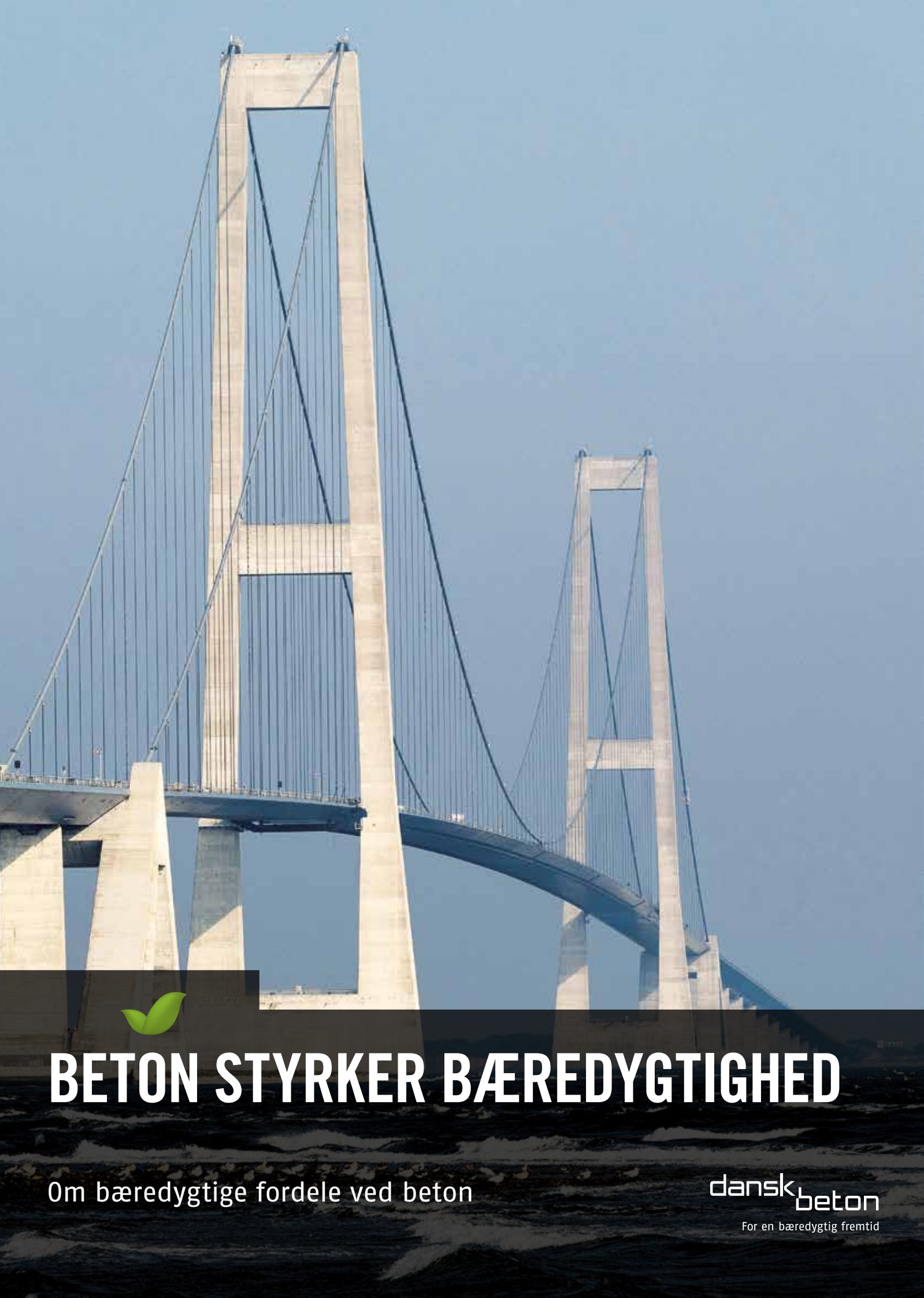




BETON STYRKER BÆREDYGTIGHED

Om bæredygtige fordele ved beton

dansk **beton**

For en bæredygtig fremtid

Redaktion: Dansk Beton/Thomas Uhd

Fagkonsulenter: Lars Nyholm Thrane og Thomas Juul Andersen, Betoncentret, Teknologisk Institut

Design og illustrationer: Dansk Byggeri/Ditte Brøndum

Foto: Torben Eskerod

Tryk: Thomsen Elbo A/S

Papir: Omslag: 250 gram Multiart Silk. Indhold: 170 gram Multiart Silk

Oplag: 300

Dato: Oktober 2017. Revideret december 2017



INDHOLD

4 Forord

8 Om beton og betonproduktion: Sådan laver man beton

16 Beton styrker miljøet: Miljømæssig bæredygtighed

24 Beton styrker livskvaliteten: Social bæredygtighed

30 Beton styrker økonomien: Økonomisk bæredygtighed



FORORD

Ja, det giver mening at tale om bæredygtig beton

Beton er verdens mest anvendte byggemateriale. Beton er også et byggemateriale, som er emne for bæredygtighed. Primært på grund af den CO₂-udledning, der sker i forbindelse med cementproduktionen, og den affaldsmængde der stammer fra nedrivning af betonbyggeri. Så giver det overhovedet mening at tale om bæredygtige fordele ved beton? Bestemt!

Alt byggeri kræver et energiforbrug. Noget mere end andet. Det er korrekt, at den indlejrede energi i betonen – det vil sige den energi, der går til produktion af byggematerialet – er højere, når det drejer sig om beton, end når det handler om eksempelvis byggeri af træ. Men, og der er et meget væsentligt men, når man ser på beton i et bredere livscyklusperspektiv, er der en lang række bæredygtige fordele ved beton, som faktisk opvejer det energiforbrug, der går til produktionen.

**DER ER EN LANG RÆKKE
BÆREDYGTIGE FORDELE VED
BETON, SOM OPVEJER DET
CO₂-FORBRUG, DER GÅR TIL
PRODUKTIONEN.**

Denne folder redegør dokumentært for fordele og problemer ved beton og giver betonbranchens bidrag til løsning af fremtidens udfordringer. Fra udvinding af råmaterialer til bortskaffelse og genanvendelse af betonkonstruktioner.

Der bliver i folderen set på de tre klassiske bæredygtighedsdimensioner:

Miljø, sociale forhold og økonomi. Indledningsvis er der en introduktion til, hvad beton er for et materiale.

Faktum er, at estimeret 5 % af verdens CO₂-udledning kommer fra produktion af cement og beton¹. Prognoser peger på, at CO₂-udledningen fra cement og beton vil stige betydeligt i fremtiden. Det skyldes etablering af infrastruktur og byggeri særlig i udviklingslande. Alene i Kina er der i perioden 2011–2013 brugt lige så meget beton, som USA producerede i hele 1900-tallet. Den udvikling vil sandsynligvis fortsætte, og det vil betyde, at det globale forbrug af beton fortsat vil stige².

I Danmark ligger CO₂-udledningen fra betonproduktion på omkring 3,4 % af den samlede danske CO₂-udledning³. Når den ligger lavere end i andre lande, skyldes det, at vores infrastruktur og bygningsmasse er så udbygget. Men ikke mindst skyldes det, at den danske byggebranche er dygtig til at producere og bruge betonen optimalt.

Danmark har i mange år været et af de lande, som har ligget lavest i cementforbrug. På globalt plan er der sandsynligvis et betydeligt cement- og betonforbrug, som kunne reduceres, men i Danmark har betonbranchen haft stort fokus på at optimere brugen af beton.

I Danmark blev der i 2015 produceret ca. 8,7 mio. ton beton. Med den mængde kan man hvert år bygge fire Storebæltsbroer. Det svarer til et betonforbrug pr. dansker på omtrent 1,5 ton om året.

De umiddelbart voldsomme tal skal sættes i relation til, at beton er verdens mest benyttede byggemateriale.

**KOMBINATIONEN AF
FUNKTIONELLE, ØKONOMISKE
OG ÆSTETISKE EGENSKABER
HAR GJORT BETON TIL
VERDENS OG DANMARKS
MEST BENYTTETE
BYGGEMATERIALE.**

Der produceres dobbelt så meget beton på årsbasis som alle andre byggematerialer tilsammen.

Det skyldes først og fremmest de mange byggetekniske, æstetiske og økonomiske fordele, der er ved beton.

Det er vanskeligt, hvis ikke umuligt, at forestille sig et moderne samfund uden brug af beton: Fundamenter, metro, havne, broer, tunneler, kloakker, belægninger, dæmninger, bygninger mm. Hvordan ville vores samfund se ud uden beton?

Det uomgængelige ved materialet ændrer dog ikke ved, at bæredygtighed ligeledes er uomgængeligt i en verden med global opvarmning, knaphed på ressourcer og voksende befolkningstal.

Derfor er betonbranchen meget bevidst om det miljømæssige aftryk, som beton efterlader. Og der hviler et stort ansvar på både betonbranchen og den øvrige byggebranche om at reducere miljøpåvirkningen.

Det er ambitionen med denne folder at vise, at beton også handler om positive miljømæssige, økonomiske og sociale forhold og ikke kun om negativ miljøpåvirkning.

