Undersökning av tryckhållfastheten för cementstabiliserad asfalt

- En undersökning av dagens betongstandard

LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Byggteknik / Väg- och trafikteknik

Examensarbete:
Emil Bredberg
Oskar Pettersson

© Copyright Emil Bredberg, Oskar Pettersson

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 2020

Sammanfattning

Cementstabiliserad asfalt (CSA) är ett kompositslitlager bestående av en asfaltbeläggning med högt hålrum som är fyllt med en cementbaserad slamma. Produkten kan därför kallas för ett semiflexibelt slitlager på grund av att egenskaper från både asfalt och betong kombineras. Egenskaperna som kännetecknar CSA är asfaltens elasticitet samt cementens bärighet och beständighet, hög motståndskraft mot kemikalier och spårbildning, temperaturbeständighet mellan -30°C och +90°C samt att den lätt går att fräsa bort och ersättas med nytt material. Användningsområden är industriytor, hamnterminaler, bensinmackar, cirkulationsplatser, busshållplatser med mera.

Syftet med examensarbetet är att undersöka en korrektionsfaktor som är beroende på en provkropps diameter och höjd, det vill säga slankhetstal. Denna korrektionsfaktor finns i dagens betongstandard som används vid beräkning av tryckhållfasthet för CSA.

Eftersom det inte finns krav som ska kontrolleras enligt dagens standard för hålrum på provkroppar, varken på laboratoriepackade eller uppborrade provkroppar från fält, därför är det av intresse att försöka laboratoriepacka provkroppar och jämföra hålrummet mot uppborrade provkroppar. Denna brist på krav beror troligtvis på att det är vanligare att kolla fyllnadsgrad och materialåtgång för att bedöma hålrummet.

Hålrum och kornkurva undersöktes på NCC:s laboratorium i Södra Sandby. Tryckhållfasthet undersöktes på LTH:s laboratorium med provkroppar från en provyta vid NCC:s kontor i Arlöv. Experter inom de olika områdena assisterade vid både laborationstillfället och vid utläggning av CSA.

Genom mätning av skrymdensitet och kompaktdensitet på laboratoriepackade prover blev medelvärdet för hålrummet för provkropparna 26,1 %, vilket stämmer överens med riktvärdet på arbetsreceptet för NCC Strongphalt. Med hjälp av känd mängd asfalt och cementslamma beräknades hålrummet för provytan till 37,7 %, vilket är över riktvärdena. Resultatet från provtryckningen visar att tryckhållfastheten för de uppborrade provkropparna ej överensstämmer med dagens betongstandard.

Denna studie visar på att ett optimalt hålrum mellan 25 - 30% går att uppnå i laboratoriepackade prover för dränasfalt. Vidare har studien kommit fram till att korrektionsfaktorn i dagens betongstandard behöver undersökas mer med tanke på resultatet. Fortsatta studier krävs för att bevisa detta mer utförligt.

Nyckelord: Cementstabiliserad asfalt, tryckhållfasthet, korrektionsvärde, hålrum.

Abstract

Cement stabilized asphalt (CSA) is a composite layer consisting of an asphalt with high cavity which is filled with a cement-based slurry. The product can therefore be called a semiflexible wearing course because of its combined characteristics from both asphalt and concrete. The characteristic features of CSA are the asphalts elasticity and the cements buoyancy and resistance, high resistance against chemicals and rutting, temperature resistance between -30°C and +90°C and it can also easily be milled and replaced with new material. Areas where CSA is used are industrial surfaces, port terminals, petrol stations, roundabouts, bus stations etcetera.

The purpose with the thesis is to investigate a correction factor that depends on a specimen's diameter and height, namely slenderness. This correction factor can be found in today's concrete standard that is used to calculate the compressive strength of CSA.

Since there's no requirements on controlling cavity on specimens according to Stockholm Stad, neither on lab packed or field-drilled specimens, therefore there's an interest to try and lab pack specimens and compare their cavity against field-drilled specimens. The lack of requirements is probably because of the fact that it's more usual to check the degree of filling and material consumption to determent the cavity.

The cavity and barley curve where investigated at NCC:s laboratory in Södra Sandby. The compressive strength where investigated at LTH:s laboratory with specimens from an sample surface at NCC:s office in Arlöv. Experts within the different areas assisted at both the lab and exposition of CSA.

The average cavity on lab packed specimens where produced through measurements of bulk density and compact density. The result turned out to be 26,1%, which matches the benchmarks for the rules recipe for NCC Strongphalt. The cavity on the field laid mass where measured with help from the amount of asphalt and cement slurry used. The cavity where calculated to 37,7%, which is above the benchmarks. The compressive strength test showed that the field-drilled specimens are not corresponding with today's concrete standard.

This study shows that it's able to get an optimal cavity between 25-30 % through lab packed specimens for porous asphalt. The study also shows that's the correction factor in today's concrete standard needs to be examined more because of the results. Continued studies are required to prove this more detailed.

Keywords: Cement stabilized asphalt, compressive strength, correction value, cavity.

Förord

Detta examensarbete avslutar vår utbildning Högskoleingenjör inom Byggteknik / Väg- och trafikteknik. Arbetet på 22,5 högskolepoäng påbörjades i början av vårterminen 2020 och avslutades i juni 2020. Arbetet är utfört i samarbete med NCC utifrån deras önskemål att studera huruvida dagens betongstandard går att applicera för att räkna ut tryckhållfastheten för cementstabiliserad asfalt.

Vi vill börja med att tacka våra handledare Linus Lindau Persson, Maya Sheidaei och Pajtim Sulejmani för deras stöd och handledning under arbetets gång.

Vi vill även tacka Urban Amboldt, Mats Andersson och Jens Hultzen för assistans vid laboration hålrum och Stefan Backe för hjälp med laboration tryckhållfasthet.

Ett stort tack till NCC:s personal för hjälp med utläggning av asfalt och NFM flytgolv för utläggning av cementslamma.

Tills sist vill vi tacka vår examinator Ebrahim Parhamifar.

Emil Bredberg & Oskar Pettersson
Lund, maj 2020

Terminologi

ABb	Bindlager av asfaltbetong kan användas som justeringsmassa men är främst ett extra asfaltlager vid högtrafikerade vägar eller vägar med hög belastning för att undvika plastiska deformationer och skjuvtöjningar. Bindlagret är 40–80 mm tjockt med en hålrumshalt på 3–5%.
ABD, dränasfalt	Dränerande asfaltbetong är ett extremt öppet slitlager som har en hålrumshalt på 16–20% vid bindemedelstyp 70/100. Det är en dränerande och bullerdämpande beläggning framtagen för att minska vägbuller och minska risken för vattenplaning.
ABS	Stenrik asfaltbetong är ett slitlager som har en hålrumshalt 2–3,5% vid bindemedelstyp 70/100. Den används vid högtrafikerade vägar.
ABT	Tät asfaltbetong är ett slitlager som har en hålrumshalt mellan 1,5–3,5% vid bindemedelstyp 70/100 med låg permeabilitet. Den används för låg- och medeltrafikerade ytor.
Anisotropi	En fysikalisk term som innebär att ett material har olika fysikaliska egenskaper i olika riktningar.
CSA	Cementstabiliserad asfalt är ett slitlager som är en blandning mellan asfalt och cement med en hålrumshalt under 5% och låg permeabilitet. Används vid särskilt utsatta ytor, exempelvis busshållplatser, bensinmackar och industriytor där högre tryckhållfasthet och kemikaliebeständighet efterfrågas.
Slankhetstal	Höjden dividerat med diametern. Används för att jämföra tryckhållfasthet för prover med varierande dimensioner.
Slätvältning	Vältning utan vibration/oscillation.
Slitlager	Översta lagret i överbyggnaden på en väg.
Öppen gradering	Stenmaterialet ska ha en brant kornstorlekskurva med stenmaterial passerande 8 millimeter sikt på ungefär 10 %.

Innehållsförteckning

1 Inledning 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Syfte 2
1.3 Metodbeskrivning 2
1.4 Avgränsningar 2
2 Litteraturstudier 3
2.1 Tidigare studier 3
2.2 Vägkroppens uppbyggnad 3
2.2.1 Underbyggnad 3
2.2.2 Överbyggnad 4
2.3 Asfalt 4
2.3.1 Bitumen 5
2.3.2 Stenmaterial till beläggningar 5
2.3.3 Fibrer 6
2.3.4 Dränasfalt 6
2.3.5 Kontinuerlig kornfördelning 7
2.3.6 Diskontinuerlig kornfördelning 7
2.3.7 Produktion av asfalt 8
2.3.8 Utläggning av asfalt 8
2.4 Cement 9
2.5 Cementstabiliserad asfalt (CSA) 9
2.5.1 Asfaltmassa 10
2.5.2 Cementslamma 10
2.5.3 Utläggning av cementslamma 10
2.5.4 Transport 11
2.6 Laboratory hålrum 11
2.6.1 Utrustning och materiel 11
2.6.2 Mängd för siktning 12
2.6.3 Hantering av bitumen 12
2.6.4 Mängd till analysator och cykler 12
2.6.5 Skrymdensitet 13
2.6.6 Kompaktdensitet 13
2.6.7 Beräkning av hålrum 13
2.7 Laboratory tryckhållfasthet 13
2.7.1 Utrustning och material 13
2.7.2 Tryckhållfasthet 14
2.7.3 Prövning av tryckhållfasthet 14
2.7.4 Beräkning av tryckhållfasthet 15
2.7.5 Korrektionsfaktor för tryckhållfasthet 15
2.7.6 Minstakvadratmetoden 16

3 Metod 17
3.1 Laboratory hålrum 17
3.1.1 Neddelning och siktning 17
3.1.2 Anpassa material mot kontrollpunkterna. 18
3.1.3 Materialförberedelser 18
3.1.4 Blandning och provtagning 19
3.1.5 Kompakt- och skrymdensitetsprövning 20
3.1.6 Kornfördelning 20
3.2 Fältprov 21
3.3 Laboratory tryckhållfasthet 22
3.3.1 Borrning 22
3.3.2 Sågning 22
3.3.3 Slipning 23
3.3.4 Prövning av tryckhållfasthet 23

4 Resultat 24
4.1 Hålrum 24
4.1.1 Laboration 24
4.1.2 Fält 25
4.2 Tryckhållfasthet 25

5 Diskussion 27
5.1 Resultatdiskussion 27
5.2 Metoddiskussion 28
5.2.1 Hålrum 28
5.2.2 Fältprov 28
5.2.3 Provtagning 28
5.2.4 Korrektionsfaktor 29

6 Slutsats 31
6.1 Framtida utvecklingsmöjligheter 31

Källförteckning 33
Svensk standard 34

Appendix 35
Laboration hålrum 35
Laboration tryckhållfasthet 50

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Cementstabiliserad asfalt (CSA) är ett kompositslitlager bestående av en asfaltbeläggning med högt hålrum som är fyllt med en cementbaserad slamma. Produkten kan därför kallas för ett semiflexibelt slitlager på grund av att egenskaper från både asfalt och betong kombineras.

1. Cementens bärighet och beständighet.
2. Hög motståndskraft mot kemikalier och spårbildning.
3. Temperaturbeständig mellan -30°C och +90°C.
4. Går lätt att fräsa bort och ersättas med nytt material.

Användningsområden där ovannämnda egenskaper efterfrågas är industriytor, hamnterminaler, bensinmackar, cirkulationsplatser, busshållplatser med mera. Utläggningen av CSA går till på så sätt att en dränasfalt läggs ut och packas genom slätvältning. När asfaltmassan har svalnat hälls cementbaserad slamma ut på asfaltsytan och fyller hålrummen, se figur 1. På grund av cementslammans viskositet krävs det att utläggningsområdet är tätt från öppningar. Glipor mellan kantsten måste till exempel tätas och efter slamningen måste beläggningen härda. Efter gynnsamma förhållande är beläggningen trafikeringsbar efter ett dygn då cementslamman har hydrerat tillräckligt. Teoretiskt sett slutar aldrig denna kemiska process medans hållfasthetsutvecklingen avtar efter cirka 28 dagar (NCC, u.åa).

Vid provtagning av CSA undersöks bland annat tryckhållfastheten på uppborrade prover och det görs i dagsläget utifrån en betongstandard (Swedish standards institute [SIS], 2005).

Figur 1 - Utläggning av cementslam på en dränasfalt (egen dokumentation).

Examensarbetet kommer utföras i samarbete med NCC som är ett bygg och anläggningsföretag verksamma i Norden. De erbjuder även insatsvaror för byggproduktion, såsom betong, kross och asfalt, samt svarar för broar, tunnlar, hus, hamnar, beläggning, drift och underhåll av vägar (NCC, u.åb).

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka en korrektionsfaktor som är beroende på en provkropps diameter och höjd det vill säga slankhetstal. Denna korrektionsfaktor finns i dagens betongstandard som används vid beräkning av tryckhållfasthet för CSA.

Eftersom det inte finns krav som ska kontrolleras enligt dagens standard för hålrum på provkroppar, varken på laboratoriepackade eller uppborrade provkroppar från fält, är det av intresse att försöka laborationspacka provkroppar och jämföra hålrummet mot uppborrade provkroppar. Detta beror troligtvis på att det är vanligare att kolla fyllnadsgrad och materialåtgång för att bedöma hålrummet.

Problemformulering:

1. Korrelerar det uppmätta resultatet med dagens betongstandard?
2. Går det att få till hålrummet på labbpackade provkroppar och hur stor skillnad blir det mot fältpackade?

1.3 Metodbeskrivning

Studien började med att en litteraturstudie utfördes för att få kunskap i ämnet. Laborationerna förberedes och utfördes enligt svenska standarder där metoder och teknisk bakgrund redogörs i detalj. Därefter genomfördes beräkningar av uppmätta värden för resultatet.

Resurser som använts är NCC:s labb som ligger ute vid NCC täkt, NCC:s kontor i Malmö, NCC:s personal lägger provytan, NCC:s borrutrustning, betonglabbet på LTH, slipning, tryckning och verkstadstekniker.

Kommunikation har mestadels skett via internet på grund av de rådande omständigheterna i Sverige. Möten med handledare från både NCC och LTH har skett fysiskt. Metoder som har använts är litteraturstudier, mätningar, fält och labbprovning.

1.4 Avgränsningar

1. Den CSA som används i examensarbetet kommer enbart vara NCC Strongphalt.
2. Materialet är från samma bergtäkt.
3. Slankhetstalet kommer att undersökas med en fast tjocklek med varierande diameter.
4. Endast fyra olika slankhetstal undersöks.
5. Medelvärden och standardavvikelsen är baserad på fem prover.
6. Marshallinstampade prover jämförs med verkliga prover.
7. Konkurvan var ej stampad, den togs direkt från blandaren

2 Litteraturstudier

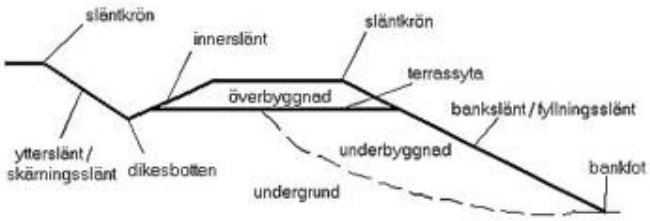
Litteraturstudien är baserad på relevanta böcker och rapporter för att skapa en större förståelse för ämnet. En studie på ett examensarbete med liknande innehåll från LTH gjordes för att se vad som redan skrivits om CSA.

