



# Dokumentation af BSM in-situ m/HBB på motortrafikvej Sdr.Borup-Assentoft Prøvning udført for Vejdirektoratet

29. juni 2021



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**

# Dokumentation af BSM in-situ m/HBB på motortrafikvej Sdr.Borup-Assentoft

## Prøvning udført for Vejdirektoratet

---

**Rekvirent:**

Vejdirektoratet  
Carsten Niebuhrs Gade 43  
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: Signe Jensen, tlf. 7220 1515, sije@teknologisk.dk

**Opgavenr.:** 981836

**Versionsnr.:** 01

29. juni 2021

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 medarbejders navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionssekretariatet.



## Indhold

1.	Indledning .....	4
2.	Placering og fotos fra produktion og udlægning af BSM .....	5
3.	Baggrund og formål .....	8
4.	Resultater .....	9
4.1.	Sammensætning - sigteanalyse og vandindhold.....	9
4.2.	Referencedensitet .....	11
4.3.	Marshall stabilitet .....	11
4.4.	Maksimaldensitet og hulrumsberegning .....	11
4.5.	Spaltetrækstyrke og vandfølsomhed .....	11
4.6.	Stivhedsmodul.....	12
4.7.	Sporkøringstest .....	13
5.	Komprimering .....	14



## 1. Indledning

Efter aftale med Finn Thøgersen, Vejdirektoratet, har Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg, om eftermiddagen den 14. juni 2021 udtaget laboratorieprøve af BSM-in-situ materialet udlagt på motortrafikvejen Sdr. Borup – Assentoft syd for Randers. Prøven er udtaget fra den del af strækningen, som ikke var berørt af reparationsarbejderne i 2020. BSM-materialet er in-situ fremstillet af tilført knust asfalt og affræset materiale fra den øvre del af strækningens HBB-bærelag. Endvidere er der tilsat flyveaske som ekstra filler og cement som klæbeaktiv filler.

Prøven er udtaget som entrepriseopfølgning og erfaringsopsamling. Teknologisk Instituts asfaltlaboratorium har efterfølgende gennemført et prøvningsprogram som nærmere aftalt med Vejdirektoratet. Prøvningerne omfatter materialesammensætningskontrol og maksimaldensitet, bestemmelse af spaltetrækstyrke og vandfølsomhed, stivhedsmodul, Marshall-stabilitet og sporkøringsstest.

Den udtagne materialeprøve af friskproduceret BSM blev opbevaret i lufttætte plastspande og hurtigst muligt fragtet til Teknologisk Instituts laboratorium i Taastrup, hvor der, omtrentligt, indenfor 4 timer blev fremstillet prøvelegemer til videre test. Beklageligvis knækkede vibrationsstamperens fodplade under indstamping af det første prøvelegeme, så alle anvendte prøver er alternativt baseret på Marshall-legemer, som er indstampet med 2x75 slag ved ca. 20°C (en metode, som også blev benyttet i 2020 som supplement til vibrationsindstamping). Sporkøringspladerne er ligeledes indtromlet straks efter prøvemodtagelse i Taastrup og indbygningen er derfor baseret på en teoretisk referencedensitet på 2,000 Mg/m<sup>3</sup>.

BSM-strækningen er udført på en delstrækning af motortrafikvejen i kørebanen med retning mod Assentoft, hvor der har været observeret revneproblemer fra den eksisterende HBB-belægning. Efter affræsning af SMA-slidlaget og ABB-bindelaget, er den øvre del af HBB-bærelaget blevet affræset og BSM-stabiliseret. I samme operation er tilført samme mængde genbrugsasfalt (blandingsforhold HBB:Asfalt ca. 1:1), samt cement og flyveaske. BSM-stabiliseringen er således foretaget in-situ med Arkil's specielle Wirtgen CRI-maskine. Det er oplyst, at den samlede BSM lagtykkelse er ca. 17-18 cm.

Den anvendte BSM-materialesammensætning på strækningen er således:

- Affræset HBB og asfalt (1:1)
- 2,4% skumbitumen med ca. 2,8% skumningsvand
- 4% flyveaske (tilført som ekstra filler, da HBB-affræsningen er meget "filler-fattig")
- 1% cement (klæbeaktiv filler)
- Samt tilført procesvand, løbende justeret for optimal kohæsion og bearbejdelighed

Prøvningen omtalt i denne rapport vedrører alene BSM-laget, som efterfølgende blev afdækket med et nyt varmblandet asfaltslidlag i form af 5 cm SMA 11.

