



Bæredygtig optimering af betonkonstruktioner

Debatoplæg

Interviewundersøgelse blandt repræsentanter fra byggeriet



TEKNOLOGISK
INSTITUT

“ – Udarbejdet af Teknologisk Institut og Rambøll A/S for Dansk Beton.

Titel:

Bæredygtig optimering af betonkonstruktioner
Debatoplæg – Interviewundersøgelse blandt repræsentanter fra byggeriet

Udarbejdet for:

Dansk Beton
Nørre Voldgade 106
1358 København K

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 3
2630 Taastrup
Beton

Rambøll A/S
Prinsensgade 11
9000 - Aalborg

Maj 2018

Forfattere:

Lars Nyholm Thrane, Gitte Normann Munch-Petersen og Dorthe Mathiesen, Teknologisk Institut
Claus Vestergaard Nielsen, Rambøll A/S

Indholdsfortegnelse

Forord	4
Sammenfatning	5
Læsevejledning	6
1. Introduktion	7
1.1. Metode - interviewundersøgelse	7
2. Branchens syn på bæredygtighed og beton.....	8
2.1. Bæredygtighed som konkurrenceparameter i fremtiden	8
2.2. Efterspørgsel på bæredygtig beton	9
2.3. Betons image som bæredygtigt materiale	9
2.4. Gennemsigtighed efterspørges	10
3. Bæredygtige optimeringsmuligheder	11
3.1. Tema 1: Dimensionering og design	11
3.1.1. FE beregningsværktøjer	11
3.1.2. Generel optimering af betonelementer	12
3.1.3. Design efter behov	12
3.1.4. Fiber- og kompositarmering	13
3.1.5. Efterspændte konstruktioner	14
3.1.6. BIM og 3D modeller.....	14
3.2. Tema 2: Krav til beton og betonkonstruktioner	14
3.2.1. Normer og standarder	15
3.2.2. Specifikation af betons styrke	15
3.2.3. Funktionsbaserede krav	15
3.3. Tema 3: Produktion og udførelse	16
3.3.1. Levering af beton på byggepladsen	16
3.3.2. Entreprenørens valg af beton.....	17
3.3.3. Adfærd blandt producenter og entreprenører	17
3.3.4. Planlægning og samarbejde.....	18
3.3.5. Receptoptimering	18
3.3.6. Digital fabrikation og automatisering af elementproduktion	19

Forord

At bygge bæredygtigt er og bliver mere afgørende for de valg der træffes i en byggeproces herunder valg af byggematerialer, konstruktionsprincip og arkitektonisk udtryk.

Brancheforeningen Dansk Beton under Dansk Byggeri ønsker at være med til præge den måde, som beton anvendes i byggeriet. Dansk Beton har derfor taget initiativ til at gennemføre en interviewundersøgelse blandt byggeriets parter, som udgangspunkt for udarbejdelsen af et debatoplæg om muligheder og udfordringer i forhold til bæredygtig optimering af beton og betonkonstruktioner indenfor rammerne af den måde, som der bygges på i dag.

Kortlægningen skal danne baggrund for dialog og debat med betonindustriens og byggebranchens aktører med henblik på at udpege de tiltag og udviklingsaktiviteter, som branchen fremadrettet bør fokusere på. Kortlægningen og den efterfølgende debat skal medvirke til at sikre, at kommende initiativer prioriteres der, hvor potentialerne for bæredygtig optimering er størst.

Dansk Beton har valgt ikke at inddrage genanvendelse af beton og design for adskillelse i kortlægningen og debatoplægget, da der i forvejen er meget fokus og debat omkring disse emner og cirkulær økonomi. Derudover handler genanvendelse og design for adskillelse ikke om optimeret brug, men mere om betontilslag og designstrategier.

Det er desuden valgt at fokusere på betonbyggeri og ikke medtage anlægskonstruktioner og infrastruktur. Dette skyldes et behov for afgrænsning for ikke at gabe over for meget, men også fordi det primært er i den del af betonbranchen, at der aktuelt er fokus på bæredygtighed. Det betyder ikke, at bæredygtighed ikke er relevant i forhold til anlæg, det bliver blot ikke behandlet her.

Sammenfatning

Dansk Beton har gennemført en kortlægning af byggebranchens synspunkter i forhold til muligheder og udfordringer for bæredygtig optimering af beton og betonkonstruktioner. Gennem dybdegående interviews blandt 16 udvalgte repræsentanter fra den danske byggebranche, er der udarbejdet et debatoplæg med anbefalinger til, hvordan branchen på forskellig vis kan optimere på bæredygtighed. Anbefalingerne er opdelt i tre temaer, som kort er opsummeret nedenfor:

Tema 1 - Dimensionering og design:

- FE beregningsværktøjer baseret på plasticitetsteorien giver mulighed for at reducere armeringsmængden.
- FE beregningsværktøjer kan sammen med 3D-modeller gøre det muligt at designoptimere individuelle betonbyggningsdele, hvorved der kan spares både beton og armering.
- Optimering af betonelementer kan reducere mængden i områder, hvor der ikke overføres laster.
- Efterspænding af konstruktioner kan minimere behovet for stabiliserende vægge, søjler og bjælker. Teknikken anvendes oftest for at opnå høje spændvidder, men kan også bruges til at reducere mængden.
- Fiberarmering og kompositarmering kan være med til at reducere mængden af traditionel armering til simple konstruktionsdele, men understøttes på nuværende tidspunkt ikke af Eurocode. Der efterlyses en fiberbetonvejledning for simple konstruktionsdele.
- Der kan spares ressourcer, når BIM og 3D modeller i fremtiden bliver endnu mere gennembearbejdet eksempelvis indarbejdelse af betonforskalling og midlertidige konstruktioner.

