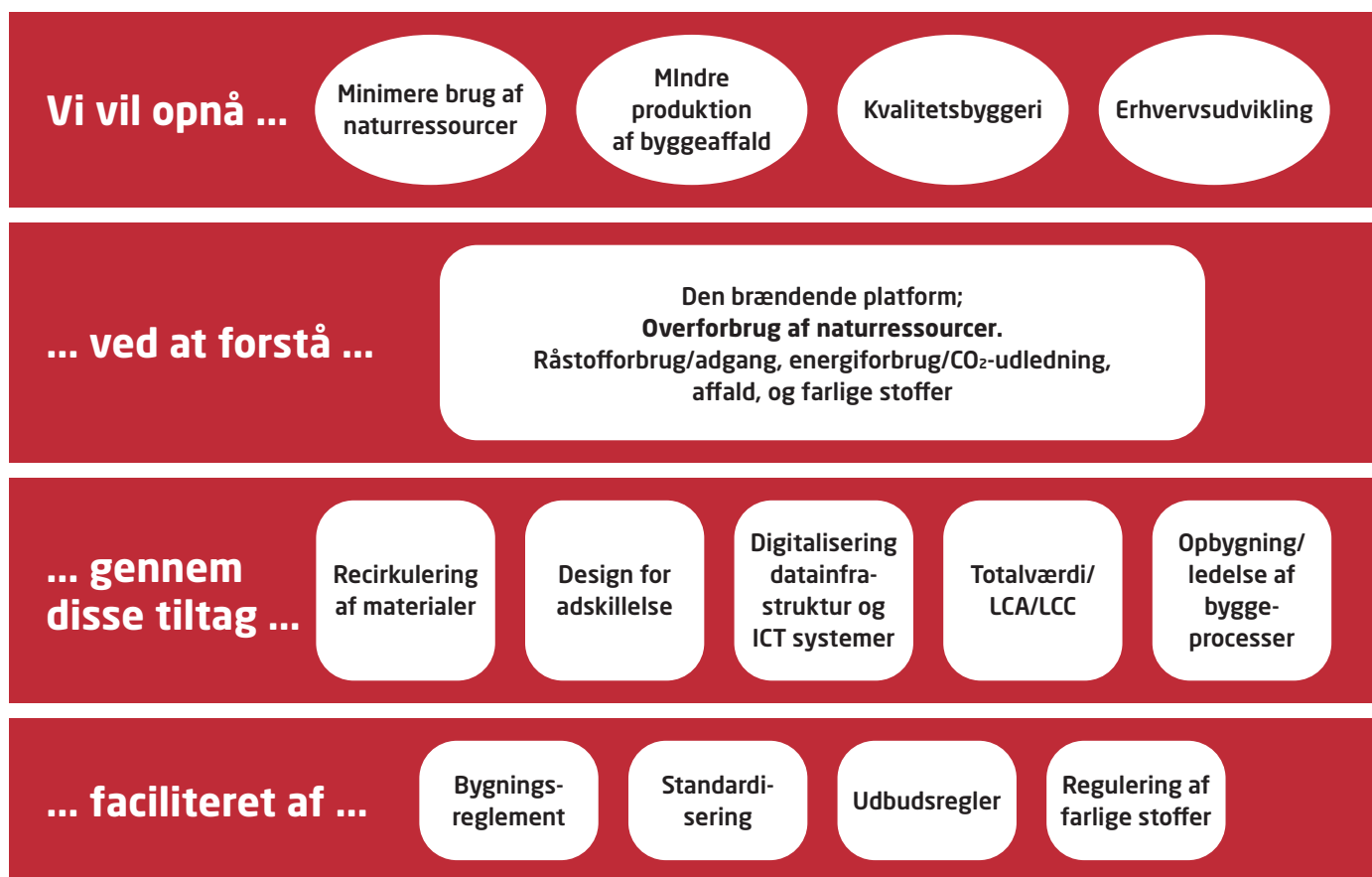


## DTU Sektorudviklingsrapport

# Lad os skalere cirkulært byggeri



DTU Grundmodellen for forskning og innovation i cirkulært byggeri.

Pilotprojekter har høstet værdifulde erfaringer inden for cirkulært byggeri. Men nu skal vi gå skridtet videre og skalere cirkulært byggeri. Vi skal begynde med at få dokumentationen helt på plads og så følge en række aktiviteter i et roadmap. Dermed vil vi kunne realisere den næste store fortælling om cirkulært byggeri.

INTERVIEWEDE VIRKSOMHEDER, OFFENTLIGE INSTITUTIONER OG MYNDIGHEDER OG BRANCHEFORENINGER

Bygherrevirksomheder:

**Pension  
Danmark**



Arkitektvirksomheder:

**AART / archi  
tects**

**Gxh  
INNOVATION**



**LENDAGER GROUP**

Byggematerialeproducentvirksomheder:



**DK Beton**  
HEIDELBERGCEMENT Group

**SAINT-GOBAIN**

**Troldtekt®** The logo for Troldtekt, featuring the word "Troldtekt" in white on a black background, followed by a registered trademark symbol and a stylized orange and white icon.

**SKAGEN BETON** The logo for Skagen Beton, featuring the words "SKAGEN BETON" in red, followed by a red and white icon.

Rådgivende ingeniørvirksomheder

**DOMINIA**



**MOLIO**  
BYGGERIETS VIDENSCENTER

**RAMBOLL**

**NIRAS**

**HOE**  
ARTELIA GROUP

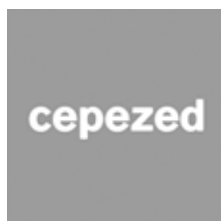
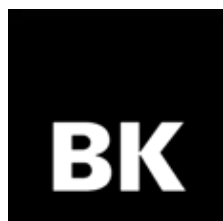
Entreprenørvirksomheder:



Offentlige institutioner:



Internationale virksomheder, netværk og offentlige institutioner:



Disclaimer: Personer i virksomheder, på universiteter og offentlige institutioner og myndigheder opstillet ovenfor er interviewet, men kan ikke nødvendigvis tages til indtægt for indholdet af rapporten. Henvendelser vedr. rapporten kan rettes til chefkonsulent Mads H. Odgaard, maod@dtu.dk.



# FORORD

Byggeriets økonomiske betydning kan illustreres med, at de samlede investeringer i byggeri for EU-28-landene er dobbelt så store som investeringerne i industrien. Uanset aktiemarkedets op- og nedture og konjunktursvingningerne i øvrigt fungerer bygningsmassen som et anker for den økonomiske værdiskabelse i samfundet. Og samtidig er det karakteristisk for byggeriet, at det har stor betydning for beskæftigelsen, både i store byområder og lokalt. Byggeriet er dermed kendetegnet ved at have en afgørende indvirkning på samfundsøkonomien.

Men byggeriet er udfordret af hele tre vigtige brændende platforme som knytter sit til: Stort resourcetræk, stor produktion af byggeaffald og høje CO<sub>2</sub>-udledninger. Der er et stort behov for en gradvis transformation af det nuværende byggeri, som vi kender det, til cirkulært byggeri. Cirkulært byggeri er en strategi for byggesektoren, hvor vækst afkobles fra brugen af naturressourcer, samtidig med at samfundets samlede klima- og miljøbelastning mindskes.

Pilotprojekter har høstet værdifulde erfaringer i løbet af de første tegninger til en fortælling om cirkulært byggeri. Men nu skal vi gå skridtet videre og skalere cirkulært byggeri - inden for nybyggeri men især med en indsats målrettet den eksisterende bygningsmasse.

Vi skal begynde med at få dokumentationen helt på plads og så følge en række aktiviteter i et roadmap, hvori der både indgår forskning og innovation samt uddannelse af studerende og efteruddannelse bredt ind i byggesektoren. Dette er alt sammen betinget af et samarbejde på tværs af alle byggeriets parter og forsknings- og uddannelsesinstitutioner.

Dermed vil vi kunne realisere den store fortælling om cirkulært byggeri.

*God læselyst!*

Adm. dir. Lene Espersen, Danske Arkitektvirksomheder

Adm. dir. Henrik Garver, FRI

Direktør Ejnar Boysen Schultz, SEGES/Landbrug & Fødevarer

Koncerndirektør Marianne Thellersen, DTU

## Sådan har vi gjort

Hovedformålet med sektorudviklingsprojektet er at identificere virksomheders teknologiske udfordringer ifm. transformationen mod en cirkulær økonomi inden for byggeriet. Desuden at vurdere, hvilken DTU-forskning der er behov for givet de teknologiske udfordringer. I projektet er der udviklet nye realiserbare visioner for forskning og innovation i cirkulært byggeri. For forskning rækker visionerne frem til 2030 og for innovation frem til 2024.

Arbejdet har givet indblik i en lang række udfordringer og muligheder forbundet med transformationen til cirkulært byggeri. Sammen med virksomheder, offentlige institutioner og myndigheder og brancheforeninger i ind- og udland har vi kortlagt, hvilken forskning og hvilke rammebetingelser som kan bidrage til at skabe løsninger, der kan bidrage til at nå 2030-målene for reduktion af CO<sub>2</sub>-udledning, reducere mængden af produceret affald og fremme en varig adgang til råstoffer.

Kortlægningen er foregået ved hjælp af interviews med nøglepersoner fra en række af virksomheder, offentlige institutioner og myndigheder samt brancheforeninger. Resultaterne af kortlægningen er "trykprøvet" på en workshop med deltagelse af interviewpersonerne og på to styregruppemøder med deltagelse af repræsentanter for brancheforeninger og DTU-institutedirektørerne. Sideløbende med interviews, workshop og styregruppemøder er de fremkomne indsigter blevet drøftet på månedlige arbejdsgruppemøder for de deltagende DTU-forskere.

Projektet er gennemført med deltagelse af forskere fra DTU Aqua, DTU Byg, DTU Compute, DTU Engineering Technology, DTU Kemiteknik, DTU Management, DTU Mekanik, DTU Miljø, en bæredygtighedskordinator fra DTU CAS. Ekspertter fra Danske Arkitektvirksomheder, FRI og SEGES/Landbrug & Fødevarer har bidraget med viden og input til arbejdet. DTU Byg og Afdeling for Forskning, Rådgivning og Innovation på DTU har været tovholdere. DTU er afsender af rapporten.

Anbefalingerne i rapporten reflekterer dialogen med aktører fra sektoren og på tværs af de involverede DTU-institutter.

## Et sektorudviklingsprojekt som værktøj

Sektorudviklingsprojekter er et af de værktøjer, som DTU bruger til at samarbejde med erhvervsliv og myndigheder. Målet med projekterne er at styrke teknologiintensive branchers konkurrenceevne ved at skabe overblik og handlingsplaner for udvikling og anvendelse af nye teknologier.

Metoden går ud på at:

- Kortlægge og analysere teknologianvendelsen i branchen, baseret på interviews og workshops
- Identificere flaskehalse og udviklingsbehov både hos virksomheder, myndigheder og DTU
- Udvikle anbefalinger til forskning og rammebetingelser

Sektorudviklingsprojekterne bliver skabt i et forum bestående af repræsentanter for virksomheder, myndigheder, brancheforeninger i ind- og udland og af forskere fra DTU.

# Indhold

Indledning	.....	Side 8
Resumé	.....	Side 9
Kapitel 1	Lad os skalere cirkulært byggeri .....	Side 15
Kapitel 2	Fra industrialisering af byggeriet til skalering af cirkulært byggeri.....	Side 21
Kapitel 3	Grundmodel for cirkulært byggeri & erhvervsudvikling, gode fysiske rammer og afkobling fra naturressourcer .....	Side 27
Kapitel 4	Bygningsdesign/design for disassembly.....	Side 31
Kapitel 5	Byggematerialer og råstoffer .....	Side 34
Kapitel 6	Opbygning og ledelse af byggeprocesser .....	Side 36
Kapitel 7	Digitalisering, datainfrastruktur og ICT-systemer.....	Side 41
Kapitel 8	Totalværdianalyser og LCA/LCC .....	Side 43
Kapitel 9	CO <sub>2</sub> -indhold af byggematerialer og -processer.....	Side 45
Kapitel 10	Innovation i cirkulært byggeri.....	Side 48
Kapitel 11	Cases fra sektoren og illustrative citater fra interviews .....	Side 52
Kapitel 12	Anbefalinger .....	Side 64
Appendiks 1	.....	Side 69
Appendiks 2	.....	Side 71
Appendiks 3	.....	Side 72

# Indledning

I Kapitel 1 beskrives de tre brændende platforme for byggeriet: Varig adgang til råvarer og krav til reduktion i mængden af byggeaffald og krav til reduktion i CO<sub>2</sub>-udledninger. Desuden introduceres, byggeriets store samfundsøkonomiske betydning samt projektets overordnede anbefaling om iværksættelse af store strategiske satsninger på skalering af cirkulært byggeri. Skaleringen bør ske inden for nybyggeri, men især med en indsats målrettet den eksisterende bygningsmasse.

Kapitel 2 redegør først for, hvordan den historiske udvikling siden 1960'erne har ledt til dagsordenen om cirkulært byggeri. Dernæst opstilles en definition af cirkulært byggeri, og der formuleres et bud på, hvordan forhold på efterspørgsels- og leverandørsiden påvirker muligheden for at drive dagsordenen om cirkulært byggeri frem. På efterspørgselsiden finder man en række begrænsninger for udviklingen af dagsordenen. Det gælder blandt andet planloven, tolkning af udbudsregler og af bekendtgørelsen om farlige stoffer samt manglen på standarder og certificeringer. På leverandørsiden er der gjort fine forsøg fra mindre arkitektvirksomheder på at drive dagsordenen frem, men primært inden for nybyggeri. Andre og større aktører skal for alvor i gang. Her er det relevant at se på det rum, der er for at projektere cirkulære byggeprojekter. Desuden på, om der kan være særlige muligheder i den relativt centraliserede organisering af elementproduktionen, der er i Danmark.

I sektorudviklingsprojektet er der udviklet en grundmodel, der tager højde for flere niveauer i udviklingen af cirkulært byggeri. Grundmodellen udfoldes i kapitel 3-8. Det første niveau i modellen udgøres af de målsætninger, som cirkulært byggeri skal indfri. Der vil

være tale om målsætninger om erhvervsudvikling, gode fysiske rammer og afkobling fra naturressourcer. Det næste niveau beskriver de områder, hvor der skal gennemføres en indsats for at opfylde målsætningerne. Nøgleordene er reduktion af CO<sub>2</sub>-udledninger, begrænsning af affald og varig adgang til råstoffer. Det tredje niveau udgøres af understøttende metoder, processer og teknologier. Det gælder recirkulering af materialer, design for adskillelse, digitalisering, totalværdi/LCA/LCC og opbygning/ledelse af byggeprocesser. Endelig omhandler et fjerde niveau, hvilke ændringer i rammebetingelser som er nødvendige.

I Kapitel 9 redegøres for udfordringen om reduktion i CO<sub>2</sub>-udledninger og for, hvilke forskningsaktiviteter der kan understøtte udviklingen af teknologier, der kan reducere udledningen.

I Kapitel 10 gennemgås en række forslag til innovation i cirkulært byggeri. Kapitlet indledes med en definition af, hvad innovation i cirkulært byggeri er. Herefter opstilles visioner for innovation, og det beskrives, hvilke effekter heraf man kan forestille sig. Endelig afsluttes med forslag til ændringer i rammebetingelser samt en buket af indsatsområder for innovation i cirkulært byggeri.

I Kapitel 11 er opstillet en række cases på cirkulært byggeri samt gengivet et antal særligt illustrative og indsigtsgivende citater ved repræsentanter i byggeriet, som er interviewet i forbindelse med sektorudviklingsprojektet.

I det afsluttende Kapitel 12 redegøres for anbefalinger til forskning og innovation, rammebetingelser, uddannelse og test- og demonstrationsprojekter.



## Resumé

# Lad os skalere cirkulært byggeri

Pilotprojekter har høstet værdifulde erfaringer om cirkulært byggeri. Men nu skal vi gå skridtet videre og skalere cirkulært byggeri. Vi skal begynde med at få dokumentationen helt på plads og derefter følger en række aktiviteter i et roadmap. Dermed vil vi kunne realisere den store fortælling om cirkulært byggeri.

Stadig flere arkitekter, ingeniører og bygherrer eksperimenterer med cirkulært byggeri. De forsøger at tænke ind fra første dag, at affald ikke skal ende i deponi eller som fyldstof under motorvejen, men anvendes i byggeriet. Men indtil videre bliver det mest ved pilotprojekterne.

Man kan ellers roligt sige, at der er en brændende platform for byggeri i sin nuværende form. Stigende urbanisering og den voksende middelklasse betyder, at verden får behov for at bygge mere, end der har været bygget i de sidste 4.000 år.

Det skaber pres på ressourcerne. Byggeri anvender 50 % af de materialer, vi udvinder.<sup>1</sup> Flere steder i byggebranchen forventer virksomhederne stigende problemer med at få tilstrækkelige forsyninger med visse materialer.

Desuden skaber byggeri og produktion af byggematerialer store mængder affald. En særdeles høj andel af nedrevne byggematerialer genbruges ikke, men nedgraderes: Biobaserede materialer bliver omsat til energi ved forbrænding, metal smeltes om og bruges i nye varer, og de tunge materialer som beton og tegl nedkuses og anvendes som fx bærelag under veje. I EU udgør byggeaffald 35 % af den samlede affaldsmængde.

Byggeri og produktion af byggematerialer står for betydelige udledninger af drivhusgasser. Det anslås, at disse udledninger udgør 5-12 % af verdens samlede CO<sub>2</sub>-udledning.<sup>2</sup> Beregninger viser, at op til 80 % af byggeriets udledninger kan spares gennem mere effektiv brug af materialer.<sup>3</sup>

I mange industrialiserede lande, inklusive Danmark, udnyttes bygningsmassen dårligt. 50 % af beboerne vurderer, at de bor for stort. Hertil kommer, at mange bygninger står ubrugte hen eller kun anvendes i korte tidsrum i løbet af dagen. Dermed er nytteværdien af de meget store investeringer i bygninger relativt lille.

<sup>1</sup> Den Europæiske Union (2020): En ny handlingsplan for den cirkulære økonomi. For et renere og mere konkurrencedygtigt Europa. EU Green Deal.

<sup>2</sup> UN Environment, Global status report 2017: towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector (2017) p. 14.

<sup>3</sup> Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N., IRP, (2020), »Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future«.

I denne sektorudviklingsrapport arbejder vi ud fra følgende definition af cirkulært byggeri:

**Cirkulært byggeri** er en strategi for byggesektoren, hvor vækst afkobles fra brugen af naturressourcer, samtidig med at samfundets samlede klima- og miljøbelastning mindskes.

Rammen for omstillingen til cirkulær økonomi er tre strategier: (a) Skabe cirkulære ressourcestrømme gennem genanvendelse, (b) Forlænge materialernes brugs- og genbrugsfaser gennem reparation, renovering og genfremstilling og (c) Reducere brugen af naturlige ressourcer og maksimere effektiviteten i produktionsprocesser.

Branchens afgørende betydning for miljø, økonomi og sociale aspekter i samfundet gør omstillingen til cirkulær økonomi uhyre kompleks. Cirkulært byggeri betyder disruption af branchen. Alle aktører i værdikæden skal involveres. Der skal gentænkes, nytænkes, forskes og innoveres for, at omstillingen for alvor kan slå igennem.

Det grundlæggende er, at økonomisk vækst skal muliggøres samtidig med, at færre primære ressourcer forbruges. Derfor er det nødvendigt, at materialer og komponenter opretholder den højeste værdi så længe som muligt. Ved direkte genbrug af bygningsdele bevares den iboende økonomiske værdi, som bearbejdningen af råmaterialerne bevirker under den første produktionsproces, og den miljøpåvirkning, som produktionen forårsagede strækkes. Afkoblingen af økonomisk vækst og forbrug af råstoffer vil nødvendiggøre, at produktion og værdikæder bliver cirkulære. Dette kræver et nyt forbrugsmønster, hvor udnyttelse af bygningsmassen er optimeret.

**Tabel 1. Definition af cirkulært byggeri og rammerne herfor**

I en cirkulær økonomi ønskes det at anvende materialerne i den højeste værdi så længe som muligt. Ved nedrivning af bygninger er genanvendelse af materialerne således ønsket. I dag udnytter vi i høj grad byggeaffaldet. Eksempler på dette er: Træ brændes og energien udnyttes, beton nedknauses og anvendes under veje, og metaller smeltes om til nye produkter.

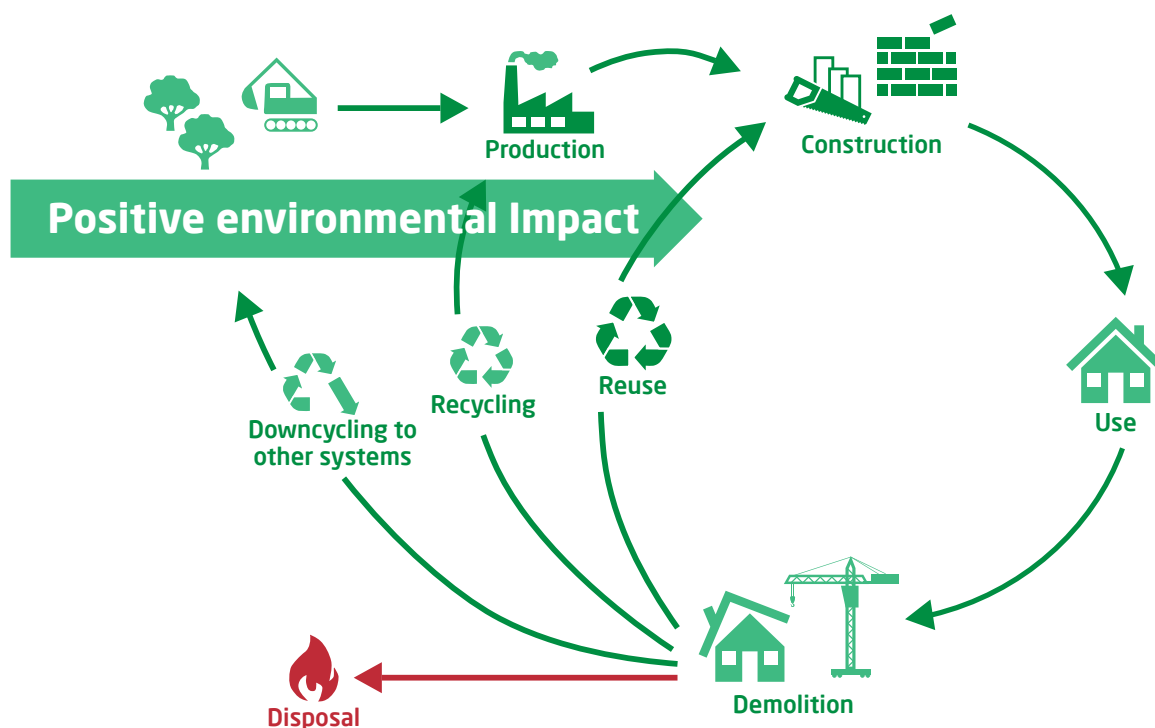
I forhold til dette vil direkte genbrug betyde et mindre træk på naturressourcer til produktion af nye materialer (forbrænding og downcycling), medens genbrug i forhold til recirkulering vil betyde mindre emissioner fra produktionen. Disse sammenhænge er grafisk fremstillet i Figur 1.

## Skalering af det cirkulære byggeri

Byggeriet er udfordret af forventet knaphed på naturlige råmaterialer, stor produktion af affald og betydelig klimapåvirkning. Derfor skal vi tage skridtet fra spændende visioner og eksperimenter til bred anvendelse af cirkulært byggeri.

Projektet har afdækket, at vejen frem nødvendigvis må være at skalere det cirkulære byggeri. Vi skal tage indsigterne fra de bedste pilotprojekter og sætte dem på en form, så de kan skaleres op.

Mængden af materialer i det eksisterende byggeri overstiger de samlede reserver af tilgængelige byggeråmaterialer på kloden. Vi skal derfor holde inde med kun at bygge med nyudvundne materialer. Ikke desto mindre er en anden væsentlig indsigt fra projektet, at der er tendens til at overse den eksisterende bygningsmasse i forbindelse med cirkulært byggeri. Stort set alle pilotprojekter handler om nybyggeri. Men i betragtning af de store mængder af værdifulde materialer, som vores nuværende bygninger rummer, skal den eksisterende bygningsmasse være hoveddomdrejningspunkt for indsatsen fremover.



Figur 1. Grafisk illustration af anvendelse af materialer i den højeste værdi så længe som muligt.

## Diagnose på sektoren

Medlemmer af arbejdsgruppen for sektorudviklingsprojektet har i løbet af perioden oktober 2019 - februar 2020 interviewet 30 aktører i sektoren i ind- og udland om en række af temaer med relevans for cirkulært byggeri.

En melding fra sektoren er, at der mangler en klar og vedvarende efterspørgsel, der kan drive markedet for cirkulært byggeri. Det gælder både for byggematerialer og byggeprocesser. Dette skyldes især to forhold. For det første er markedet nyt. For det andet eksisterer der en kombination af begrænsende mekanismer, herunder planlov, udbudsregler, bekendtgørelse om farlige stoffer samt standardisering og certificering.

En anden melding fra sektoren er, at der også er anseelige udfordringer på leverandørsiden.

Udviklingen af et marked for en ny teknologi mv. er typisk afhængig af både en efterspørgsel, der kan drive udviklingen, og af en leverandørside, der konstant afprøver nye produkter og processer og gradvist driver risikoen ned, så flere på både efter-

spørgsels- og leverandørsiden tager del i udviklingen af markedet.

Denne rolle på leverandørsiden er i Danmark aktuelt taget af nogle mindre arkitektvirksomheder. Blandt de større arkitektvirksomheder, bygherrer, entreprenører, byggermaterialeproducenter og rådgivende ingeniørvirksomheder i sektoren kvitteres der meget positivt for dette forsøg.

De mellemstore og store arkitektvirksomheder er imidlertid optaget af andre vigtige dagsordener end cirkulært byggeri. Så der synes at mangle de klassiske udviklere af markedet på leverandørsiden, der for alvor kan sætte skub i udviklingen. Dette er et strukturelt problem for udviklingen af cirkulært byggeri.

På denne baggrund er det et vigtigt spørgsmål, om andre aktører kan komme til at spille rollen som drivere af markedet - og ikke mindst hvad der skal til, for at de kan påtage sig den rolle.

## Grundmodel med fire niveauer

I projektet er der udviklet en grundmodel (se Figur 2), der tager højde for flere niveauer i omstillingen til cirkulært byggeri.

