

Thesis 388

Fräsningens inverkan på en effektiv återvinning

”Cirkulär asfalt”

Viktor Larsson

Trafik och Väg
Institutionen för Teknik och Samhälle
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet



Copyright © Viktor Larsson

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5355)/1-97/2024
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet
Lund 2024

Examensarbete

CODEN: LUTVDG/(TVTT-5355)/1-97
/2024

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,
Institutionen för Teknik och samhälle,
Trafik och väg, 388

ISSN 1653-1922

Author: Viktor Larsson

Title: Fräsningens inverkan på en effektiv återvinning

English title: The impact of milling for efficient recycling

Language: Swedish

Year: 2024

Keywords: Återvinning; Asfalt; Fräsning; Krossning; Siktning; Miljö

Citation: Viktor Larsson, Fräsens påverkan för en effektiv återvinning. Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2024. Thesis. 388

Abstract:

The world needs to move to a circular economy and asphalt is a 100 percent recyclable product. Recycling begins when the pavement is milled or demolished. By doing this process in the best possible way, asphalt can be recycled more efficiently. The purpose of this study is to study what happens to the recycled asphalt when it is milled and which parameters that the asphalt milling machine can control to promote efficient recycling. The study will use climate calculations to highlight how the climate impact changes if the crushing process is cancelled and replaced by a screening machine, and what consequences this has. The methods used to answer the questions were laboratory tests, interview, climate calculations and a literature study. The results showed that the machine speed was the largest controlling factor for the amount of chunks, breakdown, and filler amount for the stone aggregate. A pattern found was that a lower pavement temperature during the milling process results in the recycled asphalt pavement being more finely distributed than in the summer. This was found when one of the milling operations was carried out a month later when the temperature was 10 degrees lower. It is important to understand that the screening machine will generally mean higher milling costs, but more environmentally friendly asphalt masses are achieved for a lower price. The higher milling costs are based on the fact that the screening machine requires higher requirements on the recycled asphalt pavement, which will usually mean a lower milling speed than normal. By replacing the crushing machine with a screening machine, the emission level is reduced by more than 99 percent, which is a step towards the climate goals.

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

Innehållsförteckning

Förord	I
Sammanfattning	II
Summary	III
Begreppslista	IV
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte & frågeställningar	2
1.3 Metodbeskrivning	2
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Rapportens disposition	3
2 Litteraturstudie	5
2.1 Väggkroppens två huvuddelar	5
2.1.1 Väggkroppens materiallager	6
2.2 Materialegenskaper	7
2.2.1 Bitumen	7
2.2.2 Föryngringsmedel för bitumen	9
2.2.3 Stenmaterial	9
2.2.4 Filler	10
2.3 Asfaltverk	11
2.4 Återvinning av asfalt	18
2.3.1 Fräsning	20
2.3.2 Krossning och siktning	21
2.5 Arbetssätt utomlands och tidigare utredningar	23
2.5.1 Tyskland jämfört med Sverige	23
2.5.2 En fullskalig studie om beläggningsfräsning	25
2.5.3 Hur variabiliteten i återvunnen asfalt minskas	28
2.6 Laboratoriemetoder	29
2.6.1 Kornstorleksfördelning	29

2.6.2 Bindemedelshalt med asfaltanalysator	29
3 Metod	31
3.1 Material	31
3.2 Laboratoriestudier	34
3.2.1 Laboratorieförsök	34
3.3 Kalkylator	35
3.4 Analysmetoder	38
3.5 Intervju	38
3.6 Klimatstudie	39
4 Resultat	41
4.2 Laborrietester och kalkylator	41
4.2.1 Index för respektive väg	41
4.2.2 Sammanställning	44
4.3 Intervju	45
4.4 Klimatberäkningar	48
5 Diskussion och slutsatser	49
5.1 Resultatdiskussion	49
5.1.1 Påverkan	50
5.1.2 Styrfaktorer	51
5.1.3 Klimatpåverkan	52
5.2 Metoddiskussion	53
5.2.1 Påverkan	53
5.2.2 Styrfaktorer	54
5.2.3 Klimatpåverkan	54
5.3 Slutsatser	55
6 Vidare studier	57
7 Referenslista	59
8 Bilagor	63
Bilaga 1 - Intervju	63
Bilaga 2 - Malörtsvägen	64
Bilaga 3 - Tommarpsvägen	69
Bilaga 4 - Ekevägen	75
Bilaga 5 - Klimatstudie	81

Förord

Som en avslutande del av Civilingenjörsutbildningen i väg- och vattenbyggnad vid Lunds Tekniska Högskola skrivs detta examensarbete. Studien har skrivits i samarbete med Skanska Industrial Solution. Projektiden och utförandet av studien har genomförts utifrån egen begäran, vilket har givit ett stort ansvar. Detta förtroende skall samtliga parter ha en eloge för.

Jag vill först och främst tacka Karl Negrell och Pajtim Sulejmani för ett stort engagemang och förtroende. Karl Negrell som är min tidigare kompanjon från högskoleingenjörsutbildning i byggt teknik, jobbar idag på Skanska Industrial Solution som projektingenjör i Syd. Negrell har hjälpt till med planering och samverkan för att få ihop det praktiska. Han har även givit goda förklaringar och åsikter om fräsning och återvinning i sin helhet. Pajtim Sulejmani som har varit min handledare i detta arbete, arbetar på Lunds Tekniska Högskola samt Malmö stad. Sulejmani har varit min och Karls handledare för vårt tidigare examensarbete som högskoleingenjörer. Sulejmani är alltid rak och ärlig om något är bra eller dåligt, vilket uppskattas av mig. Därav eftersökte jag Sulejmani återigen för detta examensarbete.

Martin Nilsson som arbetar på Skanskas laboratorium i Önnestad skall även ha ett stort tack och inte allra minst att jag fick sikta granulat med bindemedel i dina siktar. Nilsson har alltid ett glatt humör och kommer gärna med förklaringar om frågetecken uppstår. Ett återbesök på Bella's Place väntar.

Sist men inte minst skall även Anders Johansson, Richard Nilsson och Andreas Roslund tackas för mycket givande tankar och erfarenheter. Anders Johansson var min respondent för intervjun vilket verkligen uppskattades. Johansson var otroligt duktig i ämnet och tog verkligen sig tid att svara på mina frågor. Tack!

Slutligen vill jag tacka övrig personal inom Skanska Industrial Solution och Lunds universitet. Ingen nämnd ingen glömd.

Lund, januari 2024

Viktor Larsson

Sammanfattning

Klimatet på jorden blir allt varmare, vilket skapar stora konsekvenser som höjda havsnivåer, avsmältning av glaciärer och intensiva extremväder. Sättet som vi tidigare har konsumerat och producerat är inte längre hållbart för att bromsa klimatförändringarna som pågår. I Sverige tillverkas fem till sju miljoner ton asfalt per år och asfalt är ett exempel på en produkt som är 100 procent återvinningsbar men som inte nyttjas fullt ut. Hanteringen med återvinning börjar när asfalten skall tas bort från vägbanan, vilket verkställs genom fräsning eller rivning. I dagens läge finns endast ett fåtal studier som behandlar fräsningens effekter och konsekvenser på granulatet och returafalten. Genom att identifiera och fördjupa förståelsen för dessa effekter, kan hållbarare asfaltmassor tillverkas och ett steg mot klimatmålen kan tas.

Syftet med denna studie är att studera vad som förekommer med returafalten när den fräses samt studera vilka styrparametrar som asfaltfräsen kan påverka för att gynna en effektiv återvinning. Detta utförs för att asfaltåtervinning skall bli bättre genom att styra arbetet redan vid start, om denna process utförs på ett ogynnsamt tillvägagångssätt har de andra processerna en mindre betydande roll. Detta arbete skall med hjälp av klimatberäkningar belysa hur klimatpåverkan förändras om krossningsprocessen annulleras och ersätts med siktmaskin, samt vilka konsekvenser detta ger.

Metoden som användes för att besvara studiens frågeställningar var *laboratorietester*, *klimatberäkningar*, *litteraturstudie* samt en *intervju*. Sökmotorer som litteraturstudien främst grundar sig i är LUP student, Research Gate, Google, Ecoinvent samt Google Scholar.

Resultatet påvisade att faktorerna som kan styras över asfaltfräsen är fräsdjup, valshastighet, maskinhastighet och typ av fräständer, däremot är den viktigaste faktorn *maskinhastighet* enligt litteraturstudien och intervjun. En lägre maskinhastighet bidrar till färre asfaltkakor och ett mer finfördelat granulat med lägre andel filler. Laboratorietesterna påvisade att nedbrytningsindexet på fräsmassorna varierade mellan 25 och 30, vilket motsvarar en förändring på sex procent för stenaggregatet. Denna förändring begränsar inte återvinningshalten för en ny ABT 11 beläggning. De stenfraktionerna som bryts ned mest av fräsen är fraktionerna 0,5 – 5,6 mm, de större fraktionerna bryts inte ned i samma utsträckning. Ett mönster som påträffades under studien var att en lägre beläggningstemperatur under genomförd fräsning resulterar i att returafalten blir mer finfördelat, än jämförelsevis på sommaren. Detta påträffades då en av fräsningarna genomfördes en månad senare när temperaturen var 10 grader lägre. Det är viktigt att förstå att siktmaskinen i regel kommer innebära högre fräsningskostnader, men ger i gengäld en lägre klimatpåverkan och kostnad för att bearbeta returafalten till ett granulat som kan användas i nya asfaltbeläggningar. De högre fräsningskostnaderna grundar sig i att siktmaskin sätter högre krav på returmassorna, vilket i regel kommer innebära en lägre fräsningshastighet. Genom att ersätta krossmaskinen med en siktmaskin reduceras utsläppsnivån för denna process med minst 99 procent, vilket är ett kliv mot klimatmålen.

Summary

The Earth's climate is getting warmer and creating major consequences such as rising sea levels, melting glaciers and intense extreme weather events. The way we have consumed and produced in the past is no longer sustainable to slow down the ongoing climate change. Sweden produces five to seven million tons of asphalt per year and asphalt is an example of a product that is 100 percent recyclable but not fully used. Recycling begins when the asphalt is removed from the road surface, which is done by milling or demolition. At present, there are only a few studies dealing with the effects and consequences of milling on reclaimed asphalt pavement. By identifying and improving the understanding of these effects, more sustainable asphalt mixes can be produced and a step towards the climate goals can be taken.

The purpose of this study is to study what happens to the recycled asphalt when it is milled and to study which control parameters that the asphalt milling machine can affect in order to promote efficient recycling. This is done to improve asphalt recycling by controlling the work from the start, if this process is carried out in an inappropriate way, the other processes have a less significant role. With the help of climate calculations, this work will highlight how the climate impact changes if the crushing process is cancelled and replaced by a screening machine, and what consequences this has.

The method used to answer the study's questions was laboratory tests, climate calculations, literature study and an interview. Search engines that the literature study is mainly based on are LUP student, Research Gate, Google, Ecoinvent and Google Scholar.

The results showed that the factors that can be controlled on the milling machine are milling depth, rolling speed, machine speed and type of milling teeth, but the most important factor is machine speed according to the literature study and the interview study. A lower machine speed contributes to fewer asphalt chunks and a more finely distributed granulate with a lower filler proportion. The laboratory tests showed that the degradation index of the milling materials varied between 25 and 30, which represents a change of six percent for the stone aggregate. This change does not limit the recovery rate of a new ABT 11 coating. The 0.5 - 5.6 mm stone fractions are most affected by the milling; the larger fractions are not degraded to the same amount. A pattern found during the study was that a lower pavement temperature results in the recycled asphalt being more finely dispersed than in the summer. This was found when one of the milling operations was carried out a month later when the temperature was 10 degrees lower. It is important to realize that the screening machine will generally mean higher milling costs, but more environmentally friendly asphalt masses are obtained for a lower price. The higher milling costs are based on the fact that the screening machine places higher demands on the reclaimed asphalt pavement, which generally means a lower milling speed. By replacing the crushing machine with a screening machine, the emission level for this process is reduced by at least 99 percent, which is a step towards the climate goals.

Begreppslista

ABT 11	Tät asfaltbetong med största stenstorlek 11 mm.
Returasfalt	Mest förekommande ordet för obehandlade fräs- och rivningsmassor.
Granulat	Förädlad returasfalt, vanligen krossad eller siktad.
Fräsmassor	Beläggning som har blivit fräst av fräsmaskin.
Rivningsmassor	Beläggningen som blivit uppgrävd av grävmaskin.
Asfaltkaka	Orörd asfaltbeläggning i mindre delar.
Asfaltklump	Stenaggregat och bindemedel som har bundit ihop.
Filler	Finaste fraktionen i asfalt, vanligtvis <0,063 mm.
Bitumen	Bindemedlet i asfalten som binder ihop stenfraktionerna.
Kornfördelningskurva	Graf som visar passerad mängd stenaggregat genom respektive sikt i viktprocent.
Kulkvarnsvärde	Påvisar nötningsmotståndet på stenaggregatet, ett lägre värde är fördelaktigt.

1 Inledning

Inledningen presenterar studiens bakgrund, syfte och metod. Kapitlet avslutas därefter med att presentera avgränsningarna samt dispositionen över studien.

1.1 Bakgrund

Klimatet på jorden blir allt varmare, vilket skapar konsekvenser som höjda havsnivåer, avsmältning av glaciärer och intensiva extremväder. Sättet som vi tidigare har konsumerat och producerat är inte längre hållbart för att bromsa klimatförändringarna som pågår (WWF, 2023). En omställning till en cirkulär ekonomi krävs, då den linjära ekonomin inte längre är hållbar som visas i *Figur 1* (Naturskyddsföreningen, 2021). Det klimatpolitiska ramverket inbegriper fem etappmål och dessa skall nås mellan åren 2020–2045. Sveriges första etapp var att utsläppen bör vara 40 procent lägre år 2020 än år 1990, vilket endast var ett fåtal procent från att lyckas. I den andra etappen skall utsläppen ha minskat men minst 63 procent år 2030 jämfört med jämförelseåret 1990. I den tredje etappen skall utsläppen ha minskat 75 procent och år 2045 skall Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären. I den femte och sista etappen skall även växthusgasutsläppen från inrikes transporter minskas rejält (Sveriges miljömål, 2023).



Figur 1: Linjär- och cirkulär ekonomi (hållbara företagare, 2023).

I Sverige tillverkas fem till sju miljoner ton asfalt per år, vilket inte är anmärkningsvärt då en procent av Sveriges yta består av vägöverbyggnader. Totalt sett finns över 400 000 km vägar i Sverige, men samtliga vägar måste även underhållas med jämna mellanrum för att bibehålla ett brukbart skick. För det högttrafikerade vägnätet är livslängden på slitlagret 6–10 år, men i verkligheten går det oftast längre tid mellan underhållsåtgärderna (asfaltskolan, 2020).

Asfalt är en produkt som är 100 procent återvinningsbar men som inte nyttjas fullt ut. Det som i dagsläget begränsar återvinningen av asfalt är bristande kunskap, dess hantering, ekonomisk vinning samt verkens uppbyggnad (Olsson, 2019). Hanteringen börjar redan när asfalten skall tas bort från vägbanan, vilket verkställs genom fräsning eller rivning. Om denna process utförs på ett ogynnsamt tillvägagångssätt, har de andra processerna en mindre betydande roll då förutsättningarna inte finns med från start. I dagens läge finns endast ett fåtal studier som behandlar fräsningens effekter och konsekvenser på granulatet och returafalten. Genom att identifiera och fördjupa förståelsen för dessa effekter, kan ett steg tas för att nå klimatmålen.

1.2 Syfte & frågeställningar

Syftet med detta arbete är att studera vad som praktiskt händer med returafalten när den fräses och vilka styrparametrar som asfaltfräsen kan påverka för att gynna en effektiv återvinning. När en asfaltbeläggning fräses är målet att förändra materialet i minsta möjliga mån samt erhålla en liten andel klumpar av returafalten. Detta eftersträvas för att asfaltåtervinning skall vara effektiv redan från start. Att processa en redan god produkt, är enklare än att processa en sämre produkt. Det existerar få rapporter om fräsning i skrivande stund, vilket är bekymmersamt då återvinning är en betydelsefull process där all asfaltåtervinning börjar med hantering av den gamla beläggningen. Detta arbete skall med hjälp av klimatberäkningar belysa hur klimatpåverkan förändras om krossningsprocessen annulleras och ersätts med siktmaskin, samt vilka konsekvenser denna förändring för med sig.

Följande frågeställningar skall besvaras:

- Hur påverkas returafalten av asfaltfräsen?
- Vilka faktorer kan styras på och runt asfaltfräsen för att gynna en bättre återvinning?
- Hur påverkas klimatpåverkan om krossningsprocessen annulleras och ersätts med en siktmaskin?

1.3 Metodbeskrivning

Detta examensarbete syftar till att utföra *laborationstester*, *klimatstudie*, *litteraturstudie* samt en *intervju* för att ge möjlighet att kunna följa och förstå hur returafalten förändras under fräsningsförfarandet. Fräsmaskinens styrparametrar skall även granskas och associeras med behövligheten av en asfaltkross. Det som kommer att kontrolleras i laboratoriet är kornkurva och bitumenhalt, som därefter skall analyseras och tolkas med en färdigställd kalkyl. Intervjuns största fokus är att skapa en större förståelse för fräsmaskiner och arbetet runt om kring. Den utökade förståelsen skall uppnås med en respondent som besitter en längre erfarenhet inom ämnet.

Inledningen av examensarbetet bestod av en genomgripande litteraturstudie för att bygga en bred bas av kunskap om vägbyggnad, analysmetoder, fräsning och återvinning. De sökmotorer som litteraturstudien främst grundar sig i är *LUP student*, *Research Gate*, *Google*, *Ecoinvent* samt *Google Scholar*. Sökord som har använts vid litteratursökning är ”återvinning”, ”asfaltkross”, ”fräsning”, ”returasfalt”, ”miljö” med mera. Denna kunskap låg därefter som grund för att förstå resultaten från laborietesterna samt för att ge en betydelsefull diskussion.

1.4 Avgränsningar

Fräsningsstudien samt laborietesterna avgränsas till en ABT 11 liknande beläggning. Studien avgränsas även till fräsning på villagator och inga andra vägtyper behandlas i detta arbete för laborietester. Fräsningen avgränsas till en vals med diamanttänder, en fräsningshastighet och en fräsmaskin.

Klimatstudien avgränsas från klimatfaktorer som försurning och övergödning och behandlar endast klimatpåverkan med utsläppsfaktorerna koldioxid, metan och lustgas. Studien avgränsas även från klimatpåverkan från tillverkning, intervaller för reserv- och slitagedelar samt livslängd. Klimatpåverkan studeras endast under driftfasen för både kross- och siktmaskin.

Litteraturstudien kommer att fokusera på materialegenskaper, dess tillverknings- och återvinningsprocesser, fräsning, krossning samt laboriemetoder. Geografiskt kommer arbetet utföras på följande platser: Lunds tekniska högskola, Skanskas laboratorium i Önnestad samt asfaltverket i Dalby.

1.5 Rapportens disposition

Studien är indelad i sex kapitel, nedan följer en kortare beskrivning av dessa kapitel.

- Kap.1 *Inledning* - Initialt av rapporten redovisas bakgrund, syfte, frågeställningar samt avgränsningar.
- Kap. 2 *Litteraturstudie* - Sökning av vetenskapliga studier och nödvändig kunskap som relaterar till studien samlas. Litteraturstudien fungerar som ett underlag för efterföljande analyser i studien.
- Kap. 3 *Metod* - Genomgång av de delar som ligger till grund för studiens genomförandeprocess.
- Kap. 4 *Resultat* - I detta kapitel presenteras studiens resultat från laborietesterna, intervjun samt klimatberäkningarna.
- Kap. 5 *Diskussion och slutsatser* - Detta kapitel utvärderar och analyserar resultatet från föregående kapitel. Därefter avslutas kapitlet med slutsatser som avser att besvara frågeställningarna.
- Kap. 6 *Vidare studier* – Här ges relevanta rekommendationer och förslag för vidare studier inom ämnet.

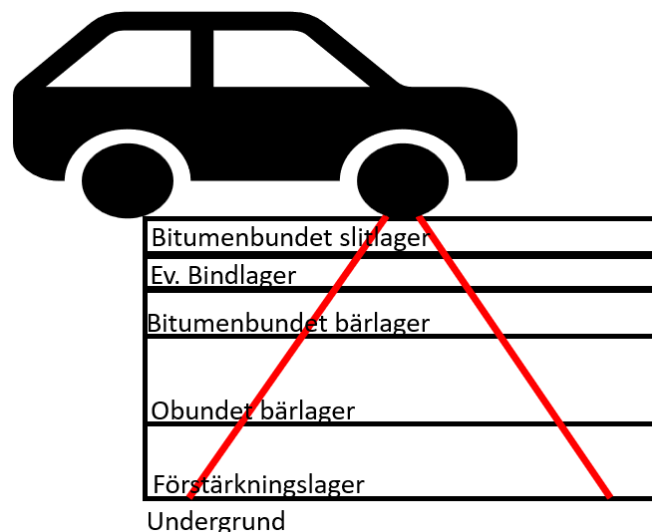
2 Litteraturstudie

Litteraturstudien syftar på att bygga en bred kunskapsgrund som anses vara väsentlig för att kunna förstå och bryta ner frågeställningen i relevanta delar. Det som bland annat kommer att presenteras i detta kapitel är vägkroppens uppbyggnad, materialegenskaper, fräsning, tidigare studier samt analysmetoder.

2.1 Vägkroppens två huvuddelar

Vägkroppen består av en överbyggnad och en underbyggnad. Överbyggnadens främsta uppgift är att fördela lasten för att underbyggnaden inte skall utsättas för högre last än vad den är dimensionerad för. Men överbyggnaden har ytterligare en viktig uppgift och det är att klara de krav på komfort och säkerhet som ställs (Agardh och Parhamifar, 2014).

De översta materiallagren är de som kommer att ta högst belastning och är därför en stor del av den totala investeringen av konstruktionen. Lastfördelningen är fördelad som *Figur 2* illustrerar, vilket resulterar i att de nedersta lagerna inte kräver lika hög bärlighet (Agardh och Parhamifar, 2014).



Figur 2: Bilden visar hur lasten fördelas ner i konstruktionen.

Vägöverbyggnader delas in i tre huvudgrupper, flexibla-, halvstyva- och styva överbyggnader. Huvudgrupperna kan därefter fördelas ner till diverse olika typer. De vanligaste överbyggnaderna i Sverige är grusbitumenöverbyggnad, betongbitumenöverbyggnad samt cementbitumenöverbyggnad som kan skådas i *Figur 3*. De två först nämnda är flexibla medan den sista nämnda är av en styvare karaktär (Agardh och Parhamifar, 2014).

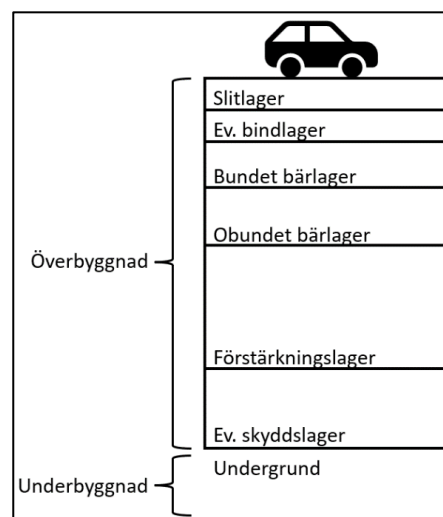
GBÖ	BBÖ	CBÖ
Slitlager 40 mm	Slitlager 40 mm	Slitlager av betong
Bitumenbundet bärlager: asfaltgrus	Bitumenbundet bärlager	Bitumenbundet bärlager 100 mm
Obundet bärlager av krossat material	Bitumenindränkt makadamlager 40 mm	Obundet bärlager 80 mm
Förstärkningslager av krossat eller okrossat material	Förstärkningslager av obunden bergkross 460 mm	Förstärkningslager 220 mm
Ev. skyddslager av okrossat material		Ev. skyddslager av okrossat material

Figur 3: De tre överbyggnaderna som är vanligast i Sverige (Agardh och Parhamifar, 2014).

2.1.1 Vägkroppens materiallager

Överbyggnaden består av flera olika lager där var och en har sin uppgift för att skapa en godtycklig konstruktion. GBÖ är den vanligast använda konstruktionen och består av följande lager som kan ses i *Figur 4*.

- *Bitumenbundet slitlager*: Är i regel en varmblandad asfaltmassa som har en tät konstruktion. En viktig funktion som detta lager har är att tillgodose en yta som är bekväm och säker att köra på.
- *Eventuellt bindlager*: Används främst på vägar där en hög andel tunga fordon framförs ($>250\text{ÅDT}_{k,tung}$) eller för att undvika bildning av reflektionssprickor.
- *Bitumenbundet bärlager*: Detta lager har som huvuduppgift att fördela trafikens belastningar till underliggande lager.



Figur 4: Överbyggnadens olika lager.

- *Obundet bärlager & förstärkningslager*: Först infinner sig ett obundet bärlager som följs av ett förstärkningslager. Dessa lager är belagda ovanpå terrassen och utformas med tvärfall som övriga konstruktion. Huvuduppgifterna för dessa lager är att fördela belastningen samt att transportera bort vatten effektivt från konstruktionen. Dessa lager har en grov kornstorlek i jämförelse med resten har konstruktionen (Agardh och Parhamifar, 2014).
- *Eventuellt skyddslager*: På finkorniga undergrunder tjänar detta lager som ett materialskiljande lager och förhindrar att undergrundsmaterial från att tränga upp i förstärkningslagret. I områden med mindre köldmängd kan en fiberduk användas som materialskiljande skikt i stället (asfaltboken, 2018).

2.2 Materialegenskaper

Asfaltmassa består till huvuddelen av stenaggregat från diverse olika stenfraktioner och fem till sex procent bindemedel. Bindemedlet är raffinerad råolja, som benämns som bitumen. I vissa fall kan andra tillsatser även användas för att ändra på slutproduktens egenskaper. Detta kan till exempel vara cement, fiber eller rejuvenator.

2.2.1 Bitumen

Termen bitumen härstammar från ett ämne som produceras genom destillation av råolja. Bitumens främsta och viktigaste egenskaper är vidhäftningsförmåga, motstånd mot vatten, resistens mot kemikalier och klimat (Investopedia, 2022). De tunga råoljorna består främst av bitumen medan de lättare råoljorna innehåller mer bränsle. De största oljeproducerande områdena i världen är Mellanöstern, USA, Ryssland och Nordsjön. Den totala utvinningen av råolja är mer än 3000 miljoner ton och tre procent av detta blir till bitumen (Redelius, 2020).

Fyra viktiga saker att veta om bitumen:

1. Bitumen produceras genom destillation av råolja.
2. Bitumen är känt för sina vattentäta och vidhäftande egenskaper.
3. Består av komplexa kolväten och innehåller element som kalcium, järn, svavel samt väte.
4. Bitumen priserna bestäms av den globala ekonomin, utbudet och efterfrågan av råolja (Investopedia, 2022).

Bitumen processas genom att råoljan hettas upp till 300–350 grader, den heta råoljan sprutas sedan in i destillationskolonnen. Kolonnen är ett torn som med jämna mellanrum är försedd med "golv" vars uppgift är att öka andelen kontaktyta mellan gas och vätska. Gaserna stiger uppåt medan vätskan sjunker, de tyngsta fraktionerna hamnar på botten av kolonnen och består av tyngre oljor samt bitumen. För att sedan få fram ett användbart bitumen måste denna process upprepas ytterligare en gång men då är det undertryck i kolonnen (Redelius, 2020).

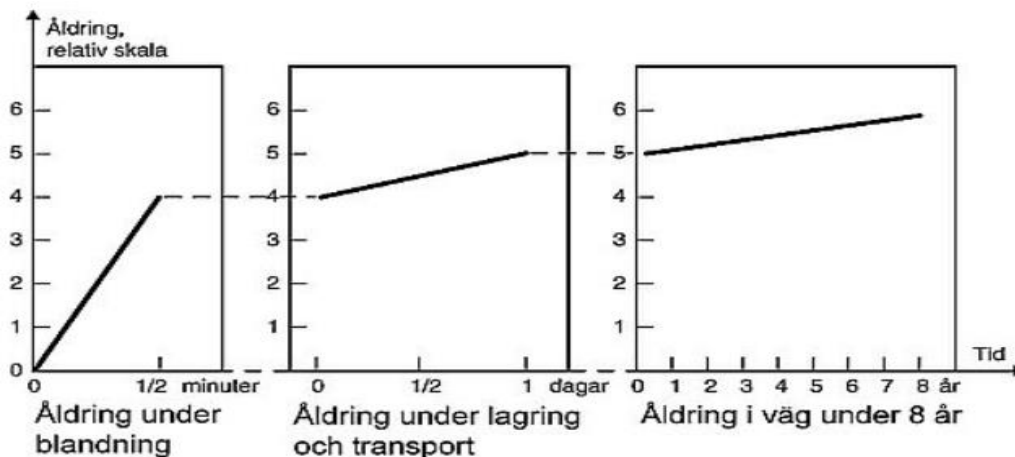
Bitumen består främst av högmolekylära kolväten och är en väldigt komplex kemisk sammansättning och därav görs en förenklad indelning av de två huvudsakliga kemiska grupperna det vill säga asfaltén och maltén. Maltén kan därefter delas upp till; mättade kolväten *Saturates*, aromatiska kolväten *Aromatics* och harts *resin*. Alla undergrupper av maltén är av lättflytande karaktär som lägger sig som en hinna runt de trögflytande asfalténerna (Scholz, 1995).