Tema 2 – Krav til beton og betonkonstruktioner:

- Entreprenører og producenter vurderer, at krav til miljøklasser for konstruktionsdele, som fx fundamenter, hen over tid er blevet skærpet. Er dette et udtryk for en stramning af normgrundlaget, eller skyldes det, at rådgiverne vælger at stille skærpede krav? I begge tilfælde er der behov for en gennemgang af de stillede krav.
- Standarderne stiller krav til betonens styrke dokumenteret ved 28 modenhedsdøgn, men mange betoner har en højere slutstyrke, som med fordel kan udnyttes til at reducere miljøaftrykket.
- Funktionsbaserede krav til beton baseret på målte egenskaber kan overvejes til at reducere miljøaftrykket, men der peges på at disse metoder skal bruges med stor forsigtighed, da risikoen for fejl øges.

Tema 3 - Produktion og udførelse:

- Leveringsproblemer og forsinkelser under transport og støbning medfører ressourcespild og unødvendig kassation. Et logistiksystem med direkte kommunikation mellem entreprenør og producent kan medvirke til at nedbringe spildet.
- 3D-værktøjer kan bruges til med større nøjagtighed at beregne den nødvendige mængde beton og dermed nedbringe mængden af returbeton.
- En større grad af differentiering ved bestilling af beton. Tendens til at entreprenører vælger den beton, der opfylder de skrappeste krav, til hele konstruktionen for at spare tid på planlægning. Det medfører et højere cementforbrug, og dermed en højere CO₂-udledning.
- Bedre planlægning af især større støbninger kan reducere spildet. Indsamling og analyse af data fra støbninger kan være med til at skabe den nødvendige viden til optimering af støbninger.
- Tidlig involvering af alle parter i forhold til at definere bæredygtighedsmål og pege på løsninger. De gode og bæredygtige løsninger kommer oftest først på bordet, når et byggeris parter samles tidligt, hvilket sker for sjældent.
- Optimering af betonrecepter med direkte fokus på nedbringelse af cementforbruget.
- Større automatisering i elementproduktionen, fx med anvendelse af armeringsnet der er produceret og tilvirket ud fra beregninger og 3D-tegninger.

Læsevejledning

Debatoplægget består af tre afsnit:

- Introduktion: Oplæggets baggrund samt den anvendte metode for kortlægningen.
- Branchens syn på bæredygtighed og beton: Værdikædens synspunkter om bæredygtighed i bred forstand i relation til beton og betonkonstruktioner.
- Bæredygtige optimeringsmuligheder: Tekniske og konkrete bud på, hvor beton og betonkonstruktioner kan optimeres i en mere bæredygtig retning. Sammenfatningen af de tekniske idéer og input er grupperet i 3 temaer:
 - Tema 1: Dimensionering og design
 - Tema 2: Krav til beton og betonkonstruktioner
 - Tema 3: Produktion og udførelse.

1. Introduktion

Den danske betonbranche har historisk set været med til at udvikle den måde beton designes og anvendes på i dag. Det gælder bl.a. indenfor udviklingen af:

- Byggesystemer med betonelementer, hvor produktionen for alvor tog fart i 1950'erne. I dag udgør betonelementproduktion ca. 20 % af den danske betonproduktion, og Danmark er et af de førende lande på verdensplan i opførelsen af betonelementbyggerier.
- Plasticitetsteorien, udviklet over de sidste 50 år af blandt andre Professor M.P. Nielsen, der optimerer komplicerede betonkonstruktioners bæreevne og tillader en mere fleksibel konstruktionsudformning.
- Grøn beton, hvor der siden slutningen af 1990'erne er arbejdet med udvikling af betoner, der anvender alternative bindematerialer til at reducere cementklinkerindholdet i betonen og dermed betonens samlede miljøpåvirkning.
- Højstyrkebeton og fiberarmering, hvor udviklingen startede i 1970erne hos Aalborg Portland, som giver nogle unikke funktionelle og æstetiske muligheder.
- Selvkompakterende beton, der for alvor slog igennem i slutningen af 00'erne, som resultat af flere års udviklingsarbejde. I dag anvendes SCC i udbredt grad til in-situ støbninger og i elementproduktion.

Den danske betonbranche arbejder løbende på at optimere produktion, ydeevne og anvendelsesmulighederne af beton bl.a. gennem deltagelse i nationale og internationale udviklingsprojekter.

I konkurrencen med andre byggematerialer og qua den stigende efterspørgsel på beton globalt set, er det dog nødvendigt fortsat at afsøge muligheder for at optimere på anvendelsen af beton, så beton vedbliver at være et konkurrenceeffektivt og ikke mindst et bæredygtigt byggemateriale.

1.1. Metode - interviewundersøgelse

Debatoplægget er kun indirekte baseret på rapporter og lignende viden via deltagernes viden. Fokus har været på den faktiske praksis, der er i branchen, samt de holdninger aktører i branchen har.

Teknologisk Institut og Rambøll har på vegne af Dansk Beton gennemført en interviewrunde blandt 16 udvalgte repræsentanter fra den danske byggebranche omfattende bygherrer, arkitekter, rådgivere, entreprenører, producenter og forskere.

Målet med interviewrunden var at få hele byggeriets værdikæde til at udpege konkrete muligheder og udfordringer i forhold til bæredygtig optimering af beton og betonkonstruktioner.

Kortlægningen er underbygget med konkrete citater fra de aktører, som har bidraget til kortlægningen.