2.1 Tidigare studier

I en tidigare studie undersöktes cementstabiliserad asfalt för busshållplatser i syfte att skapa en modell vars funktion var att beräkna förändringar av skador i beläggningen efter en tidsperiod. Denna studie undersökte funktionen av beläggningen efter tid och slitage i syfte att planera drift- och underhållsåtgärder. Studien undersökte endast skador och skillnader, ej tryckhållfasthet (Bader, W & Shirzad, N, 2014).

2.2 Vägkroppens uppbyggnad

En vägkropp består vanligtvis av en överbyggnad, en underbyggnad och en undergrund. Undergrunden är den befintliga marken som vägen anläggs på. Se figur 2.



Figur 2 - Vägkroppens uppbyggnad (Trafikverket, 2012).

2.2.1 Underbyggnad

Underbyggnaden är den yta som överbyggnaden anläggs på. Den består av en terrass som används för att bestämma tvärfallet på vägen. Terrassen bör även vara jämn eftersom den ska fungera som grund till de övriga lagren. En ojämn terrass riskerar att vägen får en ojämn bärighet och att deformationer lättare förekommer (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.2.2 Överbyggnad

Överbyggnadens tre huvuduppgifter är att fördela lasten så att deformation inte uppstår i underbyggnaden, uppfylla de krav som ställs på vägytan och transportera bort vatten från vägen. Se figur 3.

Det är bra att lägga fokus på att ha en hög bärighet högst upp i konstruktionen eftersom den tunga lasten sprids över en större yta längre ner. En kostnadseffektiv konstruktion bör ha högre materialkostnad på slitlager och lägre kostnad längre ner i konstruktionen (Agardh & Parhamifar, 2014).

Figur 3 - Grundläggande uppbyggnad av en överbyggnad (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.3 Asfalt

Den vanligaste beläggningen i Sverige är asfalt vilket är en slags bituminös beläggning. Asfalt består av krossat stenmaterial i olika kornfraktioner som blandas med ett bindemedel. I en bituminös beläggning används bitumen som bindemedel eftersom det fungerar som kitt till stenarna så att de håller ihop. Asfalt används för att på bästa sätt möta de krav som finns på funktion och tillstånd för en vägbeläggning. I vissa fall kan den sammansatta massan innehålla fler material för att erhålla speciella egenskaper som förbättrar produkten (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.3.1 Bitumen

Bitumen är en kolvätebaserad produkt som skapas genom raffinering av råolja. Det är ett populärt bindemedel på grund av att den har god resistans mot klimat, klarar av både kemikalier och vatten utan att lösas upp samt att den har en bra vidhäftningsförmåga. Dessa egenskaper gör den till det självklara valet vid asfalttillverkning (Agardh & Parhamifar, 2014).

Det finns olika sätt att definiera olika sorters bitumen på men det vanligaste är genom ett penetrationsprov. Testet utförs genom att se hur djupt en nål med viss tyngd penetrerar bindemedlet vid 25 °C. Bindemedelskvalitén anges alltid i ett intervall, till exempel 100/150 som betyder att penetrationstalet ligger mellan 10–15 mm. Ett mjukt bindemedel med högt penetrationstal, till exempel 160/220 används vid kalla klimat för att undvika sprickor i asfalten. Ett hårt bindemedel med lågt penetrationstal, till exempel 50/70 används vid varma klimat för att undvika deformationer (Hunter el. al. 2015).

När bitumen blir utsatt för hög värme och stor syretillförsel riskerar det att oxidera. Det vill säga att bindemedlet hårdnar och åldras vilket leder till att den slutliga produkten påverkas. Asfalt som består av ett oxiderat bindemedel riskerar att bilda klumpar innan utläggning och får således en större hålrumshalt än förväntat. (Asfaltboken, u.å.)

2.3.2 Stenmaterial till beläggningar

Andel stenaggregat i en asfaltmassa är oftast mellan 92–96%. Det finns tre huvudkategorier av stenaggregat och de är naturgrus, sprängsten samt återanvänd asfaltmassa. Sprängsten är det vanligaste att använda på grund av att naturgrus är en resurs som kan ta slut. Återanvänd asfaltmassa är det ovanligaste aggregatet men det har börjat användas mer på grund av de ekonomiska och miljövänliga fördelarna som finns (Agardh & Parhamifar, 2014).

Stenarna i en asfaltmassa har olika kornfördelning och kornstorleken brukar variera mellan 0–32 mm. Det minsta materialet i kornfördelningen brukar kallas för filler och används tillsammans med bindemedlet för att fylla ut hålrummet mellan de stora kornfraktionerna. Detta används vid täta beläggningar för att skapa en god beständighet och hållfasthet. För dränerade beläggningar där en relativt stor hålrumhalt bör finnas används knappt något fillermaterial (Agardh & Parhamifar, 2014).
Viktiga egenskaper som kan påverka kvalitén på asfalten är formen på partiklarna. Till exempel om stora delar av stenmaterialet är avlånga så finns risk att de läggs i samma riktning vid packning av asfaltmassa. Detta kan ge olika hållfasthet från olika vinklar i massan, även kallat anisotropi. Därför kan det vara bra att genomföra ett flisighetsindex på stenarna för att kolla det genomsnittliga förhållandet mellan höjd och bredd. Det är även viktigt att bestämma stenarnas nötningsbeständighet beroende på vart vägen ska läggas. Om det till exempel ska läggas en väg i norra Sverige där alla kör med dubbdäck så kan det vara bra att stenarna har en hög nötningsbeständighet (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.3.3 Fibrer

Ibland används fibrer i asfalt, oftast i dränasfalt för att kunna öka bitumenhalten utan risk för att bindemedlet rinner av. De mest förekommande typerna är mineralfibrer och cellulosa-fibrer. Fibrer används oftast till beläggningstyperna ABS och ABD för att asfaltmassorna ska hålla ihop (Asfaltboken, 2008).

2.3.4 Dränasfalt

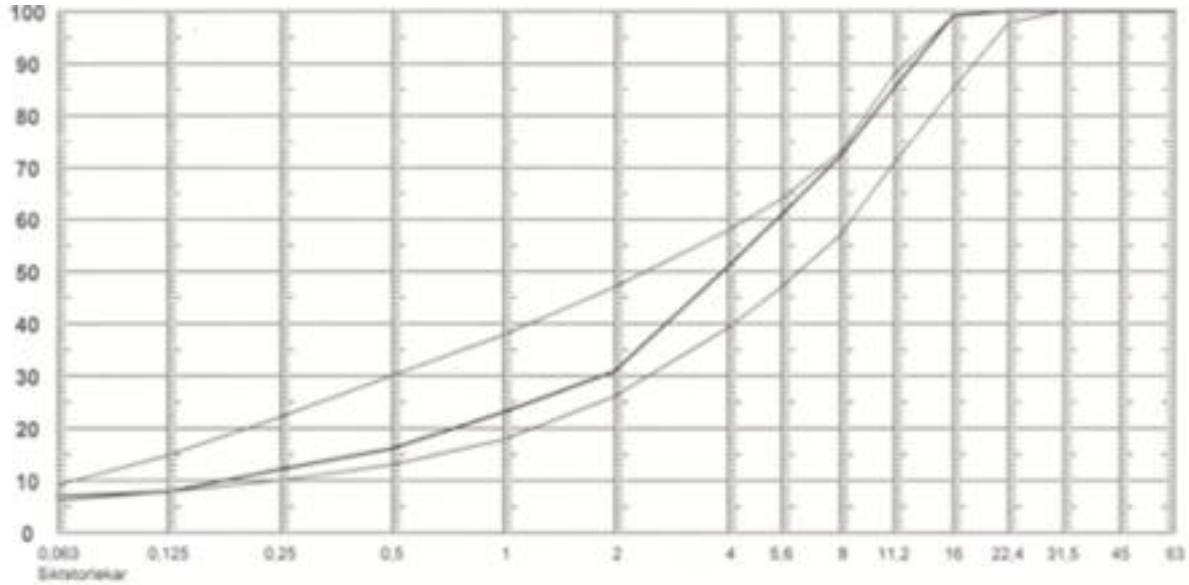
Vid produktion av cementstabiliserad asfalt används en dränasfalt, se figur 4. Det är en varm asfaltmassa med brant kornstorlekskurva. Den har en låg andel filler och bitumen för att inte bli tät. Massan släpper igenom vätskor lätt på grund av dess dränerade förmåga. Detta är bra om det till exempel regnar ute på grund av att vatten lättare leds bort från vägen jämfört med en tät massa där allt vatten måste ledas vidare direkt på ytan, vilket minskar risk för vattenplaning. Beläggningen har även en trafikbullerdämpande förmåga vilket är bra i till exempel tätbebyggda där det önskas lägre bullernivåer. Nackdelar med massan är att den är svår att lägga ut för hand, separationsbenägen på grund av kornfördelningen, hålrummet sätts lätt igen vilket minskar bullerreduktionen och vattengenomsläppligheten samt att det finns en ökad risk för halka vid frost (Agardh & Parhamifar, 2014).

Figur 4 – Dränasfaltbetong (ABD) (egen dokumentation).

2.3.5 Kontinuerlig kornfördelning

Kornfördelningen beskriver beläggningens sammansättning i stenmaterial och hur kornstorlekarna varierar i blandningen. Olika kornfördelningar ger unika egenskaper för beläggningen.

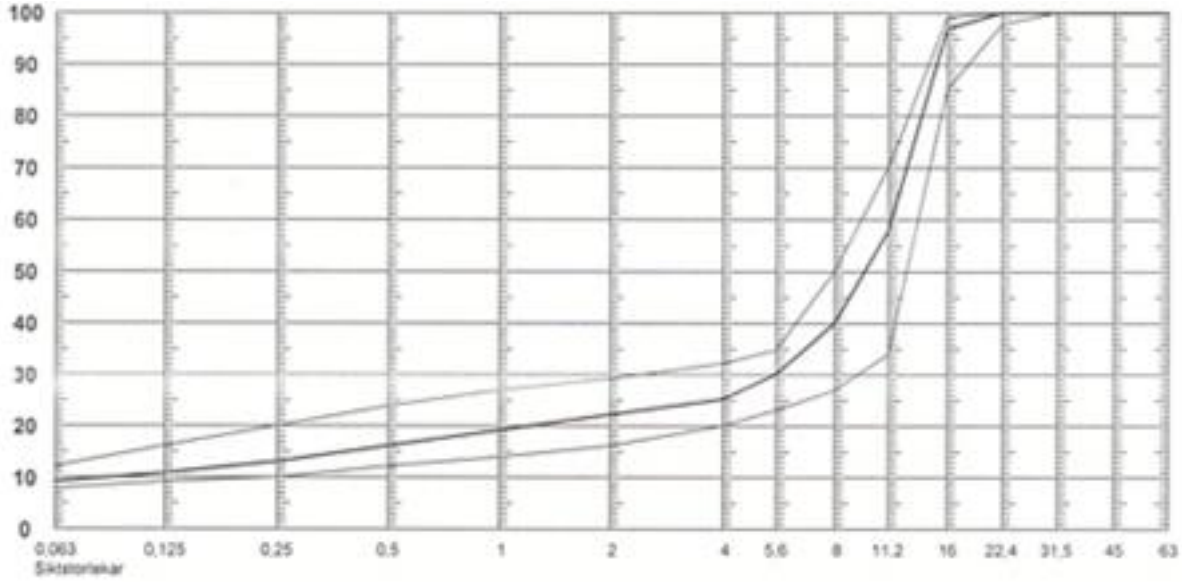
En kontinuerlig eller tät kornkurva uppstår då sammansättningen av stenmaterialet i asfalten består av en blandning av alla kornstorlekar, allt från de minsta till de största storlekarna, se figur 5. Beläggningar där en kontinuerlig kornkurva används är ABT, ABb och AG. För dessa beläggningar är hålrumshalten 2–5,5%, 2–6% och 3–8% (Asfaltskolan, uåb).



Figur 5 - Diagram över en kontinuerlig kornfördelningskurva (Asfaltskolan, uåb).

2.3.6 Diskontinuerlig kornfördelning

En diskontinuerlig sammansättning erhålls hos skelettasfalter som till exempel ABD och ABS. Denna variant av beläggning kännetecknas av att majoriteten stenmaterial i sammansättningen är grov, se figur 6. För att massan ska hålla ihop behövs bitumenhalten ökas och fibrer (cellulosa eller mineral) tillföras samt i vissa fall polymerer. Hålrumshalten för dessa beläggningar är 16-20% och 2–3,5% (Asfaltskolan, u.åb).



Figur 6 - Diagram över en diskontinuerlig kornfördelningskurva (Asfaltskolan, uåb).

2.3.7 Produktion av asfalt

Asfalt tillverkas vanligtvis i ett stationärt asfaltverk, ofta placerat vid ett stenbrott. Först värms bitumen och stenmaterial upp och blandas därefter ihop till en asfaltmassa. För att variera egenskaperna i en asfaltmassa förändras kornfördelningen i stenmaterialet och mängden bindemedel.

Därefter transporteras asfaltmassan till objektet med rätt utrustade transportbilar för att bibehålla temperatur och kvalité på massan. Det är inte optimalt att transportera asfaltmassan för långt på grund av oxidation, därför finns det flera olika asfaltverk.