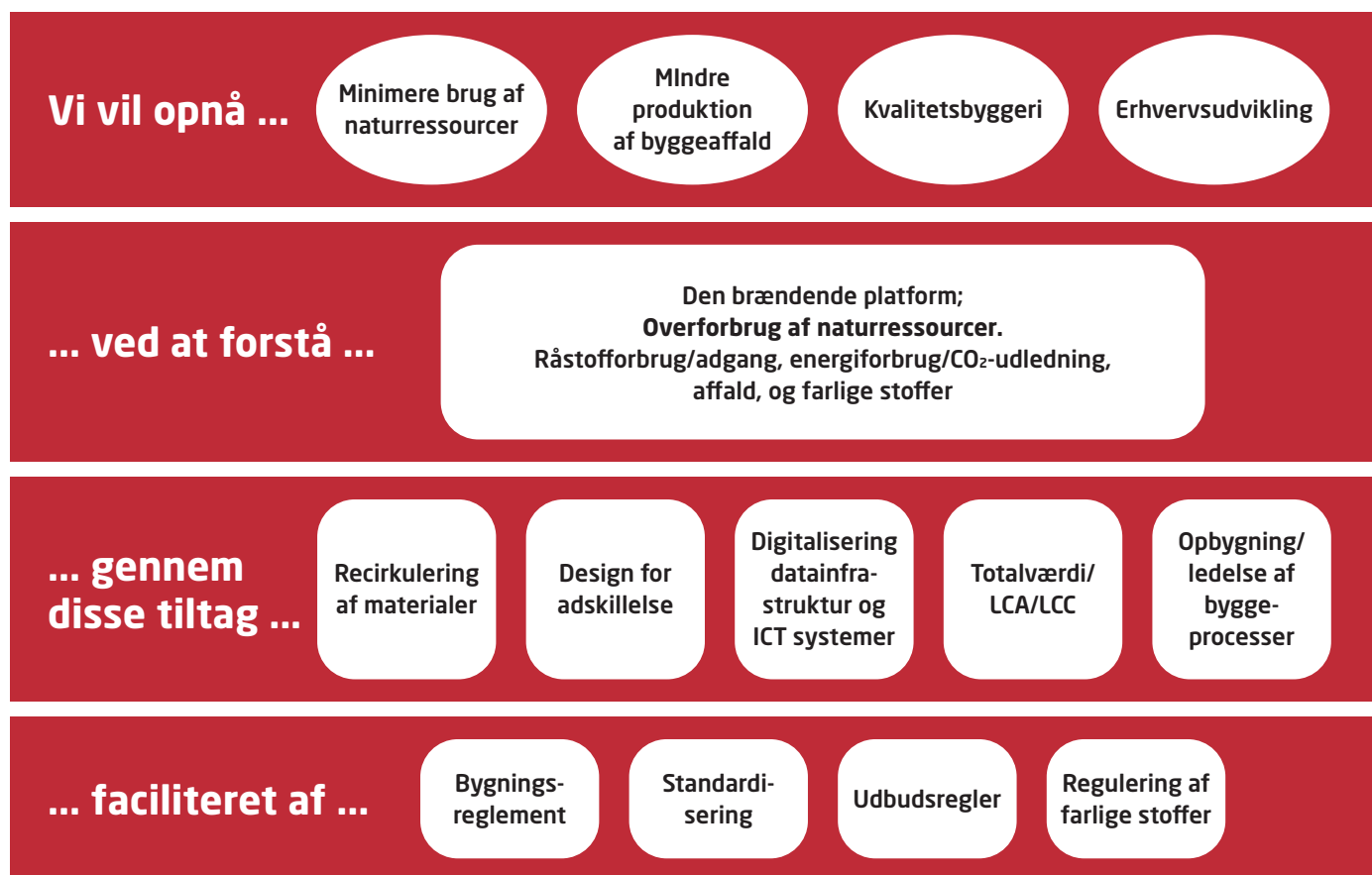
Det første niveau i modellen udgøres af de målsætninger, som cirkulært byggeri skal indfri. Der vil være tale om målsætninger om erhvervsudvikling, gode fysiske rammer og afkobling fra naturressourcer.

Det næste niveau beskriver de områder, der skal gennemføres en indsats indenfor for at opfylde målsætningerne. Nøgleordene er reduktion af CO<sub>2</sub>-udledninger, begrænsning af affald og varig adgang til råstoffer.

Det tredje niveau udgøres af understøttende metoder, processer og teknologier. Det gælder Recirkulering af materialer, Design for adskillelse, Digitalisering, Totalværdi/LCA/LCC og Opbygning/ledelse af byggeprocesser.

Endelig er det nødvendigt at have et fjerde niveau, som beskriver, hvilke ændringer i rammebetingelserne som er nødvendige for alvor at fremme cirkulært byggeri.

Grundmodellen er grafisk fremstillet i Figur 2 og udfoldes i kapitel 3-8.



Figur 2. DTU-grundmodellen for forskning i cirkulært byggeri.

## Anbefalinger til forskning og udvikling

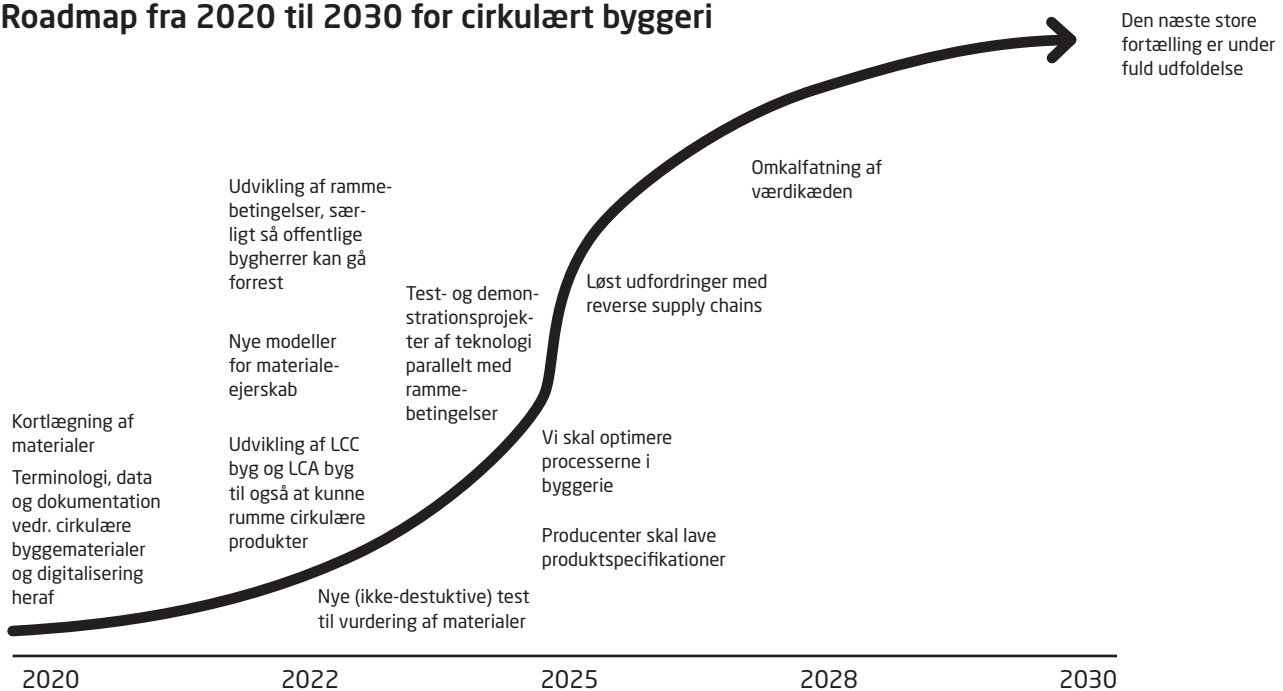
Den helt overordnede anbefaling er, at byggesektorens aktører går sammen om fælles og meget store strategiske satsninger på skalering af cirkulært byggeri.

De strategiske satsninger skal stå på fem grundpiller:

- (a) De skal have renovering af eksisterende byggeri som hovedomdrejningspunkt men også omfatte nybyggeri

- (b) Centralt for dem skal stå en ambition om, at alle byggematerialer genanvendes på højeste niveau, dvs. genbrug af de materialer, der teknisk kan genbruges
- (c) De skal have store og synlige effekter inden for alle tre brændende platforme (varig adgang til ressourcer, krav til reduktion i mængden af byggeaffald og krav til reduktion i CO<sub>2</sub>-udledninger)
- (d) De kan tænkes gennemført i større testprojekter, som giver mulighed for test af nye rammebetingelser inden for lovgivning og sektorens praktiske erfaringsgrundlag ("det tekniske fællesseje"), og som kan danne teknisk baggrund for en egentlig skalering, og
- (e) Udvikling af Danmark som Living Lab for Verden, hvor ambitionen skal være ved hjælp af både forskning og innovation at medvirke til at løse internationale udfordringer
- Inspireret af byggeriet i Holland kan aktørerne i Danmark gå sammen om at udvikle et roadmap for udviklingen over de næste 5-10 år, som beskriver skridt for skridt, hvilke kombinationer af udfordringer, teknologier og rammebetingelser der skal arbejdes med.
- DTU ønsker at optage dialog med de øvrige aktører i sektoren om et roadmap. DTU foreslår, at dialogen kan tage udgangspunkt i følgende første skitse til et roadmap (se Figur 3):
- 2021: Terminologi, data og dokumentation vedr. cirkulære byggematerialer og digitalisering heraf
  - 2022: Udvikling af LCC byg og LCA byg til også at kunne rumme cirkulære produkter, kortlægning af materialer, nye modeller for materialeejerskab og udvikling af rammebetingelser, særligt så offentlige bygherrer kan gå forrest samt nye (ikke-destruktive) test til vurdering af materialer
  - 2023: Test- og demonstrationsprojekter af teknologi parallelt med rammebetingelser
  - 2025: Producenter skal lave produktspecifikationer og optimere processerne i byggeriet
  - 2027: Løse udfordringer med forsyningskæder inden for cirkulært byggeri
  - 2028: Omkalfatring af værdikæden
  - 2030: Den store fortælling om cirkulært byggeri er under fuld udfoldelse

## Roadmap fra 2020 til 2030 for cirkulært byggeri



Figur 3. Roadmap for udvikling af cirkulært byggeri i perioden 2020-2030.

Der er fokuseret på forskning og innovation, der skal udføres i dag, og som kan bidrage til løsninger i 2030. Det er i denne sammenhæng vigtigt at påpege, at selv den mere kortsigtede forskning og innovation skal rumme et 2030-perspektiv, således at de kortsigtede investeringer kommer til at flugte med behovene fra 2025 frem mod 2030.

Byggeriets parter består af relativt få meget store virksomheder og mange små og mellemstore virksomheder (SMV'er). For at der i branchen samlet kan ske en omstilling til cirkulært byggeri, er det afgørende, at de små og mellemstore virksomheder får en central rolle at spille i gennemførelsen af de strategiske satsninger/de 5 grundpiller og i de aktiviteter, der følger på hinanden i roadmap'et.

### Anbefalinger til forskning og innovation

1. *Der skal forskes i metoder til dokumentation af værdien af cirkulært byggemateriale og af byggeprocesser, både på kort og langt sigt*
2. *Der skal forskes i udvikling af teknisk viden, som mindsker risikoen ved at genbruge byggematerialer*
3. *Der skal forskes i udvikling af cirkulære processer, der kan sikre skalering fra niche til mainstream*
4. *Der skal forskes i metoder og processer til sikring af fuld cirkularitet*
5. *Der skal forskes i sammenkædning af værdikæden for cirkulært byggeri med andre tilstødende værdikæder*
6. *Der skal forskes i en definition af cirkulært byggeri og en terminologi om cirkulært byggeri*

### Anbefalinger om rammebetingelser, uddannelse og test- og demonstrationsprojekter

7. *Der skal forskes i komplekset af rammebetingelser - tolkning af udbudsregler, standardisering, bygningsreglementet, farlige stoffer, DGNB og planlov/lokalplaner - og gennemføres test af teknologier parallelt med rammebetingelser i test- og demonstrationsprojekter*
8. *Der skal sættes ind for at udvikle Danmark som Living Lab for Verden, hvor ambitionen skal være ved hjælp af både forskning og innovation at medvirke til at løfte internationale udfordringer*
9. *Der skal udvikles tværfaglige uddannelsstilbud til studerende og tilbud om efteruddannelse*

# Kapitel 1

## Global tendens:

# Lad os skalere cirkulært byggeri

Stadig flere arkitekter, ingeniører og bygherrer eksperimenterer med cirkulært byggeri. De forsøger at tænke ind fra første dag, at byggeaffald ikke skal ende i deponi eller som fyldstof under motorvejen, men anvendes i byggeriet igen. Men indtil videre bliver det mest ved pilotprojekterne.

Man kan ellers roligt sige, at der er en såkaldt brændende platform for cirkulært byggeri. Stigende urbanisering og den voksende middelklasse betyder, at verden får behov for at bygge mere infrastruktur, end der har været bygget i de sidste 4.000 år.<sup>4</sup>

Det skaber pres på ressourcerne. Byggeri tegner sig for 50 % af de materialer, vi udvinder.<sup>5</sup> Flere steder i byggebranchen forventer virksomhederne stigende problemer med at få tilstrækkelige forsyninger med visse materialer.

Desuden skaber byggeri og produktion af byggematerialer store mængder affald. En særdeles høj andel af nedrevne byggematerialer genanvendes ikke, men nedgraderes: Biobaserede materialer bliver omsat til energi ved forbrænding, metal smeltes om og bruges i nye varer, og de tunge materialer som beton og

tegl nedknydes og anvendes som fx bærelag under veje. I EU udgør byggeaffald 35 % af den samlede affaldsmængde.<sup>6</sup>

Byggeri og produktion af byggematerialer står for betydelige udledninger af drivhusgasser. Det anslås, at disse udledninger udgør 5-12 % af verdens samlede CO<sub>2</sub>-udledning.<sup>7</sup> Beregninger viser, at op til 80 % af byggeriets udledninger kan spares gennem mere effektiv brug af materialer.<sup>8</sup>

I mange industrialiserede lande, inklusiv i Danmark, er der en dårlig udnyttelse af bygningsmassen. Mange bygninger står ubrugte hen eller anvendes kun i korte tidsrum i løbet af dagen.<sup>9</sup> Dermed er nytteværdien af de meget store investeringer i bygninger relativt lille.

## Skalering af det cirkulære byggeri

I lyset af den forventede knaphed på naturlige råmaterialer til produktion af byggematerialer, den store produktion af affald og den betydelige klimapåvirkning skal vi tage skridtet fra spændende visioner og eksperimenter til bred anvendelse af cirkulært byggeri.

<sup>4</sup> MT Højgaard: <https://csr.dk/fremtidens-byggeri-skal-være-cirkulært>.

<sup>5</sup> Den Europæiske Union (2020): En ny handlingsplan for den cirkulære økonomi. For et renere og mere konkurrencedygtigt Europa. EU Green Deal.

<sup>6</sup> Nuñez-Cacho, Pedro et al. (2018). "New Measures of Circular Economy Thinking in Construction Companies". Journal of EU Research in Business. 2018: 1-16).

<sup>7</sup> UN Environment, Global status report 2017: towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector (2017) p. 14.

<sup>8</sup> Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N., IRP, (2020), »Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future«.

<sup>9</sup> Ellen MacArthur Foundation, Circular economy in India: rethinking growth for long-term prosperity (2016) p. 34; Ellen MacArthur Foundation, SUN, and McKinsey Center for Business and Environment, Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe (2015), p. 83.

Projektet har afdækket, at vejen frem nødvendigvis må være at skalere det cirkulære byggeri. Vi skal tage indsigterne fra de bedste pilotprojekter og sætte dem på en form, så de kan skaleres op.

Mængden af materialer i det eksisterende byggeri overstiger faktisk de samlede reserver af tilgængelige byggeråmaterialer på kloden. Vi skal derfor holde inde med kun at bygge med nyudvundne materialer. Ikke desto mindre er en anden væsentlig indsigt fra projektet, at der er tendens til at overse den eksisterende bygningsmasse i forbindelse med cirkulært byggeri. Stort set alle pilotprojekter handler om nybyggeri. I betragtning af de store mængder af værdifulde materialer, som vores nuværende bygninger rummer, skal i stedet den eksisterende bygningsmasse være hoveddrejningspunkt for indsatsen fremover.<sup>10</sup>

## Stor betydning for beskæftigelsen

Ud over betydelige andele af ressourcer, affald og klimapåvirkning er byggeriet kendetegnet ved at have en afgørende indvirkning på samfundsøkonomien. Uanset aktiemarkedets op- og nedture og konjunktursvingningerne i øvrigt fungerer bygningsmassen som et anker for den økonomiske værdiskabelse i samfundet.

Samtidig er det karakteristisk for byggeriet, at det har stor betydning for lokal beskæftigelse. Vel er det muligt at udbrede smarte nye løsninger på tværs af landegrænserne – og det sker da heldigvis også blandt andet via de danske rådgivende ingeniørvirksomheder og arkitekter – men det er langt overvejende indenlandsk arbejdskraft, der står for at finansiere, opføre, drive og vedligeholde bygningerne. Derfor gælder det for ethvert samfund – i høj grad også det danske – at sikring af et levedygtigt og velfungerende byggeri er afgørende.

Byggesektoren har en meget lav produktivitetsudvikling. En af årsagerne er, at byggeriet er kendetegnet ved en erhvervsstruktur med en relativt lav konsolideringsgrad. Desuden er der en lang række gældende reguleringer, som hæmmer offentlige indkøberes muligheder for at fremme det cirkulære byggeri.

Det gælder især bygningsreglementet, men også reguleringen af farlige stoffer. Endelig er manglende standarder og certificeringer med til at bremse udviklingen af cirkulært byggeri. Det samme gælder for den nuværende udbudskultur, der på grund af fortolkningen af udbudsreglerne ikke giver bygherrerne tilstrækkeligt incitament og mulighed for at udbyde innovative projekter.

## Statsligt, regionalt og kommunalt

Sammenfattende har forholdet mellem renovering af eksisterende byggeri og nybyggeri stor betydning for samfundets overordnede bæredygtighed. Det samme gælder for forholdet mellem genbrug af byggematerialer og brug af nye byggematerialer samt endelig anvendelsesgraden af bygninger.

Som tilstanden er i dag, går udviklingen i retning af cirkulært byggeri for langsomt. Tilmed er der eksempler på, at udviklingen direkte går i den forkerte retning. Det gælder især situationer, hvor bygherrer og entreprenører fravælger cirkulært byggeri på grund af hensyn til kortsigtet lønsomhed.

Derfor er der stort behov for at sætte en offentlig dagsorden om cirkulært byggeri. Det er i sagens natur en kompleks opgave, som involverer mange aspekter af bæredygtighed. Det gælder bl.a. forsyningssikkerhed for råvarer, nyttiggørelse af affald, reduktion af CO<sub>2</sub>-udledning, højnelse af produktivitet, genanvendelse, arealanvendelse, mobilitet og forsvarlig holdbarhed af byggestrukturer mv. Derfor er det nødvendigt, at dagsordenen udfoldes på alle politiske niveauer, det vil sige både statsligt, regionalt og kommunalt niveau.

## Projektets overordnede anbefaling

Overordnet anbefaler projektet, at der iværksættes store strategiske satsninger på skalering af cirkulært byggeri.

De strategiske satsninger skal stå på fem grundpiller:

- (a) De skal have renovering af eksisterende byggeri som hoveddrejningspunkt men også omfatte nybyggeri

<sup>10</sup> I 2013 udgjorde værdien af bygninger og anlæg 81,3 % af værdien af den faste realkapital i Danmark (p. 20), og forbedringsarbejder udgjorde i samme år klart størstedelen af de samlede investeringer i boliger i Danmark (p. 37). Og sidst men ikke mindst så stiger behovet for at modernisere og vedligeholde bygningsmassen i takt med, at bygningsmassen bliver stadig større (p. 40)(Kilde: Boligøkonomisk Videncenter (2013): Det byggede Danmark. Omfang, opbygning.



- (b) Centralt for dem skal stå en ambition om, at alle byggematerialer genanvendes på højeste niveau, dvs. genbrug af de materialer, der teknisk kan genbruges
- (c) De skal have store og synlige effekter inden for alle tre brændende platforme (varig adgang til ressourcer, reduktion i mængden af byggeaffald og reduktion i CO<sub>2</sub>-emissioner)
- (d) De kan tænkes gennemført i større testprojekter, som giver mulighed for test af nye rammebetingelser inden for lovgivning og det tekniske fællesseje, og som kan danne teknisk baggrund for en egentlig skalering, og
- (e) Udvikling af Danmark som Living Lab for Verden, hvor ambitionen skal være ved hjælp af både forskning og innovation at medvirke til at løse internationale udfordringer

Inspireret af byggeriet i Holland kan aktørerne i Danmark gå sammen om at udvikle et roadmap for udviklingen over de næste 5-10 år, som beskriver skridt for skridt, hvilke kombinationer af udfordringer, teknologier og rammebetingelser der skal arbejdes med.

## Den brændende platform

Byggeri har en væsentlig indvirkning på mange økonomiske sektorer, på den lokale beskæftigelse og på livskvalitet. Byggeri kræver store mængder ressourcer og tegner sig for ca. 50 % af alle de materialer, vi udvinder.<sup>11</sup> Byggeri og produktion af byggematerialer resulterer i meget store affaldsmængder, som i EU udgør ca. 35 % af samtlige affaldsmængder.<sup>12</sup>

Det anslås, at 5-12 % af de samlede nationale udledninger af drivhusgasser skyldes materialeudvinding,

fremstilling af byggevarer samt opførelse og renovation af bygninger.<sup>13</sup> I 2050 vil udledningen af CO<sub>2</sub> udgøre næsten 500 milliarder ton, såfremt udviklingslandene udvikler deres bygningsinfrastruktur til det nuværende generelle niveau. Dette modsvarer, hvad vi har af CO<sub>2</sub>-budget i alt, såfremt vi skal have 2/3 sandsynlighed for at begrænse temperaturstigningen til 1,5 grader i 2050.<sup>14</sup> Bedre materialeeffektivitet ville kunne spare 80 % af disse udledninger.<sup>15</sup>

Der er tegn på begyndende mangel på råvarer til produktion af byggematerialer.<sup>16</sup> Og de negative effekter af byggeri og byggematerialeproduktion på vandforbrug og biodiversitet er betragtelige.

Den amerikanske økonom Simon Kuznets (1901-1985) hævdede i 1960'erne, at økonomisk vækst rummer en indbygget tendens til at gavne miljøet. Nærmere bestemt, at økonomisk vækst i udgangspunktet ville føre til øget forurening og ressourceforbrug, men efterhånden vil denne sammenhæng svækkes. Og efter et vist punkt vil der ligefrem være en negativ sammenhæng, så yderligere økonomisk vækst fører til lavere miljøpåvirkning.

Indtil videre må vi sige, at Kuznets ikke havde ret.<sup>17</sup> Vi bliver rigere, men ikke mindre ressourceforbrugende og ikke mindre forurenende i alle aspekter, og slet ikke mht. anvendelse af byggeressourcer og produktion af CO<sub>2</sub>, affald mv.

Samtidig gælder det, at den stigende urbanisering og voksende middelklasse medfører et behov for at bygge mere infrastruktur, end der har været bygget i de sidste 4000 år.<sup>18</sup> En stor mængde af de ressourcer, der er udvundet i løbet af menneskets historie, befinder sig i bygninger. Da det også forholder sig sådan, at byggesektorens ressource-reservoir overstiger jordens naturlige ressourcebeholdning, er der meget, der

<sup>11</sup> Den Europæiske Union (2020): En ny handlingsplan for den cirkulære økonomi. For et renere og mere konkurrencedygtigt Europa. EU Green Deal.

<sup>12</sup> Nuñez-Cacho, Pedro et al. (2018). "New Measures of Circular Economy Thinking in Construction Companies". Journal of EU Research in Business. 2018: 1-16.

<sup>13</sup> UN Environment, Global status report 2017: towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector (2017) p. 14.

<sup>14</sup> IPCC (2014): IPCC Fifth Assessment Report. (AR5).

<sup>15</sup> Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N., IRP, (2020), »Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future«.

<sup>16</sup> OECD (2018): Global Material Resources Outlook og IRP (2019): Global Resources Outlook 2019.

<sup>17</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Kuznets\\_curve#Environmental\\_Kuznets\\_curve](https://en.wikipedia.org/wiki/Kuznets_curve#Environmental_Kuznets_curve)

<sup>18</sup> MT Højgaard: <https://csr.dk/fremtidens-byggeri-skal-være-cirkulært>.

---

peger på, at bygninger vil komme til at skulle forsyne fremtidens ressourcebehov. Renovering af eksisterende byggeri og genbrug af byggematerialer til dette eller ifm. nybyggeri bliver derfor endnu vigtigere, end det allerede er.

En særdeles høj andel af nedrevne byggematerialer ender som udfyldningsmateriale og genanvendes ikke. Der er et højt svind i byggematerialer.<sup>19</sup>

50 % af beboere vurderer, at de bor for stort. Hertil kommer, at fordi mange bygninger står ubrugte hen eller kun anvendes i korte tidsrum i løbet af dage, så er nytteværdien af de meget store investeringer i bygninger relativt lille.<sup>20</sup>

Forholdet mellem renovering af eksisterende byggeri og nybyggeri har med andre ord stor betydning for samfundets bæredygtighed. Det samme gælder forholdet mellem genbrug af byggematerialer og brug af nye byggematerialer samt af anvendelsesgraden af bygninger.

Der er derfor behov for at sætte offentlig dagsorden om cirkulært byggeri. Da den brændende platform skærer på tværs af mange samfundsforhold- og niveauer (reduktion af CO<sub>2</sub>-udledning, råvarer, affald, produktivitet, genanvendelse og svind, arealanvendelse, mobilitet og forsvarlig holdbarhed af byggestrukturer mv.), er en forudsætning for afhjælpning af den brændende platform, at dagsordenen om cirkulært byggeri i det mindst løftes op på by- og regionalpolitisk niveau.

<sup>19</sup> Ellen MacArthur Foundation, Towards the circular economy (2013) p. 16; M. Honicet et al. (2019): Data- and stakeholder-management framework for the implementation of BIM-based material passports, Journal of Building Engineering.

<sup>20</sup> Ellen MacArthur Foundation, SUN, and McKinsey Center for Business and Environment (2015): Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe, p. 83

## Om cirkulært byggeri som koncept

Siden Peace & Turner<sup>21</sup> som de første introducerede "Circular economy" har der været mange forskellige definitioner og fortolkninger af begrebet. Fælles for dem er, at de tager udgangspunkt i ressourcer. Der er ikke en enkelt definition, som er internationalt anerkendt, men det er nuancer i ordlyden, der er den primære forskel mellem forslagene. Grundideen er at lukke materialekredsløb, således at forbruget af naturressourcer reduceres, affaldsmængderne mindskes og tilstedeværelsen af skadelig kemi undgås.

Cirkulær økonomi er som koncept blevet accepteret internationalt til bekæmpelse af overforbruget af klodens ressourcer og stigende affaldsmængder. Konceptet er taget op af en lang række forskellige regeringer, i fx europæiske lande (med EU-Kommissionen som stærk driver) og Kina. Cirkulær økonomi anses dermed som en løsning på den tilsyneladende modsætning mellem økonomisk vækst og miljømæssig bæredygtighed.

Som koncept betragtes cirkulær økonomi som en måde, hvormed industrien kan operationalisere en bæredygtig udvikling. I en cirkulær økonomi baseres forretningsmodeller på affaldshierarkiets grundprincip (forebyg, genbrug, genanvend, nyttiggør) i produktion/distribution/forbrug. Der opereres på mikro-niveau (produkt, virksomhed, forbruger), meso-niveau (industriel symbiose) og makro-niveau (by, region, nation, internationalt).

