



Dokumentation af BSM In-situ, udlagt på Rennebjergvej i Slagelse Kommune

Prøvning udført for Vejdirektoratet



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

December 2020



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Dokumentation af BSM In-situ, udlagt på Rennebjergvej i Slagelse Kommune.

Prøvning udført for Vejdirektoratet

Rekvirent:

Vejdirektoratet
Videnskoordinering og vejstandarder
Carsten Niebuhrs Gade 43, 5. sal
1577 København V

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 4
2630 Taastrup
Byggeri og Anlæg

Kvalitetssikring:

Sagsansvarlig: Ole Grann Andersson, tlf. 7220 3209, olan@teknologisk.dk
Godkendt af: Maria Felsing-Hansen, tlf. 7220 1326, mafe@teknologisk.dk

Opgavenr.: 2008194 - E

Versionsnr.: 01

09. december 2020

Resultater af Institutts opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder fx vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag. Institutts navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionssekretariatet.



Indhold

1.	Indledning	4
2.	Baggrund	4
3.	Rennebjergvejs oprindelige opbygning	6
4.	BSM in-situ renoveringen – trin for trin	8
5.	Laboratoriedata fra BSM in-situ på Rennebjergvej	13
5.1.	Sammensætningskontrol, BSM	13
5.2.	Referencedensitet	14
5.3.	Stendensitet og hulrumsberegning	14
5.4.	Vandfølsomhed	15
5.5.	Stivhedsmodul	16
6.	Komprimering af udlagt BSM in-situ på Rennebjergvej	17



1. Indledning

Efter aftale med Henrik Majlund, Vejdirektoratet, har Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg i perioden juni-juli 2020 gennemført den i denne rapport beskrevne prøvning og dokumentation af BSM in-situ fremstillet af Arkil Asfalt på den sydlige del af Rennebjergvej ved Boeslunde/Skælskør i Slagelse kommune. Laboratorieprøvningen er gennemført som en del af Teknologisk Instituts kontraktopgave for Vejdirektoratet om BSM-laboratorieydelse inkl. udredning og afrapportering, 2020.

De i denne rapport omtalte prøvningsmetoder følger retningslinjer som anvendt i BSM-tests i Vejdirektoratets gennemførte forsøgsrække i 2019-20. Rapporten fra 2019-forsøgene er publiceret på:

- Vejdirektoratets vejregel-hjemmeside: <https://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?q=BSM&docid=vd20200010-full> - såvel som på:

- Teknologisk Instituts hjemmeside: <https://www.teknologisk.dk/projekter/koldblandet-asfalt-baerelag-bsm/41567?cms.query=BSM>

2. Baggrund

Denne rapport indgår som en delrapport i Vejdirektoratets videns- og dokumentationsarbejde for indsamling af danske erfaringer for anvendelse af Bitumen-Stabiliseret Materiale, BSM.

Rapporten belyser de fundne data og opnåede erfaringer fra udførelsen af en BSM In-situ strækning, som er udført af Arkil Asfalt på den sydlige del af Rennebjergvej i Slagelse Kommune.