2. Branchens syn på bæredygtighed og beton

Bæredygtighed har været i fokus i byggebranchen og betonbranchen i mange år. Men bæredygtighed er fortsat en størrelse som er svær at kvantificere og kvalificere, og debatter og diskussioner om bæredygtighed bliver derfor tit unuancerede og ukonkrete. Interviewrunden resulterede i en række udsagn og input, som forholder sig til bæredygtighed i bred forstand. Dette er sammenfattet i dette afsnit under overskrifterne:

- Bæredygtighed som konkurrenceparameter i fremtiden
- Efterspørgsel på bæredygtig beton
- Betons image som bæredygtigt materiale
- Gennemsigtighed efterspørges

2.1. Bæredygtighed som konkurrenceparameter i fremtiden

Blandt rådgivere, entreprenører og producenter er der en oplevelse af, at bæredygtighed italesættes mere og mere, men at det endnu ikke for alvor er slået igennem. Det er stadigvæk økonomien, der er den altovervejende parameter i beslutningsprocessen. Dog forventer alle de adspurgte, at miljø og social bæredygtighed i fremtiden vil blive en naturlig del af beslutningsprocessen og flere peger på, at de bæredygtige certificeringsordninger er et led i denne udvikling.

I Danmark har Green Building Council Denmark valgt at anvende det tyske DGNB system til bæredygtigheds certificering. I 2012 blev den første danske DGNB certificering lanceret og antallet af certificerede byggerier har sidenhen været støt stigende. DGNB fokuserer i høj grad på totaløkonomien, dvs. miljø, økonomi og social bæredygtighed i hele bygnings levetid. DGNB er et dynamisk system, som løbende justeres i forhold til udviklingen i lovgivningen og markedet. Flere bygherrer er allerede begyndt at stille krav om, at deres byggerier skal være DGNB certificeret til eksempelvis minimum "guld".

For at imødekomme forventninger til fremtiden er der særligt blandt de større rådgivere, arkitekter og entreprenører stigende fokus på formulering og implementering af bæredygtighedsstrategier. Der uddannes personer i bæredygtighed og certificeringsordninger for at være parate og konkurrencedygtige i fremtidens marked.

"Vi investerer årligt et par milliarder i at udvikle og opføre nye ejendomme, og vi har høje ambitioner omkring bæredygtighed. Vi har som mål, at alle vores nye ejendomme skal DGNB certificeres og opnå minimum Guld", Marius Møller, PensionDanmark.

2.2. Efterspørgsel på bæredygtig beton

Betonproducenter oplever en stigende efterspørgsel på flere specialprodukter såsom selv-udtørrende beton og vinterbeton, end tidligere. Selvom certificeringsordninger for bæredygtighed vinder frem er der fortsat meget begrænset efterspørgsel efter beton med reduceret miljøpåvirkning. Det er også sjældent, at betonproducenterne oplever efterspørgsel på miljøvaredeklarationer på trods af, at branchen har fælles værktøjer til udarbejdelse af disse.

Der forventes dog en større efterspørgsel i fremtiden på mere miljøreducerende betonsammensætninger og på miljøvaredeklarationer, da flere entreprenører ønsker at tilbyde deres kunder et DGNB certificeret byggeri. Derfor vil entreprenørerne begynde at stille større krav til deres leverandørnetværk om at levere miljødata for de anvendte byggematerialer herunder miljøvaredeklarationer, livscyklusberegninger mm. I øjeblikket arbejdes der på at fremskaffe selve dokumentationen, men senere forventes der også at blive stillet krav til selve indholdet. Der peges på, at Sverige og Norge er længere fremme med anvendelsen af miljøvaredeklarationer som følge af en større efterspørgsel, og af at miljøinformation om byggematerialer i højere grad er en betydende konkurrenceparameter.

I Danmark er der flere initiativer i gang for at fremme klassificering, beskrivelser og lovgivning om bæredygtighed i byggeriet fx:

- SBI er i gang med udvikling af nye frivillige bæredygtighedsklasser til brug i bygningsreglementet.
- I 2017 gik energibranchen og byggebranchen sammen om at udgive rapporten "Roadmap 2030: Bygningers rolle i den grønne omstilling", støttet af Energifonden.
- I 2017 udkom Advisory Boards anbefalinger til regeringen indenfor cirkulær økonomi. Anbefaling #12 går på at udarbejde et cirkulært bygningsreglement.

2.3. Betons image som bæredygtigt materiale

Bygherrer og arkitekter opfatter generelt beton som et robust byggemateriale med en lang levetid. Betonen giver gode muligheder for at skabe et fleksibelt byggeri med få bærende vægge, hvor kontorbyggerier kan transformeres til boliger og omvendt.

Beton har dog en varierende "miljø- og bæredygtighedsprofil" alt efter hvem man spørger. Blandt nogle bygherrer og arkitekter er der en opfattelse af, at beton er bagud på bæredygtighed i forhold til andre (letvægts-) byggematerialer. Der peges på, at der er brug for en tydeligere innovationsprofil, og at der mangler de gode historier i forhold til hele bæredygtighedsbegrebet.

Blandt arkitekter ses en tendens til, at den sociale del af bæredygtighedsbegrebet får større betydning i fremtiden. Betonkonstruktioner er kendt for at have god holdbarhed og lang levetid, men det bliver i fremtiden lige så vigtigt, at vores bygninger og konstruktioner også er æstetisk holdbare. Jo længere bygninger bevares og anvendes, des større samfundsmæssig gevinst.

