

# Återvinning av asfaltgranulat inom betongkonstruktioner

Ett nytt användningsområde för överblivet  
asfaltgranulat



LUNDS  
UNIVERSITET  
Lunds Tekniska Högskola

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

Examensarbete:  
August Björkenfeldt  
Gustaf Holmström



© Copyright August Björkenfeldt, Gustaf Holmström

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

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

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2017

## Sammanfattning

Det här examensarbetet bygger på att försöka finna ett nytt användningsområde för returafalt. Närmare bestämt att återanvända det i betong. Materialet som skall återanvändas i betongen är asfaltsgranulat och det består av returafalt som krossats till en viss fraktion. Asfaltsgranulatet återanvänds i betongen i detta arbetet genom att ersätta delar av den konventionella ballasten som används i betong. Det som skiljer ballast och asfaltsgranulat åt är att asfaltsgranulaten är täkt med bindemedlet bitumen. Därmed är frågan hur asfaltsgranulatet och bindemedlet bitumen påverkar betongens egenskaper.

En betong består förenklat av vatten, cement och en sammansättning av krossat berg i olika fraktioner (ballast). Ballasten ersätts med en halt asfaltgranulat på 25-, 45-, 77- och 93 procent i de fyra olika blandningarna av betong som producerats i det här arbetet. Dessa blandningar har sedan provats enligt satta europastandarder, både i färskt och hårdnat tillstånd. Egenskaperna som testats hos betongblandningarna vid hårdnat tillstånd är frostbeständighet, styvhet, tryckhållfasthet vid en temperatur på 60 grader samt tryck- och spräckhållfasthet. Vid färskt tillstånd har följande uppmätts: sättmått, utbredningsmått och lufthalt. Sätt- och utbredningsmått mäts för att ge ett intryck hur arbetbar betongen är och beskriver inte betongens egenskaper vid hårdnat tillstånd.

Ur resultatet kan slutsatsen dras att ju högre halten asfaltsgranulat är i betongen påverkas tryck- och spräckhållfastheten negativt. Tryckhållfastheten minskar också när betongen värmts upp till 60 grader. Det tyder på att det är bindemedlet i asfaltgranulaten som påverkar egenskaperna. Betongen ter sig också annorlunda i brottstillståndet när halten asfaltsgranulat blir högre. Brottet uppstår då långsamt och segt istället för plötsligt och sprött som en konventionell betong gör. Frostbeständigheten brukar direkt kopplas till lufthalten i betongen och även om samtliga fyra blandningar visar god till mycket god frostbeständighet är det också svårt att koppla det till mängden asfaltsgranulat i betongen. Mängden luft i blandningarna följer inget direkt mönster. Därav går det inte att härleda resultatet för avflagning där resultatet inte kan kopplas ihop med halten asfaltsgranulat.

I färskt tillstånd tenderade betongen att blir fastare och mer trögflytande när mer asfaltgranulat fanns i blandningen. Dock går det inte att direkt härleda den sämre arbetbarheten till själva granulatet utan det beror troligen på fördelningen av de olika ballastfraktionerna som inte gick att hålla identiska för samtliga blandningar.

Nyckelord: Betong, asfalt, återvinning, hållfasthet, granulat

## **Abstract**

The aim of this bachelor thesis is to find a new recycling area for asphalt granulate, more precisely, to reuse it in concrete. Asphalt granulate consists of waste asphalt that have been crushed to a specific fraction. This material will be reused in concrete by replacing certain parts of the conventional aggregate. The aggregate that is used today mainly consists of ungraded crushed rock. Asphalt granulate is very similar conventional aggregate with the difference that it is covered with the binder bitumen. Thus, this thesis will examine how the asphalt granulate and the binder bitumen will affect the concrete properties.

In simplified terms concrete consists of water, cement and a composition of crushed rocks in different fractions (aggregate). In this study, the aggregate is replaced with a quantity of 25, 45, 77 and 93 percent asphalt granulate. These four different concrete mixtures will then be tested according to set European standards, both in fresh- and hard tempered condition. The characteristics that will be tested in hardened state is frost resistance, compression- and splitting strength at room temperature, compression strength at a temperature of 60 degrees. In the fresh state, the following has been measured: slump test, expansion and air content. The slump test and expansion measurement do not give an impression of the concretes properties in a hardened condition, it shows how workable the concrete is in a fresh state.

Based on the results of this study it can be concluded that a higher amount of asphalt granulates in the concrete affect the compression- and splitting strength adversely. The compression strength decreases when the concrete is heated to 60 degrees. This indicates that it's the bitumen on the asphalt granulates which affect the concrete properties. When the concrete reach its ultimate limit state, the various mixtures behave differently. Mixture 1 crack suddenly without any premonition, mixture 2-4 on the other hand fracture slower over a longer time.

Frost resistance is usually directly linked to the air content in the concrete and although all four blends show good to very good frost resistance, it's difficult to link it to the amount of asphalt granules in different mixtures. The amount of air in the mixtures follows no direct pattern. Hence, it's not possible to relate the results of the frost peeling to the asphalt granulate content.

In fresh condition, the concrete tended to become firmer and more viscous when more asphalt granules were present in the mixture. However, it is not possible to directly relate the poorer workability to the granulate itself. Such conditions are most likely dependent on the distribution of the different

aggregate fractions, which could not be identical in all concrete mixtures that were tested.

Keywords: Concrete, asphalt, recycling, strength, granulate

## **Förord**

Detta examensarbete har genomförts under våren 2017 som ett avslutande moment på högskoleingenjörsutbildningen inom väg- & trafikteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har genomförts för institutionen Teknik och Samhälle, inom avdelningen Trafik och Väg, och i samarbete med Peab.

Allt praktiskt utförande av samtliga tester har genomförts på Peab Asfalts laboratorium i Helsingborg. Vi skulle vilja tacka samtliga medarbetare på laboratoriet som bistått med materialet som krävts och med råd till genomförda tester.

Speciellt skulle vi vilja tacka våra handledare Sven Agardh (LTH), Martin Rydh (Peab) och Olof Åkesson (Peab). Utan er vore inte det här examensarbetet möjligt.

Lund, maj 2017

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Syfte</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3 Frågeställningar</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Metod</b> .....	<b>2</b>
<b>1.5 Avgränsningar</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Nulägesbeskrivning</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Asfalt och asfaltåtervinning</b> .....	<b>3</b>
2.1.1 Historia .....	3
2.1.2 Naturresurser .....	4
2.1.3 Borttagning, förvaring och bearbetning av returafalt .....	4
2.1.4 Bearbetning av returafalt .....	5
2.1.5 Metodöversikt – Allmänt .....	5
2.1.6 Återvinning i asfaltverk .....	6
2.1.7 Återvinning på plats.....	7
2.1.8 Material för asfaltåtervinning .....	9
2.1.9 Returafaltens inverkan på återvunnen beläggning .....	10
<b>2.2 Betong</b> .....	<b>11</b>
2.2.1 Styrning och bestämmelser av betong.....	11
2.2.2 Exponeringsklasser .....	12
2.2.3 Hållfasthetsklasser .....	13
2.2.4 Specifikation av betong .....	14
2.2.5 Betongkonstruktioner, täckande betongskikt - SS 13 70 10 .....	15
2.2.6 Betongkonstruktioners utförande - SS-ENV 13670–1.....	15
2.2.6.1 Allmänt.....	15
2.2.6.2 Toleranser.....	15
2.2.6.3 Kontroller .....	15
2.2.7 Grundläggande hållfastlära för betong.....	15
2.2.7.1 Partialkoefficientmetoden .....	15
2.2.7.2 Bärförmåga och säkerhetsklasser .....	16
2.2.7.3 Laster.....	16
2.2.7.4 Spänningsbegrepp och inre sammanhållning.....	16
2.2.7.5 Deformationsegenskaper.....	17
2.2.7.6 Brott .....	17
2.2.7.7 Spänningstyper.....	17
2.2.7.8 Drag- och tryckspänning.....	18
2.2.7.9 Böjspänning .....	18
2.2.7.10 Skjuvspänning .....	18
2.2.7.11 Knäckning.....	18



2.2.8 Material i betong.....	18
2.2.8.1 Cement och tillsatsmedel.....	19
2.2.8.2 Anläggningscement.....	19
2.2.8.3 Ballast.....	20
2.2.8.4 Tillsatsmedel.....	20
2.2.8.5 Luftporbildande tillsatsmedel.....	20
2.2.8.6 Vattenreducerande tillsatsmedel och flyttillsatser.....	21
2.2.8.7 Accelererande tillsatsmedel.....	21
2.2.8.8 Retarderande tillsatsmedel.....	21
2.2.9 Färsk betong.....	21
2.2.9.1 Arbetbarhet/konsistens.....	21
2.2.9.2 Betongmassans stabilitet.....	23
<b>3 Beskrivning av arbetsmetoder, problemlösningar, beräkningar</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Arbetsgång.....</b>	<b>24</b>
3.1.1 Bestämning av bitumenhalt och typ.....	25
3.1.2 Bestämning av fukthalt.....	25
3.1.3 Siktning.....	25
3.1.4 Betongproportionering.....	27
3.1.5 Blandning av betong.....	30
3.1.6 Provning av betongen i färskt tillstånd.....	30
3.1.7 Frostbeständighet.....	32
3.1.8 Tryckhållfasthet.....	34
3.1.9 Spräckhållfasthet.....	34
3.1.10 Seismik.....	36
<b>3.2 Problemlösningar.....</b>	<b>36</b>
<b>3.3 Beräkningar.....</b>	<b>36</b>
<b>3.4 Felkällor.....</b>	<b>36</b>
<b>4 Resultat.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 Färsk betong.....</b>	<b>38</b>
4.1.1 Sättnmätt.....	38
4.1.2 Utspridningsmått.....	38
4.1.3 Lufthalt.....	38
<b>4.2 Hårdnad betong.....</b>	<b>38</b>
4.2.1 Tryckhållfasthet.....	39
4.2.2 Spräckhållfasthet.....	40
4.2.3 Avflagning vid frysning.....	42
4.2.4 Seismik.....	42
<b>5 Slutsatser, kommentarer och eventuella möjligheter till vidareutveckling.....</b>	<b>43</b>
<b>5.1 Slutsats.....</b>	<b>43</b>
<b>5.2 Vidareutveckling.....</b>	<b>44</b>
<b>6 Litteraturförteckning.....</b>	<b>46</b>

<b>7 Bilagor .....</b>	<b>47</b>
<b>Bilaga A Provningsrapport – Spräckhållfasthet 1 .....</b>	<b>47</b>
<b>Bilaga B provningsrapport – Spräckhållfasthet 2.....</b>	<b>48</b>
<b>Bilaga C provningsrapport – Tryckhållfasthet 1 .....</b>	<b>49</b>
<b>Bilaga D provningsrapport – Tryckhållfasthet 2.....</b>	<b>50</b>
<b>Bilaga E Kornstorleksfördelning – Ballast i asfaltgranulat.....</b>	<b>51</b>
<b>Bilaga F Kornstorleksfördelning – Makadam 8-16.....</b>	<b>52</b>
<b>Bilaga G Kornstorleksfördelning – Sand 0-2.....</b>	<b>53</b>
<b>Bilaga H Kornstorleksfördelning – Asfaltgranulat 0-11 .....</b>	<b>54</b>

# 1 Inledning

Inom vägtransportsektorn är det Trafikverket som har det övergripande ansvaret för miljön. Miljön är en alltmer viktig faktor i samhället och därför har en handlingsplan tagits fram från uppdrag av regeringen. Detta för att väg och transportmiljön skall ha en långsiktigt hållbar utveckling. I denna handlingsplan framgår det på ett ungefär hur mycket material som går åt årligen inom transportsektorn. Detta gäller både för att bygga nytt, förstärka och underhålla det statliga vägnätet (Westergren, 2004).

## 1.1 Bakgrund

Idéen bakom det här examensarbetet är att finna ett nytt användningsområde för asfaltsgranulat. Endast 3 miljoner ton återvinns årligen i förhållande till de 7 miljoner ton asfalt som tillverkas (Tyllgren, 2010). Den del som tas hand om återanvänds generellt genom olika metoder för nyanläggning av vägar. Det tillverkas mellan fem och sju miljoner ton asfalt per år och eftersom det bara är en del av detta som kan återanvändas till nya vägar bidrar det till stora asfaltdepåer (Westergren, 2004). Skulle det gå att hitta ett nytt användningsområde för denna överblivna asfalt skulle det vara gynnsamt både ur ekonomisk och miljömässig synpunkt.

Det som testats i det här examensarbetet är att pröva om asfaltsgranulat kan användas i betong genom att ersätta delar eller helt den konventionella ballasten i betongen. Asfaltgranulat är lik den konventionella ballasten i betong som främst består av bergkross, med skillnaden att asfaltgranulaten är täckt med bindemedlet bitumen. Bitumen i sig är ett flexibelt bindemedel som vid högre temperaturer blir mjukare och vid lägre temperatur blir hårdare. Det har olika mjukpunkter vilket betyder att det har olika hårdhet. I asfaltgranulaten är också allt av det finaste materialet bundet i bindemedlet vilket kan ha en stor inverkan på resultatet av detta arbete.

## 1.2 Syfte

Syftet med arbetet är huvudsakligen att se om asfaltgranulat går att använda i betong och därmed skulle kunna vara ett nytt användningsområde. Syftet är inte att söka efter någon speciell egenskap hos betongen, utan att se vilka egenskaper betongen kommer att få efter inblandning av asfaltgranulat. Men också att få mer kunskap om betong och asfaltåtervinning generellt, och att få kunskap om den praktiska tillverkningen av betong och att testa dess egenskaper.

### 1.3 Frågeställningar

Frågeställningen består av två huvudfrågeställningar och tre delfrågeställningar. De två huvudfrågeställningarna är det som utreds i detta examensarbete. Svaret på dessa redovisas i resultatet samt analyseras i slutsatsen. Delfrågeställningarna besvaras i nulägesbeskrivningen, kapitel 2 samt arbetsgången, kapitel 3. Dessa tas inte med i slutsatsen eller resultatet eftersom detta är delfrågeställningar och enbart är till för att ge bakgrundskunskap till arbetet.

Huvudfrågeställningar:

- Hur påverkar inblandad asfaltgranulat betongens egenskaper?
- Hur påverkas betongen beroende på hur stor andel granulat som är inblandad?

Delfrågeställningar:

- Hur mycket returafalt återvinns idag och hur stort är överskottet?
- Hur tillverkas betong?
- Hur testas betongens egenskaper?

### 1.4 Metod

Metoden för att komma fram till svar på dessa frågeställningar har varit att läsa teori samt att tillverka en betong med inblandat asfaltgranulat rent praktiskt. Först har litteraturstudie gjorts. En angående om hur asfaltåtervinning fungerar idag, hur mycket som återvinns, till vad, och hur mycket som blir över. Även en litteraturundersökning om betong och dess egenskaper har gjorts för att få en förståelse om materialet, hur det tillverkas och hur det testas.

Detta har gett kunskap om de båda materialen och hur det praktiska arbetet skall läggas upp. Det praktiska arbetet har gått till så att fyra olika betongblandningar har gjorts, med olika mängder asfaltgranulat inblandat. Fyra betongkuber till varje blandning tillverkades. Vilket innebär att fyra olika typer av tester kunde utföras. En kub testades mot tryckhållfasthet, en mot tryckhållfasthet efter den värmts upp, en mot spräckhållfasthet och en mot frostbeständighet. Även när betongen var färsk utfördes tester, där mättes spridningsmått, utbredningsmått och lufthalt i betongen. Testerna har sedan analyserats, utvärderats och jämförts i den mån dem är jämförelsebara.

### 1.5 Avgränsningar

Detta arbetet har utförts under en tid på fem månader. Vilket är en relativt kort period då det har varit mycket att förbereda, mycket praktiska utföranden, långa härdningstider och även gått mycket tid åt rapportfärdigställandet. Detta har bidragit till att vissa avgränsningar har varit tvungna att göras för att kunna lägga den tid det krävs för att uppehålla en god kvalitet på arbetet. Ingen

referensbetong tillverkas då detta examensarbete endast utreder om asfaltsgranulat går att återanvända i betong eller ej.

## **2 Nulägesbeskrivning**

Två litteraturstudier har utförts. En om asfalt och en om betong. Litteraturen som använts för asfalt är främst: Handbok för återvinning av asfalt men också broschyren: Grön asfalt. Litteraturstudien presenteras i kapitel 2.1. Litteraturen för teorin angående betong har varit boken: Betong och armeringsteknik, och den studien presenteras i kapitel 2.2.

### **2.1 Asfalt och asfaltåtervinning**

Årligen så används det till asfaltbeläggningar cirka 400 000 ton bitumen samt 7 miljoner ton ballast. Utöver detta så används det cirka 50 miljoner ton ballast till obundna lager. Både ballast och bitumen är ändliga naturresurser, vilket betyder att det är material som någon gång kommer att ta slut. I miljöbalken framgår det att aktörerna inom vägsektorn skall hushålla med råvaror och energi samt sträva efter ett miljövänligt kretslopp för materialen inom vägbyggnation (Westergren, 2004).

Den totala årliga tillverkningen av betong uppgår till cirka 7 miljoner ton i Sverige och årligen återvinns cirka 1 miljon ton av Trafikverket och 1–2 miljoner ton inom kommuner och den industriella sektorn (Tyllgren, 2010).

Återvinning av asfalt kan ske antingen direkt på plats eller vid särskilda återvinningsverk och med olika metoder. Det kan ske varmt, halvvarmt eller kallt. Asfalten kan även den se väldigt varierande ut och är en heterogen produkt. Asfalten kan vara i form av asfaltkakor eller asfaltgranulat, som är krossade asfaltkakor oftast mindre än 25 mm (Trafikverket, 2012).

