

# Perspektiveringsnotat

## for cirkulær økonomi i byggeriet

Bygge- og anlægsbranchen er den største affaldsproducent i Danmark, hvilket gør byggeaffald til en væsentlig ressource for fremtidens byggeri. Omstillingen fra en lineær til en cirkulær økonomi i byggebranchen er derfor afgørende for at mindske miljøpåvirkningen, bevare ressourcer og reducere forbruget. I cirkulær økonomi ligger der en ambition om konstant at reducere ressourceforbruget yderligere: cirkulær økonomi bør derfor forstås som en kontinuerlig bevægelse og udvikling mod stadig mere ressourceeffektive løsninger, frem for som et fast mål. Dette perspektiveringsnotat har bl.a. til formål at inspirere til en dybere dialog og styrke beslutningsprocesser og strategier blandt byggebranchens aktører, der fremmer en bæredygtig udvikling i branchen.

Status, trends og perspektiver

Udarbejdet af Teknologisk Institut,  
Byggeri og Anlæg ved Seniorspecialist  
Stefania Butera med finansiering fra  
den filantropiske forening Realdania.

**Kvalitetssikring:**

Anke Oberender, Seniorspecialist og  
Martha Katrine Sørensen, Sous-chef,  
Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg.

Juli 2024

Resultater af Institutets opgaveløsning beskrevet i denne rapport, herunder f.eks. vurderinger, analyser og udbedringsforslag, må kun anvendes eller gengives i sin helhed, og må alene anvendes i denne sag. Institutets navn eller logo eller medarbejderens navn må ikke bruges i markedsføringsøjemed, medmindre der foreligger en forudgående, skriftlig tilladelse hertil fra Teknologisk Institut, Direktionssekretariatet.

# Indhold

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Baggrund og formål</b>                                 | <b>4</b>  |
| <b>2. Grundlæggende begreber</b>                             | <b>5</b>  |
| <b>3. Status</b>   | <b>6</b>  |
| 3.1. Det vi ved og kan arbejde med                           | 6         |
| 3.2. Det vi skal blive klogere på                            | 9         |
| <b>4. Overordnede trends og perspektiver</b>                 | <b>10</b> |
| 4.1. Cirkulær økonomi, klima, bæredygtighed                  | 10        |
| 4.2. Beregningsmetoder                                       | 10        |
| 4.3. Fokus på genbrug og højkvalitetsgenanvendelse           | 11        |
| 4.4. Materialeflow på tværs af sektorerne                    | 12        |
| 4.5. Behov for data, sporbarhed og dokumentation             | 12        |
| 4.6. Digitalisering og automatisering                        | 13        |
| 4.7. Fokus på bevaring                                       | 13        |
| 4.8. Behov for skalering                                     | 14        |
| 4.9. Skadelige stoffer                                       | 14        |
| 4.10. Miljøpåvirkninger fra byggepladser                     | 14        |
| 4.11. Regenerativt byggeri                                   | 15        |
| 4.12. Undersøgelser af den samlede bygningsmasses potentiale | 15        |
| 4.13. Sortering og adskillelse af materialer                 | 15        |

## 1. Baggrund og formål

Bygge- og anlægsbranchen er den største kilde til affald i Danmark, og dette affald repræsenterer en væsentlig ressource for fremtidigt byggeri. Samtidigt bygger vi mere og mere, og vores ressourceforbrug har været stigende. Det er derfor vigtigt at sikre optimal håndtering af byggeaffaldet samt at undersøge potentialet for at anvende affald fra andre sektorer som nye byggematerialer – det er med andre ord nødvendigt at omstille vores lineære forbrugs-model til en cirkulær økonomi. Cirkulær økonomi i byggeriet repræsenterer et paradigmeskifte fra den traditionelle lineære model, hvor materialer udvindes, bruges og derefter bortskaffes, til en model, hvor ressourcer bevares i videst muligt omfang. I cirkulær økonomi ligger der en ambition om konstant at reducere ressourceforbruget yderligere: cirkulær økonomi bør derfor forstås som en kontinuerlig bevægelse og udvikling mod stadig mere ressourceeffektive løsninger, frem for som et fast mål.

Efter aftale med Realdania har Teknologisk Institut, Byggeri og Anlæg i april til juni 2024 opdateret de syv temaark om cirkulær økonomi i byggeriet, som blev udgivet første gang i 2021. Formålet med temaarkene er at skabe overblik over vidensniveauet og data indenfor de syv udvalgte aspekter af cirkulær økonomi i byggeriet:

- Temaark 1. Affald som ressource
- Temaark 2. Byggeriet som ressourcebank
- Temaark 3. Brug af råstoffer i byggeriet
- Temaark 4. Skadelige stoffer og problematisk affald
- Temaark 5. Klimagevinst ved genbrug og genanvendelse
- Temaark 6. Økonomisk potentiale, strategier og forretningsmodeller
- Temaark 7. Lovgivning og rammevilkår

I starten af hvert temaark stilles to centrale spørgsmål inden for emnet, som besvares til sidst i temaarket. Temaet uddybes undervejs gennem en række underemner, herunder fremhæves centrale tal i afsnit om de store tal. Temaarkene er lavet ud fra tilgængelig viden, og der er ikke dannet ny viden undervejs. En vigtig del af opgaven har også været at identificere huller i den eksisterende viden. Temaarkene kan også bruges som opslagsværk, og de kan bruges både tilsammen eller hvert for sig. Målgruppen for temaarkene er aktører i byggeriet, som ikke er eksperter inden for cirkulær økonomi, men som har et vidst kendskab til området.

Formålet med dette notat er at opsummere de væsentligste punkter fra de syv temaark, gøre status over hvad vi ved, og hvad vi ikke ved omkring cirkulær økonomi i byggeriet i Danmark, identificere de vigtigste trends og sætte dem i perspektiv.