BÆREDYGTIGHED I BETONBRANCHEN ER EN GAMMEL NYHED

I dag er bæredygtighed i byggebranchen blevet en gængs term, men i betonbranchen er det faktisk en gammel nyhed⁴. Der har gennem mange år været fokus på bæredygtighed med en lang række branchebårne initiativer, hvor der er arbejdet med energiforbrug, optimeret cement- og betonforbrug, arbejdsmiljø, genanvendelse, ressourcereduktion mv. Her en række danske eksempler på dette:

- Brancheanalyse – renere teknologi ved betonfremstilling, 1995⁵
- Grøn Beton: Center for ressourcebesparende betonkonstruktioner, 1998-2002⁶
- Produktområdeprojekt vedrørende betonprodukter, 2004⁷
- SCC-konsortiet om selvkompakterende beton – et teknologispring for produktivitet og arbejdsmiljø i byggebranchen, 2003-2007⁸
- Miljøvenlig cementproduktion (FUTURECEM), 2006-2009⁹
- SCM-projektet¹⁰, 2011-2014
- Innovationskonsortiet "Bæredygtige betonkonstruktioner med stålfiberarmeret beton", 2010-2014¹¹
- Grøn beton II: Grøn omstilling af cement og betonproduktion: 2014-2018¹²

Derudover arbejder betonbranchen aktivt med brug af miljøvaredeklarerationer, optimeringsværktøjer og vejledninger mv. Se mere på www.danskbeton.dk, hvor der også er links videre til de fem betonsektioner hos Dansk Byggeri.



BÆREDYGTIGE FORDELE VED BETON

MILJØMÆSSIG BÆREDYGTIGHED

- Lavere energiforbrug – opvejer indlejret energi
- Karbonatisering – opsuger 25 % af udledt CO₂
- Lagring af energi – buffer når der er udsving i den vedvarende energi
- 90 % genanvendelse
- Lang levetid og lavt vedligeholdelsesbehov – lavt ressourceforbrug
- Livscyklusanalyser viser fordele ved beton over tid
- Optimeret betonproduktion sparer CO₂
- Naturligt optag af NO_x





SOCIAL BÆREDYGTIGHED

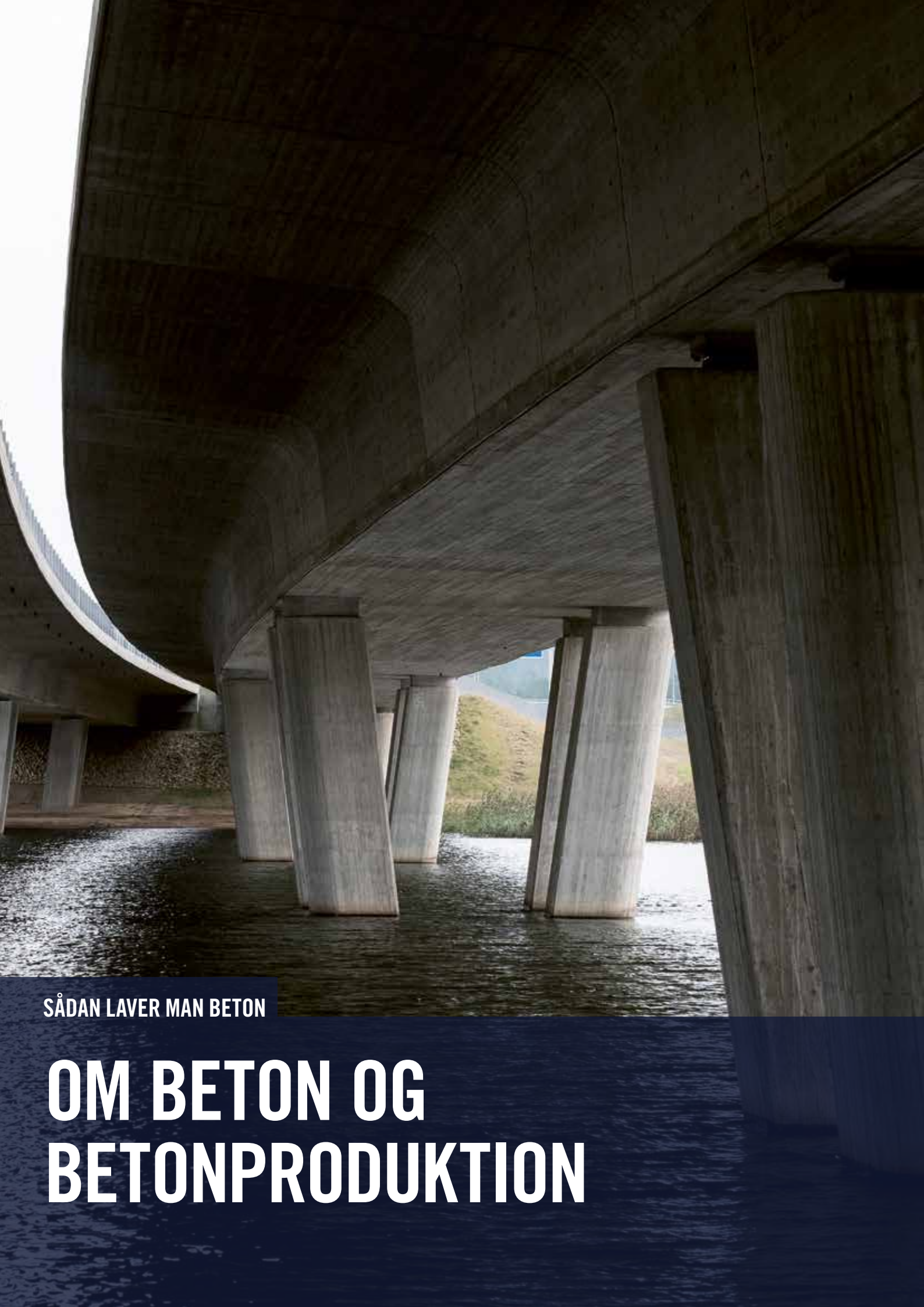
- Æstetiske og arkitektoniske muligheder
- Udeliv og rekreativ udfoldelse
- Godt indeklima – lavt temperaturudsving, ubetydelig afdampning, ingen fugt og skimmel, god lydisolering og effektiv radonløsning
- Holdbart og sikkert



ØKONOMISK BÆREDYGTIGHED

- Lavere energiforbrug, lang levetid og lavt vedligeholdelsesbehov – færre driftsomkostninger
- Høj produktivitet og relativ lave priser
- Fordele ved nybyggeri
- Fleksibilitet og transformation – bedre udnyttelse af bygninger



A low-angle, perspective shot looking up at the underside of a large concrete bridge. Several thick, rectangular concrete pillars support the bridge deck, which is visible as a series of curved, ribbed concrete slabs. The bridge spans over a body of water, with some greenery and a distant shoreline visible through the opening. The lighting is dramatic, with strong shadows and highlights on the concrete surfaces.

SÅDAN LAVES MAN BETON

OM BETON OG BETONPRODUKTION

HVAD BESTÅR BETON AF?

Beton består som udgangspunkt af sten, sand, vand og kalk. Beton er altså lavet af naturlige råmaterialer, der er tilgængelige i store mængder den danske undergrund. Hertil kommer eventuelle delmaterialer, der forbedrer betonens tekniske egenskaber.

BETON, SOM PRODUCERES I DANMARK, BESTÅR HOVEDSAGELIGT AF LOKALE, DANSKE RÅSTOFFER.