Temperaturer har en stor inverkan på bitumens konsistens. När temperaturer över 120 grader nås blir konsistensen flytande, vilket nyttjas när asfaltmassor tillverkas men vid vanlig rumstemperatur är konsistensen fast vilket kan tydas i *Figur 5*. Länder med högre medeltemperaturer än Sverige måste därav använda ett hårdare bitumen för att inte få plastiska deformationer. I länder med kallare klimat som resulterar i tjäle, används ett mjukare bitumen för att undvika sprickbildning (NVF, 2000).



Figur 5: Visar konsistensen av ett bitumen i rumstemperatur.

När bitumen åldras betyder det inte att den bokstavligen har blivit gammal utan att dess egenskaper som viskositet, penetration, styvhet med mera har försämrats. Oxidations effekten på bituminet är den mest påtagliga åldringsprocessen. Oxidationshastigheten bestäms framför allt av temperaturen och tiden. En tumregel för oxidationshastighet är att den fördubblas vid en temperaturökning av 10 grader. Därav är det viktigt att inte övervärma asfaltmassan under tillverkning för att motverka onödigt åldrande. Det är även viktigt att blandningstiden inte är längre än nödvändigt i tvångsblandaren, då luftens syre får fritt tillträde till bituminet. Oxidation fortsätter även under lagringstiden, när asfaltmassan fortfarande är varm och får tillträde till syre. Men det är lättare att begränsa lufttillträdet under lagringen, genom att hålla fickorna stängda. I *Figur 6* kan man tydligt avläsa att bituminet åldras fyra år i relativ skala på 30 sekunder, jämfört med ett år under åtta år på vägen. Oxidationen fortsätter även på vägen när asfaltmassan utsätts för syre och kalas då långtidsåldring, det är mestadels ytan som oxiderar om beläggningen inte har en väldigt öppen struktur (Redelius, u.å.).



Figur 6: En tydlig illustration i vilka processer bitumen föråldras som mest (Redelius, u.å.)

Den offentliga sektorn förfogar resterektioner gentemot en hög inblandning av återvunnen asfalt, då det finns en rädsla för konsekvenserna av åldrat bitumen. När bitumen åldras minskar dess elastiska förmåga som är viktig för att motverka sprickbildning samt deformationer (Zaumanis, et al., 2014). Enligt en enkätundersökning i Europa var bindemedlets åldrande en viktig fråga för asfaltproducenterna för hur stor andel återvinning som tillsätts (Re-Road, 2012).

2.2.2 Föryngringsmedel för bitumen

Föryngringsmedel används för att mjuka upp och föryngra bindemedlet i returafalten. Detta görs för att returafalten skall få tillbaka sina gamla egenskaper. Det finns två olika kategorier av föryngringsmedel, antingen är den mjukgörande eller så är föryngringsmedlet återställande. Den mjukgörande kategorin omfattar mjuka bitumensorter som ersätter maltén fraktionens funktion hos det föråldrade bituminet. Detta betyder att denna kategori endast kompenserar det föråldrade och hårda bituminet med ett mjukare. Detta är en av de vanligaste teknikerna för att föryngra bindemedel. Den andra kategorin som är återställande, återställer maltén fraktionens reologiska funktion i stället. Vilket leder till att det föråldrade bituminet återgår till sin ursprungliga form (Tyllgren, 2010).

2.2.3 Stenmaterial

Det finns två olika typer av stenmaterial, naturgrus eller sprängsten. Naturgrus är en ändlig resurs och har sämre hållfasthet än sprängsten, detta tillsammans med att Sverige har god tillgång till bergmaterial gör att naturgrus knappt används i Sverige. Naturgrus har även en mjukare form än vad sprängsten har, vilket kan ses i *Figur 7* (Agardh och Parhamifar, 2014).



Figur 7: Naturgrus till vänster och sprängsten till höger, en tydlig skillnad kan tydas med den rundare formen på naturgrus.

Stenmaterialet utgör huvuddelen av beläggningen och är därför en viktig faktor. För att frigöra stenmaterial från berget måste först berget frigöras från överliggande mark och växter. Detta görs genom avverkning, uppgrävning och borttagning av överliggande mark, vilket kallas avbaning. Tidsåtgången och energiförbrukningen för avbaning varierar beroende på bergets utformning och överliggande mark (Krouthén, 2017). Därefter utförs pallsprängningar som innebär att borring av stående hål och sprängning utförs, detta måste ske med god precision för att få ett bra styckefall. Därefter måste bergstyckena krossas och siktas till önskad fraktion (Höbeda, 2018).

I bitumenbundna lager brukar fraktioner under 32 mm användas. De allra minsta fraktionerna som är mindre än 0,074 mm benämns som filler. Filler har som huvuduppgift att fylla ut hålrum som uppkommer mellan de större fraktionerna samt att styva upp bindemedlet (Agardh och Parhamifar, 2014).

Det ställs väldigt höga krav på stenmaterialet vilket gör förädlingsprocessen krävande. Desto högre krav som ställs desto högre blir även kostanden för processen. Kvaliteten på stenmaterialet kan kontrolleras med flera olika prov, som till exempel flisighetsindex, kornstorleksfördelning och kulkvarnsvärde (Agardh och Parhamifar, 2014).

2.2.4 Filler

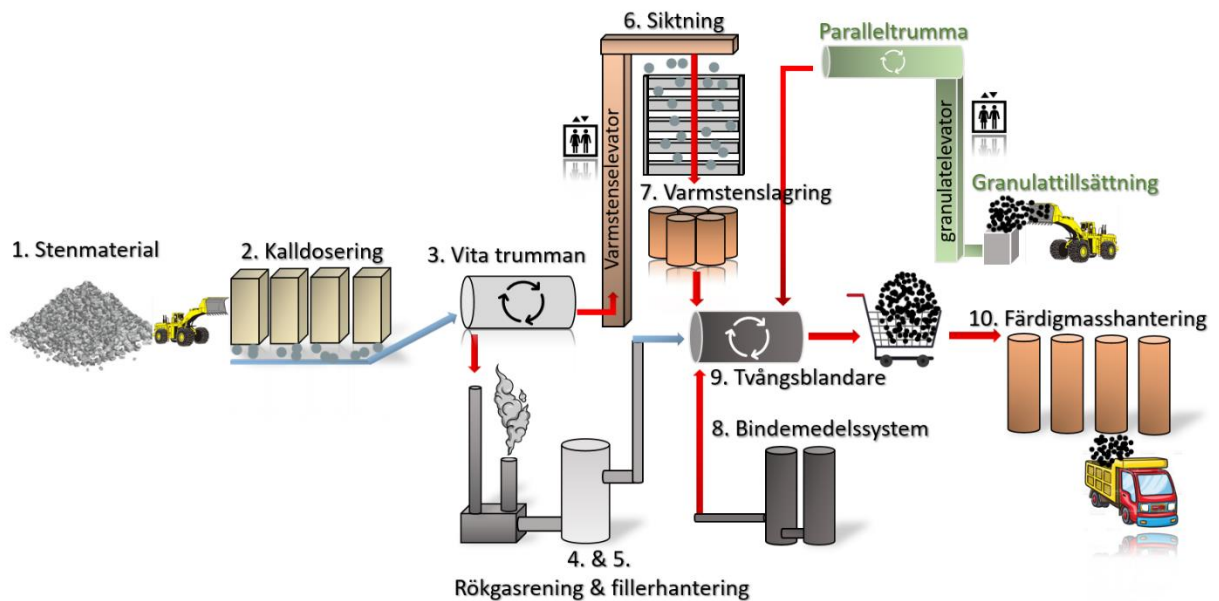
Alla stenfraktionerna innehar ett tunt lager kvartsdamm, som kallas filler. Filler är den del av asfaltmassan som är finare än 0,063 mm och fyller en viktig roll tillsammans med bitumen. Fillerns huvudsakliga uppgift tillsammans med bituminet är att fylla hålrummen som uppstår och binda samman fraktionerna. Hålrummen skapas mellan de större stenfraktionerna. Den goda hållfastheten och beständigheten kommer alltså från fillern och bituminet tillsammans, då fillern ökar viskositeten hos bituminet. Detta medför att fillern hjälper till att förstyyva, dryga ut och förbättra motståndskraften mot vatten för bituminet. Filler kan också användas för att öka stabiliteten hos den färdiga asfaltbeläggningen (Agardh & Parhamifar, 2014). En asfaltbeläggning utan filler får dåliga egenskaper, deformeras enkelt, är vatten- och sprickkänslig. Filler minskar även åldringen av bituminet, men för mycket filler bildar en beläggning som blir spröd, svårlagd med försämrad beständighet. Därför är det viktigt att följa arbetsreceptet med rätt mängd filler för den aktuella asfaltbeläggningen för bästa resultat (Höbeda, 1994).

Fillerhalten i de olika fraktionerna kan variera mellan 6–26 procent och fillerandelen i asfaltmassorna varierar mellan 2–13 procent beroende på recept. Varje asfaltmassa har ett recept, där andelen filler, stenfraktionerna och bindemedel anges. I torktrumman torkar materialet och desto närmre stenmaterialet kommer brännaren, uppstår en ridå av kvartsdamm i luften. Kvartsdammet suggs upp av ett undertryck från fillerfläkten och de större stenarna i torktrumman blir fria från kvartsdamm. I textilfiltret fastnar fillern som sedan lagras i silos och rätt mängd filler kan därefter doseras till tvångsblandaren (Johnsson & Långh, 2005).

2.3 Asfaltverk

I följande kapitel fördjupas kunskapen om samspelet mellan verkens olika komponenter och hur dessa fungerar. Det finns främst två typer av asfaltverk, kontinuerliga- och diskontinuerliga asfaltverk. I Sverige är det de diskontinuerliga verken som är vanligast förekommande och det är dem vi ska fördjupa oss i. Diskontinuerliga verk kallas också för satsblandningsverk, dessa verk tillverkar asfaltmassa i uppvägda satsar och är därför att föredra när flera olika asfaltmassor skall tillverkas under en mindre tidsperiod (asfaltboken, u.å.)

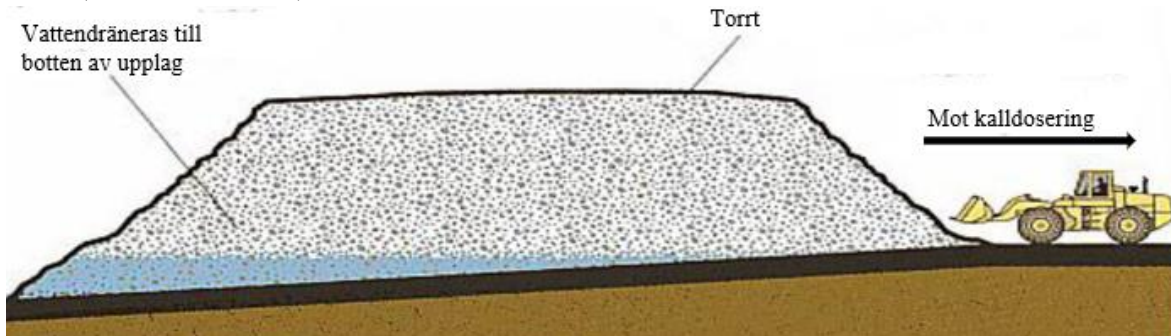
I *Figur 8* kan en enkel sammanfattning ses över asfaltverket. Första steget är att stenmaterial tillsätts (1) till respektive silos där det lagras (2) enligt fraktion och materialkvalité. Därefter värms stenmaterialet i den vita trumman (3), där rökgas och filler filtreras bort. Den rena rökgasen släpps ut och fillern lagras i silos för att sedan kunna brukas (4 & 5). Stenmaterialet från den vita trumman tar sig sedan upp via en elevator för att siktas (6) och lagras i varmstenslagringen (7). I tvångsblandaren (9) blandas samtliga komponenter, stenmaterial, filler, bitumen (8) och eventuellt granulat till den färdiga produkten. När tvångsblandaren har blandat klart tar "hunden" asfaltmassan vidare till isolerade lagringssilos (10) för att invänta tömning.



Figur 8: Översiktlig bild över asfaltverkets olika delar med paralletrumma.

- 1. Stenmaterialhantering

För att asfaltmassan skall ha förutsättningarna till att bli bra, krävs en god kvalitet för det ingående stenmaterialet. En asfaltmassa skall vara så homogen som möjligt och därav är det viktigt att ha få omlastningar då dessa bidrar till separation. Vid mellanlagringar bör stenmaterialet tippas i skikt i låga högar för att inte skarpa rasslänter bildas och bidrar till separation. En annan viktig faktor är att bibehålla stenmaterialet så torrt som möjligt då det åtgår mest energi för att förångna vattnet under hela asfalttillverkningen. Därav är det fördelaktigt att placera stenmaterialet i liten lutning, så att vattnet kan dränera som *Figur 9* visar (asfaltboken, u.å.).



Figur 9: Upplag (asfaltboken, u.å.)

- 2. Kalldosering

Kalldoseringens funktion är att dosera och proportionera stenmaterialet. Kalldoseringen består av "fickor" för respektive fraktion och materialkvalité av stenmaterialet. Denna eftersvärvas för att inte behöva tömma fickorna vid sortbyten, då detta är tidskrävande. Doseringen sker via en doseringsapparat placerad under bottenöppningen på respektive ficka/silo som kan ses i *Figur 10*. I de flesta fall är de konstruerade med ett kort reglerbart transportband som är utrustade med eller utan bandväg (Vägverket, 2004).



Figur 10: På bilden kan man se doseringsapparaten, det korta transportbandet samt det långa transportbandet som tar stenmaterial vidare till torktrumman.

Därefter förflyttas stenmaterialet från det korta transportbandet till ett längre transportband som tar det vidare till torktrumman, vilket kan tydas i *Figur 11*. Detta längre transportband är alltid försett med en bandvåg för att kunna läsa av mängden stenmaterial (asfaltboken, u.å.).



Figur 11: Slutet av transportbandet samt torktrumman kan ses på bilden.

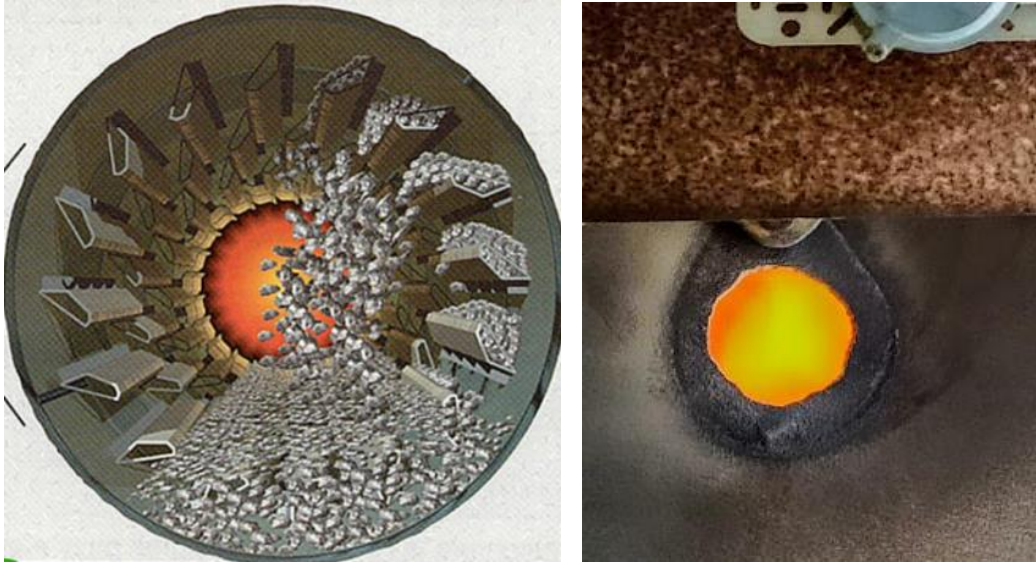
- 3. Torkning

När stenmaterialet har åkt hela vägen på transportbandet har det ankommit till torktrumman. I denna trumma torkas stenmaterialet upp genom upphettning till blandningstemperatur. Drivningen av denna trumma sker i de flesta fall av en kuggväxelmotor som är monterad direkt på bärrullarna, denna drivning kan ses i *Figur 12* (Vägverket, 2004).



Figur 12: På bilden kan man se torktrumman och drivkedjan på verket i Dalby.

Trumröret har en lutning mot brännaren på 4–6 grader och roterar 6–9 varv per minut. På insidan av trumman finns skovlar som har i uppgift att lyfta och fördela stenmaterialet. Den del som är belägen närmast brännaren kallas förbränningszon. Brännaren som ses i *Figur 13* drivs oftast av olja men gas kan också förekomma (asfaltboken, u.å.).



Figur 13: På bilden till vänster illustreras skovlarna och förbränningszonen och till höger en verklig bild från asfaltverket i Dalby på brännaren.

Inmatningen till torktrumman sker i motsatt sida av brännaren, vilket leder till att den varma rökgasen och stenmaterialet vandrar i motsatt riktningen, vilket kallas motströmsprincipen. Rökgasen sugas ut med hjälp av en fläkt där även finmaterial följer med. Denna princip används då den är effektivare och ger en lägre gastemperatur till textiltfiltret. När stenmaterialet vandrar mot brännaren når det till slut trummans utmatningssida. I trummans utmatningssida finns det i de flesta fall en elevator för att transportera stenmaterialet till utloppsrännan som sammankopplad med varm elevatorn (asfaltboken, u.å.).

- 4. Rökgasrening

Fläkten som suger ut rökgaserna samt finmaterialet ut torktrumman är placerad i en kanal med grovavskiljare samt filterhus. Fläkten är monterad med justerbar intagsöppning, som i sin tur påverkar gashastigheten och därmed storleken på partiklarna som åker med i rökgasen. Rökgaskanalen vid trumman är konstruerad med en vertikal huv med en stor area, detta för att större partiklar skall falla tillbaka ner i trumman. Arealen blir sedan mindre i rökgaskanalen för att återigen bli större vid grovavskiljaren där större partiklar skall falla ur rökgasen och tillbaka till varmelevatorn. När grovavskiljaren är passerad skall 80 procent av gasen innehålla partiklar som är mindre än 0,063 mm. Resterande partiklar som benämns som filler åker vidare och fastnar i textilfiltret och den reade gasen åker ut genom skorstenen, som ses i *Figur 14* (asfaltboken, u.å.).



Figur 14: Rökgasledning på asfaltverket i Dalby.

- 5. Fillerhantering

Allt filler som fastnar i filterhuset benämns som egenfiller. Detta system fungerar på så sätt att från textilfiltret matas filler ner i en sluss med roterande slussmatare vars huvuduppgift är att förhindra att luft sugas in. Transportskruvar flyttar sedan filler till lagringssilo, där de sedan kan användas. Det finns två olika system för egenfiller. I det simplaste systemet faller all filler ner direkt i en lagringssilo. I det mer komplicerade systemet finns det en mellanficka som enkelt sagt är ett kärl innan lagringssilon. Fördelen med detta är att man får färskfiller (asfaltboken, u.å.).

- 6. Siktning

I detta steg sorteras stenmaterialet upp i fraktioner. I satsblandningsverk fraktioneras de vanligast upp till fem till sex fraktioner. Detta görs med hjälp av vibrerande frivängande siktar av diverse olika typer. I ett satsblandningsverk fungerar oftast sikten som en kvalitetskontroll av den inmatade kornkurvan (asfaltboken, u.å.).

- 7. Varmstenslagring

Efter sikten lagras det siktade materialet i isolerade fickor. Det finns minst en varmvstensficka för respektive fraktion, detta har man för att lätt kunna byta mellan olika materialkvaliteter utan att behöva tömma fickorna. Det finns även något som heter bypass fickor det som faller ner i dessa är osiktat. Detta används främst vid stora tillverkningar där man är väldigt säker på stenmaterialets kornkurva (asfaltboken, u.å.).

- 8. Bindemedelssystem

Bindemedlet dvs bitumen lagras i isolerade tankar som oftast är stående som i *Figur 15*, detta möjliggör största möjliga lagringskapacitet på en mindre markyta. När bitumen värms upp oxideras det snabbt om syretillförseln är god, denna process reduceras vid stående tankar eftersom kontaktytan mellan bitumen och luft är mindre. Uppvärmningen av bindemedlet sker med hetoljesystem som använder oljebrännare eller så kan direktverkande elpatroner användas. För att sedan kunna dosera rätt mängd bindemedel till tvångsblandaren vägs bindemedlet i en vägningsstation påväg till blandaren. Doseringen kan också ske med en genomströmningsmätare direkt till spridarsystemet i tvångsblandaren (asfaltboken, u.å.).



Figur 15: Lagring av bindemedel på asfaltverket i Dalby.

- 9. Blandning

Alla asfaltverk är utrustade med separata vågar för stenmaterial, filler, bitumen samt tillsatsmedel detta för att matcha arbetsreceptet för den aktuella masssorten. I satsblandningsverk blandas alla vägda komponenter i en tvångsblandare under en förutbestämd tid. En tvångsblandare är uppbyggd med en kammare som har två roterande axlar som är försedda med ett antal blad. På botten av tvångsblandaren finns en lucka för att säkerhetsställa en effektiv tömning. Blandningstiden också kallat cykeltiden varierar beroende på asfaltmassa och asfaltverk. Cykeltiden är tiden det är mellan två öppningar av tömningsluckan (Vägverket, 2004). På moderna verk ligger cykeltiden på 45–55 sekunder. Utsidan tvångsblandaren kan ses i *Figur 16* (asfaltboken, u.å.).



Figur 16: Tvångsblandare i asfaltverket i Dalby.

- 10. Färdigmasshantering

När tömningsluckan öppnas faller den färdiga asfaltmassan ner i ett transportband som kallas "hundbana". Hundbanan består av ett kärl med hjul som åker på två parallella balkar, som kan ses i *Figur 17*. Detta kärl åker sedan ovanför de isolerade lagringsfickorna och töms i en förvald ficka (asfaltboken, u.å.). Undersidan av lagringsfickorna ses i *Figur 18*.



Figur 17: Hundbanan på väg tillbaka från lagringsfickorna.

Utformningen av dessa fickor är avgörande för att bibehålla en homogen asfaltmassa. De vanligaste problemen kring lagring brukar vara separation, sänkt temperatur och oxidation (asfaltboken, u.å.).



Figur 18: Upphämtning av asfaltmassa från de isolerade lagringsfickorna.

2.4 Återvinning av asfalt

Återvinning har en tung betydelse inom anläggningsbranschen idag och det beror till stor del av samhällets ökade miljömedvetande. Idag ställs miljökrav på all form av verksamhet. Detta har medfört att anläggningsbranschen har börjat att återvinna större mängder returafalt, som har resulterat i en positiv utveckling av metoder och utrustning. Men utvecklingen och metoderna kan bli ännu bättre, så att ännu större volymer returafalt kan användas.

- Borttagning

Det första steget inom återvinningsprocessen är borttagning av de önskade lagerna, som vanligtvis är slitlager. Detta moment är av stor betydelse för att möjliggöra en önskad återvinning. Därför bör det redan vid borttagningen vara planerat hur asfalten skall återvinnas för att optimera processen. Asfalt kan tas bort med två olika tekniker, fräsning respektive grävning som kan ses i *Figur 19*. Vid grävning river grävmaskinen upp asfaltkakor i den storlek som ämnar sig för efterbehandlingen. Fräsning är ett kostnadseffektivt arbetssätt, där profilhöjden behålls och trafikstörningar blir relativt små (Knobe, 2014).



Figur 19: Pågående fräsning till vänster med Karl Negrell och grävning till höger.

- Förvaring

I dagsläget hamnar oftast upp grävda och frästa massor tillsammans på upplagen, vilket medför att man måste krossa materialet för att få det så homogent som möjligt. Det vanligaste är att krossa det till ett 0–11 mm granulat, för att passa så många arbetsrecept som möjligt. När krossningen har gjorts förvaras oftast granulatet under tak eller i ett förvaringstält som i *Figur 20*, för att skydda mot väder och vind. Varför man förvarar det skyddat, beror på att man inte vill öka fuktkvoten samt att minska oxidationen. Fukthalten har stor påverkan på energikonsumtionen. Minskar fukthalten med en procentenhet minskar koldioxidutsläppen med två kg per ton granulat, vilket är en bra förbättring i jämförelse med de 13 kg koldioxidutsläpp som sker vid tillverkning av ett ton asfaltmassa (Lindén, 2008). En normal fukthalt för granulat är 3–6 procent. Asfalt klassificeras som avfall och får därav bara lagras i tre år om tanken är att återvinna asfaltmassorna. Det finns däremot ett sätt att undgå det och det görs genom att hantera returafalten på sätt som medför återvinning och uppfyller samma krav som jungfruligt material (Olsson, 2019).



Figur 20: Skanskas förvaringstält i Dalby.

- *Användning av returafalt*

Vilken återvinningsmetod som är att föredra, beror på ett antal olika faktorer som produktionsresurser, utbud och efterfrågan. Varm återvinning kräver specialutrustade asfaltverk, där returafalten återupptar sin ursprungliga kvalitet. Den varma återvinningen sker på olika sätt beroende på verk och uppbyggnad. Trumblandningsverket nyttjas samma trumma både för inblandning av bitumen samt uppvärmning av stenmaterial. I satsblandningsverk finns det fyra olika metoder att tillgå för tillsättning av granulat.

- Granulatet tillsätts direkt i blandaren.
- Granulat tillsätts till ett uppvärmt och torkat stenmaterial vid varmtransportören.
- Inblandning sker i torktrumman (vita trumman).
- Granulatet tillsätts i parallelltrumman och stenaggregatet värms upp i torktrumman och möts sedan i tvångsblandaren (Vägverket, 2004).

Den sistnämnda metoden är att föredra, för att undgå att övertemperera stenaggregatet som leder till att bituminet oxideras (åldras) mer än önskat. När parallelltrumma används behöver ingen överhettning av stenmaterialet ske och de rökgaser som bildas förbränns i den ordinarie trumman. En annan fördel med parallelltrumma är att en hög halt återvinning kan blandas in jämfört med de andra metoderna som är begränsade runt 20 procent återvinning (Vägverket, 2004). I *Figur 21*, kan tillförseln av returafalt observeras samt insidan av parallelltrumman.



Figur 21: Tillförsel av granulat till parallelltrumman till vänster och insidan av trumman till höger.

Det finns även så kallad halvvarm, kall och återvinning på plats. Materialet värms upp till 50 – 80 grader vid den halvvarma återvinningsmetoden vilket gör att massan är lättpackad vid utläggning. Den kalla återvinningsmetoden kan upplevas som svårlagd, då massan är väldigt fast när den inte värms upp. För att underlätta något tillsätts vatten som smörjmedel. Återvinning på plats är lämpligt på vägar med homogena slitlager, men inte om vägen har plastiska deformationer eller har en åldrad beläggning (Vägverket, 2004).

2.3.1 Fräsning

Asfaltfräsen fungerar genom att roterande valsar fräser ned den gamla beläggningen. Djupet på fräsningen kan justeras till önskad höjd och kvar lämnas en bra yttextur som kan asfalteras direkt eller öppnas upp för trafik. Då varje lager kan fräsas var för sig, har man bra kännedom över asfaltens sammansättning vilket medför en lönsammare och effektivare arbetsprocess när returafalten skall återvinnas. Vid grävning av asfaltkakor blandas flera olika lager, vilket medför en heterogen blandning som kräver mer arbete att återvinna (Törnblom, 2011).

Vid en hög andel tungtrafik, brukar det ske spårbildning, vilket lättast löses med en planfräsning till spårens botten som *Figur 22* illustrerar. Lådfräsning är en väldigt effektivt när bara en del av körfältet behöver göras om (Knobe, 2004).



Figur 22: Lådfräsning på en beläggning med hjulspår (Knobe, 2004).

Det finns många fördelar med fräsning, en av dem är att man inte behöver lägga lager på lager. I vissa fall kan man dessutom inte lägga lager på lager då detta resulterar i att dagvattenbrunnar, kantsten och gångbanor också behöver höjas vilket blir kostsamt (NCC, u.å). I *Figur 23* fräses en gata i Trelleborg med dagvattenbrunnar, kantsten och gångbanor.



Figur 23: Fräsning av slitlagret på Ekevägen i Trelleborg.

Vid fräsning har man möjlighet att endast fräsa bort slitlagret och sedan lägga tillbaka ett nytt slitlager eller nyttja det frästa slitlagret. Hade man i stället grävt upp slitlagret, hade flera lager i konstruktionen förstörts, som det bundna bärlagret. Vilket hade slutat med betydligt mer arbete än endast ett nytt slitlager. Man kan även justera tvärfallet utan att behöva gå ner djupt i konstruktionen och justera som kan vara kostsamt. Det skapar dessutom ett bra räfflat underlag för det nya slitlagret att fästa på, som kommer att ge ett högklassigt slitlager. Man kan även nyttja fräsen genom att få bra anslutningar och skarvar mellan ny och gammal beläggning genom att använda sig av långa övergångar (NCC, u.å).

2.3.2 Krossning och siktning

I dagsläget hamnar uppbrutna och frästa asfaltmassor tillsammans på upplagshögen, vilket medför att man måste krossa returafalten för att få en homogen blandning. Då uppbrutna massor blandas med frästa massor, medför att krossningen är viktig då det inte är lämpligt att arbeta in asfalt ”kakor” till paralleltrumma. Det är vanligast att krossa materialet till 0–11 mm, för att passa så många arbetsrecept som möjligt som görs i *Figur 24* (Olsson, 2019).



