

HVID BETON

– HOLDBAR OG BRUGBAR

Jacob Thrysoe | Teknisk Konsulent, M.Sc. | Aalborg Portland A/S, Industri
E-mail: jacob.thrysoe@aalborgportland.com

Hvid cement fra Aalborg Portland, AALBORG WHITE, har en række gode egenskaber, når det anvendes til beton, der skal stå i særligt aggressivt miljø. Herved kan vejbroer og havnekonstruktioner etableres med samme gode holdbarhed, som hvis der var anvendt Lavalkali Sulfatbestandig cement.

Ud over holdbarhed, kan beton baseret på AALBORG WHITE produceres og udstøbes på samme vis som betoner produceret med mere almindelig cement, fx Rapid cement, herunder som SCC beton.

I denne artikel trækkes en række holdbarhedsmæssige egenskaber frem, og der gives en anvisning i sammensætning og blanding af SCC-beton med AALBORG WHITE.

HOLDBARHED

Sammensætningen af AALBORG WHITE gør, at cementen karakteriseres som værende alkali- og sulfatbestandig. Cementbetegnelsen ifølge EN 197-1 er: "CEM I 52,5 R – SR5 (EA)". Hermed kan AALBORG WHITE sammenlignes med Lavalkali Sulfatbestandig cement, der har cementbetegnelsen: "CEM I 42,5 N - SR5 (EA)". Lavalkali Sulfatbestandig cement anvendes typisk til bro- og havnekonstruktioner i Danmark, hvilket er begrundet i mange års erfaring med denne cementtype.

AALBORG WHITE har god modstandsevne mod sulfatangreb, idet indholdet af klinkermineralet C_3A er relativt lavt, <5%; produkter fra C_3A 's reaktion med vand nedbrydes i sulfatholdige miljøer, [5]. I Danmark er det dog sjældent, at anlægskonstruktioner udsættes for sulfatpåvirkning i nævneværdig grad, hvorfor man kan argumentere for, at også andre cementtyper, som fx Rapid cement, oftest vil kunne anvendes.

Alkaliindholdet i AALBORG WHITE er mindre end 0,3% ækv. Na_2O , hvilket er lavt sammenlignet med andre cementtyper. Idet der i "DS/EN 206 DK NA:2019" er sat en grænse for mængden af alkali i beton i moderat, aggressiv og ekstra aggressiv miljøklasse, og cementen tilmed har et lavt chloridindhold ($\leq 0,04\%$), er det nemmere at overholde standardens grænser med AALBORG WHITE end ved anvendelse af mange andre cementer.

Holdbarheden af beton baseret på AALBORG WHITE er tidligere eftervist og dokumenteret gennem en række undersøgelser. I [1] blev forskellige betonsammensætninger med AALBORG WHITE sammenlignet med beton med pulver-sammensætning som beton til Storebæltsforbindelsen ved følgende undersøgelser:

- Friskbetonegenskaber
- Styrkeegenskaber (tryk, træk og E-modul)
- Frost/tø modstandsevne (jf. SS137244)
- Adiabatisk varmeudvikling
- Kloridindtrængning (jf. NT BUILD 492 og NT BUILD 443)

De væsentligste resultater fra undersøgelserne var:

- Den tidlige styrkeudvikling for de hvide betoner er højere end for referencebetonen
- Det endelige styrkeniveau for de hvide betoner er på niveau med referencebetonen



- Varmeudviklingen i den tidlige alder for de hvide betoner er højere end for referencebetonen
- Frostbestandigheden af de hvide betoner er på samme høje niveau med referencebetonen
- Tilsætning af mikrosilica i størrelsesorden 5 % medfører kloriddiffusionskoefficienter på niveau med referencebetonen; referencebetonen indeholder 5 % mikrosilica og 10 % flyveaske.

Overordnet set er det således dokumenteret, at man kan lave betoner baseret på AALBORG WHITE med samme gode holdbarhed som betoner baseret på Lavalkali Sulfatbestandig cement. Undersøgelserne er valideret af COWI, [2].