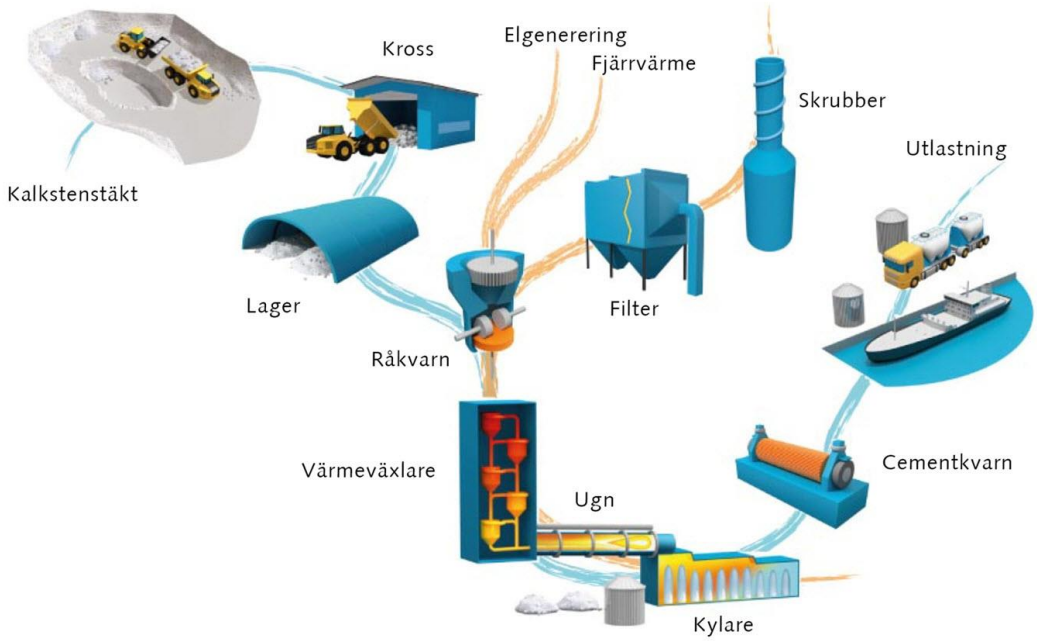
2.3.8 Utläggning av asfalt

I allmänhet finns det två olika metoder för utläggning av asfaltmassa, handläggning och maskinläggning, se figur 7. Vilken metod som används beror på kapacitet, objektets storlek och antal ton. Maskinläggning vid stora ytor och handläggning vid mindre och svåråtkomliga ytor. Efter att asfalten är lagd så packas den med hjälp av en vält samt markvibrator där välten inte kommer åt (Asfaltskolan, u.å).

Figur 7 – Asfalttransporten matar maskinläggaren (egen dokumentation).

2.4 Cement

Cement är en av huvudingredienserna till betong som i särklass är det mest använda av alla industriellt producerade material i världen. Tillverkningsprocessen startar i en kalkstentäkt där kalkstenen bryts ner genom sprängning. Därefter krossas stenmaterialet till en sten-fraktion på max 80 mm. Det krossade materialet lagras sedan och agerar buffert för råkvarnen som maler ner kalkstenen till en jämn kvalité. Det malda stenmaterialet är mindre än 0,09 mm när det lämnar råkvarnen. Till stenmaterialet tillsätts kisel i form av sand. Sedan torkas blandningen av de varma gaserna från ugnen i sista processen. Innan blandningen går genom ugnen delas kalciumkarbonatet upp i kalciumoxid och koldioxid. Ugnen är 1 450 °C varm vilket får råmjölet att förvandlas till små hårda kulor som kallas för klinker. Efter att klinkern kylts ner med luft mals den ner till cement i en cementkvarn. Figur 8 illustrerar hela processen.



Figur 8 - Tillverkning av cement (Cementra, u.å).

2.5 Cementstabiliserad asfalt (CSA)

CSA kan kallas för ett semiflexibelt slitlager som kombinerar asfaltens elasticitet samt betongens bärighet och beständighet. Strukturen är extremt tät och kan därför användas där det finns höga krav på kemisk resistans. På grund av dess höga resistans mot spårbildning används den ofta vid platser där tunga fordon står stilla under en längre tid och accelererar, till exempel busshållplatser. CSA är ett typ av slitlager som är kostar mer än ett vanligt förekommande slitlager, exempelvis ABT. Däremot är CSA mer beständigt jämfört med en vanlig asfaltbeläggning (NCC, u.åa).

2.5.1 Asfaltmassa

Beläggningen ska ha en asfaltmassa med öppen gradering, vilket ger en hög hålrumshalt på ca 25–30 % med bindemedelshalt på ca 3,9%. Den ska alltid läggas med maskin och får inte vibrationspackas, utan den måste slätvältas. Tjockleken på beläggningen är normalt mellan 30–60 millimeter men tjockare kan förekomma vid speciella omständigheter. (NCC, u.åa).

2.5.2 Cementslamma

Den slamma som används vid tillverkning av CSA är olika beroende på vilket företag som lägger beläggningen. NCC Strongphalt pulvret består av kvartssand, ett specialcement med hög tryckhållfasthet, microsilica som smörjer, superplasticerare som smörjer och packar, kosistensgivare som minskar separation samt vatten (Nilsson, u.å.). Se figur 9.

Figur 9 - Cementslamman rinner ner i dränasfalten (ABD) (egen dokumentation).

2.5.3 Utläggning av cementslamma

När asfalten har svalnat så blandas slamma i form av torrbruk med vatten i en tvångsblandare. Innan cementslamma hälls ut måste tätning göras mot kantsten, brunnar och liknande för att blandningen ska hållas kvar i dränasfalten. Därefter hälls den ut över asfalten och med hjälp av gravitation fylls hålrummen i beläggningen, se figur 10. För att den slutfärdiga produkten skall få en jämn och fin yta så jämnas överflöd av slamma ut med hjälp av en gummiskrapa. Vid gynnsamma förhållanden är CSA trafikerbart efter ett dygn (NCC, u.åa).

Figur 10 - Cementslamman läggs ut (egen dokumentation).

2.5.4 Transport

För att skapa NCC Strongphalt krävs det att torrbruk och vatten blandas i en tvångsblandare. Det finns speciella lastbilar som har skapats specifikt för att detta ändamål, se figur 11. Produkten blandas alltid på plats och då krävs ett smart sätt att transportera bland annat tvångsblandare, material och slangar för att skapa en så effektiv läggning som möjligt.

Figur 11 - Transportmedlet för cementslamman är en lastbil (egen dokumentation).

2.6 Laboratory hålrum

Det förväntade resultatet bör visa att det laboratoriepackade provet har en hålrumshalt vilket liknar ett fältpackat prov. Det laboratoriepackade provet kommer förmodligen även ha en godkänd hålrumshalt mellan 25–30%.

2.6.1 Utrustning och materiel

Den utrusning och material vilket användes för att utföra denna laboration är listade i tabell 1.

Tabell 1 - Utrustning och materiel för laboration hålrum.

Utrustning			**Materiel**
Analysator	Sikttrummor	Termometer	Bitumen 70/100
Arbetsrecept	Siktmaskin	Utpressningsmaskin	Fibrer
Asfaltblandare	Skakbord med vakuum	Ventilation	Stenmaterial
Asfaltskopa	Skjutmått	Våg	
Marshallstamp	Skrapa	Värmeskåp	
Neddelare	Skyddsutrustning		
Provbehållare	Skålar		

2.6.2 Mängd för siktning

Vid framtagning av arbetsreceptet för stenmaterialen används siktning för att ta fram en representativ kornfördelning. Vid neddelning och siktning följs europastandarden SS-EN 933–1 för att få ett optimalt resultat inför framtagning av arbetsrecept, se tabell 2.

Tabell 2 - Riktvärden på stenmängd till siktmaskin enligt SS-EN 933–1.

Fraktion (mm)	Vikt (g)	Vikt andel (%)
Filler	100	2,8
0/2	500	14,0
2/5	400	11,1
4/8	600	16,7
8/11	800	22,2
11/16	1200	33,3

2.6.3 Hantering av bitumen

Alla skopor och plåtar vars funktion är att dela upp asfaltmassan täcktes med aluminiumfolie för att distribuera en jämn temperering, då varmluftsugnen kan värma ojämnt och riskera att bränna bindemedlet. När bitumen värms upp upprepade gånger eller blir varmare än 160°C tappar bindemedlet sin vidhäftande egenskap, det vill säga att den oxiderar. Därför är det viktigt att hålla en jämn och rätt temperatur.

2.6.4 Mängd till analysator och cykler

För att kontrollera kornkurvan före och efter asfaltblandning används en analysator. Analysatorn tvättar asfaltsmassan i olika cykler beroende stenstorlek för att separera bindemedlet från stenmaterialet, se tabell 3 och 4. I den trumma där asfaltmassan var finns endast stenmaterial kvar efter processen. Sedan siktas stenmaterialet återigen för att ta fram en kornkurva som jämförs med arbetsreceptet.

Tabell 3 - Mängd för analysator enligt SS-EN 12697–1:2012.

Största stenstorlek (millimeter)	**Vikt (gram)**
16	1500

Tabell 4 - Antal cykler för massort ABT 16 enligt SS-EN 12697–1:2012.

Massort	**Antal cykler**
ABT 16	5

2.6.5 Skrymdensitet

För att bestämma hålrummet i provkropparna behöver skrym- och kompaktdensitet räknas ut. Skrymdensitet är ett mått på densitet för ett poröst material, till exempel asfalt. På grund av att provkropparna har ett beräknat hålrum på mer än 15% behöver skrymdensitet tas fram enligt Skjutmåttsmetod D i SS-EN 12697–6:2012.

2.6.6 Kompaktdensitet

Kompaktdensitet är också ett mått på densitet för ett poröst material. Om skrym- och kompaktdensitet är lika stora är det inte något poröst material. Metod för att bestämma kompaktdensitet för asfaltprovkroppar går till på samma sätt oberoende sammansättning enligt SS-EN 12697-5 2019.

2.6.7 Beräkning av hålrum

Laboration

Med hjälp av skrym- och kompaktdensitet räknas hålrummet ut med *formel 1*.

$$Hålrum = \frac{kompaktdensitet - skrymdensitet}{kompaktdensitet} \quad (1)$$

Fält

Beräkning av hålrum i fältprover kan genomföras enligt *formel 1* ifall provet tas innan cementslamman läggs ut. I det fall cementslamman redan fyllt hålrummet används *formel 2*.

$$Hålrum = \frac{volym_{cemenslamma}}{volym_{asfalt}} \quad (2)$$

2.7 Laboratory tryckhållfasthet

Resultatet förväntas visa att tryckhållfastheten för de uppborrade provkropparna ej går att korrigera med hjälp av dagens betongstandard. Det vill säga att de varierande värdena för provkropparna med olika slankhetstal inte närmar sig samma värde för tryckhållfasthet efter korrigeringen.

2.7.1 Utrustning och material

Den utrusning och material vilket användes för att utföra denna laboration är listade i tabell 5.

Tabell 5 - Utrustning och materiel för laboration hålrum.

Utrustning		Materiel
Borrutrustning	Vattenslang	Vatten
Kniv		Provkroppar
Kompressor		
Skyddskläder		
Slipmaskin		
Såg		
Tryckpress		

2.7.2 Tryckhållfasthet

Tryckhållfasthet är den maximala tryckspänningen vilket ett material kan ta upp innan brott. Ett sprött brott sker då materialet går till brott innan det deformeras. Då ett materials brott sker sprött resulterar det i ett tydligt värde på hållfastheten, se diagram 1 (Heyden el. al. 2017).

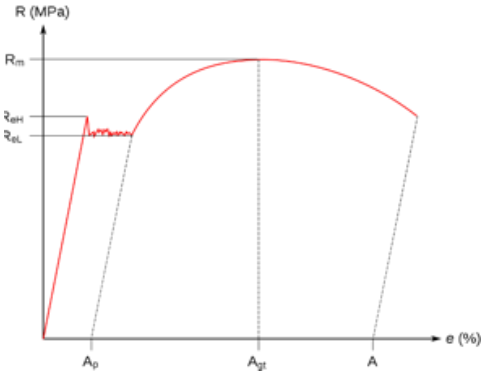


Diagram 1 - Graf över sprött brott (Nationalencyklopedin, 2020).

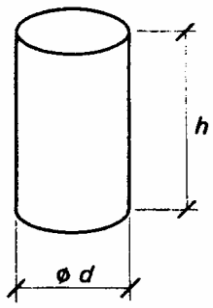
2.7.3 Prövning av tryckhållfasthet

För att testa tryckhållfasthet på CSA belastas en provkropp i en tryckpress tills det uppstår ett brott eller tills största värdet är uppnått. Provkroppen utsätts för ett ökande tryck. Vid den tidpunkten då brottet sker i provkroppen registreras det tryck provkroppen utsattes för precis innan brottet inträffade. Med hjälp av det registrerade värdet kan tryckhållfastheten för provkroppen beräknas. De provkroppar som undersöks ska vara kuber, cylindrar (figur 12) eller borrkärnor med krav enligt SS-EN 12350–1, SS-EN 12390–1, SS-EN 12390–2 eller SS-EN 12504–1. Provkropparna ska vid behov justeras till parallella tryckytor enligt SS-EN 12390–1.

Pålastningen sker genom en konstant belastning inom intervallet 0,6 $\pm$ 0,2 Mpa/s enligt SS-EN 12390–3:2009. Pålastningen för de olika provkropparnas diametrar anpassas enligt formel 3.

$$Pålastning = 600 \cdot r^2 \cdot \pi \; kN \qquad (3)$$

r	Radie för provkroppen.
π	Talet pi.



Figur 12 – Cylinder (SS-EN 13720 7 2005)

2.7.4 Beräkning av tryckhållfasthet

Den allmänna beräkningsformeln för tryckhållfasthet beskrivs enligt formel 4. Denna gäller då slankhetstalet är lika med ett.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \qquad (4)$$

f_c	tryckhållfasthet i MPa (N/mm^2)
F	är den maximala lasten vid brott i N
A_c	är den tvärsnittsarea hos provkroppen som tryckkraften verkar på, beräknad antigen från den avsedda storleken på provkroppen (SS-EN 12390–1) eller från uppmätning av provkroppen enligt bilaga B i SS-EN 12390–1 i mm^2.

2.7.5 Korrektionsfaktor för tryckhållfasthet

För att det ska vara möjligt att jämföra olika provkroppar med varierande tvärsnittarea används en korrektionsfaktor. Det vill säga om $d \neq 100\ mm$ och $h \neq 100\ mm$, tillämpas formel 5 (SS-EN 13720–7:2005).

$$f_3 = \frac{f_{obs\,3}}{\beta_3 \cdot \beta_4} \qquad (5)$$

f_3	Tryckhållfasthet
$f_{obs\,3}$	Den uppmätta tryckhållfastheten
β_3	Omräkningsfaktor avseende provkroppens slankhet enligt diagram 1.
β_4	Omräkningsfaktor avseende provkroppens storlek enligt diagram 2.

Omräkningsfaktorerna β_3 och β_4 anpassas enligt diagram 2 och diagram 3.

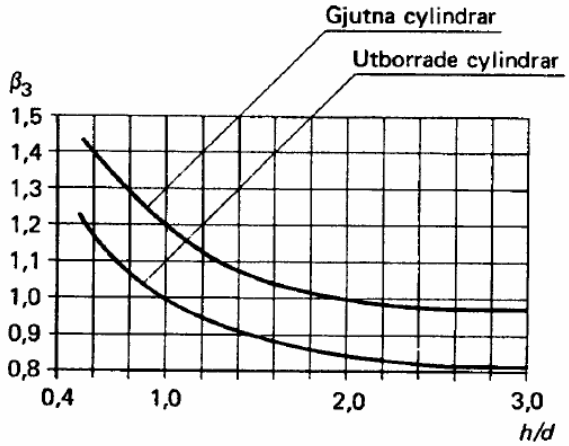


Diagram 2 - Val av omräkningsfaktor avseende provkroppens slankhet (SS-EN 13720–7:2005).

