



Ny cement til anlægskonstruktioner

Jacob Thrysøe
Teknisk konsulent, M.Sc.

Portland Open 2022

LAVALKALI SULFATBESTANDIG CEMENT

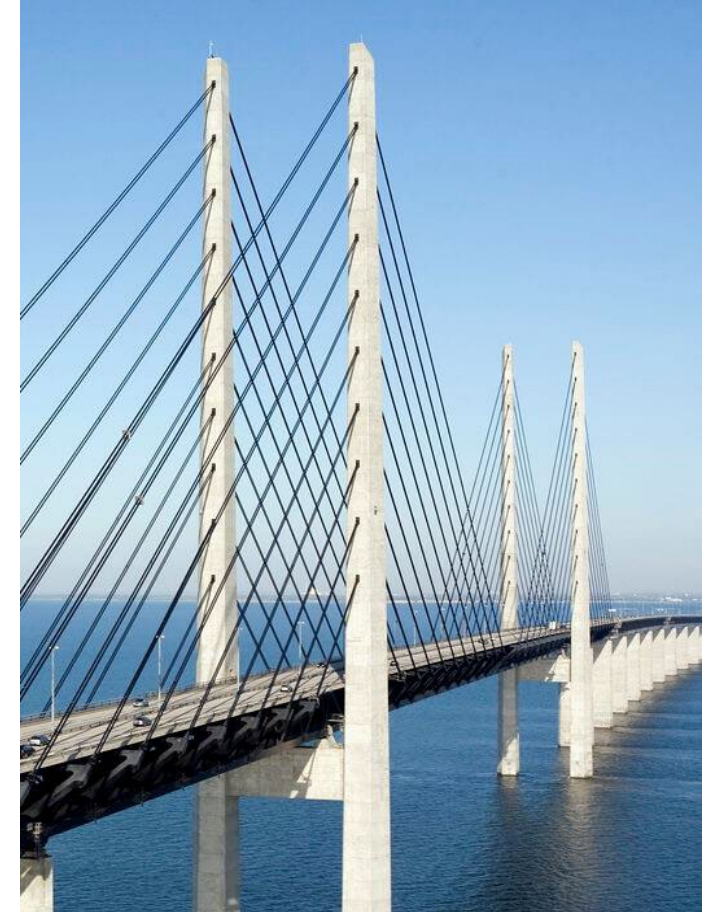
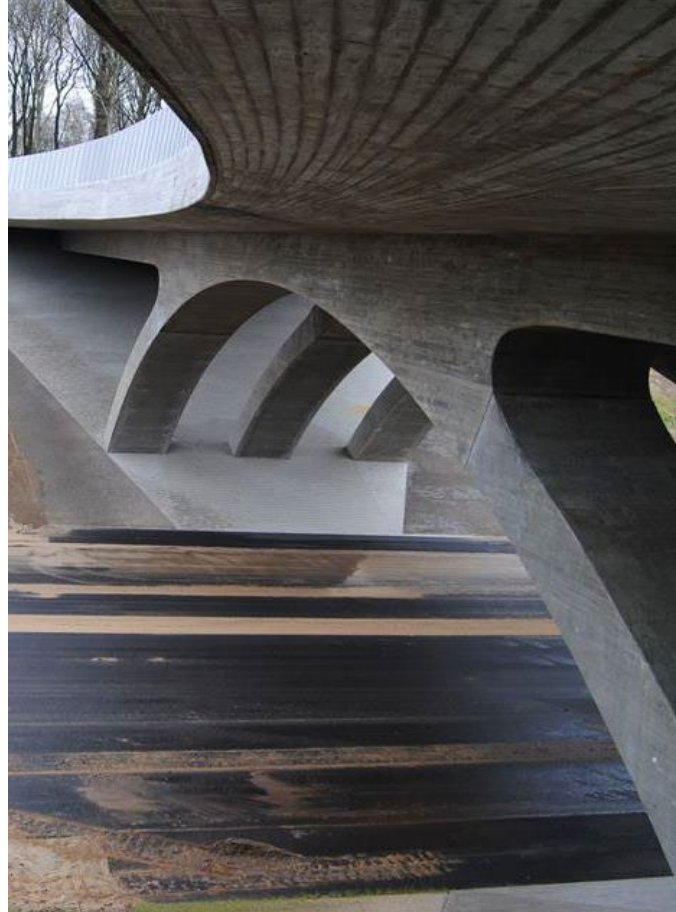
(CEM I 42,5 N - SR 5 (EA): Portlandcement)

