

CO₂-reduceret beton i landbrugsbyggeri

Lisbeth Ulrich Hansen ^a og Søren Jacobsen ^b

^a SEGES Innovation P/S

^b Danish Farm Design

STØTTET AF

Svineavgiftsfonden

Hovedkonklusion

Nye cementtyper, hvor klinker erstattes med kalcineret ler og kalkfiller, kan sammen med den efterfølgende produktion af beton, reducere den nuværende CO₂-udledning med ca. 20 pct. Dette vil også gælde store dele af betonkonstruktioner i et landbrugsbyggeriet, men der er behov for test af både færdigbeton og betonvarer, da disse udsættes for et aggressivt miljø (syre, ammoniak).

Sammendrag

Flere store innovationsprojekter har i samarbejde mellem forskningsinstitutioner og virksomheder udviklet cementtyper, der bidrager til produktion af CO₂-reducerende beton. En af de nye cementtyper er FutureCEM fra Aalborg Portland, som udnytter synergien mellem kalcineret ler og kalkfiller, og reducerer CO₂-udledningen med op til 30 pct. sammenlignet med andre traditionelle cementer. Afhængig af, hvordan betonen sammensættes, er det muligt at opnå en CO₂-reduktion på ca. 20 pct.

En af udfordringerne med FutureCEM er dog, at indholdet af finkornet ler og kalkfiller bevirker, at partikelstørrelsen er mindre for disse materialer sammenlignet med klinker. Dette bevirker, at beton med FutureCEM er mere følsom for udtørring end fx beton med Rapid cement. Derfor er det som altid vigtigt, at kravene til afdækning af nystøbt beton overholdes.

FutureCEM er på nuværende tidspunkt godkendt i de fleste eksponeringsklasser og dermed til langt de fleste almindelige anvendelser. Kun ved påvirkning af særligt kemisk aggressive miljøer, er FutureCEM ikke godkendt på nuværende tidspunkt.

Landbrugets Byggeblade bliver ikke længere ajourført med hensyn til eksponeringsklasser og styrke, og det kan betyde, at der stilles for skrappe krav til beton, hvilket medfører en unødvendig fordyrelse af byggeriet. I samarbejde med Aalborg Portland er der udarbejdet en tabel, som angiver de eksponeringsklasser og trykstyrker, som typisk må forventes som krav til de forskellige konstruktioner i et landbrugsbyggeri. Det skal bemærkes, at tabellen er vejledende, og der kan være særlige forhold, der bør tages forbehold for.

Der er ikke på nuværende tidspunkt etableret landbrugsbyggeri, herunder gyllekanaler, spaltegulvselementer mv., hvor nye typer af cement og beton er anvendt. I andre dele af byggebranchen produceres og leveres dagligt beton med FutureCEM. Beton i landbrugsbyggeri udsættes for aggressive forhold (syre- og ammoniakpåvirkning), og der er behov for målrettede test, så også denne type byggeri kan reducere CO₂-emissionen.

Firmaerne Unicon og IBF leverer færdigbeton og betonvarer til landbrugsbyggeri. De arbejder ligesom Aalborg Portland målrettet med at reducere deres produkters CO₂-aftryk. Dette sker både ved brug af FutureCEM, men også ved at erstatte dele eller hele cementdelen med alternative produkter så som restprodukter fra stålproduktion og, som noget helt nyt, bakterier.

Baggrund

Dansk landbrugsbyggeri benytter i høj grad beton i konstruktionen af vægge, fundamenter, gyllekanaler og bygningens bund. I dag bidrager cementproduktionen med 5 pct. af den totale menneskeskabte CO₂-udledning på verdensplan. Beton anvendes i store mængder og er nok verdens vigtigste konstruktionsmateriale. Alene i Danmark bruges der årligt ca. 8 mio. ton beton (år 2000). Det svarer til 1,5 ton beton pr. indbygger [1]. Dette forbrug var i 2022 steget til ca. 11 ton beton [11].

Klimaaftrykket for hele bygningen samt delelementer kan beregnes med LCAByg-værktøjet [2], der medtager bidrag fra fremskaffelse af råvarer, produktion af byggematerialer, energi- og ressourceforbrug ved drift og vedligehold, samt bortskaffelse og evt. genanvendelse.

Klimaaftrykket i fremtidens stalde skal være langt mindre, og derfor arbejder flere forskningsinstitutioner og virksomheder på at udvikle det, der i daglig tale kaldes *grøn beton*, men som retteligt skal kaldes *CO₂-reduceret beton*. Der arbejdes bl.a. med at fremstille cement ved en lavere forbrændingstemperatur og med anvendelse af alternative råmaterialer, men en "ny" cement betyder også nye betonsammensætninger med deraf behov for nye test og dokumentationer.

Grøn Beton II var et fireårigt forsknings- og udviklingsprojekt støttet af Innovationsfonden, der mandede ud i en ny type cement til anvendelse i beton [1], som forventes at reducere CO₂-udledningen med op imod 30 pct., sammenlignet med traditionel beton. Betonen er blevet testet i tre broer (Vejdirektoratet og Banedanmark) og en bygning på DTU.

Formålet med dette projekt var at beskrive, hvordan cement og beton bliver produceret under danske forhold samt hvilken udvikling, der foregår i produktion af både cement og beton, når udledningen af CO₂ skal reduceres. Herunder vurderes fordele og ulemper ved nye cementtyper, når de efterfølgende skal benyttes i beton til dansk landbrugsbyggeri.

Materialer og metoder

Der er i projektet indsamlet viden om cement og beton via møder med forskningsinstitutioner samt virksomheder, der producerer og leverer cement, beton og betonelementer til landbrugsbyggeri. I det omfang, det var muligt, blev der gennemført korte møder med relevante ressourcepersoner, ligesom information fra virksomheders og forskningsinstitutioners hjemmesider er blevet inddraget (se deltagere og referencer sidst i Notatet).