I rapporten er desuden medtaget resultatet fra komprimeringskontrol af det indbyggede BSM-lag. Denne komprimeringskontrol er udført med Troxler isotopsonde af Eurofins' laboratorium.



## 2. Placering og fotos fra produktion og udlægning af BSM

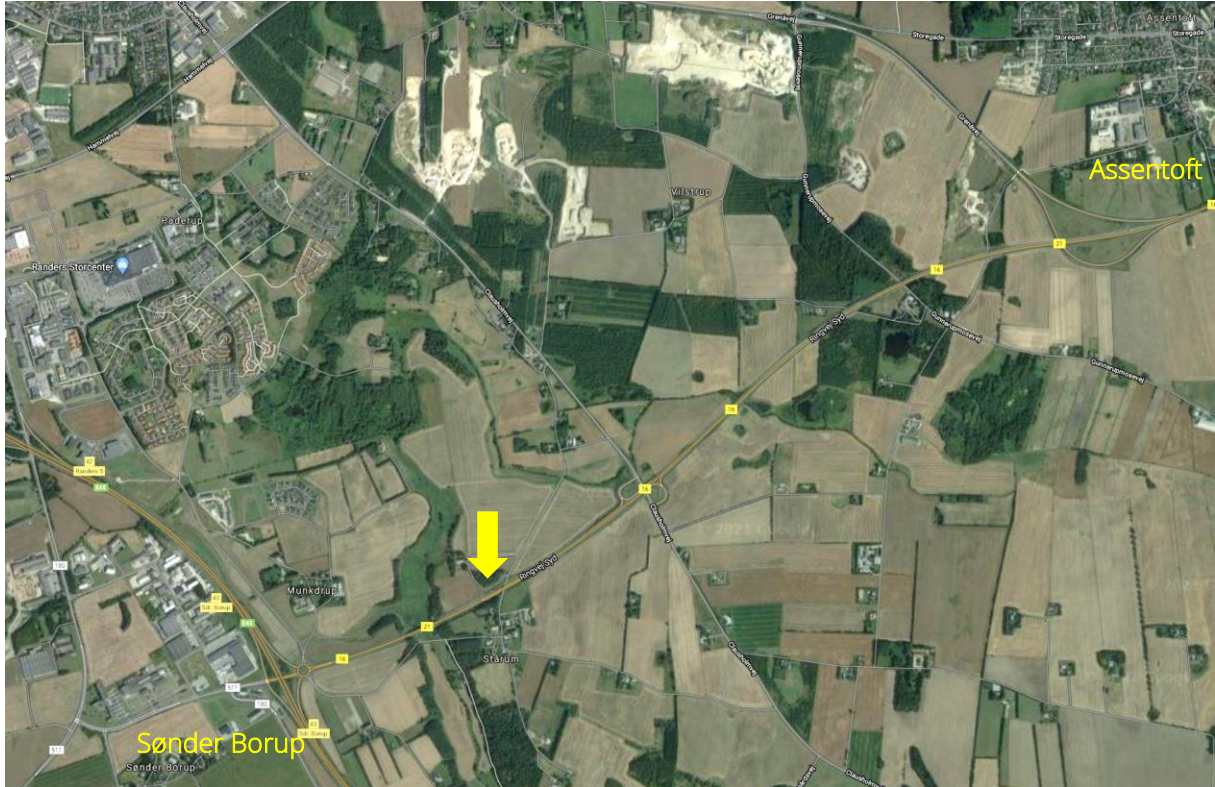


Fig. 2.1: Pilen viser BSM-udtagningsstedet på motortrafikvejsstrækningen SdrBorup-Assentoft.



Fig. 2.2: Den røde pil viser hvor BSM-prøven blev udtaget, km. 4.0100 i nordøstgående side.