Bliver til:

AALBORG SOLID CEMENT

(CEM II/A-V 42,5 N (EA): Portlandflyveaskecement)

AALBORG SOLID CEMENT



Cementen der binder Danmark sammen!

| Ny cement til anlægskonstruktioner

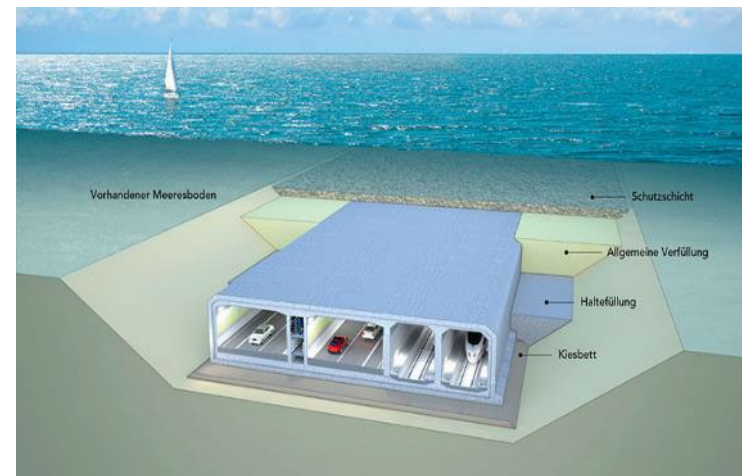
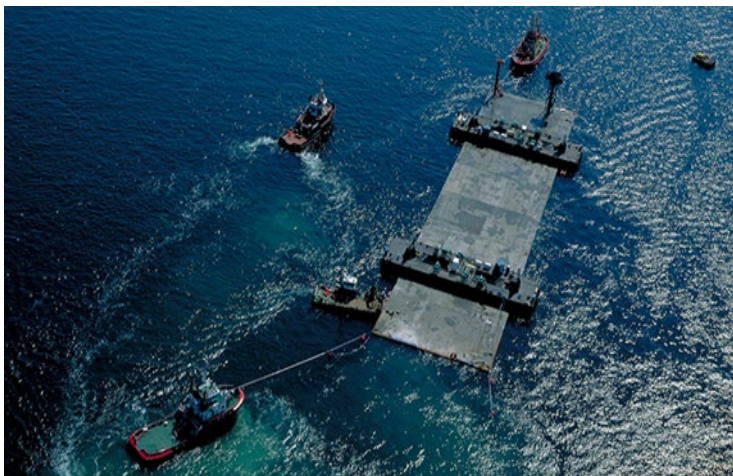
Agenda:

- Hvorfor en ny cementtype?
- Sammensætning og produktion af CEM II/A-V
- Cementegenskaber af CEM II/A-V
- Egenskaber i beton – foreløbige erfaringer
- Tidslinje for implementering.

Ny cement til anlægskonstruktioner

Hvorfor en ny cementtype?

1. Femern Bælt forbindelsen:
 - Aalborg Portland byder ind med en CEM II/A-V
 - Skal produceres i et omfang på ca. 250.000 tons per år i en årrække
2. Lavalkali cement produceres i dag med ca. 60.000 tons per år, og erstattes derfor af logistikmæssige årsager: AP har ikke plads til to cementtyper, der skal anvendes til samme formål
3. CO₂ belastning fra alle produkter fra Aalborg Portland A/S **skal** sænkes.



Ny cement til anlægskonstruktioner

Ny cement? – ikke helt....:

- **Standard-Cement** fra Aalborg Portland
- Portlandflyveaskecement, CEM II/B-V, m. ca. 22% flyveaske
- På markedet: 1981 – ca. 1995.



Portland-Flyveaske-Cement

Anvendelse af flyveaske ved fremstilling af beton med henblik på forbedring af nogle af betonens egenskaber (konsistens, samlet på en vis reduktion af betonens cementindhold og dermed forbedring af økonomien har vundet indpas i Danmark i de seneste år og vinder stadig større udbredelse.