Asfalten kan ha olika åldrar, bestå av olika andelar obundet material och bestå av flera olika beläggningstyper. Inblandningen kan också variera, det kan ske av olika typer av bindemedel, stenmaterial och tillsatsmedel. Den återvunna asfalten kan därför variera väldigt och kräver noggrann planering och förprovning för att ge ett bra resultat (Trafikverket, 2012).

#### **2.1.1 Historia**

Sedan lång tid tillbaka har återanvändning och återvinning varit en vanlig företeelse inom vägområdet. De gamla stigarna har under tidens gång med ökad trafik blivit underlag för landsvägar och i städerna har bland annat gatsten återanvänts som beläggingsmaterial. I modern tid har återvinning av oljegrus varit föregångare till dagens återvinningsprocesser för bituminösa beläggningar. På plats återvanns oljegrusbeläggningar genom att de

bearbetades upp, behandlades med ny vägolja, hyvlades jämna och vältades huvudsakligen av trafiken. Alternativt kunde de hyvlas upp, lastas och transporteras till ett oljegrusverk och återvinnas med tillsats av ny vägolja för att sedan transporteras tillbaka och läggas dit igen (Westergren, 2004).

Sedan dess har tekniken utvecklats markant. Idag kan återvinning ske såväl på plats, som vid verk, med ett stort antal olika metoder och processer. Utvecklingen går mot att de flesta asfaltverk och maskiner anpassas för att möjliggöra återvinning (Westergren, 2004).

### 2.1.2 Naturresurser

När man anlägger och underhåller vägar, flygfält, broar m.m. används stora mängder naturresurser som är ändliga, d.v.s. som någon gång kommer ta slut. 1994 var uttaget av ballast totalt 83 miljoner ton. Ungefär 50 miljoner av dessa gick åt till obundna lager. Just tillgången på naturgrus är begränsad och därför infördes 1996 en skatt på 5 kr/ton vid uttag ur en grustäkt. Detta har bidragit till att produktionen av bergmaterial har ökat gentemot uttaget av grusmaterial (Westergren, 2004).

Bitumen, som är en stor del av asfalten är det mest kostsamma resursen i asfalten. Detta gör att återvinning av asfalt innebär återvinning av bitumen som bidrar till stora ekonomiska besparingar (Trafikverket, 2012).

### 2.1.3 Borttagning, förvaring och bearbetning av returafalt

Återvinningsprocessens första steg är borttagningen. Detta är ett steg som har stor betydelse för den fortsatta processen. Detta har betydelse för vad man kan göra med den borttagna asfalten och vad man skall göra i behandlingen för att kunna ha den till ett speciellt användningsområde etc. Väljer man fel borttagningsmetod kan det bidra till en dyrare efterbehandling för att uppnå önskad kvalitet, eller i värsta fall omöjliggöra den önskade återvinningen (Westergren, 2004).

Borttagning av asfalt kan ske av flera olika skäl men vanligen görs det genom två välkända metoder: grävning eller fräsning. Orsaken att ta bort asfalt brukar delas upp i tre kategorier (Westergren, 2004):

- Borttagning för uppgrävning av ledningar eller borttagning av en vägsektion genom grävning eller fräsning.
- Förbättring eller utskiftning av material innan nya lager skall beläggas.
- Justering eller utjämning av ytan vid förberedelse för nytt asfaltlager eller för fortsatt trafikering genom fräsning.

De flesta fall är helt unika och har olika förutsättningar som bidrar till olika begränsningar och möjligheter för respektive fall. Olika förutsättningar beroende på återvinningsteknik, förekommande material och förekomst av exempelvis jord eller lera (Westergren, 2004).

Återvinningsprocessen delas vanligen in i fyra metoder som punktas upp nedan (Westergren, 2004):

- Varm återvinning
- Halvvarm återvinning
- Kall återvinning
- Återvinning till obundna material

#### 2.1.4 Bearbetning av returafalt

Det finns vanligen tre olika typer av mellanlager (Westergren, 2004):

- Temporärt anordnade mellanlager för förvaring under högst tre år
- Permanent anordnade mellanlager för kortvarig verksamhet
- Mellanlager vid stationära asfaltverk

Dessa mellanlager styrs av lagen om skatt på avfall, och samma principer gäller som för alla andra byggrester som skall återvinnas. När asfalten kommer till mellanlagret sker olika bearbetningsmoment. Momenten skiljer sig åt beroende på vad asfalten skall ha för användningsområde och vad den har för förutsättningar. Först sker en mottagning och en grovsortering, där sorterar man upp materialet efter exempelvis: ytbehandling, grus, blandade produktgrupper, slitlager osv. Sedan sker en frånskiljning, där man tar bort grusöverskott och främmande restprodukter. Efter det sker en krossning och siktning av asfalten. Sedan skall asfalten förvaras och man delar då upp den i följande olika fraktioner (Westergren, 2004):

- 0–11 mm för slitlager
- 0–16 mm för slitlager
- 0–22 mm för bundet bärlager
- 0–22/32 mm till obundet bärlager
- 0–45/63 mm för förstärkningsmaterial
- 11–16 mm som kompletteringsmaterial
- 11/16–45/63 mm som kompletteringsmaterial till förstärkningsmaterial

Till sist sker en homogenisering. Korsningsprocessen i sig själv bidrar till en viss homogenisering. Eftersträvas ytterligare homogenisering kan detta göras genom att styra upptagen ur depån så att man får en ännu mer homogen slutprodukt (Westergren, 2004).

#### 2.1.5 Metodöversikt – Allmänt

Metoderna för återvinning skiljer sig som nämnt åt. Men de delas vanligen in i två huvudgrupper, återvinning som görs på plats och återvinning i blandningsverk. När man gör det på plats återvinns befintligt asfaltlager direkt och man utnyttjar materialet som redan finns och tillsätter en liten del nya material (Trafikverket, 2012).

När det gäller tillverkning i blandningsverk kan man tillsätta upp mot 100 % returafalt men oftast betydligt mindre. Tillverkningsprocesserna kan i båda

fallen ske genom typerna: varm, halvvarm eller kall tillverkning. Detta gäller också vid tillverkning av asfalt av helt orörda material. Temperaturerna är för varm tillverkning högre än 120°C, för halvvarm 50–120°C och för kall lägre än 50°C (Waldermarson, 2008).

Asfaltsgranulat kan läggas ut som ett obundet lager och räknas också som återvinning av beläggingsmaterial. Man kan tillsätta en viss mängd stenmaterial för att få önskad funktion av det obundna lagret, men inget bindemedel tillsätts. Metoden att återvinna asfaltgranulat som obundet lager används främst på ytor med lite trafik (Westergren, 2004).

### 2.1.6 Återvinning i asfaltverk

Vid återvinning i verk tillsätts den återvunna asfalten i granulerad form, och tillsätts ihop med nya orörda material. I Tabell 1 beskrivs de olika metoderna vid återvinning i verk, vad det kan användas till, vilket och hur mycket bindemedel som tillsätts samt hur stor andel returafalt som kan användas (Westergren, 2004).

Tabell 1. De olika metoderna med dess användningsområde, bindemedel och andel returafalt vid återvinning i asfaltverk (Westergren, 2004).

Metod	Användning	Tillsatt bindemedel	Andel returafalt
Varm återvinning	För slit-, bind- och bärlager i samtliga trafikklasser och vägtyper.	Bitumen.	Mellan 5 och 30 % beroende på returafalt, process, typ av verk och typ av lager.
Halvvarm återvinning	För slit-, bind- och bärlager i samtliga trafikklasser och vägtyper.	Mjukbitumen.	Mer än 80 %.
Kall återvinning	För slit-, bind- och bärlager i samtliga trafikklasser och vägtyper.	Bitumenemulsion, mjukbitumen eller bitumensum.	Mer än 80 %.

Processen för varm asfaltåtervinning i verk kan ske i två olika typer av verk, vare sig det är returafalt inblandat eller inte. Det är antingen satsverk, eller kontinuerliga verk. I satsverk sker blandningen i en så kallad tvångsblandare, varje sats för sig. I dessa verk proportioneras materialen ut av sig själv i blandaren. I ett kontinuerligt verk sker proportioneringen via kalldosering. I satsverk är ofta mängden returafalt lägre än i kontinuerliga asfaltverk. De tre största faktorerna som avgör hur mycket returafalt som går att tillsätta är returafaltens egenskaper, kraven på den färdiga produkten samt utrustningen (Waldermarson, 2008).



I ATB VÄG står anvisningar angående hur mycket asfaltgranulat som tillåts användas vid varm återvinning i verk. För slitlager gäller att upp till 20 % asfaltgranulat är tillåtet, medan för bind- och bärlager tillåts upp mot 30 %. Detta med villkoret att bindemedlet inte är för hårt. Mjukpunkten får heller inte förändras mer än vad som står angivet i ATB VÄG för nytt material (Westergren, 2004).

Liksom andra krav som står i ATB VÄG för nytt material, skall också uppfyllas vid varm återvinning i verk. Detta medför att den slutliga produkten är likvärdig med en produkt helt bestående av oanvända material (Waldermarson, 2008).

Den halvvarma processen ligger som beskrivet mellan 50–120°C, men oftast som max på 80°C, och som bindemedel används mjukbitumen. Asfaltgranulatet tillsätts genom vattenånga under högt tryck. Dessa verk är jämförelsevis med processen för varm återvinning lätta att flytta. Detta medför att verken kan etablera sig även för små mängder återvinning. Då bindemedlet som tillsätts för denna typ av återvinning är mjukbitumen är denna metod lämpad till att användas vid krav på flexibilitet, kyligare klimat och relativt liten andel tung trafik. Tung trafik kan annars orsaka spårbildning på vägar där det används mjuka bindemedel (Hornwall, 2001).

Den kalla återvinningen i verk saknar helt uppvärmningsenhet och har ett relativt enkelt tillvägagångssätt. Processen genomförs vanligen i kontinuerliga verk och har kapaciteter upp till cirka 120 ton/h. Precis som processen för halvvarm återvinning så är även verken för kall återvinning enkla att flytta. Kall återvinning sker på vägar med låg trafikmängd och har ofta en ÅDT (årsdygnstrafik) på under 1500 fordon per dygn. Proportionerna av stenmaterialet fördelas vanligen via en kontinuerlig blandare helt ouppvämt, men kan också ske via en satsblandare och då är det endast bindemedlet som värms upp (Hornwall, 2001).

### 2.1.7 Återvinning på plats

Den andra typen av återvinning av asfalt är återvinning på plats. Här sönderdelas asfalten och sedan tillsätts bindemedel, eventuellt ny asfaltmassa eller annat stenmaterial. Även här finns flera olika typer av metoder om hur själva återvinningen skall gå till. Det finns varm återvinning, halvvarm återvinning och kall inblandning precis som när återvinningen sker vid verk. Återvinning som sker direkt på plats är särskilt lämplig där endast delar av vägen skall åtgärdas, exempelvis en fil på en flerfilig motorväg (Trafikverket, 2012). När det gäller varm återvinning på plats så gäller det liksom vid varm återvinning i verk att det är mest lämpligt för slitlager på vägar som är relativt högtrafikerade och som är homogena. Det kan med denna metod vara svårt att

förända massans sammansättning, därför bör denna metod undvikas på vägar med kraftigt plastiska deformationer eller där beläggningen är väldigt gammal. Exempel på detta kan vara slitlager av dränasfalt. En överblick om återvinning på plats och dess olika metoder och användningsområde redovisas i Tabell 2 (Westergren, 2004).

Tabell 2. De olika metoderna med dess användningsområde, bindemedelstyp och andelen tillsatt asfaltmassa vid återvinning på plats (Westergren, 2004).

Metod	Användning	Tillsatt bindemedel	Tillsatt asfaltmassa
Varm återvinning (repaving)	För slitlager i samtliga trafikklasser och vägtyper.		40-60 kg/m <sup>2</sup> (ca 10.20mm) ny asfaltmassa läggs ovanpå det rivna och utjämnande asfaltlagret.
Varm återvinning (remixing)	För slitlager i samtliga trafikklasser och vägtyper.	Bitumen eller speciell mjukgörare kan tillsättas.	15-30 kg/m <sup>2</sup> (ca 20mm) ny asfaltmassa tillsätts och blandas med asfaltgranulat från befintligt asfaltlager.
Varm återvinning (remixing plus)	För slitlager i samtliga trafikklasser och vägtyper.	Bitumen eller speciell mjukgörare kan tillsättas.	Ca 40 kg/m <sup>2</sup> ny massa läggs ovanpå det remixade lagret.
Halvvarm återvinning (halvvarm remixing)	För slitlager i trafikklasser under medel.		15-25 kg/m <sup>2</sup> ny asfaltmassa tillsätts och blandas med asfaltgranulat från befintligt asfaltlager.
Kall återvinning (kall remixing)	För slit- och bärlager, oftast i något lägre trafikklasser.	Bitumenemulsion eller bitumen som skummas.	Tillsats av bindemedel och stenmaterial upp till ca. 20 %.
Kall inblandning (stabilisering)	För bärlager, oftast i något lägre trafikklasser.	Bitumenemulsion och ev. cement.	Tillsats av bindemedel och stenmaterial upp till ca. 50 %.
Kall inblandning (djupfräsning)	För bärlager, oftast i något lägre trafikklasser.		Ev. tillsats av stenmaterial

Metoden varm återvinning på plats finns i tre olika varianter; remixing, remixing plus samt repaving. Remixing innebär att den gamla beläggningen först värms upp, sedan rivs och blandas med ny oanvänd massa. Sedan läggs blandningen ut i ett lager. Alla moment i processen utförs med samma maskinenhet (Westergren, 2004).

Remixing plus fungerar till en början precis som remixing. Beläggningen värms, rivs, blandas och läggs sedan ut igen. Skillnaden är att ovanpå detta återvunna lagret läggs ett lager på minst 30 kg/m<sup>2</sup> helt ny asfaltmassa. Precis som för remixing måste allt utförande ske med samma maskinenhet (Westergren, 2004).

Repaving innebär precis som för remixing och remixing plus att den nuvarande beläggningen värms och rivs upp. Men till skillnad mot remixing där den blandas med ny massa så omfördelas den enbart på vägen, sedan läggs ett nytt lager asfaltmassa ovanpå. Utförande sker med en och samma maskinenhet (Westergren, 2004).

Halvvarm återvinning på plats fungerar ungefär på samma sätt som remixing vid varm återvinning. Den befintliga beläggningen värms upp och rivs. Sedan blandas den med ny massa och ibland kan även nytt bindemedel tillsättas. Halvvarm återvinning på plats används där beläggningen består av mjukbitumenmassor eller oljegrus (Westergren, 2004).

Kall återvinning och kall inblandning på plats är en process där den nuvarande beläggningen fräses, nytt bindemedel blandas in och eventuellt nytt stenmaterial tillsätts. Kall återvinning på plats finns i tre olika varianter; remixing, stabilisering och djupfräsning. Största skillnaden mellan remixing, stabilisering och djupfräsning är att vid kall remixing så är det endast den befintliga beläggningen som bearbetas. När det gäller stabilisering så blandas även det underliggande obundna materialet in. Detta används vanligen då bärlagergruset innehåller för mycket finmaterial. Det nya tillsatta bindemedlet binder ihop finmaterialet (Westergren, 2004).

Den sista varianten, djupfräsning innebär att både de obundna och det bundna materialet fräses ner till ett nytt obundet bärlager. Vid denna variant tillsätts inget bindemedel, däremot kan stenmaterial tillsättas. Viktigt här att frästrustningen ger en god sönderdelning av granulatet och att bindemedlet fördelas jämnt (Westergren, 2004).

### 2.1.8 Material för asfaltåtervinning

Returasfalt kan innehålla en mängd olika material utöver bindemedel och stenmaterial som det huvudsakligen innehåller. Det kan även innehålla däcksgummi, fibrer eller andra okända tillsatser (Westergren, 2004).

Bindemedlet som finns i asfalt är vanligen bitumen. De vanligaste varianterna är bitumenlösning, mjukbitumen och penetrationsbitumen, som alla har olika användningsområden. Det kan finnas andra typer av bindemedel som är mindre vanliga, som exempelvis vägolja eller stenkolstjära. Egenskaperna hos det bituminösa bindemedlet i returasfalt har inte samma egenskaper som den

hade när asfalten var ny. Bindemedlet i returafalten är hårdare vilket den har blivit genom olika skeden i processen. Uppvärmningen, blandningen, transporten och utläggningen är skeden som har gjort att bindemedlet blivit hårdare. Även under brukstiden blir bindemedlet hårdare genom olika processer som exempelvis oxidation, utsöndring och förlust av andra lättare beståndsdelar (Westergren, 2004).

Precis som bindemedlet i returafalt så är stenmaterialet helt unikt för varje projekt. Kraven på stenmaterialet är allra högst i slitlagret och lite mindre för bind- och bärlagret. När asfalten tas upp, antingen genom rivning eller fräsning blandas alla lagren, och kvaliteten utjämnas i blandningen. Eftersträvas ett högkvalitativt stenmaterial kan detta särskiljas genom att fräsningen sker lagervis. Hela processen med borttagning och eventuell uppvärmning påverkar stenmaterialet vilket bidrar till att egenskaperna hos stenmaterialet förändras, och är inte detsamma som de ursprungliga egenskaperna (Westergren, 2004).