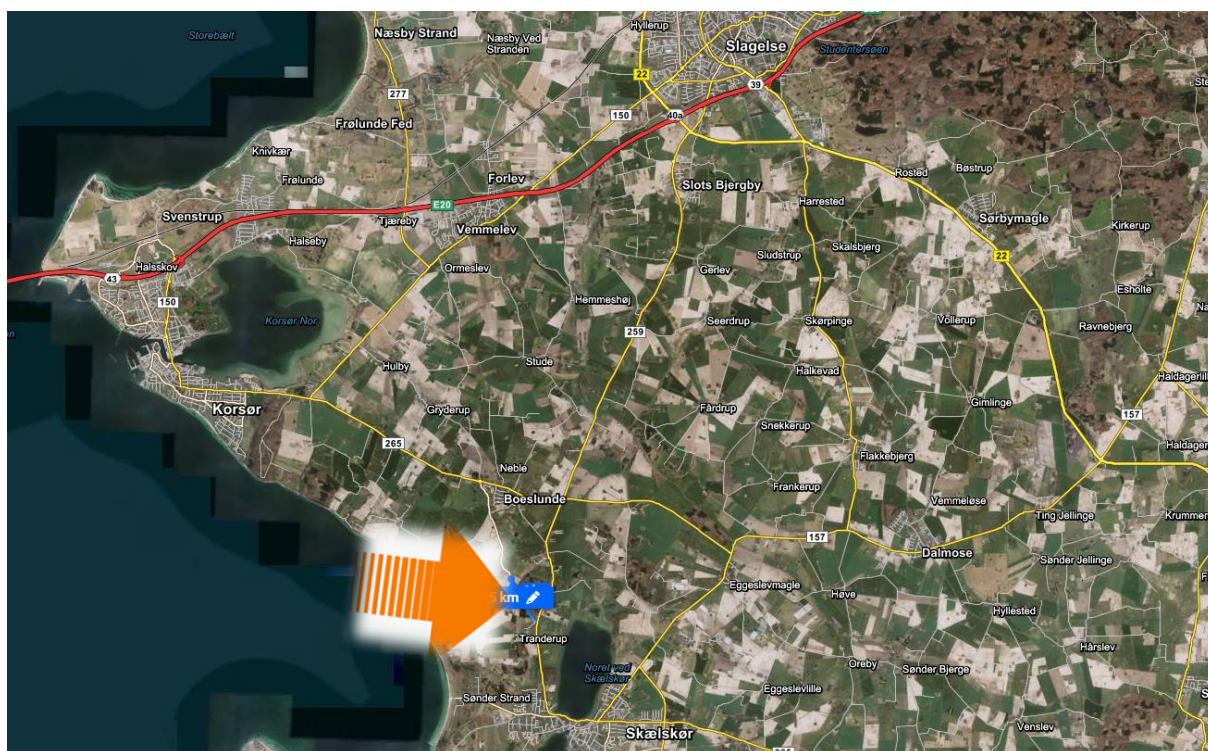


Fig. 2.1: Rennebjergvej er beliggende i Slagelse Kommune og forbinder de to byer Boeslunde og Skælskør.