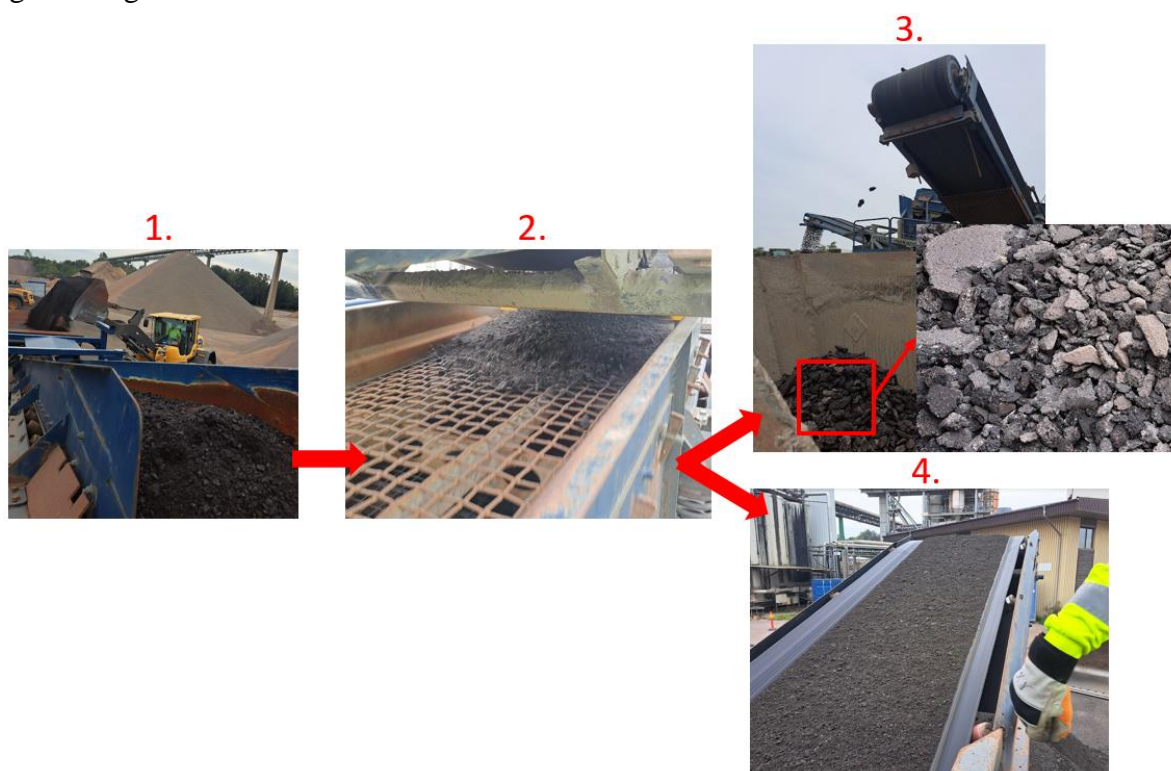
Figur 24: En asfaltkross från SM Recycling (SM recycling, 2023).

Fräst asfalt kan i regel alltid siktas, vilket innebär att man skakar loss de större ”kakorna” till fraktioner som utförs i *Figur 25*. Detta kräver mindre energi än krossning. Däremot fungerar detta endast på fräsmassor och inte på uppbrutna. Anledningen att det inte fungerar på uppbrutna massor är att denna returafalt inte har blivit bearbetad på samma sätt som fräsmassor (Norditek, 2023).



Figur 25: Siktning av fräsmassor från Ekevägen i Trelleborg.

I *Figur 26* kan man följa fräsmassornas väg genom sikten. I steg 1 ser man när hjullastaren tömmer en skopa med fräsmassor, som sedan åker längs bandet för att ta sig till siktarna. I steg 2 kan en 40 mm sikt tydas, det som inte tar sig förbi denna sikt tar sig till ett separat band och töms i en container, som ses i steg 3. Det som passerar sikten, faller ner till ett underliggande band som ses i steg 4. Denna process gör att större asfaltkakor och stenar separeras från returafalten och en mer homogen produkt fås. Om det önskas kan fler fraktioner tas ut, då det finns flera band och siktar att tillgå på sikten. De större stenarna och asfaltkakorna som uppkommer, beror på en rad faktorer där en del beror på hur fräsmaskinen har opererats under fräsningen. En annan faktor kan vara att slitlagret är fäst dåligt i det underliggande lagret, då det är sämre klistrat. De större stenarna kan också bero på att slitlagret är tunnare på en del platser än vad som är antaget, vilket medför att valsarna på fräsmaskinen kommer ner till det underliggande lagret och tar med sig större stenar från det grövre lagret¹.



Figur 26: De olika stegen för returafalten genom sikten.

¹ Karl Negrell, Skanska Industrial Solutions, Entreprenad & Tillverkning Syd. Samtal 2023-09-28

2.5 Arbetssätt utomlands och tidigare utredningar

Arbetssätten och lagarna skiljer sig avsevärt mellan olika länder. Tyskland är ett av de länder som har kommit längst när det gäller återvinning av asfalt i högkvalitativa beläggningar, vilket betyder att man inte blandar ner återvinningen i bärlagret. Att nyttja returafalt i bärlagret är inte att föredra, då den stora vinsten i bituminet går förlorat. Den första fullskaliga studien om asfaltfräsning gjordes år 2023, vilket presenteras i detta kapitel.

2.5.1 Tyskland jämfört med Sverige

Förbundsrepubliken Tyskland hade en kvot av 40 procent återvunnen asfaltblandning redan 1987 och 2006 återvann de 82 procent. Anledningen till denna höga återvinningshalt är att det är lagstadgat hur asfalt systematiskt skall återanvändas. Detta kräver exakt och samvetsgrann hantering av returafalten mellan fräsningsprocessen och hantering i anläggningen. Afalten skall helst fräsas då krossningsprocessen eventuellt inte är nödvändig om asfaltklumparna är små, men vid grävning av asfaltkakor behöver returafalten alltid krossas till önskad storlek. Asfalt som återvunnits från asfaltslitlager skall endast användas till nytillverkade asfaltslitlager, därav är det viktigt att säkerhetsställa att materialet tas bort i lager, och att de olika lagren separeras och förvaras separat vid återvinningsplatsen. I Tyskland är sortering av granulat en central del av deras arbetsprocess. De använder flera olika fack eller täkt för att dela upp granulatet baserat på dess sammansättning. Det granulat som inte kan kvalificeras som högkvalitativ kommer i stället att användas i bärlagret och hamnar då i ett ”bärlagerfack”. Att mer än 80 procent av afalten är återvunnen sparar inte bara miljön, utan även deponiutrymme, utvinning av material och ekonomi (dav, 2011).

Vid tillverkning av asfaltblandningar via parallell trumma, innebär det att materialet skall motsvara användningsklass A enligt tyska riktlinjer. Vilket enligt de tyska riktlinjerna är ett ”miljövänligt nyttjande av återvunnet material med bitumenbeståndsdelar”. Återvunnen asfalt vars bindemedel har en medelmjukpunkt på högst 70 grader i kula ring metoden är lämplig att bruka. En av de vanligaste bitumenkvalitéerna i Sverige är 70/100 bitumen, som har en medelmjukpunkt på 50 grader i kula ring metoden. Med en högre mjukpunkt kan tester i stället baseras på till exempel beteende vid låga temperaturer (dav, 2011).

Returafalt klassificeras enligt ”Technical Supply Conditions for Reclaimed asphalt” som anger att de individuella egenskaperna och karakteristiska värden. Information samt resultat från det att afalten tillverkades och lades kan användas för att klassificera returafalten, vilket oftast görs innan afalten tas upp. Resultat från de nya testerna är de viktigaste för att klassificera returafalten. Ett prov skall tas för varje 500 ton returafalt. Om returafalt från flera beläggningar skall återvinnas gemensamt, skall testerna utföras efter blandning eftersom testerna då blir representativa (dav, 2011).

Sveriges och Tysklands tillverkningsmetoder skiljer inte nämnvärt, då båda länder använder sig av satsblandningsverk. Den väsentliga skillnaden ligger i Tysklands arbetsprocess gällande ingående material. Tyskland har bättre sortering och kan därför arbeta upp högre halter av returafalt. Dessa olika upplagshögar kan ses i *Figur 27*, som är taget från ett asfaltverk i Tyskland. En annan stor skillnad mellan Sverige och Tyskland är antalet asfaltrecept till slitlagret. Därav hade det slutat med betydligt fler upplagshögar i Sverige om man skulle arbeta på samma sätt som i Tyskland. Den största drivkraften att Tyskland både sorterar och återvinner i den utsträckningen som de gör, beror på att de inte har lika god tillgång till stenmaterial. Vilket resulterar i de får importera sten från andra länder som medför en extra kostnad (Elsborg & Puljic, 2017).



Figur 27: Separata upplagshögar på ett verk i Tyskland (dav, 2011).

2.5.2 En fullskalig studie om beläggningsfräsning

2023 utfördes den första fullskaliga experimentella studien om beläggningsfräsning. Fräsningen har inte fått någon uppmärksamhet när det berör hur granulatet blir påverkat av själva fräsningförfarandet. I stället har endast fräsningförfarandet optimerats i form av högre hastighet, olika fräsdjup, mindre maskinslitage och energianvändning. Fräst asfalt är värdefullt och används flitigt idag för att ersätta jungfruligt material. Egenskaperna hos fräst asfalt påverkas sannolikt av en rad parametrar som:

- Fräsdjup
- Vals hastighet
- Maskinen hastighet
- Typ av fräsmaskin
- Typ av fräshakar
- Beläggnings typ och ålder
- Miljöförhållanden (Zaumanis etc, 2023)



Figur 28: Fräsning och nyckelparametrar under fräsning (Zaumanis etc, 2023)

Den Schweiziska rapporten innehöll tre hypoteser som presenteras nedan och syftet med forskningen var att avgöra om dessa hypoteser, även om de är sanna, gör en betydelsefull skillnad för egenskaperna hos den frästa massan. De parametrar som forskningen utgick ifrån i fräsexperimentet var att justera maskin hastighet, vals hastighet och fräsdjup, vilket utfördes fullskaligt i Stallikon, Zihlschlacht, Kappel och Bremgarten (Zaumanis etc, 2023).

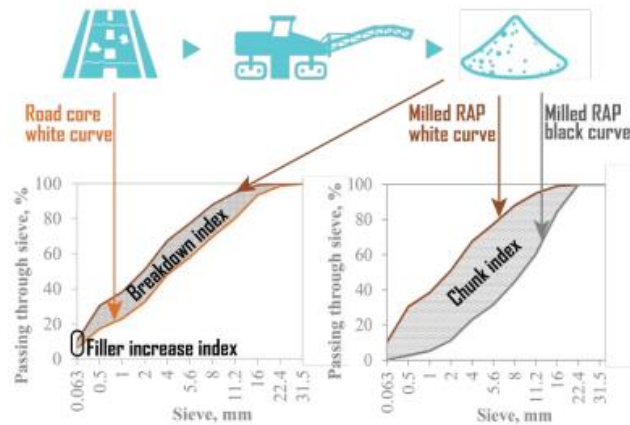
Hypotes 1 - Bindemedlet åldras under fräsningen på grund av den höga temperaturen som bildas av friktion när asfalten slås upp.

Hypotes 2 - Aggregatets krossningsgrad ökar under fräsningen på grund av nya brutna ytor.

Hypotes 3 - Fräsparametrar påverkar klumpstorlek, stenaggregatets nedbrytning och bindemedel.

Rörelsehastigheten och valshastighet varierades avsiktligt för att inkludera ett rimligt utbud av fräsparametrar för ett typiskt fräsjobb. Om till exempel vals hastigheten är låg och maskin hastigheten hög, stannar fräsmaskinen (Zaumanis etc, 2023).

Rapporten presenterar även en kalkyl som kan användas för att beräkna klumpindex, nedbrytnings index och fillerökning efter utförd fräsning, dessa diagram kan ses i *Figur 29*. Första steget är att sikta den vita kurvan från väggärnan, därefter skall fräsmassorna siktas både med och utan bindemedel (Zaumanis (2021)). Vanliga kornfördelningskurvor skall inte direkt jämföras mellan olika arbetsplatser på grund av skillnaden i beläggningen. Till exempel så kan 10 procent filler anses vara högt i returafalten, men om det frästa beläggningen ursprungligen innehöll 9,9 procent filler är ökningen liten. Det som är viktigt är ökningen från det ursprungliga. Av denna anledning är index en bättre metod att bruka för att kunna jämföra resultaten från olika arbetsplatser (Zaumanis etc, 2023).



Figur 29: Illustrerar de tre olika indexen samt de aktuella kornkurvorna för respektive index (Zaumanis etc, 2023).

Ett mindre klumpindex är önskvärt, då det visar att färre enskilda stenar sitter ihop i varandra och bildar klumpar. Detta uttrycks som skillnaden mellan svart frästa kurvan och den vita frästa kurvan. I *Figuren 30* kan man tyda skillnad mellan klumpindex 87 och klumpindex 172 (Zaumanis etc, 2023).



Figur 30: Till vänster index 87 och till höger index 172, en större skillnad kan tydas (Zaumanis etc, 2023).

Ett mindre nedbrytningsindex visar att färre ballast bröts ner under pågående fräsning, detta uttrycks som skillnaden mellan arean under den frästa vita kurvan och kurvan för den vita väggärnan. I *Figur 31* kan ballast tydas som har delats på mitten under fräsning (Zaumanis etc, 2023).

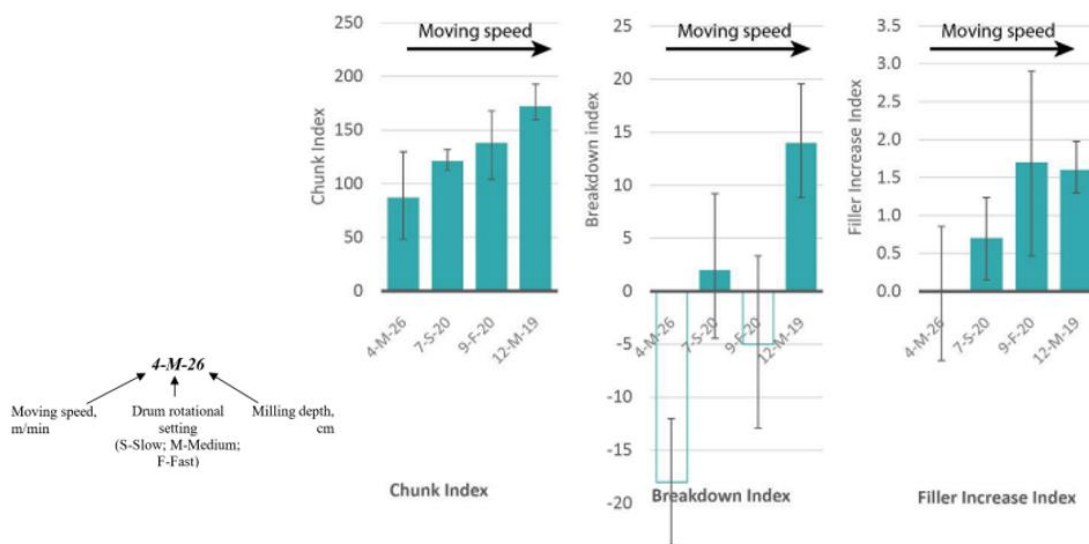


Figur 31: Nedbruten ballast (Zaumanis etc, 2023)

Fillerökningsindexet uttrycks som skillnaden mellan den frästa vita kurvan och den vita borrhypen. Ett mindre index visar att endast lite filler genererades under fräsningen. Bearbetning av returafalten minskar partikelstorleken och därför flyttar både de svarta och vita kurvorna uppåt. Som regel är den svarta kurvan alltid grövre än den vita kurvan eftersom bindemedel håller ihop stenmaterialet (Zaumanis etc, 2023).

Resultatet av detta fullskaliga fräsexperiment blev följande, trots att bindemedlet åldras är påverkan på fräsmassorna försumbar. Fräsningen påverkar inte finaggregatets krossningsgrad däremot ändrades grovaggreatets krossningsgrad men ingen tydlig trend kunde observeras. Vid djupa fräsdjup är det fördelaktigt med en lägre maskin hastighet, för att få mindre klumpar. För en låg valshastighet eller ett grunt fräsdjup beror inte klump storleken på maskin hastigheten. Det finns vissa bevis för att fräsningen genererar filler och detta beror antagligen på spänningen (Zaumanis etc, 2023).

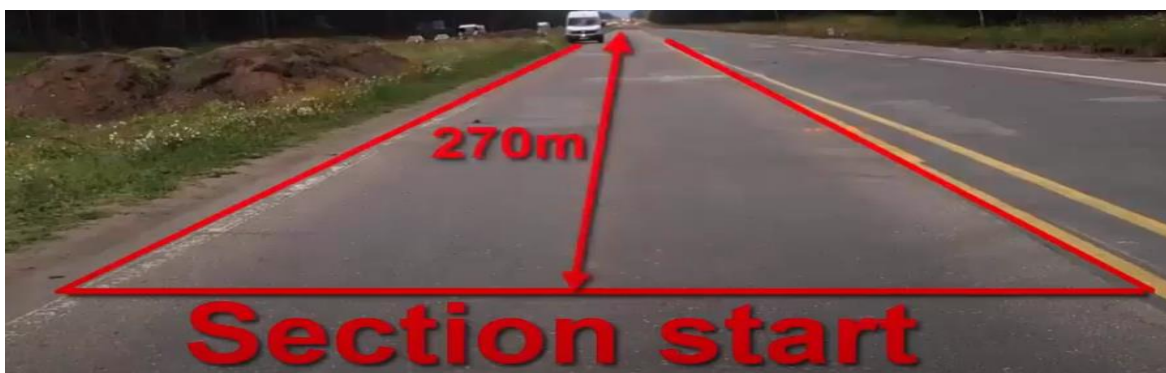
Resultaten från de tre indexen (klump storlek, nedbrytning av aggregat, ökning av filler) är ordnade från den långsammaste till den snabbaste hastigheten på fräsmaskinen, som tydliggörs i *Figur 32*. Detta gjordes då maskin hastigheten var den enda parametern som orsakade en förändring i de tre indexen, valshastighet och fräsdjup gjorde inte det. Det som kan observeras är att klump storleken på fräsmassorna ökar med maskin hastigheten. Nedbrytningsindexet beräknas med att jämföra den vita kurvan från borrhyp från vägen och efter fräsning. Två av dessa index är negativa och det är inte möjligt. En förklaring är att borren förstör aggregat när borrhypen tas och därför blir materialet finare i borrhypen än vad det egentligen är. Det tycks vara en generell ökning av filler med en ökad hastighet av maskinen. Detta är motsägelsefullt, eftersom en grövre fräsning förväntades att generera mindre filler på grund av att mindre område är uppbrutet. Däremot är det tänkbart att högre rörelsehastighet orsakar en större spänningskoncentration, som i sin tur bidrar till mer filler. Så sammanfattningsvis måste det finnas ett beslut om strategi vid fräsning, egenskaper, frästid, hållbarhet och andra aspekter måste beaktas (Zaumanis etc, 2023).



Figur 32: Illustration över hur indexen ökar med maskinhastigheten (Zaumanis etc, 2023).

2.5.3 Hur variabiliteten i återvunnen asfalt minskas

Forskningsresultaten i detta ämne kommer fram till olika slutsatser när det gäller returafaltens variabilitet. Denna variabilitet beror på asfaltbeläggningens historia såväl som allmänna riktlinjer för vägnätsförvaltningen. Hög täthet av reparationer eller återuppbyggnad på kortare vägvägsnitt leder till en större variation när vägen fräses. Därav är det viktigt att säkerhetsställa en tillförlitlig metod för att göra en rättvis bedömning. Svårigheten med att utvärdera beläggningen är att borrhämnarna skiljer sig från den frästa asfalten. Syftet med studien är att kvantifiera förändringar i variabiliteten hos returafalten och homogeniseringen. Teststräckan har varit en motorvägssektion på 270 meter som är belägen på riksväg A2, vilket visas i *Figur 33*. Denna sträcka valdes på grund av det kraftiga lappningsarbetet. Det togs sex borrhämnare, sex prov från lastbilarna och sex prov från upplag. Nackdelen med borrhämnare är att partikelstorleksförändringen ändras något under borrhämnare då man skär genom partiklarna (Zaumanis, 2018).



Figur 33: Visar den experimentella sektionen (Zaumanis, 2018).

Slutsatserna blev att det inte finns någon statistisk signifikant skillnad mellan testresultaten mellan väg, lastbil och upplag. Detta var förväntat då det inte finns någon anledning till förändring. Beläggningens fräsen ökade fyller mängden med 4,8 procent, vilket har sin grund i krossningen av stenaggregatet. Detta kan påverkas med hastighet, djup, ballasttyp med mera. Variationskoefficienten visade att fräsningsförloppet förbättrade homogeniteten (Zaumanis, 2018).

För att maximera inblandningen av fräsmassor i asfaltblandningar är det viktigt att fatta beslut om hur man skall hantera fräsmassorna. Användning av fräsmassor i nya asfaltblandningar minskar vanligtvis materialkostnaderna (Zaumanis, 2018).

2.6 Laboratoriemetoder

2.6.1 Kornstorleksfördelning

För att uppnå ett representativt prov ur en större mängd ballast, används en nedfördelare som kan ses i *Figur 34*. Fördelaren fördelar ned ballasten representativt till en hanterlig mängd. Därefter siktas ballasten i antingen en grovsikt eller en finsikt beroende på vad som eftersöks. Stenmaterialet från varje sikt vägs och kontrolleras med den ingående mängden, så inget material har gått förlorat. Den svenska och Europeiska standarden för detta är SS-EN 12697-2 (Metodgruppen, 2023).



Figur 34: Nedfördelaren och finsikten från Laboratoriet i Önnestad.

2.6.2 Bindemedelshalt med asfaltanalysator

För att fastställa kornkurva, mjukpunkt och bindemedelshalt från granulat eller provkroppar krävs det att bindemedlet separeras från stenaggregatet. Detta sker genom en finmaskig nätcylinder där maskhålen är 0,063 mm. En cylinder placeras i trumman med granulatet, där även lösningsmedel tillsätts. Bindemedlet, lösningsmedlet och filler färdas till nästa cylinder, där fillern separeras med hjälp av en centrifug. Dessa steg verkställs med SS-EN 12697-1. Därefter har stenaggregatet separerats från bindemedlet, men nu måste bindemedlet separeras från lösningsmedlet, vilket görs med en rotationsindunstare som visas till höger i *Figur 35*. Detta utförs med den svenska och europeiska standarden SS-EN 12697-3 (Metodgruppen, 2023).



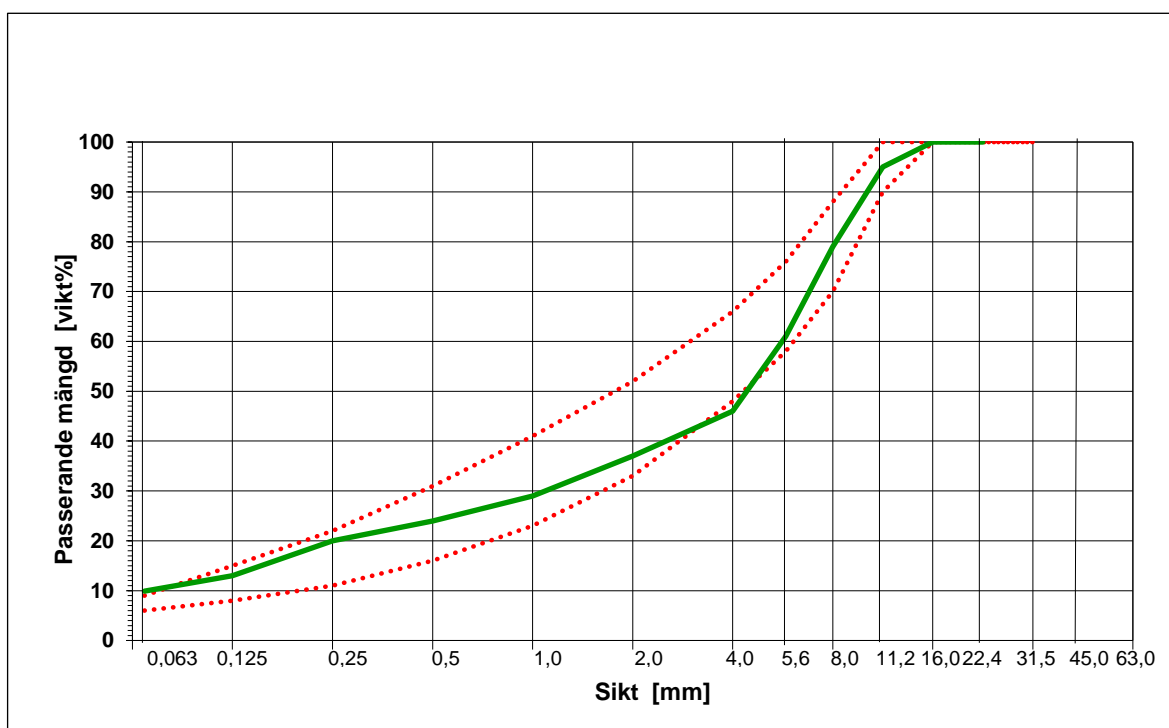
Figur 35: Asfaltanalysator och rotationsindunstare till höger.

3 Metod

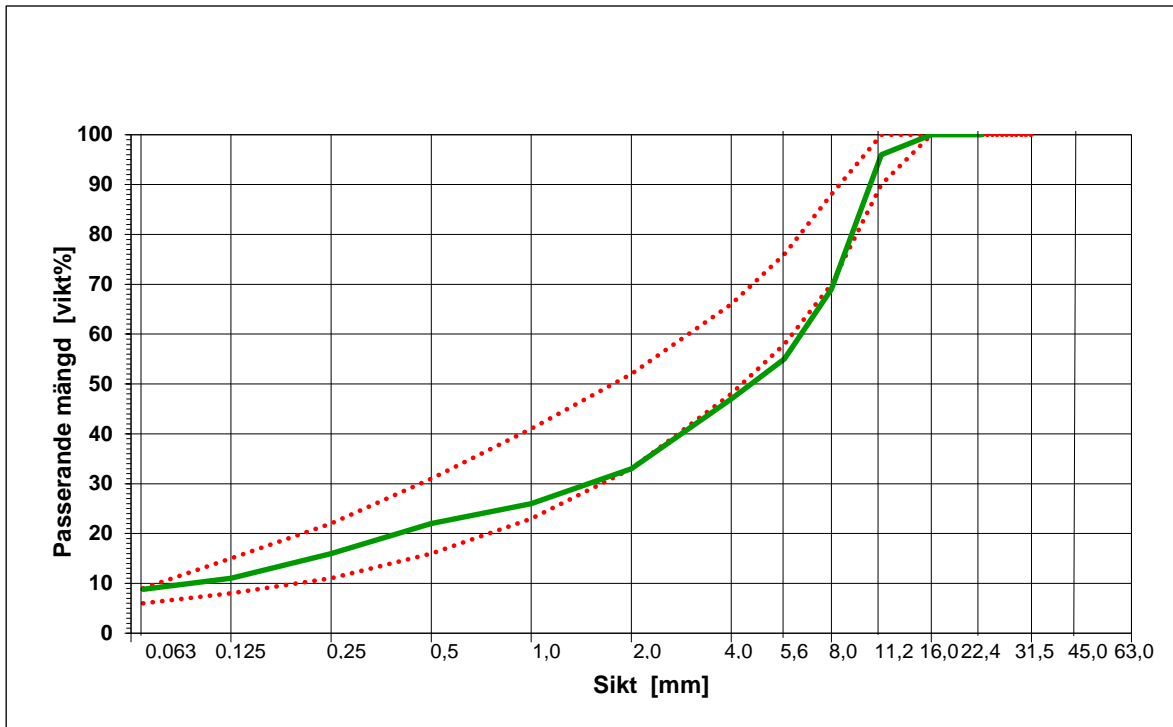
I följande kapitel presenteras och beskrivs de arbetsätt och metoder som använts i studien för att besvara frågeställningarna. De tre metoderna som använts är klimatberäkningar, en intervju samt laborietester som följt svenska och europeiska standarder. Laboriemetoderna har presenterats i litteraturstudien och kommer därav inte att förklaras djupgående i detta kapitel.