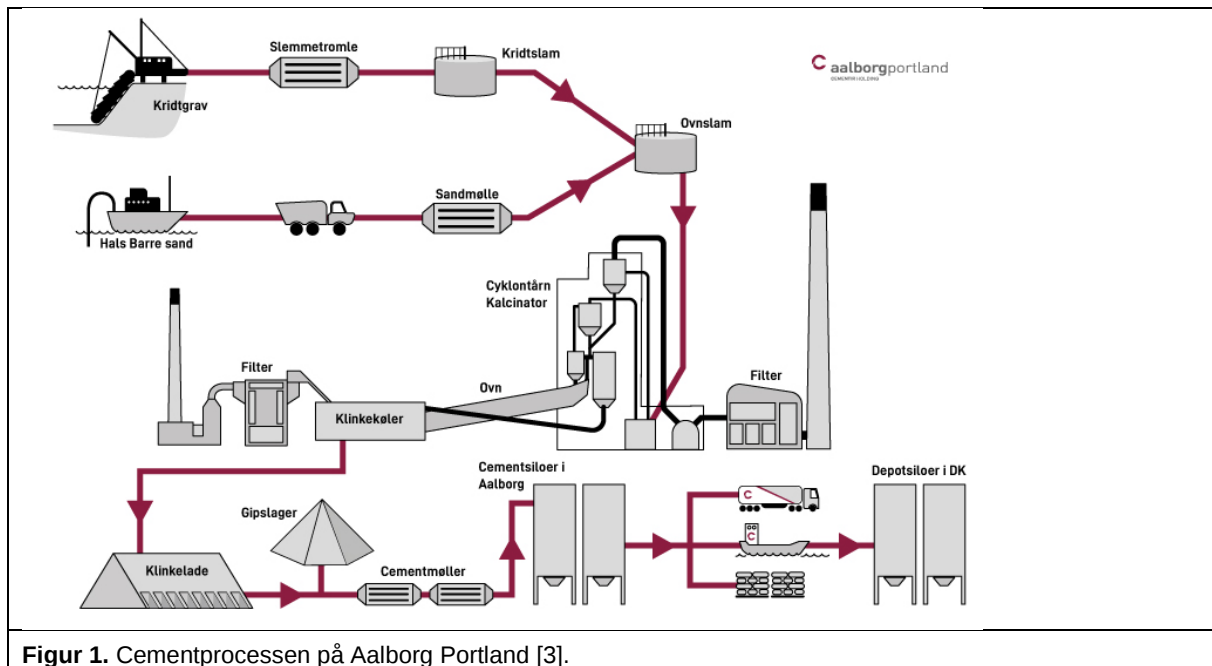
Resultater og diskussion

I de nedenstående afsnit beskrives, hvordan cement produceres hos Aalborg Portland og hvordan alternative materialer benyttes for at reducere CO₂-udledningen. Firmaer som Unicon og IBF producerer færdigbeton og betonvarer, og benytter både nye cementtyper, men også alternativer til

cement. Endelig beskrives, hvordan betonelementer kan genbruges eller knuses og indgå i færdigbeton.

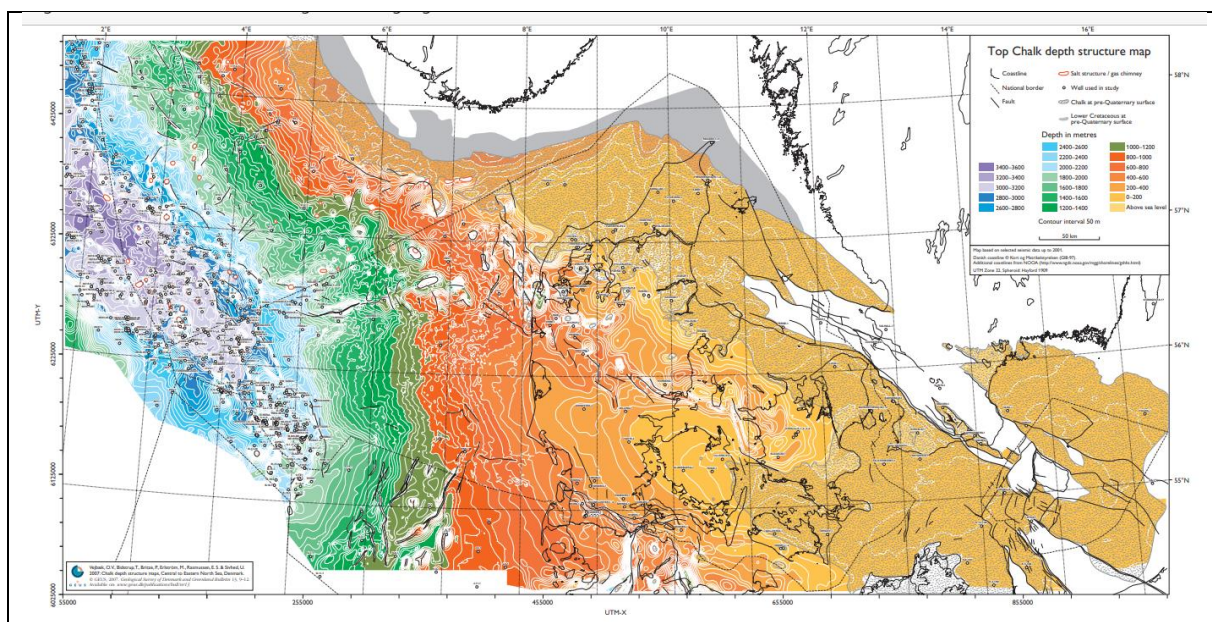
Cement

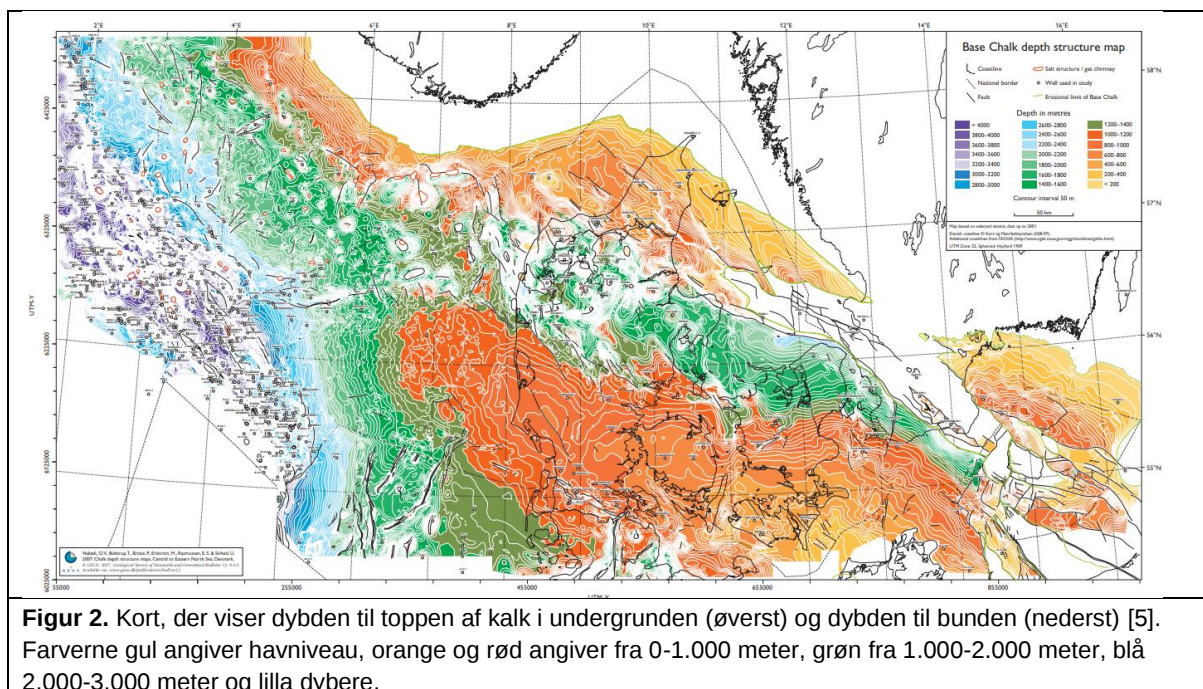
Cement produceres ud fra kridt, ler, sand og jernholdige materialer, som knuses, blandes og opvarmes i en roterovn ved 1.100-1.500 °C. Efter cirka en halv time er alle de kemiske reaktioner færdige, og efter afkøling transporteres de færdige cementklinker til opbevaring indtil de formales til cementpulver. Cementpulveret tilsættes vand og tilslagsmaterialer for at danne beton [3] [4]. I figur 1 er vist processerne, når der produceres cement på Aalborg Portland.



Figur 1. Cementprocessen på Aalborg Portland [3].

Kridt er det vigtigste råstof i forbindelse med produktion af cement, og findes flere steder i Danmark (figur 2). Kridt er dannet for 70 millioner år siden ved ophobning af skaller fra dyr samt planter på den daværende havbund [5]. Som det fremgår af figur 2, er der steder i Danmark, hvor kridt er relativt nemt at udvinde: Stevns, Møn, Thisted og Ålborg.