Der er udviklet en række teoretiske rammer for, hvordan en omstilling til cirkulær økonomi drives. Overordnede rammer er dog kun begrænset anvendelige i specifikke industrier, og det er nødvendigt at tilpasse og optimere rammerne fx til byggeindustrien.

### Definition af Cirkulært byggeri

Byggeindustrien er udpeget som en værdikæde af stor vigtighed i omstillingen til cirkulær økonomi i både Danmark og EU. I denne sektorudviklingsrapport arbejder vi ud fra følgende definition af cirkulært byggeri:

**Cirkulært byggeri** er en strategi for byggesektoren, hvor vækst afkobles fra brugen af naturressourcer, samtidig med at samfundets samlede klima- og miljøbelastning mindskes.

Omstillingen til cirkulær økonomi baserer sig på tre strategier: (a) Lukke materiale-loops, dvs. danne cirkulære ressourcestrømme ved at genanvende ressourcer, som nu betragtes som affald, (b) Forlænge materiale-loops ved at forlænge brugs- og genbrugsfaser gennem reparation, renovering og genfremstilling og (c) Smalle materiale-loops ved at reducere brugen af naturlige ressourcer og maksimere effektiviteten i produktionsprocesser.

Branchens afgørende betydning for miljø, økonomi og sociale aspekter i samfundet gør, at omstillingen af branchen til cirkulær økonomi er uhyre kompleks. Cirkulært byggeri betyder disruption af branchen. Alle aktører i værdikæden skal involveres. Der skal gentænkes, nytænkes, forskes og innoveres, for at omstillingen for alvor kan slå igennem.

Det grundlæggende er, at økonomisk vækst skal muliggøres samtidig med, at færre primære ressourcer forbruges, og det er derfor nødvendigt, at materialer og komponenter opretholder den højeste værdi så længe som muligt. Ved direkte genbrug af bygningsdele og komponenter bevares den økonomiske værdi og reduceres den miljøbelastning, som bearbejdningen af råmaterialerne bevirker under den første produktionsproces.

Afkoblingen af økonomisk vækst og forbrug af råstoffer vil nødvendiggøre, at produktion og værdikæder bliver cirkulære, og det kræver et nyt forbrugsmønster mod optimeret udnyttelse af bygningsmassen.

<sup>21</sup> Pearce, D.W., Turner, R.K., 1990. Economics of Natural Resources and the Environment. Harvester Wheats, Brighton.

## Afgrænsning af sektorudviklingsprojektet om cirkulært byggeri

”Virksomheder” omfatter i projektet bygherrer (offentlige og private), byggevirksomheder (store og SMV’er), rådgivende ingeniørvirksomheder, arkitektvirksomheder og pensionselskaber.

Den logistiske udfordring forbundet med cirkulært byggeri er en vigtig udfordring. Pga. hensyn om fokusering og ressourceforbrug forbundet med at behandle de øvrige temaer i grundmodellen, er udfordringen ikke omfattet af projektet. I det videre arbejde med at handle på aktiviteterne i roadmap’et vil det være relevant at se på denne udfordring også.



## Kapitel 2

### Kort sektorbeskrivelse

# Fra industrialisering af byggeriet til skalering af cirkulært byggeri



I 1960'erne og 1970'erne ledte en meget stor efterspørgsel på moderne byggeri til mangel på faglært arbejdskraft. Mhp. at imødegå efterspørgslen gennemgik byggeri en industrialisering og antog en ingeniørmæssig og videnskabelig tilgang (fremfor håndværksbaseret). Med industrialisering fulgte en dominans af beton som byggemateriale. Med olie-

krise i 1970'erne fulgte isoleringskrav. Historikken mod cirkulært byggeri ses i Figur 4.

Byggeloven af 1960 og Bygningsreglementet satte sammen rammen for udviklingen i de to følgende årtier.

	1960'erne og 1970'erne	1980'erne	1990'erne	2000'erne	2010'erne	2020'erne
Udfordring og teknologi	<p>Meget stor efterspørgsel på moderne byggeri.</p> <p>Deraf afledt mangel på faglært arbejdskraft.</p> <p>Derfor industrialisering og ingeniørmæssig og videnskabelig tilgang (fremfor håndværksbaseret) til byggeri, hvor form følger af funktionalitet - aht. at kunne imødegå efterspørgselskrav.</p>	<p>Brundtland-rapporten satte fokus på byggeriets andel i energiforbruget, miljøforureningen og de sociale forhold.</p>	<p><b>Miljørigtig projektering</b></p> <p>Prognose for bygge- og anlægsaffald, PROBA.</p> <p>Byggeaffald stiger med knap 40 % fra 1994 til 2001.</p> <p>Mål om genanvendelse af 90 % af bygge- og anlægsaffald.</p> <p>Miljøbelastende stoffer og materialer fra byggesektoren skal indsamles og behandles separat.</p>	<p><b>Cradle-to-cradle</b></p> <p>Energiforbruget er den største miljøbelastning fra bygninger.</p> <p>Miljømærket byggeri.</p>	<p><b>Cirkulær økonomi</b></p> <p>Fokus på byggematerialernes miljøpåvirkning.</p> <p>Standarder omkring LCA.</p> <p>Miljøvaredeklaration. (EPD).</p> <p>Level(s) EUs indikatorsystem til dokumentation for bygningers bæredygtighed</p> <p>Frivillig bæredygtighedsklasse.</p> <p>Affaldsforebyggelse ved renovering.</p> <p>Selektiv nedrivning.</p> <p>Bygninger som materialebanker.</p>	<p><b>Cirkulært byggeri</b></p> <p>Totaløkonomi og levetidsomkostninger (LCC).</p> <p>Bygnings- og materialepas.</p>
Rammebetingelser	<p>Fastpris-cirkulært.</p> <p>Bygningsreglementet.</p> <p>Isoleringskrav mhp. reduktion af energiforbrug i bygninger.</p>		<p>Håndbog i Miljørigtig projektering fra Byggeriets Planlægningssystem (BPS).</p> <p>Miljøministeriets delhandlingsplan for renere teknologi og genanvendelsesindsatsen i bygge- og anlægssektoren 1993-1997.</p> <p>Affald 21 - Affaldsplan.</p>	<p>Liste Over Uønskede Stoffer (LOUS), Miljøstyrelsen.</p>	<p>Europæisk byggevareforordning (CPR) sætter krav til miljøvaredeklaration af byggematerialer i CE-mærkningen.</p> <p>REACH og CPD forordninger.</p>	

Figur 4. Historik for Cirkulært Byggeri.

I 1980'erne var det Brundtland-rapporten<sup>22</sup> fra 1987, der for første gang satte meget direkte fokus på sammenhængen mellem byggeri og energiforbrug, miljøforurening og sociale forhold. Hermed kom bæredygtighed som begreb ind i byggeriet.

I 1990'erne fik genbrug af materialer opmærksomhed for alvor. Baggrunden er bl.a., at byggeaffald stiger knap 40 % fra 1994 til 2001.<sup>23</sup> Der etableres derfor mål om genanvendelse af 90 % af bygge- og anlægsaffald og krav om, at miljøbelastende stoffer og materialer fra byggesektoren skal indsamles og behandles separat.<sup>24</sup> Særligt Miljøministeriets delhandlingsplan for renere teknologi og en genanvendelsesindsats i bygge- og anlægssektoren i 1993-1997 skubber på for denne udvikling.<sup>25</sup> Og "Håndbog i Miljørigtig projektering"<sup>26</sup> fra Byggeriets Planlægningssystem (BPS) bliver et vigtigt værktøj for sektoren i den forbindelse.

## Da bygnings energiforbrug kom i fokus

Selvom allerede Brundtland-rapporten omtalte sammenhængen mellem byggeri og energiforbrug, kom temaet først for alvor på dagsordenen i løbet af 2000'erne.

Det skyldtes, at det bl.a. blev offentligt erkendt, at energiforbruget er den største miljøbelastning fra bygninger. I 1997, i Kyoto, havde Danmark forpligtet sig til i 2012 at have reduceret sine CO<sub>2</sub>-udledninger med 21 % i forhold til 1990.

En af konsekvenserne blev, at der blev etableret en miljømærkning af byggeri. Nu skulle et byggeri leve op til krav både om lavt energiforbrug, godt indeklima, krav til miljø- og sundhedsskadelige stoffer i byggematerialer og kemiske produkter,<sup>27</sup> strenge krav

til bæredygtigt certificeret træ, samt gennemgang ved en uvildig tredjepart af både byggeproces og det færdige byggeri.

I 2010'erne medvirkede vedtagelsen af den Europæiske byggevare-forordning (CPR)<sup>28</sup> til, at der for alvor blev sat krav til miljøvaredeklaration af byggematerialer i CE-mærkningen. I det hele taget blev der gennemført mange indsatser, fx om byggematerialernes miljøpåvirkning, standarder omkring LCA, miljøvaredeklaration (EPD), Level(s) (EUs indikatorsystem til dokumentation for bygningers bæredygtighed) og en dansk frivillig bæredygtighedsklasse. Midt i årtiet kom EU's handlingsplan "Closing-the-loop",<sup>29</sup> som satte fokus på omstilling til cirkulær økonomi. Handlingsplanen har byggeri og anlæg som prioriteret område og fortæller, at EU Kommissionen vil træffe en række foranstaltninger for at sikre nyttiggørelsen af værdifulde ressourcer og en passende affaldshåndtering i bygnings- og nedrivningssektoren og for at lette vurderingen af bygningers miljøpræstationer.

I starten af 2020 kom EU Kommissionen<sup>30</sup> med en ny handlingsplan for den cirkulære økonomi, og med den handlingsplan fastholdes fokus på byggeriet som helt central.

## Diagnose af sektoren

Medlemmer af arbejdsgruppen for sektorudviklingsprojektet har i løbet af perioden oktober 2019 - februar 2020 interviewet 30 aktører i sektoren i ind- og udland om en hel række af temaer med relevans for cirkulært byggeri.

En melding fra sektoren er, at der mangler en klar og vedvarende efterspørgsel, der kan drive markedet for cirkulært byggeri. Det gælder både for byggematerialer og for byggeprocesser. Dette skyldes, at markedet

<sup>22</sup> Verdenskommission for miljø og udvikling (1987): Vores fælles fremtid - Brundtland-kommissionens rapport om Miljø og udvikling (Brundtland-rapporten).

<sup>23</sup> Miljøstyrelsen (2006): Affaldsforebyggelse ved renovering. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 42, 2006.

<sup>24</sup> Affald 21, 1998-2004: <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/1999/87-7909-432-1/html/default.htm>.

<sup>25</sup> <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/1997/87-7810-852-7/pdf/87-7810-852-7.pdf>.

<sup>26</sup> <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2002/87-7972-100-1/html/kap02.htm>.

<sup>27</sup> Miljøstyrelsen (2009): Liste Over Uønskede Stoffer (LOUS). Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 3 2010.

<sup>28</sup> Europa-Parlamentet og Rådet (2011) Byggevareforordning (EU), Nr. 205/2011 af 9. marts 2011 (EUR-Lex).

<sup>29</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>.

<sup>30</sup> COM(2020) A new Circular Economy Action Plan - For a cleaner and more competitive Europe, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098&from=EN>



grundlæggende er meget nyt og en kombination af begrænsende mekanismer, der bl.a. har baggrund i et fireholdigt kompleks af rammebetingelser.

For det første gælder det, at planloven ikke for alvor sætter positiv dagsorden om cirkulært byggeri på en måde, så cirkulært byggeri er en fuldt integreret del af den offentlige dagsorden om by- og regionaludvikling. Modsat fx i Holland er situationen i Danmark, at cirkulært byggeri ikke for alvor er en del af den offentlige dagsorden i udviklingen af byer og regioner. Og som konsekvens bliver kommunal- og regionspolitikere ikke målt på en indsats for cirkulært byggeri af vælgerne.

For det andet gælder det, at tolkningen af de offentlige udbudsregler i vid udstrækning begrænser det omfang, hvori offentlige bygherrer - almennyttigt boligbyggeri i særdeleshed - kan medvirke til at udvikle markedet for cirkulært byggeri ved at skabe efterspørgsel. For det store flertal af offentlige bygherrer er og bliver prisen på byggeriet det styrende element i dialogen med arkitektvirksomheder og entreprenører om byggeprojektet - særligt det kommunale anlægsloft trækker i den retning. Det efterlader ikke meget rum for de nye tilgange til byggeri, som cirkulært byggeri fordrer.

## Udfordringer på leverandørsiden

Som et tredje begrænsende element er der Miljøstyrelsens bekendtgørelse om farlige stoffer. De historiske negative erfaringer med farlige stoffer har af gode grunde resulteret i et relativt konservativt reguleringsregime for farlige stoffer. Sådan skal det naturligvis fortsat være. Men der kan være behov for at genoverveje, om bekendtgørelsen er hensigtsmæssig for alle stoffer, der kan finde anvendelse i cirkulært byggeri.

Sidst men ikke mindst står det klart, at der mangler standarder og certificeringer for både cirkulære byggematerialer og byggeprocesser. Dette gør det yderst vanskeligt for bygherrer og arkitektvirksomheder at projektere og gennemføre et cirkulært byggeri inden for en rimelig risiko.

Men udfordringerne stopper ikke med efterspørgselsiden. En anden melding fra sektoren er, at der også er anseelige udfordringer på leverandørsiden.

Udviklingen af et marked for en ny teknologi mv. er typisk afhængig af både en efterspørgsel, der kan

drive udviklingen og af en leverandørside, der konstant afprøver nye produkter og processer og gradvist driver risikoen ned, så flere på både efterspørgsels- og leverandørsiden tager del i udviklingen af markedet. I sektorer af central samfundsinteresse understøttes denne efterspørgsel typisk af regulering, som det fx også har været tilfældet for byggeriet i forhold til energieffektivitet.

Denne rolle på leverandørsiden er i Danmark aktuelt taget af nogle mindre arkitektvirksomheder. Dette betragtes med stor velvilje af de større arkitektvirksomheder, bygherrer, entreprenører, byggematerialeproducenter og rådgivende ingeniørvirksomheder i sektoren.

De mellemstore og store arkitektvirksomheder er imidlertid optaget af andre vigtige dagsordener end cirkulært byggeri. Så der synes at mangle de klassiske udviklere af markedet på leverandørsiden, der for alvor kan sætte skub i udviklingen. Dette er et strukturelt problem for udviklingen af cirkulært byggeri.

## Behov for nye udviklere af det cirkulære byggeri

På denne baggrund er det et vigtigt spørgsmål, om andre aktører kan komme til at spille rollen som udviklere af markedet. Den almindelige opfattelse er, at projekteringen af et byggeprojekt er 100 % handlet af mellem arkitektvirksomheden og bygherren, før entreprenøren, byggematerialeproducenten og den rådgivende ingeniørvirksomhed kommer ind i billedet. Så som situationen er nu, kan rummet for at projektere cirkulært byggeri synes at være meget lille.

Man kan spørge, om der så er særlige muligheder for cirkulært byggeri i den måde byggeprocesserne og byggematerialeproduktionen foregår på. I Danmark er der metodefrihed på byggepladsen, hvilket iflg. mange aktører i sektoren resulterer i lav effektivitet i selve gennemførelsen af byggeriet og i stort spild af byggematerialer. Dette er øjensynligt forskelligt i forhold til, hvordan byggeprocesserne er organiseret i Norge, Sverige og Tyskland, hvor der er helt anderledes aftalte og faste rammer for processerne.

Til gengæld er der måske en stor fordel i den overordnede organisering af elementproduktionen i Danmark. Denne er kendetegnet ved relativt få og meget industrialiserede produktionsenheder, som kan udnytte stordriftsfordele og drive enhedspriserne ned. Når en udfordring for udviklingen af efterspørgslen på cirku-



lært byggeri har at gøre med manglende standarder og certificeringer af cirkulære byggematerialer, kan man forestille sig, at organiseringen af elementproduktionen har særlige muligheder for at medvirke til udviklingen af standarder og certificeringer. I og med at fx betonelementproduktionen i Norge, Sverige og Tyskland angiveligt foregår primært in-situ på selve byggepladsen, kan organiseringen af betonelementproduktionen i Danmark muligvis blive en fordel i denne henseende.

### **Eksport, markedsandele, gennemslagskraft af forskning og forskningsfinansiering og økonomisk potentiale**

Bygge- og Anlægsbranchen (B&A-branchen) eksporterede samlet for 102,2 mia. kr. i 2018. Heraf udgjorde B&A-tjenester ca. 61,3 mia. kr. og B&A-varer 41,0 mia. kr. EU er B&A-branchens vigtigste marked med en andel på hele 76 %. For hele Danmarks eksport er andelen 56 %. Den samlede danske B&A-eksport i 2018 udgjorde 8,7 % af Danmarks samlede eksport.<sup>31</sup>

Danmarks samlede tjenesteeksport er steget med 7,4 % fra 2017 til 2018. En stigning, der i høj grad skyldes øget eksport af B&A-tjenester. Eksport af B&A-tjenester steg således hele 42 % fra 2017 til 2018. Det er en stigning, der kommer fra en voldsom stigning på 115 % i eksporten af B&A-tjenester til Storbritannien, så den i 2018 udgjorde i alt 33 mia. kr., svarende til 54 % af den samlede danske eksport af B&A-tjenester.

Ifølge Dansk Byggeri er der endnu ikke opgjort statistik over eksport af B&A-tjenester inden for cirkulært byggeri.

Ifølge Innovationsfonden eksisterer der ikke nogen opgørelse over udviklingen i forskningsfinansiering og af gennemslagskraft af forskning i cirkulært byggeri.

I rapporten "Potential for Denmark as Circular Economy" fra Ellen MacArthur Foundation er bygningsindustrien og bygninger udpeget som den sektor, hvor det økonomiske potentiale i cirkulær økonomi er størst i Danmark. Således vurderes det, at mens der indtil 2035 potentielt kan hentes max. en nettoværdi på 5,7 mia. kr. i fødevarerindustrien, så kan der hentes en nettoværdi på max. 9,0 mia. kr. i byggeindustrien og bygninger. Baggrunden for dette er modellering over et scenarie, hvor BNP vil stige med 0,8-1,4 %, og hvor der vil blive skabt 7-13.000 nye arbejdspladser, og eksporten vil stige med 3-6 %.<sup>32</sup>

Sammenfattende kan man sige, at det økonomiske potentiale er vurderet som stort. Men på grund af mangel på data om eksportudviklingen, forskningsfinansiering og gennemslagskraft af forskning er det ikke muligt at vurdere det økonomiske potentiale og eksportudviklingen, som kan vokse ud af forskning og udvikling inden for cirkulært byggeri.

<sup>31</sup> Dansk Byggeri (2019): Eksportanalyse fra november.

<sup>32</sup> Ellen MacArthur Foundation (2015) Potential for Denmark as Circular Economy

## Case: Upcycle studios

### Kontekst:

Upcycle Studios er en del af det kommende Ørestad Syd. Projektet er udviklet på et af de byggefelter i Ørestad Syd der har den højeste grad af kompleksitet. Størstedelen af Ørestad Syd er udlagt som karrébebyggelse, og bydelen består således for en stor del af byhuse og lejligheder, der orienterer mod et gaderum til den ene side og gårdrum til den anden.

Men Upcycle Studios har gaderum til begge sider, og således ikke samme klare forside/bagside situation som resten af bydelen. Konteksten er erhvervsbyggeri i op til 11 etager på gaden mod syd og rækkehuse i 3 etager på gaden mod nord. Det er denne kompleksitet, de nye boliger vil forsøge at danne overgang i. En overgang, der handler om højt og lavt, skygge og sol, bolig og erhverv.

### Materialer:

Byggeaffald repræsenterer i dag et kæmpe felt af uudnyttede ressourcer, og formålet med Upcycle Studios er at lave om på det. Det skal sikres, at de værdifulde byggematerialer flytter med til byerne, når menneskene flytter. Ved at genanvende vinduer og træ fra de forladte huse til nye byggekomponenter sparer man CO<sub>2</sub> samt råmaterialer, og man får da en ny bygning, der har historie og karakter fra "fødslen".

Ambitionen er at kunne skabe boliger med historie. Lendager vil kunne bygge nye boliger af affald såsom gamle resttræ, nedknust beton samt gamle vinduer fra forladte huse for at kunne bygge eksklusive bæredygtige boliger uden meromkostninger. Dermed vil fx boligernes totale CO<sub>2</sub>-regnskab kunne forbedres.

Metoden er at gentænke og genbruge de uudnyttede ressourcer i byggeaffaldet til at bygge nye boliger. Der bygges af bæredygtige, naturlige og gennemprøvede materialer uden toksicitet. Udnyttelsen af de eksisterende ressourcer har en positiv direkte påvirkning på klimaforandringerne.

I Upcycle Studios stammer 75 % af vinduerne fra almene boliger i Nordjylland. Og 1400 tons af genbrugsbetonen er støbt ud af Københavns Metros yderst holdbare betonaffald. Træet til gulve, vægge og facader skabes af overskudstræ fra Dinesen - hvor et stærkt fælles samarbejde muliggør at genanvende træet i bebyggelsen.

Lendager ARC har i tæt samarbejde med Lendager UP forarbejdet materialerne, så de både kvalitets- og funktionsmæssigt samt æstetisk fremstår som smukke og bæredygtige byggematerialer.<sup>33</sup>

<sup>33</sup> Mildt tilrettet udgave af tekst fra <https://lendager.com/arkitektur/upcycle-studios/>.

# Grundmodel for cirkulært byggeri & erhvervsudvikling, gode fysiske rammer og afkobling fra naturressourcer

## Grundmodel med fire niveauer

### Involvering af hele sektoren

Hele byggesektoren skal involveres i omstillingen mod en cirkulær økonomi. Hovedoverskrifterne i omstillingen er, at færre primære ressourcer forbruges, og at materialer og komponenter opretholder den højeste værdi så længe som muligt. Det kræver, at

produktion og værdikæder bliver cirkulære, og det kræver et nyt forbrugsmønster mod optimeret udnyttelse af bygningsmassen. I Figur 5 ses væsentlige tiltag i transformationen mod cirkulært byggeri fordelt på disse hovedpunkter.

### Forbrugsmønstre ændres mod optimeret udnyttelse

- Udnytte ledige bygninger
- Dele brug af bygninger
- Mindske gennemsnitligt boligareal
- Fleksible bygninger

### Materialer og komponenter opretholder højeste værdi

- Levetidsforlængelse. Renovering og vedligehold
- Genbrug af bygningsdele og komponenter
- Design for adskillelse
- Nænsom nedrivning
- Digitalisering, materiale- og bygningspas

### Forbrugsmønstre ændres mod optimeret udnyttelse

- Genbrug af materialer
- Anvendelse af materialer af høj kvalitet (miljø, æstetik og egenskaber) for lang levetid og genbrug
- Effektiv brug af ressourcer (miljø- og materiale screeninger/vurderinger)
- Anvendelse af vedvarende energikilder i produktionen

### Forbrugsmønstre ændres mod optimeret udnyttelse

- Totalværdi, LCA og LCC
- Omstilling af byggeriets processer
- Opbygning og ledelse af byggeprocesser understøttende cirkulært ressourceforbrug
- Forretningsmodeller for salg af genbrugsmaterialer

Figur 5. Væsentlige tiltag i transformationen mod cirkulært byggeri.

I sektorudviklingsprojektet er der udviklet en grundmodel (se Figur 6), der tager udgangspunkt i, at udviklingen af cirkulært byggeri skal tage højde for flere niveauer.

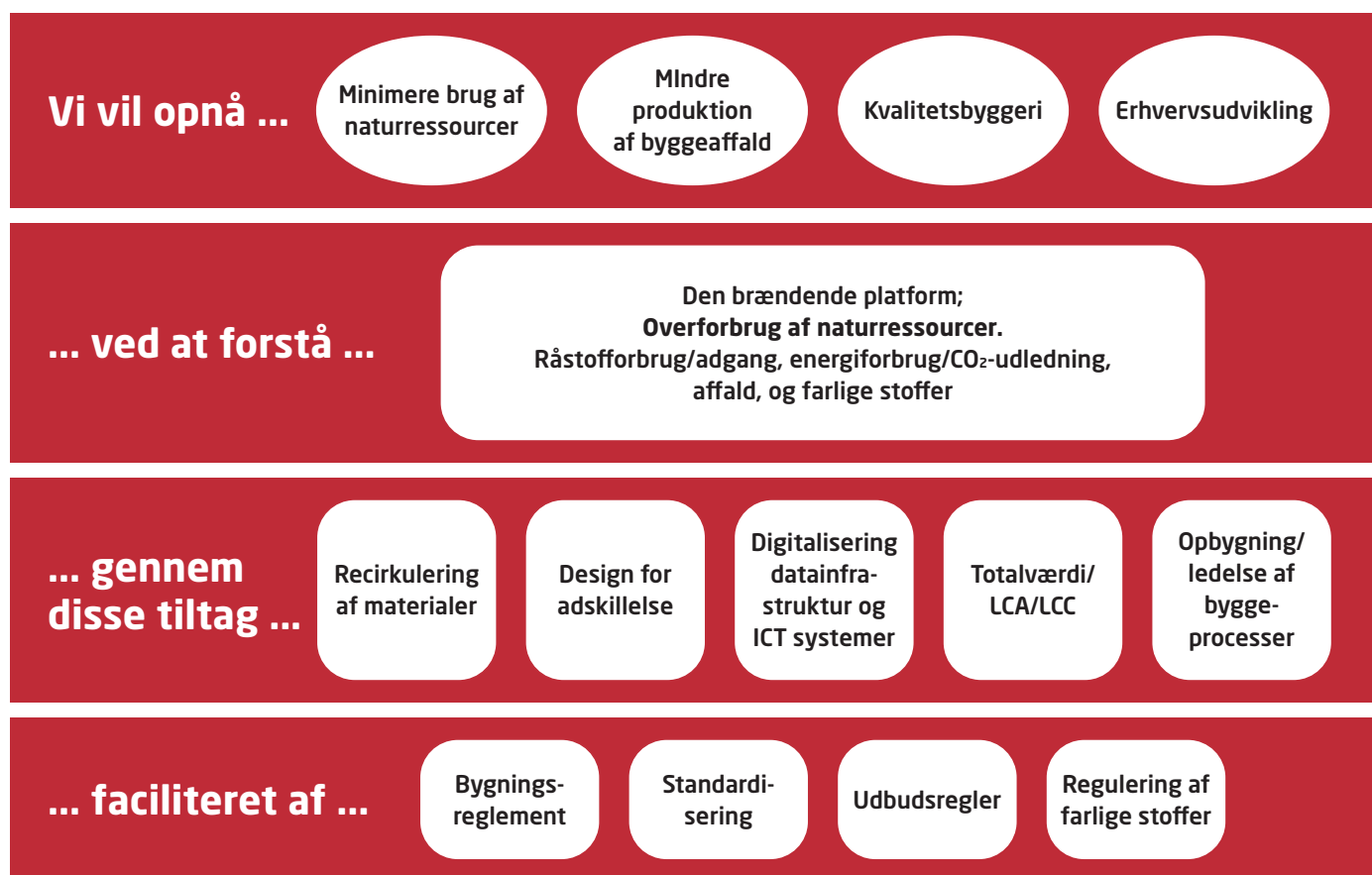
Det første niveau i modellen udgøres af de målsætninger, som cirkulært byggeri skal indfri. Der vil være tale om målsætninger om erhvervsudvikling, gode fysiske rammer og afkobling fra naturressourcer.