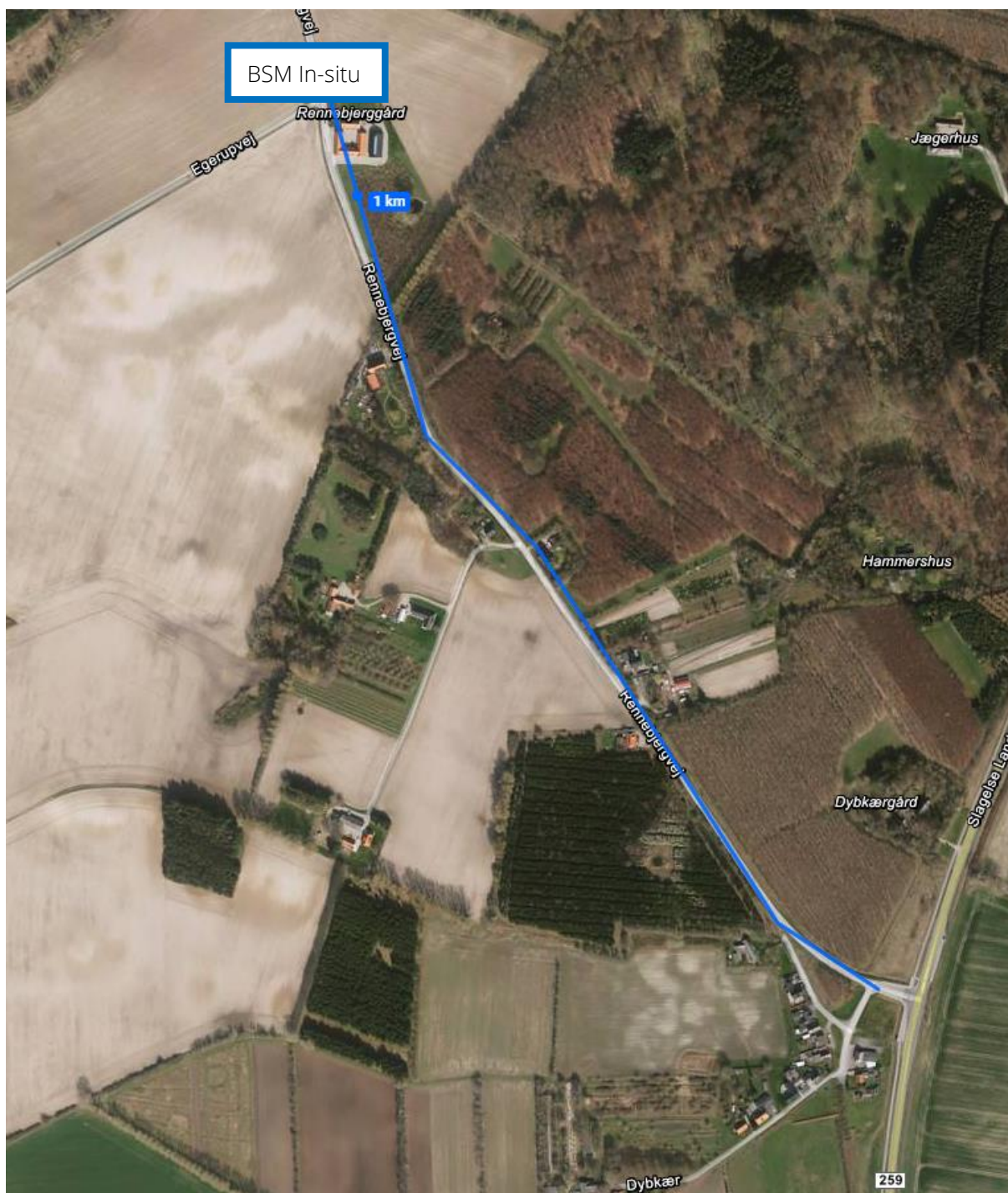


Fig. 2.2: Projektet omfatter de sydligste ca. 1,1 km af Rennebjergvej. Belægningsreoveringen startede op i nordgående retning ved Rennebjergvejs sydlige krydsning med Dybkær/Slagelse Landevej.



3. Rennebjergvejs oprindelige opbygning

Rennebjergvej har igennem lang tid været udfordret med revner og skader, bl.a. grundet et smalt vejprofil. Det blev derfor besluttet, at vejen samtidigt med istandsættelsen skulle udvides med ca. 0,5 m.

De indledningsvis udførte prøvegravninger viste, at den gamle opbygning i det væsentlige bestod af ca. 10 cm gammel asfalt udlagt på ca. 20 cm makadam, udlagt på en underbund primært bestående af sand/lerjord. Vejkassen fortsatte i begge sider min. 20 cm ind under rabatten, hvilket var ideelt for den planlagte sideudvidelse på 2x25 cm.



Fig. 3.1: Eksempel fra prøvegravning, prøvehul 3 af 8, st. 600 VS (st. 0 = center Slagelse Landevej).



Fig. 3.2: Eksempel fra prøveboring. Bemærk makadam-stenene fastkittet i bunden (t.v.)



Fig. 3.3: Rennebjergvejs sydligste del før renoveringsarbejdet (set mod nord) – omfattende lapper og kantforstærkninger (Foto: Google, 2018)



Fig. 3.4: En del af Rennebjergvej-strækningen løber gennem et skovareal (Foto: Google 2018)



Fig. 3.5: Den nordlige del af BSM in-situ strækningen var før belægningsreoveringen også plaget af revner, krakeleringer og itukørte kanter, som var dækket af plet-OB og lapper.

4. BSM in-situ reoveringen – trin for trin

Arbejdet indledtes med at afgrave rabatjord i siderne, så der blev plads til en sideudvidelse på 25 cm i hver side, til en samlet vejbredde på 5,75 m. Herefter blev der tilført knust genbrugsasfalt og udlagt "løst" ovenpå eksisterende asfalt på kørebanen i en tykkelse sv.t. at opnå ekstra 4 cm tykkelse ovenpå kørebanen og 10 cm i det sideudvidede areal. Umiddelbart forud for stabiliseringsarbejdet var der udspremt cement i en mængde svarende til at opnå et cementfiller-indhold på ca. 0,8% af BSM-materialet (cement anvendes som klæbeaktiv filler).



Fig. 4.1: Efter udspremdning af 10 cm tilført, knust genbrugsasfalt blev der udspremt cement, der virker som klæbeaktiv filler, når det indblandes i BSM-materialet.