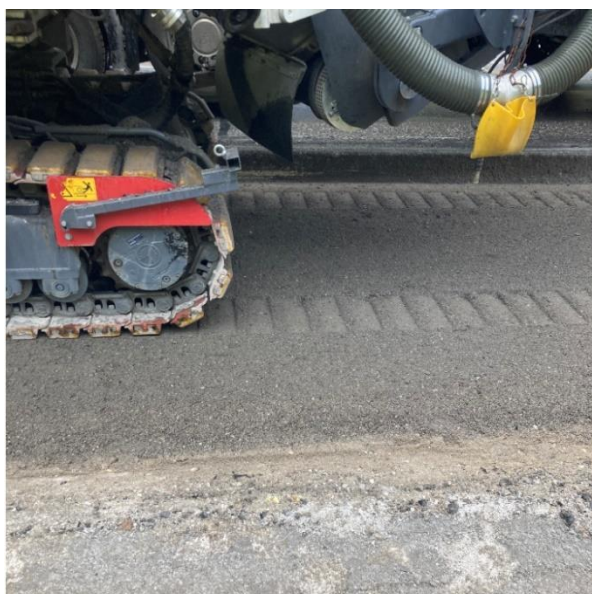
Fig. 2.3: Udspredning af flyveaske og cement ovenpå den udsprede genbrugsasfalt forud for BSM-fremstilling og udlægning.



Fig. 2.4: BSM-insitu "toget" i aktion: Vandvogn, bitumentankvogn og Wirtgen CRI-fræse-/ blandemaskine.



Fig. 2.5: Nærbillede af CRI-maskinens opsamling af udsprede genbrugsasfalt, flyveaske og cement. Bagved kører en traditionel asfaltudlægger med højkomprimeringsstrygejern samt glatvalset vibrationstromle og gummihjulstromle.



*Fig. 2.6 (tv): Nærbillede af underlag ved CRI-fræsning.*



*Fig. 2.7 (th): Overflade af BSM under tromling.*



### 3. Baggrund og formål

Denne rapport beskriver den udførte laboratoriekontrol af BSM-laget. Ifølge aftale med rekvirenten havde undersøgelsen følgende omfang:

- Udtagning af BSM-prøve fra Arkil's BSM in-situ produktion på udlægningsstedet og hastedtransport til Teknologisk Institut i Taastrup.
- Fremstilling af prøvelegemer inden for ca. 4 timer fra prøveudtagning af "frisk" BSM.
- Bestemmelse af vandindhold i prøven.
- Sigteanalyse (DS/EN 12697-2) af ikke-ekstraheret BSM-materiale.
- Indstampning af prøvelegemer med Marshall 2x75 slag ved 20°C i std. Ø100 mm forme (i alt 3x9 legemer).
- Prøvelegemer hærdes min 72 timer ved 40°C hvorefter prøvning er gennemført.
- Bestemmelse af prøvelegemernes dimensioner og densitet (geometrisk).
- Spaltetrækstyrkebestemmelse tør/våd (25°C, våde 24 timer i vandbad) og bestemmelse af vandfølsomhed jf. DS/EN 12697-12.
- Bestemmelse af stivhedsmodul ved 20°C jf. DS/EN 12697-26, IT-CY.
- Bestemmelse af Marshall-stabilitet, jf. DS/EN 12697-34, uden opvarmning, gennemført ved 25°C.
- Bestemmelse af BSM-materialets sporkøringsmodstand, jf. DS/EN 12697-22, small-size, air conditioning, 10.000 dobbeltpassager ved 45°C.
- Efterfølgende er der foretaget beregning af komprimeringsgrad af indbygget BSM på basis af de udførte Troxler-målinger.





## 4. Resultater


De opnåede resultater fra prøvningen fremgår af de efterfølgende delafsnit.

### 4.1. Sammensætning - sigteanalyse og vandindhold

Der er på prøverne ved ovntørring indledningsvis bestemt et vandindhold på 6,5 %.

Følgende data er opnået for sigteanalyse uden forudgående ekstraktion.

Testmetode: DS/EN 12697-2:2019.

