



Vejdirektoratet

VIDEN OG DOKUMENTATION –
KOLDBLANDET ASFALTBÆRELAG

TILLÆGSRAPPORT MARTS 2020



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

TI-PROJEKTNR.: P2007597
Version: Tillæg 01
30. marts 2020

Titel:

Vejdirektoratet, Viden og dokumentation – Koldblandet asfaltbærelag – Tillægsrapport marts 2020.

Rekvirent:

Vejdirektoratet
Att. Henrik Majlund
Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V
Tlf.: 72 44 31 09
e-mail: henm@vd.dk

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
2630 Taastrup
Tlf. 7220 2000
Byggeri og Anlæg

Ole Grann Andersson
Seniorspecialist
Tlf.: 7220 3209
E-mail: olan@teknologisk.dk

Kvalitetssikring:

Sagsansvarlig: Ole Grann Andersson, tlf. 7220 3209, olan@teknologisk.dk
KS godkendt af: Signe Hellested Jensen, tlf. 7220 1520, sije@teknologisk.dk

Projektnr.: P2007597

Dato: 30. marts 2020

Version: Tillæg - 01

Forord

Denne rapport er en *tillægsrapport* til hovedrapporten udgivet i januar 2020, som omhandler et gennemført udviklingsprojekt for KOLDBLANDET ASFALTBÆRELAG.

Tillægsrapporten underbygger hovedrapporten med yderligere afprøvning af en række parametres indflydelse på den opnåede BSM-kvalitet og funktionalitet.

Rapporten, med nærværende tillægsrapport, er udarbejdet i tilknytning til en vejregel ad-hoc gruppe under vejregelgruppe Asfalt, der i perioden havde følgende sammensætning:

Gert von der Ahé, formand, Vejdirektoratet,
Henrik Majlund, projektleder, Vejdirektoratet
Bjarne Bo Lund-Jensen, NCC,
Jette Bork, Sønderborg Kommune,
Lotte Josephsen, YIT
Ole Grann Andersson, Teknologisk Institut,
Per Kristensen, Aarhus Kommune,
Peter Andersen, Vejdirektoratet,
René Hvidbak Sørensen, Vejdirektoratet,
Vibeke Wegan, Vejdirektoratet

Ad-hoc gruppen havde følgende sammensætning:

Henrik Majlund, projektleder, Vejdirektoratet
Bjarne Bo Lund-Jensen, NCC,
Jette Bork, Sønderborg Kommune,
Morten Toft Hansen, Næstved Kommune,
Morten Larsen, SR-Gruppen,
Morten Wold, Wirtgen
Ole Grann Andersson, Teknologisk Institut

Målet med den beskrevne opgave er at samle viden om anvendelse af knust asfalt og skumbitumen som bærelag, med henblik på at skabe beslutningsgrundlag for en evt. efterfølgende udarbejdelse af en udbudsforskrift for koldblandet asfaltbærelag.

Det skal indledningsvis bemærkes, at opgaven er begrænset til følgende hovedemner:

- Skumbitumen-stabiliseret genbrugsasfalt (BSM-skum)
- Kold recycling in-plant (KMA)

Opgaven er løst i følgende samarbejde:

- Næstved Kommune har stillet forsøgsstrækning og genbrugsmaterialer til rådighed for en fuldskala teststrækning med BSM-KMA i Fuglebjerg.
- SR-Gruppen har varetaget fuldskala produktion og udlægning af omtalt BSM-KMA.
- NCC's geotekniske laboratorium har varetaget de indledende råvareanalyser af genbrugsasfalt og komprimeringskontrol i marken.
- Teknologisk Institut har varetaget alle BSM materialeforsøg og optimeringer, herunder bitumenskumning og mix-design.
- Vejdirektoratet har varetaget projektledelse samt bæreevnmålinger på fuldskala belægning med faldlod.

Indholdsfortegnelse

1.	Baggrund og formål	5
2.	Afdækning af temperaturfølsomhed (køligt vejr)	6
2.1.	Anvendte testmetoder	6
2.2.	Effekt af lav blandetemperatur, men standard curing/hærdning	8
2.3.	Effekt af kombineret blanding, indstampning og curing ved lav temperatur	8
2.3.1.	Temperatureffekt på spaltetrækstyrke	9
2.3.2.	Temperatureffekt på vandfølsomhed	10
2.3.3.	Temperatureffekt på stivhedsmodul	10
2.4.	Konklusion omkring temperaturfølsomhed for BSM med cementfiller	11
3.	Afdækning af effekt ved anvendelse af hydratkalk i stedet for cementfiller	12
3.1.	Hydratkalk kontra cement	12
3.2.	BSM bearbejdelse med hydratkalk	12
3.3.	Temperaturfølsomhed ved hydratkalktilsætning	13
3.4.	Hydratkalktilsætning – grafisk afbildning af opnåede data	15
3.5.	Konklusion, hydratkalk	17
4.	Samlet konklusion	17
5.	BILAG – baggrundsdata fra forsøgene	18

1. Baggrund og formål

Denne rapport omhandler i det væsentlige de opnåede data fra supplerende afprøvninger af BSM-konceptet under forskellige forhold. Herunder er der gennemført en række laboratorieforsøg for afdækning af BSM-konceptets følsomhed ved lave temperaturer, samt indflydelse af anvendelse af forskellige klæbeaktive fillere. Forsøgsrækken beskrevet i hovedrapporten og denne tillægsrapport er iværksat af Vejdirektoratet med henblik på at opnå erfaring omkring en ny produkttype, BitumenStabiliseret Materiale, forkortet BSM.

Opgavens mål er således at samle viden om anvendelse af knust asfalt og skumbitumen som bærelag, med henblik på at skabe et beslutningsgrundlag for en evt. efterfølgende udarbejdelse af en udbudsforskrift for koldblandet asfaltbærelag.

Opgaven er igangsat medio 2019 af Vejdirektoratet, afdelingen for Videnskoordinering og Vejstandarder, med Henrik Majlund som projektleder.

Nærværende tillægsrapport beskriver det gennemførte laboratorieprøvningsprogram udført i perioden januar – marts 2020, med henblik på erfarings- og vidensindsamling om det nye produkt, BSM.

Tillægsrapporten beskriver de forskellige gennemførte supplerende prøvninger.

Der henvises i øvrigt til hovedrapporten udgivet januar 2020 med hensyn til de nærmere definitioner af BSM og opgavens baggrund.

2. Afdækning af temperaturfølsomhed (køligt vejr)

I hovedrapporten for BSM-afprøvning udgivet af Teknologisk Institut i januar 2020 blev en række forsøgsresultater afrapporteret. Det anvendte BSM-koncept, baseret på genbrugsasfalt og skumbitumen, er i det væsentlige baseret på sydafrikanske erfaringer. I denne danske opgave for Vejdirektoratet er det derfor væsentligt at efterforske, om de sydafrikanske erfaringer direkte kan overføres til danske forhold, eller der gælder andre forhold under vores hjemlige himmelstrøg, hvor de klimatiske forhold er anderledes.

Udenlandske erfaringer med BSM angiver at man skal udvise agtpågivenhed omkring den nedre temperatur af genbrugsasfalten som skal stabiliseres. Den sydafrikanske TG2 manual angiver således, at man bør være på vagt ved materialetemperaturer under 15 °C og undgå at producere BSM hvis genbrugsmaterialet har en temperatur under 10 °C, jf. nedenstående figur 2.1.

BSM-foam

Temperature affects the foaming process. If the temperature of the aggregate is too low, the foamed bitumen will not be properly dispersed in the mix. Extra care should therefore be taken when using foamed bitumen in cold temperatures, particularly when the temperature of the material prior to mixing is between 10 and 15 °C. Foaming should not occur at aggregate temperatures below 10 °C.

Figur 2.1: Anbefalede nedre temperaturgrænser for BSM (Kilde: Asphalt Academy: TG2 - Technical Guidelines, Bitumen Stabilised Materials, 2009).

Der er derfor i en omfattende laboratorieprøvningsserie sat fokus på at evaluere BSM's egenskaber under køligere temperaturer. Som udgangspunkt og reference er anvendt data fra hovedrapportens blanding 7, som er fremstillet af 0/16 mm genbrugsasfalt, tilsat 1% cement, samt 2,1% skumbitumen, heraf med 2,8% vand til skumningen, samt 5,1% samlet mængde procesvand i genbrugsmaterialet.

Ved referenceblandingen er der standardmæssigt anvendt blanding ved stuetemperatur (ca. 20 °C) samt curing (tørring og ophærdning) af vibrationsindstampede legemer i tre døgn ved 40 °C i varmeskab med luftcirkulation.

2.1. Anvendte testmetoder

Ved de i januar-marts 2020 udførte supplerende BSM laboratorieforsøg er der taget udgangspunkt i bestemmelse af spaltetrækstyrketest før/efter vandlagring (ITS_{dry} og ITS_{wet}), hvorefter vandfølsomheden ($ITSR$) beregnes som forholdet mellem den våde og tørre værdi, angivet i procent. Spaltetrækstyrketests udføres jf. DS/EN 12697-23, men ved rumtemperatur. Der anvendes Ø150 mm vibrationsindstampede legemer, som efter curing er testet ved 25°C.



Fig. 2.1.1: Spaltetrækstyrketest på Ø150 mm BSM-prøvelegeme.

Stivhedsmodul er i nærværende forsøgsrække foretaget på færdigcurede legemer og udført i h.t. DS/EN 12697-26 Annex C (IT-CY) ved 20°C. Der anvendes Ø150 mm vibrationsindstampede legemer.