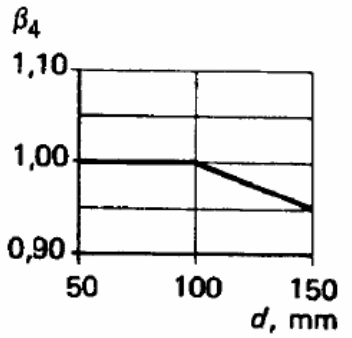


Diagram 3 - Val av omräkningsfaktor avseende provkroppens storlek (SS-EN 13720–7:2005).

2.7.6 Minstakvadratmetoden

För att bestämma korrelationen mellan tryckhållfastheten och slankhetstalet används minstakvadratmetoden. Metoden mäter avståndet mellan punkter och regressionslinjen för en regressionsanalys (Ruhe & Sunberg, u.å). Korrelationen mellan punkterna och regressionslinjen blir ett mått över spridningen. Korrelationen varierar mellan 0 och 1, där ett 0-värde betyder att det inte existerar ett samband, okorrelerade, och ett 1-värde att där är ett starkt samband, korrelerade. Korrelationsvärdet betecknas med R^2 (Björn el. al. u.å).

3 Metod

I metoden beskrivs de moment som genomfördes under examensarbetet.

3.1 Laboratory hålrum

Stegen nedan beskriver i ordning hur laborationen genomfördes.

3.1.1 Neddelning och siktning

Stenmaterial i olika fraktioner samlas in i lämpliga mängder för att sedan ta reda på kornfördelningskurvan för de olika fraktionerna. För att ta reda på kornfördelningskurvan av stenmaterialet används neddelaren för att få en representativ fördelning av stenmaterialet. Med hjälp av neddelaren halveras materialet tills önskad vikt uppnås, se figur 13.

Figur 13 - Neddelning av stenmaterial (egen dokumentation).

Vid framtagning av stenmaterial till siktning används riktlinjer för hur mycket olika stenfraktioner bör väga. Detta för att få fram en representativ kornfördelning av stenmaterialet. Det neddelade stenmaterialet siktas sedan med hjälp av sikttrummor och vibrationer för att dela in stenmaterialet i fraktioner. Fraktionerna vägs sedan enskilt och en korn-fördelningskurva ritas, se figur 14.

Figur 14 - Oscillerande sikttrummor (egen dokumentation).

3.1.2 Anpassa material mot kontrollpunkterna.

När kornfördelningskurvorna för de olika kornfraktionerna är klara så går det att anpassa materialet mot kontrollpunkterna, se tabell 6. Andelar av de olika stenmaterialen laborerades till rätt mängd för arbetsreceptet.

Tabell 6 - Kontrollpunkter för arbetsrecept.

Kontrollpunkter (mm)	Passerad vikt (%)
0,063	4
0,5	5
2	5
4	6
8	10
11,2	40
16	95

3.1.3 Materialförberedelser

Stenmaterialet och bindemedlet värmdes upp till 150 °C innan blandning av asfaltmassa i ett värmeskåp. Den totala mängden material som användes mättes upp till 15 kg med en bitumenhalt på 3,9 %. För kontroll av kornfördelning används två stora skopor och fem mindre skopor används för provkroppar inför marshallinstampning samt två plåtar för densitetsprövning. Även skopor, formar och plåtar värmdes upp en dag innan utförande av blandning och provtagning.

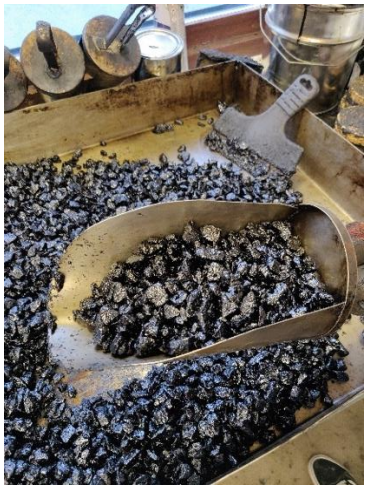
Figur 15 - Bitumen tappas upp i en burk (egen dokumentation).

3.1.4 Blandning och provtagning

Efter att allt material och redskap värmts upp enligt angivelse blandas stenmaterial med bindemedel i en blandare för att skapa asfaltmassan, se figur 16. Blandaren startas en timme innan användning för att få upp temperaturen då materialet ej ska kylas ner. Blandbladen sätts i rörelse och stenmaterialet hälls i, därefter fylls det på med filler, fibrer och slutligen bitumen. Efter cirka 50 sekunder av blandning kontrolleras det att bindemedlet täcker allt torrmaterial och asfaltmassan är homogen. Då förs asfaltmassan in i värmeskåpet igen innan provtagningen börjar.

Figur 16 – Asfaltsblandare (egen dokumentation).

När asfaltmassan värmts upp i värmeskåpet påbörjades provtagningen. De två stora skoporna fylldes upp med 1 500 g asfaltmassa och sattes sedan i rumstemperatur för att svalna, se figur 17. De fem mindre skoporna fylldes med 1 200 g asfaltmassa och fördes sedan in i värmeskåpet igen. De två plåtarna fylldes med ett utbrett lager asfaltmassa på 1 500 g. Alla skopor och plåtar täcktes med aluminiumfolie.



Figur 17 - En av de stora skoporna fylld med asfaltmassa (egen dokumentation).

Skoporna med asfaltmassa för marshallinstampningen togs ut en och en för att fylla provkroppsformarna och stampas med 50 slag på var sida. Sedan fick proverna kylas ner i rumstemperatur tills formarna nått 40 °C. Således trycktes provkropparna ur formarna och fick därefter svalna utan formar.

3.1.5 Kompakt- och skrymdensitetsprövning

När plåtarna svalnat av delas asfaltmassan upp i separata stenbitar och ej i klumpar för att sedan hällas upp i en glasbägare. Vikten noteras innan destillerat vatten fyller upp resterande volym i bägaren. Därefter får bägaren ett lock med ett vakuumsug och placeras på ett skakbord. All luft försvinner därmed ur bägaren och den fylls återigen upp med destillerat vatten. Därefter noteras vikten återigen.

Provkropparna markerades med fyra separerade punkter fördelade med 90 °C, se figur 19, för att bredd och diameter ska mätas, se figur 18. Det finns även tre olika mätpunkter på höjden av provkroppen, det vill säga botten, mitten och toppen. Sammanlagt görs tio olika mätningar på en provkropp för att få fram en skrymdensitet, fyra tjocklekar och sex bredder.

Figur 19 - Fördelning av markerade punkter (egen dokumentation).

Figur 18 – Skjutmåttsmetoden (egen dokumentation).

3.1.6 Kornfördelning

Asfaltmassan i de två större skoparna hälldes i två cylindrar och vikten noterades, se figur 21. Sedan placerades cylindrarna i en analysator som med hjälp av metylenklorid avlägsnar bindemedlet i asfaltmassan och rent stenmaterial utvinns ur analysatorn, se figur 20. Siktningsprocessen i 3.1.1 upprepas sedan för att kornfördelningen i stenmaterialet ska erhållas.

Figur 21 - Cylindrar som fångar upp stenmaterial och filler i Analysatorn (egen dokumentation).

Figur 20 – Analysator (egen dokumentation).

3.2 Fältprov

En yta valdes ut på 40 m^2 med tre täta sidor. Ytan sopades och tvättades för att uppnå maximal fästning av bitumenemulsion. En klistermoped sprejar ut bitumenemulsion för att asfaltbeläggningen ska integrera bättre med underlaget. Sedan lades dränasfalten ut genom maskinläggning och packades genom slätvältning. För att täta den öppna sidan så lades en ABT 11 som en stödkant, se figur 22. Efter ett dygn kunde cementslamman appliceras i asfaltbeläggningen. Innan applicering tätades ABT 11 en extra gång ovanpå, i form av tejp och skumgummi.

Figur 22 - Tätning av kant med hjälp av ABT 11 och skumgummi (egen dokumentation).

3.3 Laboratory tryckhållfasthet

Efter minst 28 dagars härdning borras 20 provkroppar upp från en anlagd cementstabiliserad yta. Dessa provkroppar slipas sedan jämna för att tryckhållfastheten skall kunna prövas.

3.3.1 Borrning

En borrmaskin fäst fast i en ställning som sitter fast i marken med hjälp av ett vakuum som kompressorn skapar. Vatten flödar genom borren på grund av att den inte skall överhettas och för att den inte ska fastna i asfalten. Borren startas sedan och vevas ner försiktigt i marken för att provkroppen inte ska gå sönder, enligt figur 23. Efter cirka 60 mm vevas borren upp och provkroppen lirkas ut. För att få en representativ spridning valdes borrpunkter ut på olika ställen.

Figur 23 - Borrning av CSA (egen dokumentation).

3.3.2 Sågning

För att provkropparna ska kunna tryckhållfasthet testas krävs det att proverna är parallella och har jämna ytor. Därför används en såg för att korrigera tjockleken. Figur 24 visar hur sågen korrigerar provkroppens yta.

Figur 24 - Sågen som korrigerar provkropparna (egen dokumentation).

3.3.3 Slipning

Den grova yta som bildas på provkroppen efter sågningen slippas sedan ner för att trycket ska fördelas jämnt över hela provkroppens yta. Figur 25 visar hur slipmaskinen jämnar ut ytorna.

Figur 25 - Slipmaskinen som jämnar till de platta ytorna (egen dokumentation).

3.3.4 Prövning av tryckhållfasthet

När provkropparna är preparerade trycks de i en automatiserad maskin. Provkropparna placeras vinkelrätt mot gjutriktningen och centreras i förhållande till den undre tryckplattan. Maskinen känner av i den exakta stunden provkroppen når brott och registrerar trycket. Figur 26 visar den maskin som testar tryckhållfastheten, provkroppen placeras bakom skydds-glaset.

Figur 26 - Tryckhållfasthets testutrustning (egen dokumentation).

4 Resultat

Redovisning av resultatet för rapporten.

4.1 Hålrum

Hålrummet bestämdes på provkroppar som tillverkat i laboratorium med hjälp av formel 1 och hålrum på utlagd CSA i fält beräknades med formel 2.

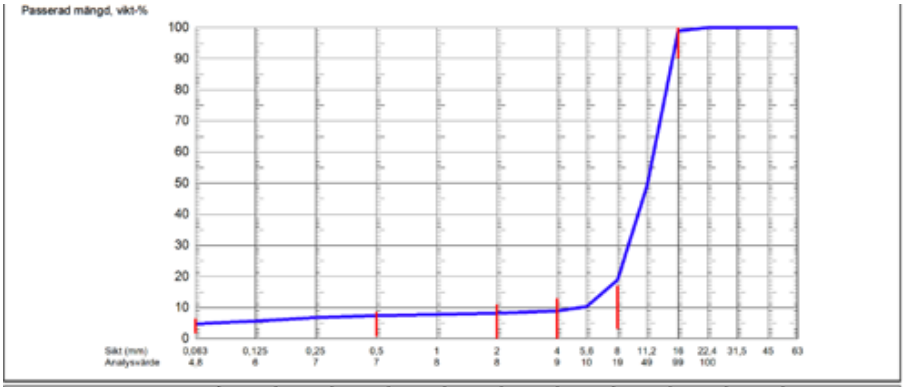
4.1.1 Laboration

Genom mätning av skrymdensitet och kompaktdensitet på laboratoriepackade prover blev medelvärdet för hålrummet för provkropparna 26,1 %, vilket stämmer överens med riktvärdet på arbetsreceptet för NCC Strongphalt, se tabell 7.

Tabell 7- Resultat från laboration hålrum.

Provkropp	**Skrymdensitet (kg/m^3)**	**Kompaktdensitet (kg/m^3)**	**Hålrum (%)**
1	1,868	2,485	24,8
2	1,860	2,485	25,2
3	1,819	2,485	26,8
4	1,821	2,485	26,7
5	1,809	2,485	27,2
Medelvärde	1,835	2,485	26,1
Standardavvikelse	0,027	0	1,067

I diagram 4 beskriver den blå linjen kornfördelningen för asfaltmassan skapad i laborationsmiljö. De röda linjerna representerar intervallen från arbetsreceptet. Andelen stenmaterial mellan 5,6 mm och 8 mm är högre än intervallet.



Sikt (mm)	0,063	0,5	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	Bindem.halt
Arbetsrecept S1002757 - 1	4,0	5	5	6		10		95			3,9
Analysvärde	4,8	7	8	9		19		99			3,5
Avvikelse	0,8	2	3	3		* 9*		4			-0,4

Diagram 4 – Kornfördelning från laborationsmassan i förhållande till arbetsreceptet.

4.1.2 Fält

Med hjälp av mängden asfalt och cementslamma beräknades hålrummet för den utlagda asfaltmassan i fält. Hålrummet beräknades till 37,7 %, vilket är över riktvärdena. Beräknas enligt formel 2.

$$Hålrum = \frac{Cementslammans\ volym}{Asfaltens\ volym} = \frac{904{,}1\ m^3}{2400{,}0\ m^3} = 37{,}7\%$$

4.2 Tryckhållfasthet

I tabell 8 visas resultaten från laboration tryckhållfasthet. Höjden skiljer sig från tänkt tjocklek då provkropparna slipats plana för att kunna tryckhållfasthets testas. Det har påverkat resultatet då medelvärdet skiljer sig från det tänkta slankhetstalet med en standardavvikelse på cirka 0,06. Slankhetstalet för de fyra olika provtyperna skulle ha riktvärdena 0.6, 0.8, 1.0 samt 1.2 vilket skiljer sig i verkligheten. Hastigheten vid tryck är anpassade enligt formel 3 och beror på provkropparnas diameter. Brottgränsen är högre än förväntat.

Tabell 8 - Resultatet från laboration tryckhållfasthet.

Provkropp	**Diameter (mm)**	**Höjd (mm)**	**Hastighet vid tryck (kN/s)**	**Brottgräns (kN)**	**Slankhetstal**
50–1	50	52	1,2	31,1	1,04
50–2	50	59,5	1,2	24,8	1,19
50–3	50	55	1,2	23,2	1,10
50–4	50	57	1,2	21,7	1,14
50–5	50	58	1,2	30,4	1,16
60–1	60	57	1,7	51,5	0,95
60–2	60	58	1,7	41,3	0,97
60–3	60	54,5	1,7	49	0,91
60–4	60	56,5	1,7	44,1	0,94
60–5	60	54	1,7	44,1	0,90
75–1	75	55	2,7	75,8	0,73
75–2	75	55	2,7	105,3	0,73
75–3	75	56	2,7	81,8	0,75
75–4	75	60	2,7	74,8	0,80
75–5	75	60	2,7	76	0,80
100–1	100	54	4,7	162,8	0,54
100–2	100	59	4,7	155,2	0,59
100–3	100	57	4,7	168,7	0,57
100–4	100	51	4,7	158,7	0,51
100–5	100	57	4,7	169,3	0,57

Korrelationen mellan de observerade värdena ger $R^2 = 0{,}73$. Diagram 5 visar hur den observerade tryckhållfastheten mellan provkropparna förhåller sig till slankhetstalet.