## 2. Grundlæggende begreber

En vigtig forudsætning for forståelse af temaarkene og nuværende notat er, at læserne har kendskab til en række grundlæggende begreber. Disse gennemgås i det følgende.

En **cirkulær økonomi** er en model for forbrug og produktion, hvor produkters livscyklus er udvidet, spild minimeret, og bevaring af ressourcer fremmet. Dette sker primært via et bedre miljøvenligt design, der gør det nemmere at reparere og genbruge gamle produkter, en forbedret holdbarhed, bedre affaldshåndtering og genanvendelsesmuligheder, og nye forretningsmodeller baseret på leasing, deling, reparation og genbrug. Cirkulær økonomi står i modsætning til den traditionelle økonomi med nyindkøb og en 'brug-og-smid-væk'-kultur.

Centrale begreber, der understøtter cirkulær økonomi, er genbrug, forberedelse til genbrug, genanvendelse, nyttiggørelse:

- **Genbrug:** Enhver operation, hvor produkter eller komponenter, der ikke er affald, bruges igen til samme formål, som de var udformet til. Et eksempel kunne være en dør, der tages ud af en bygning og genbruges uden forarbejdning i en anden bygning.
- **Forberedelse til genbrug:** Enhver nyttiggørelsesoperation i form af kontrol, rengøring eller reparation, hvor produkter eller produktkomponenter, der er blevet til affald, forberedes, således at de kan genbruges uden anden forbehandling. Et eksempel kunne være mursten, som nedtages skånsomt, rengøres for mørtel vha. både maskiner og manuelt arbejde, sorteres og sælges igen med samme formål i en anden bygning.
- **Genanvendelse:** Enhver form for nyttiggørelse, hvor affaldsmaterialer omforarbejdes til produkter, materialer eller stoffer, uanset om de bruges til det oprindelige formål eller til andre formål. Heri indgår omforarbejdning af organisk materiale, men ikke energjudnyttelse og omforarbejdning til materialer, der skal anvendes til brændsel eller til opfyldningsoperationer. I branchen skelner man mellem højkvalitets- eller lavkvalitetsgenanvendelse ud fra tekniske, miljømæssige eller økonomiske aspekter.
  - o Et eksempel af højkvalitetsgenanvendelse for beton er teknologier, der muliggør både genanvendelsen af den knuste beton som tilslag i ny beton, men også genanvendelsen af de ultrafine beton partikler som erstatning for cement.
  - o Et eksempel af lavkvalitetsgenanvendelse for beton genanvendelsen af den grove fraktion af den knuste beton som tilslag i ny beton, hvor den fine fraktion ikke har nogen nyttig anvendelse.
- **Materialenyttiggørelse:** Enhver operation, hvis hovedresultat er, enten at affald opfylder et nyttigt formål ved at erstatte anvendelsen af andre materialer, der ellers ville være blevet anvendt til at opfylde en bestemt funktion, eller at affaldet bliver forberedt med henblik på at opfylde den bestemte funktion i anlægget eller i samfundet generelt. Et eksempel af materialenyttiggørelse af den mineralske fraktion af byggeaffaldet er dens anvendelse i knust form som ubundne bærelag under veje. Det knuste materiale bruges som erstatning for jomfruelige råstoffer som grus og sand i vejbyggeri. Dette er et praktisk eksempel på materialenyttiggørelse, hvor affaldsmaterialer får en ny anvendelse i stedet for at blive deponeret. Forskellen mellem materialenyttiggørelse og egentlig genanvendelse ligger i, at det ved genanvendelse omdannes materialet til nye produkter, mens materialenyttiggørelse ofte indebærer en form for sidste anvendelse, som i tilfældet med vejfyld, hvor materialet ikke nødvendigvis kan genbruges yderligere.

### 3. Status

#### 3.1. Det vi ved og kan arbejde med

Danmark har gjort betydelige fremskridt inden for cirkulær økonomi i byggeriet: der er stigende bevidsthed om vigtigheden af at genbruge og genanvende byggematerialer, samt bevare eksisterende byggeri for at reducere miljøpåvirkningen og bevare ressourcer. Flere initiativer, både på nationalt og EU-niveau, har været med til at skabe rammer og incitamenter for en mere cirkulær byggepraksis. Selektiv nedrivning er blevet en central metode til at maksimere udnyttelsen af materialer fra nedrivningsprojekter. Der er også indført klimakrav, som kræver dokumentation af livscyklusvurderinger for nye bygninger, hvilket fremmer brugen af genanvendte materialer.

På trods af den positive udvikling, er der stadig lang vej til at opnå fuld cirkularitet i byggesektoren. Bygge- og anlægsaffald udgør en betydelig del af det samlede affald i Danmark, hvor kun 36% genanvendes, og en stadig ubetydelig del genbruges direkte. Dette efterlader et stort potentiale for øget genbrug og genanvendelse via bl.a. forbedret affaldssortering. Den danske bygningsmasse er vokset markant siden 1986 og repræsenterer en betydelig ressourcebank, men vi mangler viden om hvilke materialer, den består af. Danmark er stort set selvforsynende med mineralske råstoffer, men der er pres på arealudnyttelsen, hvilket betyder, at der på sigt kan forventes mangel på råstoffer. Cirkulær økonomi kan kun erstatte en lille del af det samlede råstofforbrug, da vi bygger betydeligt mere end vi genererer mineralsk byggeaffald. Skadelige stoffer som PCB og asbest i bygninger udgør stadig en stor udfordring for genbrug og genanvendelse, og der er behov for bedre teknologier til fjernelse af disse stoffer. Genbrug og genanvendelse af byggematerialer kan medføre betydelige CO<sub>2</sub>-besparelser samt økonomiske gevinster, men der mangler stadig kommercialisering og skalering af disse løsninger. Lovgivning på både nationalt og EU-niveau har taget nogle vigtige skridt mod cirkularitet i byggeriet, men yderligere tiltag er nødvendige, f.eks. konkrete mål og krav og økonomiske incitamenter.