Herefter blev hver vejside (halvdelen) af strækningen i én arbejdsoperation gennemfræset og bitumenstabiliseret i 6 + 4 cm dybde (6 cm ned i den gamle asfalt plus 4 cm ny, tilført genbrugsasfalt) med Arkil's Wirtgen-CRI-BSM-maskine.



Fig. 4.2: Langt "tog" af maskiner/køretøjer i aktion ved BSM in-situ produktion og udlægning i én kontinuerlig arbejdsproces. BSM-stabiliseringen blev udført i en halv vejbredde ad gangen.



Fig. 4.3: Et kig hen ad den lange maskinrække ved BSM in-situ udlægning, hvor BSM både produceres og udlægges på én gang. Den lokale, uopvarmede BSM-produktion på stedet sparer transport- og opvarmningsenergi og opnår derved en lav CO₂-udledning.

Det lange "BSM-udlægningstog" består af forrest en cementsprederbil, så en vand-tankvogn, som er sammenkoblet med en bitumentankvogn, som med stangforbindelse er sammenkoblet med Wirtgen CRi fræse-/blandemaskinen til BSM-fremstilling in-situ. Bag CRi-maskinen kører en asfaltudlægger, som modtager og udlægger BSM-materialet i den ønskede lagtykkelse og bredde.



Fig. 4.4: CRI-maskinen i aktion på Rennebjergvej efterfulgt af asfaltudlæggeren.

Efter stabiliseringen blev det in-situ fremstillede BSM-materiale tilført en bagvedkørende asfaltudlægger, som udlagde BSM-materialet i den nye, udvidede bredde på 5,75 m, hvorefter det blev komprimeret med tung vibrationstromle og tung gummihjulstromle.



Fig. 4.5: Glatvalset vibrationstromle.



Fig. 4.6: Afsluttende komprimering med gummihjulstromle



Fig. 4.7: "Grøn" CO₂-besparende BSM-belægning i sit rette element i grønne omgivelser



Fig. 4.8: Komprimeringsens ensartethed blev sikret ved hjælp af et GPS-baseret system og oversigt på en iPad.

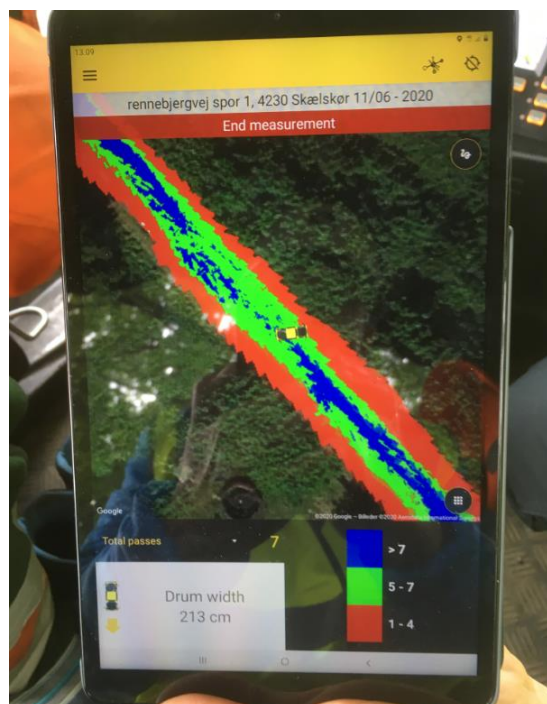


Fig. 4.9: Close-up af iPad'ens skærm, der tydeligt viser komprimeringsens homogenitet mens der tromles.



Fig. 4.10: Ved udlægningsarbejdet blev der udvist stor interesse for det nye, bæredygtige BSM-koncept. Her ses i midten transportminister Benny Engelbrecht studere CRI-maskinens fræsetænder (foto: Arkil).

Efter udlægning og komprimering af BSM-laget blev der i dette tilfælde foretaget en afsluttende emulsionsforsegling af BSM-laget, med udsprejning af bitumineret stenmel. Herefter blev der udlagt et nyt, fulddækkende slidlag af varmblandet asfalt i form af 70 kg/m² AB 8t med standard vejbitumen, hvorefter der afslutningsvis blev udført ny trafikmarkering.