Figur 2. Kort, der viser dybden til toppen af kalk i undergrunden (øverst) og dybden til bunden (nederst) [5]. Farverne gul angiver havniveau, orange og rød angiver fra 0-1.000 meter, grøn fra 1.000-2.000 meter, blå 2.000-3.000 meter og lilla dybere.

Alt efter hvilken type af cement, der produceres, tilsættes flyveaske, oxiton, kisaske, filterstøv eller papirmasse, som alle er restprodukter fra fx kraftværker, celluloseindustrien og fremstilling af genbrugspapir. Aalborg Portland producerer [3] CEM I: Portlandcement; CEM II: Portlandkompositcement, Portlandflyveaskecement og Portlandkalkstencement. Typene varierer i indhold af cementklinker og puzzolaner. Den nyudviklede CO₂-reducerede FUTURECEM kategoriseres som en CEM II - Portlandkompositcement.

FutureCEM

FutureCEM er en kompositcement, som udnytter synergien mellem kalcineret ler og kalkfiller, og reducerer CO₂-udledningen med op til 30 pct. [3]. Afhængig af, hvordan betonen sammensættes, er det muligt at opnå en reduktion i CO₂-udledningen på ca. 20 pct.

FutureCEM er resultatet af et udviklingsprojekt "*Grøn omstilling af cement og betonproduktion*", der forløb fra 2014-19 og var støttet af Innovationsfonden [1]. Projektet samlede hele værdikæden, og havde til formål at reducere CO₂-aftrykket fra beton ved at undersøge konsekvenserne af at anvende nye alternative cement- og bindersystemer.

Traditionelt består cement af ca. 90 pct. cementklinker og resten er lige dele kalksten og gips. FUTURECEM er af typen CEM II/B-M (Q-LL), hvilket betyder, at andelen af klinker er reduceret fra 90 pct til 65-79 pct., og det samlede indhold af kalcineret ler og kalksten ligger mellem 21-35 pct. [3].

Udvikling af nye typer CO₂-reducerende cementtyper fortsættes i endnu et projekt støttet af Innovationsfonden, CALLISTE (2021-2025) [6]. Der bygges videre på erfaringerne fra det tidligere projekt, for at reducere CO₂-aftrykket yderligere, men også for, at betonen kan opnå en højere tidlig trykstyrke.

En af udfordringerne med FutureCEM er netop, at indholdet af finkornet ler og kalkfiller bevirker, at partikelstørrelsen er mindre for disse materialer sammenlignet med klinker. Dette bevirker, at beton med FutureCEM er mere følsom for udtørring end fx beton med Rapid cement. Derfor er det som altid vigtigt, at kravene til afdækning af nystøbt beton overholdes.

FutureCEM er på nuværende tidspunkt godkendt i de fleste eksponeringsklasser og dermed til langt de fleste almindelige anvendelser. Kun ved påvirkning af særligt kemiske aggressive miljøer, er FutureCEM ikke godkendt på nuværende tidspunkt.

CO₂-reduktion i processen

Under produktionsprocessen, hvor kalksten opvarmes til meget høje temperaturer, frigives der CO₂, der sammen med brændsel udgjorde 2,2 mio. ton CO₂ i 2022. Aalborg Portland har en målsætning om, at der i 2030 udledes maksimalt 600.000 ton CO₂, ved at benytte CO₂-neutrale brændsler, fange CO₂ i afgangsluften samt ved at udvikle og implementere nye produkter (fx FutureCEM). Aalborg Portland indviede i november 2023 et nyt pilotanlæg til CO₂-fangst, der er EU-støttet og et samarbejde mellem internationale forskningsinstitutioner og virksomheder (ConsenCUC).

Beton

Cement er et pulver (en binder) med hydrauliske egenskaber, som sammen med vand (en hærder) danner en lim (et bindemiddel), der kan binde sand og sten sammen til et hårdt materiale (beton) [4]. I figur 3 ses en borerkerne af beton med tydelig angivelse af tilslagsmaterialerne (sand og sten) og den omkringliggende cementpasta.

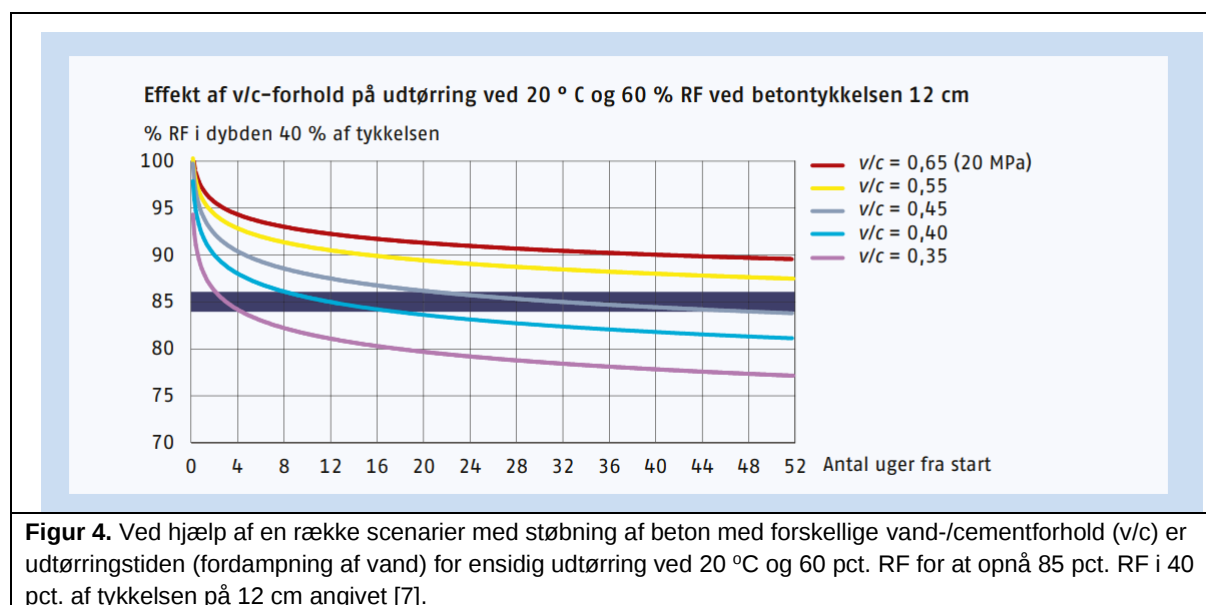


Figur 3. Planslib af en borerkerne af beton, hvor det tydelig ses, at tilslagsmaterialerne (sand og sten) er bundet sammen af en masse bestående af cement og vand [4].

Lige så snart vandet tilsættes i betonblanderen og kommer i kontakt med cementpulveret begynder hærdeprocessen, hvor betonen udvikler struktur og styrke. Betonen er dog plastisk (formbar) i de første timer, hvilket muliggør, at betonen kan transporteres fra betonproducenten og ud til byggepladsen, hvor den udstøbes. Hovedtiden for hærdeningen er typisk indenfor den første uge, men fortsætter langsommere i flere uger og endda meget langsomt i måneder og år.