	Ny	Erfa DK	Sabita TG2 manual for BSM		
	BSM SdrBorup	Typisk 0/32 kn. asfalt	TG2 opfræs Ubehandlet	TG2 BSM Min	TG2 BSM Max
Sigte (mm)					
64	100	100	100	100	
31,5	94	100	78	86	
25	91	94	67	74	
22,4	90	94	64	68	
16	76	89	54	58	100
11,2	58	83	44	49	92
8	43	70	37	42	82
5,6	32	58	29	35	72
4	23	47	23	30	63
2	15	32	15	22	48
1	10	20	9	15	37
0,5	8	11	5	10	29
0,25	6	6	3	7	22
0,125	4	3	2	5	17
0,063	3,0	1,5	1	4	14

*Note:*  
*Tabellen viser den aktuelle prøve sammenlignet med typisk 0/32 GMA og TG2's værdier.*  
*TG2 = Sabita TG2 manual for BSM, visse data interpoleret*  
*Alle data refererer til tørsigtning uden forudgående ekstraktion.*

Tabel 4.1.1: Resultat af sigteanalyse af BSM-materialet, sammenholdt med erfaringsdata.

Ovenstående tabel 4.1.1 og efterfølgende figur 4.1.1 viser resultatet af sigteanalysen af den udtagne BSM-prøve sammenlignet med en typisk kornkurve for 0/32 mm knust genbrugsasfalt og med sydafrikanske Sabita's værdier for "typisk" opfræset men ubehandlet affræset asfalt, samt anbefalede grænsekurver for BSM-proportionering, som angivet i TG2-manualen for BSM.

Det ses, at BSM-insitu materialet fra Sdr.Borup-Assentoft varierer omkring TG2-rapportens nedre grænsekurve for BSM, men trods dette i det væsentlige er et 0/22 mm materiale. Det skal dog samtidigt tilføjes, at der inden sigtning var frasorteret enkelte store partikler, som visuelt var større end 64 mm.

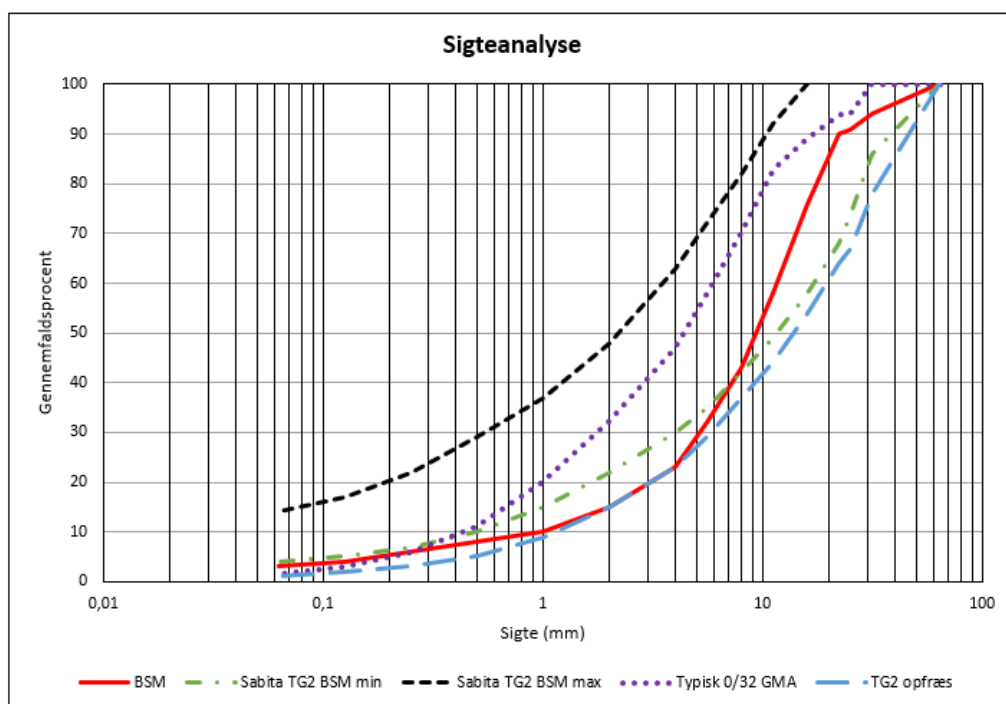


Fig. 4.1.1: Sigtekurver for BSM fra Sdr.Borup-Assentoft, sammenlignet med erfaringskurver for knust genbrugsasfalt samt med TG2's anbefalinger til BSM og typiske værdier for ikke-behandlet affræset genbrugsasfalt.



Fig. 4.1.2: Før sigtning og indstamping af prøvelegemer blev større overkorn (visuelt > 64 mm) frasorteret (hvide spand øverst i billedet).



