

Thesis 374

Undersökning av hur penetrationstalet i bitumen påverkar styvheten av cementstabiliserad asfalt i laboratoriepackade prover

David Andersson

Trafik och Väg

Institutionen för Teknik och Samhälle

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet



Copyright © David Andersson

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5341)/1-112/2022
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet
Lund 2022

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,
Institutionen för Teknik och samhälle,
Trafik och väg, 374

ISSN 1653-1922

Author(s): David Andersson

Title: Undersökning av hur penetrationstalet i bitumen påverkar styvheten av cementstabiliserad asfalt i laboratoriepackade prover

English title: Investigation of the effect penetration value in bitumen has on the stiffness of a laboratory-compacted semi-flexible pavement

Language Svenska

Year: 2022

Keywords: Cementstabiliserad; Asfalt; Bitumen; Styvhet; Penetration; Styvhetsmodul; Penetrationstal.

Citation: David Andersson, Undersökning av hur penetrationstalet i bitumen påverkar styvheten av cementstabiliserad asfalt i laboratoriepackade prover. Lund, Lunds universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2022. Thesis. 374

Abstract:

A semi-flexible pavement is a composite material consisting of an open-graded asphalt skeleton with an air void content between 25 - 35% that is filled with a cement sludge. Limited research has been done regarding factors which can affect the mechanical properties of this material. Therefore, this study explores the affect the penetration value of a bitumen has on the stiffness of a semi-flexible pavement. Furthermore, a replicable method for laboratory compaction of test specimens for the material in question is to be decided.

Hot-mix asphalt with bitumen of varying penetration grade was produced by compaction with a Marshall hammer, this resulted in an open-graded asphalt skeleton which was filled with a cement sludge. After curing 18 test specimens for 28 days, the stiffness modulus of individual specimens was tested using an indirect-tensile strength test at temperatures between 15-30°C.

The results proved statistically significant in that the penetration value of the bitumen has an effect on stiffness modulus of the test specimens. A higher penetration value resulted in a lower stiffness modulus. Furthermore, the stiffness modulus decreased with a rise in temperature. Conclusions drawn are that a decrease in the penetration value of a bitumen results in an increase in stiffness modulus in a semi-flexible pavement. Also, a method for laboratory production of the material has been developed through compaction using a Marshall hammer.

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

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

Innehållsförteckning

Förord	
Sammanfattning	
Summary	
1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Metodik	2
1.4 Avgränsningar	3
2. Litteraturstudie	5
2.1 Asfaltbetong	5
2.1.1 Asfaltmassa	5
2.1.2 Varm asfaltmassa	5
2.1.3 Ballast	5
2.1.4 Hålrums halt	6
2.1.5 Laboratorietillverkning	6
2.2 Bitumen	6
2.2.1 Penetrationsbestämt bitumen	7
2.2.2 Mjukpunkt	7
2.2.3 Reologi	7
2.3 Cement	8
2.4 Cementstabiliserad asfalt	9
2.4.1 Tillämpningsområden	9
2.4.2 Tryckhållfasthet	10
2.4.3 Styvhetsmodul	10
2.4.4 Temperaturbeständighet	11
2.4.5 Spårbildningsresistens	11
2.4.6 Fältproduktion av CSA	12

2.4.7 Laboratorietillverkning	12
2.5 Styvhet	13
2.5.1 Provning av styvhetsmodul i asfaltprovkroppar	14
3. Metodbeskrivning	16
3.1 Undersökta beläggningstyper	16
3.2 Kontroll av kornkurva	17
3.3 Produktion av asfaltprovkroppar	17
3.3.1 Asfaltmassa	17
3.3.2 Packning och avformning av asfaltmassa	18
3.4 Kontroller bitumen och asfaltbetong	19
3.4.1 Kontroll av hålrumshalt	19
3.4.2 Kontroll av penetrationstal bitumen	20
3.5 Cementslamma	21
3.5.1 Gjutform	21
3.5.2 Fyllnad cementslamma	21
3.6 Styvhetsprovningar	23
3.6.1 Sågning och Torkning	23
3.6.2 Höjd, diameter och skrymdensitet	23
3.6.3 Pressdragprovning	23
4. Resultat och diskussion	25
4.1 Resultat av kontroller av bitumen och asfaltbetong	25
4.1.1 Penetrationstal bitumen	25
4.1.2 Kompaktdensitet asfaltprovkroppar	26
4.1.3 Hålrumshalt asfaltprovkroppar	26
4.2 Styvhetsmodulens variation med penetrationstalet	28
4.2.1 Styvhetsmodul vid 15°C	28
4.2.2 Styvhetsmodul vid 20°C	29
4.2.3 Styvhetsmodul vid 30°C	30
4.2.4 Diskussion av styvhetsmodulens variation med penetrationstalet	31
4.3 t-tester	33
4.4 Modelluppbyggnad genom regressionsanalys	36
4.4.1 Jämförelse CSA & Bitumenbundna slitlager	41
5. Metoddiskussion	43
5.1 Blandning och packning av asfaltmassa	43

5.2 Gjutning cementslamma	43
5.3 Kontroller av skrymdensitet	44
5.4 Styvhetsprovningar	44
5.5 Resultatpresentation och analys	45
6. Slutsatser och rekommendationer	46
6.1 Slutsatser	46
6.1.1 Penetrationstalets inverkan på styvhetsmodul i CSA	46
6.1.2 Metod för tillverkning av provkroppar CSA	46
6.2 Rekommendationer	47
6.2.1 Rekommendationer utifrån studiens resultat	47
6.2.2 Rekommendationer för fortsatta studier	47
7. Referenser	49
8. Bilagor	53
Bilaga A – Hålrums halt av asfaltprovkroppar	54
Bilaga B – Skrymdensitet av provkroppar CSA	55
Bilaga C – Krav styvhetsmodul slitlager TRVINFRA	56
Bilaga D – Resultat av pressdragprovning CSA 70	58
Bilaga E – Resultat av pressdragprovning CSA 100	70
Bilaga F – Resultat av pressdragprovning CSA 160	85

Förord

Denna studie har gjorts som ett avslutande examensarbete vid civilingenjörslinjen i väg- och vattenbyggnad på LTH. Studien föreslogs göras av Linus Lindau Hägg, då det bedöms finnas utrymme för fördjupning av kunskap kring ämnet cementstabiliserad asfalt. Vidare är förhoppningen att resultaten skall vara av intresse till dels NCC Industry vars produkt Strongphalt används vid denna studie och även resterande industrier som tillverkar liknande beläggningar cementstabiliserad asfalt.

Tillverkning av provkroppar har skett i asfaltlabbet på LTH där material har tillhandahållits av både LTH och NCC Industry. Provning av kompakt densitet utfördes vid NCC:s laboratorium i Södra Sandby och styvhetsprovningarna utfördes vid NCC:s asfaltlaboratorium i Fredericia, Danmark.

Jag vill rikta ett stort tack till Pajtim Sulejmani som är universitetsadjunkt vid LTH. Pajtim har varit huvudhandledare vid detta arbete och hans kunskap samt insikter har varit ovärderliga under arbetets gång och handledningen han gett har varit högst givande.

Linus Lindau Hägg som är doktorand vid LTH och utvecklingsingenjör på NCC Industry agerade extern handledare åt detta arbete och bistod med teknisk kompetens som stod till grund för arbetets samtliga tekniska moment. Linus handledning var i högsta grad avgörande i att studien enligt författaren lyckades och att givande slutsatser kunde dras från resultaten.

Vidare vill jag även rikta ett tack till samtliga vid avdelningen för Trafik och väg på LTH då jag använt utrusningen i asfaltlabbet och ni delat med er av nyttiga insikter vid diskussioner kring studien. Samma tack riktas till NCC Industry vars material, utrustning och personal varit avgörande i arbetets utförande och resultat.

David Andersson

Lund, Maj 2022

Sammanfattning

Cementstabiliserad asfalt är en kompositbeläggning bestående av en öppengraderad asfaltbetong vars hålrumshalt mellan 25 – 35% fylls med en cementslamma. Resultatet är ett material som utmärker sig genom dess flexibilitet tack vare asfalten och dess bärighet pga. cementbetongen. Det finns goda utrymmen att bredda kunskapen om hur denna beläggning beter sig och vad den besitter för mekaniska egenskaper. Forskning kring cementstabiliserad asfalt har hittills inte utforskat penetrationstalet i bitumens påverkan på styvhetsmodulen i kompositmaterialet. Studien ämnade till att ta fram en metod för tillverkning av provkroppar av cementstabiliserad asfalt i laboratorium genom slagpackning, för att senare tillverka provkroppar som skulle styvhetsstestas och utreda penetrationstalets inverkan.

Provkropparna tillverkades efter ett arbetsrecept som resulterade i en öppengraderad asfaltbetong med medelhålrumshalt på 35%. Asfaltmassa blandades vid en blandningstemperatur om 150°C varefter det packades med 25 stampningar från en marshallstamp på massans ena sida. Totalt producerades tre provgrupper med sex likadana provkroppar, totalt 18 provkroppar. Provgруппerna tillverkades med tre olika bitumen med olika penetrationstal. Därefter gjordes en vattentät gjutform runt enskilda asfaltprovkroppar med silvertejp i vilket cementslamma kunde fyllas. Provkropparna tilläts härda i minst 28 dygn innan provning.

Pressdragprovning utfördes vid tre olika temperaturer; 15, 20 och 30°C. Provkropparnas styvhetsmodul kunde jämföras med variationer av bitumenkvalitet och testtemperatur. Resultaten visade att provkroppar med styvare bitumen resulterade i en cementstabiliserad asfalt med högre styvhetsmodul. Vidare visade resultaten att högre testtemperatur medförde en lägre styvhetsmodul i provkropparna. Resultaten var statistiskt signifikanta då provgrupper med 70/100 bitumenkvalitet jämfördes mot 160/220 vid samtliga testtemperaturer. Det vill säga, styvare bitumen medför en styvare cementstabiliserad asfalt oavsett testtemperatur.

En multipel linjär regressionsanalys utfördes på resultaten för att modellera sambandet mellan styvhetsmodulen i cementstabiliserad asfalt och tre oberoende variabler; skrymdensiteten, testtemperaturen och bitumenets penetrationstal. Det linjära sambandet mellan de oberoende variablerna och styvhetsmodulen kunde bestämmas med 88% förklaringsgrad.

Slutsats från studien är att penetrationstalet av ett bitumen i en cementstabiliserad asfalt har en inverkan på styvhetsmodulen. Ett lägre penetrationstal medför en högre styvhetsmodul, detta har visat sig sant vid testtemperaturer mellan 15–30°C och för penetrationsbestämda bitumen med penetrationsvärden mellan 62 – 148 (x 0.1) mm. Vidare har metoden som

framtagits lyckats med att tillverka provkroppar cementstabiliserad asfalt som kan användas vid mekaniska provningar såsom pressdragprovning.

Summary

A semi-flexible pavement is a composite material consisting of an open-graded asphalt skeleton with an air void content between 25 - 35% that is completely filled with a cement sludge. The result is a material that is distinguished by its flexibility thanks to the asphalt and its bearing capacity due to the cement sludge. There are plentiful aspects that can be explored to broaden the knowledge of how this coating behaves and what mechanical properties it possesses. Research on semi-flexible pavements have so far not explored the penetration value of bitumen's impact on the stiffness modulus in the composite pavement. The study aimed to develop a method for manufacturing specimens of a semi-flexible pavement in the laboratory by compaction with a Marshall hammer, in order to later manufacture specimens that would be stiffness tested and the effect of the penetration value.

The specimens were manufactured according to a material specification that would result in a gradation curve of an open-graded asphalt with an average air void content of 35%. Aggregate and binder were mixed at a mixing temperature of 150 °C after which it was compacted with 25 blows from a Marshall hammer on one side of the mixture. A total of three test groups were produced with six comparable test specimens, in total 18 test specimens were produced. The test groups were made with three different bitumen qualities with varying penetration values. Then, a waterproof mold was made around individual asphalt specimens with duct tape in which cement sludge could be filled. The specimens were allowed to cure for at least 28 days before testing.

Indirect tensile-strength testing was performed at three different temperatures: 15, 20 and 30 °C. The stiffness modulus of the specimens could be compared with variations in bitumen quality and test temperature. The results showed that specimens with stiffer bitumen resulted in a semi-flexible pavement with a higher stiffness modulus. Furthermore, the results showed that higher test temperatures resulted in a lower stiffness modulus in the specimens. The results proved to be statistically significant when sample groups with 70/100 bitumen quality were compared to 160/220 at all test temperatures. The results thus showed that stiffer bitumen results in a stiffer cement-stabilized asphalt regardless of test temperature.

A multiple linear regression analysis was performed on the results to model the relationship between the stiffness modulus in the semi-flexible pavement and three independent variables; bulk density, test temperature and bitumen penetration value. Linear relationships between the independent variables and the stiffness modulus could be determined and an equation for stiffness modulus decided where 88% of the variations would be covered by the model.

The conclusion from the study is that the penetration value of bitumen in a semi-flexible pavement has an effect on the stiffness modulus. A lower penetration value results in a higher

stiffness modulus, this has been shown to be true at test temperatures between 15–30 °C and for penetration bitumen with penetration values between 6.22 - 14.78 mm. Furthermore, the method developed has succeeded in producing test specimens of cement-stabilized asphalt which can be used for mechanical tests such as indirect tensile-strength testing.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Cementstabiliserad asfalt är en beläggning som förenar två olika material som på respektive håll besvarar olika behov. Genom att föra samman asfalt och cement skapas en kompositprodukt som möter en marknad vars kriterier för beläggning sträcker sig förbi vad som kan åstadkommas med ett material. I en cementstabiliserad asfalt samverkar asfalt och cement där var del bidrar med sina egenskaper där resultatet blir en semiflexibel beläggning som är fogfri och med god bärighet samt oljebeständighet. Beläggningen används främst till slitlager i vägöverbyggnader (NCC u.å.).

Det har utförts åtskilliga studier där det undersökts vilken nytta cementstabiliserad asfalt kan ha och huruvida denna beläggningstyp platsar i infrastrukturen som utvecklas i dagens och morgondagens samhälle. Tydligt är att det finns fördelar med cementstabiliserad asfalt om det jämförs med andra beläggningstyper. Det finns tveklöst ytor som gynnas av att ha denna beläggning och var den kan anses vara bäst lämpad sett till både trafikbelastning och ekonomi. Enligt Oliveira et al. (2006) lämpar sig cementstabiliserad asfalt till ytor där ren betong annars vore ett alternativ, exempelvis busstationer, flygplatser, hamnterminaler och lagerhallar. Undersökningar har visat att cementstabiliserad asfalt presterar bättre än vanliga asfaltbeläggningar sett till styvhet och deformationsresistens (Cihackova et al., 2015). Vidare har cementstabiliserad asfalt visat sig ha bättre fukt-, lågtemperatur- och sprickresistens än vanlig asfaltbetong enligt Bonicelli et al. (2019). Forskning kring utvecklingen och optimeringen av cementstabiliserad asfalt är något mer begränsad där det har utförts förhållandevis färre studier kopplade till variabler som kan tänkas påverka egenskaperna och prestandan i beläggningstypen. Det finns goda utrymmen till att vidareutveckla och sammanställa frågeställningar och forskning som leder till en bättre förståelse för hur cementstabiliserad asfalt beter sig. Om frågeställningarna utreds kommer det att bidra till ökad kunskap om beläggningen som kan visa sig högst värdefull vid dimensionering och brukande av cementstabiliserad asfalt.

Det är känt vilka egenskaper olika bitumensorter har och hur dessa egenskaper gör så att en viss typ av bitumen kan lämpa sig bättre eller sämre till olika ändamål i asfaltbetong. Specifikt om ett penetrationsbesämt bitumen har forskning visat att mjukpunkten och penetrationstalet som definierar bitumenkvaliteten har en betydande inverkan på styvheten i asfaltbetong, lägre penetrationsvärden för ett bitumen resulterar i en styvare asfaltbetong (Remišová & Holý, 2017). Styvheten av en beläggning kan vara av stor vikt vid dimensionering, det är en egenskap som talar om hur ett material töjs i förhållande till den last den utsätts för. I dagsläget har ingen forskning gjorts kring hur penetrationsvärdet av

bitumen påverkar styvheten i en cementstabiliserad asfalt. Då det är känt att penetrationstalet av bitumen påverkar styvheten i asfaltbetong finns det skäl att tro att det kan påverka styvheten även i cementstabiliserad asfalt. Det är därför högst relevant att utföra provningar för att avgöra om så är fallet eller inte. Variationer i styvhet kan för beställare och entreprenör av en beläggning av cementstabiliserad asfalt ha stor inverkan på byggprocessen, kostnaden och kvaliteten av den slutliga produkten. Feldimensionering av beläggning enligt styvhetsmodul kan resultera i orimliga beläggningstjocklekar (Hakim & Nilsson, 2010). Om en beläggning antas få en särskild styvhetsmodul riskerar beläggningen göras antingen för tjock eller för tunn. Om en beläggning blir för tjock medförs onödigt höga produktionskostnader. Vidare kan en beläggning göras för tunn vilket innebär att hållfastheten kan försämrans. Av denna anledning är det relevant att undersöka styvhetsmodulens variation i cementstabiliserad asfalt.

Denna studie ämnar till att öka kunskapen om cementstabiliserad asfalt, specifikt om styvheten. Det finns redan tillräckliga belägg för att det skall vara känt att beläggningen har sin plats i infrastrukturen och det finns goda skäl att tro att styvheten kan påverkas av variation i penetrationstalet av bitumen, forskning i nämnt område öppnar för bättre förståelse om hur beläggningen beter sig.

1.2 Syfte

Studien ämnar till att undersöka till vilken utsträckning den öppengraderade asfaltens bitumen påverkar styvheten i en cementstabiliserad asfalt. Genom att undersöka och jämföra provkroppar cementstabiliserad asfalt med olika kvalitet penetrationsbestämt bitumen skall det avgöras om penetrationstalet som beskriver hur styvt ett bindemedel är påverkar styvhetsmodulen i en cementstabiliserad asfalt.

Vidare ämnar studien till att utveckla samt beskriva en metod för tillverkning av provkroppar av cementstabiliserad asfalt. Metoden skall vara replikerbar och noggrann för att säkerställa likadan produktionsprocess för samtliga prover. Metoden skall kunna utföras av samtliga med sakkunskap inom området och tillgång till ett asfaltlabb med sedvanlig utrustning och apparatur såsom värmeskåp, asfaltblandare och marshallstamp.

1.3 Metodik

Inledningsvis utförs en litteraturundersökning som skall stå till grunden för studien, relevant teori kopplat till egenskaperna av cementstabiliserad asfalt och provningsmetoder presenteras i litteraturundersökningen.

Penetrationstalets påverkan på styvheten i en cementstabiliserad asfalt skall utredas genom styvhetsprovningar på provkroppar av cementstabiliserad asfalt med varierande bitumenkvalitet. Provkroppar produceras i asfaltlabbet på LTH för att sedan utsättas för

pressdragprovning vid tre olika temperaturer (15, 20 och 30°C) som mäter styvhetsmodulen i materialet, pressdragprovning utförs på NCC:s laboratorium i Fredericia, Danmark.

Styvhetsprovningarnas resultat presenteras och analyseras på ett flertal olika sätt. Först jämförs de olika provgruppernas resultat mot varandra för att avgöra om det finns en tydlig skillnad i styvhetsmodul mellan de olika provgrupperna. Detta görs separat för de tre olika temperaturerna för att se om observerad trend eller icke-trend var genomgående och oberoende av temperatur eller om temperaturen ser ut att ha en inverkan på resultaten. Sedan görs t-tester där styvhetsmodulerna för de olika provgrupperna och temperaturerna vid vilket provning genomfördes jämförs med varandra. Detta görs för att bedöma om det finns belägg för att kunna statistiskt stödja en signifikant skillnad mellan resultaten och provgrupperna. Sist görs en flervariabel linjär regressionsanalys för att bygga en modell där styvhetsmodulen i en provkropp CSA kan beräknas utifrån relevanta oberoende variabler.

Framtagning av en replikerbar metod för att tillverka provkroppar av cementstabiliserad asfalt görs på asfaltlabbet på LTH genom experiment och försök där variabler kopplade till blandning och packning av asfalt låts variera för att avgöra hur på lämpligast vis dessa prover kan produceras. Variabler som varieras vid tillverkning av provkroppar inkluderar antal stampningar vid kompaktering, ytemperaturer på formvalsar och asfaltmassa vid kompaktering och tiden mellan momenten.

1.4 Avgränsningar

Följande avgränsningar har gjorts för att rama in undersökningen, avgränsningarna bör beaktas då resultaten tolkas och slutsatser från undersökningen dras:

- Metoden för tillverkning av provkroppar cementstabiliserad asfalt bygger endast på slagpackning med marshallstamp.
- Endast penetrationsbestämt bitumen undersöks och jämförs i denna undersökning. Specifikt bitumenkvaliteterna märkta som 50/70, 100/150 och 160/220. (Verkligt penetrationsvärde av undersökt bitumen kontrolleras i undersökningen).
- Ballast till asfalt hämtas från NCC:s stentäkt i Södra Sandby, Lunds Kommun.
- Endast NCC:s strongphalt används för CSA. Strongphalt är baserat på en portlandcement.



2. Litteraturstudie

2.1 Asfaltbetong

Asfaltbetong även kallat asfalt, är en beläggningstyp som oftast används som slitlager på vägöverbyggnader. Slitlagret är det översta lagret på vägar och således den yta trafikanter samt fordon kommer i kontakt med. I och med detta ställs ofta krav på asfaltbetong för att det skall fylla en funktion där vägbanan får goda egenskaper relaterade till trafiksäkerhet, transportekonomi och komfort (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.1.1 Asfaltmassa

Asfaltmassa är grovt uppbyggt av två komponenter; bituminöst bindemedel samt ballast i form av krossad sten (Trafikverket, 2020a). Asfaltmassa kan tillverkas på olika sätt där variabler som bindemedelshalt, kornkurva och temperaturen vid vilket man blandar ballast och bindemedel varierar. Då ballast och bindemedel blandats kallas det för asfaltmassa, det är i detta tillstånd opackat. Efter att asfaltmassan packats och svalnat kallas det för asfaltbetong eller asfalt.

2.1.2 Varm asfaltmassa

Allra vanligast förekommande asfaltmassa är den som benämns varm asfaltmassa. Denna typ av asfalt tillverkas med ett penetrationsbitumen vid temperaturer som överstiger 120°C (Trafikverket, 2020a). Vidare blandas bitumen och ballast oftast på asfaltverk i en särskild asfaltblandare där materialet håller konstant hög temperatur, varefter det transporteras till och packas på den yta där beläggningen skall läggas.

2.1.3 Ballast

I en asfaltmassa står ballasten för en ansenlig majoritet av totala vikten, cirka 95 viktprocent. Ballast är stenmaterial bestående av antingen naturgrus eller sprängsten som krossats och sorterats. Av hållbarhetsskäl och på grund av dess fördelaktiga egenskaper sett till ökad hållfasthet används i huvudsak krossad sprängsten till asfalt i Sverige. Likt bitumen varierar kvaliteten på stenaggregat. Det finns ett antal olika prover som kan utföras för att kontrollera denna kvalitet där det vanligaste och viktigaste är siktning. Då stenen siktas fås en uppfattning om partikelstorleksfördelningen, vilken är ytterst viktig då asfaltmassa skall tillverkas då den beskriver hålrumshalten i asfaltbetongen (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.1.4 Hålrums halt

En asfalts egenskaper är högst beroende av dess hålrums halt, det tillverkas asfalt till olika ändamål där det enda som skiljer är just hålrums halten. En tät asfaltbetong har en låg hålrums halt vilket get en ökad bärighet och god nötningsbeständighet. Medan en asfalt med hög hålrums halt såsom en dränerande asfaltbetong resulterar i goda friktionsegenskaper och har en god dräneringsförmåga. Det är främst kornstorleksfördelningen i stenaggregatet som styr hur hålrums halten blir i en asfaltbetong (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.1.5 Laborrietillverkning

För att tillverka asfaltprovkroppar i laborietmiljö kan tillämpas en metod som kallas för Marshall-metoden, som specificeras enligt Svensk standard SS-EN 12697–35 samt SS-EN 12697–30 (SIS, 2016, 2019d). Denna metod innebär att asfaltmassan kompakteras genom marshallstampning, där packning sker genom ett antal stötar.

En alternativ metod till att tillverka asfaltbetong i laborietmiljö innebär packning genom gyrotorisk kompaktering. Denna metod specificeras enligt SS-EN 12697–31:2019 och sker främst genom rotation av materialet och tryck vid olika angreppsvinklar för att efterlikna fältpackning (SIS, 2019e).

2.2 Bitumen

Trafikverket definierar bitumen som ett material med mörkbrun till svart färg som är svårflyktigt och har fast till halvfast form (Trafikverket, 2020a). Vidare har bitumen en bindande förmåga och kan bildas i naturen men framställs vanligast genom raffinering av petroleum. Bitumen består av kolväten som fås genom att råolja frånskiljs från fraktioner såsom flytande petroleumgas, bensin och diesel genom destillering (Hunter et al., 2015). Efter raffinering av petroleum återstår oljor med svävande partiklar av kolföreningar som kallas asfaltener. Dessa omges av lättflytande kolväten eller hartser. Det är detta som är bitumen, det material i asfaltmassan som håller ihop ballasten, det är ett bindemedel. Viskositeten för bitumen är högst beroende av dess temperatur, vilket innebär att bitumen blir mer lättflytande vid höga temperaturer (Agardh & Parhamifar, 2014). Det är just den temperaturberoende viskositeten som tillåter att varm asfaltmassa kan tillverkas; höga temperaturer gör ett bindemedel lättflytande vilket försäkrar att den sten ett bindemedel blandas med får fullständig täckning.

Bitumens användningsområden är inte begränsade till endast vägkonstruktion. Likt vägkonstruktioner där bitumens vattenavvisande egenskaper gynnar fuktbeständigheten i asfaltbetong används bindemedlet även flitigt vid taksättning på grund av dess hydrofobiska och elastiska egenskaper. Bitumen är termoplastiskt vilket innebär att det intar flytande och

formbart tillstånd vid höga temperaturer och hårdnar vid lägre temperaturer, då intar det fast form. Att materialet är hydrofobiskt innebär att det avvisar vatten, särskilt fördelaktigt då det används till ändamål som fuktspärr på tak (Hunter et al., 2015).

2.2.1 Penetrationsbestämt bitumen

Kvaliteten på ett bitumen kan bestämmas på olika sätt, men för ett vanligt penetrationsbestämt bitumen görs klassificeringen i första hand genom ett penetrationstest vid 25°C enligt (Agardh & Parhamifar, 2014). Detta innebär att en nål med särskild tyngd släpps ner i provet på bestämd tid och nålens nedsjunkning i materialprovet mäts med enheten tiondels millimeter. Vidare anges kvaliteten på bindemedlet för dessa bitumensorter som ett intervall för nålens nedsjunkning, där lägsta och högsta tillåtna nedsjunkning i materialprovet vid 25°C beskrivs. För att ett bitumen skall klassificeras som en viss typ krävs att även fler krav än penetrationstal uppnås. Dessa specificeras av Trafikverket och rör viskositet, mjukpunkt, flampunkt, brytpunkt och duktilitet (Trafikverket, 2020a).

2.2.2 Mjukpunkt

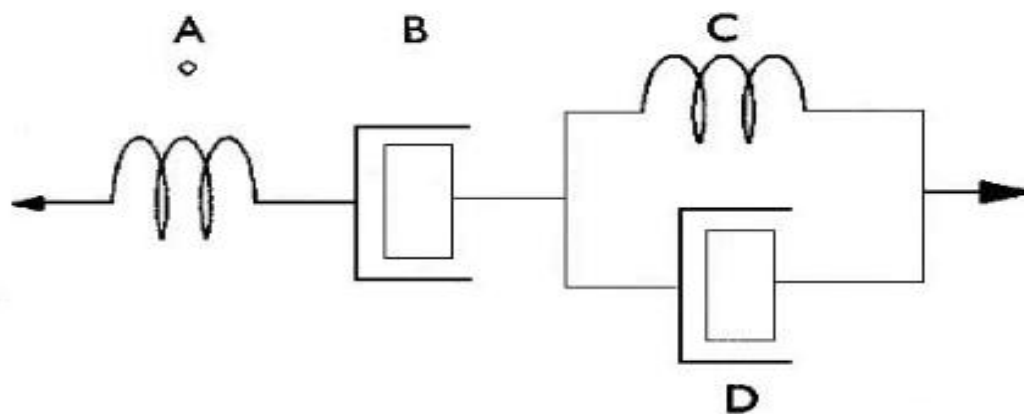
Mjukpunkten av ett bitumen definieras som den temperatur vid vilket en provmängd av bitumen under noga reglerade klimatiska förhållanden uppnår en specifik konsistens som är likställd med fenomenet att materialet övergår från fast till flytande form. Denna temperatur mäts och bestäms genom en särskild metod som heter kula-ring metoden och beskrivs enligt Svenska standard SS-EN 1427 :2007 (SIS, 2007). Vidare är mjukpunkten nära besläktat med penetrationstalet; ett högt penetrationstal medför en låg mjukpunkt, dvs. ett bitumen för vilket penetrationstestet påvisar högt penetrationstal är relativt mjukt. Detta innebär att den vid lägre temperatur (mjukpunkt) når denna eftersökta specifika konsistens.

2.2.3 Reologi

Vid dimensionering och bestämning av bindemedelssort är det viktigt att kontrollera att bindemedlet uppfyller krav avseende användningen för beläggningen och miljön den befinner sig i. Reologi definieras som läran om ett materials deformations- och flytegenskaper och beskriver hur ett material strukturellt sett svarar på belastning (Redelius, u.å.). Bitumen är ett termoplastiskt samt viskoelastiskt material som beter sig på olika sätt beroende på temperaturen den befinner sig vid samt hur länge det exponeras för last. Således kan bitumens reologi delas in i tre områden; ett linjärt elastiskt område som uppstår vid låg temperatur, ett visköst område vid höga temperaturer och ett viskoelastiskt område vid måttlig temperatur (Hunter et al., 2015).

Figur 1 illustrerar en serie fjädrar och stötdämpare vars beteende kan liknas med bitumens reologiska egenskaper (Redelius, u.å.). Vid kortvarig belastning och låg temperatur är bitumen inom dess linjärt elastiska område, detta innebär att samtlig belastning tas upp av fjäder A. Då fjäder A avlastats fjädrar den fullständigt tillbaka och bitumenet återfår dess

ursprungliga form; deformationen var fullt elastisk. Om däremot lasten ligger en längre tid eller temperaturen är måttligt hög agerar bitumen inom dess viskoelastiska område. Då detta är fallet tas lasten upp av stötdämpare B till den grad det är möjligt. Är lasten fortsatt verksam alternativt temperaturen fortsatt hög tar fjäder C och stötdämpare D upp en del last. Då konstruktionen eller materialet avlastats fjädras en del av deformationen tillbaka men bitumen återfår inte helt dess ursprungliga form utan även plastiska deformationer har uppstått i stötdämparna. Vid höga temperaturer verkar inte fjädrarna alls utan samtlig last tas upp av stötdämparna. Det är detta som kännetecknar det viskösa området i bitumens reologi och resulterar i fullt plastisk deformation var ingen del av deformationen är elastisk.



Figur 1. Seriekopplade fjädrar och stötdämpare som beskriver bitumenets reologi (Redelius, u.å.)

2.3 Cement

Cement är ett material som används för att binda ihop fast material, i de flesta fall stenaggregat (Bye, 1999). Vidare anses cement vara ett bindemedel (likt bitumen), dock är det inte termoplastiskt. Då cement blandas med vatten finner det ett plastiskt tillstånd där det blir till en cementpasta, i detta tillstånd är cementen formbar och flytande. Genom kemisk reaktion med vattnet hydreras cementen varpå dess tryckhållfasthet ökar och cementen hårdnar. Det finns ett antal olika typer av cement och samtliga kan delas in i en av två grupper; hydraulisk och icke-hydraulisk cement. Att en cement är hydraulisk innebär att den hårdnar i reaktion med vatten till en slutlig produkt som inte är vattenlös. Den cement som har mest utbredd användning inom byggnadsindustrin kallas för portlandcement. Denna cement används flitigt på grund av den naturliga förekomsten av dess råvaror i naturen vilket gör portlandcement till ett kostnadseffektivt alternativ för byggnadsindustrin (Biernacki et al., 2017).

Portlandcement skapas som produkt av två råvaror; kalksten och lera. Dessa två material mals till ett fint mjöl, varpå de blandas och uppvärms i en brännugn till temperaturer uppemot 1450°C. Vid denna temperatur sker ett antal komplexa kemiska reaktioner där den inmatade råvaran omvandlas till mineraler som är reaktiva mot vatten. Det är detta som gör cement

hydrauliskt. Vid 1450°C är inte smältpunkten nådd för råvaran, i stället sintras det vilket är en process som innebär att partiklar fogas samman genom diffusion. Efter nedkylning återstår produkten cementklinker. Med gips som tillsats mals cementklinker ner till ett fint mjöl och blir till det som kallas portlandcement (Aïtcin, 2016).

2.4 Cementstabiliserad asfalt

I fortsättningen av denna rapport kan cementstabiliserad asfalt komma att förkortas till CSA. CSA är ett kompositmaterial bestående av en öppengraderad asfaltbetong fylld med en cementslamma. Den öppengraderade asfaltbetongen har en hålrums halt på 25 – 35% (Oliveira et al., 2007b). CSA används som beläggningstyp där särskilda krav är ställda avseende bärighet eller resistens mot kemikalier, vatten och oljor. CSA kallas ibland för semiflexibel beläggning, av det namnet går att tyda att detta kompositmaterial låter sig kännetecknas av båda dess huvudkomponenters mekaniska egenskaper. En asfalt anses flexibel medan en betong anses styv, genom att kombinera dessa material skapas något som klassas semiflexibelt. (Hassani et al., 2020).

CSA tillämpades först som beläggningstyp i fall där det eftersöktes ett alternativ till betong (Anderton, 1996). I tillämpandets början ansågs fördelen med CSA gentemot betong vara främst att CSA är fogfritt; betongbeläggningar medför tvärgående fogar som blir till svagheter i vägkonstruktionen samtidigt som det påverkar körupplevelsen negativt pga. ojämnheter. Vidare är det ett mer kostnadseffektivt alternativ i jämförelse med betongbeläggningar.

2.4.1 Tillämpningsområden

CSA har tagit plats i infrastrukturen för transport och logistik genom utbredd framgång sett globalt i ett flertal olika sammanhang. I Europa och USA har det använts på flygplatser för att motstå tunga laster som verkar genom flygplansdäck främst på ytor där flygplan står stationära vid terminaler. Vidare har CSA använts inom industrin på lagringsytor där maskineri eller produkt ger långvarig belastning på markytan. Exempel på CSA inom industrin inkluderar lagerhallar, fabriksmiljöer och hamnterminaler. I Malaysia har CSA tillämpats på vägsträckor där trafikbelastningen är hög för att motstå deformation (Koting et al., 2014). Trots långvarig brukstid har CSA visat god förmåga att motstå deformation och nötning, det kan anses uppfylla dess syfte och fortsatt vara ett attraktivt alternativ vid särskild vägkonstruktion.

