

BÆREDYGTIG BETON initiativ



DIALOGGRUNDLAG FOR DESIGNOPTIMERING AF BETONKONSTRUKTIONER

TITEL

Dialoggrundlag for designoptimering af betonkonstruktioner

UDGIVELSESDATO

1. marts 2023

UDARBEJDET AF

- Dorthe Mathiesen, Dansk Beton
- Jan Søndergaard Hansen, Jan Søndergaard ApS (rådgiver for Dansk Beton)

PROJEKTGRUPPE

- Rambøll v/Tim Gudmand-Høyer og Daniel Halberg Spiegelhauer
- MOE v/ Brian Hurup-Felby og Per Beyer Christensen
 - SWECO v/Lars Bork Hansen, Christian Corydon og Jacob Andersen
 - Cowi v/Jens Meyer Frederiksen og Fedja Arifovic
 - Niras v/Peter Noyé, Niras og Lars Zenke Hansen
 - Optum v/Morten Andersen Herfelt og Jørgen Krabbenhøft
 - Spæncom v/ Finn Passov
 - CRH Concrete v/Lars Reimer

DIALOGGRUPPE

- AP Pension
- ATP Ejendomme
- Pension Danmark
- NREP
- Byggeri København
- Sønderborg Kommune
- Bygningsstyrelsen
- Domea.dk
- NCC Danmark A/S
- CG Jensen A/S
- MT Højgaard A/S
- Aarsleff A/S
- LM Byg A/S
- Bygherreforeningen
- Foreningen af Rådgivende Ingeniører

UDGIVER

Bæredygtig Beton initiativet er forankret i Dansk Beton, som er en branchesammenslutning i DI Byggeri.
www.danskbeton.dk

OPSÆTNING

Brøndum Layout

FOTO

Dansk Beton

Parterne bag Dialoggrundlaget fraskriver sig ethvert ansvar for ethvert tab, der måtte følge ved brug af Dialoggrundlaget uagtet, hvordan tabet måtte være opstået.

FORORD

TILBLIVELSE

Tilblivelsen af Dialoggrundlag for designoptimering af betonkonstruktioner (i det følgende ”Dialoggrundlaget”) udspringer af Bæredygtig Beton initiativet, der er forankret i Dansk Beton, som er en branchesammenslutning under DI Byggeri.

Dialoggrundlaget er blevet til gennem en række workshops med projektgruppen bestående af de fem største rådgivende ingeniørvirksomheder i Danmark samt gennem sparring og dialog med bygherrer, entreprenører, leverandører og relevante organisationer.

Endelig er der gennemført en offentlig høring af dokumentet, hvor vi modtog høringssvar fra 20 virksomheder/organisationer, som er indarbejdet til den udgave, som foreligger nu.

Den oprindelige idé med Dialoggrundlaget udspringer af et behov for at pege på de mest oplagte tekniske muligheder, der kan bidrage til at nedbringe materialeforbruget i betonkonstruktioner og til at få bragt nye CO₂-reducerede betontyper ind i betonbyggeri.

Undervejs i arbejdet blev det tydeligt, at byggeprojekters kompleksitet og faseinddeling samt de forskellige rådgivnings- og entrepriseformer blandt byggeriets parter ofte er afgørende for om og hvornår de tekniske muligheder kan bringes i anvendelse. Dertil kommer indflydelsen af en til tider fastlåst kultur i byggebranchen. Derfor blev løsningen at etablere et dialoggrundlag fremfor en egentlig konkret vejledning.

Det er dog valgt at fastholde det overordnede fokus på de tekniske muligheder for optimering og kun sporadisk berøre de juridiske aspekter omkring udbud, kontraktindgåelse, entrepriseformer, samarbejdsformer mv.

Dansk Beton takker alle, der har bidraget med konstruktiv dialog om udarbejdelse af Dialoggrundlaget, og det forventes at Dialoggrundlaget vil blive tilpasset, udbygget og justeret de kommende år i takt med at branchen opnår erfaring med værktøjet.

LÆSEVEJLEDNING

Dialoggrundlaget indeholder 10 afsnit og et appendix.

Afsnit 0 - 3 indeholder beskrivelser af baggrunden, formål og afgrænsning for Dialoggrundlaget samt en ordliste over de mest centrale begreber anvendt i Dialoggrundlaget.

Afsnit 4 indeholder en kort beskrivelse af de faser som et bygge- og anlægsprojekt typisk inddeles i samt en oversigt over forskellige rådgivnings- og entrepriseformer. Dette for at understrege, at begge forhold er betydende for, hvornår det giver mening at arbejde med de forskellige temaer til optimering af betonkonstruktioner.

Afsnit 5 - 9 indeholder beskrivelser af konkrete temaer, som hver især vil bidrage til at betonkonstruktioner ikke indeholder mere materiale end højst nødvendigt. For hvert tema er der redegjort for:

- **Relevansen** – En redegørelse for, hvorfor det pågældende tema vil kunne give anledning til mindre materialeforbrug i betonkonstruktionerne.
- **Mulige spørgsmål til besvarelse** – En ikke udtømmende liste af spørgsmål, som kan indgå som dialog mellem aftaleparter i forhold til at finde relevante optimeringsmuligheder.
- **Beslutningsgrundlag** – En rapportering af temaet som bibringer bygherren det nødvendige grundlag for at kunne vælge, hvad der skal implementeres videre i byggeriets efterfølgende faser. Beslutningsgrundlaget forelægges bygherren af den part, som der er indgået aftale med.

Afsnit 10 omhandler en beskrivelse af nødvendigheden af, at forholde sig til prisen for sparret CO₂. Står CO₂-besparelsen for de enkelte temaer mål med de omkostninger, det vil kræve, at opnå de givne CO₂-besparelser?

Appendix A – indeholder et eksempel på et byggefaseforløb, hvor det er præciseret, hvornår forskellige overvejelser kan indgå og hvad der vil være ekstraordinære ydelser i forhold til en traditionel tilgang til et byggeri.

1. INDHOLD

	Forord	3
1.	Indhold	5
2.	Baggrund og formål	6
3.	Ordliste	10
4.	Faser, rådgivnings- og entrepriseformer	14
5.	Genanvendelse og genbrug af beton	15
6.	Optimering af betonkonstruktioner	18
7.	Eksponeringsklasser	22
8.	Krav til betonens trykstyrke	25
9.	Materialevalg og LCA	27
10.	Prisen på CO ₂ -besparelser og LCC	30
11.	Appendix A	32

2. BAGGRUND OG FORMÅL

BAGGRUND

Beton og armering indgår i store dele af byggeriet i Danmark og globalt. På trods af at der introduceres nye og alternative materialer i byggeriet i disse år, er det forventeligt, at fremtidens byggeri også vil indeholde beton.

Der er ingen tvivl om, at cement- og betonindustrien skal omstilles til produktion med signifikant lavere CO₂-aftryk for at imødekomme fremtidens krav om reduktion af CO₂-udledningen totalt. Der pågår i øjeblikket megen forskning, udvikling og innovation for at reducere udledningerne fra denne industri. Potentialerne for signifikante CO₂ reduktioner er store, men de helt store initiativer, som fx CO₂ fangst, ligger nogle år ude i fremtiden. I de kommende år, hvor udledningen stadig vil være i den høje ende fra cement og beton, er det derfor nødvendigt, at alle tiltag bringes i anvendelse for at nedbringe materialeforbruget mest muligt, når der bygges i beton.

I det fremtidige ressourceeffektive og CO₂-reducerede byggeri er det vigtigt, at der ikke anvendes mere cement, beton og armering end absolut højst nødvendigt for at opfylde funktionskravene i byggeriet.

Hvor driverne for design, produktion og udførelse tidligere har været tid og omkostninger, er der nu og i fremtiden også et fokus på CO₂ og ressourceforbrug. Det betyder ændringer i den måde vi designer vores bygninger, producerer vores materialer og udfører vores konstruktioner.

Den 1. januar 2023 blev der indført krav til CO₂ pr. m² pr. år for byggerier over 1.000 m² i BR18 og krav om klimaberegninger for alt nybyggeri. Det vil alt andet lige stille større krav til byggeriets parter i forhold til materialevalg. Men det handler ikke om materialevalg alene. Det handler også om at høste de gevinster, der er ved at optimere mere nuanceret på konstruktionerne. En mere dybdegående optimering af i de statiske systemer (fx ramme, skive, gitter) og de mulige beregningsmetoder (elastisk/plastisk) er eksempler på områder, hvor der forventeligt kan hentes besparelser i forhold til konventionel praksis.