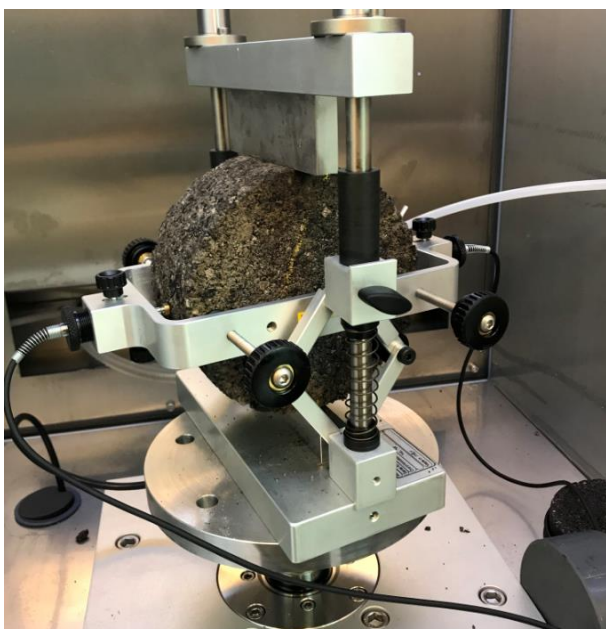


Fig. 2.1.2: Bestemmelse af stivhedsmodul på BSM-prøvelegeme.

2.2. Effekt af lav blandetemperatur, men standard curing/hærdning

Det er indledningsvis undersøgt, hvilken effekt der opnås, hvis man i blandefasen anvender 5 °C kold genbrugsasfalt, men hvor man efter indstampning anvender normal curing ved 40 °C.

Resultatet af dette sammenligningsforsøg (se efterfølgende tabel 2.2.1) viser, at der ikke er markant forskel på de opnåede data for hverken spaltetrækstyrke, vandfølsomhed eller stivhedsmodul, så længe begge serier cures standardmæssigt ved 40 °C. Det kan altså konkluderes, at det ikke er materialets blandetemperatur i sig selv, som er kritisk (så længe man holder sig over frostgrænsen). Styrkeudviklingen er derimod afhængig af temperaturforholdene under den efterfølgende ophærdning, hvor procesvandet udtørres og fordampes.

Blanding nr.	2019-7 (Ref.)	B
Genbrugsasfalt Temp. oC	20	5
Curing 3 døgn Temp. oC	40	40
Curing 7 døgn Temp. oC		
Curing 28 døgn Temp. oC		
Spaltetræk tør (ITS dry), kPa	145	140
Spaltetræk våd (ITS wet), kPa	112	117
Vandfølsomhed (ITSR), %	78	83
Stivhedsmodul (ITSM), MPa	818	952

Tabel 2.2.1: Effekt af at genbrugsasfaltens temperatur før blanding reduceres til 5 °C (blanding B) sammenholdt med referenceblandingen. Der er i begge tilfælde anvendt 3 døgn curing ved 40 °C.

2.3. Effekt af kombineret blanding, indstampning og curing ved lav temperatur

Da fordampningen og udtørringen af procesvandet i et udlagt BSM-materiale i praksis må formodes at være temperaturafhængig i væsentlig grad, er der efterfølgende udført BSM-tests, som er blandet, vibrationsindstampet og curret ved henholdsvis 5, 10 og 20 °C, hvor styrkeudviklingen samtidigt er evalueret efter 7 henholdsvis 28 døgn. Disse forsøgsdata er så sammenlignet med de oprindeligt opnåede data fra referenceblandingen med standard curing i 3 døgn ved 40 °C.

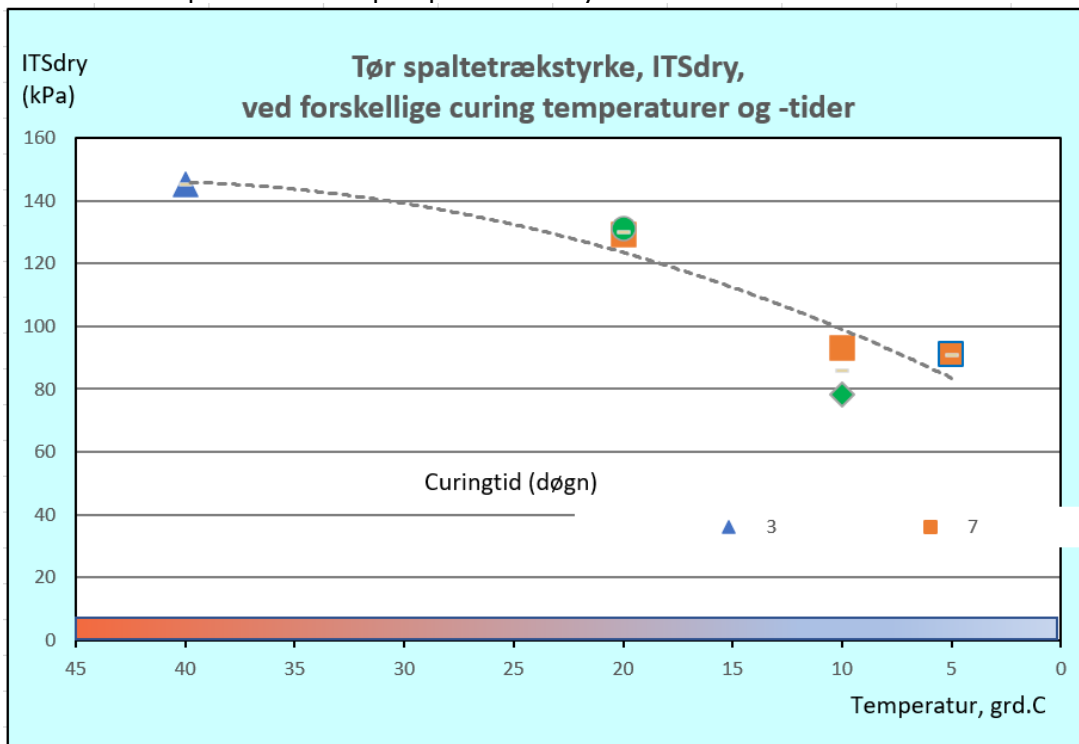
Den efterfølgende tabel 2.3.1 giver et overblik over de mange varianter og opnåede data.

Blanding nr.	2019-7 (Ref.)	C	H	G	E	F
Genbrugsasfalt Temp. oC	20	5	10	10	20	20
Curing 3 døgn Temp. oC	40					
Curing 7 døgn Temp. oC		5	10		20	
Curing 28 døgn Temp. oC				10		20
Spaltetræk tør (ITS dry), kPa	145	91	93	78	129	131
Spaltetræk våd (ITS wet), kPa	112	76	61	78	97	95
Vandfølsomhed (ITSR), %	78	83	66	101	75	73
Stivhedsmodul (ITSM), MPa	818	0	504	515	556	648

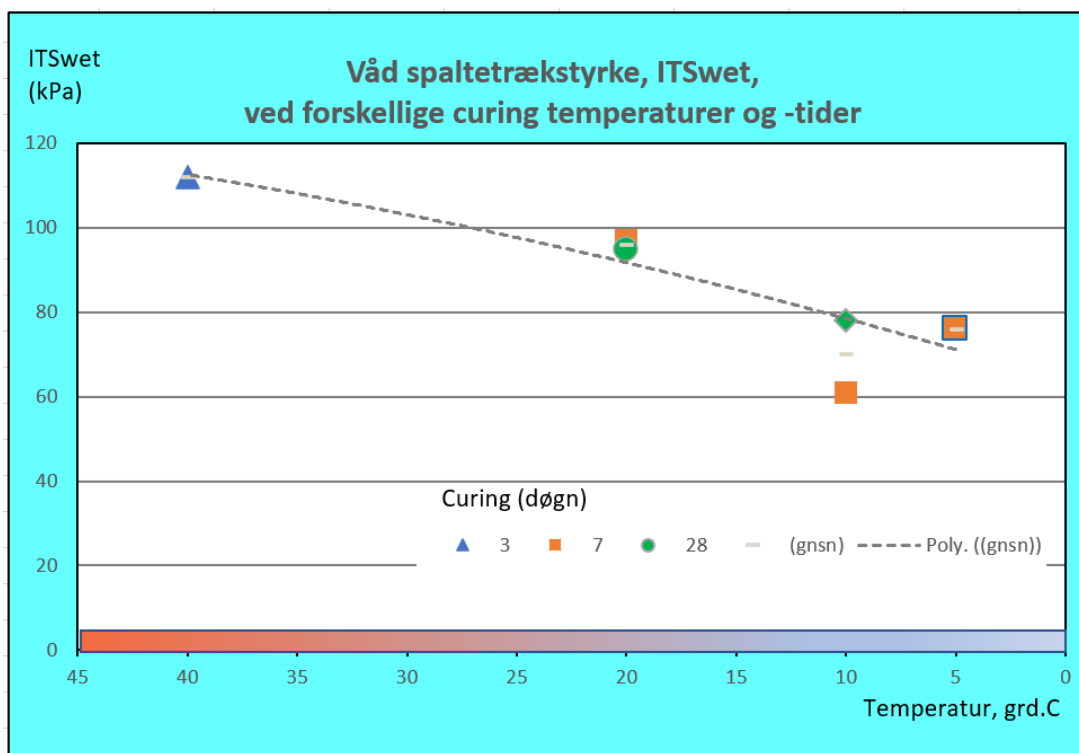
Tabel 2.3.1: Effekt af kombineret blanding og curing ved forskellige temperaturer og tidsforløb.

Da det kan være vanskeligt at danne sig et overblik over de enkelte effekter ud fra en data-tabel alene, er der i de efterfølgende delafsnits figurer givet en grafisk afbildning af effekterne.