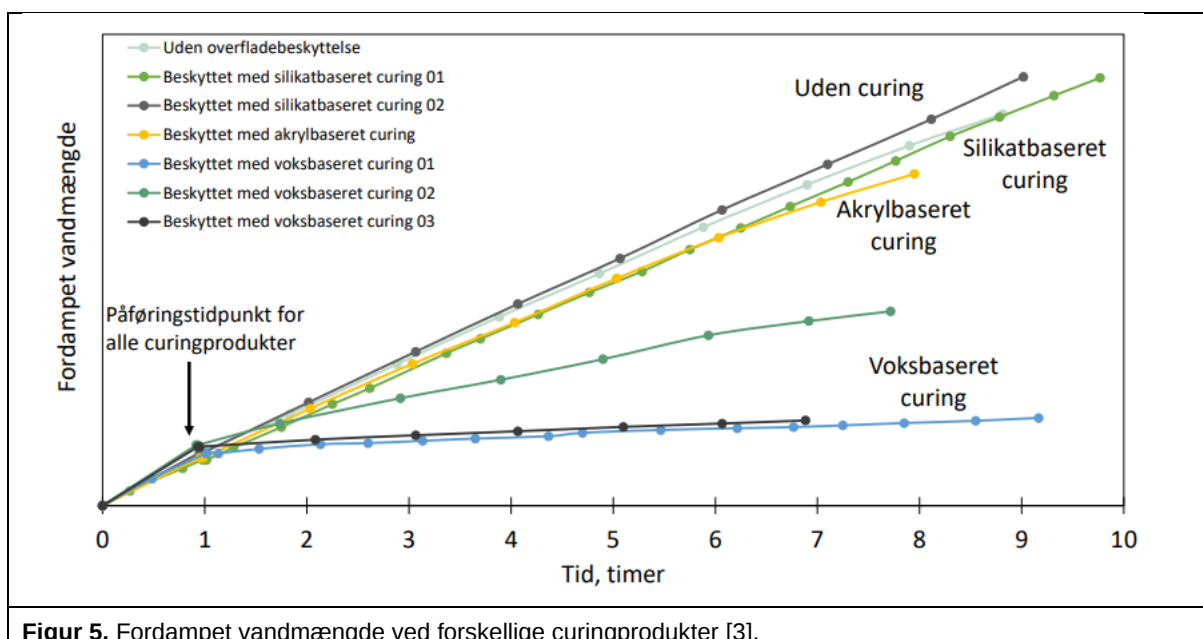
Cementens reaktion med vand (hydratisering) sker under varmeudvikling. Hvis betonen ikke kan afgive varme til omgivelserne, kan temperaturen i betonen stige til 40-50 °C eller mere. Hærdestyring består i at sikre, at hærdeprocessen forløber optimalt. Det betyder, at der skal være vand til stede til hydratiseringen og temperaturforløbet må ikke skade betonen. Den hærdnede betons egenskaber måles ofte efter en hærdeproces ved 20 °C. Det gælder fx trykstyrken, der måles efter 28 døgns hærdening ved 20 °C.

Betonens styrke afhænger i høj grad af vand-/cementforholdet (v/c) og af cementtypen [4] [7]. Luftindholdet i den færdige beton har også en vis betydning, da højt luftindhold reducerer styrken. Hvis der anvendes en beton med et vand-/cementforhold under 0,40, vil alt vandet i betonen blive brugt til cementens hærdning, og betonen vil således være tør efter hærdning – det kaldes selvudtørrende beton. Et vand-/cementforhold under 0,30 benyttes ikke i praksis, da det giver en al for tør beton. Risikoen øges således for, at alle cementkorn ikke hydratiseres og beton får ikke den tiltænkte styrke. Som det fremgår af figur 4, vil beton med et vand-/cementforhold over 0,55 ikke opnå 85 pct. RF efter 1 års udtørring. Der ønskes en beton, der ligger under 85 pct. RF, og jf. figur 4 skal vand-/cementforhold være 0,35-0,40.



Efter støbning af beton skal der altid foretages en tildækning af frie overflader med enten plastikdug eller curing/forseglingsmidler. Uanset cementtype og betonsammensætning er det foreskrevet i Dansk Standard (DS 2427 Udførelse af betonkonstruktioner - Regler for anvendelse af EN 13670 I Danmark), at beton skal være korrekt og rettidigt sikret mod udtørring.

Figur 5 viser forskellige curingprodukters reducerende effekt på vandfordampning, og det ses tydeligt, at kun voksbaserede produkter har en gavnlig effekt, da vandet fortsat frit fordamper fra prøver, der var påført enten akryl- eller silikatbaseret curing [3].



Figur 5. Fordampet vandmængde ved forskellige curingprodukter [3].

Miljø- og eksponeringsklasser

Der er vigtigt, at der stilles de rigtige krav til betonen, så betonen får den ønskede styrke og holdbarhed. Stilles der for svage krav, vil betonen have utilstrækkelige holdbarhedsegenskaber, og stilles der unødvendige krav eller for skrappe krav, vil betonen blive dyrere end nødvendigt med hensyn til både økonomi og CO₂-udledning.

Miljø- og eksponeringsklasserne er et udtryk for de påvirkninger, som betonen forventes at blive udsat for. Miljøklasser (Passiv, Moderat, Aggressiv og Ekstra aggressiv) har været anvendt i Danmark siden 1970'erne, mens eksponeringsklasserne (XC, XD, XS osv.; i alt 18 klasser) er indført i forbindelse med det fælles europæiske normsystem (figur 6, [8] [9]). I figur 7 er angivet, hvilke eksponeringsklasser cement fra Aalborg Portland er godkendt til.

MILJØPÅVIRKNING/EKSPONERINGSKLASSE

Ingen risiko for korrosion eller påvirkning		Korrosion forårsaget af karbonatisering				Korrosion forårsaget af chlorider						Påvirkning fra frost/tø				Aggressivt kemisk miljø		
						Havvand			Chlorider fra andet end havvand									
Miljøpåvirkning	P	P	M	M	M	A	A	E	A	E	E	M	A	A	E	M	A	E
Eksponeringsklasse	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3

Miljøklasser

Miljøklasser er anvendt og beskrevet i den tilbagetrukne DS 2426, samt i DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017.

MILJØKLASSE/EKSPONERINGSKLASSE

Miljøklasse	Passiv	Moderat	Aggressiv	Ekstra aggressiv
Omfatter følgende eksponeringsklasser iht. DS/EN 206	X0	XC2	XD1	XD2
	XC1	XC3	XS1	XD3
		XC4	XS2	XS3
		XF1	XF2	XF4
		XA1	XF3	XA3
			XA2	

Figur 6. Overblik over miljøpåvirkning og eksponeringsklasser [8]. Begge betegnelser beskriver, hvilke kemiske og fysiske påvirkninger, betonen udsættes for. P=Passiv; M=Moderat; A=Aggressiv; E=Ekstra aggressiv

Figur 6. Overblik over miljøpåvirkning og eksponeringsklasser [8]. Begge betegnelser beskriver, hvilke kemiske og fysiske påvirkninger, betonen udsættes for. P=Passiv; M=Moderat; A=Aggressiv; E=Ekstra aggressiv.

Miljøpåvirkning Eksponerings- klasser	Passiv		Moderat						Aggressiv						Ekstra Aggressiv				
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XF1	XA1	XD1	XS1	XS2	XF2	XF3	XA2	XD2	XD3	XS3	XF4	XA3	
Rapid																			
Aalborg White																			
SOLID																			
Basis																			
FutureCEM																			

X0

Ingen risiko for korrosion eller fugtpåvirkning

XC

Risiko for korrosion forårsaget af karbonatisering

XD

Risiko for korrosion forårsaget af klorider fra andet end havvand

XS

Risiko for korrosion forårsaget af klorider fra havvand

XF

Risiko for frost/tø påvirkning

XA

Risiko for kemisk påvirkning

Accepteret/godkendt

Ikke accepteret

Accepteret med ekstra krav (max. FA/C forhold + test af frostbestandighed)

Accepteret *undtaget* i beton til svømmebassiner

Accepteret. *Hvis sulfat er årsagen til XA2/XA3, er der særlige krav til cementen.*

aalborgportland

Figur 7. Overblik over miljø- og eksponeringsklasser ved brug af forskellige cementtyper fra Aalborg Portland [9]. Rapid og White er CEM I cement, mens Solid, Basis og FutureCEM er CEM II cement.