#### 2.1.9 Returafaltens inverkan på återvunnen beläggning

Oavsett om en asfaltsbeläggning är producerad enbart av nya material eller om returafalt är inblandad finns det vissa egenskaper som förväntas. Dessa egenskaper kan exempelvis vara (Westergren, 2004):

- Nöttningsresistens (slitlager)
- Lastfördelande förmåga (bind- och bärlager)
- Deformationsresistens
- Lågtemperaturegenskaper
- Flexibilitet och självläkande förmåga
- Utmattningstålighet
- Jämnhet
- Friktion/textur
- Beständighet

Egenskaperna hos beläggningsbestämningen bestäms huvudsakligen av egenskaperna av materialen i beläggningsbestämningen, d.v.s. stenmaterialet, bitumen och det inblandade asfaltgranulatet. Även hur stor andel respektive material har i beläggningsbestämningen påverkar egenskaperna hos den slutliga produkten. Egenskaperna kan vanligen testas i laboratoriet och vissa krav står även angivna i ABT VÄG (Jacobson, 2002; Waldemarson, 2008).

Vid varm återvinning är chansen störst att man får en fullständig samverkan mellan de nya oanvända materialen ihop med den inblandade returafalten. Sämst är chansen vid kall återvinning (Westergren, 2004).

## 2.2 Betong

### 2.2.1 Styrning och bestämmelser av betong

Vid utförandet och dimensioneringen av betongkonstruktioner gäller allmänt Eurokoder 1992-1-1 samt tillägg från boverket (EKS). På grund av olika erfarenheter, klimat och traditioner finns ingen totalt enad standard för samtliga punkter. EU-standarden anger därför att respektive land måste nationellt ange vad som gäller. Nedan sammanfattas några av de viktigaste standarderna inom EU och specifikt för Sverige (Almgren, 2014).

- EN 123,  
Standarden har tagits fram av europeiska standardiseringsorganisationerna CEN och CENE-LEC, den ges ut som engelsk, fransk och tysk version. En nationell standard måste ges ut.
- SS-EN 123,  
En svensk standard (SS) skall ges ut från att en europastandard (EN) är publicerad. SS-versionen skall ha en svensk titelsida, förord och ev. bilaga. Själva standardens innehåll kan vara översatt till svenska alternativt på engelska. Mindre viktiga standarder ges oftast endast ut på engelska och anges då ”EN-123 gäller som svensk standard”.
- ENV 123,  
Innan en standard har accepterats av samtliga medlemsländer kan det ges ut som en försöksstandard från CEN/CENE-LEC. Denna behöver inte ges ut som nationell standard. Om den gör det benämns den SS-ENV-123.

Europastandarderna utarbetas på initiativet av olika intressenter, intresseorganisationer, myndigheter, företag, etc.

Det finns flera olika typer av standarder beroende på ämnesområde och syfte, det kan exempelvis vara för (Almgren, 2014):

- Produkter
- Beräkningar
- Provningsmetoder

När samtliga parter har accepterat en standard och enats omkring ett gemensamt regeldokument får man kalla det för en harmoniserad standard (HEN). Den är förknippad med Byggproduktdirektivet (CPD). Den harmoniserade standarden skall innehålla anvisningar om CE-anmärkning. Inom betongområdet är den viktigaste standarden SS-EN 206-1 som är grundstandard för betong. Den berör de olika delmaterialen och innefattar produktstandarder och provningsstandarder. Det finns ytterligare standard för utförande (SS-EN 13670–1) och beräkningar (SS-EN 1992-1-1, EC2). Specifikt för Sverige har SS 13 70 03 – Användning av EN 206–1 i Sverige definierats. Standarden anger att föreskriven sammansatt betong kan användas. Det innebär att konstruktören eller entreprenören anger betongreceptet. Tidigare bar betongtillverkaren ansvaret för betongsammansättningen och att efterfrågade egenskaper tillgodoses. Därför

berörs endast föreskrivna egenskaper för betongen i denna standard (Almgren, 2014). I SS EN 206–1 är en viktig del klassificeringen av miljöns inverkan på betongkonstruktioner genom exponeringsklasser (Almgren, 2014).

### 2.2.2 Exponeringsklasser

De olika exponeringsklasserna särskiljer nedbrytningsmekanismerna av betong. Det kan exempelvis vara kemiskt eller orsakat av frost. Respektive orsaksmekanism delas in i tre eller fyra olika klasser. För varje klass finns angivet de krav som ställs på betongen och dessa finns i SS 13 70 03.

En betongkonstruktion kan vara utsatt av flera nedbrytningsmekanismer samtidigt och kan därav ha flera olika föreskrivna exponeringsklasser som skall uppfyllas. Betongleverantören bär ansvaret att välja den betongsammansättning som uppfyller kraven i den strängaste exponeringsklassen. Den främsta faktorn är vattencementtalen (VCT). Vidare anges de cementtyper och tillsatsmaterialmängder som accepteras för varje klass i SS 13 70 03 (Almgren, 2014).

Det är generellt konstruktören som anger den exponeringsklass som krävs utifrån rådande förhållanden. Exponeringsklassen skall framgå på ritningen i förfrågningsunderlaget eller i kontraktshandlingarna. Samtliga exponeringsklasser redovisas nedan där de grupperas efter angreppsmekanism (Almgren, 2014).

- XC = Karbonatisering
- XD = Tösalt (Deicing)
- XS = Saltvatten (Seawater)
- XF = Frost
- XA = Aggressiv (kemiskt)

En indelning inom respektive grupp utförs också beroende på närvaron och tillgången till vatten eller fukt. Se vidare i **Fel! Det går inrte att hitta någon eferenskölla.** (Almgren, 2014).

Tabell 3. Exponeringsklasser enligt SS-EN 206-1.

Typ av angrepp	Klass	Beskrivning
Ingen risk	X0	Oarmerat utan frost, eller armerat i mycket torr miljö
Korrosion föranledd av karbonatisering	XC1	Torr eller ständigt våt
	XC2	Våt, sällan torr
	XC3	Måttlig fuktighet
	XC4	Cykliskt våt och torr
Korrosion orsakat av andra klorider än havsvatten	XD1	Måttlig fuktighet
	XD2	Våt, sällan torr
	XD3	Cykliskt våt och torr
Korrosion orsakat av havsvatten	XS1	Luftburet salt
	XS2	Ständigt under vatten
	XS3	Tidvatten-, skvalp-, eller stänkzon
Frostangrepp	XF1	Måttlig vattenmättnad, utan avvisningsmedel
	XF2	Måttlig vattenmättnad, med avvisningsmedel
	XF3	Hög vattenmättnad, utan avvisningsmedel
	XF4	Hög vattenmättnad, med avvisningsmedel
Kemiskt angrepp	XA1	Obetydligt kemiskt aggressiv miljö
	XA2	Måttlig kemiskt aggressiv miljö
	XA3	Starkt kemiskt aggressiv miljö

### 2.2.3 Hållfasthetsklasser

Hållfasthetsklasserna betecknas med exempelvis C 16/20 där det första numret anger tryckhållfastheten i MPa för en cylinder och det andra numret hållfastheten för en kub. Provkropparna skall lagras och prövas enligt den europeiska provningsstandarden. Till skillnad från tidigare svenska regler skulle provkropparna lagras i vatten ända fram till provtryckning. I de svenska tillägsreglerna för den europeiska standarden ska även provkropparna lagras torrt, men i så fall skall den erhållna datan multipliceras med 0.92. De olika hållfasthetsklasserna står beskrivna i Tabell 4 (Almgren, 2014).

Tabell 4. Hållfasthetsklasser (Almgren, 2014).

Klass för hållfasthet	Lägsta karakteristiska kubhållfasthet [Mpa]
C 12/15	15
C 16/20	20
C 20/25	25
C 25/30	30
C 28/35	35
C 30/37	37
C 32/40	40
C 35/45	45
C 40/50	60
C 45/55	55
C 50/60	60
C 54/65	65
C 55/67	67
C 58/70	70
C 60/75	75
C 70/85*	85
C 80/95	95
C 90/105*	105
C 100/115*	115

\* För användning krävs särskild utredning

#### 2.2.4 Specifikation av betong

En betongspecifikation definieras som en sammanställning av dokumenterade tekniska krav som är givna till betongtillverkaren. Kraven kan komma från antingen beställaren eller konstruktören. Ansvaret övergår sedan till betonganvändaren, det vill säga entreprenören. Betongspecifikationen skall alltid innehålla följande (Almgren, 2014):

- Tryckhållfasthet
- Exponeringsklass
- Sten max
- Högsta tillåtna kloridhalt
- Konsistensklass

Den kan också innehålla tilläggskrav, till exempel:

- Lufthalt
- Betongmassans temperatur
- Hållfasthetsutveckling
- Retardation
- Cementtyp
- Specifik ballasttyp
- Andra tekniska krav



## 2.2.5 Betongkonstruktioner, täckande betongskikt - SS 13 70 10

I denna standard finns regler för det täckande betongskiktet som har två viktiga funktioner i en betongkonstruktion (Almgren, 2014):

- Förankring av armering
- Skydd mot armeringskorrosion

Vid val av täckskikt skall man ta hänsyn till miljöns påverkan på konstruktionen, armeringens och betongens egenskaper, samt förväntad livslängd (Almgren, 2014).

## 2.2.6 Betongkonstruktioners utförande - SS-ENV 13670–1

### 2.2.6.1 Allmänt

I denna standard specificeras nivåer på produkter som armering, färsk betong och förtillverkade produkter. Standarden är tänkt att vara en länk mellan utförande och projektering (Almgren, 2014).

### 2.2.6.2 Toleranser

I denna standard finns även regler för de toleranskrav som ställs vid utförandet av en betongkonstruktion (Almgren, 2014).

### 2.2.6.3 Kontroller

I standarden anges kontrollklasser, klass 1–3. Nämnas inget skall kontrollklass 2 användas. I standarden finns förslag på kontrollåtgärder vid olika skeden för en betongkonstruktion. Det kan till exempel vara för formbyggnad eller gjutning. Vid framtagning av kontrollplaner kan denna standard vara till god hjälp (Almgren, 2014).

## 2.2.7 Grundläggande hållfastlära för betong

### 2.2.7.1 Partialkoefficientmetoden

En byggnadskonstruktion skall utformas på ett sådant sätt så att den uppfyller vissa krav under dess utförande, livslängd och vid eventuell brand.

Några av det främsta kraven är (Almgren, 2014):

- Bärförmåga - byggnadskonstruktionen skall med säkerhet hålla för uppträdande belastningar.
- Styvhet – byggnadskonstruktionen skall uppta uppträdande belastningar utan att störande deformationer uppstår.
- Sprickfrihet - I vissa konstruktioner kan viss sprickbildning accepteras medan andra måste vara sprickfria, exempelvis dammbyggnader.
- Beständighet – De ovanstående kraven skall uppfyllas under konstruktionens hela livslängd.

När en betongkonstruktion dimensioneras används partialkoefficientmetoden. Det innebär att man använder säkerhetsfaktorer (partialkoefficienter) vid dimensionering både för förekommande laster och för konstruktionens bärförmåga. Lasterna bedöms utifrån varaktighet och sannolikhet, medan bärförmåga bedöms efter materialegenskaper och risk för personskador vid

eventuellt brott. Partialkoefficienterna bygger på internationella riktlinjer för säkerhetsbestämmelser. Dessa används i de flesta europeiska länder (Almgren, 2014).

#### **2.2.7.2 Bärförmåga och säkerhetsklasser**

Dimensioneringen av konstruktionen bygger främst på att det skall finnas tillräcklig säkerhet mot brott. Säkerheten anpassas med partialkoefficienter som tillämpas på både hållfastheten och lasterna. Därför läggs större fokus på svårbedömda laster som till exempel vind och snö. Mindre säkerhet tillåts på byggnadsdelarnas egentygnd. För hållfastheten bedöms säkerheten av hur stor spridning av hållfasthetsegenskaperna konstruktionen har. Därför läggs större säkerhet på betong än på stål. Genom att variera partialkoefficienterna för olika material blir säkerheten/osäkerheten mer jämnt fördelad i konstruktionen (Almgren, 2014).

#### **2.2.7.3 Laster**

Byggnadskonstruktioner utsätts för laster i olika former, exempelvis sin egentygnd, snölast och vindlast. De olika typerna av laster påverkar byggnadskonstruktionen på olika sätt. När en beräkning utförs till en konstruktion göra man en indelning av förekommande laster enligt nedan (Almgren, 2014):

- Lastens variation med tiden
  - Permanenta laster
  - Variabla laster
- Lastens variation i rummet
  - Bundna laster
  - Fria laster
- Lastens utbredning
  - Koncentrerade laster
  - Utbredd last

Det är till konstruktörens uppgift att sätta samman alla laster och utifrån det välja den mest säkra, ekonomiska och funktionsdugliga utformningen (Almgren, 2014).

#### **2.2.7.4 Spänningsbegrepp och inre sammanhållning**

När en konstruktion påverkas av laster utsätts det inre materialet för påfrestningar. Man räknar med att de inre påfrestningarna fördelar sig jämnt över konstruktionens tvärsnittsarea. Den inre påfrestningen kallas för spänning (Almgren, 2014).

I en betongkonstruktion fixeras småpartiklarna under betongens hårdnande. När konstruktionen utsätts för yttre belastning uppstår inre krafter som motverkar att partiklarna inom konstruktionen flyttar sig. Dessa krafter verkar på olika sätt beroende på material och även beroende på vilken spänning kroppen utsätts för. När de yttre krafterna är större än de inre inom

konstruktionen inträffar ett brott. Den högsta spänningen ett material klarar av innan det brister kallas brottgräns/brotthållfasthet (Almgren, 2014).

#### *2.2.7.5 Deformationsegenskaper*

När en kropp belastas så sker en deformation, en förändring. Vid dragkraft uppstår en förlängning och vid tryckkraft en förkortning i kraftens riktning. Deformationen uppstår vinkelrätt mot kraften. Olika material beter sig olika vid belastning och därmed deformeras på skilda sätt. Generellt talar man om elastiska eller plastiska egenskaper. Ett elastiskt material ter sig så att deformationen är proportionell mot kraften och att deformationen försvinner helt när kraften avlägsnas. Ett plastiskt materials form ändras när belastningen överstiger ett visst värde och då ökar deformationen utan att spänningen ökar. När belastningen försvinner kvarstår deformationen. Det finns inget direkt material som är helt elastiskt eller plastiskt utan man talar i sådana fall om elastoplastiskt material där den upp till en viss spänning ter sig elastiskt och sedan plastiskt (McCarthy, 2017).

Respektive material har en bestämd elasticitetsmodul som är en materialkonstant. Vanligtvis ligger elasticitetsmodulen för betong inom området 20 – 40 GPa (Almgren, 2014).

Förutom att deformationer uppstår till följd av spänningsnivån kan de också uppkomma till en annan faktor, tiden. Tidsberoende deformationer benämns för krypning och krympning (Almgren, 2014).

- Krypning definieras som en över tid ökande deformation som ett material undergår till följd av spänning.
- Krympning definieras som en deformation som uppstår till följd av sammandragning hos ett material. Till exempel på grund av vattenavgivning.

#### *2.2.7.6 Brott*

Hur ett brott sker i ett material hänger samman med om det har elastiska eller plastiska egenskaper. Ett brott är antingen segt och sker under en längre tid eller sprött vilket betyder att det sker plötsligt och utan förvarning. Ett exempel på ett sprött brott är det som sker hos en oarmerad betong. Det sega brottet sker hos ett material med plastisk deformation där det tar längre tid, likt ett gummiband som töjs för att så småningom gå av. Likt ett gummiband har ett armeringsjärn liknande egenskaper och i en armerad betongkonstruktion blir detta fördelaktigt då risken för ett oväntat brott och kollaps i konstruktionen minskas (McCarthy, 2017).

#### *2.2.7.7 Spänningstyper*

När man talar om spänning definieras de olika spänningstyperna som drag- och tryck-, böj-, skjuvspänning och knäckning (Almgren, 2014).

#### **2.2.7.8 Drag- och tryckspänning**

Drag- och tryckspänning innebär att en kropp antingen trycks ihop eller dras isär. Vid tryckspänning trycks kroppen ihop och en utvidgning i tvärled uppstår. Vid dragspänning förlängs kroppen i spänningens riktning och en avsmalning av kroppen sker, avsmalningen kallas kontraktion (Almgren, 2014).

#### **2.2.7.9 Böjspänning**

Böjspänning uppstår när exempelvis en avlång kropp placeras med ändarna på två bänkar och sedan belastas kroppen på mitten mellan de två bänkarna. Då uppstår en böjspänning i kroppen som definieras att underkanten av kroppen förlängs och överkanten förkortas. I själva verket är en böjspänning en dragspänning i underkanten och en tryckspänning i överkanten av kroppen (Almgren, 2014).

#### **2.2.7.10 Skjuvspänning**

Drag- och tryckspänningar verkar alltid vinkelrätt mot snittytan men det finns också skjuvspänningar som verkar i snittytans plan. Dessa krafter kan enklast beskrivas med ett exempel. Läggs två plankor på varandra och sedan belastas så att de böjs uppstår en skjuvspänning. Limmas inte plankorna ihop kommer dem böjas oberoende av varandra och inte som en enhet. Limmas plankorna däremot ihop kommer det uppstå en skjuvspänning i limfogen mellan plankorna där de innan rörde sig oberoende av varandra under belastning. Skjuvspänningar uppstår även i homogena material mellan de olika skikten i konstruktionen (Almgren, 2014).