Som et supplement til mulighederne for at forbedre økonomien ved betonfremstilling og med sigte på at søge de stadigt voksende mængder og i øvrigt også forbedrede kvaliteter af flyveaske anvendt på rationel måde har Aalborg Portland besluttet at starte produktion og markedsføring af en flyveaskeblandet cement i løbet af foråret 1981.

Forud for denne beslutning er gået et omfattende udviklingsarbejde, og på grund af resultaterne heraf er man igang med at etablere de nødvendige, ret omkostningskrævende produktions- og distributionsanlæg.

I det følgende gives der en kort redegørelse for den nye cementtypes kvalitet og brugsmæssige egenskaber:

Kvalitet

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Indholdet af flyveaske i Portland-Flyveaske-Cement, der vil blive handelsbetegnelsen for den nye cement, er maksimalt 35%, forstøt 35% af den samlede mængde af portlandcement + flyveaske. Typisk vil indholdet dog normalt ligge mellem 25 og 30%. Når den øvre grænse på 35% er nævnt og valgt, hænger det sammen med, at der fra CEN (den europæiske normkomité) foreligger et forslag til definition og klassifikation af cement. Dette forslag, der forventes at blive til europæisk standard i løbet af et års tid, omtaler fire hovedtyper af cement, nemlig I) Portland-cement (der kan indeholde op til 5% af andet uorganisk materiale), II) Portland-Puzzolan-Cement, III) Slaggecement og IV) Puzzolan-Cement. Type II, Portland-Puzzolan-Cement, er defineret ved, at den kan indeholde fra 10 til 35% af slagge, naturlig puzzolan eller flyveaske. Aalborg Portland's nye cement vil derfor være en type II standard.

Cement, såfremt der skal leveres beton til støbninger, hvor farvevariationer ikke kan tolereres.

Densitet. Da flyveaske er lettere end portlandcement, vil pulverdensiteten være mindre end for Portland-Cement, nemlig omkring 2800-2900 kg/m³.

Atbinding. Ligesom for flyveaskeblandet beton vil afbindingstiden være noget længere end for ren cementbeton. Tiden til bealværende afbinding må således påregnes svarende til 15-20°C. Ved lave temperaturer må der påregnes endnu længere afbindingstid, og man bør eventuelt overveje at tilsætte et afbindingsaccelererende middel, såsom f.eks. calciumformiat.

Styrke. Som nævnt ovenfor formales cementen til en sådan finhed, at der kan påregnes opnået stort set samme betonstryrke med Portland-Flyveaske-Cement som med Portland-Cement. Ved betonproportionering kan Portland-Cement således erstatte med Portland-Flyveaske-Cement uden væsentlige ændringer af hidtidige blandetabeller.

Luftindblanding. Ligesom for flyveaskeblandet beton må der påregnes en større dosering af luftindblandingsmiddel end i luftindhold. Her må man imidlertid prøve sig frem, fordi erfaringen har vist, at forhøjet forskellig effekt.

Plastisk svind. Cementens flyveaskeindhold indebærer en lidt øget risiko for betonens friske tilstand. Ved støbning i vejrforhold bør man derfor være særlig opmærksom på tildækning af den ny-støbte beton.

Svind og krybning. Beton med flyveaske og krybning som beton med almindelig portlandcement under forudsætning af samme cement- og vandindhold.

Holdbarhed. I holdbarhedsmæssig henseende vil der ikke være nævneværdig forskel på beton med flyveaskecement og beton med almindelig portlandcement. Flyveaskecementen vil på grund af sit flyveaskeindhold have et mindre indhold af vandopløselige alkalier end ren portlandcement og må derfor - alt andet lige - anskalkisreaktioner end ren portlandcement. Det er kendt, at puzzolanitværelse medfører øget holdbarhed overfor sulfatangreb, og hidtidige laboratorieundersøgelser har da også bekræftet, at flyveaskecement giver større sulfatbestandighed end ren portlandcement.

Langtidsegenskaber. Langtidserfaringer med beton fremstillet med flyveaskecement findes naturligvis endnu ikke her i landet. Men i udlandet, navnlig i Frankrig,

Anvendelse

Portland-Flyveaske-Cement anvendes til al normal beton, undtagen hvor forholdene taler for anvendelse af en hurtighærdende cement eller en anden specialcement.