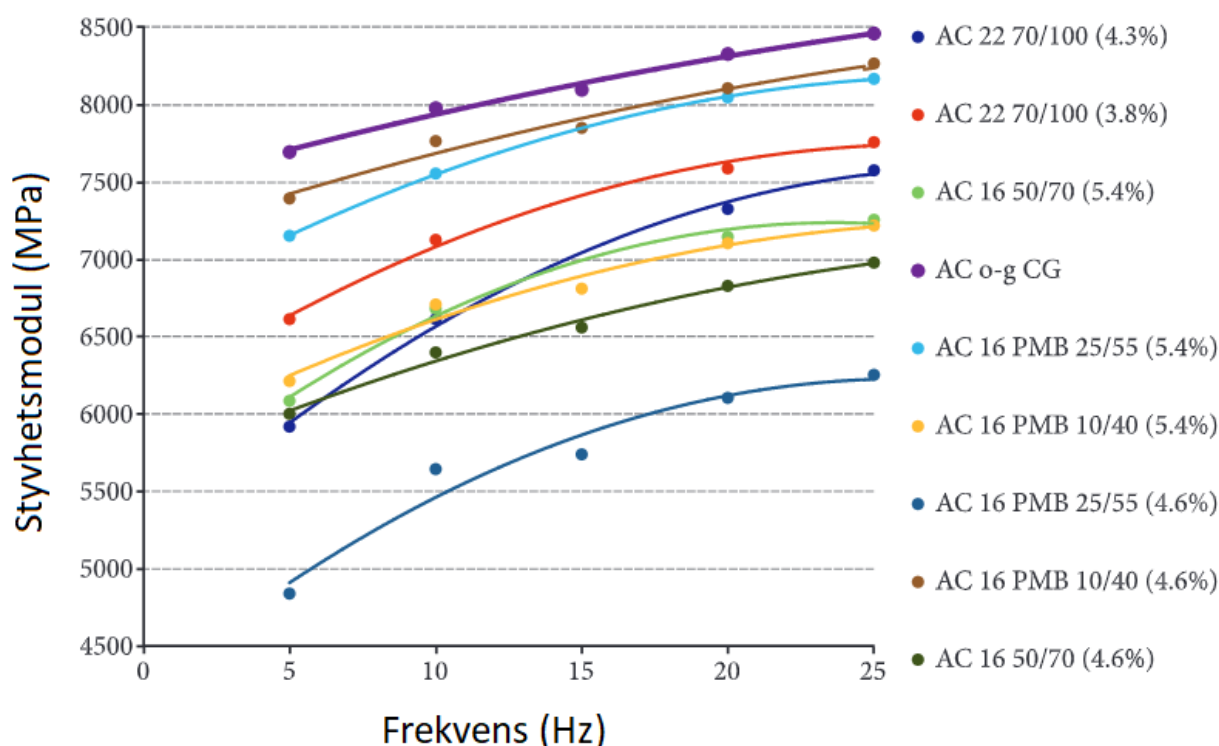
I Sverige är det vanligt att CSA används vid busshållplatser för att motverka bland annat spårbildning och sprickbildning (Bader & Shirzad, 2014). För att motverka dessa vägsador har CSA tagits i bruk, då erbjuds en beständig vägyta som tål last och temperaturförändringar med större utsträckning. Den betydande lasten en buss belastar vägytan med i kombination med värmestrålning från undersidan av fordonen leder ofta till skador i beläggningssytan om den skulle vara gjord av enbart asfalt.

2.4.2 Tryckhållfasthet

Enligt en studie utförd 2020 där fältpackade prover av NCC:s produkt strongphalt tryckhållfasthetstestade, visade det sig att fältprover av CSA med slankhetstal 1 (lika höjd och diameter) hade en tryckhållfasthet på 16.2 MPa. Asfaltbetongen i borrproverna hade en hålrumshalt på 37,7% vilket är högre än referenshålrumshalten på 25–35% som förklarades i avsnittets början. Undersökningen riktade sig mot att bestämma en korrektionsfaktor för tryckhållfastheten sett till olika slankhetstal för proverna (Bredberg & Pettersson, 2020).

2.4.3 Styvhetsmodul

En studie utförd vid Brno University of Technology i Tjeckien år 2015 undersökte styvhetsmodulens variation med belastningsfrekvensen i CSA (Cihackova et al., 2015). I studien testades ett antal olika materialprover med olika asfaltmassa, det konstaterades att vid temperaturen 15°C och frekvens 10 Hz i enlighet med tjeckisk standard för gatudimensionering hade den undersökta CSA-blandningen en styvhetsmodul på 7980 MPa. Figur 2 visar resultaten av forskningen där styvhetsmodulen bestämdes för CSA samt olika asfaltbeläggningar vid olika lastningsfrekvenser.



Figur 2. Förhållandet mellan styvhetsmodul och lastfrekvens för CSA och ett urval asfaltbeläggningar (Cihackova et al., 2015)

I Figur 2 jämföres styvhetsmodulen i olika asfaltblandningar vars beteckningar i figuren förklaras; asfaltbetong, största kornfraktion, bitumenkvalitet, bitumenhalt i asfaltmassan. Figuren visar att den cementstabiliserade asfalten (AC o-g CG i figuren) har vid samtliga frekvenser högre styvhetsmodul än resterande asfaltbetong. Det vill säga; samtliga provade asfaltblandningar resulterade i beläggningar med lägre styvhetsmodul än cementstabiliserad asfalt vid undersökta belastningsfrekvenser.

2.4.4 Temperaturbeständighet

En undersökning på CSA-prover som utsatts för frys-tö cykler där materialproven utsatts för upprepade nollpassager gjordes för att bedöma huruvida CSA påverkas av den upprepade frys-tö processen (Li et al., 2022). Studien visade på att draghållfastheten ej påverkades avsevärt av temperaturfluktuationerna. Specifikt visade resultaten att 99,4% av den initiala draghållfastheten upprätthölls efter upprepade frys-tö cykler. Slutsatsen kunde dras att den CSA som testades var vattentät, vilket troligt uppnås då cementslamman får tillräcklig fyllnadsgrad i asfaltbetongen (hålrummen i asfaltbetong fylls till okulärt bedömt hög fyllnadsgrad med cementslamma). Att CSA visar sig vara vattentätt antyder att det är temperaturbeständigt sett till åtminstone kalla temperaturer. Det innebär att risken att fukt ska tränga sig in i konstruktionen och orsaka sprickor till följd av sprängning då vatten fryser till is är förhållandevis liten.

Brand i tunnel medför betydande risker för trafikanter och enorma kostnader för staten. En studie gjord kring flamresistens på CSA visar att det är betydligt säkrare att brukas som beläggning för vägar i tunnlar än enbart asfalt, sett till brandfara (Toraldó, 2013). Studien visade att jämfört med asfalt är CSA mindre lättantändligt och resulterar i mindre koncentration giftiga gaser, som är en av de stora farorna med brand i tunnel. Jämfört med betongbeläggningar är CSA inte lika resistent, dock anses fördelen med att CSA är billigare och snabbare att reparera övervägande och slutsats drogs att CSA är den vägbeläggning bäst lämpad för vägar i tunnlar.

2.4.5 Spårbildningsresistens

En studie utförd på både laboratorie- och fältpackade prover av CSA undersökte bland annat spårbildningsresistensen av CSA genom att utföra spårbildningsstester med upprepad belastning av ett stålhjul som förs fram och tillbaka över provytan vid hög temperatur, provet liknas med Hamburg Wheel test (An et al., 2018). Detta test görs för att uppskatta risken för nötning och spårbildning i en beläggning och utförs vid högre temperaturer då asfaltbeläggningar är mer benägna för deformation. Resultaten av studien tydde på att den CSA som provats inte deformerats alls av provet som utförts och således har CSA väldigt god förmåga att förbli stabil även vid höga temperaturer.

2.4.6 Fältproduktion av CSA

I fält följs ett noggrant tillvägagångssätt för att skapa en cementstabiliserad asfalt. För att kunna möta kriterier och krav gällande beläggningen såsom bärighet och friktionsegenskaper är det viktigt att arbetet med produktion, hantering och utläggning av både asfalt och cementslamma genomförs korrekt. Riskerna med felaktig eller bristfällig arbetsgång kan leda till undermålig prestanda hos beläggningen. Nedan beskrivs processen för hur NCC:s Strongphalt läggs ut, en cementstabiliserad asfalt.

Asfaltmassa blandas i asfaltverk och transporteras till den yta var det skall läggas. För att säkerställa önskad hålrums halt i asfaltbetongen tillämpas arbetsrecept som inte kan redovisas beroende på industrisekretess. Med en vanlig asfaltläggare läggs sedan asfaltmassan ut varefter den rullas över med en vält för att få en jämn yta. Tjockleken på asfalten varierar i de flesta fall mellan 30 – 60 mm, men är beroende av beställarens önskemål (NCC, u.å.).

Efter asfaltbetongen svalnat blandas torrt cementbruk med vatten för att skapa en cementslamma. Blandningen sker i en tvångsblandare och sker till slamman fått en slät och klumpfri konsistens. Cementslamman hålls sedan ut över asfalten och fyller dess hålrum. Överflödet dras sedan av med skrapor så asfaltbetongens yta blir delvis synlig och framträdande (NCC, u.å.). Enligt NCC kan beläggningen trafikeras redan efter det härdat i ett dygn, beroende på trafikbelastningen beläggningen är dimensionerad för. Viktigt vid arbetet med att lägga ut cementstabiliserad asfalt är att tätning sker vid gränser mot kantsten, brunnar och liknande. Detta då bristande tätning resulterar i att cementslamman rinner ur asfalten och fyllnadsgraden blir undermålig (Bredberg & Pettersson, 2020).

2.4.7 Laborrietillverkning

För att vidare utveckla kunskapen kring CSA är det fördelaktigt att kunna laborietillverka beläggningen. Då fältpackade prover innebär en omfattande arbetsprocess med stora materialvolymmer samt tungt maskineri är det fördelaktigt att kunna laborietillverka materialprover. Genom forskning kring beläggningstypen konstateras att ett antal olika metoder har tillämpats för att skapa cementstabiliserad asfalt i laboriemiljö, två exempel presenteras nedan.

En undersökning vid Virginia Polytechnic Institute & State University utfördes år 1992 och där framtog en särskild metod för tillverkning av CSA (Gouru, 1992). Med förundersökning kring andelen sten som krävdes av varierande fraktioner för att erhålla rätt hålrums halt i asfaltbetongen, och vetskap om andelen bitumen som skall användas blandades en asfaltmassa vilket sedan marshallpackades med 10 stamp på vardera sida om provet. Totalt tillverkades 20 provkroppar där medelhålrums halten i asfaltbetongen blev 28,67%. Det skapades sedan en form runt och under provkropparna genom att de virades med silvertejp. Cementslamma skapades genom blandning av cementbruk med vatten, varefter asfaltproverna placerades på en vibrationsbänk och fylldes med cementslamma.

Materialproverna tilläts stå kvar på vibrationsbänken tills luftbubblor upphörde att synas på ytan. Efter 12 timmar avformades proverna och lät härdas i undersökningsspecifik miljö.

En studie som ämnade till att producera en CSA och utföra ett antal tester för att utvärdera dess egenskaper tillämpade en alternativ metod för tillverkning av provkroppar CSA (Li et al., 2022). Asfaltmassan packades med en gyratorisk kompaktor, där stenmaterialet trycks ihop succesivt till skillnad från marshallmetoden där materialet kompakteras genom slagpackning. Efter kompaktering täcktes asfalten med ett plastmembran och placerades i cylindriska formar. Därefter hälldes en cementslamma på ovanifrån.

2.5 Styvhet

Styvheten i ett material kan beskrivas som materialets förmåga att fördela last. Denna egenskap är oberoende av materialets komposition och är en vital kvalitet att ta hänsyn till vid vägdimensionering (Hunter et al., 2015). Styvhetsmodulen är en materialparameter som beskriver sambandet mellan spänning och töjning i ett material som inte är linjär-elastiskt. Då ett material är linjär-elastiskt innebär det att sambandet mellan spänningen och töjningen är oberoende av parametrar som temperatur och lastfrekvens och då kallas sambandet för elasticitetsmodul eller Young's modulus (Said & Viman, 1998)

Asfalt är inte ett linjär-elastiskt material; variationer i temperatur och lastfrekvens har onekligen en inverkan på deformationen som kan skådas i ett materialprov främst beroende på bitumens egenskaper (Redelius, u.å.). Ett bituminöst material klassas som ett icke-linjärt viskoelastiskt material där prestanda och formbarhet varierar vid olika temperaturer, laster och frekvenser vid vilket lasten verkar. Då sambandet mellan spänning och töjning undersöks i bituminösa material kallas det för styvhetsmodul. Sambandet mellan spänning och töjning undersöks vid givna temperaturer, låga laster och förbestämda lastningsfrekvenser där materialprovet deformeras inom dess elastiska gränser, dvs. där det beter sig som ett linjärt-elastiskt material (Said & Viman, 1998). Styvhetmodulen beskrivs rent tekniskt enligt Ekvation 1 nedan, enligt svensk standard (SIS, 2018).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Ekv 1})$$

där

E = Styvhetsmodulen

σ = Spänning

ε = Töjning

2.5.1 Provning av styvhetsmodul i asfaltprovkroppar

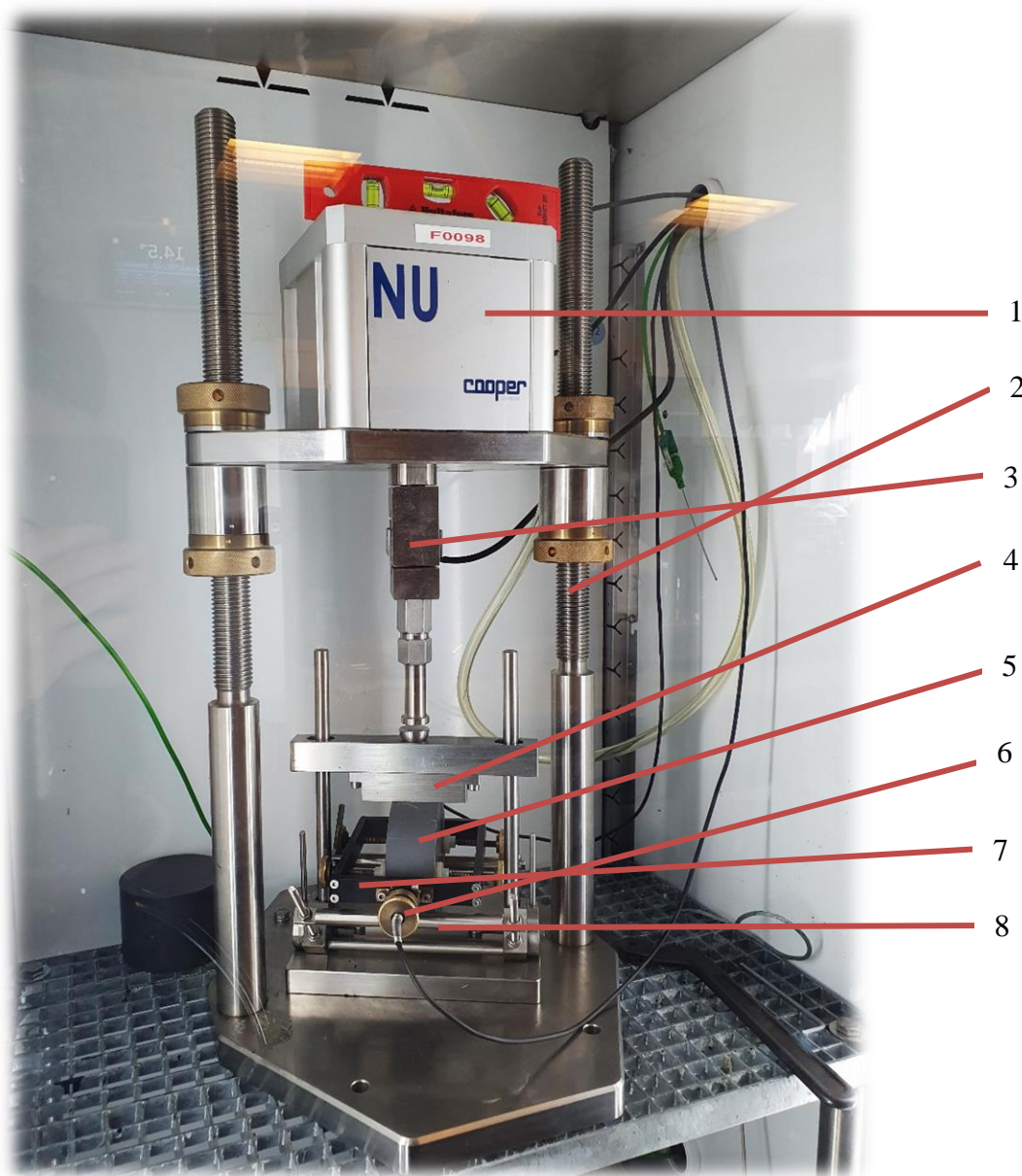
Styvhetsmodulen bestäms genom provning enligt europeisk standard SS-EN 12697–26:2018 annex C där principen är att provkroppar med lämplig form och storlek prövas inom dess elastiska gränser för att bestämma spännings-töjningssamband på ett icke-förstörande vis (SIS, 2018). Det vill säga; provkropparna utsätts enbart för laster där deformationen är elastisk; plastisk deformation sker ej och proverna kvarhåller sin ursprungliga form och prestationsförmåga efter provning. Det finns enligt europeisk standard ett antal olika metoder som kan tillämpas vid provning av styvhet för asfaltprovkroppar. Lämpligast metod vid provning av laboratoriepackade prover är pressdragprovning. Denna metod anses lämplig då den är icke-förstörande vilket tillåter för upprepade provning av samma provkropp, vidare kan denna metod tillämpas på cylindriska provkroppar av varierande tjocklek samt diameter. Pressdragprovning beskrivs av SS-EN 12697–26:2018 (SIS, 2018). Detta prov utförs lämpligtvis på laboratoriepackade prover alternativt borrprover från beläggningar. Provkropparna skall ha dimension enligt Tabell 1.

Tabell 1. Provkroppens dimension vid pressdragprovning (SIS, 2018)

Maximal Kornstorlek (mm)	Diameter (mm)	Höjd (mm)
≤ 16	100 ± 3	$40 - 60 \pm 2$
	150 ± 3	
> 16 till < 32	150 ± 3	60 ± 2
≥ 32	150 ± 3	90 ± 2

Provkroppar av asfaltbetong bereds antingen genom laboratoriepackning alternativt borring från en vägbeläggning eller provyta, för regelrätt provning med varians i resultaten bör minst 4 olika provkroppar styvhetstestas. Proverna skall härda mellan 14 och 42 dagar på en plan yta vid en temperatur som inte överstiger 20°C. Proverna kapas för att skapa två plana, jämna ändytor som är parallella. Skrymdensiteten av provkropparna mäts enligt SS-EN 12697–6:2012 och det kontrolleras att inget prov avviker från medelvärdet mer än 1% (SIS, 2012). Om avvikelsen är större skall provet uteslutas provning. Provkropparna som skall testas ställs sedan i ett klimatskåp i minst 4 timmar för att de skall uppnå undersökningens testtemperatur, temperaturen beror på undersökningen. Då provkropparna nått rätt temperatur är de redo att testas genom pressdragprovning enligt uppställningen i Figur 3.

Enligt Figur 3; provkroppen (5) placeras i en stålram (2) där den sitter mellan två lastband av stål (4, 8). Provet spänns fast i en rigg (7) genom vilket två avståndsgivare placeras och spänns fast mot provet (6). Lastpulser skickas genom det pneumatiska ställdonet (1) och laddcellen (3) till provkroppen som pressas ihop, varvid töjningen mäts av avståndsgivarna. Utrustningen är förinställd gällande hur många gånger lasten skall verka samt hur lång påläggningstiden av varje last skall vara. Resultaten avläses i ett särskilt datorprogram där bland annat värden för spänning, töjning och styvhetsmodul ges (SIS, 2018). I fallet om denna undersökning sker styvhetsprovning med utrustning och programvara av märke Cooper research Technology.



Figur 3. Uppställning styvhetsprovning genom pressdragprovning

3. Metodbeskrivning

Detta kapitel beskriver de praktiska moment som utförts i studien. Inledningsvis presenteras beläggningstyperna som skall tillverkas och styvhetsprovas. Metod för tillverkning av provkroppar CSA redovisas uppdelad i tre avsnitt; asfaltproduktion, asfaltkontroll samt cementpåfyllnad. Vidare redovisas hur den praktiska provningen för styvhetsmodul har genomförts.

3.1 Undersökta beläggningstyper

Då målsättningen är att undersöka mjukpunkten i bitumens påverkan på styvheten av cementstabiliserad asfalt har bitumenkvaliteten varierats. Det produceras asfaltprovkroppar med tre olika penetrationsbitumen, varefter samtliga cementstabiliseras på samma vis. Resultatet blir totalt 18 provkroppar cementstabiliserad asfalt där det finns 6 likvärdiga prover av varje provgrupp med bitumenkvalitet. Tabell 2 beskriver beläggningarna som tillverkas samt introducerar beteckningar som i fortsättningen av denna rapport används för att beskriva de olika provgrupperna.

Tabell 2. Undersökta beläggningstyper CSA

Penetrationsbitumen	Bitumenhalt (%)	Största stenstorlek (mm)	Beteckning
70 / 100	4	16	CSA 70
100 / 150	4	16	CSA 100
160 / 220	4	16	CSA 160

3.2 Kontroll av kornkurva

Asfaltbetongens arbetsrecept utgick ifrån specifikationer tillhandahållna av NCC, dessa redovisas ej på grund av industrisekretess. Stenmaterial vägdes upp och siktades enligt SS-EN 12697-2 för att kontrollera att stenmaterialet som skulle användas vid produktion av CSA förhåller sig till den teoretiska kornkurvan väl (SIS, 2015b). Då stenmaterial är unikt med olika andelar överkorn (sten större än angiven fraktion) samt underkorn (sten mindre än angiven fraktion) är det viktigt att kontrollera kornstorleksfördelningen innan blandning av asfaltmassa. Samtliga provkroppar producerades efter ett arbetsrecept som producerade en likadan kornkurva.

3.3 Produktion av asfaltprovkroppar

3.3.1 Asfaltmassa

Stenmaterialet som utgör ballasten i asfalten består av ett antal olika fraktioner där största fraktionen är 16 mm. Dessa fraktioner vägdes upp och förvarades i formar som sedan ställdes i ett värmeskåp acklimatiserat till 150°C som är blandningstemperatur för asfalten. Totala mängden sten uppgick enligt asfaltreceptet till 2880 g.

Bitumen värms i ett värmeskåp även den till asfaltens blandningstemperatur om 150°C. Viktigt var att temperaturen inte översteg detta då det annars riskerar oxidera bindemedlet och förändra dess mekaniska egenskaper. Då bitumen uppnått blandningstemperatur var det tillräckligt flytande för att kunna hålla ut den mängd som krävs för asfaltbetongen. På en våg ställdes en tratt i vilken det vägdes upp 120 g bitumen. Tratten ställdes åter i värmeskåpet för varmhållning. Det är viktigt att temperaturen på bitumen och sten ligger på blandningstemperatur (150°C) innan blandning sker.

Asfaltblandaren startas och tillåts uppnå blandningstemperaturen. Blandningsprogrammet som skall brukas skiljer sig ifrån industristandarder för vanlig asfaltbetong. Då asfalten består av betydligt högre andel stora stenfraktioner än små finns risk för betydande krossning av sten om blandaren verkar för länge. Asfaltblandaren programmerades för att blanda i 70 sekunder vid 150°C.

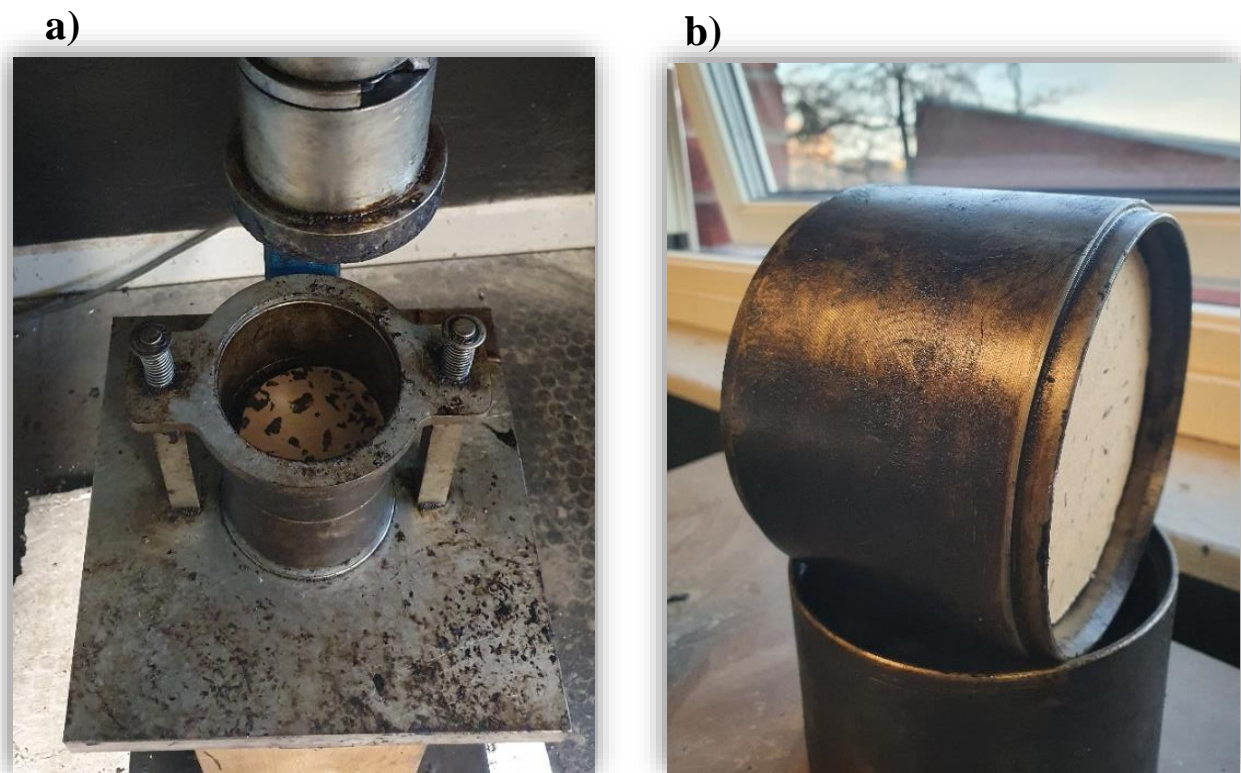
Då blandningstemperatur var uppnådd öppnas locket till blandaren och stenmaterialet hälldes i. Direkt därefter hälldes bitumen ut över stenen. Försiktighet togs vid uthållning av bitumen för att det inte skulle klumpa sig på samma ställe, bitumen fördelades i den mån det gick över all sten som låg i blandaren. Locket till blandaren stängdes och blandningsprogrammet startades. Efter avslutad blandning skrapades asfaltblandaren ur och asfaltmassan extraherades och fördelades jämnt i tre olika formar. Vikten asfaltmassa per burk och således provkropp asfaltbetong blev ca 960 g. Formarna ställdes sedan direkt i värmeskåp för att upprätthålla blandningstemperatur fram till dess massan skulle packas.

3.3.2 Packning och avformning av asfaltmassa

Formvalsar med diameter 101,9 mm enligt ställdes i värmeskåpet som redan håller 150°C fem minuter innan de användes till packning. Efter fem minuter i värmeskåpet kontrollerades ytttemperaturen på valsen med en infraröd termometer, ytttemperaturen låg på ca 85°C. Denna temperatur kan tänkas variera något beroende på ett antal olika faktorer såsom var i skåpet valsarna har stått eller hur ren valsen är vilket påverkar ytan där mätningen görs. Viktigast är att värmeskåpet ständigt hållit 150°C och att valsen sedan värmts i fem minuter på samma ställe i skåpet alla gånger, vidare att temperaturmätningen gjordes på samma punkt på valsen alla gånger.

Efter valsens uppvärmning ställdes den på plats i Marshallstampen och inuti valsen lades två lager filter. Filtret motverkade att asfaltmassan kunde fastna i stålytan och riskera dra isär provkroppen vid avlyft efter packning, att två kaffefilter användes berodde på att det visade sig mer effektivt än endast ett. En burk med asfaltmassa (ca 960 g asfaltmassa) togs ur värmeskåpet och hälldes ut i valsen, massaytan avjämnades snabbt och försiktigt med en spackelspade och sedan lades två lager filter på även här.

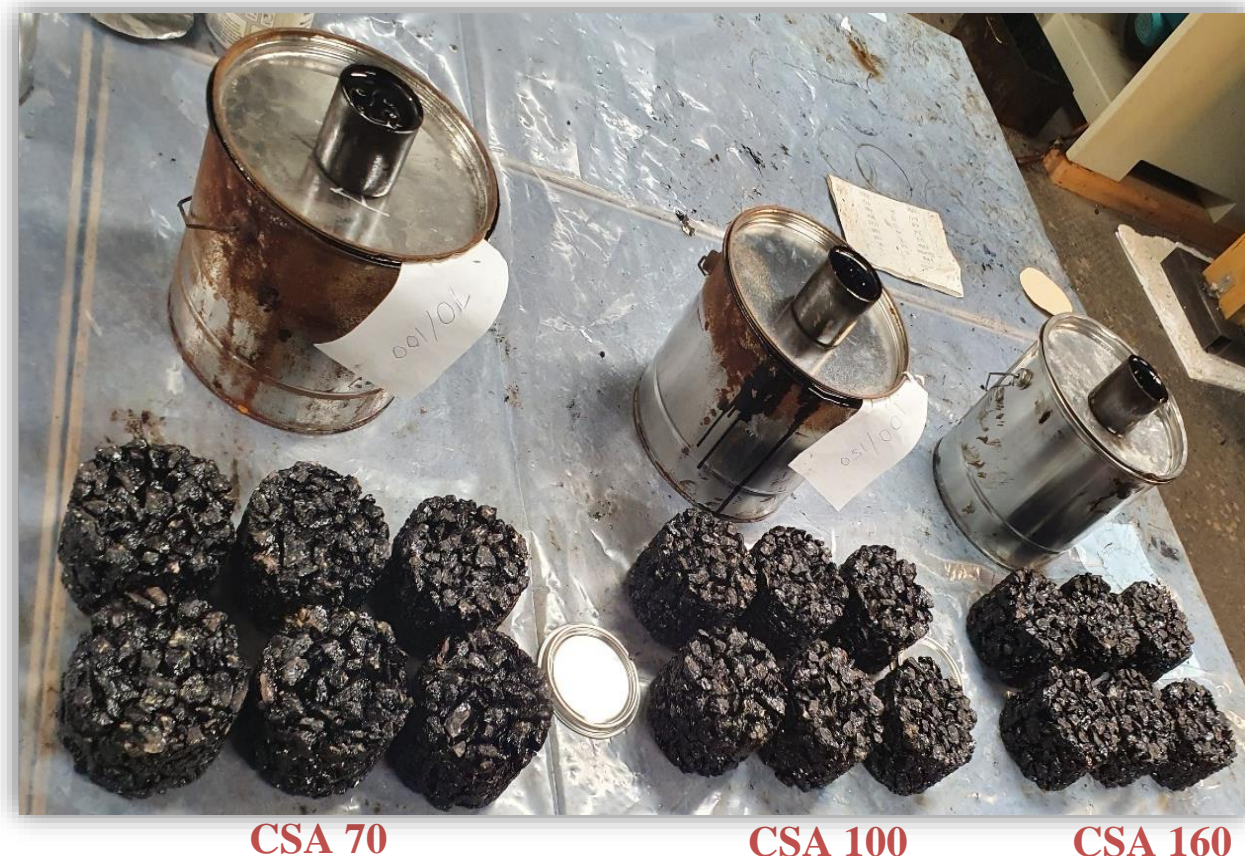
Asfaltmassan packades med 25 stamp av marshallstampen. Efter avslutad stampning fick provet stå kvar i valsen på stålytan i ca 20 minuter tills den övre provytans yttemperatur hade svalnat till 50°C, Figur 4a. Även denna temperatur mättes med infraröd termometer. Då denna nedkylning uppnåtts bedömdes det inte finnas risk för stenras längre, valsen lyftes av från ytan och ställdes på dess sida i rumstemperatur för vidare nedkylning till 30°C, Figur 4b.



Figur 4. (a) Asfalt svalnar till 50°C efter packning. (b) Asfalt svalnar från 50°C till 30°C innan avformning

Då bägge ändrar av provkroppen i valsen hade yttemperaturer på 30°C avformades provet med domkraft, genom att pressa ut asfalten från valsen. Asfalten ställdes sedan på en arbetsbänk för vidare rumstemperering.

Fullständiga proceduren upprepades för de tre undersökta bitumenkvaliteterna och totalt producerades sex likvärdiga asfaltprover av varje bitumensort, totalt 18 provkroppar vilka visas i Figur 5.



Figur 5. Producerade asfaltprovkroppar med varierande bitumenkvaliteter.

3.4 Kontroller bitumen och asfaltbetong

3.4.1 Kontroll av hålrums halt

Asfaltprovkropparnas hålrums halt kontrollerades för att säkerställa tillräckligt hålrum för att uppnå god fyllnadsgrad av cementslamma samt för att kontrollera att asfaltbetongen efterliknar standarden för den undersökta beläggningstypen cementstabiliserad asfalt. Hålrums halten bör vara mellan 25–35% (Oliveira et al., 2007b).

Kompaktdensiteten av producerad asfaltbetong kontrollerades på NCC:s laboratorium i Södra Sandby enligt SS-EN 12697–5:2019 metod med pyknometer (SIS, 2019b).

För att kontrollera skrymdensitet tillämpades metoden skrymdensitet enligt dimensioner (eng. bulk density by dimensions) som beskrivs enligt europeisk standard SS-EN 12697–6:2012 (SIS, 2012).

Diametern av samtliga provkroppar var detsamma som innerdiametern av valsen inom vilket proven packades. Höjden bestämdes som snittvärdet av fyra olika höjdmätningar gjorda på provkroppen fördelade med 90 grader där Figur 6 visar dessa mätpunkter. Hålrumsalten bestäms enligt SS-EN 12697–8:2019 och enligt Ekvation 2 (SIS, 2019c).

$$Hålrumsalt = \frac{\rho_{kompakt} - \rho_{skrym}}{\rho_{kompakt}} \cdot 100 \quad (\text{Ekv 2})$$

Där

$\rho_{kompakt}$ = Kompaktdensitet

ρ_{skrym} = Skrymdensitet



Figur 6. Mätpunkter vid dimensionsbestämning av provkropp

3.4.2 Kontroll av penetrationstal bitumen

Då mjukpunktens variation i asfalt är variabeln som undersöks och denna är nära kopplad till penetrationstalet var det viktigt att kontrollera penetrationstalet av det bitumen som använts vid produktion av asfalt. Penetrationstester utfördes enligt SS-EN 1426:2015 där materialprover av bitumen penetrationstestas vid 25°C (SIS, 2015a).