Det næste niveau beskriver de områder, der skal gennemføres en indsats indenfor for at opfylde målsætningerne. Nøgleordene er reduktion af CO<sub>2</sub>-udledninger, begrænsning af affald og varig adgang til råstoffer.

Det tredje niveau udgøres af understøttende metoder, processer og teknologier. Det gælder Recirkulering af materialer, Design for adskillelse, Digitalisering, Totalværid/LCA/LCC og Opbygning/ledelse af byggeprocesser.

Endelig er det nødvendigt at have et fjerde niveau, som beskriver, hvilke ændringer i rammebetingelserne som er nødvendige for alvor at fremme cirkulært byggeri.

Grundmodellen er grafisk fremstillet i Figur 6 og udfoldes i resten af dette kapitel og i kapitel 4-8.



Figur 6. DTU-grundmodellen for forskning i cirkulært byggeri.

## Erhvervsudvikling

Med hele tre vigtige brændende platforme under sig - varig adgang til ressourcer, krav til reduktion i mængden af byggeaffald og krav til reduktion i CO<sub>2</sub>-emissi-

oner - er det nødvendigt, at byggeriet transformeres i retning af cirkulært byggeri. Men da cirkulært byggeri endnu er på pilotprojektstadiet og har haft nybyg-

geri og ikke den eksisterende bygningsmasse som hovedfokus, vil den helt store erhvervsudvikling lade vente på sig. Nøglen til at ændre denne situation er fælles forståelse af terminologier samt at skabe den fornødne dokumentation, standarder og certificering mv. Desuden skal der uddannes nye kandidater og gennemføres en massiv efteruddannelse for byggeriets aktører. Først når disse forudsætninger er kommet på plads, kan man forvente opstart af helt nye virksomheder og ændringer til processer, metoder og forretningsmodeller i eksisterende virksomheder. Dette vil igen føre til effektiviseringer mhp. at fremme, at cirkulært byggeri ikke resulterer i dyrere byggeri. Dermed vil cirkulært byggeri for alvor tage fart.

## Gode fysiske rammer

Kvaliteten af vores bygninger og det byggede miljø er vigtig for samfundet i et bredt perspektiv og afgø-

rende for menneskers sociale og sundhedsmæssige velbefindende. Cirkulært byggeri skal kunne fremme den udvikling, der er mod en stadig forbedring af det byggede miljø. Det skal fordre gode fysiske rammer, hvor der skabes kvalitet i alle dele af byggeriet og skabe en helhed, både i selve byggeriet for brugerne, men også i den sammenhæng som bygningen indgår i - byen og i samfundet.

## Afkobling fra naturressourcer

I en lineær økonomi er samfundsmæssig vækst koblet til udnyttelse af naturressourcer, som efter brug ender som affald eller nedgraderes. Den cirkulære økonomi gør op med dette - ressourcerne skal bruges optimalt og genbruges. Samfundsmæssig vækst opnås gennem udnyttelse af de sekundære ressourcer (affald i den lineære økonomi) og et minimalt træk på udvinding af nye ressourcer fra naturen.

### Case: Circle House

Circle House projektet består af 60 almene boliger i Lisbjerg uden for Aarhus, der ventes at stå færdige i 2023. Ud over at fungere som boliger er Circle House et skalerbart demonstrationsprojekt, der kan give byggebranchen ny viden om erfaringerne med at bygge cirkulært. Projektet Circle House opfører med Lejerbo som bygherre verdens første almene boligbyggeri, der er bygget efter cirkulære principper. Det betyder blandt andet, at byggeriet kan skilles ad igen, og de brugte elementer kan genbruges næsten uden at tabe værdi.

Projektet er støttet af Miljøstyrelsens Miljøteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) og RealDanias program for Innovation i Byggeriet. Byggeriet skitseres af Fællestegnestyen, som er et samarbejde mellem 3XN Arkitekter, Lendager Group og Vandkunsten. Pluskontoret Arkitekter er bygherrerådgiver.

Projektet blev udbudt i februar/marts 2020 og forventes færdigopført i 2023.

Rammevilkår og forretning:

Overgangen til cirkulært byggeri indebærer blandt andet, at materialerne skal produceres, så de kan skilles ad. Det er ikke kun en rent teknisk udfordring. Der mangler i dag også nogle af de led i byggeriets værdikæde, der er nødvendige for, at materialerne kan recirkuleres. Producenterne tager kun i få tilfælde deres brugte produkter tilbage, så de kan sælges på ny. Og leasing, der kendes fra blandt andet biler, er endnu ikke udviklet til byggeriet.

Derfor er der også behov for at forny de traditionelle forretningsmodeller og sørge for, at lovgivningen understøtter genbrug, hvis cirkulært byggeri virkelig skal tage fart. For eksempel er det i dag uafklaret, hvem der har ansvaret for kvaliteten og for det brugte materiale.

Projekt Circle House ønsker at komme nærmere svarene på disse udfordringer. Derfor analyserer projektet værdikæder, forretningsmodeller, businesscases og rammevilkår. Alle resultater og erkendelser deles gennem en bred diskussion om cirkulært byggeri i hele branchen. RealDania har støttet denne del af arbejdet.<sup>34</sup>

<sup>34</sup> Mildt tilrettet udgave af: <https://www.lejerbo.dk/om-lejerbo/byggeri/circle-house>.





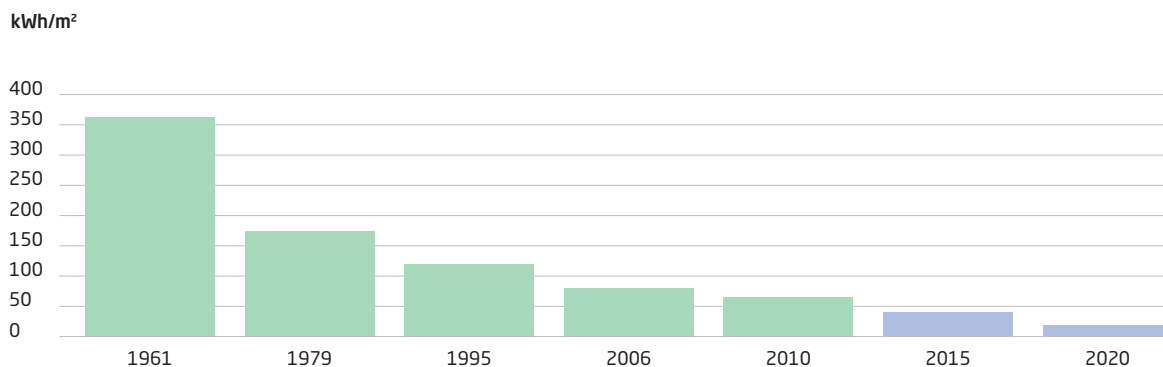
# Bygningsdesign og cirkulær økonomi

### Integreret design

Et centralt begreb i byggeriet er 'integreret design', som betyder at inddrage ingeniørviden allerede fra de tidlige designfaser. Det sker kontinuerligt ved hjælp af digitale værktøjer.

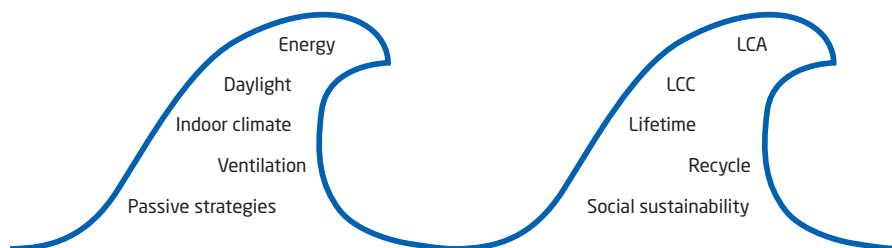
Fokus er nu CO<sub>2</sub>-udledning dokumentation og påvirkningen fra byggematerialer (Integrated Sustainable Design, ISD). Vi er dermed i gang med den anden bølge (Figur 8).

Denne indsats har resulteret i et stadigt lavere energiforbrug til drift af bygninger (se Figur 7).



Kilde: Energistyrelsen

Figur 7. Energistyrelsen, energy consumption in buildings per m<sup>2</sup>.



Figur 8. Mathilde Landgren industrial Phd - IED (energi til drift af bygninger), ISD (CO<sub>2</sub> udledning fra både drift og vedligehold).

Fokus på miljøpåvirkningen stammende fra fremstilling af byggematerialer og byggefasen har resulteret i tre strategier inden for cirkulært byggeri:

- Genanvendelse (urban mining) i forhold til byggematerialer
- Renovering
- Design for adskillelse og fleksibel konstruktion

Ideen bag de tre strategier er at holde strømmen af byggematerialer så vidt muligt i et kredsløb, hvor få jomfruelige materialer bruges til byggeri, og så få genvindingsprocesser som muligt involveres. Formålet er at reducere CO<sub>2</sub>-udledning stammende fra produktion af byggematerialer og komponenter samt at forbruge og udvinde færre råstoffer.

## Genanvendelse af byggematerialer

Ideen er at genanvende byggematerialer og komponenter så direkte som muligt. EU-projektet BAMB (2015-2019) undersøgte ideen om Materiale Pas; ideen om, at hvert byggemateriale eller komponent kan identificeres digitalt, så den potentielle 'genbruger' kender specifikationerne for dette materiale og komponent.<sup>35</sup> I Danmark håndterer vi affald fra nedrivning, men kun en mindre del genanvendes.<sup>36</sup>

Visionen er, at hvert byggemateriale eller komponent har pas med specifikationer. De oplysninger opbevares i en 'bank' ('byen som materialebank' - urban mining), hvor de synliggøres og gøres tilgængelige for planlæggere og designere. I stedet for at designe ud fra ideer og visioner og derefter senere i processen finde ud af hvilke (nye) materialer, der kunne realisere dette, vil de starte med materialer og komponenter fra 'banken' og skabe bygninger herfra.

Den digitale identifikation af materialer og komponenter kan knyttes til BIM i 'digitale tvillinger'.

Robotter kan bidrage i forhold til genanvendte materialer og komponenter - enten via processer, der genetablerer standardiserede kvaliteter til materialerne, eller håndterer og registrerer det genanvendte materiales unikke karakter.

<sup>35</sup> <https://www.bamb2020.eu/>.

<sup>36</sup> <https://dakofa.dk/vidensbank/bygge-anlaegsaffald/>.

<sup>37</sup> Andersen, S. C., Møller, K. L., Jørgensen, S. W., Jensen, L. B. & Birkved, M., (2019): Scalable and Quantitative Decision Support for the initial Building Design Stages of Refurbishment. In: Journal of Green Building. 14, 4, p. 35-56.

## Renovering

Renovering af en eksisterende bygning er i udgangspunktet forbundet med mindre CO<sub>2</sub>-udledning end nedrivning og opførelse af en ny bygning.

Der er allerede en stor mængde indlejret energi (CO<sub>2</sub>) i eksisterende bygninger. Ved at lade så meget som muligt af den eksisterende bygning stå, undgås udledningen, der er forbundet med genforarbejdning af materialer og komponenter.

Visionen er at præsentere mere altomfattende, holistiske beregninger, der inkluderer den indlejrede energi i eksisterende bygninger, når man beslutter, om de skal nedrives eller renoveres - og hvis sidstnævnte, hvilket renoveringsscenarie der giver de mest bæredygtige løsninger. MultiCriteriaDecisionMaking (MCDM) som fx TOPSIS er et område, som kan levere dette.<sup>37</sup>

Bortset fra den positive effekt på miljøet ved at bevare og renovere eksisterende bygninger er sociale og kulturelle effekter vigtige. Med væksten i grøn energiproduktion spiller energibalancen (energiforbrug til drift) i eksisterende bygninger en mindre rolle, hvilket vil sætte mere fokus på effekten af undgået CO<sub>2</sub>-udledning til materialer ved direkte genanvendelse af eksisterende bygninger (renovering).

## Design for adskillelse og fleksibel konstruktion

Design forberedt for demontering vedrører, hvordan nye bygninger designes og planlægges, og hvordan renovering af eksisterende bygninger udføres. Ideen er at forberede til fremtidig transformation/renovering og høst af materialer til genanvendelse i andre bygninger (urban mining). Design for adskillelse og fleksibel konstruktion er ikke kun principper, der anvendes i nyopførte bygninger. Opmærksomheden på, hvordan man renoverer med tilføjelse af færrest mulige nye materialer og på en måde, som forbereder for senere adskillelse, vinder frem.



## Forskningsspørgsmål:

- Hvordan skabes de IT-mæssige rammer for at håndtere data fra 'digitale tvillinger' af bygninger i Danmark? Kan eksisterende registre så som BBR og Energimærkeordningen rumme det?
- Hvordan skabes en robust og fremtidssikret metode for identifikation af byggematerialer og komponenter i bygninger, fx via materiale- og bygningspas?
- Hvordan visualiseres og kommunikeres data om bygninger (og materialepas), så ikke-IT-eksperter kan anvende data til at træffe design beslutninger, der fremmer genanvendelse, renovering og design for disassembly?
- Hvordan kan byggematerialer og komponenter, som skal genanvendes, testes og certificeres? Hvordan kan vi udvikle ikke-destruktive testmetoder (NDT) til genanvendte materialer, der kan blive en naturlig del af en byggeproces?
- Hvordan kan design- og beslutningsprocesser i alle faser af byggeriet informeres yderligere, og have et bredere perspektiv, hvor også sociale såvel som miljømæssige parametre vægtes?



# Byggematerialer og råstoffer

Historisk blev byggematerialer genanvendt, men siden industrialiseringen af byggeriet startende i 1960'erne har vi i langt overvejende grad anvendt nye materialer produceret af nye råstoffer.

I en cirkulær økonomi handles der langsigtet - fra udvinding af naturlige råstoffer til en optimal udnyttelse af dem gennem en række brugsfaser i forskellige byggerier. Fra råstofferne indgår i den første brugsfase baseres anvendelsen i en cirkulær økonomi på affaldshierarkiets prioritering: Forebyg > genbrug > genanvend > nyttiggør.

Lange brugsfaser for bygninger kan være den bedste udnyttelse af råstofferne, og de kan opnås ved løbende vedligehold og reparation. Procedurer og metoder skal fremover indarbejde muligheden for cirkulært materialeforbrug. Det er ikke kun teknisk levetid, der er bestemmende. Mange bygninger rives i dag ned, fordi de ikke opfylder krav til en ny funktion. Det er vigtigt at tænke fleksibilitet ind i både nybyggeri og ændringer i den eksisterende bygningsmasse for at muliggøre lang levetid.

Omstillingen til cirkulær økonomi skal rumme både konstruktive dele med lang levetid, og de dele, som udskiftes under bygningens levetid. Tidsaspektet er særligt væsentligt i byggeriets omstilling. Nogle materialer vil indgå i meget lange brugsfaser (fra årtier til århundreder), mens andre vil have meget korte brugsfaser (ned til få år). Fokus for materialeforskningen vil være forskellig i de to tilfælde, og nøgleord vil være henholdsvis holdbarhed og fleksibilitet.

### Nødvendigt med nye materiale-loops

Optimeret genbrug af byggematerialer, typer og mængder, som indgår i cirkulære loops, er en vigtig del af det cirkulære byggeri. Til optimeringen sættes

krav til materialeegenskaberne ud fra den specifikke anvendelse, og materialerne vælges ud fra de tekniske egenskaber i brugsfasen, samt den mindste negative miljøpåvirkning beregnet for hele den periode, hvor materialet forventes at kunne indgå i cirkulære loops. For at minimere råstofforbrug, klimapåvirkning og affaldsproduktion og samtidig holde den tekniske kvalitet af byggematerialer, som vi kender i dag, men gennem flere brugsfaser, kræves videreudvikling og optimering af byggematerialerne.

Det er nødvendigt at udvikle nye tekniske løsninger, som muliggør genbrug af bygningsdele og komponenter, ligesom det er nødvendigt at udvikle nye værdikæder og markedsmuligheder for at muliggøre sådant genbrug. Nye metoder til kvalitetssikring af komponenterne, inden de genanvendes, skal sikre, at deres egenskaber lever op til kravene i den nye funktion.

Materialer, som ikke kan genbruges, skal genanvendes som ressourcer i produktionen af nye byggematerialer. Det kræver, at produktion og værdikæder bliver cirkulære, således at disse sekundære ressourcer kan anvendes teknisk, og at de er til rådighed. Byggematerialeproducenterne skal indgå i et større materialekredsløb, hvor også sekundære ressourcer fra andre brancher kan indgå. De sekundære ressourcer har andre egenskaber og karakteristika end naturlige råstoffer, og derfor er det ofte ikke muligt med en direkte substitution i produktionsprocesserne. Nye produktionsprocesser og metoder skal udvikles.

### Deponering kan ikke undgås helt

Nutidens bygninger er ikke bygget med blik for cirkulær økonomi. Der vil være materialer i den bestående bygningsmasse, hvor energjudnyttelse ved endt brugsfase vil være den bedste mulighed eller, hvor dette ikke er muligt, deponering. Grunde til at mate-

rialerne ender i bunden af affaldshierarkiet kan være fx indhold af giftige stoffer eller sammensatte kompositter, som ikke kan adskilles til brugbare dele. For både nybyggeri og renovering skal der drages lære af dette tab af ressourcer, og fremover skal materialerne designes og samles således, at det understøtter genbrug og genanvendelse.

Kvaliteten af det byggede miljø må på ingen måde forringes af, at der bygges med afsæt i cirkulær strategi. Forankringen i det almene tekniske fælleseje, standarder, normer og anvisninger er uændret, men en udvidelse og videreudvikling vil være nødvendig, så det cirkulære fuldt rummes.

### Forsknings spørgsmål som er ens for eksisterende byggeri og nybyggeri:

- Hvordan dokumenteres det, at de tekniske egenskaber for genbrugte byggematerialer lever op til kravene i den nye funktion? Og hvordan indarbejdes brugen af genbrugte byggematerialer i det almene tekniske fælleseje?
- Hvor, hvordan og hvilke mængder af naturlige råstoffer kan substitueres med sekundære råstoffer i produktionen (enten direkte eller efter simpel opgradering)?
- Hvilke nye eller ændrede produktionsmetoder er der behov for at udvikle, således at sekundære ressourcer kan anvendes?
- Hvordan sikrer vi, at giftige stoffer ikke ophobes ved stigende anvendelse af sekundære ressourcer i produktionen af nye materialer?

### Forsknings spørgsmål alene for eksisterende byggeri:

- Hvordan vedligeholdes og repareres med fokus på den nuværende funktion og muligheden for, at materialerne kan indgå i nye brugsfaser (altså et tidsperspektiv, der er meget længere end nuværende renoveringsopgaver)?

### Forsknings spørgsmål alene for nybyggeri:

- Har vi den tekniske viden der skal til for at minimere ressourceforbruget (primære såvel som sekundære ressourcer) ved opførelse af nye konstruktioner?

### Case: Musicon

Musicon, Roskildes nye kreative bydel, huser forskellige tiltag inden for cirkulært byggeri. Musicon ligger i et tidligere industriområde, der rummede en betonvarefabrik. Karakteren i området er præget af de tidligere industribygninger og andre rustikke spor fra produktionen, som er integreret i udformningen af nye byrum og blandet med nybyggeri. I opbygningen af bydele valgte Roskilde Kommune at bevare de eksisterende betonfabrikshaller frem for at jævne dem med jorden. De oprindelige betonfabrikker genbruges både bæredygtigt og æstetisk for hele området, så de giver området en unik identitet med afsæt i den

industrielle kontekst og fortid. Bygningerne på ressourcepladserne i Musicon er primært opført med genbrugsmaterialer fra nedrevne bygninger på området, og betonen under ressourcepladserne er udstøbt med genanvendt betontilslag, som også stammer fra nedrevne bygninger på arealet. Ud over kommunens egne cirkulære byggeprojekter har Musicon åbnet en fysisk materialebank, hvor lokale borgere og virksomheder kan hente genbrugsmaterialer, når de skal i gang med nye byggeprojekter. På sigt bliver er det planen, at det udvikles til en virtuel bank.

# Opbygning og ledelse af byggeprocesser

Byggeriet kritiseres jævnligt for manglende produktivitetsudvikling og manglende evne til at realisere projekter til tiden i den planlagte kvalitet og aftalte økonomi. Internationale studier viser, at byggeriet har haft en produktivitetsudvikling på 1% om året de sidste 20 år. Til sammenligning har resten af verdensøkonomien haft en vækst på 2,8 % og i industriproduktionen på 3,6 % årligt i samme periode. Samtidig viser studier, at over 90 % af byggeprojekterne har forsinkelser og budgetoverskridelser. Den eksisterende organisering af byggeriet har således store udfordringer med effektivt at håndtere ressourcestrømmene fra materialer til færdigt byggeri. Der er et stort behov for at forbedre byggeriets processer for at understøtte udviklingen mod cirkulært byggeri.

Organisering af byggeriets processer tager i dag udgangspunkt i en værdikæde, der går fra vugge til grav baseret på et "take - make - waste" paradigme. Man kan groft opdele processerne i en række overordnede faser: produktion, udførelse, design, drift og nedrivning hver med forskellige formål, aktører og organisationsfokus (se Tabel 2).

Bygningsmassen udbygges og fornyes løbende gennem projekter initieret af bygherrer og rådgivere.





Selve transformationen af materialer til byggeri realiseres med projektet som den primære organiseringsform fx for design, udførelse og nedrivning.

### *Fragmenteret værdi- og leverancekæde*

Byggeriet er en projektbaseret industri, hvor de enkelte byggerier realiseres af teams sat sammen til lejligheden. Som konsekvens heraf er organiseringen kendetegnet ved stærke institutionelle roller som fx arkitekter, rådgivere, entreprenører, leverandører og bygherrer med veldefinerede ansvarsområder gennem branchestandarder for samarbejde (ABR og ABT). Langt hovedparten af byggeriets virksomheder afspejler denne organisering. Selv store virksomheder, der inkluderer flere roller, organiserer sig internt på samme måde som branchen generelt. Konsekvensen er, at virksomhederne har en lav grad af specialisering og ligner hinanden, hvilket medvirker til at skabe en fragmenteret arbejdsdeling i branchen. Således kan en rådgiver fra ét firma forholdsvis let overtage et projekt fra et andet firma. Det betyder ligeledes, at branchens virksomheder bygger på arketyperiske forretningsmodeller som illustreret i Figur 9.

	Produktion	Udførelse	Design	Drift	Nedrivning
Formål	Produktion af byggematerialer og systemer	Sammensætning af byggematerialer og systemer til hele bygninger	Behovsafklaring og løsning	Løbende drift og vedligehold af byggeri	Nedtagning af bygninger og bortskaffelse af materialer
Aktører	Byggematerialeproducenter	Entreprenører og håndværkere	Arkitekter og rådgivere	Ejere, facilities managere	Nedrivere, affaldsselskaber
Fokus	Produkt	Projekt	Projekt	Service	Projekt

Tabel 2. Byggeriets værdikæde fra vugge til grav.

	Leverandør 	Entreprenør 	Rådgiver 	Arkitekt 
Value propositions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leverer produkter af høj kvalitet</li> <li>• Bæredygtighed og komfort</li> <li>• Materialer leveres til tiden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Omsætte projekter til byggeri - &gt; bygbarhed</li> <li>• Give bygherren hvad der er økonomisk muligt i projektet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Præstige/omdømme</li> <li>• Sikre bygningens holdbarhed og teknik</li> <li>• Troværdige løsninger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Høj arkitektonisk kvalitet</li> <li>• Holistiske løsninger</li> <li>• Præstige/omdømme</li> </ul>
Profitformel	Salg af produkter og systemer	Cash flow og kontrakt risikostyring	Sælge timer	Sælge timer
Ressourcer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktionsapparat</li> <li>• Produktionsekspertise</li> <li>• Gode relationer i værdikæden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Specialkompetencer og specialuddannede medarbejdere</li> <li>• Special materiel</li> <li>• Projektstyring</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stærkt faglige specialkompetencer</li> <li>• Projektledelse og styring</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreative og kompetente medarbejdere</li> <li>• Stærke BIM værktøjer</li> <li>• Virksomhedssamarbejder</li> </ul>
Processer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sikre at efterspørgsel og produktion hænger sammen</li> <li>• Udvikle nye produkter og systemer</li> <li>• Effektiv produktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalkulere udgifter</li> <li>• Læse markedet (udgifter, kapacitet, m.m.)</li> <li>• Overholde tidsplan og fleksibilitet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dybe faktaundersøgelser</li> <li>• Holde balancen mellem unik og standard</li> <li>• Kvalitetssikring</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Omskabe ide/behov til design</li> <li>• Skabe grundlag for byggeri</li> </ul>

Figur 9. Arketypiske forretningsmodeller i byggeriet (Rebus 2020).



Arkitekter, rådgivere og entreprenører er bygget op omkring projektbaserede forretningsmodeller med den centrale forskel, at arkitekter og rådgivere sælger timer, mens entreprenører giver tilbud på at gennemføre projekter, bl.a. i form af licitationer.

#### Kortsigtet projektorganisering

En stor del af det enkelte byggeri er organiseret med udgangspunkt i en lang række indkøb i form af rådgivning, materialer, byggestyring mm. Indkøbsprocesserne og deres indbyrdes koordination er helt afgørende for evnen til at realisere byggeprojekter effektivt og er således også reguleret gennem standarder. Generelt findes der tre overordnede entreprisformer: Total-, hoved- og fagentreprisen der hver har forskellige fordele og ulemper. Fælles for entrepriserne er dog en generelt kortsigtet organisering, hvor projektet afsluttes, og virksomhederne fortsætter på nye projekter i nye teams. Selvom virksomhederne har ansvarsperioder på 1 og 5 år, er de deltagende medarbejdere typisk for længst videre på nye projekter. Det betyder, at der ikke er særligt veludviklede praksisser for læring mellem projekterne og virksomhederne samt de forskellige faser af byggeriets processer.