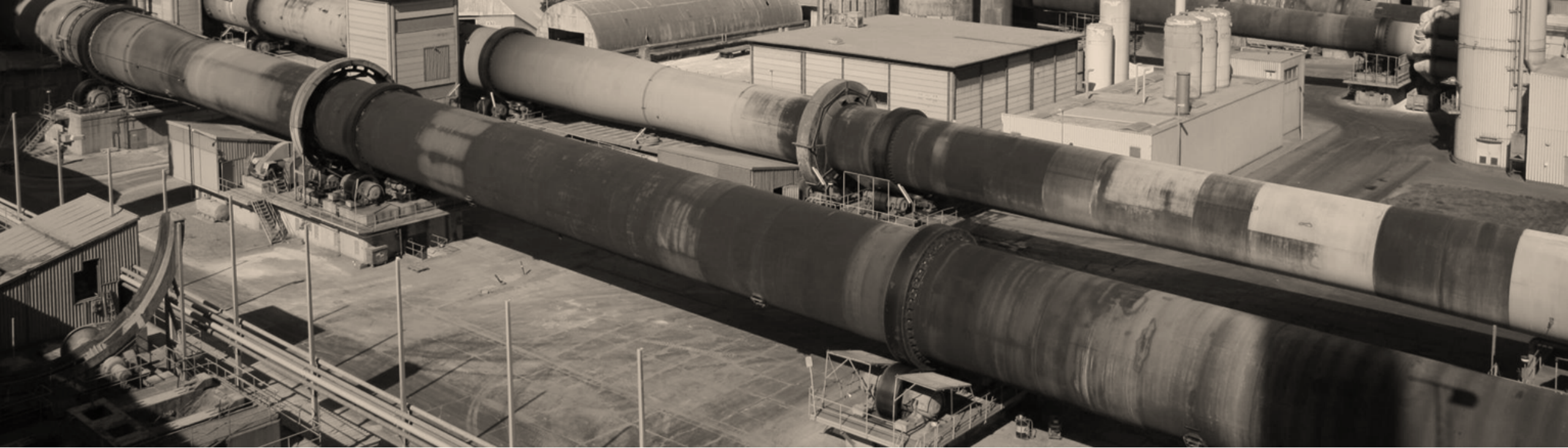
Ved anvendelse til armeret beton bør der på grund af den lidt forøgede karboniseringshastighed ikke benyttes lavere betonstyrkeklasse end 20 MN/m² for beton i miljøklasse C og 25 MN/m² for beton i miljøklasse B. For armeret beton spiller dette forhold ingen rolle.

Normer og standarder

Der findes endnu ingen danske regler for anvendelse af flyveaskecement, men Dansk Ingeniørforenings permanente nemidvælg for betonkonstruktioner har vedtaget et nedsatte et udvalg til udformning af en dansk standard for Portland-Flyveaske-Cement. Desuden vil man i forbindelse med den igangværende revision af DIF's norm for betonkonstruktioner, DS 411, søge at tage hensyn til den udvikling vedrørende brug af puzzolaner (især flyveaske og silicag) til cement og beton, som for tiden er i gang.

Litteratur

(1) Tsukayama, R. et al.: »Long-term ex-



Sammensætning og produktion af CEM II/A-V cement

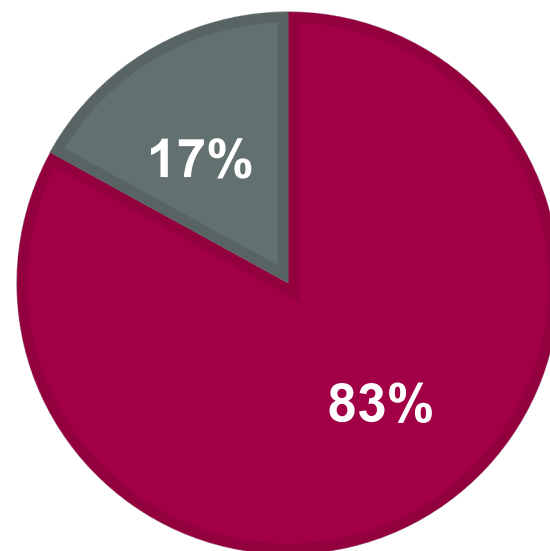
Flyveaskecement fra Aalborg Portland – CEM II/A-V