Måling af den sociale ydeevne, fx i forhold til den amerikanske WELL standard, er noget der vinder frem. Arkitekter vil gerne det ærlige udtryk, men vælger ofte mere "naturlige" materialer for at fremme variation, taktilitet og aptering i overfladen. Arkitekter peger bl.a. på, at det kan være svært at realisere betonen til mennesket og skabe de gode brugeroplevelser. De traditionelle betonelementer opfattes ikke som innovative nok, og de pakkes ofte ind i andre materialer. Det er der dog et ønske om at gøre op med.

"Vi vil rigtig gerne fremhæve og dyrke betonens karakteristika, men vi savner teknikker, der kan give betonen en ny og nærværende æstetik med mulighed for variation fra byggeri til byggeri.", Jakob Strømmand-Andersen, Henning Larsen Architects A/S.

"Betonen har en tektonisk urkraft, men det udnyttes kun i alt for få tilfælde til at skabe bygninger og konstruktioner med æstetisk holdbarhed. Det er så afgørende for vores udvikling af nyt byggeri, at vi i langt højere grad værdisætter de taktile og tektoniske udtryk.", Henrik Schmidt, Lundgaard & Tranberg Arkitekter.

2.4. Gennemsigtighed efterspørges

Gennemsigtighed og åbenhed omkring byggematerialers miljømæssige ydeevne bliver helt væsentlige konkurrenceparametre i fremtidens byggeri. Blandt arkitekter, rådgivere og entreprenører peges på, at betonbranchens initiativ til at kunne beregne og tilbyde miljøvaredeklarationer er rigtig godt, men at det ikke er velkendt, at denne information rent faktisk er tilgængelig. Der peges på, at et fælles branchekrav om miljøvaredeklarationer vil medvirke til, at betonbranchen fremstår med en tydeligere miljøprofil.

Der peges også på, at mærkningsordninger, som der er indført i Norge, vil bidrage til mere gennemsigtighed og gøre det mere operationelt at vælge betoner til et byggeri. I Norge har de indført et system for "Lavkarbon"- betoner, hvor de inddeles i forskellige klasser efter deres CO₂ fodaftryk. Det gør betonen mere interessant, når beslutningstagere har flere valgmuligheder og kan argumentere for sine valg. I øjeblikket er betonen en parameter i et generisk databasesæt, og beslutningstagere har ikke viden og information om de optimeringsmuligheder der foreligger.

Endelig peges der på, at branchen i højere grad kan beskrive sine visioner for bæredygtighed og fremsætte konkrete mål. Dette vil medvirke til at fortælle den gode historie. Der peges på eksempler fra udlandet, hvor der er sat konkrete mål for reduktion af CO₂. Eksempelvis i Storbritannien, hvor brancheorganisationen MPA (Mineral Products Association) publicerer årlige miljøtal og sammenholder dem med baseline værdier svarende til 1998 niveauet.

"Vi efterspørger i høj grad data, dokumentation og viden om byggematerialers miljømæssige ydeevne i et livscyklusperspektiv, da vi bruger mange kræfter på at regne og argumentere for vores valg af byggematerialer. Betoner som kan levere bedre miljødata end de generiske datasæt vil være meget attraktivt.", Pelle Munch-Petersen, Henning Larsen Architects A/S.

3. Bæredygtige optimeringsmuligheder

Interviewrunden har peget på en række tekniske muligheder for at optimere beton og betonkonstruktioner i en mere bæredygtig retning. De input der er kortlagt er kategoriseret i tre temaer:

- Tema 1: Design og dimensionering
- Tema 2: Krav til beton og betonkonstruktioner
- Tema 3: Produktion og udførelse

3.1. Tema 1: Dimensionering og design

I dag bygges langt mere komplekst end i fx 1960erne. Der er efterspørgsel efter at udnytte mulighederne for at tegne og dimensionere mere komplekse konstruktioner for at skabe bygninger med større rum og fleksibilitet. Derfor presses betonkonstruktioner mere til grænsen for at få længere spænd og slankere konstruktioner. Det stiller højere krav til armering og beton og de stigende styrke- og armeringskrav til mere spektakulært byggeri vurderes at smitte af på "standardbyggeriet", hvor der ser ud til at være en tendens til at armeringsmængder og -dimensioner er blevet øget. Det giver udfordringer på byggepladsen, hvor armeringen er mindre håndterlig, hvilket ikke er til gunst for arbejdsmiljøet og øger risikoen for fejl og ressourcospild. Tidligere var armeringsstænger med diameter på 10 og 12 mm det normale. I dag anvendes ofte dimensioner fra 16 mm og helt op til 64 mm i diameter.

"Vores egen konstruktionsprojekteringsafdeling har udført granskning/efterberegning af eksterne projekter, der i flere tilfælde viser, at armeringsmængder kan reduceres op til 15-30 %", Tim Nederveen, NCC Danmark A/S.

Der er generel en opfattelse af, at der er muligheder for at optimere betonkonstruktioner yderligere og dermed fremme bæredygtigheden. Nogle af de løsninger og tiltag der peges på er:

- Brug af nyeste FE beregningsværktøjer
- Generel optimering af betonelementer
- Design efter behov
- Fiber- og kompositarmering
- Efterspændte konstruktioner
- BIM og 3D modeller

3.1.1. FE beregningsværktøjer

De nyeste FE beregningsværktøjer, baseret på plasticitetsteorien, giver store muligheder for at reducere armeringsmængden vha. omfordelinger af snitkræfter. Eksempelvis i vægge, som ofte indeholder armering udover det bæreevnmæssige nødvendige pga. dørhuller og gennemføringer. Der peges på, at vægge ofte kan nøjes med minimumsarmeringen. En reduktion af armeringen har imidlertid indflydelse på konstruktionens robusthed, fleksibilitet og udnyttelsesgrad.