Det har været en gennemgående tilbagemelding fra dialogmøder og ved møder i projektgruppen, at der er muligheder for at projektere byggeri med signifikante materialebesparelser i forhold til konventionel praksis, hvis vi ændrer måden vi projekterer, udbyder, producerer og udfører konstruktionerne på og ikke mindst, hvis vi ændrer på måden vi samarbejder mellem byggeriets aktører. Dette var også et af resultaterne i en interviewundersøgelse gennemført af Dansk Beton i 2018¹

FORMÅL

Formålet med Dialoggrundlaget er at bidrage til, at vi i fremtidens byggeri i Danmark anvender beton ansvarligt med respekt for de afledte CO₂-udledninger og ressourceforbrug. Dialoggrundlaget skal bringe byggeriets aktører et værktøj, som kan være med til at sikre, at når der anvendes beton, så anvendes der kun lige den nødvendige mængde. Det er ikke tilstrækkeligt blot at sikre, at kravene til lyd, brand, bæreevne og CO₂ i BR18 er opfyldt, det handler i fremtiden om at optimere således, at CO₂-aftrykket og ressourceforbruget er lavest muligt i hvert enkelt tilfælde og hvis muligt også lavere end kravgrænsen.

ANVENDELSE

Dialoggrundlaget kan anvendes som udgangspunkt for dialog mellem byggeriets aktører i alle de faser af byggeriet, hvor det er muligt at påvirke projekteringen af betonkonstruktioner, herunder de valg der træffes omkring dimensioner, geometri, betontyper mv.

Dialoggrundlaget er ikke udtømmende på området, men indeholder de væsentligste temaer, der hvis de inddrages i en eller flere af et byggeprojekts faser, vil bidrage til, at betonkonstruktioner optimeres i forhold til både CO₂, ressourcer og økonomi.

Dialoggrundlaget kan anvendes som et metodisk afsæt i forhold til at imødekomme klimakrav i Bygningsreglementet, nye kriterier for CO₂ ved DGNB certificering og klimakrav ved Svanemærket byggeri. Derudover kan Dialoggrundlaget anvendes sammen med ”Tillæg om Bæredygtighedsydelse, 2022” udarbejdet af FRI, Danske Ark og Bygherreforeningen, der hvor byggeriets parter ønsker at gå mere i detaljer omkring projektering af betonkonstruktioner.

Dialoggrundlaget kan anvendes i sin helhed eller ved blot at udvælge relevante temaer for det pågældende byggeri og i den pågældende fase af byggeprojektet.

AFGRÆNSNING

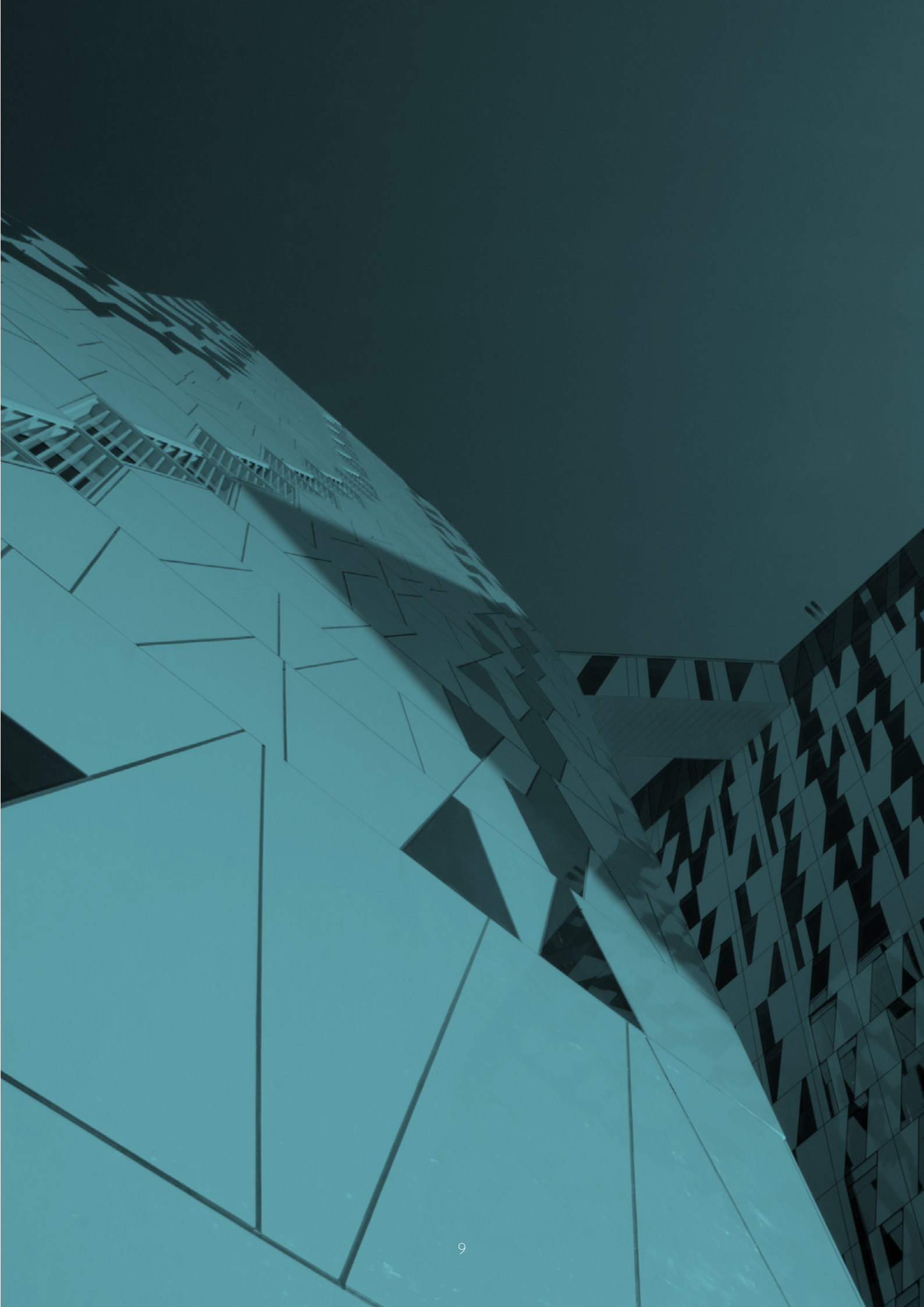
Dialoggrundlaget er udarbejdet med fokus på bygninger, der opføres i henhold til Bygningsreglementet, BR18, og de underliggende normer og standarder. Dialoggrundlaget vil imidlertid også kunne anvendes som inspiration og som grundlag for dialog om projekter, der ligger uden for rammerne af BR18, fx anlægskonstruktioner.

Derudover er det et bevidst valg, at der hovedsagelig er fokus på projektering og design af betonkonstruktioner samt velovervejede materialevalg hos betonproducenterne. Det har ikke været hensigten, at Dialoggrundlaget skulle indeholde aktiviteter vedrørende optimering af materialet beton, som typisk pågår ved betonproducenten, da arbejde omkring dette pågår i andet regi. Men der ligger dog alligevel i Dialoggrundlaget et fokus på at efterspørge CO₂-reducerede betontyper ved betonproducenterne.

Dialoggrundlaget indeholder temaer, der kan indgå i en optimeringsøvelse og som alle kan gennemføres indenfor gældende normer og standarder. Der peges således ikke på løsninger, som kræver dispensation eller ændringer i standarder. Alle tiltag kan gennemføres her og nu.

MÅLGRUPPE

Målgruppen for Dialoggrundlaget er byggeriets aktører, herunder bygherrer, projekterende, udførende samt leverandørerne. Med projekterende menes både arkitekter og rådgivere. Med andre ord Dialoggrundlaget henvender sig til alle de aktører i byggeriet, som i en eller flere faser i byggeriet kan påvirke de valg der træffes for dimensioner, geometri, betontyper mv.



3. ORDLISTE

Nedenfor angives en ordliste i alfabetisk rækkefølge over udvalgte begreber anvendt i Dialoggrundlaget.