#### **2.2.7.11 Knäckning**

Belastas en kropp med samma höjd som tvärmåttet krossas den så småningom när tryckhållfastheten överskrids. Belastas däremot en kropp där höjden är större än tvärsnittsmåttet blir bärförmågan sämre ju större höjden är. Överskrids ett visst förhållande mellan höjden och tvärsnittet bryts pelaren av, detta kallas knäckning (Almgren, 2014).

### **2.2.8 Material i betong**

Allmänt är betong en blandning av cement, vatten, sand, sten och ibland även vissa kemiska tillsatser. När allt blandas är massan lös och formbar men med tiden stelnar den och får betydande hållfasthet. Cementpastan som består av cement, vatten och eventuella kemiska tillsatser binder ihop sanden med stenkrossen. Sammansättningen av sand och stenkross i betongen kallas för ballast och mängden av olika fraktioner kan variera. Cementpastan är ett finporöst material som har lägre hållfasthet samt påverkas mer av temperaturförändringar och fukt än ballast. Därför vill man generellt minimera mängden cementpasta och maximera mängden ballast i betongen. För att få goda egenskaper hos betongen varierar ballastmaterialet i fraktion från några hundradels millimetrar till flera centimetrar. Betongens hållfasthet bestäms dock främst av delen vatten i förhållande till mängden bindemedel (cement)

(McCarthy, 2017). Förhållandet mellan vattnet och bindemedlet kallas för vattencementtalet,  $vct_{ekv}$  (Almgren, 2014).

$$vct_{ekv} = \frac{vatten}{(cement + k \cdot tillsatsmaterial)}$$

$k$  = effektivitetsfaktor

Tillsatsmaterial kan till exempel vara slagg, flygaska eller silikastoft. Dessa har en effektivitetsfaktor som man tar hänsyn till när man beräknar VCT. I en betong med lågt VCT är vattenhalten låg och cementhalten hög, det medför att cementen blir tät och betongen får hög hållfasthet. Dock medför lägre VCT att betongen blir fastare när den är färsk och därmed svårare att arbeta med och gjuta. Därför kan man inte använda hur lite vatten som helst. Reaktionen i cementen startar direkt när den får kontakt med vatten och ur cementkornen växer små stavar ut som kallas för cementgel. Allt eftersom reaktionen fortgår får fler och fler cementkorn kontakt med varandra (McCarthy, 2017).

En hög vattenhalt i förhållande till cementhalten innebär att cementpartiklarna får ett större avstånd mellan varandra jämfört med om det är en låg vattenhalt i förhållande till cementhalten. Cementens reaktion med vattnet är kemisk och sker under värmeutveckling och reaktionsprodukterna är till största del kalciumsilikathydrat som är stabila föreningar mellan kalciumoxid, kiseloxid och vatten (McCarthy, 2017).

#### 2.2.8.1 Cement och tillsatsmedel

Cements huvudbeståndsdelar är kalcium- och kiseloxider. Det framställs genom bränning av finmalen kalksten och lermineraller. Efter bränning får man en så kallad cementklinker som efter avsvälning mals ned med vissa tillsatser (bland annat gips) till ett finkornigt pulver, cement. Den kemiska sammansättningen och storleken av cementpartiklarna påverkar reaktionshastigheten. Ju mindre partiklarna är, desto fortare sker reaktionen. De vanligaste cementtyperna i Sverige är (Almgren, 2014):

- Snabb hårdnande (SH)
- Standard (STD), Byggcement
- Långsamt hårdnande (LH), Anläggningscement

En snabb hårdnande cement kännetecknas av en hög värmeutveckling och en hög korttidshållfasthet. Den är lämplig att använda när en tidig formgivning är betydelsefull. I en standard byggcement har cirka 10 % av cementklinkern ersatts med finmald kalksten (Almgren, 2014).

#### 2.2.8.2 Anläggningscement

Anläggningscement är utvecklad för utomhuskonstruktioner och är en typ av grovmalen cement. En betong med anläggningscement ger följande fördelar (McCarthy, 2017):

- Långsammare värmeutveckling
- Säkrare frostbeständighet
- Mindre risk för angrepp av sulfater eller havsvatten
- Mindre risk för skadliga ballastreaktioner

Betongen får dock en lägre korttidshållfasthet med anläggningscement, medan hållfastheten efter 28 dygn ungefär är densamma som för vanlig standard cement (McCarthy, 2017).

### 2.2.8.3 Ballast

Ballast består generellt av bergartsmaterial såsom makadam, singel, grus och sand. I en betong vill man ha en viss mängd av olika fraktioner, därför har betongindustrin följande fraktionsgränser (Almgren, 2014):

- Filler som har kornstorleken 0-0,125 mm.
- Sand med fraktionen 0-4 mm. Om materialet framställts genom krossning benämns det som stenmjöl.
- Fingrus med fraktionsgräns 0-8 mm.
- Sten har lägsta kornstorlek på 4 mm.
- Singel som är sten med rund kornform. Okrossad natursten.
- Makadam är sten som erhållits genom krossning och är det som främst används idag.

Uppdelning av den utvunna ballasten genomförs med hjälp av siktning, förutsatt att ballastfyndigheten inte har jämn kvalitet (Almgren, 2014).

### 2.2.8.4 Tillsatsmedel

Under en betongtillverkning kan man lägga till kemiska tillsatsmedel i små mängder som påverkar dess egenskaper i färskt eller hårdnat tillstånd.

De olika tillsatsmedlen indelas i olika grupper beroende på deras inverkan på betongen (McCarthy, 2017):

- Luftporbildare (L)
- Vattenreducerare (V)
- Flyttillsatser (F)
- Accelerator (A)
- Retarder (R)
- Övriga

Vissa tillsatsmedel kan hänvisas till flera grupper eftersom de kan ha flera olika effekter på betongen (McCarthy, 2017).

### 2.2.8.5 Luftporbildande tillsatsmedel

Luftporbildande medel tillsätts i betongen främst för att öka frostbeständigheten. Luftporer om cirka 0,01–0,02 mm piskas in i betongen under blandningen. De extra luftporerna tillåter vattnet i betongen att expandera när det fryser. Negativa effekter med L-medel kan vara att hållfastheten sänks till följd av ökad porositet och det kan även bidra till ökad krympning (McCarthy, 2017).

#### **2.2.8.6 Vattenreducerande tillsatsmedel och flyttillsatser**

Dessa tillsatsmedel påverkar betongmassan genom att finfördela cementkornen och göra dem mer åtkomliga för vatten. Dem kan användas i tre syften (McCarthy, 2017):

- Öka hållfastheten hos en betong för en och samma konsistens på grund av att mindre vatten krävs. Ett lägre vct fås med samma konsistens på betongen som om vattenkvoten hade varit större.
- Minimera cementhalten vid bibehållen konsistens och hållfasthet (vct).
- Att ge betongen lösare konsistens med bibehållen hållfasthet (vct).

Användandet av flytmedel möjliggör gjutning av konstruktioner i trånga utrymmen och underlättar det ordinarie gjutningsarbetet på en byggarbetsplats (McCarthy, 2017).

#### **2.2.8.7 Accelererande tillsatsmedel**

Accelererande tillsatsmedel påskyndar antingen styvnandet eller hållfastheten hos betongen. Cement reaktionen går därmed snabbare. Detta är särskilt användbart när sprutbetong eller injekteringsarbeten utförs (McCarthy, 2017).

#### **2.2.8.8 Retarderande tillsatsmedel**

Retarderande tillsatsmedel påverkar inte hållfasthetsutvecklingen när den väl har startat, däremot fördröjer den betongens tidiga tillstyvnande. Därmed minskar inte tillsatsmedlet värmeutvecklingen i betongen som ett långsamt hårdnande cement gör. Medlen används främst när man har långa transporter under sommartid, glidformsgjutning, undervattengjutningar och långa gjutfronter (McCarthy, 2017).

#### **2.2.9 Färsk betong**

En färsk betong skall ha sådana egenskaper att den har goda gjutegenskaper och sammanhållning så den uppfyller de krav som ställs. Det betyder också att transportmedel och gjututrustning skall beaktas när man väljer betongsammansättningen (Almgren, 2014).

##### **2.2.9.1 Arbetbarhet/konsistens**

Hur pass gjutbar en betong är karakteriseras ofta med begreppet arbetbarhet. Det är i princip ett mått på hur mycket energi som krävs för att betongen skall kunna fylla ut formen, komprimeras och omsluta armering på ett önskat vis. Arbetbarhet är således ett brett begrepp som inrymmer konsistens, flytbarhet, rörlighet, kärvhet, seghet, o.s.v. Det finns ingen direkt metod för att mäta en betongs arbetbarhet utan man använder sig av enklare mätmetoder. Den vanligaste och enklaste metoden att mäta betongens konsistens är att mäta sättmättet, det ger dock normalt dålig information om betongens kärvhet och kletighet. För flytbetong används utbredningsmått som mätmetod istället för sättmått. Se Tabell 5 och Tabell 6 för konsistensintervall för sättmått och utbredningsmått (McCarthy, 2017).

Tabell 5. Konsistensintervall för sättmått (Almgren, 2014).

Klasser för sättmått	
Klass	Sättmått [mm]
S1	10 - 40
S2	50 – 90
S3	100 – 150
S4	160 – 210
S5	≥ 220

Tabell 6. Konsistensintervall för utbredningsmått (Almgren, 2014).

Klasser för utbredningsmått	
Klass	Utbredningsmått [mm]
F1	≤ 340
F2	350 – 410
F3	420 – 480
F4	490 – 550
F5	560 – 620
F6	≥ 630

Det som påverkar betongens konsistens är i första hand mängden vatten i blandningen. Ökas mängden vatten i förhållande till de andra materialen i betongen så bli konsistensen lösare, detta medför också en lägre hållfasthet då VCT-talet blir lägre. Är konsistensen på betongen för styv kan det medföra sänkt hållfasthet i och med minskad täthet och poriga eller skadade ytor till följd av att betongen inte har gått att bearbeta tillräcklig bra. Om konsistensen däremot är för lös kan det ge upphov till separation och en inhomogen betong (Almgren, 2014).

För att en betong skall uppnå rätt täthet och styrka skall respektive ballastkorn omges av en hinna cementpasta. Cementpastan skall också fylla samtliga hålrum mellan ballastkornen. Beroende vilken blandning av ballast som används varierar hålrumsvolymer och kornytans gradering, detta förändrar också behovet av vilken typ cementpasta som skall användas. Ballasten påverkar också betongens konsistens, särskilt halten finmaterial. I viss mån fungerar de väldigt finkorniga materialet i ballasten och cementen som smörjmedel i betongen och ökar dess rörlighet samt smidighet. Men för stor mängd finmaterial medför att betongen blir kletig och svårarbetad. Konsistensen kan också justeras med hjälp av tillsatsmedel (Almgren, 2014).



### 2.2.9.2 *Betongmassans stabilitet*

Per definition betyder betongmassans stabilitet dess förmåga att förbli homogen under hantering och vibrering, trots skillnader i densitet mellan sten och cementbruk. Man talar generellt om tre typer av separation:

- Bruksseparation
- Stenseparation
- Vattenseparation

Bruk- och stenseparation kan uppstå till följd av för blöt betongmassa eller för hård vibrering, vilket medför att stenmaterialet sjunker och cementbruket stiger i betongen. Vattenseparation uppstår när delen finmaterial är för liten så att den inte förmår att hålla kvar vattnet i blandningen. Separationen uppstår genom att de tyngre partiklarna naturligt strävar efter att sjunka och då pressas vattnet upp och samlas dels på ytan och dels lokalt under de större stenarna och armeringen. Det medför sämre hållfasthet, täthet och beständighet (Almgren, 2014).

### 3 Beskrivning av arbetsmetoder, problemlösningar, beräkningar

#### 3.1 Arbetsgång

Det första som gjordes var att hämta material för blandningarna av betongen. Materialet som behövdes var asfaltgranulat, rent stenmaterial, filler och anläggningcement. Asfaltgranulaten hämtades på Peab asfalt i Bjärsgård (Figur 1) utanför Klippan. Fraktionen för granulaten var 0-11 mm.

Fraktionerna på det övriga stenmaterialet var 0-2 mm och 8-16 mm. Detta hämtades på Swerock i Helsingborg (Figur 2). Tillräckligt med filler fanns på laboratoriet och Anläggningcement beställdes via Peab. När granulaten och stenmaterialet hämtades var det viktigt att försöka få ett så homogent material som möjligt så att förutsättningarna blir de samma för alla blandningar. Detta var inte helt enkelt, men gjordes så bra som möjligt genom att hämta material från mitten av högar.



Figur 1. Asfaltgranulaten hämtad i Bjärsgård.



Figur 2. Sand 0-2 och makadam 8-16 hämtat från Swerock.

Diskuterade angående hur mycket asfaltgranulat som skulle ersätta ballasten i blandningarna och kom fram till att fyra blandningar skulle göras. Detta eftersom det kändes rimligt sett till material och tid. Blandningarna döptes till

Blandning 1, Blandning 2, Blandning 3 och Blandning 4. Mängden inblandat granulat som skulle vara intressant att testa skulle vara ungefär 25 %, 50 %, 75 % och 100 %. Detta är något som skulle eftersträvas vid proportioneringen men som troligtvis kunde komma att justeras för att få en bra proportioneringskurva som liknar en proportioneringskurva för en betong.

### 3.1.1 Bestämning av bitumenhalt och typ.

Bestämning av bitumenhalten i asfaltgranulaten gjordes enligt metoden: SS-EN 12697-1:2012 och blev 4.9 %, se Bilaga E och Bilaga H för fullständiga rapporter om asfaltgranulaten som använts. Bitumentypen varierar då man inte vet vilka typer av retur-asfalt som inkommer till depån. Men Peab asfalts tester visar ett generellt penetrationstal på 60.

### 3.1.2 Bestämning av fukthalt

Det finns en del fukt i materialet och detta var tvunget att tas i hänsyn vid beräkning av hur mycket cement och vatten som behövs i blandningen. Mängden fukt beräknades genom att väga materialet före och efter torkning av respektive material. Materialet torkades under ungefär ett dygn med en temperatur på 40°C för att inte bitumen skulle klippa fast i formen. Fuktkvoten för varje material redovisas i Tabell 7 tillsammans med dess densitet. Plast lades sedan på allt övrigt material som skulle användas till senare blandningar för att bibehålla samma fuktkvot som den som räknades ut.

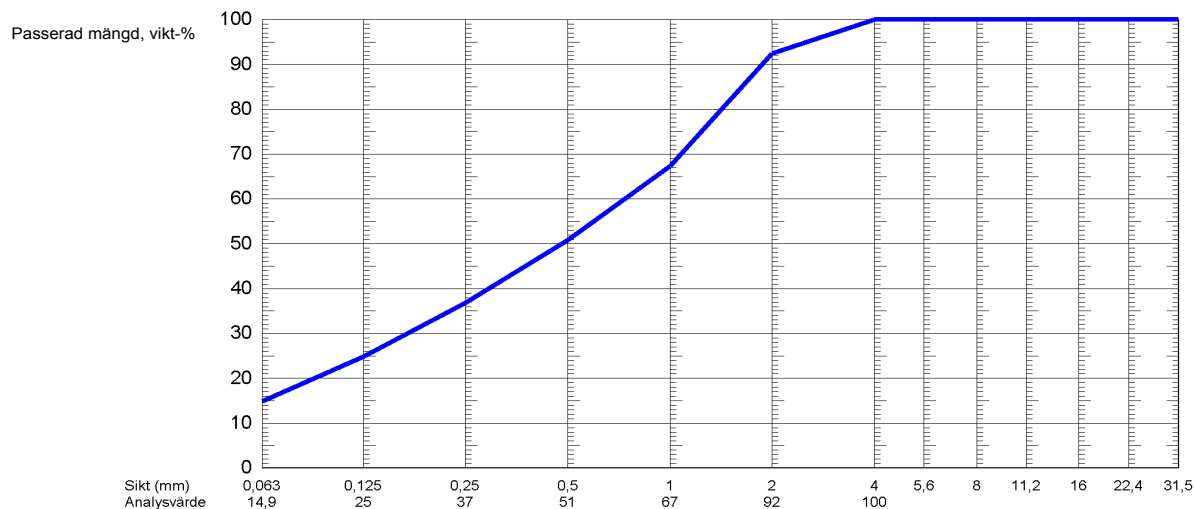
Tabell 7. Materialen som hämtats med dess fuktkvot samt densitet.

Material	Fuktkvot [%]	Densitet (torr) [kg/m <sup>3</sup> ]
Sand 0–2	4.5%	2.66
Makadam 8–16	0.6%	2.68
Asfaltgranulat 0–11	2.4%	2.61

### 3.1.3 Siktning

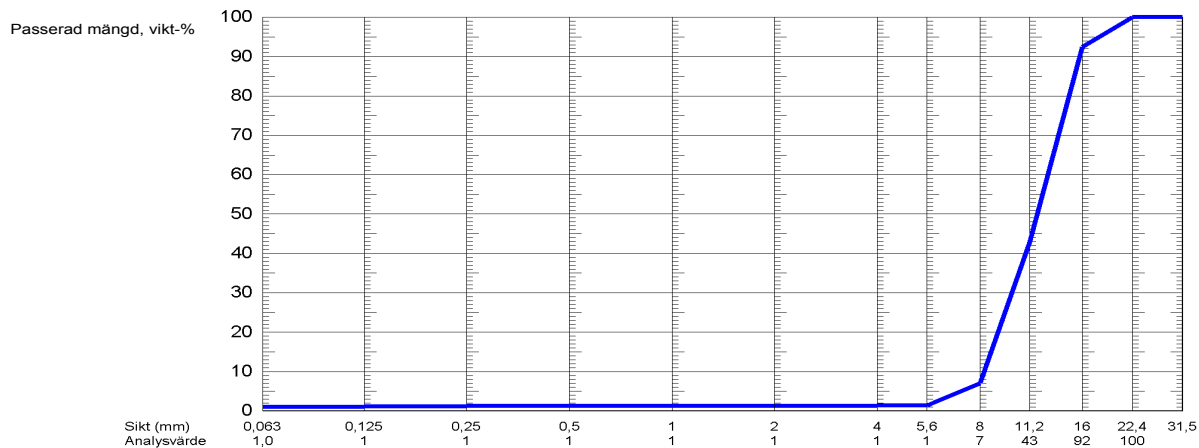
För att kunna göra proportioneringskurvor för de olika blandningarna krävs det att man har en siktkurva för respektive material. Varje material siktades och siktningskurvorna presenteras i Figur 3, Figur 4 och Figur 5. Även en fjärde siktningskurva presenteras, Figur 6. Det är en siktningskurva för asfaltgranulat innan bindemedlet smält samman med stenmaterialet, d.v.s. innan asfalten tillverkats. Figur 5 är siktningskurvan för återvunnet asfaltgranulat som använts i detta arbetet.