Sammensætning:

FLYVEASKE

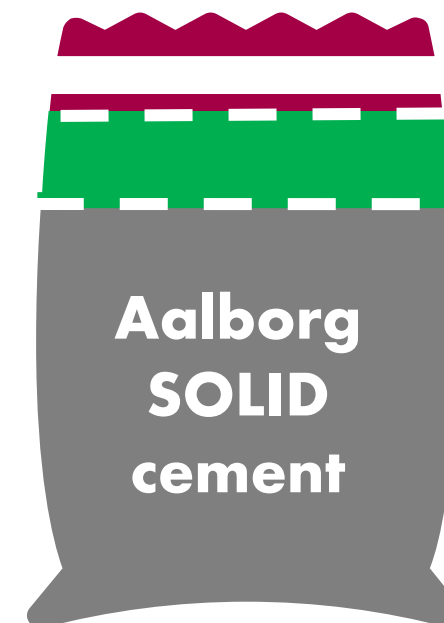


Cementklinker



■ Cementklinker ■ Flyveaske

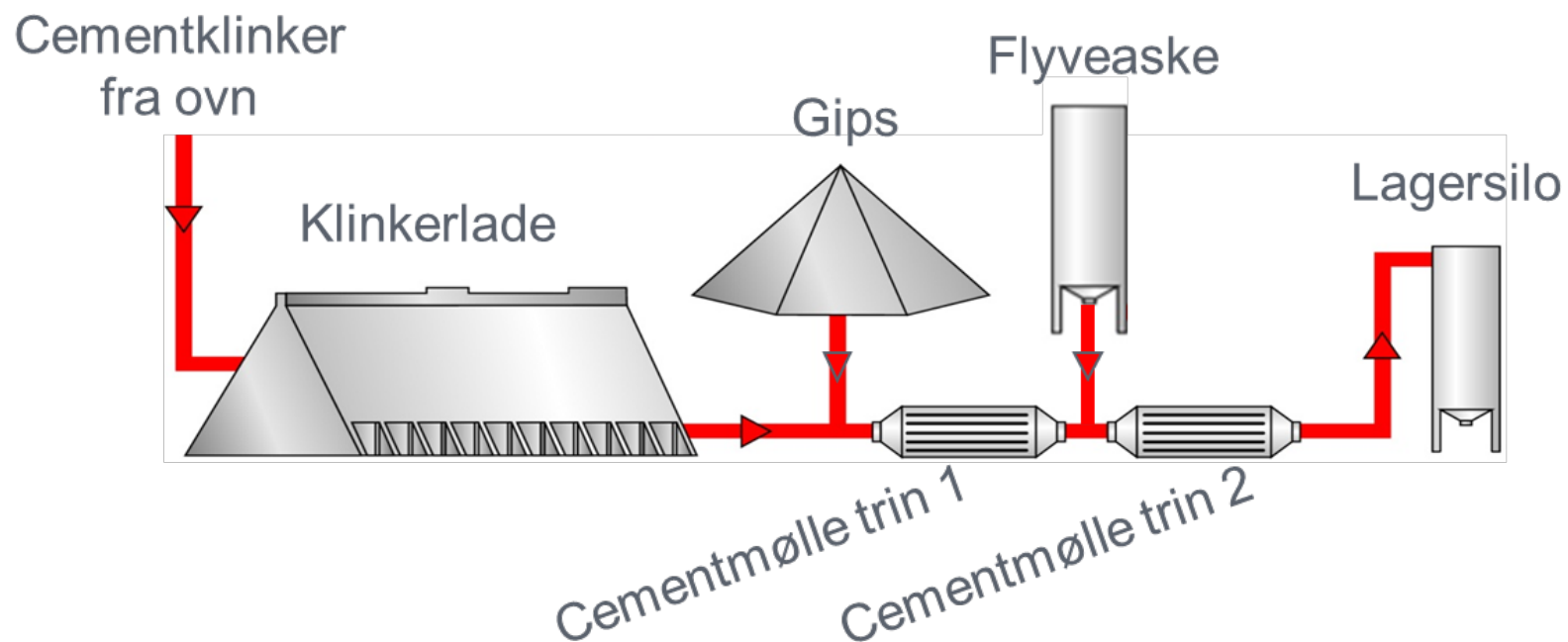
+3-4 % gips



Flyveaskecement fra Aalborg Portland – CEM II/A-V

Produktion af CEM II/A-V

- Flyvasken tilsættes efter cementmølle trin 1, hvorefter den samformales med cementklinker i cementmølle – trin 2:





Cementegenskaber

Flyveaskecement fra Aalborg Portland – CEM II/A-V

Sammensætning

- Cementklinker er tilsvarende dem, der i dag anvendes til at producere Lavalkali Sulfatbestandig cement:

Bogue – Klinkersammen-sætning	Lavalkali sulfat-bestandig cement	Aalborg SOLID cement
	CEM I	CEM II/A-V
C_3S	44	45
C_2S	36	34
C_3A	5	5
C_4AF	12	13

C_3A indhold som i en **SR5** (sulfatbestandig) cement

- Ingen "andre bestanddele" (er tilladt tilsat cement jf. EN 197-1)
- Ekstra lavt alkaliindhold (<0,4).
- Flyveaske efter EN 197-1.

Flyveaskecement fra Aalborg Portland – CEM II/A-V

Styrkeudvikling - targetværdier:

Egenskaber	Lavalkali sulfatbestandig cement	Aalborg SOLID cement
	CEM I	CEM II/A-V
1d trykstyrke, MPa	11	10
2d trykstyrke, MPa	18	16
7d trykstyrke, MPa	30	27
28d trykstyrke, MPa	58	58

Flyveaskecement fra Aalborg Portland – CEM II/A-V

Kemiske egenskaber:

Egenskaber	Lavalkali sulfatbestandig cement	Aalborg SOLID cement
	CEM I	CEM II/A-V
Na ₂ O ækv. syreopl., %	≤ 0,4	≤ 0,3
Cl ⁻ , %	≤ 0,02	≤ 0,02
SO ₃ , %	2,7	2,4

Flyveaskecement fra Aalborg Portland – CEM II/A-V

Andre fysiske egenskaber:

Egenskaber	Lavalkali sulfatbestandig cement	Aalborg SOLID cement
	CEM I	CEM II/A-V
Varmeudvikling, kJ/kg	210 – 250	200 – 240
Afbindingstid, min	100 – 160	140 – 180
Fillertype	-	Flyveaske
Fillerindhold, %	-	17
Finhed, m ² /kg	330	410

Flyveaskecement fra Aalborg Portland – CEM II/A-V

CO₂ aftryk:

Produkt navn	Global Warming Potential (kg CO ₂ /ton)	28d trykstyrke (MPa)
Lavalkali sulfatbestandig cement	925	58
Aalborg SOLID cement	737	58

Det samlede CO₂ aftryk ift. Lavalkali cement reduceres med **20 %**.



Flyveaskecement fra Aalborg Portland – CEM II/A-V

DS/EN 206 DK NA:2020:

- Portlandflyveaskecement, CEM II/A-V, er i forvejen godkendt til brug i beton i Danmark... med få begrænsninger, der arbejdes på at få ændret:
 - Skal tillades anvendt i XA2 og XA3, hvis C_3A i cementklinkerne er $< 5\%$
 - Det skal tillades at tilsætte flyveaske til en CEM II/A-V cement såfremt flyveaskedelen i cementen medregnes.
- Aktivitetsfaktor: CEM II/A-V regnes efter standarden med en aktivitetsfaktor på **1,0** for hele cementen.

Vejreglerne:

- Vejdirektoratet har (næsten) godkendt cementen til brug jf. Vejreglerne:
 - Cementklinkerdelen skal opfylde krav til CEM I SR5 ($\Rightarrow C_3A$ skal være $< 5\%$)
 - Cementen skal efter INF 135 have et lavt (LA) eller et ekstra lavt (EA) alkaliindhold
 - Flyveaskedelen skal regnes med en aktivitetsfaktor på **0,5**.