Armering	Armering, typisk i form af stålstænger, der kan optræde som slap armering eller spændt armering, indstøbes i beton, for at kompensere for betonens relativt lille trækstyrke. Beton kan optage store tryklaster men kun i mindre omfang optage trækkkræfter. Armering kan udgøre alt fra nogle få procent til 20-30% afhængig af konstruktions-type og konstruktionsgrad. Produktionsdata indsamlet i Dansk Beton viser², at armeringen i gennemsnit udgør ca. 15% af en betonkonstruktions samlede CO₂-udledning.
Cement	Cement er sammen med sand, sten og vand den primære bestanddel af beton. Cement udgør i gennemsnit 10-15 vægt% af betonen. Cement fremstilles ved at brænde kridt, sand mv. ved ca. 1500 °C i en rotéovn, hvorefter der dannes cementklinker. Cementklinker formales i en mølle og er helt eller delvist det som indgår i cement. Cement kan være en blanding af formalede cementklinker og alternative materialer som fx kalk, slagge, flyveaske, kalcineret ler mv. Cement (som kan være flere forskellige typer) udgør i gennemsnit ca. 90% af det samlede CO₂-aftryk fra betonen.
Ekspone- ringsklasser	Bygninger og konstruktioner udsættes for forskellige påvirkninger i deres levetid, herunder fx salte, fugt, frost/tø, sulfater mv. I betonstandarden DS/EN 206 DK NA omtales dette som miljøpåvirkninger, som ikke må forveksles med miljøpåvirkning som fx CO₂, SO₂, ozonnedbrydning mv. Det er desværre med til at skabe forvirring. For at undgå forvirring i dette Dialoggrundlag har vi valgt blot at benævne dette med påvirkning, så det ikke kan misforstås. Afhængig af hvad betonen udsættes for af påvirkningen fra det omkringliggende miljø og vejr, skal materialet beton sammensættes til at kunne modstå denne påvirkning.
Genanven- delse	Genanvendelse af beton er når hærnet beton nedknuses og genanvendes til fremstilling af ny beton ved at erstatte dele af tilslagsmaterialerne (sand og/eller sten) med det nedknuste betontilslag. Der skelnes i betonstandarden DS/EN 206 DK NA mellem nedknust procestilslag og genanvendt tilslag, som også er forklaret i denne ordliste.

² Dansk Betons roadmap; 2019. [DownloadDocument \(danskindustri.dk\)](#)

Genanvendt tilslag	Genanvendt tilslag er nedknust beton, som tidligere har været anvendt i konstruktioner. Det vil sige, at der typisk er tale om beton fra nedrevne bygninger og konstruktioner, som nedknuses, sorteres og bringes ind i produktionen af ny beton.
Genbrug	Genbrug af beton er når konstruktionselementer i beton genbruges helt eller tilpassede i den nye betonkonstruktion. Det kunne fx være genbrug af huldæk nedtaget i et gammelt byggeri, der anvendes i et nyt byggeri uden yderligere oparbejdning eller direkte genbrug af fliser og belægningssten.
LCA	LCA er en forkortelse af Life Cycle Assessment (på dansk livscyklusvurdering). LCA er en beregningsmetode, der anvendes til at kortlægge de væsentlige miljøaftryk, herunder CO ₂ , som påføres gennem hele en bygnings livscyklus, lige fra indvinding af råmaterialer til produktion, drift, udførelse, nedrivning og genanvendelse/genbrug.
LCC	LCC er en forkortelse af Life Cycle Cost (på dansk totaløkonomi). LCC er en beregningsmetode, der anvendes til at kortlægge de totaløkonomiske omkostninger af en bygning gennem hele bygningens livscyklus, lige fra indvinding af råmaterialer til produktion, drift, udførelse, nedrivning og genanvendelse/genbrug.
Materialemodeller	Beton og stål er typiske eksempler på duktile (seje) materialer, når man taler om konstruktionsanvendelser. Denne duktile materialeopførsel tillader spændingsomlejring, som får konstruktionen til at kunne modstå en større påvirkning end en rent elastisk analyse ville vise. Glas, træ er skøre materialer, der svigter hvis enten spændingen eller tøjningen når en karakteristisk brudværdi. Forskellige materialer beregnes derfor i henhold til forskellige materialemodeller som beskriver materialernes opførsel bedst muligt. Der findes forskellige materialemodeller for beregning af betonkonstruktioner, herunder lineær-elastiske, plastiske mv. Forskellige materialemodeller giver forskellige muligheder for optimering af konstruktionerne.
Nedknust procestilslag	Nedknust procestilslag er knust beton, som ikke tidligere har været anvendt i en konstruktion. Det vil sige, at det typisk er restbeton fra produktion af beton, som er hærdet og knust igen for at kunne indgå i produktionen af ny beton.
Nyttiggørelse	Nyttiggørelse af beton er når hærdnet beton eller beton tidligere anvendt i bygninger eller konstruktioner nedknuses og nyttiggøres til andre formål fx som stabilisering under veje og pladser.

**Styrke-
klasse**

Materialet beton deklarerer i styrkeklasser jf. betonstandarden DS/EN 206. Styrkeklasser angives som fx C40, som er et udtryk for at trykstyrken af beton målt i MPa, og i dette tilfælde er en styrkeklasse på 40 MPa.

Beton kan bestilles i mange forskellige styrkeklasser. Den afgørende parameter for betonens trykstyrke er vand cement tallet (v/c). Det vil sige forholde mellem indhold af vand og cement i beton. Des større cementindhold ved uændret vandindhold, des højere styrke. Dvs. der er typisk mere cement i beton i de høje styrkeklasser.

**Topologi-
optimering**

Topologioptimering handler kort sagt om at få en computeralgoritme til at optimere en problemstilling. Så hvis man fx sætter nogle rammer op omkring belastning, vægt, materiale og volumen, kan algoritmen beregne det bedste forhold mellem styrke og vægt og vise, hvordan emnet skal se ud, når materialet fordeles optimalt. Det handler således om, at der anvendes materiale der, hvor der er behov for materialet for at optage og fordele kræfterne. Topologioptimering kan imidlertid være en kompliceret optimeringsmetode, og vi har derfor ikke set mange eksempler på topologioptimeret beton i Danmark.



4. FASER, RÅDGIVNINGS- OG ENTREPRISEFORMER

FASER

Et anlægs- eller et byggeprojekt vil typisk være opdelt i faser. Eks. er et byggeprojekt opdelt i: Indledende rådgivning/Idé, Forslag, Myndighedsprojekt, Udbudsprojekt, Udførelsesprojekt og Aflevering³. Statslige anlægsprojekter følger Ny Anlægsbudgetterings faseinddeling 1-5⁴.

Der er potentiale for optimering af konstruktioner og materialer i alle faser. Det formodes dog, at der er størst potentiale for optimeringer i de tidlige faser, hvor designvalg endnu ikke er låst.

I denne første udgave af Dialoggrundlaget er det valgt ikke at præcisere, hvor de enkelte temaer hører til i et byggeris faseinddeling. I appendix A er der formuleret et eksempel på, hvordan temaerne kan bringes i spil i de forskellige faser.

RÅDGIVNINGS- OG ENTREPRISEFORMER

I forholdet mellem bygherre og entreprenør kan der indgås aftaler i fag-, stor- og hovedentreprise jf. AB92/AB18 eller totalentreprise jf. ABT93/ABT18. I forholdet mellem bygherre og rådgiver kan der indgås aftale om totalrådgivning eller delt rådgivning. I den delte rådgivning løses den samlede opgave af flere rådgivere eller eventuelle projekterende entreprenører.

Ansaret for projekteringen vil være placeret forskelligt i den enkelte kontrakt.

Tidlig inddragelse af entreprenøren og evt. leverandører peges på af flere i dialoggruppen og ved tidligere interviewundersøgelser, som en fordel for at bringe nye materialer, teknologier og udførelsesmetoder i anvendelse.⁵ Det kan ske gennem en markedsdialog om mulighederne med nye produkter og materialer eller ved at indgå entrepriseaftaler på et tidligere tidspunkt.

I Dialoggrundlaget håndteres forskellighederne ikke, idet der alene er fokus på beskrive potentialerne i de tekniske optimeringsmuligheder indenfor de valgte temaer.