### Kornstorleksfördelning SS-EN 933-1



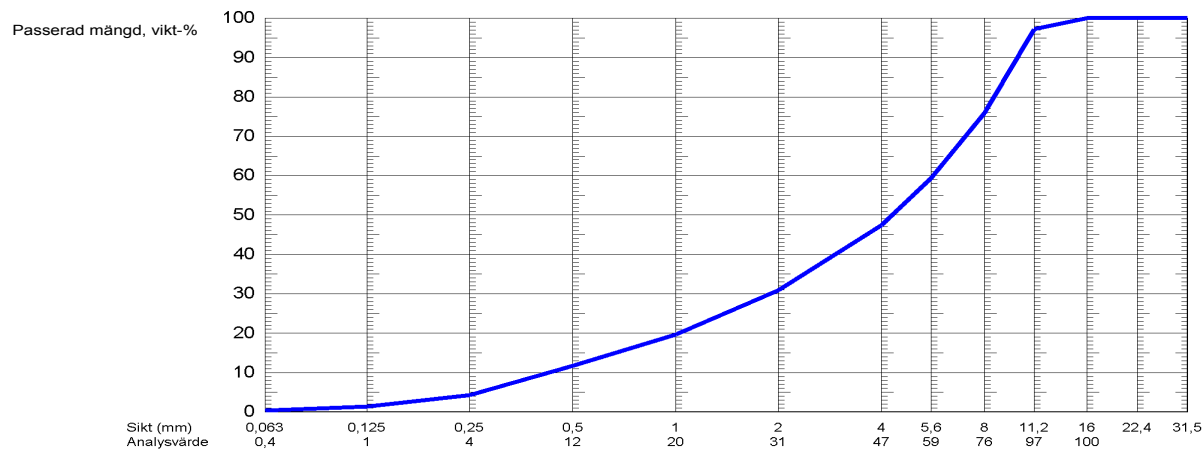
Figur 3. Siktningsskurva för stenmaterialet sand med fraktionen 0-2mm.

### Kornstorleksfördelning SS-EN 933-1



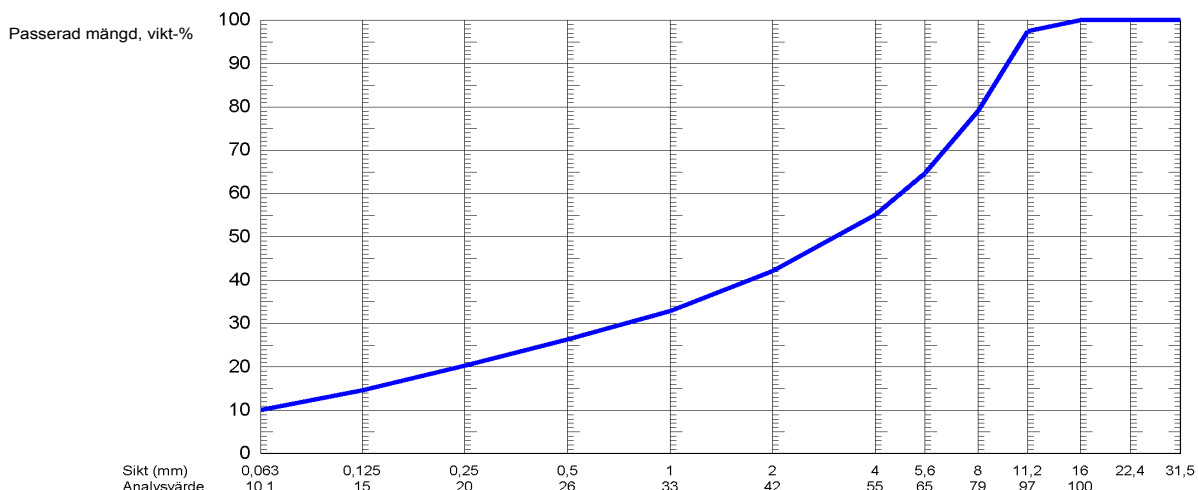
Figur 4. Siktningsskurva för stenmaterialet makadam med fraktionen 8-16.

### Kornstorleksfördelning SS-EN 933-1



Figur 5. Siktningsskurva för asfaltgranulaten med fraktionen 0-11.

### Kornstorleksfördelning SS-EN 12697-2



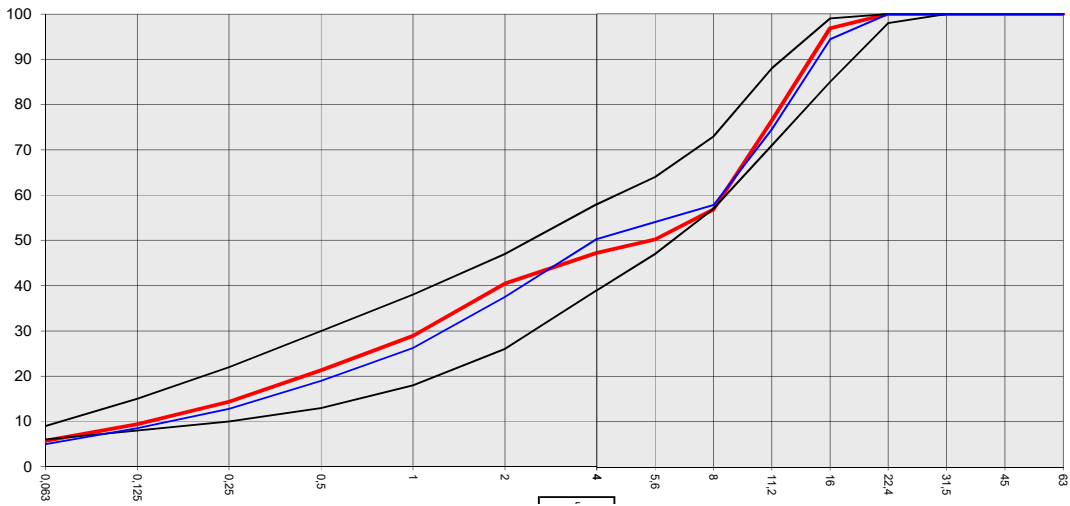
Figur 6. Siktningsskurva för asfaltgranulat innan tillverkning av asfalt med fraktionen 0-11.

En jämförelse mellan Figur 5 och Figur 6 tyder på att det finns en andel på ungefär 10 % filler i asfaltgranulat men att den vid tillverkningen av asfalten fastnar i bindemedlet och stenmaterialet. Detta bidrog till att filler eventuellt var tvunget att tillsättas vid betongblandningen.

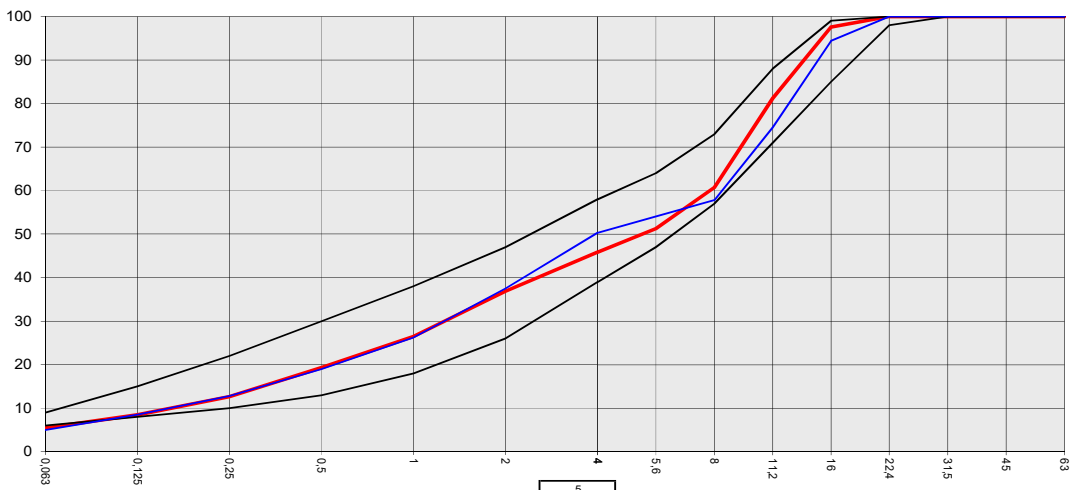
#### 3.1.4 Betongproportionering

Fick en proportioneringskurva för en standardbetong från en av våra handledare på PEAB där procentandelarna för respektive material var inlagda. Genom att lägga in ytterligare en påverkan på kurvan i samma diagram med granulat försöktes kurvan för standardbetongen efterliknas så bra som möjligt. Detta gjordes i ett programmerat program i Excel där det var enkelt att justera proportionerna för materialen. Det blev svårare och svårare att efterlikna kurvan för standardbetongen ju mer asfaltgranulat som skulle användas i blandningen. Proportioneringen för respektive blandning redovisas i Tabell 8, Figur 7, Figur 8, Figur 9, och Figur 10 för respektive diagram.

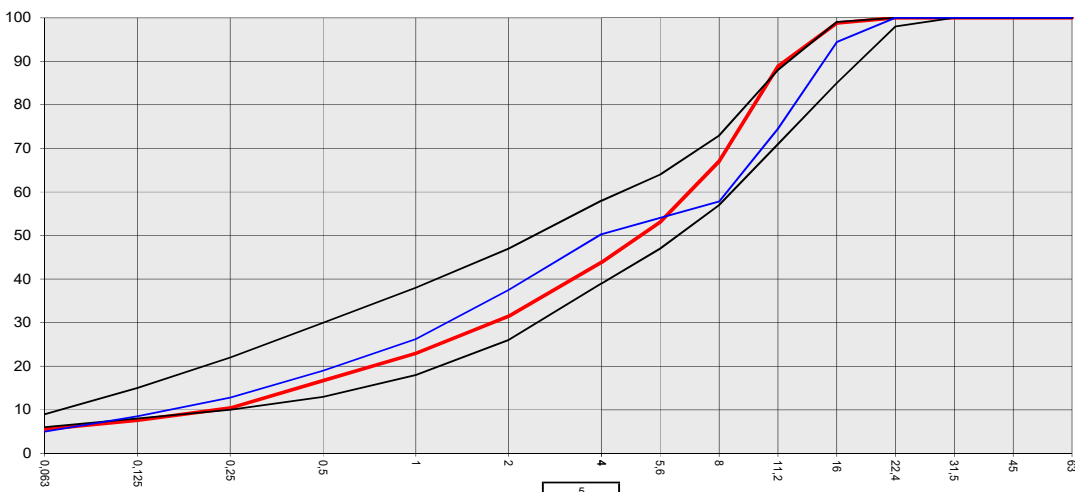
Den röda grafen i Figur 7, Figur 8, Figur 9 och Figur 10 är projektets proportioneringskurva, medan den blåa grafen är en proportioneringskurva för den standardbetong som försökte efterliknas. De svarta graferna i Figur 7, Figur 8 och Figur 9 är avgränsningar för en ABT16, vilket inte togs i hänsyn men som redan var programmerat i Excel.



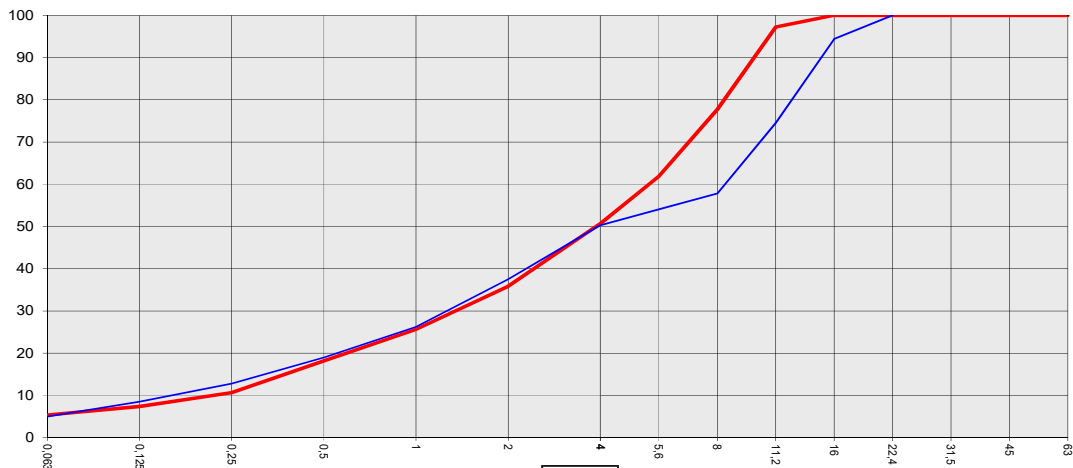
Figur 7. Proportionskurva för Blandning 1 med 25% asfaltgranulat inblandad.



Figur 8. Proportionskurva för Blandning 2 med 45% asfaltgranulat inblandad.



Figur 9. Proportionskurva för Blandning 3 med 77% asfaltgranulat inblandad.



Figur 10. Proportionskurva för Blandning 4 med 93% asfaltgranulat inblandad.

Tabell 8. Andelen av varje material till respektive blandning.

Material	Blandning 1 [%]	Blandning 2 [%]	Blandning 3 [%]	Blandning 4 [%]
Sand 0-2	35.1	22.0	0.4	0.0
Makadam 8-16	39.9	30.6	15.5	0.0
Asfaltgranulat 0-11	25.0	45.0	77.0	93.0
Filler	0.0	2.4	7.1	7.0

Efter proportioneringskurvorna gjorts räknades andelarna cement och vatten ut. Detta gjordes genom att först beräkna en kvot angående hur mycket cement och vatten som finns i blandningen sett till den totala vikten stenmaterial från det givna receptet för standardbetongen. Vattenkvoten samt cementkvoten redovisas i Tabell 9.

Tabell 9. Uträknad vatten- och cementkvot.

Vattenkvot	0,108
Cementkvot	0,196

Räknade med en satsstorlek på 50 l. Detta ändrades sedan eftersom det efter första blandningen blev onödigt mycket massa över. Satsstorleken ändrades till ungefär 35 l. Detta är anledningen till varför massorna är mycket större i Blandning 1 än i övriga blandningar Stenmaterialet och dess vikt i blandningarna presenteras i Tabell 8. Utifrån kvoterna i Tabell 9 beräknades mängden cement samt vatten som skall finnas i varje blandning, detta presenteras i Tabell 10.

Tabell 10. Total mängd vatten och cement för de fyra olika blandningarna.

	Blandning 1	Blandning 2	Blandning 3	Blandning 4
Total mängd vatten [kg]	13.50	9.39	9.31	9.27
Total mängd cement [kg]	24.57	17.09	16.94	16.87

VCT-talet räknades ut genom att beräkna kvoten av cement och vatten och blev för alla blandningarna 0.55.

Då det redan finns en mängd fukt i materialet måste detta räknas bort från det som skall tillsättas så det inte blir för mycket vatten i materialet. Fuktkvoten beräknades tidigt i processen och presenterades i Tabell 7. Materialet som använts i respektive blandning och dess vikt presenteras i Tabell 11.

### 3.1.5 Blandning av betong

Tabell 11. Materialen och dess vikt som använts i de olika blandningarna.

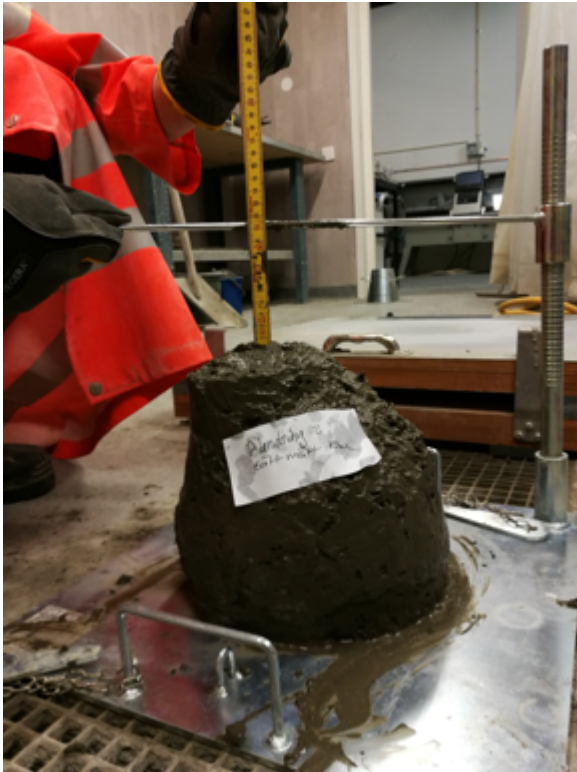
Material	Blandning 1	Blandning 2	Blandning 3	Blandning 4
Filler [kg]	0.00	2.01	5.03	5.87
Sand 0–2 [kg]	44.97	19.73	5.47	0.00
Makadam 8–16 [kg]	49.58	26.62	15.57	0.00
Granulat 0–11 [kg]	30.80	38.80	60.37	80.20
Cement [kg]	24.57	17.09	16.94	16.87
Vatten [kg]	12.38	8.66	8.64	8.55

Efter uppvägt stenmaterial, cement och vattenmängd var det dags att blanda materialet i betongblandaren. Först blandades det torra materialet i 30 sekunder. Sedan tillsattes vatten samt flytmedel och allt blandades i ytterligare fem minuter. Direkt efter blandningen gjorts utfördes testerna av betongen vid färskt tillstånd.