Egenskaber i beton

Betonforsøg

Betonsammensætning

	Beton 1 (100% Lavalkali)	Beton 2 (Lavalkali + FA)	Beton 3 (CEM II/A-V)
Cement ,kg/m ³	400	367	434*
Flyveaske, kg/m ³	-	67*	-
Vand, kg/m ³	160	160	160
v/c-forhold	0,40	0,40	0,40

* Aktivitetsfaktor for flyveaske: 0,5

- Flyveaske-% i forsøg: ca. 15,4% (bestemt af produktionskampagne – sigter efter 17% i løbende produktion)
- Tilstræbte friskbetonegenskaber:
 - Sætmål: 140-180 mm
 - Luftindhold: 5-7%.

Betonforsøg

Friskbetonegenskaber

	Beton 1 (100% Lavalkali)	Beton 2 (Lavalkali + FA)	Beton 3 (CEM II/A-V, 0,5)
Cement ,kg/m ³	400	367	434
Flyveaske, kg/m ³	-	67	-
Vand, kg/m ³	160	160	160

Ændring i sætmaal, 90 min. (mm)	-70 (160 -> 90)	-50 (140-> 90)	-40 (150 -> 110)
Ændring i luftindhold, 90 min (%)	-1,1 (7,1 -> 6,0)	-1,4 (5,5 -> 4,1)	-1,6 (7,3 -> 6,0)
Afbindingstid	4:15	6:00	6:30

Betonforsøg

Styrkeudvikling og E-modul

	Beton 1 (100% Lavalkali)	Beton 2 (Lavalkali + FA)	Beton 3 (CEM II/A-V, 0,5)
Cement ,kg/m ³	400	367	434
Flyveaske, kg/m ³	-	67	-
Vand, kg/m ³	160	160	160
Trykstyrke, 1 dg. (MPa)	13	13	12
Trykstyrke, 2 dg. (MPa)	21	20	21
Trykstyrke, 7 dg. (MPa)	34	32	34
Trykstyrke, 28 dg, MPa	58	57	55
E-modul, 7 dg. (GPa)	31,5	30,4	30,7
E-modul, 28 dg. (GPa)	37,7	35,8	36,5

Betonforsøg

Andre egenskaber – svind og varmeudvikling

	Beton 1 (100% Lavalkali)	Beton 2 (Lavalkali + FA)	Beton 3 (CEM II/A-V, 0,5)
Cement ,kg/m ³	400	367	434
Flyveaske, kg/m ³	-	67	-
Vand, kg/m ³	160	160	160
Svind, 2. dg., ‰	-0,03	-0,06	-0,08
Svind, 28 dg., ‰	-0,23	-0,21	-0,26
Q _∞ , kJ/kg pulver	302	316	269
τ, timer	16,6	22,2	17,9
α, -	0,92	0,85	0,95

Betonforsøg

Andre egenskaber – kloriddiffusion

	Beton 1 (100% Lavalkali)	Beton 2 (Lavalkali + FA)	Beton 3 (CEM II/A-V, 0,5)
Cement ,kg/m ³	400	367	434
Flyveaske, kg/m ³	-	67	-
Vand, kg/m ³	160	160	160
Kloriddiff., CTH, 28 dg.	19,9	20,2	19,6
Kloriddiff., CTH, 56 dg.	11,6	10,6	10,7
Kloriddiff., CTH, 90 dg.	7,4	7,5	6,7

| Betonforsøg – tips til anvendelse i praksis

	Scenarie 1: Udskift LAVALKALI SULFATBESTANDIG cement med AALBORG SOLID:	Scenarie 2: Udskift LAVALKALI SULFATBESTANDIG cement + 17% flyveaske med AALBORG SOLID
Cement- og flyveaske	~ 5-9% ekstra cement for samme 28 dg. styrke	Sammen dosering for samme 28 dg. styrke
Superplastificering	Ca. 20-50% mere SP	Ca. 20-50% mere SP
Luftindblanding	Samme niveau	Samme niveau
Andre egenskaber	• Luftindhold og konsistens over tid er uændret • Afbindingstiden er forlænget	• Luftindhold og konsistens over tid er uændret • Afbindingstiden er lidt forlænget