³ Ydelsesbeskrivelse for Byggeri og Landskab, 2018. Foreningen af Rådgivende Ingeniører og Danske Arkitektvirksomheder

⁴ [Ny.anlaegsbudgettering \(trm.dk\)](http://Ny.anlaegsbudgettering.trm.dk)

⁵ Debatoplæg - Interviewundersøgelse blandt repræsentanter fra byggeriet; 2018 [DownloadDocument \(danskindustri.dk\)](http://DownloadDocument(danskindustri.dk))

5. GENANVENDELSE OG GENBRUG AF BETON

RELEVANS

I mange tilfælde opføres nye byggerier på arealer, hvor der forud for opførelsen er nedtaget eksisterende udslidte bygninger og konstruktioner. Langt de fleste af disse bygninger indeholder beton, som i større eller mindre omfang kan genbruges og/eller genanvendes. Der kan også være belægninger i beton, som evt. kan indgå i "take back" ordninger med belægningsproducenter eller i større skala, hvor betonelement-producenter evt. kan indgå i "take back" ordninger om modtagelse af fx huldæk eller lignende.

Såfremt der er eksisterende bygninger på byggegrunden foretages en vurdering af potentialet for at genanvende og/eller genbruge den beton som forefindes på stedet og lade det indgå i designet af den nye bygning.

De største CO₂-besparelser opnås, når dele af den eksisterende konstruktion kan bestå og indgå i det nye byggeri. De største CO₂-besparelser opnås derfor ved, at den projekterende tager udgangspunkt i den eksisterende bygning i forhold til designet af den nye.

Er løsningen at nedknuse betonen og anvende den som erstatning for sand og sten i den nye beton, så er gevinsten mere en ressourcebesparelse fremfor en CO₂-besparelse. Dog vil der være en mindre gevinst i sparet transport, hvis nedknusningen og anvendelse af det nedknuste betontilslag foregår på eller tæt på byggepladsen, så transporten af materialerne minimeres.

Nyttiggørelse af det nedknuste beton som bærelag på pladsen er en bedre anvendelse end bortskaffelse og tilkørsel af nyt bærelag.

MULIGE SPØRGSMÅL TIL BESVARELSE

Spørgsmål som kan indgå i overvejelserne om genanvendelse og genbrug af beton:

Nr.	Spørgsmål	Markering
1	Forefindes projektmateriale for den eksisterende bygning, som kan indgå i vurderingen af potentiale for genanvendelse og genbrug?	
2	Er der behov for prøveudtagning og laboratorieanalyser, som grundlag for vurdering af potentialet for genanvendelse og genbrug, og hvad er nødvendigt omfang af disse analyser?	
3	Er der dele af betonen fra den eksisterende bygning, herunder også fundamenter, terrændæk, vægge, søjler, dæk mv., der kan anvendes som hele konstruktionselementer i den nye bygning?	
4	Er der dele af betonen – fx betonbelægninger, som med fordel kan indgå i en ”take-back” ordning med en producent?	
5	Er der dele af betonen fra den eksisterende bygning, som kan nedknuses, sorteres og anvendes til produktion af ny beton, og kan donorbetonens tekniske egenskaber kortlægges, herunder eksponeringsklasse, styrkeklasse, delmaterialer mv.?	
6	Kan den eksisterende beton til genanvendelse opfylde de krav, der stilles i gældende standarder, for at kunne indgå i ny beton?	
7	Er der dele af betonen, som bedst egner sig til stabilisering af bærelag på pladsen, hvor der skal opføres nye bygninger?	
8	Er forurening af betonen kortlagt i henhold til Affaldsbekendtgørelsens bestemmelser og er mulighederne for oprensning af en eventuel forurening kortlagt som grundlag for disponering af betonen?	
9	Er der behov for at invitere relevante aktører ind til en markedsdialog med henblik på tidligt i byggefasen at diskutere mulighederne for at genanvende betonen til fremstilling af ny beton?	
10	Findes der en digital understøttet registreringsproces, som udover selve registreringen også kan opbygge et materialebibliotek, som indeholder en oversigt over betonens fremtidige potentialer for genanvendelse/genbrug ?	

BESLUTNINGSGRUNDLAG

Bygherren forlægges et indledende beslutningsgrundlag, som indeholder et oplæg til de nødvendige analyser og undersøgelser af betonen i den eksisterende bygning, der foreslås gennemført i idéfasen.

På baggrund af det første oplæg og beslutningen om omfanget af analysen af de eksisterende forhold forelægges bygherren et supplerende beslutningsgrundlag, som indeholder en vurdering af potentialet for genbrug og/eller genanvendelse af de eksisterende betonkonstruktioner. Der er således tale om to ydelser, hvor den sidste ikke kan prissættes før den første er afsluttet.

Det supplerende beslutningsgrundlag forholder sig nuanceret til samtlige betonkonstruktioner i den eksisterende bygning ligesom muligheden for at tilrettelægge designet af den nye bygning med respekt for de eksisterende bygninger er præsenteret i beslutningsgrundlaget. Endelig indgår der vurderinger af den afledte effekt af genbrug/genanvendelse for CO₂-udledning fra de nye byggeri.



6. OPTIMERING AF BETONKONSTRUKTIONER

RELEVANS

Der peges på fra flere af byggebranchens aktører, der indgår i Dialoggruppen for dette projekt, at bygge- og anlægsprojekter kan optimeres yderligere ud over det som er standard i dag. Det var også et af budskaberne i en interviewrunde gennemført af Teknologisk Institut for Dansk Beton i 2018⁶.

Fremtidens helt nødvendige fokus på materialeanvendelse og CO₂ udledning stiller store krav til byggeriets aktører i forhold til at minimere materialeforbruget. Det kræver, at viden fra alle byggeriets parter bringes i spil så tidligt i et byggeprojekt som muligt. Det kræver mere nuancerede beregninger og variantsammenligninger, og dermed et øget tidsforbrug til projektering og forventeligt også en ”ømmøble-ring” af den samlede projektøkonomi.

Efter aftale med bygherren gennemføres beregning af et antal varianter, som belyser forskellige konstruktive løsninger med tilhørende oversigt over beton- og armeringsforbrug og dertil hørende CO₂-belastning fra materialerne. Omfanget af variantberegningerne vil være forskelligt afhængig af, hvilken fase af byggeriet, som de gennemføres i. I forbindelse med forslagsfasen foreslås varianter som anført nedenfor gennemført:

- **Variant 1- Referencen:** Variant 1 er den traditionelle løsning, som lige netop opfylder rammekravene til lyd, brand, bæreevne og CO₂-udledning mv., men hvor der ikke er gjort yderligere for at nuancere beregningerne. Variant 1 ses som referencegrundlag.
- **Variant 2:** I variant 2 tilstræbes, at gennemføre mere nuancerede beregninger og optimeringer af betonkonstruktionerne, således at betonkonstruktionernes CO₂-aftryk er reduceret i forhold til løsning 1, men hvor kun de konstruktionsdele med størst potentiale for optimering indgår i beregningerne.
- **Variant 3:** I variant 3 tilstræbes, at foretage en tilbundsående optimering af alle betonkonstruktioner, der indgår i byggeriet og principielt forelægge en løsning, hvor optimeringsmulighederne er forsøgt udtømte. Det gælder al beton, der indgår i byggeriet, herunder også vurderinger af beton, som indgår som sekundære konstruktionsdele, som ikke er en del af hovedkonstruktionen.

De aftalte varianter præsenteres med tilhørende beskrivelser af fordele og ulemper i forhold til bygningsens fleksibilitet, holdbarhed, æstetik, bygbarhed, omkostninger ved udførelse mv. Varianterne suppleres ligeledes med en vurdering af de afledte konsekvenser for produktionen af beton og betonelementer, for byggefasen og endelig for driftsfasen af det færdige byggeri. Alle tre løsninger ledsages af LCA beregninger og LCC beregninger.