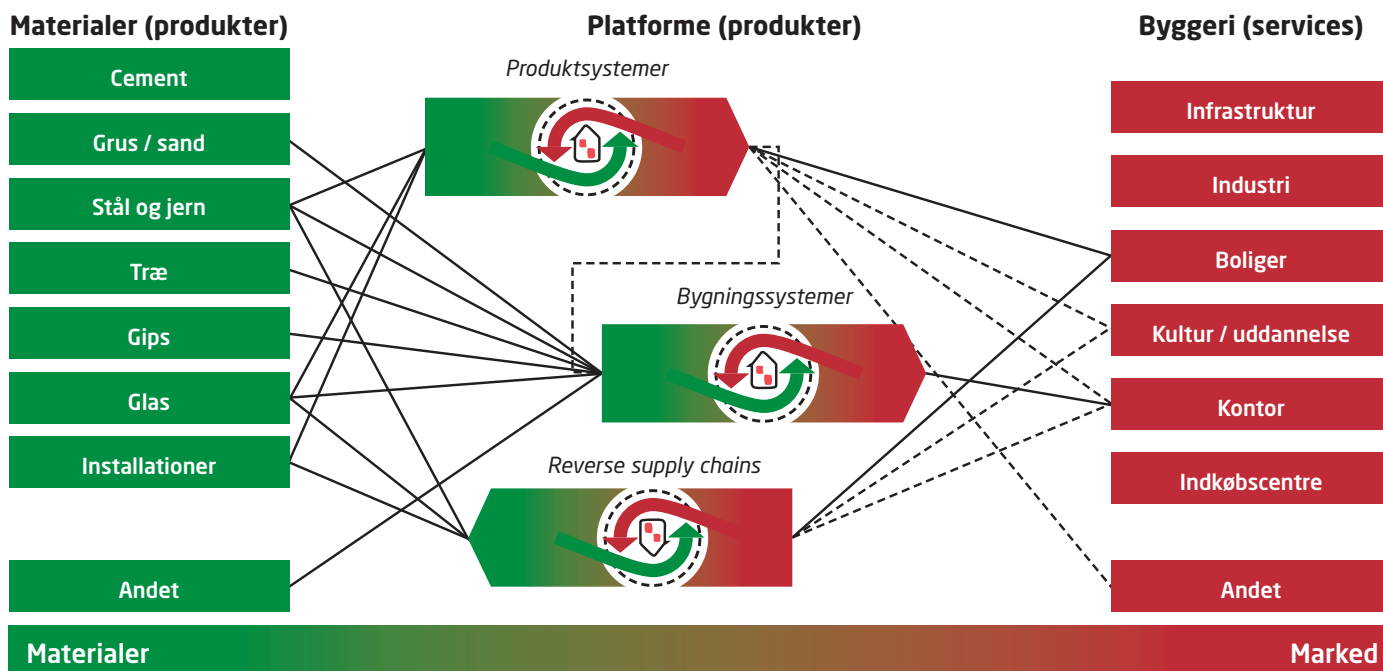
#### Øget industrialisering og systemtænkning

Igennem de sidste årtier er der udviklet en lang række

koncepter, der prøver at skabe bedre samarbejdsforhold under byggeprocessen. Indledningsvist har det primære fokus været på at forbedre forholdene på projektet igennem koncepter som partnering og Integrated Project Delivery (IPD), men i løbet af de sidste år er der i højere grad kommet fokus på hele bygningsporteføljer som fx i strategiske partnerskaber. Dette er med til at skabe en organisatorisk orden, der gennem gentagelser af løsninger, processer og teams muliggør en højere grad af specialisering på tværs af værdikæden. Netop evnen til at tænke på tværs af projekter er normalt for byggematerialeproducenter, hvor samme produkter og systemer netop sælges på tværs af projekter. For at undslippe den hårde priskonkurrence på de enkelte produkter har byggematerialeproducenter imidlertid gennem en årrække arbejdet på at udvikle løsninger med en højere grad af kompleksitet og kundetilpasning. Vi ser således en konvergens mellem det traditionelle projektbaserede byggeri og industrien imod en højere grad af systemtænkning og industrialisering understøttet af en øget anvendelse af digitale teknologier.

#### Cirkulært byggeri udfordrer byggeriets processer

Byggeriets processer har altid være koblet til byggematerialerne som skitseret i Figur 10. Det er grundlæggende set processerne, der sikrer forædlingen af materialerne fra generelle råstoffer til et færdigt byg-



Figur 10. Koordination, integration og reversering af byggeriets værdi og leverancekæde.



geri. Materialerne er dermed sammen med materiel og mennesker (viden) de afgørende ressourcer i byggeriet. Materialernes egenskaber og funktion er centrale for realisering af den ønskede kvalitet af det endelige byggeri - men som ressource er de også afgørende for prisen på byggeriet. Byggeriet er således vant til at optimere forbruget af ressourcer i et økonomisk perspektiv. I cirkulært byggeri er materialerne imidlertid ikke kun koblet til den kortsigtede økonomi og kvalitet af projektet, men fordrer et dybere regnskab for materialernes langsigtede værdi og impact. Det betyder, at eksisterende materialer i bygningsmassen skal kunne inkluderes i byggeriets processer gennem omvendte værdikæder, der transformerer byggeri til materiale som bl.a. skitseret i Figur 8 (Sanchez & Haas 2018).

Understøttelsen af cirkulært byggeri forudsætter en gennemgribende justering af byggeriets processer:

Den fragmenterede organisering som skitseret i Tabel 2 skal optimeres til at håndtere genbrug af materialer

i veludviklede og koordinerede værdi- og leverance-kæder. I dag sker transformationer fra materialer til byggeri og tilbage gennem forskellige former for projekter. Mens projektorganisering muliggør løsninger af ad hoc-problemstillinger, besværliggør den samtidig opbygningen af effektive værdi- og leverancekæder. Det kortsigtede projektfokus skal udbygges til hele byggeriets levetid med langsigtede forpligtelser fra de deltagende virksomheder. Endelig skal evnen til at realisere byggeri inden for rammerne af den aftalte kvalitet, tid og økonomi forbedres. Dette stiller krav til en højere grad af standardisering og samarbejde på tværs af værdikæden, fx i form af strategiske partnerskaber.



### Forsknings spørgsmål som er ens for eksisterende byggeri og nybyggeri:

- Hvordan sammentænkes projektorganiseringens kortsigtede logik med et cirkulært byggeri?
- Hvordan skal branchens roller gentænkes i et cirkulært perspektiv?
- Hvilke (nye) forretningsmodeller understøtter cirkulære processer?
- Hvilke kontraktformer understøtter cirkulære processer?
- Hvordan kan vi styrke byggeriets evne til at realisere det, vi planlægger?
- Hvordan optimeres cirkularitet gennem ejerskab af materialerne?
- Hvordan etableres velfungerende forsyningskæder for genbrug af eksisterende byggematerialer?



# Digitalisering, datainfrastruktur og ICT-systemer

Digitalisering kan medvirke til at understøtte udbredelsen af cirkulært byggeri i forbindelse med planlægning, udførelse, drift, opgradering og genbrug. Digitalisering kan bruges til at registrere, lagre og dele data om ressourcer, der allerede indgår i eksisterende bygninger, og som efter endt brug kan indgå i fremtidige i renoveringer, ombygninger eller nybygninger. Digitalisering kan anvendes til automatisering af konsekvensberegninger af forskellige løsnings-scenariers miljøpåvirkninger, økonomi og ydeevne. De nuværende digitale teknologier kan allerede benyttes i dag til at distribuere viden, erfaringer og vejledninger til byggeriets interessenter. Digitaliseringen kan endvidere fremme en tilpasning af produktionsapparatet fra produktion af standardkomponenter til en mere fleksibel produktion, som tager udgangspunkt i de tilgængelige ressourcer i stedet for at sigte efter et standardiseret slutprodukt. Digitalisering kan forlænge levetiden af komponenter i byggerier, mens de er i drift, ved at måle komponenternes tilstand, og initiere korrigerende handlinger eller opdateringer af komponenterne.

Ressourceforbruget kan reduceres gennem en digitalisering ved øget genbrug eller genanvendelse. Dette vil samtidig mindske CO<sub>2</sub>-udledningen fra produktionen af byggekomponenter. Digitaliseringen kan derfor medvirke til at reducere mængden af byggeaffald og levere data om materialer, som skal deponeres, fordi de er uegnede til genbrug eller genanvendelse.

Det er visionen, at digitalisering aktivt kan understøtte planlægning af cirkulært byggeri gennem projektering og ressourceafdækning. Projekteringsmaterialet beskriver, hvordan eksisterende ressourcer skal genbruges eller opgraderes til at indgå i nye byggerier, efter at digitale værktøjer først har afdækket, hvilke ressourcer som er tilgængelige på markedet for genanvendelige komponenter.

Projekteringsmaterialet vil også an vise, hvordan komponenterne samles og efterfølgende adskilles igen, for efter endt brug at indgå som ressourcer i nye byggerier. Alt sammen først efter det har været simuleret digitalt. Det er endvidere visionen gennem digitalt understøttede produktionsmetoder at bearbejde genbrugsmaterialer til nye genanvendelige produkter.

Ved at kombinere faglig viden fra DTU med viden fra andre forskningsinstitutter kan man fremme overgangen fra en industriel produktion af standardprodukter baseret på adgang til råmaterialer til en produktion baseret på genbrugsmaterialer eller opgradering af eksisterende produkter. En sådan overgang vil kræve viden om produktion, materialelære, nedbrydningsmekanismer, robotteknologi, livscyklusanalyser, risici, forretningsmodeller, IoT og sensorer.

### Forsknings spørgsmål som er ens for eksisterende byggeri og nybyggeri:

- Hvordan skal sensorer og identifikatorer til byggeriet konstrueres for at være robuste, bæredygtige, demonterbare, have en lang levetid og operationstid og kunne benyttes i såvel nye, opgraderede og eksisterende komponenter?
- Hvordan skal digitale teknologier, som Linked Data, benyttes til at lagre bæredygtighedsegenskaber, så de kan indgå i internationalt accepterede datamodeller og analyseværktøjer med semantisk indhold, så de implementerede løsninger er læsbare i årtier?
- Hvordan skabes der digital adgang til relevant information om cirkulært byggeri for byggeriets parter?

### Forsknings spørgsmål alene for eksisterende byggeri:

- Kan kunstig intelligens benyttes til at genkende materialer og komponenter i eksisterende bygninger?
- Hvordan skabes der hurtige, omkostningseffektive, og autonome metoder til registrering, simplificering og genkendelse af komponenter i eksisterende bygninger?
- Hvordan skal digitalt understøttede produktionsmetoder udformes for at øge genanvendelsen i byggeriet?



# Totalværdianalyser og LCA/LCC

Vurdering af totalværdi er vigtigt for at sikre, at beslutninger om konstruktion af nye byggerier eller renovering af eksisterende byggerier tages på et informeret grundlag. Her vurderes et byggeris miljøpåvirkning og omkostninger over hele dets livscyklus fra "vugge til grav". Miljøpåvirkning beregnes via livscyklusvurdering (LCA) og indbefatter alle miljøpåvirkninger fra udvinding og produktion af materialer, over konstruktion og drift af byggeriet frem til nedrivning og bortskaffelse. Totalomkostninger beregnes med life-cycle cost (LCC). Her ses der på alle omkostninger ifm. planlægning af byggeriet, indkøb af materialer, drift, og bortskaffelse. Totalværdi giver hermed et mere komplet billede af et byggeris økonomiske og miljømæssige performance over hele dets levetid. Dette er en fordel, fordi man kan undgå at tage beslutninger, som på kort sigt virker gode, men som på længere sigt ikke kan svare sig.

Totalværdi kan bruges på to måder. 1) Man kan bruge det som del af en certificering (fx DGNB), hvor man herved kan påvise byggeriets performance i forhold til økonomi og miljø. Dette kan bruges til at sammenligne med andre byggerier. 2) Totalværdi kan også bruges under byggeriets tidlige designfase. Dermed kan man teste forskellige muligheder så som forskellige materialer eller mængder af brugte materialer og se, hvilke scenarier, der har de laveste økonomiske og miljømæssige omkostninger. Dette giver mening, da det er i den tidlige designfase, man har mulighed for at tage store beslutninger uden at forårsage forsinkelser eller øgede konstruktionsomkostninger.

### Når nybyggeri og renovering skal holdes op mod hinanden

Totalværdi er dermed ideelt som hjælp til at designe byggerier med en højere værdi og til at dokumentere byggeriernes værdi. Der er dog stadig behov for

forskning i totalværdi på en række områder for at forbedre metoden og sikre, at de værktøjer, som bruges til at støtte beslutninger, er robuste, omfattende og giver tilstrækkeligt retvisende resultater.

I forhold til totalværdiberegninger af nybyggeri og eksisterende byggeri er det i høj grad de samme forskningsspørgsmål, som gør sig gældende. Det skyldes, at totalværdi-beregningen er møntet på de funktioner, som byggeriet skal udfylde, og her kan de samme funktioner, i princippet, opfyldes af nybyggeri eller renovering af den eksisterende bygningsmasse. Der er dog nogle forskningsspørgsmål, som knytter sig tættere til enten nybyggeri eller brug af eksisterende byggeri.

Overordnet set er der behov for forskning i, hvordan de tre dimensioner af bæredygtighed (dvs. miljø, social og økonomi) kan vurderes samlet, og hvordan disse kan bruges til at give en samlet indikation af et byggeris bæredygtighed, samt hvor meget cirkulære principper kan bidrage til at øge byggeriets bæredygtighed. Her kunne man evt. bruge multi criteria decision analysis (MCDA) metoder til at sammenligne forskellige bæredygtighedsindikatorer og dimensioner.

### Behov for nye livscyklus-beregninger

For at det bliver mest effektivt er der behov for metoder til integrering af totalværdiberegninger som en del af den tidlige bygningsdesignfase. Ideelt set bør disse metoder facilitere target value design i forhold til relevante bæredygtighedsbenchmarks. Det er nødvendigt for at designe byggerier, som er bæredygtige i absolut forstand, men som stadig opfylder de funktioner, som kræves af byggeriet. Her bør (gen)brug af eksisterende byggeri og byggematerialer samt andre cirkulære principper tænkes ind

som en del af designet for at opfylde de funktioner, som efterspørges.

Derudover er der beregningstekniske aspekter, som bør undersøges. Det bør for eksempel sikres, at resourcestrømme og ressourcekvalitet medtages systematisk, når materialelegenanvendelse og -udnyttelse modelleres i LCA og LCC. Her er nuværende metoder

ikke optimale til at vise effekter af cirkulært byggeri. På samme måde er antallet af miljøindikatorer mangelfuldt i LCA på byggeri, og der er behov for undersøgelse af hvilke indikatorer, som reelt er relevante, og hvordan de manglende relevante indikatorer kan inkluderes i totalværdiberegninger for at få en beregning, som tager alle relevante miljøpåvirkninger i betragtning.

### Forskningsspørgsmål som er ens for eksisterende byggeri og nybyggeri:

- Hvordan skal vægtning mellem økonomi, social, og miljøeffekter udføres, og hvordan defineres vægtningen? Hvordan kan eksternaliteterne bedst internaliseres?
- Inklusion af sociale påvirkninger og samfundsomkostninger?
- Hvordan beregnes miljøpåvirkninger?
- Hvordan inddrages metoder til modellering af genanvendelse og nyttiggørelse af materialer i byggeriet bedst i relation til at vise effekter af cirkulært byggeri?
- Hvordan kan "target value design" kobles med absolutte grænser for bæredygtighed om at støtte beslutninger for bæredygtigt byggeri?

### Forskningsspørgsmål alene for eksisterende byggeri:

- Hvordan skal (gen)brug af eksisterende byggeri medregnes i totalværdiberegninger?
- Hvilket ressourcepotentiale findes i eksisterende byggeri, hvad er kvaliteten af disse materialer, hvordan prioriteres fremadrettet udnyttelse bedst muligt ud fra totalværdiberegninger?

### Forskningsspørgsmål alene for nybyggeri:

- Hvordan kan totalværdi bedre integreres som del af nybyggeris tidlige designfase evt. som en del af "target value design"?

# CO<sub>2</sub>-indhold i byggematerialer og -processer

Bygning og drift af bygninger og konstruktioner er uden sammenligning den største kilde til CO<sub>2</sub>-udledning på kloden. Mens den energi, og det tilhørende CO<sub>2</sub>-indhold, der medgår til bygningers drift umiddelbart forbruges og ikke kan recirkuleres, repræsenterer de generelt CO<sub>2</sub>-intensive materialer som stål, cement og glas både et energi- og CO<sub>2</sub>-lager, som bevares, så længe produkterne er i brug. Recirkulering af byggematerialerne kan derfor reducere bygningers CO<sub>2</sub>-aftryk væsentligt.

Nationale byggestandarder gælder sjældent for energiforbrug og aldrig for energi- og CO<sub>2</sub> indhold i byggematerialer. De lande, som i kraft af ambitiøse byggestandarder har øget energieffektiviteten af nybyggeri betragteligt, herunder Danmark, oplever nu, at bygningers energiforbrug bliver stadig mindre relevant i forhold til yderligere ressourceeffektivitet. Reduktion af energi- og CO<sub>2</sub>-indhold i byggematerialer og/eller de færdige bygninger bliver dermed det næste oplagte indsatsområde.

En reduktion af byggeriets CO<sub>2</sub>-aftryk via CO<sub>2</sub>-tunge byggematerialer kan opnås ved:

1. at bruge færre af dem
2. at bruge samme mængde, men vælge leverandører, der producerer mere klimavenligt
3. at bruge alternative materialer med mindre klimabelastning
4. at designe byggematerialer eller komponenter beregnet til genanvendelse, og
5. at anvende materialer, der er let genanvendelige.

Alle har potentiale til gennemgribende at forandre måden, vi bygger på. Men hvilke strategier, sektoren kommer til at forfølge, vil afhænge af, hvordan området reguleres. Fordi særligt byggeriet er belastet af indbyggede interessekonflikter mellem stort set alle led i værdikæden fra arkitekt til lejer, er det usandsynligt, at sektoren vil være i stand til at drive en sådan proces på eget initiativ. Regulering kan fx bestå i både nationale og lokale standarder for CO<sub>2</sub>-indhold i byggeri.

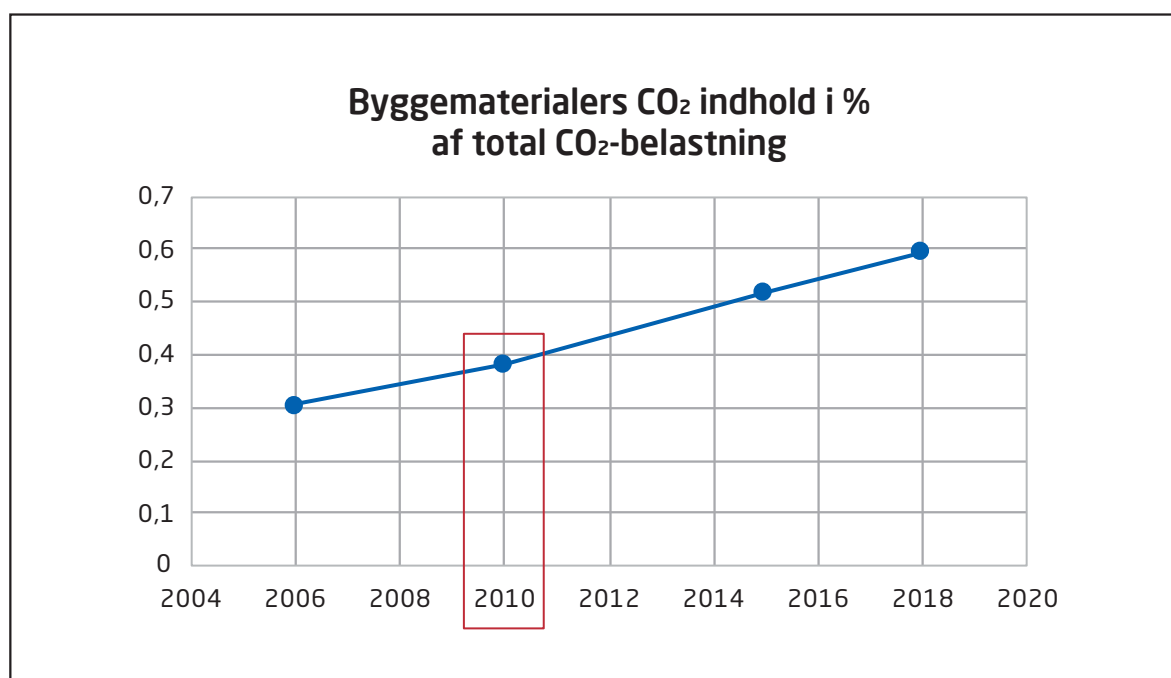
Ifald CO<sub>2</sub>-aftryk af selve byggeriet bliver genstand for regulering, kan det have betydelige konsekvenser for alle led i byggesektorens værdikæder. Arkitekter og konstruktører må ændre materialevalg og designproces for at undgå CO<sub>2</sub>-intensive materialer; entreprenører må finde leverandører, der producerer klimavenligt. Producenter af CO<sub>2</sub>-tunge produkter må finde veje til mere klimavenlig produktion. Nye, CO<sub>2</sub>-lette produkter vil finde vej ind i byggeriet.

'Forbrugs-CO<sub>2</sub>' er væsentligt vanskeligere at beregne end 'produktions-CO<sub>2</sub>' (Paris-aftalens og Kyoto Protokollens grundlag) og kræver et omfattende og løbende opdateret datagrundlag. Principperne er dækket af GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard<sup>38</sup>, som lægger en standard for beregning af Scope 1, 2 og 3 CO<sub>2</sub>-udledninger, hvor Scope 3 dækker CO<sub>2</sub>-indhold i medgåede materialer og eksterne processer. ISO deltager også for at sikre kompatibilitet med ISO 14064. Disse standarder kan blive omdrejningspunkt for industrielt ledede initiativer, fx under Klimapartnerskaberne, til at reducere byggeindustriens CO<sub>2</sub>-aftryk.

<sup>38</sup> <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>

Status for det danske byggeri er ikke kortlagt i detaljer, men en analyse fra 2013 illustrerer tendensen til, at klimabelastningen ved selve byggeriet vejer støt tungere set i forhold til brugen af bygningen (målt over en 60-årig periode). Der kan ekstrapoleres fra målepunktet 2010, hvis det antages, at de syv bygninger i analysen er bygget i henhold til bygningsreglementet 2010. Med de kraftigt øgede krav til energieffektivitet i BR2015 og BR2018, må det antages, at dansk byggeri passerede 50/50 omkring 2015, og at CO<sub>2</sub>-indholdet i byggematerialer i dansk byggeri med BR18 i en gennemsnitsbetragtning nu overstiger CO<sub>2</sub>-belastningen af bygningens energiforbrug målt over 60 år.

Dataene skal tages med forbehold, datagrundlaget er meget spinkelt<sup>39</sup>, og energistandarderne introduceret i 2015 og 2018 er sat i forhold til det samme CO<sub>2</sub>-indhold i byggematerialer, som er analyseret i referencen. Tallene er formentlig konservative, da der ikke er taget hensyn til den hastigt faldende CO<sub>2</sub>-intensitet i energisektoren. Siden 2010 er den danske CO<sub>2</sub>-intensitet i elektriciteten faldet til omkring det halve. CO<sub>2</sub>-intensiteten i varmeforsyningen er meget varierende, fordi der er tale om lokal forsyning, men tendensen er den samme (se beregning i Appendiks 2).



Figur 11. Byggematerialers CO<sub>2</sub>-indhold i % af total CO<sub>2</sub>-belastning.

<sup>39</sup> Birgisdóttir, H., Mortensen, L. H., Hansen, K., & Aggerholm, S. (2013). SBI 2013:09: Kortlægning af bæredygtigt byggeri (1st Editio). Copenhagen: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Retrieved from [http://www.sbi.dk/miljo-og-energi/beredygtighedsvurdering/kortlaegning-af-baeredygtigt-byggeri/sbi-2013-09/at\\_download/file](http://www.sbi.dk/miljo-og-energi/beredygtighedsvurdering/kortlaegning-af-baeredygtigt-byggeri/sbi-2013-09/at_download/file).



## Forskningspørgsmål som er ens for eksisterende byggeri og nybyggeri:

- Hvordan vil standarder for reduceret CO<sub>2</sub>-indhold i byggeri påvirke byggematerialer, -processer og -værdikæder?
- Hvordan vil lovgivningsbaserede, standardbaserede eller de facto CO<sub>2</sub>-budgetter påvirke dynamikker mellem aktører i sektoren? Hvilke uhensigtsmæssige incitamenter vil opstå i tilgift til de allerede eksisterende?
- Industrien ønsker en simpel beregning af Scope 3 udledninger. Hvilke shortcuts kompromitterer ikke mål om reduceret CO<sub>2</sub>- eller ressourcetryk? Hvilken læring for LCA kunne findes her?
- Hvordan tilvejebringes, opdateres og formidles et brugbart datagrundlag for beregning af Scope 3 emissioner som et praktisk styringsredskab i byggeprocesser fra start til slut samt balancering med efterfølgende drift, herunder både energiforbrug og vedligehold/renoveringsbehov, dvs. de valgte materials holdbarhed.



# Innovation i cirkulært byggeri

## Indledning

Byggeriets parter består af relativt få meget store virksomheder og mange små og mellemstore virksomheder (SMV'er). Forsknings- og udviklingsbudgetterne i de større firmaer er i øjeblikket ganske begrænsede sammenlignet med andre brancher, og udviklingsbudgetterne er for SMV'erne nærmest ikke-eksisterende. For indeværende sker meget af branchens forskning, udvikling og innovation via fondsmidler. For at der i branchen kan ske en omstilling til mere innovation, er det nødvendigt, at de større firmaer i højere grad investerer i udvikling og innovation samt implementering, samtidig med at SMV'erne får støtte til at deltage.

## Innovation i forhold til cirkulært byggeri:

- Udvikling og nytænkning af løsninger og processer for nybyggeri i forhold til bygningers design, projektering og udførelse. Udvikling og nytænkning skal tilgodese mindre råstoftræk, mere materiale-genanvendelse inklusive upcycling, mulig adskillelse ved endt brug, mindre affald, mindre CO<sub>2</sub>-udledning samt udfasning af farlige stoffer regnet for byggeriets hele levetid og genanvendelsespotentiale.
- Udvikling og nytænkning af løsninger og processer for renovering af bygninger i forhold til ændret design samt projektering og udførelse. Udvikling og nytænkning skal tilgodese mest mulig genanvendelse af råhus og materialer med henblik på mindre affald og mindre råstoftræk blandt andet ved genanvendelse af byggematerialer, komponenter og bygningsdele. Udvikling og nytænkning skal bidrage til at mindske CO<sub>2</sub>-udledning og udfasning af farlige stoffer for bygningens restlevetid og genanvendelsespotentiale.
- Innovationen kan udføres som selvstændige projekter eller indgå som pilotprojekter eller delelementer af forskningsprojekter.

## Visioner for innovation, der rækker til 2024:

*Visioner listet i forhold til bygværkets faser er:*

- Materiale fremstilling - at der sker en prioritering af CO<sub>2</sub>-tunge materialer og udvikling af fremstillingsmetoder, som reducerer CO<sub>2</sub>-belastningen. Her tænkes særligt på cement og beton.
- Byggekomponenter, - at der, hvor det er funktionsmæssigt muligt, sker en erstatning af CO<sub>2</sub>-tunge bygningskomponenter med mindre CO<sub>2</sub>-belastende konstruktioner, for eksempel betonkonstruktioners erstatning med trækonstruktioner, og trækompositmaterialer, og med dokumentation for CO<sub>2</sub>-besparelse.
- At der sker en projektering ud fra genanvendelse af kasserede bygninger / bygningsdele. At der findes byggemarkeder / hoteller for genanvendelige materialer, inklusive online kataloger og data: Beskrivelse af egenskaber for de genanvendelige materialer, bygningsdele inkl. beregning for reduceret CO<sub>2</sub>.
- At der for både nybyggeri og for renovering sker en projektering af samlingsmetoder med henblik på adskillelse.
- At der genereres mindre affald.
- At der for drift og vedligeholdelse af byggeriet sker en udvikling af materialer og vedligeholdelsesmidler med fokus på restlevetid og udfasning af farlige stoffer.



- Nedrivning og projektering af nedrivning med henblik på mest mulig genanvendelse og fokus på upcycling samt udfasning af farlige stoffer.