3.1 Material

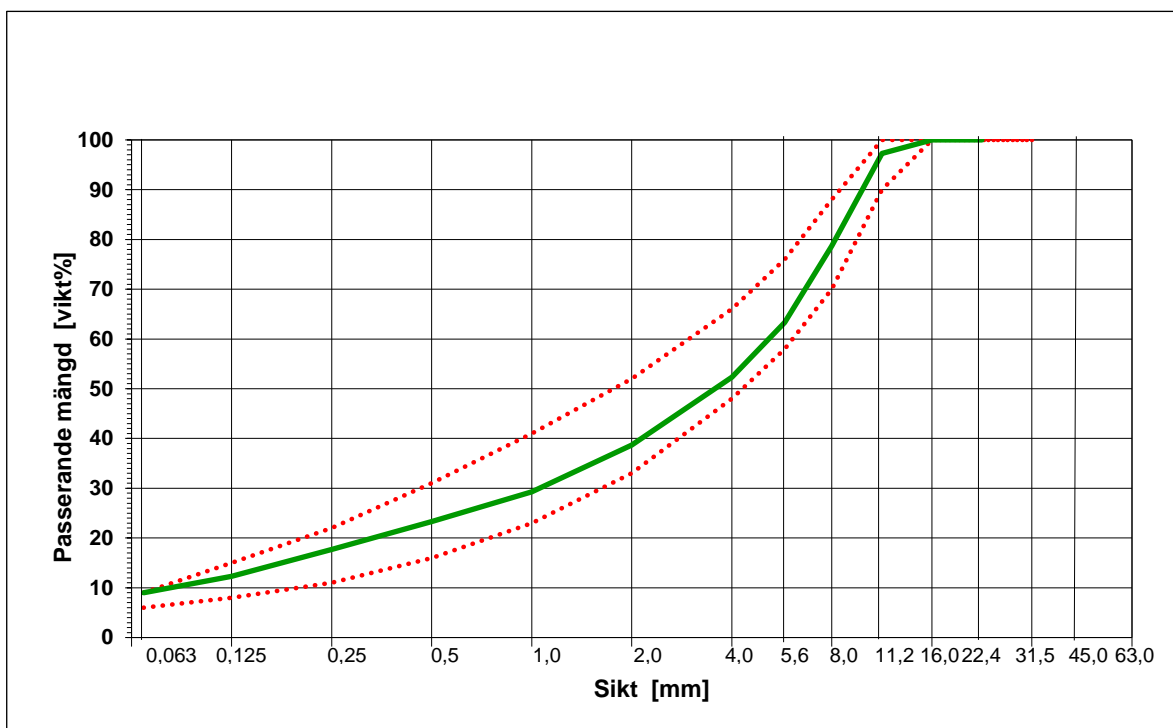
För att utföra den kvantitativa studien med kalkylatorn som presenteras i *Kapitel 3.3*, krävs ett flertal laborieprover. Det borrades borrhuckar på tre olika gator i Trelleborg som därefter frästes. Samtliga slitlager är troligtvis en ABT 11 beläggning, baserat på deras kornfördelningskurvor. Borrhuckarna borrades med hjälp av en 100 mm borrhuck, där slitlagret sedan avlägsnades från resterande del av väggkroppen. De tre platserna från Trelleborg var följande; *Malörtsvägen*, *Tommarpsvägen* och *Ekevägen*. Borrhuckarnas medelkornkurva från respektive lokalitet kan ses i Figurerna 36, 37 och 38, där gränserna för en ABT 11 illustreras med två rödprickade linjer.



Figur 36: Kornkurva från Malörtsvägen (borrhuck).



Figur 37: Kornkurva från Tommarpsvägen (borrpuck).



Figur 38: Kornkurva från Ekevägen (borrpuck).

Därefter frästes beläggningsen på samtliga tre gator i Trelleborg. Fräsningen utfördes på det sedvanliga tillvägagångsättet. Fräsmaskinens hastighet är förhållandevis låg på villagator, vilket baseras på antalet dagvattenbrunnar, serviser och däckslar som finns på villagator. Den lägre hastigheten som är omkring 7–9 m/ minut är nödvändig för att få tid att höja och sänka valsen över just däckslar, dagvattenbrunnar och andra hinder. Prover togs därefter ut på ett fackmässigt sätt enligt svenska och europeiska standarder. Dessa prover användes för att sikta fram kornfördelningskurvor för fräsmassornas vita och svarta kornkurvor. För den vita kornfördelningskurvan är bindemedlet separerat från stenaggregatet, därav beskrivs den som "vit". När den svarta kornfördelningskurvan siktas görs inget med fräsmassorna vilket medför att bindemedlet är kvar runt stenarna som därav har en svart färg. Detta gör att en del returafalt fortfarande sitter ihop som klumpar, på grund av bindemedlet. Det är därför två olika kornfördelningskurvor fås beroende på om det siktas med eller utan bindemedel.

3.2 Laboriestudier

Nedan presenteras de moment som utfördes på laboratoriet i Önnestad, samtliga enligt europeiska och svenska standarder. Extraktion av bindemedel utfördes enligt SS-EN 12697-1 och kornstorleksfördelningen följde SS-EN 12697-2.

3.2.1 Laborieförsök

Innan en kornstorleksfördelning kan tas, skall provet fördelas ner till en lätthanterlig mängd. Detta görs med en nedfördelare som kan ses i *Figur 39*. Den lätthanterliga mängden är förutbestämd enligt SS-EN 933-1 och enligt denna standard skall analysprov med största stenstorlek på 11,2 mm innehålla 1300 gram.



Figur 39: Bild på nedfördelaren och den kalibrerade vågen i Önnestad.

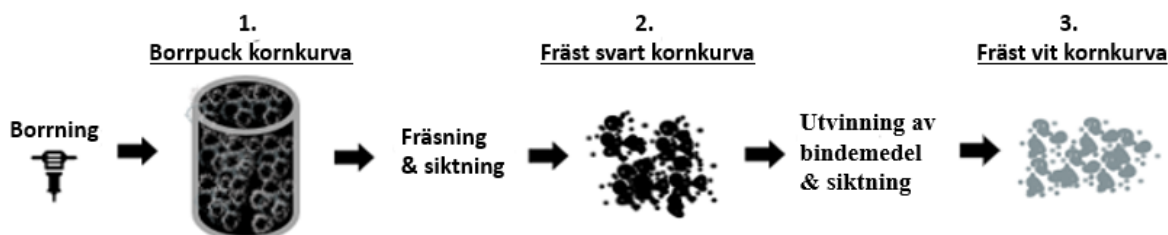
När förgående steg är klart och provet har fördelats ner till 1300 gram, kan provet siktas eller tvättas enligt SS-EN 12697-1. Ifall provet skall siktas med bindemedel, kan det praktiskt taget siktas direkt efter nedfördelningen. Ska provet däremot siktas utan bindemedel, behöver bindemedlet tvättas bort från stenaggregatet. Detta utförs med hjälp av en asfaltanalysator där bindemedlet extraheras från stenaggregatet och därefter har man ett rent stenmaterial som kan siktas. I denna kvantitativa studie, siktades en del prov med bindemedel och en del utan bindemedel. I *Figur 40*, kan finsikten och asfaltanalysatorn tydas.



Figur 40: Finsikten till vänster och asfaltanalysatorn till höger.

3.3 Kalkylator

Kalkylen som skall brukas i denna kvantitativa studie kommer att ge index på tre specifika parametrar för den frästa asfaltmassan. Från kalkylen fås index på *klumpar*, *nedbrytning* av stenaggregat samt *fillerökning*. Detta är tre parametrar som är viktiga ur ett återvinningsperspektiv. För att kunna tillämpa kalkylatorn från Martins Zaumanis, behövs tre olika kornfördelningskurvor som visas i *Figur 41*. En kornfördelningskurva skall vara från borrhuck (1), där bindemedlet är separerat från stenmaterialet. Därefter skall beläggningen fräsas och två ytterligare kornkurvor skall tas på returafalten. En av kornkurvorna skall vara med bindemedlet (2) och den andra skall vara med bindemedlet separerat (3) från returafalten. För att ge ett representativt resultat skall tre kornfördelningskurvor tas från varje förfarande där medelvärdet används. Som regel är den svarta kurvan alltid grövre än den vita kurvan, då bindemedel håller ihop stenaggregatet.



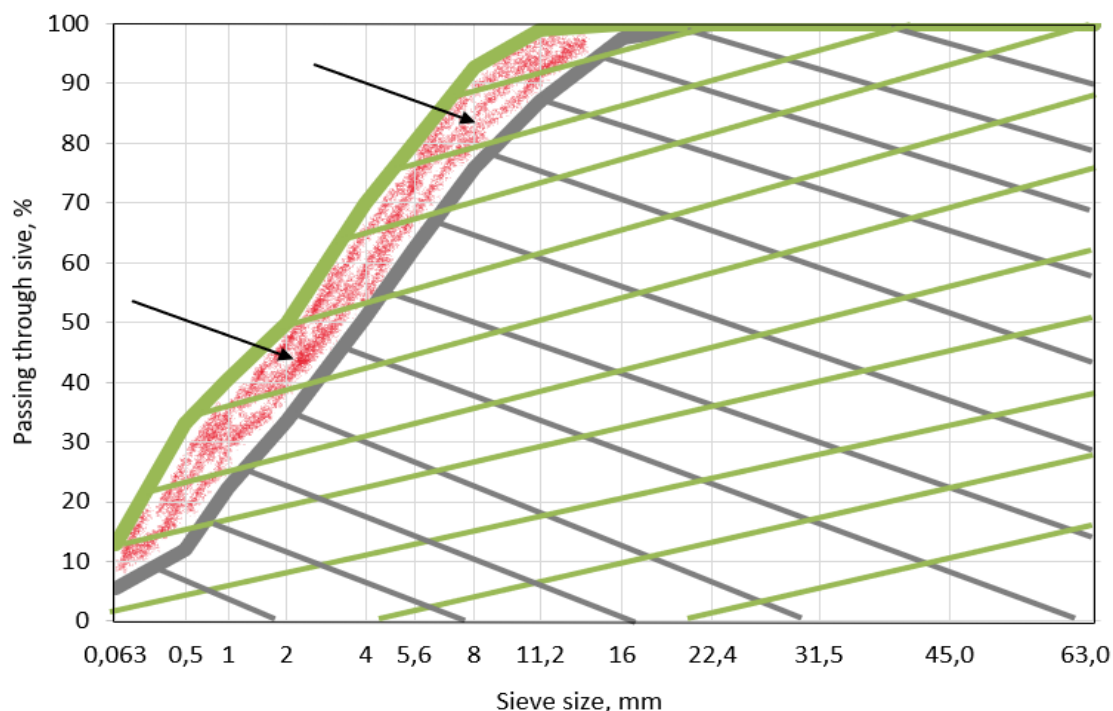
Figur 41: Illustration över de tre olika kornfördelningskurvorna som krävs.

För att få de tre eftersökta parametrarna från kalkylatorn, skall tre tabeller i kalkylatorn fyllas i med analysvärden från *laborarietesterna*. Tabellerna kan hittas i *Figur 42*, där tre kornfördelningskurvor från respektive moment skall analyseras av kalkylen. Kalkylen använder därefter medelvärdet, när diagram och de eftersökta indexen beräknas och illustreras.

1. Road core white curve				2. Milled black curve				3. Milled white curve			
sieve (mm)	Sample #1 % passing cumul.	Sample #2 % passing cumul.	Sample #3 % passing cumul.	sieve (mm)	Sample #1 % passing cumul.	Sample #2 % passing cumul.	Sample #3 % passing cumul.	sieve (mm)	Sample #1 % passing cumul.	Sample #2 % passing cumul.	Sample #3 % passing cumul.
63,0				63,0				63,0			
45,0				45,0				45,0			
31,5				31,5				31,5			
22,4				22,4				22,4			
16,0				16,0				16,0			
11,2				11,2				11,2			
8,0				8,0				8,0			
5,6				5,6				5,6			
4,0				4,0				4,0			
2,0				2,0				2,0			
1,0				1,0				1,0			
0,5				0,5				0,5			
0,063				0,1				0,1			

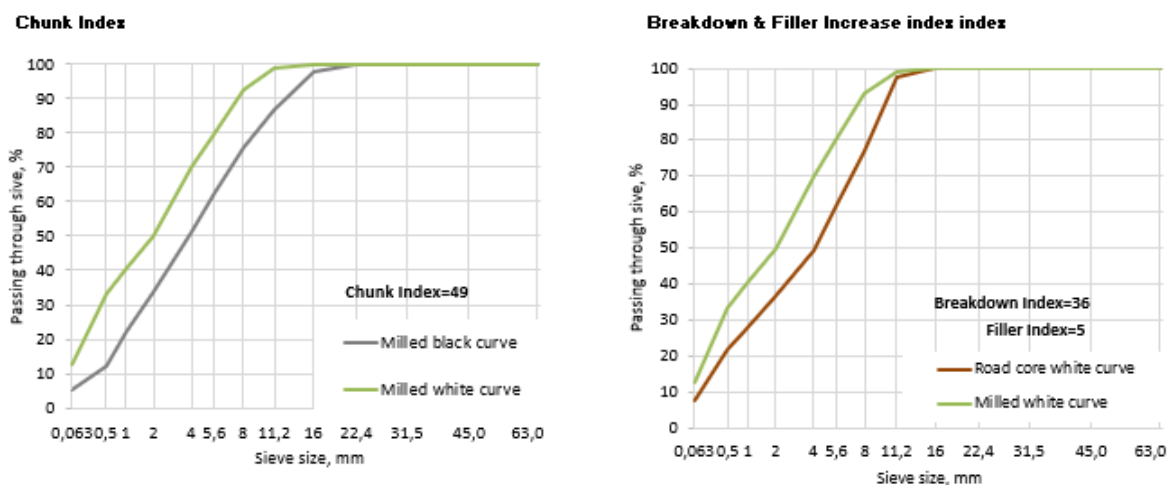
Figur 42: Skärmdump från de tre tabellerna som skall fyllas med analysvärden från laborarietesterna.

Indexet i kalkylen beräknas genom att en grafarean subtraheras med den andra grafarean. Indexet är därmed baserat på skillnaden mellan grafarean för de två kornfördelningskurvorna. Det röda området i *Figur 43*, illustrerar skillnaden för de två grafareorna som indexet beskriver. Ett större rött område betyder således ett högre index som uttrycker att en större förändring har skett med returafalten efter genomförd fräsning. Målet är att förändra returafalten så lite som möjligt vid fräsning, för att bättre kunna använda materialet i en ny ABT 11 beläggning.



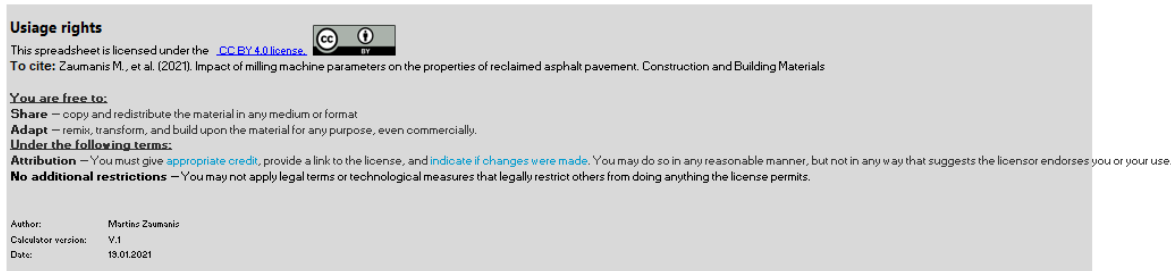
Figur 43: Förklarande figur hur indexet beräknas för klumpar samt nedbrytning av stenaggregat.

Den frästa vita grafarean subtraherat med den frästa svarta grafarean ger ett klumpindex, som kan ses till vänster i *Figur 44*. Medan den frästa vita grafarean subtraherat med borrhuckens vita grafarean ger ett nedbrytningsindex på stenaggregatet. Fillerökningsindexet uttrycks som skillnaden mellan den frästa vita filler andelen och den vita borrhuckens filler andel, båda dessa index visas till höger i *Figur 44*.




Figur 44: De två diagrammen som finns att tillgå efter tabellen har fyllts i med analysvärde.

Användarrättigheterna ser ut på följande vis; Excel programmet är fritt att kopiera och dela i alla sammanhang och format. Programmet får även anpassas och förändras för alla ändamål, även kommersiellt. Detta får göras, om lämplig kredit ges och att länk till licensen ges ut. Om förändringar görs, skall dessa nämnas och licensgivaren stöder inte dessa ändringar. Denna text finns även att tillgå i sitt originella ursprung i *Figur 45*.



Usage rights

This spreadsheet is licensed under the [CC BY 4.0 license](#). 

To cite: Zaumanis M., et al. (2021). Impact of milling machine parameters on the properties of reclaimed asphalt pavement. Construction and Building Materials

You are free to:

- Share** — copy and redistribute the material in any medium or format
- Adapt** — remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially.

Under the following terms:

- Attribution** — You must give [appropriate credit](#), provide a link to the license, and [indicate if changes were made](#). You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.
- No additional restrictions** — You may not apply legal terms or technological measures that legally restrict others from doing anything the license permits.

Author: Martins Zaumanis
Calculator version: V.1
Date: 19.01.2021

Figur 45: Originaltext från Excel om nyttjanderätt.

Licensen finns att tillgå på följande länk: [CC BY 4.0 Deed](#) / [Attribution 4.0 International](#) / [Creative Commons](#)
Excel programmet från Martins Zaumanis finns på följande länk: <https://www.empa.ch/web/s308/highrap>

3.4 Analyismetoder

Studien har använt kvantitativ analysmetod för laborietesterna samt klimatstudien. Fördelen med att använda denna form av analysmetod är att resultatet blir objektivt och slutgiltigt. Kvantitativa studier och undersökningar är utformade för att samla in data som därefter används för att mäta variabler. Denna teori utgår från datainsamlingar och systematisk analys (Nygård, 2021). För intervjun valdes en kvalitativ analysmetod för att få en bättre insikt om prioriteringar, drivkrafter och förståelse för ämnet (Danielson, 2012).

3.5 Intervju

En kvalitativ intervju är en lämplig metod att nyttja när ett arbetsmoment skall granskas och studeras. Intervjuer genererar även tillfällen att förstå yrkesarbetarnas farhågor samt otal av erfarenheter. Frågorna kommer att vara semistrukturerade. Fördelen med detta är att en rödtråd kan hållas genom intervjun (Danielson, 2012).

Informanten skall besitta en lång arbetslivserfarenhet inom området. De skall även uppfylla kravet att delta frivilligt. En personlig kontakt kommer att tas genom telefon eller på plats beroende på lokalisering. Intervjun kommer att antecknas samtidigt som intervjun äger rum och enstaka citat kommer att antecknas och redovisas. Fördelen med att anteckna jämfört med att spela in samtalet är att man kommer bort från anspanningen att allt finns sparad, dock kan anteckningarna distrahera samtalet.

För att få informanten att känna sig bekväm och trygg, så skall intervjun inledas med bakgrundsfrågor. Detta kan till exempel vara frågor kring hur sommaren har varit till arbetslivserfarenheter. Dock skall det upplysas att detta inte är något som dokumenteras eller tas med i studien (Kvale & Brinkmann, 2009).

Den kvalitativa analysen förutsätter att intervjun kan sammanställas till en förståelig och hanterbar text. Texten är inte detsamma som verkligheten, då det naturliga talspråket är mer informellt än skriftspråk, vilket skall tas i beaktning. Därav är det viktigt att inte försköna svaren eller tvärtom (Kvale & Brinkmann, 2009).

Intervjun ägde rum på distans via telefonsamtal. En vecka innan intervjun skickades frågorna ut via mejl, se Bilaga 1. Respondenten är Anders Johansson som har arbetat på Skanska Industrial Solutions sedan år 2000 med fräs och besitter en stor kunskap inom området. Anders arbetar som Construction supervisor med utgångspunkt i Hultsfred. Respondenten har godkänt att hans namn presenteras i denna studie.

3.6 Klimatstudie

Omfattningen av klimatstudien behandlar endast själva driften av kross- och siktmaskinerna. Studiens systemgränser exkluderar den klimatpåverkan som uppstår vid tillverkning, utbyte av slitage- och reservdelar samt livslängden hos maskinerna. Dessa enhetsprocesser är svårbedömda och antaganden kan ge osäkra resultat. För att till exempel inkludera enhetsprocessen för tillverkning av kross- och siktmaskinen, måste en livscykelanalys göras för varje enskild del på maskinen. Där beaktning måste tas på, tillverkningsland, utvinningsmetod, tillverkningsmetod, fraktmetod, industrityp, antal anställda och så vidare.

Den funktionella enheten för studien har valts till ett ton granulär. Detta är ett mått som kan användas på alla anläggningar och kan med lätthet jämföras. Inga allokeringsmetoder tas i beaktning, då ingen biprodukt fås som kan dela på miljöpåverkan från det färdiga granuläret. Studien utgår från Sveriges elmix, som inkluderar kärnkraftverk, vattenkraft, värmekraft, vindkraft och solkraft.

Miljöpåverkanskategorierna som undersöks i klimatstudien är klimatpåverkan. Viktfaktorer/karaktäriseringsfaktorer viktas hur de olika utsläppen förhåller sig till varandra, för att kunna presentera allt i koldioxidekvivalenter som kan avläsas i *Tabell 1*.

Tabell 1: Miljöpåverkanskategori, främsta utsläpp samt viktfaktor enligt given metod.

Miljöpåverkanskategori	Metod	Indikator	Enhet	Sort av utsläpp	Viktfaktor
Klimatpåverkan	IPCC 2014	GWP	g CO_2 ekvivalenter	Koldioxid (CO_2) Metan (CH_4) Lustgas (N_2O)	1 28 265

I de flesta fall används kilogram för bränsle i klimatstudier, men för att ge data som är lättare att associera till beräknas detta om till liter. Ett kilogram diesel innehåller en volym på 1,177 liter. Därefter eftersöktes klimatpåverkan för en liter diesel och en kWh av Sveriges elmix, dess olika utsläppsnivåer kan avläsas i *Tabell 2*.

Tabell 2: Utsläpp vid förbränning av diesel och användning av elektricitet.

Diesel	Utsläpp	Resultat [g/liter]	Källa
Klimatpåverkan	CO_2	3741	EcoInvent - Database
	CH_4	0,9	EcoInvent - Database
	N_2O	0,07	EcoInvent - Database
Elektricitet	Utsläpp	Resultat [g/kWh]	Källa
Klimatpåverkan	CO_2	13	EcoInvent - Database
	CH_4	0,003	EcoInvent - Database
	N_2O	0,002	EcoInvent - Database

I utgångspunkt valdes en krossmaskin och siktmaskin som Skanska använder sig av i Skåne. För att ge opartisk indata användes produktbladet för respektive maskin. Den verkliga kapaciteten för maskinerna kan skilja gentemot produktbladet. Bränsleåtgången för Kleemann Mobirex fanns inte att tillgå, därav blev underentreprenörerna som arbetar med maskinen källa för denna indata. Beroende på materialets sammansättning eller slutgiltiga krav kan förbrukning och kapacitet variera, därav används bästa och sämsta utfall för att ge en bättre jämförelse mellan maskinerna vilket kan avläsas i *Tabell 3*.

Tabell 3: Fakta om kross- och siktmaskinen.

Krossmaskin Kleemann Mobirex	Bästa utfall	Sämsta utfall	Källa
Bränsleåtgång (l/h)	25	30	UE för Skanska
Kapacitet (FE/h)	600	500	Kleemann produktblad
Siktmaskin Mekano S1203	Bästa utfall	Sämsta utfall	Källa
Elförbrukning (kW/h)	22	22	Mekano produktblad
Kapacitet (FE/h)	180	160	Mekano produktblad

I det sista steget transformeras koldioxid, metan och lustgas om till CO_2 ekvivalenter med de tidigare nämnda viktfaktorerna.

Exempel av beräkningsgång för omvandling till CO_2 ekvivalenter i Ekvation 1 och 2:

$$\left(\frac{l}{h}\right) \div \left(\frac{FE}{h}\right) = \left(\frac{l}{FE}\right) \quad (1)$$

$$\left(\frac{l}{FE}\right) \cdot CO_2 \cdot 1 + \left(\frac{l}{FE}\right) \cdot CH_4 \cdot 28 + \left(\frac{l}{FE}\right) \cdot N_2O \cdot 265 = CO_2 \text{ ekvivalenter} \quad (2)$$

4 Resultat

I detta kapitel presenteras resultaten från laborietesterna, intervjun samt klimatberäkningar för att besvara frågeställningarna. Laborietesterna presenteras med grafer för att ge en bättre överblick än motsvarande tabell. Intervjun återges med en sammanfattning av anteckningarna samt enstaka citat från samtalet. Klimatberäkningarna illustreras med stapeldiagram för att ge en bra överblick över resultatet.

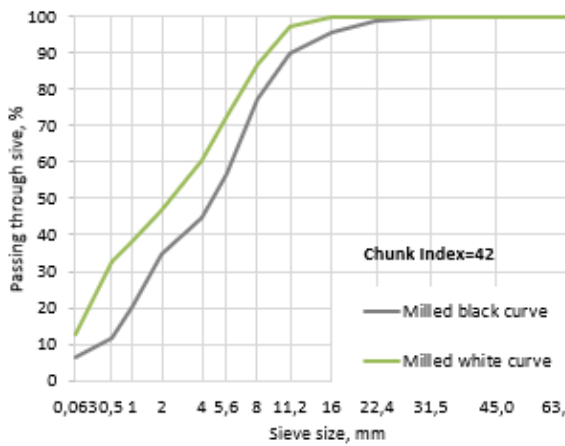
4.2 Laborietester och kalkylator

I detta kapitel presenteras resultatet från laborietesterna, som utfördes på Skanskas laboratorium i Önnestad. I sammanställningen kan en tydligare överblick fås över resultaten. Den gröna linjen representerar medel kornkurvan för den frästa vita kurvan (utan bindemedel). Den gråa linjen representerar den frästa svarta kurvan (med bindemedel) och den bruna linjen är kornkurvan från borrhypen som är referenskurvan. Enligt angivelse i metodkapitlet baseras indexet på differensen mellan grafareorna, ett mindre index betyder således att differensen mellan grafareorna är mindre. Det indexet som avviker från detta påstående, är fillerindexet som endast baseras på differensen mellan fillermängden.

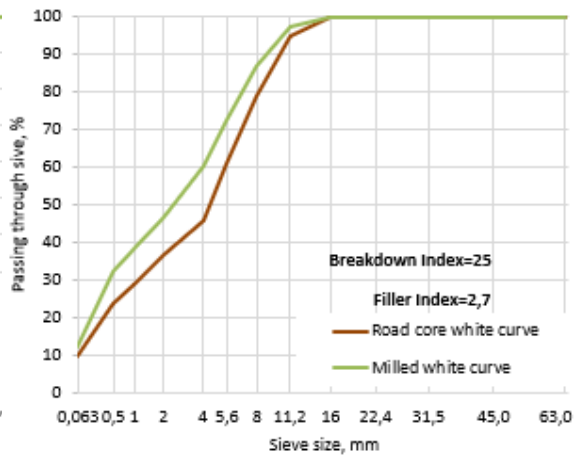
4.2.1 Index för respektive väg

I *Figur 46* kan man avläsa klumpindexet för beläggningen, där den frästa svarta kornkurvan (grå) är belägen under den frästa vita kornkurvan (grön). Detta beror på att en större andel material passerar siktarna för den frästa vita kurvan. Den stora anledningen till detta är att bindemedlet klumpar ihop stenmaterialet och därav innehåller den frästa svarta kurvan klumpar som är upptill 22,4 mm stora medan den frästa vita kurvan har en största stenstorlek upptill 11,2 mm. Till höger i *Figur 46*, kan man avläsa nedbrytningsindexet för stenmaterialet som sker när beläggningen fräses. Här befinner sig den frästa vita kurvan (grön) ovanför borrhypens kornkurva (brun), vilket innebär att stenmaterialet har krossats/klyfts vid fräsning. Därmed passerar en större andel stenmaterial respektive sikt, efter genomförd fräsning. Fillerindexet kan också avläsas till höger i *Figur 46*, där andelsskillnaden mellan 0,063 mm för kornkurvorna svarar för detta index. Samma tankesätt gäller för Tommarpsvägen där *Figur 47* gäller och Ekevägen med tillhörande *Figur 48*. Det som skiljer sig åt är indexvärdet, då alla beläggningar har olika förutsättningar. För information om indata för respektive väg finns *Bilaga 2, 3 och 4* att tillgå.

Chunk Index

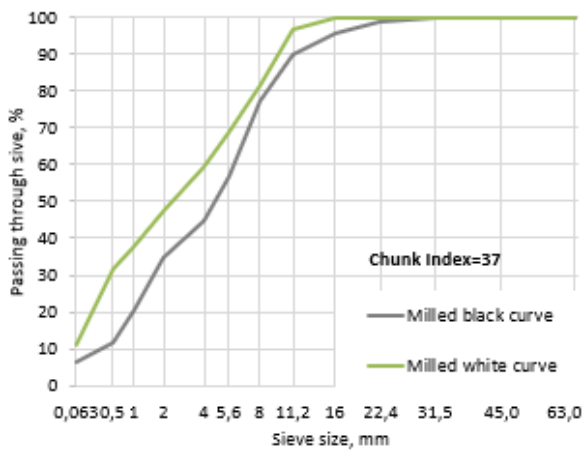


Breakdown & Filler Increase index index

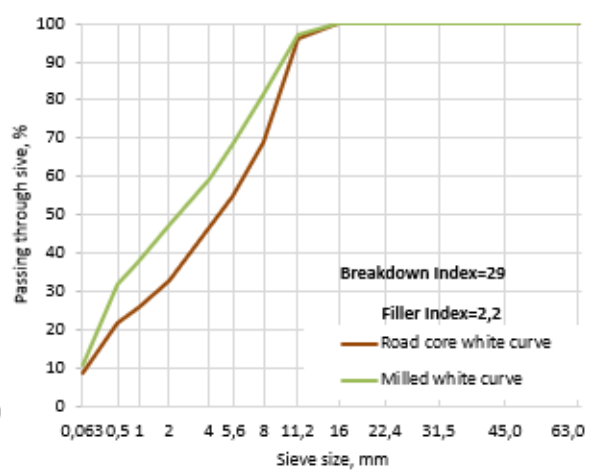


Figur 46: Klump-, nedbrytning- och fillerindex för Malörtsvägen.