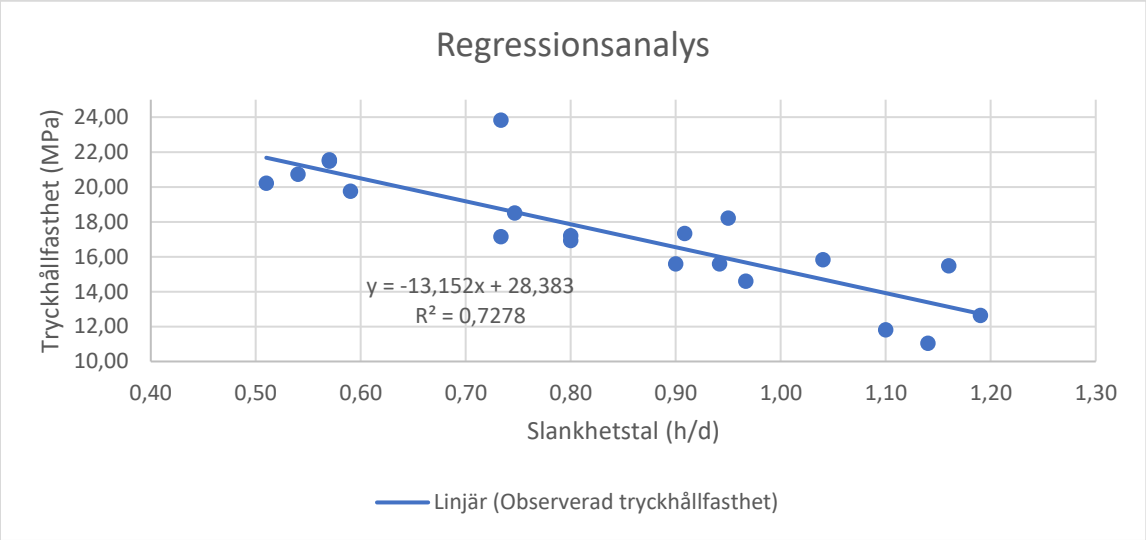


Diagram 5 - Trendlinje för hur tryckhållfastheten förhåller sig till slankhetstalet

Ett riktvärde på tryckhållfasthet för slankhetstal 1 beräknades med hjälp av de 5 provkroppar vars slankhetstal var närmst 1 med en variation på ±0,1 i slankhetstal. Medelvärdet blev 16,2 MPa och representerar det tryckhållfasthetvärde alla korrigerade prover bör närma sig efter korrigering enligt standarden och diagram 2 (enligt litteraturstudien). I diagram 6 finns en blå trendlinje som visar tryckhållfastheten för korrigerade provkroppar med dagens standard. Den orangea trendlinjen visar medlet 16,2 MPa och är horisontell. Den blå trendlinjen har tydlig lutning enligt R^2-värdet.

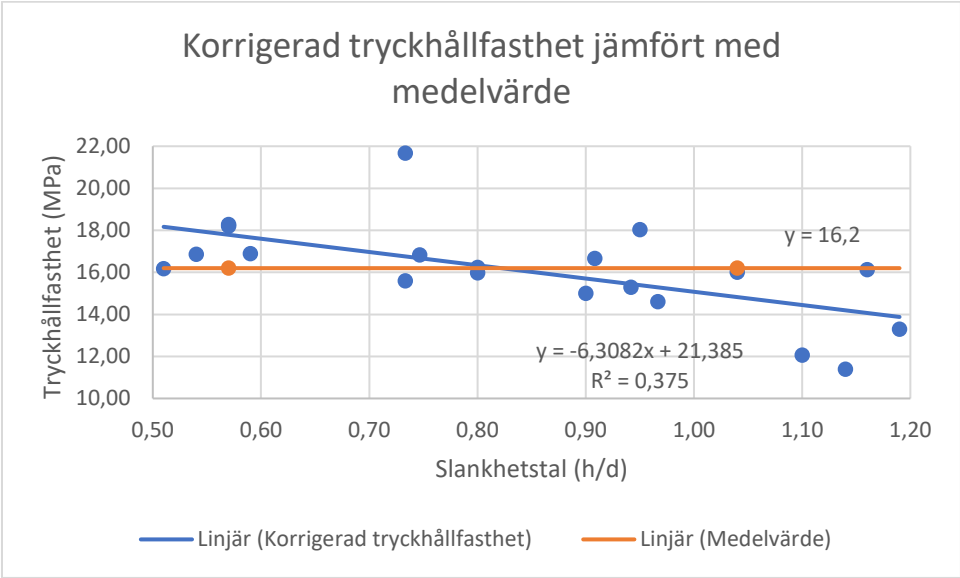


Diagram 6 – Tryckhållfasthet korrigerad med dagens standard i jämförelse med förväntat värde.

5 Diskussion

5.1 Resultatdiskussion

Hålrummet på den laboratoriepackade provkroppen blev väldigt likt det förväntade värdet. Vilket tyder på att det går att laborationspacka asfalten i en CSA. Fältprovet fick en väldigt hög hålrumshalt vilket indikerar på att laborationsmiljön är lättare att kontrollera. Tryckhållfasthetstestet visade på att den slutgiltiga produkten har en högre hållfasthet än vad en Strongphalt vanligtvis har. Detta beror troligen på att hålrummet i dränasfalten blev för högt vilket innebär att mer hålrum behöver fyllas ut och således används mer cementslamma. Detta ger en produkt som liknar betong mer än asfalt, vilket ökar betongens egenskaper och minskar asfaltens. Det vill säga att tryckhållfastheten ökar och en styvare produkt skapas. Detta påverkar dock inte resultatet på korrelationen då alla provkroppar består av samma massa och en jämn förflyttning sker.

Vid tryckhållfasthetstest användes 20 provkropparna med fyra olika diameter. För att få ett mer exakt resultat på tryckhållfasthet hade mer provkroppar kunnat användas men det hade troligtvis inte spelat så stor roll. Det handlar mer om att uppskatta konfidensintervallet till det observerade värdet, medelvärdet och spridningsmåttet.

I resultatet uppkom värden som kan anses vara extrema vilket innebär att värdet skiljer sig drastiskt från mängden. Extremvärden går därför att argumentera bort för ett mer representativt resultat.

En ny korrektionsfaktor för CSA baseras på en tryckhållfasthet på 16,2 MPa vid slankhetstal 1. En omräkningsfaktor för varierande slankhetstal bestäms därför med hjälp av 16.2 MPa genom att den uppmätta tryckhållfastheten divideras med 16,2 MPa. I diagram 7 finns både korrektionsfaktorn för betongstandard och ett förslag på en trolig korrektionsfaktorn baserat på den här studien för cementstabiliserad asfalt. Slankhetsintervallet för CSA proverna är mellan 0,6 och 1,2 eftersom användningsområdet är ca 60 mm i tjocklek och har därför inte testats för högre slankhetstal, det vill säga tjockare prover. Om ett högre slankhetstal hade använts skulle diametern bli mindre än 50 mm.

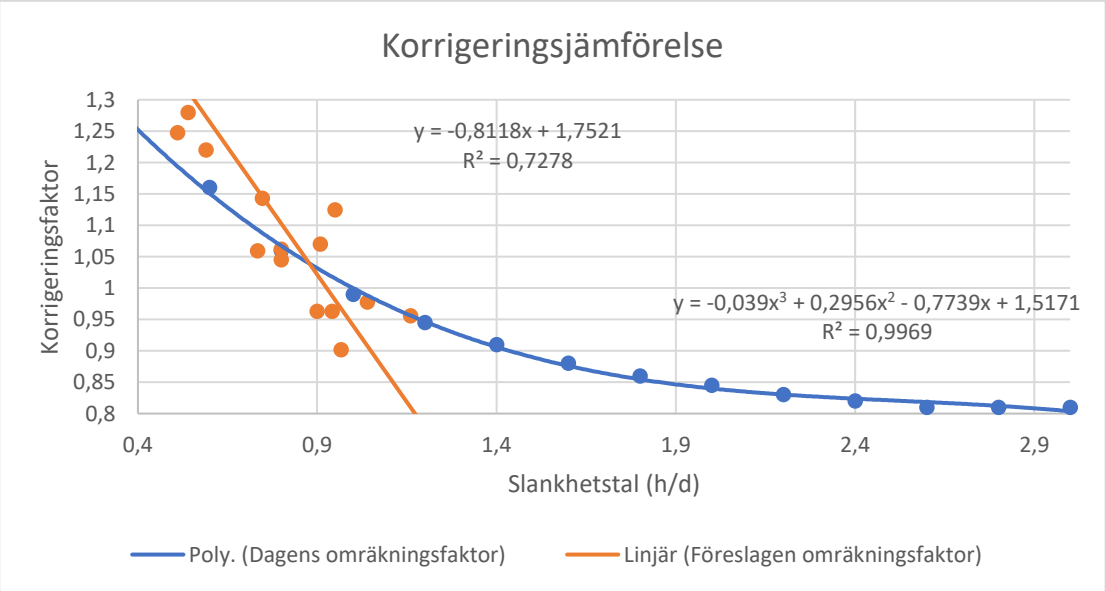


Diagram 7 - Dagens betongstandard i jämförelse med vår korrektionsfaktor.

5.2 Metoddiskussion

Under både laboration och fältutläggning observerades en del felkällor som på olika sätt skulle kunna påverka resultatet.

5.2.1 Hålrum

Efterliknandet av kornfördelningskurvan i arbetsreceptet skiljer sig från utgångsreceptet. Det beror på att receptet proportioneras med bergtäktens material och anpassar arbetsreceptet med verkligheten. Resultatet blev godkänt förutom att andel stenmaterial 8 mm var något högt jämfört med arbetsreceptet. Detta kan ge en tätare asfalt än vad som förväntas. Material som fastnar i trumman försummas då vi antar att material från föregående omgångar lossnar och att inverkan blir obefintlig på resultatet.

Under blandningsmomentet av asfaltmassan i laborationen öppnades bottenluckan av trumman oavsiktligt. Detta observerades direkt och kunde snabbt föras tillbaka i trumman. Visuellt såg det ut som att allt torrmaterial var täckt med bindemedel. En konsekvens av detta misstag är att asfalten kyldes ner en kort stund, inte tillräckligt för att sänka temperaturen på massan då det handlade om ett fåtal sekunder innan all massa var i trumman återigen. Då allt stenmaterial uppskattningsvis var täckt med bindemedel anses ingen filler eller små fraktioner ha försvunnit.

5.2.2 Fältprov

Massan som användes i denna rapport var troligtvis inte helt homogen vilket går att se på hålrumshalten och tryckhållfastheten. En trolig orsak till detta är att bindemedlet har oxiderat vid tillverkningen. Detta beror troligtvis på att asfaltverket är gjort för att skapa större mängder asfalt än vad som behövdes för provytan, vilket kan ge en inhomogen massa på grund av för hög tillverkningstemperatur.

Det höga hålrummet ledde antagligen till att borrförsök även misslyckades. Försök att borra upp provkroppar från dränasfalten misslyckades efter flera försök. Det utfördes genom att borra vanligt, borra efter nedkylning med hjälp av kolsyra och även genom att frysa hålrummet med hjälp av både vatten och kolsyra. Hålrummet var så pass högt att stenarna föll isär istället för att hålla ihop under och efter borrning.

Mätning av arean genomfördes med hjälp av ett mäthjul för att mäta längden på ytans sidor. Det kan påverka noggrannheten på mätningen då det inte mäter exakt och beror på hur lång sträckan är. Mäthjulet mäter även endast i meter med en decimal vilket minskar precisionen i resultatet.

5.2.3 Provtagning

Beläggningen har en tjocklek på 60 mm och när provkropparna borrades upp var snittet runt 60 mm. Men för att kunna testa tryckhållfasthet på cylindrarna så behöver toppen och botten på provkroppen vara planparallell. Denna innebär att tjockleken minskar på grund av att provkroppen behöver både sågas och slipas. Detta skapade ett intervall där provkropparnas tjocklek låg mellan 52–60 mm. Vilket kanske skapar ett behov av en korrektionsfaktor eftersom slankheten tycks ha en inverkan på resultatet enligt den här studien.

Vissa provkroppar som borrades upp blev aningen skeva och detta kan påverka tryckhållfasthetstestet på produkten då kraften som pressar ihop provkroppen inte blir helt rak. Skevheten kan till exempel bero på att de borrades upp för snabbt, vakuumet som håller borrställningen på plats sög inte fast hårt nog, marken som ställningen stod på kan ha varit ojämn eller att vissa borrar var slitna.

En borr hade diameter 75 mm men skapade provkroppar som hade en diameter på 73 mm. Detta kan bero på att borren var sliten och hade använts många gånger innan. Detta kan skapa felberäkningar i resultatet och kan ge ett missvisande slutresultat för alla prover som var 75 mm, då diametern används för att ta fram slankhetstalet. Detta uppmärksammades då slankhetstalet togs fram men gör dock att det kan vara svårt att uppnå exakt slankhet 1.

Vid framtagning av en ny omräkningsfaktor för CSA fanns ej värdet 1/1. Det närmsta blev 0,95/1 vilket vi anser är nära nog utifrån våra förutsättningar. Detta kan bero på att både diameter och höjd inte blev exakta efter slipning. Det kan även bero på att de medelvärde som togs fram för att representera 1/1 värdet inte är exakt.

5.2.4 Korrektionsfaktor

Vid användning av dagens standard, β_3, bestäms korrigeringen av slankhetstalet med hjälp av ett diagram (diagram 2) okulärt. Bestämningen av korrektionsfaktorn blir därför inte objektiv då den mänskliga faktorn spelar in vid avläsningen av diagrammet.

En trendlinje skapades av kontrollpunkter, se diagram 8, från korrektionsfaktorn (diagram 2) för att låta polynomfunktionen bestämma korrigeringen av slankhetstalet istället för en avläsning av diagrammet. Polynomfunktionen är ett tredjegradspolynom då noggrannheten i beräkningen inte krävde större exakthet än ett tredjegradspolynom, med ett R^2 värde på 0,9969.