5. Laboratoriedata fra BSM in-situ på Rennebjergvej

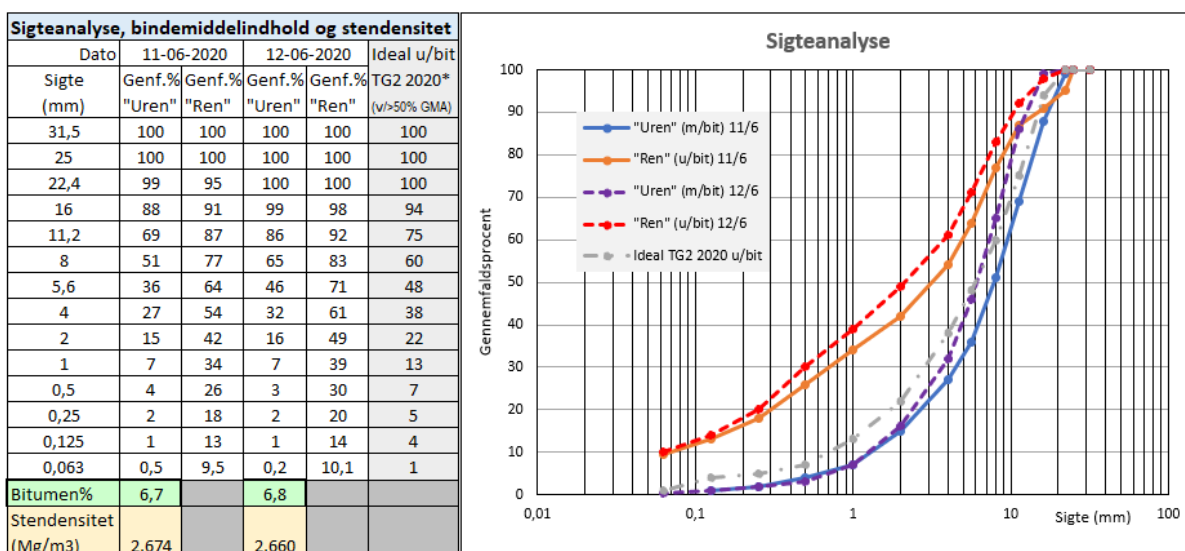
Dette afsnit beskriver de fundne data fra prøver udtaget af BSM-produktionen på Rennebjergvej-projektet i Slagelse Kommune.

Efter de indledende arbejder, blev der udført BSM in-situ på Rennebjergvejs nordgående side den 11. juni 2020 og efterfølgende dage i den sydgående side. Der blev på stedet udtaget laboratorieprøver af dagsproduktionerne 11. og 12. juni. Prøverne blev for hver dag udtaget i plastspande med tæt-sluttende låg og haste-transporteret til Teknologisk Instituts vejlaboratorium i Taastrup, således at prøveemnefremstilling forskriftsmæssigt kunne udføres inden 4 timer fra prøveudtagning.

5.1. Sammensætningskontrol, BSM

Der er udtaget laboratorieprøver af BSM-materialet både den 11/6 og 12/6. Der er på prøverne ved ovtørring indledningsvis bestemt et totalt vandindhold på 3,9% hhv. 3,7%. Da det ikke var muligt at gennemføre fræseforsøg med samme fræser på vejen i så lang tid før BSM-udlægningen, at det var muligt at gennemføre Proctor-forsøg, blev tilsætningsmængden af procesvandet ligesom det anvendte mix-design alternativt skønnet ud fra erfaring og visuel bedømmelse og med støtte fra Wirtgen og udenlandske specialister.

Følgende data er opnået for sigteanalyse af det in-situ fremstillede BSM-produkt, henholdsvis før og efter ekstraktion, samt bestemmelse af prøvernes samlede bindemiddelindhold (bitumenindhold fra genbrugsasfalten plus indhold fra tilsat skumbitumen i BSM) og stenmaterialets densitet. Anvendte testmetoder: DS/EN 12697-1:2020, DS/EN 12697-2:2019, DS/EN 1097-6.



*) TG2's idealkurve for BSM med >50% impact crushed genbrug (Table 4.7, TG2 Manual, Sabita, 2020)

Fig. 5.1.1: Sigteanalyse og bindemiddelindhold for BSM-KMA produceret 11/6 hhv. 12/6-2020, både "urene" sigtekurver for den "rå" BSM med bitumen og sigtekurver for det "rene" stenmateriale efter udvaskning af bitumen.