3.5 Cementslamma

3.5.1 Gjutform

För att kunna fylla hålrummen i asfaltbetongen med cementslamma var det tvunget att finnas en vattentät form runt asfalten för att förhindra läckage av cementslamma vilket hade lett till otillräcklig fyllnadsgrad. Asfaltprovkropparna lindades med silvertejp undertill och runtom. En överhängande lämnades upptill för att underlätta vid påfyllnad av cementslamma. Figur 7 visar en asfaltprovkropp med form av silvertejp.



Figur 7. En asfaltprovkropp med vattentät form av silvertejp

3.5.2 Fyllnad cementslamma

Cementslamman blandades enligt anvisningar på förpackningen för torrbruket Strongphalt samt vägledning av en yrkesvan person med god erfarenhet av torrbruket. Cementslamman blandades till en slät och klumpfri konsistens under omrörning med bormaskin och blandarstav som varade ca 10 minuter. Därefter fylldes en bägare med den färdiga cementslamman och samtliga asfaltprovkroppar fylldes. Cementslamman fylldes till ovanför asfaltytan då det sedan uppenbarades om fyllnadsgraden var tillräcklig eller ej. Sjönk nivån på cementslamman var det ett säkert tecken på att hålrum fyllts ut och mer cement kunde fyllas på för att säkerställa att samtliga hålrum i asfaltbetongen fylldes, Figur 8a visar

processen. Samtliga formar höll tätt och påfyllnaden av cementslamma lyckades i alla fall. Figur 8b visar samtliga provkroppar efter fyllnad av cementslamma.



Figur 8. (a) Asfaltprovkroppar fylls med cementslamma (b) Samtliga provkroppar efter fyllnad av cementslamma

Provkropparna ställdes sedan för att härda i rumstemperatur (20°C) i minimum 28 dygn innan de skulle styvhetstestas. Efter 14 dygn avformades provkropparna för att kontrollera fyllnadsgraden av cement okulärt. Fyllnadsgraden visades vara god då cementslamman fyllt hålrum på samtliga sidor och ändytor av provkroppen. Provkropparna ställdes sedan åter för att härda resterande tid.

3.6 Styvhetsprovningar

Styvhetsprovningar utfördes i Fredericia, Danmark vid NCC:s asfalt- och väglaboratorium. Detta efter provkropparna härdat i 34 dygn, vilket är inom intervallet angivet av SS-EN 12697:2018 som beskriver ett intervall om 14 till 42 dygn efter nyproduktion av asfalt som skall styvhetsstestas (SIS, 2018). Vidare har det i detta skede passerat 28 dygn vilket är i enlighet med standarden SS-EN 12390-2:2019 för härdning av betong (SIS, 2019a).

3.6.1 Sågning och Torkning

Provkropparna sågades för att skapa två parallella och jämna ändytor och tjockleken för de sågade provkropparna ämnades hållas inom det angivna intervallet av 40 – 60 mm angivet i tabell 1. Efter sågning torkas provkropparna i rumstemperatur, då vatten efter sågningen satt sig på ytan.

3.6.2 Höjd, diameter och skrymdensitet

Viktiga inparametrar till styvhetsprovningarna är höjd och diameter på provkropparna. Höjd och diameter på provkropparna mättes på samma sätt som för asfaltproven där höjden mäts vid fyra olika punkter förskjutna med 90 grader och ett snittvärde räknas fram, se avsnitt 3.4.1. På samma sätt räknades snittvärdet för diametern ut från två mätningar förskjutna med 90 grader. Även vikten av provkropparna mättes för att kunna beräkna skrymdensiteten av samtliga prover.

3.6.3 Pressdragprovning

Provkropparna ställdes i ett klimatskåp där de fick stå i minst fyra timmar, detta för att säkerställa att rätt undersökningstemperatur uppnåtts genomgående i provkroppen, ända in i kärnan. Även skåpet i vilken styvhetsapparaturen står ställdes in till samma temperatur. Styvhetsmodulen testades vid 15°C, 20°C och 30°C där första prövningen gjordes vid 15°C.

Styvhetsprövning skedde med 10 efterföljande lastpulser med frekvens 10 Hz, vilket innebär att lasten applicerades alla gånger fullständigt efter exakt 100 ms. Maskinen ämnade att orsaka en töjning i provmaterialet på 5 mikrometer efter passerade 100 ms. Lasten som krävdes för att orsaka den töjningen stod sedan till grund för styvhetsmodulen som angavs för den lastpulsen. Maskinen upprepade denna prövning en gång för varje provkropp och räknade fram ett snittvärde på styvhetsmodulen. Totalt belastar maskinen alltså provkroppen 20 gånger med olika pulser som varar lika länge och ämnar orsaka samma töjning i

materialen, medelvärdet av samtliga provningar anges som resultat för styvhetsmodul. Figur 9 visar uppställningen av maskinen vid pressdragprovning.



Figur 9. Uppställning av apparatur vid styvhetsprovning

Fyra provkroppar av varje provgrupp med samma bindemedel testades vid alla temperaturer. Det innebär att samma provkropp testas vid 15, 20 och 30°C. I det fall spridningen blev stor, då standardavvikelsen blev mer än 14 % av medelvärdet för styvhetsmodulen provades ytterligare en provkropp, detta blev fallet för CSA 100 vid 15°C. Resterande provkroppar CSA som tillverkats hölls i reserv vid styvhetsprovning.

4. Resultat och diskussion

Detta kapitel ämnar till att presentera och diskutera resultaten av undersökningen och analyserna som utförts. Diskussionen kopplas till undersökningens syften och annan befintlig kunskap kring cementstabiliserad asfalt där i viss utsträckning perspektiv ges till resultaten.

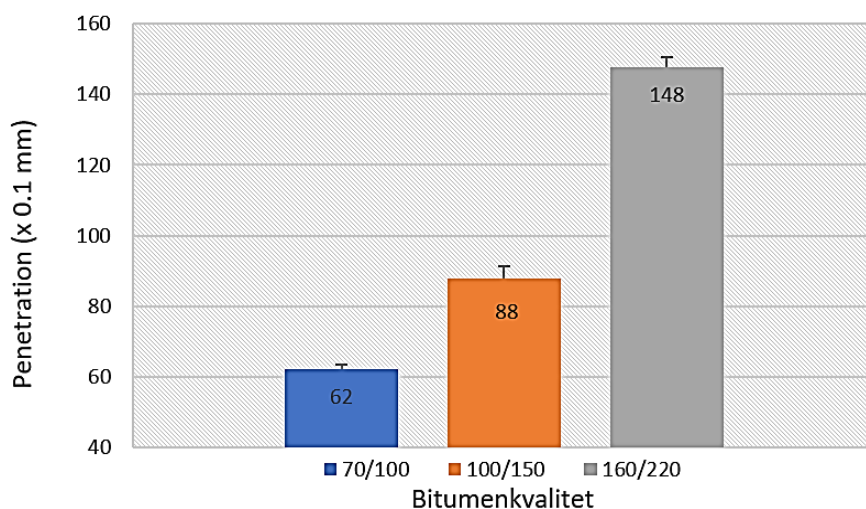
4.1 Resultat av kontroller av bitumen och asfaltbetong

4.1.1 Penetrationstal bitumen

Tabell 3 visar medelpenetrationen med standardavvikelse uppmätt efter fyra penetrationstester i varje materialprov. Vidare visar Figur 10 en jämförelse mellan resultaten.

Tabell 3. Penetrationsvärden av undersökt bitumen

Bitumenkvalitet	Medelpenetration (x 0,1 mm)	Standardavvikelse (x 0,1 mm)
70/100	62.2	1.33
100/150	87.9	3.60
160/220	147.8	2.78



Figur 10. Penetrationsvärden med standardavvikelse för undersökt bitumen

Tabell 3 visar att penetrationstalet är för samtliga materialprov något lägre än det borde vara enligt klassificeringen av SIS (SIS, 2009). Penetrationen i bitumen 70/100 är 11% lägre än det bör vara för att enligt specifikation klassas som ett 70/100 bitumen. Bitumen 100/150 har 12% lägre penetration än det bör vara och bitumen 160/220 är 8% lägre. Att penetrationstesterna visat lägre penetration än klassificeringen specificerar är för undersökningen inte problematisk, det betyder att samtligt bitumen är styvare än metoden initialt efterfrågade men då det tydligt finns en skillnad sett till penetration och därmed mjukpunkt är det fortsatt intressant att undersöka dessa bitumen i CSA. Skillnaden i medelpenetration för de undersökta bitumenkvaliteterna syns i Figur 10.

4.1.2 Kompaktdensitet asfaltprovkroppar

Kompaktdensiteten är oberoende av hålrums halten i provkroppen, det som påverkar kompaktdensiteten är stenmaterialet och bitumenandelen. Då samtliga provkroppar producerats med samma stenmaterial och lika andelar sten samt bitumen undersöktes kompaktdensiteten på enbart en provkropp som blev representativ för resten. Undersökning vid NCC:s labb i Södra Sandby påvisade en kompaktdensitet på 2,528 ton / m³.

4.1.3 Hålrums halt asfaltprovkroppar

Hålrums halten bestämdes enligt Ekvation 2 då medelhöjden bestämts och provvikten uppmätts. Tabell 4 visar medelvärden för hålrums halten i respektive provgrupp samt hålrums haltens standardavvikelse som talar om variationen bland individuella provkroppar i provgruppen.

Tabell 4. Hålrums haltens medelvärde och standardavvikelse i provgrupperna

Provgrupp	Bitumenkvalitet	Hålrums halt (%)	Standardavvikelse (%)	Antal n
CSA 70	70/100	35.4	0.74	6
CSA 100	100/150	35.3	0.88	6
CSA 160	160/220	34.7	0.88	6

Hålrums halten i asfaltprovkropparna är relativt hög sett till normen för cementstabiliserad asfalt. Då NCC producerar cementstabiliserad asfalt benämnt Stronghalt siktar de på en hålrums halt mellan 25 – 30 % i asfalten (NCC, u.å.). Jämfört med Strongphalts standard för teoretisk hålrums halt tyder resultaten i Tabell 4 på att hålrums halten blivit för hög. Det finns dock belägg för att intervallet för hålrums halten i CSA bör sträcka sig från 25 – 35 %. Enligt

en studie kring utmattningsegenskaper hos CSA bör hålrums halten i den öppengraderade asfalten ligga inom det vidare intervallet som sträcker sig till 35 % (Oliveira et al., 2007a). Resultaten för hålrums halten på ca 35 % kan rättfärdigas med att definitionen för en öppengraderad asfalt tolkas på olika vis.

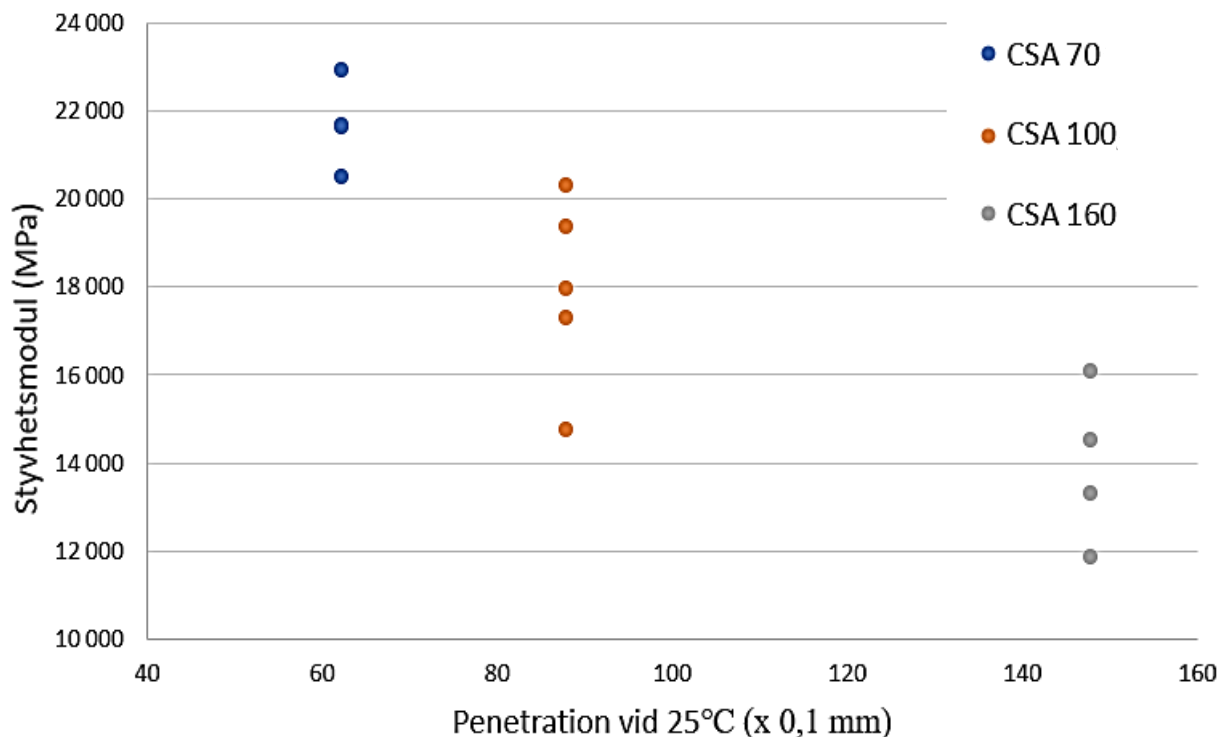
Standardavvikelsen visar att variationen bland individuella provkroppar tillhörande provgrupperna är låg. Det vill säga att spridningen i hålrums halten är över lag låg och metoden för packning av asfaltmassa har lyckats med att skapa replikerbara asfaltprover.

Ena syftet med studien var att framta en metod för att producera provkroppar av CSA i labbmiljö med hjälp av slagpackning, dessa skulle efterlikna beläggningar som återfinns i fält. Asfaltprovkropparna som producerades kan anses vara ett delresultat som beskriver hur framtagna metoden lyckas med att uppnå detta syfte. Hålrums halten för de 18 asfaltprovkropparna blev i snitt 35 % vilket är utanför intervallet för rekommendationer enligt NCC vars produkt Strongphalt har undersökts i denna studie (NCC, u.å.). Det bedömdes att den höga hålrums halten inte ska vara avgörande för studien då det finns belegg för att den öppengraderade asfalten i CSA kan ha en hålrums halt på upp till 35% (Oliveira et al., 2007a). Metoden för framtagning av provkroppar CSA som beskrivs i denna studie kan anses vara något begränsad då den resulterar i en hålrums halt i asfaltbetongen som är hög.

4.2 Styvhetsmodulens variation med penetrationstalet

4.2.1 Styvhetsmodul vid 15°C

Styvhetsmodulen mättes först vid 15°C och Figur 11 visar styvhetsmodulen för de producerade CSA provkropparna som funktion av penetrationstalet hos bitumenet. CSA 70 med penetration 6,22 mm längst till vänster och färg blå. CSA 100 med penetration 8,79 mm i mitten med färg orange och slutligen CSA 160 till höger med penetration 14,78 mm och färg grå.



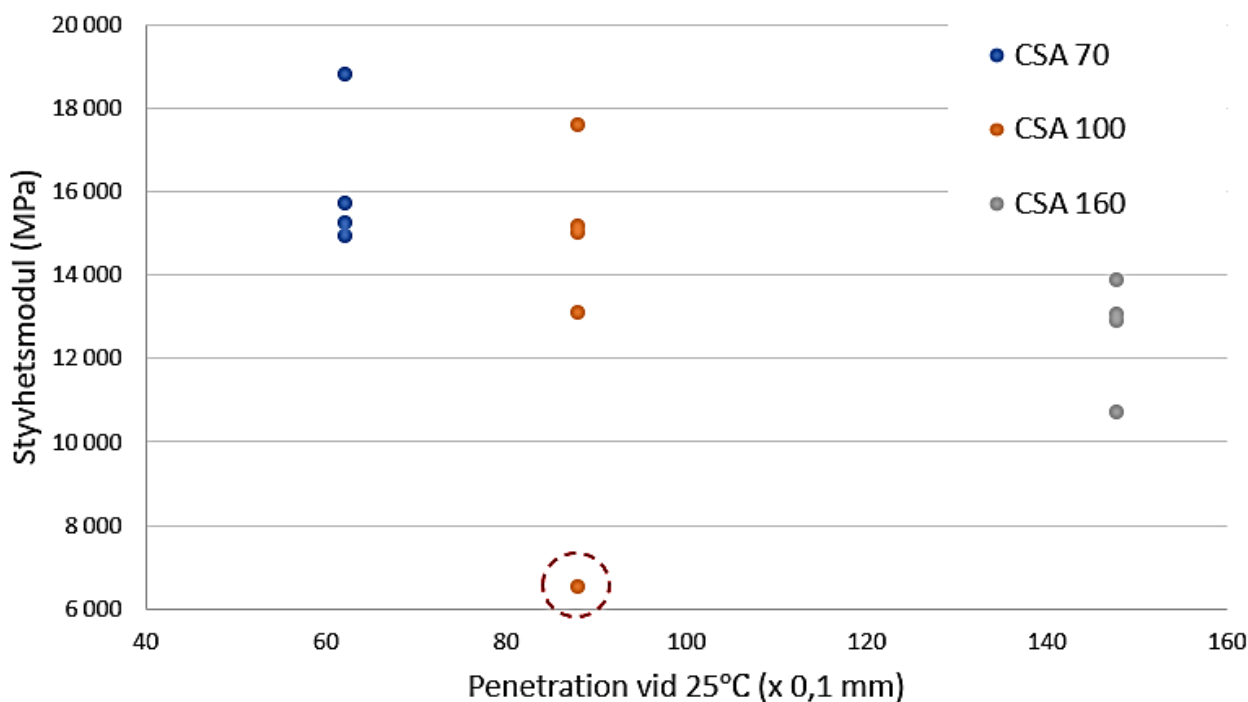
Figur 11. Styvhetsmodulens variation med bitumens penetrationstal vid 15°C

Figur 11 visar att vid 15°C kan anas att styvhetsmodulen blir lägre desto högre penetrationstalet blir. Fyra provkroppar CSA 70 testades och medelvärdet för styvhetsmodulen blev 21 686 MPa. Då standardavvikelsen blev över 14 % av medelvärdet efter fyra testade provkroppar av CSA 100 anades en stor spridning i resultaten, av denna anledning valdes att testa en femte provkropp ur denna provgrupp. CSA 100 hade vid denna temperatur en medelstyvhetsmodul på 17 944 MPa. Slutligen visade sig medelvärdet för styvhetsmodulen hos CSA 160 vara 13 953 MPa.

Figur 11 tillsammans med medelvärden för styvhetsmodulen kan tolkas som att vid 15°C observeras att styvhetsmodulen sjunker med ökat penetrationstal. Det vill säga att styvare bindemedel resulterar i en provkropp CSA med högre styvhetsmodul.

4.2.2 Styvhetsmodul vid 20°C

Styvhetsmodulen för samma provkroppar testades vid 20°C och presenteras på samma vis som i Figur 11. Resultaten redovisas i Figur 12 där styvhetsmodul presenteras som funktion av penetrationen.



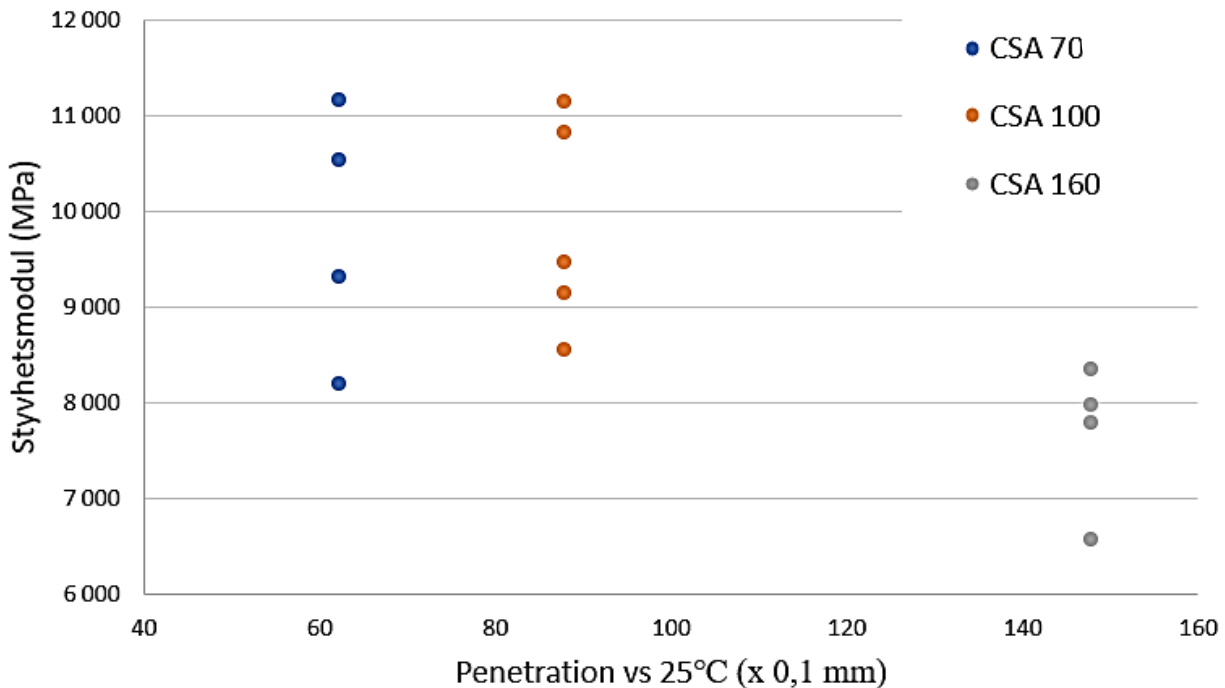
Figur 12. Styvhetsmodulens variation med bitumens penetrationstal vid 20°C. Röd streckad ring markerar avvikande mätpunkt.

Figur 12 visar på en liknande trend där styvhetsmodulen blir lägre med ökat penetrationstal. CSA 70 hade vid 20°C en medelstyvhetsmodul på 16 196 MPa. CSA 100 hade vid samma temperatur en medelstyvhetsmodul på 15 229 MPa och CSA 160 hade en medelstyvhetsmodul på 12 640 MPa.

Provgrupp CSA 100 innehöll en provkropp vars styvhetsmodul blev betydligt lägre än resterade, resultatet av denna är inringad i Figur 12. Denna provkropp påvisade styvhetsmodul på 6543 MPa vilket tolkades som en avvikelse som grundats i felmätning alternativt ett extremvärde som får stor betydelse i resultaten på grund av ett lågt antal provkroppar. Det resultatet tas inte med i beaktande vid analys av resultat.

4.2.3 Styvhetsmodul vid 30°C

Figur 13 presenterar styvhetsmodulen som funktion av bitumens penetration för undersökta provkroppar vid 30°C.



Figur 13. Styvhetsmodulens variation med bitumens penetrationstal vid 30°C

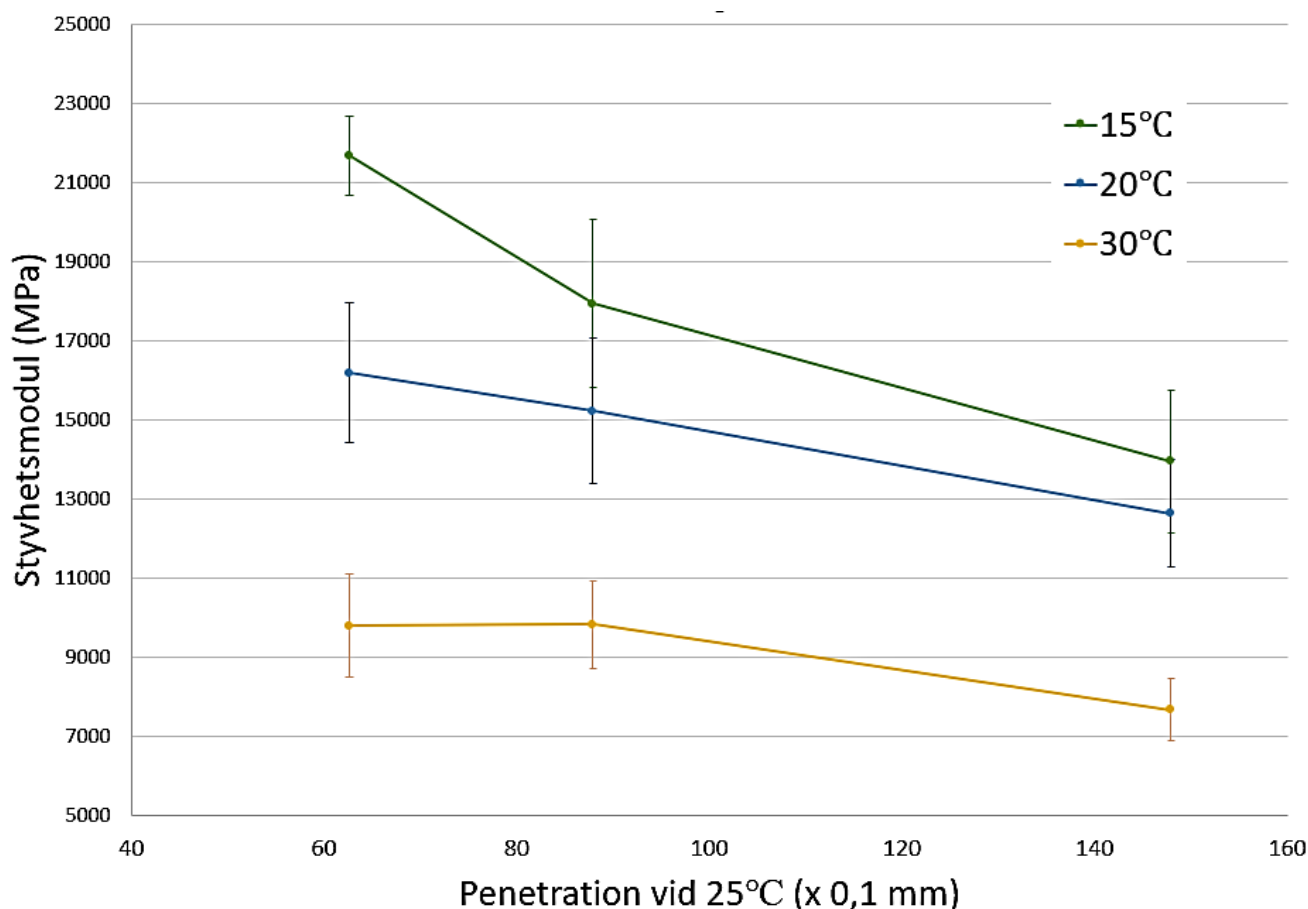
Vid 30°C blir trenden om sjunkande styvhet med ökad penetration något mindre påtaglig. Figur 13 presenterar resultaten där skillnaden i styvhetsmodul mellan provgrupp CSA 70 och CSA 100 inte kan anas. Medelstyvhetsmodulen för CSA 70 blev här 9809 MPa och för CSA 100 blev det 9834 MPa. Medelstyvhetsmodulerna är för dessa två provgrupper lika vid 30°C. Medelstyvheten för provgrupp CSA 160 blev vid denna temperatur 7681 MPa vilket är betydligt lägre än de andra två provgrupperna.

Figur 13 tillsammans med medelvärden för styvhetsmodulen talar för att styvhetsmodulen är fortsatt lägst hos provgruppen med mjukast bindemedel. Dock kan ingen tydlig skillnad utmärkas mellan CSA 70 och CSA 100. Det är troligt att det kan finnas en temperaturgräns vid vilken bitumen med särskild mjukpunkt har mindre inverkan på styvhetsmodulen i provkroppen.

4.2.4 Diskussion av styvhetsmodulens variation med penetrationstalet

Resultaten som presenterats i detta avsnitt jämför de olika provgruppernas styvhetsmodul vilket beskriver hur penetrationstalet i provkroppens bitumen påverkar styvhetsmodulen. Vidare kan av resultaten tolkas hur individuella provgrupper påverkas av temperaturvariationer, utan att jämföras med CSA av annan bitumenkvalitet. I samtliga fall visade det sig att styvhetsmodulen hos provgrupperna minskade med ökad temperatur. Sambandet mellan temperatur och styvhetsmodul var genomgående i enlighet med det som redan är känt om bitumen, det blir mjukare vid högre temperaturer. Figur 15 jämför styvhetsmodulerna för provgrupperna vid de olika temperaturerna, där syns sambandet mellan temperatur och styvhetsmodul tydligt.

Då provgrupperna jämförs kan av medelvärden för styvhetsmodul en allmän trend skådas vid lägre temperaturer, Figur 14. Vid både 15°C och 20°C visar det sig att styvhetsmodulen minskade med ökat penetrationstal. Det vill säga, mjukare bindemedel i den cementstabiliserade asfalten medförde en styvhetsmodul som var lägre. Vid högre temperatur (30°C) blev trenden utifrån resultaten mindre påtaglig. Provggruppen med det mjukaste bindemedlet visar även vid denna temperatur den lägsta styvhetsmodulen, men skillnader mellan styvare bindemedel dvs. provgrupp CSA 70 och CSA 100 kan ej tydas.



Figur 14. Styvhetsmodulens variation med bitumens penetrationstal vid olika temperatur

Anledningen till att CSA 70 och CSA 100 har nästan identisk medelstyvhetsmodul vid 30°C kan ej bestämmas men spekulationer kan göras kring resultaten. Det syns i Figur 14 att alla provgrupper vid samtliga provade temperaturer påvisar lägst styvhetsmodul med det mjukaste bitumenet vilket styrker att penetrationstal skall ha inverkan på styvhetsmodulen även vid 30°C. Då det mjukaste bindemedlet visade vid denna temperatur den lägsta styvhetsmodulen kan det utslutas att styvhetsmodulen i CSA skall bli oberoende av asfaltens bindemedel vid en viss temperatur. Likheten mellan CSA 70 och CSA 100 kan därför ligga i att deras bitumen besitter likvärdiga reologiska egenskaper vid denna temperatur beroende på att deras penetrationstal inte skiljer sig tillräckligt. Alternativt kan det ligga i en annan oberoende variabel som i detta skede inte kan fastslås. Allmänt kan det argumenteras utifrån resultaten att sambandet mellan penetrationstal i bitumen och styvhetsmodul i CSA är den att med ökat penetrationstal (lägre mjukpunkt) minskar styvhetsmodulen. Detta visar sig vara sant för alla jämförelser som gjorts i detta Avsnitt 4.2 förutom CSA 70 och CSA 100 vid 30°C.

4.3 t-tester

För att avgöra om det finns en signifikant skillnad i styvhetsmodul mellan provgrupper med olika bitumenkvalitet utfördes t-tester på resultaten. Med ett 95-procentigt konfidensintervall kan en hypotes bestämmas vara signifikant om analysen visar ett p-värde mindre än eller lika med 0,05. Hypotesen varierar beroende på temperatur och provgrupperna som jämförs, men kan beskrivas som: *Styvhetsmodulerna för provgrupp A skiljer sig från styvhetsmodulerna för provgrupp B vid en särskild temperatur.* Om ett t-test visar på ett p-värde mindre än eller lika med 0,05 kan hypotesen klassas som statistiskt signifikant.

Tabell 5 redovisar p-värden från tvåsvansade analyser där resultaten från styvhetsmätningarna vid 15°C, 20°C och 30°C för de olika provgrupperna jämförs.

Tabell 5. p-värden från tvåsvansade t-tester för styvhetsmodul vid 15, 20 & 30 °C

	p-värde vid 15°C	p-värde vid 20°C	p-värde vid 30°C	n
CSA 70 och CSA 100	0,013*	0,48	0,98	9
CSA 100 och CSA 160	0,019*	0,065	0,011*	9
CSA 70 och CSA 160	0,001*	0,019*	0,038*	8

* Signifikant vid 95-procentigt konfidensintervall

Första spalten i Tabell 5 visar p-värden erhållna vid ett t-test då styvhetsmodulen jämförts mellan provgrupperna vid 15°C. Exempelvis kan från tabellen utläsas att jämförs styvhetsmodulerna för CSA 70 med styvhetsmodulerna för provgrupp CSA 100 erhålls ett p-värde på 0,013. Samtliga p-värden presenterade för resultaten vid 15°C i Tabell 5 är mindre än 0,05. Det kan utifrån analysen konstateras att det finns tillräckliga statistiska belegg för att det ska finnas en signifikant skillnad i styvhetsmodulen mellan provgrupperna vid 15°C, detta syns även tydligt i Figur 11 där resultaten för provgrupperna tydligt ser ut att skilja. Det är utifrån dessa resultat statistiskt signifikant att styvhetsmodulen varierar beroende på bindemedlets penetrationstal vid 15°C.

Tabell 5 presenter vidare p-värden för t-tester utförda på styvhetsmätningarnas resultat vid 20°C. Då CSA 70 jämförs med CSA 100 blir p-värdet 0,48 vilket inte stödjer hypotesen att det skall finnas en signifikant skillnad mellan resultaten. Det finns således inte statistiska belegg att tro att styvhetsmodulerna för CSA 70 och CSA 100 skiljer sig åt vid 20°C. Då CSA 100 jämförs med CSA 160 blir p-värdet 0,065, även detta är utom konfidensintervallet och tillåter inte för att påstå att det skall vara en signifikant skillnad i resultaten, dock kan det klassas som att hypotesen nästan är signifikant. CSA 70 och CSA 160 påvisar en signifikant skillnad i styvhetsmodul vid 20°C. Det vill säga, då resultaten jämförs för provgruppen med det styvaste bindemedlet mot provgruppen med det mjukaste bindemedlet finns statistiska

belägg för att det skall finnas en signifikant skillnad i styvhetsmodul mellan grupperna vid 20°C.

Tredje spalten i Tabell 7 redovisar p-värden erhållna vid ett tvåsvansat t-test för styvhetsmodul mellan provgrupper vid 30°C. Två av dessa p-värden är tillräckligt låga för att skillnaden i styvhetsmodul skall klassas som signifikant. Då CSA 70 jämförs med CSA 100 blir p-värdet 0,98. Det är i detta fall långt ifrån att kunna med statistiken urskilja en skillnad mellan styvheten i provgrupperna. Detta kan jämföras med Figur 13 där det syns att resultaten är lika mellan dessa provgrupper. CSA 100 och CSA 160 har visat en påtaglig skillnad i resultat och här är skillnaden signifikant. Även mellan CSA 70 och CSA 160 är skillnaden i styvhetsmodulens resultat signifikant. Vid 30°C finns en signifikant skillnad i styvhetsmodul då jämförelse mellan provgruppen med det mjukaste bindemedlet görs mot någon av de andra provgrupperna.