CEMENT

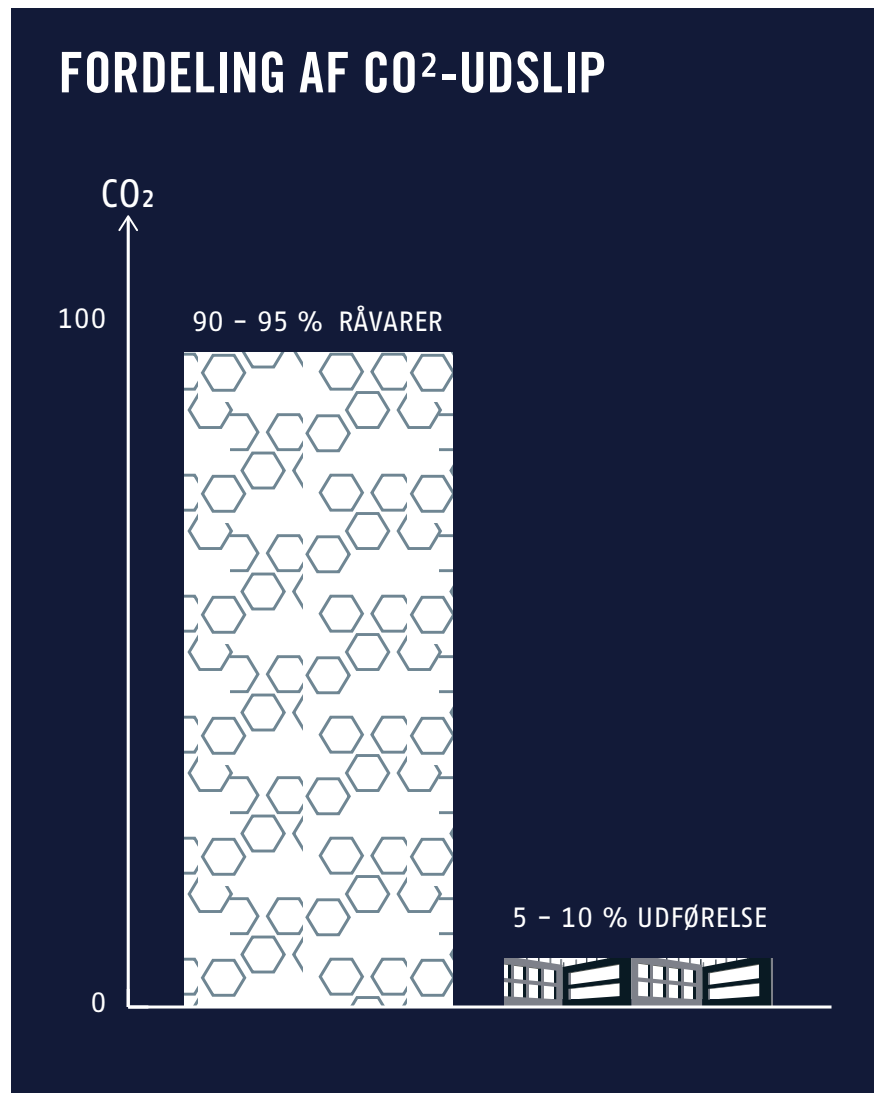
Cement er et mineralsk pulver fremstillet af kalk. Cement binder det øvrige indhold i betonen sammen og hærder, når det blandes med vand. Cementindholdet varierer fra 150-450 kg pr. m³, afhængig af hvilken styrke man ønsker, og hvad betonen skal bruges til.

CO₂-udledning ved cementproduktion skyldes to forhold, som står for henholdsvis 40 og 60 % af udledningen:

- Fremstillingsprocessen, hvor råmaterialerne opvarmes til temperaturer på mellem 1.200-1.450° C
- Den kemiske proces, kalcinering, hvor kridt (CaCO₃) bliver til brændt kalk (CaO) og dermed frigiver CO₂.

Den kemiske proces er uomgængelig, men energiforbruget til cementfremstilling, der er den største enkeltfaktor i betons miljøregnskab, er faldet markant de seneste 50 år.

I Danmark har Aalborg Portland, som er hovedleverandør af cement til den danske betonbranche, arbejdet målrettet med at reducere energiforbruget til produktionen. Alene siden



2012 har de brugt 230 mio. kr. på grøn omstilling af deres produktion, som er gået til bl.a. energioptimering og udfasning af kul og fossile brændsler. Det har ført til, at de har kunnet øge produktionen og samtidig reducere energiforbruget. Samtidig leverer de fjernvarme til 24.000 husholdninger. Endelig har omstillingen af den danske elproduktion med mere vedvarende energi betydet en væsentlig reduktion af CO₂-aftrykket af den anvendte el.

Desuden arbejder Aalborg Portland på at udvikle en forsøgscement med reduceret CO₂-aftryk, hvor mellemproduktet klinker, der fremstilles i cementovnen, erstattes af kalcineret ler og findelt kridt. Den udvikling sker blandt andet i forbindelse med projekterne FutureCEM, SCM-projektet og Grøn omstilling af cement og betonproduktion¹³.

ALTERNATIVER TIL CEMENT

Erstatning af cement med alternative bindere er en af de væsentligste kilder til at reducere CO₂-belastningen fra betonproduktion. Op mod 20 % af cementbehovet kan erstattes med alternative bindere¹⁴.

Restprodukter fra andre industrier eller kraftvarmeværker som eksempelvis flyveaske, mikrosilica og højovnsslagge kan til en vis grad erstatte cement i betonblandingen.

MED ALTERNATIVER TIL CEMENT SPARER MAN ENERGI, GENANVENDER RESTPRODUKTERNE OG KAN SAMTIDIG ØGE BETONKVALITETEN.

På grund af udfasningen af kulfyrede kraftværker i Danmark vil betonbranchen inden for en årrække skulle finde et alternativ til den bedste cementserstatning, nemlig flyveaske. En problemstilling der arbejdes målrettet på både forskningsmæssigt og i cement- og betonbranchen. Blandt andet forskes der målrettet i bioaske, kalcineret ler og kalkfiller som nye alternativer til cement.





STEN OG SAND

Hovedbestanddelen af beton består af sten og sand. Det kalder man tilslaget. Der anvendes årligt ca. 5 mio. m³ tilslagsmaterialer til beton. Dermed går kun en lille andel af den samlede indvinding på mere end 30 mio. m³ sand og sten til betonproduktion¹⁵.

Tilslaget indvindes primært i Danmark. Bortset fra størstedelen af granit som importeres fra Norge og Sverige og som bruges til ekstra stærke konstruktioner til især infrastruktur.

Den nyeste undersøgelse af råstofsituationen viser, at råstofsituationen i Danmark i hovedtræk er stabil, og der

er aktuelt ikke mangel på de fornødne råstoffer¹⁶. Der kan dog være lokale variationer, der gør, at nogle værker må hente tilslag længere væk fra.

Den fremtidige råstofsituation er dog mere usikker, da der, med mindre der udlægges flere arealer til indvinding, vil komme en mangelsituation inden for de kommende årtier.¹⁷

TILSÆTNINGSSTOFFER

Moderne beton indeholder typisk ét eller flere tilsætningsstoffer ud over råmaterialerne for at optimere betonens egenskaber.

Tilsætningsstoffer bruges i meget små mængder: Almindeligvis mellem 0,2–2,0 % af cementmængden, og de er almindeligvis ufarlige at håndtere.

De kan for eksempel fremskynde eller forsinke hærdeprocessen, øge betonens frostbestandighed eller ændre betonens bearbejdelse.

ARMERING

Næsten alle betonkonstruktioner består af armeret beton. I armeret beton giver betonen trykstyrke, mens armeringen bidrager til trækstyrke.

Mængden af armering varierer alt efter formål og design. Tømmelfinreglen er, at jo mere kompliceret byggeri, eller jo større spændvidder,

jo mere armering er der behov for. Der arbejdes konstant på at optimere brugen af armering, så man bruger mindst muligt¹⁸.

Stål brugt til armeret beton er typisk genbrug, så der spares energiforbrug i forhold til nyt konstruktionsstål.

Armeret beton kan også fremstilles med stål-, plast- eller glasfibre som armering. Der kan eksempelvis være store miljø og økonomiske fordele ved kombinationsløsninger af traditionel armering og stålfibre¹⁹.



BETONPRODUKTION

Selve produktionen af beton sker ved en fuldt automatiseret proces og uden en større miljøpåvirkning. Moderne betonfabrikker gør en stor indsats

for at genbruge vand og betonrester, ligesom der er fokus på receptoptimering, herunder den optimale sammensætning af tilslag og det centrale

vand/cement-forhold. Danmark er foregangsland inden for dette felt.

BETONPRODUKTER

Der er fem betongrupper, som i Dansk Byggeri er organiseret i følgende fem sektioner:

- Betonelement-Foreningen
- Fabriksbetonforeningen
- Belægningsgruppen

- Afløbsforeningen
- Blokforeningen

På de respektive sektioners websites kan man finde yderligere information. Derudover findes en lang række

betonprodukter og -konstruktioner, som ligger "uden for kategori", og som bruges til specialformål som fx olieudskillersystemer, bænke mv.

HVAD BRUGER MAN BETON TIL?

Man kan med god ret vende spørgsmålet om og spørge, hvad man ikke bruger beton til? For det er svært, hvis ikke umuligt at forestille sig et moderne samfund med boliger, infrastruktur, industri, rekreative muligheder, uddannelsesinstitutioner og så videre, hvis man ikke havde haft beton som materiale.

Herunder er oplistet de mest gængse former for brug af beton inden for byggeri og infrastruktur.

Byggeri

Beton er stærkt, holdbart, kan modstå brand og giver god lydisolering. Beton kan absorbere vibrationer og

har gode energimæssige egenskaber på grund af en høj termisk masse, der nedsætter behovet for opvarmning og køling. De mest almindelige steder, hvor beton bruges i bygninger, er:

- Fundamenter og kælderkonstruktioner
- Terrændæk og etageadskillelser
- Bærende konstruktioner – eksempelvis søjler og bjælker
- Udvendige og indvendige vægge – herunder vægelementer, blokmurværk og facadebeklædninger
- Tagsten

Infrastruktur

Beton er et ideelt materiale til infrastruktur og større bygværker,

fordi beton er stærkt og holdbart, og fordi beton modstår både fugt, temperatursvingninger og store mekaniske påvirkninger. Det vil af de grunde være betonkonstruktioner, der i de kommende år skal beskytte samfundet mod klimaforandringerens konsekvenser i form af stigende vandstand. På infrastrukturuområdet bruges beton ofte til:

- Broer og tunneler
- Veje, pladser og autoværn
- Kraftværker, biogasanlæg og vindmøllefundamenter
- Afløbs- og drikkevandssystemer
- Siloer og opbevaringstanke
- Klimatilpasning

ARBEJDSMILJØ

Arbejds miljø bliver højt prioriteret, og betonbranchen bestræber sig løbende på at forbedre arbejdsmiljøet. Antallet af arbejdsmiljøulykker under selve betonproduktionen ligger lavt og har været faldende.²⁰

Danmark har været foregangsland for den væsentligste arbejdsmiljøinnovation: Selvkompakterende

beton (SCC), også kendt som vibrationsfri beton, som for alvor slog igennem omkring 2007.²¹

SCC nedsætter støjniveauet på elementfabrikkerne, eliminerer risikoen for såkaldte "hvide fingre" ved brug af stavvibratore, og man undgår tunge og skæve løft.