I figur 5.1.1 er der til sammenligning med de to dagsproduktioners opnåede sigtekurver tillige indsat en "idealkurve" fra sydafrikanske Sabita's TG2-manual, 2020, for "urene"/"rå" BSM, hvis denne er fremstillet på min. 50% genbrugsasfalt og efterbehandlet gennem en slagknuser. Det ses – som ventet - at den in-situ fremstillede BSM's "urene" sigtekurver begge er lidt grovere end denne "idealkurve", hvilket viser, at CRi-maskinens behandling af genbrugsasfalten er en smule mindre nedknusende end for et traditionelt affræset og efterfølgende knust genbrugsasfaltmateriale. Ved betragtning af de "rene" sigtekurver for den producerede BSM ses endvidere, at der kun forekommer få reelle stenpartikler større end 16 mm.

5.2. Referencedensitet

Der er på materialet dels foretaget vibrationsindstamping af Ø150 mm prøvelegemer efter TG2/Wirtgens metode, dels fremstillet Ø100 mm Marshall-legemer ved 2x50 (DS/EN 12697-30:2018). Alle indbygningsformer er foretaget ved 20°C jf. Wirtgens retningslinjer og TG2-manualen.

Det blev allerede i 2019 konstateret, at standard-referenceindbygningsmetoden med vibration indtil en fast referencedensitet er opnået, virker "svag", set i forhold til alternativ Marshall-indstamping. Ved testserien er derfor anvendt såvel vibration som Marshall-indstamping.

De opnåede densiteter (alle i Mg/m³) er følgende (geometrisk bestemt, DS/EN 12697-6:2020):

Dato / metode	Vibration	Marshall 2x50 slag
11/6-2020	1,928	1,955
12/6-2020	1,912	1,944
Gennemsnit	1,920	1,950

Tabel 5.2.1: Laboratoriebestede referencedensiteter ved vibration og Marshall-indstamping. Alle densiteter er oplyst i Mg/m³.

5.3. Stendensitet og hulrumsberegning

Der er på det ekstraherede stenmateriale foretaget bestemmelse af stendensitet (DS/EN 1097-6), efterfulgt af hulrumsberegning på basis af DS/EN 12697-8:2018. Resultatet fra produktionen 11/6 og 12/6 fremgår af efterfølgende tabel:

Kontroldata			Vibration		Marshall 2x50 slag	
Dato	Bit%	Stendens.	Densitet	Hulrum	Densitet	Hulrum
11/6-20	6,7	2,674	1,928	20,1	1,955	18,9
12/6-20	6,8	2,660	1,912	20,3	1,944	18,9
Gen.sn.	6,8	2,667	1,920	20,2	1,950	18,9

Tabel 5.3.1: Hulrumsberegning på basis af to forskellige referencedensiteter. Alle densiteter er oplyst i Mg/m³ og hulrum i procent.

Som det fremgår af ovenstående, har BSM-materialet uanset valgt referencedensitetsmetode et ret stort hulrum på omkring 20%, hvilket dog erfaringsmæssigt ikke er overraskende eller unormalt for det punktvis bundne materiale. Samme niveau ses typisk fra andre BSM-produktioner, uanset om der anvendes in-situ eller KMA-metode (Kold Mix Anlæg: produktion på separat mobilt blandedanlæg).



5.4. Vandfølsomhed

Vandfølsomheden af BSM-materialet er testet på både vibrationsindstampede prøvelegemer (Wirtgen vibrationshammer) og Marshall-indstampede prøvelegemer (DS/EN 12697-30:2018). Vandfølsomhedstesten er gennemført jf. DS/EN 12697-12:2018, idet der dog jf. Wirtgens anvisninger er anvendt en testtemperatur på 25°C og de våde legemer er vandlagret 24 timer i vandbad ved 25°C



Fig. 5.4.1: Spaltetrækstyrkebestemmelse af Marshall-indstampet prøvelegeme.

Følgende data er opnået for produktionen henholdsvis 11/6 og 12/6-2020:

Indbygningsmetode:	Vibration		Marshall 2x50 slag	
	11/6-20	12/6-20	11/6-20	12/6-20
Spaltetrækstyrke, tør (kPa)	118	66	178	271
Spaltetrækstyrke, våd (kPa)	106	62	155	235
Vandfølsomhed (ITSR) (%)	89,6	93,1	87,2	86,8

Tabel 5.4.1: Data for spaltetrækstyrketest af tørre og våde legemer samt beregnet (modstand mod) vandfølsomhed.