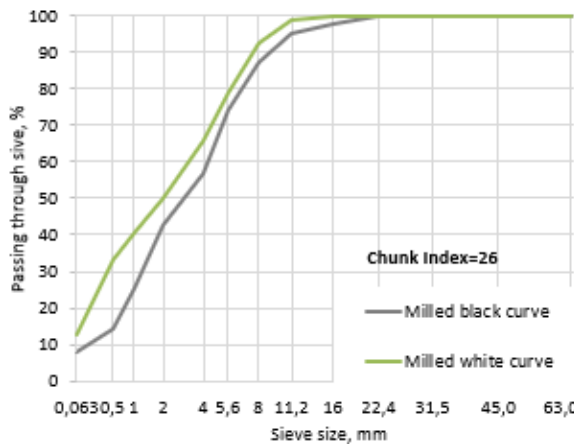
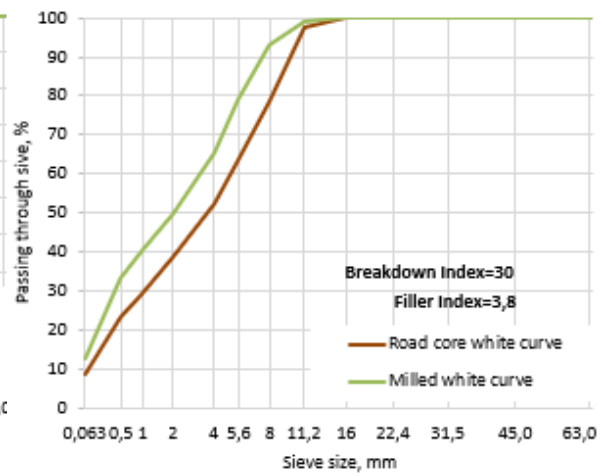
Chunk Index



Breakdown & Filler Increase index index



Figur 47: Klump-, nedbrytning- och fillerindex för Tommarpsvägen.

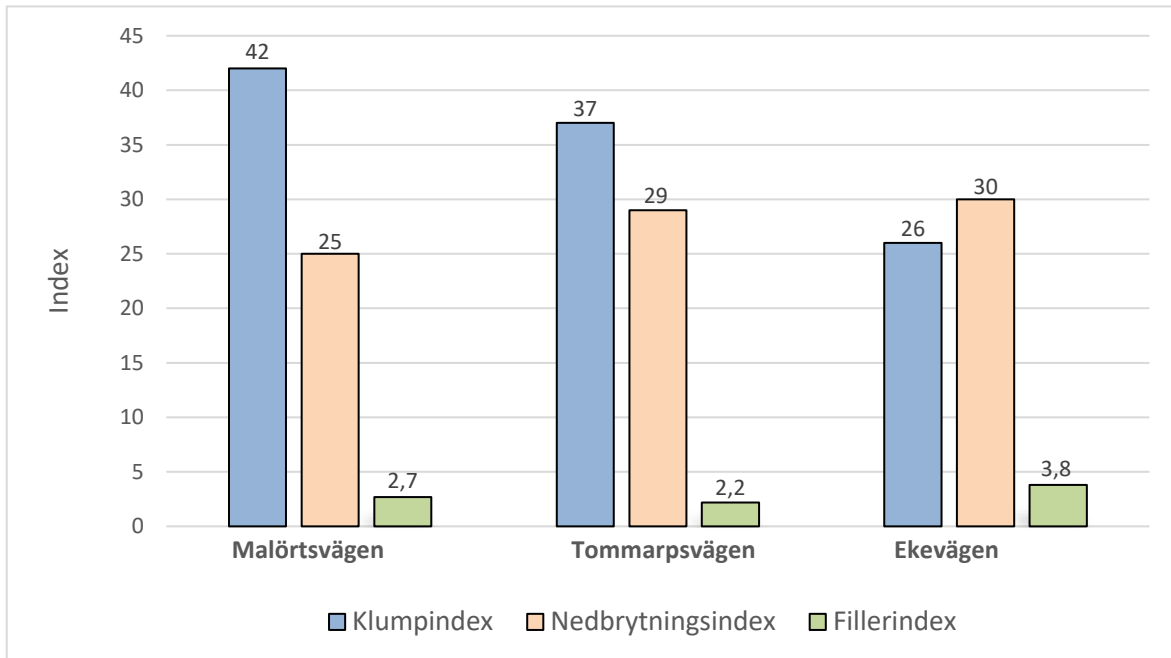
Chunk Index**Breakdown & Filler Increase index**

Figur 48: Klump-, nedbrytning- och fillerindex för Ekevägen.

I de plottade kornfördelningskurvorna kan man identifiera att det alltid blir ett positivt klumpindex, vilket grundar sig i att bindemedlet klumpar ihop stenaggregatet och mindre mängd passerar respektive sikt jämfört med utan bindemedel. Detta i sin tur gör returafalten grövre, som resulterar i ett positivt index. Även nedbrytningsindexet är positivt, vilket uttrycker att stenaggregatet har klyvts eller skadats. Därav passerar en större mängd varje sikt jämfört med borrhucken som fungerar som ett referensvärde. Fillerindexet identifieras också som positivt, då andelen material som är finare än 0,063 mm ökar efter genomförd fräsning.

4.2.2 Sammanställning

Stapeldiagrammet ger en överblick över resultatet från kalkylatorn. Den blå stapeln presenterar klumpindex, grön stapel nedbrytningsindex och den grå stapeln fillerindex. Till vänster i *Figur 49* framförs Malörtsvägen, i mitten Tommarpsvägen och till höger Ekevägen. Ovanför staplarna presenteras det exakta indexvärdet för respektive parameter.



Figur 49: Sammanställning av indexvärden för de tre olika objekten.

I figuren kan ett sammanhängande resultatet skådas, där resultaten från respektive väg är snarlika. Detta resultat var väntat då beläggningarna och fräsnings metoderna var snarlika. Det som sticker ut mest är klumpindexet mellan Malörtsvägen, Tommarpsvägen och Ekevägen. När Malörtsvägen och Tommarpsvägen frästes var temperaturen 20 grader jämfört med 10 grader när Ekevägen frästes.

4.3 Intervju

- Bakgrund

Respondenten berättade generellt om fräsmaskiner och beskrev fräsmaskiner som en komplex maskin. Det skall uppmärksammas att fräsmaskinerna lägger grunden hur jämn vägen skall bli i slutänden. Yrkesarbetarna som lägger asfalten kan endast göra mindre justeringar för att åstadkomma en jämnare yta. Fräsmaskinen består av ett avancerat mätsystem som yrkesarbetarna använder sig av när en beläggning skall fräsas. Mätsystemet består av 20 givare som är utplacerade på fräsmaskinen. I fräsmaskinens dator associeras därefter resultatet från givarna så att ett medelvärde används för att fräsa beläggningen. Detta medför att pucklar, hjulspår och liknande kan fräsas bort. Fräsmaskinen innehar även en stång med ultraljud som positioneras ut till vägens mittposition, ultraljudet mäter höjden på mittpunkten. När beläggningen sedan fräses agerar hela fräsmaskinen som en rätskiva fastän beläggningen fräses i flera drag. Det är viktigt att tänka på hjulspåren, så att fräsdjupet är tillräckligt för att jämna dessa, annars fås inte samma packningsgrad på hela ytan.

Respondenten berättade att 80 procent av de arbeten som utförs består av en traditionell 20–40 mm låda, vilket innebär en fräsning som är 20 till 40 mm djup. Sammanfattningsvis är deras vanliga sysselsättning fräsning av slitlager. Respondenten delger även en annan fräsnings metod än den vanliga där det frästa materialet fraktas bort, denna kallas infräsning. I en infräsning fräses oftast slitlagret, bindlagret och det bundna bärlagret samtidigt och skapar det nya bärlagret till vägen. För att genomföra en infräsning öppnar yrkesarbetarna en lucka på fräsmaskinen. Vid vanlig fräsning, så skrapar denna lucka på den frästa ytan bakom fräsmaskinen så att allt material kommer ut på lastbandet. Men vid infräsningar höjs denna lucka så att fräsmassorna fördelas bakom maskinen. Det är viktigt att inte höja luckan högre än nödvändigt, för då bildas en stor andel asfaltkakor i det nya bärlagret, därav ska man endast höja luckan en liten bit så valsem hinner arbeta ner massorna.

”Man ska sänka luckan tills att man hör att maskinen ansträngs, så att han jobbar i materialet och finfördelar det”

Johnsson

I intervjun återges det även att det finns en maskin som markstabiliserar vilket Skanska använder sig av på det mindre vägnätet som har problem med tjäle. Denna maskin är en Wirtgen 240i som tar sig fram med fyra hjul i stället för en vanlig fräsmaskin som har larvband. Det som är det speciella med denna är att den fungerar som en svamp och suger upp vatten hela vägen upp till ytan.

”Vatten är döden för vägen”.

Johnsson

Respondenten berättar även att lastbyten kan vara kritiska vid tunna fräsningar, då det finns en tendens att en svacka bildas varje gång maskinen stannar. Valsen går upp 5 mm när fräsmaskinen stannar men trots detta kan en svacka uppstå. Därav försöker yrkesarbetarna utföra lastbyten i farten, då maskinen kan behålla material under 50 meter, vilket ger tid till lastbyten.

- Styrparameterar

Respondenten återger att beläggningar som består av både bind- och slitlager, är mycket svåra att fräsa utan att asfaltkakor släpper från bindlagret. Detta grundar i att slitlagret är fastklistrat dåligt i bindlagret och då släpper asfaltkakor när slitlagret skall fräsas bort. Respondenten bekräftar att man i regel får fler asfaltkakor desto fortare fräsmaskinen kör, så hastigheten på fräsmaskinen har en stor påverkan.

”Man får mer kakor desto fortare du kör”

Johnsson

Problemet med asfaltkakor uppkommer endast när fräsningen skall ske mellan två olika lager. När fräsningen sker i ett homogent lager, det vill säga mitt i ett lager fås i regel inte några asfaltkakor.

”Om man inte kör mellan två lager, så brukar det bli ett fint material”

Johnsson

När fräsmaskinens hastighet är låg fås generellt fina fräsmassor, men ändå kan någon enstaka asfaltkaka komma på lastbandet. Därav brukar samtliga fräsmassor krossas på asfaltverken, men respondenten instämmer att siktning är en bra lösning för att sortera bort asfaltkakor och annat oönskat från granulatet. Men respondenten trycker på att det är viktigt att fräsmassorna siktas inom några dagar. För desto längre fräsmassorna får lagras i en hög, desto mer bränner materialet ihop och bildar stora klumpar som kan vara svårare att sikta.

”Därför är det nästan tvång att sikta det direkt”

Johnsson

För att minska trycket som bildas när returafalten lagras i en upplagshög, skall höjden begränsas. Det är även viktigt att påpeka att hjullastaren inte får packa upplagshögen, så att trycket ökar i onödan. Utförs detta kan det hända att möjligheten att sikta returafalten försvinner.

- Planering

Respondenten berättar att man alltid fräser det djupet som är beställt och inte varje lager för sig. Detta görs då då alla priser som lämnas är per kvadrat. Respondenten känner inte till att man har fått en förfrågan att fräsa varje lager för sig när ett djupare objekt skall fräsas. Därav fräser yrkesarbetarna på det effektivaste viset för maskinen, för att kunna fräsa så många ton som möjligt. Om till exempel ett objekt på 30 cm skall fräsas, så fräses först 15–20 cm och därefter resterande djup i nästa drag. Anledningen är att det tar längre tid att fräsa 30 cm på ett drag än att dela upp fräsningen. Men detta gäller endast för fräsningar som är djupare än 20 cm, annars fräses alltid hela djupet direkt. Problemet med att fräsa lager för lager är att ingen beställare efterfrågar detta. Alla anbud som räknas är därför beräknade för att fräsmaskinen skall användas på högsta kapacitet. Men om ett förfrågningsunderlag efterfrågar att fräsa lager för lager, så finns det inga problem att genomföra detta förutom att det antagligen blir dubbelt så dyrt.

”Det blir dubbelt så dyrt att sitta och åka två gånger”

Johnsson

När äldre villagator skall fräsas så finns det i regel flertalet lappar, hjulspår, sättningar och olika toppar. På grund av denna heterogena beläggning finns det inte tillräcklig med information för att veta förhållandet mellan bindlagret och slitlagret längs med vägen. I ena hörnet av vägen kan slitlagret vara 20 mm medan andra hörnet är 40 mm djupt. Det enda

sättet att fräsa en sådan här gata utan att fräsa ned i bindlagret ett flertal gånger är att borra borrpuckarna tätt emellan och markera upp. Fräsmaskinen reagerar inte på något sätt om valsens kommer ned i bindlagret och det syns heller inte på ytan som fräsen lämnar efter sig om det är bra klistrat. Är det sämre klistrat kan det tydas vart det släpper och om fräsen har varit nere i bindlagret eller inte.

- Hastigheter

I Malmö där kvartsitmassor används tar det längre tid att fräsa på grund av den hårdare stenen. Idag används diamanbitsar i frästrumman men tidigare användes standard bitsar av metall även i Malmö och då krävdes byten i frästrumman tre gånger per dag.

”När man sitter och åker i Malmö, där man kör 8 000 till 10 000 kvadrat på en dag, då hade man tre byten på en dag i trumman”

Johnsson

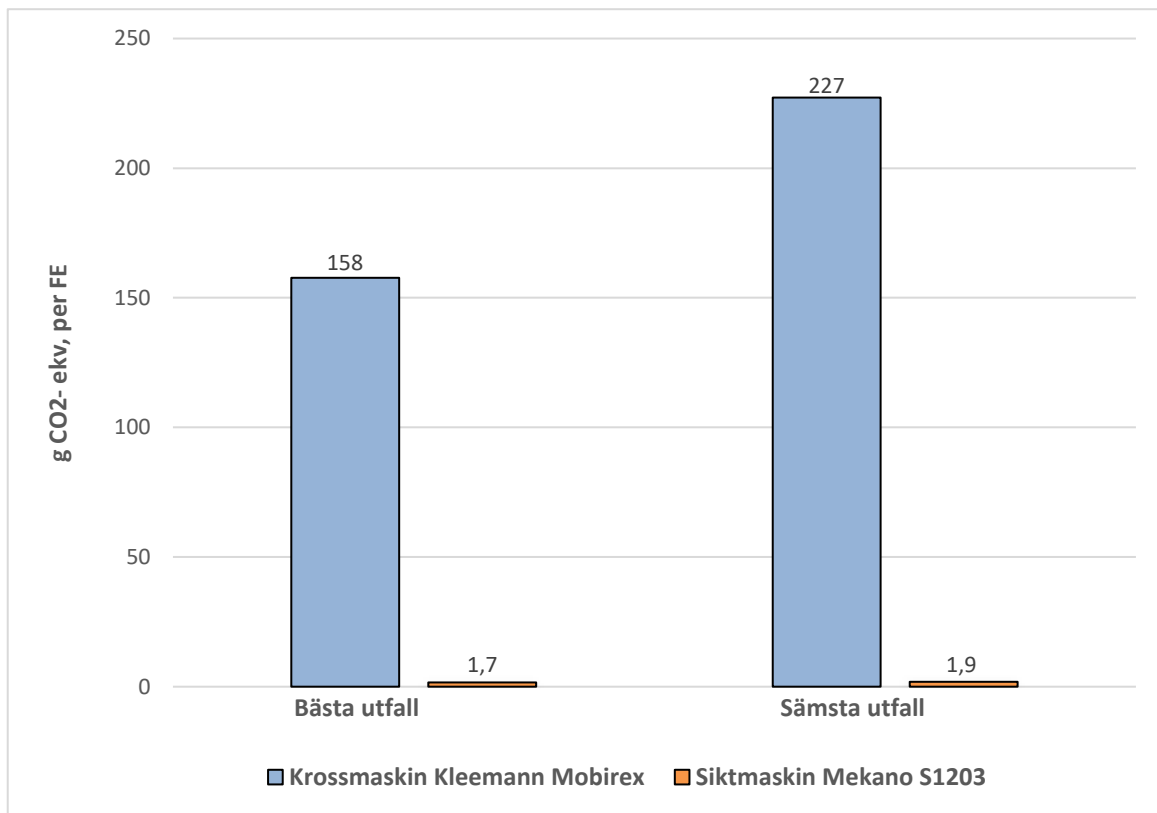
På en vanlig led i Malmö utan hinder brukar fräsningen ske med en hastighet omkring 15 m/minut om endast slitlagret fräses. Hastigheten bestämmer i regel fräsmaskinen, då motorn justerar så att optimalt vridmoment används för att få ut bäst bränsleförbrukning. Sen kan man även ställa in om man vill ha en grov eller fin yta efter fräsen. I Stockholm kan man i regel fräsa i 22–25 m/ minut vilket kan göras då de har en mjukare sten än kvartsit. På en villagata i Malmö med kantsten, refug, dagvattenbrunnar och så vidare brukar en fräsning omkring 8 000 kvadratmeter ske på en dag, vilket motsvarar 7–9 m/minuten. På hösten när asfalten är sprödare och hårdare går fräsen betydligt tyngre än på sommaren.

”På sommaren är asfalten som smör”

Johnsson

4.4 Klimatberäkningar

I detta kapitel presenteras resultatet i gram CO_2 ekvivalenter för kross- och siktmaskinen. Den funktionella enheten (FE) är ett ton granulat. I *Figur 50* illustreras resultatet med stapeldiagram där blå stapel representerar krossmaskinen medan orange stapel representerar siktmaskinen. En högre stapel innebär att en högre andel utsläpp av CO_2 ekvivalenter sker för varje ton granulat som antingen siktas eller krossas beroende på maskin. Ovanför stapeln presenteras dem exakta CO_2 ekvivalenter per ton granulat. Det bästa utfallet representerar högsta möjliga kapacitet för respektive maskin i samband med lägst förbrukning och sämsta utfallet representerar lägst kapacitet med högst förbrukning. Kross- och siktmaskinen som denna studie baseras på är Kleemann Mobirex respektive Mekano S1203. För mer ingående information kring beräkningsgången finns *Kapitel 3.6* och *Bilaga 5* att tillgå.



Figur 50: Stapeldiagram med koldioxidekvivalenter per FE på y-axeln.

Något att observera är resultaten för bästa och sämsta utfall för respektive maskin. Det sämsta och bästa utfallet skiljer sig avsevärt för krossmaskinen medan siktmaskinen har likvärdiga utfall. Det betyder att krossmaskinens utsläpp påverkas mycket efter hur maskinens kapacitet nyttjas medan siktmaskinen har likvärdigt utsläpp trots att kapaciteten inte nyttjas till fullo. En annan sak att observera är differensen mellan utsläppsnivåerna för krossmaskinen jämfört med siktmaskinen.

5 Diskussion och slutsatser

I detta kapitel presenteras diskussion och slutsatser och kopplas samman utifrån rapportens frågeställningar. Därefter diskuteras de valda metoderna utifrån resultatet. Kapitlet avslutas med slutsatser och rekommendationer. En av många saker som är den dragande faktorn i att återvinning av asfalt är intressant är kostnadsbesparingen som kan göras av både entreprenören och beställaren. Beställaren får en klimatsmart produkt för en mindre kostnad medan entreprenören kan styra vinstmarginalen med hur mycket återvinningen som tillsätts i asfaltmassan. Entreprenörens ådragande faktor i hur hög återvinningshalt som kan tillsättas är kraven på asfaltmassan från beställaren som fortfarande måste uppfyllas. Den andra faktorn är de stora klimatbesparingar som kan göras med återvinning av asfalt. Destillation av råolja, det vill säga framställning av bitumen påverkar den globala miljön på ett negativt vis. Dessutom skeppas bituminet en lång sträcka för att nå Sverige, där övergödning, försurning och förgiftning sker på vägen. För att inte bara nämna den globala miljön så påverkas även den lokala miljön när befintliga stenbrotts områden ökar i storlek och nya stenbrott godkänns. När högre återvinningshalter kan användas i asfaltmassorna minskar de globala och lokala klimatavtrycken, då en mindre mängd jungfruligt bitumen och stenmaterial behöver tillsättas i den nya massan.

5.1 Resultatdiskussion

I det bästa av två världar behöver fräsmassor varken siktas eller krossas, men det finns inte alltid förutsättningarna för att leverera fräsmassor av denna kvalitet. Detta beror på betydligt fler faktorer än bara fräsmaskinen, för trots att flera parametrar kan justeras som fräsdjup, maskinhastighet, valshastighet så hjälper inte alltid detta. Större stenar och asfaltkakor kan ändå följa med i returafalten trots att alla faktorer tas i beaktning. Orsaken till detta kan vara flera, som att slitlagret är dåligt fäst i det underliggande lagret vilket kan resultera i att en hel asfaltkaka brytas upp. En annan möjlig orsak är att slitlagret är tunnare på sina ställen och då kommer fräsen att komma ner till det underliggande lagret och fräsa upp större stenar som inte tillhör slitlagret. Fastän fräsmaskinen körs på det mest optimala sättet för både klumpindex och nedbrytningsindex, så finns det yttre faktorer som är svåra att förutspå. På grund av detta så är det svårt att undvika siktningssteget och därav är det ett moment som ej bör slopas. För att det skall finnas en möjlighet att slopa siktningsprocessen behöver beläggningen vara av absolut toppskick enligt ovannämnda faktorer. Det vill säga att det aktuella lagret är ordentligt fast i det underliggande lagret samt att lagret är lika tjockt längs hela sträckan. Då hade man möjligtvis kunnat få ut en produkt direkt från fräsen som varken behöver krossas eller siktas, förutsatt att fräsmaskinen framförs på det optimalaste förfarandet vilket litteraturstudien bekräftar (Dav, 2011).

5.1.1 Påverkan

Studiens laborietester påvisade att fillermängden ökade efter genomförd fräsning på samtliga tre objekt. Filler­mängden ökade i genomsnitt med 2,9 procent, vilket var ett väntat resultat då det bildas en hög spänning på stenaggregatet när beläggningen fräses. Detta resultat antas vara befogat, då litteraturstudien visade att fillermängd ökade med 4,8 procent vid genomförd fräsning på en motorvägssträcka med en homogen beläggning (Zaumanis 2018). Enligt litteraturstudien finns det bevis som tyder på att fräsningen genererar filler och det beror antagligen på spänningar som genereras på stenaggregatet. Desto högre spänningar, desto mer filler. För att undvika detta i högsta mån, skall fräsmaskinen köras i en lägre hastighet för att minska spänningarna. Detta är kontraintuitivt eftersom en grövre fräsning det vill säga en högre maskinhastighet, genererar mindre brutet område och bör därför generera mindre filler men så är inte fallet. Spänningarna är alltså den stora boven, när det gäller fillerökning. Lägre maskinhastighet är lika med mindre spänning (Zaumanis etc, 2023). Laborietesterna stödjer däremot inte litteraturstudien när det gäller att mindre brutet område (dvs högre klumpindex) genererar mer filler. Malörtsvägen har ett högre klumpindex än Ekevägen, men ändå har Ekevägen ett fillerindex som är 62 procent högre än Malörtsvägen. Troligtvis beror detta resultat på beläggningens kvarstående kvalitet och tillstånd, då spänningen samt beläggningstypen har varit detsamma på samtliga gator.

Klumpindexet varierade något mellan de tre olika objekten visar studiens laborietester. Malörtsvägen fastställdes med högst klumpindex på 42 och Ekevägen fastställdes med lägst klumpindex på 26. En möjlig anledning till detta är möjligtvis vädertemperaturen. När Malörtsvägen och Tommarpsvägen frästes var temperaturen betydligt högre än när Ekevägen frästes. När Malörtsvägen och Ekevägen frästes var det runt 20 grader medan det var 10 grader när Ekevägen frästes. Detta är en temperaturskillnad på 10 grader vilket förändrar styvheten på bindemedlet i stor omfattning. När beläggningen är kall styvnar bindemedlet och beläggningen blir sprödare. Detta kan vara en anledning till att Ekevägen fick ett lägre klumpindex. När det är varmare är bindemedlet segare och klumparna bildas lättare än vid svalare temperatur. Respondenten i intervjun påpekade att beläggningen blir som smör på sommaren jämfört med kallare temperaturer, detta medför att retur­asfalten klumpar ihop. Asfaltkakorna som bryts upp vid fräsning beror inte på temperaturerna, utan på beläggningens förutsättningar enligt respondenten. Med detta kan man dra slutsatsen att lägre temperaturer bistår med att retur­asfalten blir mer finfördelat vid fräsning och klumpar sig mindre vid transport och lagring, vilket i sin tur resulterar i det lägre klumpindexet.

Nedbrytningsindexet var snarlikt mellan de tre objekten, indexet varierade mellan 25 och 30. Detta resultat var däremot förväntat, då beläggningarna var snarlika och frästes med samma förutsättningar. Störst nedbrytningsindex fick Ekevägen och lägst Malörtsvägen. Man ska dock ta med sig att ett nedbrytningsindex på 30, betyder att stenfraktionerna har brutits ned med ungefär sex till sju procent. En nedbrytning i denna storleksordning har inte någon större påverkan på andelen återvinning man kan använda i en ny ABT 11 beläggning. Ett mönster som kan tydas från laborietesterna är att fraktionerna 0,5–5,6 mm är de fraktioner som bryts ned mest av fräsmaskinen. Men det som syns från mätningarna på Ekevägen är att även en del 8–11,2 mm fraktioner har brutits ner, vilket inte har skett i samma uträkning på de andra objekten. Orsaken till detta är svår att bekräfta, men svaret kan ligga i själva uttagningen av borrhuckarna. När en borrhuck tas, kommer en del av stenfraktionerna att klyvas av borren vilket kan ge en mindre skev beskrivning av resultatet.

5.1.2 Styrfaktorer

Enligt litteraturstudien skall fräsmaskinen med fördel framföras med en lägre maskinhastighet för att reducera asfaltklumpar, då andelen andel klumpar i returafalten ökar med maskinhastigheten. Vid djupa fräsningar, där fräsningen är mellan 200 och 300 mm, bör maskinhastigheten vara runt 5 m/minut eller lägre. Vid tunnare fräsdjup kan fräsmaskinen framföras något snabbare, med ett godtagbart resultat (Zaumanis etc, 2023). Det tas även upp att det är av ytterst vikt att inte blanda rivningsmassor med frästa asfaltmassor, för annars måste allt i upplagshögen krossas vilket kan vara onödigt om det endast är fräsmassor (Zaumanis, 2018). Detta bekräftar även Olsson i sin rapport från 2019. Men det som inte nämns uttryckligen i litteraturstudien är att det fortfarande är av vikt att framföra fräsmaskinen i en hastighet som inte leder till onödiga asfaltkakor och klumpar av returafalten. För om det tenderar att bli större mängder bort siktat returafalt behöver krossmaskinen ändå användas, då siktmaskinen inte krossar utan bara siktar. Baserat på detta kommer siktmaskinen iså fall att sikta bort en majoritet av returafalten. Därav är det viktigt att beläggningen fräses på det önskade förfarandet, för att en mindre mängd av fräsmassorna skall siktas bort och undvika krossmaskinen. Detta bekräftar även respondenten att en lägre hastighet, genererar ett mer finfördelat returafalt med mindre andel asfaltkakor.

I fickorna där returafalten/granulatet tillsätts finns det galler som motverkar att större stenar eller asfaltkakor tar sig hela vägen till parallelltrumman. Dessa galler ska varken ha för små eller stora maskhål. För små maskhål medför att granulatet kommer sätta igen maskhålen och för stora maskhål, kommer släppa igenom granulat som klumpat ihop sig. En tanke är att göra om dessa galler till siktar (det vill säga vibrerande) för att undgå att sikta det i förväg. Detta bygger på samma teknik som siktningsmaskinen. Men det som talar emot det, är att ingen kornkurva kan fås på returafalten, då det siktade materialet iså fall tar sig direkt till parallelltrumman efter att ha blivit siktat. Kornkurvan på returafalten är viktig för att kunna blanda det aktuella receptet korrekt. I sådant fall hade en liknande sikt fått anläggas sidan om, för att ge möjlighet att sikta ett par ton och plocka ut representativa kornkurvor för hela upplagshögen. Denna metod hade uteslutet ett extra moment som både siktning och krossning innebär.

Enligt litteraturstudien är det fräsmaskinhastigheten som främst styr storleken på klumpighetsindex, nedbrytningsindex och fillerindex på returafalten, så det är i första hand denna styrfaktor som skall justeras. Andra parametrar som valshasighet, fräshakar och så vidare, är finjusteringar som skall fortlöpa när den generella maskinhastigheten har sänkts på alla typer av beläggningar. Belastningen av denna åtgärd, blir att fräsningsförfarandet kommer ta längre tid med den lägre hastigheten. Däremot väger fördelarna tyngre än nackdelarna. Arbeten som tar längre tid, kostar pengar i form av anställda och maskiner, men i stället fås en högkvalitativprodukt som endast behöver siktas vid asfaltverket, för att sedan användas i nya massor. Detta resulterar i miljövänligare asfaltmassor som även är billigare att tillverka. Påföljden blir att fler konkurrenskraftiga offerter kan lämnas, som förhoppningsvis leder till att fler vunna anbud erhålls. Alltså blir det en positiv effekt av den något dyrare kostnad det blir att genomföra fräsningen. Det är viktigt att arbetsledaren är informerad och förstår att denna åtgärd kräver att det planeras in en längre arbetstid för respektive arbetsplats. Även litteraturstudien bekräftar att det är ytterst viktigt att fräsa varje lager för sig. Skall man till exempel ta bort och lägga om samtliga bundna lager på en vägsträcka, skall slitlagret, bindlagret och det bundna bärlagret fräsas var för sig.

För att ge större möjlighet att tillverka högkvalitativa slitlagerbeläggningar med hög återvinningshalt behöver varje lager fräsas för sig. Detta är ett arbetssätt som tar längre tid än att fräsa två lager samtidigt, men ger ett bättre resultat i slutändan. Om man fräser slitlagret och det bundna bärlagret samtidigt, kan man inte använda denna returafalt i ett nytt slitlager. Detta till följd av det större stenaggregatet i det bundna bärlagret. Ifall man fräser slitlagret för sig kan den returafalten användas för inbladning i det nya slitlagret (DAV, 2011). Respondenten påpekade att alla anbud och offerter som lämnas, beräknas med att fräsmaskinen används i sin högsta kapacitet. Om en beläggning skall fräsas i två omgångar i stället för att fräsa slitlager och bindlager i samma drag, kommer kostnaden ungefär öka till det dubbla. Fräsmassorna används då för den nya beläggningen med en mindre andel jungfruligt, bindemedel, stenmaterial och förnyingsmedel.