En anden forbedring af arbejdsmiljøet er brugen af vegetabiliske formolier, som betonformene smøres med, så betonen ikke hænger fast. De er uskadelige, biologisk nedbrydelige og dermed sikrere og mere bæredygtige end mineralolier.





MILJØMÆSSIG BÆREDYGTIGHED

BETON STYRKER MILJØET

LIVSCYKLUSANALYSER (LCA) GIVER DEN BEDSTE VURDERING

Råstofmæssigt er byggeri og anlæg, som står mange år, det mest bæredygtige, fordi man ikke skal bruge ressourcer på at bygge nyt. Beton har levetider på mindst 300 år, og er dermed den oplagte ramme for byggeri og anlæg, som skal holde mange år.²²

Omvendt kan nedrivning og nybyggeri, som en Rambøll-rapport påviser, være den bedste energimæssige løsning, fordi man ofte kan opnå et langt bedre energiforbrug i en ny bygning end i en renoveret.²³

Ved vurdering af bæredygtighed er det derfor vigtigt at se på hele den konkrete livscyklus – fra udvinding af råstoffer over udførelse og drift til nedrivning af bygningen og genanvendelse af affald.

En omfattende svensk LCA-analyse udarbejdet af Sveriges Teknisk Forsknings Institutt, bestilt af leverandører fra såvel beton som træbranchen, har sammenlignet et større boligkompleks, som enten skulle bygges af træ eller beton. Konklusionen var, at miljøpåvirkningen var ens, uanset hvilket materiale man valgte til byggeriet²⁴. Det endelige valg til byggeri blev beton.

Anders Johansson fra boligselskabet Riksbyggen, som står bag byggeriet, sagde i den forbindelse:

"Vi havde kun lidt videnskabelig viden på dette område og engagerede derfor landets førende forskere, så vi kunne få ordentlige svar på, hvilket drivhusgas-aftryk henholdsvis beton og træ ville have i Brf Viva-projektet. Vi var lidt overraskede over, at beton og træ havde samme aftryk (...) Jeg håber, at forskningsprojektet kan bidrage til, at diskussionen bliver mere nuanceret og faktabaseret."

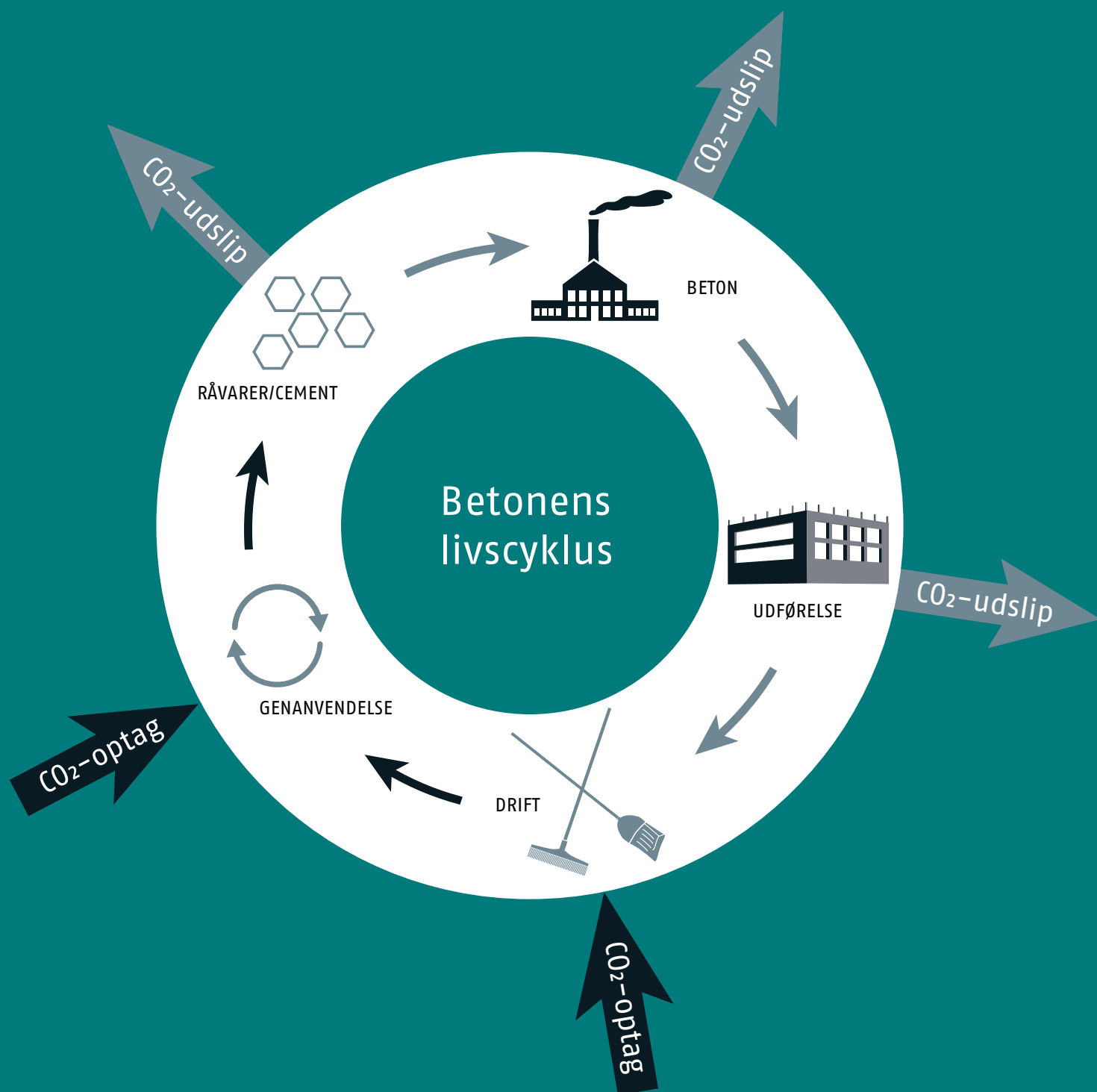
Det samme billede ser man inden for anlæg, hvor den komplette livscyklusvurdering af anlæg spiller ind, når der skal vælges materialer. Her spiller levetider på 100-120 år for broer, tunneler og afløb af beton naturligvis ind. Men også på andre miljømæssige parametre kan beton "konkurrere" miljømæssigt med andre materialer. For eksempel har en LCA-analyse af betonrør vist, at beton miljømæssigt er mindre belastende end alternative materialer.²⁵

De fem produktsektioner i Dansk Byggeri og Dansk Beton har udarbejdet miljøvaredeklarationer eller

EPD'er, som udgør datagrundlaget i LCA, så det er muligt at beregne den konkrete miljøpåvirkning i det enkelte byggeri eller anlæg.²⁵

**LANG LEVETID, LAVT
ENERGIFORBRUG, BEGRÆNSET
VEDLIGEHOLDELSE OG
KARBONATISERING GØR
BETON BÆREDYGTIG.**

I Danmark har bæredygtighedscertificeringen DGNB, som udbydes af Green Building Council Denmark, vundet indpas de senere år som den foretrukne certificeringsmodel. Det højeste certificeringsniveau – platin – er givet til en række betonbyggerier, og i det hele taget viser listen over DGNB-certificerede bygninger, at beton er det foretrukne materiale til bæredygtigt byggeri.²⁶



KARBONATISERING: GENOPTAG AF OP TIL 50 % CO₂

Bag det ikke særligt mundrette begreb karbonatisering gemmer der sig en væsentlig indsigt om CO₂. Nemlig at 25–35 % – og under optimale forhold helt op til 50 % – af den samlede CO₂-udledning fra cementproduktionen genoptages naturligt. Det sker kemisk ved, at betonen optager CO₂ i kontakt med atmosfærisk luft.²⁸

Selvom karbonatisering ikke officielt er accepteret af FN's Klimapanel og ikke medregnes, når bygninger LCA-analyseres og bæredygtighedscertificeres, så er effekten videnskabeligt veldokumenteret.

Var karbonatisering medtaget i ovenstående norske LCA-analyse, ville resultatet have faldet endnu mere positivt ud i forhold til beton.

I det hidtil største metastudie om karbonatisering, offentliggjort i Nature Geoscience i 2016, lød konklusionen, at cementbaserede produkter som beton udgør et substantielt CO₂-dræn:²⁹ "Vi konkluderer, at karbonatisering af cementprodukter repræsenterer et betydeligt kulstofdræn, der ikke aktuelt medregnes i udledningen".