2.3.1. Temperatureffekt på spaltetrækstyrke



Figur 2.2.1: Curingtemperaturesens effekt på den tørre spaltetrækstyrke

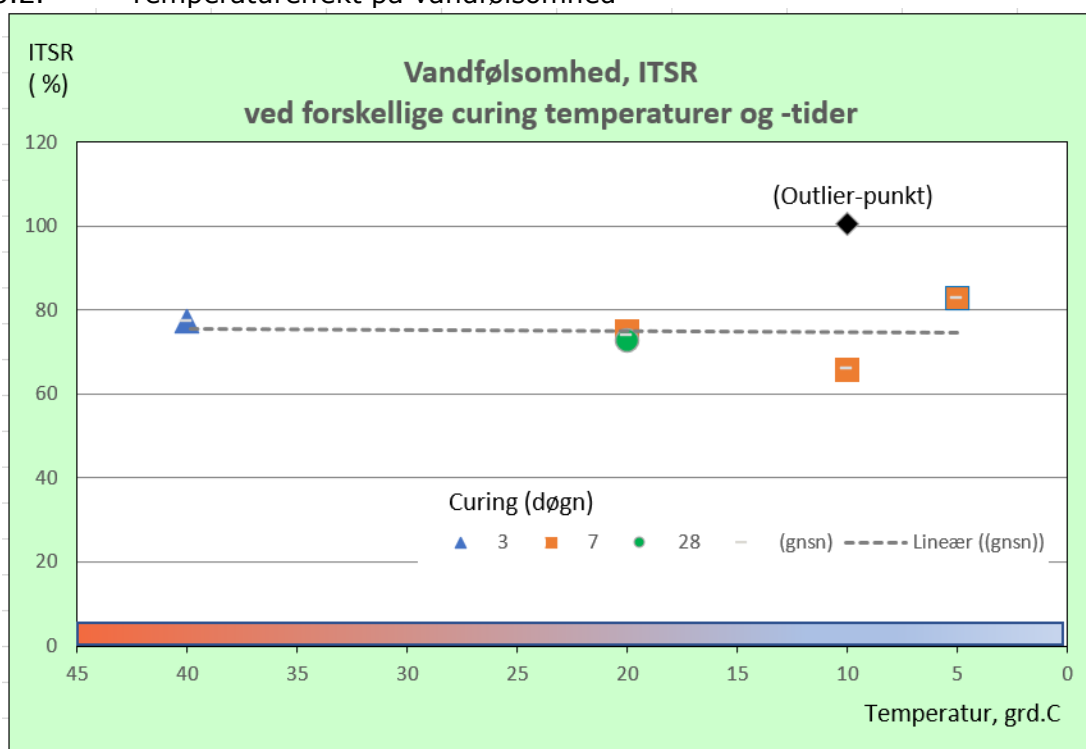


Figur 2.2.2: Curingtemperaturesens effekt på den våde spaltetrækstyrke

Som det fremgår af de ovenstående grafiske afbildninger, ses et entydigt fald i spaltetrækstyrkeværdier som følge af reduceret temperatur.

Ved curing i henholdsvis 7 eller 28 døgn ved 20 °C opnås omtrent samme styrkeniveau som ved normal curing ved 40 °C, men ved lavere temperatur aftager styrken markant og er ved 5 °C næsten halveret i forhold til standardcuringen ved 40 °C.

2.3.2. Temperatureffekt på vandfølsomhed

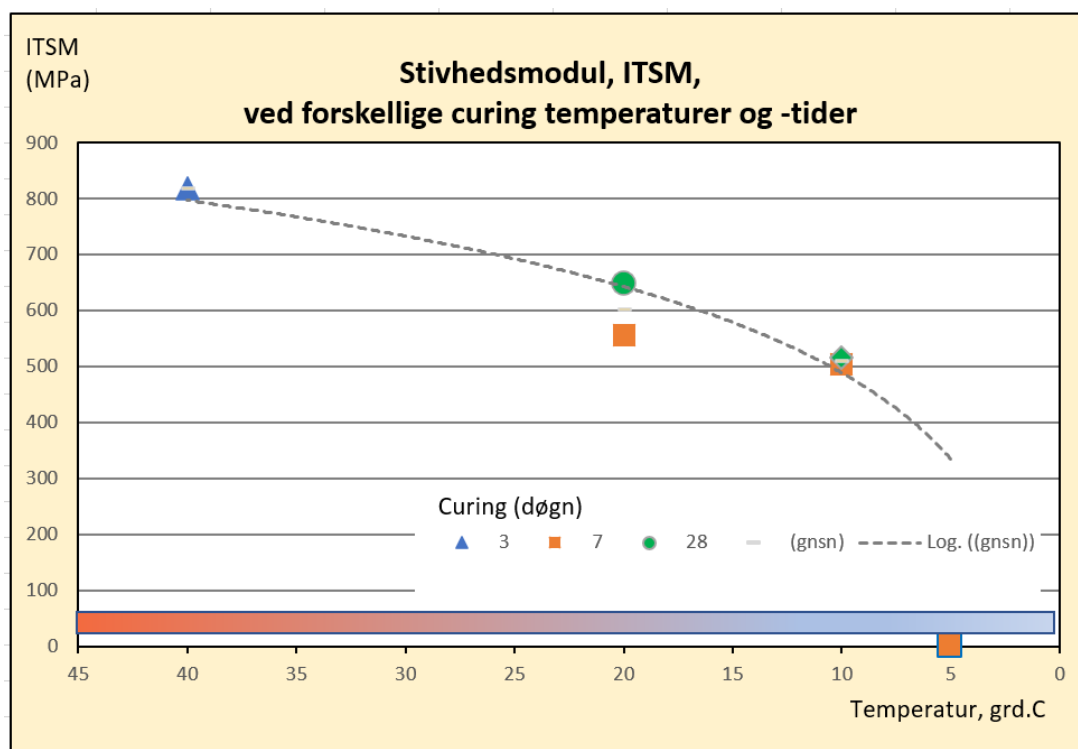


Figur 2.2.3: Curingtemperaturens effekt på vandfølsomheden

Ovenstående figur 2.2.3 angiver den for BSM-materialet beregnede vandfølsomhed (beregnet som ITS_{wet}/ITS_{dry} i %) ved forskellige temperaturer. Hvis det antages, at det ene punkt ved 10 grader, som har en vandfølsomhedsværdi over 100%, er en outlier, ses i praksis for de øvrige data en helt retlinet tendenslinie. De fundne data indikerer således, at BSM-materialets vandfølsomhed som sådan ikke påvirkes af en temperatursænkning, om end hele spaltetrækstyrkeniveauet falder.

2.3.3. Temperatureffekt på stivhedsmodul

Efterfølgende figur 2.2.4 viser udviklingen i det for BSM-blandingen opnåede stivhedsmodul bestemt ved 20 °C, når materiale-/blande-/curingtemperaturen varierer fra standardmæssigt 40 °C via 20 og 10 °C ned til 5 °C.



Figur 2.2.4: Curingtemperaturens effekt på stivhedsmodulet bestemt ved 20 °C.

Af ovenstående figur 2.2.4 ses tydeligt, at stivhedsmodulet er mere temperaturfølsomt end de øvrige testparametre i denne forsøgsrække. I praksis var det ikke muligt at bestemme stivhedsmodulet på kerner fremstillet og curret ved 5 °C, da kernerne brød sammen allerede ved påspænding af testrammen for stivhedsmodultesten. Det ses tydeligt, at stivhedsmodulet falder progressivt ved lave temperaturer.

2.4. Konklusion omkring temperaturfølsomhed for BSM med cementfiller

Som det fremgår af de foregående afsnit, ses, ikke uventet, et fald i de opnåede styrker, når materialet skal udtørre ved lave temperaturer. Der anvendes i den sydafrikanske forskrift for BSM-prøvning standardmæssigt en accelereret curingsperiode på 3 døgn ved 40 °C for de laboratoriefremstillede prøver, før mekanisk prøvning indledes.

I praksis vil der ikke være så mange dage under danske himmelstrøg, hvor der "i marken" vil opnås så høje temperaturer. Hvis man sænker curingtemperaturen til 20 °C og samtidigt forlænger curingperioden fra 3 til 7 døgn, opnås omtrent de samme styrkeværdier. Dette underbygger det fornuftige i at anvende den accelererede prøvningsprocedure for BSM-tests.

Hvis man gennemfører samme testserie under koldere temperaturer, og derved simulerer normal dansk ydersæson (og somme tider kan vi endog have lave nattemperaturer om sommeren), ses derimod et fald i styrkeværdier. Styrken reduceres tydeligt allerede ved 10 °C og falder især markant ved 5 °C, hvor de indstampede prøvelegemer blev så svage, at der slet ikke kunne gennemføres stivhedsmodul-test i laboratoriet.

Der er naturligvis tale om enkeltstående tests og fundne lavtemperatur-data i laboratoriet er naturligvis ikke ensbetydende med, at man finder eksakt samme data under udførelse af BSM ude på vejen, men giver alligevel et fingerpeg om, at man formodentligt ikke bør udføre BSM ved temperaturer under ca. 10 °C.

3. Afdækning af effekt ved anvendelse af hydratkalk i stedet for cementfiller.

BSM-konceptet, som beskrevet i den sydafrikanske TG2 guideline, kan principielt fremstilles med to forskellige former for klæbeaktiv filler: cement eller hydratkalk. Anvendes cement, anbefaler TG2-manualen en tilsætningsmængde på minimum 0,5% for at få tilstrækkelig effekt. Omvendt frarådes cementtilsætning i mængder større end 1%, idet der så kan være fare for, at der opnås begyndende cementlignende bindinger, som så kan skabe risiko for svindrevner. På baggrund af de i Teknologisk Instituts BSM-hovedrapport beskrevne forsøgsdata vurderes det optimale cementindhold til at være 1,0%.

3.1. Hydratkalk kontra cement

For at vurdere hvilken BSM-kvalitet, som kan opnås med hydratkalk, er der indledningsvis foretaget forsøgsblandinger med henholdsvis 1% og 2% hydratkalk til sammenligning med referencen med 1% cementfiller.

Tabel 3.1 nedenfor viser de opnåede data

Blanding nr.	2019-7 (Ref.)	A	D
Klæbeaktiv filler %	1% cem	1% hyd	2% hyd
Genbrugsasfalt Temp. oC	20	20	20
Lagring timer før indstampning	0	0	0
Curing 3 døgn Temp. oC	40	40	40
Curing 7 døgn Temp. oC			
Spaltetræk tør (ITS dry), kPa	145	122	114
Spaltetræk våd (ITS wet), kPa	112	111	109
Vandfølsomhed (ITSR), %	78	83	95
Stivhedsmodul (ITSM), MPa	818	568	798

Tabel 3.1.1: BSM-data for henholdsvis 1% cement samt 1 og 2 % hydratkalk

Det fremgår af tabellen, at der med hydratkalk opnås svagt lavere værdier for den tørre spaltetrækstyrke end ved cementtilsætning. Omvendt ligger de våde værdier på samme niveau, hvorfor vandfølsomhedstallet reelt forbedres ved hydratkalktilsætning.