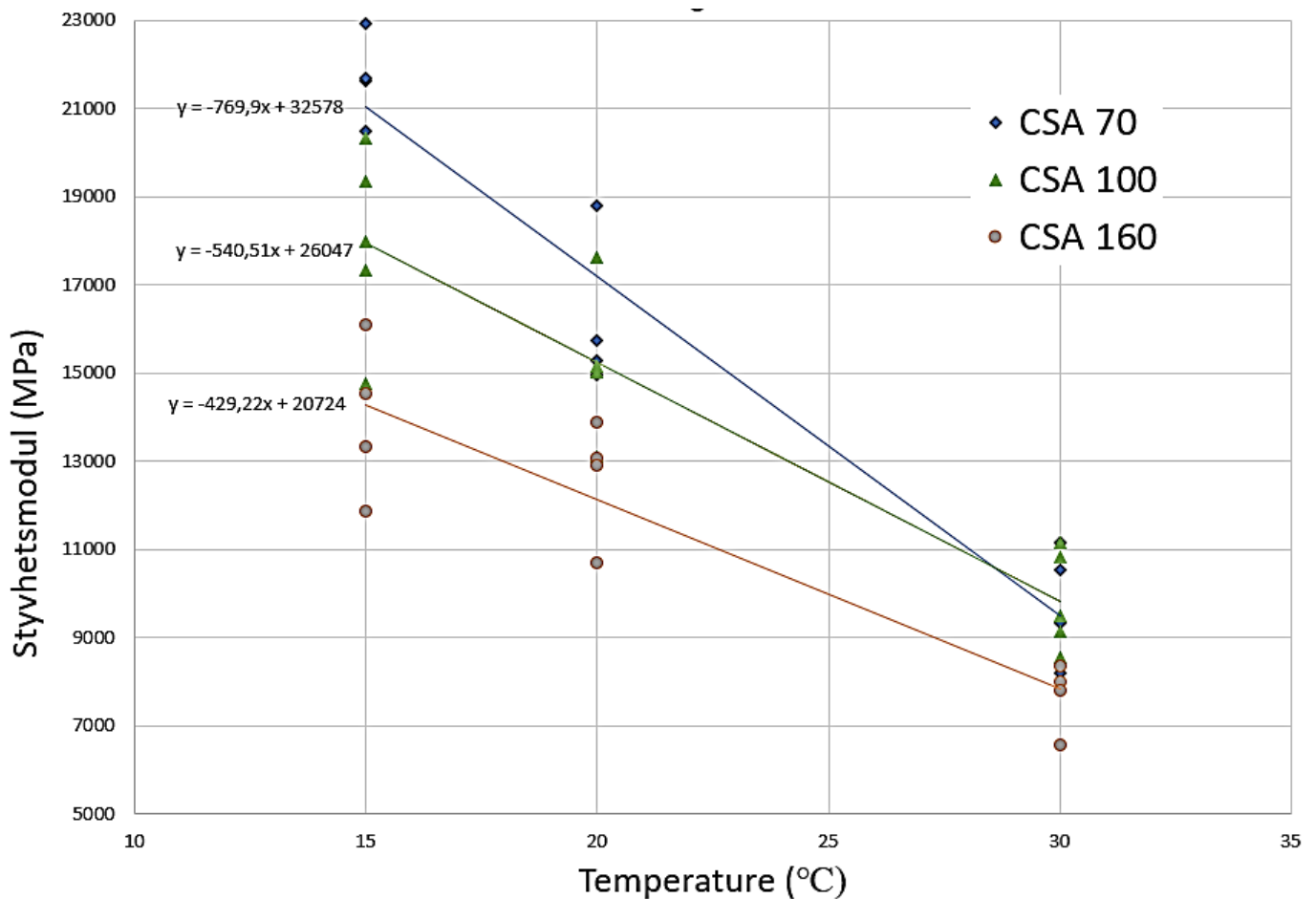
Resultaten av t-testerna var något olika beroende på vilka provgrupper som jämfördes. Viktigt att ha i åtanke är att variationen i penetrationstal av bitumen ej var jämnt fördelat. Skillnaden mellan bitumenkvalitet 70/100 och 100/150 var betydligt lägre än skillnaden mellan 100/150 och 160/220. Tabell 3 presenterar penetrationsvärden för undersökningens prövade bitumensorter.

CSA 70 och CSA 100 påvisade en signifikant skillnad i styvhetsmodul vid lägsta temperaturen, 15°C. Dock kan skillnader mellan dessa provgrupper ej beskrivas eller tydas utifrån t-testerna vid 20°C och 30°C. Detta kan bero på att styvare bindemedel likt de som använts för dessa provgrupper beter sig mer lika vid högre temperaturer, då de närmar sig bitumenets mjukpunkt. Detta stöds av att p-värdet för dessa t-tester ökar från 0,013 till 0,48 och slutligen till 0,98 för 15, 20 respektive 30°C. Skillnaden mellan styvhetsmodulen i CSA 70 och CSA 100 blir mindre påtaglig ju högre temperaturen blir och desto närmre mjukpunkten av bindemedlet provkropparna kommer.

Då CSA 100 och CSA 160 jämfördes fanns en signifikant skillnad i styvhetsmodul vid både 15°C och 30°C. Vid 20°C blev p-värdet nästan tillräckligt liten för att stödja hypotesen om skillnad i resultat men föll kort med 1,5%. Då dessa provgrupper påvisade skillnad i styvhetsmodul vid lägst och högst temperatur samt nästan vid en mellantemperatur kan argumenteras att belägg finns för att påstå att bitumenkvalitet har en inverkan på styvhetsmodulen vid alla testade temperaturer. Det skulle i så fall innebära att provningarna vid 20°C hade en onormalt hög spridning vilket resulterade i en hög standardavvikelse.

Jämförelser mellan CSA 70 och CSA 160 visade på en signifikant skillnad i resultaten för styvhetsmodul vid samtliga temperaturer. Detta innebär att då undersökningens hårdaste bitumen jämförs med undersökningens mjukaste bitumen (sett till penetrationstal) tolkas ett samband där styvhetsmodulen minskar med ökat penetrationstal. Kopplas detta till studiens syfte kan det argumenteras att ett högre penetrationstal i bindemedel medför en lägre styvhetsmodul i CSA oberoende av temperaturer mellan 15 - 30°C. Även i detta fall kan en tendens skådas till att bitumenets penetrationstal skall ha mindre inverkan på minskningen av styvhetsmodulen vid högre temperaturer, likt jämförelsen mellan CSA 70 och CSA 100.

Detta illustreras i Figur 15 där styvhetsmodulerna för CSA 70, CSA 100 och CSA 160 jämförs vid olika temperatur.



Figur 15. Jämförelse styvhetsmodul CSA 70, CSA 100 och CSA 160 vid varierande temperatur

Figur 15 visar att det för samtliga provgrupper råder en minskning av styvhetsmodul med ökad temperatur. Dock kan det argumenteras att denna trend är avtagande ju högre penetrationstalet blir. Trendlinjer anpassade efter datapunkterna visar att ju mjukare bindemedel i den cementstabiliserade asfalten, desto mindre inverkan har penetrationstalet på styvhetsmodulens variation med temperaturen. Trendlinjen för CSA 70 visar högst gradient medan trendlinjen för CSA 160 visar lägst. Dvs. penetrationstalets inverkan på styvhetsmodulen är sådan att den är avtagande vid ökad temperatur mellan 15 – 30°C. En förklaring till varför trenden är avtagande och styvhetsmodulerna i de olika provgrupperna närmar sig varandra vid högre temperaturer kan vara att då bitumen nått en viss temperatur blir styvhetsmodulen i CSA mer beroende av cementen i provkroppen. Det skulle innebära att asfalten blir mindre lastbärande pga. mjukheten i bitumenet vid högre temperatur.

4.4 Modelluppbyggnad genom regressionsanalys

En multipel linjär regressionsanalys görs för att bygga en modell som beräknar styvhetsmodulen i provkroppar av cementstabiliserad asfalt producerade enligt undersökningens framtagna metod. Då det utifrån Avsnitt 4.2 och Avsnitt 4.3 är tydligt att både temperatur och penetrationstal är variabler som påverkar styvhetsmodulen i CSA var dessa inkluderade som oberoende variabler i regressionsanalysen. Vidare inkluderades skrymdensiteten av provkropparna som oberoende variabel då det visade sig ge ett högre R^2 värde på regressionsanalysen vilket talar för att en större del av styvhetsmodulen kan bestämmas om skrymdensiteten är känd. Hållrumshalten i asfaltbetongen provades också som oberoende variabel men visade sig vara icke-signifikant. Tabell 6 redovisar resultatet av variansanalysen, ANOVA med penetrationstal, skrymdensitet och temperatur som variabler.

Tabell 6. ANOVA för styvhetsmodul i CSA

	Koefficient	Standardfel	p-värde
R^2	0,89	-	-
Justerad R^2	0,88	-	-
Skärning y-axel	-36 060	20 625	0,089
Penetrationstal	-45,51	7,31	4.E-07
Skrymdensitet	29 473 ,37	8984,09	0,0024
Temperatur	-576,31	39,21	3.E-16

Tabell 6 presenterar resultat från variansanalysen, bland annat R^2 värdet som kallas för determinationskoefficienten. R^2 värdet beskriver hur stor del av styvhetsmodulens variation kan beskrivas av de oberoende variablerna, då regressionsanalysen görs med flera oberoende variabler används ofta ett justerat värde för R^2 . Denna variansanalys har resulterat i ett justerat R^2 på 0,88, vilket talar för att 88% av styvhetsmodulens variation kan beskrivas av de oberoende variablerna.

Vidare i Tabell 6 kan p-värden för de oberoende variablerna utläsas. Samtliga variabler har p-värden lägre än 0,05 vilket betyder att de har för modellen statistisk signifikans och bör inkluderas i ekvationen för styvhetsmodul. Koefficienternas tecken beskriver variabelns relation till styvhetsmodulen. Penetrationstalet har negativ koefficient vilket innebär att ökat penetrationstal leder till minskad styvhetsmodul. Skrymdensiteten har positiv koefficient; högre skrymdensitet erfordrar högre styvhetsmodul. Temperaturen har negativ koefficient vilket innebär att styvhetsmodulen minskar med temperaturens ökning.

En ekvation för styvhetsmodul i CSA kan härledas utifrån utförd ANOVA och värden i Tabell 6. Ekvation 3 beskriver styvhetsmodulen i CSA.

$$E = -45.51 \cdot P + 29473.37 \cdot \rho_{skrym} - 576.31 \cdot T - 36060.36 \quad (\text{Ekv. 3})$$

Där

E = Styvhetsmodulen

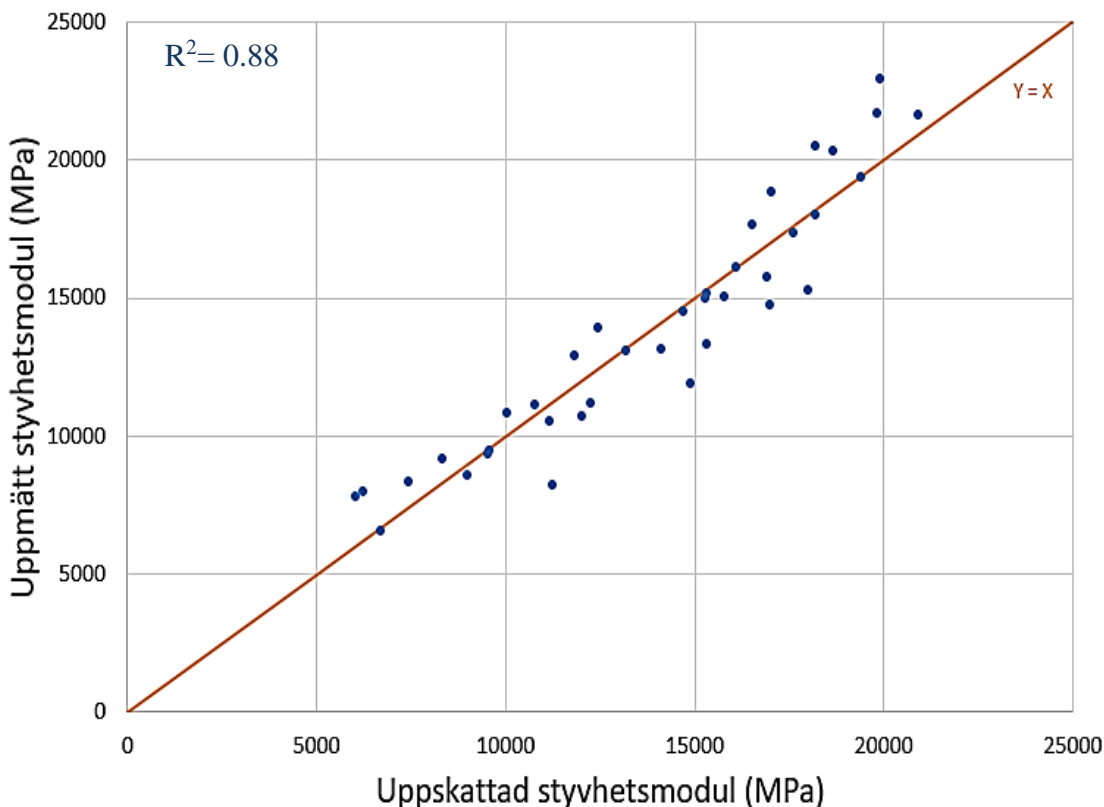
P = Penetration ($\cdot 0,1$ mm)

ρ_{skrym} = Skrymdensitet $\left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}\right)$

T = Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Utifrån Ekvation 3 kan styvhetsmodulen uppskattas givet olika penetrationstal, skrymdensiteter och temperaturer. Teoretiska värden för styvhetsmodulen kan uppskattas givet de oberoende variablerna bestämda enligt undersökningens provkroppar och styvhetsprovningar. Dessa teoretiska värden kan jämföras mot undersökningens uppmätta värden för att granska noggrannheten i modellen och ekvationen.

Figur 16 visar sambandet mellan uppskattade värden för styvhetsmodul och uppmätta värden styvhetsmodul. En jämställdhetslinje är inkluderad där $y=x$.



Figur 16. Uppmätt styvhetsmodul i förhållande till uppskattad styvhetsmodul med hänsyn till jämställdhetslinjen

Figur 16 jämför modellens uppskattade styvhetsmoduler med styvhetsprövningarnas uppmätta värden. Jämställdhetslinjen visar var uppskattade värden och uppmätta värden är lika med varandra, punkter som sammanfaller på eller nära denna linje talar om en precis modell för styvhetsmodul.

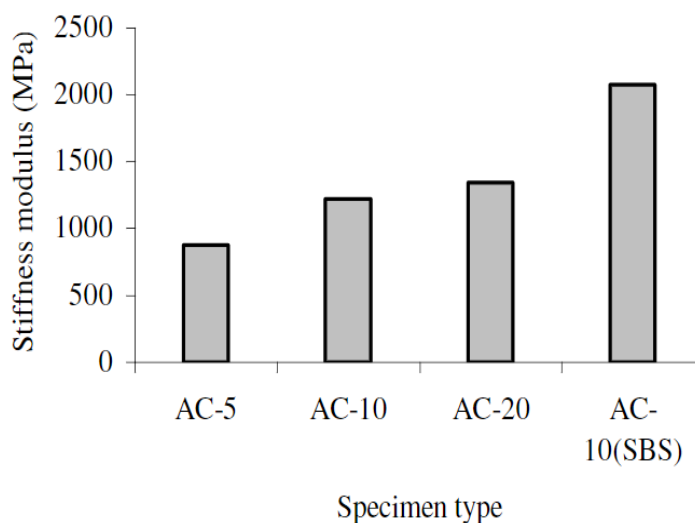
Penetrationsvärde som oberoende variabel

Regressionsanalysen fann att penetrationstalet var en signifikant oberoende variabel till styvhetsmodulen och påvisade ett negativt samband där en ökning av penetrationstal medför en minskning av styvhetsmodulen. Detta korrelerar till bitumens mjukpunkt på så sätt att en minskning av mjukpunkten medför en ökning av styvhetsmodulen i CSA.

En studie gjord vid Firat University i Turkiet undersökte bitumens inverkan på mekaniska egenskaper i en vanlig asfaltbetong där varierande bitumenkvalitet användes för att producera prover asfaltbetong med samma arbetsrecept och kornstorleksfördelning sett till ballasten, Tabell 7 beskriver egenskaperna hos det bitumen de använde vid studien och Figur 17 presenterar hur styvhetsmodulen varierade för deras asfaltprover (Kok & Kuloglu, 2007).

Tabell 7. Egenskaper bitumen (Kok & Kuloglu, 2007)

	AC-5	AC-10	AC-20	AC-10 (SBS)
Penetrationstal 0,1 mm	120	81	68	59
Mjukpunkt °C	43,2	48,4	54,7	71,4



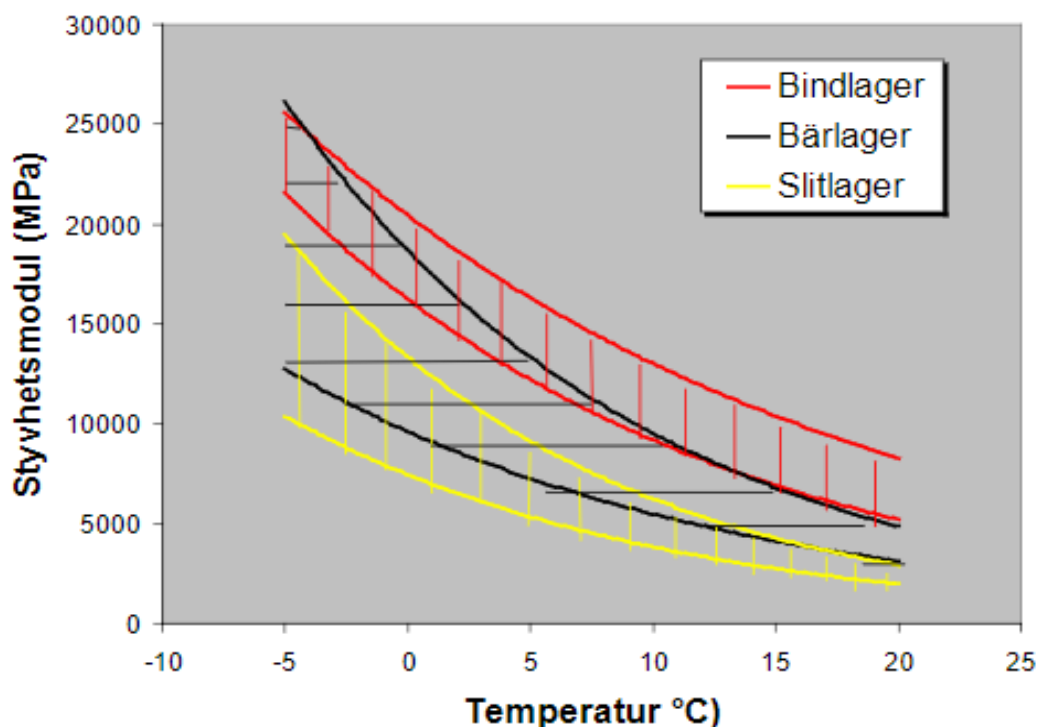
Figur 17. Styvhetsmodul asfalt med varierande bitumen (Kok & Kuloglu, 2007)

Studien som redovisas i Tabell 7 och Figur 17 visar på att asfaltens styvhetsmodul ökade med bindemedel vars penetrationstal minskade och mjukpunkt ökade. Detta kan liknas med resultatet av denna undersökning där samma samband upptäcktes för cementstabiliserad asfalt. En minskning av penetrationstalet medför ett mjukare bindemedel och således en mjukare beläggning av cementstabiliserad asfalt, precis samma som för vanliga asfaltbeläggningar.

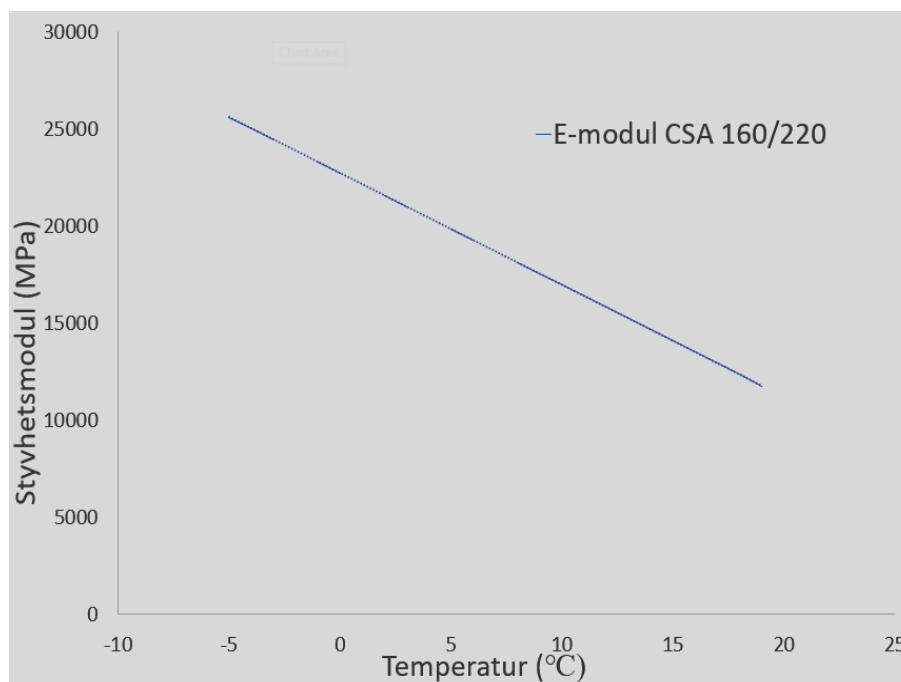
Temperatur som oberoende variabel

ANOVA fann även att temperaturen var signifikant som oberoende variabel i modellen för styvhetsmodul i CSA. Enligt sambandet som redovisas i Tabell 6 och Ekvation 3 har temperaturen ett negativt samband till styvhetsmodulen, vilket betyder att vid ökad temperatur sjunker styvhetsmodulen.

Styvhetsmodulen i en vanlig asfaltbetong är beroende av temperatur, styvheten är som högst vid låga temperaturer då bindemedlet är som styvast. Figur 18 redovisar hur förhållandet mellan styvhetsmodulen i en vanlig asfaltbetong och temperaturen kan se ut (Arvidsson et al., 2012). Figur 19 redovisar förhållandet mellan styvhetsmodul och temperatur i en CSA utifrån modellen från studiens ANOVA-analys.



Figur 18. Temperaturens inverkan på styvhet i en vanlig asfalt (Arvidsson et al., 2012)



Figur 19. Temperaturens inverkan på styvhetsmodulen i CSA utifrån studiens ANOVA, Ekvation 3

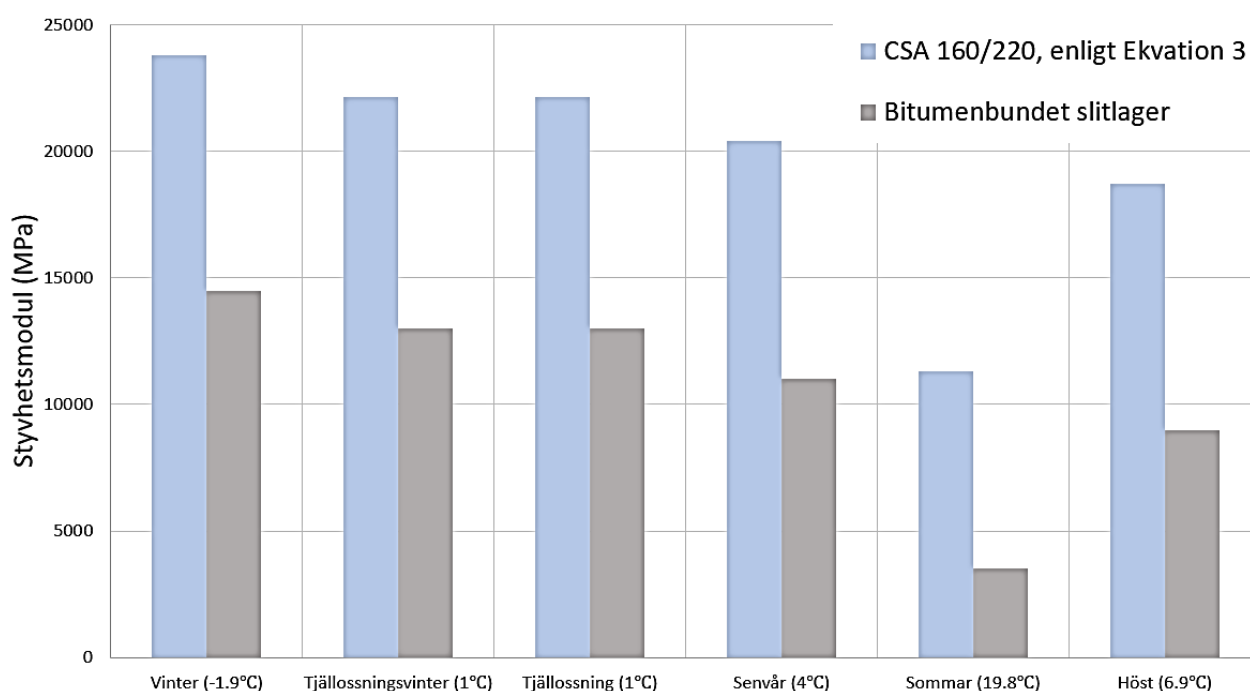
Figur 19 visar resultaten av denna studie där sambandet mellan styvhetsmodul i CSA och temperatur illustreras, en avtagande trend syns där styvhetsmodulen minskar med ökad temperatur. Detta kan jämföras med Figur 18 som illustrerar samma samband för bland annat slitlager i vägkonstruktioner. Cementstabiliserad asfalt och vanliga slitlager i asfalt har liknande förhållande till temperatur sett till att styvhetsmodulen minskar med ökad temperatur. Då asfalt och CSA beter sig på liknande sätt vid variation i temperatur är det rimligt att anta att bitumen grundar styvhetsändringen med hänsyn till dess visko-elastiska egenskaper. Vidare kan tilläggas att även med ett förhållandevis mjukt bindemedel av 160/220 erfordras högre styvhetsmodul i CSA än vanlig asfalt, vid illustrerade temperaturer.

Skrymdensitet som oberoende variabel

Skrymdensiteten för provkropparna inkluderas i ANOVA och även den bedömdes vara signifikant för styvhetsmodulen i CSA. Sambandet var positivt vilket innebär att högre skrymdensitet resulterade i en högre styvhetsmodul. Detta kan spekuleras bero på att en högre skrymdensitet innebär mer massa per volymenhet vilket i provkropparnas fall inte omöjligt innebär mer stenmaterial eller cement som bidrar till en högre styvhetsmodul.

4.4.1 Jämförelse CSA & Bitumenbundna slitlager

En jämförelse mellan ett vanligt bitumenbundet slitlager i en vägkropp kan göras mot CSA. Det vill säga, en vanlig asfaltbetong jämförs med CSA sett till styvhetsmodulen. Denna jämförelse görs med fördel vid olika årstider och för olika klimatzoner för att bedöma om temperaturen i vägkroppen medför mer eller mindre fördelaktiga styvhetssegenskaper i någon av materialen. Enligt TRVINFRA råder specifik temperatur i bitumenbundna bärlager vid olika årstider och i olika klimatzoner i Sverige, dessa temperaturer resulterar i olika styvhetsmoduler på vilket krav har ställts (Trafikverket, 2020b). Kraven på styvhetsmodulen i ett bitumenbundet slitlager i klimatzon 1 jämförs med modellerade värden för CSA enligt Ekvation 3, resultaten presenteras i Figur 20.



Figur 20. Jämförelse CSA 160/220 och bitumenbundet slitlager i klimatzon 1 enligt (Trafikverket, 2020b)

Utifrån Figur 20 kan tydas att styvhetsmodulen i CSA är vid alla årstider högre än kraven ställda på bitumenbundna slitlager i klimatzon 1. Det kan även tydas att samma variationer upplevs i CSA som förväntas av ett vanligt slitlager; högst styvhetsmodul väntas på vintern då beläggningen har som lägst temperatur och lägst upplevs på sommaren då temperaturen är som högst. Vidare kan konstateras att CSA uppfyller Trafikverkets krav ställda på styvhetsmodul i ett bitumenbundet slitlager.

Likadana jämförelser har gjorts för samtliga klimatzoner i Sverige för att undersöka om resultaten är applicerbara i hela landet. Resultaten redovisas i Bilaga C och samma samband kan tolkas oavsett vilken klimatzon som undersöks. Det vill säga, oavsett geografiska förutsättningar i Sverige möter styvhetsmodulen i CSA Trafikverkets krav på bitumenbundet slitlager enligt TRVINFRA (Trafikverket, 2020b).



5. Metoddiskussion

I detta kapitel diskuteras kring metoderna som använts vid denna studie och kommentarer ges kring eventuella felkällor och beslut som fattats genom utförandet.

5.1 Blandning och packning av asfaltmassa

Arbetsreceptet vid blandning av asfaltmassan har för samtliga prover varit likadan, det innebär att för att uppnå optimal och eftersökt hålrumshalt i den öppengraderade asfalten måste ett arbetsrecept framtas som uppfyller en särskild kornstorleksfördelning, detta förklarades i avsnitt 3.2.

Då hålrumshalten i asfaltbetongen ska bli tillräckligt hög används en relativt liten andel mindre stenfraktioner och filler, detta då hålrummen mellan större stenar inte skall fyllas ut för mycket. Efter blandning av asfaltmassa uppmärksammades att en del finare stenmaterial satt kvar i asfaltblandaren och behövde skrapas ur. Då en del av detta finare bitumentäckta stenmaterial inte kunde blandas med resterande asfaltmassa till en homogen blandning utan att riskera bindemedelsklumpar som kan påverka provkroppens mekaniska egenskaper valdes att i stället kassera det. Resultatet blir en provkropp med kornstorleksfördelning lätt skild från det teoretiska målet; inga större stenar lämnades utanför men en minimal del av finmaterialet fastnade i asfaltblandaren. Detta är till viss utsträckning del av orsaken till att asfaltbetongen hade en högre hålrumshalt än den ämnades ha.

Asfaltmassan packades med enbart 25 slag på en sida. Detta visade sig mest effektivt för att producera homogena provkroppar där det skedde minimalt med stenkross enligt visuell inspektion. Då andelen större sten är hög i en öppengraderad asfalt riskeras stenkross då asfaltmassa slagpackas. Efter upprepade försök och experiment visade det sig mest fördelaktigt att enbart packa massan med 25 slag, på detta sätt tillverkades en provkropp som höll ihop väl och påvisade minimalt med stenkross. Att asfaltmassan inte packades på båda sidor alternativt med fler slag kan också vara en anledning till att hålrumshalten blev 35%.

5.2 Gjutning cementslamma

Gjutformar skapades genom att linda asfalten i silvertejp undertill och runt om, detta resulterade i en fullständigt vattentät form som inte tillät för läckage av cementslamma. Provkropparna CSA blev inte perfekt runda då gjutformen inte var helt rund. På vissa ställen kunde diametern vara något mer än det initialt var hos asfalten och på andra ställen blev diametern mindre pga. att tejpens buktade inåt i ett hålrum. Då provkroppen inte var

fullständigt cylindrisk och inte hade en alldeles jämn yta försvårades styvhetsprovningen till viss del.

Gjutformarna hade förslagsvis kunnat tillverkas av silikon eller annat formbart material som kan formas till en perfekt cylinder runt asfalten. Detta hade säkerställt att samtliga provkroppar hade samma diameter och jämnhet vilket hade uteslutit att provkroppens form kan komma att påverka styvhetsprovningarna.

5.3 Kontroller av skrymdensitet

Skrymdensiteten för provkropparna CSA bestämdes enligt metoden beskriven i avsnitt 3.6.2. Felkällor vid detta moment ligger främst i den mänskliga faktorn där felavläsning på skjutmättet kan ske eller att mätning tas vid punkter som inte är fördelade med precis 45° som metoden efterfrågar. Risken med felavläsning är att fel skrymdensitet noteras vilket kan komma att påverka resultaten. Studien fann att skrymdensiteten har positiv relation till styvhetsmodulen vilket enligt rimligheten och logiken stämmer, detta tyder på att kontrollerna av skrymdensitet utförts väl, alternativt att felavläsningar gjorts åt rätt håll i samtliga fall då dimensionerna av provkropparna kontrollerats.

5.4 Styvhetsprovningar

Styvhetsprovningar skulle göras på fyra provkroppar från varje provgrupp, detta enligt svensk standard för att kunna beräkna variansen i resultaten (SIS, 2018). I det fall standardavvikelsen bedömdes bli för hög styvhetsprovades en femte provkropp och detta blev fallet för provgrupp CSA 100. Anledningen till den höga standardavvikelsen blev för stor i fallet CSA 100 berodde på en större spridning i resultaten vilket kan attribueras antingen felkällor i styvhetsprovningen eller provkroppar vars mekaniska egenskaper var mindre lika. Att provgrupperna bestod av olika antal provkroppar bedömdes inte vara problematiskt då samtliga grupper hade minimum fyra vilket överensstämmer med europeisk standard.

För CSA 100 uppmärksammades en avvikelse i mätningen vid 20°C där den första provkroppen visade på en styvhetsmodul som var mindre än 50% av resterande provkroppars styvhetsmodul vid samma temperatur. Felet för denna provkropp bedömdes bero på misslyckad mätning som troligtvis grundades i felaktig placering av provkropp eller avståndsgivare i provningsmaskinen och resultatet togs inte med i beräkningar eller analyser och då denna provgrupp från början bestod av fem provkroppar återstod ändå fyra resultat vilket metoden efterfrågar som minimum.

Vid styvhetsprovning med pressdragprovning antas provkropparna vara fullständigt cylindriska. Då studiens metod erfordrade provkroppar vars diameter inte var fullständigt homogen var det av stor vikt att räkna ett medelvärde för diametern vilket sedan används vid pressdragprovning som inparameter. En felkälla ligger därmed i att diametern som angavs

datorprogrammet vid pressdragprovning inte speglar den verkliga diametern av provkroppen då den inte anses vara fullständigt cylindrisk.

5.5 Resultatpresentation och analys

Ett syfte med studien var att undersöka om, samt till vilken utsträckning bitumens mjukpunkt påverkar styvhetsmodulen i cementstabiliserad asfalt. Genom en multipel linjär regressionsanalys kunde en modell byggas var inverkan av oberoende variabler beskriver styvhetsmodulen. Syftet med studien uppfylls genom att penetrationstal undersöktes som en av dessa oberoende variabler, men det finns begränsningar med linjära regressionsanalyser. Främsta begränsningen är att en linjär regressionsanalys beskriver ett förhållande som mest troligt inte är fullständigt linjärt. Det kan utifrån studien påstås finnas ett samband mellan styvhetsmodul och penetrationstal, men modellen förenklar denna relation till ett linjärt samband vilket med god sannolikhet inte speglar verkligheten.