Kort sagt er det grundigt videnskabeligt påvist, at beton, særligt i forbindelse med nedknusning, genoptager en markant CO₂-mængde, men dette indgår blot ikke i udledningsopgørelserne og bliver på nuværende tidspunkt ikke medregnet i LCA-analyser. Dette forhold fremgår også af en tidligere arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen.³⁰

"VI KONKLUDERER, AT KARBONATISERING AF CEMENTPRODUKTER REPRÆSENTERER ET BETYDELIGT KULSTOFDRÆN, DER IKKE AKTUELT MEDREGNES I UDLEDNINGEN".

Nature Geoscience, 2016

BETON OPTAGER NATURLIGT NOX

Foruden at genoptage CO₂ naturligt optager beton også NO_x – bedre kendt under fællesbetegnelse NO_x. Forsøg viser, at beton genoptager naturligt 10 % af en given NO_x koncentration.

Dette sker uden påførsel af fotokatalytiske stoffer. Dog viser studier, at genoptaget af NO_x kan øges ved brug af fotokatalytiske stoffer.³¹

"DERMED ER DET DOKUMENTERET, AT GÅNSKE NORMAL BETON OPTAGER OG OMDANNER NITRØSE UDSØDNINGSGASSER (...) DENNE MILJØGAVNLIGE EFFEKT FOREGÅR KONTINUERLIGT OVERALT – IKKE MINDST PÅ FORTOVE SAMT PÅ TORVE OG PLADSER MED BETONBELÆGNINGER."³²

Teknologisk Institut, 2006



BÆREDYGTIGE FORDELE VED BETONBYGNINGER

Ser man nærmere på bygninger, er der især tre forhold, som gør beton til et bæredygtigt materiale.

1 Den indlejrede energi i bygninger indhentes

Der er i stigende grad kommet fokus på den energi, der går til produktionen af byggematerialer (indlejret energi) og til opførslen af et byggeri eller anlæg.

Ser man her nærmere på bygninger, så koster det mere energi/CO₂ at opføre et byggeri i beton, men omvendt er energiforbruget i bygninger lavet i tunge materialer som beton lavere end i lette bygninger.

Særligt to forhold er vigtige i forhold til energi- og CO₂-fordelene ved betonbyggeri:

- Et lavere energiforbrug indhentes over tid forskellen på den indlejrede energi i tungt og let byggeri³³
- Karbonatisering: 25 % af CO₂-udledningen fra cementproduktionen optages naturligt i betonbyggeriets levetid, og når det nedknares

Og selv hvis man ikke medtager karbonatisering, resulterer det lavere energiforbrug i tunge bygninger i en opvejning af CO₂-aftrykket med opførslen.

2 Termisk effekt gør en markant forskel

Bygningers forbrug af energi udgør over 40 % af Danmarks totale energiforbrug, og hovedparten af det energiforbrug går blandt andet til opvarmning og køling. I den forbindelse betyder et lavere energiforbrug til opvarmning eller køling rigtig meget.

Flere studier og beretninger viser, at der er et markant besparelspotentiale på 15–17 % af energiforbruget i tunge bygninger af for eksempel beton, hvis man designer bygningen optimalt³⁴. Denne varmekapacitet er defineret i Bygningsreglementet og medtages i energiberegninger for byggeri.

Konkret skyldes det lavere energiforbrug, at betonvægge og -gulve er effektive til lagring af varme eller kulde, fordi de absorberer varme, når solen står op, og når solen går ned, frigives varmen.

Dermed kan betons termiske masse bruges til at reducere temperaturudsving i en bygning og dermed minimere eller fjerne behovet for opvarmning og aircondition.

"Betonens varmekapacitet (...) er noget af det bedste til at akkumulere varme og kulde, og det gør beton til den bedste løsning," siger senior-konsulent Magne Schütt Hansen og gør opmærksom på, at der kan være op til 15 % forskel på det samlede energiforbrug fra en let bygning til en tung af beton.³⁵

Integreres termoaktive betondæk i bygninger er potentialet endnu større, hvilket man for eksempel ser i Skuespilhuset i København, hvor man ifølge COWI sparer 30 % til opvarmning og op mod hele 75 % til køling.³⁶

3 Termisk masse som energilager i et flukturerende energisystem

Foruden betydeligt lavere energiforbrug i betonbyggeri er der mulighed for at bruge det tunge byggeri som energilager. Det er en mulighed, som skal realiseres i takt med, at energiforsyningen bliver mere flukturerende med energikilder som vind, sol, biogas mv.

Dermed er der brug for at kunne afkoble bygninger i længere eller kortere perioder. Bygninger bliver i fremtiden en integreret del af energisystemet, hvor man som bygningsejer vil kunne sælge sin batterikapacitet ved at afkoble sin bygning og dermed sit energiforbrug. Det er ikke virkelighed i stort omfang endnu, men energibranchen arbejder aktivt for at sikre et mere fleksibelt energiforbrug.³⁷

Aktuelt arbejdes der på mulighederne for lagring af energi og dekobling af bygninger fra fjernvarmenettet i Nordhavnen i København, hvor EnergyLab Nordhavn, DTU og fjernvarmeselskabet HOFOR laver test i en række boliger, hvor rådhuset er lavet af betonelementer.³⁸



BÆREDYGTIGHEDSOPTIMERET BETON

Betonbranchen arbejder konstant på at optimere brugen af beton og armering. Det sker på forskellig vis. Her er oplystes nogle af de væsentligste.

1 Nye cementtyper og supplementer til cement

Alternative bindere som supplement til cement kan reducere cementforbruget med op mod 20 %. Det er eksempelvis sket i projektet Grøn omstilling af cement og betonproduktion, hvor man har reduceret CO₂-belastningen med 30 % på en bro mellem Vejle og Herning og har udført en bro på Holstebromotorvejen i "grøn" beton.³⁹

2 Performancedesign

Ovennævnte bro er desuden designet efter et ydeevnebaseret design, der er under udvikling. Denne designtilgang tager udgangspunkt i performance og ydeevne i stedet for at regne i henhold til normer. Dette kan optimere brugen af beton og dermed spare CO₂.

3 Pakningsberegning

Danmark er foregangsland inden for pakningsberegning, som handler om at optimere betonrecepterne og dermed reducere mængden af cement uden at gå på kompromis med kvaliteten.⁴⁰

4 Beregningsoptimering

Med bedre digitale beregningsprogrammer kan man opnå en mere optimal anvendelse af beton og armering. Potentialet er en besparelse af 50 % af armeringen og 20–30 % af betonen.⁴¹

5 Selvudtørrende beton

Ved byggeri støbes betongulvene på stedet. Typisk er der et overskud af 20–40 liter vand per m³ beton, som skal udtørre, før betonen er tør nok til montering af eksempelvis trægulve. Ofte bruges en større mængde energi til opvarmning, affugtning og ventilation for at accelerere udtørringen. Men bruges selvudtørrende beton, kan en betragtelig del af den energi spares.⁴²



BÆREDYGTIGE BETONTRENDS

Udviklingen inden for bæredygtigt byggeri går flere veje, men her skal der være nedslag på tre trends, som er særligt relevante for beton.

1 Transformation

Omdannelse eller transformation, som det også kaldes, af eksisterende byggeri er en oplagt måde at arbejde med bæredygtighed på. Til det formål udgør betonkonstruktioner en oplagt mulighed på grund af den høje styrke og lange levetid.⁴³

De seneste år er der kommet en lang række flotte eksempler på, hvordan man kan genbruge betonkonstruktioner og på den måde skabe bæredygtigt byggeri:

- Industrisiloer i bl.a. Aalborg og Nordhavnen, Carlsberg Byen og Islands Brygge i København
- Det gamle kraftværk Nordkraft i Aalborg⁴⁴
- Vindere af RENOVER-prisen: Bibliotek i Herning og Konstabelskolen på Margretheholmen⁴⁵
- Søfartsmuseet i Helsingør tegnet af BIG⁴⁶
- Musicon i Roskilde, som var nomineret til Bæredygtig Beton Prisen⁴⁷

De nævnte eksempler er i den mere spektakulære ende, men der findes også en række mere almindelige bygninger, hvor man har revet alt ned bortset fra betonkonstruktionen, der så genbruges.

2 Design for adskillelse

En anden tendens inden for byggeri er design for adskillelse, som handler om, at man i designet af både byggematerialer og i selve bygningen tænker muligheden ind for at skille den ad igen. Altså et reversibelt design som giver bedre muligheder for enten genanvendelse til nye formål eller direkte genbrug.⁴⁸

I Holland har man udviklet byggesystemer, hvor betonelementer er samlet med bolte eller svejsede led, så hele bygninger kan adskilles og flyttes til en anden byggeplads. Dansk Beton er aktuelt aktiv i partnerskabet Circle House-projektet, hvor der skal bygges almene boliger med principperne for design for adskillelse for at få indsigt i de potentielle muligheder for nye principper for betonkonstruktion.⁴⁹

GENANVENDELSE AF GAMMEL BETON TIL NY BETON GIVER KUN MENING, HVIS MAN FÅR ET LIGE SÅ GODT PRODUKT SOM MED ALMINDELIGT TILSLAG – OG SAMTIDIG FÅR EN MILJØGEVINST.