⁶ Debatoplæg Interviewundersøgelse blandt repræsentanter fra byggeriet; Dansk Beton 2018; [DownloadDocument \(danskindustri.dk\)](#)

MULIGE SPØRGSMÅL TIL BESVARELSE

Spørgsmål, som kan indgå i arbejdet med designoptimering er:

Nr.	Spørgsmål	Markering
1	Er der foretaget en vurdering af det statiske system i forhold til valg af det mest optimale (fx ramme, skive, gitter)?	
2	Er der foretaget en vurdering af de mulige beregningsmetoder og effekten af disse (fx elastisk/plastisk)?	
3	Er muligheden for anvendelse af avancerede værktøjer som fx computational/parametric overvejet til brug for hurtigere og mere effektiv optimering af mange løsninger?	
4	Er der foretaget en vurdering af mulige funderingssystemer, herunder vurdering af funderingskoter, fundamentets nødvendige formgivning, udformning, dybder for pæle mv.?	
5	Kan fundamenterne med fordel ændre geometri, som giver lavere materialeforbrug?	
6	Er der særlig opmærksomhed i kælderkonstruktionen og bundplade, da det ofte er her at de store betonmængder anvendes?	
7	Hvad er den optimale afstand mellem jordankre?	
8	Er der foretaget en vurdering af tætningsstrategien for kældervægge med henblik på at fastlægge den optimale løsning mellem betonforbrug, membraner, anvendelse af revneanviser mv.	
9	Er der foretaget en vurdering af spændretninger og dertil konstruktivt system – enkeltspænd, dobbeltspænd, efterspændt i kombination med forskellige konstruktive systemer, herunder bubbledeck, ribbedæk, huldæk, vaffeldæk, TT mv.	
10	Er der mulighed for at indarbejde yderligere udsparringer som materialebesparende tiltag?	
11	Er der mulighed for at arbejde med hule konstruktionsdele, fx hule søjler eller lagdelte konstruktionsdele, med differentiering af betonkvaliteten i de enkelte lag?	

Nr.	Spørgsmål	Markering
12	Er armeringen optimeret sammen med konstruktionselementets geometri, så det resulterer i lavest mulige CO ₂ -aftryk?	
13	Er der mulighed for at reducere mængden af beton og slap armering ved at anvende efterspændt beton, så det samlede CO ₂ -aftryk er lavest muligt?	
14	Er projektet gennemgået for unødige krav, som fx anvendelse af U bøjler langs alle kanter ?	
15	Er der foretaget en kritisk gennemgang ift. nødvendige sammenlåsninger og forankringer m.m. ift. det faktiske statiske behov.	
16	Ved anvendelse af betonbagvægge også som stabiliserende bygningsdel er konsekvenserne da overvejet i forhold til tykkelse og armeringsforbrug?	
17	Er fastlæggelsen af dimensionerne optimale i forhold til de funktionskrav, som konstruktionsdelene skal sikre overholdelse af?	
18	Er topologioptimering (se forklaring i ordlisten) vurderet som mulighed?	
19	Er bygningen designet med stor fleksibilitet for ombygning i et langsigtet perspektiv, fx ved store spændvidder på dæk og bjælker, uden at dette medfører større materialeforbrug?	
20	Er bygningen designet med stor fleksibilitet for genbrug af betonelementer i et cirkulært perspektiv?	
21	Er der foretaget et valg af en hensigtsmæssig anvendelsesgrænsetilstand, herunder en vurdering af om revnevidder, nedbøjninger og vibrationskrav er for stramme i forhold til den aktuelle og fremtidige anvendelse af konstruktionen?	
22	Er der foretaget valg, der minimerer behovet for fremtidigt vedligehold ?	
23	Er der behov for en markedsdialog med relevante aktører tidligt i designfasen til en drøftelse af muligheder i produktions- og/eller udførelsesfasen?	

BESLUTNINGSGRUNDLAG

Bygherren forelægges de aftalte varianter suppleret med kvantitative beregninger af de afledte LCA og LCC konsekvenser af de præsenterede varianter samt kvalitative beskrivelser af fordele og ulemper for æstetik, holdbarhed, fleksibilitet mv.



7. EKSPONERINGSKLASSER

RELEVANS

I Danmark har vi i mange år inddelt vores betonkonstruktioner i fire miljøklasser P (Passiv), M (Moderat), A (Aggressiv) og E (Ekstra aggressiv). Sådan har det været i mange år og har derfor været en metode som både projekterende, udførende og leverandørerne har haft erfaring med at bruge. Med indførelsen af de Europæiske standarder for betonkonstruktioner EN 1992-1-1 og for beton EN 206 for en del år siden, er der indført 18 forskellige eksponeringsklasser, som gør det muligt at designe betonen lige præcis til det, som betonen udsættes for fra det eksterne miljø gennem dens levetid. Vil betonkonstruktionen blive udsat for frost, salte, sulfater eller anden kemisk påvirkning eller er der risiko for cyklisk opfugtning?. Det er blot nogle af de forskellige påvirkninger en betonkonstruktion kan udsættes for.

Det er betonproducenternes gennemgående tilbagemelding, at bestilling af beton og betonprodukter fortsat hovedsagelig sker ved anvendelse af de fire gamle begreber ”miljøklasser”, og det er der bred enighed om, at der skal ændres på, for at udnytte de potentialer, der ligger i mere nuanceret specifikation af betonen efter eksponeringsklasser.

Med fokus på ansvarligt ressourceforbrug og nedbringelse af CO₂-udledningen fra betonkonstruktioner kan der være optimeringsmuligheder ved at udnytte de 18 eksponeringsklasser fremfor blot at specificere efter de fire ”gamle” miljøklasser.

MULIGE SPØRGSMÅL TIL BESVARELSE

Spørgsmål, som kan indgå i overvejelserne om valg af eksponeringsklasser er:

Nr.	Spørgsmål	Markering
1	Hvilke påvirkninger er betonkonstruktionerne over terræn udsat for?	
2	Hvilke påvirkninger er betonkonstruktionerne udsat for under terræn?	
3	Er der mulighed for at arbejde med membranløsninger eller anden overfladebehandling, som giver mulighed for at ændre eksponeringsklassen for betonen?	
4	Hvad viser jordbundsanalyser i forhold til indhold af sulfater, salte og anden kemi, og hvad kan det omsættes til af påvirkning af betonkonstruktionen?	
5	Kan konstruktionen inddeles i flere niveauer/sektioner for eksponering og derved give mulighed for kun lige at anvende den nødvendige betontype på det pågældende sted i konstruktionen?	
6	Er der mulighed for at arbejde med lagdelte konstruktioner, således at det kun lige er den del af betonen, som udsættes for eksponeringen, som er produceret i henhold til den nødvendige eksponeringsklasse?	
7	Hvor mange tilladte variationer i eksponeringsklasser kan opføres, således at produktion og udførelse kan lade sig gøre i praksis og står mål med de besparelser i CO ₂ , som optimeringen medfører?	
8	Er der behov for en markedsdialog med relevante leverandører med henblik på, at få analyseret effekten af at anvende flere forskellige betontyper end hvad der typisk anvendes ? Markedsdialogen om eksponeringsklasser kan evt. kombineres med en markedsdialog om potentialet ved at arbejde med flere forskellige styrkeklasser jf. afsnit 8.	

BESLUTNINGSGRUNDLAG

Bygherren forelægges en nuanceret gennemgang af det eksterne miljø, som betonkonstruktionerne udsættes for. På baggrund af den analyse har rådgiveren angivet de eksponeringsklasser, som skal anvendes på forskellige steder i byggeriet for netop at opfylde kravene til de forskellige eksponeringsklasser. Det er ikke rådgiverens opgave at forsøge at begrænse antallet af forskellige eksponeringsklasser. Beslutningen om det endelige antal af forskellige eksponeringsklasser, der skal anvendes, er alene bygherrens.



8. KRAV TIL BETONENS TRYKSTYRKE

RELEVANS

Der er mange forskellige parametre, som er bestemmende for de krav, der skal stilles til betonens trykstyrke forskellige steder i betonkonstruktionen. Det kan være forhold omkring lyd, brand, termisk masse, bæreevne, hærdehastighed på byggepladsen eller produktionshastighed på elementfabrikken, for blot at nævne nogle. Betonens trykstyrke er tæt knyttet til de overvejelser, der ligger omkring design-optimeringer i afsnit 6.

Anvendes den samme styrkeklasse og den samme beton til hele bygningen, så er det alt andet lige lettere at styre i produktionen og styre betonarbejdet på byggepladsen. Men det resulterer også i at dele af betonkonstruktionen vil blive overdimensioneret.

En betons CO₂-aftryk er tilnærmelsesvis proportional med styrkeklassen for betonen. Jo højere styrke, des højere cementindhold i betonen og dermed des højere CO₂-aftryk⁷. Der er således en interesse i at bruge så lave styrker for betonen som muligt ud fra et CO₂-mæssigt perspektiv. Dog vil der også være eksempler på, at en optimering kan vise, at en højere betonstyrke kan være med til at nedbringe materialemængden og armeringsmængden, og det er derfor nødvendigt at optimere ud fra det samlede CO₂-aftryk.