"I stabiliserende vægskiver kan der være et stort besparelspotentiale ved anvendelse af plastiske beregningsmetoder, som vil være en stor gevinst for miljøet og pengepungen", Bernt Suikkanen, COWI A/S.

3.1.2. Generel optimering af betonelementer

Optimering af specielt bagvægge og facadeelementer fravælges ofte pga. produktionstekniske hindringer og pris i forhold til fremstilling af de traditionelle plane elementer. Det gør det svært at konkurrere, når pris ofte er den eneste konkurrenceparameter. Det kræver en større opbakning fra hele branchen, hvis optimerede designløsninger skal i anvendelse. Der er brug for mere promovning og en vurdering af, hvad optimerede elementer må koste i forhold til den bæredygtighedsværdi, de medfører. Optimerede betonelementer kan potentielt være med til at skabe ekstra boligkvadratmeter. Med kvadratmeterpriser på ca. 35.000 kr/m² i København svarer 5 ekstra m² til 175.000 kr.

Topologioptimeringsværktøjer kan også blive et værktøj til optimering af betonelementers formgivning og armering. Det vil skabe helt nye arkitektoniske udtryk og reducere materialeforbruget. Det kræver dog, at produktionsapparatet følger med i forhold til at kunne realisere betonelementer med fri formgivning og "organisk" armering.

Endelig peges på et muligt potentiale ved anvendelse af letbeton. Letklinkerbeton og gasbeton anvendes i stor stil i mindre byggeri, men ikke ret ofte i mere krævende og komplekst byggeri. Letbeton er kendetegnet ved en lavere densitet i forhold til almindelig beton, hvilket kan medvirke til at reducere konstruktionens egenvægt samt forbedre isoleringsevne og brandmodstandsevne. Den lavere vægt reducerer også transportomkostninger.

"Optimering af specielt bagvægge og facadeelementer kan medføre materialebesparelser på op imod 30 % vha. armerede ribber og udsparinger", Gunnar Hansen, CRH Concrete A/S.

"Hvis vi kan få letbeton med højere styrker vil der være et potentiale for at spare armering og beton pga. lavere egenvægt. Mindre armering vil også spare os tid og fremme arbejdsmiljøet under udførelsen", Faruk Kurtis, Hoffmann A/S.

3.1.3. Design efter behov

De enkelte betonelementer i et byggeri skal optage forskellige belastninger og generelt optimeres der mest muligt indenfor projektets ressourceramme, men ofte vælges de(t) hårdest belastede elementtyper, som bliver dimensionsgivende for hele konstruktionen. Det fremføres, at nye FE værktøjer, baseret på plasticitetsteoretiske principper, sammen med 3D-modeller vil medvirke til, at betonelementer langt nemmere kan optimeres yderligere – helt ned på det enkelte konstruktionselement. Ved i højere grad at differentiere i betonstyrker, armeringsbehov, udformning af elementer og samlinger er der muligheder for at undgå unødige overkapacitet og dermed reducere den samlede miljøbelastning. Dette stiller dog højere krav til produktionskontrol, logistik og kvalitetskontrol.

Der vurderes også at være muligheder for valg af mere bæredygtige løsninger for beton under terræn. Det påpeges, at der er sket et skifte indenfor de sidste 20 år, så fundamenter i dag bliver klassificeret med højere miljøklasser og styrkeklasser end tidligere. Der kunne fx ses nærmere på mulighederne for at anvende uarmeret grovbeton med lavere miljøaftryk i stedet for konstruktionsbeton.

Endelig vurderes det, at der kan være muligheder for optimering ved at overveje balancen mellem æstetiske og funktionelle krav i byggeriet. Der peges på, at strenge krav til revner og overflader indimellem overføres fra anlægskonstruktioner til byggeriet, hvilket kan være hæmmende for valg af beton, armering og udførelsesmetode.

"Med automatiserede designmetoder vil vi blive i stand til i langt højere grad at regne og optimere på de enkelte konstruktionselementer og samlinger", Christian Listov-Saabye, MOE.

"Der anvendes i dag store mængder konstruktionsbeton af høj kvalitet under jorden. Der er sandsynligvis mulighed for at reducere miljøpåvirkningen og spare penge ved at gennemgå krav til betonkonstruktioner under jorden", Kaare K. B. Dahl, Rambøll A/S.

3.1.4. Fiber- og kompositarmering

Fiberarmering kan potentielt erstatte noget af den traditionelle armering til visse konstruktionstyper såsom terrændæk og fundamenter. Udfordringen er dog, at projekteringsgrundlaget i Eurocode 2 ikke understøtter andre armeringstyper end armeringsstænger af ribbestål. Rådgivere vil ikke tage ansvaret, og der er ikke et økonomisk incitament til at løbe denne risiko. I dag kommer dokumentationen således ofte fra fiberproducenten ud fra producentens egne designregler.

En fiberbetonvejledning for simple konstruktionsdele udformet i fællesskab mellem producent og rådgivere kunne udbrede anvendelsen og skabe ensartede konkurrencevilkår. Det fremmer processen, når branchen tager initiativ til disse samarbejder på tværs i branchen. Eksempelvis som ved udarbejdelse af Betonelementforeningens Bulletin No. 2 om wirebokse i elementsamlinger (juni 2016).

Udover fibre, så kan kompositarmering potentielt også være med til at bringe betonforbruget ned, da behovet for dæklag er mindre. Der er dog andre hensyn at tage, herunder brandsituationen.

"Vi udnytter ikke stålfibre, så meget som man kunne. Når forskellige aktører – bygherrer, forskere, rådgivere, producenter og leverandører samles til udarbejdelse af retningslinjer, er det ofte meget konstruktivt og giver gode brugbare resultater", Bernt Suikkanen, COWI A/S.