#### *Visioner listet i forhold til medvirkende processer i bygningens livscyklus*

- At der sker en projektering med fokus på både LCA og LCC, livscyklus miljøanalyse og livscyklusøkonomi.
- At der sker en udvikling i den industrielle produktion ud fra en forudsætning om, at denne fremstillingsform kan tilgodesee et effektivt materialeforbrug og minimere materialespild.
- At der sker en udfasning af miljø- og sundhedsfarlige stoffer.
- At der sker en udvikling og en solid implementering i både store og små firmaer af digital projektering, inklusive fastlæggelse af materialebibliotek og prioritering af nødvendige og håndterbare data og tilpasning, efter afprøvning, af håndterbare BIM-applikationer.
- At der sker en udvikling af digitalt projekteringsgrundlag, også ved renovering og med let tilgængelighed for SMV'er.
- At der ved udførelsen sker en reduktion af energiforbrug på byggepladsen og en reduktion af CO<sub>2</sub>-udledning på byggepladsen.
- At der sker en udvikling i adskillelsmetoder og redskaber dertil med henblik på genanvendelse og upcycling.
- At der sker en udvikling af parternes, (bygherres, projekterendes, udførendes, brugers) indsigt i konsekvenser af egne beslutninger og handlinger i forhold til cirkulært byggeri. Og at der sker en udvikling i kommunikation og forpligtende samarbejde mellem parterne, så fejl og mangler undgås.

### **Effekter af innovation:**

Innovation inden for cirkulært byggeri kan give anledning til udvikling af bygningers design som konsekvens af ændringer i materialevalg med blandt andet mindre CO<sub>2</sub>-belastning og fokus på levetid. Generelt vurderes det, at lang levetid for bygninger og bygningsdele er en væsentlig og positiv parameter for det cirkulære byggeris regnskab. Dermed bidrager cir-

kulært byggeri til mindre ressourcetræk og er mindre CO<sub>2</sub>-belastning og således et samlet positivt bidrag til miljøet og til klimaet. Udfasning af farlige stoffer giver bedre miljø for natur og for mennesker. Mindre affald giver bedre muligheder for arealanvendelse og for natur.

Gode og veltilrettelagte projekterings- og udførelsesprocesser, hvor parterne kender og opfylder deres roller og ansvar, bidrager til, at både produkt og proces indfrier bygherrens ambition og vision til cirkulært byggeri. Som forudsætning herfor vil der være en efterspørgsel på kvalificeret arbejdskraft og ledelse, blandt andet hvad angår digitale kompetencer og digitale strategier, samt håndværksmæssige kompetencer og strategier. Effekten af visionen om det cirkulære byggeri er en efterspørgsel på indsigt og kompetencer på ordinære uddannelser og på efter- og videreuddannelser for medarbejdere hos både store og små virksomheder.

Verden over arbejdes der med tiltag for nedsættelse af CO<sub>2</sub>-bidrag og forbedring af klima. Innovationen for cirkulært byggeri vil i stort omfang kunne indgå i hele eller dele af eksportløsninger.

### **DTUs fagligheder og evt. andre forskningsinstitutioner, der skal spille sammen for realisering af visionerne for innovation:**

DTU har stærke fagligheder inden for materialer og deres egenskaber, inklusive CO<sub>2</sub>-belastning. Især cement, beton, træ, trækomposit. Der er brug for viden og metoder til at analysere og vurdere ressourcen i byggeriets og industriens affald samt til udvikling og beskrivelse af genanvendte materialer og komponenters egenskaber i forhold til blandt andet last, brand, lyd og fortsat vedligeholdelse. Der er brug for indsigt og udvikling for udfasning af farlige stoffer samt miljøvurdering af nye stoffer, der finder anvendelse, ikke mindst inden for kompositmaterialer.

For at cirkulært byggeri bliver en succes under projektering og under udførelse, er der brug for, at DTU's kompetencer bidrager til design ved fleksibel produktion. Det gælder også med hensyn til nye materialer på pladsen og effektiv implementering, som overholder tid og økonomi.

Der er brug for udvikling af konstruktionssamlinger i bygninger med fokus på nem adskillelse og anvendelse i genbrug/upcycling.

Det cirkulære byggeri skal dokumenteres. Der er brug for DTU's kompetencer for fortsat udvikling af nemt anvendelige LCA- og LCC-værktøjer og de bagvedliggende databaser, som skal tilpasses i forhold til genanvendte materialer. Der er brug for afklaring af aktørernes nye roller og ansvar, og afklaring af risiko-forhold samt den deraf følgende nødvendige økonomi.

DTU's kompetencer inden for digitale redskaber er vigtige bidrag ved udvikling af projekterings faser og byggeriets faser, og de er også vigtige bidrag i forhold til bygværkets styring og vedligeholdelse af bygværkets anlæg, datahøst og realistisk effektivisering af drift.

### Ændringer til politik og regulering for at effekterne af innovation kan opnås:

Udvikling af cirkulært byggeri indeholder mange delelementer af teknisk og praktisk karakter. For at cirkulært byggeri kan udvikles, er der behov for at justere en række grænseflader mellem love, bekendtgørelser, regulativer, normer og standarder:

- Mærkningsordninger af genbrugsmaterialer, genanvendte materialer, for beskrivelse af materialernes egenskaber.
- Offentligt byggeri og offentligt støttet byggeri har regler for anlægsomkostningsniveauer, som kan modvirke langsigtede løsninger.
- Bygningsreglementet stiller krav til nybyggeri om blandt andet brandsikring, fugt i vådrum, lydreduktion og meget andet, som specielt i renoverings-

situationer kan modvirke mere cirkulære løsninger med mulighed for genanvendelse: Nye detaljer/materialer/etageadskillelser.

- Lokalplaner skal have mulighed for at fastsætte krav der fremmer cirkulært byggeri
- Tilpasning af ydelsesbeskrivelser for bygherrer, arkitekter, ingeniører og entreprenører for afklaring af grænseflader af roller og ansvarsplacering for cirkulært byggeri, samt inddragelse af risikovurdering og evt. forsikringsordning.
- Byggetilladelsen kan være myndighedernes overblik over bygningers ressourcestræk og miljøpåvirkning. Der kan stilles krav om LCA og LCC ved byggetilladelse. Der kan udvikles en økonomisk fastsættelse i forhold til ambitionen for den indleverede LCA.
- Der findes en række mærkningsordninger og certificeringer, som kan udvikles yderligere: DGNB/Svanemærkning/EU-certificering og andre certificeringer, også således at mærkningerne dækker renovering og er nemt håndterbare også for SMV'er. Der kan stilles krav til både private og offentlige bygherrer om certificering af byggeri ved brug af de nævnte ordninger.

### Forslag til innovationsspørgsmål

Der er innovationsbehov inden for nybyggeri og renovering, og der er innovationsbehov i forhold til projektering og udførelse. Innovationstiltagene retter sig mod hele branchen med særlig fokus på SMV'er:

## Innovationsspørgsmål for både eksisterende byggeri og nybyggeri.

Svar på spørgsmålene kan blandt andet findes ved relativt afgrænsede innovationsprojekter, som kan bidrage til og integreres i større forskningsprojekter. Innovationsprojekterne kan tage udgangspunkt i konkrete cases, hvor svar, løsninger og udvikling kan bredes ud og generaliseres.

- Hvordan implementerer vi LCA og LCC i projekteringen, især hos SMV'er, og hvilke krav kan med rimelighed stilles til SMV'erne? Hvilke incitament er der hos SMV'er for fremme af cirkulært byggeri og for anvendelse af LCA og LCC, og hvilke uddannelsesbehov vil der opstå hos SMV'erne?
- Hvilke relevante bygningsmaterialer: Beton, trækomposit mm. kan udvikles i 3D print, med fokus på at udnytte fleksibelt design og bidrage til cirkulært byggeri?
- Hvordan kan vi ved projektering af konstruktioner udvikle samlingsmetoder, som kan adskilles i rene fraktioner efter endt brug? Hvordan kan dette ske, så samling og adskillelse er robust og rationel ved hjælp af automatiserede arbejdsgange, udviklet fx i DesignBuildLab?
- Hvilke affaldsfraktioner fra byggeri og industri kan bringes ind i produktion af nye byggematerialer?
- Hvordan implementeres relevante og håndterbare digitale redskaber hos SMV'er?
- Hvilke typer træ og træbaserede produkter kan erstatte cement- og betonbaserede konstruktioner og bidrage til CO<sub>2</sub>-reduktion? Er der inspiration at hente i Norden?
- I hvor stor grad lever bæredygtighedscertificeret byggeri efter en årrække op til certifikatets niveau og bidrag til cirkulært byggeri? Hvilke ændringer i certificeringskrav er der behov for?
- Hvilke uddannelsesbehov og -indhold er der i branchen, inkl. SMV'er og erhvervsskoler, for at implementere cirkulært byggeri?

# Cases fra sektoren og illustrative citater fra interviews

## Lendager

### Genanvendelse som et kreativt benspænd

For Lendager holder cirkulært byggeri ikke kun hus med materialerne, men tilfører også æstetiske og kulturhistoriske værdier.

”Desværre har mange af os en indgroet fordom om, at nye materialer er de bedste, mens ældre materialer er knap så gode. Det er ikke nødvendigvis rigtigt. For eksempel så vi for nylig i et projekt for en kommune, at de ældre materialer havde god styrke, mens de materialer, som var af nyere dato, reelt ikke levede op til specifikationerne.”

Citat Ditte Lysgaard Vind, managing partner i Lendager TCW, som er en af Danmarks førende virksomheder inden for cirkulært byggeri. Et eksempel er projektet Ressourcerækkerne i Ørestaden, hvor det lykkedes at få lov til at genanvende mursten fra et ældre byggeri, Carlsbergbyen. Eksemplet viser, at cirkulært byggeri ikke kun handler om at holde hus med ressourcerne, understreger Ditte Lysgaard Vind:

”De gamle mursten har en æstetisk værdi, som nye mursten ikke har. Samtidig bevarer man et stykke københavnsk kulturhistorie. Endelig er der indlejret CO<sub>2</sub> i mursten, så når man genanvender mursten i stedet for at knuse dem, opnår man en klimagevinst.”

En tilsvarende, opmuntrende tendens er at lade dele af bygninger stå, selvom de skal indgå i en helt ny sammenhæng.

”I København er der for eksempel flere tidligere industribygninger, som er omdannet til boliger, men hvor

man har ladet meget af den oprindelige bygning blive stående. Det kan kun lade sig gøre, fordi man har haft en anden tilgang til opgaven end at gå ud fra en tom byggegrund, som man traditionelt ville have gjort. Når man vælger at betragte bevarelsen af kernen af den gamle bygning som et positivt, kreativt benspænd, vil man opdage, at man får en værdiforøgelse, der rækker ud over blot murstenenes værdi.”

### Det cirkulære skal ind tidligt

I samarbejde med Pension Danmark udførte Lendager en kortlægning af potentialet for genanvendelse af byggematerialerne ved hele deres byggefelt Trælåsten i Aarhus.

”Der er rigtig mange materialer derude. Udfordringen er at etablere en professionel infrastruktur og planlægge processen i tide, så vi kan forbedre økonomien i at genanvende dem og samtidig minimere risikoen.”

”I virkeligheden behøver det ikke koste ret meget ekstra tid at afmontere en bygning med henblik på genanvendelse. Moderne nedtagning er i forvejen en proces, som er planlagt til mindste detalje, og hvor man separerer materialerne i fraktioner. Problemet opstår, hvis man først sent i processen finder ud af, hvad man ønsker at genanvende. For så rækker man ved en omfattende planlægning - og så bliver det dyrt. Med andre ord er det vigtigt, at alle fra starten ved, hvilke byggematerialer som skal genanvendes,” siger Ditte Lysgaard Vind.

”Pointen er, at vi ikke kun skal tale om de produkter, der indgår i byggeriet, men i høj grad også om processer. Derfor er jeg også rigtig glad for, at DTU Management er et af de institutter, som medvirker i sektorudviklingsprojektet om cirkulært byggeri.”

## Forskning kan mindske usikkerhed

Det offentlige har en afgørende rolle at spille, når det cirkulære byggeri skal på skinner, understreger Ditte Lysgaard Vind:

”Det kan kun lade sig gøre at skalere tingene op, hvis efterspørgslen følger med, når vi udvider kapaciteten. Et af de forhold, som dæmper efterspørgslen, er, at kunderne er usikre på risikoen ved at benytte genanvendte materialer. Desværre er der en opfattelse af, at risikoen er større, end den ofte reelt er. Derfor har vi brug for, at det offentlige går foran. Samtidig har vi brug for DTU og andre til at påvise, hvad der er den reelle risiko kontra den oplevede risiko.”

”I den forbindelse er jeg tilhænger af de såkaldte materiale-pas, hvor man forsyner givne materialer med en deklaration for deres egenskaber ved anvendelse og senere genanvendelse. Det vil ikke kun være relevant ved nybyg. Jeg forestiller mig, at det kan være en stor hjælp i vedligeholdelsen af bygninger, at man kan være på forkant med udskiftning af bygningsdele frem for at vente, til skaden er sket. På den måde vil materiale-pas adressere begge de to megatrends, som vi ser inden for byggeriet i disse år, nemlig øget fokus på dels property-tech, dels bæredygtighed.”

## RGS Nordic

### Nu kommer den genanvendte beton

Teknisk er det muligt at nedknuse gammel beton og bruge den til at producere ny beton. Men stive udbudsregler hæmmer udbredelsen.

Virksomheden RGS Nordic har udviklet teknologi, der er i stand til at omdanne kasseret beton til råvare for produktion af ny beton. Udbudsreglerne står imidlertid i vejen for salget af genanvendt beton.

”Når en nedrivning sendes i udbud, burde det fremgå, at genanvendelse af betonen skal sikres. Man kunne måske tro, at det allerede var fast praksis, men det er desværre ikke tilfældet. Dermed har nedriveren, som vinder opgaven, ingen motivation til at sikre genanvendelse,” siger Ebbe Tubæk Naamansen, Head of Group Sustainability, RGS Nordic.

”Udbudsreglerne er også en barriere senere, når beton med genanvendt tilsatsmateriale skal anvendes. Her burde det være en positiv faktor, at man bygger cirkulært, men det er endnu ikke tilfældet.”

RGS Nordic er specialister i behandling af forurennet jord, industrispildevand samt genanvendelse af byggeaffald. Virksomheden behandler ca. 1/3 af Danmarks affald fra bygge- og anlægsprojekter. I øjeblikket sker næsten al udnyttelse af beton-affald som anvendelse til vejfyld.

”Kasseret beton indeholder sten af høj kvalitet. Dette udnyttes ikke, når det kasserede materiale anvendes som fyldmateriale til veje. Derfor er det en langt bedre løsning at oparbejde kasseret beton som tilslagsmateriale til ny beton,” siger Ebbe Tubæk Naamansen.

### Næste skridt er opskalering

RGS Nordic har udviklet teknologien til genanvendelse af i samarbejde med DK Beton. Tilslagsmaterialet er certificeret, lige som den færdigproducerede beton også er certificeret, så kunderne har garanti for, at produktet lever op til de samme specifikationer som beton produceret ud fra jomfruelige materialer. Dermed gælder også det samme producentansvar, og man kan forsikre sig på normale vilkår.

DK Beton aftager 15.000 ton tilslagsmateriale årligt. Til sammenligning er den samlede årlige mængde af kasseret beton i Danmark mellem 1 og 1,5 millioner ton.

"Indtil videre er det en lille andel, der bliver genanvendt i ny beton. Men vi har vist, at teknologien fungerer, så udfordringen er nu at bringe tingene op i skala. Det kræver yderligere industrialisering af processen, så økonomien bliver bedre. Vores nuværende anlæg har begrænset kapacitet, så vi skal investere i en udvidelse," siger Ebbe Tubæk Naamansen. Han tilføjer, at tiden arbejder for det cirkulære byggeri:

"Der er masser af råstoffer i den danske undergrund, men det er langt fra alle steder, hvor man kan få lov at anlægge en grusgrav. Vi bor her jo! Vi skal også have grusgrave i fremtiden, men det vil være ønskeligt at kunne nøjes med færre end i dag. De resterende materialer kan man så skaffe gennem genanvendelse."

### Markedet må hjælpes på vej

Engang i fremtiden vil knaphed på tilgængelige råvarer presse prisen på de jomfruelige råstoffer op, så vilkårene for genanvendelse bliver bedre. Men der er ingen grund til at vente på, at den situation opstår, understreger Ebbe Tubæk Naamansen:

"Der findes jo måder, hvorpå man kan ændre markedsvilkårene for at fremme den udvikling, som man ønsker. For eksempel kunne man øge den råstofafgift, som allerede findes ved udvinding af jomfruelige råstoffer. Eller man kunne benytte den hollandske model, hvor man opnår en skattefordel ved at bygge med genanvendte råvarer."

"For vores del kan vi sige, at vi har skabt det nødvendige tekniske fundament. Nu handler det om at få etableret et marked, der kan fremme cirkulært byggeri."

## Bygherreforeningen

### Ligestil genanvendte materialer med nye

Byggherreforeningen efterlyser ensartede termer og regler for henholdsvis jomfruelige og genanvendte byggematerialer.

"I dag anvendes én terminologi og ét sæt regler for nye materialer og en helt anden terminologi og andre regler for genanvendte materialer. Det gør det svært at gennemskue markedet. Hver eneste gang, man gennemfører et projekt, skal man foretage en individuel vurdering af de materialer, man vil genanvende. På den måde kan cirkulært byggeri ikke være konkurrencedygtigt i forhold til traditionelt byggeri."

Sådan sammenfatter projektchef Graves K. Simonsen, Bygherreforeningen, situationen. Foreningen er interesseorganisation for professionelle bygherrer. De 175 offentlige, almene og private medlemmer omfatter en stor del af byggeriets vigtigste beslutningstagere.

"Cirkulært byggeri foregår primært som demonstrationsprojekter indtil videre. Det er nødvendigt i en overgangsfase, men vi skal gerne videre. Problemet er, at de genanvendte materialer - træ, tagsten, beton osv. - ikke er hyldevarer. Ofte vil der være en transformationsomkostning, som skal afholdes, inden produktet kan genanvendes. Så længe kunden ikke er sikker på, hvad han køber, kan de genanvendte materialer ikke konkurrere på lige fod med nye."

En løsning kunne være bedre deklaration af egenskaberne for genanvendte materialer, mener Graves K. Simonsen:

"Jeg ved jo, at DTU og andre arbejder med at udvikle materiale-pas. Efter min mening skal passet ikke kun være for genanvendte materialer, men for alle materialer. Også nye materialer bør komme med en deklaration, der fortæller, hvad de indeholder, og hvilket potentiale der vil være for at genanvende dem på længere sigt."

## Evidens frem for mavefornemmelse

"I det hele taget har DTU en vigtig forskningsmæssig rolle at spille, så vi kan få fjernet noget af den usikkerhed, som omgærder cirkulært byggeri i dag."

"Jeg ser det som uundgåeligt at benytte afgifter til at styre forbruget af ressourcer i retning af genanvendelse frem for jomfruelige råstoffer. Samtidig er det vigtigt, at en omlægning af afgiftssystemet sker på et oplyst grundlag. Det vil være nyttigt at få DTU på banen. Når vi taler om radikale ændringer, vil det være rart at vide, at vi ikke baserer os på mavefornemmelser, men har evidens bag."

"Desuden skal vi naturligvis være sikre på, at de ændringer, som vi laver, ligger inden for EU-lovgivningen. EU har for nyligt lanceret et udkast til en strategi og handlingsplan for cirkulær økonomi og er i det hele taget en positiv faktor, men tingene er endnu ikke blevet så konkrete, når det gælder byggeområdet. Fx har EU endnu ikke taget fat på udvikling af materialer, men det bør ikke afholde os fra at gå videre ad den vej."

## Rigide regler for byggeaffald

Bygherreforeningen har et stående Bæredygtighedsudvalg.

"Inden for bæredygtighed vil man jo gerne arbejde med flere bundlinjer, så sociale og miljømæssige fordele kommer til deres ret. Alligevel ender man ofte med, at økonomien dominerer. Det er altid nemmere at gøre den økonomiske bundlinje op, fordi vi kan beskrive den i klassiske termer. Det ligger tungere med de andre bundlinjer," siger Graves K. Simonsen.

Han tilføjer, at det vil være oplagt at starte med affaldssiden:

"Her har vi jo trods alt en regulering i dag. Problemet er, at affaldslovgivningen er dårligt egnet til at fremme genanvendelse. Reglerne er meget rigide, fordi de har som udgangspunkt, at affald er et miljøproblem - ikke en mulig ressource, som det er høj grad af tilfældet med byggeaffald. Vi er nødt til at skabe en ny form for lovgivning, der tager højde for den samfundsmæssige værdi, som genanvendelse medfører."

## MT Højgaard

### Comeback til det gedigne håndværk

Med fleksibel tankegang og godt håndværk behøver cirkulært byggeri ikke være dyrere end traditionelt byggeri, mener man hos MT Højgaard.

"Efterhånden er det jo blevet sådan, at tømrerens bedste ven er en fugepistol. Der er ikke fokus på at designe de samme håndværksmæssige gode sammenføjninger, som vi kender fra tidligere tider. Men når vi klistrer alting sammen, bliver det sværere at skille tingene ad igen og dermed også at genanvende de forskellige fraktioner."

Citat Ninette Alto, teknisk direktør, bæredygtighed & CSR, MT Højgaard.

"Det er vigtigt for mig at få sagt, at bæredygtigt byggeri ikke nødvendigvis er dyrere end andet byggeri. Dette er desværre en udbredt misforståelse. Heldigvis ser vi byggeri, der lever op til den tyske standard for bæredygtighed DGNB, og hvor prisen er helt på niveau med traditionelt byggeri."

Der er imidlertid også tendenser i branchen, som modarbejder cirkulært byggeri:

"I de senere år er det blevet udbredt at betragte bygningernes overflader som "tapet". Man beklæder lette facader, der giver en flot visuel effekt. Det sker velvidende, at folk relativt hurtigt vil blive trætte af at se på facaden. Den kan så let skiftes til en anderledes, lige så flot effekt. Ulempen er dog, at der produceres byggeaffald hver gang."

### Byggeprocesser vigtigere end materialer

Ifølge Ninette Alto er det mere interessant at diskutere byggeprocesser frem for de konkrete materialer i byggeriet:

"For eksempel kan det godt være, at træ er mere bæredygtigt end så mange andre materialer. Men hvis vi alle sammen går over til træ, vil der ikke være træ nok, og da slet ikke, hvis vi også skal bruge træ som alternativer til plast. Det var tidligere tiders overforbrug, der skabte skovloven."



Ifølge Ninette Alto er tiden inde til at genoplive nogle af byggeriets traditioner. For eksempel tænker de fleste i dag på bindingsværk som et dekorativt, men lidt fortidigt element. Men faktisk var der en praktisk begrundelse for metoden:

”Bindingsværk er en fleksibel byggemetode, som tillader, at bonden kan afmontere dele af bygningerne og genanvende dem til andre formål i takt med, at gårdens behov ændrer sig. Cirkulært byggeri kræver den samme tankegang.”

### Unge gør op med brug-og-smid-væk

Heldigvis er der en udvikling i gang, som vil understøtte et comeback til godt håndværk, mener Ninette Alto:

”Den generation, som er på vej ind på boligmarkedet, har andre krav end deres forældre. Det er yngre mennesker, der har været opfostret som deres forældres projektbørn. Samtidig har forældrene ikke været ret meget til stede, blandt andet fordi de har haft travlt med at tjene penge til at opretholde store, flotte boliger. De unges oprør ligger i et nyt liv, hvor familien bruger mere tid sammen, men på færre kvadratmeter. Boligen må altså gerne være mindre, men til gengæld skal materialerne og håndværket være af høj kvalitet. De har fokus på fællesskab og deling. Derfor skal tingene holde i stedet for at være brug-og-smid-væk.”

”I den sammenhæng ser jeg en vigtig rolle for DTU i at opfange sådanne nye tendenser. Den tekniske forskning på byggeområdet bør hænge endnu tættere sammen med etnologisk forskning, end det er tilfældet i dag. Hvilke kvaliteter er det egentlig, som mennesker efterspørger fra bygningerne og miljøet omkring dem? Hvad er helheden? Jeg ved godt, at DTU allerede arbejder med dette, men det kan måske godt være mere centralt og stærkere profileret. Jeg tænker også, at forskningen i godt indeklima og andre, beslægtede områder kan integreres mere.”

## Gladsaxe Kommune

### Skole leverer råvarer til nyt børnehus

Nænsom nedrivning sætter Gladsaxe Kommune i stand til at genanvende 80 % af materialerne.

Når Gladsaxe Kommune river en gammel skole ned, foregår det ifølge ejendomschef Niels Thygesen, ”med pincet”:

”Det vil sige, at vi skiller bygningerne ad i en lang række fraktioner. En håndfuld materialer - i dette tilfælde bl.a. mursten, tagsten, metalplader fra facadebeklædning samt spær - har vi fundet velegnede til genanvendelse i et nyt børnehus på samme sted.”

Samtidig har kommunen stillet krav om, at mindst 80 % af materialerne skal genanvendes, og højst 5 % må ende på deponi.

”Selvom man ikke kan genanvende materialet til det oprindelige formål, kan man måske alligevel finde en anvendelse for det.”

### Genanvender hele betonelementer

Gladsaxe Kommune har længe arbejdet med bæredygtighed med bl.a. fokus på energibesparelser og CO<sub>2</sub>-reduktion. I de seneste år er man også begyndt at interessere sig for cirkulært byggeri, herunder genanvendelse af materialer fra bygninger.

”Så sent som for 3-4 år siden var det stadig tankegangen, at det bedst kunne betale sig at rive en forfalden bygning ned og opføre en ny med nye materialer. Det er vi på vej bort fra. For det første er der meget CO<sub>2</sub> at spare ved at genanvende materialerne. For det andet er der pres på ressourcerne. Når resten af verden skal op på vores standard, vil det kræve enorme mængder af materialer, og det vil slet ikke være muligt at fremstille så store mængder af nye materialer. Derfor skal vi begynde at genanvende byggematerialer nu,” siger Niels Thygesen.

Et andet eksempel på kommunens nye tankegang er forberedelsen af en udvidelse af Gladsaxe Genbrugsplads:

”Jeg drømmer om, at genbrugte betonelementer kom-

mer til at indgå i anlægsarbejdet. Der sker jo allerede i dag betydelig nedknusning af beton med henblik på genanvendelse som fyldmateriale og til fremstilling af ny beton, men det er processer, som koster på CO<sub>2</sub>-regnskabet. Der er meget at hente, hvis man i stedet kan genanvende betonelementerne, som de er, uden nedknusning. Det er ikke muligt altid, men på en genbrugsplads tror jeg på, at der er muligheder.”

## Efterlyser markedsmekanismer for genanvendelse

Ifølge Niels Thygesen er der flere barrierer, som skal overvindes for at skabe cirkulært byggeri:

”For eksempel ved vi, at det er muligt at genanvende mursten, men kun under forudsætning af, at stenene renses. Rensningen koster penge, så de genanvendte sten bliver ofte lige så dyre, eller måske dyrere, end nye sten. Hvem skal løbe denne økonomiske risiko? Og hvad med spær – vi vil gerne genanvende dem, men vi har brug for en garanti for, at der er tilstrækkelig styrke tilbage i dem. Der er brug for nogle kontrol- og markedsmekanismer, der skaber en vej gennem de udfordringer, der nu engang er forbundet med at genanvende.”