De vigtigste resultater fra de syv temaer uddybes i det følgende:

#### Temaark 1. Affald som ressource

- Bygge- og anlægsbranchen genererer lidt over 5 mio. tons affald årligt, svarende til 40% af alt affald i Danmark.
- 36% af bygge- og anlægsaffaldet genanvendes, 52% nyttiggøres (f.eks. i knust form under veje), 7% forbrændes, og 5% deponeres.
- Et første estimat for direkte genbrug indikerer, at 13.000 tons byggematerialer blev genbrugt i 2021, svarende til ca. 0,25% af det årlige byggeaffald.
- Der er stadig et stort potentiale for at forbedre kvaliteten i den måde vi håndterer bygge- og anlægsaffald ved at fokusere på høj kvalitetsgenanvendelse samt genbrug.
- Der er potentiale for at genanvende flere millioner tons affald årligt, inkl. affald fra andre sektorer.

#### Temaark 2. Byggeriet som ressourcebank

- Bygningsarealet i Danmark er steget med knap 50% fra 1986 til 2024, og består nu af over 2 millioner bygninger og næsten 850 mio m<sup>2</sup>.
- Estimeret nedrivning er 1,7 mio. m<sup>2</sup> om året, med enfamiliehuse som den største kategori. Dog mangler der præcise tal om hvor meget og hvad der rives ned.
- Selektiv nedrivning, hvor materialer adskilles og sorteres under nedrivningen, bliver et krav fra juli 2024.
- Bygninger indeholder typisk materialer som beton, tegl, træ, glas, metal, gips, mineraluld og plast. Ældre bygninger, især dem bygget før 1950, har betydeligt ressourcepotentiale på grund af holdbare materialer, der kan skilles ad og genbruges, samt pga. de forholdsvis få skadelige stoffer, som blev brugt før 1950.

### Temaark 3. Brug af råstoffer i byggeriet

- Der blev indvundet 27 mio. m<sup>3</sup> mineralske råstoffer på land (bl.a. sand, ler, kalk og kridt) og 11 mio. m<sup>3</sup> fra havet (bl.a. sand, grus og ral) i 2022 i Danmark.
- Danmark er i øjeblikket stort set selvforsynende med mineralske råstoffer. Disse bruges til produktion af byggematerialer.
- Indvinding af råstoffer bliver sværere på sigt, da mineralske råstoffer er en ufornybar ressource, samt pga. pres på arealanvendelsen. Det er i 2013 estimeret, at der er 14-43 års forbrug tilbage i de udlagte graveområder. Dette estimat skal dog ikke forstås som et udtryk for, hvor mange års indvinding, der reelt er tilbage, da der fortsat kan udlægges nye indvindingsområder, både på land og på hav. Dette er dog problematisk, idet det kan generere konflikter omkring arealanvendelsen.
- Lokal tilgængelighed af mineralske råstoffer er vigtig, da de er dyre at transportere. I Østdanmark opleves i højere grad mangel på råstoffer end i Vestdanmark, men der opleves mangel på stenfraktioner til produktion af beton i det meste af landet.
- Data viser et stigende råstofforbrug i Danmark siden 2010. Efterspørgslen på råstoffer forventes dog at forblive stabilt på national plan (omkring 39-40 mio. m<sup>3</sup>/år) frem til 2040, men at stige globalt.
- Selvom genanvendelse forventes at få større betydning i fremtiden, kan cirkulær økonomi kun erstatte en lille del (omkring 9 %) af det samlede behov for råstoffer i byggeriet.

### Temaark 4. Skadelige stoffer og problematisk affald

- I 2021 blev der genereret knap 120.000 tons farligt affald fra byggeriet, herunder beton/mursten indeholdende skadelige stoffer, asbestholdige materialer mm.
- Centrale skadelige stoffer inkluderer PCB, asbest, tungmetaller, klorparaffiner og PAH'er. PFAS har også for nyligt fået stor opmærksomhed, men er endnu ikke reguleret i byggeriet.
- Forskellige skadelige stoffer er blevet brugt i forskellige tidsperioder i byggematerialerne, og deres tilstedeværelse kan påvirke indeklima, arbejdsmiljøet og/eller det eksterne miljø ifm. både brug af bygninger, renovering og affaldshåndtering. Derudover kan de mindske ressourcepotentialer i affaldet.
- Det er et centralt princip i dansk lovgivning, at skadelige stoffer skal fjernes før nedrivning. I produktion af nye byggematerialer er det vigtigt at overvåge og regulere brugen af kemikalier for at undgå at gentage fortidens fejl.
- Der er fra EU's side fokus på asbest, både ift. at fjerne asbest fra bygninger i størst muligt omfang, men også ift. at reducere deponering af asbestaffaldet og fremme teknologier, der kan nedbryde asbestfibre, så behandlede asbestholdige materialer kan genbruges og genanvendes, og behandling af asbestaffald sker i overensstemmelse med affaldshierarkiet.