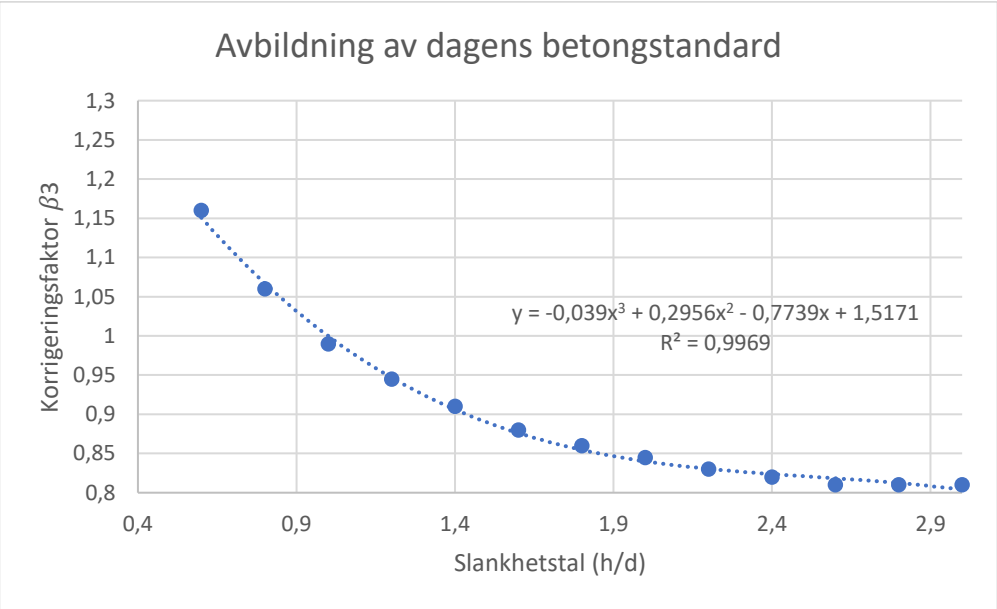


Diagram 8 - Trendlinje mellan kontrollpunkter för korrektionsfaktor β_3.

I diagram 9 visas differensen i uträkningen av korrigerad tryckhållfasthet mellan okulär bestämning och bestämning genom polynomet av korrigeringsfaktor. Differensen tyder på att avläsning med låg noggrannhet med enkelhet förekommer. Skillnaden mellan de okulärt bestämda värdena och de uträknade med hjälp av polynomet visas i tabell 9. Korrektionsfaktorn β_3 i Diagram 2 avser bara ett slankhetsintervall mellan ~0,55 <x <3,0 vilket medför att β_3 för de värde utanför intervallet extrapoleras. Provkropp 100–1 och 100–4 har ett slankhetstal utanför intervallet och har därför extrapolerats.

Tabell 9 - Skillnaden mellan okulär- och polynombestämning av β_3. Okulärbestämningen är avsläst från diagram 2 och polynombestämningen är uträknad med slankhetstalet i funktionen.

Prov	Okulärbestämning av β_3	Polynombestämning av β_3	Differens av resultat (MPa)
50–1	0,99	0,99	-0,03
50–2	0,95	0,95	-0,01
50–3	0,98	0,97	-0,10
50–4	0,97	0,96	-0,10
50–5	0,96	0,96	-0,06
60–1	1,01	1,02	0,09
60–2	1	1,01	0,14
60–3	1,04	1,03	-0,18
60–4	1,02	1,02	-0,03
60–5	1,04	1,03	-0,12
75–1	1,1	1,09	-0,10
75–2	1,1	1,09	-0,14
75–3	1,1	1,09	-0,19
75–4	1,06	1,07	0,11
75–5	1,06	1,07	0,11
100–1	1,23	1,18	-0,73
100–2	1,17	1,16	-0,21
100–3	1,18	1,16	-0,24
100–4	1,25	1,19	-0,76
100–5	1,18	1,16	-0,24

Spridningen i diagram 7 visar differensen i MPa och hur de skiljer sig från önskad spridning, vilket är 0. De två provkroppar vars differens har störst avvikelse är de med ett slankhetstal utanför korrektion faktorns intervall (Provkropp 100–1 och 100–4 i tabell 9). Alltså går det att ifrågasätta riktigheten att extrapolera värden om differensen endast är stor för dessa.

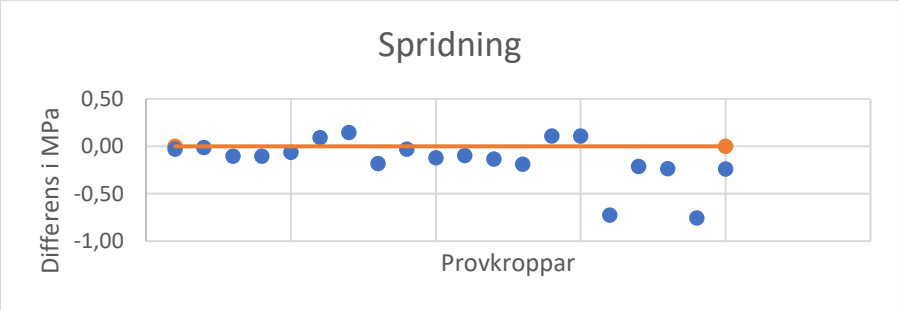


Diagram 9 - Differensens spridning.

6 Slutsats

Denna studie visar på att ett optimalt hålrum mellan 25 - 30% går att uppnå i laboratorie-packade prover för dränasfalt. Vidare har studien kommit fram till att korrektions-faktorn i dagens betongstandard behöver undersökas mer med tanke på resultatet.

6.1 Framtida utvecklingsmöjligheter

Det är sannolikt att försöka ta fram en egen korrektionsfaktor för CSA baserat på resultatet i det här arbetet. Den skulle behöva göras mer utförligt med fler provkroppar för att bli så exakt som möjligt.

Källförteckning

Agardh, S & Parhamifar, E. (2014). Vägbyggnad. Stockholm: Liber AB

Asfaltskolan. (u.å.). Asfaltteknik. [Elektronisk resurs]. Hämtad 2020-03-26

Asfaltboken. (u.å.). Proportionering. [Elektronisk resurs]: Hämtad 2020-04-15

Asfaltboken. (u.å.). Tillverkning. [Elektronisk resurs]: Hämtad 2020-05-06

Bader, W. Shirzad, N. (2014). Cementstabiliserad asfalt på busshållplatser - Förändring av skador på cementstabiliserad asfalt på busshållplatser. Examensarbete, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Björn, L, O. Sjörs, H. Sundberg, R. & Sundquist, B. (u.å). Nationalencyklopedin. Korrelation. Hämtad 2020-05-06

Burström, P. G. (2007). Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper (andra upplagan). Danmark: Narayana Press.

Cementra. (u.å). Tillverkning av cement. [Bild].

Collop A.C. & Elliott. R.C. (1999). Assessing the mechanical performance of densiphalt. Leeds.

Fagerlund, G. (1999). Cement och andra oorganiska bindemedel.

Heyden, S. Dahlblom, O. Olsson, A & Sandberg, G. (2017). Introduktion till strukturmekaniken. (upplaga 5). Lund: Studentlitteratur AB.

Hunter, R., Self, A., & Read, J. (2015). The Shell Bitumen Handbook (upplaga 6). London: ICE publishing.

Luby, M. (2015). Provning av Cement Stabiliserad Asfalt – CSA.

Nationalencyklopedin. (u.å). Tryckhållfasthet. Hämtad 2020-03-26

NCC. (u.åa). Cementstabiliserad asfalt NCC Strongphalt [Broschyr].

NCC. (u.åb). Om koncernen. Hämtad 2020-02-05

Nilsson, J. (u.å.). NCC Strongphalt – En kombination av asfalt och betong [PowerPoint-presentation].

Oliveira, R.M.J., Thom, N., & Zoorob, S.S. (2006). Fracture and Fatigue Strength of Grouted Macadams.

Ruhe, A. & Sunberg, A. (u.å). Nationalencyklopedin. Minstakvadratmetoden. Hämtad 2020-05-06

Sandal, O. (2005). Asfaltboken [Elektronisk resurs] (andra upplagan).

Trafikverket. (2012). TRVK Väg 2012.

Wallin, T. (2008). Asfaltboken [Elektronisk resurs] (andra upplagan).

Svensk standard

Swedish standards institute. (2005). Betongprovning – Hårdnad betong – Tryckhållfasthet – Omräkningsfaktorer (SS-EN 13720–7:2005).

Swedish standards institute. (2012). Vägmaterial - Asfaltmassor - Provningsmetoder för varmblandad asfalt - Del 6: Bestämning av skrymdensitet hos asfaltprovkroppar. (SS-EN 12697–6:2012).

Swedish standards institute. (2012). Ballast - Geometriska egenskaper - Del 1: Bestämning av kornstorleksfördelning – Siktning. (SS-EN 933–1:2012)

Swedish standards institute. (2012). Vägmaterial - Asfaltmassor - Provningsmetoder för varmblandad asfalt - Del 1: Löslig bindemedelshalt. (SS-EN 12697–1:2012).

Swedish standard institute. (2019). Vägmaterial – Asfaltmassor – Provtagningsmetoder – Del 5: Bestämning av kompaktdensitet. (SS-EN 12697–5:2019).

Appendix

Laboration hålrum

Bilaga 1 - I denna bilaga redovisas kornfördelningen för den skapade asfaltsmassan i jämförelse med arbetsreceptet.

NCC

SWEDAC ACKREDITERING
Ackred. nr. 1523
Provning
ISO/IEC 17025

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

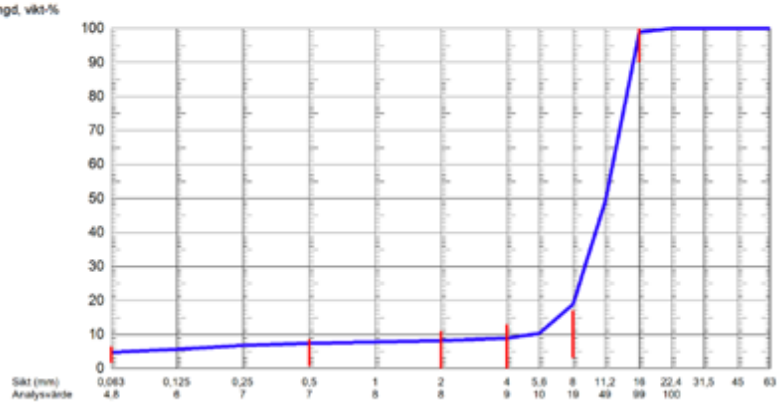
Provnr **2200193**

TILLVERKNINGSKONTROLL Beläggningsmassa — Sidan 1 av 1

Beställare	Provtagningsdatum **2020-03-18** Ankomstdatum **2020-03-18**	Analys start **2020-03-18** Analys slut
Produkt **Strongphalt 16 - 70/100** Leverantör **NCC Industry AB, Tillverkning - S. Sandby** Entreprenör Objekt **Testkörning**	Referens nr Provtagningsplats Provtagare **Emil och Oscar** Märkning	Id-nummer **Test**

Kornstorleksfördelning SS-EN12697-2

Passerad mängd, vikt-%



Sikt (mm)	0,063	0,5	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	Bindem.halt
Arbetsrecept S1002757 - 1	4,0	5	5	6		10		95			3,9
Analysvärde	4,8	7	8	9		19		99			3,5
Avvikelse	0,8	2	3	3		* 9*		4			-0,4

Provresultat	Värde	Recept
SS-EN 12697-1, Löslig bindemedelshalt (%)	3,5	3,9

Notering

Ort och datum
SÖDRA SANDBY 2020-03-18

Mats Andersson, Stf. Teknisk ledare
Digital signatur

Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommit prov.
(EA) = Ej ackrediterad metod. (E) = Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.
Kundbilaga Mätosäkerhet finns på http://www.ncc.se/produkter-och-tjanster/vaglaboratorier/

NCC Industry AB **Centrallaboratoriet** **Hardeberga 171** **247 91 S. SANDBY**	Besöksadress Styrelsens säte **SOLNA**	Telefon nr Telefax nr	Org.nr **556302-3307** VAT nr	E-post Internet adress **www.ncc.se**

Bilaga 2 - I denna bilaga redovisas kompaktdensitet, skrymdensitet och hålrumshalt för den laboratoriepackade provkroppen.

NCC

Kopia av rapport (2020-03-18)

SWEDAC ACKREDITERING
Ackred. nr. 1523
Provning
ISO/IEC 17025

RAPPORT (Kopia)
utfärdat av ackrediterat provningslaboratorium
TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory

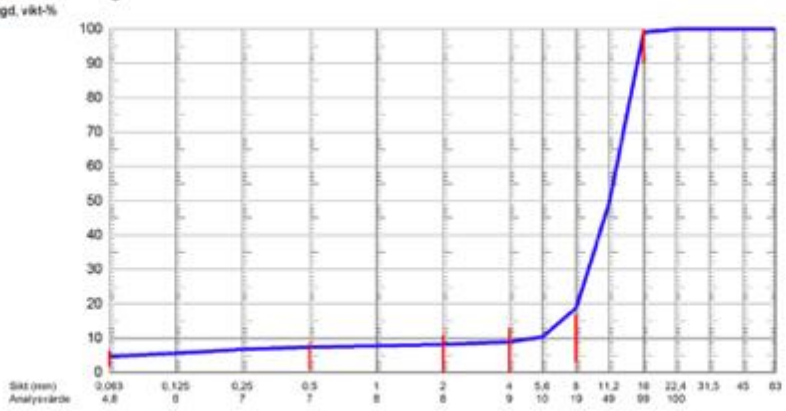
Provnr **2200193**

ANALYS Beläggningsmassa — Sidan 1 av 1

Beställare	Provtagningsdatum 2020-03-18 Ankomstdatum 2020-03-18	Analys start 2020-03-18 Analys slut 2020-03-19
Produkt Strongphalt 16 - 70/100 Leverantör NCC Industry AB, Tillverkning - S. Sandby Entreprenör	Referens nr Provtagningsplats Provtagare Emil och Oskar Märkning	Id-nummer Test
Objekt Testkörning		

Kornstorleksfördelning SS-EN12697-2

Passerad mängd, vikt-%



Sikt (mm)	0,063	0,5	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	Bindem.halt
Arbetsrecept S1002757 - 1											3,9
Analysvärde											3,5
Avvikelse											-0,4

Provresultat	Värde	Recept
SS-EN 12697-1, Löslig bindemedelshalt (%)	3,5	3,9
SS-EN 12697-5, Kompaktdens, vattenmet. +25°C (Mg/m3)	2,493	2,477
SS-EN 12697-6, Skrymdens, skjutmätt (Mg/m3)	1,821	1,809
SS-EN 12697-8, Hålrumshalt (%)	27,0	27,0

Notering

Ort och datum
SÖDRA SANDBY 2020-03-19

Jens Hultzén, Stf. Teknisk ledare
Digital signatur

Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommit prov.
(EA) = Ej ackrediterad metod. (E) = Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.
Kundbilaga Mätosäkerhet finns på http://www.ncc.se/produkter-och-tjanster/vaglaboratorier/

NCC Industry AB Centrallaboratoriet Hardeberga 171 247 91 S. SANDBY	Besöksadress Styrelsens säte SOLNA	Telefon nr Telefax nr	Org.nr 556302-3307 VAT nr	E-post Internet adress www.ncc.se

Bilaga 3 - Kornfördelningskurva 2/5 mm.