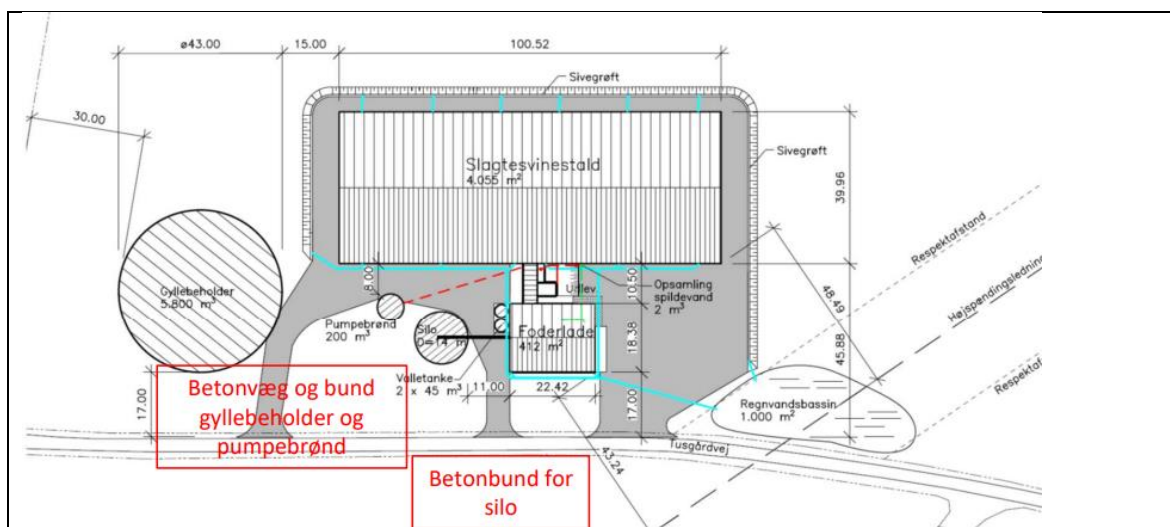
Figur 7. Overblik over miljø- og eksponeringsklasser ved brug af forskellige cementtyper fra Aalborg Portland [9]. Rapid og White er CEM I cement, mens Solid, Basis og FutureCEM er CEM II cement.

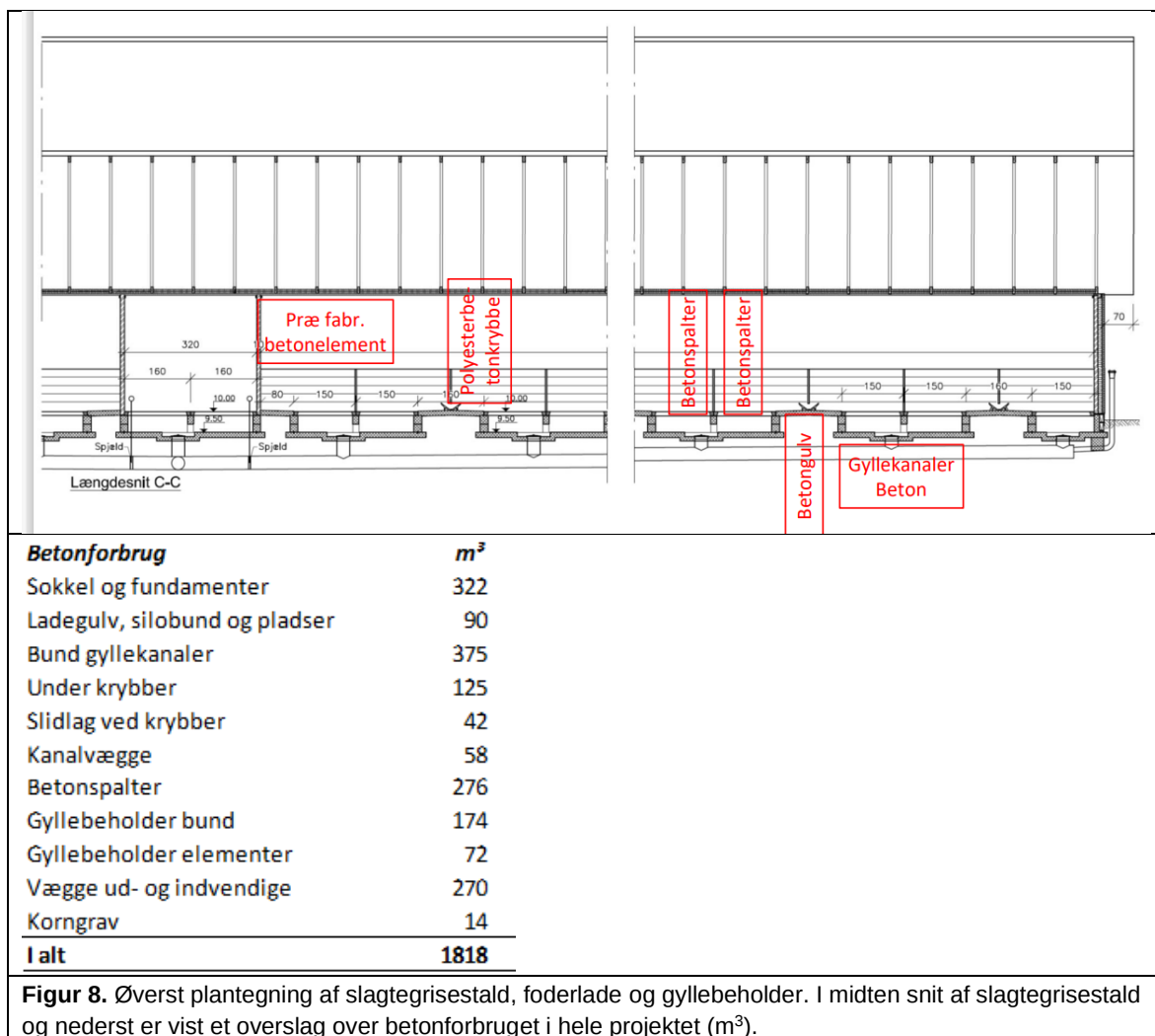
Landbrugets Byggeblade bliver ikke længere ajourført med hensyn til eksponeringsklasser og styrke, og det kan betyde, at der stilles for skrappe krav til beton og dermed en unødvendig fordyrelse af byggeriet. Hvis der fx efterspørges en A-beton (Aggressiv), skal den leve op til alle de underliggende eksponeringsklasser, og det betyder, at der ikke i tilstrækkelig grad kan benyttes CO₂-reduceret beton. Dette skyldes, at brugen af FutureCEM ikke er godkendt i alle de eksponeringsklasser, som er krævet for en A-beton.

Der er ikke på nuværende tidspunkt etableret landbrugsbyggeri, herunder gyllekanaler, spaltegulvselementer mv., hvor nye typer af cement og beton er anvendt. I andre dele af byggebranchen produceres og leveres dagligt beton med FutureCEM. Beton i landbrugsbyggeri udsættes for aggressive forhold (syre- og ammoniakpåvirkning), og der er behov for målrettede test, så også denne type byggeri kan reducere CO₂-udledningen.

Eksempel på anvendelse af beton i en slagtegrisestald

I figur 8 er et eksempel på, hvor der anvendes beton i en slagtegrisestald med 4.500 stipladser samt i hvilke mængder.