### Temaark 5. Klimagevinst ved genbrug og genanvendelse

- Potentiale for CO<sub>2</sub>-besparelser ved øget genbrug og genanvendelse af byggematerialer i Danmark estimeres i de seneste undersøgelser at være 520.000 [ved optimering for genanvendelse] og 755.000 tons CO<sub>2</sub>/år [ved optimering for genbrug], svarende til hhv. 1,2 og 1,7 % af de danske drivhusgasudledninger inden for Danmarks grænser.
- If. Circularity Gap rapport er klimabesparelsepotentialet for cirkulære strategier i byggesektoren 12% [vha. cirkulære byggematerialer og lokale, bio-baserede materialer samt øget boligbebyggelsen og multifunktionelle bygninger].
- Livscyklusvurderinger [LCA] viser, at byggematerialernes indlejrede klimaaftryk ofte er 2-4 gange højere end påvirkningerne fra driftsenergiforbruget.
- Der kan opnås betydelige klimabesparelser ved genbrug og genanvendelse af byggeaffald, med de største besparelser typisk i forbindelse med genbrug. Genanvendelse indebærer en ny produktionsproces, typisk med energi- og materialeforbrug samt et vist materialetab, hvilket ikke nødvendigvis altid fører til en klimabesparelse.
- Genbrug af beton kan medføre væsentlige CO<sub>2</sub>-besparelser, men resultaterne vedr. genanvendelse af beton kan variere betydeligt afhængigt af betonens kvalitet, recepter og transportafstande.
- Selvom der pt. er et stort fokus på klima, kan miljøgevinsterne ved cirkulær økonomi ikke reduceres til kun CO<sub>2</sub>-besparelser: andre miljøpåvirkninger såsom nedbrydning af ozonlag, biodiversitet, forsurening, øko- og humantoksicitet samt ressourceforbrug er også væsentlige i en bæredygtighedsbetragtning.

### Temaark 6. Økonomisk potentiale, strategier og forretningsmodeller

- Det økonomiske potentiale ved øget genbrug og genanvendelse af byggematerialer estimeres i de seneste undersøgelser at variere mellem et 750 mio. kr./år tab [ved øget genanvendelse] og en 860 mio. kr./år gevinst [ved øget genanvendelse og en prioritering af direkte genbrug].
- Øgede ressourcepriser samt politiske virkemidler ligesom råstof- og CO<sub>2</sub>-afgifter og CO<sub>2</sub>-udledningsgrænser kan være med til at fremme cirkulære forretningsmodeller. Til gengæld er høje omkostninger til indsamling, sortering, nedrivning og klargøring af materialer en barriere.
- Forretningsmodeller som leasing, take-back ordninger og præstationskontrakter kan fremme cirkulær økonomi ved at reducere ressourceforbruget og fremme genanvendelse. Værktøj som en risikofond og en materialeplatform kan også hjælpe med at nedbryde barrierer i den cirkulære økonomi.
- Byggeriets værdikæde er kompleks og fragmenteret og omfatter en række aktører, deriblandt bygherre, materialeproducent, ingeniør, arkitekt, entreprenør, nedriver, affaldsbehandler, genbrugscenter, genbrugsforhandler, transportør og materialebørs.
- En afgørende barriere for den cirkulære omstilling af byggebranchen er, at storskala og kommercialisering af cirkulære løsninger generelt endnu udestår. Med den nuværende praksis er det dyrere og mere besværligt at arbejde efter cirkulære principper sammenlignet med den konventionelle tilgang. Der er behov for volumen og skalering af løsninger for fuld transformation.



### Temaark 7. Lovgivning, strategier og rammevilkår

- Nøglelovgivninger, der påvirker cirkulær økonomi i byggeri inkluderer kemikalie-, bygge- og affaldslovgivning. Disse reguleres både på EU- og på nationalt plan.
- Ny lovgivning om selektiv nedrivning fra 2024 med krav om bl.a. ressourcekortlægning forventes at understøtte bedre udnyttelse af ressourcer fra byggeriet.
- Klimakrav i bygningsreglementet fra 2023 sigter imod at reducere bygnings klimaaftryk.
- Eksisterende lovgivning repræsenterer stadig en barriere som hæmmer cirkularitet i byggeriet, bl.a. pga. manglende konkrete mål og krav [f.eks. cirkulært design, brug af gen-brugsmaterialer] samt økonomiske incitament.
- Der bliver arbejdet på en række indsatser, der kan understøtte cirkulær økonomi, bl.a. stramning af klimakrav, udarbejdelse af nye standarder, EU End-of-Waste kriterier for byggeaffald, revision af EU-byggevarerforordningen, EU-taksonomi mm.

### 3.2. Det vi skal blive klogere på

En gennemgående problemstilling, der blev tydeligt under udarbejdelsen af samtlige temaark var data-mangel. Dette er uddybet i det nedenstående:

- Data for affaldsmængderne er usikre og i nogle tilfælde aggregeret i kategorier, der omfatter flere fraktioner [f.eks. blandinger af beton, mursten, tegl og keramik]. Dertil kommer usikkerheder om hvor meget, der kan udsorteres og hvad kvaliteten af materialerne er ift. byggeriet.
- Der findes ikke opgørelser, der viser præcist hvor mange råstoffer, der er tilbage. Dette skyldes, at muligheden for at indvinde råstoffer afhænger af den måde, arealerne bliver anvendt på, og arealanvendelsen er en prioritering, hvor indvinding af råstoffer skal sammenholdes med andre måder at bruge arealerne på, f.eks. natur, by og landbrug.
- CO<sub>2</sub>-opgørelser for genbrugsmaterialer er usikre og i mange tilfælde case-specifikke, hvor resultaterne afhænger af de konkrete forhold for det specifikke genbrugsprojekt. Dette gør det komplekst at tegne et overordnet billede.
- Der burde findes opgørelser, der viser, hvilke komponenter den samlede eksisterende bygningsmasse består af, og dermed hvad genbrugspotentialet er. Derudover afhænger det egentlige potentiale for genbrug af både miljømæssig og teknisk kvalitet af komponenterne.
- Nedrivninger og renoveringer burde registreres i et centralt register. Dette vil muliggøre at estimere deres omfang.