NCC

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

SWEDAC ACKREDITERING
Ackred. nr. 1523
Provning
ISO/IEC 17025

Prov.nr **2200155**

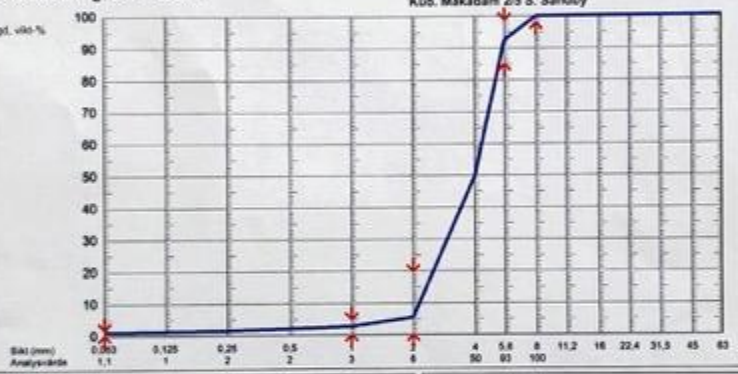
PRODUKTIONSKONTROLL Stenmaterial

Sidan 1 av 1

Beställare	Provtagningsdatum **2020-03-04** Ankomstdatum **2020-03-04**	Analys start **2020-03-04** Analys slut **2020-03-05**
Produkt **Kub. Makadam 2/5 mm**	Referens nr	Id-nummer
Leverantör **NCC Industry AB, Stenmaterial Syd - S. Sandby**	Provtagningsplats **Upplag**	
Entreprenör	Provtagare **MA**	
Objekt **PRODUKTKONTROLL, KROSS - S. SANDBY**	Märkning **Pall 5-2-D**	

Kornstorleksfördelning SS-EN 933-1

Gränslinje
Kub. Makadam 2/5 S. Sandby



Provresultat	Värde	Fraktion (mm)
SS-EN 933-1, Kornstorleksfördelning Enbart torrsiktning		2/5,6
SS-EN 1097-6, Korndensitet och Vattenabsorption, Proc 9 Korndensitet - skenbar (Mg/m³)	2,65	
SS-EN 932-1, Provtagning		

Notering
Deklarerade värde 2/5 Sandby
Kornstorleksfördelning: Gc 85/20
GNR
Finhalt: f2 (0,063 ≤2%)
Korndensitet: 2,63 ±0,05 Mg/m3
LA-tal: LA25 (LA-tal ≤25)

Ort och datum
SÖDRA SANDBY 2020-03-06

Mats Andersson, Stf. Teknisk ledare
Digital signatur

Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommit prov.
(EA) = Ej ackrediterad metod. (E) = Enskilprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.
Kundbilaga Mätosäkerhet finns på http://www.ncc.se/produkter-och-ganater/vagglaboratorier/

NCC Industry AB Centrallaboratoriet Hardeberga 171 247 91 S. SANDBY	Besöksadress Styrelsens säte **SOLNA**	Telefon nr Telefax nr	Org.nr **556302-3307** VAT nr	E-post Internet adress **www.ncc.se**

Bilaga 4 - Kornfördelningskurva filler.

NCC

SWEDAC ACKREDITERING
Adnr: nr. 1523
Provning
ISO/IEC 17025

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

Provnr **2190421**

TILLVERKNINGSKONTROLL Stenmaterial

Sidan 1 av 1

Beställare

Provtagningsdatum
2019-05-22
Ankomstdatum
2019-05-22

Analys start
2019-05-22
Analys slut
2019-05-24

Id-nummer
T 69

Referens nr

Produkt
Egenfiller
Leverantör
NCC Industry AB, Tillverkning - S. Sandby
Entreprenör

Objekt
PRODUKTKONTROLL, ASFALT - S. SANDBY

Provtagningsplats
Skruv
Provtagare
GH
Märkning
T 69

Kornstorleksfördelning SS-EN 933-1

Provresultat	Värde	Fraktion (mm)
SS-EN 933-1, Kornstorleksfördelning Tvättning och siktning		

Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommit prov.
(EA) = (I) ackrediterad metod. (E) = Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.
Kundbilaga Mätosäkerhet finns på http://www.ncc.se/produkter-och-tjenster/vagtekniska-laboratorier/

Notering

Ort och datum
SÖDRA SANDBY 2019-05-24

Jens Hultzén, Sif. Teknisk ledare
Digital signatur

NCC Industry AB **Centrallaboratoriet** **Hardeberga 171** **247 91 S. SANDBY**	Besöksadress Styrelsens säte **SOLNA**	Telefon nr Telefax nr	Org.nr **556302-3337** VAT nr	E-post **lab.sandby@ncc.se** Internet adress **www.ncc.se**

Bilaga 5 - Kornfördelningskurva 0/2 mm.

NCC

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

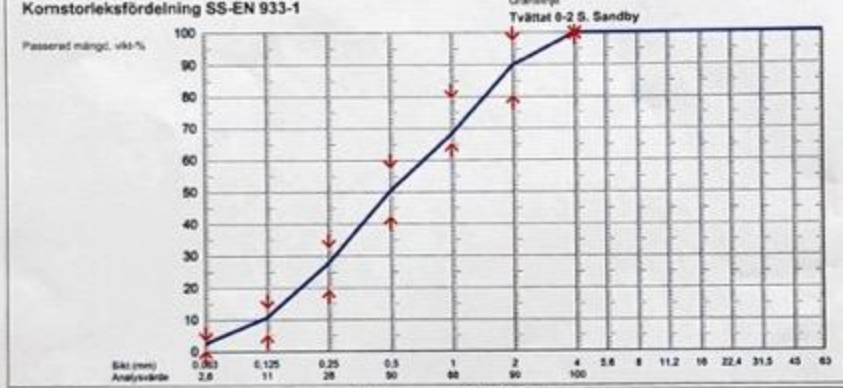
Provnr **2191153**

PRODUKTIONSKONTROLL Stenmaterial

Sidan 1 av 1

Beställare	Provtagningsdatum **2019-11-05** Ankomstdatum **2019-11-05**	Analys start **2019-11-05** Analys slut **2019-11-06** Id-nummer
Produkt **Tvättad 0/2 mm** Leverantör **NCC Industry AB, Stenmaterial Syd - S. Sandby** Entreprenör Objekt **PRODUKTKONTROLL, KROSS - S. SANDBY**	Referens nr Provtagningsplats **Upplag** Provtagare **MA** Märkning	

Kornstorleksfördelning SS-EN 933-1



Provresultat	Värde	Fraktion (mm)
SS-EN 933-1, Kornstorleksfördelning Tvättning och siktning SS-EN 1097-5, Fuktkvot (vikt-%) SS-EN 932-1, Provtagning	8,5	

Notering

Ort och datum
SÖDRA SANDBY 2019-11-06

Mats Andersson, Stf. Teknisk ledare
Digital signatur

Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommit prov.
(EA) = Ej ackrediterad metod. (E) = Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.
Kundbilaga Mätosäkerhet finns på http://www.ncc.se/produkter-och-tjanster/vagtjanster/

NCC Industry AB **Centrallaboratoriet** **Hardeberga 171** **247 91 S. SANDBY**	Besöksadress Styrelsens säte **SOLNA**	Telefon nr Telefax nr	Org.nr **556302-3307** VAT nr	E-post Internet adress **www.ncc.se**

Bilaga 6 - Siktning av 8/11 mm.

NCC

Provnr | Referens nummer

Provtagningsdatum | ID nummer

2019-02-13 08:56:31 **Arbetsblankett** 1

Beställare | Ankomstdatum | Analys start | Analys slut

Objekt

Produkt 8/11 | Provtagningsplats

Leverantör | Provtagare

Entreprenör | Märkning

EN 12697-1, -2 Bindemedelshalt och Kornstorleksfördelning

rör trumma

max		delvikter			Rec			
					0,0	Taravikt - trumma (g)		
					0,0	Provvikt + trumma (g)		
					0,0			
		822			0,0	Stenmaterial + trumma (g)		
					0,0			
63	2800				100,0	Tomt centrifugrör (g)		
45	2370				100,0	Centrifugrör + filler (g)		
31,5	1980				100,0			
22,4	1670				100,0	Korrigeringsfaktor		
16	1410				100,0			
11,2	1180	69			100,0			
8	1000	619			99,0			
5,6	835	122			90,0			
4	705	6			80,0			
2	500	1			51,0			
1	350	—			40,0			
0,5	250	—			30,0			
0,25	175	1			18,0			
0,125	125	—			9,0			
0,063	90	1			6,0			
botten (g)		3,3						

Annashin
Väs 8

NCC Industry AB
Centrallaboratoriet
Hardeberga 171
247 91 S. SANDBY

Besöksadress
Styrelsens säte
SOLNA

Telefon nr
Telefax nr

Org.nr
556302-3307
VAT nr

E-post
lab.sandby@ncc.se
Internet adress
www.ncc.se

Bilaga 7 - Kornfördelningskurva av filler.

NCC

SWEDAC ACKREDITERING
Adnr. nr. 1523
Provning
ISO/IEC 17025

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

Provnr **2190735**

TILLVERKNINGSKONTROLL Stenmaterial

Sidan 1 av 1

Beställare

Provtagningsdatum
2019-08-15
Ankomstdatum
2019-08-15

Analys start
2019-08-15
Analys slut
2019-08-16

Id-nummer
T 101

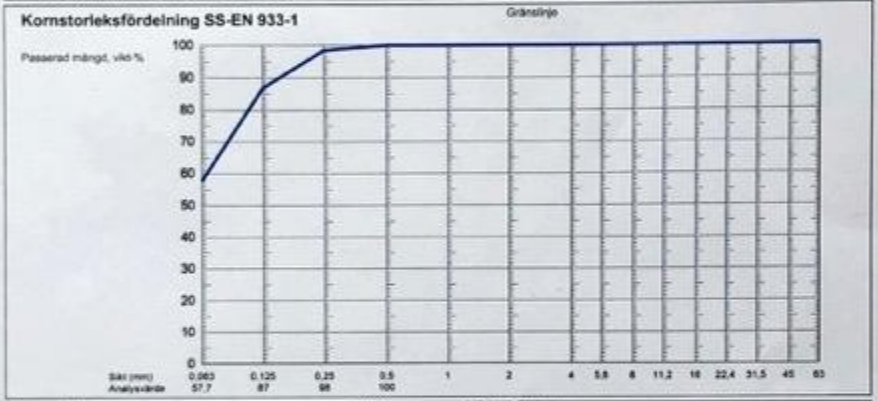
Produkt
Egenfiller
Leverantör
NCC Industry AB, Tillverkning - S. Sandby
Entreprenör

Objekt
PRODUKTKONTROLL, ASFALT - S. SANDBY

Referens nr

Provtagningsplats
Skruv
Provtagare
DW
Märkning
T 101

Kornstorleksfördelning SS-EN 933-1



Provresultat	Värde	Fraktion (mm)
SS-EN 933-1, Kornstorleksfördelning Tvättning och siktning		

Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommit prov.
(EA) = EJ ackrediterad metod. (E) = Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.
Kundbilaga Mätosäkerhet finns på http://www.ncc.se/produkter-och-tjanster/vagtjanster/

Notering

Ort och datum
SÖDRA SANDBY 2019-08-16

Mats Andersson, Stf. Teknisk ledare
Digital signatur

NCC Industry AB **Centrallaboratoriet** **Hardeberga 171** **247 91 S. SANDBY**	Besöksadress Styrelsens säte **SOLNA**	Telefon nr Telefax nr	Org.nr **556302-3307** VAT nr	E-post **lab.sandby@ncc.se** Internet adress **www.ncc.se**

Bilaga 8 - Siktning av 11/16 mm.

NCC

Provnr | Referens nummer

Provtagningsdatum | ID nummer

2019-02-13 08:56:31 **Arbetsblankett** 1

Beställare | Ankomstdatum | Analys start | Analys slut

Objekt

Produkt 11/16 | Provtagningsplats

Leverantör | Provtagare

Entreprenör | Märkning

EN 12697-1, -2 Bindemedelshalt och Kornstorleksfördelning

rör trumma

max			delvikter		Rec			
					0,0	Taravikt - trumma (g)		
					0,0	Provvikt + trumma (g)		
		1133			0,0			
					0,0	Stenmaterial + trumma (g)		
					0,0			
63	2800				100,0	Tomt centrifugrör (g)		
45	2370				100,0	Centrifugrör + filler (g)		
31,5	1980				100,0			
22,4	1670				100,0	Korrigeringsfaktor		
16	1410	23			100,0			
11,2	1180	929			100,0			
8	1000	164			99,0			
5,6	835	9			90,0			
4	705	—			80,0			
2	500	1			51,0			
1	350	—			40,0			
0,5	250	—			30,0			
0,25	175	1			18,0			
0,125	125	—			9,0			
0,063	90	1			6,0			
botten (g)		5,2						

Amaskin
Väs 8

NCC Industry AB
Centrallaboratoriet
Hardeberga 171
247 91 S. SANDBY

Besöksadress
Styrelsens säte
SOLNA

Telefon nr
Telefax nr

Org.nr
556302-3307
VAT nr

E-post
lab.sandby@ncc.se
Internet adress
www.ncc.se

Bilaga 9 - Siktning efter analysator.

NCC

Provnr
2200193
Provtagningsdatum
2020-03-18

Referens nummer

ID nummer
Test

2020-03-18 10:31:57

Arbetsblankett 1

Beställare

Ankomstdatum
2020-03-18
Objekt
Testkörning
Provtagningsplats

Analys start
2020-03-18

Analys slut

Produkt
Strongphalt 16 - 70/100
Leverantör
NCC Industry AB, Tillverkning - S. Sandby
Entreprenör

Provtagare
Emil och Oscar
Märkning

EN 12697-1, -2 Bindemedelshalt och Kornstorleksfördelning

max		1		delvikter	2	Rec		4	3
							Taravikt - trumma (g)	2626,5	2704,0
							Provvikt + trumma (g)	4136,9	4201,3
	Total	1388,3		1374,4			Stenmaterial + trumma (g)	4014,3	4079,9
	Vägt	1385,9		1374,0					
63	2800						Tomt centrifugrör (g)	509,3	687,7
45	2370						Centrifugrör + filler (g)	577,5	757,8
31,5	1980					100,0			
22,4	1670	14				100,0	Korrigeringsfaktor		
16	1410	738		13,6		95,0		A1	A2
11,2	1180	433		712,9		40,0			
8	1000	121		440,8		10,0			
5,6	835	19		127,4		7,0			
4	705	12		19,0		6,0			
2	500	6		10,3		5,0			
1	350	5		5,9		4,8			
0,5	250	10		4,6		4,6			
0,25	175	16		9,1		4,4			
0,125	125	11		15,5		4,2			
0,063	90	1,3		14,0		4,0			
botten (g)				1,2					

NCC Industry AB
Centrallaboratoriet
Hardeberga 171
247 91 S. SANDBY

Besöksadress
Styrelsens säte
SOLNA

Telefon nr
Telefax nr

Org.nr
556302-3307
VAT nr

E-post
Internet adress
www.ncc.se

Bilaga 10 - Slutgiltig rapport av laboration.