Byggeriet benytter sig i højere grad af digitale værktøjer og 3D modeller, således at flere varianter bedre kan håndteres både i produktion og på byggeplads. Der ligger således signifikante besparelser i CO₂-udledning ved at foretage en mere nuanceret fastlæggelse af styrkeklassen for betonen på forskellige steder i betonkonstruktionen.

⁷ Dansk Betondag 2021; Dorthe Mathiesen; [PowerPoint Presentation \(danskbetonforening.dk\)](https://danskbetonforening.dk)

MULIGE SPØRGSMÅL TIL BESVARELSE

Spørgsmål, som kan indgå i overvejelserne om valg af designstyrke:

Nr.	Spørgsmål	Markering
1	Er der steder i konstruktionen, hvor vi kan udfordre det vi plejer at gøre. ?	
2	Er der stillet unødige krav om min. trykstyrke for betonen ?	
3	Er der foretaget en beregning af, hvad der er den optimale løsning i forhold til styrkeklasse i relation til materialeforbrug på samtlige bygningsdele i konstruktionen ?	
4	Kan vi afstemme valg af styrkeklasse for betonelementer, således at produktions-takt og den deraf afledte høje sluttrykstyrke tages i regning?	
5	Er der mulighed for at få fremstillet vægge og andre elementer, hvor trykstyrken er tilpasset designkravet og ikke hensynet til produktionstakt?	
6	Er der fokus på at leverandører og producenter ikke øger trykstyrken og dermed CO ₂ -aftrykket udover de krav, som er stillet af de projekterende ?	
7	Er der behov for en markedsdialog med relevante leverandører med henblik på, at få analyseret effekten af at anvende flere forskellige styrkeklasser end hvad der typisk anvendes ? Markedsdialogen om krav til betonens trykstyrke kan evt. kombineres med en markedsdialog om potentialet ved at arbejde med flere forskellige eksponeringsklasser jf. afsnit 7.	

BESLUTNINGSGRUNDLAG

Bygherren forelægges en redegørelse for, hvilke nødvendige krav til betonstyrker, der er behov for i alle dele af betonkonstruktionen for at opfylde krav til enten lyd, brand og/eller bæreevne. Det er bygherren, der beslutter antallet af styrkeklasser, der er nødvendige til det pågældende byggeri baseret på den fremlagte redegørelse. Denne analyse er selvfølgelig tæt knyttet til optimeringsydelsen under afsnit 6 og vil være en del af det beslutningsgrundlag.

9. MATERIALEVALG OG LCA

RELEVANS

Det er nærlæggende at forholde sig til CO₂-aftrykket af den beton, som indgår i det pågældende byggeri. Men før der er valgt en leverandør af beton, betonelementer eller armering kendes de specifikke data for CO₂-aftrykket ikke. Dog er der efterhånden mange både branche- og produktspecifikke data for beton, så det er muligt at skabe sig et overblik over, hvad der er muligt.

Rådgiver/arkitekt baserer typisk deres LCA beregninger på generiske og/eller branchespecifikke data. I BR18 indføres klimakrav til bygninger, og her er Dansk Betons branchespecifikke data anvendt som grundlag i bekendtgørelsen for indførelse af klimakrav. Disse branchedata er et gennemsnit af danske data baseret på data fra 2018. Det er en dataindsamling som dækker min 80% af al produceret beton i 2018. Det vurderes, at disse data i langt de fleste tilfælde vil være konservative i forhold til de produktspecifikke data fra betonleverandørerne, men der kan være markedsmæssige mekanismer som kan give udsving i udledningstillene. Fx var der en stigning i CO₂-aftrykket fra beton i 2021, hvor betonbranchen pludselig løb tør for flyveaske fra kulfyrede kraftværker. Det er Social og Boligstyrelsens udmelding, at det generiske datagrundlag løbende vil blive opdateret, og det vil betonproducenterne bidrage til.

Når entreprenøren modtager et projekt, modtager entreprenøren en ramme for LCA beregningen, som det samlede byggeri er designet til at overholde. Denne tidlige LCA beregning vil være baseret på et generisk datagrundlag. Det er herefter entreprenørens opgave at foretage materialevalg indenfor den overordnede ramme for CO₂-udledning.

Det betyder, at entreprenøren er nødsaget til at nedbryde LCA beregningerne i CO₂-budgetter for de enkelte bygningsdele. Det er nødvendigt at foretage denne budgettering for løbende at kunne sikre sig at øgning af CO₂-aftrykket i den ene bygningsdel vil betyde nødvendige besparelser af CO₂ i en anden bygningsdel.

Rådgiveren/arkitekten forventes at aflevere LCA beregningerne for det valgte designforslag fordelt på bygningsniveau, når projektet overgår til entreprenøren. Derudover bør rådgiver/arkitekt foretage vurderinger af, hvad besparelspotentialet udover ramme LCA beregningerne er, når entreprenøren skal foretage sine valg af materialer.

Det kan eventuelt gøres ved, hvis projektet tillader det, at rådgiver/arkitekt indkalder til markedsdialog med betonproducenter i forhold til at fastlægge et potentielt niveau for CO₂-udledningen på materiale-

niveau. Det skal danne grundlag for at vurdere optimeringsmulighederne ved anvendelse af optimerede materialer sammenlignet med generiske/branchespecifikke data.

I praksis vil det være den projekterende, der udfører LCA beregningerne "as built" og her vil der blive indarbejdet data fra produktspecifikke EPD'er, hvis sådanne foreligger, for de valgte materialer i projektet. I denne dokumentationsfase er den udførendes rolle at levere data på de indgående materialer og i sidste ende bygherrens ansvar at kravene er overholdt.

MULIGE SPØRGSMÅL TIL BESVARELSE

Spørgsmål, som kan indgå i overvejelserne om materialevalg og LCA:

Nr.	Spørgsmål	Markering
1	Er der anvendt de mest repræsentative generiske/branchespecifikke data i beregningerne som overhovedet muligt?	
2	Er der foretaget en vurdering af om de generiske/branchespecifikke data er på den konservative side i forhold til produktspecifikke data på byggematerialer i det danske marked ?	
3	Er der gennemregnet LCA for forskellige scenarier for materialevalg, herunder også forskellige betontypevalg i de forskellige dele af konstruktionen, som består af beton?	
4	Er der mulighed for at opstille en model for LCA beregninger, som giver mulighed for iterativt, nemt og hurtigt at få overblik over effekten på byggeriets CO ₂ -aftryk afhængig af forskellige kombinationer af designløsninger og materialeparametre ?	
5	Har de projekterende i forbindelse med den tidlige LCA udpeget områder, hvor der er mulighed for nedbringelse af CO ₂ -aftrykket og er det bragt videre til de næste faser af byggeprojektet ?	
6	Er der gennemført en markedsdialog med betonleverandørerne eller en afsøgning af data for produktspecifikke data med henblik på at vurdere gabet mellem branchedata og produktspecifikke data ?	
7	Er der foretaget overslagsberegninger af potentialet for CO ₂ -reduktioner i materialevalget på bygningsdelsniveau?	

BESLUTNINGSGRUNDLAG

Bygherren forelægges en tidlig LCA beregning på de varianter for forskellige optimeringer, som beskrevet under punkt 6. For den valgte variant forelægges bygherren en LCA beregning, som giver det samlede tal for bygningen i CO₂e/m²/år samt dette fordelt som CO₂-budgetter på bygningsdelsniveau. Endelig forelægges bygherren en vurdering af, potentialet for yderligere reduktion i CO₂-aftrykket på bygningsdelsniveau ved valg af "best in class" materialer i markedet. Det vil således være grundlaget for et udbud af en forventet CO₂- reduktion i % i forhold til den samlede beregnede ramme.



10. PRISEN PÅ CO₂-BESPARELSER OG LCC

RELEVANS

Designoptimering af betonkonstruktionerne kommer forventeligt med en pris, som bygherren skal forholde sig til. På den ene side vil ekstra arbejdsindsats i de tidlige faser betyde meromkostninger til de projekterende, ligesom designoptimerede løsninger kan betyde meromkostninger til udførelse og produktion. På den anden side formodes en besparelse i omkostninger til indkøb af materialer. Resultatet er, at omkostningerne vil fordele sig anderledes, og det er centralt at foretage en vurdering af prisen for CO₂-besparelsen. Hvor meget må det koste at spare 1 kgCO₂e/m²?