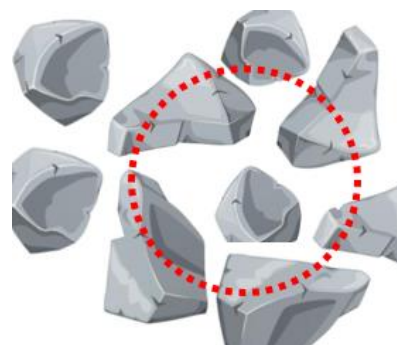
5.1.3 Klimatpåverkan

Klimatberäkningar påvisade att utsläppsnivån reduceras 99,0 procent genom att byta ut krossmaskinen mot en siktmaskin. Detta betyder att krossmaskinen approximativt innehar ett utsläpp omkring 200 kg koldioxidekvivalenter för varje 1000 ton krossat granulat medan siktmaskinen endast har ett utsläpp på 2 kg för varje 1000 ton siktat granulat. Dessa siffror baseras på maskinernas produktblad, men skall verkliga kapacitetsmängder användas reduceras utsläppsnivån ytterligare. Enligt Skanskas UE är både kross- och siktmaskinens kapacitetsmängd runt 140 ton i timmen, vilket betyder att utsläppsnivån för krossmaskinen är 680 kg koldioxidekvivalenter per 1000 ton krossat granulat medan siktmaskinens utsläpp är 2,1 kg för varje ton siktat granulat. Med denna nya indata blir reduktionen 99,7 procent genom att byta ut krossmaskinen med en siktmaskin. Oavsett om kapacitetsmängden hämtas från produktbladet eller underentreprenör, är denna utsläpps reduktionen så pass stor att varken entreprenörer eller beställare kan ignorera denna fakta. Men för att siktmaskinen skall kunna brukas, måste fräsmaskinen framföras i en förhållande vis låg hastighet för att reducera klumpar och asfaltkakor i returafalten. Om fräsmaskinen framförs i en högre hastighet, resulterar det i så pass många och stora klumpar att krossen blir nödvändig, då siktmaskinen kommer att sikta bort för mycket returafalt. En lägre hastighet på fräsmaskinen resulterar i att arbetena kommer att kräva längre tid och kosta mer att utföra, men klimatvinsten blir stor. Det som är den största skillnaden mellan en sikt och en kross, är att sikten endast siktar. En del material faller sönder på siktgallerna när det vibrerar, men i regel inte. Det är därför fräsmaskinens hastighet är såpass viktig, för uppkommer en större andel klumpar/asfaltkakor så kommer siktmaskinen sikta bort en stor del av returafalten och krossmaskinen blir återigen intressant. Objekten som denna studie har behandlat har en siktning fungerat väl, där endast en mindre andel asfaltkakor och större sten siktades bort. Anledningen till att detta lyckade resultatet grundade i den låga hastigheten mellan 7–9 m/minut vilket är en vanlig fräshastighet på villagator. På större vägar framförs fräsmaskinen i hastigheter på 15–20 m/minut, vilket kommer resultera i en större andel asfaltkakor och asfaltklumpar. Det är främst på de större trafiklederna, som verksamheten behöver se över fräsningshastigheten för att ge möjlighet att sikta returmassorna. Hastigheten behöver såldes inte sänkas för villagator. Respondenten bekräftar att det blir mindre finfördelat i högre hastigheter och det är därför viktigt att se över om dessa högre hastigheter kan sänkas.

5.2 Metoddiskussion

5.2.1 Påverkan

Resultatet för den första frågeställning hade möjligtvis kunnat visa ett något annat resultat om man hade använt sig av en annan referens än borrhuck. När borrhucken tas, förstörs en del av aggregatet som resulterar i att referensvärdet visar att beläggningen består av mindre fraktioner än vad den egentligen består av. *Figur 51* illustrerar grovt vad som händer när man borrar en borrhuck i beläggningen, det man kan se är att flera stenaggregat klyvs och ger ett missvisande värde. Borrhuck är dock en standardmetod och användes på grund av det. En bättre metod hade varit att gräva upp en asfaltkaka, för då förstörs endast stenaggregatet där skopan går ner i beläggningen. Däremot blir det svårare att skilja på de olika lagerna än vad det är i en borrhuck.



Figur 51: Illustration av en borrhuck.

När en borrhuck borrar upp, får man med samtliga bundna lager, men i både Malört, Tomarp och Trelleborg var det endast slitlagret som skulle fräsas upp. Detta medför att man måste såga av slitlagret från resten av borrhucken för att erhålla aktuell data, vilket i sin tur genererar liknande felkälla som nämndes ovan om borrhucken. När slitlagret sågas av, klyver man i de flesta fall även stenaggregat från antingen slitlagret eller lagret under. Detta genererar en större andel av de mindre fraktionerna än verkligheten.

Provtagningarna är utförda enligt europeiska och svenska standarder, så provtagningarna är inget som skulle kunna inskränka på resultatet. Däremot finns det andra saker som skulle kunnat göras bättre och förändra resultatet något. Det togs endast en borrhuck på både Tommarpsvägen och Malörtsvägen, men tre borrhuckar på Ekevägen. Anledningen till detta var att dessa frästes under uppstarten av studien och därav var det för sent att ändra detta förfarande. Ekevägen frästes senare och därmed kunde detta arbete styras så att fler borrhuckar togs.

Kalkylatorn som användes i denna studie är gjord av Martins Zaumanis som har skrivit flera vetenskapliga studier om asfaltåtervinning. Denna kalkyl gjorde att ett index kunde presenteras för varje parameter, vilket ger en bättre möjlighet att jämföra vägprojekt och studier sinsemellan. Ett lägre index anger att returafalten har påverkats mindre gentemot ett större index och så vidare. Däremot presenteras inte vad ett godtyckligt index bör vara för att ge goda förutsättningar att återvinna den frästa beläggningen. Självfallet önskar man att indexet skall vara så nära noll som möjligt, men ett givet riktvärde för varje parameter hade givit en mer värdefull data.

Kalkylen innehåller inte siktsållarna 0,25 mm och 0,125 mm, vilket är standard för en kornfördelningskurva. Anledningen till detta beror troligtvis på att dessa siktar består av ett membrannät. Att sikta stenaggregat med bindemedel genom ett membrannät, sätter sannolikt igen dessa siktar. Baserat på detta, togs beslutet att plocka bort dessa siktsållar när materialet från Trelleborg skulle siktas i laboratoriet i Önnestad. Detta är något som ger en skev bild över kornfördelningskurvan men är inget som skall påverka indexet enligt resultatet, då grafarean förblir detsamma. Det som påverkar den skeva bilden av kornfördelningskurvan är att det materialet som passerar 0,5 mm siktsållet räknas som 0,063 mm, vilket inte behöver vara sanningen.

Samtliga gator som frästes i Trelleborg, bestod av kvartsitbeläggningar. Kvartsit är en hårdare sten än till exempel granit. Stensorten har ingen påverkan för andelen klumpar eller asfaltkakor, men nedbrytningen av granitsten hade möjligtvis kunnat påvisa andra indexvärden än kvartsitstenen. En hårdare sten är i de flesta fall även sprödare och resulterar då i ett högre nedbrytningsindex. Troligtvis innebär detta att en liknande beläggning med granitsten hade resulterat i ett lägre nedbrytningsindex men det finns inga resultat i dagsläget som stöder detta. Samtliga gator i Trelleborg bestod även av en ABT 11 beläggningen, vilket var fördelaktigt för att kunna jämföra resultaten. Men om en grövre ABS beläggning hade studerats hade troligtvis resultatet sett annorlunda ut, då det visade sig att de större fraktionerna inte bröts ned i samma utsträckning som de mindre. Till följd av detta hade förmodligen nedbrytningsindexet varit lägre för de grövre beläggningar med mindre andel fina fraktioner.

5.2.2 Styrfaktorer

Denna studie behandlade endast en hastighet som var lämplig för fräsning på villagator. Att testa flera hastigheter var inte lämpligt att utföra på objekten till följd av flera faktorer som tid och objekt. Detta ansågs däremot inte vara en förlust då litteraturstudien behandlade en omfattande studie om fräsning med flera styrfaktorer och hur dessa påverkade klump-, nedbrytning- och fillerindex. Denna studie påvisade att maskinhastigheten var den faktor som påverkade returafalten i högsta grad, vilket även respondenten i intervjun bekräftade.

Två av objekten frästes i en lufttemperatur på 20 grader och en när lufttemperaturen var 10 grader, detta visade sig ha en större betydelse för klumpindexet. För att med säkerhet kunna påvisa detta, hade ytterligare ett likvärdigt objekt krävts. Om två objekt visar liknande resultat kan en större säkerhet påvisas, därav hade ytterligare en beläggning behövts fräsas när lufttemperaturen var 10 grader. Detta var något som påträffades när alla tester hade utförts och resultaten analyserades, vilket var i ett sent skede av studien.

Olika valständer bidrar till största sannolikhet till skilda resultat, då de är uppbyggda av olika material och besitter diverse utformningar. När kvartsitbeläggningar fräses används alltid diamanttänder, därav fanns det ingen anledning att testa med andra valständer. Hade flera olika valständer använts, hade det varit intressant att analysera hur testresultaten skiljer sig. På grund av detta användes endast diamanttänder i valsen, för att inte frångå hur arbetet sker i faktiskt tillstånd.

5.2.3 Klimatpåverkan

Resultatet hade möjligtvis sett annorlunda ut ifall klimatpåverkan hade utvidgats till tillverkning, intervaller för reserv- och slitagedelar samt den beräknade livslängden på kross- och siktmaskinen. I denna studie undersöktes endast klimatpåverkan under driftskedet. Problemet med att undersöka klimatpåverkan för tillverkningsskedet, är att många faktorer måste tas i beaktning om det inte skall falla utanför systemgränserna.

Först steget är att dela upp allt råmaterial och arbeta baklänges, var har råmaterialet utvunnits och med vilken metod? Andra steget blir att undersöka vilket transportsätt som de färdiga produkterna eller råprodukterna har fraktats till fabriken. Därefter skall utsläppen från fabrik undersökas, där fördelning av utsläppen skall göras mellan maskinerna.

Om fabriken bygger flera typer av maskiner, skall klimatpåverkan även undersökas för dessa. Vilket utförs för att ge möjlighet att dela upp utsläppen från fabriken korrekt mellan maskinerna. Det som vanligen är relevant när företag diskuterar klimatpåverkan är just driftsfasen, därav har denna studie endast behandlat klimatpåverkan under driftskedet.

5.3 Slutsatser

Dessa slutsatser bygger på studiens resultat som endast innehåller fräsning på villagator, där hastigheten på fräsmaskinen var omkring 7–9 m/minut. Denna hastighet är optimal för att ge goda fräsmassor med ett gott resultat. Samtliga fräsmassor från de tre objekten fungerade utmärkt att sikta och använda i nya återvinningsmassor. Det skall förtydligas att alla fräsmassor inte går att sikta och detta bottnar i hur beläggningen är fräst, skick på beläggning, lagring, upplaggsyta, väder et cetera.

Hur påverkas returafalten av asfaltfräsen?

- Nedbrytningsindexet varierade mellan 25 och 30, vilket inte begränsar återvinningshalten för en ny ABT 11 beläggning.
- Stenfraktionerna 0,5–5,6 mm bryts ned i högst utsträckning av fräsen. De större fraktionerna bryts inte ned i samma utsträckning.
- Fillerandelen ökar runt 3 procent efter genomförd fräsning på villagator.
- Ett klumpindex upp till 42, fungerar bevisligen att sikta med goda resultat i Dalby.
- Lägre temperatur verkar vara fördelaktigt för att ge ett lägre klumpindex.

Vilka faktorer kan styras på och runt asfaltfräsen för att gynna en bättre återvinning?

- Faktorn som ger störst påverkan på returafalten är maskinhastigheten. En lägre hastighet bidrar till färre asfaltkakor och ett mer finfördelat returafalt som kan siktas.
- Siktmaskinen kommer i regel innebära högre fräsningskostnader men ger i gengäld lägre kostnader för att bearbeta returafalten till ett granulat.
- Den ökade fräsningskostnaden grundar sig i att siktmaskin sätter högre krav på returmassorna, vilket i regel kommer innebära en lägre fräsningshastighet.

Minskar klimatpåverkan om krossningsprocessen annulleras och ersätts med en siktmaskin?

- Genom att krossmaskinen annulleras och ersätts med en siktmaskin, reduceras utsläppen med 99 procent, med indata från tillverkarna.
- Med uppriktig kapacitetsmängd från Skanskas UE, så reduceras utsläppen med 99,7 procent.

6 Vidare studier

I denna studie valdes tre objekt i Trelleborg som hade en snarlik beläggning, vilket gav bra möjligheter för jämförelser sinsemellan. För framtida studier hade det varit givande att fräsa i varierande temperaturer på en homogen vägbeläggning för att ge en större förståelse hur temperaturen påverkar returafalten. Detta kräver att beläggningen kan fräsas i etapper under en längre tidsperiod. I denna studie var det inte möjligt att genomföra, då dessa studier kräver en längre tidsperiod och ett lämpligt objekt där inte hela ytan behöver fräsas sammanhängande.

Det hade varit givande att analysera skillnaderna mellan granit- och kvartsitbeläggningar efter genomförd fräsning, baserat på klumpindex, nedbrytningsindex, fillerindex och maskinhastighet. Kvartsitbeläggningar fräses i regel långsammare än granit på grund av det lägre kulkvarnsvärdet, men finns det andra faktorer som också påverkas?

Både siktmaskiner och asfaltverk är uppbyggda på olika vis och därav hade en djupare analys av dessa förfaranden varit intressant för att kunna tyda klumpindexet bättre. Med en djupare analys så hade ett maximalt fungerande klumpindex kunnat lokaliseras för det aktuella asfaltverket. Detta hade givit tydliga mål på hur fräsningen skall angripas, då asfaltverk samt siktmaskiner kan hantera olika klumpindex. Därav finns det ett intresse att hitta det högsta möjliga klumpindexet för respektive asfaltverk. Denna studie har inte undersökt det maximala indexet, men det bör undersökas när arbetssättet skall tas i bruk

Alla team arbetar med varierande arbetssätt, därmed hade det varit givande att undersöka ifall arbetssätten inskränker något på resultatet. Om två team avsätts för att fräsa varsin halva av en beläggning, kan då ett mönster hittas i det frästa materialet eller är det identiskt? Ifall materialet är identiskt behövs ingen djupdykning göras för teamens olika arbetssätt men annars behöver en åtgärd ske.

7 Referenslista

- Agardh Sven, Parhamifar Ebrahim (2014), "Vägbyggnad". Liber AB. Hämtad: [2023-08-20]
- Asfaltboken (u.å.), "Tillverkning". Tillgänglig: <https://asfaltskolan.se/asfaltteknik/>. Hämtad: [2023-08-16]
- Asfaltboken (2018), "Vägens uppbyggnad". Tillgänglig: <https://asfaltboken.se/vagens-uppbyggnad/>. Hämtad: [2023-08-18]
- Asfaltboken (2020), "Proportionering". Tillgänglig: <https://asfaltboken.se/proportionering/>. Hämtad: [2023-08-29]
- Asfaltskolan (2020), "asfaltteknik". Tillgänglig: <https://asfaltskolan.se/asfaltteknik/>. Hämtad: [2023-08-16]
- Deutscher asphaltverband e. V, dav (2011), "Recycling of asphalt". Utgivare: dav. Hämtad: [2023-08-29]
- Danielson, E. (2012), "Kvalitativ forskningsintervju". I M. Henricson (Red.), Vetenskaplig teori och metod: Från idé till examination inom omvårdnad. Lund: Studentlitteratur. Hämtad: [2023-08-27]
- Elsborg, Andersson, Maria & Puljic, Olivera (2017), "Varm asfaltåtervinning". Examensarbete. Tillgänglig: <https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/0744ed60-ae79-42a5-9297-8dd3e1e39737/content>. Hämtad: [2023-08-18]
- Hållbara företagare (2023), "Cirkulär ekonomi". Tillgänglig: <https://hallbaraforetagare.se/ord-begrepp/cirkular-ekonomi/>. Hämtad: [2023-08-11]
- Höbeda, Peet (1994), "Inverkan av filler på egenskaper hos asfaltbetong". Nr 739. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:672224/FULLTEXT01.pdf>. Hämtad: [2023-11-01]
- Höbeda, Peet (2018), "Stenmaterial". Tillgänglig: <https://asfaltboken.se/stenmaterial/>. Hämtad: [2023-08-18]
- Investopedia (2022), "Bitumen: Crude Oil Byproduct, Examples, and Uses". Tillgänglig: <https://www.investopedia.com/terms/b/bitumen.asp>. Hämtad: [2023-08-17]
- Johnsson, Anders & Långh, Robert (2005), "Stenmaterial vid asfalttillverkning". Tillgänglig: <https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/889c37dd-6031-443e-aa38-ee8bd353260e/content>. Hämtad: [2023-10-31]
- Kvale, S., & Brinkmann, S. (2009), "Den kvalitativa forskningsintervjun". Lund: Studentlitteratur. Hämtad: [2023-08-29]
- Krouthén, Caroline (2017), "Asfaltåtervinning och masshantering". ISSN 1654-9392. Hämtad: [2023-09-01]

- Knobe, Mats (2014), "Fräsningens möjligheter". Asfaltboken, Powerpoint. Hämtad: [2023-08-18]
- Lindén, Jonas (2008), "Koldioxidutsläpp vid vägbyggnad". Tillgänglig: <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1353387&fileId=8960642>. Hämtad: [2023-10-31]
- Metodgruppen (2023), "Metodgruppen för provning och kontroll av vägmateriel och vägyta". Tillgänglig: <http://www.metodgruppen.nu/web/page.aspx?refid=106>. Hämtad: [2023-08-29]
- Naturskyddsföreningen (2021), "Vad menas med cirkulär ekonomi?". Tillgänglig: <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vad-menas-med-cirkular-ekonomi/>. Hämtad: [2023-08-11]
- Naturskyddsförening (2023), "Resurser och stenbrott". Tillgänglig: <https://lund.naturskyddsforeningen.se/resurser-och-stenbrott/>. Hämtad: [2023-09-08]
- NCC (u.å.), "Asfaltfäsning". Tillgänglig: <https://www.ncc.se/vart-erbjudande/asfalt/tjanster-metoder/asfaltfrasning/>. Hämtad: [2023-08-27]
- NVF. (2000) "Asfaltens gröna bok, Nordiska vägförbundet". Gävle, NVF-RAPPORT 2/2000. (ISSN 0347-2485). Hämtad: [2023-09-07]
- Norditek (2023), "Återvinna asfalt". Tillgänglig: <https://norditek.se/atervinna-asfalt/>. Hämtad:[2023-09-29]
- Nygård, Mikael (2021), "Kvantitativa metoder - en introduktion". Tillgänglig: https://users.abo.fi/minygar/Undervisning-filer/Kvantitativ%20metod%20-%20en%20introduktion_vt%202021.pdf. Hämtad: [2023-10-13]
- Olsson, Kenneth (2019), "Återvinning i högkvalitativa slitlagerbeläggningar". SBUF, Skanska, Trafikverket. ID: 13 588. Hämtad: [2023-08-28]
- Redelius, Per (u.å.), "Bindemedel". Tillgänglig: <https://asfaltboken.se/bindemedel/>. Hämtad: [2023-10-20]
- Redelius, Per (2020), "Bindemedel". Tillgänglig: <https://asfaltboken.se/bindemedel/>. Hämtad: [2023-08-18]
- Re-Road (2012), "End of life strategies of asphalt pavements: European Commission". Hämtad: [2023-09-01]
- Scholz, T.V (1995), "Durability of Bituminous Paving Mixtures". PhD Thesis, the University of Nottingham. Hämtad: [2023-08-1]
- SM Recycling AB (2023), "Krossning av asfalt". Tillgänglig: <https://www.smrecycling.se/tjanster/krossning-av-asfalt/>. Hämtad: [2023-09-25]
- Sveriges miljömål (2023), "Utsläpp av växthusgaser till år 2030". Tillgänglig: <https://www.sverigesmiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-till-ar-2030/>. Hämtad: [2023-08-11]

Sveriges miljömål (2023), ”Grundvatten av god kvalitet”. Tillgänglig: <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/grundvatten-av-god-kvalitet/>. Hämtad: [2023-09-08]

Serkan Ceylan & Mahmoud Elhassan (2014), ”Analys av bitumenåldring vid tillverkning- och användningsskedet”. Serien: BD 2014;50. Hämtad: [2023-08-18]

Tyllgren, Per (2010), ”Föryngring av returasfalt med miljöanpassade tillsatsmedel”. SVC, SKANSKA & SBUF. Projektnummer: 12 230. Hämtad: [2023-08-28]

Trafikverket (2013), Lind, Kenneth, ”Bitumenbundna lager”. TDOK 2013:0529 version 4,0. Hämtad: [2023-08-22]

Törnblom, Pontus (2011), ”Återvinning av asfalt och betong”. ISSN 1653–1922. Hämtad: [2023-09-01]

Vägverket (2004), ”Handbok för återvinning av asfalt”. ISSN 1401–9612. Hämtad: [2023-08-16]

WWF, världsnaturfonden (2023), ”Klimatförändringarna”. Tillgänglig: <https://www.wwf.se/klimat/klimatforandringar/#vad-handar-med-klimatet>. Hämtad: [2023-08-16]

Zaumanis, M., Mallick, R. B. & Frank, R., (2014), ”100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis. Resources, Conservation and Recycling”. 92: 230–245. Elsevier. Hämtad: [2023-08-29]

Zaumanis M, Lily D. Poulidakos etc, (2023), ” Highly Recycled Asphalt Pavement”. Forskningsprojekt ASTRA 2019/001. Hämtad: [2023-09-18]

Zaumanis, M. (2021), ” CBF milling calculator from paper ‘Impact of milling machine parameters on the properties of reclaimed asphalt pavement’”. January 19, 2021: 10.5281/ZENODO.4450091. Tillgänglig: <https://zenodo.org/record/4450091> Hämtad: [2023-09-22]

Zaumanis, M., Oga, J. and Haritonovs, V, (2018) “How to reduce reclaimed asphalt variability: A full-scale study. Construction and Building Materials”. 188, 546–554. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818320774> Hämtad: [2023-09-25]

8 Bilagor

Bilaga 1 - Intervju

Tack för att du ville ställa upp på intervjun för mitt examensarbete! Nedan presenteras frågorna som är aktuella för intervjun, men följdfrågor kan komma under intervjuns gång. Examensarbetet handlar om hur fräsmaskinen påverkar returafalten och om det finns möjlighet att undgå att krossa returmassorna/fräsmassorna. Om det finns känsliga frågor eller liknande är det fritt val att inte besvara dessa.

Tack Anders Johansson för ditt medverkande!

Bakgrund

Vad är din roll och hur länge har du arbetat på Skanska?

Hur fungerar en fräsmaskin och vilka typer finns det?

Hur fungerar mätsystemet i fräsmaskinen generellt?

Styrparametrar

Vilka faktorer kan ni påverka för att få ett finfördelat granulat?

Påverkar det ert utförande tidsmässigt göra dessa justeringar?

Vilka faktorer kan ni styra för att minska antalet asfaltkakor i fräsmassorna?

Planering

Finns det möjlighet att fräsa lager för lager i dagens tidplaner/kontrakt?

Finns det beställare som är intresserade av att fräsa varje lager enskilt?

Hastigheter

Vilka hastigheter brukar fräsmaskinen framföras i?

Hur stor yta fräser man på en dag?

Skillnad att fräsa på sommaren jämfört med hösten?

Bilaga 2 - Malörtsvägen

SKANSKA



PROVNINGSRAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium

Accred. nr 1603
Provning
ISO/IEC 17025

Analys Beläggning		Provnummer	53A230079	Sidan 1 av 1	
Beställare	Skanska Industrial Solutions AB	Provtagningsdatum	2023-06-12	Analys datum	2023-06-12
	Asfaltverket Dalby	Ankomstdatum	2023-06-12	Analys avslut	2023-06-12
	Önneslöv 131	ID-nummer		Provtagare	CH
	247 94 Dalby	Temperatur (°C)		Följesedels nr	
Kontaktperson	Produktionschef Roger Olsson	Receipt	1000049-23-1	Provtagningsplats	Malört, Trelleborg
Produkt	ABT 11 70/100 Kvartsit	Objekt	Provning borrhämnor granulat	Märkning	inför fräsning 30mm
Leverantör	Skanska Industrial Solutions AB				
Entreprenör	Skanska Industrial Solutions AB				

KORNSTORLEKSFÖRDELNING - SS-EN 12697-2:2015+A1:2011 Gränsvärden enligt: TDOK 2013:0529 V 3.0-4.0

Sikt (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	Bm.halt
Arbetsrecept	7,5	11	17	23	28	34	48	58	74	95	100			6,20
Analysvärde	9,9	13	20	24	29	37	46	61	79	95	100			6,20
Avvikelse	2,4	2	3	1	1	3	-2	3	5	0	0			0,00
Avviker från tolerans														

Provresultat	Medelvärde	+/-	Arb. rec	Notering
SS-EN 12697-1:2020, Bindemedelshalt enl. Annex B.1.7 (Vikt-%)	6,20	0,00	6,20	Laboratoriet har ej deltagit vid provtagningen

Ort och datum
Önnestad, 2023-06-12

Martin Nilsson

Martin Nilsson,
Digitalt utfärdad signatur

Denna rapport måste återges i sin helhet och inga uppgifter får ändras. Provresultatet avser endast analyserat prov. Metoddata med ev. metodavsteg återfinns på www.skanska.se.

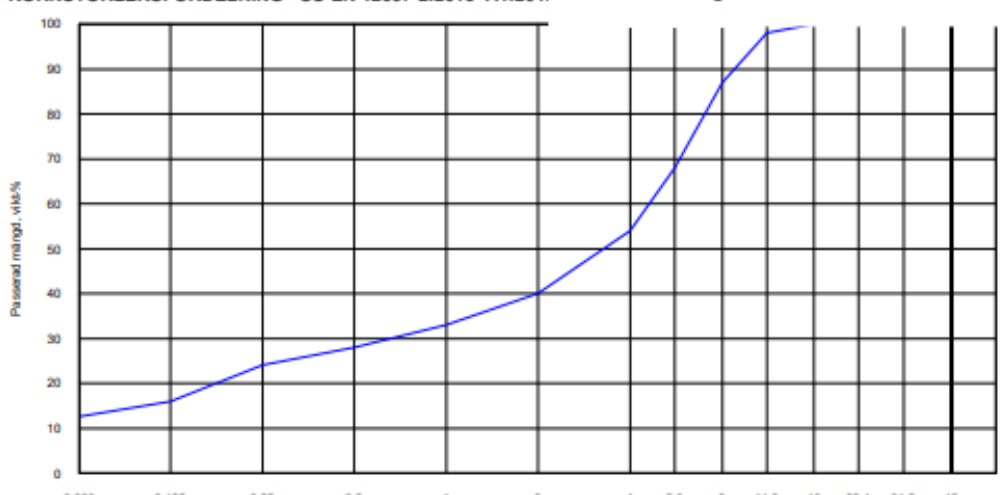

Skanska Sverige AB
Teknik - VTC
Box 12142
291 12 Önnestad

Besöksadress
Grönalundsvägen
Styrelsens säte
Stockholm

Telefon nr
010 44 951 48
SMS
073 42 13 466

Org.nr
556033-9086
VAT nr
SE 663000022901

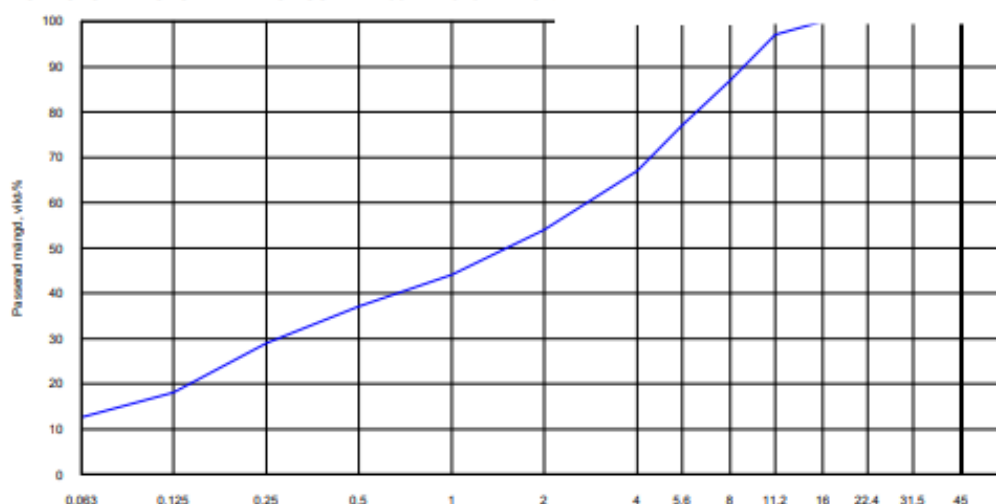
E-post
martin.nilsson@skanska.se
Internet adress
www.skanska.se

Analys Beläggingsmassa		Provnummer 53A230171	Sidan 1 av 1											
Beställare Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Önnestöv 131 247 94 Dalby Kontaktperson Produktionschef Roger Olsson Produkt Granulat 0-11 Leverantör Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Entreprenör Skanska Industrial Solutions AB	Provtagningsdatum 2023-08-24 Ankomstdatum 2023-08-24 ID-nummer Temperatur (°C) Provtagningsplats Malörtsvägen 2 Objekt Tillverkningskontroll Dalby Märkning Fräsmassor TRBG	Analys datum 2023-08-28 Analys avslut 2023-08-28 Provtagare Krossarna Följesedels nr Provtagningsstidpunkt												
KORNSTORLEKSFÖRDELNING - SS-EN 12697-2:2015+A1:2011 Gränsvärden enligt:														
														
Sikt (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	Bm.halt
Arbetsrecept														
Analysvärde	12,6	16	24	28	33	40	54	68	87	98	100			6,08
Avvikelse														
Avviker från tolerans														
Provresultat										Medelvärde +/- Arb. rec		Notering		
SS-EN 12697-1:2020, Bindemedelshalt enl. Annex B.1.7 (Vikt-%)										6,08		Laboratoriet har ej deltagit vid provtagningen Ort och datum Önnestad, 2023-08-28  Martin Nilsson, Digitalt utfärdad signatur		
SS-EN 1097-5:2008, Fuktqvot (Vikt-%)										1,1				
Denna rapport måste återges i sin helhet och inga uppgifter får ändras. Provresultatet avser endast analyserat prov. Metodlista med ev. metodavsteg återfinns på www.skanska.se .														