### 3.1.6 Provning av betongen i färskt tillstånd

Först utfördes test av sättmått enligt metoden SS-EN 12350–5:2009: Provning av färsk betong – sättmått. Detta mäter hur mycket den färska betongen sjunker ihop (Figur 11). Resultatet för sättmått presenteras i Tabell 12. Efter sättmättet testats gjordes test för utspridningsmått enligt metoden SS-EN 12350–2:2009: Provning av färsk betong - utspridningsmått. Detta mäter hur mycket den färska betongen sprider ut sig (Figur 12). Resultatet för utspridningsmått presenteras i Tabell 13. Det sista som testades för den färska betongen var lufthalt. Detta gjordes enligt metod: SS-EN 21350–7:2009: Provning av färsk betong – Lufthalt. Resultatet för de olika blandningarnas lufthalt för redovisas i Tabell 14.





Figur 11. Sättmåttet för Blandning 2 mäts.



Figur 12. Utspridningsmåttet för Blandning 1 mäts.

Efter det att testerna utförts så fylldes fyra kubformer för respektive blandning med betong. Dessa vibbades sedan under en minut för att få ut överflödigt luft från betongen och för att göra blandningen helt homogen. Sedan märktes betongen med respektive namn för blandningen (Figur 13) och plastades in för att bevara fukten.



Figur 13. Kubformer nyss fyllda med betongblandning 2.

Efter 24 timmar så var betongen tillräckligt hård för att kunna tas ut ur formen och lades i ett vattenbad. Betongen härdades sedan i vattenbadet innan den kunde testas ytterligare.

### 3.1.7 Frostbeständighet

En kub för vardera blandning användes för att testa avflagningen vid nerfrysning. Detta gjordes enligt metod: SS 13 72 44:2005: Betongprovning – hårdnad betong – avflagning vid frysning. Förfarande I som använts i detta arbete säger att 21( $\pm$ 1) dygn efter det att betongen blandats, skall en 50( $\pm$ 2) mm tjock skiva sågas (Figur 14). Detta för att få en frysytta mitt i kuben.



Figur 14. Sågning av kuben för att skapa en frysytta i mitten.

Efter sågningen utfördes slipades överytan jämn för senare förbehandling inför testet. Sedan lades skivorna in i en klimatkammare, där de befann sig under

sju dygn. Förbehandlingen innebar att en gummiduk limmades runtom skivan förutom på frysytan för att bibehålla kubens tät och fortsattes sedan bevaras i klimatkammaren (Figur 15 och Figur 16). Figur 17 visar överbliven betong efter sågningen som sparades för att visuellt analysera de olika blandningarnas egenskaper.



Figur 15 Limmade gummidukar runt betongskivans alla sidor förutom frysytan.



Figur 16. Limmade betongskivor i klimatkammaren.



Figur 17. Överbliven betong efter sågningen. (Blandning 1, Blandning 2, Blandning 3, Blandning 4).

Limningen skall enligt metod göras någon gång under de sju dyggen och gjordes fyra dygn efter sågningen. Avjoniserat vatten hälldes på frysytan till en höjd på ungefär 3 mm enligt metod vilket motsvarar ungefär 67.5 ml. Sju

dygn efter sågningen togs skivorna ut från klimatkammaren och vattnet hälldes av. På hälldes istället saltvatten som valts att användas i detta arbete då det kändes mest relevant vid eventuella användningsområden för betongen. Mängden saltvatten var densamma som för det avjoniserade vattnet som hälldes på tidigare, ungefär 67.5 ml. Sedan lades skivorna in i en frys. I fryskammaren utsattes provkropparna för upprepad frysning och upptining. Resultatet för frostbeständigheten redovisas i Tabell 18.

### 3.1.8 Tryckhållfasthet

Testet för tryckhållfastheten gjordes enligt metoden: SS-EN 12390-3:2009: Provning av hårdnad betong efter 28 dygn. Enligt metod så belastas provkuben i en tryckpress tills den utsätts för brott. Den maximala last som kubens utsätts för registreras och används för att beräkna betongens tryckhållfasthet. Resultatet för tryckhållfastheten redovisas i

Blandning	Tryckålder [dygn]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Brottlast [kN]	Hållfasthet [MPa]	Klass
Blandning 1	28	2330	710.8	31.3	C 25/30
Blandning 2	28	2260	518.2	22.8	C 20/25
Blandning 3	28	2230	410.6	18.2	C 12/15
Blandning 4	28	2250	370.6	16.4	C 12/15

Tabell 15 och hela provningsrapporten i Bilaga C och Bilaga D. Figur 18 visar en provkropp som testas för tryckhållfasthet.



Figur 18. Testar tryckhållfastheten för en provkropp.

### 3.1.9 Spräckhållfasthet

Testet för spräckhållfastheten utfördes enligt metod: SS-EN 12390-6:2009: Provning av hårdnad betong – Del 6: Spräckhållfasthet hos provkroppar.

Testet utfördes 28 dygn efter blandningen gjorts. Testet innebär övergripande att provkroppen utsätts för en tryckkraft på ett smalt område utmed provkroppens längd. Provkroppen spräcks av den ortogonala dragkraften, och den maximala last som kubens utsätts för registreras och används sedan för att beräkna betongens spräckhållfasthet. Resultat för spräckhållfastheten redovisas i Tabell 17 och hela provningsrapporten i Bilaga A och Bilaga B. I Figur 19 visas en provkropp som testats för spräckhållfasthet.



*Figur 19. Testar spräckhållfastheten för en provkropp.*

Den sista kuben i respektive blandning lades in i en ugn satt på 60°C, Figur 20. Där hölls dem i ungefär ett dygn innan de testades mot tryckhållfasthet. Resultatet för dessa redovisas i Tabell 16 och hela provningsrapporten i Bilaga C och Bilaga D.



*Figur 20. Betongkuber i ugnen.*

### 3.1.10 Seismik

De överblivna provkropparna från sågningen skickades till Peabs asfaltlaboratorium i Stockholm där styvheten och segheten hos blandningarna testades genom seismisk mätning. Testerna är utförda enligt Gudmarssons (2012, 5) metod i sin avhandling. Resultatet presenteras i Figur 27, Figur 28 och Figur 29.

## 3.2 Problemlösningar

Några problem stöttes på under arbetets gång. Det var främst i början av själva utförandet av betongblandningen som det uppstod problem. Efter den allra första blandningen utförts märktes det att blandningen var alldeles för fast och den gick inte att arbeta med. När utspridningsmått och sättmått på den blandningen testades blev resultatet inte alls bra och gick utanför alla betongklasser. Efter diskussion om att orimligt lite cement samt vatten tillsatts till blandningen gjordes beräkningarna om. Felet hittades och resultatet blev sedan betydligt bättre. Kom även fram till idén om att tillsätta en liten andel flyt, som är ett tillsatsmedel man tillsätter betongblandningen för att göra den mer arbetbar. Detta gjordes och andelen flyt som tillsattes var först 2 dl till Blandning 1 och sedan 1.4 dl till Blandning 2, Blandning 3 och Blandning 4. Detta är samma procentuella mängd sett till hela satsens storlek, men eftersom satsen minskades efter första blandningen blir mängden flyt som tillsätts till resterande blandningar mindre.

Märkte också efter första blandningen att satsen som gjordes var alldeles för stor. Efter att testerna utförts och kubformarna fyllts fanns det fortfarande väldigt mycket färsk betong över vilket bara var onödigt. Satserna förminskades sedan med 30 %.

## 3.3 Beräkningar

$$V_{ct} = \frac{V_{vatten}}{Cement} \quad (Ekv.1)$$

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (Ekv.2)$$

Där  $m$  = vikten [kg],  $v$  = volymen [ $m^3$ ]

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (Ekv.3)$$

Där  $f_c$  = tryckhållfastheten [MPa],  $F$  = maximala lasten vid brott [N],  $A_c$  = tvärsnittsarean [ $mm^2$ ].

## 3.4 Felkällor

Det finns några felkällor som kan ha bidragit till en viss felmarginal i resultatet. Dessa presenteras i detta kapitel. Eftersom vi som utfört arbetet bara har en marginell erfarenhet av betongblandning i sig, och detta är första

gången som vi blandar en betong kan detta bidra till en viss osäkerhet i resultatet. Men samtidigt så har allt utförts enligt metod och med uppsikt av erfarna handledare.

Litteraturen som använts för att få en djupare kunskap om asfalt och asfaltåtervinning är från 2004, vilket kan anses som relativt gammalt. Men litteraturen var väldigt lätt att begripa och bedömdes relevant och som en bra källa för arbetet, trots dess utgivningsår.

En annan felkälla är att materialet som används inte är 100 % homogent. Det är inte lätt att få ett helt homogent material med precis samma fukthalt när man hämtar det. Sedan är det inte helt lätt att bevara fukten vid större mängder material. Siktning utfördes också endast på den första provkroppen för att få ut siktningskurvor och gjordes alltså inte sedan vid blandningarna eftersom det hade tagit alldeles för lång tid.

## 4 Resultat

### 4.1 Färsk betong

Tre typer av resultat gavs när betongen var färsk. Sättnmätt, utspridningsmått och lufthalt. Dessa resultat redovisas i kapitel 4.1.

#### 4.1.1 Sättnmätt

Sättnmättet för de olika blandningarna redovisas i Tabell 12.

Tabell 12. Sättnmättet för de fyra olika blandningarna

Blandning	Sättnmätt [mm]	Klass
Blandning 1	200	S4
Blandning 2	100	S3
Blandning 3	70	S2
Blandning 4	45	S1

#### 4.1.2 Utspridningsmått

Utspridningsmättet för de olika blandningarna redovisas i Tabell 13.

Tabell 13. Utspridningsmättet för de fyra olika blandningarna.

Blandning	Utbredningsmått [mm]	Klass
Blandning 1	550	F4
Blandning 2	370	F2
Blandning 3	380	F2
Blandning 4	290	F1

#### 4.1.3 Lufthalt

Lufthalten för de olika blandningarna redovisas i Tabell 14.

Tabell 14. Lufthalten för de fyra olika blandningarna.

Blandning	Lufthalt [%]
Blandning 1	1.7
Blandning 2	3.9
Blandning 3	4.6
Blandning 4	3.1

### 4.2 Hårdnad betong

Fyra typer av resultat gavs efter det att provkropparna testats när betongen hårdnat. Tryckhållfasthet, tryckhållfasthet efter uppvärmning, spräckhållfasthet samt avflagnings vid frysning. Dessa resultat redovisas i kapitel 4.2.



#### 4.2.1 Tryckhållfasthet

Tryckhållfastheten för de fyra olika blandningarna redovisas i

Blandning	Tryckålder [dygn]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Brottlast [kN]	Hållfasthet [MPa]	Klass
Blandning 1	28	2330	710.8	31.3	C 25/30
Blandning 2	28	2260	518.2	22.8	C 20/25
Blandning 3	28	2230	410.6	18.2	C 12/15
Blandning 4	28	2250	370.6	16.4	C 12/15

Tabell 15.

Tabell 15. Tryckhållfastheten för de fyra olika blandningarna.

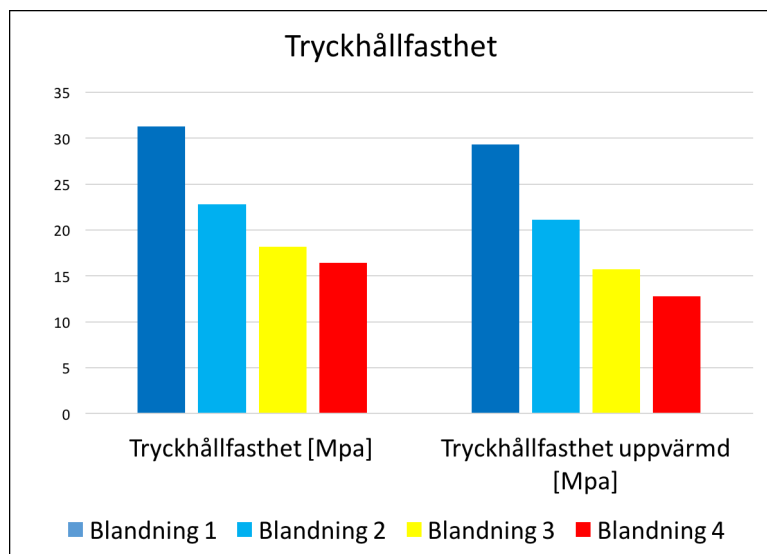
Blandning	Tryckålder [dygn]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Brottlast [kN]	Hållfasthet [MPa]	Klass
Blandning 1	28	2330	710.8	31.3	C 25/30
Blandning 2	28	2260	518.2	22.8	C 20/25
Blandning 3	28	2230	410.6	18.2	C 12/15
Blandning 4	28	2250	370.6	16.4	C 12/15

I Tabell 16 redovisas tryckhållfastheten för blandningarna efter de värmts upp till 60°C under ett dygn.

Tabell 16. Tryckhållfastheten för de fyra olika blandningarna efter uppvärmning

Blandning	Tryckålder [dygn]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Brottlast [kN]	Hållfasthet [MPa]	Klass
Blandning 1	29	2320	660.0	29.3	C 20/25
Blandning 2	29	2250	476.3	21.1	C 16/20
Blandning 3	29	2190	352.7	15.7	C 12/15
Blandning 4	29	2220	286.9	12.8	-

I Figur 21 visas en sammanställning över testerna av tryckhållfasthet för de olika blandningarna.



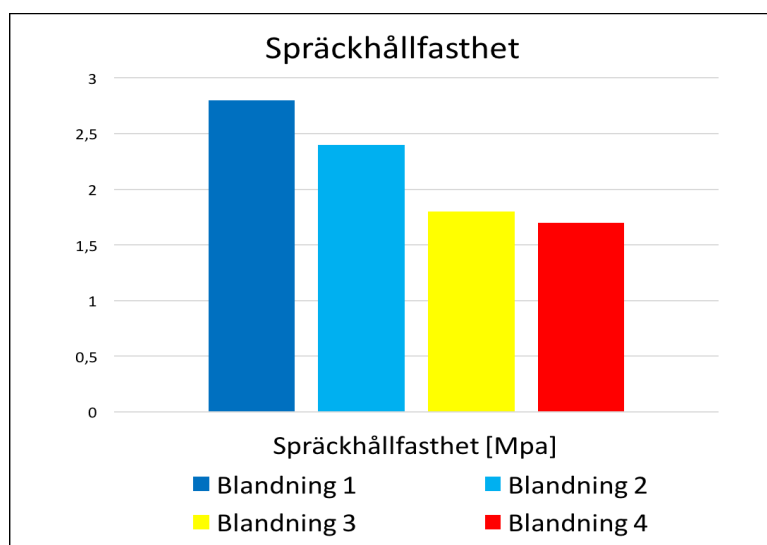
Figur 21. Tryckhållfastheten för de fyra olika blandningarna.

#### 4.2.2 Spräckhållfasthet

Spräckhållfastheten för de olika blandningarna redovisas i Tabell 17 och i Figur 22.

Tabell 17. Spräckhållfastheten för de fyra olika blandningarna.

Blandning	Tryckålder [dygn]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Brottlast [kN]	Spräckhållfasthet [MPa]
Blandning 1	28	2230	98.6	2.80
Blandning 2	28	2270	83.1	2.40
Blandning 3	28	2230	63.6	1.80
Blandning 4	28	2240	58.2	1.65



Figur 22. Spräckhållfastheten för de fyra olika blandningarna.

Bilder på respektive provkropp efter spräck redovisas i Figur 23, Figur 24, Figur 25 och Figur 26.



Figur 23. Blandning 1 efter den testats mot spräckhållfasthet.



Figur 24. Blandning 2 efter den testats mot spräckhållfasthet.



Figur 25. Blandning 3 efter den testats mot spräckhållfasthet.



Figur 26. Blandning 4 efter den testats mot spräckhållfasthet.

### 4.2.3 Avflagning vid frysning

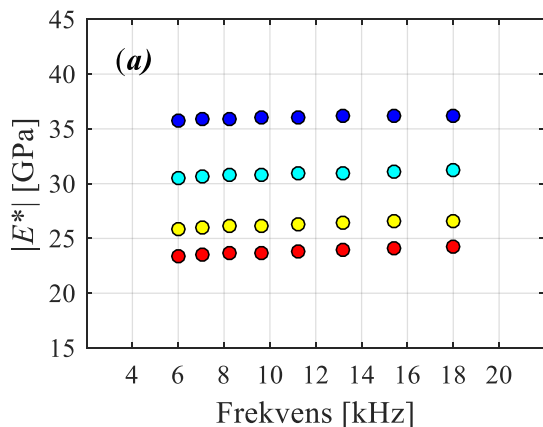
Avflagningen för de olika blandningarna efter sju dagar redovisas i Tabell 18.