6. Slutsatser och rekommendationer

6.1 Slutsatser

Denna studie ämnades utföra styvhetsprövningar på provkroppar cementstabiliserad asfalt för att undersöka om bitumens penetrationstal har en påverkan på styvhetsmodulen i CSA. Provkropparna skulle vara producerade på ett replikerbart sätt genom en metod som framtas där slagpackning tillämpas. Vissa avgränsningar tillämpades och skall tas i beaktande vid tolkning av resultat och slutsatser, dessa avgränsningar definierades i avsnitt 1.4. Vidare beskrivs slutsatser som kan dras av studien.

6.1.1 Penetrationstalets inverkan på styvhetsmodul i CSA

- Undersökningen har visat att då penetrationstalet sjunker i bitumen blir styvhetsmodulen i cementstabiliserad asfalt högre. Ett lägre penetrationstal medför ett styvare bitumen vilket i sin tur leder till en styvare beläggning cementstabiliserad asfalt. Detta visade stämma för temperaturer mellan 15–30°C och för penetrationsbestämda bitumen. Styvhetsmodulens variation som funktion av penetrationstal i bitumen är avtagande vid ökad temperatur mellan 15–30°C.
- Styvhetsmodulen i en provkropp cementstabiliserad asfalt klarar Trafikverkets krav på styvhetsmodul av bitumenbundet slitlager i samtliga Sveriges klimatzoner och under alla årstider.
- Bitumens påverkan på styvhetsmodulen i cementstabiliserad asfalt kan liknas med bitumens påverkan på styvhetsmodulen i en vanlig asfaltbetong. Mjukare bitumen resulterar i en mjukare beläggning varpå slutsats kan dras att bitumens reologi har liknande inverkan på cementstabiliserad asfalt som för vanlig asfaltbetong.

6.1.2 Metod för tillverkning av provkroppar CSA

Tillverkning av provkroppar CSA genom slagpackning som producerar likvärdiga prover lämpliga för jämförelseanalyser samt mekaniska provningar har åstadkommit med studiens framtagna metod.

Metoden beskriven i kapitel 3.1 – 3.5 beskriver framtagna metod för tillverkning av provkroppar CSA.

6.2 Rekommendationer

6.2.1 Rekommendationer utifrån studiens resultat

Studien fann att olika bitumenkvaliteter erfordrar signifikant skilda styvhetsmoduler i provkroppar av cementstabiliserad asfalt vid temperaturer mellan 15–30°C. Beroende på klimatet där beläggningen skall läggas kan det därför visa sig fördelaktigt att jämföra bitumenalternativen och tillämpa den framtagna modellen för att säkerställa rätt mekaniska egenskaper vid operativa temperaturer. Exempelvis kan det enligt studiens resultat spekuleras om att mjukare bindemedel är mindre lämpliga alternativ i varmare klimat då styvhetsmodulen blir för låg; detta skulle kunna resultera i skador till underliggande förstärkningslager i väggroppen.

Vidare visar studien att vid lägre temperaturer såsom 15°C blir styvhetsmodulen i CSA betydligt högre då bitumenet har en högre mjukpunkt och lågt penetrationstal. Det kan visa sig fördelaktigt att undvika bindemedel vars penetrationstal är låga då en alltför hög styvhetsmodul i beläggningen kan orsaka sprickbildning vid verkan av last.

Studien har framtagit en metod för tillverkning av provkroppar CSA i labb genom slagpackning. Metoden är replikerbar och har visat sig fullt fungerande. Vissa ändringar i utförandet kan komma att förbättra metoden såsom silikonformar runt asfalten innan gjutning med cementslamma.

6.2.2 Rekommendationer för fortsatta studier

Studien har gett viss klarhet i ämnet kring styvhetsmodulen i CSA men det krävs fler undersökningar för att vidare utreda bitumenets inverkan på mekaniska egenskaperna hos CSA. Förslag till ytterligare studier:

- Penetrationstalet av bitumens inverkan på styvhetsmodulen i CSA med varierande hålrumshalt i asfaltbetongen.
- Mjukpunkten av bitumens inverkan på deformationsegenskaper som nötningsbeständighet i en CSA genom prövning med Hamburg Wheel Test.
- Hur viktprocentandelen bitumen i en asfaltmassa påverkar styvhetsmodulen i CSA.
- Huruvida mjukpunkten av ett bitumen påverkar styvhetsmodulen i CSA då bindemedlet tillförts tillsatsmedel såsom fibrer eller polymerer.
- Cementens inverkan på styvhetsmodulen i CSA med hänsyn till vattencementtalet, härdningstid och cementkvalitet.



7. Referenser

- Agardh, S., & Parhamifar, E. (2014). *Vägbyggnad*. Stockholm: Liber AB.
- Aïtcin, P. C. (2016). Portland cement. In *Science and Technology of Concrete Admixtures* (pp. 27–51). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100693-1.00003-5>
- An, S., Ai, C., Ren, D., Rahman, A., & Qiu, Y. (2018). Laboratory and Field Evaluation of a Novel Cement Grout Asphalt Composite. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(8), 04018179. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002376](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002376)
- Anderton, G. L. (1996). *User's Guide: Resin Modified Pavement*. Alexandria, Virginia: U.S. Army center for public works. <https://erdc-library.erdc.dren.mil/jspui/handle/11681/10209>
- Arvidsson, A., Blomqvist, G., Erlingsson, S., Hellman, F., Jägerbrand, A., & Öberg, G. (2012). *Klimatanpassning av vägkonstruktion, drift och underhåll (Rapport 771)*. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet.
- Bader, W., & Shirzad, N. (2014). *Cementstabiliserad asfalt på busshållplatser – förändring av skador på cementstabiliserad asfalt på busshållplatser*. Lund: LTH, Institutionen för teknik och samhälle. Trafik och väg 2014. Master Thesis 265.
- Biernacki, J. J., Bullard, J. W., Sant, G., Brown, K., Glasser, F. P., Jones, S., Ley, T., Livingston, R., Nicoleau, L., Olek, J., Sanchez, F., Shahsavari, R., Stutzman, P. E., Sobolev, K., & Prater, T. (2017). Cements in the 21st century: Challenges, perspectives, and opportunities. *Journal of the American Ceramic Society*, 100(7), 2746–2773. <https://doi.org/10.1111/jace.14948>
- Bonicelli, A., Preciado, J., Rueda, A., & Duarte, A. (2019). Semi-Flexible Material: A Solution for High-Performance Pavement Infrastructures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/3/032062>
- Bredberg, E., & Pettersson, O. (2020). *Undersökning av tryckhållfastheten för cementstabiliserad asfalt*. Helsingborg: LTH. Bachelor Thesis.

-
- Bye, G. C. (1999). *Portland cement: Composition, Production and Properties* (2nd ed., Vol. 2). London: Thomas Telford.
- Cihackova, P., Hyzl, P., Stehlik, D., Dasek, O., Šernas, O., & Vaitkus, A. (2015). Performance characteristics of the open-graded asphalt concrete filled with a special cement grout. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 10(4), 316–324. <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2015.40>
- Gouru, H. (1992). *Laboratory evaluation of asphalt-portland cement concrete composite*. Virginia: <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/46400>. Master Thesis.
- Hakim, H., & Nilsson, R. (2010). *Utveckling av provningsmetod för bestämning av styvhetsmodul*. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet.
- Hassani, A., Taghipoor, M., & Karimi, M. M. (2020). A state of the art of semi-flexible pavements: Introduction, design, and performance. *Construction and Building Materials*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119196>
- Hunter, R., Self, A., & Read, J. (2015). *The Shell Bitumen Handbook*. Upplaga 6. London; United Kingdom: ICE publishing
- Kok, B., & Kuloglu, N. (2007). The Effects of Different Binders on Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt. *International journal of science & technology*, 2(1), ss41-48.
- Koting, S., Karim, M. R., Mahmud, H. bin, & Anjang Abdul Hamid, N. (2014). Mechanical properties of cement-bitumen composites for semi-flexible pavement surfacing. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 9(3), 191–199. <https://doi.org/10.3846/bjrbe.2014.24>
- Li, G., Xiong, H., Ren, Q., Zheng, X., & Wu, L. (2022). Experimental Study and Performance Characterization of Semi-Flexible Pavements. *Coatings*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/coatings12020241>
- NCC. (u.å.). *Cementstabiliserad asfalt NCC Strongphalt* [broschyr].
- Oliveira, J., Pais, J., Thom, N., Zoorob, S. (2007). A study of the fatigue properties of grouted macadams. *International journal of pavements*, 6(1-2-3), ss112-123.

-
- Oliveira, J., Zoorob, S., Thom, N. H. (2006). *Fracture and Fatigue Strength of Grouted macadams*.
- Redelius, P. (u.å.). *Bindemedel*. <https://asfaltboken.se/bindemedel/> [Hämtat 2022-03-10].
- Remišová, E., & Holý, M. (2017). Changes of Properties of Bitumen Binders by Additives Application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/3/032003>
- Said, S., & Viman, L. (1998). *Styvhetsmodul genom pressdragprovning - jämförande provning VTI meddelande 808*. Linköping: Väg- och transportforskningsinstitutet.
- SIS. (2007). *SS-EN 1427:2007 Bestämning av mjukpunkt – Kula och Ringmetoden*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS. (2009). *SS-EN 12591:2009 Specifikationer för beläggningsbitumen*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS. (2012). *SS-EN 12697–6:2012 Bestämning av skrymdensitet hos asfaltprovkroppar*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS. (2015a). *SS-EN 1426:2015 Bestämning av penetration*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS. (2015b). *SS-EN 12697–2:2015 Bestämning av Kornstorleksfördelning*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS. (2016). *SS-EN 12697–35:2016 Blandning i laboratorium*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS. (2018). *SS-EN 12697–26:2018 Styvhet*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS. (2019a). *SS-EN 12390–2:2019 Tillverkning och härdning av provkroppar för hållfasthetsbestämning*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS. (2019b). *SS-EN 12697–5:2019 Bestämning av kompaktdensitet*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.

-
- SIS. (2019c). *SS-EN 12697–8:2019 Bestämning av hålrumshalt hos asfaltprovkroppar*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS. (2019d). *SS-EN 12697–30:2019 Framställning av provkroppar genom slagpackning*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS. (2019e). *SS-EN 12697–31:2019 Framställning av provkroppar genom gyratorisk packning*. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- Toraldo, E. (2013). Comparative laboratory investigation into pavement materials for road tunnels. *Road Materials and Pavement Design*, 14(2), 310–324.
<https://doi.org/10.1080/14680629.2013.794366>
- Trafikverket. (2020a). *Bitumenbundna lager TDOK 2013:0529, Version 4*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (2020b). *KRAV TRVINFRA-00224 Överbyggnad väg, Dimensionering och utformning Trafikverkets infrastrukturregelverk, Version 1*. Borlänge: Trafikverket.

8. Bilagor

- Bilaga A – Hålrums halt asfaltprovkroppar
- Bilaga B – Skrymdensitet Provkroppar CSA
- Bilaga C – Krav slitlager TRVINFRA
- Bilaga D – Resultat pressdragprovning CSA 70 (10°C, 20°C, 30°C)
- Bilaga E – Resultat pressdragprovning CSA 100 (10°C, 20°C, 30°C)
- Bilaga F – Resultat pressdragprovning CSA 160 (10°C, 20°C, 30°C)

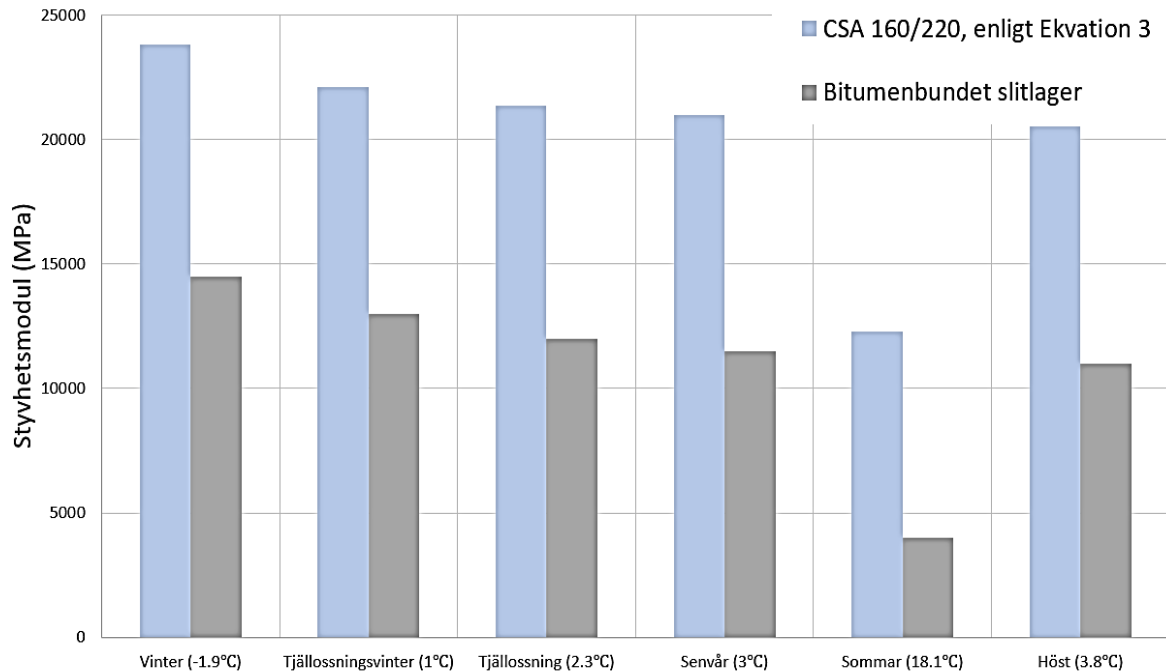
Bilaga A – Hålrums halt av asfaltprovkroppar

70/100											
	Höjd 1 (mm)	Höjd 2 (mm)	Höjd 3 (mm)	Höjd 4 (mm)	Medelhöjd (mm)	Bredd (mm)	Vikt (g)	Volym m ³	Skrymdensitet	Kompaktensitet	Hålrums halt
Prov 1	71	71	71	71	71,00	101,7	948,2	0,0005768	1,6439	2,528	35,0
Prov 2	70	71	70	70	70,25	101,7	934,0	0,0005707	1,6367	2,528	35,3
Prov 3	73	72	72	72	72,25	101,7	946,9	0,0005869	1,6133	2,528	36,2
Prov 4	70	70	70	70	70,00	101,7	944,8	0,0005686	1,6615	2,528	34,3
Prov 5	73	73	73	73	73,00	101,7	957,8	0,0005930	1,6151	2,528	36,1
Prov 6	72	71	71	71	71,25	101,7	939,5	0,0005788	1,6231	2,528	35,8
									Medel		35,4
									Stdav.		0,74
100/150											
	Höjd 1 (mm)	Höjd 2 (mm)	Höjd 3 (mm)	Höjd 4 (mm)	Medelhöjd (mm)	Bredd (mm)	Vikt (g)	Volym m ³	Skrymdensitet	Kompaktensitet	Hålrums halt
Prov 1	68	69	69	69	68,75	101,7	929,0	0,0005585	1,6634	2,528	34,2
Prov 2	71	72	71	71	71,25	101,7	954,8	0,0005788	1,6496	2,528	34,7
Prov 3	71	72	72	72	71,75	101,7	943,4	0,0005828	1,6185	2,528	36,0
Prov 4	72	72	72	71	71,75	101,7	937,4	0,0005828	1,6083	2,528	36,4
Prov 5	71	72	72	71	71,50	101,7	944,1	0,0005808	1,6254	2,528	35,7
Prov 6	70	71	71	71	70,75	101,7	950,8	0,0005747	1,6544	2,528	34,6
									Medel		35,3
									Stdav.		0,88
160/220											
	Höjd 1 (mm)	Höjd 2 (mm)	Höjd 3 (mm)	Höjd 4 (mm)	Medelhöjd (mm)	Bredd (mm)	Vikt (g)	Volym m ³	Skrymdensitet	Kompaktensitet	Hålrums halt
Prov 1	71	72	71	72	71,50	101,7	972,5	0,0005808	1,6743	2,528	33,8
Prov 2	70	70	71	71	70,50	101,7	955,9	0,0005727	1,6691	2,528	34,0
Prov 3	70	70	70	70	70,00	101,7	941,9	0,0005686	1,6564	2,528	34,5
Prov 4	71	72	71	72	71,50	101,7	937,9	0,0005808	1,6148	2,528	36,1
Prov 5	69	70	70	69	69,50	101,7	922,9	0,0005646	1,6346	2,528	35,3
Prov 6	68	69	69	69	68,75	101,7	922,3	0,0005585	1,6515	2,528	34,7
									Medel		34,7
									Stdav.		0,88

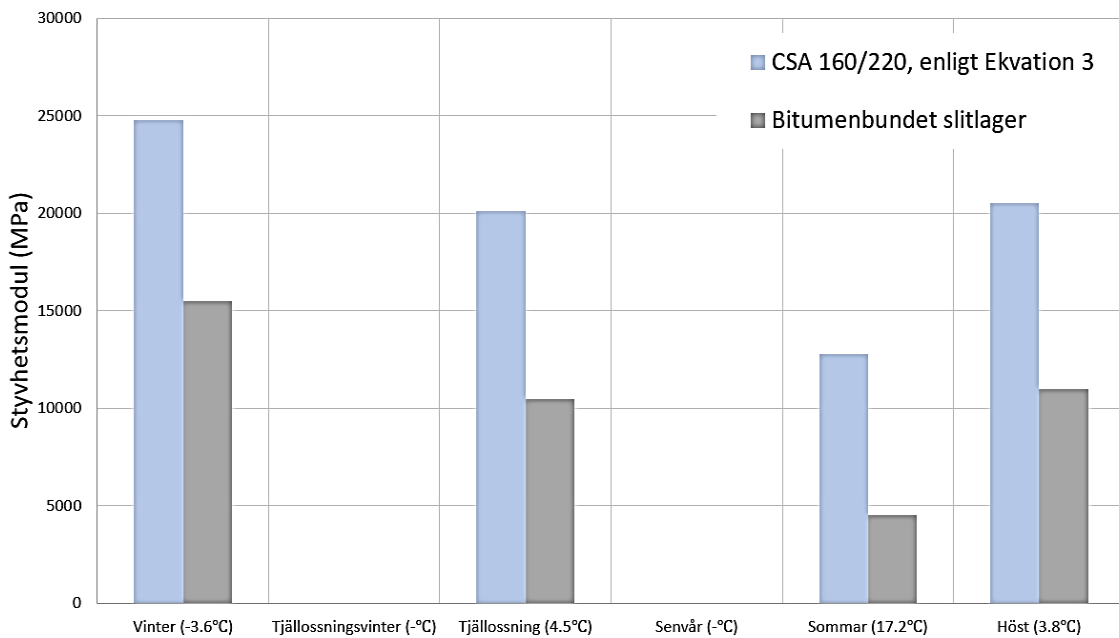
Bilaga B – Skrymdensitet av provkroppar CSA

70/100	H1	H2	H3	H4	D1	D2	Dmed	Hmed	Volume (m3)	Weight (g)	Weight (ton)	Skrymdensitet (ton/m3)
Provkropp	H1	H2	H3	H4	D1	D2	Dmed	Hmed	Volume (m3)	Weight (g)	Weight (ton)	Skrymdensitet (ton/m3)
1	52,28	51,26	51,28	52,30	102,00	103,40	102,70	51,780	0,000429	996	0,000996	2,322
2	55,83	55,66	56,22	56,34	102,03	102,43	102,23	56,013	0,000460	1052	0,001052	2,288
3	53,97	54,33	55,55	54,10	103,04	103,50	103,27	54,488	0,000456	1043	0,001043	2,285
4	55,67	56,63	53,40	53,80	102,10	102,62	102,36	54,875	0,000452	1007	0,001007	2,230
5	55,20	54,34	53,80	54,66	102,10	102,22	102,16	54,500	0,000447	1025	0,001025	2,294
6	57,04	57,82	56,15	55,55	102,08	102,28	102,18	56,640	0,000464	1051	0,001051	2,263
100/150	H1	H2	H3	H4	D1	D2	Dmed	Hmed	Volume	Weight	Weight ton	Skrymdensitet
1	55,71	54,94	53,16	53,12	101,49	101,55	101,52	54,233	0,000439	988	0,000988	2,251
2	58,44	56,20	56,88	55,65	102,62	103,40	103,01	56,793	0,000473	1055	0,001055	2,229
3	57,49	57,57	57,53	58,20	101,66	101,91	101,79	57,698	0,000469	1085	0,001085	2,311
4	57,13	56,64	57,45	57,12	101,94	101,92	101,93	57,085	0,000466	1065	0,001065	2,286
5	57,66	56,30	55,66	57,19	102,40	102,46	102,43	56,703	0,000467	1061	0,001061	2,271
6	56,66	57,15	57,20	58,85	102,26	102,56	102,41	57,465	0,000473	1090	0,001090	2,303
160/220	H1	H2	H3	H4	D1	D2	Dmed	Hmed	Volume	Weight	Weight ton	Skrymdensitet
1	53,19	51,94	52,63	53,60	101,99	102,68	102,34	52,840	0,000435	978	0,000978	2,250
2	52,88	53,20	52,67	52,40	102,53	102,28	102,41	52,788	0,000435	996	0,000996	2,291
3	55,42	55,88	55,46	54,48	102,11	102,29	102,20	55,310	0,000454	1018	0,001018	2,244
4	54,52	53,40	53,50	55,50	101,96	102,53	102,25	54,230	0,000445	1012	0,001012	2,273
5	55,33	54,82	53,88	53,94	102,18	102,36	102,27	54,493	0,000448	1014	0,001014	2,265
6	55,05	56,83	56,89	56,40	102,45	102,43	102,44	56,293	0,000464	1032	0,001032	2,224

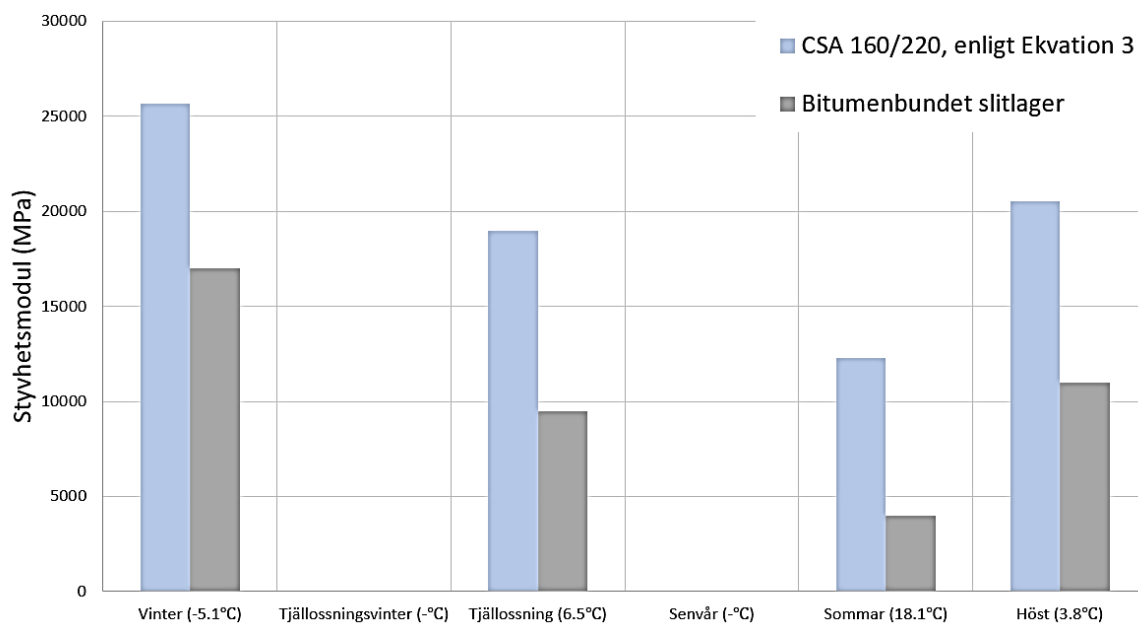
Bilaga C – Krav styvhetsmodul slitlager TRVINFRA



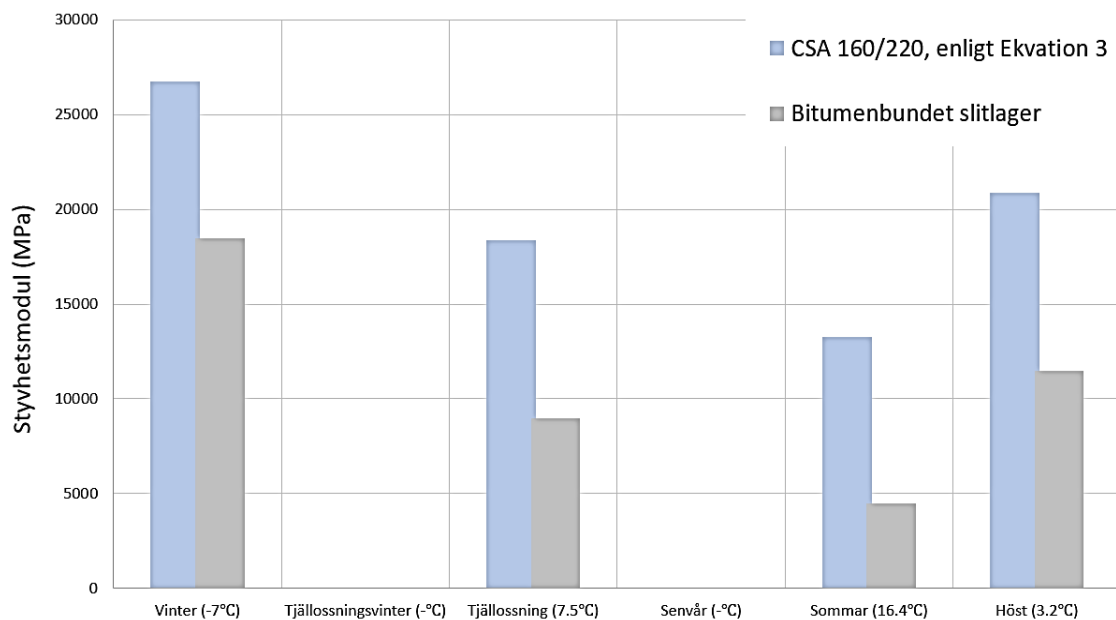
Jämförelse CSA 160/220 och bitumenbundet slitlager i klimatzon 2 enligt (Trafikverket, 2020b)



Jämförelse CSA 160/220 och bitumenbundet slitlager i klimatzon 3 enligt (Trafikverket, 2020b)



Jämförelse CSA 160/220 och bitumenbundet slitlager i klimatzon 4 enligt (Trafikverket, 2020b)



Jämförelse CSA 160/220 och bitumenbundet slitlager i klimatzon 5 enligt (Trafikverket, 2020b)

Bilaga D – Resultat av pressdragprovning CSA 70

EN 12697-26 (Annex C)

<p>Date of test 13 Apr 2022 @ 19:36</p> <p>Report Number</p> <p>Operator NCC</p> <p>Specimen ID 1 70-100 15°C 13-04-22</p> <p>Client Name</p>	<p>Lab address NCC Industry a/s Laboratorie Vesterballevej 6 7000 Fredericia Denmark</p>
---	--

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black;">Test Temperature (units)</td><td style="border: 1px solid black;">15</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black;">Bulk Density (units)</td><td style="border: 1px solid black;">0</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black;">Diameter (mm)</td><td style="border: 1px solid black;">103</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black;">Thickness (mm)</td><td style="border: 1px solid black;">52</td></tr> </table>	Test Temperature (units)	15	Bulk Density (units)	0	Diameter (mm)	103	Thickness (mm)	52	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black;">Conditioning Pulses</td><td style="border: 1px solid black;">10</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black;">Poissons Ratio</td><td style="border: 1px solid black;">0.35</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black;">A & B Target Rise Time (ms)</td><td style="border: 1px solid black;">100</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black;">A & B Target Deformation (um)</td><td style="border: 1px solid black;">5</td></tr> </table>	Conditioning Pulses	10	Poissons Ratio	0.35	A & B Target Rise Time (ms)	100	A & B Target Deformation (um)	5
Test Temperature (units)	15																
Bulk Density (units)	0																
Diameter (mm)	103																
Thickness (mm)	52																
Conditioning Pulses	10																
Poissons Ratio	0.35																
A & B Target Rise Time (ms)	100																
A & B Target Deformation (um)	5																

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	8.251	8.237	8.237	8.239	8.256	8.244	8.281	8.276	8.293	8.301	8.274	8.285	8.265
Horizontal Stress (kPa)	987.4	985.7	985.7	985.9	988.0	986.5	991.0	990.4	992.4	993.3	990.2	991.5	989.0
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	4.603	4.494	4.532	4.529	4.573	4.546	4.618	4.643	4.572	4.588	4.599	4.604	4.575
Load Rise Time (ms)	100	100	100	100	100	100	101	101	101	101	101	101	100
Measured Stiffness (MPa)	21455	21938	21754	21774	21609	21706	21463	21335	21710	21656	21533	21539	21623
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	22149	22650	22459	22480	22309	22410	22157	22024	22414	22358	22230	22237	22323

Data File 1 70-100 15°C 13-04-22_2.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed _____ Date _____

cooper

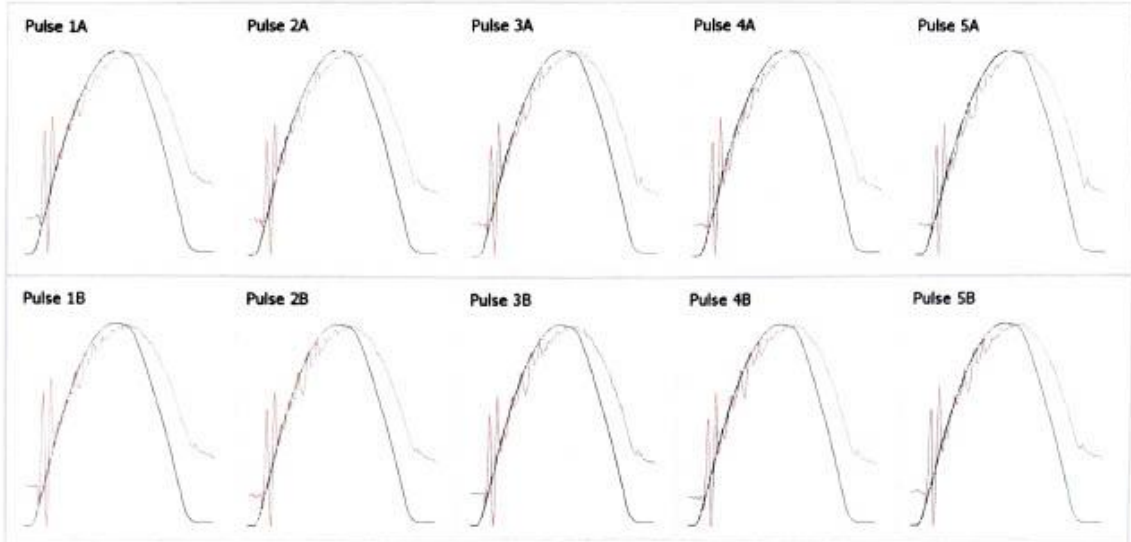
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 08:37
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 1 70-100 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	103
Thickness (mm)	52

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	6.534	6.531	6.535	6.532	6.532	6.533	6.378	6.383	6.379	6.382	6.381	6.381	6.457
Horizontal Stress (kPa)	782.0	781.5	782.0	781.7	781.7	781.3	763.3	763.9	763.4	763.7	763.5	763.5	772.7
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Horizontal Deformation (um)	5.219	5.068	5.068	5.184	5.028	5.113	5.167	5.023	4.958	4.871	5.004	5.004	5.059
Load Rise Time (ms)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Measured Stiffness (MPa)	14985	15424	15434	15081	15549	15295	14774	15210	15400	15682	15263	15266	15280
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	15440	15894	15905	15539	16024	15760	15109	15557	15752	16042	15611	15614	15687

Data File 1 70-100 20°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



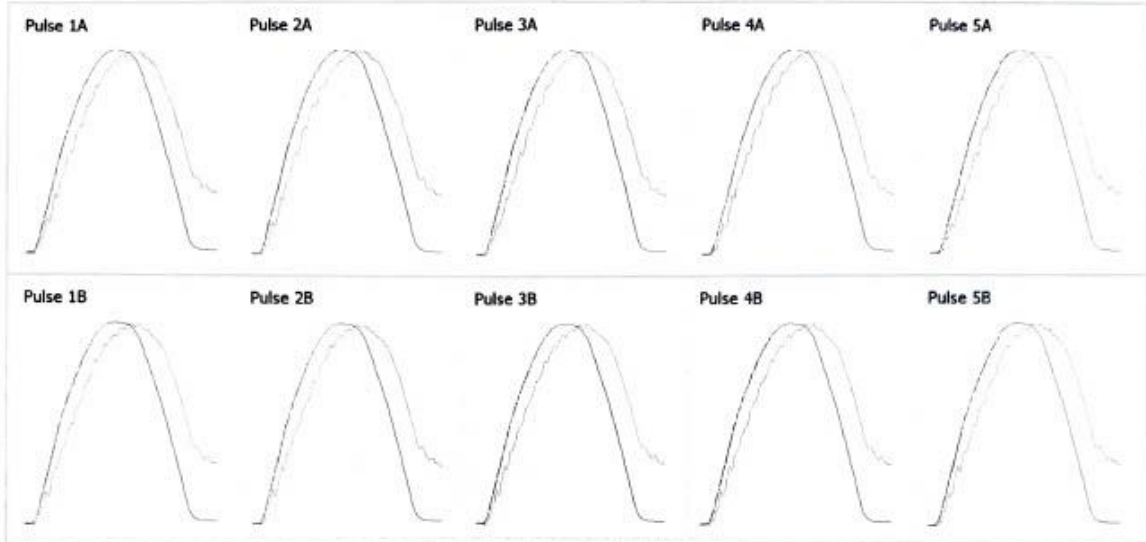
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 14:02
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 1 70-100 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	103
Thickness (mm)	52

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	5.160	5.159	5.159	5.160	5.159	5.159	4.698	4.698	4.699	4.697	4.698	4.598	4.929
Horizontal Stress (kPa)	617.4	617.4	617.4	617.4	617.4	617.4	562.2	562.2	562.4	562.1	562.2	562.2	589.8
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.65	0.65	0.64	0.65	0.65	0.65	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.501	5.448	5.497	5.510	5.549	5.501	5.056	5.035	5.096	5.072	5.087	5.369	5.285
Load Rise Time (ms)	101	101	101	101	101	101	101	101	101	102	101	101	101
Measured Stiffness (MPa)	11227	11334	11233	11209	11128	11226	11122	11168	11037	11084	11054	11093	11160
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	11550	11660	11556	11531	11447	11549	11521	11569	11353	11481	11450	11475	11512