"I Tyskland er der eksempler på elementproducenter, som har tilladelse til at medtage stålfibre som statisk armering, så de kan spare bøjlerne. De har en godkendelse baseret på prøvning. Kunne man forestille sig noget lignende i Danmark?", Finn Passov, Consolis Spæncom.

3.1.5. Efterspændte konstruktioner

Efterspænding af konstruktioner ses som en mulighed for at imødekomme behovet for mere komplekse og fleksible bygninger. Det mindsker eller minimerer behovet for stabiliserende vægge, søjler og bjælker. Der kan bl.a. opnås stor stabilitet ved efterspænding af bygningskerner og in-situ støbte etagedæk. Teknikken har i mange år været anvendt til broer for at opnå stor spændvidde og opfylde revnekrav.

"Konstruktioner designet med henblik på efterspænding er en mulighed der måske skal ses mere på i fremtidens bæredygtige betonbyggeri", Linh Cao Hoang, BYG-DTU.

3.1.6. BIM og 3D modeller

Der er generel opfattelse af, at 3D modeller og BIM har gjort en stor forskel i forhold til visualisering og kommunikation af projekter, og at det helt sikkert bliver et stærkt værktøj til at finde og producere de gode bæredygtige løsninger. Der er dog også mange tekniske udfordringer omkring formater, kompatibilitet og grænseflader der skal løses, før det fulde potentiale kan frigøres. Der peges på, at arkitekter og rådgivere ofte ikke bruger samme værktøjer og at det er en udfordring at få oversat fra et format til et andet. Modellerne kræver grundig gennemgang, da de kan være mangelfulde og behæftet med fejl. Der kan spares mange ressourcer, når 3D modeller i fremtiden bliver endnu mere gennembearbejdet og som eksempel nævnes indarbejdelse af betonforskalling og midlertidige konstruktioner.

Der peges også på, at anvendelse af de digitale visualiseringsværktøjer, sammen med fælles branchevejledninger, kan være med til at øge bygbarheden.

"Der er et stort potentiale for besparelser og produktionsoptimering i 3D værktøjer/digitalisering fx ved optegning og direkte overførelse af 3D-armeringstegninger, til produktion. Eksempelvis ved produktion af færdigsvejste armeringsenheder, der leveres til pladsen, på baggrund af en 3D-model", Tim Nederveen, NCC Danmark A/S.

"Digitalisering og BIM har bragt en masse positivt med sig. Dog skal man være opmærksom på at have en god og operationel ændringslog, så entreprenøren nemt kan få et overblik over de løbende ændringer. Det fremmer samarbejdet mellem byggeledelse og entreprenør." Claus Møller Rasmussen, DTU-Campus.

3.2. Tema 2: Krav til beton og betonkonstruktioner

De krav der specificeres til beton og armering følger de til enhver tid gældende standarder og nationale regler. Designeren specificerer eksempelvis krav til styrkeklasse efter 28 modenhedsdøgn og miljø-/eksponeringsklasse. Derudover kan der være krav i projektspecifikationer og fra entreprenøren, som har indflydelse på valg af delmaterialer og sammensætning af betonen. Spørgsmålet er, om de stillede krav er unødvendigt skrappe, så der bruges større mængder, højere styrker og mere armering end nødvendigt.

Der peges på, at der er muligheder for optimering af bæredygtigheden ved at se nærmere på følgende emner:

- Normer og standarder
- Specifikation af betons styrke
- Funktionsbaserede krav

3.2.1. Normer og standarder

Det vurderes, at normgrundlaget løbende strammes og at dette har konsekvenser for mulighederne for at optimere på beton og armering. En gennemgang af normer, standarder og projektspecifikationer for betonkonstruktioner kan være med til at udpege områder, hvor reglerne er en barriere for bæredygtigheden. Eksempelvis indeholder normgrundlaget en del minimumskrav til armeringen, som kan hæmme optimeringen af specielt de let-armerede konstruktionsdele (fundamenter, terrændæk mv.), hvor krav til minimumsarmering evt. revurderes og erstattes af fx fiberarmering. Der er også en oplevelse af, at visse krav til minimumsarmering (fx lukkebøjler) er overflødige.

"Alle krav til byggeriet bør vejes op i forhold til kvalitet, økonomi og miljø fx når skrappe krav til revnevidder fra anlægskonstruktioner overføres til byggeriet", Claus Baumann, ZÜBLIN A/S.

3.2.2. Specifikation af betons styrke

Betonens vigtigste mekaniske og holdbarhedsmæssige egenskaber specificeres og dokumenteres til fastlagte terminer. Eksempelvis stiller standarderne krav til betonens styrke dokumenteret ved 28 modenhedsdøgn. Mange betoner har dog en højere slutstyrke, som med fordel kan udnyttes til at reducere miljøaftrykket. Det gælder særligt for betoner med høje indhold af mineralske tilsætninger, som ofte har en langsommere styrkeudvikling. Der er således potentiale for at reducere miljøaftrykket, hvis det er muligt at specificere styrken til en senere termin – fx 2 eller 3 måneder.

I Danmark er der også tradition for at styrkeklasse og miljøklasse/eksponeringsklasse følger hinanden, hvilket er et operationelt og velfungerende system. I visse tilfælde kan der dog være muligheder for bæredygtig optimering ved at adskille de to krav fx kan der være brug for høj styrke uden at betonen er udsat for et hårdt eksponeringsmiljø. Det kan give producenter mere frihed til at sammensætte betoner med lavere miljøaftryk.