Tabell 18. Avflagningen för de fyra olika blandningarna.

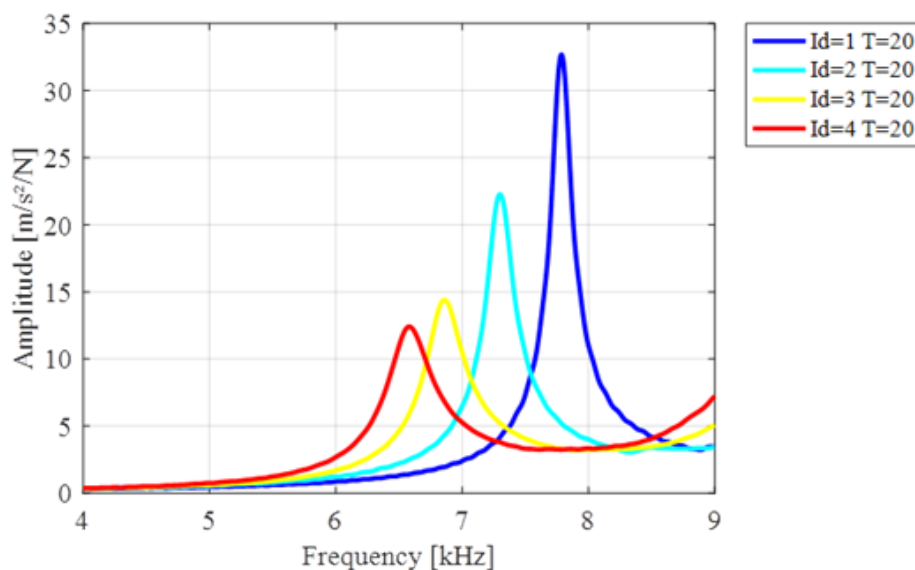
Blandning	Yta [mm <sup>2</sup> ]	Avflagning [mg]	Avflagning Kg/m <sup>2</sup>
Blandning 1	22500	2650	0.12
Blandning 2	22500	700	0.03
Blandning 3	22500	630	0.03
Blandning 4	22500	3420	0.15

### 4.2.4 Seismik

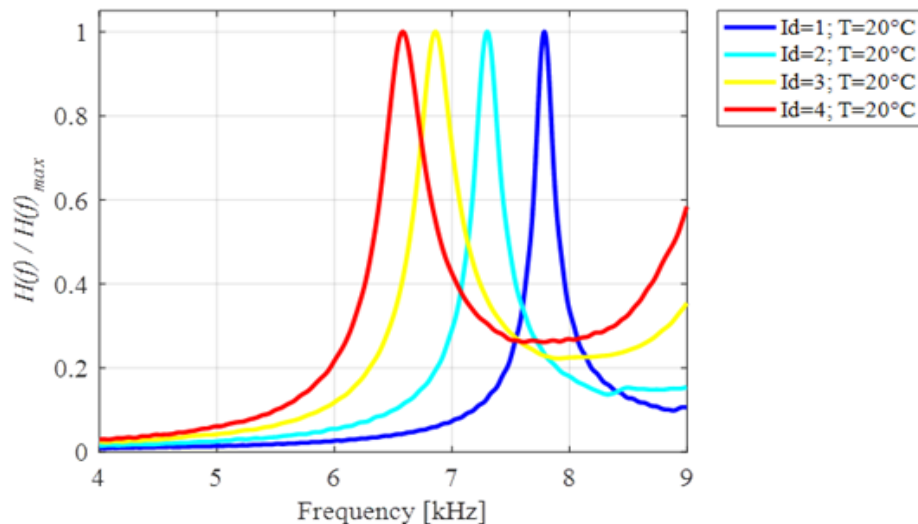
Resultatet från seismikmätningarna redovisas nedan. Blandning 1 är färgkodad mörkblå, Blandning 2 turkos, Blandning 3 gul och Blandning 4 röd. I Figur 27 redovisas styvheten. I Figur 28 redovisas resultatet för amplitudemätningen och högre amplitud betyder ett styvare material. I Figur 29 redovisas dämpningen (segheten) hos materialet, ju bredare kurva ju segare material.



Figur 27 Styvheten för respektive betongblandning. Blå blandning 1, turkos blandning 2, guld blandning 3 och röd blandning 4.



Figur 28 Amplitudemätning för respektive blandning.



Figur 29 Dämpning hos respektive blandning.

## 5 Slutsatser, kommentarer och eventuella möjligheter till vidareutveckling

### 5.1 Slutsats

Betongen som har framställts i det här arbetet har alla fallit inom klassningarna för sättmått, utbredningsmått, tryckhållfasthet med undantag för Blandning 4 med 93 % asfaltsgranulat som under uppvärmning hade en lägre tryckhållfasthet än klass C 12/15.

Det syns ett tydligt samband i resultatet med ökad mängd asfaltsgranulat och lägre hållfasthet. Blandningen med minst asfaltgranulat ger en tryckhållfasthet som princip är dubbelt så hög som blandningen med högst halt asfaltgranulat, och man ser även på de två andra blandningarna att tryckhållfastheten minskar i samband med högre andel asfaltsgranulat.

Tryckhållfastheten minskar också efter det att betongen värmts upp och detta kan antas bero på att bindemedlet bitumen på asfaltgranulaten mjuknar när temperaturen stiger. Detta kan kopplas till att tryckhållfastheten minskade i storlek till hur stor halt asfaltgranulat som var inblandat i betongen.

Spräckhållfastheten minskar även i samband med ökad mängd asfaltgranulat. Dock syntes det tydligt att själva brottet uppstod annorlunda med ökad mängd asfaltgranulat. Vid blandning 1 uppstod brottet sprött utan förvarning likt en konventionell betong. Däremot uppstod brottet inte lika sprött för Blandning 2, Blandning 3 eller Blandning 4 utan under en längre tid och ju mer asfaltgranulat som fanns i blandningen ju segare uppstod brottet. Utifrån resultatet från seismikmätningen stärks också detta. Det visar att ju mer

asfaltgranulat som finns i betongen ju lägre styvhet och desto högre seghet får betongen.

Resultatet för frostbeständighet efter sju dagar går inte att härleda till mängden asfaltgranulat i betongen. Avflagningsmängden skiljer sig så pass mycket mellan de olika blandningarna och inget tydligt mönster syns. Antagligen till följd av att granulat är ett inhomogent material och att frostkänsliga stenar/bitumen från granulatet slumpmässigt hamnat i frysytan. Frostbeständigheten efter 14 dagar skulle också ha testats för att säkerställa ett trovärdigt resultat.

Egenskaperna för de olika blandningarna i färskt tillstånd skiljer sig. Ju mer asfaltgranulat som funnits i blandningen desto sämre arbetbarhet. Det har blivit betydligt mer trögflytande och det syns tydligt både på resultatet för sättmått och utbredningsmått. Att just härleda den sämre arbetbarheten till granulaten är dock svårt. Eftersom proportioneringskurvorna är annorlunda för respektive betongblandning är det svårt att härleda resultatet för betongens färska egenskaper, då en identisk proportioneringskurva vore önskvärd. Mängden filler är lika stor för respektive blandning men i och med att löst filler tillsatts för Blandning 2, Blandning 3 och för Blandning 4 kan det ha medfört att det har blandats bättre med cementen och därmed blivit mer trögflytande. Mängden material av fraktionen 11–16 mm är också mindre ju högre halten asfaltgranulat är. Det innebär att förhållandet av de mindre fraktionerna till de större är mindre ju mer asfaltsgranulat som finns i blandningen. Det kan också vara en förklaring till varför blandningarna med mer asfaltgranulat har blivit mer trögflytande.

Det är också svårt att dra en slutsats angående hur asfaltgranulaten har påverkat betongens lufthalt. En teori var att det i granulaten skulle finnas luftfickor mellan partiklarna som bitumen har bundit samman och därmed skulle betongens lufthalt öka med mängden asfaltgranulat i betongen. Resultat visar dock att blandningen med minst granulat har minst luft och de andra blandningarna har betydligt mer. Dock beror det sannolikt på att de andra blandningarna har varit betydligt trögare och därmed haft sämre arbetbarhet. Vibrering som utförts i samband med luftmätning har till syfte att ge en homogen betong och få ut luftöverskottet. En mer trögflytande betong medför att det är svårare att vibrera ut luften. Därmed är lufthalten i blandning 2–4 förmodligen högre än i blandning 1 till följd av just detta.

## **5.2 Vidareutveckling**

För att hitta ett användningsområde för betongen skulle det krävas mer forskning och mer tester. Det finns fler egenskaper som hade kunnat testats

som varit intressanta om tiden funnits till. Att se hur blandningarna beter sig när de utsätts för tryck under en längre tid hade varit väldigt intressant att testa då blandningarna visade sig vara väldigt sega efter testet av spräckhållfasthet, och även efter styvhettetestet där man ser dämpningen i Figur 29. Att testa avflagningen vid frost under en längre tid hade också varit relevant, men även detta hade krävt en längre tid för projektet. Fler egenskaper vid uppvärmning och efter frysning hade också varit intressanta att testa. Exempelvis testades bara tryckhållfastheten efter uppvärmning i detta arbete då det bedömdes mest väsentligt, men även hur betongen beter sig vid test av spräckhållfasthet efter uppvärmning hade varit intressant att testa. Spräckhållfasthet och tryckhållfasthet efter nerfrysning hade även det varit spännande att prova om mer tid funnits.

## 6 Litteraturförteckning

- Almgren, H. M. (2014). *Betong- och armeringsteknik*. Borås/Göteborg: Sveriges byggindustrier.
- Gudmarsson, A. (2012). *Laboratory Seismic Testing of Asphalt Concrete*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- Hornwall, J. (2001). *Kall och halvvarm återvinning av asfalt i verk*. VTI .
- Jacobson, T. (2002). *Återvinning av krossad asfalt som bär- och förstärkningslager*. VTI.
- McCarthy, L. (2017). *Betonghandbok Material. Del 1*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Trafikverket. (2012). *Grön asfalt*. Borlänge: Nordiskt vägforum.
- Tyllgren. (2010). *Föryngring av returafalt med miljöanpassade tillsatsmedel*. Skanska.
- Waldermarson, A. (2008). *Varm återvinning i asfaltverk*. VTI.
- Westergren, P. (2004). *Handbok för återvinning av asfalt*. Borlänge: Vägverket.



# 7 Bilagor

## Bilaga A Provningsrapport – Spräckhållfasthet 1



### RAPPORT

utfärdat av ackrediterat provningslaboratorium  
TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory

Ackred. nr. 1723  
Provning  
ISO/IEC 17025

Provnr **20107127**

#### Provningsrapport för SS-EN 12390-6:2009 - Spräckhållfasthet Sidan 1 av 1

Beställare <b>Peab Asfalt AB</b>	Provtagningsdatum <b>2017-03-27</b>	Analys start <b>2017-04-24</b>	<b>Förprovning</b>
	Ankomstdatum <b>2017-03-27</b>	Analys slut <b>2017-04-24</b>	
	Typ av provobjekt	Antal provobjekt	

#### Uppgifter om betongen lämnade av uppdragsgivaren eller dess ombud

Leverantör	Provtagningsplats	
Entreprenör	Provtagare	
Objekt <b>Examensarbete granulat 2017</b>	Märkning <b>25% 45%</b>	
Betongtyp	Cementhalt	Cementfabrikat
Tillsatsmedel	Mängd i % / kg av	Produkt
Börvärde	Uppmätt värde	
Konsistens Uppgifter om (mm) (%)	Konsistens efter (mm)	Lufthalt (%)
		Betongtemperatur, uppmätt (°C)
		Max stenstorlek (mm)
		VCT / VBT, börvärde
		VCT / VBT, uppmätt värde

#### Provningsresultat

Spräckhållfasthet	Tryckålder (dygn)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Brottlast (kN)	Spräckhållfasthet (MPa)
<b>25%</b>	<b>28</b>	<b>2330</b>	<b>98,6</b>	<b>2,80</b>
<b>45%</b>	<b>28</b>	<b>2270</b>	<b>83,1</b>	<b>2,40</b>

Ytbeskaffenhet <b>Våt</b>
------------------------------

Notering
----------

Ort och datum  
**Helsingborg 2017-04-24**

**Olof Akesson, Bitr. Laboratorieföreståndare**  
Digitalt utfärdad signatur

*Provresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov.  
(EA)=Ej ackrediterad metod.(E)=Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.  
Kundbilaga finns på [www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provningstjanster-asfalt/](http://www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provningstjanster-asfalt/)*

<b>Peab Asfalt AB</b>	Besöksadress	Telefon nr	Org.nr	E-post
<b>Teknik</b>	<b>Karbingatan 10</b>	<b>0733848980</b>	<b>556098-8122</b>	<b>fornamn.eftermamn@peabasfalt.se</b>
<b>Karbingatan 10</b>	Styrelsens säte	Telefax nr	VAT nr	Internet adress
<b>254 67 Helsingborg</b>	<b>Båstad</b>	<b>042-201749</b>	<b>556098912201</b>	<b>www.peab.se</b>

# Bilaga B provningsrapport – Spräckhållfasthet 2



## RAPPORT

utfärdad av ackrediterat provningslaboratorium  
TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory

Akred. nr. 1723  
Provning  
ISO/IEC 17025

Provnr **20107130**

### Provningsrapport för SS-EN 12390-6:2009 - Spräckhållfasthet Sidan 1 av 1


Beställare <b>Peab Asfalt AB</b>	Provtagningsdatum <b>2017-03-28</b>	Analys start <b>2017-04-25</b>	<b>Förprovning</b>
	Ankomstdatum <b>2017-03-28</b>	Analys slut <b>2017-04-25</b>	
	Typ av provobjekt	Antal provobjekt	

### Uppgifter om betongen lämnade av uppdragsgivaren eller dess ombud

Leverantör		Provtagningsplats	
Entreprenör		Provtagare	
Objekt <b>Examensarbete granulat 2017</b>		Märkning <b>77% 93%</b>	
Betongtyp	Cementhalt	Cementfabrikat	
Tillsatsmedel	Mängd i % / kg av	Produkt	
Börvärde	Uppmätt värde	Lufthalt	Betongtemperatur, uppmätt
Konsistens Uppgifter om (mm) (%)	Konsistens efter (mm)	(%)	(°C)
			VCT / VBT, börvärde
			Max stenstorlek (mm)
			VCT / VBT, uppmätt värde

### Provningsresultat

Spräckhållfasthet	Tryckålder (dygn)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Brottlast (kN)	Spräckhållfasthet (MPa)
<b>77%</b>	<b>28</b>	<b>2230</b>	<b>63,6</b>	<b>1,80</b>
<b>93%</b>	<b>28</b>	<b>2240</b>	<b>58,2</b>	<b>1,65</b>

Ytbeskaffenhet <b>Våt</b>	Ort och datum <b>Helsingborg 2017-04-25</b>   <b>Olof Åkesson, Bitr. Laboratorieföreståndare</b> Digitalt utfärdad signatur
Notering	

Provningsresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov.  
(EA)=Ej ackrediterad metod.(E)=Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.  
Kundbilaga finns på [www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provnings-tjanster-asfalt/](http://www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provnings-tjanster-asfalt/)

<b>Peab Asfalt AB</b>	Besöksadress	Telefon nr	Org.nr	E-post
Teknik	<b>Karbingatan 10</b>	<b>0733848980</b>	<b>556098-8122</b>	<b>fornamn.efternamn@peabasfalt.se</b>
Karbingatan 10	Styrelsens säte	Telefax nr	VAT nr	Internet adress
254 67 Helsingborg	<b>Båstad</b>	<b>042-201749</b>	<b>556098912201</b>	<b>www.peab.se</b>

# Bilaga C provningsrapport – Tryckhållfasthet 1



## RAPPORT

utfärdat av ackrediterat provningslaboratorium  
TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory

Ackred. nr. 1723  
Provning  
ISO/IEC 17025

Provnr **20107126**

Ersätter originalrapport från 2017-04-24

Provningsrapport för SS-EN 12390-3 - Tryckhållfasthet			Sidan 1 av 1
Beställare <b>Peab Asfalt AB</b>	Provtagningsdatum <b>2017-03-27</b>	Analys start <b>2017-04-24</b>	<b>Förprovning</b>
	Ankomstdatum <b>2017-03-27</b>	Analys slut <b>2017-04-24</b>	
	Typ av provobjekt	Antal provobjekt	

Uppgifter om betongen lämnade av uppdragsgivaren eller dess ombud						
Leverantör	Provtagningsplats					
Entreprenör	Provtagare					
Objekt <b>Examensarbete granulat 2017</b>	Märkning <b>25% 45%</b>					
Betongtyp	Cementhalt	Cementfabrikat				
Tillsatsmedel	Mängd i % / kg av cementhalten	Produkt				
Börvärde	Konsistens		Uppmätt värde		Betongtemperatur, uppmätt	VCT / VBT, börvärde
Konsistens (mm)	Lufthalt (%)	Konsistens (mm)	Lufthalt (%)	(°C)	Max stenstorlek (mm) VCT / VBT, uppmätt värde	

Provningsresultat				
Märkning	Tryck- ålder (dygn)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Brott- last (kN)	Håll- fasthet (MPa)
<b>25%</b>	<b>28</b>	<b>2330</b>	<b>710,8</b>	<b>31,3</b>
<b>45%</b>	<b>28</b>	<b>2260</b>	<b>518,2</b>	<b>22,8</b>
<b>25% 29dagar 60C</b>	<b>28</b>	<b>2320</b>	<b>660,0</b>	<b>29,3</b>
<b>45% 29dagar 60C</b>	<b>28</b>	<b>2250</b>	<b>476,3</b>	<b>21,1</b>