Hvis man betragter stivhedsmodul-værdierne (ved 20 °C) , som også i andre tests synes mest følsomme for ændringer, ses ved erstatning af 1% cement med 1% hydratkalk et fald i stivhedsmodulet på ca. 30%. Anvendes derimod 2% hydratkalk opnås samme niveau for stivhedsmodul. Dette antyder derfor, at man ved et eventuelt skift fra cement til hydratkalk skal øge tilsætningsmængden til 2%.

3.2. BSM bearbejdelighed med hydratkalk

En af udfordringerne ved anvendelse af cement som klæbeaktiv filler i BSM er, at det friskproducerede BSM-produkt, ifølge TG2-rapporten, skal udlægges indenfor 6 timer, for at sikre den fornødne bearbejdelighed og efterfølgende styrke. Det oplyses fra sydafrikanske BSM-eksperter, at man ved anvendelse af hydratkalk typisk kan opnå en længere bearbejdelighed af materialet, op til 1 døgn, så længe det producerede BSM-materiale sikres mod udtørring ved afdækning (eller evt. let oversprinkling) indtil det indbygges.

Der er derfor gennemført et forsøg, hvor en BSM-blanding med 2% hydratkalk umiddelbart efter produktion er blevet fyldt i luft- og vandtætte plastspande med låg og henstillet 24 timer ved stuetemperatur. Herefter er spandene genåbnet og prøvelegemer er vibrationsindstampet og curret på normal vis. De opnåede data fremgår af kolonnen for blanding "J" i nedenstående tabel.

Blanding nr.	2019-7 (Ref.)	A	D	J
Klæbeaktiv filler %	1% cem	1% hyd	2% hyd	2% hyd
Genbrugsasfalt Temp. oC	20	20	20	20
Lagring timer før indstampning	0	0	0	24
Curing 3 døgn Temp. oC	40	40	40	40
Curing 7 døgn Temp. oC				
Spaltetræk tør (ITS dry), kPa	145	122	114	146
Spaltetræk våd (ITS wet), kPa	112	111	109	146
Vandfølsomhed (ITSR), %	78	83	95	100
Stivhedsmodul (ITSM), MPa	818	568	798	815

Tabel 3.2.1: Sammenligning med cement og hydratkalk. Blanding J er fremstillet ved at lagre BSM-materialet 24 timer ved 20 grader C i 24 timer før indstampning af prøvelegemer. Alle blandinger er curret standardmæssigt i 3 døgn ved 40 grader C.

Det ses af tabel 3.2.1 at ingen af testværdierne forringes ved 24 timers lagring forud for indbygning. Eneste markante forskel synes at være vandfølsomheden, som forbedres ved lagringen. Disse data synes således at underbygge de sydafrikanske vurderinger om, at man kan opnå en længere bearbejdelighed ved anvendelse af hydratkalk i stedet for cement.

Under danske forhold er cement ofte lettere tilgængelig end hydratkalk og også mere økonomisk gunstig, ligesom der kun skal anvendes den halve tilsætningsmængde. Det formodes derfor, at udgangspunktet for dansk BSM-produktion vil være anvendelse af cement. Det kan dog være gavnligt at vide, at man har mulighed for at erstatte cementen med 2% hydratkalk, hvis man på enkeltstående produktioner har brug for en forlænget lagringsmulighed af det færdige BSM-produkt inden indbygning.

3.3. Temperaturfølsomhed ved hydratkalktilsætning

I afsnit 2 blev det undersøgt hvilken effekt en reduceret produktions- og lagringstemperatur har på et BSM-materiale fremstillet med 1% cement. Som supplement til disse forsøg er der i denne forsøgsrække udført en enkelt forsøgsblanding med 2% hydratkalk, hvor der i stedet for 20 °C blanding og 40 °C curing i 3 døgn er anvendt 5 °C blanding og 5 °C curing i 7 døgn. Resultaterne fremgår af kolonnen "K" i den efterfølgende tabel.

Blanding nr.	2019-7 (Ref.)	A	D	J	K
Klæbeaktiv filler %	1% cem	1% hyd	2% hyd	2% hyd	2% hyd
Genbrugsasfalt Temp. oC	20	20	20	20	5
Lagring timer før indstampning	0	0	0	24	0
Curing 3 døgn Temp. oC	40	40	40	40	
Curing 7 døgn Temp. oC					5
Spaltetræk tør (ITS dry), kPa	145	122	114	146	46
Spaltetræk våd (ITS wet), kPa	112	111	109	146	9
Vandfølsomhed (ITSR), %	78	83	95	100	19
Stivhedsmodul (ITSM), MPa	818	568	798	815	0

Tabel 3.3.1: Sammenligning med cement og hydratkalk. Blanding K er fremstillet ved at blande, vibrationsindstampe og cure BSM-kernerne i 7 døgn ved 5 °C. Dette for at simulere hvad der ville foregå "i marken" ved produktion og udlægning af BSM med hydratkalk under køligt vejr i ydersæsonen.

Som det entydigt fremgår af tabel 3.3.1 opnås meget lave værdier for alle testparametre ved temperatursænkningen til 5°C. I praksis begyndte kernerne at lagdeles allerede under curingen og det var ikke muligt at gennemføre stivhedsmodulbestemmelse på de svage og smuldrende prøvelegemer.

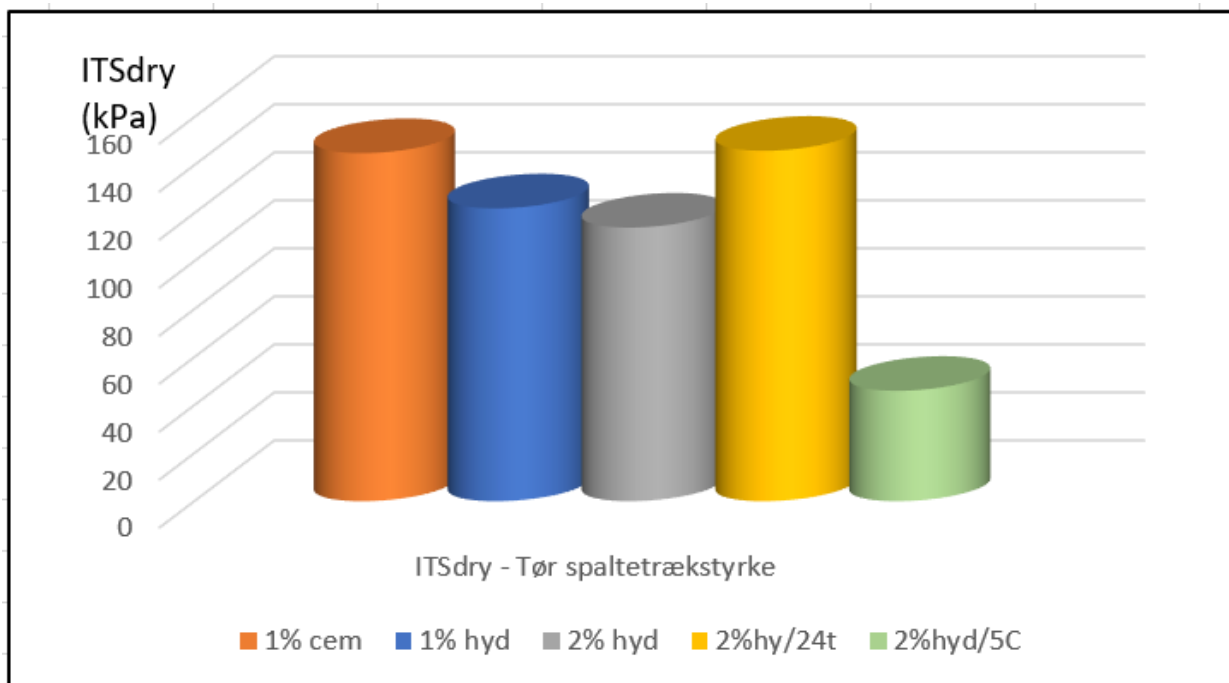


Figur 3.3.1: BSM-kernerne produceret og lagret ved 5 grader C havde så ringe kohæsion, at nogle af dem lagdelte allerede inden mekanisk prøvning.

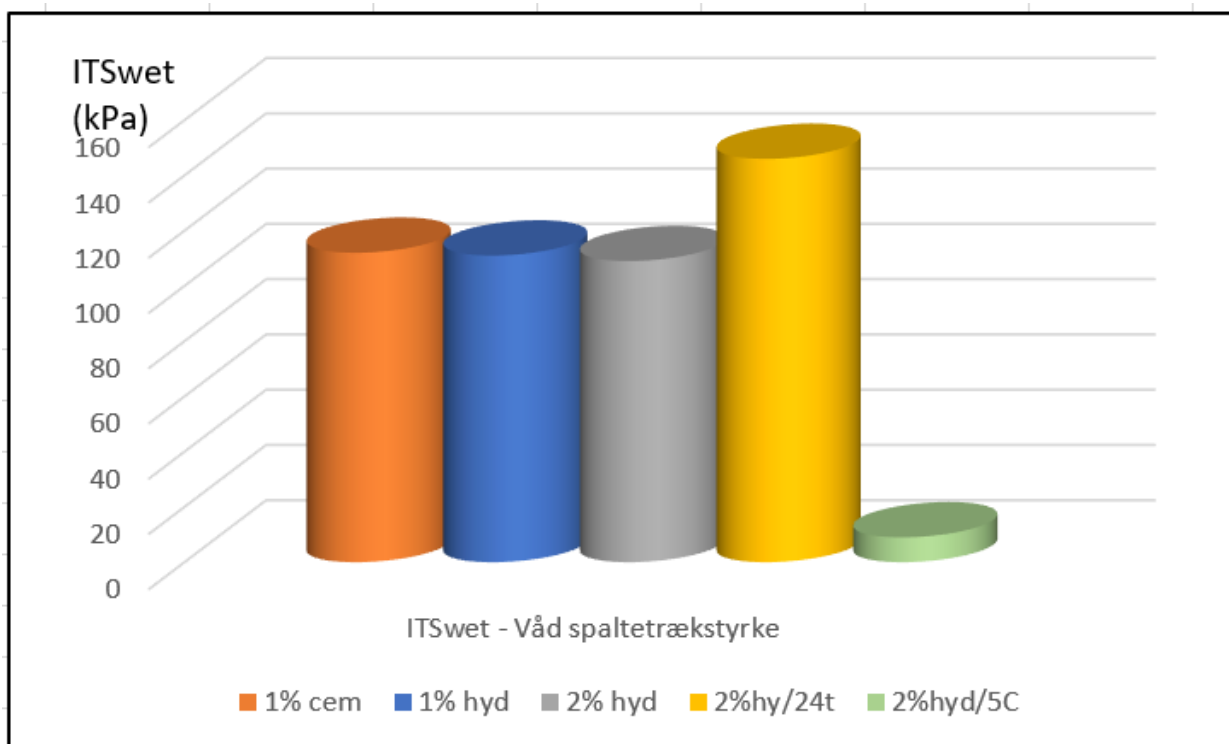
Det kan heraf konkluderes, at hydratkalk ikke er en genvej til opnåelse af øget bearbejdelse i koldt vejr – snarere tvært imod.