#### 4.2. Referencedensitet

Der er på BSM-materialet fremstillet Ø100 mm Marshall-legemer ved 2x75 slag, jf. DS/EN 12697-30:2018, idet de dog er indstampet ved 20°C jf. Wirtgens retningslinjer og TG2-manualen. Den opnåede densitet fremgår af nedenstående tabel 4.2.1 (geometrisk bestemt, DS/EN 12697-6:2020):

Referencedensitet	Marshall 2x75 slag (Mg/m <sup>3</sup> )
BSM 14/6-2021	2,011

Tabel 4.2.1: Opnået Marshall-referencedensitet.

#### 4.3. Marshall stabilitet

Der er på Marshall-legemer bestemt Marshall-stabilitet i h.t. DS/EN 12697-34, idet der dog er anvendt en testtemperatur på 25°C.

Marshall-stabilitet	Marshall 2x75 slag (kN)
BSM 14/6-2021	25,9

Tabel 4.3.1: Marshall-stabilitet ved 25°C

Det ses af ovenstående tabel, at det HBB/asfalt-holdige BSM-insitu materiale har opnået en meget høj Marshall-stabilitet.

#### 4.4. Maksimaldensitet og hulrumsberegning

Der er på BSM-materialet foretaget bestemmelse af den maksimale densitet, jf. DS/EN 12697-5:2018, efterfulgt af hulrumsberegning på basis af DS/EN 12697-8:2018. Resultatet fra produktionen 14/6 fremgår af efterfølgende tabel:

Volumetrisk beregning	Maksimaldensitet (Mg/m <sup>3</sup> )	Indbygget hulrum (reference) (%)
BSM 14/6-2021	2,368	15,1

Tabel 4.4.1: Bestemmelse af maksimaldensitet og beregnet hulrumsprocent (v/ Marshall 2x75).

Som det fremgår af tabellen, har BSM-materialet et relativt stort hulrum på ca. 15%, hvilket dog ikke er overraskende eller unormalt for et punktvis bundet BSM-materiale.

#### 4.5. Spaltetrekstyrke og vandfølsomhed

Vandfølsomheden af det testede BSM-materiale er testet på Marshall-indstampede prøvelegemer (DS/EN 12697-30:2018, 2x75 slag, indstampet ved 20°C). Vandfølsomhedstesten er gennemført jf. DS/EN 12697-12:2018, idet der dog er anvendt en testtemperatur på 25°C og de våde legemer er vandlagret 24 timer i vandbad ved 25°C



Følgende data er opnået for produktionen:

Vandfølsomhed BSM 14/6-2021	Marshall 2x75 slag	Anbefalet minimum, jf. TG2
Spaltetrækstyrke, tør (kPa)	539	>225
Spaltetrækstyrke, våd (kPa)	512	>125
Vandfølsomhed (våd:tør) (%)	95	>70

*Tabel 4.5.1: Opnåede data for spaltetrækstyrke og vandfølsomhed, sammenlignet med Sabita TG2's anbefalede grænser for spaltetrækstyrke, samt vejledende grænse for vandfølsomhed.*

Som det fremgår af ovenstående tabel, er der opnået meget fine værdier for spaltetrækstyrke og vandfølsomhed, som indikerer, at materialet har god holdbarhed.



*Fig. 4.5.2: Spaltetrækstyrkebestemmelse til vurdering af vandfølsomhed (arkivfoto).*

#### 4.6. Stivhedsmodul

Der er for de 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:

Stivhedsmodul (20°C)	Marshall 2x75 slag (MPa)
BSM 14/6-2021	2350

*Tabel 4.6.1: Data for stivhedsmodul af BSM.*

Det ses, at materialet udviser en høj materialestivhed, hvilket umiddelbart indikerer god bæreevne.



Fig. 4.6.1: Opstilling til stivhedsmodul-bestemmelse (arkivfoto).

#### 4.7. Sporkøringstest

Der er udført sporkøringstest (dobbelbestemmelse) efter gældende CEN-standard for asfalt, DS/EN 12697-22, small size, air-conditioning, med testtemperatur 45°C. Der er anvendt laboratorieindtromlede prøvelegemer med en pladetykkelse på ca. 10 cm.