Härdning av provkropp <b>Vattenlagring</b> ---	Härdning (EA) Densitet (EA)
Notering	Ort och datum <b>Helsingborg 2017-04-25</b>
	
	<b>Olof Åkesson, Bitr. Laboratorieföreståndare</b> Digitalt utfärdad signatur

*Provresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov.  
(EA)=E ackrediterad metod.(E)=Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.  
Kundbilaga finns på [www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provningstjanster-asfalt/](http://www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provningstjanster-asfalt/)*

<b>Peab Asfalt AB</b>	Besöksadress	Telefon nr	Org.nr	E-post
Teknik	<b>Karbingatan 10</b>	<b>0733848980</b>	<b>556098-8122</b>	<b>fornamn.efternamn@peabasfalt.se</b>
Karbingatan 10	Styrelsens säte	Telefax nr	VAT nr	Internet adress
254 67 Helsingborg	<b>Båstad</b>	<b>042-201749</b>	<b>556098912201</b>	<b>www.peab.se</b>

# Bilaga D provningsrapport – Tryckhållfasthet 2



## RAPPORT

utfärdat av ackrediterat provningslaboratorium  
TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory

Akred. nr. 1723  
Provning  
ISO/IEC 17025

Provnr **20107129**

Ersätter originalrapport från 2017-04-25

### Provningsrapport för SS-EN 12390-3 - Tryckhållfasthet Sidan 1 av 1

Beställare <b>Peab Asfalt AB</b>	Provtagningsdatum <b>2017-03-28</b>	Analys start <b>2017-04-25</b>	<b>Förprovning</b>
	Ankomstdatum <b>2017-03-28</b>	Analys slut <b>2017-04-25</b>	
	Typ av provobjekt	Antal provobjekt	

### Uppgifter om betongen lämnade av uppdragsgivaren eller dess ombud

Leverantör	Provtagningsplats				
Entreprenör	Provtagare				
Objekt <b>Examensarbete granulat 2017</b>	Märkning <b>77% 93%</b>				
Betongtyp	Cementhalt	Cementfabrikat			
Tillsatsmedel	Mängd i % / kg av cementhalten	Produkt			
	Börvärde		Uppmätt värde		
Konsistens (mm)	Lufthalt (%)	Konsistens (mm)	Lufthalt (%)	Betongtemperatur, uppmätt (°C)	VCT / VBT, börvärde
				Max stenstorlek (mm)	VCT / VBT, uppmätt värde

### Provningsresultat

Märkning	Tryck-ålder (dygn)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Brott-last (kN)	Hållfasthet (MPa)
77%	28	2230	410,6	18,2
93%	28	2250	370,6	16,4
77% 30dagar 60C	28	2190	352,7	15,7
93% 30dagar 60C	28	2220	286,9	12,8

Härdning av provkropp <b>Vattenlagring</b> ---	Härdning (EA) Densitet (EA)
Notering	Ort och datum <b>Helsingborg 2017-04-27</b>
	
	<b>Olof Åkesson, Bitr. Laboratorieföreståndare</b> Digitalt utfärdad signatur

*Provresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov.  
(EA)=Ej ackrediterad metod.(E)=Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.  
Kundbilaga finns på [www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provningstjanster-asfalt/](http://www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provningstjanster-asfalt/)*

<b>Peab Asfalt AB</b>	Besöksadress	Telefon nr	Org.nr	E-post
Teknik	Karbingatan 10	0733848980	556098-8122	fornamn.efternamn@peabasfalt.se
Karbingatan 10	Styrelsens säte	Telefax nr	VAT nr	Internet adress
254 67 Helsingborg	Båstad	042-201749	556098912201	<a href="http://www.peab.se">www.peab.se</a>

# Bilaga E Kornstorleksfördelning – Ballast i asfaltgranulat



## RAPPORT

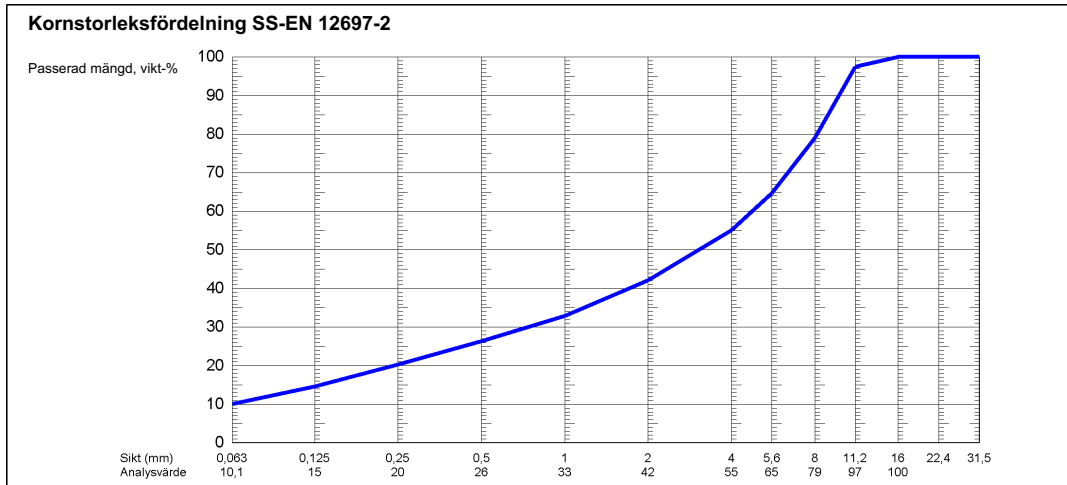
utfärdat av ackrediterat provningslaboratorium  
TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory

Akkred. nr. 1723  
Provning  
ISO/IEC 17025

Provnr **1710082**

Stenmaterial Sidan 1 av 1

Beställare <b>Peab Asfalt AB</b>	Provtagningsdatum <b>2017-03-22</b>	Analys start <b>2017-03-22</b>
	Ankomstdatum <b>2017-03-22</b>	Analys slut <b>2017-03-23</b>
Produkt <b>Granulat 0-11</b>	Referens nr	Id-nummer
Leverantör	Provtagningsplats	
Entreprenör	Provtagare	
Objekt <b>Examensarbete granulat i betong</b>	Märkning <b>Granulat 0-11 Bjärsgård</b>	



Provrresultat Kommentar	Medel- värde	Fraktion (mm)	Notering
SS-EN 12697-1 Löslig Bindemedelshalt (%)	4,9		
<small>Provrresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov. (EA)=Ej ackrediterad metod. (E)=Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet. Kundbilaga finns på <a href="http://www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provnings-tjanster-asfalt/">www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provnings-tjanster-asfalt/</a></small>			
			Ort och datum <b>Helsingborg 2017-03-23</b>  <b>Olof Akesson, Bitr. Laboratorieföreståndare</b> Digitalt utfärdad signatur

Peab Asfalt AB  
Teknik  
Karbingatan 10  
254 67 Helsingborg

Besöksadress  
Karbingatan 10  
Styrelsens säte  
Båstad

Telefon nr  
042-152564  
Telefax nr  
042-201749

Org.nr  
556098-8122  
VAT nr  
556098912201

E-post  
foernamn.efternamn@peabasfalt.se  
Internet adress  
www.peabasfalt.se

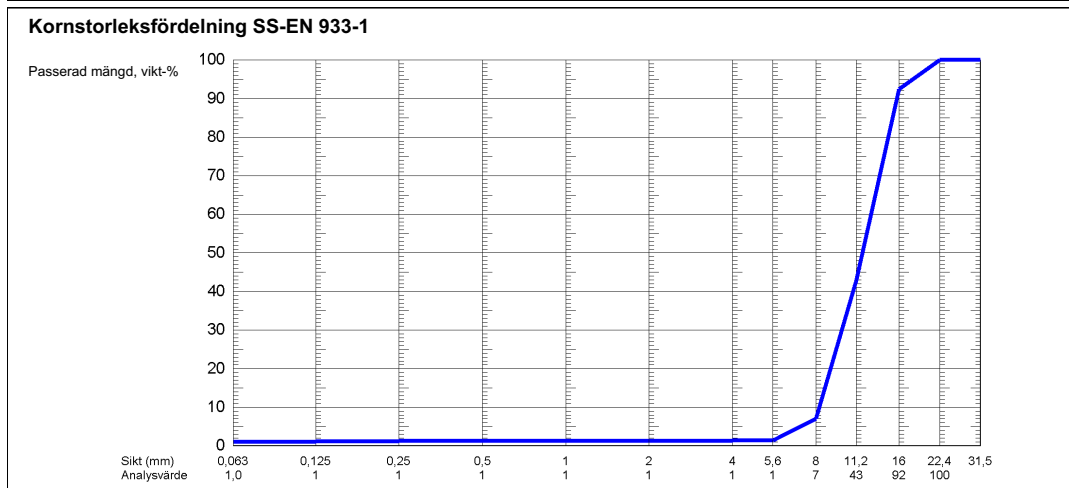
# Bilaga F Kornstorleksfördelning – Makadam 8-16



**RAPPORT**  
utfärdad av ackrediterat provningslaboratorium  
TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory

Provnr **1710080**

Stenmaterial		Sidan 1 av 1
Beställare <b>Peab Asfalt AB</b>	Provtagningsdatum <b>2017-03-22</b>	Analys start <b>2017-03-22</b>
	Ankomstdatum <b>2017-03-22</b>	Analys slut <b>2017-03-23</b>
Produkt <b>Makadam 8-16 mm</b>	Referens nr	Id-nummer
Leverantör	Provtagningsplats	
Entreprenör	Provtagare	
Objekt <b>Examensarbete granulat i betong</b>	Märkning <b>8-16 från Swerock Helsingborg</b>	



Provresultat	Medel-värde	Fraktion (mm)	Notering
<b>SS-EN 933-1 Kornstorleksfördelning (%)</b> Tvättning och siktning SS-EN 1097-5 Fuktkvot [EA]	0,6		

Provresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov.  
(EA)=Ej ackrediterad metod. (E)=Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.  
Kundbilaga finns på [www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provningstjanster-asfalt/](http://www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provningstjanster-asfalt/)

**Peab Asfalt AB**  
Teknik  
Karbingatan 10  
254 67 Helsingborg

Besöksadress  
**Karbingatan 10**  
Styrelsens säte  
Båstad

Telefon nr  
**042-152564**  
Telefax nr  
**042-201749**

Org.nr  
**556098-8122**  
VAT nr  
**556098912201**

E-post  
**fornamn.efternamn@peabasfalt.se**  
Internet adress  
**www.peabasfalt.se**

# Bilaga G Kornstorleksfördelning – Sand 0-2



## RAPPORT

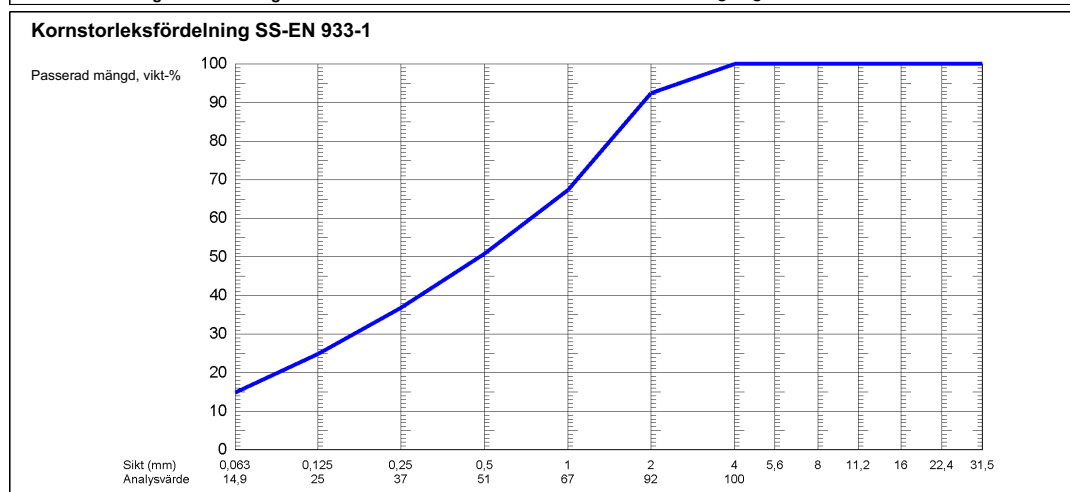
utfärdat av ackrediterat provningslaboratorium  
TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory


Akkred. nr. 1723  
Provning  
ISO/IEC 17025

Provnr **1710079**

### Stenmaterial Sidan 1 av 1

Beställare <b>Peab Asfalt AB</b>	Provtagningsdatum <b>2017-03-22</b>	Analys start <b>2017-03-22</b>
	Ankomstdatum <b>2017-03-22</b>	Analys slut <b>2017-03-23</b>
		Id-nummer
Produkt <b>Makadam 0-4</b>	Referens nr	
Leverantör	Provtagningsplats	
Entreprenör	Provtagare	
Objekt <b>Examensarbete granulat i betong</b>	Märkning <b>0-2 från Swerock Helsingborg</b>	



Provresultat Kommentar	Medel- värde	Fraktion (mm)	Notering
SS-EN 933-1 Kornstorleksfördelning (%) Tvättning och siktning SS-EN 1097-5 Fuktkvot [EA]	4,5		
<p style="text-align: center;"><small>Provresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov. (EA)=Ej ackrediterad metod. (E)=Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet. Kundbilaga finns på <a href="http://www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provnings-tjanster-asfalt/">www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provnings-tjanster-asfalt/</a></small></p>			<p>Ort och datum <b>Helsingborg 2017-03-23</b></p>  <p><b>Olof Akesson, Bitr. Laboratorieföreståndare</b> Digitalt utfärdat signatur</p>

Peab Asfalt AB Teknik Karbingatan 10 254 67 Helsingborg	Besöksadress Karbingatan 10 Styrelsens säte Båstad	Telefon nr 042-152564 Telefax nr 042-201749	Org.nr 556098-8122 VAT nr 556098912201	E-post foernamn.efternamn@peabasfalt.se Internet adress www.peabasfalt.se
--	---	--	---	--

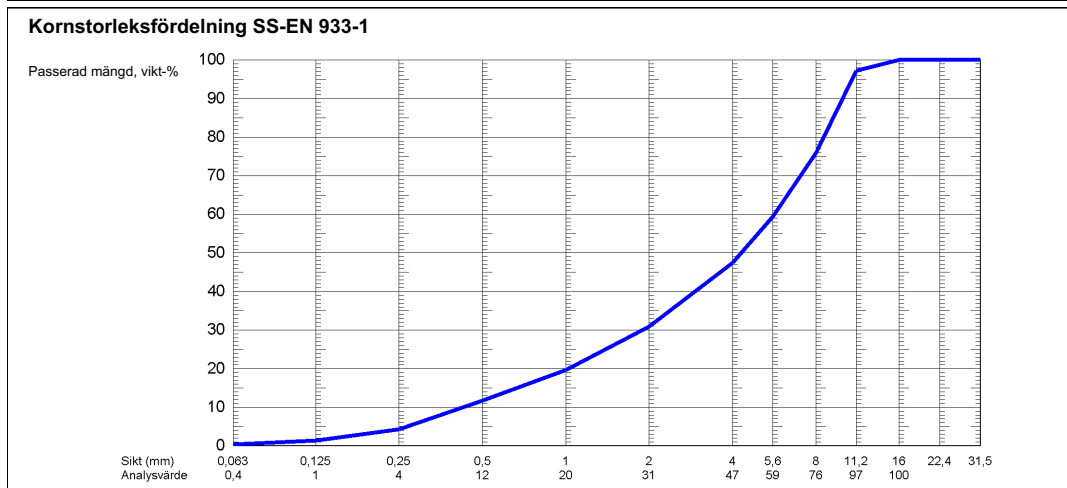
# Bilaga H Kornstorleksfördelning – Asfaltgranulat 0-11



**RAPPORT**  
utfärdad av ackrediterat provningslaboratorium  
TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory

Provnr **1710081**

Stenmaterial		Sidan 1 av 1
Beställare <b>Peab Asfalt AB</b>	Provtagningsdatum <b>2017-03-22</b>	Analys start <b>2017-03-22</b>
	Ankomstdatum <b>2017-03-22</b>	Analys slut <b>2017-03-23</b>
		Id-nummer
Produkt <b>Granulat 0-11</b>	Referens nr	
Leverantör	Provtagningsplats	
Entreprenör	Provtagare	
Objekt <b>Examensarbete granulat i betong</b>	Märkning <b>Granulat 0-11 Bjärggård</b>	



Provresultat	Medel-värde	Fraktion (mm)	Notering
<b>SS-EN 933-1 Kornstorleksfördelning (%)</b> Enbart torrskiktning SS-EN 1097-5 Fuktkvot [EA]	2,4		

Provresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov.  
(EA)=Ej ackrediterad metod. (E)=Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.  
Kundbilaga finns på [www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provningstjanster-asfalt/](http://www.peabasfalt.se/produkter-och-tjanster/tjanster/provningstjanster-asfalt/)

**Peab Asfalt AB**  
Teknik  
Karbingatan 10  
254 67 Helsingborg

Besöksadress  
**Karbingatan 10**  
Styrelsens säte  
Båstad

Telefon nr  
**042-152564**  
Telefax nr  
**042-201749**

Org.nr  
**556098-8122**  
VAT nr  
**556098912201**

E-post  
**fornamn.efternamn@peabasfalt.se**  
Internet adress  
**www.peabasfalt.se**