## 4. Overordnede trends og perspektiver

### 4.1. Cirkulær økonomi, klima, bæredygtighed

Cirkulær økonomi, CO<sub>2</sub>-reduktion og bæredygtighed er tæt forbundne mål, men de er ikke altid nemme at balancere. Cirkulær økonomi fokuserer på at minimere forbruget af primære råstoffer og maksimere genbrug og genanvendelse. CO<sub>2</sub>-reduktion handler om at reducere drivhusgasemissioner, mens bæredygtighed omfatter miljømæssige, sociale og økonomiske aspekter. Cirkulær økonomi og CO<sub>2</sub>-reduktion repræsenterer kun to aspekter af den miljømæssige bæredygtighed, som også bl.a. omfatter biodiversitet, miljøskadelig kemi og ferskvand.

Genbrug og genanvendelse kan i nogle tilfælde bidrage til CO<sub>2</sub>-reduktion ved at spare energi og ressourcer, der ellers ville blive brugt til at producere nye materialer. For eksempel kan genbrug af beton reducere CO<sub>2</sub>-udledningen med op til 96% sammenlignet med konventionel betonproduktion. Men det er vigtigt at tage højde for, at genanvendelsesprocesser også kan medføre CO<sub>2</sub>-udledninger, afhængigt af de anvendte metoder og transportafstande [jf. temaark 5].

### 4.2. Beregningsmetoder

Vurdering af bæredygtighed kræver en helhedsorienteret tilgang, hvor både miljømæssige, sociale og økonomiske faktorer tages i betragtning. Dette inkluderer bl.a. at sikre, at genanvendte materialer ikke indeholder skadelige stoffer, og at arbejdsforholdene er sikre og retfærdige, samt at processen kan betale sig fra et økonomisk synspunkt. Bæredygtigheden kan vurderes via en såkaldt Life Cycle Sustainability Assessment, der består af livscyklusvurdering (LCA) af miljøeffekterne, life cycle costing (LCC) og social life cycle assessment (sLCA) og dermed integrerer miljømæssige, økonomiske og sociale dimensioner af bæredygtighed over et livscyklusperspektiv. Fordelen ved livscyklusperspektivet er, at når effekterne i alle faser og aspekter af et produkts livscyklus analyseres, kan der opnås et beslutningsgrundlag, så beslutningstager undgår såkaldt "burden shifting", hvor en miljøeffekt blot flyttes fra f.eks. produktion til drift, eller fra en miljøpåvirkningskategori til en anden.

En LCA er et vigtigt værktøj til at vurdere de samlede miljøpåvirkninger af et produkt eller en proces. Selv om reduktion af CO<sub>2</sub> udledninger i dag har overtaget hovedparten af den politiske dagsorden, kan en LCA beregne mange andre miljøparametre end klimabelastning, f.eks. biodiversitet, vand- og ressourceforbrug, human- og økotoxicitet. LCA kan hjælpe med at identificere de tiltag, der bidrager til både cirkulær økonomi, CO<sub>2</sub>-reduktion og den miljømæssige bæredygtighed.

LCC analyserer de økonomiske aspekter af et produkts levetid, fra produktion til bortskaffelse, inklusive drifts- og vedligeholdelsesomkostninger. Dette hjælper med at identificere de mest økonomisk fordelagtige løsninger.

sLCA vurderer de sociale konsekvenser af et produkt gennem dets livscyklus, såsom arbejdsforhold, menneskerettigheder og samfundsmæssige påvirkninger. Dette sikrer, at produkter ikke kun er miljømæssigt og økonomisk bæredygtige, men også socialt ansvarlige.

Det vil altid være vigtigt at have transparens omkring de valg, der er foretaget i LCA, LCC og sLCA, og de data, der er anvendt.

### 4.3. Fokus på genbrug og højkvalitetsgenanvendelse

Genbrug og højkvalitetsgenanvendelse<sup>1</sup> er centrale elementer i den cirkulære økonomi, og de rummer et stort potentiale for at reducere miljøbelastningen fra byggeriet. Ifølge data fra Affaldsstatistikken blev kun 36% af bygge- og anlægsaffaldet genanvendt i 2021, mens genbrug estimeres at udgøre 0,25%, hvilket indikerer et betydeligt forbedringspotentiale [jf. temaark 1].

Et nyligt EU-studie har vist, at det estimerede miljømæssige og økonomiske potentiale for øget genbrug og højkvalitetsgenanvendelse af byggeaffald varierer afhængigt af, om genbrug prioriteres. Når deponering og forbrænding reduceres til et minimum, og de bedst tilgængelige genanvendelsesteknologier implementeres<sup>2</sup>, mens genbrug holdes på samme niveau som i dag, estimeres en klimabesparelse for Danmark på knap 520.000 tons CO<sub>2</sub>/år, samt et økonomisk tab på 750 mio. kr./år. Til gengæld, når forberedelse til genbrug prioriteres over genanvendelse, og de samme øvrige forhold gælder, estimeres en klimabesparelse for Danmark på knap 755.000 tons CO<sub>2</sub>/år, samt en økonomisk gevinst på 860 mio. kr./år [jf. temaark 5 og 6].

En anden EU-rapport har vist, at højkvalitetsgenanvendelse af beton, hvor både i) knust beton genanvendes som tilslag i ny beton, men også ii) ultrafine betonpartikler genanvendes som erstatning for cement, performer markant bedre end både materialenyttiggørelse som vejfyld og lavkvalitetsgenanvendelse (hvor knust beton blot genanvendes som tilslag i ny beton). Mere specifikt giver højkvalitetsgenanvendelse en betydelig CO<sub>2</sub>-besparelse kontra en mindre CO<sub>2</sub>-belastning for både materialenyttiggørelse som vejfyld og lavkvalitetsgenanvendelse [jf. temaark 5].