3.4. Hydratkalktilsætning – grafisk afbildning af opnåede data

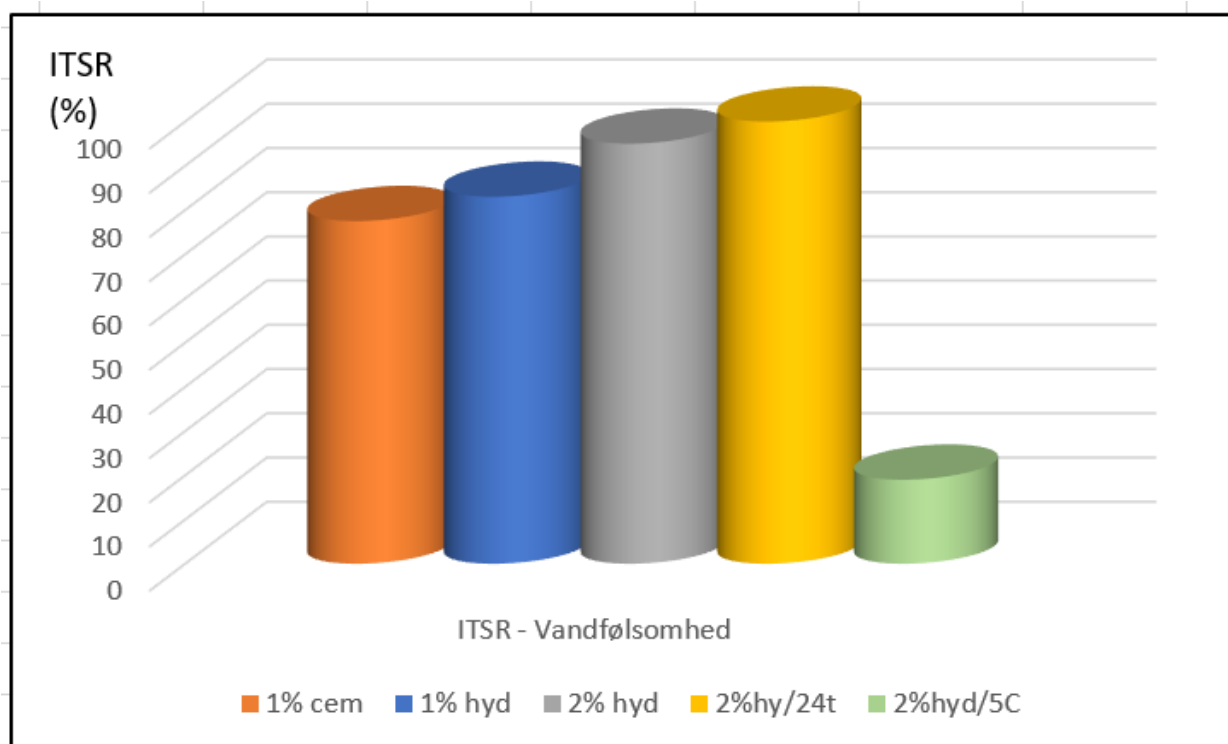
I det efterfølgende er de i afsnit 3.1 – 3.3 omtalte BSM-forsøgsdata opstillet i en grafisk afbildning (søjlediagrammer).



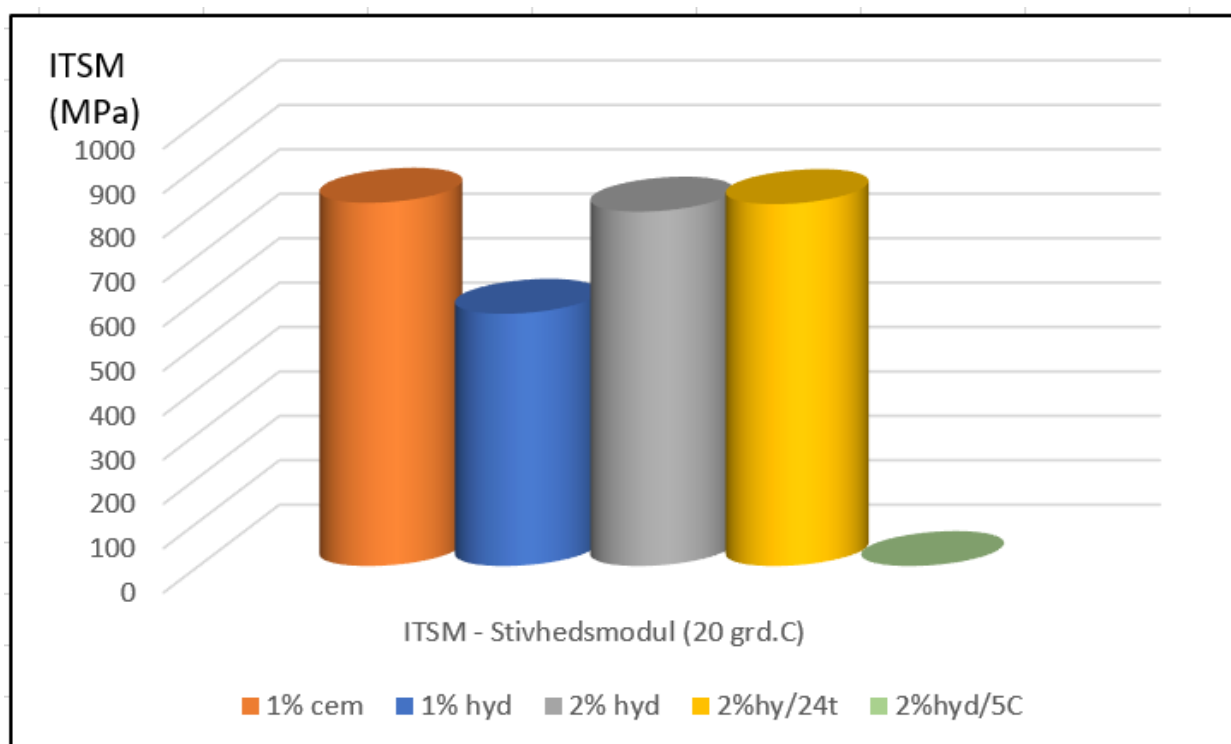
Figur 3.4.1: Tørre spaltetrækstyrkeværdier ved de forskellige varianter



Figur 3.4.2: Våde spaltetrækstyrkeværdier ved de forskellige varianter



Figur 3.4.3: Vandfølsomhedsværdier (udvaskningsmodstand) ved de forskellige varianter (forholdet mellem våde og tørre spaltetrækstyrkeværdier udtrykt i procent)



Figur 3.4.4: Stivhedsmodul opnået for de forskellige varianter.

3.5. Konklusion, hydratkalk

Hvis man under BSM-produktionen erstatter tilsætning af 1% cement med 2% hydratkalk, kan der opnås ligeværdige data med hensyn til styrke, vandfølsomhed og stivhedsmodul. Samtidigt synes der at kunne opnås en længerevarende lagerstabilitet af det friskproducerede materiale før udlægning og komprimering, hvis materialet holdes afdækket, så udtørring undgås. Anvendelse af hydratkalk er til gengæld ingen fordel ved produktion under kølige temperaturforhold.

I forbindelse med eventuelle overvejelser om at producere med hydratkalk i stedet for cement, for at opnå øget lagringsmulighed (og dermed udlægningskapacitet), skal det dog samtidigt erindres, at hydratkalktilsætning kræver 2% tilsætning mod kun 1% cement, ligesom hydratkalk indkøbsmæssigt typisk er dyrere end cement. Endelig anses cement ofte for arbejdsmiljømæssigt at være mest fordelagtig. Det må derfor forventes, at eventuel BSM-produktion med hydratkalk kun vil blive benyttet under særlige forhold.

4. Samlet konklusion

De gennemførte forsøg tyder på at man skal være varsom ved produktion og udlægning af BSM ved temperaturer under ca. 10 °C, idet der under disse forhold ikke opnås tilstrækkelig styrkeudvikling og holdbarhed. Dette gælder både ved anvendelse af cement og hydratkalk som klæbeaktiv filler.

BSM produceret med cementfiller kan typisk kun lagres op til 6 timer før indbygning. Hvis man har brug for at kunne lagre "frisk" BSM i op til 1 døgn efter produktionen, kan dette dog foretages ved alternativt at anvende 2% hydratkalk som klæbeaktiv filler i stedet for cement (kræver at lagring foretages tæt afdækket så der ikke mistes fugt). Hydratkalk giver dog ingen temperaturmæssig gevinst, sammenlignet med cement.