Analys Beläggingsmassa Provnummer **53A230170** Sidan 1 av 1

Beställare Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Önneslöv 131 247 94 Dalby Kontaktperson Produktionschef Roger Olsson Produkt Granulat 0-11 Leverantör Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Entreprenör Skanska Industrial Solutions AB	Provtagningsdatum 2023-08-24 Ankomstdatum 2023-08-24 ID-nummer Temperatur (°C) Provtagningsplats Malörtsvägen 1 Objekt Tillverkningskontroll Dalby Märkning Fräsmassor TRBG	Analys datum 2023-08-28 Analys avslut 2023-08-28 Provtagare Krossarna Följesedels nr Provtagningsstidpunkt
--	---	--

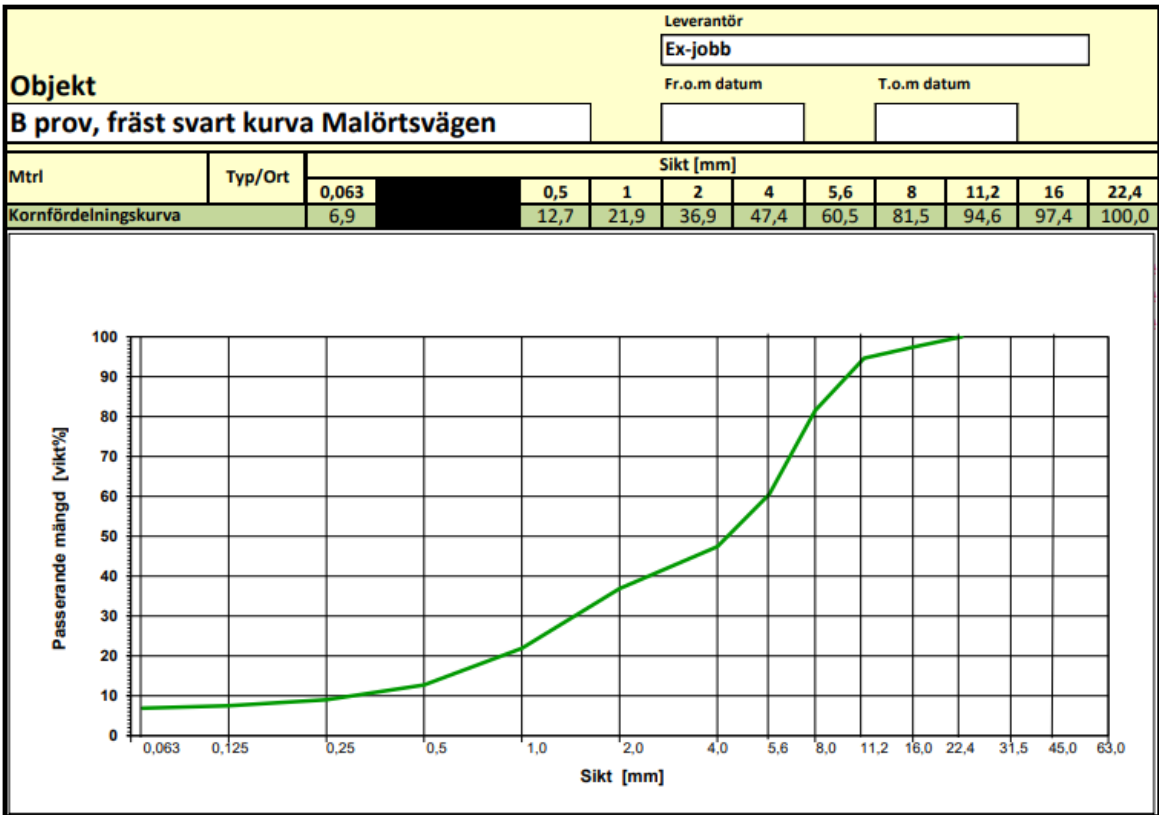
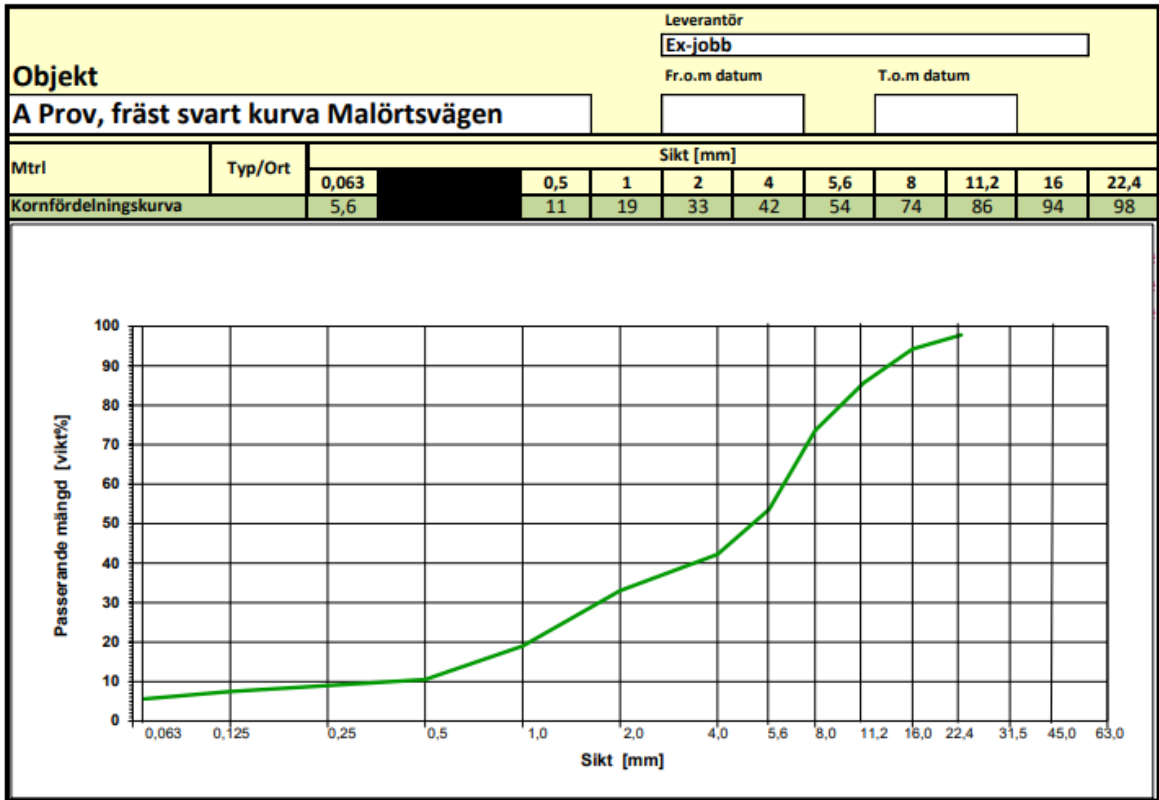
KORNSTORLEKSFÖRDELNING - SS-EN 12697-2:2015+A1:2011 Gränsvärden enligt:



Sikt (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	Bm.halt
Arbetsrecept														
Analysvärde	12,6	18	29	37	44	54	67	77	87	97	100			6,01
Avvikelse														
Avviker från tolerans														

Provresultat	Medelvärde	+/-	Arb. rec	Notering
SS-EN 12697-1:2020, Bindemedelshalt enl. Annex B.1.7 (Vikt-%)	6,01			Laboratoriet har ej deltagit vid provtagningen
SS-EN 1097-5:2008, Fuktqvot (Vikt-%)	1,5			
				Ort och datum Önnestad, 2023-08-28
				
				Martin Nilsson, Digitalt utfärdad signatur

Denna rapport måste återges i sin helhet och inga uppgifter får ändras. Provresultatet avser endast analyserat prov. Metodlista med ev. metodavsteg återfinns på www.skanska.se.



Instructions:

Change the sieve sizes in the "Source black curve", if necessary.

Fill the green cells with data

The calculated indexes as well as their graphical representation will appear on the right.

*If you notice any errors, please inform Martins Zaumanis (jeckabs@gmail.com)

Road core white curve



sieve (mm)	Sample #1	Sample #2	Sample#3	Average	Range
	% passing cumul.	% passing cumul.	% passing cumul.		
63,0	100,0			100	0,0
45,0	100,0			100	0,0
31,5	100,0			100	0,0
22,4	100,0			100	0,0
16,0	100,0			100	0,0
11,2	95,0			95	0,0
8,0	79,0			79	0,0
5,6	61,0			61	0,0
4,0	46,0			46	0,0
2,0	37,0			37	0,0
1,0	29,0			29	0,0
0,5	24,0			24	0,0
0,063	9,9			9,90	0,0

Milled black curve



sieve (mm)	Sample #1	Sample #2	Sample#3	Average	Range
	% passing cumul.	% passing cumul.	% passing cumul.		
63,0	100,0	100,0		100	0,0
45,0	100,0	100,0		100	0,0
31,5	100,0	100,0		100	0,0
22,4	97,8	100,0		99	2,2
16,0	94,2	97,4		96	3,2
11,2	85,7	94,6		90	8,9
8,0	73,6	81,5		78	7,9
5,6	53,6	60,5		57	6,9
4,0	42,2	47,4		45	5,2
2,0	33,0	36,9		35	3,9
1,0	19,0	21,9		20	2,9
0,5	10,5	12,7		12	2,2
0,063	5,6	6,9		6	1,3

Milled white curve



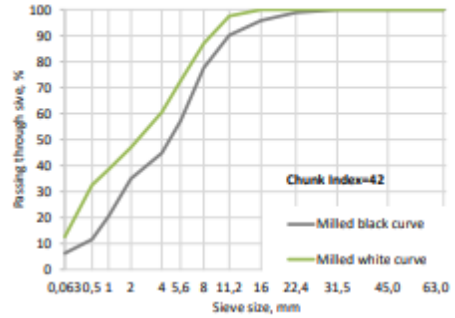
sieve (mm)	Sample #1	Sample #2	Sample#3	Average	Range
	% passing cumul.	% passing cumul.	% passing cumul.		
63,0	100,0	100,0		100	0,0
45,0	100,0	100,0		100	0,0
31,5	100,0	100,0		100	0,0
22,4	100,0	100,0		100	0,0
16,0	100,0	100,0		100	0,0
11,2	97,0	98,0		98	1,0
8,0	87,0	87,0		87	0,0
5,6	77,0	68,0		73	9,0
4,0	67,0	54,0		61	13,0
2,0	54,0	40,0		47	14,0
1,0	44,0	33,0		39	11,0
0,5	37,0	28,0		33	9,0
0,063	12,6	12,6		12,60	0,0

Results

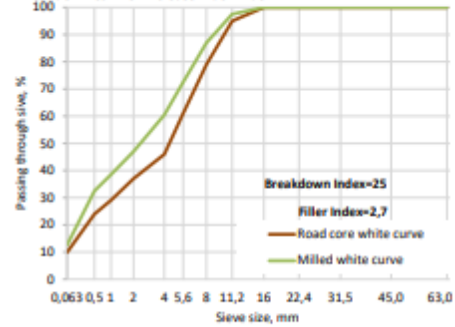
Sample ID: Malörtsvägen
 Milling technology: Fräsning med diamanttänder
 Milling parameters: 7-9 m/ min
 Other conditions: 20 grader sol/moln

	Result	max	min
Chunk index	42	61,1	22,0
Breakdown index	25	35,4	14,8
Filler Increase index	2,7	2,7	2,7

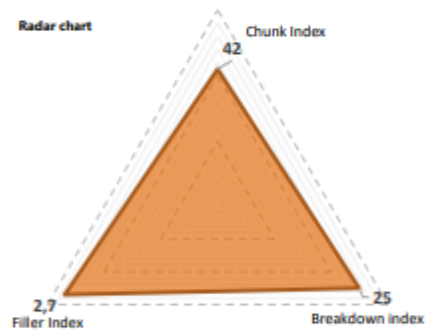
Chunk Index



Breakdown & Filler Increase index



Radar chart



Bilaga 3 - Tommarpsvägen

SKANSKA



PROVNINGSRAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium

Analys Beläggning		Provnummer 53A230078	Sidan 1 av 1											
Beställare Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Önneslöv 131 247 94 Dalby Kontaktperson Produktionschef Roger Olsson Produkt ABT 11 70/100 Kvartsit Leverantör Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Entreprenör Skanska Industrial Solutions AB	Provtagningsdatum 2023-06-12 Ankomstdatum 2023-06-12 ID-nummer 1000049-23-1 Recept 1000049-23-1 Temperatur (°C) Provtagningsplats Tomarp Objekt Provning borrhärdar granulat Märkning inför fräsning 30mm	Analys datum 2023-06-12 Analys avslut 2023-06-12 Provtagare Följesedels nr Provtagningsstidpunkt												
KORNSTORLEKSFÖRDELNING - SS-EN 12697-2:2015+A1:2011 Gränsvärden enligt: TDOK 2013:0529 V 3.0-4.0														
Sikt (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	Bm.halt
Arbetsrecept	7,5	11	17	23	28	34	48	58	74	95	100			6,20
Analysvärde	8,8	11	16	22	26	33	47	55	69	96	100			7,61
Avvikelse	1,3	0	-1	-1	-2	-1	-1	-3	-5	1	0			1,41
Avviker från tolerans														***
Provresultat		Medelvärde	+/-	Arb. rec										
SS-EN 12697-1:2020, Bindemedelshalt enl. Annex B.1.7 (Vikt-%)		7,61	1,41	6,20										
					Notering Laboratoriet har ej deltagit vid provtagningen Ort och datum Önnestad, 2023-06-12 Martin Nilsson, Digitalt utfärdad signatur									
Denna rapport måste återges i sin helhet och inga uppgifter får ändras. Provresultatet avser endast analyserat prov. Metodlista med ev. metodavsteg återfinns på www.skanska.se .														

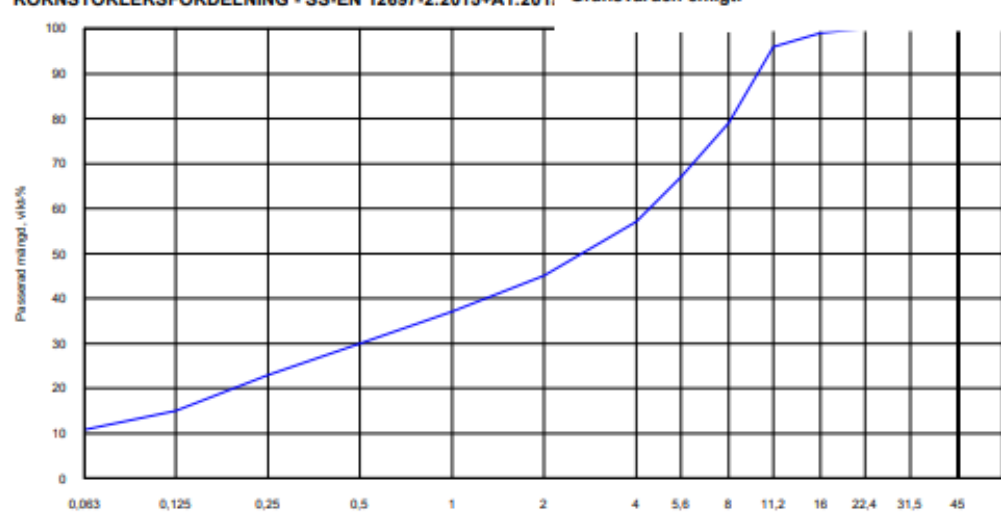

Skanska Sverige AB
Teknik - VTC
Box 12142
291 12 Önnestad

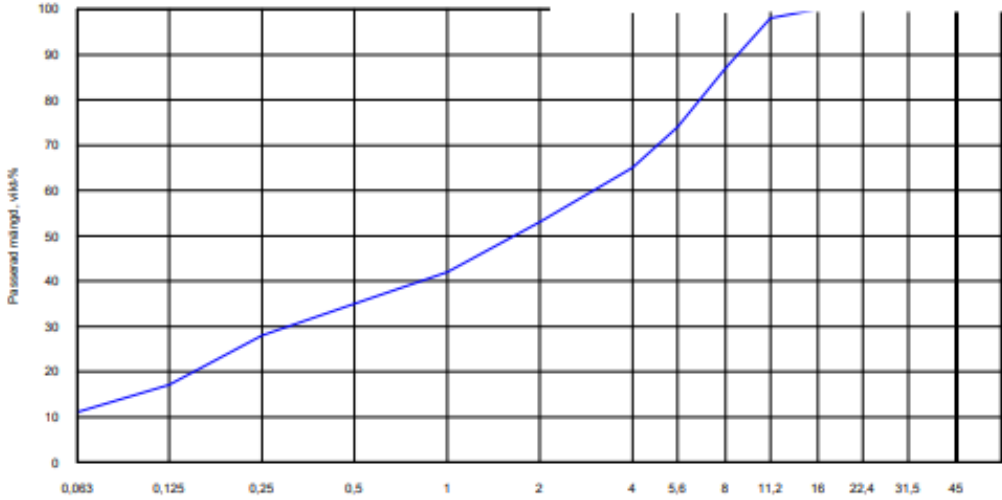

Besöksadress
Grönalundsvägen
Styrelsens säte
Stockholm

Telefon nr
010 44 951 48
SMS
073 42 13 466

Org.nr
556033-9086
VAT nr
SE 663000022901

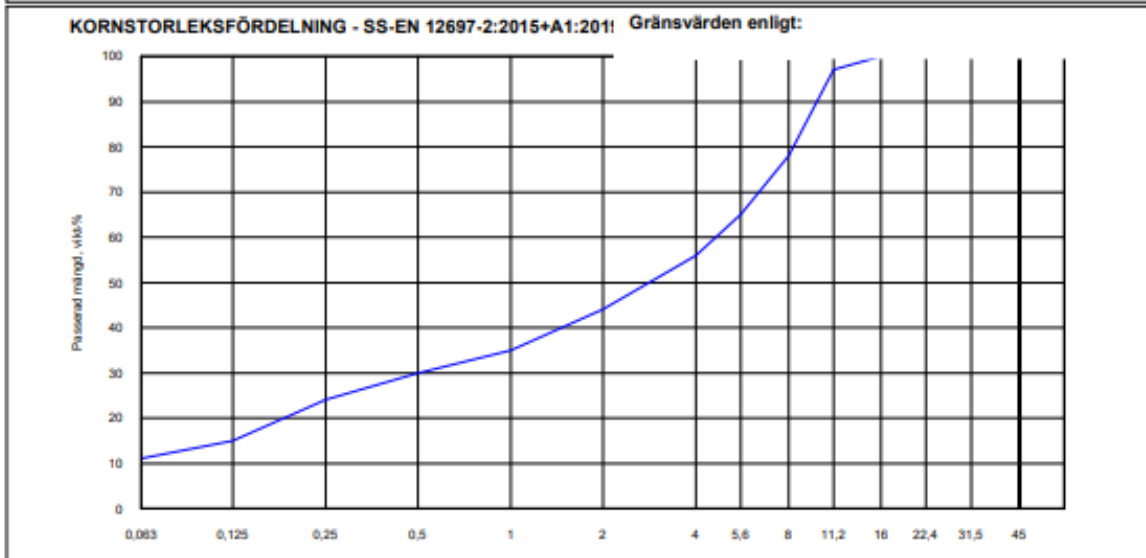
E-post
martin.nilsson@skanska.se
Internet adress
www.skanska.se

Analys Beläggingsmassa				Provnummer	53A230172	Sidan 1 av 1									
Beställare Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Önnestöv 131 247 94 Dalby Kontaktperson Produktionschef Roger Olsson Produkt Granulat 0-11 Leverantör Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Entreprenör Skanska Industrial Solutions AB				Provtagningsdatum 2023-08-24 Ankomstdatum 2023-08-24 ID-nummer Temperatur (°C) Provtagningsplats Tomarpsvägen 1 Objekt Tillverkningskontroll Dalby Märkning Fräsmassor TRBG	Analys datum 2023-08-28 Analys avslut 2023-08-28 Provtagare Krossarna Följesedels nr Provtagningsstidpunkt										
Receipt															
KORNSTORLEKSFÖRDELNING - SS-EN 12697-2:2015+A1:2011 Gränsvärden enligt:															
															
Sikt (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	45	Bm.halt
Arbetsrecept															
Analysvärde	10,8	15	23	30	37	45	57	67	79	96	99	100			6,37
Avvikelse															
Avviker från tolerans															
Provresultat				Medelvärde	+/-	Arb. rec									
SS-EN 12697-1:2020, Bindemedelshalt enl. Annex B.1.7 (Vikt-%)				6,37			Notering Laboratoriet har ej deltagit vid provtagningen Ort och datum Önnestad, 2023-08-28  Martin Nilsson, Digitalt utfärdad signatur								
SS-EN 1097-5:2008, Fuktkvot (Vikt-%)				0,3											
Denna rapport måste återges i sin helhet och inga uppgifter får ändras. Provresultatet avser endast analyserat prov. Metodlista med ev. metodavsteg återfinns på www.skanska.se .															

Analys Beläggingsmassa			Provnummer 53A230173	Sidan 1 av 1										
Beställare Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Önnestöv 131 247 94 Dalby Kontaktperson Produktionschef Roger Olsson Produkt Granulat 0-11 Leverantör Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Entreprenör Skanska Industrial Solutions AB	Receipt	Provtagningsdatum 2023-08-24 Ankomstdatum 2023-08-24 ID-nummer Temperatur (°C) Provtagningsplats Tomarpsvägen 2 Objekt Tillverkningskontroll Dalby Märkning Fräsmassor TRBG	Analys datum 2023-08-28 Analys avslut 2023-08-28 Provtagare Krossarna Följesedels nr Provtagningstidpunkt											
KORNSTORLEKSFÖRDELNING - SS-EN 12697-2:2015+A1:2011 Gränsvärden enligt:														
														
Sikt (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	Bm.halt
Arbetsrecept														
Analysvärde	11,1	17	28	35	42	53	65	74	87	98	100			6,03
Avvikelse														
Avviker från tolerans														
Provresultat														
Medelvärde +/- Arb. rec														
SS-EN 12697-1:2020, Bindemedelshalt enl. Annex B.1.7 (Vikt-%) 6,03														
SS-EN 1097-5:2008, Fuktkvot (Vikt-%) 0,5														
Notering Laboratoriet har ej deltagit vid provtagningen Ort och datum Önnestad, 2023-08-29  Martin Nilsson, Digitalt utfärdad signatur														
Denna rapport måste återges i sin helhet och inga uppgifter får ändras. Provresultatet avser endast analyserat prov. Metodlista med ev. metodavsteg återfinns på www.skanska.se .														

Analys Beläggingsmassa Provnummer **53A230174** Sidan 1 av 1

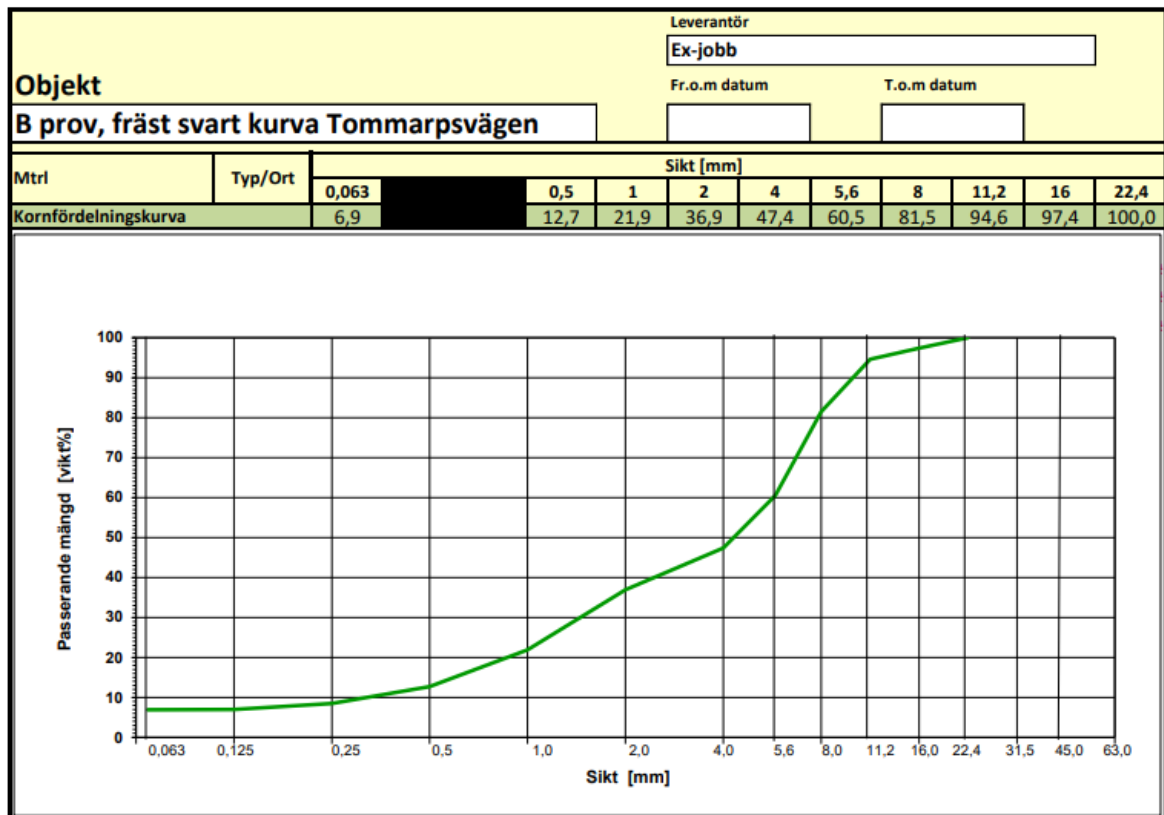
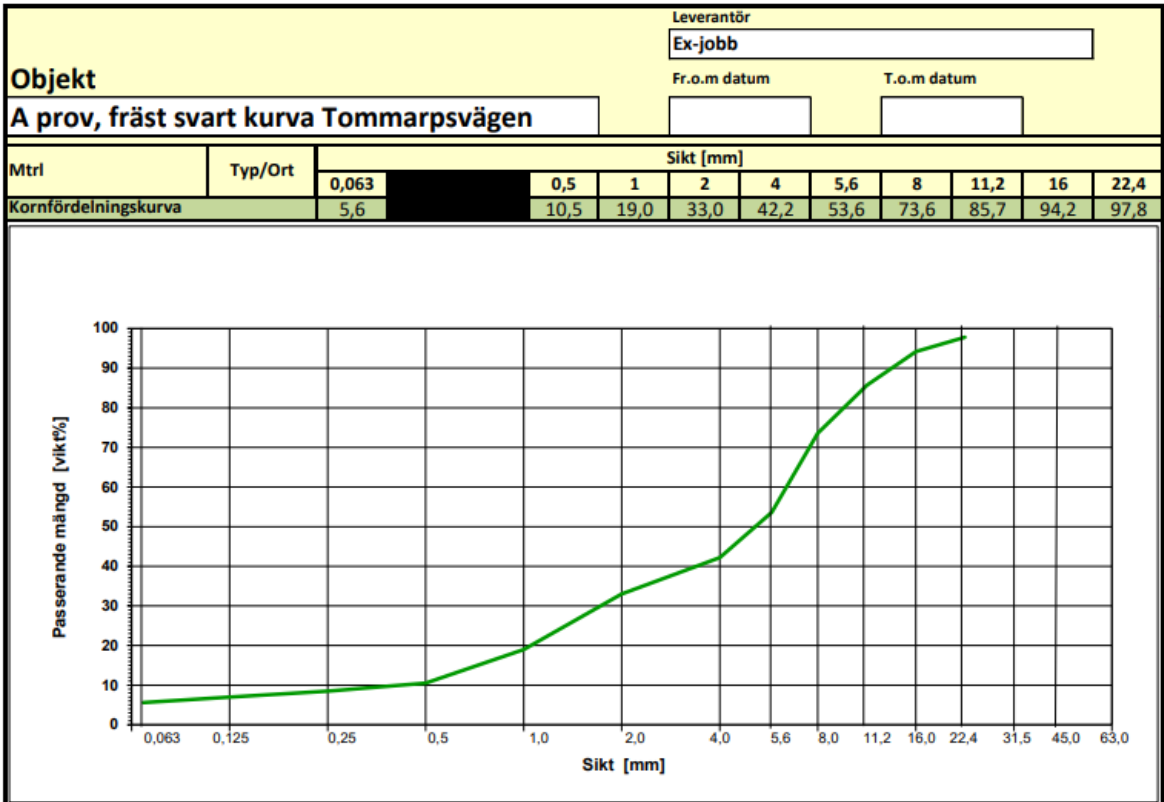
Beställare Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Önneslöv 131 247 94 Dalby Kontaktperson Produktionschef Roger Olsson	Provtagningsdatum 2023-08-24 Ankomstdatum 2023-08-24 ID-nummer	Analys datum 2023-08-28 Analys avslut 2023-08-28 Provtagare Krossarna Följesedels nr
Produkt Granulat 0-11 Leverantör Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Entreprenör Skanska Industrial Solutions AB	Recept Temperatur (°C) Provtagningsplats Tomarpsvägen 3 Objekt Tillverkningskontroll Dalby Märkning Fräsmassor TRBG	Provtagningsstidpunkt



Sikt (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	Bm.halt
Arbetsrecept														
Analysvärde	11,0	15	24	30	35	44	56	65	78	97	100			6,49
Avvikelse														
Avviker från tolerans														

Provresultat	Medelvärde	+/-	Arb. rec.	Notering
SS-EN 12697-1:2020, Bindemedelshalt enl. Annex B.1.7 (Vikt-%)	6,49			Laboratoriet har ej deltagit vid provtagningen
SS-EN 1097-5:2008, Fuktkvot (Vikt-%)	0,3			
				Ort och datum Önnestad, 2023-08-29
				
				Martin Nilsson, Digitalt utfärdad signatur

Denna rapport måste återges i sin helhet och inga uppgifter får ändras. Provresultatet avser endast analyserat prov. Metodlista med ev. metodavsteg återfinns på www.skanska.se.