Genbrug af byggematerialer indebærer, at materialerne anvendes direkte i deres oprindelige form uden større forarbejdning. Et godt eksempel på dette er genbrug af mursten og tagsten fra ældre bygninger. Genbrug kræver dog ofte en nænsom nedrivning, hvor materialerne demonteres og renses, uden at de blive beskadiget. Dette kan være omkostningsfuldt.

Genanvendelse involverer derimod en proces, hvor materialer forarbejdes for at blive brugt i produktionen af nye materialer. Dette kan inkludere genanvendelse af knust beton som tilslag i ny beton eller genanvendelse af træ til spånplader. Ved højkvalitetsgenanvendelse er det vigtigt, at materialernes kvalitet opretholdes, så de kan erstatte jomfruelige materialer af så høj kvalitet som muligt. En kritisk gennemgang af klimapotentialer for beton i et cirkulært perspektiv har vist, at genanvendelse i nogle tilfælde kan medføre højere CO<sub>2</sub>-udledninger, hvis cementindholdet i den nye beton øges, transportafstande er store og kvaliteten af den oprindelige beton er lav. Det kan være svært at vurdere, hvad der er det rigtige at gøre i forhold til klimaaftryk eller ressourceforbrug, hvorfor case-specifikke analyser er afgørende for at kunne træffe de rette beslutninger.

Genbrug og højkvalitetsgenanvendelse kræver bedre sortering og indsamling af affald samt udvikling af teknologier og processer, der kan sikre materialernes kvalitet. Dette indebærer investeringer i nye metoder, teknologier og udstyr samt uddannelse af de involverede aktører. De nye krav om selektiv nedrivning forventes at understøtte dette. En styrket indsats på disse områder kan bidrage til at øge andelen af materialer, der genbruges eller genanvendes ved høj kvalitet, og dermed reducere afhængigheden af jomfruelige råstoffer.

<sup>1</sup> Et eksempel af højkvalitetsgenanvendelse for beton er teknologier, der muliggør både genanvendelsen af den knuste beton som tilslag i ny beton, men også genanvendelsen af de ultrafine beton partikler som erstatning for cement.

<sup>2</sup> Inkl. højkvalitetsgenanvendelse af beton.

#### 4.4. Materialeflow på tværs af sektorerne

I Danmark udgør bygge- og anlægsbranchen en betydelig del af det samlede affald, men der er også store mængder affald fra andre sektorer, der potentielt kan udnyttes i byggeriet – over 4 mio. tons/år. Ifølge data fra affaldsstatistikken blev 57% af husholdningsaffaldet, 59% af affaldet fra servicesektoren og 73% af affaldet fra industrien genanvendt i 2021 [jf. temaark 1]. Disse affaldsstrømme indeholder mange materialer, der potentielt kan anvendes som byggematerialer, bl.a. papir og pap, tekstiler, glas, træ, plast og metal.

Når der ses på de danske tal for hhv. råstofindvinding og generering af bygge- og anlægsaffald [jf. hhv. temaark 3 og 1], hvor der alene ses på mængder af mineralske fraktioner og hvor meget byggeaffald, der samlet set nyttiggøres og genanvendes, er et groft overslag, at bygge- og anlægsaffald kan erstatte 9 % af råstofindvinding til byggeriet.

For at opnå en cirkulær økonomi i byggeriet er det derfor ikke tilstrækkeligt at blot fokusere på intern recirkulering af materialer inden for byggesektoren. Der er behov for at hente materialer fra andre sektorer for at sikre tilstrækkelig forsyning af genbrugsmaterialer og sekundære råstoffer.

Recirkulering af materialer på tværs af sektorer kræver en systematisk tilgang til både dokumentation og beslutningsstøtte, og det er nødvendigt med bedre samarbejde og koordinering mellem forskellige industrier. Dette kan opnås gennem etablering af materialebanker og digitale platforme, der faciliterer udveksling af materialer. Desuden er der behov for standarder og certificeringsordninger, der sikrer kvaliteten og sikkerheden af de genanvendte materialer. Recirkulering af materialerne på tværs af sektorerne kræver også beslutningsstøtte, da materialerne kan have mange potentielle anvendelser, og det er vigtigt at vælge det formål, der giver den største værdi. Derudover er genbrugsmaterialer og sekundære råstoffer også en begrænset ressource. Her kan konsekvens-LCA være et vigtigt værktøj ift. at vurdere de realistiske effekter af at bruge en bestemt sekundær materialestrøm til et bestemt formål, ved at tage højde for alle evt. kaskadeeffekter og markedskonsekvenser.

#### 4.5. Behov for data, sporbarhed og dokumentation

En effektiv cirkulær økonomi kræver sporbarhed, data og dokumentation for materialernes kvalitet og oprindelse. Dette kan opnås gennem udvikling og implementering af materialepas, som er digitale dokumenter, der indeholder information om materialernes sammensætning, oprindelse og tidligere anvendelse.

Materialepas kan bidrage til at skabe større gennemsigthed og tillid i markedet for genbrugsmaterialer. De kan bruges til at dokumentere, at materialerne lever op til gældende lovgivning og standarder, samt til at sikre, at de ikke indeholder skadelige stoffer. Materialepas kan også hjælpe med at optimere genanvendelsesprocesser ved at give oplysninger om materialernes kvalitet og egenskaber [jf. temaark 6].

Digitale platforme som materialebanker og materialebørser kan facilitere udveksling af genbrugsmaterialer, samt skabe volumen og forsyningssikkerhed ved at samle og skalere genbrugsmaterialer [jf. temaark 6]. En digital platform, der samler data om materialer, affaldsmængder og genanvendelsesprocesser, kan spille en vigtig rolle i at fremme brugen af materialepas. Dette vil også bidrage til at sikre faglig dokumentation af materialernes kvalitet og skabe bedre sporbarhed i værdikæden, hvilket er vigtigt for at sikre høj kvalitet og sikkerhed i genbrugs- og genanvendelsesprocesserne.