Taastrup, den 30. marts 2020

Ole Grann Andersson
Teknologisk Institut

Bilag: Rådata fra laboratorietests af blandingerne

5. BILAG – baggrundsdata fra forsøgene

BSM MIX-design data, Supplerende tests 2020 - Fillervariationer

- Oversigt over resultater inkl. delresultater

BL7: 1,0% cement, BL A: Som bl.7 men med 1% hydratkalk. BLB: Som bl.7 men genbrug nedkølet til 5°C før test



TEKNOLOGISK
INSTITUT

GMA: 0/16 mm knust asfalt Kilde nr. 4 Wopt = 5,1% Mod.Proctor densitet 1,94 g/cm³
Bitumenindhold: 2,1% fast W% i skum: 2,8% fast Bitumentype: 70/100, Leverandør 1 Fillerindhold: 1,0%

Spaltetrækstyrkedata og vandfølsomhed (DS/EN 12697-23 og -12):

Emne	2019 BL7: Mix design 1,0% cement, blandetemp. ca. 20°C, normal curing							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,86	1,869	1,869	1,866	1,864	1,862	1,859	1,862
D (mm)	151,9	151,6	151,7	151,7	151,6	151,9	151,8	151,8
h (mm)	95,1	94,8	95	95,0	95,2	94,9	95,3	95,1
P (N)	3217	3217	3381	3272	2311	2637	2675	2541
ITS (kPa)*	142	143	149	145	102	116	118	112
ITSR (%)**								77,5

Emne	BLA: Mix design 1% hydratkalk, blandetemp. ca. 20°C, normal curing							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,825	1,825	1,819	1,823	1,818	1,818	1,848	1,828
D (mm)	151,8	151,8	151,8	151,8	151,8	152,0	151,8	151,9
h (mm)	96	96	96,2	96,1	96,2	95,7	95,4	95,8
P (N)	2751	2802	2827	2793	2136	2286	2525	2316
ITS (kPa)*	120	122	123	122	93	100	111	101
ITSR (%)**								83,1

Emne	BLB: Mix design, 1,0% cement, GMA-temp. 5°C, blander ej nedkølet, normal curing							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,85	1,835	1,847	1,844	1,850	1,848	1,85	1,849
D (mm)	151,8	151,8	151,8	151,8	151,8	151,8	151,7	151,8
h (mm)	94,9	95,5	95	95,1	94,9	95	95	95,0
P (N)	3014	3203	3328	3182	2714	2689	2539	2647
ITS (kPa)*	133	141	147	140	120	119	112	117
ITSR (%)**								83,4

*) ITS = (2*1000*P)/(π*h*D), kPa

**) ITSR = 100*ITSvåd/ITSør, %

Stivhedsmodulbestemmelse (DS/EN 12697-26, IT-CY)

Ref.indstamp.:	Bl.7: 1,0% cement, t=20°C, normal curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,833	1,833	1,815	1,827
D (mm)	151,9	151,8	151,7	151,8
h (mm)	60,7	60,7	61,4	60,9
ITSM 20°C (Mpa)	850	744	860	818

Ref.indstamp.:	BLA: 1% hydratkalk, t=20°C, normal curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,805	1,794	1,801	1,800
D (mm)	151,6	151,8	151,8	151,7
h (mm)	61,6	61,8	61,5	61,6
ITSM 20°C (Mpa)	560	627	518	568

Ref.indstamp.:	BLB: 1,0% cement, t=5°C, normal curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,813	1,811	1,823	1,816
D (mm)	151,8	151,8	151,8	151,8
h (mm)	60,7	61,0	60,7	60,8
ITSM 20°C (Mpa)	918	872	1065	952

Konklusion, hydratkalk i stedet for cement:

Vandfølsomhed: Ikke signifikant forskel på cement og hydratkalk
Spaltetrækstyrke dog lidt lavere for hydr.k.
Densitet også lidt lavere med hydratkalk
Stivhedsmodul, 20°C: Væsentligt lavere ved brug af hydratkalk!

Konklusion, genbrugsasfalt 5°C i s.f. 20°C (med cement):

Vandfølsomhed: Ikke signifikant forskel
Spaltetrækstyrke: Ikke signifikant forskel
Densitet: Ikke signifikant forskel
Stivhedsmodul, 20°C: Ikke signifikant forskel ved 5°C genbrugsasfalttemp. (faktisk marginalt højere stivhedsmodul)



BSM MIX-design data, Supplerende tests 2020

Effekt af 1 hhv. 2% hydratkalk kontra 1% cement (reference)

- Oversigt over resultater inkl. delresultater

BL7: 1,0% cement, BL A: Som bl.7 men med 1% hydratkalk. BL.D: Som bl.7 men 2% hydratkalk

GMA: D/16 mm knust asfalt Kilde nr. 4	Wopt = 5,1%	Mod.Proctor densitet 1,94 g/cm ³
Bitumenindhold: 2,1% fast	W% i skum: 2,8% fast	Bitumentype: 70/100, Leverandør 1
		Fillerindhold: variationer

Spaltetrækstyrkedata og vandfølsomhed (DS/EN 12697-23 og -12):

Emne	2019 BL7: Mix design 1,0% CEMENT, blandetemp. ca. 20°C, normal curing (REFERENCE)							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,86	1,869	1,869	1,866	1,864	1,862	1,859	1,862
D (mm)	151,9	151,6	151,7	151,7	151,6	151,9	151,8	151,8
h (mm)	95,1	94,8	95	95,0	95,2	94,9	95,3	95,1
P (N)	3217	3217	3381	3272	2311	2637	2675	2541
ITS (kPa)*	142	143	149	145	102	116	118	112
ITSR (%)**								77,5

Emne	BL.A: Mix design 1,0% HYDRATKALK, blandetemp. ca. 20°C, normal curing							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,825	1,825	1,819	1,823	1,818	1,818	1,848	1,828
D (mm)	151,8	151,8	151,8	151,8	151,8	152,0	151,8	151,9
h (mm)	96	96	96,2	96,1	96,2	95,7	95,4	95,8
P (N)	2751	2802	2827	2793	2136	2286	2525	2316
ITS (kPa)*	120	122	123	122	93	100	111	101
ITSR (%)**								83,1

Emne	BL.D: Mix design, 2,0% HYDRATKALK, blandetemp. Ca. 20°C, normal curing							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,879	1,88	1,888	1,882	1,880	1,882	1,882	1,881
D (mm)	151,8	152	151,8	151,9	151,8	151,8	151,8	151,8
h (mm)	93,8	93,8	93,5	93,7	93,9	93,8	93,7	93,8
P (N)	2663	2400	2575	2546	2389	2527	2376	2431
ITS (kPa)*	119	107	115	114	107	113	106	109
ITSR (%)**								95,4

*) ITS = (2*1000*P)/(π*h*D), kPa **) ITSR = 100*ITSvåd/ITSør, %

Stivhedsmodulbestemmelse (DS/EN 12697-26, IT-CY)

Ref.indstamp.:	BL7: 1,0% CEMENT, t=20°C, normal curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,833	1,833	1,815	1,827
D (mm)	151,9	151,8	151,7	151,8
h (mm)	60,7	60,7	61,4	60,9
ITSM 20°C (Mpa)	850	744	860	818

Ref.indstamp.:	BL.A: 1,0% HYDRATKALK, t=20°C, normal curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,805	1,794	1,801	1,800
D (mm)	151,6	151,8	151,8	151,7
h (mm)	61,6	61,8	61,5	61,6
ITSM 20°C (Mpa)	560	627	518	568

Ref.indstamp.:	BL.D, 2,0% HYDRATKALK, t=20°C, normal curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,858	1,861	1,819	1,846
D (mm)	151,7	151,8	151,9	151,8
h (mm)	60	59,9	61,2	60,4
ITSM 20°C (Mpa)	780	863	751	798

Konklusion, 2% hydratkalk:
Densiteten stiger svagt med forøget hydratkalkindhold
ITS tør er med 2% hydr.kalk lidt lavere end v/1% hydr.k.
og noget lavere end referencen med 1% cement
ITS våd stiger svagt fra 1 til 2% hydratkalk, men fortsat
marginalt lavere end for 1% cement
ITSR for 2% hydratkalk er meget høj - god vedhæftning!
Stivhedsmodul:
Stivhedsmodulet for BSM med 2% hydratkalk er væsent-
ligt højere end ved 1% hydratkalk og på samme niveau
som for 1% cement.

Hovedkonklusion, Hydratkalk
Hvis man ønsker at erstatte cement med hydratkalk
er det nødvendigt at øge mængden fra 1 til 2%.
Herved opnås stivhedsmodul på niveau med 1% cement
og forbedret vedhæftning (vandfølsomhedsmodstand)
Til gengæld synes den tørre spaltetrækstyrke at være
lidt lavere end for 1% cement (= lavere styrke generelt?)
Hvis man samlet ser på kvalitet, materialeomkostninger
og arbejdsmiljø omkring fillerhåndtering i praksis,
synes 1% cement fortsat mest ideel.



BSM MIX-design data, Supplerende tests 2020

- Temperatur/curing-varianter (lav temp.)