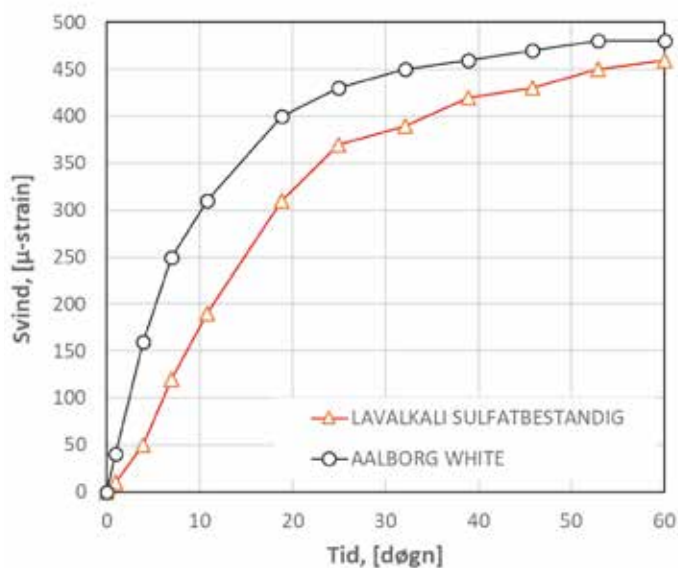
HVID BETON OG SVIND

Uanset cementtype vil beton udsættes for forskellige former for svind. Beton kan i princippet både svinde og svulle, men idet betonen i frisk tilstand er vandmættet, er det i praksis kun svindet, som har betydning.

I [3] er svind for beton baseret på hhv. AALBORG WHITE og Lavalkali Sulfatbestandig cement sammenlignet:

- AALBORG WHITE forventes at være lidt mere følsom overfor plastisk svind, idet den er finere formalet end Lavalkali Sulfatbestandig cement. Begge cementer har dog en tendens til let bleeding, hvilket forbedrer forholdene mht. plastisk svind i forhold til andre cementer. Hvis Lavalkali Sulfatbestandig cement iblandes flyveaske eller mikrosilica, som det ofte sker, vil risikoen for plastiske svindrevner øges markant
- Hydratiseringssvindet er det samme for de to cementtyper. Svindet forløber dog hurtigere for AALBORG WHITE, idet C_3S -indholdet og finheden er højere end for Lavalkali Sulfatbestandig cement
- Selvudtørringssvind (autogent svind) er det samme for de to cementtyper, ved fuldstændig hydratisering. I figur 1 er vist eksperimentelle resultater for udtørringssvind for beton baseret hhv. AALBORG WHITE og Lavalkali Sulfatbestandig cement. Som forventet er svindet indledningsvist større for den hurtigthærdnende AALBORG WHITE, men efter ca. 60 døgn er den relative forskel under 5 %, og forventes at udlignes helt med tiden.

NYT FRA AALBORG PORTLAND



Figur 1 - Udtøringsvind for beton – frit svind.

Mange års erfaring med betonkonstruktioner med AALBORG WHITE understøtter ovenstående betragtninger, og har vist, at forskellene i svindforløbet ift. Lavalkali Sulfatbestandig cement ikke giver problemer i praksis.

HÆRDNING AF HVID BETON

Hvid cement udvikler mere varme under hydratisering end Lavalkali Sulfatbestandig cement. Til gengæld udvikler den hvide cement hurtigere tryk- og trækstyrke. Beregninger

foretaget af COWI viser, at der ikke er større risiko for revnedannelse, end hvis der i en tilsvarende beton anvendes Lavalkali Sulfatbestandig cement, [4].

Grundlaget for beregningerne er de samme betonsammensætninger som anvendt i ovenstående undersøgelser af holdbarhed, [1]. Den overordnede konklusion på beregningerne er:

- Beton baseret på AALBORG WHITE udvikler mere varme under hydratisering, og dermed også større temperaturdifferencer under hærtningsforløbet, end den grå referencebeton
- Den undersøgte hvide beton kan dog modstå større temperaturdifferencer end den grå referencebeton
- Dette betyder, at risikoen for revnedannelse under hærtningen for hhv. hvid og grå beton er sammenlignelig.

Overordnet viser beregningerne, at udviklingen i trækstyrken for beton baseret på AALBORG WHITE i forhold til de spændinger der introduceres som følge af temperaturdifferencerne, er stor nok til at optage disse op til en højere temperaturdifference, end tilfældet er for referencebetonen.

HVID BETON SOM SCC

Forudsætningen for, at en beton opnår god holdbarhed i en given konstruktion er, at denne kan placeres i formen på en måde, som er brugbar i praksis, samtidigt med, at betonkvaliteten opretholdes.