”Som kommune har vi mulighed for at omgå nogle af den slags barrierer. Det er lettere at få kommunalbestyrelsen til at tage en velundersøgt, økonomisk risiko, når det er vores egne materialer, som vi ønsker at genanvende. Imidlertid passer tingene jo ikke altid sammen tidsmæssigt, så nedrivningen af en kommunal bygning falder sammen med opførelsen af en ny. Derfor har vi den samme interesse som alle andre i, at der udvikles markedsmekanismer, så man kan sælge og købe genanvendte materialer.”

Samtidig er det nødvendigt med nye former for samarbejde, mener Niels Thygesen:

”For eksempel har kommunalbestyrelsen vedtaget, at alle nye børnehuse skal være Svanemærkede. Så nytter det jo ikke noget, at når der skal males et par år senere, at der så vælges en tilfældig maling. Jeg vil som bygherre gerne have et system med entydigt ansvar. Derfor er jeg tilbageholdende med bygherre-leverancer, hvor bygherren vælger og leverer materialerne. Jeg kan bare ikke se, at vi kan komme uden om delt ansvar, når vi ønsker at fremme cirkulært byggeri. Tingene bliver mere komplicerede, men jeg kan ikke se anden vej, end at vi må udvikle nye samarbejdsmodeller.”

## DTU CAS

### DTU tager egen cirkulær medicin

Alle nybyggerier og større ombygninger på DTU's campus skal leve op til den internationale standard for bæredygtighed DGNB.

I 2019 besluttede DTU's Campus Service, at alle nye byggerier og større ombygninger på universitetet fremover skal certificeres efter den tyske standard for bæredygtigt byggeri DGNB, som de facto er international standard på området.

”DTU har haft en overordnet strategi for bæredygtighed længe, og for to år siden indledte vi arbejdet med at tænke bæredygtighed mere struktureret ind i de projekter, hvor vi har rollen som bygherre. Vores kolleger var meget positive over for tanken, men også tøvende over for, hvordan de skulle gribe tingene an konkret,” siger Lisbet Michaelsen, bæredygtighedskordinator i Campus Service.

Et af kravene i DGNB er, at man gennemfører livscyklusanalyser (LCA) for de materialer, som anvendes i projektet. Her er timing afgørende, understreger Lisbet Michaelsen:

”Når et byggeri først er besluttet, ligger der altid en stram tidsplan, som det vil være dyrt at forsinke.”

Derfor har DTU CAS udarbejdet en guide, der beskriver byggeriets faser og vejleder medarbejderne i, hvilke spørgsmål de skal stille hvornår i processen.

”Interesserer man sig for eksempel for valget af materialer i et nybyggeri, kan man tit få af vide af arkitekten, at man er for tidligt ude. Når man så vender tilbage til sagen senere, er det i mellemtiden blevet for sent, for nu er det besluttet at bygge i et bestemt materiale. Guiden skal hjælpe med at sikre, at vi når at få spørgsmålene om bæredygtighed ind på de rigtige tidspunkter.”

### To slags gulvbeklædning

Siden arbejdet med bæredygtighed i DTU's byggeprojekter blev indledt for to år siden, har meget ændret sig:

"I starten måtte jeg hele tiden rende efter folk, men nu kommer kollegerne til mig med spørgsmål. På den måde er der sket et kæmpe løft," siger Lisbet Michaelsen med et smil. Nogle gange må hun dog skuffe den spørgende:

"Folk kunne godt tænke sig, at jeg gav dem en tjekliste med ti punkter, som de skulle sætte flueben ved. Men så enkle er tingene desværre ikke."

Som eksempel nævner Lisbet Michaelsen valget af gulvbeklædning i en ny bygning:

"Blandt de materialer, som vi overvejede, skilte et sig ud som lidt bedre end de andre miljømæssigt. Men vores rengøringspersonale foretrak et andet materiale, fordi det er nemmere at gøre rent, mens et tredje materiale havde lidt bedre egenskaber i forhold til slitage. Eksemplet viser, at du ikke bare kan udnævne et bestemt materiale til at være det mest bæredygtige valg. Det handler altid om en helhedsvurdering ud fra funktionen i den konkrete bygning."

"Samtidig er det jo heldigvis sådan, at tingene udvikler sig. Mange fabrikanter arbejder på at gøre deres produkter mere bæredygtige. Det ville ikke være fair over for dem, hvis vi permanent udnævnte bestemte materialer til at være de rigtige."

I det konkrete eksempel valgte DTU at tillade to forskellige typer gulvbeklædning forskellige steder. Efter fem år skal det vurderes, hvilket af dem, der er bedst ud fra en helhedsbetragtning.

## Pioner i brug af "grøn" beton

Det sker, at Campus Service indgår i egentlige forskningsprojekter:

"For eksempel anvender vi "grøn" beton, som forskere ved DTU Byg har medvirket til at udvikle, i en ny bygning på campus. Vi deltager også i andre projekter, for eksempel afprøvning af nye ventilationssystemer, smart city løsninger og så videre. Men samtidig skal vi hele tiden huske på, at vi er en statslig bygherre, der forvalter offentlige midler, så der er grænser for, hvor meget vi kan eksperimentere."

Endelig har Lisbet Michaelsen et hjertesuk:

"Efterhånden er der brugbare værktøjer til LCA, men der mangler stadig noget, der kan bruges på det stra-

tegiske plan. For eksempel står man jo jævnligt i en situation, hvor man skal vælge imellem at renovere en ældre bygning eller rive den ned og opføre en ny. Her mangler branchen simpelthen en anerkendt metodik for, hvordan man skal holde de to typer af løsninger op over for hinanden."

## NCC

### Stive regler gør gipspladen til affald

Juridiske spidsfindigheder spænder alt for ofte ben for det cirkulære byggeri, mener NCC.

Selv helt nye byggematerialer ryger ofte direkte til genbrugsstationen, fordi reglerne i byggeriet ikke er gearret til cirkulært byggeri. Det mener Martin Manthorpe, direktør for Strategi, Forretningsudvikling og Public Affairs i entreprenørvirksomheden NCC.

”Lad os sige, at vi har afsluttet et byggeri og har nogle gipsplader til overs. Må vi benytte dem i et andet projekt for en anden bygherre? Nej, for gipspladerne tilhører den første bygherre. Må han så donere dem til den næste bygherre? Nej, den går heller ikke, i hvert tilfælde ikke, når vi snakker om offentlige projekter, for så yder han et tilskud til bygherre nummer to. Skal den første bygherre så sælge pladerne? Og hvilken pris skal han tage for dem?”

I stedet for at finde en løsning, hvor gipspladerne kommer til nytte, er det fristende bare at køre dem til genbrugsstationen. Men det er der naturligvis ikke meget cirkulært byggeri i.

”Der skal være markedsmekanismer på plads, så det er muligt at udveksle materialer mellem projekter og bygherrer. Hvis vi skal lykkes med cirkulært byggeri, er det afgørende, at de gode ambitioner afspejler sig i reglerne, så vi ikke bliver stoppet af juridiske spidsfindigheder.”

### Gode ambitioner, men for lidt viden

Som en af landets største entreprenørvirksomheder medvirker NCC i en række projekter, hvor cirkulært byggeri er et tema.

”Der er et stort potentiale for cirkulært byggeri. For eksempel er der en del bygherrer og arkitekter, som har de rigtige ambitioner, men det er vigtigt, at især rådgivere og entreprenører også bliver inddraget. Desuden kan jeg godt være bekymret for, om der er nok reel viden til stede. Der er behov for en fælles opfattelse af, hvad problemet er. Hvis man ikke er enige om det, bliver det svært at udvikle løsningen,” siger Martin Manthorpe og nævner et eksempel:

”Vi medvirkede i en byggesag, hvor der var tænkt mange gode tanker. Vi skulle tage facade-beklædningen ned og senere genmontere den, efter bygningen var renoveret. Men da vi først havde taget beklædningen ned, viste det sig, at kvaliteten var for dårlig til, at vi kunne genanvende. Vi skal simpelthen blive dygtigere i branchen til at vurdere den slags forhold i tide.”

### Kløgtige forskere skal udforme materiale-pas

Fremadrettet er det vigtigt at få indført såkaldte materiale-pas, mener NCC-direktøren:

”Med materiale-pas kan vi få styr på, hvad vi anvender, og hvordan det senere kan genanvendes. Løsningen skal være digital, så man umiddelbart kan se, hvad en komponent, som man står med, indeholder. I NCC forbereder vi os på en fremtid, hvor materiale-pas er en realitet, og vi er begyndt at rådgive vores kunder om det. Samtidig er vi bevidste om, at selvom NCC er en stor spiller, kan vi ikke gøre det alene. Der er nødt til at være opbakning fra myndigheder og øvrige aktører i branchen.”

”Desuden er det afgørende, at der bliver en relativt stram styring af ordningen. Der skal føres kontrol med, at passene faktisk er retvisende. Ellers risikerer vi nye problemer som dem, vi tidligere har haft i branchen – MGO-plader, asbest, PCB osv. Derfor har vi brug for, at kløgtige mennesker på DTU og andre steder medvirker til at udforme løsningerne og være med til at sikre, at de virker.”

### Nordisk samarbejde kan skabe kritisk masse

Regler, der fremmer cirkulært byggeri, bør gælde for hele landet:

”I dag er der forskel fra kommune til kommune på, hvilke krav eksempelvis brandmyndighederne stiller. På den måde er det meget svært at få økonomi i cirkulært byggeri.”

National lovgivning skal følges op med international harmonisering, tilføjer Martin Manthorpe:

”Succes kræver volumen, og vi skal gerne ud over Danmarks grænser for at opnå kritisk masse. Jeg foreslår, at vi i første omgang koordinerer vores regler med de øvrige nordiske lande. For det første er der et

nogenlunde ens klima. For det andet deler de nordiske lande en række værdier, som vil gøre det lettere at blive enige.”

## Henning Larsen A/S:

### Cirkulært byggeri fordrer et nyt teknologisyn

Byggebranchen og i særdeleshed arkitekterne står over for en radikal omlægning for at realisere cirkulært byggeri. Det er er vurderingen i Henning Larsen A/S. Som en af landets højst profilerede arkitektvirksomheder står Henning Larsen A/S bag en lang række internationale prestigeprojekter, men også bag en række mindre projekter, hvor hovedfokus er bæredygtighed.

”Sagt generelt er de store danske arkitektvirksomheder udsprunget af en udvikling, der blev sat i gang i 1970’erne. Arkitekterne er kunsthåndværkere, og de er gode til at tænke abstrakt. Men teknologisk set er arkitekterne reaktive. Det hæmmer branchen nu, fordi cirkulært byggeri fordrer et nyt syn på teknologi,” siger ErhvervsPhD Pelle Munch-Pedersen, Henning Larsen A/S.

”Bl.a. betyder den store vægt på det visuelle og anvendelsen af analog teknologi, at det er svært at udnytte de digitale løsninger, som andre brancher har succes med,” siger Pelle Munch-Pedersen. ”Jeg mener dog, at der er muligheder i de såkaldte materiale-pas, hvor man deklarerer mulighederne for at genanvende materialer.”

Hos Henning Larsen A/S er især lavt energiforbrug og dermed lave udledninger af CO<sub>2</sub> omdrejningspunkt for arbejdet med bæredygtighed.

”Energi og CO<sub>2</sub> bør være ”konge”. Det første punkt i en kravspecifikation bør være krav til CO<sub>2</sub>-udledningen. Også bygningsreglementet trænger til en omskrivning, så man fokuserer langt mere på CO<sub>2</sub>-udledningen fra byggeriet,” siger Pelle Munch-Pedersen.

Blandt andet kan det være interessant at udnytte beton aktivt som varmelager.

”Beton er en bedre kilde til termisk masse end andre byggematerialer. Det giver nogle muligheder for at samle overskydende energi og dermed udjævne energiforbruget i løbet af døgnet. Nøglen til at komme videre ad den vej er få den gyldne trekant mellem arkitektvirksomheder, bygherrer og betonproducenter til at fungere.”

## DK Beton:

### Lad cirkulært byggeri mætte Kinas efterspørgsel

Når Kinas voksende middelklasse skal have helt nye boliger, er der ingen eksisterende bygninger at hente materialerne fra. Alligevel er det igangværende byggeboom en stor chance for cirkulært byggeri. Nemlig ved at det nye byggeri opføres med henblik på, at materialerne senere kan genanvendes. Det mener adm. direktør Niels Søndergaard-Pedersen, DK Beton:

”I Kina skal de bygge nyt i stor skala, så der bør være fokus på, hvordan råstoffer anvendes til at skabe cirkulære byggematerialer.”

DK Beton leverer materialer til byggebranchen. Bl.a. samarbejder man med RGS Nordic om genanvendelse af udtjent beton som tilslagsmateriale til produktion af ny beton.

”Den brændende platform består i, at adgangen til sand og sten bliver sværere i takt med, at grusgravene bliver tømt. Desværre kan vi ikke påvise mindre CO<sub>2</sub>-udledning ved cirkulære byggematerialer. Det skyldes, at det kræver lige så meget energi at knuse og sortere gammelt byggemateriale som at producere nyt,” sammenfatter Niels Søndergaard-Pedersen.

Til gengæld gavner gammel beton CO<sub>2</sub>-regnskabet ved såkaldt karbonatisering. Det vil sige den naturligt forekommende kemiske reaktion, hvorved betonen optager CO<sub>2</sub> fra luften.

”Det kunne være interessant at se på, om man kan bruge karbonatisering aktivt som middel til at mindske CO<sub>2</sub>-indholdet i atmosfæren.”

Beton med genanvendt tilslagsmateriale udnytter de gode sten i den gamle beton, men desværre slipper man ikke for at tilsætte ny cement. Faktisk kan man nogle gange være nødt til at tilsætte en større mængde cement i genbrugsbetonen, fordi vandbehovet er større.

”Det ville være interessant med forskning i, hvordan man kan nedbringe vandbehovet og dermed mængden af cement. Det kunne forbedre økonomien i at

genanvende beton,” siger Niels Søndergaard-Pedersen.

”Samtidig har vi brug for at udvikle bedre metoder til at vurdere på forhånd, om materialer i et eksisterende byggeri kan genanvendes.”

## CRH Concrete:

### Find inspiration i Holland

“Cirkulært byggeri bør blive en endnu større del af dagsordenen for by- og regionaludvikling,” siger Gunnar Hansen, teknologi- og innovationsleder i CRH Concrete. Han tilføjer:

“Vi bør gøre som i Holland, hvor man bliver præmieret for at genanvende byggematerialer.”

CRH Concrete er Danmarks største leverandør af betonelementer. Virksomheden indgår i CRH koncernen, som er en af verdens fem største leverandører af byggematerialer.

“Særligt i forbindelse med udbud ser vi, at kravspecifikationerne meget tidligt bliver låst fast af arkitekter og bygherrer. Det begrænser mulighederne for, at vi som leverandør kan påvirke processen. I Sverige er der en anderledes tradition for, at arkitekterne går i dialog med leverandører og kunder,” siger Gunnar Hansen.

Imidlertid er der flere tendenser, som vil præge udviklingen i retning af cirkulært byggeri, mener han:

“Der er behov for at mindske CO<sub>2</sub>-udledningerne fra byggeriet. Desuden vokser interessen for at udnytte den termiske masse i bygninger til at lagre sol- og vindenergi. Samtidig skal vi finde en måde at skaffe materialer til boliger, som især middelklassen i Kina og Indien efterspørger.”

Endelig efterlyser Gunnar Hansen forskning i karbonatisering - det vil sige det forhold, at beton under de rette betingelser kan optage betydelige mængder af CO<sub>2</sub> fra atmosfæren og dermed bidrage til beskyttelse af klimaet:

“Det har været foreslået at præparere gamle betonoverflader fra 1960'erne, 1970'erne og 1980'erne på en sådan måde, at eksponeringen for CO<sub>2</sub> og dermed niveauet af karbonatisering øges. Det kunne være interessant at finde ud af, om dette faktisk er en vej at gå.”

## Saint-Gobain:

### Cirkulært byggeri mangler et fælles sprog

“Dysfunktionelt”. Så stærkt udtrykker Klaus Birk, direktør for public affairs, Saint-Gobain Danmark, sig om situationen inden for cirkulært byggeri.

“De førende arkitektvirksomheder har deres egen terminologi og tilgang til cirkulært byggeri. Det passer dårligt sammen med industrien, hvor man hele tiden tænker i skalering og ressourcer.”

Med ca. 180.000 medarbejdere i 68 lande er Saint-Gobain en global leder inden for udvikling og produktion af byggematerialer. Saint-Gobain Danmark beskæftiger ca. 600. Kunderne er byggemarkederne, men også entreprenører.

“Markedet er meget fragmenteret i Danmark med mange forskellige kunder,” konstaterer Klaus Birk. “Især har tingene tendens til at gå galt, når håndværkerne kommer ind over leverancen af byggematerialer. Sammenlignet med de andre nordiske lande er der stort svind i byggematerialer i Danmark, og mulighederne for stordriftsfordele bliver ikke udnyttet.”

Alligevel har cirkulært byggeri en fremtid - også i Danmark - mener han:

“Der vil opstå mangel på ressourcer. Men der mangler et samlet, veldokumenteret overblik over adgangen til ressourcer på længere sigt.”

Først og fremmest er der behov for bedre processer, understreger Klaus Birk:

“Hvordan får vi leverancesystemet til at hænge bedre sammen? Er der for eksempel noget at lære af virksomheder som Kattera og Fira.fi, der arbejder med vertikal integration for fremstilling? Kan der være muligheder i leasing eller udlejning af byggematerialer?”



## MOE:

### For meget spredt fægtning

Der mangler en fælles forståelse i byggebranchen af arbejdet med cirkulært byggeri. Det mener man hos MOE, der med ca. 900 medarbejdere er en af landets største rådgivende ingeniørvirksomheder.

”Der er for meget spredt fægtning og for meget ”feinschmeckerei,”” siger Karoline Geneser, koncernkompetencechef.

MOE har rådgivning om infrastruktur og byggeri som sit primære forretningsgrundlag.

”Tilgang til ressourcer og klimaudfordringen udgør sammen den brændende platform for at arbejde med cirkulært byggeri,” slår Karoline Geneser fast.

Imidlertid udgør den nuværende regulering af branchen en barriere:

”Såvel planlovgivningen som bygningsreglementet og udbudsreglerne giver alt for fastlåste rammer. Det modvirker, at offentlige bygherrer kan gå forrest.”

Et fremadrettet initiativ kunne være at fastsætte lovkrav for maksimal udledning af drivhusgasser, mener Karoline Geneser, som efterlyser flere svar fra forskningen:

”Vi har behov for bedre viden om, hvilke materialer, man med fordel kan vælge med henblik på at begrænse CO<sub>2</sub>-udledningen. Desuden for bedre viden om, hvad der gør bygninger sunde at bo i.”

Endelig ønsker Karoline Geneser en afdækning af tilgængeligheden af byggeriets råstoffer, herunder livscyklusanalyser (LCA) på transport af råstoffer:

”Det er et problem, at der ikke findes noget overblik over, hvilke ressourcer som er tilgængelige for genanvendelse i dag, og heller ikke over, hvilke ressourcer der vil blive tilgængelige på længere sigt.”

## Dominia:

### Byggeriets forretningsmodel skygger for det cirkulære

”Der er en brændende platform for cirkulært byggeri, men aktørerne i branchen oplever det ikke sådan,” siger bygherrerådgiver Jesper Ring, partner i Dominia rådgivende ingeniører. Han uddyber:

”Byggeriet er underlagt en forretningsmodel, hvor man ikke har en konstant aktivitet, men skal tjene pengene, når det kan lade sig gøre. Det gør det svært for aktørerne at holde fokus på den brændende platform, som består i knaphed på ressourcer og nødvendig indsats for biodiversitet.”

Dominia rådgiver inden for alle byggeriets ingeniørdiscipliner og har speciale i alment boligbyggeri, bæredygtigt byggeri samt miljøsanering.

Ifølge Jesper Ring bør cirkulært byggeri fokusere på genanvendelse af materialerne i den eksisterende bygningsmasse:

”Der er behov for standarder og fremadrettet lovgivning. Desværre udviser Miljøstyrelsen meget lang vej fra tanke til handling på affaldsområdet. Desuden mangler vi dokumentation med hensyn til adgangen til råstoffer. Endelig er der behov for analyser af risiko og ansvar ved genanvendelse af byggematerialer: Hvad skal der til for at løbe en risiko?”

Ifølge Jesper Ring er der inspiration at hente i Norge:

”Norge har indført krav om genanvendelse af byggematerialer. Databasen NOBB indeholder 900.000 varenumre, som opdateres i realtid ud fra køb af produkter på byggemarkeder.”

Trods betydelig usikkerhed er der dog bevægelse også i Danmark, vurderer Jesper Ring:

”Der er efterspørgsel fra slutkunderne. Men bygherrer og administrationerne i boligforeningerne ved endnu ikke, hvordan de skal efterkomme efterspørgslen.”

# Anbefalinger

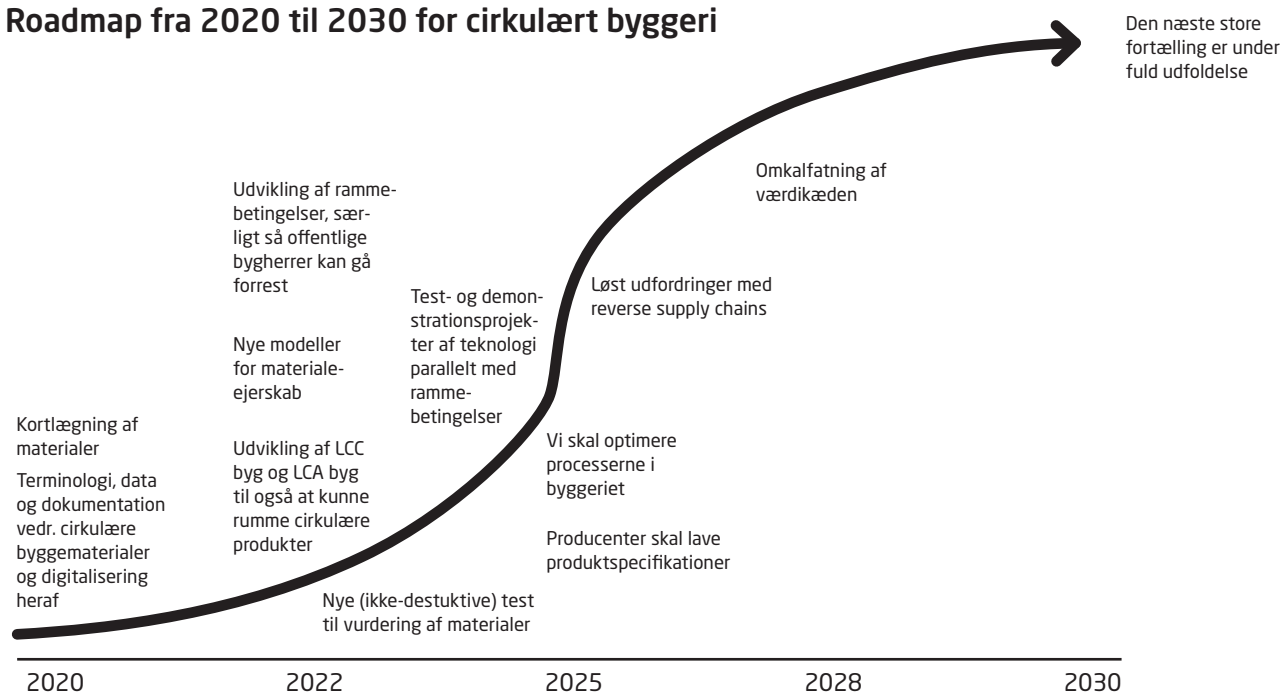
### Anbefalinger til forskning og udvikling

Den helt overordnede anbefaling er, at byggesektorens aktører går sammen om fælles og meget store strategiske satsninger på skalering af cirkulært byggeri.

De strategiske satsninger skal stå på fem grundpiller:

- De skal have renovering af eksisterende byggeri som hovedomdrejningspunkt men også omfatte nybyggeri
- Centralt for dem skal stå en ambition om, at alle byggematerialer genanvendes på højeste niveau, dvs. genbrug af de materialer, der teknisk kan genbruges
- De skal have store og synlige effekter inden for alle tre brændende platforme (varig adgang til ressourcer, reduktion i mængden af byggeaffald og reduktion i CO<sub>2</sub>-udledninger)

### Roadmap fra 2020 til 2030 for cirkulært byggeri



Figur 11. Roadmap for udvikling af cirkulært byggeri i perioden 2020-2030.

- (d) De kan tænkes gennemført i større testprojekter, som giver mulighed for test af nye rammebetingelser inden for lovgivning og det tekniske fælleseje, og som kan danne teknisk baggrund for en egentlig skalering, og
- (e) Udvikling af Danmark som Living Lab for Verden, hvor ambitionen skal være ved hjælp af både forskning og innovation at medvirke til at løse internationale udfordringer

Inspireret af byggeriet i Holland kan aktørerne i Danmark gå sammen om at udvikle et roadmap for udviklingen over de næste 5-10 år, som beskriver skridt for skridt, hvilke kombinationer af udfordringer, teknologier og rammebetingelser der skal arbejdes med.

DTU ønsker at optage dialog med de øvrige aktører i sektoren om et roadmap. DTU foreslår, at dialogen kan tage udgangspunkt i følgende første skitse til et roadmap (se Figur 11):

- 2021: Terminologi, data og dokumentation vedr. cirkulære byggematerialer og digitalisering heraf
- 2022: Udvikling af LCC byg og LCA byg til også at kunne rumme cirkulære produkter, kortlægning af materialer, nye modeller for materialeejerskab og udvikling af rammebetingelser, særligt så offentlige bygherrer kan gå forrest samt nye (ikke-destruktive) test til vurdering af materialer
- 2023: Test- og demonstrationsprojekter af teknologi parallelt med rammebetingelser
- 2025: Producenter skal lave produktspecifikationer og optimere processerne i byggeriet
- 2027: Løse udfordringer med reverse supply chains
- 2028: Omkalfatring af værdikæden
- 2030: Den næste store fortælling om cirkulært byggeri er under fuld udfoldelse

Der er fokuseret på forskning og innovation, der skal udføres i dag, og som kan bidrage til løsninger i 2030. Det er i denne sammenhæng vigtigt at påpege, at selv den mere kortsigtede forskning og innovation skal rumme et 2030-perspektiv, således at de kortsigtede investeringer kommer til at flugte med behovene fra 2025 frem mod 2030.

Byggeriets parter består af få meget store virksomheder og mange små og mellemstore virksomheder (SMV'er). For at der i branchen samlet kan ske en omstilling til cirkulært byggeri, er det afgørende, at de små og mellemstore virksomheder får en central rolle i gennemførelsen af de strategiske satsninger/de 5 grundpiller og i de aktiviteter, der følger på hinanden i roadmap'et.

## Anbefalinger til forskning og innovation

### 1. Der skal forskes i metoder til dokumentation af værdien af cirkulært byggemateriale og af byggeprocesser på både kort og lang sigt

Det er nødvendigt at kunne dokumentere værdien af de cirkulære tiltag, både økonomisk og miljømæssigt. Et meget væsentligt element i denne dokumentation er at indarbejde den cirkulære tankegang i de værktøjer, der i dag anvendes – både i projekteringsfasen, udførelsesfasen, driftsfasen og ved certificering.