I samarbejde med Aalborg Portland er der udarbejdet en tabel (figur 9 og appendiks), som angiver de eksponeringsklasser og trykstyrker, som typisk må forventes som krav til de forskellige konstruktioner i et landbrugsbyggeri. Det skal bemærkes, at tabellen er vejledende og der kan være særlige forhold, der bør tages forbehold for. I figur 9 er et uddrag af tabellen, som findes komplet i appendiks 1. Det vurderes, at der i landbrugsbyggeri kan anvendes FutureCEM i langt de fleste betonkonstruktioner, herunder fundament/sokkel, gulve, væg- og spaltegulvselementer.

Konstruktion	Eksponeringsklasser	Typisk styrke, MPa	Tilladt cement	Bemærkninger
Fundament/sokkel				
Fundament under jord	XC1	12	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A)
Fundament/sokkel delvist over terræn	XC4, XF1	30	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), B)
Fundament som væg i gyllekanal	XC4, XF1, XA2	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), B), C), D)
Betongulve				
Dæk og belægning (udendørs)	XC4, XF3	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), B), C)
Gulv i maskinhus (frostopvirket)	XC3, XF3	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), B), C)
Gulv i maskinhus (ikke frostopvirket)	XC3	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C)

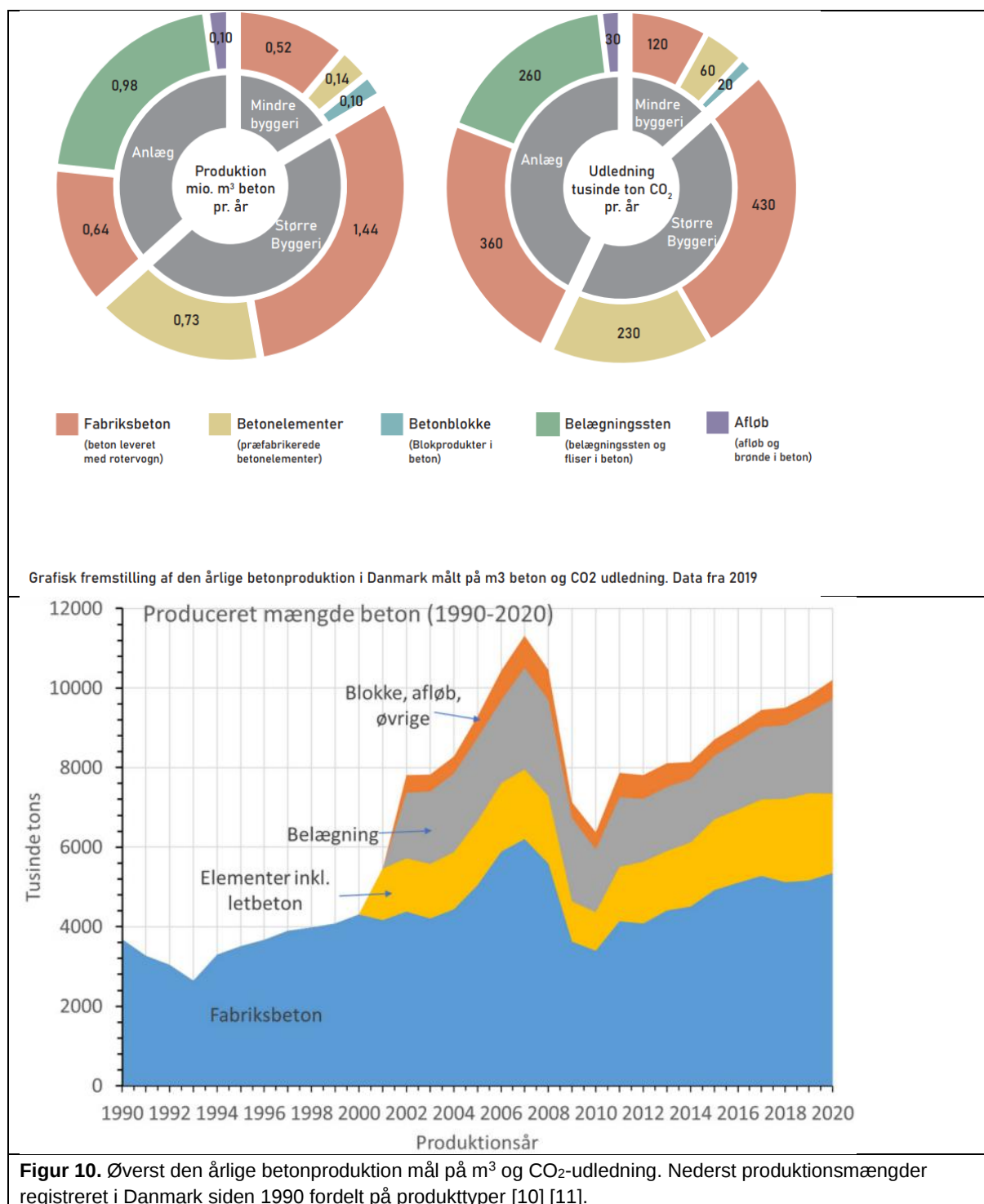
Figur 9. Udsnit af tabel over de eksponeringsklasser og styrke der bør benyttes i landbrugsbyggeri. Komplet tabel fremgår af appendiks.

- A) Jordbunds- og/eller grundvandsanalyse afgør krav til eksponeringsklasse XA (kemisk påvirkning).
- B) Hvis konstruktionen eksponeres for klorider (tøsalte) anføres XF2 og XD1 (lodret konstruktion) eller XF4 og XD3 (vandret konstruktion).
- C) Hvis konstruktionen eksponeres for mekanisk påvirkning, sættes styrkekravet for betonen til min. C35/45 og tilslagsmaterialer bør indeholde max. 1 % lette korn iht. DS/EN 206 DK NA:2023 Tabel E2. F.eks.: Højtryksrensning, tung trafik, dyretransport, slid fra maskiner.
- D) Eksponeringsklasse XA2 er anført pga. omgivelsernes pH-værdi (4,5-5,5). Hvis konstruktionen eksponeres for ikke-forsuret gylle, fjernes eksponeringsklasse XA2. Hvis pH er <4,5 anføres eksponeringsklasse XA3. Hvis pH er mellem 6,5-5,5 anføres eksponeringsklasse XA1.
- E) Betonkonstruktioner, som er eksponeret for organiske syrer eller andre kemiske påvirkninger, som kan forekomme i disse områder, kan resultere i eksponeringsklasse XA3. Ved at overfladebehandle betonen kan kravet til eksponeringsklasser (kemisk påvirkning) lempes.

Betonproduktion

Dansk Beton er en branchesammenslutning for producenter af beton og betonprodukter under DI Byggeri, og varetager den overordnede styring og daglige drift af Bæredygtig Beton Initiativet [11], som understøtter en række forsknings- og udviklingsaktiviteter. Dansk Beton har opgjort betonproduktionen i Danmark i de sidste 30 år, og den har været stabilt på 8-10 mio. ton årligt. Medlemmerne benytter 1,4 mio. ton cement pr. år, hvoraf 80-90 pct. kommer fra Aalborg Portland [10]. I figur 10 ses den årlige betonproduktion i Danmark både i m³ og CO₂-udledning, samt produktionsmængder registreret i Danmark siden 1990 fordelt på produkttyper. I bygningsreglementet blev der i 2023 indført krav om, at større byggerier maksimalt må udlede 12 kg CO₂ e/m²/år målt over 50 år; grænseværdien for frivillig CO₂-klasse er 8 kg eq/m²/år og den forventede grænseværdi er 5 kg eq/m²/år i 2029 [13].