3 Genanvendelse

Der er stor politisk og branchemæssigt fokus på genanvendelse. Og det med god grund, da en tredjedel af alt affald i Danmark er byggeaffald. Ser man på beton, er der minimum 2 mio. ton betonaffald årligt.

Den primære genanvendelse af nedknust beton er som bærelag under veje og pladser, hvor det erstatter råstoffet stabilgrus. Nedknust beton er faktisk et bedre bærelag end stabilgrus, fordi den har en større bæreevne. Vejdirektoratets vejledning for vejbygning angiver, at nedknust beton har en bæreevne, som kan være bedre end stabilgrus⁵⁰. Indregnes det i belægningsdimensioneringen, kan man reducere asfalttykkelsen og reducere CO₂-udledningen til asfaltproduktion.

Denne genanvendelse er således fornuftig både økonomisk og miljømæssig. Særligt fordi en stor del af den gamle nedknuste beton er af dårlig kvalitet eller kontamineret, så den ikke kan bruges til andre formål.

Er der derimod tale om beton af god kvalitet, og hvor man kender kilden, så er der mulighed for at genanvende den som tilslag i ny beton. I det tilfælde kan 20-30 % af tilslagsmængden erstattes med nedknust beton, hvis der er tale om konstruktionsbeton⁵¹. Der er ikke regler for, hvor meget nedknust beton man må bruge i for eksempel belægningssten, men de skal omvendt leve op til en række kvalitetskrav som frostbestandighed, trykstyrke m.v., hvilket sikres med certificeringer og kontrolordninger.⁵²

I alle tilfælde bør genanvendelsen ikke ske på bekostning af kvalitet, styrke og levetid.





SOCIAL BÆREDYGTIGHED

BETON STYRKER LIVSKVALITETEN



VISUELLE KVALITETER OG FORMBARHED

Beton er både formbart og fleksibelt. Det er derfor, man bruger beton til så mange formål. Beton kan være gråt og firkantet eller sort og rundt. Det kan være hvidt og blankt, eller det kan være rustikt og rå. Kun fantasien sætter grænser for, hvad man kreativt kan bruge beton til.⁵³

Det er ikke uden grund, at mange arkitekter er glade for beton, fordi det giver så mange muligheder formmæssigt og visuelt både inde og ude.⁵⁴

Der findes en lang række eksempler på brug af synlig beton i facader samlet på webplatformen synlig-beton.dk, som bl.a. Lundgaard & Tranberg Arkitekter A/S stod bag i samarbejde med parter fra hele byggebranchen.⁵⁵

Foruden de formmæssige muligheder kan man også præge overfladen i facader eller på belægninger med grafiske mønstre, hvilket kan give uendelige muligheder⁵⁶. Arkitekten Anne-Mette Manelius har kaldt beton for flydende sten og har bl.a. forsket i den mere eksperimenterende brug af tekstilforskaling.⁵⁷

Anden eksperimenterende brug af beton kan være lysledere, som gør betonen transparent. I projektet

"BETON ER ET ALSIDIGT MATERIALE MED NÆSTEN UENDELIGE MULIGHEDER FOR AT SKABE BYGNINGER MED SMUKKE OVERFLADER. BETON KAN FREMSTÅ LYS ELLER MØRK, GLAT ELLER RU, ROLIG ELLER SPRÆLSK – DET AFHÆNGER KUN AF DELMATERIALER, FORMMATERIALER OG EFTERBEHANDLING. DET ER DERFOR NÆSTEN ALTID MULIGT AT FINDE EN LØSNING, DER PASSER TIL DET ØNSKEDE ARKITEKTONISKE UDTRYK."

"Smukke betonoverflader", Teknologisk Institut

Brightwall blev der for eksempel fremstillet og demonstreret et gen-nemsigtigt betonelement, blandt andet udviklet i samarbejde med den hollandske arkitekttegnestue UN Studio.⁵⁸

Digital fabrikation er ligeledes et område, som har en stor betydning for betonens arkitektoniske muligheder. Ved anvendelse af robotteknologi til fabrikation af støbeforme er der blevet fremstillet betonkonstruktioner med et helt nyt formsprog. Det ser man blandt andet med projektet Bladerunner, hvor arkitekttegnestuen 3XN sammen med andre partnere har undersøgt potentialerne ved den nye teknologi. Et andet eksempel er "Fisken" i Aarhus, designet af den

internationale arkitekttegnestue Superpool og fremstillet i forbindelse med det europæiske udviklingsprojekt TailorCrete.⁵⁹

Et tredje eksempel er robotteknologi, som øger formpotentialer med dobbeltkrumme overflader, hvilket arkitekttegnestuen 3XN ser på sammen med en række andre partnere.⁶⁰

Den store interesse blandt arkitekter og den øvrige byggebranche for de tre betonpriser: Bæredygtig Beton, Prisen, In-situ Prisen og Beton-element-Prisen, som bliver uddelt hvert andet år til Prisfest for dansk betonarkitektur, vidner om en stor interesse for at bruge beton synligt og kreativt.⁶¹



UDE LIV

Det er måske at gå for langt at kalde opfindelsen af den klassiske for-tovsflise for en revolution, men den ændrede i hvert fald komplet bybille-det og muligheden for at gå tørfoot rundt i byen uden at få mudder på sko og ben.

I dag er betonbelægning den mest udbredte belægningssten, hvilket ikke mindst skyldes prisen. Men bestemt også de mange muligheder med både de mange variationer inden for masseproducerede belægninger og specialprodukter, hvor man kan lave netop den særlige belægning, der er brug for til det specifikke område.

Belægningssten bruges ikke kun i byen til pladser og fortove. Faktisk er den mest udbredte brug til indkørsler og terrasser ved enfamiliehuse.

Beton er også et yndet materiale til skaterbaner over hele landet og rekreative anlæg, hvor der også ofte indgår specialstøbte elementer til bænke, plinte mv.

Rekreative klimaløsninger

De seneste år har vist konsekvenserne af klimaforandringer: Mere og kraftigere regn med flere skybrud. Og kraftigere storme som har givet stormflod og oversvømmelser.

I begge tilfælde kan beton være et yderst brugbart materiale til at håndtere de ekstra vandmængder. Det kan være med stormflodssikring ved kyster og havne. Eller med løsninger både over og under jord, i praksis ofte en kombination, til at håndtere store regnmængder.

Betonen har i de sammenhænge vist sig som et materiale, som kan løse flere behov. Først og fremmest den rent fysiske håndtering af vand. Men i stigende grad har kommuner og landskabsarkitekter fået øjnene op for mulighederne med at bruge betonen også kreativt og æstetisk, så man med klimaløsningerne både håndterer vandet og samtidig skaber rekreative offentlige rum.

Fine eksempler på rekreative klimaløsninger har man set de seneste år med Le Mur i Lemvig, Lindevangsparken på Frederiksberg og sønæs ved Viborg.⁶²

Julian Weyer, partner i arkitektfirmaet C.F. Møller, sagde i forbindelse med uddelingen af Bæredygtig Beton Prisen 2017:

"De tre nominerede projekter er valgt, fordi de ud over at bruge betonen bæredygtigt også har brugt den kreativt til flere formål. I alle tre tilfælde har man skabt spændende rekreative områder, som indbyder borgerne til mange forskellige aktiviteter. Det er tre meget spændende projekter, som viser de mange muligheder for at bruge beton bæredygtigt."

GODT INDEKLIMA

Indeklima har de seneste år fået ekstra bevågenhed, og i den henseende er beton en fordel. I bygninger bidrager beton med at skabe godt indeklima på fem områder.

1 Termisk komfort

Betons termiske masse reducerer temperaturudsving i en bygning, hvilket skaber optimal komfort for beboerne.

"GODT INDEKLIMA ER UTROLIG VIGTIGT FOR OS OG VORES SUNDHED, DA VI OPHOLDER OS MEGET INDENDØRE, OG DA BYGNINGER I DAG ER MERE TÆTTE END TIDLIGERE. DET GIVER DOG IKKE STØRRE RISIKO FOR ALLERGI AT BO I BYGGERI AF BETON FREM FOR BYGGERI I ANDET MATERIALE."⁶³

Lise Nørgaard, Astma-Allergi Danmark

2 Ubetydelig afdampning

Den indendørs luftkvalitet har stor betydning for sundhed og helbred. Beton bidrager på flere måder til en god luftkvalitet og et sundt indeklima i boliger og på arbejdspladser.

En større undersøgelse af beton, gennemført af Miljøstyrelsen, har påvist, at bygninger af beton kan indeklima-mærkes, fordi afdampningen af flygtige, organiske stoffer fra beton er uden betydning for helbredet.⁶⁴

Derudover behøver betonvægge ingen efterbehandling med maling, som kan afdampe skadelige stoffer.