Data File 1 70-100 30°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



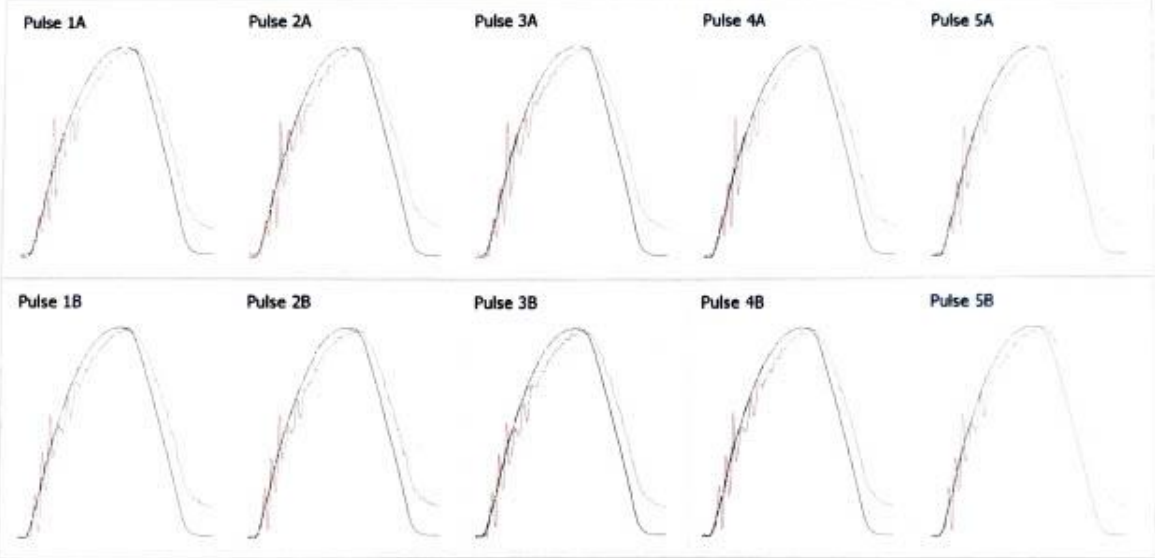
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 13 Apr 2022 @ 19:42
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 2 70-100 15°C 13-04-22
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	15
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	56

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	9.129	9.135	9.128	9.131	9.125	9.130	8.903	8.916	8.915	8.923	8.910	8.913	9.021
Horizontal Stress (kPa)	1015.5	1016.1	1015.3	1015.7	1015.0	1015.5	990.4	991.8	991.6	992.5	991.1	991.5	1003.5
Load-Area Factor	0.64	0.65	0.65	0.64	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	4.280	4.397	4.328	4.381	4.370	4.351	4.352	4.377	4.345	4.379	4.338	4.358	4.355
Load Rise Time (ms)	101	100	100	100	100	100	101	101	101	101	101	101	100
Measured Stiffness (MPa)	23615	23001	23350	23075	23118	23232	22649	22553	22716	22560	22740	22644	22938
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	24392	23942	24308	23831	24065	24108	23389	23289	23458	23296	23483	23383	23745

Data File 2 70-100 15°C 13-04-22_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed

Date

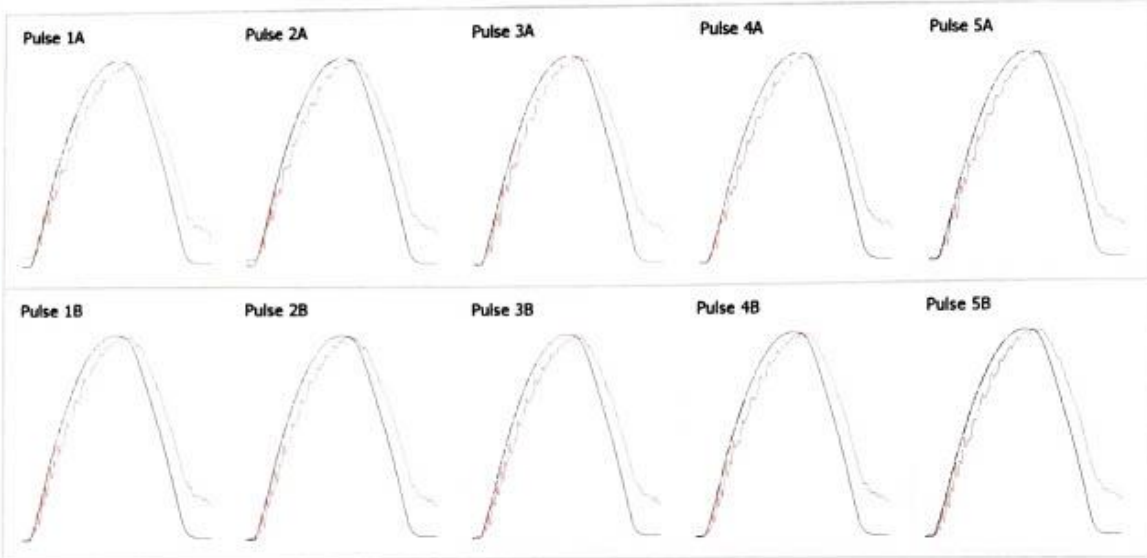
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 08:51
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 2 70-100 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	56

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	8.009	8.011	8.011	8.007	8.019	8.012	7.781	7.782	7.789	7.783	7.793	7.785	7.899
Horizontal Stress (kPa)	890.9	891.1	891.1	890.7	892.0	891.2	865.6	865.6	866.4	865.7	866.8	866.0	878.6
Load-Area Factor	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Horizontal Deformation (um)	4.635	4.623	4.673	4.637	4.679	4.649	4.653	4.640	4.643	4.645	4.663	4.649	4.649
Load Rise Time (ms)	100	100	100	100	100	100	101	101	102	101	101	101	101
Measured Stiffness (MPa)	19131	19185	18980	19118	18975	19078	18514	18569	18573	18551	18503	18542	18810
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	19586	19641	19431	19573	19426	19531	18952	19008	19012	18990	18940	18981	19256

Data File 2 70-100 20°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed _____

Date _____



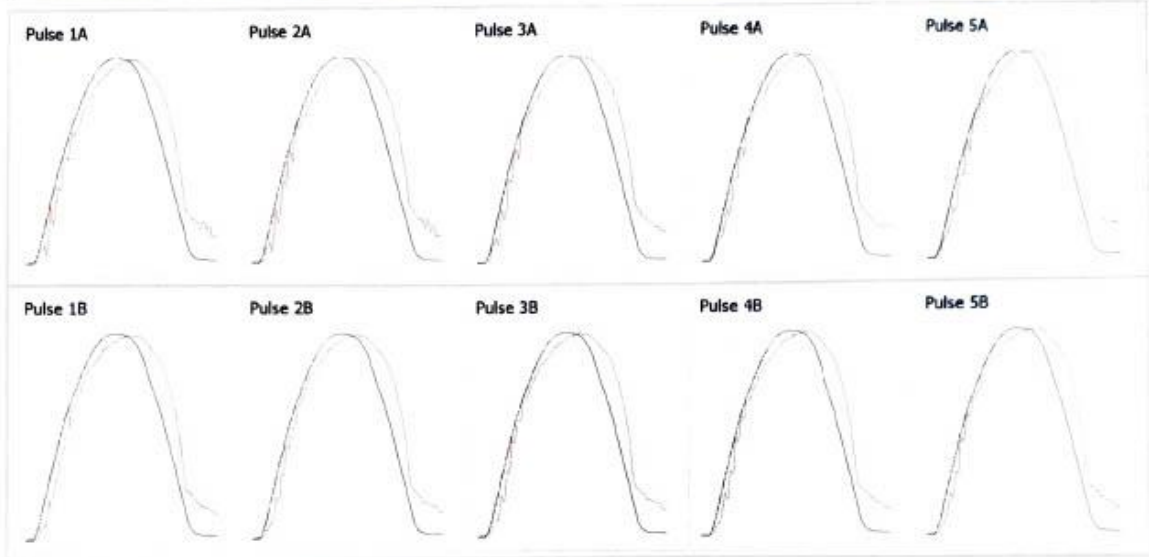
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 14:13
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 2 70-100 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	56

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	4.666	4.666	4.663	4.665	4.664	4.665	4.042	4.041	4.041	4.041	4.042	4.041	4.353
Horizontal Stress (kPa)	519.0	519.0	518.7	518.9	518.8	518.9	449.7	449.5	449.5	449.5	449.6	449.6	484.2
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.65	0.65	0.65	0.66	0.66	0.65	0.65
Horizontal Deformation (um)	6.061	6.104	6.161	6.133	6.107	6.113	5.592	5.612	5.610	5.637	5.611	5.612	5.863
Load Rise Time (ms)	99	99	99	99	99	99	100	100	100	99	99	100	99
Measured Stiffness (MPa)	8523	8463	8379	8421	8455	8449	8003	7972	7575	7937	7976	7972	8210
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	8755	8693	8606	8649	8684	8677	8271	8239	8142	8256	8297	8261	8469

Data File 2 70-100 30°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



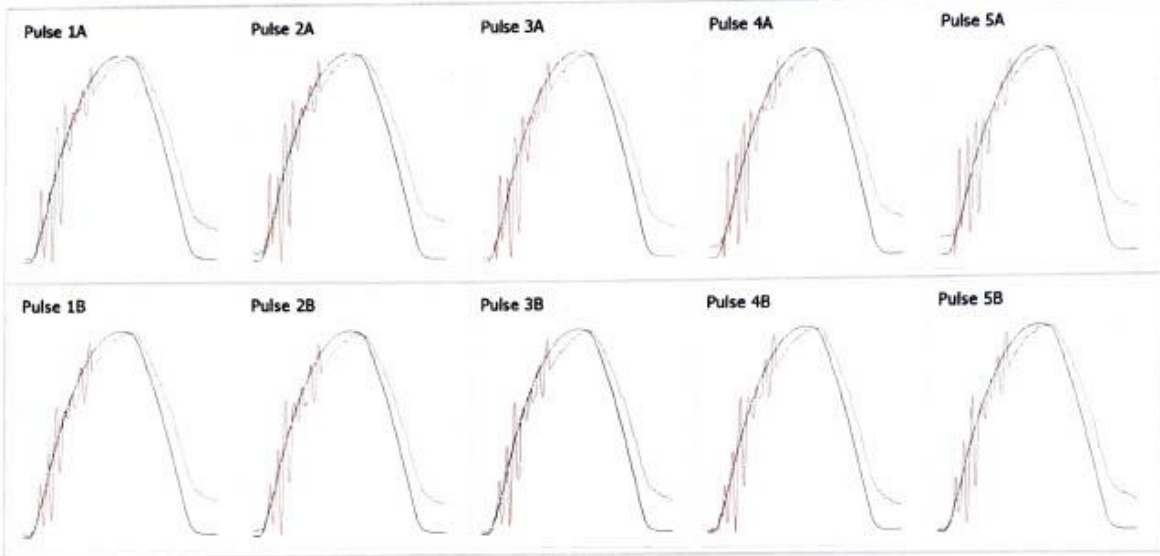
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 13 Apr 2022 @ 19:52
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 3 70-100 15°C 13-04-22
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	15
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	103
Thickness (mm)	54

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	7.973	7.974	7.982	7.974	8.002	7.981	8.037	8.029	8.029	8.027	8.049	8.034	8.008
Horizontal Stress (kPa)	901.6	901.7	902.6	901.7	904.8	902.5	938.8	907.9	908.0	907.7	910.2	908.5	905.5
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	4.046	4.201	4.110	4.289	4.469	4.223	4.163	4.233	4.208	4.121	4.196	4.184	4.204
Load Rise Time (ms)	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
Measured Stiffness (MPa)	22418	21593	22094	21150	20370	21525	21963	21578	21706	22159	21822	21846	21685
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	23149	22292	22812	21832	20860	22189	22676	22277	22410	22880	22530	22554	22372

Data File 3 70-100 15°C 13-04-22_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



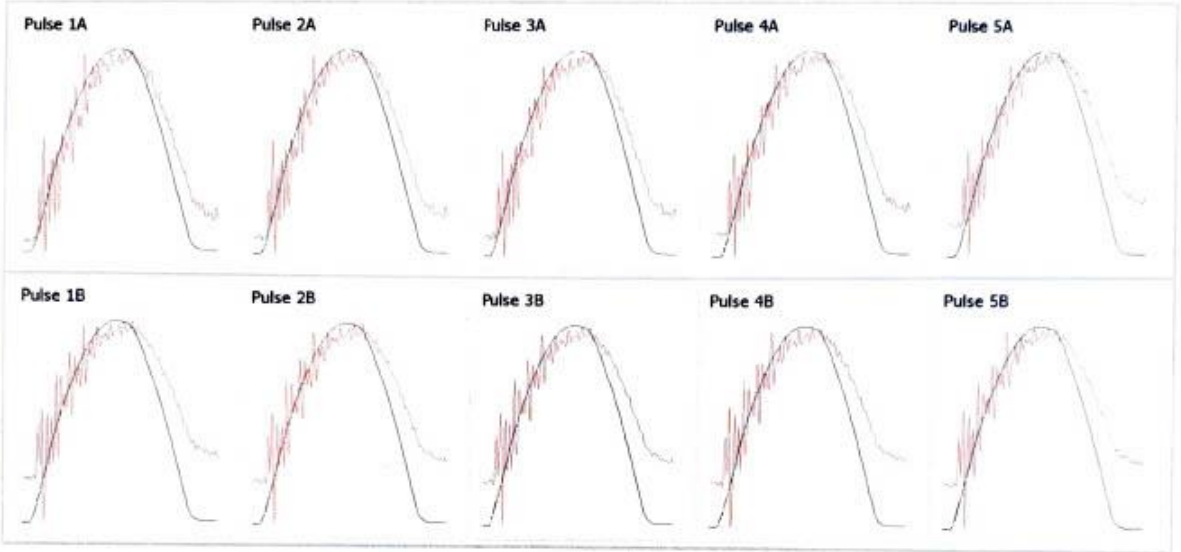
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 08:56
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 3 70-100 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	103
Thickness (mm)	54

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	6.779	6.776	6.779	6.779	6.781	6.779	6.408	6.407	6.408	6.407	6.407	6.407	6.593
Horizontal Stress (kPa)	766.5	766.3	766.5	766.6	766.8	766.5	724.6	724.5	724.6	724.5	724.5	724.5	745.5
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.63	0.64	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	4.414	4.369	4.507	4.572	4.791	4.531	5.036	4.928	5.022	5.180	5.075	5.048	4.789
Load Rise Time (ms)	100	100	101	100	101	101	100	100	100	100	100	100	100
Measured Stiffness (MPa)	17471	17644	17111	16868	16101	17039	14475	14790	14516	14071	14362	14443	15741
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	18016	18195	17510	17391	16472	17517	14911	15238	14954	14493	14794	14878	16197

Data File 3 70-100 20°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed _____

Date _____



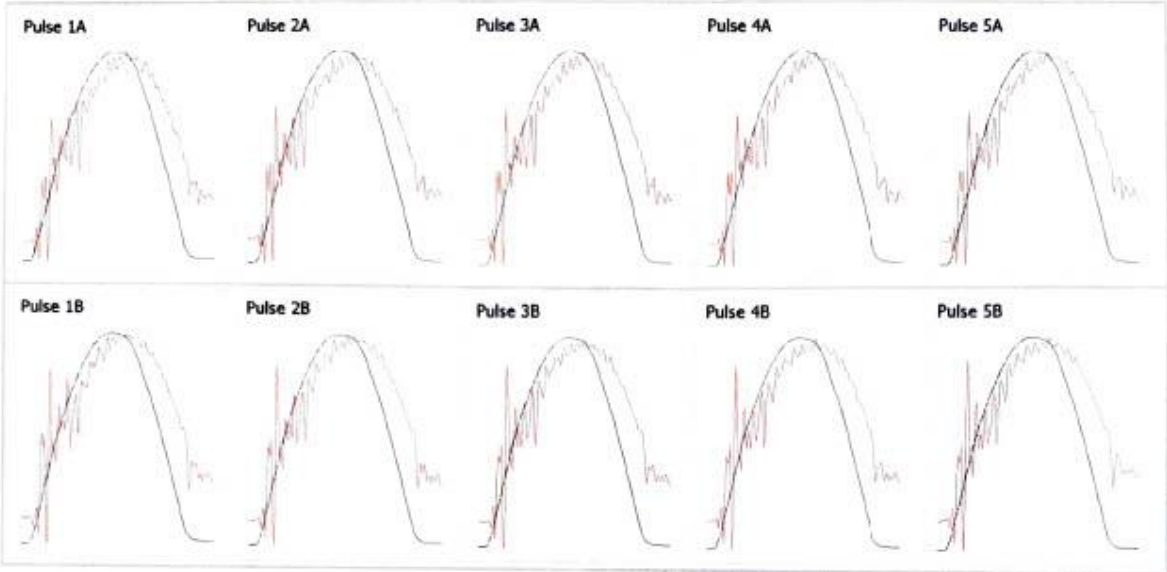
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 14:18
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 3 70-100 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	103
Thickness (mm)	54

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	5.661	5.660	5.659	5.659	5.660	5.660	4.875	4.874	4.874	4.875	4.874	4.875	5.267
Horizontal Stress (kPa)	640.2	640.1	639.9	639.9	640.0	640.0	551.2	551.2	551.2	551.3	551.2	551.2	595.6
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.707	5.909	5.914	5.943	5.928	5.880	5.203	5.372	5.505	5.618	5.653	5.470	5.675
Load Rise Time (ms)	101	101	101	101	101	101	100	100	100	100	100	100	101
Measured Stiffness (MPa)	11284	10897	10886	10833	10862	10952	10659	10322	10072	9872	9808	10147	10549
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	11608	11208	11197	11142	11172	11266	10962	10614	10355	10148	10082	10432	10849

Data File 3 70-100 30°C 14-04-2022.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



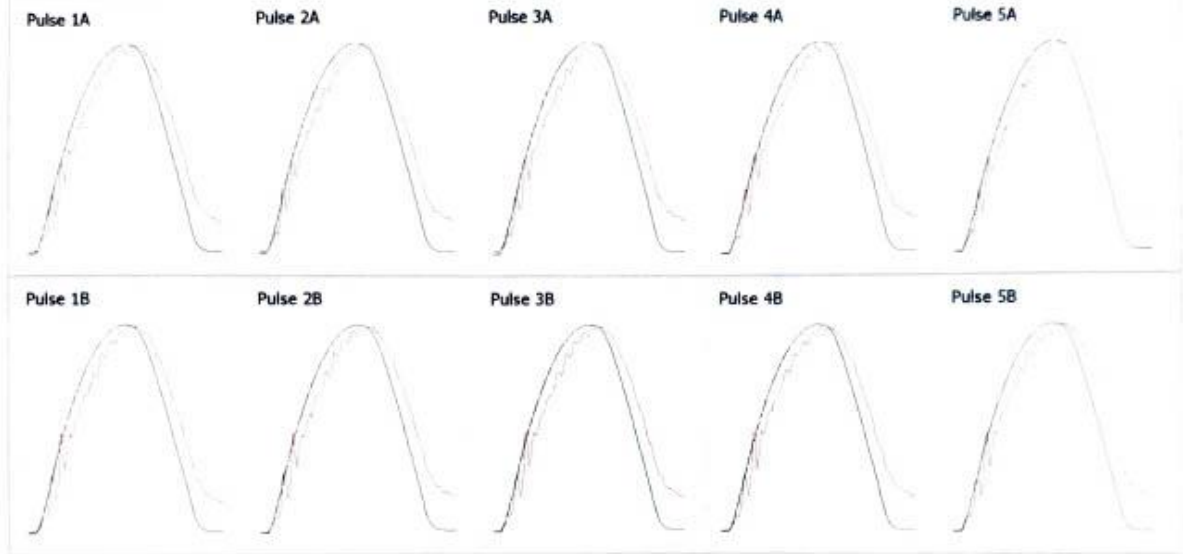
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 13 Apr 2022 @ 20:00
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 4 70-100 15°C 13-04-22
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	15
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	55

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	8.449	8.453	8.439	8.450	8.463	8.451	8.197	8.193	8.187	8.193	8.191	8.192	8.321
Horizontal Stress (kPa)	956.8	957.2	955.6	956.9	958.3	957.0	928.3	927.8	927.1	927.8	927.5	927.7	942.3
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.64	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	4.492	4.603	4.595	4.619	4.658	4.593	4.471	4.601	4.566	4.659	4.589	4.577	4.585
Load Rise Time (ms)	100	100	100	100	100	100	101	101	101	101	101	101	101
Measured Stiffness (MPa)	21241	20739	20741	20660	20518	20780	20705	20110	20249	19860	20158	20216	20498
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	21927	21406	21408	21324	21012	21415	21204	20753	20897	20494	20803	20830	21123

Data File 4 70-100 15°C 13-04-22_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed

Date



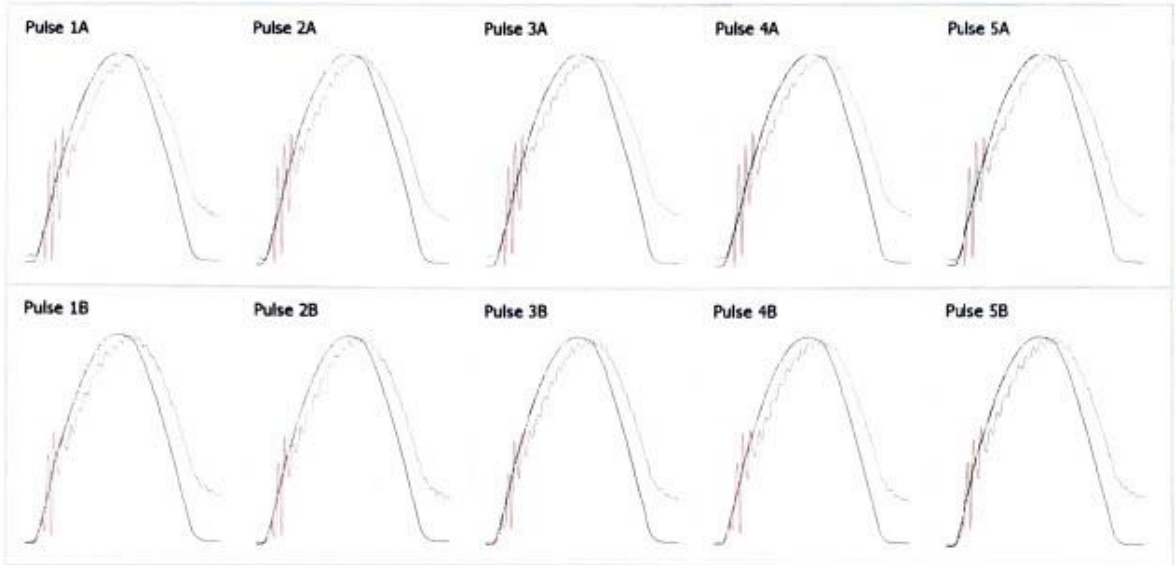
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 09:05
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 4 70-100 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	55

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	6.601	6.603	6.604	6.601	6.601	6.602	6.311	6.316	6.314	6.313	6.316	6.314	6.458
Horizontal Stress (kPa)	747.5	747.7	747.8	747.5	747.5	747.6	714.7	715.2	715.0	714.9	715.2	715.0	731.3
Load-Area Factor	0.63	0.64	0.63	0.63	0.64	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	4.857	4.888	5.025	5.026	5.004	4.960	4.829	4.755	4.774	4.763	4.861	4.796	4.878
Load Rise Time (ms)	100	99	100	100	99	100	101	100	100	100	100	100	100
Measured Stiffness (MPa)	15348	15256	14842	14832	14897	15035	14759	15001	14936	14968	14674	14868	14951
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	15699	15720	15179	15169	15348	15423	15094	15456	15389	15422	15118	15296	15359

Data File 4 70-100 20°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date

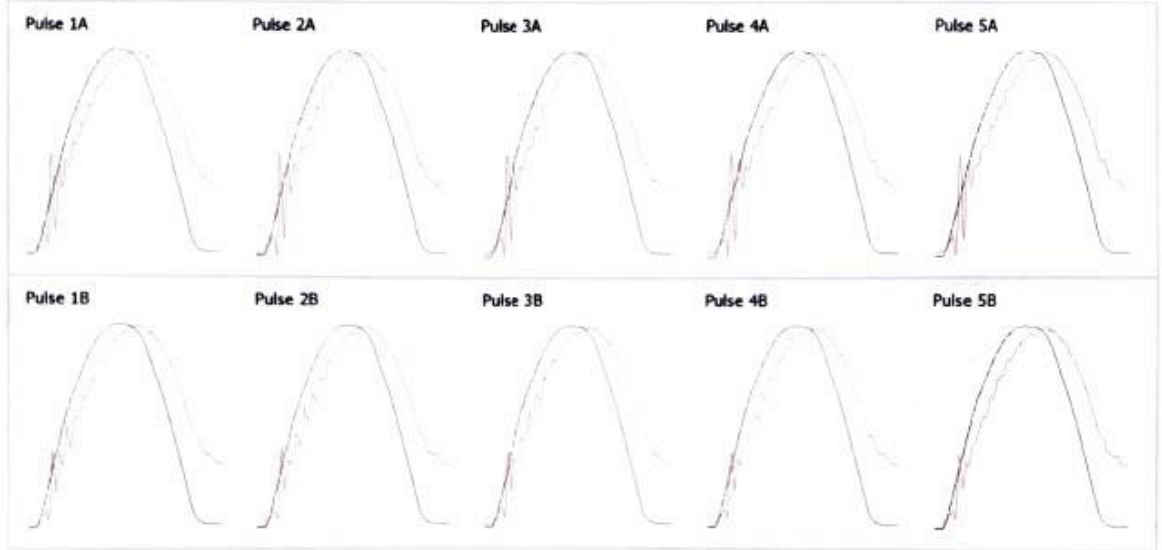
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 14:33
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 4 70-100 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	55

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	4.797	4.797	4.797	4.794	4.794	4.796	4.244	4.244	4.245	4.244	4.244	4.244	4.520
Horizontal Stress (kPa)	543.3	543.2	543.2	542.9	542.9	543.1	480.6	480.6	480.7	480.6	480.5	480.6	511.8
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.794	5.706	5.828	5.871	5.894	5.818	5.143	5.135	5.099	5.140	5.177	5.139	5.478
Load Rise Time (ms)	102	102	102	102	102	102	100	100	100	100	100	100	101
Measured Stiffness (MPa)	9350	9494	9295	9222	9186	9309	9319	9334	9402	9325	9258	9327	9318
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	9609	9758	9552	9477	9440	9567	9641	9657	9728	9648	9578	9650	9609

Data File 4 70-100 30°C 14-04-2022_2.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



Bilaga E – Resultat av pressdragprovning CSA 100

EN 12697-26 (Annex C)

Date of test: 13 Apr 2022 @ 20:09
 Report Number: _____
 Operator: NCC
 Specimen ID: 1 100-150 15°C 13-04-22
 Client Name: _____

Lab address: NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	15
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	54

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5

Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	7.264	7.270	7.261	7.263	7.265	7.265	7.157	7.154	7.152	7.154	7.156	7.155	7.210
Horizontal Stress (kPa)	840.6	841.3	840.3	840.5	840.7	840.7	828.2	827.9	827.6	827.9	828.1	827.9	834.3
Load-Area Factor	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Horizontal Deformation (um)	4.610	4.695	4.699	4.753	4.817	4.715	4.797	4.813	4.781	4.819	4.857	4.813	4.764
Load Rise Time (ms)	101	101	101	101	101	101	100	100	100	100	100	100	101
Measured Stiffness (MPa)	18025	17713	17676	17480	17252	17629	17067	17003	17112	16982	16854	17003	17316
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	18449	18128	18090	17889	17655	18042	17465	17399	17511	17377	17246	17400	17721

Data File: 1 100-150 15°C 13-04-22_1.tdms

Notes: Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed: _____ Date: _____

cooper

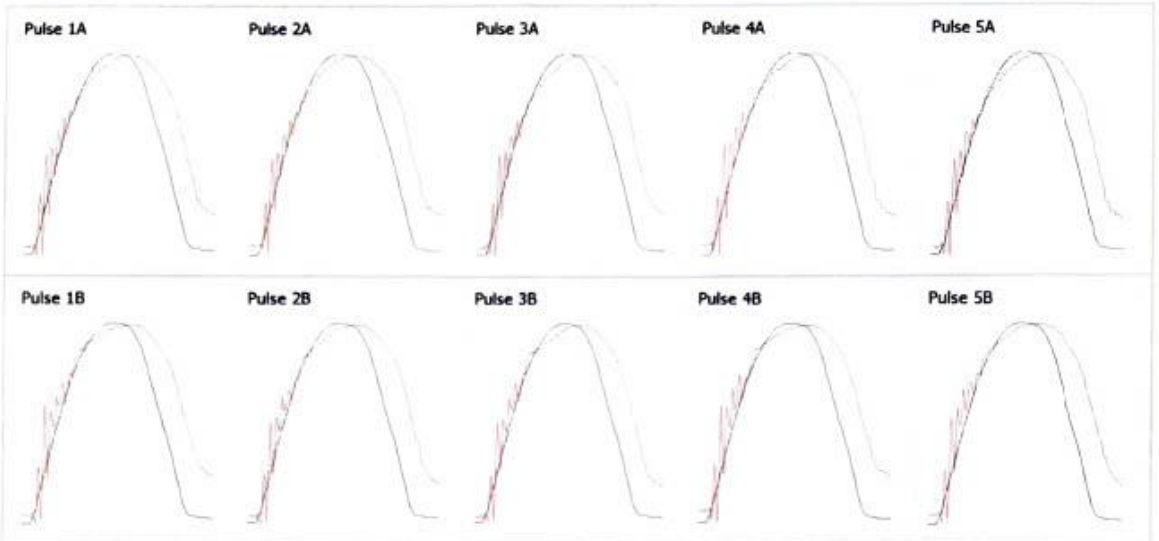
EN 12697-25 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 09:24
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 1 100-150 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	54

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	3.203	3.203	3.205	3.205	3.205	3.204	2.864	2.865	2.863	2.864	2.865	2.864	3.034
Horizontal Stress (kPa)	370.7	370.7	370.8	370.9	370.9	370.8	331.4	331.5	331.3	331.4	331.6	331.4	351.1
Load-Area Factor	0.66	0.66	0.67	0.66	0.66	0.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.66
Horizontal Deformation (um)	5.810	5.729	5.560	5.575	5.590	5.653	5.100	5.033	4.929	4.926	4.842	4.966	5.309
Load Rise Time (ms)	101	101	100	101	102	101	101	101	101	101	101	101	101
Measured Stiffness (MPa)	6306	6395	6594	6576	6559	6486	6424	6512	6644	6651	6768	6600	6543
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	6547	6640	6891	6830	6812	6744	6712	6805	6944	6951	7075	6897	6821

Data File 1 100-150 20°C 14-04-2022_2.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



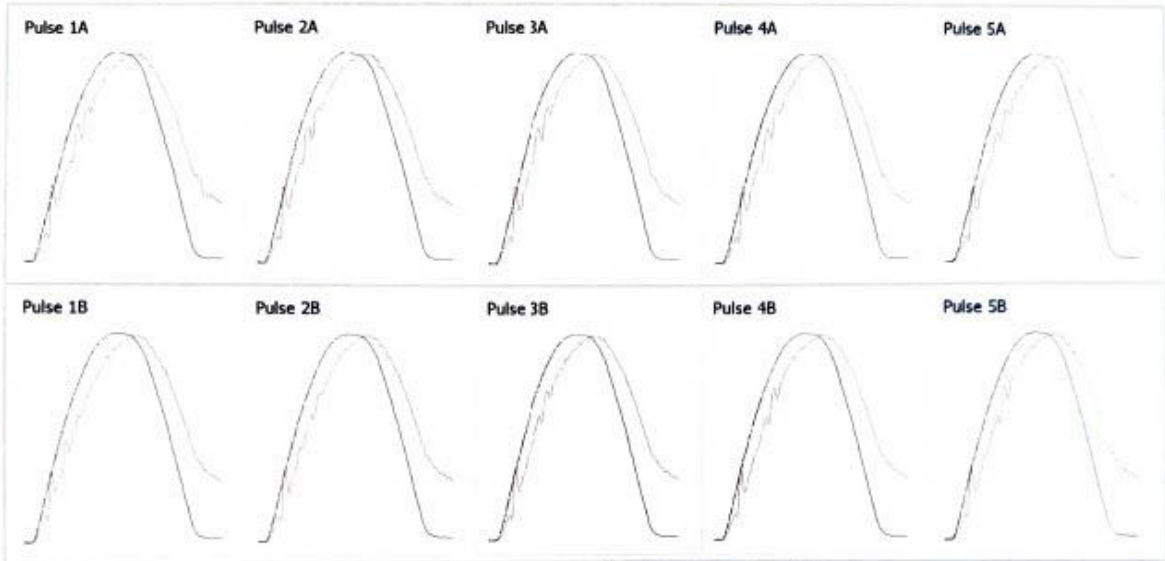
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 15:19
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 1 100-150 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	54

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	4.303	4.304	4.304	4.305	4.303	4.304	3.934	3.934	3.934	3.936	3.937	3.935	4.119
Horizontal Stress (kPa)	498.0	498.0	498.1	498.2	498.0	498.1	455.3	455.2	455.2	455.5	455.6	455.4	476.7
Load-Area Factor	0.65	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Horizontal Deformation (um)	5.553	5.570	5.632	5.651	5.735	5.628	5.327	5.326	5.401	5.429	5.409	5.378	5.503
Load Rise Time (ms)	100	100	100	100	100	100	101	101	101	100	100	101	100
Measured Stiffness (MPa)	8864	8839	8742	8714	8583	8748	8448	8449	8332	8293	8326	8370	8559
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	9168	9142	8981	8952	8817	9012	8735	8736	8614	8573	8608	8653	8832

Data File 1 100-150 30°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date

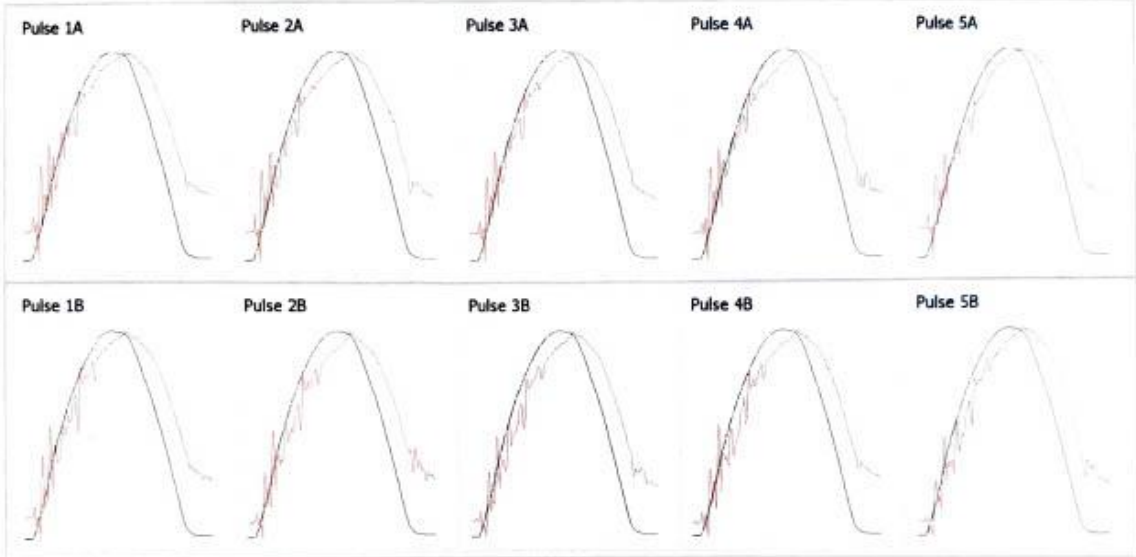
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 13 Apr 2022 @ 20:17
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 2 100-150 15°C 13-04-22
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	15
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	103
Thickness (mm)	57