Som det fremgår af tabellen, er der, uanset valgt referenceindbygningsmetode, opnået fine værdier for vandfølsomhedsmodstand (vedhæftningsevne), varierende fra 87 til 93%. Det skal bemærkes, at for de vibrationsindstampede legemer, er de opnåede spaltetrækstyrkeværdier relativt lave, men da dette gælder både for tørre og våde legemer, influerer det ikke på vandfølsomhedsberegningen.



5.5. Stivhedsmodul

Der er for såvel de vibrations- som Marshall-indstampede prøvelegemer bestemt stivhedsmodul ved 20°C i henhold til DS/EN 12697-26:2018, IT-CY. Følgende data er opnået for stivhedsmodul ved 20°C:

Dato / indb.metode	Vibration	Marshall 2x50 slag
11/6-2020	832	791
12/6-2020	766	780
Gennemsnit	799	786

Tabel 5.5.1: Data for stivhedsmodulbestemmelse ved 20°C.



Fig. 5.5.1: Opstilling til stivhedsmodul-bestemmelse med hydraulisk DTS-30 testudstyr fra Pavetest

Det ses, at BSM-materialet udviser værdier for materialestivheden på ca. 800 MPa, hvilket umiddelbart indikerer en fornuftig bæreevne. Der ses i øvrigt god overensstemmelse imellem data fra de to forskellige indbygningsformer (vibration og Marshall). Tilsvarende ses ingen signifikant forskel i stivhedsmodul imellem de to produktionsdage.



6. Komprimering af udlagt BSM in-situ på Rennebjergvej

Eurofins' laboratorium har på projektet udført komprimeringskontrol efter isotop-metoden. De opnåede tørdensiteter er korrigeret for vandindholdet, bestemt i en samtidigt udtaget prøve. (Der henvises i øvrigt til Eurofins' prøvningsrapport fra strækningen).



Fig. 6.1: BSM-laget blev af Arkil Asfalt udlagt med asfaltudlægger og efterfølgende komprimeret med såvel glatvalset vibrationstromle som gummihjulstromle.

Der er udført komprimeringskontrol i 5 punkter på strækningen. De opnåede data fremgår af nedenstående tabel 7.1, hvor den opnåede komprimeringsgrad er beregnet på baggrund af hver af de to anvendte referencedensitetsmetoder (vibration hhv. Marshall 2x50 slag).

Komprimeringskontrol, hele strækningen

Komprimeringsgrad opnået (Referencedensitet er gennemsnit af begge dage, 11-12/6-2020) i fht forskellige referencer

		Ref.densitet	1	2	3	4	5
	Stationering		Højre	Midte	Venstre	Midte	-
Referencemetode	Tørdensitet		2,095	1,968	2,013	2,056	2,047
Ø150 mm vibration		1,920	109,1	102,5	104,8	107,1	106,6
Ø100 Marshall 2x50		1,950	107,4	100,9	103,2	105,4	105,0

	Middel	Std.afv.	Tol.: g-kxs
Densitet	2,036		
Ø150 mm vibration	106,0	2,49	101,9
Ø100 Marshall 2x50	104,4	2,45	100,3

Densitetsmålinger i komprim.kontrollen er tørdensiteter baseret på Troxler isotopsondemålinger udført af Eurofins (VBM Laboratoriet), korrigeret for w%. Alle densiteter i Mg/m³. Datagrundlag Troxler isotop-kontrol: Eurofins rapport R-20-2663A

Tabel 6.1: Komprimeringsdata for BSM insitu på Rennebjergvej.

Det ses af tabel 6.1, at der – afhængig af valgt referencemetode – er opnået en meget høj middelkomprimeringsgrad på 104-106 % og toleranceværdier på over 100%. Materialet fremstod da også efter afsluttet udlægning og komprimering som et fint stabilt materiale. Det meget høje niveau viser imidlertid også, at de anvendte standardmetoder til referencedensitetsbestemmelse ikke er ideelle. Et fokuspunkt, som følges op ved senere 2020-BSM-arbejder, som forberedelse til en eventuel AAB.