Unicon er en af flere betonproducenter, og de omlagde i 2022 deres produktion, så de fremadrettet også benytter FutureCEM [14]. De kunder, som køber færdigbeton, stiller krav om trykstyrke (det tryk, betonen kan optage, angives i MPa), holdbarhed (eksponeringsklasser) og håndteringsmuligheder (fx om det skal pumpes). I forlængelse af dette, "designes" færdigbetonen til det specifikke formål, så kunden kan være sikker på, at betonen overholder de samme krav, uanset om Rapid cement er udskiftet med FutureCEM-cement.



Figur 10. Øverst den årlige betonproduktion målt på m³ og CO₂-udledning. Nederst produktionsmængder registreret i Danmark siden 1990 fordelt på produkttyper [10] [11].

Yderligere CO₂-reduktion

Unicon er begyndt at erstatte jomfruelige tilslagsmaterialer i en række af deres betoner (typisk ved passiv miljøpåvirkning) med nedknust procestilslag (betonrester fra egen produktion). Der benyttes også genanvendt tilslag fra eksisterende konstruktioner, der nedrives. Dette kræver dog ofte en sortering. Unicon har siden år 2019 deltaget i flere projekter, hvor 100 pct. af størrelsesfraktionen 4 mm til 25 mm er blevet erstattet med nedknust genanvendt tilslag.

Udover at Unicon benytter FutureCEM i deres beton, fokuseres der på indfasning af eldrevne betonbiler. Dermed sænkes emissionen også på byggepladserne, ligesom støjniveauet sænkes. En

ekstra bonus bliver, at betonbilerne kan køre igennem centrum af København, og dermed spare tid og el.

Betonvarer

De fleste vil umiddelbart definere et betonelement som en konstruktionsdel af beton, der er støbt ét sted, og som permanent indgår i en bygning eller konstruktion et andet sted. Denne definition er imidlertid så bred, at den let kommer til at omfatte andre produkter end betonelementer. For eksempel er betonvarer som fliser, belægningssten, rør, sveller og fundamentblokke, ikke betonelementer. Betonens evne til at kunne udstøbes i en form med vilkårlig geometri giver mange muligheder, og giver et rationelt og billigere forarbejde med mange ens elementer.

IBF er en dansk virksomhed, som både producerer færdigbeton og betonvarer og som bl.a. leverer spaltegulvselementer samt fundablokke til landbrugsbyggeri [14]. IBF lancerede i 2022 varemærket Eco2®, der er en samlet betegnelse for betonvarer med et reduceret CO₂-aftryk på min. 50 pct. sammenlignet med den faktiske produktion i 2021. Reduktionen fremkommer ved at anvende produktet Geoprime® (binder), som er udviklet i samarbejde med den finske samarbejdspartner Betolar [15]. Kun i belægningsstenens øverste 6 mm anvendes cement for at sikre stenens holdbarhed mod påvirkninger fra frost og tø. Geoprime® er baseret på højojnsslagge og er et restprodukt fra stålproduktion. Det første Eco2®-projekt var Aarhus Vands klimasikringsprojekt i Viby (2022), hvor IBF leverede Eco2® betonrør, som var fremstillet helt uden cement.

Sammen med Novo og Biomason [16] har IBF bygget en fabrik i Ikast, der producerer biobeton helt uden cement, som består af sand, næringsrigt vand og særlige bakterier, der trækker kuldioxid til sig og omdanner det til krystaller af calciumcarbonat, der binder sandkornene sammen.

CO₂-reduktion i processen

Hos IBF arbejdes der, udover brug af FutureCEM og alternativer til cement, også med genbrug af vand fra rengøring af betonkanoner, nedknust overskudsbeton og brugt beton, og genanvendelse af det i ny betonproduktion, ligesom der anvendes solceller og biobrændsel, for at gøre fremstillingsprocessen så klimavenlig som muligt.

Genbrug af betonelementer eller knust beton

Beton kan genbruges på flere måder:

- Den kan, som det oftest sker, nedknuses og erstatte naturligt sand og sten i fx ubundne bærelag i vejopbygninger eller i ny beton (*nyttiggørelse og genanvendelse*)
- Bygningen kan blive stående og tilpasses en ny form for anvendelse (*transformation*)
- Hele betonelementer kan nedtages og indbygges i nyt byggeri (*direkte genbrug*)

Firmaerne Kingo [17] og Norrecco [18] er eksempler på virksomheder, der knuser beton i eksisterende byggerier og derefter oparbejder og kvalitetssikrer den knuste beton. Den knuste beton kan bl.a. benyttes som erstatning for sand, sten og grus i betonproduktionen. Jomfruelige råstoffer fra undergrunden er nogle steder i landet begrænsede ressourcer og kan derfor være svære at skaffe i rette mængder og kvaliteter. Der er fx indledt et samarbejde mellem Norrecco og Unicon, hvor overskudsbeton fra Unicons betonbiler leveres til Norrecco, som nedbryder og processerer betonen sammen med genbrugsbeton fra nedrevne bygninger. De brugbare stenfraktioner leveres tilbage til Unicon, mens resten indtil videre anvendes som vejmateriale. I 2020 genanvendte Unicon 45.000 ton overskudsbeton i ny beton, og målet i 2023 er 60.000 ton.

Entreprenørfirmaet Benno Gosvig [19] nedtog i sommeren/efteråret 2023 vægelementer i beton, træspær, inventar og foderanlæg fra en slagtegrisestald på 5.000 m² ved Herning. Stalden var ca. 10

år gammel, og blev vurderet egnet til genbrug. Efter omhyggelig nedtagning transporteres alle dele til en ny lokation. Den "nye" stald er endnu ikke opført.

Et projekt, som støttes af MUDP under Miljøministeriet, har til formål at udvikle og dokumentere det teknologiske grundlag for at genbruge præfabrikerede betonelementer som bærende konstruktioner i nyt byggeri [16]. Teknologisk Institut er projektleder og samarbejder med en række institutioner og virksomheder. På nuværende tidspunkt (oktober 2023) er der nedtaget en række huldæk og vægelementer i en boligblok i Gellerupparken i Århus. Elementerne bliver testet på Teknologisk Institut, inden de anvendes igen.

Konklusion

Flere store innovationsprojekter har i samarbejde mellem forskningsinstitutioner og virksomheder udviklet cementtyper, der bidrager til produktion af CO₂-reduceret beton, og der forventes en reduktion i CO₂-emissionen på 20-25 pct.

En af de nye cementtyper er FutureCEM fra Aalborg Portland, som udnytter synergien mellem kalcineret ler og kalkfiller, og reducerer CO₂-udledningen med op til 30 pct. Afhængig af, hvordan betonen sammensættes, er det muligt at opnå en CO₂-reduktion på ca. 20 pct.

En af udfordringerne med FutureCEM er, at indholdet af finkornet ler og kalkfiller bevirker, at partikelstørrelsen er mindre for disse materialer sammenlignet med klinker. Det bevirker, at beton med FutureCEM er mere følsom for udtørring end fx beton med Rapid cement. Derfor er det som altid vigtigt, at kravene til afdækning af nystøbt beton overholdes.

FutureCEM er på nuværende tidspunkt godkendt i de fleste eksponeringsklasser, og dermed til langt de fleste almindelige anvendelser. Kun ved påvirkning af særligt kemisk aggressive miljøer, er FutureCEM ikke godkendt på nuværende tidspunkt.

Unicon er en af flere betonproducenter, og de omlagde i 2022 deres produktion, så de fremadrettet også benytter FutureCEM.