- Oversigt over resultater inkl. delresultater

Blanding 7: 1,0% cement, Blanding B: Som bl.7 men genbrug nedkølet til 5°C. Blanding C: Som B men curret 2+5 døgn v/5°C

GMA: 0/16 mm knust asfalt Kilde nr. 4	Wopt = 5,1%	Mod.Proctor densitet 1,94 g/cm ³
Bitumenindhold: 2,1% fast	W% i skum: 2,8% fast	Bitumentype: 70/100, Leverandør 1
		Fillerindhold: 1,0% cement

Spaltetrækstyrkedata og vandfølsomhed (DS/EN 12697-23 og -12):

Emne	2019 BL7: Mix design 1,0% cement, blandetemp. ca. 20°C, normal curing							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,86	1,869	1,869	1,866	1,864	1,862	1,859	1,862
D (mm)	151,9	151,6	151,7	151,7	151,6	151,9	151,8	151,8
h (mm)	95,1	94,8	95	95,0	95,2	94,9	95,3	95,1
P (N)	3217	3217	3381	3272	2311	2637	2675	2541
ITS (kPa)*	142	143	149	145	102	116	118	112
ITSR (%)**								77,5

Emne	2020 BLB: Mix design, 1,0% cement, GMA-temp. 5°C, blander ej nedkølet, normal curing							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,85	1,835	1,847	1,844	1,850	1,848	1,85	1,849
D (mm)	151,8	151,8	151,8	151,8	151,8	151,8	151,7	151,8
h (mm)	94,9	95,5	95	95,1	94,9	95	95	95,0
P (N)	3014	3203	3328	3182	2714	2689	2539	2647
ITS (kPa)*	133	141	147	140	120	119	112	117
ITSR (%)**								83,4

Emne	2020 BLC: Mix design, 1,0% cement, GMA-temp. 5°C, blander nedkølet, koldt curret 2+5 døgn 5°C							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,904	1,916	1,902	1,907	1,902	1,901	1,918	1,907
D (mm)	151,9	152	152,1	152,0	152,2	152,3	151,9	152,1
h (mm)	94,3	94	94,4	94,2	94,3	94,3	93,8	94,1
P (N)	2136	1847	2174	2052	1770	1456	1883	1703
ITS (kPa)*	95	82	96	91	79	65	84	76
ITSR (%)**								83,0

*) ITS = (2 * 1000 * P) / (h * h * D), kPa

**) ITSR = 100 * ITSvåd / ITSør, %

Stivhedsmodulbestemmelse (DS/EN 12697-26, IT-CY)

Ref.indstamp.:	Bl.7: 1,0% cement, t=20°C, normal curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,833	1,833	1,815	1,827
D (mm)	151,9	151,8	151,7	151,8
h (mm)	60,7	60,7	61,4	60,9
ITSM 20°C (Mpa)	850	744	860	818

Ref.indstamp.:	Bl.B, 1,0% cement, t=5°C, normal curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,813	1,811	1,823	1,816
D (mm)	151,8	151,8	151,8	151,8
h (mm)	60,7	61,0	60,7	60,8
ITSM 20°C (Mpa)	918	872	1065	952

Ref.indstamp.:	Bl.C, 1,0% cement, t=5°C, kold curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,883	1,852	1,873	1,869
D (mm)	151,9	152,0	152,1	152,0
h (mm)	60	60,9	60,3	60,4
ITSM 20°C (Mpa)	(107)	-	(40)	-

Bemærkninger til de tre blandinger:			
Blanding:	2019-7	2020-B	2020-C
Genbrugstemp.	20°C	5°C	5°C
Blandetemp.	20°C	20°C	5°C
Afform. Efter:	4t	4t	48t
Curing (t/temp)	72t/40°C	72t/40°C	5døgn*/5°C

*) Samlet 7 døgn: 2 døgn curing v/5°C før afformning + efterlig. 5 døgn curing v/5°C

Konklusion	
Densitet:	Den let forhøjede densitet på bl.C må antages at skyldes restvand (utilstrækkelig tørring v/5°C)
Spaltetrækstr:	Bl. 7 og B omtrent ens men C markant lavere Dette viser klart at 5°C ikke er tilstrækkelig curing
Vandfølsomhed:	Ingen signifikant forskel!
Stivhedsmodul:	Ingen af kememe kunne holde til at gennemføre testen som ellers normalt er ikke-destruktiv. Allerede efter andet belastningslag gik prøvelaget itu. Prøve C7 flækkede helt og smulderede efter andet belastningslag. De i parentes angivne værdier er første slags respons.

Hoved-konklusion:	Materialet hærdet alt for langsomt/svagt op ved en konstant lav temperatur på 5°C
--------------------------	---



FOTO 1: BSM kerner C7 og C8 (bl. C, kold curing)

Prøvelegemer cured koldt men lagret ca. 18 timer ved 20°C før stivhedsmodultest ved 20°C

Kerne C7 kollapsede efter 2. prøvningslag (revnet og smuldrende)

Kerne C8 begyndte at revne allerede da testrammen blev fastspændt før test blev påbegyndt.

Kerne C9 "overlevede" også kun en enkelt testbelastning før brud



FOTO 2: BSM kerne C8

Bemærk, at kernen revnede allerede ved forsøg på påspænding af testrammen

I det gulmarkerede felt ses øverst på bundfladen et lille indtryksmærke fra testrammens påspændingsfod

På den konvekse flade ses at fladen er gennemrevnet blot fra trykket fra den manuelle påspænding.

Kernerne virkede generelt meget svage.

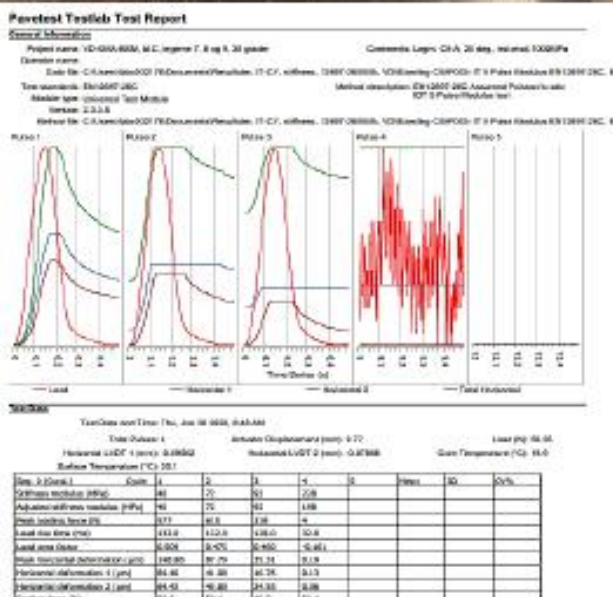


FOTO 3: Uddrag af testrapport ITSM kerne C9

Diagrammet viser forløbet af belastning og tøjning ved de 5 belastningspulser. Det ses af kurverne, at allerede i anden belastningspuls bliver deformationskurven flad og i fjerde puls er legemet så svagt at også belastningskurven (rød) flimrer som tegn på total nedbrud af testlegemet.

BSM MIX-design data, Supplerende tests 2020

- Temperatur/curing-variationer (20°C)



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Oversigt over resultater inkl. delresultater

Blanding 7: 1,0% cement, Blanding E: Som bl.7 men lagret 7 døgn v/20°C, Blanding F: som bl.7 men lagret 28 døgn 20°C

GMA: 0/16 mm knust asfalt Kilde nr. 4 Wopt = 5,1% Mod.Proctor densitet 1,94 g/cm³
Bitumenindhold: 2,1% fast W% i skum: 2,8% fast Bitumentype: 70/100, Leverandør 1 Fillerindhold: 1,0% cement

Spaltetrækstyrkedata og vandfølsomhed (DS/EN 12697-23 og -12):

Emne	2019 BL.7: Mix design 1,0% cement, blandetemp. ca. 20°C, normal curing								
Konditionering	TØR				VÅD				
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN	
Densitet (g/cm ³)	1,86	1,869	1,869	1,866	1,864	1,862	1,859	1,862	
D (mm)	151,9	151,6	151,7	151,7	151,6	151,9	151,8	151,8	
h (mm)	95,1	94,8	95	95,0	95,2	94,9	95,3	95,1	
P (N)	3217	3217	3381	3272	2311	2637	2675	2541	
ITS (kPa)*	142	143	149	145	102	116	118	112	
ITSR (%)**								77,5	

Emne	2020 BLE: Mix design, 1,0% cement, GMA-temp. 20°C, curing 7 døgn ved 20°C								
Konditionering	TØR				VÅD				
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN	
Densitet (g/cm ³)	1,857	1,858	1,86	1,858	1,872	1,883	1,874	1,876	
D (mm)	152,1	152,1	152,1	152,1	152	152,0	152,2	152,1	
h (mm)	94,6	94,5	94,5	94,5	94,2	93,9	93,9	94,0	
P (N)	3014	2801	-	2908	2135	2361	2009	2168	
ITS (kPa)*	133	124	-	129	95	105	89	97	
ITSR (%)**								75,0	

Emne	2020 BL.F: Mix design, 1,0% cement, GMA-temp. 20°C, curing 28 døgn v/ 20°C								
Konditionering	TØR				VÅD				
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN	
Densitet (g/cm ³)	1,861	1,869	1,851	1,860	1,878	1,867	1,854	1,866	
D (mm)	152,1	151,9	152	152,0	151,9	151,8	151,9	151,9	
h (mm)	94,2	94,1	94,4	94,2	93,5	94,3	94,8	94,2	
P (N)	3103	2827	2890	2940	2111	2236	2073	2140	
ITS (kPa)*	138	126	128	131	95	99	92	95	
ITSR (%)**								72,9	

*) ITS = (2*1000*P)/(k*N*D), kPa **) ITSR = 100*ITSvåd/ITSør, %

Stivhedsmodulbestemmelse (DS/EN 12697-26, IT-CY)

Ref.indstamp.:	Bl.7: 1,0% cement, t=20°C, normal curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,833	1,833	1,815	1,827
D (mm)	151,9	151,8	151,7	151,8
h (mm)	60,7	60,7	61,4	60,9
ITSM 20°C (Mpa)	850	744	860	818

Ref.indstamp.:	Bl.E, 1,0% cement, curing 7 dg/20°C			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,834	1,858	1,850	1,847
D (mm)	151,9	152,0	152,0	152,0
h (mm)	60,4	59,8	60,0	60,1
ITSM 20°C (Mpa)	524	550	595	556

Ref.indstamp.:	Bl.F, 1,0% cement, curing 28 dg/20°C			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,866	1,851	1,848	1,855
D (mm)	151,8	151,9	152,0	151,9
h (mm)	59,5	59,9	60,1	59,8
ITSM 20°C (Mpa)	672	593	679	648

Bemærkninger til de tre blandinger:	2019-7	2020-E	2020-F
Blanding:	2019-7	2020-E	2020-F
Genbrugstemp.	20°C	20°C	20°C
Blandetemp.	20°C	20°C	20°C
Afform. Efter:	4t/40°C	2 dg/20°C	3 dg/20°C
Curing (t/temp)	3dg/40°C	7 dg/20°C	28 dg/20°C

Konklusion	
Spaltetrækstrk. og Vandfølsomhed:	Normal curing giver marginalt højere spaltetrækstyrker. Vandfølsomhed på samme niveau uanset lagring/curing normalt eller 20 grd. C
Stivhedsmodul:	Her ses effekten tydeligst. Stivhedsmodulet falder fra ca. 820 Mpa ved normal curing til 550 efter 7 døgn 20°C og 650 efter 28 døgn. (altså ses en effekt af fortsat udtørring 7-28 døgn) Normal curing v/40°C giver dog bedste data.