"Ofte er styrke ikke så kritisk, så man kunne godt vælge styrken ved 91 døgn i stedet for 28 døgn og så leve med at styrkerne efter 7 døgn er lavere. Det kan man sagtens indrette sig mere efter", Ole Viggo Andersen, NIRAS A/S.

3.2.3. Funktionsbaserede krav

I dag anvendes der erfaringsbaserede materialekrav til beton afhængig af styrkeklasse og miljøklasse/eksponeringsklasse. Der er krav til kvaliteten af delmaterialer og overordnet sammensætning af betonen, herunder bl.a. cementtype, vand-cement-tal, minimum ce-

mentindhold, luftindhold mm. Disse krav er et resultat af mere end 30 års danske erfaringer. Betonproducenter sammensætter i dag betoner indenfor rammerne heraf, men oplever en stigende efterspørgsel på funktionsbaserede betoner, som har egenskaber der går udover det, som er obligatorisk at foreskrive. Fx betoner som er egnet til glitning, hurtig udtørring, lodrette støbninger eller særlig god til huldækfuger.

Funktionsbaserede krav til beton, baseret på målte egenskaber, kan også åbne nogle muligheder for at for at optimere betoner med lavere miljøaftryk. Det anvendes dog kun meget sjældent, da det medfører større usikkerhed dels pga. manglende erfaring med betonernes holdbarhed og dels pga. ansvarsforhold. For at et funktionsbaseret koncept kan blive operationelt vil det kræve en systematik og viden omkring den prøvning og dokumentation, der er nødvendig fra producentens side.

"Vi arbejder mere og mere med udvikling af funktionsbetoner for at kunne tilbyde vores kunder optimerede produkter målrettet udførelsen og anvendelsen", Ib Jensen, Unicon A/S.

3.3. Tema 3: Produktion og udførelse

Betonkonstruktioner til byggeriet består af en blanding af in-situ støbt beton og betonelementer. Der er mange processer og aktører involveret i produktionsfasen for at levere betonbyggeri til tiden og med den rette kvalitet. Nedenstående er udpegede forslag til områder med potentiale for at optimere bæredygtigheden af færdigblandet betonproduktion, produktion af betonelementer og udførelse på byggepladsen:

- Levering af beton på byggepladsen
- Entreprenørens valg af beton
- Adfærd i produktion og på byggeplads
- Planlægning og samarbejde
- Receptoptimering
- Digital fabrikation og automatisering af elementproduktion

3.3.1. Levering af beton på byggepladsen

Leveringsproblemer og forsinkelser under transport og støbning betyder ressourcospild og unødvendig kassation bl.a. når betonens modenhed er overskredet. Det har entreprenører og betonleverandører meget fokus på, men der vurderes at være potentiale for optimering. Eksempelvis gennem udvikling af et forbedret logistiksystem, hvor bestiller og leverandør kan kommunikere direkte omkring leveringstidspunkt, -sted og -mængder. Værktøjer der kan styre støbetakter og logistik meget præcist og som giver et tydeligt og overskueligt overblik over situationen på byggepladsen. Det kan bl.a. inkludere anvendelse af intelligente droner, der med visualisering og dataudveksling understøtter støbeprocessen.

Der er også miljøfordele ved at planlægge større støbninger ad gangen, da det giver bedre flow og mindre spild. Det fremmer også muligheden for, at betonleverandøren kan medbringe større mængder beton ad gangen. Typiske roterbiler medtager 7-8 m³, men der er penge og CO₂ at spare ved at øge leverancen til 10-12 m³ pr. bil.

Endelig peges på, at systemer til at måle og styre konsistens fra fabrik til byggeplads vil være med til at reducere spild pga. kassation.

"I fremtiden vil vores chauffører kigge på dronofilm. I dag er der meget spildtid med at finde ind på byggepladsen. Det skal forfines, så det bliver et koordinatpunkt", Niels Søndergaard, DK Beton A/S.

3.3.2. Entreprenørens valg af beton

Blandt producenter og entreprenører er der en opfattelse af, at mange entreprenører er meget pressede på tid og ofte vælger den samme beton af høj kvalitet til det hele, da det er den nemmeste og hurtigste løsning. Der er ofte ikke det store økonomiske incitament til at differentiere betonvalg. Derudover vil højere grad af differentiering stille højere krav til kvalitetsstyringen.

"Det bliver ofte valgt den stærkeste beton over det hele i konstruktionen til trods for at differentiering er muligt. Her vil der kunne spares cement og således CO₂ på den lange bane", Niels Søndergaard, DK Beton A/S.

3.3.3. Adfærd blandt producenter og entreprenører

Transport af beton medfører direkte miljøpåvirkninger samt andre miljøgener - støj og støv. Der peges på, at det kan reduceres ved forbedret logistikplanlægning og chaufføruddannelse. Der er meget inspiration at hente fra den øvrige transportbranche. Der peges på fordelene ved, at chauffører gennemfører kørekurser med fokus på sikkerhed, effektivitet og brændstofbesparelser.

Hos entreprenører peges på, at der er mulighed for at reducere ressourcspild og øge effektiviteten gennem indsamling og analyse af data og erfaringer fra store og små støbninger. Data og statistik over betonforbrug, recepter, ekstrabestillinger, tidspunkter for bestilling (i sidste øjeblik eller i god tid) er af stor værdi i forhold til at træne medarbejderne i produktionen. Det medvirker til at reducere spild og styre støbetakter mere præcist.

Til trods for digitale 3D værktøjer er der stadig et potentiale for at reducere mængden af returbeton på byggepladsen pga. manglende viden om de præcise dimensioner. Derfor bestilles ofte for meget beton for at være på sikre side, ofte i størrelsesordenen 5-10 % ekstra.