4 Effektiv lydisolering og akustik

Beton kan sikre en god lydkomfort. Tunge og massive konstruktioner har typisk bedre lydisolering end lette konstruktioner. Derfor sikrer beton-byggeri, at udefrakommende støj dæmpes. Gulvkonstruktionerne har også stor betydning for lydforholdene i en bygning. Bl.a. kan betongulve effektivt dæmpe trinstøj, som ellers kan opleves generende.

Benyttes betonen korrekt, kan man opnå gode akustiske forhold, som arkitekt Klaus Toustrup bemærker:⁶⁵

"Vi er jo ikke vant til, at betonen får lov til at stå frem i sin rå form i de fineste sale, hvor musikken skal nydes. Men betonen har fantastiske akustiske egenskaber, vi kan modellere den og sende lyden i alle retninger."

3 Ingen fugt og skimmel

Beton fungerer som en effektiv fugt-spærre, hvilket forbedrer indeklima-et. Beton absorberer kun forholdsvis små mængder fugt, og fordi beton er et inaktivt og uorganisk materiale, hverken nedbrydes eller rådner det på grund af fugtabsorbering. Dermed er der ikke grobund for skimmel og mug.

I tilfælde af oversvømmelse er det som regel tilstrækkeligt at udtørre bygningen uden behov for nedrivning eller renovering.

5 Effektiv radonløsning

Radon er en naturligt forekommende radioaktiv luftart, som er kilde til cirka halvdelen af den samlede radioaktive bestråling af den danske befolkning. Et terrændæk af beton uden revner kan medvirke til at forhindre, at radon kan trænge ind i bygninger fra undergrunden.

HOLDBART OG SIKKERT

Uanset om man kører på en bro eller bor i et højhus, er en afgørende faktor for alt byggeri og anlæg, at det er holdbart og sikkert.

I den forbindelse er høj trykstyrke karakteristisk for beton, hvilket giver robuste bygninger og anlægskonstruktioner med gode styrkeegenskaber og lang levetid.

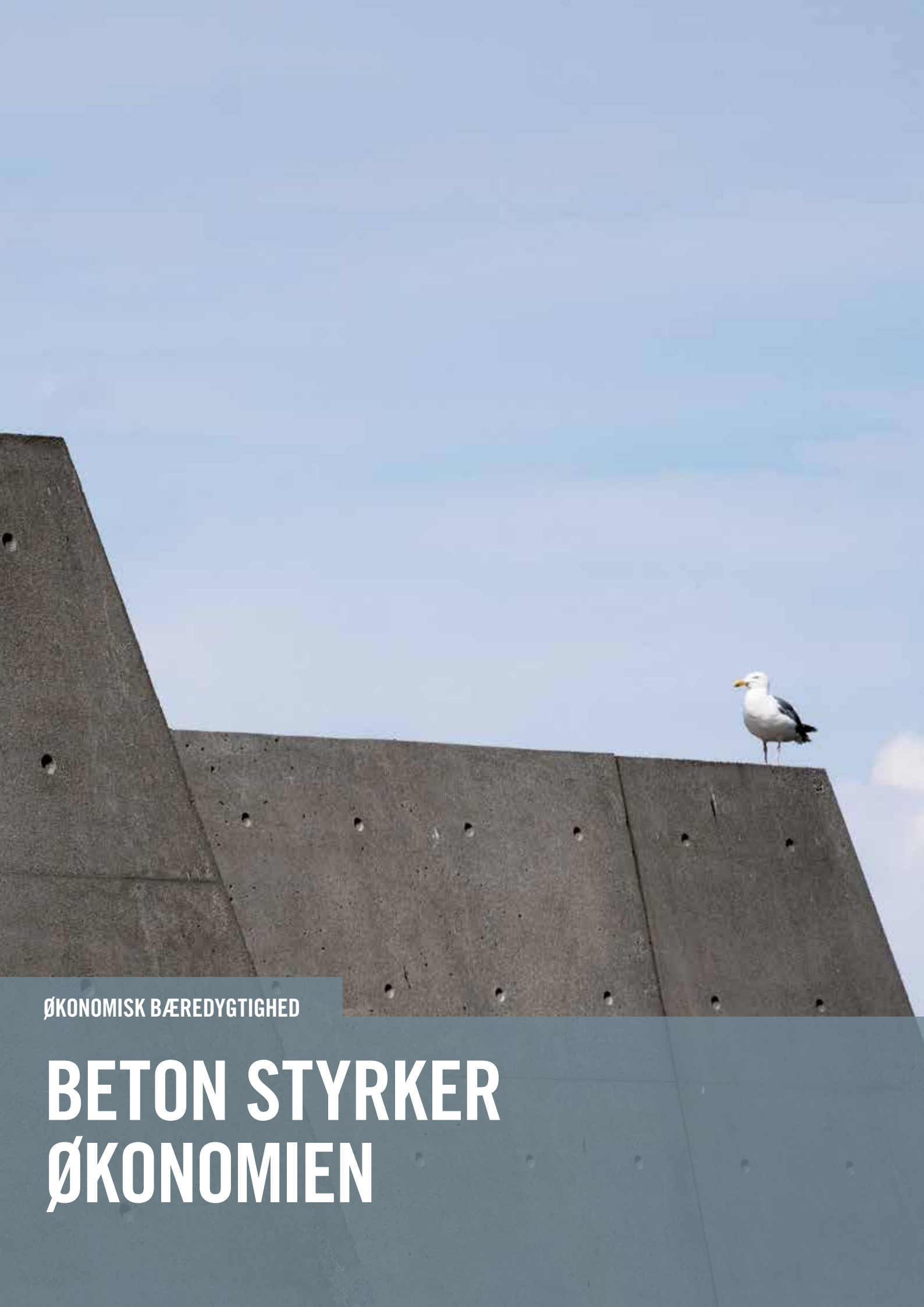
Samtidig har beton god modstandsevne i tilfælde af brand og kan designes til at være robust selv i de mest ekstreme tilfælde af brand. Det gælder, uanset om beton anvendes til byggeri eller infrastruktur som tunneler.

Derudover kan beton, på grund af sin styrke, absorbere energi fra stød.

Autoværn mellem vejbaner laves ofte af beton, der kan modstå stød fra køretøjer. Beton bruges også i forsvarsværker. Betonkonstruktioner er fordelagtige, hvor bygninger eller infrastruktur potentielt er udsat for bombeangreb eller eksplosioner, hvilket desværre også er blevet aktuelt i Danmark.







ØKONOMISK BÆREDYGTIGHED

BETON STYRKER ØKONOMIEN

BETONS BIDRAG TIL ØKONOMISK BYGGERI

Den samlede levetidsomkostning ved byggeri eller anlæg handler ikke mindst om drift i bredeste forstand med energiforbrug, vedligehold, renovering mv. Sammenholdt med opførselsomkostningerne er driftsomkostningerne i mange tilfælde tre gange større, eller mere, set over en komplet levetid.

Betons lange levetid

I forbindelse med drift er især betons lange levetid en afgørende faktor. Lang levetid er vigtigt for bæredygtighed både af miljømæssige, økonomiske og kulturelle årsager.

Anlægs konstruktioner har typisk været designet til mellem 75 og 100 års levetid. Eksempelvis er både Storbælts- og Øresundsbroen designet til 100 års levetid. Men i takt med at betontechnologien udvikler sig, skærpes kravene, hvorfor Femern-forbindelsen designs til 120 års levetid.⁶⁶

I en undersøgelse af levetider på byggeri, udført af SBI, fastsættes den tekniske levetid på beton til 300 år.⁶⁷

Begrænsede omkostninger til vedligehold

Betonbyggerier kræver meget lidt vedligeholdelse. Indendørs vil beton holde næsten evigt. Udendørs skal beton modstå større belastninger.

BETONBYGNINGER ER
OMKOSTNINGSEFFEKTIVE.
DET SKYLDES BETONS LANGE
LEVETID OG LAVE DRIFTS-
OG VEDLIGEHOLDELSES-
OMKOSTNINGER.

Betonoverflader behøver ikke maling og reparationskrævende skader på bygninger er forholdsvis sjældne. Til reparation af infrastruktur er der udviklet en række effektive reparationsmetoder og -systemer.

HØJ PRODUKTIVITET OG RELATIVT LAVE PRISER

En af grundene, til at beton er så udbredt et materiale, er, foruden først og fremmest kvaliteten, styrken, levetiden og de mange anvendelsesmuligheder, at man får meget kvalitetsbyggemateriale for pengene.

Betonbranchen har gennem årtier optimeret og effektiviseret deres pro-

duktion med automatisering, LEAN-arbejdsgange og -produktionsproces, hvilket har givet en stabil og i nogle tilfælde faldende prisudvikling.

Dette er naturligvis vigtigt for både bygherre og entreprenør, når der skal vælges byggemateriale til de forskellige anlæg og byggerier.

RENOVERING ELLER NYBYGGERI?

Renovering fylder mere og mere i byggebranchen, men renovering er ikke altid den bedste løsning. Rambøll har lavet en benchmark-analyse af kommunale byggerier og konklusionen er, at, i mange tilfælde, er det totaløkonomisk mest fordelagtigt at rive ned og bygge nyt.