Hoved-konklusion: Den "normale" curing v/40°C giver bedre data end langtidslagring ved 20°C



BSM MIX-design data, Supplerende tests 2020

- Temperatur/curing-variationer (10°C)

- Oversigt over resultater inkl. delresultater

Blanding 7: 1,0% cement, Blanding H: Som bl.7 men lagret 7 døgn v/10°C, Blanding G: som bl.7 men lagret 28 døgn 10°C

GMA: 0/16 mm knust asfalt Kilde nr. 4	Wopt = 5,1%	Mod.Proctor densitet 1,94 g/cm ³	
Bitumenindhold: 2,1% fast	W% i skum: 2,8% fast	Bitumentype: 70/100, Leverandør 1	Fillerindhold: 1,0% cement

Spaltetrækstyrkedata og vandfølsomhed (DS/EN 12697-23 og -12):

Emne	2019 BL.7: Mix design 1,0% cement, blandetemp. ca. 20°C, normal curing							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,86	1,869	1,869	1,866	1,864	1,862	1,859	1,862
D (mm)	151,9	151,6	151,7	151,7	151,6	151,9	151,8	151,8
h (mm)	95,1	94,8	95	95,0	95,2	94,9	95,3	95,1
P (N)	3217	3217	3381	3272	2311	2637	2675	2541
ITS (kPa)*	142	143	149	145	102	116	118	112
ITSR (%)**								77,5

Emne	2020 BL.H: Mix design, 1,0% cement, GMA-temp. 10°C, curing 7 døgn ved 10°C							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,893	1,897	1,901	1,897	1,897	1,890	1,903	1,897
D (mm)	152,1	152,2	152	152,1	152	152,0	152	152,0
h (mm)	94,5	94	94,2	94,2	94,2	94,4	94,1	94,2
P (N)	2062	2187	2024	2125	1445	1294	1395	1378
ITS (kPa)*	91	97	90	93	64	57	62	61
ITSR (%)**								65,9

Emne	2020 BL.G: Mix design, 1,0% cement, GMA-temp. 10°C, curing 28 døgn v/ 10°C							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,869	1,875	1,87	1,871	1,878	1,882	1,885	1,882
D (mm)	151,9	152,1	152,2	152,1	152,1	151,9	152,0	152,0
h (mm)	94,7	94	94,2	94,3	94,2	94,1	94	94,1
P (N)	1675	1875	1692	1747	1658	1746	1859	1754
ITS (kPa)*	74	83	75	78	74	78	83	78
ITSR (%)**								100,7

* ITS = (2*1000*P)/[n*h*D], kPa **ITSR = 100*ITSvåd/ITSør, %

Stivhedsmodulbestemmelse (DS/EN 12697-26, IT-CY)

Ref.indstamp.:	Bl.7: 1,0% cement, t=20°C, normal curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,833	1,833	1,815	1,827
D (mm)	151,9	151,8	151,7	151,8
h (mm)	60,7	60,7	61,4	60,9
ITSM 20°C (Mpa)	850	744	860	818

Ref.indstamp.:	Bl.H, 1,0% cement, curing 7 dg/10°C			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,879	1,878	1,868	1,875
D (mm)	152,0	151,8	152,0	151,9
h (mm)	59,7	60,1	60,3	60,0
ITSM 20°C (Mpa)	708		300	504

Ref.indstamp.:	Bl.G, 1,0% cement, curing 28 dg/10°C			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm ³)	1,847	1,835	1,853	1,845
D (mm)	152,2	152,1	152,1	152,1
h (mm)	60,1	60,5	60,3	60
ITSM 20°C (Mpa)	469	545	530	515

Bemærkninger til de tre blandinger:			
Blanding:	2019-7	2020-H	2020-G
Genbrugstemp.	20°C	10°C	10°C
Blandetemp.	20°C	10°C	10°C
Afformn. Efter:	4t/40°C	2 dg/10°C	3 dg/10°C
Curing (t/temp)	3dg/40°C	7 dg/10°C	28 dg/10°C

Konklusion	
Spaltetrækstyrke og Vandfølsomhed:	Tør-spaltetræk-værdier falder med ca. 35% hhv. 50% efter 7 hhv. 28 døgn v/ 10°C Modstand mod vandfølsomhed lav efter 7 døgn v/10°C men stiger overraskende igen efter 28 døgn v/10°C
Stivhedsmodul:	Falder med ca. 35% ved lagring ved 10 grd.C Gælder både efter 7 og 28 døgn

Hoved-konklusion: Normal curing 40 grdC er mere effektiv end langtidslagring v/10 grd C



BSM MIX-design data, Supplerende tests 2020

Hydratkalk- Udsat indstampning og temperatur/curing-variation 5°C

- Oversigt over resultater inkl. delresultater

Blanding D: 2,0% hydratkalk, std. Curing 40°C. Blanding J: Som bl.D men 24t i spand v/20°C før indstamp + normal curing,
Blanding K: som D men blandet 5°C +curet 7 dg v/5°C

GMA: 0/16 mm knust asfalt Kilde nr. 4 Wopt = 5,1% Mod.Proctor densitet 1,94 g/cm³
Bitumenindhold: 2,1% fast W% i skum: 2,8% fast Bitumentype: 70/100, Leverandør 1 Fillerindhold: 2,0% hydratkalk

Spaltetrækstyrkedata og vandfølsomhed (DS/EN 12697-23 og -12):

Emne	BL.D: Mix design, 2,0% HYDRATKALK, blandetemp. Ca. 20°C, normal curing							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm³)	1,879	1,88	1,888	1,882	1,880	1,882	1,882	1,881
D (mm)	151,8	152	151,8	151,9	151,8	151,8	151,8	151,8
h (mm)	93,8	93,8	93,5	93,7	93,9	93,8	93,7	93,8
P (N)	2663	2400	2575	2546	2389	2527	2376	2431
ITS (kPa)*	119	107	115	114	107	113	106	109
ITSR (%)**								95,4

Emne	2020 BL.J: Mix design, 2,0% hydratkalk, 24t lagring før indstamp, normal curing 40°C							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm³)	1,877	1,874	1,876	1,876	1,877	1,883	1,878	1,879
D (mm)	151,9	151,8	151,9	151,867	151,9	151,9	151,9	151,9
h (mm)	93,6	93,7	94	93,8	94,1	93,6	93,9	93,9
P (N)	3064	3366	3341	3215	3304	3178	3342	3275
ITS (kPa)*	137	151	149	146	147	142	149	146
ITSR (%)**								100,4

Emne	2020 BL.K: Mix design, 2,0% hydratkalk GMA-temp. 5°C, curing 7 døgn v/ 5°C							
Konditionering	TØR				VÅD			
Prøve nr	1	2	3	GNSN	4	5	6	GNSN
Densitet (g/cm³)	1,910	1,914	1,926	1,917	1,921	1,930	1,923	1,925
D (mm)	151,8	152	151,9	151,9	152	151,8	151,8	151,9
h (mm)	93,8	94,1	93,2	93,7	94	93,8	93,8	93,9
P (N)	1043	1005	1030	1026	113	188	276	192
ITS (kPa)*	47	45	46	46	5	8	12	9
ITSR (%)**								18,7

*) ITS = (2*1000*P)/(π*h*D), kPa **) ITSR = 100*ITSvåd/ITSør, %

Stivhedsmodulbestemmelse (DS/EN 12697-26, IT-CY)

Ref.indstamp.:	Bl.D, 2,0% HYDRATKALK, t=20°C, normal curing			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm³)	1,858	1,861	1,819	1,846
D (mm)	151,7	151,8	151,9	151,8
h (mm)	60	59,9	61,2	60,4
ITSM 20°C (Mpa)	780	863	751	798

Bemærkninger til de tre blandinger:	2020-D	2020-J	2020-K
Blanding:	20°C	20°C	5°C
Gbr&Blandetemp:	20°C	20°C	5°C
lagr. før indstamp:	0	24 timer	0
Afforn. efter:	4t/40°C	4t/40°C*	2 dg/5°C
Curing (t/temp)	3dg/40°C	3 dg/40°C	7 dg/5°C

*) Blanding J er først indstampet efter 1 døgn lagring v/20°C i lufttæt spand

Ref.indstamp.:	Bl.J, 2% Hydr.kalk, 1 døgn udsat indstamp, norm cur 40°C			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm³)	1,85	1,838	1,827	1,838
D (mm)	151,9	152,1	152,2	152,1
h (mm)	59,8	60,2	60,6	60,2
ITSM 20°C (Mpa)	855	788	803	815

Konklusion	
Spaltetrækstyrke og Vandfølsomhed:	Både spaltetrækstyrke og vandfølsomhedsmodstand vinder ved lagring af materiale 24 timer før indstampning men data er håbløse efter blanding 5°C og lagring 7døgn ved 5°C
Stivhedsmodul:	Fornings ikke af lagring 1 døgn i spand. Ved prod. og lagring i 7 døgn v/5°C bliver materialet uanvendeligt. Tykke kerner skiller ad i laggrænse og tynde kerner smuldrer ved opsætning til stivhedsmodul (se fotobilag)

Ref.indstamp.:	Bl.K, 2% Hydratkalk, bland 5°C, Curing 7 dg 5°C			
Prøve nr	7	8	9	GNSN
Densitet (g/cm³)	1,925	1,916	1,918	1,920
D (mm)	151,9	152,0	151,6	151,8
h (mm)	59,5	59,0	59,5	59,3
ITSM 20°C (Mpa)	0	0	0	0

Hoved-konklusion: BSM med hydratkalk kan godt opbevares 24t i lukket spand. Lagring v/5°C er ikke anvendelig