Der er allerede i dag mange producenter, som rutine-



mæssigt laver velfungerende hvide SCC betoner, men det som er en selvfølge for nogle, kan være svært for andre.

Oftest er udgangspunktet en eksisterende SCC beton, hvor man forsøger at erstatte den grå cement (fx RAPID cement) med AALBORG WHITE i forholdet 1:1 uden yderligere korrektioner. Resultatet er tit og ofte separation, bleeding eller uacceptabel bearbejdighed af betonen. Dette har gennem tiden bidraget til, at det opfattes som relativt svært at lave SCC beton baseret på AALBORG WHITE.

På Aalborg Portland er der med udgangspunkt i egne erfaringer og med input fra kunder arbejdet med at konvertere SCC beton baseret på grå cement til SCC beton baseret på AALBORG WHITE. Der har været gennemført en række laboratorieforsøg, hvor resultatet er simple tommelfingerregler for hvorledes konverteringen med fordel gribes an:

1. Udskift grå cement med AALBORG WHITE 1:1
2. Reducer vandindholdet med 5 %
3. Reducer Superplastificeringsmiddel med 25 %
4. Reducer luftindblandingsmiddel med 50 % (baseret på et luftindhold på ca. 6 %. Hvis ikke der har været anvendt luftindblandingsmiddel, skal det tilsættes!)
5. Lav prøveblanding og juster til ønsket flydesætmål og luftindhold

En parameter som har betydning for betonens flydeegenskaber er den anvendte sand. Det ses ofte, at der til hvid SCC beton anvendes enskornet lyst sand, indeholdende relativt lidt filler. Herved kan der være en tendens til, at betonen mister stabilitet og separerer, og det generelt bliver svært at opnå de ønskede flydeegenskaber. En løsning kan være at øge cementindholdet eller tilsætte andet lyst filler med en kornstørrelse under 0,25 mm. For meget finstof vil på den anden side medføre dårligere flydeegenskaber, og bør derfor undgås.

BLANDEPROCEDURE

Som ved al SCC produktion er blandeproceduren vigtig for at opnå robuste flydeegenskaber. Det kan generelt anbefales, at man anvender noget der ligner følgende blandeprocedure:

1. Tilsæt tilslagsmaterialer og cement
2. Bland 10 sekunder
3. Tilsæt vand, luftindblandingsmiddel og evt. sort plast
4. Bland yderligere i 20-30 sekunder
5. Tilsæt superplast
6. Bland færdig

Herved sikres, at luftindblandingsmidlet får lov til at virke i betonen og danne en god luftporestruktur, før superplasten kan nå at interagere med diverse partikeloverflader, og derved forstyrre luftindblandingsmidlets virkemåde.

Generelt er det vigtigt, at der er en vis mængde god kemisk luft i betonen, for at denne er stabil. Et luftindhold



på 5-7 % giver en passende konsistens, hvor mindre luft gør betonen hurtigflydende med risiko for separering, og mere luft gør betonen langsommere flydende og trægere.

SAMMENFATNING

Sammenligning af beton baseret på hhv. AALBORG WHITE og Lavalkali Sulfatbestandig cement viser, at betonerne:

- har samme gode holdbarhed
- har samme svindegenskaber
- har samme risikoniveau for temperaturinduceret revnedannelse
- kan produceres og støbes ud som SCC-beton.

Beton baseret på AALBORG WHITE er derfor velegnet til holdbare infrastrukturprojekter der kan udstøbber effektivt.

REFERENCER

- [1] Jacob Thrysoe, White Concrete for aggressive environment, Aalborg Portland A/S, 2004.
Kan downloades fra www.aalborgwhite.com.
- [2] Steen Rostam, White cement for aggressive environment – Evaluation Report, COWI, 2003.
Kan downloades fra www.aalborgwhite.com.
- [3] Thorkild H. Rasmussen, Hvid beton og svind, Dansk Beton nr. 4, 2005. Kan downloades på www.danskbeton.dk.
- [4] Aalborg White – Concrete Hardening, COWI, 2006.
Kan downloades fra www.aalborgwhite.com.
- [5] Beton-Bogen, Aalborg Portland A/S, 2. Udgave 1985.
Kan downloades fra www.aalborgportland.dk.