Samtlige temaer i dette Dialoggrundlag skal derfor ledsages af vurderinger af besparelspotentialet i CO₂ sammenholdt med de økonomiske konsekvenser, ikke bare i opførelsesfasen, men også i driftsfasen og efter end levetid af bygningen.

Det skal bemærkes at nogle af de løsninger der bringes i spil vil være nye løsninger og mindre erfaringsbaserede, hvorfor LCC beregningerne vil frembringes med nogen usikkerhed.

MULIGE SPØRGSMÅL TIL BESVARELSE

Spørgsmål, som kan indgå i overvejelserne om prisen på CO₂-besparelser:

Nr.	Spørgsmål	Markering
1	Er der set på, hvordan LCC beregninger af projektet kan gøres mindre teoretiske evt. ved inddragelse af entreprenører/leverandører tidligere i processen, således at LCC beregningerne foretages på så retvisende data som muligt ?	
2	Står de optimeringsmuligheder, der peges på, mål med de økonomiske konsekvenser af optimeringen?	
3	Vil de løsninger, der peges på for at spare CO ₂ i opførelsen af byggeriet, påvirke drift og vedligeholdet af bygningen i negativ retning?	
4	Vil de løsninger, der peges på for at spare CO ₂ i opførelsen af byggeriet, påvirke muligheden for genanvendelse og genbrug af bygningen efter endt levetid?	
5	Vil de løsninger der peges på for at spare CO ₂ i opførelsen af byggeriet forkorte byggeriets samlede levetid eller gøre bygningen mere ufleksibel i forhold til fremtidig tilpasning af fornyede behov?	

BESLUTNINGSGRUNDLAG

Samtlige optimeringsforslag foretaget jf. temaerne i dette Dialoggrundlag ledsages med LCC beregninger som grundlag for en vurdering af prisen på CO₂-besparelser. Dette danner grundlag for at bygherren i sidste ende kan træffe sin endelig beslutning om valg af design.

11. APPENDIX A

EKSEMPEL PÅ OPTIMERINGSMULIGHEDER I DE FORSKELLIGE FASER

For at illustrere hvor temaerne i Dialoggrundlaget med fordel kan indgå som drøftelser mellem aftaleparterne i byggeriet, er der i dette appendix angivet et konkret eksempel på, hvilke beslutninger og drøftelser der kan pågå i de forskellige faser af et bygge- og anlægsprojekt.

Eksemplet skal opfattes som vejledende og er ikke udtømmende.

Der er ligeledes angivet et konkret forslag til, hvilke spørgsmål der kan indgå i en tidlige inddragelse af leverandører og entreprenører fx ved en markedsdialog, som grundlag for centrale beslutninger i betonkonstruktionernes design.

FORKLARINGER TIL TABELLEN

Afl Aflevering

Ide Ideoplæg

Byg Byggeprogram

Akt Aktivitetsundersøgelse

Dis Dispositionsforsalg

Pro Projektforslag

Udb Udbudsprojekt

Udf Udførelsesprojekt

Afl Aflevering

GENANVENDELSE OG GENBRUG AF BETON (AFSNIT 5)

	Indledende rådgivning - Ideoplæg - Byggeprogram - Aktivitetsun- dersøgelse	Forslag - Disposi- tions- forslag - Projekt- forslag	Myndig- heds- projekt	Udbuds- projekt	Udfør- elses- projekt	Afleve- ring
DIALOGGRUNDLAG MELLEM AFTALEPARTERNE:						
- Indledende vurdering af potentiale for genanvendelse og genbrug ud fra projektmateriale af de eksisterende konstruktioner	Idé					
- Vurdering af behovet for igangsætning af prøveudtagning og laboratorieundersøgelser af de eksisterende konstruktioner	Idé					
- Vurdering af om den eksisterende beton til genanvendelse opfylder de krav, der stilles i gældende standarder, for at kunne indgå i ny beton	Akt					
- Screening af det samlede potentiale for hhv genanvendelse og genbrug af beton ud fra projektmateriale og analyseresultater	Akt					
- Screening af potentialet for at nyttiggøre dele af betonen fra de eksisterende bygninger som bærelag eller stabiliserende lag i forbindelse med opførsel af det nye byggeri	Akt					
- Vurdering af eksisterende beton som behøver at komme på deponi	Akt					
- Krav om genanvendelse af nedknust beton fra eksisterende bygninger	Byg					
- Krav om genbrug af hele elementer fra eksisterende bygninger	Byg					
- Krav til digital registreringsproces af de nye betonkonstruktioner med henblik på fremtidig genanvendelse og genbrug	Byg					
MARKEDSDIALOG MED MULIGE LEVERANDØRER OM MULIGHEDER OG BEGRÆNSNINGER:						
- Hvilke forundersøgelser skal gennemføres for at kunne genanvende eller genbruge?	Idé					
- Hvilken besparelser i CO ₂ - og ressourceforbrug kan realiseres ved at genanvende og/eller genbruge materialer indenfor gældende normer og standarder?	Idé					
- Har genanvendelse og/eller genbrug en økonomisk effekt positiv/negativ?	Idé					
- Er der mulighed for "take back" aftaler med leverandører af beton, betonelementer og betonprodukter	Idé					
- Er det muligt at optimere transport af materialer sammen med en mulig betonleverandør	Idé					
- Er der materialer fra andre byggerier, der kan anvendes i projektet?	Akt/Byg					

OPTIMERING AF BETONKONSTRUKTIONER (AFSNIT 6)

	Indledende rådgivning - Ideoplæg - Byggeprogram - Aktivitetsundersøgelse	Forslag - Dispositionsforslag - Projektforslag	Myndighedsprojekt	Udbudsprojekt	Udførelsesprojekt	Aflevering
DIALOGGRUNDLAG MELLEM AFTALEPARTERNE						
- Vurdering og fastlæggelse af statiske systemer - Ramme, skive, afgitring		Dis				
- Vurdering og fastlæggelse af beregningsmetoder elastisk/plastisk		Dis				
- Vurdering af mulighederne for alternative beregningsmetoder, som fx topologioptimering og deraf afledte behov for ændrede produktionsmetoder	Akt	Dis				
- Vurdering og fastlæggelse af materialebesparende konstruktionsdele, herunder fx hule søjler, lagdelte elementer mv.		Dis				
- Fastlæggelse af de rette dimensioner i forhold til de stillede funktionskrav		Dis				
- Krav om fleksibilitet for fremtidige ombygninger og de heraf afledte konsekvenser for optimeringsmulighederne	Byg					
- Krav om anvendelse af CO ₂ -reducerede betoner	Byg*	(Pro)				
- Krav om anvendelse af armering med lavt CO ₂	Byg*	(Pro)				
- Krav om projektspecifikke EPD'er	Byg*	(Pro)				
- Fastlæggelse af grænseværdikrav for CO ₂ til beton og armering		Pro				
Fundamenter						
- Vurdering af mulige funderingssystem - eksempelvis direkte, gruspude, brønd, pæle		Dis				
- Vurdering af funderingsgeometri i relation til mulighederne for materialebesparelse		Dis				
- Vurdering af mulig fundaments forme – sribefundamenter - plader, trekantsfundamenter, insitu/præfab, svindarmering -stang-/fiberarmering		Pro				
- Vurdering af udformning/mønster og dybder for evt. pæle		Pro				
- Fastlæggelse af fundamentdesign				Udb		
Bundplader						
- Vurdering af mulige statiske systemer – massive, ribbede, drop panels		Dis				
- Vurdering af optimale afstande mellem ankre		Pro				
- Vurdering af nødvendige betonstyrke i relation til bæreevne, holdbarhed, udførelse mv.		Pro				
- Fastlæggelse af bundpladedesign og tykkelse		Pro				

Byg* samt markering () i andet felt betyder, at bygherre med fordel kan stille krav i byggeprogram, men at det også kan indføres senere hvis det f.eks. viser sig nødvendigt for overholdelse af LCA krav.
Fase angivet i parentes () angiver, hvornår afklaring skal have fundet sted.