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	6.976	6.980	6.979	6.979	6.978	6.979	6.688	6.689	6.690	6.686	6.687	6.688	6.833
Horizontal Stress (kPa)	759.1	759.6	759.5	759.4	759.3	759.4	727.8	727.9	728.0	727.5	727.7	727.8	743.6
Load-Area Factor	0.63	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.64	0.63	0.63	0.64	0.63	0.64	0.63
Horizontal Deformation (um)	5.184	5.173	5.101	5.201	5.323	5.196	5.021	5.014	4.882	4.937	4.750	4.921	5.059
Load Rise Time (ms)	102	101	102	102	102	102	100	100	100	100	100	100	101
Measured Stiffness (MPa)	14689	14728	14934	14647	14309	14662	14539	14562	14958	14782	15367	14842	14752
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	15022	15173	15274	14979	14632	15016	14978	14892	15298	15229	15718	15223	15120

Data File 2 100-150 15°C 13-04-22_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



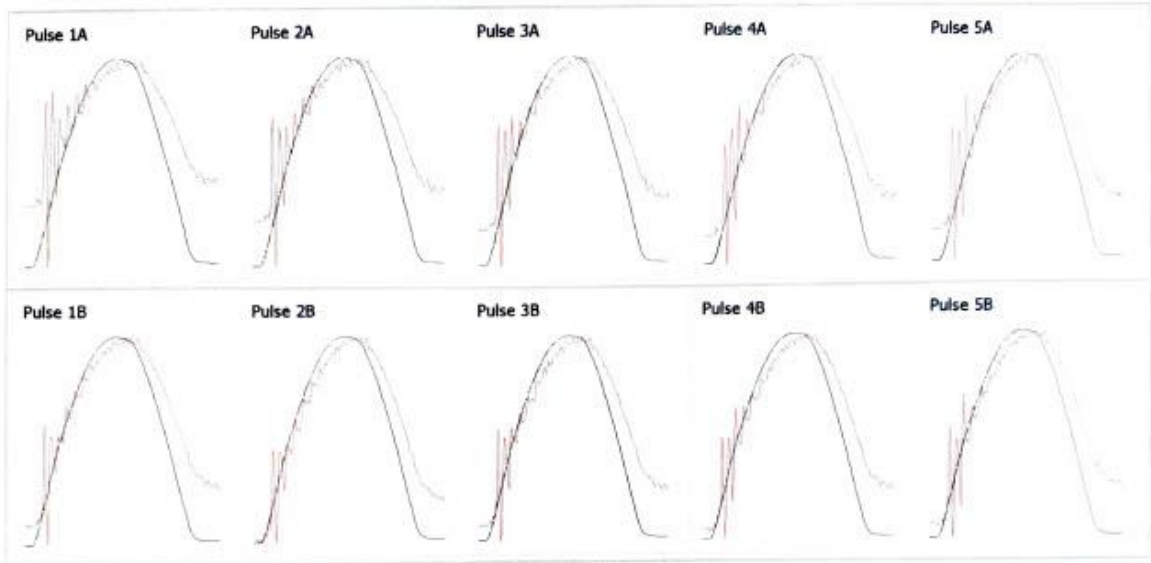
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 09:36
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 2 100-150 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	103
Thickness (mm)	57

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	5.656	5.654	5.652	5.655	5.653	5.654	5.912	5.911	5.910	5.911	5.911	5.911	5.782
Horizontal Stress (kPa)	615.4	615.2	615.0	615.4	615.1	615.2	643.3	643.2	643.1	643.3	643.2	643.2	629.2
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.441	5.059	4.849	4.677	4.789	4.963	4.912	4.416	4.743	4.672	4.714	4.692	4.827
Load Rise Time (ms)	100	100	100	100	100	100	101	101	101	101	101	101	101
Measured Stiffness (MPa)	11347	12199	12723	13198	12885	12470	13138	14611	13601	13810	13687	13769	13120
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	11674	12555	13097	13589	13265	12836	13527	15052	14006	14223	14095	14181	13508

Data File 2 100-150 20°C 14-04-2022_2.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



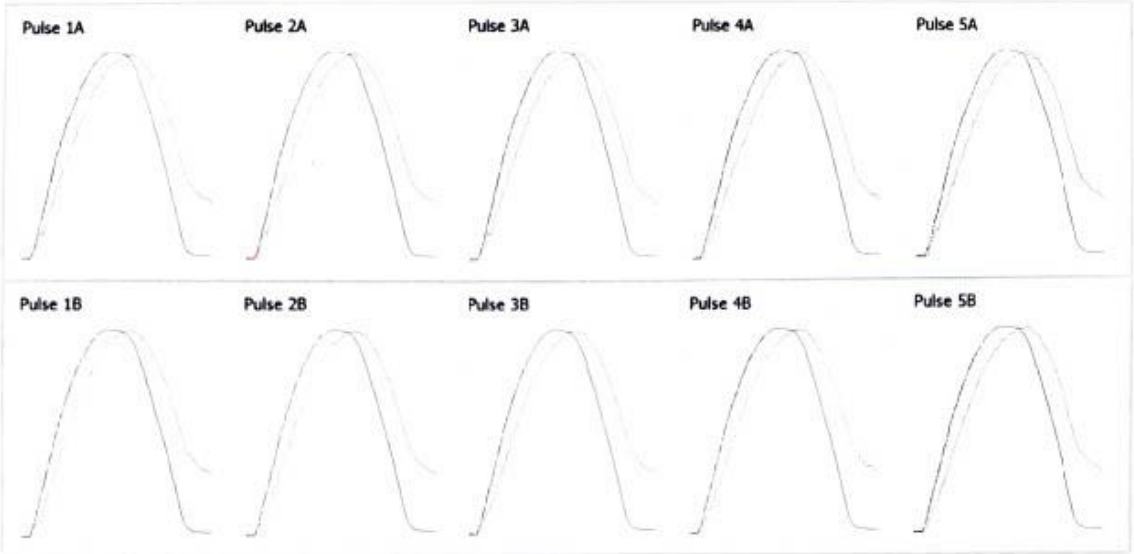
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 14:50
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 2 100-150 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	103
Thickness (mm)	57

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	4.843	4.842	4.843	4.842	4.844	4.843	4.310	4.311	4.309	4.308	4.308	4.309	4.576
Horizontal Stress (kPa)	527.0	526.9	527.0	526.9	527.1	527.0	469.0	469.1	468.9	468.8	468.8	468.9	497.9
Load-Area Factor	0.64	0.65	0.65	0.65	0.64	0.65	0.64	0.64	0.64	0.65	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.540	5.592	5.630	5.637	5.701	5.620	5.250	5.256	5.289	5.316	5.331	5.288	5.454
Load Rise Time (ms)	99	99	99	99	99	99	100	100	100	99	100	100	99
Measured Stiffness (MPa)	9542	9452	9390	9376	9275	9407	8961	8953	8893	8846	8821	8895	9151
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	9807	9780	9715	9701	9532	9707	9207	9199	9137	9149	9062	9151	9429

Data File 2 100-150 30°C 14-04-2022_2.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



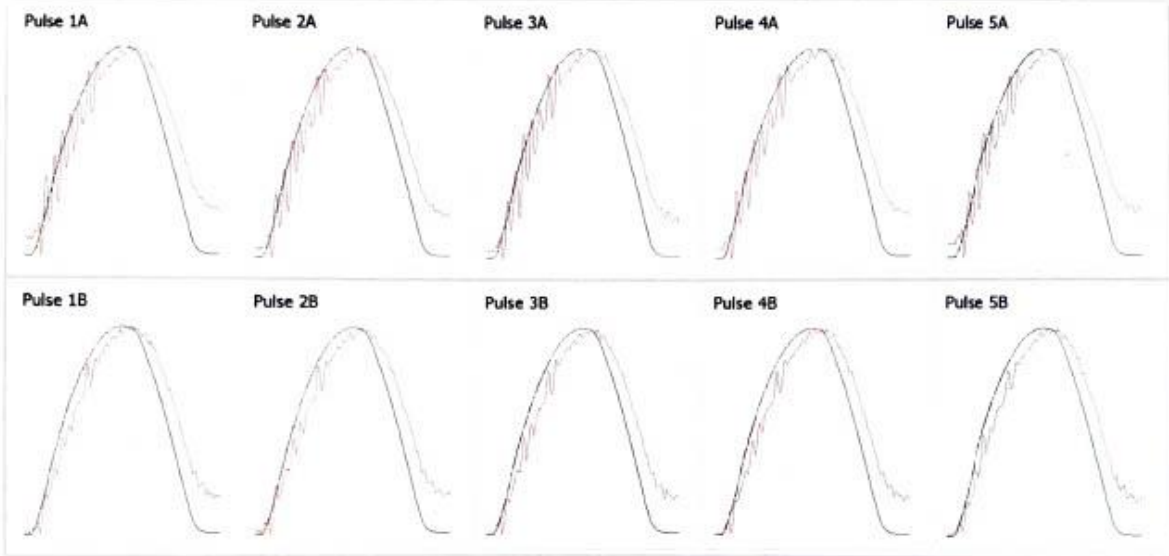
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 13 Apr 2022 @ 20:37
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 3 100-150 15°C 13-04-22
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	15
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	58

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	8.455	8.463	8.466	8.466	8.470	8.464	8.081	8.084	8.098	8.092	8.100	8.091	8.278
Horizontal Stress (kPa)	916.3	917.3	917.6	917.6	918.0	917.3	875.9	876.2	877.7	877.0	877.5	876.9	897.1
Load-Area Factor	0.64	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Horizontal Deformation (um)	4.793	4.714	4.580	4.765	4.866	4.743	4.390	4.539	4.456	4.437	4.434	4.451	4.597
Load Rise Time (ms)	100	101	101	100	100	101	101	100	100	100	100	101	101
Measured Stiffness (MPa)	18955	19291	19862	19091	18704	19181	19780	19137	19528	19597	19629	19534	19357
Adjusted Stiffness: Modulus (MPa)	19555	19750	20337	19696	19295	19727	20253	19592	19994	20065	20098	20000	19864

Data File 3 100-150 15°C 13-04-22_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed _____

Date _____

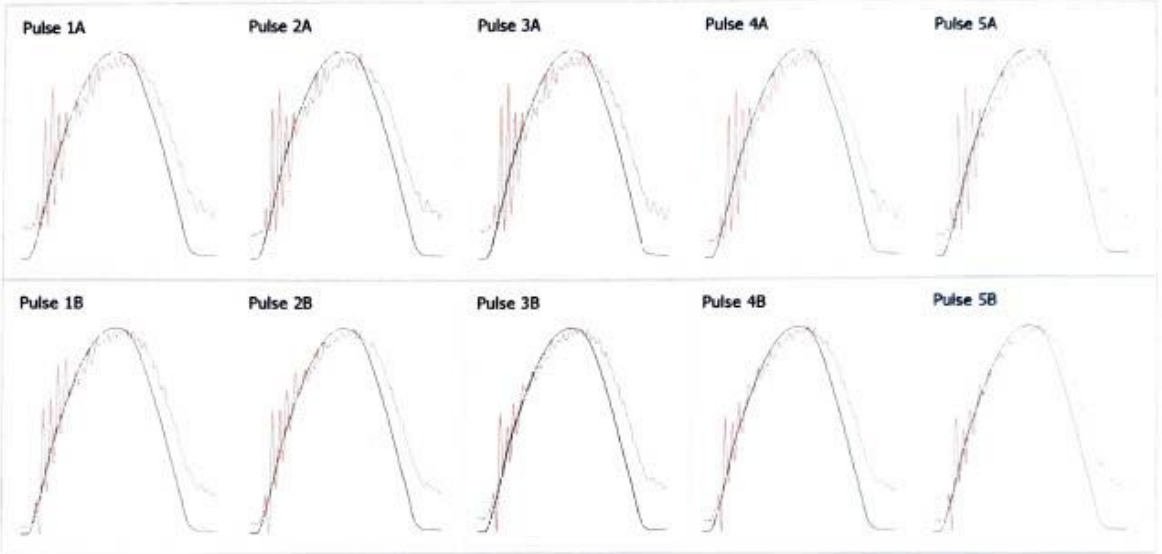
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 09:44
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 3 100-150 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	58

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	6.344	6.344	6.347	6.343	6.348	6.345	7.131	7.131	7.132	7.134	7.132	7.132	6.738
Horizontal Stress (kPa)	687.5	687.6	687.9	687.5	688.0	687.7	772.8	772.9	772.9	773.2	773.0	773.0	730.3
Load-Area Factor	0.63	0.63	0.64	0.63	0.64	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Horizontal Deformation (um)	3.890	3.886	3.870	3.799	3.778	3.845	4.323	4.316	4.456	4.397	4.402	4.379	4.112
Load Rise Time (ms)	102	102	101	102	101	101	100	100	100	100	100	100	101
Measured Stiffness (MPa)	17524	17542	17623	17941	18055	17737	17725	17754	17198	17434	17409	17504	17620
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	17934	17953	18174	18363	18622	18209	18141	18171	17599	17842	17816	17914	18061

Data File 3 100-150 20°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



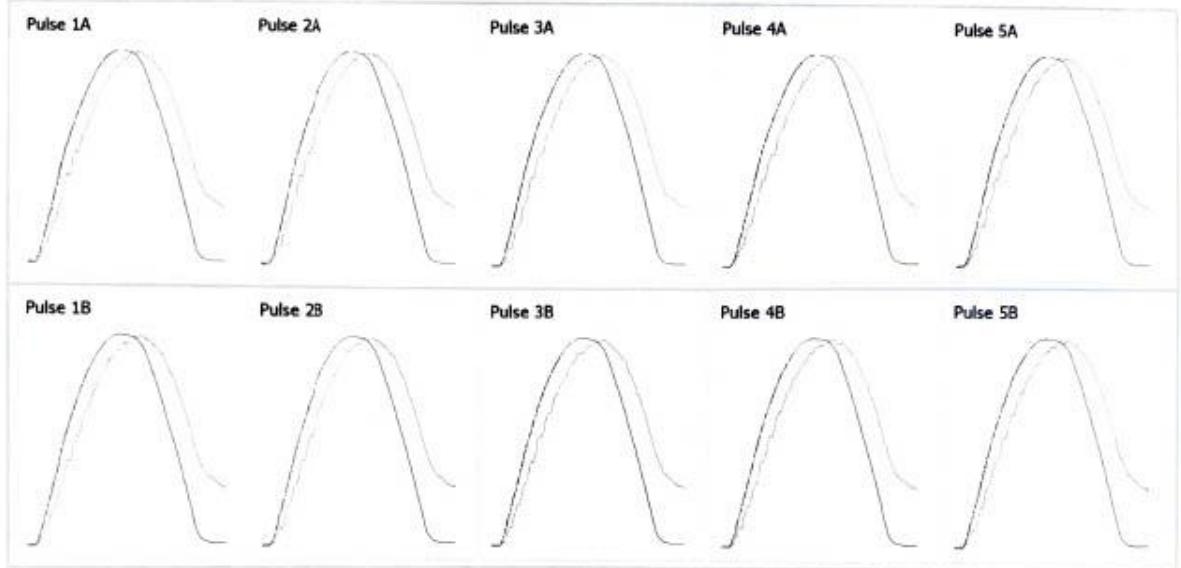
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 14:55
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 3 100-150 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	58

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	5.814	5.815	5.813	5.814	5.814	5.814	5.108	5.110	5.109	5.109	5.110	5.109	5.461
Horizontal Stress (kPa)	630.1	630.2	630.1	630.1	630.1	630.1	553.6	553.8	553.7	553.7	553.8	553.7	591.9
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.480	5.523	5.585	5.609	5.602	5.560	4.950	4.946	4.989	4.949	5.004	4.968	5.264
Load Rise Time (ms)	100	100	100	101	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Measured Stiffness (MPa)	11400	11313	11184	11138	11152	11237	11088	11102	11004	11093	10973	11052	11145
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	11728	11638	11505	11378	11472	11544	11406	11420	11319	11411	11287	11369	11456

Data File 3 100-150 30°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



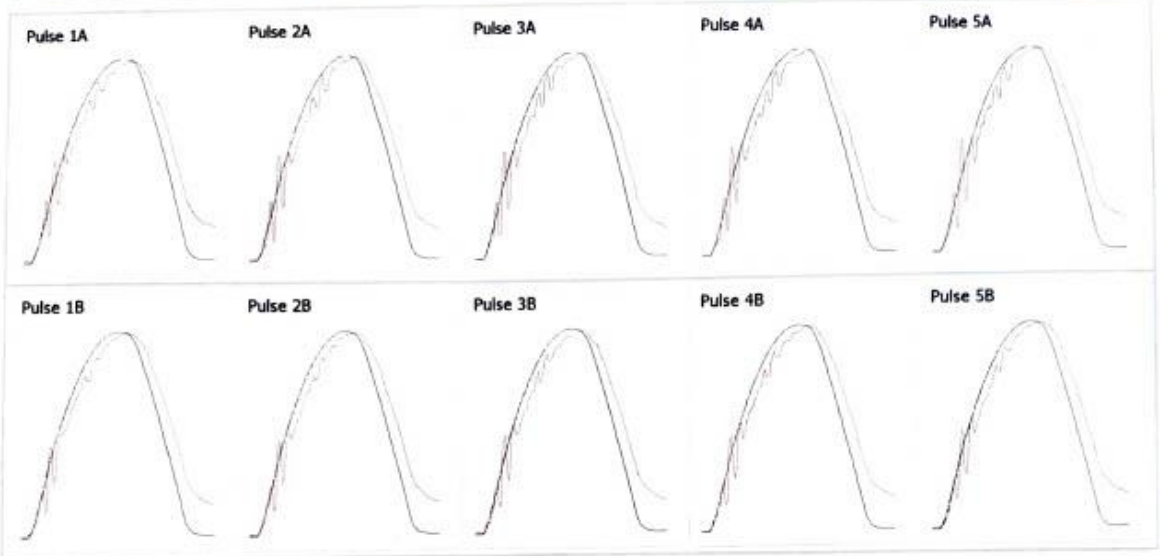
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 13 Apr 2022 @ 20:47
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 4 100-150 15°C 13-04-22
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	15
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	57

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	8.634	8.636	8.635	8.637	8.629	8.634	8.416	8.409	8.409	8.412	8.418	8.413	8.523
Horizontal Stress (kPa)	944.6	944.9	944.8	945.0	944.1	944.7	920.8	920.1	920.1	920.4	921.0	920.5	932.6
Load-Area Factor	0.63	0.63	0.63	0.64	0.63	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63	0.63
Horizontal Deformation (um)	4.619	4.516	4.521	4.517	4.581	4.551	4.486	4.549	4.585	4.604	4.581	4.561	4.556
Load Rise Time (ms)	100	100	100	99	100	100	101	100	100	100	100	100	100
Measured Stiffness (MPa)	20296	20764	20739	20762	20453	20603	20371	20072	19914	19839	19953	20030	20316
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	20784	21265	21239	21430	20945	21133	20861	20714	20550	20472	20431	20606	20869

Data File 4 100-150 15°C 13-04-22_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date

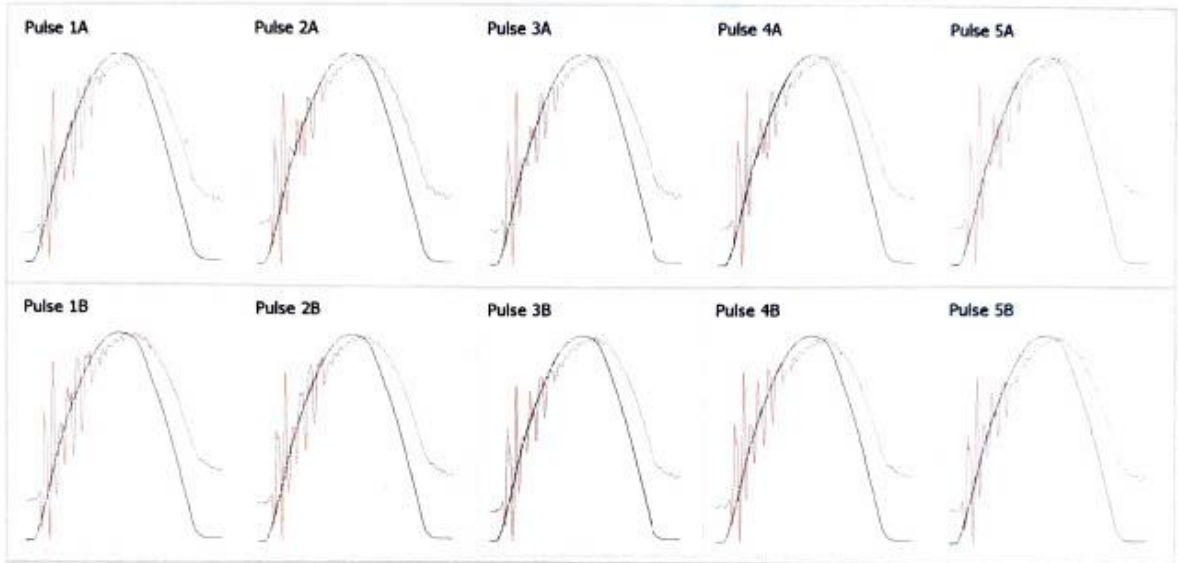
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 09:51
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 4 100-150 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	57

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	6.707	6.705	6.701	6.706	6.704	6.705	6.440	6.439	6.440	6.439	6.439	6.439	6.572
Horizontal Stress (kPa)	733.9	733.7	733.2	733.7	733.5	733.6	704.7	704.5	704.6	704.5	704.5	704.5	719.1
Load-Area Factor	0.63	0.62	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Horizontal Deformation (um)	4.692	4.785	4.848	4.793	4.959	4.815	4.812	4.698	4.609	4.708	4.649	4.695	4.755
Load Rise Time (ms)	100	101	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Measured Stiffness (MPa)	15521	15215	15008	15192	14679	15123	14532	14882	15172	14850	15039	14895	15009
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	15876	15446	15350	15539	15012	15445	14861	15220	15518	15187	15381	15234	15339

Data File 4 100-150 20°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



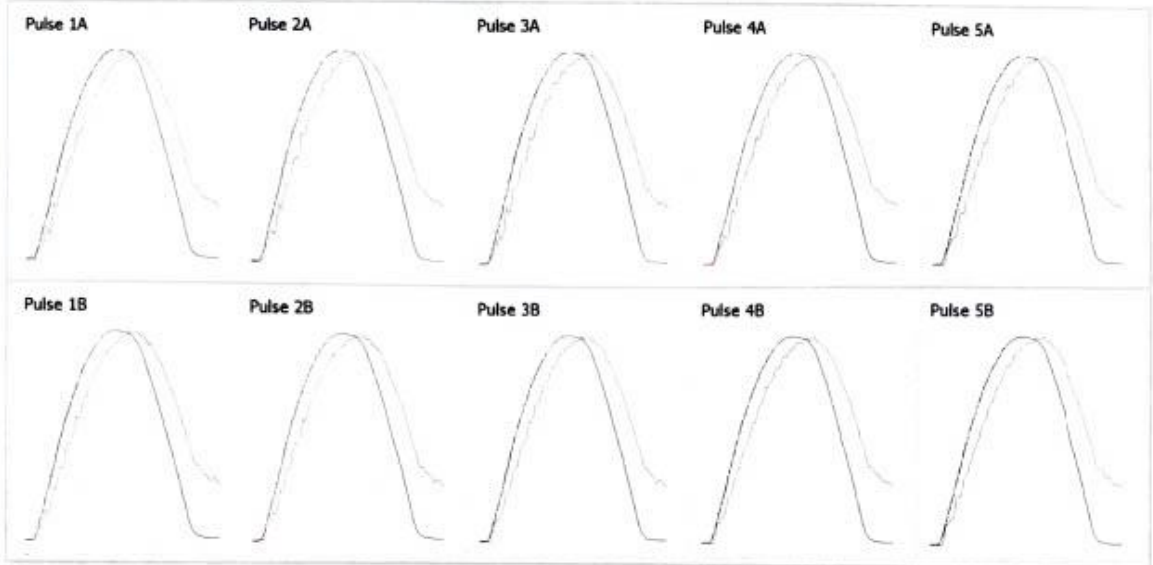
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 15:02
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 4 100-150 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	57

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	5.382	5.383	5.381	5.382	5.382	5.182	4.950	4.952	4.954	4.953	4.953	4.952	5.167
Horizontal Stress (kPa)	588.8	589.0	588.8	588.9	588.9	583.9	541.6	541.8	542.1	541.9	541.9	541.8	565.4
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.54	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.264	5.298	5.359	5.390	5.372	5.137	4.998	4.981	5.015	5.061	5.038	5.019	5.178
Load Rise Time (ms)	102	102	102	102	102	102	102	101	101	101	101	102	102
Measured Stiffness (MPa)	11102	11032	10903	10842	10878	10851	10754	10795	10726	10626	10675	10715	10833
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	11420	11348	11214	11151	11189	11164	10984	11103	11031	10928	10979	11005	11135

Data File 4 100-150 30°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date

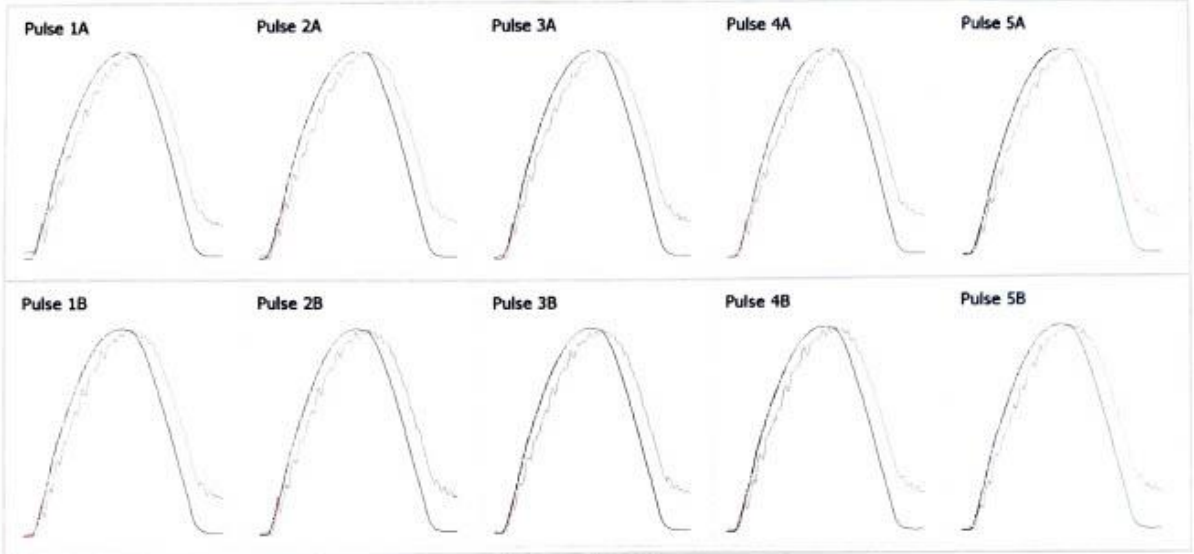
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 13 Apr 2022 @ 21:00
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID S 100-150 15°C 13-04-22
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	15
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	57

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	8.025	8.029	8.027	8.016	8.026	8.025	7.556	7.555	7.551	7.545	7.548	7.551	7.788
Horizontal Stress (kPa)	879.9	880.4	880.1	879.0	880.0	879.9	828.5	828.4	828.0	827.3	827.7	828.0	853.9
Load-Area Factor	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.64	0.63	0.64	0.64	0.63	0.64	0.63
Horizontal Deformation (um)	4.659	4.762	4.810	4.862	4.825	4.784	4.591	4.669	4.733	4.741	4.713	4.689	4.737
Load Rise Time (ms)	100	100	100	100	100	100	101	101	101	101	101	101	100
Measured Stiffness (MPa)	18835	18437	18248	18028	18189	18347	17997	17694	17445	17402	17512	17610	17979
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	19282	18873	18678	18452	18618	18780	18561	18109	17989	17945	17922	18105	18443

Data File S 100-150 15°C 13-04-22_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

[Signature box]

Date

[Date box]



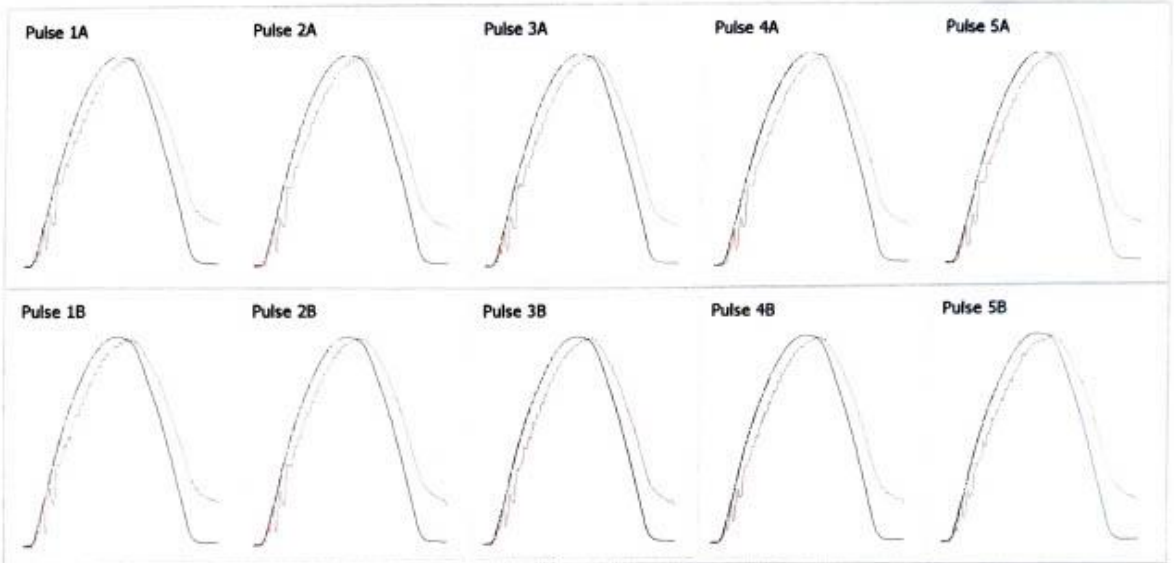
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 09:58
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID S 100-150 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	57

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	6.873	6.874	6.873	6.874	6.874	6.874	6.568	6.569	6.567	6.566	6.565	6.567	6.720
Horizontal Stress (kPa)	753.6	753.7	753.6	753.7	753.7	753.7	720.2	720.3	720.0	720.0	719.8	720.1	736.9
Load-Area Factor	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Horizontal Deformation (um)	4.822	4.796	4.812	4.852	4.870	4.830	4.915	4.807	4.792	4.857	4.939	4.862	4.846
Load Rise Time (ms)	102	102	102	102	102	102	100	100	100	100	100	100	101
Measured Stiffness (MPa)	15586	15673	15618	15492	15434	15560	14612	14943	14985	14782	14535	14771	15166
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	15943	16033	15976	15847	15787	15917	14943	15283	15326	15118	14864	15107	15512

Data File S 100-150 20°C 14-04-2022_2.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed

Date

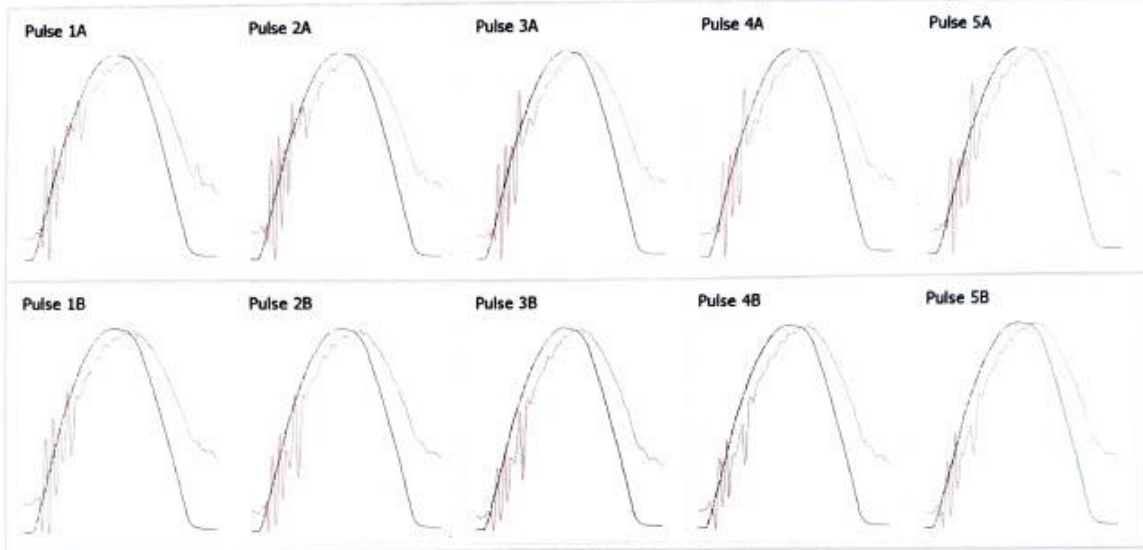
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 15:09
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 5 100-150 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	57

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	4.914	4.913	4.913	4.913	4.914	4.913	4.712	4.712	4.715	4.715	4.715	4.714	4.814
Horizontal Stress (kPa)	538.8	538.7	538.7	538.7	538.8	538.7	516.6	516.7	517.0	517.0	517.0	516.9	527.8
Load-Area Factor	0.64	0.65	0.65	0.64	0.64	0.64	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.364	5.560	5.656	5.651	5.803	5.606	5.839	5.660	5.310	5.368	5.345	5.504	5.555
Load Rise Time (ms)	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101
Measured Stiffness (MPa)	10017	9662	9498	9507	9260	9589	8824	9103	9709	9605	9646	9377	9483
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	10298	9999	9828	9771	9516	9882	9126	9354	9980	9873	9915	9649	9766

Data File 5 100-150 30°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



Bilaga F – Resultat av pressdragprovning CSA 160

EN 12697-26 (Annex C)

Date of test	13 Apr 2022 @ 21:18	Lab address	NCC Industry a/s Laboratorie
Report Number			Vesterballevej 6
Operator	NCC		7000 Fredericia
Specimen ID	1 16-220 15°C 13-04-22		Denmark
Client Name			