"Vi har gennem de sidste 3 år udviklet værktøjer til at samle og dele erfaringer fra byggepladsen. Det begynder at vise sin værdi nu", Tim Nederveen, NCC Danmark A/S.

"Der er ikke nok styr på mængdeberegninger til trods for 3D projektering, og det medfører ressourcspild", Niels Søndergaard, DK Beton A/S.

3.3.4. Planlægning og samarbejde

Tid og pris fylder i dag ofte meget i projekterne og bæredygtig optimering vanskeliggøres pga. tidspres og til tider utilstrækkeligt samarbejde. Tidspres kan føre til overdimensionering, uhensigtsmæssig planlægning og udførelsesfejl. Det gælder fx planlægning af betonarbejder, hvor der kan være mulighed for optimering ved i højere grad at planlægge in-situ arbejdet til sommerhalvåret og elementarbejdet til vinterhalvåret.

Derudover kommer de gode bæredygtige løsninger oftest først på bordet, når bygherre, rådgiver, arkitekt, og entreprenør samles tidligt i forløbet, hvilket sker for sjældent. Bygherre skal være med til at sætte fokus på miljø som projekteringsparameter og sætte rammerne for samarbejdet bl.a. de fysiske rammer, organiseringen, beslutningsprocesser etc. Det samme mind-set og de rette kompetencer til rette tid er afgørende for et succesfuldt projekt.

"Totaløkonomien er op til 20 % billigere ved at initiere det gode projektsamarbejde tidligt, så design, arkitektur og bygbarhed koordineres fra projektets begyndelse", Faruk Kurtis, Hoffmann A/S.

3.3.5. Receptoptimering

Optimering af betonrecepter foregår løbende ud fra pris, ydeevne (styrke) og af produktionshensyn (afformning, opspænding, løft, transport, udførelse etc.) indenfor betonstandardens regler. Det vurderes, at der er muligheder for, at miljøhensyn i højere grad indgår i receptoptimeringen af både elementbeton og færdigblandet beton. Af muligheder peges bl.a. på, at udnytte grænserne for tilsætning af SCM materialer. Grønnere betoner kan dog have konsekvenser for betonens egenskaber, herunder bl.a. betonens bearbejdelighed og dens tidlige styrke.

En kort produktionscyklus er den helt afgørende parameter i en elementproduktion. Cementindholdet tilpasses derfor efter krav til de tidlige styrker og der peges på et potentiale for optimering af cementindholdet, hvis produktionscyklussen kan forlænges. Det kræver dog, at der er kunder til det. Elementproducenter har den fordel, at de kan optimere på såvel produktionen som på slutdesignet, hvilket betyder at de kan udnytte den overstyrke der kan opstå, når høj tidlig styrke er et behov. Alternativt kan der tænkes i andre delmaterialer, der kan sikre en hurtig styrkeudvikling, og udvikling af standardelementer, der kan produceres til lager.

Blandt betonproducenter er der en stigende tendens til, at entreprenører efterspørger betoner med stadig højere bearbejdelighed (sætmål). Det betyder som oftest, at cementindholdet stiger, da de fleste betonfabrikker styrer bearbejdeligheden ved at øge pastaindholdet. Det kan muligvis imødekommes ved optimeret udnyttelse af tilsætningsstoffer.

Der peges også på, at der ofte styres efter et lavere vand-cement-tal end kravene foreskriver for at være på den sikre side i forhold til doseringspræcision. Hvis der blev udviklet mere præcise produktionssystemer med real-time analyser af fugt i tilslaget ville det være muligt at gå tættere til grænsen og dermed reducere cementforbruget.

Endelig peges på udvikling af designværktøjer og datasystemer, så databehandling og receptoptimering ikke er afhængig af nogle få nøglepersoner. Det vil give flere muligheder for optimering og løbende tilpasning på den enkelte fabrik.

"Kan vi få bedre datasystemer til at understøtte vores nøglepersoner, er vi bedre stillet i forhold til at optimere vores recepter på fabrikkerne og tage højde for bl.a. til lokale delmaterialer", Niels Søndergaard, DK Beton A/S.

3.3.6. Digital fabrikation og automatisering af elementproduktion

Der er en generel opfattelse af, at digital fabrikation og automatisering af elementbyggeriet ud fra 3D modeller kan være med til at øge bæredygtigheden. Flere projekter har allerede vist mulighederne for at udnytte digital fabrikation og nye forskallingsmaterialer til at opnå større frihed til produktion af betonelementer med nye former og udtryk.

Der vil også være fordele ved at anvende robotter i armeringsproduktionen til at tilpasse dimensioner på armeringsnet, så de tilpasses det aktuelle behov. Dermed undgår man, at klippe og skære på stedet, hvilket vil reducere mængden af armeringsfraklip. Robotter kan også give mulighed for skabe mere unik og "organisk" armeringsføring, der i højere grad er tilpasset snitkræfternes forløb. Det kræver dog store investeringer og et grundigt forarbejde at finde frem til, hvordan digital fabrikation og automatisering kan implementeres. Det vil blandt kræve et færdigt (fejlfrit) 3D projekt på et tidligt tidspunkt i projekteringsprocessen.

Der peges også på, at elementproducenter ofte kun har 3D modeller til få dages produktion. Hvis der var tegningsmateriale til flere ugers produktion, så vil de kunne optimere væsentligt mere. Det vil bl.a. hjælpe til at reducere spildmængderne i produktionen.

"En fuldautomatisk betonelementfabrik vil kræve et 3D projekt uden fejl. Vi finder ofte fejl og mangler i de modeller vi modtager, som skal rettes i sidste øjeblik", Gunnar Hansen, CRH Concrete A/S.