IBF er en dansk virksomhed, som både producerer færdigbeton og betonvarer og som bl.a. leverer spaltegulvselementer samt fundablokke til landbrugsbyggeri, og de lancerede i 2022 varemærket Eco2®, der er en samlet betegnelse for betonvarer med et reduceret CO₂-aftryk på min. 50 pct. sammenlignet med den faktiske produktion i 2021. Reduktionen fremkommer ved at anvende produktet Geoprime® (binder), som er udviklet i samarbejde med den finske samarbejdspartner Betolar. Geoprime® er baseret på højovnsslagge og er et restprodukt fra stålproduktion. Som noget helt nyt er IBF gået sammen med Novo og Biomason og har bygget en fabrik, der producerer biobeton, som består af sand, næringsrigt vand og særlige bakterier, der trækker kuldioxid til sig og omdanner det til krystaller af calciumcarbonat, der binder sandkornene sammen.

Landbrugets egne Byggeblade ajourføres ikke længere med hensyn til eksponeringsklasserne og styrke, og det kan bevirke, at der stilles for skrappe krav til beton, hvilket giver en unødvendig fordyrelse af byggeriet. I samarbejde med Aalborg Portland er der udarbejdet en tabel, som angiver hvilke eksponeringsklasser og trykstyrker, der typisk må forventes som krav til de forskellige konstruktioner i et landbrugsbyggeri.

Der er ikke på nuværende tidspunkt etableret landbrugsbyggeri, herunder gyllekanaler, spaltegulvselementer mv., hvor nye typer af cement og beton er anvendt. I andre dele af byggebranchen produceres og leveres dagligt beton med FutureCEM. Beton i landbrugsbyggeri

udsættes for meget aggressive forhold (syre- og ammoniakpåvirkning), og der er behov for målrettede test, så også denne type byggeri kan reducere CO₂-emissionen.

Referencer

- [1] Center for Grøn Beton, www.gronbeton.dk
- [2] LCAByg, www.lcabyg.dk
- [3] Ålborg Portland, www.aalborgportland.dk
- [4] Betonhåndbogen, www.betonhaandbogen.dk
- [5] Ole V. Vejbæk, Torben Bidstrup, Peter Britze, Mikael Erlström, Erik S. Rasmussen, Ulf Sivhed. (2007). [Chalk depth structure maps, Central to Eastern North Sea, Denmark](#). GEUS
- [6] Teknologisk Institut, www.teknologisk.dk
- [7] Selvudtørrende beton - til gavn for byggeriet, Anvendelse, specifikation, udførelse og baggrund, FABRIKSBETONGRUPPEN under Dansk Byggeri, 2013. www.fc-beton.dk
- [8] www.danskindustri.dk
- [9] [Eksponeringsklasser-Jacob-Drejer.pdf \(aalborgportland.dk\)](#)
- [10] Dansk Beton, www.danskindustri.dk/medlemsforeninger/foreningssites/dansk-beton.dk
- [11] Bæredygtig Beton Initiativet, www.danskindustri.dk/baredygtig-beton-initiativet
- [12] Social- og Boligstyrelsen, Bygningsreglementet, [BR18 \(bygningsreglementet.dk\)](#)
- [13] Unicon, www.unicon.dk
- [14] IBF, www.ibf.dk
- [15] Betolar, www.betolar.com
- [16] Biomason, www.biomason.dk
- [17] www.kingorecycling.biz
- [18] www.norrecco.dk
- [19] www.benno-gosvig.dk

Deltagere

Telefonisk kontakt og/eller møde med:

- Sales Director Brian Dürr, Technical Product Consultant Jacob Drejer og Product consultant Jens Mouritsen Møller, Aalborg Portland
- Teknologichef Ib Bælum Jensen, Unicon
- Direktør Kenn Risom Foldager, Sunds Alfa
- Produktchef Espen Mølgaard og ESG-chef Dorthe Aaboe Kallestrup, IBF

NAV nr.: 101451

//JAHP//

Appendiks

Eksponeringsklasser, styrke og cementtyper ved landbrugsbyggeri.

Konstruktion	Eksponeringsklasser	Typisk styrke, MPa	Tilladt cement	Bemærkninger
Fundament/sokkel				
Fundament under jord	XC1	12	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A)
Fundament/sokkel delvist over terræn	XC4, XF1	30	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), B)
Fundament som væg i gyllekanal	XC4, XF1, XA2	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), B), C), D)
Betongulve				
Dæk og belægning (udendørs)	XC4, XF3	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), B), C)
Gulv i maskinhus (frostpåvirket)	XC3, XF3	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), B), C)
Gulv i maskinhus (ikke frostpåvirket)	XC3	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C)
Gangarealer (tørt miljø)	XC3	30	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C)
Gangarealer (vådt miljø)	XC4	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C)
Malke- og serviceområder inkl. malkerum	XC4	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C), E)
Stier, båse og bokse til svin (uden foderspild)	XC4	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C), D)
Stier, båse og bokse til svin (med foderspild)	XC4	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C), E)
Lejer, båse og bokse til kvæg	XC4	30	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C)
Gulv under dybstrøelse	XC1	30	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C)
Underbeton	XC1	12	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A)
Ved og under krybber	XC4	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C), E)
Lagre				
Gulv i foderlade (tørt miljø)	XC1	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C)
Gulv i foderlade (vådt miljø)	XC4, XA2	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C), E)
Bund i gyllebeholder	XC1, XF3, XA2	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C), D)

Vægge i gyllebeholder	XC4, XF3, XA2	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C), D)
Bund i gyllekanal	XC1, XA2	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C), D)
Vægge i gyllekanal	XC1, XA2	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C), D)
Dæk til gyllebeholder	XC3, XA2	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C), D)
Korngrav	XC1, XF1	30	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C)
Kunstgødningslager	XC1, XF3, XA3	40	RAPID	A), C), E)
Vandbassiner (vandtæt, frostpåvirket)	XC4, XF3	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C)
Vandbassiner (vandtæt, ikke frostpåvirket)	XC4	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C)
Vægge				
Indvendige	XC1	30	FUTURECEM, BASIS, RAPID	C)
Udvendige	XC4, XF1	30	FUTURECEM, BASIS, RAPID	B), C)
Ramper og trapper				
Indvendige	XC4	30	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), C)
Udvendige	XC4, XF3	35	FUTURECEM, BASIS, RAPID	A), B), C),
A)	Jordbunds- og/eller grundvandsanalyse afgør krav til eksponeringsklasse XA (kemisk påvirkning).			
B)	Hvis konstruktionen eksponeres for klorider (tøsalte), anføres XF2 og XD1 (lodret konstruktion) eller XF4 og XD3 (vandret konstruktion).			
C)	Hvis konstruktionen eksponeres for mekanisk påvirkning, sættes styrkekravet for betonen til min. C35/45 og tilslagsmaterialer bør indeholde max. 1 pct. lette korn iht. DS/EN 206 DK NA:2023 Tabel E2. F.eks.: Højtryksrensning, tung trafik, dyretransport, slid fra maskiner.			
D)	Eksponeringsklasse XA2 er anført pga. omgivelsernes pH-værdi (4,5-5,5). Hvis konstruktionen eksponeres for ikke-forsuret gylle fjernes eksponeringsklasse XA2. Hvis pH er <4,5 anføres eksponeringsklasse XA3. Hvis pH er mellem 6,5-5,5 anføres eksponeringsklasse XA1.			
E)	Betonkonstruktioner som er eksponeret for organiske syrer eller andre kemiske påvirkninger, som kan forekomme i disse områder kan resultere i eksponeringsklasse XA3. Ved at overfladebehandle betonen kan kravet til eksponeringsklasser (kemisk påvirkning) lempes.			