Især når materialerne skal cirkulere på tværs af forskellige brancher, er det nødvendigt at standardisere rammevilkårene for dataflowet og sikre, at der er en fælles forståelse omkring struktur, format, sammenlignelighed, deling, ejerskab samt fortrolighed af de indsamlede data. Dette kræver samarbejde mellem forskellige aktører, herunder producenter, affaldshåndteringsvirksomheder, bygherrer og myndigheder. Derudover er det vigtigt at udvikle digitale løsninger, der kan understøtte indsamling og udveksling af data.

#### 4.6. Digitalisering og automatisering

Digitalisering spiller en afgørende rolle i at fremme cirkulær økonomi i byggeriet ved at muliggøre bedre dataindsamling, sporbarhed og dokumentation samt mere præcise og effektive arbejdsgange.

Digitale teknologier som digitale tvillinger, 3D-scanning, Building Information Models (BIM), virtuel/mixed/augmented reality (tilsammen kendt som extended reality eller XR) og andre digitale teknologier kan effektivisere bygge- og nedrivningsprocesser (herunder også miljø- og ressourcekortlægninger samt miljøsaneringsprocesser) forbedre tids- og ressourceforbrug og bidrage til at dokumentere (og dermed optimere) f.eks. energi- og materialeforbrug. En digital byggeproces med standardiserede data-formater og digitale processer kan sikre, at data deles og anvendes på tværs af værdikædens aktører. Dette kan understøtte bedre beslutningstagning og fremme cirkulær økonomi i byggeriet.

Derudover er der en udvikling mod øget automatisering på byggepladserne med brug af robotter og andre redskaber, der kan reducere de manuelle arbejdsgange. F.eks. er der udvikling mod automatisering af nedrivningsprocesserne ved brug af AI til gavn for både udnyttelse af ressourcer, arbejdsmiljø og økonomi.

#### 4.7. Fokus på bevaring

I lyset af, at cirkulær økonomi kun kan erstatte en lille del af det samlede behov for råstoffer i byggeriet, er der behov for at reducere forbruget og dermed behovet for materialer – f.eks. ved at udnytte det eksisterende byggeri bedre, og længere.

Renovering og bevaring af eksisterende bygninger er ofte mere fordelagtigt end nedrivning og nybyggeri både økonomisk og miljømæssigt. En undersøgelse fra 2020 viste, at renovering er mest fordelagtig både med hensyn til klimapåvirkning og totaløkonomi i samtlige

16 cases, der blev analyseret. En nyere undersøgelse fra 2022 bekræfter denne tendens – især når renoveringsindsatsen har fokus på energioptimering (jf. temaark 2). Den samme undersøgelse har også vist, at nedrivninger kan tælle op til 20 % af den samlede klimabelastning. Nedrivninger er i de nuværende betingelser ikke omfattet af klimakrav, hvilket kan skævvride beslutningsprocessen og øge incitamentet for nedrivning. Derudover kan renovering reducere affaldsmængder og bevare de indlejrede ressourcer i bygningerne.

Nedrivning bør kun overvejes, når det ikke er økonomisk eller teknisk muligt at renovere. Ved både nedrivning og renoveringer er det vigtigt at anvende selektiv nedrivning, hvor materialer adskilles og sorteres med henblik på genbrug og genanvendelse. Dette kan bidrage til at maksimere ressourceudnyttelsen og minimere miljøpåvirkningen. Kravet om selektiv nedrivning gælder kun ved totalnedrivninger på byggeri på 250 m<sup>2</sup> eller derover, hvilket udelukker størstedelen af enfamiliehuse, som udgør omkring halvdelen af alle bygninger og repræsenterer den største kategori af nedrevet byggeri. Derfor er det nødvendigt at være ekstra ambitiøse ift. selektiv nedrivning af de mindre byggerier.

Renovering og bevaring kræver en omhyggelig planlægning og vurdering af bygningens tilstand og potentiale. Det er også vigtigt at tage hensyn til bygningens historiske, kulturelle og arkitektoniske værdi. En kombination af økonomiske incitamenter, regulering og teknologisk udvikling kan fremme renovering og bevaring som et middel til at begrænse byggeris miljøpåvirkninger.

Et yderligere, relevante tiltag med henblik på at minimere råstofforbruget og CO<sub>2</sub>-udledningen er at udnytte eksisterende kvadratmeter som alternativ til nybyggeri, også kaldet "fortætning". Et eksempel på dette er indretning af flere boliger i den eksisterende bygningsmasse, f.eks. via uudnyttede tagarealer i etage- eller kontorejendomme, tomme boliger mm.

#### 4.8. Behov for skalering

For at cirkulær økonomi kan få den ønskede effekt i byggebranchen, er det nødvendigt at skalere tiltag fra pilotprojekter til storskalaniveau. Pilotprojekter har vist, at det er muligt at implementere cirkulære løsninger, men der mangler stadig volumen og kommercialisering for at opnå en bredere impact. Det er dyrere og mere besværligt at arbejde efter cirkulære principper med den nuværende praksis sammenlignet med den konventionelle tilgang.

Volumen og skaleringsløsninger kræver investeringer i teknologi, infrastruktur og uddannelse. Det er vigtigt at udvikle effektive og omkostningseffektive metoder til at nedtage, indsamle, sortere og genanvende materialer. Dette inkluderer også udvikling af markeder for genbrugsmaterialer og etablering af materialebanker og materialebørser.