Instructions:

Change the sieve sizes in the "Source black curve", if necessary.

Fill the green cells with data

The calculated indexes as well as their graphical representation will appear on the right.

*If you notice any errors, please inform Martins Zaumanis (jeckabs@gmail.com)

Road core white curve



Sieve (mm)	Sample #1	Sample #2	Sample#3	Average	Range
	% passing cumul.	% passing cumul.	% passing cumul.		
63,0	100,0			100	0,0
45,0	100,0			100	0,0
31,5	100,0			100	0,0
22,4	100,0			100	0,0
16,0	100,0			100	0,0
11,2	96,0			96	0,0
8,0	69,0			69	0,0
5,6	55,0			55	0,0
4,0	47,0			47	0,0
2,0	33,0			33	0,0
1,0	26,0			26	0,0
0,5	22,0			22	0,0
0,063	8,8			8,80	0,0

Milled black curve



Sieve (mm)	Sample #1	Sample #2	Sample#3	Average	Range
	% passing cumul.	% passing cumul.	% passing cumul.		
63,0	100,0	100,0		100	0,0
45,0	100,0	100,0		100	0,0
31,5	100,0	100,0		100	0,0
22,4	97,8	100,0		99	2,2
16,0	94,2	97,4		96	3,2
11,2	85,7	94,6		90	8,9
8,0	73,6	81,5		78	7,9
5,6	53,6	60,5		57	6,9
4,0	42,2	47,4		45	5,2
2,0	33,0	36,9		35	3,9
1,0	19,0	21,9		20	2,9
0,5	10,5	12,7		12	2,2
0,063	5,6	6,9		6	1,3

Milled white curve



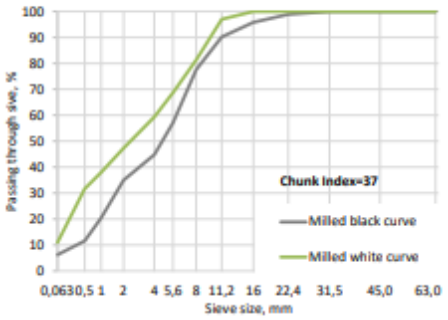
Sieve (mm)	Sample #1	Sample #2	Sample#3	Average	Range
	% passing cumul.	% passing cumul.	% passing cumul.		
63,0	100,0	100,0	100,0	100	0,0
45,0	100,0	100,0	100,0	100	0,0
31,5	100,0	100,0	100,0	100	0,0
22,4	100,0	100,0	100,0	100	0,0
16,0	100,0	100,0	100,0	100	0,0
11,2	97,0	96,0	98,0	97	2,0
8,0	78,0	79,0	87,0	81	9,0
5,6	65,0	67,0	74,0	69	9,0
4,0	56,0	57,0	65,0	59	9,0
2,0	44,0	45,0	53,0	47	9,0
1,0	35,0	37,0	42,0	38	7,0
0,5	30,0	30,0	35,0	32	5,0
0,063	11,0	10,8	11,1	10,97	0,3

Results

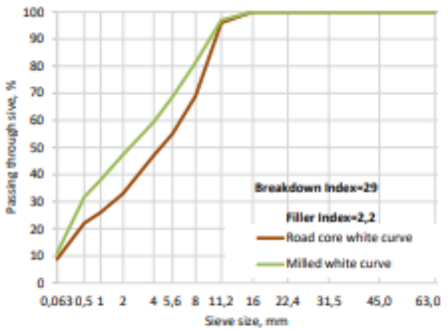
Sample ID: Tommarpsvägen
 Milling technology: Fräsning med diamanntänder
 Milling parameters: 7-9 m/min
 Other conditions: 20 grader sol/moln

	Result	max	min
Chunk index	37	57,6	20,4
Breakdown index	29	40,7	22,0
Filler Increase index	2,2	2,3	2,0

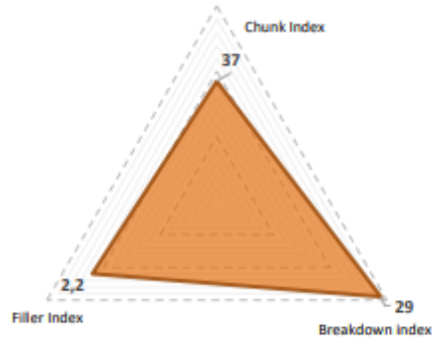
Chunk Index



Breakdown & Filler Increase index



Radar chart



Bilaga 4 - Ekevägen

SKANSKA



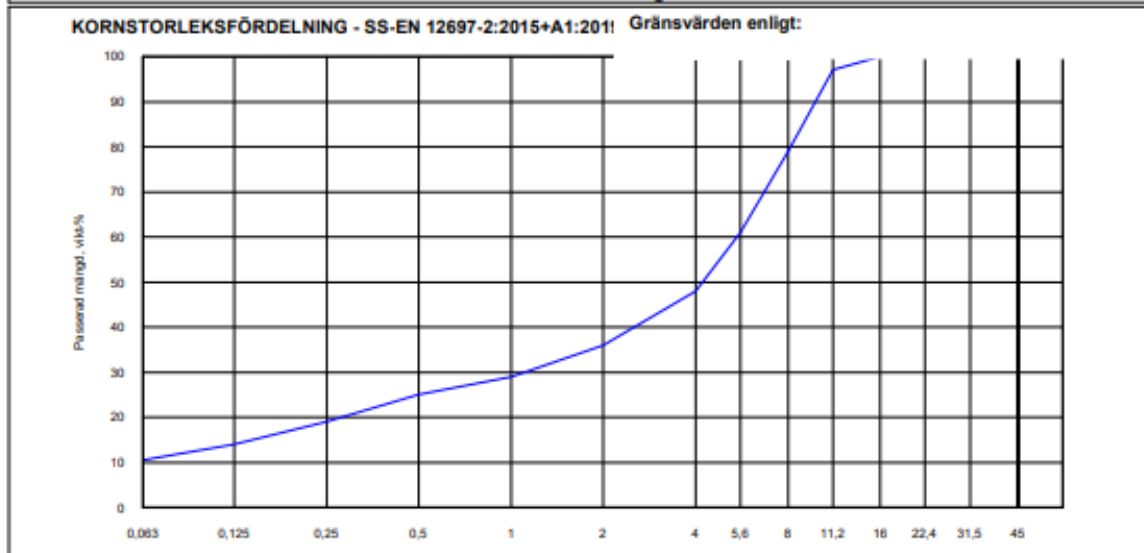
PROVNINGSRAPPORT

utfärdad av ackrediterat laboratorium

Ackod. nr 1603
Provning
ISO/IEC 17025

Analys Beläggning Provnummer **53A230199** Sidan 1 av 1

Beställare Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Önneslöv 131 247 94 Dalby Kontaktperson Produktionschef Roger Olsson Produkt Granulat 0-11 Leverantör Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Entreprenör Skanska Industrial Solutions AB	Provtagningsdatum 2023-09-15 Ankomstdatum 2023-09-15 ID-nummer 2023-09-15	Analys datum 2023-09-15 Analys avslut 2023-09-15 Provtagare CH Följesedels nr Trumpetarevägen Provtagningsstidpunkt
Recept	Temperatur (°C) Borning innan fräs	
	Provtagningsplats Hagtorn, Tallv, Ekev, Objekt Tillverkningskontroll Dalby Märkning Borning innan fräs	



Sikt (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	Bm.halt
Arbetsrecept														
Analysvärde	10,5	14	19	25	29	36	48	61	79	97	100			6,35
Avvikelse														
Avviker från tolerans														

Provresultat	Medelvärde +/- Arb. rec	Notering
SS-EN 12697-1:2020, Bindemedelshalt enl. Annex B.1.7 (Vikt-%)	6,35	Laboratoriet har ej deltagit vid provtagningen
		Ort och datum Önneslöv, 2023-09-15
		<i>Martin Nilsson</i>
		Martin Nilsson, Digitalt utfärdad signatur

Denna rapport måste återges i sin helhet och inga uppgifter får ändras. Provresultatet avser endast analyserat prov. Metodlista med ev. metodavsteg återfinns på www.skanska.se.

Skanska Sverige AB
Teknik - VTC
Box 12:142
291 12 Önneslöv

Besöksadress
Grönalundsvägen
Styrelsens säte
Stockholm

Telefon nr
010 44 951 48
SMS
073 42 13 466

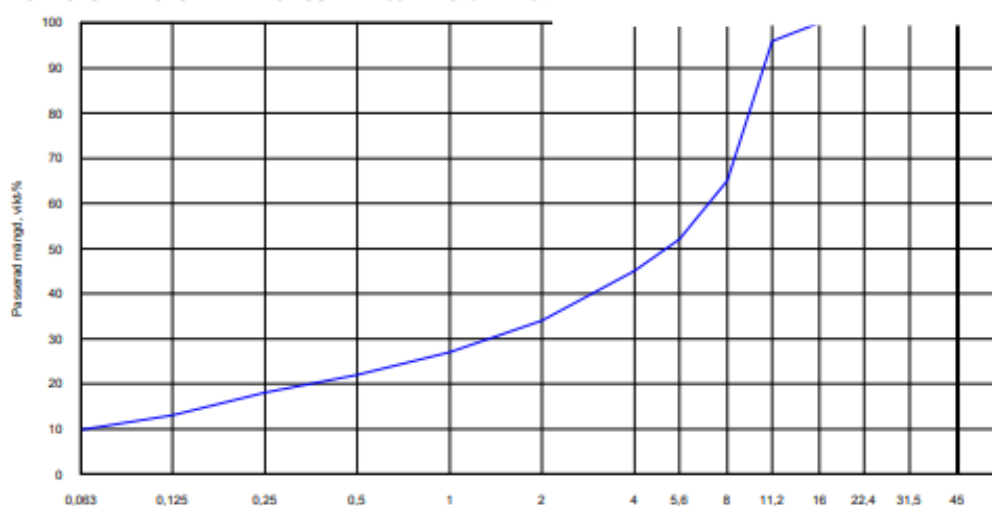
Org.nr
556033-9086
VAT nr
SE 663000022901

E-post
martin.nilsson@skanska.se
Internet adress
www.skanska.se


Analys Beläggning Provnummer **53A230196** Sidan 1 av 1

Beställare Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Önneslöv 131 247 94 Dalby Kontaktperson Produktionschef Roger Olsson Produkt Granulat 0-11 Leverantör Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Entreprenör Skanska Industrial Solutions AB	Provtagningsdatum 2023-09-15 Ankomstdatum 2023-09-15 ID-nummer Temperatur (°C) Provtagningsplats Kattebäck / V.vallgatan Objekt Tillverkningskontroll Dalby Märkning Borrning innan fräs	Analys datum 2023-09-15 Analys avslut 2023-09-15 Provtagare CH Följesedels nr Provtagningsstidpunkt
--	--	---

KORNSTORLEKSFÖRDELNING - SS-EN 12697-2:2015+A1:2011 Gränsvärden enligt:



Sikt (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	Bm.halt
Arbetsrecept														
Analysvärde	9,8	13	18	22	27	34	45	52	65	96	100			6,02
Avvikelse														
Avviker från tolerans														

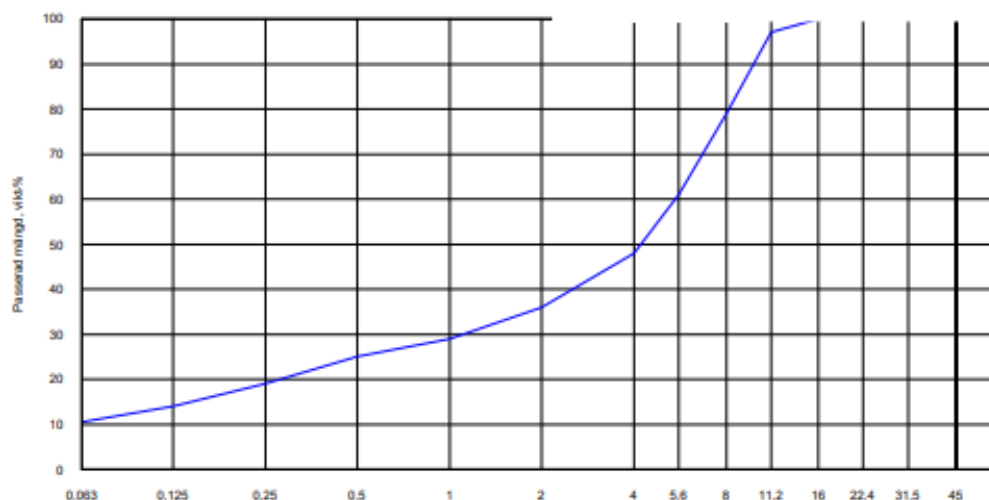
Provresultat	Medelvärde +/- Arb. rec	Notering Laboratoriet har ej deltagit vid provtagningen Ort och datum Önnestad, 2023-09-15  Martin Nilsson, Digitalt utfärdad signatur
SS-EN 12697-1:2020, Bindemedelshalt enl. Annex B.1.7 (Vikt-%)	6,02	

Denna rapport måste återges i sin helhet och inga uppgifter får ändras. Provresultatet avser endast analyserat prov. Metodlista med ev. metodavsteg återfinns på www.skanska.se.


Analys Beläggning Provnummer **53A230199** Sidan 1 av 1

Beställare Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Önneslöv 131 247 94 Dalby Kontaktperson Produktionschef Roger Olsson Produkt Granulat 0-11 Leverantör Skanska Industrial Solutions AB Asfaltverket Dalby Entreprenör Skanska Industrial Solutions AB	Provtagningsdatum 2023-09-15 Ankomstdatum 2023-09-15 ID-nummer 2023-09-15 Temperatur (°C) Recept Provtagningsplats Hagtorn, Tallv, Ekev, Objekt Tillverkningskontroll Dalby Märkning Borring innan fräs	Analys datum 2023-09-15 Analys avslut 2023-09-15 Provtagare CH Följesedels nr Trumpetarevägen Provtagnings tidpunkt
--	---	---

KORNSTORLEKSFÖRDELNING - SS-EN 12697-2:2015+A1:2011 Gränsvärden enligt:



Sikt (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	Bm.halt
Arbetsrecept														
Analysvärde	10,5	14	19	25	29	36	48	61	79	97	100			6,35
Avvikelse														
Avviker från tolerans														

Provresultat	Medelvärde +/- Arb. rec	Notering
SS-EN 12697-1:2020, Bindemedelshalt enl. Annex B.1.7 (Vikt-%)	6,35	Laboratoriet har ej deltagit vid provtagningen
		Ort och datum Önneslöv, 2023-09-15
		
		Martin Nilsson, Digitalt utfärdad signatur

Denna rapport måste återges i sin helhet och inga uppgifter får ändras. Provresultatet avser endast analyserat prov. Metodlista med ev. metodavsteg återfinns på www.skanska.se.

Leverantör

Skanska Industrial Solutions AB
Asfaltverket Dalby

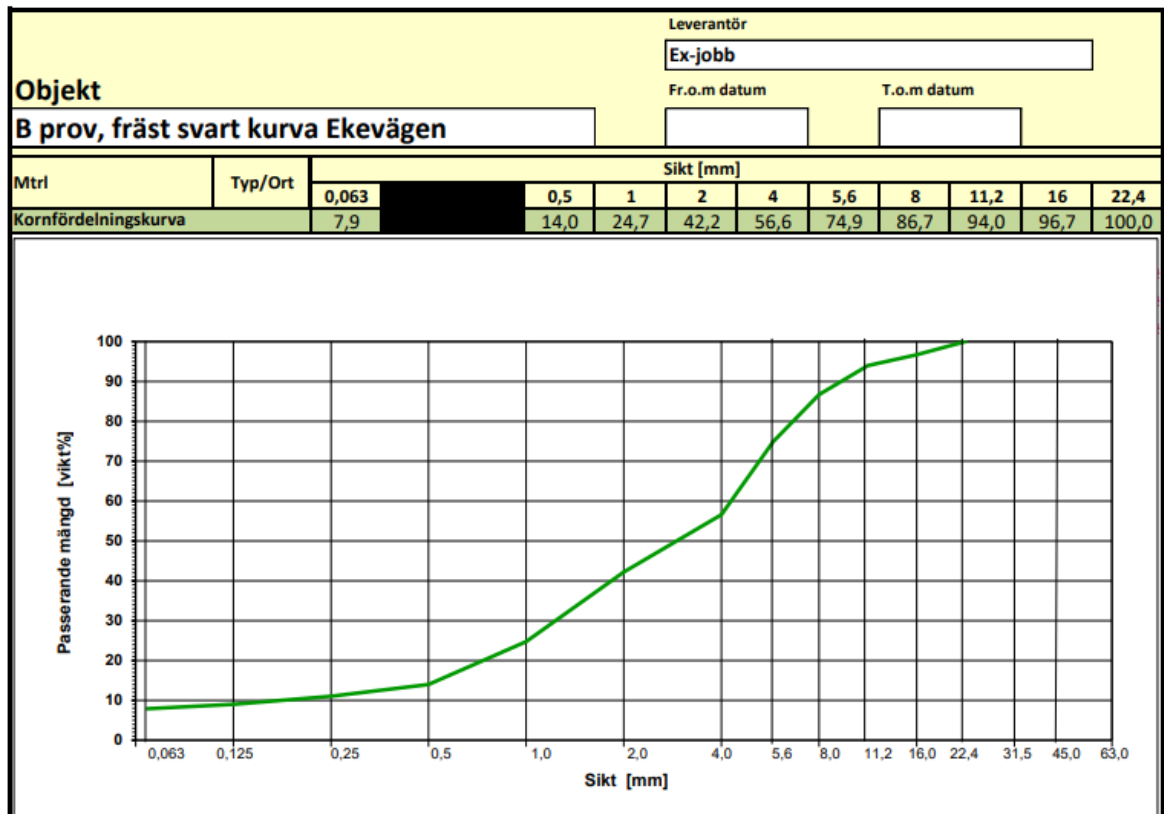
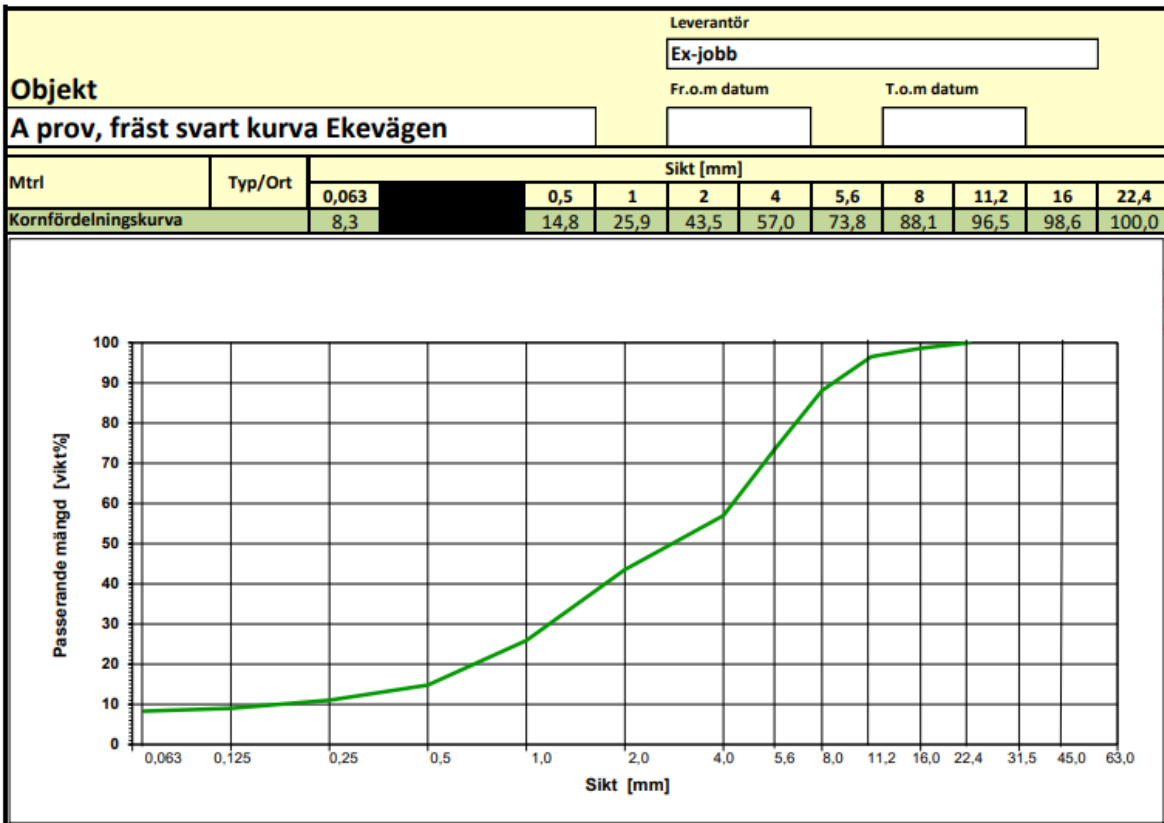
Arbetsrecept

Produkt

Granulat 0-11

Om listan innehåller flera olika produkter, är det bara den senaste som skrivs ut.

Prov-nummer	Datum	Huvuduppgifter		BM-halt (%)	Passerande vid sikt (vikt-%)											Hållrumshalt					
		Provtagningsplats	RC-halt (%)		0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	45,0	Kompakt densitet	Skrym densitet	Hållrum (%)
53A230221	23-09-29	1200-1500 ton		6,3	12,8	17	29	32	40	50	65	78	91	100							
53A230220	23-09-29	900-1200 ton		6,0	12,2	17	25	34	41	50	67	81	95	100							
53A230219	23-09-29	600-900 ton		6,1	12,2	17	24	32	39	48	63	77	92	98	100						
53A230218	23-09-29	300-600 ton		6,0	13,3	17	25	33	40	49	64	77	93	100							
53A230217	23-09-29	0-300 ton		6,3	13,6	18	26	35	43	53	69	81	93	98	100						
Medelvärde				6,1	12,8	17	26	33	41	50	66	79	93	99	100	100	100	100			
Arbetsrecept																					
Standardavvikelse				0,12	0,63	0,4	1,9	1,3	1,5	1,9	2,4	2,0	1,5	1,0	0,4						
Antal resultat				5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			



Instructions:

Change the sieve sizes in the "Source black curve", if necessary.

Fill the green cells with data

The calculated indexes as well as their graphical representation will appear on the right.

*If you notice any errors, please inform Martins Zaumanis (jeckabs@gmail.com)

Road core white curve



sieve (mm)	Sample #1		Sample #2		Sample#3		Average		Range	
	% passing	cumul.	% passing	cumul.	% passing	cumul.	% passing	cumul.	% passing	cumul.
63,0	100,0		100,0		100,0		100		0,0	
45,0	100,0		100,0		100,0		100		0,0	
31,5	100,0		100,0		100,0		100		0,0	
22,4	100,0		100,0		100,0		100		0,0	
16,0	100,0		100,0		100,0		100		0,0	
11,2	97,0		95,0		99,0		97		3,0	
8,0	79,0		65,0		92,0		79		27,0	
5,6	61,0		52,0		77,0		63		25,0	
4,0	48,0		45,0		64,0		52		19,0	
2,0	36,0		34,0		46,0		39		12,0	
1,0	29,0		27,0		32,0		29		5,0	
0,5	25,0		22,0		23,0		23		3,0	
0,063	10,5		9,8		6,7		9,00		3,8	
							*****		0,0	
							*****		0,0	

Milled black curve



sieve (mm)	Sample #1		Sample #2		Sample#3		Average		Range	
	% passing	cumul.	% passing	cumul.	% passing	cumul.	% passing	cumul.	% passing	cumul.
63,0	100,0		100,0				100		0,0	
45,0	100,0		100,0				100		0,0	
31,5	100,0		100,0				100		0,0	
22,4	100,0		100,0				100		0,0	
16,0	98,6		96,7				98		1,9	
11,2	96,5		94,0				95		2,5	
8,0	88,1		86,7				87		1,4	
5,6	73,8		74,9				74		1,1	
4,0	57,0		56,6				57		0,4	
2,0	43,5		42,2				43		1,3	
1,0	25,9		24,7				25		1,2	
0,5	14,8		14,0				14		0,8	
0,063	8,3		7,9				8		0,4	

Milled white curve

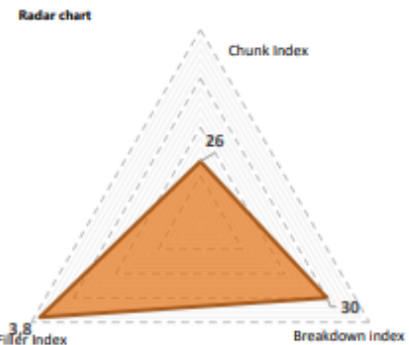
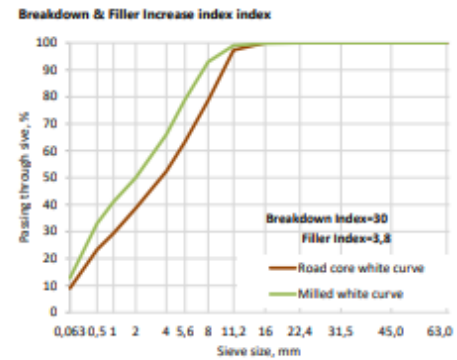
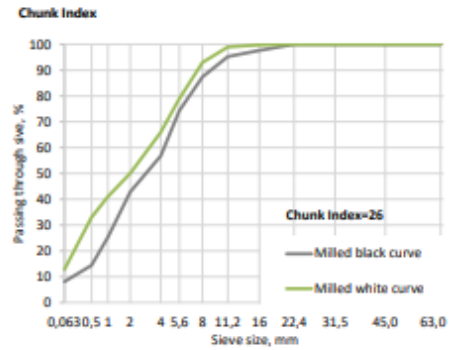


sieve (mm)	Sample #1		Sample #2		Sample#3		Average		Range	
	% passing	cumul.	% passing	cumul.	% passing	cumul.	% passing	cumul.	% passing	cumul.
63,0	100,0						100		0,0	
45,0	100,0						100		0,0	
31,5	100,0						100		0,0	
22,4	100,0						100		0,0	
16,0	99,8						100		0,0	
11,2	99,0						99		0,0	
8,0	93,0						93		0,0	
5,6	79,0						79		0,0	
4,0	66,0						66		0,0	
2,0	50,0						50		0,0	
1,0	41,0						41		0,0	
0,5	33,0						33		0,0	
0,063	12,8						13		0,0	
							*****		0,0	

Results

Sample ID: Ekevågen
 Milling technology: Fräsning med diamanttänder
 Milling parameters: 7-9 m/min
 Other conditions: 10 grader moln

	Result	max	min
Chunk index	26	28,1	24,2
Breakdown index	30	46,0	11,3
Filler Increase index	3,8	6,1	2,3



Bilaga 5 - Klimatstudie

Klimatstudie		Examensarbete		Av: Viktor Larsson	
Funktionell enhet [FE]	1 ton Granulat				
Miljöpåverkanskategorier	Metod	Indikator	Enhet	Sort av utsläpp	Viktfaktor
Klimatpåverkan	IPCC 2014	GWP	g CO2-ekv	koldioxid	1
				Metan	28
				Lustgas	265
1 kg diesel= 1,1765 liter					
Utsläpp	g/kg diesel	g/liter diesel			
CO2		3180	3741		
CH4		0,8	0,9		
N2O		0,06	0,07		
Diesel	Utsläpp	Resultat [g/liter]			
Klimatpåverkan	CO2	3741			
	CH4	0,9			
	N2O	0,07			
Elmix för Sverige	Utsläpp	Resultat [g/kWh]			
Klimatpåverkan	CO2	13			
	CH4	0,003			
	N2O	0,002			
Krossmaskin Kleemann Mobirex	Bästa utfall	Sämsta utfall			
Bränsleåtgång (l/h)	25	30			
Kapacitet (FE/h)	600	500			
Siktmaskin Mekano S1203	Bästa utfall	Sämsta utfall			
Elförbrukning (kW/h)	22	22			
Kapacitet (FE/h)	180	160			
Krossmaskin Kleemann Mobirex	Bästa utfall	Sämsta utfall			
g CO2- ekvivalenter/ FE	158	227			
Siktmaskin Mekano S1203	Bästa utfall	Sämsta utfall			
g CO2- ekvivalenter/ FE	1,7	1,9			