Test Temperature (units)	15	Conditioning Pulses	10
Bulk Density (units)	0	Poissons Ratio	0.35
Diameter (mm)	102	A & B Target Rise Time (ms)	100
Thickness (mm)	53	A & B Target Deformation (um)	5

Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	5.690	5.689	5.689	5.691	5.693	5.690	5.187	5.184	5.184	5.185	5.185	5.185	5.438
Horizontal Stress (kPa)	670.6	670.5	670.5	670.7	671.0	670.7	611.3	611.0	611.0	611.2	611.2	611.1	640.9
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.437	5.503	5.864	5.794	5.978	5.715	5.021	4.888	4.968	5.136	5.317	5.066	5.390
Load Rise Time (ms)	99	99	99	99	99	99	101	101	101	101	101	101	100
Measured Stiffness (MPa)	12289	12139	11392	11534	11183	11707	12131	12454	12253	11854	11451	12028	11868
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	12648	12493	11720	11867	11504	12046	12485	12819	12611	12198	11781	12379	12213

Data File: 1 16-220 15°C 13-04-22_2.tdms

Notes: Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed: _____ Date: _____

cooper

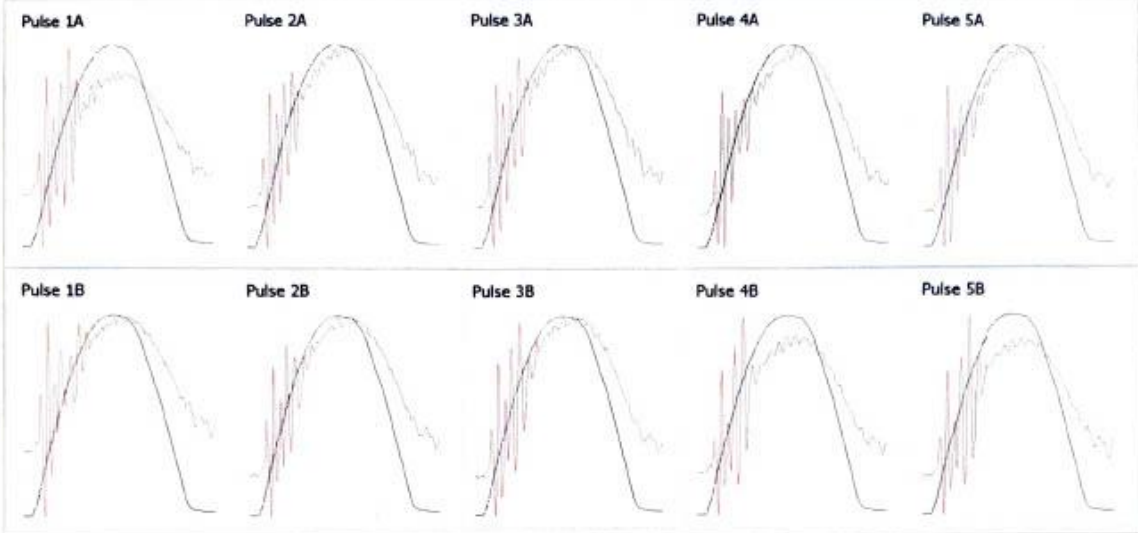
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 10:26
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 1 160-220 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	53

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	3.944	3.944	3.945	3.945	3.945	3.945	3.428	3.429	3.432	3.430	3.429	3.430	3.687
Horizontal Stress (kPa)	464.8	464.8	464.9	465.0	465.0	464.9	404.1	404.1	404.5	404.3	404.1	404.2	434.6
Load-Area Factor	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.65
Horizontal Deformation (um)	5.380	4.113	4.031	3.865	3.841	4.246	4.193	3.691	3.526	3.984	4.198	3.919	4.082
Load Rise Time (ms)	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
Measured Stiffness (MPa)	8608	11260	11492	11985	12060	11081	9600	10909	11429	10110	9591	10328	10705
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	8901	11665	11907	12421	12499	11478	10001	11376	11923	10537	9992	10766	11122

Data File 1 160-220 20°C 14-04-2022_2.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



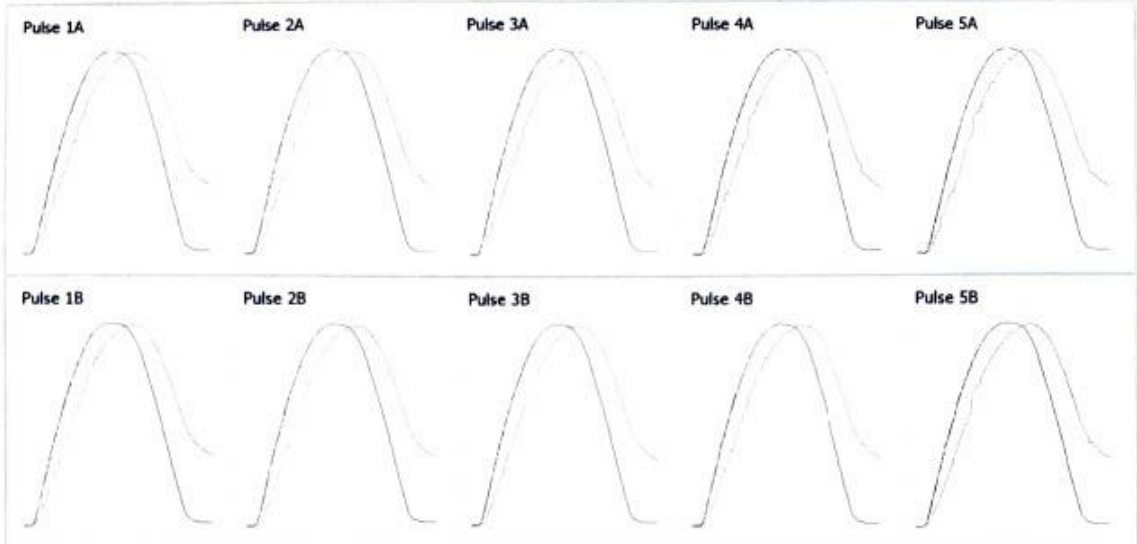
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 15:28
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 1 160-220 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	53

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	4.139	4.143	4.143	4.143	4.141	4.142	3.656	3.658	3.660	3.661	3.661	3.659	3.900
Horizontal Stress (kPa)	487.8	488.3	488.3	488.3	488.0	488.2	430.9	431.1	431.3	431.5	431.5	431.3	459.7
Load-Area Factor	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Horizontal Deformation (um)	5.909	5.885	5.936	6.011	6.128	5.974	5.528	5.469	5.362	5.513	5.549	5.484	5.729
Load Rise Time (ms)	101	101	101	101	101	101	101	101	100	100	100	101	101
Measured Stiffness (MPa)	8225	8267	8196	8093	7935	8143	7766	7854	8015	7798	7747	7836	7990
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	8502	8546	8472	8365	8201	8417	8025	8116	8284	8058	8005	8098	8257

Data File 1 160-220 30°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



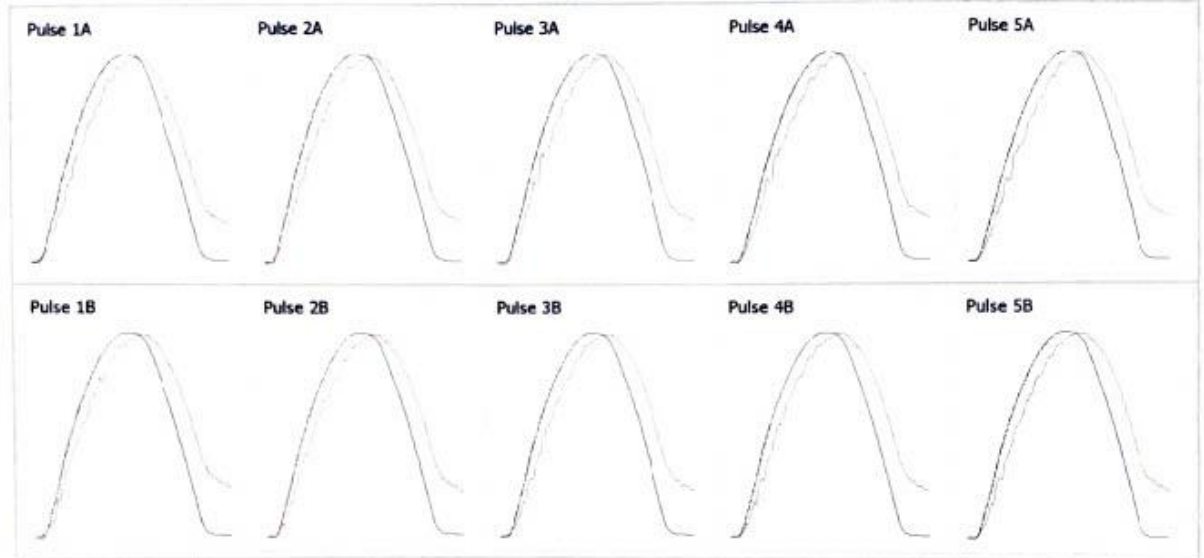
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 13 Apr 2022 @ 21:37
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 2 160-220 15°C 13-04-22
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	15
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	53

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	7.187	7.191	7.184	7.186	7.190	7.188	6.520	6.516	6.518	6.519	6.518	6.518	6.853
Horizontal Stress (kPa)	846.3	846.7	845.8	846.2	846.6	846.3	767.7	767.3	767.5	767.6	767.5	767.5	806.9
Load-Area Factor	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63
Horizontal Deformation (um)	4.963	5.059	5.077	5.102	5.167	5.074	5.008	4.874	4.896	4.886	4.959	4.924	4.999
Load Rise Time (ms)	100	101	101	101	101	101	100	100	100	100	100	100	100
Measured Stiffness (MPa)	17004	16691	16616	16539	16340	16638	15288	15698	15633	15667	15434	15544	16091
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	17400	17078	17001	16922	16718	17024	15754	16178	16111	16146	15905	16019	16521

Data File 2 160-220 15°C 13-04-22_2.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed _____

Date _____



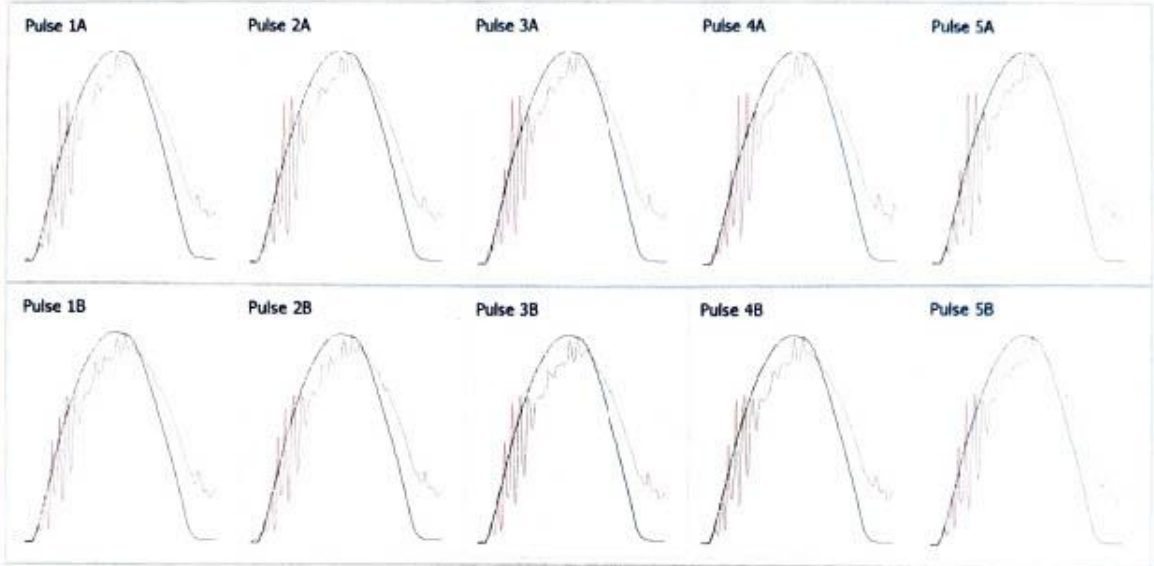
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 10:33
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 2 160-220 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	53

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	5.887	5.885	5.889	5.888	5.889	5.888	5.753	5.753	5.751	5.752	5.752	5.752	5.820
Horizontal Stress (kPa)	693.2	692.9	693.4	693.3	693.4	693.2	677.4	677.4	677.1	677.2	677.2	677.1	685.3
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.067	5.173	5.171	5.229	5.260	5.180	5.208	5.263	5.317	5.315	5.331	5.287	5.233
Load Rise Time (ms)	101	101	101	101	101	101	100	100	100	100	101	100	101
Measured Stiffness (MPa)	13643	13359	13373	13222	13147	13349	12971	12836	12701	12708	12670	12777	13063
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	14050	13756	13770	13614	13536	13745	13354	13214	13075	13082	12949	13135	13440

Data File 2 160-220 20°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed _____

Date _____



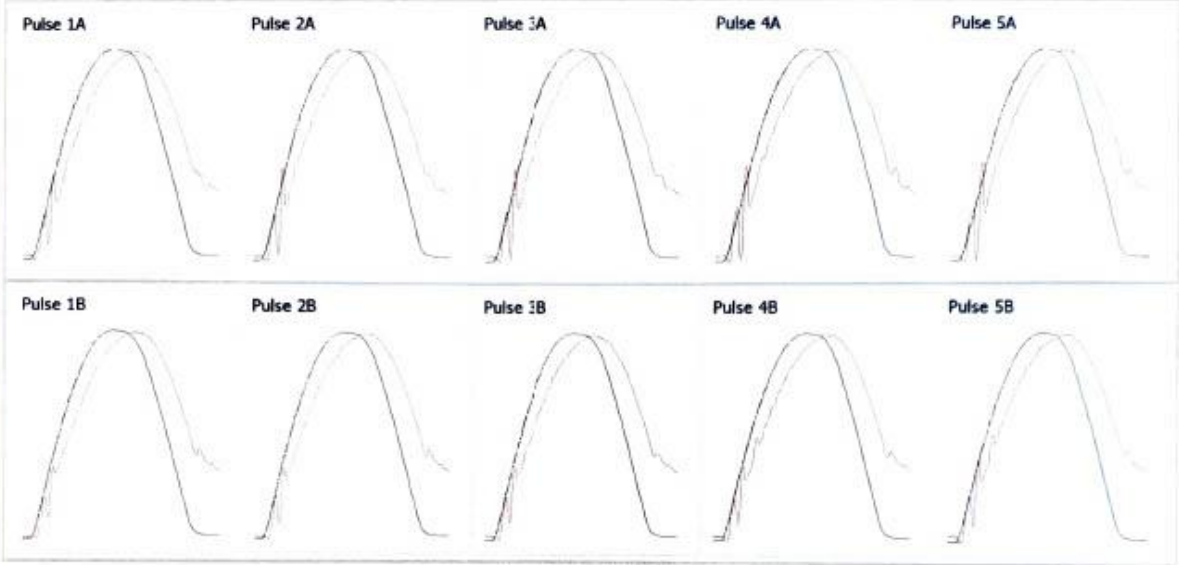
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 15:32
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 2 160-220 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	53

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	3.643	3.642	3.644	3.644	3.643	3.643	3.791	3.792	3.792	3.794	3.794	3.793	3.718
Horizontal Stress (kPa)	429.0	428.9	429.0	425.1	429.0	429.0	446.4	446.5	446.5	446.8	446.7	446.6	437.8
Load-Area Factor	0.66	0.66	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Horizontal Deformation (um)	4.987	4.943	5.115	5.115	5.072	5.046	5.418	5.374	5.428	5.399	5.422	5.408	5.227
Load Rise Time (ms)	102	102	102	102	102	102	101	101	101	100	100	101	101
Measured Stiffness (MPa)	8578	8652	8365	8365	8434	8479	8216	8286	8203	8252	8217	8235	8357
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	8928	9006	8648	8648	8720	8790	8493	8566	8480	8531	8494	8513	8651

Data File 2 160-220 30°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed _____

Date _____

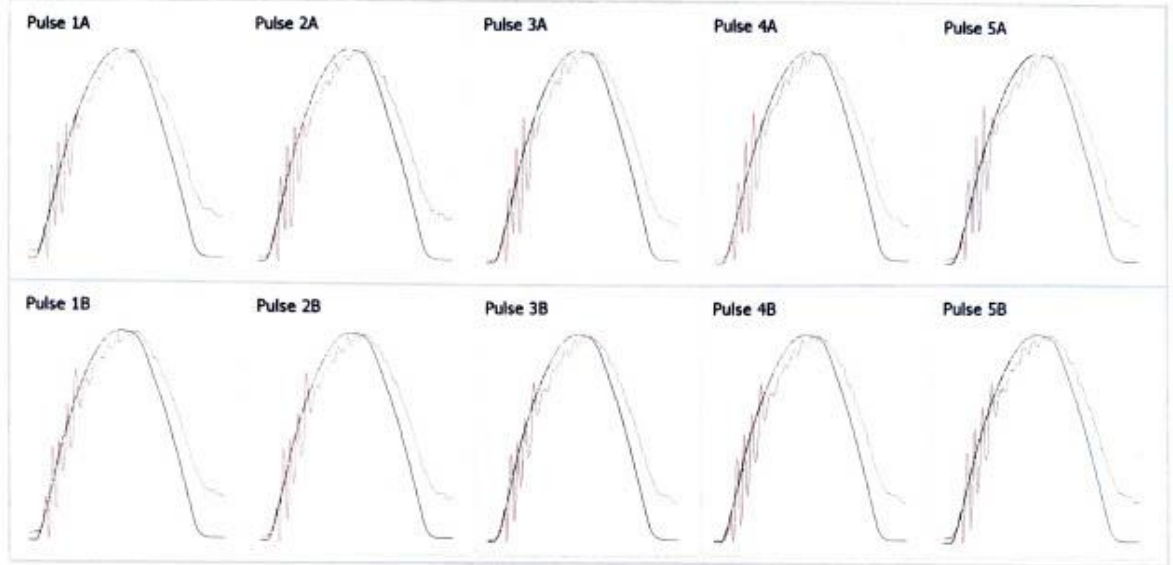
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 13 Apr 2022 @ 21:57
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 3 160-220 15°C 13-04-22
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	15
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	55

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	6.531	6.532	6.530	6.532	6.531	6.531	6.211	6.212	6.210	6.212	6.210	6.211	6.371
Horizontal Stress (kPa)	735.6	735.7	735.5	735.8	735.7	735.7	699.6	699.7	699.5	699.7	699.5	699.6	717.7
Load-Area Factor	0.63	0.63	0.63	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Horizontal Deformation (um)	5.093	4.982	4.904	4.869	4.855	4.941	4.908	4.847	4.846	4.948	4.936	4.897	4.919
Load Rise Time (ms)	101	102	101	100	101	101	100	100	100	100	100	100	101
Measured Stiffness (MPa)	14377	14700	14929	15041	15082	14826	14188	14369	14367	14076	14105	14221	14523
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	14702	15033	15268	15498	15426	15185	14508	14693	14691	14393	14422	14541	14863

Data File 3 160-220 15°C 13-04-22_2.dms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date

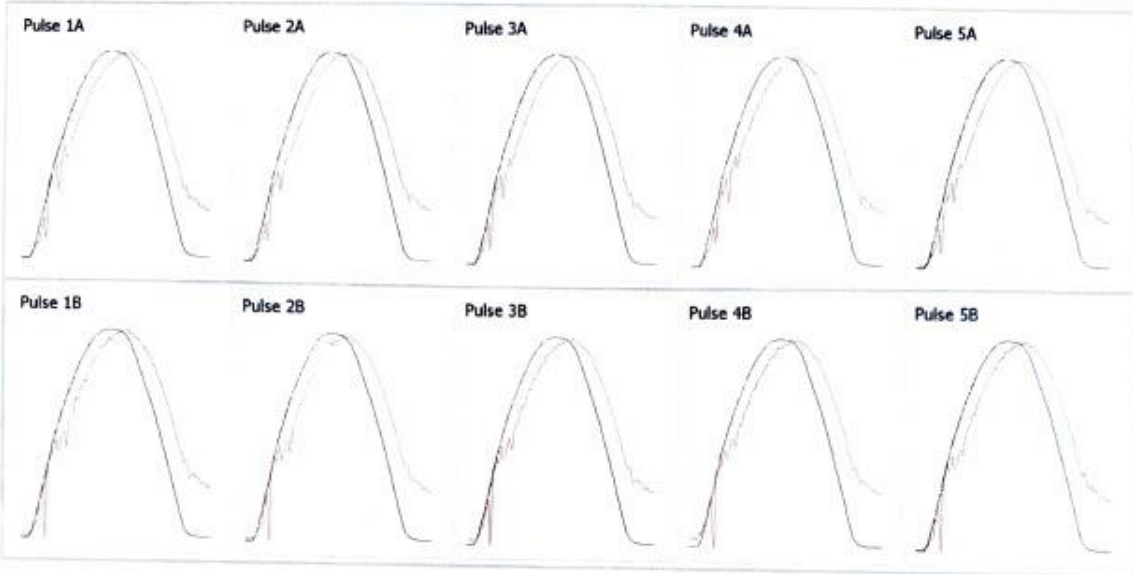
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test: 14 Apr 2022 @ 10:44
 Report Number:
 Operator: NCC
 Specimen ID: 3 160-220 20°C 14-04-2022
 Client Name:

Lab address: NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	55

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	6.120	6.119	6.121	6.121	6.121	6.121	5.708	5.709	5.709	5.709	5.709	5.709	5.915
Horizontal Stress (kPa)	689.4	689.3	689.5	689.5	689.4	689.4	643.0	643.1	643.1	643.1	643.1	643.1	666.3
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.051	5.076	4.998	5.256	5.033	5.083	5.160	5.215	5.199	5.262	5.168	5.201	5.142
Load Rise Time (ms)	101	101	101	101	101	101	100	100	100	100	100	100	101
Measured Stiffness (MPa)	13584	13515	13731	13057	13635	13504	12402	12274	12311	12164	12385	12307	12906
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	13989	13917	14141	13443	14041	13906	12765	12633	12671	12519	12748	12667	13287

Data File: 3 160-220 20°C 14-04-2022_2.tdms

Notes: Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed: _____

Date: _____



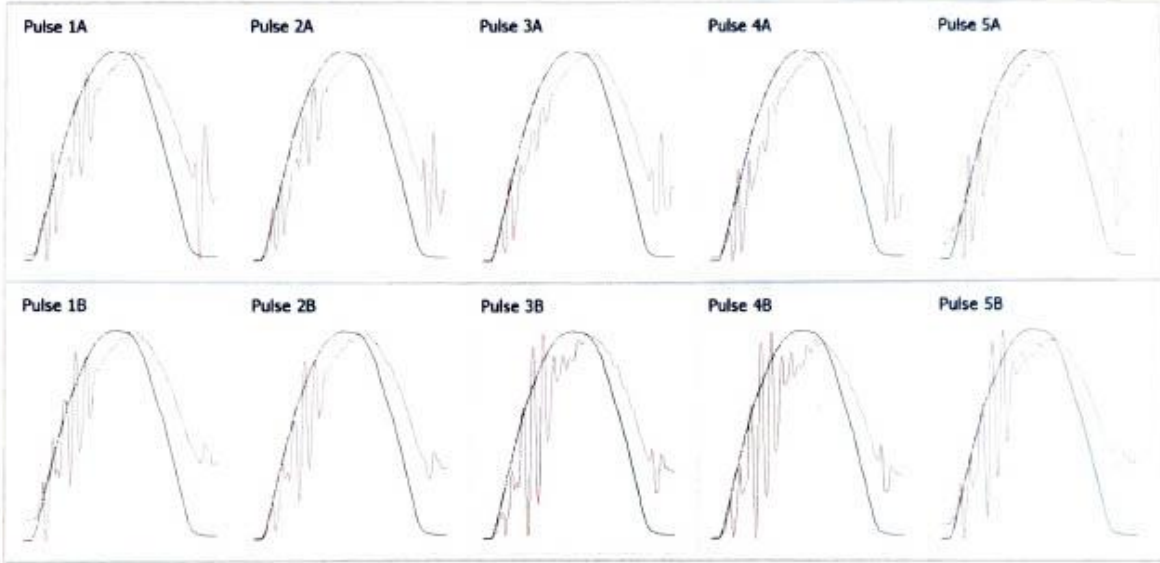
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 15:42
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 3 160-220 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	55

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	3.845	3.845	3.844	3.846	3.848	3.845	3.205	3.205	3.205	3.206	3.206	3.205	3.525
Horizontal Stress (kPa)	433.1	433.1	433.0	433.2	433.4	433.2	361.0	361.0	361.1	361.1	361.1	361.1	397.1
Load-Area Factor	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Horizontal Deformation (um)	5.399	5.254	5.258	5.236	5.766	5.382	4.819	4.610	4.587	4.744	4.947	4.741	5.062
Load Rise Time (ms)	102	101	101	101	101	101	103	103	103	103	103	103	102
Measured Stiffness (MPa)	7985	8205	8197	8235	7482	8021	7457	7795	7834	7577	7266	7585	7803
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	8253	8482	8473	8513	7729	8290	7753	8107	8148	7878	7553	7888	8089

Data File 3 160-220 30°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:
 Bulk Density:
 Poisson's Ratio:
 Description of asphaltic material:
 How it was mixed:
 How it was compacted:
 How bulk density was determined:
 How the specimen was stored:

Signed _____

Date _____



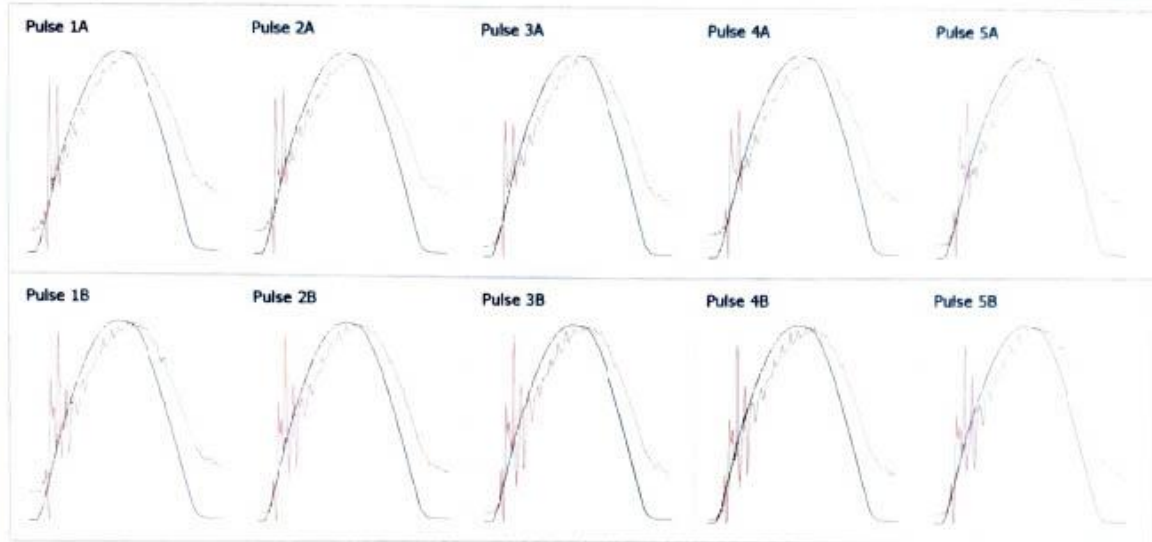
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test: 13 Apr 2022 @ 22:05
 Report Number:
 Operator: NCC
 Specimen ID: 5 160-220 15°C 13-04-22
 Client Name:

Lab address: NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	15
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	54

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	5.762	5.758	5.759	5.760	5.758	5.759	5.411	5.413	5.415	5.412	5.414	5.413	5.586
Horizontal Stress (kPa)	657.9	657.4	657.6	657.7	657.5	657.6	617.9	618.1	618.3	618.0	618.2	618.1	637.9
Load-Area Factor	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Horizontal Deformation (um)	5.134	5.171	4.885	4.978	4.775	4.989	4.692	4.554	4.507	4.554	4.480	4.557	4.773
Load Rise Time (ms)	100	100	100	100	100	100	101	101	101	101	101	101	100
Measured Stiffness (MPa)	12768	12668	13412	13163	13718	13146	13119	13522	13668	13519	13748	13515	13330
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	13144	13040	13811	13553	14127	13535	13507	13924	14076	13921	14159	13917	13726

Data File: 5 160-220 15°C 13-04-22_1.tdms

Notes: Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed: _____

Date: _____



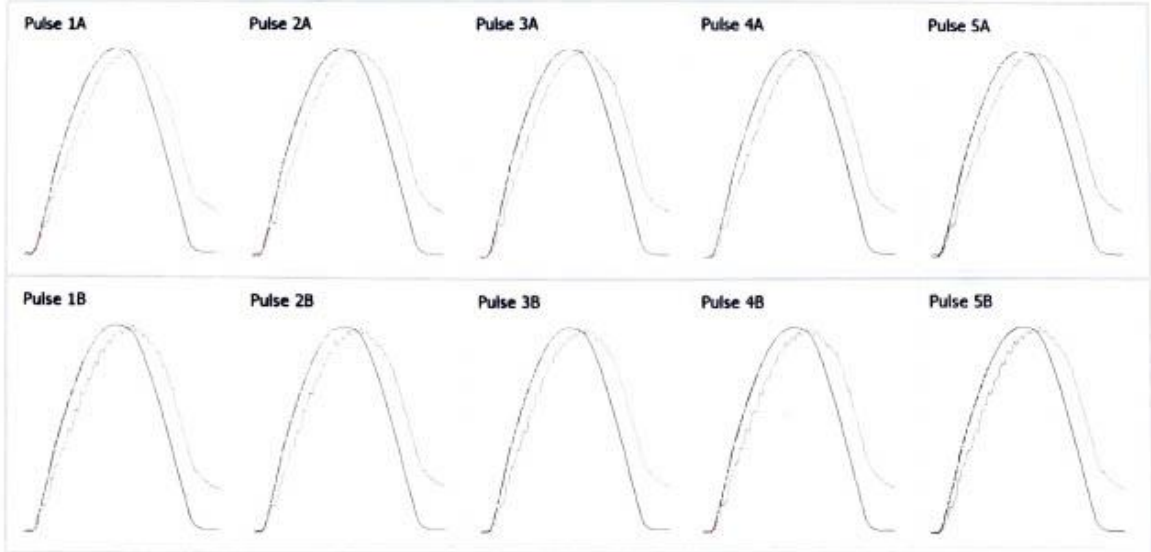
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 10:53
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 5 160-220 20°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	20
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	54

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	6.371	6.373	6.371	6.372	6.372	6.372	5.048	6.049	6.046	6.045	6.049	6.047	6.210
Horizontal Stress (kPa)	727.5	727.6	727.4	727.6	727.6	727.5	590.6	690.7	690.4	690.3	690.7	690.5	709.0
Load-Area Factor	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Horizontal Deformation (um)	5.126	5.140	5.155	5.167	5.190	5.156	4.938	5.051	5.036	5.045	5.025	5.019	5.087
Load Rise Time (ms)	100	100	100	100	100	100	101	101	101	101	101	101	100
Measured Stiffness (MPa)	14139	14105	14060	14029	13967	14060	13933	13624	13658	13631	13694	13708	13884
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	14457	14422	14376	14344	14281	14376	14246	13929	13963	13936	14000	14015	14196

Data File 5 160-220 20°C 14-04-2022_1.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed

Date



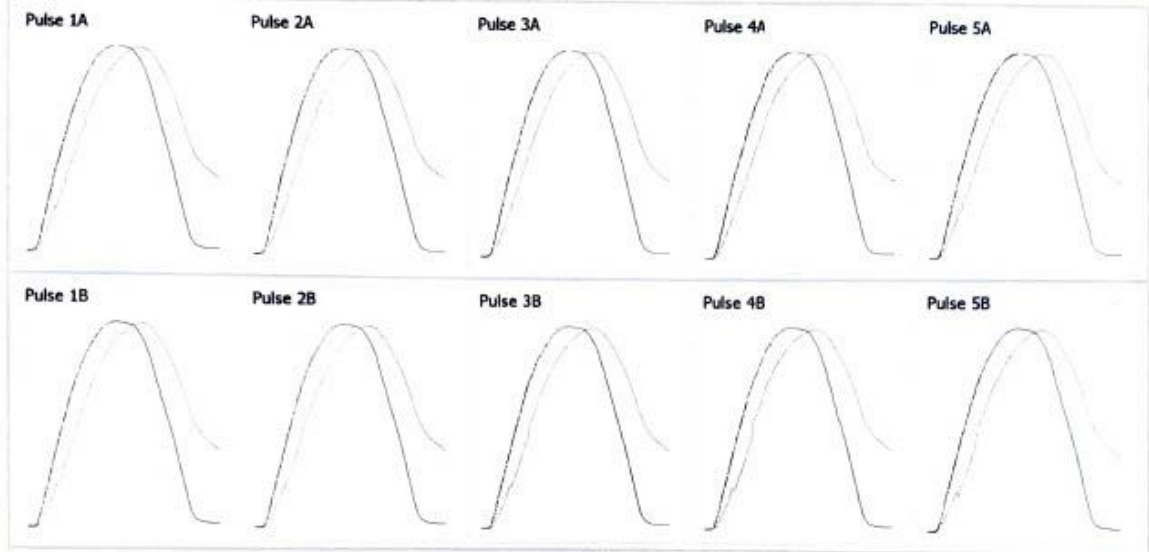
EN 12697-26 (Annex C)

Date of test 14 Apr 2022 @ 15:55
 Report Number
 Operator NCC
 Specimen ID 5_160-220 30°C 14-04-2022
 Client Name

Lab address NCC Industry a/s Laboratorie
 Vesterballevej 6
 7000 Fredericia
 Denmark

Test Temperature (units)	30
Bulk Density (units)	0
Diameter (mm)	102
Thickness (mm)	54

Conditioning Pulses	10
Poissons Ratio	0.35
A & B Target Rise Time (ms)	100
A & B Target Deformation (um)	5



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	3.129	3.127	3.125	3.128	3.128	3.128	3.106	3.107	3.107	3.108	3.106	3.107	3.117
Horizontal Stress (kPa)	357.3	357.1	356.8	357.2	357.2	357.1	354.7	354.8	354.8	354.8	354.7	354.8	355.9
Load-Area Factor	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Horizontal Deformation (um)	5.230	5.333	5.332	5.322	5.328	5.309	5.407	5.438	5.545	5.623	5.399	5.482	5.396
Load Rise Time (ms)	101	101	101	101	101	101	100	100	100	100	100	100	100
Measured Stiffness (MPa)	6806	6670	6667	6686	6679	6702	6535	6500	6374	6288	6545	6448	6575
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	7071	6928	6925	6945	6938	6961	6787	6750	6618	6528	6797	6696	6829

Data File 5_160-220 30°C 14-04-2022_2.tdms

Notes Record details about the specimen in this area:

- Bulk Density:
- Poisson's Ratio:
- Description of asphaltic material:
- How it was mixed:
- How it was compacted:
- How bulk density was determined:
- How the specimen was stored:

Signed _____

Date _____