Vurdering af totalværdi (LCA og LCC) er vigtigt i forhold til at sikre, at beslutninger om konstruktion af nye byggerier eller renovering af eksisterende byggerier tages på et informeret grundlag. Her vurderes et byggeris miljøpåvirkning og omkostninger over hele dets livscyklus fra "vugge til grav". Den cirkulære strategi nødvendiggør, at der i disse principper inddrages en kæde af livscyklusser – at der i beregningerne kan inddrages data fra før vugge til efter grav.

I byggeriet optimeres forbruget af ressourcer traditionelt i et økonomisk perspektiv. I cirkulært byggeri er materialerne imidlertid ikke kun koblet til den kortsigtede økonomi og kvalitet af projektet, men fordrer et dybere regnskab for materialernes langsigtede indvirkning. Med andre ord skal eksisterende materialer i bygningsmassen inkluderes i byggeriets processer. Dette fordrer, at metoder udvikles til at vurdere værdien af ressourcerne i et eksisterende byggeri.

### 2. Der skal forskes i udvikling af teknisk viden, som mindsker risikoen ved at genbruge byggematerialer

I den cirkulære strategi skal materialer og komponenter indgå i materialestrømmen på højst mulige niveau, dvs. genbrug er bedre end genanvendelse. Det tekniske dokumentationskrav for den nye anvendelse afhænger meget af den specifikke anvendelse – fx om der er tale om bærende konstruktionselementer eller

komplementerende dele. De tekniske dokumentationskrav vil generelt være højere ved genbrug end ved genanvendelse.

De overordnede krav til materialer og komponenter fastsættes i Bygningsreglementet, og dokumentationen for, at disse krav overholdes, påhviler bygningssejeren. Denne dokumentation bygger i stor udstrækning på erfaringer og guidelines i det tekniske fælleseje (standarder, guidelines, BYG-ERFA blade, SBI anvisninger etc.), som gennem vidensopbygning og indsamling af best practice over mange år har til formål at mindske byggeskader. Genbrugte materialer er ikke indarbejdet her.

Det er frivilligt, om man vil anvende andre løsninger end de, som er beskrevet i det tekniske fælleseje. Men i fald løsningen ikke er beskrevet her, så påhviler det bygningssejeren at dokumentere, at valget er velfunderet. Skulle problemer opstå i forhold til den valgte løsning, ligger der en betydelig bevisbyrde at løfte i forhold til forsikring. Der er således indbygget en ikke ubetydelig risiko ved at vælge løsninger, som ikke er beskrevet i det tekniske fælleseje. For at mindske den risiko, der nu påhviler bygningssejere, som vælger genbrugte komponenter, er det helt afgørende at få udviklet standarder og metoder til teknisk dokumentation af kvaliteten af genbrugte komponenter og at få indarbejdet procedurer og guidelines for anvendelsen i det tekniske fælleseje.

### **3. Der skal forskes i udvikling af cirkulære processer, der kan sikre skalering fra niche til mainstream**

Design, processer, materialer og udførelse bygger i dag på den lineære model for brug af ressourcer. Forskning og udvikling er nødvendige i forhold til de cirkulære processer.

En gennemgribende justering af byggeriets processer forudsættes: Den fragmenterede organisering i byggeriet skal optimeres til at håndtere genbrug af materialer i veludviklede og koordinerede værdi- og leverancekæder. Det kortsigtede projektfokus skal udbygges til hele byggeriets levetid med langsigtede forpligtigelser fra de deltagende virksomheder. Endeligt skal evnen til at realisere byggeri inden for rammerne af den aftalte kvalitet, tid og økonomi forbedres omkring kvalifikation og kvantificering af byggeriets indvirkning.

Adgang til digitale markedspladser, troværdige digitalt lagrede informationer om produkterne og en automatiseret digitalt understøttet produktion er nødvendige for, at det cirkulære kan vinde almen udbredelse.

### **4. Der skal forskes i metoder og processer til sikring af fuld cirkularitet**

Vi står med byggeri, som ikke er opført på baggrund af en cirkulær tankegang - et byggeri som skal indgå i transformationen mod cirkulær økonomi. En væsentlig udfordring heri er, at det er vanskeligt at adskille bygninger til brugbare komponenter og materialer. Denne erfaring bør udnyttes i en fremtidig strategi om, at nybyg og renoveringsopgaver nu skal designes, så det er muligt at adskille bygningen i anvendelige komponenter ved endt levetid. Der er brug for udvikling af nye metoder og processer til bl.a. samlinger mellem bygningsdele og i anvendte kompositter.

Design forberedt for demontering er et koncept, som fokuserer på, hvordan nye bygninger designes og planlægges, og hvordan renovering af eksisterende bygninger udføres. Ideen er at forberede til fremtidig transformation/renovering og høst af materialer til genanvendelse i andre bygninger (urban mining). Visionen er, at hvert byggemateriale eller komponent har pas med specifikationer, som opbevares i en 'bank', hvor de gøres tilgængelige for planlæggere og designere (byen som materialebank). I stedet for at designe ud fra ideer og visioner og derefter senere i processen finde ud af, hvilke nye materialer der skal anvendes, vil de starte med materialer og komponenter fra 'banken', og skabe bygninger herfra.

Digitalisering kan medvirke til at understøtte udbredelsen af cirkulært byggeri i forbindelse med planlægning, udførelse, drift, opgradering og genbrug. Digitalisering kan bruges til at registrere, lagre og dele data om ressourcer, der allerede indgår i eksisterende bygninger, og som efter endt brug kan indgå i fremtidige i renoveringer, ombygninger eller nybygninger. Digitalisering kan anvendes til automatisering af konsekvensberegninger af forskellige løsningsscenariers miljøpåvirkninger, økonomi og ydeevne.

Der er også brug for, at design- og beslutningsprocesser i alle faser af byggeriet informeres yderligere og med et bredere perspektiv, hvor også sociale og miljømæssige parametre vægtes.

### 5. *Der skal forskes i sammenkædning af værdikæden for cirkulært byggeri med andre tilstødende værdikæder*

Ud fra et hensyn om at balancere energisystemet, når vind- og solenergi kommer til at udgøre en stadig større andel af energikilderne, så kobles værdikæderne i energisektoren fremover med værdikæder i fx transport-, bygge-, industri- og vandsektoren. Der er tale om sektorkobling og etablering af et Smart Energisystem.

På samme måde kan man forestille sig, at værdikæderne for cirkulært byggeri i fremtiden vil skulle kobles sammen med værdikæder i tilstødende sektorer. Hensynet er, at det cirkulære byggeri på en og samme gang både afgiver ressourcer, som kan anvendes i tilstødende sektorer, og derfra også modtager ressourcer, som kan anvendes i cirkulært byggeri.

I den forbindelse skal der forskes i koordination og integration af værdikæder, der ikke almindeligvis er koordinerede og integrerede. Ud over de teknologiske udfordringer vil der her også skulle forskes i de rammebetingelser, der gælder for hver sektor, og hvordan de sammen kan understøtte integrationen af værdikæderne på tværs af sektorer. Her er bygge-riets relation til affaldssektoren helt afgørende for etableringen af et effektivt cirkulært byggeri.

### 6. *Der skal forskes i en definition af cirkulært byggeri og en terminologi om cirkulært byggeri*

På trods af det store strategiske fokus i både EU og Danmark på nødvendigheden af at omstille byggesektoren fra en lineær til en cirkulær ressourceøkonomi, så er den terminologi og det tekniske begrebsapparat, som knytter sig hertil, ikke udviklet. Det er nødvendigt at få defineret og systematiseret en fælles forståelse for, hvad der ligger i begrebet "cirkulært byggeri" for at undgå fejlslagen kommunikation. Det skal defineres, hvad der skal til for, at man kan sige om en bygning, at den overholder de cirkulære principper.

Der skal udvikles et klassifikationssystem for materialer og komponenter i cirkulært byggeri. Det er ikke alle materialer og komponenter, der har en kvalitet (tekniske egenskaber og indhold af kemiske stoffer), som muliggør direkte genbrug. I stedet kan materialerne ofte genanvendes til andet formål efter oparbejdning eller nyttiggøres på anden måde. Klassifi-

kationssystemet skal muliggøre en inddeling i forhold til højst mulige værdi i forhold til ressourceudnyttelse og mindst mulig CO<sub>2</sub>-udledning.

Med byggesektorens store betydning for ressourcestrømmene i samfundet er det nødvendigt at se på cirkularitet ud over sektoren selv. Andre sektorer kan i stigende grad blive leverandører af sekundære råstoffer til byggematerialer og omvendt. Begrebsapparatet skal rumme denne cirkulære økonomi, som knytter sig til aktiviteter ud over sektoren selv.

## Anbefalinger om rammebetingelser, uddannelse og test- og demonstrationsprojekter

### 7. *Der skal forskes i komplekset af rammebetingelser - tolkning af udbudsregler, standardisering, bygningsreglementet, farlige stoffer, DGNB og planlov/lokalplaner - og gennemføres test af teknologier parallelt med rammebetingelser i test- og demonstrationsprojekter*

Der mangler en klar og vedvarende efterspørgsel, der kan drive markedet for cirkulært byggeri (byggematerialer og byggeprocesser) fremad. Det skyldes, at markedet grundlæggende er meget nyt. Desuden en kombination af begrænsende mekanismer, der har baggrund i et kompleks af rammebetingelser: Standardisering, farlige stoffer, DGNB, tolkning af udbudsregler, organisationsformer og planlov/lokalplaner.

Men der er også anseelige udfordringer på leverandørsiden. Projekteringen af et byggeprojekt kan være 100 % handlet af mellem arkitektvirksomheden og bygherren, før den rådgivende ingeniørvirksomhed, entreprenøren og byggematerialeproducenten kommer ind i billedet. Så som situationen er nu, kan rummet for at projektere cirkulært byggeri i mange situationer være meget lille.

Men der er også store muligheder knyttet til organiseringen på leverandørsiden. Således kan den centraliserede organisering af elementproduktionen i forhold til i andre lande muligvis være en fordel mhp. skalering af cirkulært byggeri. Udfordringerne på leverandørsiden skyldes også, at der er meget stor metodefrihed på byggepladsen, hvilket resulterer i lav effektivitet og i stort spild af byggematerialer.

På denne baggrund skal der forskes i, hvordan rammebetingelserne bedst kan fremme efterspørgslen på cirkulært byggeri, og hvordan de bedst kan frem-

me en udvikling på leverandørsiden på en måde, så rummet for projektering af cirkulært byggeri bliver større. Der skal også forskes i, om den centraliserede organisering af betonelementproduktionen faktisk er en fordel, og i så fald hvordan den kan udnyttes. I den forbindelse skal der forskes i, hvordan traditionelle byggeaffaldsvirksomheder kan transformere sig og løfte deres forretningsgrundlag op ad værdikæden for cirkulært byggeri, så byggeaffald for alvor bliver en værdifuld ressource. Og der skal forskes i, hvordan effektiviteten kan øges og spildet af byggematerialer reduceres ved udvikling af nye byggemetoder.

Det er vigtigt, at forskningen foregår i form af test af teknologier parallelt med rammebetingelser i test- og demonstrationsprojekter, ligesom man gør det i energisektoren (fx i Smart Energisystem projekterne i Nordhavn, på Bornholm og i Center Danmark i Tre-kantsområdet).

**8. *Der skal sættes ind for at udvikle Danmark som Living Lab for Verden, hvor ambitionen skal være ved hjælp af både forskning og innovation at medvirke til at løfte internationale udfordringer***

Det er den almindelige opfattelse, at Danmark ligesom Holland er på forkant med cirkulært byggeri. Så ligesom Holland har Danmark mulighed for at udnytte denne mulighed. Det kan ske ved at udvikle Danmark som et Living Lab for Verden og deri medvirke til at løfte internationale udfordringer ved hjælp af dansk teknologi og rammebetingelser.

Der skal her forskes i, hvori de internationale udfordringer består og i, hvilke teknologier og rammebetingelser der kan medvirke til at løfte disse udfordringer. Begge skal være en integreret del af Danmark som et Living Lab for Verden. Der skal også gennemføres innovationsprojekter, der kan medvirke til at løfte udfordringerne.

Anbefalingen om Danmark som et Living Lab vurderes at have relevans især for lande i Europa, USA, Australien og Kina. Hvad angår Europa, USA og Australien gælder anbefalingen både eksisterende bygningsmasse og nybyggeri. Mht. Kina har anbefalingen kun relevans for nybyggeri. Grunden er, at den eksisterende bygningsmasse i Kina er bygget i en tid, hvor Kina var mindre rig som nation, og derfor er af relativt lav kvalitet og ikke kan renoveres.

**9. *Der skal udvikles tværfaglige uddannelses-tilbud til studerende og tilbud om efteruddannelse***

Projektforløbet har demonstreret, at mange af udfordringerne forbundet med at udvikle cirkulært byggeri, bl.a. ved at fremme efterspørgslen og udvikle leverandørsiden, skal imødegås af teknologier, der har tværfaglig forskning og innovation som forudsætning. Det gælder fx dokumentation af cirkulariteten af byggematerialer og sammenhængen heraf til rammebetingelser, organisering, samarbejdsmodeller samt forretningsmodeller.

Det er derfor oplagt at udvikle tværfaglige uddannelses-tilbud, som giver studerende kompetencer i en række af de krydsfelter af fagligheder, der skal mestres for at løfte udfordringerne i cirkulært byggeri. Det er tilsvarende vigtigt at udvikle tilbud om efteruddannelse til alle parter i sektoren, SMV'er, større firmaer, bygherrer, myndigheder, tømrere, erhvervsskoler og medarbejdere på byggemarkeder således, at viden, metoder og handlekraft kan forankres solidt.



## Appendiks

# Appendiks 1

### Cirkulært byggeri i Kina

Kina er og har i mange år været verdens byggeplads. Godt halvdelen af verdens byggekraner står i Kina og bliver brugt i et næsten ubegribeligt antal store og prestigefyldte infrastrukturprojekter eller til bygning af ikoniske bygningsværker i Kinas metropoler. Kina har i løbet af få år bygget 35.000 kilometer højhastighedstogbane (og lige så meget er under konstruktion), hundredevis af kraftværker, og tilføjer årligt knap 1 milliard (!) kvadratmeter etageareal (heraf ca. 20 % erhvervsbyggeri). I tilgift gennemfører Kina et stort antal projekter i udlandet gennem Belt & Road programmet (som er kontroversielt i mange lande).

Kina var blandt de første lande til at fremme cirkulær økonomi som koncept og formentlig det første land til at adoptere konceptet formelt som basis for sin økonomiske udvikling i 2002 (kommunistpartiets 16. kongres). Motivet var allerede på det tidspunkt ressourceknaphed i lyset af, at Kina producerer omkring halvdelen af verdens aluminium og stål og mere end halvdelen af verdens cement (2,2 milliarder tons i 2019).

I mange sammenhænge er Kina et ressourcebevidst land. Det kommer ud af den yderste fattigdom, meget af den selvforskyldt under kulturrevolutionen, hvor de færreste havde nok at spise, og hvor absolut alt blev brugt og genbrugt. Ressourcebevidsthed ligger derfor dybt i sjælen hos mange og i særdeleshed generationerne, der i dag er 40-45 år gamle og derover. Det er derfor ikke overraskende, at når gamle bygninger rives ned, er der en underskov af små virksomheder og enkeltpersoner, der samler og genbruger alt, der har nogen kommerciel værdi - hvilket er langt den overvejende del, fordi arbejdskraft er billig, og alt kan renses og sorteres ned i de mindste fraktioner.

### Renovering er ikke et tema i Kina

Imidlertid er der en verden til forskel mellem de bygninger, der rives ned - murstensbyggeri fra 1970'erne og 1980'erne på 3 til 6 etager - og de 25-50 etagers betonkonstruktioner, der skyder op i deres sted. Her skal formentlig også findes forklaringen på, at reno-

vering af ældre bygninger er et ukendt begreb i Kina (og mange andre steder i Asien). Dels optager ældre bygninger alt for meget landareal pr. bolig/kontorkvadratmeter (når byggeprocenten eksempelvis kan øges en faktor ti); dels er den grundlæggende kvalitet af det ældre byggeri, der blev opført, mens Kina stadig var et fattigt land, utilstrækkelig til, at renovering kan føre til tidssvarende byggeri. Renovering er derfor aldrig et tema ud over for de få excentrikere, der renoverer deres familiegård eller de få bevaringsværdige historiske bygninger, der er tilbage.

I 2010 fik Kina den første Green Building Standard, hvis formål var at øge genanvendelse af materialer i byggeindustrien. GBS er et frivilligt certificeringssystem, som i sin seneste version fra 2017 har tre niveauer: 1) minimum 10 % (pr vægt) af de materialer, der indgår i byggeriet, skal være recirkulerede; 2) minimum 25 %, eller 3) minimum 35 %. Det er et nationalt krav, som også gælder alle provinsregeringer, at alle offentlige eller offentligt finansierede bygninger skal være certificerede (altså minimum 10 % genanvendte materialer). Dette omfatter således også socialt boligbyggeri. Det gælder også alt andet byggeri over 10.000 m<sup>2</sup>. Nogle af de rigere byer som fx Shenzhen, Guangdong og Shanghai ser ud til at sætte barren højere end de minimale 10 %. Procentandelen kan opnås på to måder: Enten ved at anvende recirkulerede materialer, eller ved 'design for genanvendelse'. Sidstnævnte er mere diffust. De typisk genanvendte materialer er glas og stål. Beton genanvendes kun til opfyld eller anlæg af kørearealer rundt om bygningerne.

### Kinesisk stordrift kan gøre det cirkulære billigere

Den kinesiske kontekst er således væsentlig forskellig fra den danske, og det kan være en udfordring at identificere sammenfaldende elementer, der kunne være basis for en vidensoverførsel. På den ene side synes Kina at være foran på recirkuleringsdagsordenen med krav til byggeriets genanvendelse af materialer. På den anden side er hele renoveringsdagsordenen fraværende.



Tilbage står måske en teknologidagsorden, hvor teknologisamarbejde om udvikling af nye materialer og designs kunne være en brugbar platform - i særdeleshed, hvis målet er at udvikle billigere løsninger. Kina er fortsat et yderst omkostningsfokuseret miljø, hvor lavere totalomkostninger som følge af lang holdbarhed hverken i byggesektoren eller andre sektorer har noget filosofisk fundament. Et samarbejde med Kina kunne derfor medvirke til at presse prisen på en mere avanceret cirkulær dagsorden så langt ned, at den bliver det naturlige valg, på samme måde som de vedvarende energikilder i dag har nået paritet med de fossile kilder i kraft af en massiv kinesisk satsning.

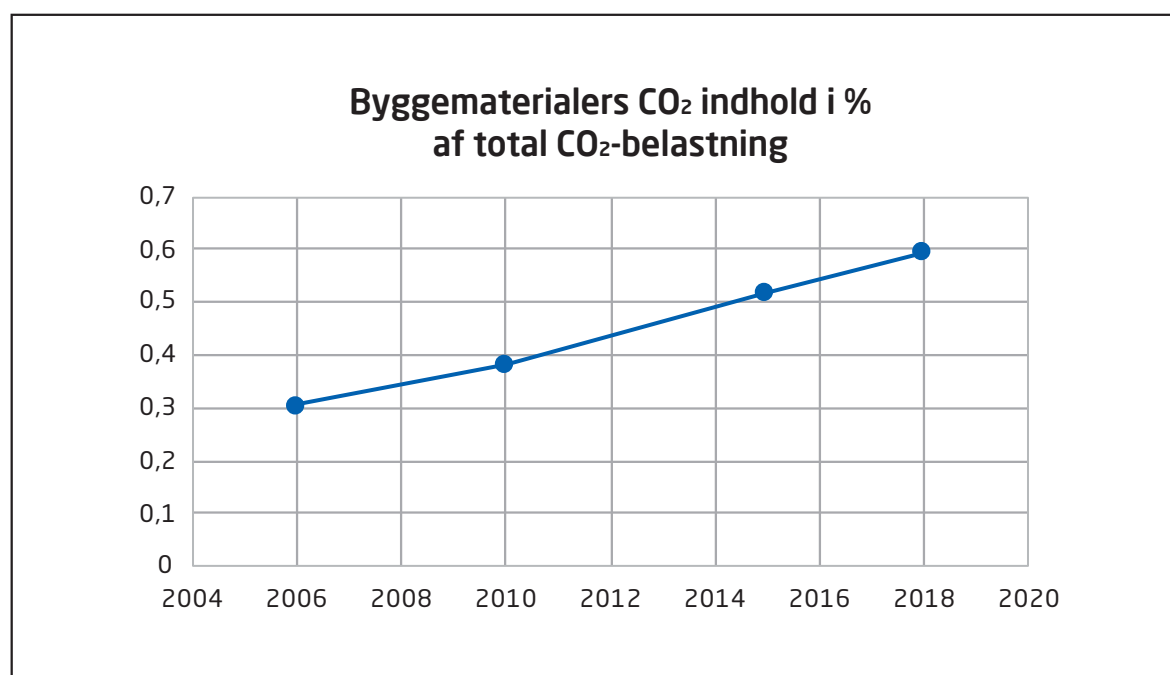
# Appendiks 2

Beregning af udviklingen i forholdet mellem CO<sub>2</sub>-indhold i byggematerialer og CO<sub>2</sub>-indhold i en bygnings energi-forbrug over 60 år

Bygningstype	IC/OC %-split	Land	Kilde	Indeholdt CO <sub>2</sub> %	Operativt CO <sub>2</sub> %			
					BR10 (71.4 kWh/m <sup>2</sup> )	BR15 (41 kWh/m <sup>2</sup> )	BR18 (30 kWh/m <sup>2</sup> )	BR06 (100 kWh/m <sup>2</sup> )
Kontorbygning A	75/25	Danmark	(Birgisdóttir, Mortensen, Hansen, & Aggerholm, 2013)	75	25	14	11	35
Kontorbygning B	28/72			28	72	42	30	101
Kontorbygning C	36/64			36	64	37	27	90
Kontorbygning D	21/79			21	79	46	33	111
Kontorbygning E	41/59			41	59	34	25	83
Kontorbygning F	33/67			33	67	39	28	94
Kontorbygning G	35/65			35	65	38	27	92
gennemsnitlig andel af total				38,4	61,6	35,6	26,0	86,7

IC = Indeholdt CO<sub>2</sub>  
 OC = Operativt CO<sub>2</sub>

= datagrundlag  
 = extrapolering, indeholdt CO<sub>2</sub> holdes konstant, operativt CO<sub>2</sub> reduceres, jf. BR standarder



---

# Appendiks 3

## **Arbejds- og redaktionsgruppe:**

Lektor Lotte Bjerregaard Jensen, DTU Byg

Bæredygtighedskordinator Lisbeth Michaelsen, DTU CAS

Lektor Solbritt Christiansen, DTU Engineering Technology

Seniorforsker Anne Juul Damø, DTU Kemiteknik

Lektor Christian Thuesen, adjunkt Morten Ryberg og seniorrådgiver Søren Lütken, DTU Management

Professor Tim C. McAloone, DTU Mekanik

Professor Thomas Fruergaard Astrup, DTU Miljø

Chefkonsulent Lars Brückner, DTU AFRI

Fuldmægtig Anders Emil Kann Petersen, DTU APR

Professor Lisbeth M. Ottosen, DTU Byg (leadprofessor)

Chefkonsulent Mads H. Odgaard, DTU AFRI (projektleder)

## **Styregruppe:**

Chefkonsulent Peter Andreas Sattrup, Danske Arkitektvirksomheder

Chef for energipolitik og bæredygtighed Majbritt Juul, FRI

Miljøchef Hans Roust Thyssen, SEGES/Landbrug & Fødevarer

Institutedirektør Niels-Jørgen Aagaard, DTU Byg

Institutedirektør Per B. Brockhoff, DTU Compute

Institutedirektør Malene Kirstine Holst, DTU Engineering Technology

Institutedirektør Lars-Ulrik Aaen Andersen, DTU Fotonik

Institutedirektør Kim Dam-Johansen, DTU Kemiteknik

Institutedirektør Mette Wier, DTU Management

Institutedirektør Hans Nørgaard Hansen, DTU Mekanik

Institutedirektør Claus Helix-Nielsen, DTU Miljø

Koncerndirektør Marianne Thellersen, DTU (formand)

## **Interviewede personer i virksomheder:**

Partner Nanna Flinholm, AART

Teknologi og innovationsleder Gunnar Hansen, CRH Concrete A/S

Adm. dir. Niels Søndergaard-Pedersen, DK Beton A/S

Bygherrerådgiver/partner Jesper Ring, Dominia

Innovationschef Morten Zimmermann, EKJ

---

Head of Innovation Kåre Stokholm Poulsgaard, GXN  
 ErhvervsPhD Pelle Munch-Petersen, Henning Larsen/KADK  
 Managing partner Ditte Lysgaard Vind, Lendager  
 Adm. dir. Christina Hviid, Molio  
 Teknisk direktør, Bæredygtighed Ninette Mahler Alto, MT Højgaard  
 Direktør for Strategi, Forretningsudvikling og Public Affairs Martin Manthorpe, NCC  
 Koncerndirektør Mads Søndergaard, NIRAS  
 Projektdirektør Jens Breinholt, PensionDanmark  
 Engineer, Sustainable Buildings & Cities Torben Kulasingam, Rambøll  
 Programchef Lennie Clausen, RealDania  
 Head of Group Sustainability Ebbe Tubæk Naamansen, RGS Nordic  
 Direktør Public Affairs Klaus Birk, Saint-Gobain Denmark  
 Afdelingsleder Niels Westergaard, Skagen Beton  
 Adm. dir. Peer Leth, Troldekt

#### **Interviewede personer i offentlige institutioner og brancheforeninger:**

Direktør Henrik Lindved Bang, Bygherreforeningen  
 Ejendomschef Niels Thygesen, Gladsaxe Kommune  
 Koncernkompetencechef Karoline Geneser, MOE  
 Seniorforsker Harpa Birgisdottir, SBI  
 Leder Anke Oberender, VCOB, Teknologisk Institut

#### **Interviewede i udlandet:**

Sustainable Construction Manager Vagner Maringolo, Cembureau, Bruxelles  
 Director Sue Arundale, Technical and Environmental affairs, European Construction Industry Federation (FIEC), Bruxelles  
 Josefina Lindblom, Policy Officer, DG Environment, European Commission, Bruxelles  
 Ir. Meno Rubbens, projectontwikkelaar directeur, Cepezed projects, Delft  
 Project Manager Start-up and Knowledge Institutions Eli Prins, Clean Tech Delta, Rotterdam  
 Prof. Dr.-Ing. Tillmann Klein, Faculty of Architecture and the Built Environment, Delft  
 Adviseur B2B Aart van der Wilt, The Innovation Centre for Sustainable Construction (ICDUBO), Rotterdam  
 Drs. Willemijn van Der Werf, TNO, Rotterdam

Disclaimer: Personer i virksomheder, på universiteter og offentlige institutioner og myndigheder opstillet ovenfor er interviewet, men kan ikke nødvendigvis tages til indtægt for indholdet af rapporten. Henvendelser vedr. rapporten kan rettes til chefkonsulent Mads H. Odgaard, maod@dtu.dk.