De opnåede data fra sporkøringstesten fremgår af efterfølgende fig. 4.7.1, som viser data i tabelform og grafisk afbildning. Det fremgår af figurens nederste tabel, at der er opnået en særdeles lav sporkøring på blot 0,4 mm efter 10.000 dobbeltpassager ved 45°C, hvilket indikerer en sporkøringsmodstand, som er bedre end typisk opnået for traditionelle varmblandede GAB-bærelag.

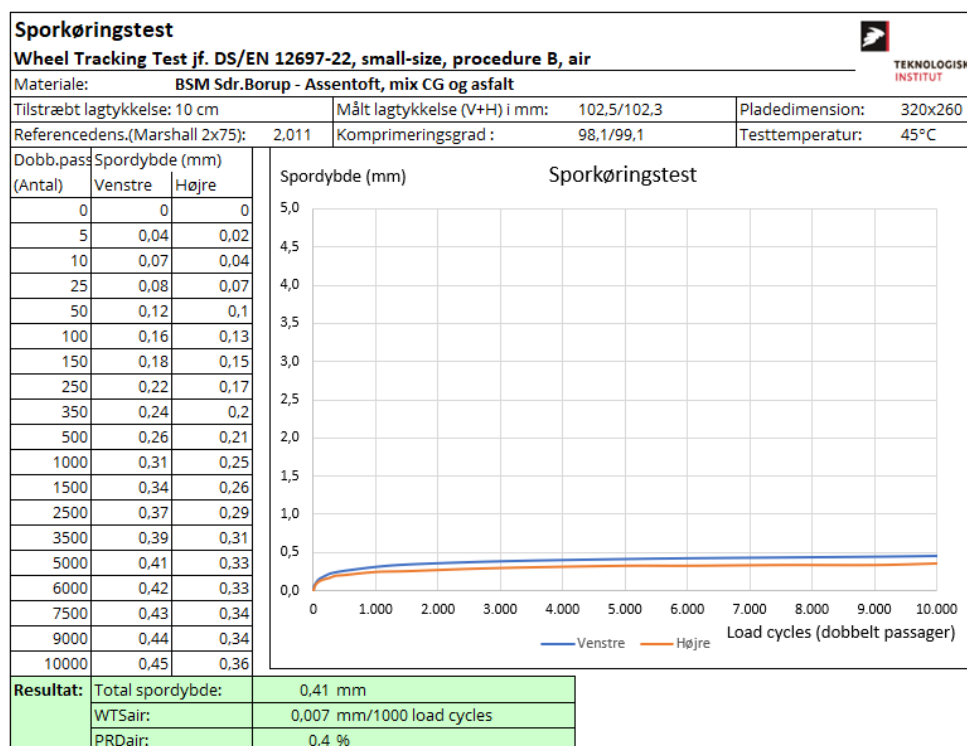


Fig. 4.7.1: Resultat af gennemført sporkøringstest på BSM-materialet fra Sdr.Borup-Assentoft.



Det efterfølgende foto, fig. 4.7.2, viser overfladen af BSM-prøvepladen efter afsluttet test. Den opnåede sporkøring på blot 0,4 mm efter 10.000 dobbeltpassager ved 45°C er knap nok synlig.

Den opnåede sporkøringsmodstand må karakteriseres som værende usædvanlig god – bedre end typisk set for selv meget stabile typer af varmblandet GAB-asfalt.



*Fig. 4.7.2: Trods en pladetykkelse på 10 cm er der stort set ikke opstået synlig sporkøring.*

## 5. Komprimering

Eurofins' laboratorium har for Vejdirektoratet udført komprimeringskontrol af BSM-laget efter isotopmetoden. Grundet udlægningsmæssige forsinkelser blev komprimeringskontrollen dog udført på BSM på en delstrækning, som antageligvis er udført allerede fredag 11/6 og som ligger ved Clausholmvej rampeanlægget nordøst for den del-strækning syd/vest for Kirkevadbrovej-skæringen, som Teknologisk Instituts prøveudtagning vedrører.

Da produktionen om eftermiddagen 14/6, hvor Teknologisk Instituts prøver er udtaget, vedrører BSM produceret på uberørt HBB, tilsat genbrugsasfalt, kan det derfor ikke udelukkes, at referencedensiteten fra BSM udlagt 14/6 afviger lidt fra en referencedensitet, som 11/6 ville have været opnået for den delstrækning, hvor der er udført komprimeringskontrol, da dette materiales råvare delvis består af stabilt grus. Dette kan derfor muligvis forklare de observerede meget høje komprimeringsgrader, hvor der er opnået en middelkomprimering på 102,7% og en karakteristisk værdi på 100,5%.