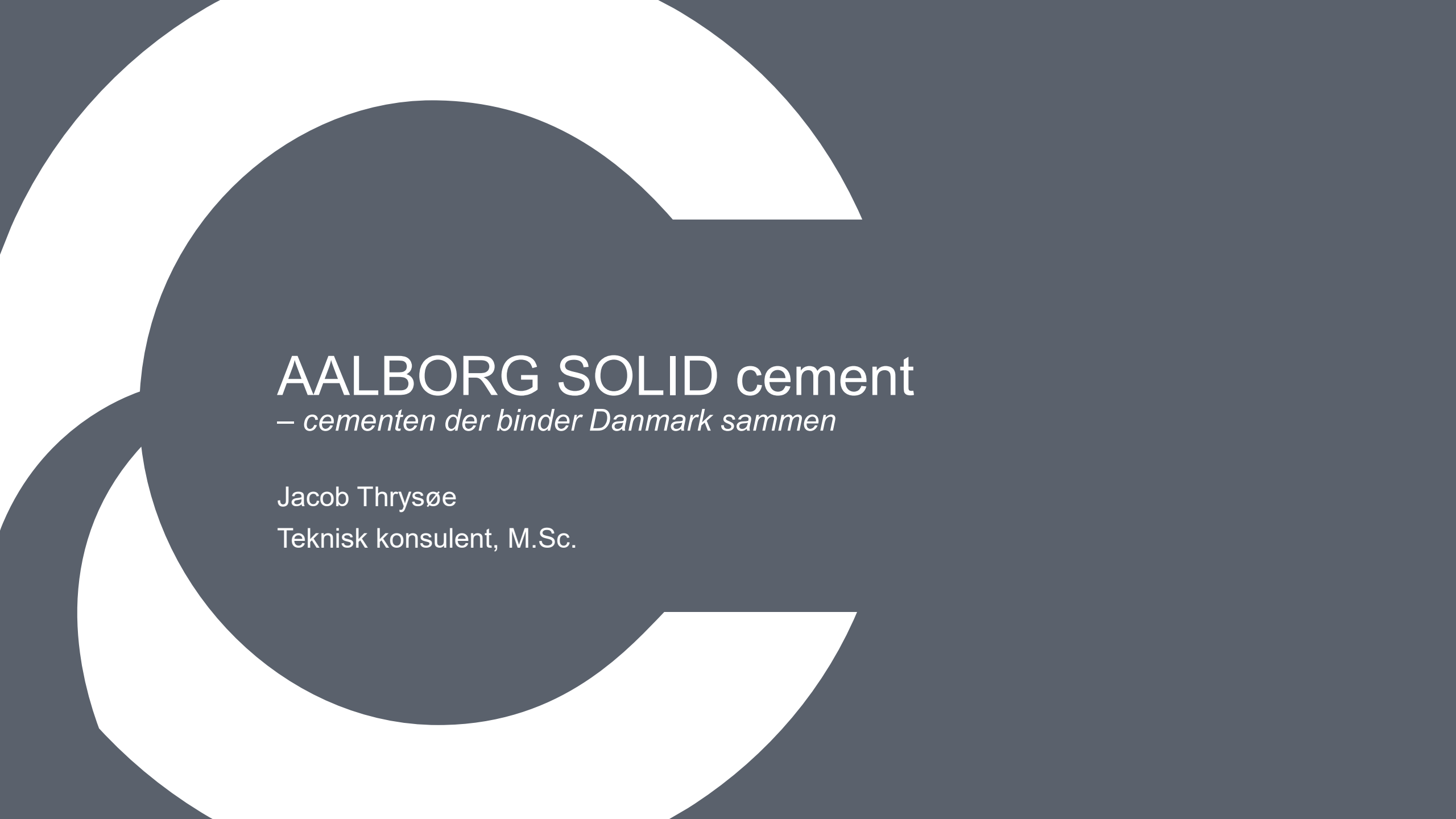


Tidsplan for implementering

| Aalborg SOLID cement - implementering

- **Udvikling og test siden primo 2020**
- **1'ste fuld skala produktion af 1000 tons til silo: 28. februar 2022**
- **Certifikat og EPD er klar medio juli 2022**
- **Klar til udlevering på siloanlæg i Aalborg og Køge:**

1. november 2022



AALBORG SOLID cement

– *cementen der binder Danmark sammen*

Jacob Thrysøe

Teknisk konsulent, M.Sc.