (1936) The rheological properties of asphaltic bitumens.

Read & Whiteoak (2003) The Shell Bitumen Handbook, fifth edition. Thomas Telford Publishing.

Robertson & Kesselheim (2016) Blinding as a Solution to Bias, first edition. Academic Press.

Rohith,N. & Ranjitha,J. (2013) A study on marshall stability properties of warm mix asphalt using zycotherm a chemical additive. International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT), 2278-0181.

Scholz, T.V (1995) Durability of Bituminous Paving Mixtures.

Shukir,A. & Bakalov,M. (2017) Förbättring av asfaltens konsistens med tillsatsmedel - Mätningar med rotationsviskosimeter på bitumen och asfaltbruk.

SpriderMaskiner AB (2018)

<http://www.sprider.se/bildgalleri/laggning-med-m-25/>

Svenska kommunförbundet (2004) På väg igen: vägen tillbaka för återvunnen asfalt.

Swedish Standards Institute (2015) Bitumen and bituminous binders - Determination of the softening point - Ring and Ball method. SS-EN 1427:2015

Trafikverket (2011) Trafikverkets tekniska krav Vägkonstruktion. TDOK 2011:264

Trafikverket (2017) Bestämning av vattenkänslighet genom pressdragprovning. TDOK 2017:0650

Tykesson, A. (2010) En effektivare asfaltprocess - Från tillverkning till utläggning.

Tyllgren, P. (2010) Föryngrad returafalt med miljöanpassande tillsatsmedel. Projektnummer SBUF 12230.

Viman, L (2001) Utveckling av Prallmetoden. VTI notat 22-2010

Vägverket (2004) Handbok för återvinning av asfalt. Borlänge: Vägverket Publikation 2004:91.

Vägverket Produktion (2018) Asfalterade vägar

<http://www.vagverketproduktion.se/asfalterade-vagar/>

Wirtgen Group (2018)

<https://www.wirtgen-group.com/sweden/sv/produkter/voegele/>