Det skyldes tre forhold, hvor en ny bygning kan være bedre end en renoveringsløsning:

- Lavere energiforbrug
- Tidssvarende komfort og funktionalitet
- Lavere vedligeholdelsesomkostninger



FLEKSIBILITET OG TRANSFORMATION

Bæredygtighed, både miljømæssig og økonomisk, handler også om fleksible bygninger, der let kan ændres, udvides eller opdeles.

Fleksibiliteten bør inddrages tidligt i projektet. Omkostningerne ved fremtidssikring af en bygning under opførslen er kun en brøkdel af de samlede omkostninger ved senere ændringer. I forbindelse med den bærende konstruktion er det fordelagtigt at lave store åbne rum, der senere kan inddeles efter behov.

NÅR DET KOMMER TIL
FLEKSIBILITET, ER FORDELENE
VED BETON STOR STYRKE OG
MULIGHEDEN FOR AT DESIGNE
STORE SPÆNDVIDDER.



REFERENCER

- 1 CO₂ and other Greenhouse Gas Emission: <http://bit.ly/2yVDAFR>
- 2 The Rise and Potential Peak of Cement Demand in the Urbanized World: <http://bit.ly/2wJXVNT>
- 3 Estimeret blev der solgt 1,3 mio. ton cement i Danmark i 2016. Der udledes gennemsnitligt 0,8 ton CO₂ per ton cement. Holdt op ift. officielle tal for CO₂-udledning fra Energistyrelsen står cement- og betonproduktion for omkring 3,4 % af den samlede CO₂-udledning i Danmark
- 4 BETON-1-2015: <http://bit.ly/2yUUgh0>
- 5 Brancheanalyse beton – renere teknologi ved betonfremstilling, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, 41/1995: <http://bit.ly/2gryomG>
- 6 Center for Grøn Beton, Teknologisk Institut: <http://bit.ly/2y5ywCn>
- 7 Produktområdeprojekt vedrørende betonprodukter, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2004: <http://bit.ly/2zbm06G>
- 8 Viden om SCC, Teknologisk Institut: <http://bit.ly/2grGBql>
- 9 Miljøvenlig cementproduktion (FUTURECEM), Energiforskning.dk: <http://bit.ly/2y74ai0>
- 10 Ingeniøren, 2013: <http://bit.ly/2za100h>
- 11 Bæredygtige betonkonstruktioner, Teknologisk Institut: <http://bit.ly/2xv08uk>
- 12 Center for Grøn Beton, Grøn Beton II, Teknologisk Institut: <http://bit.ly/2hYkXhx>
- 13 Center for Grøn Beton, Teknologisk Institut: <http://bit.ly/2xtf8zn>
- 14 Miljøvenlig betonproduktion: www.teknologisk.dk/_/media/22675_Milj%F8venlig%20betonproduktion.pdf
- 15 MiMa rapport 2016/2: <http://bit.ly/2zcvH03>
- 16 MiMa rapport 2016/2: <http://bit.ly/2zcvH03>
- 17 Råstoffer. Er der behov for en national strategi? Danske Regioner, 2017: <http://bit.ly/2BQh0FX>
- 18 Ingeniøren, 2017: <http://bit.ly/2gr6XZX>
- 19 Bæredygtige betonkonstruktioner med stålfibre, Teknologisk Institut: <http://bit.ly/2xv08uk>
- 20 BETON-2-2017: <http://danskbeton.dk/magasinet-2-2017>
- 21 Viden om SCC, Teknologisk Institut: www.voscc.dk
- 22 Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi, SBI 2013:30: <http://bit.ly/2za2kLL>
- 23 Renovering eller nybyg, Rambøll, 2013: <http://bit.ly/2kB65GS>
- 24 Energi och klimateffektiva byggsystem. Miljövärdering av olika stomalternativ, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2015: <http://bit.ly/2yqMPBG>
- 25 Betonrøret – det mindst miljøbelastende afløbsrør, Dansk Beton Afløbsforeningen, Teknologisk Institut og Carl Bro, 1995: <http://bit.ly/2xvQCcl>
- 26 Miljøvaredeklarationer forkortes ofte til MVD eller EPD (Environmental Product Declaration). Se mere på www.danskbeton.dk med links videre til de fem sektioner, hvor man finder de enkelte branche-EPD'er
- 27 Green Building Council Denmark: <http://bit.ly/2x2Zwyl>
- 28 CO₂-udledningen fra betonproduktion kommer fra brændsler (40 %) og den kemiske kalcinerings (60 %). Et metastudie (se note 29) opgør, at 43 % af CO₂-udledning fra kalcineringen genoptages, det svarer til 25 % af den samlede udledning. Opgørelse fra Aalborg Portland opgør, at 55–85 % fra kalcineringen genoptages, det svarer til 35–50 % af den samlede udledning. Jfr. Beton opsuger CO₂, Aalborg Portland: <http://bit.ly/2y7zjjt>
- 29 Substantial global carbon uptake by cement carbonation, Nature Geoscience 9, 2016: www.nature.com/articles/ngeo2840
- 30 Miljøvurdering af nye betontyper, Miljøstyrelsen: <http://bit.ly/2g8Gy6x>
- 31 BETON, 2016: <http://bit.ly/2B9Q00S>
- 32 Produktområdeprojekt vedrørende Betonprodukter 2003–2006, Teknologisk Institut, <http://bit.ly/2joMmqN>
- 33 Notat vedr. indlejret energi, Constructa: <http://bit.ly/2yyZa6r>
- 34 Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: A case study on the effects of thermal mass and climate change, Energy and Buildings 40, 2008: <http://bit.ly/2y7L5u9>
- 35 Elementet, CRH Concrete # 7:2013: <http://bit.ly/2ycrvyW>
- 36 EnergiKoncept for Skuespilhuset, COWI: <http://bit.ly/2ywjDXf>
- 37 Intelligent Energi: <http://bit.ly/2xvb01U>
- 38 EnergyLab Nordhavn: <http://bit.ly/1J6nDvR>
- 39 Ingeniøren, 2014: <http://bit.ly/2ydfhWM>
Vejdirektoratet: <http://bit.ly/2giDD7B>
Dansk Beton: <http://danskbeton.dk/tradition>
- 40 Pakningsanalyser og ideal partikelfordeling, Teknologisk Institut: <http://bit.ly/2g8Hlip>
- 41 Ingeniøren, 2017: <http://bit.ly/2gr6XZX>
- 42 Fabriksbetonforeningen: <http://bit.ly/2yzeb5U>
- 43 Genbrug af betonkonstruktioner bidrager til cirkulær økonomi, Renovering på dagsordenen: <http://bit.ly/2yVyoCb>
- 44 RENOVER Prisen 2017: <http://bit.ly/2gpHEaK>
- 45 RENOVER Prisen – tidligere vindere: <http://bit.ly/2gpHtw6>
- 46 Museet for søfart: www.mfs.dk
- 47 Musicon, Dansk Beton: www.danskbeton.dk/musicon
- 48 Building a Circular Future: <http://bit.ly/2fxLVI3>
- 49 Circle House, Lejerbo: <http://bit.ly/2yc0ULg>
- 50 Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger, Vejregler: <http://bit.ly/2BemesN>
- 51 DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017. Nationalt annekset til Eurocode 2: Betonkonstruktioner: <http://bit.ly/2fWbpiS>
- 52 De mest udbredte certificeringer i Danmark for betonvarer er BVK, Dancert og Bureau Veritas. Betonvarekontrollen: www.betonvarekontrollen.dk
Dancert: www.dancert.dk
Bureau Veritas: <http://bit.ly/2g7ATxd>
- 53 Betonhåndbogen: <http://bit.ly/2xvT2Y8>
- 54 Smukke betonoverflader, Teknologisk Institut: <http://bit.ly/2ydcUml>
- 55 Synlig Beton: www.synligbeton.dk
- 56 Graphic Concrete: <http://bit.ly/2ycAMX0>
- 57 Flydende sten: Betons arkitektoniske potentialer. Et udrædningsprojekt: <http://bit.ly/2y9FyUg>
- 58 Lysledere i beton skaber klippesolide TV-skærme, Teknologisk Institut: <http://bit.ly/2giWgZb>
- 59 Betonfisk viser vejen for fremtidens digitale arkitektur, Teknologisk Institut: <http://bit.ly/2yCoDwp>
- 60 Bladerunner – forskningsprojekt: <http://bit.ly/2kApV4Z>
- 61 Dansk Beton – Arkitektur: www.danskbeton.dk/arkitektur
- 62 Dansk Beton – Bæredygtighed: www.danskbeton.dk/b-prisen
- 63 Elementet, CRH Concrete # 5:2012: <http://bit.ly/2za8sU5>
- 64 BETON-4-2008: <http://bit.ly/2ycQwub>
- 65 Dansk Beton – musikalsk beton: www.danskbeton.dk/musikalsk-beton
- 66 Felteksponering og monitorering til forlængelse af anlægskonstruktioners levetid: <http://bit.ly/2hZ0zwN>
- 67 Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi, SBI 2013:30: <http://bit.ly/2za2kLL>





Dansk Beton
Nørre Voldgade 106
1358 København K
Tlf. 72 16 00 00
www.danskbeton.dk