NCC

SWEDAC ACKREDITERING
Ackred. nr. 1523
Provning
ISO/IEC 17025

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

Provnr **2190794**

TILLVERKNINGSKONTROLL Typprovning enl. EN 13108-20

Producent	Produkt	Produktens standardnamn
NCC Industry AB, Tillverkning - S. Sandby	Strongphalt 16 - 70/100	SMA
Hardeberga 171 247 91 S. Sandby Jörgen Magnusson	Standard EN 13108-5	

Ballast (*)

Stenmaterial, sortering / ursprung / densitet (Mg/m³)

Kub. Makadam 8/11 mm	NCC Industry AB Sten - S. Sandby	2,63
Kub. Makadam 11/16 mm	NCC Industry AB Sten - S. Sandby	2,63

Korndensitet (Mg/m³)	2,63	
Flisighetsindex (FI)	15	<= 8 mm
Flisighetsindex (FI)	15	> 8 mm
Krossytegrad (C)	100/0	
Los Angeles värde (LA)		
Micro-Deval värde (Mde)		
Kulkvarnsvärde (AN)	14	11,2 - 16 mm

Specielit stenmaterial, sortering / ursprung / densitet (Mg/m³)

Korndensitet (Mg/m³)		
Flisighetsindex (FI)		<= 8 mm
Flisighetsindex (FI)		> 8 mm
Krossytegrad (C)		
Los Angeles värde (LA)		
Micro-Deval värde (Mde)		
Kulkvarnsvärde (AN)		

Beläggningsmassa (*)

Filler	Densitet (Mg/m³)
Egenfiller	2,63

Tillsatsmedel	Mängd (%)
Fiber (%)	0,2
Zykotherm (% av b-halt)	0,1

Returasfalt, sortering

Mängd (%)	
Mjukpunkt (°C)	
Penetration (1/10 mm)	
Kulkvarn An	

Temperatur (°C)
140-160

Bindemedel / Ursprung / Fördelning %
Bitumen 70/100

Bindemedelshalt (vikt-%)	3,9	
Skrymdensitet (Mg/m³)	1,811	
Kompaktdensitet (Mg/m³)	2,481	
Marshallhålrum (vol-%)	27,0	
Marshallvärde / Stabilitet (N)		/
Pressdrag (kPa/mm)		/
Vidhäftningstal (ITSR %)		
Dynamisk krypstabilitet		
Slitstyrka enligt Prall		
Styvhetsmodul		/

Notering
Massatemperatur: 140°C

(*) Värdena avser endast till laboratoriet inlämnade uppgifter.

Ort och datum
SÖDRA SANDBY 2019-10-01

Mats Andersson, Stf. Teknisk ledare
Digital signatur

NCC Industry AB	Besöksadress	Telefon nr	Org.nr	E-post
Centrallaboratoriet			556302-3307	
Hardeberga 171	Styrelsens säte	Telefax nr	VAT nr	Internet adress
247 91 S. SANDBY	SOLNA			www.ncc.se

Bilaga 11 - Siktning av 4/8 mm.

NCC

Provnr | Referens nummer

Provtagningsdatum | ID nummer

2019-02-13 08:56:31 **Arbetsblankett** **1**

Beställare | Ankomstdatum | Analys start | Analys slut

Objekt

Produkt 4/8 | Provtagningsplats

Leverantör | Provtagare

Entreprenör | Märkning

EN 12697-1, -2 Bindemedelshalt och Kornstorleksfördelning

rör trumma

max			delvikter		Rec			
					0,0	Taravikt - trumma (g)		
					0,0	Provvikt + trumma (g)		
		619,5			0,0			
		620			0,0	Stenmaterial + trumma (g)		
					0,0			
63	2800				100,0	Tomt centrifugrör (g)		
45	2370				100,0	Centrifugrör + filler (g)		
31,5	1980				100,0			
22,4	1670				100,0	Korrigeringsfaktor		
16	1410				100,0			
11,2	1180	110			100,0			
8	1000	355			99,0			
5,6	835	122			90,0			
4	705	27			80,0			
2	500	1			51,0			
1	350	—			40,0			
0,5	250	—			30,0			
0,25	175	1			18,0			
0,125	125	—			9,0			
0,063	90	3,5			6,0			
botten (g)								

Amaskin
Väs 8

NCC Industry AB
Centrallaboratoriet
Hardeberga 171
247 91 S. SANDBY

Besöksadress
Styrelsens säte
SOLNA

Telefon nr
Telefax nr

Org.nr
556302-3307
VAT nr

E-post
lab.sandby@ncc.se
Internet adress
www.ncc.se

Bilaga 12 - Inmätning av provkropp.

NCC

Provnr
2200193
Provtagningsdatum
2020-03-18

Referens nummer

ID nummer
Test

2020-03-18 10:31:54 **Arbetsblankett** **1**

Beställare

Ankomstdatum
2020-03-18

Analys start
2020-03-18

Analys slut

Objekt
Testkörning

Produkt
Strongphalt 16 - 70/100

Provtagningsplats

Leverantör
NCC Industry AB, Tillverkning - S. Sandby

Provtagare
Emil och Oscar

Entrepenör

Märkning

EN 12697-6 Procedur D

	1		2			
Torrt prov (g)	1087,5		1094,9		Kornstorlek	
SS-EN 12697-29					Uppborrad / Tillverkad	
Diameter / Tjocklek (mm)						
Topp 1 / Tjocklek 1 (mm)	100,4	76,2	101,1	74,0		
Topp 2 / Tjocklek 2 (mm)	101,0	76,6	100,3	75,1		
Mitten 1 / Tjocklek 3 (mm)	101,6	74,8	101,0	74,4		
Mitten 2 / Tjocklek 4 (mm)	99,2	75,1	101,2	74,6		
Botten 1 (mm)	100,8		101,3			
Botten 2 (mm)	100,5		101,3			

JH EB 19/3

SS-EN 12697-5 Procedur A

Pyknometer nr	32	10	Min provvikt på provkropp	
Pyknometer - volym (ml)			Vattendensitet (Mg/m³)	
Pyknometer - vikt (g)				
Prov + pyknometer (g)	1914,4	1959,7		
Prov + pyknometer + vätska (g)	2545,9	2598,3		

JH EB 19/3

Notering

NCC Industry AB
Centrallaboratoriet
Hardeberga 171
247 91 S. SANDBY

Besöksadress

Styrelsens säte
SOLNA

Telefon nr

Telefax nr

Org.nr
556302-3307

VAT nr

E-post

Internet adress
www.ncc.se

Bilaga 13 - Skrymdensitet provkropp 5.

NCC

Ackred. nr. 1523 Provning ISO/IEC 17025

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

Prover **2200239**

ANALYS Beläggning

Sidan 1 av 1

Beställare	Provtagningsdatum **2020-03-18**	Analys start **2020-03-18**
	Ankomstdatum **2020-03-18**	Analys slut **2020-04-01**
		Id-nummer **Test**
Produkt **Strongphalt 16 - 70/100**	Referens nr	
Leverantör **NCC Industry AB, Tillverkning - S. Sandby**	Provtagningsplats	
Entreprenör	Provtagare **Emil och Oskar**	
Objekt **Testkörning**	Märkning **Puck 5**	

Provresultat	Värde	Recept
SS-EN 12697-6, Skrymdens, skjutmått (Mg/m3)	**1,868**	**1,809**
Topp 1 / Tjocklek 1 (mm)	**72,1**	

Notering

Ort och datum
SÖDRA SANDBY 2020-04-01

Jens Hultzén, Stf. Teknisk ledare
Digital signatur

Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommit prov.
(EA) = Ej ackrediterad metod. (E) = Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.
Kundbilaga Mätosäkerhet finns på http://www.ncc.se/produkter-och-tjanster/vag/laboratorier/

NCC Industry AB **Centrallaboratoriet** **Hardeberga 171** **247 91 S. SANDBY**	Besöksadress Styrelsens säte **SOLNA**	Telefon nr Telefax nr	Org.nr **556302-3307** VAT nr	E-post Internet adress **www.ncc.se**

Bilaga 14 - Skrymdensitet provkropp 4.

NCC

Ackred. nr. 1523
Provning
ISO/IEC 17025

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

Prover **2200238**

ANALYS Beläggning

Sidan 1 av 1

Beställare	Provtagningsdatum **2020-03-18**	Analys start **2020-03-18**
	Ankomstdatum **2020-03-18**	Analys slut **2020-04-01**
Produkt **Strongphalt 16 - 70/100**	Referens nr	Id-nummer **Test**
Leverantör **NCC Industry AB, Tillverkning - S. Sandby**	Provtagningsplats	
Entreprenör	Provtagare **Emil och Oskar**	
Objekt **Testkörning**	Märkning **Puck 4**	

Provresultat	Värde	Recept
SS-EN 12697-6, Skrymdens, skjutmått (Mg/m3)	**1,860**	**1,809**
Topp 1 / Tjocklek 1 (mm)	**74,7**	

Notering

Ort och datum
SÖDRA SANDBY 2020-04-01

Jens Hultzén, Stf. Teknisk ledare
Digital signatur

Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommit prov.
(EA) = Ej ackrediterad metod. (E) = Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.
Kundbilaga Mätosäkerhet finns på http://www.ncc.se/produkter-och-tjanster/vag/laboratorier/

NCC Industry AB
Centrallaboratoriet
Hardeberga 171
247 91 S. SANDBY

Besöksadress

Styrelsens säte
SOLNA

Telefon nr

Telefax nr

Org.nr
556302-3307
VAT nr

E-post

Internet adress
www.ncc.se

Bilaga 15 - Skrymdensitet provkropp 3.

NCC

Ackred. nr. 1523
Provning
ISO/IEC 17025

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

Prover **2200237**

ANALYS Beläggning

Sidan 1 av 1

Beställare	Provtagningsdatum **2020-03-18**	Analys start **2020-03-18**
	Ankomstdatum **2020-03-18**	Analys slut
Produkt **Strongphalt 16 - 70/100**	Referens nr	Id-nummer **Test**
Leverantör **NCC Industry AB, Tillverkning - S. Sandby**	Provtagningsplats	
Entreprenör	Provtagare **Emil och Oskar**	
Objekt **Testkörning**	Märkning **Puck 3**	

Provresultat	Värde	Recept
SS-EN 12697-5, Kompaktdens, vattenmet. +25°C (Mg/m3)		**2,477**
SS-EN 12697-6, Skrymdens, skjutmått (Mg/m3)	**1,819**	**1,809**

Notering

Ort och datum
SÖDRA SANDBY 2020-04-01

Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommit prov.
(EA) = Ej ackrediterad metod. (E) = Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.
Kundbilaga Mätosäkerhet finns på http://www.ncc.se/produkter-och-tjanster/vag/laboratorier/

Jens Hultzén, Stf. Teknisk ledare
Digital signatur

NCC Industry AB **Centrallaboratoriet** **Hardeberga 171** **247 91 S. SANDBY**	Besöksadress Styrelsens säte **SOLNA**	Telefon nr Telefax nr	Org.nr **556302-3307** VAT nr	E-post Internet adress **www.ncc.se**

Laboration tryckhållfasthet

Bilaga 16 - Resultat från provtryckning.

Prov	∅	Höjd	Hastighet	Brott	Area	f_{obs}	Slankhetstal	β_3	β_4	f_3
	mm	mm	kN/s	kN	M2	Mpa				Mpa
50–1	50	52	1,2	31,1	0,00196	15,84	1,04	0,99	1	16,00
50–2	50	59,5	1,2	24,8	0,00196	12,63	1,19	0,95	1	13,30
50–3	50	55	1,2	23,2	0,00196	11,82	1,10	0,98	1	12,06
50–4	50	57	1,2	21,7	0,00196	11,05	1,14	0,97	1	11,39
50–5	50	58	1,2	30,4	0,00196	15,48	1,16	0,96	1	16,13
Medel										13,77
60–1	60	57	1,7	51,5	0,00283	18,21	0,95	1,01	1	18,03
60–2	60	58	1,7	41,3	0,00283	14,61	0,97	1	1	14,61
60–3	60	54,5	1,7	49	0,00283	17,33	0,91	1,04	1	16,66
60–4	60	56,5	1,7	44,1	0,00283	15,60	0,94	1,02	1	15,29
60–5	60	54	1,7	44,1	0,00283	15,60	0,90	1,04	1	15,00
Medel										15,92
75–1	75	55	2,7	75,8	0,00442	17,16	0,73	1,1	1	15,60
75–2	75	55	2,7	105,3	0,00442	23,84	0,73	1,1	1	21,67
75–3	75	56	2,7	81,8	0,00442	18,52	0,75	1,1	1	16,83
75–4	75	60	2,7	74,8	0,00442	16,93	0,80	1,06	1	15,97
75–5	75	60	2,7	76	0,00442	17,20	0,80	1,06	1	16,23
Medel										17,26
100–1	100	54	4,7	162,8	0,00785	20,73	0,54	1,23	1	16,85
100–2	100	59	4,7	155,2	0,00785	19,76	0,59	1,17	1	16,89
100–3	100	57	4,7	168,7	0,00785	21,48	0,57	1,18	1	18,20
100–4	100	51	4,7	158,7	0,00785	20,21	0,51	1,25	1	16,17
100–5	100	57	4,7	169,3	0,00785	21,56	0,57	1,18	1	18,27
Medel										17,28

Bilaga 17 - Differensen mellan den okulärbestämda korrektionsfaktorn jämfört med den som bestämts med polynomfunktionen.

Provkropp	**Slankhetstal**	**Avläst** $\boldsymbol{\beta_3}$	$\boldsymbol{f_3}$ **(MPa)**	$\boldsymbol{\beta_{3_p}}$	$\boldsymbol{f_{3_p}}$ **(MPa)**	**Differens (MPa)**
50-1	1,04	0,99	16,00	0,99	16,03	-0,03
50-2	1,19	0,95	13,30	0,95	13,31	-0,01
50-3	1,10	0,98	12,06	0,97	12,16	-0,10
50-4	1,14	0,97	11,39	0,96	11,50	-0,10
50-5	1,16	0,96	16,13	0,96	16,19	-0,06
60-1	0,95	1,01	18,03	1,02	17,94	0,09
60-2	0,97	1	14,61	1,01	14,46	0,14
60-3	0,91	1,04	16,66	1,03	16,85	-0,18
60-4	0,94	1,02	15,29	1,02	15,32	-0,03
60-5	0,90	1,04	15,00	1,03	15,12	-0,12
70-1	0,73	1,1	15,60	1,09	15,70	-0,10
70-2	0,73	1,1	21,67	1,09	21,80	-0,14
70-3	0,75	1,1	16,83	1,09	17,02	-0,19
70-4	0,80	1,06	15,97	1,07	15,87	0,11
70-5	0,80	1,06	16,23	1,07	16,12	0,11
100-1	0,54	1,23	16,85	1,18	17,58	-0,73
100-2	0,59	1,17	16,89	1,16	17,10	-0,21
100-3	0,57	1,18	18,20	1,17	18,44	-0,24
100-4	0,51	1,25	16,17	1,19	16,92	-0,76
100-5	0,57	1,18	18,27	1,17	18,51	-0,24