OPTIMERING AF BETONKONSTRUKTIONER (AFSNIT 6) FORTSAT

	Indledende rådgivning - Ideoplæg - Byggeprogram - Aktivitetsun- dersøgelse	Forslag - Disposi- tions- forslag - Projekt- forslag	Myndig- heds- projekt	Udbuds- projekt	Udfør- elses- projekt	Afleve- ring
DIALOGGRUNDLAG MELLEM AFTALEPARTERNE						
Vægge						
- Vurdering af mulig anvendelse af rammer i stedet for skiver		Dis				
- Vurdering af muligheder for udsparinger eller andre materialebesparende tiltag		Dis				
- Vurdering af mulig anvendelsen af beton med lavere styrke end 35 MPa til vægge i betonelementer, som typisk anvendes		Dis				
- Fastlæggelse af vægdesign og tykkelse				Udb		
Kældervægge						
- Vurdering af konstruktive system og udformning - eksempels massive, ribbede, præfab		Dis				
- Vurdering af tætningsstrategi for kældervægge, revnevidder/membran, revneanviser, stang/fiberarmeirng		Pro				
- Vurdering af nødvendige betonstyrker i relation til bæreevne, holdbarhed og udførelse		Pro				
- Fastlæggelse af kældervæg design og tykkelse				Udb		
Søjler						
- Vurdering af anvendelse af hule søjler		Pro				
- Vurdering af anvendelse af indspænding/ kontinuerte af søjler		Pro				
- Vurdering af det optimale valg af betonstyrke i forhold til den konstruktive udformning af søjlerne		Pro				
- Fastlæggelse af søjledesign og dimensioner				Udb		
Dæk						
- Vurdering af betydning af spændretninger og dertil konstruktivt system- Enkeltspænd, dobbeltspænd kombineret med konstruktivt system massivt, efterspændt, Bubbledeck, Ribbedæk, Huldæk, vaffeldæk, TT og evt andre materialer		Dis				
- Vurdering af betydning af spændlængde		Dis				
- Vurdering af det optimale valg af betonstyrke		Pro				
- Fastlæggelse af dækdesign og tykkelse				Udb		
MARKEDSDIALOG MED RELEVANTE AKTØRER TIDLIGT I DESIGNFASEN TIL EN DRØFTELSE AF MULIGHEDER I PRODUKTIONS- OG/ELLER UDFØRELSEFASEN:						
- Hvilke erfaringer har mulige leverandører med at CO ₂ -optimere i et tilsvarende projekt?		Dis				
- Hvilke ændringer i designelementer giver de største CO ₂ -reduktioner?		Dis				
- Hvilke ændringer i designelementer har en omkostnings påvirkning positiv/negativ for projektet?		Dis				

EKSPONERINGSKLASSER (AFSNIT 7)

	Indledende rådgivning - Ideoplæg - Byggeprogram - Aktivitetsun- dersøgelse	Forslag - Disposi- tions- forslag - Projekt- forslag	Myndig- heds- projekt	Udbuds- projekt	Udfør- elses- projekt	Afleve- ring
DIALOGGRUNDLAG MELLEM AFTALEPARTERNE						
- Undersøgelse af hvilke påvirkninger fra det eksterne miljø betonkonstruktionerne over terræn er udsat for		Pro				
- Undersøgelse af hvilke påvirkninger fra det eksterne miljø betonkonstruktionerne er udsat for under terræn		Pro				
- Vurdere mulighed for at arbejde med membranløsninger, som giver mulighed for at ændre eksponeringen af betonkonstruktionen		Pro				
- Vurdere jordbundsanalyser i forhold til indhold af sulfater, salte og anden kemi, og hvad kan det omsættes til af påvirkning af betonkonstruktionen		Pro				
- Vurdere om konstruktionen kan inddeles i flere niveauer/sektioner for eksponering og derved give mulighed for optimale valg af betontype på det pågældende sted i konstruktionen		Pro				
- Vurdere om der mulighed for at arbejde med lagdelte konstruktioner, således at det kun lige er den del af betonen, som udsættes for eksponeringen, som er produceret i henhold til den nødvendige eksponeringsklasse		Pro				
- MARKEDSDIALOG MED RELEVANTE LEVERANDØRER MED HENBLIK PÅ: (Kan evt. kombineres med en markedsdialog om potentialet ved at arbejde med flere forskellige styrkeklasser jf. afsnit 8.)						
- Hvad er mulighederne for at nuancere betontyperne til mere nuancerede valg af eksponeringsklasser og hvad er den afledte effekt på henholdsvis CO ₂ -besparelser og økonomi?		Dis				

KRAV TIL BETONENS TRYKSTYRKE (AFSNIT 8)

	Indledende rådgivning - Ideoplæg - Byggeprogram - Aktivitetsun- dersøgelse	Forslag - Disposi- tions- forslag - Projekt- forslag	Myndig- heds- projekt	Udbuds- projekt	Udfør- elses- projekt	Afleve- ring
DIALOGGRUNDLAG MELLEM AFTALEPARTERNE						
- Kritisk gennemgang af konstruktionen, hvor vi udfordrer det vi plejer at gøre.		Pro				
- Gennemgang og beregning af, hvad der er den optimale løsning i forhold til styrkeklasse i relation til materialeforbrug på samtlige bygningsdele i konstruktionen		Pro				
MARKEDSDIALOG MED RELEVANTE LEVERANDØRER MED HENBLIK PÅ: (Kan evt. kombineres med en markedsdialog om potentialet ved at arbejde med flere forskellige eksponeringsklasser jf. afsnit 7.)						
- Kan vi afstemme valg af styrkeklasse for betonelementer, således at produktionstakt og den deraf afledte høje sluttrykstyrke tages i regning?		Dis				
- Er der mulighed for at få fremstillet vægge med tilpassede lavere styrker i betonelementer end vanligt? – og hvad er konsekvensen af dette?		Dis				
- Invitation til dialog om forventet udbudsmateriale, mulige entreprenører				Udb		
- Invitation til dialog om forventet udbudsmateriale, mulige materialeleverandører				Udb		

LCA OG MATERIALEVALG (AFSNIT 9)

	Indledende rådgivning - Ideoplæg - Byggeprogram - Aktivitetsun- dersøgelse	Forslag - Disposi- tions- forslag - Projekt- forslag	Myndig- heds- projekt	Udbuds- projekt	Udfør- elses- projekt	Afleve- ring
DIALOGGRUNDLAG MELLEM AFTALEPARTERNE						
- Vurdering af om de generiske/branchespecifikke data er på den konservative side i forhold til produktspecifikke data på byggematerialer i det danske marked	Akt					
- Fastlæggelse af de mest repræsentative data for beton og armering til anvendelse i de indledende LCA beregninger		Pro				
- Gennemregnet LCA for forskellige scenarier for materialevalg, herunder også forskellige betontypevalg i de forskellige dele af konstruktionen, som består af beton		Dis&Pro				
- Overslagsberegninger af potentialet for CO ₂ -reduktioner i materialevalget på bygningsdelsniveau		Dis&Pro				
- MARKEDSDIALOG MED BETONBRANCHENS AKTØRER MED HENBLIK PÅ:						
- Afsøgning af data for produktspecifikke data med henblik på at vurdere gabet mellem branchedata og produktspecifikke data	Akt					
- Slutkontrol af CO ₂ -niveau af faktiske leverede materialer, en enkel og digital måde?					Udf	

PRISEN PÅ CO₂-BESPARELSER OG LCC (AFSNIT 10)

	Indledende rådgivning - Ideoplæg - Byggeprogram - Aktivitetsun- dersøgelse	Forslag - Disposi- tions- forslag - Projekt- forslag	Myndig- heds- projekt	Udbuds- projekt	Udfør- elses- projekt	Afleve- ring
DIALOGGRUNDLAG MELLEM AFTALEPARTERNE						
- Vurdering af de optimeringsmuligheder, der peges på, står de mål med de økonomiske konsekvenser af optimeringen		Dis&Pro				
- Vurdering af om de valgte materialer kan konkurrenceudsættes		Pro				
- Vurdering af om de løsninger, der peges på for at spare CO ₂ i opførelsen af byggeriet, påvirker drift og vedligeholdet af bygningen i negativ retning		Dis&Pro				
- Vurdering af om de løsninger, der peges på for at spare CO ₂ i opførelsen af byggeriet, påvirker muligheden for genanvendelse og genbrug af bygningen efter endt levetid		Dis				
- Vurdering af om de løsninger der peges på for at spare CO ₂ i opførelsen af byggeriet forkorte byggeriets samlede levetid eller gøre bygningen mere ufleksibel i forhold til fremtidig tilpasning af fornyede behov		Dis				
MARKEDSDIALOG MED BETONBRANCHENS AKTØRER: (Vurderes ikke at være relevant med markedsdialog i denne fase)						