Det ses dog generelt, at der er opnået en fin, ensartet komprimering med lille spredning på den af Eurofins testede strækning.

Eurofins rapport fra komprimeringskontrollen er indsat på de efterfølgende sider.



Vejdirektoratet  
Guldalderen 12



DK-2640 Hedehusene

Dato: 28. juni 2021  
VBM sag: 1742 6 V R-21-3072A  
Side: 1 af 2 + Bilag 1

Att: Finn Thøgersen

## Prøvningsrapportnr.: R-21-3072A

### Rekvirent

Vejdirektoratet - 41510F-BL300 - Sdr. Borup - Assentoft v. Randers

### Rapport indhold

Komprimeringskontrol, feltprøvning.

### Materialer

Bitumen stabiliseret materiale

### Prøvningsperiode

Start 14. juni 2021

Slut 28. juni 2021

### Anvendte metode referencer

Metode Navn	Beskrivelse
DS/EN 1097-5	Vandindhold (2013)
prVI 99-10	Densitet og vandindhold efter isotopmetoden (2011)

### Rapport bemærkning

- Referencer til de(n) anvendte referenceværdi(er) i forbindelse med komprimeringskontrol fremgår af de enkelte kontrolafsnit på efterfølgende sider.

Med venlig hilsen

Eurofins VBM Laboratoriet

Natassia Jensen



Prøvningsrapport nr.: R-21-3072A

Dato: 28. juni 2021

Komprimeringskontrol, feltprøvning.

VBM sag: 1742 6 V R-21-3072A

Rekvirent: Vejdirektoratet

Udført dato: 14. juni 2021

Lokation: 6 - 41510F-BL300 - Sdr. Borup - Assentoft v. Randers

Udført af: A8SQ

Sted: Se bilag 1

VBM Prøvenr	R-21-3072A-	1	2	3	4	5
Materiale		BSM	BSM	BSM	BSM	BSM
Mrk		-	-	-	-	-
Niveau		OK BSM	OK BSM	OK BSM	OK BSM	OK BSM
Densitet og vandindhold, isotopmetoden.						
<b>MÅLERESULTATER</b>						
Dybde:	cm	15	15	15	15	15
Vandindhold:	%	4,1	4,3	5,8	6,2	4,7
Våddensitet:	kg/m <sup>3</sup>	2178	2144	2176	2178	2172
Tørdensitet:	kg/m <sup>3</sup>	2091	2055	2056	2050	2074
<b>BEREGNEDE RESULTATER</b>						
Anvendt Ref værdi	Mg/m <sup>3</sup>	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
Komprimerings grad	%	104,0	102,2	102,3	101,9	103,1
VBM Prøvenr	R-21-3072A-	6	7	8		
Materiale		BSM	BSM	BSM		
Mrk		-	-	-		
Niveau		OK BSM	OK BSM	OK BSM		
Densitet og vandindhold, isotopmetoden.						
<b>MÅLERESULTATER</b>						
Dybde:	cm	15	15	15		
Vandindhold:	%	4,6	5,6	4,2		
Våddensitet:	kg/m <sup>3</sup>	2193	2199	2105		
Tørdensitet:	kg/m <sup>3</sup>	2096	2081	2020		
<b>BEREGNEDE RESULTATER</b>						
Anvendt Ref værdi	Mg/m <sup>3</sup>	2,01	2,01	2,01		
Komprimerings grad	%	104,2	103,5	100,4		

.....Simpelt gns og min værdi.....			.....Statistisk beregning.....		
Enhed	Gennemsnit	Minimum værdi	Spredning	Konstant x spredning	Karakteristisk, K
%	102,7	100,4	1,3	2,2	100,5

**Kommentarer og observationer til Kontrolafsnit**

- BSM (Bitumen stabiliseret materiale).
- Vandindhold er bestemt i laboratoriet p.g.a. Materiale type.
- 2,01 Mg/m<sup>3</sup>: Den anvendte reference værdi er oplyst af kunden. Den anvendte reference værdi = 100% komp grad.





KRØK