Politisk støtte og incitamenter er også nødvendige for at fremme cirkulære løsninger. Dette kan omfatte økonomiske incitamenter, reguleringer og standarder, der fremmer genbrug og genanvendelse. For eksempel kan grønne afgifter og CO<sub>2</sub>-afgifter skabe økonomiske incitamenter for virksomheder til at implementere cirkulære løsninger. Lovgivning kan også være med til at fremme den cirkulære dagsorden (jf. temaark 7).

Samarbejde og partnerskaber mellem forskellige aktører i værdikæden er også afgørende for at skalere cirkulære løsninger. Dette inkluderer samarbejde mellem producenter, affaldshåndteringsvirksomheder, bygherrer, myndigheder og forskningsinstitutioner.

Endelig er det vigtigt at dele viden og erfaringer fra pilotprojekter for at fremme best practices og inspirere andre aktører til at implementere cirkulære løsninger. Dette kan ske gennem etablering af videnscentre, uddannelsesprogrammer og netværk, der fremmer erfaringsudveksling og kompetenceopbygning inden for cirkulær økonomi i byggeriet.

#### 4.9. Skadelige stoffer

Skadelige stoffer i byggeriet er fortsat en udfordring – både bagudrettet i forhold til de problematiske stoffer, der har været anvendt, og fremadrettet i forhold til kemikalier, der fortsat bliver anvendt intensivt i nye byggevarer. Det faktum, at der hele tiden opstår ny viden om kemikaliernes risiko, gør det svært at forhindre, at der kan opstå nye problemer med skadelige stoffer i byggeriet i fremtiden (jf. temaark 4).

Bygningspas og materialepas, der kan sikre, at oplysninger om de problematiske stoffer bliver registreret i hele værdikæden, er en løsning. Der er udviklet et frivilligt materialepas for jomfruelige materialer [DCMP – Digital construction material passport<sup>3</sup>] og et materialepas for genbrugsmaterialer er ligeledes ved at blive udviklet<sup>4</sup>. Materialepas for både nye og eksisterende materialer skal sikre, at skadelige stoffer i byggevarer registreres. Da området er komplekst, og der er mange fejlkilder til registrering, kan en mulig indsats være at supplere løsninger, der arbejder med at samle dokumentation om kemikalier med en tredjepartsverificering for at sikre, at oplysningerne er valide og korrekte.

#### 4.10. Miljøpåvirkninger fra byggepladser

Miljøpåvirkninger fra byggepladser er et emne med stigende bevågenhed i kraft af den nylige stramning af klimakrav, som gør, at fra 2025 skal fase A5 (opførelse af et nyt byggeri) medregnes i klimaberegningerne (jf. temaark 7). Der er to overordnede aspekter ifm. minimering af miljøbelastninger fra byggepladser: energiforbrug samt materialespild.

Et oplagt tiltag ifm. energiforbrug og udledninger er el-drevne byggemaskiner. Derudover kan både digitale teknologier og adfærd spille en afgørende rolle i at minimere miljøpåvirkninger fra byggepladser. Vha. digitale teknologier (f.eks. digitale tvillinger) kan udledninger fra maskinerne overvåges, materialelogistikken optimeres, real-time dataindsamling implementeres, og digital planlægning og simulation forbedres. Ved at bruge BIM (Building Information Modeling) kan byggeprojekter planlægges mere præcist, hvilket reducerer behovet for tilpasning og spild. Sensorteknologi og IoT-enheder muliggør real-time overvågning af materialeforbrug, hvilket hjælper med hurtig identifikation og korrektion af spildområder.

<sup>3</sup> <https://materialpass.org/>

<sup>4</sup> <https://www.teknologisk.dk/projekter/materialepas-for-genbrugte-byggematerialer/46050>

Desuden kan uddannelse og træning i bæredygtige byggemetoder skabe en kultur med fokus på minimalt spild samt diesel- og energiforbrug. Et særligt fokuspunkt er her at undgå fugtskader i byggeriet ved opførelse, da dette medfører dels fejl i byggeriet og dels et efterfølgende materialespild. Sådanne fugtskader kan eksempelvis undgås ved at indføre løbende fugtmåling i byggeprocessen.

#### 4.11. Regenerativt byggeri

Regenerativt byggeri repræsenterer en avanceret tilgang til byggeriet, der går videre end bæredygtighed. Mens bæredygtigt byggeri fokuserer på at minimere dets negative effekter på bl.a. miljøet, sigter regenerativt byggeri mod at skabe bygninger, der aktivt forbedrer miljøet. Dette inkluderer brugen af cirkulære materialer, vedvarende energikilder og integrering af grønne områder, der støtter biodiversiteten. Målet er at skabe strukturer, der ikke blot reducerer skadelige påvirkninger, men som også genopbygger økosystemer og giver tilbage til naturen og samfundet. Regenerativt byggeri kræver en holistisk tilgang, hvor design, konstruktion og drift arbejder sammen for at skabe positive miljømæssige, sociale og økonomiske resultater.

#### 4.12. Undersøgelser af den samlede bygningsmasses potentiale

Af temaark nr. 2 fremgår det, at der ikke findes et samlet og detaljeret overblik over materialerne i hele bygningsmassen. Building Stock Modelling er en metode, hvor man, ved hjælp af geografiske referencer og overslag over materialeintensiteter i de enkelte bygninger, kan skabe et samlet overblik af bygningsmassen relateret til den geografiske placering.

En mulig indsats er derfor at kombinere denne metode med en praktisk tilgang til bygninger, hvor der anvendes referencebygninger med enkelte opgørelser af materialer. Dette kunne være en metode til at få bedre data om bygningsmassen.

#### 4.13. Sortering og adskillelse af materialer

Af temaark nr. 1 fremgår det, at en vedvarende udfordring på affaldsområdet er sortering af materialer. Affald af eksempelvis plastik, metal og beton er ikke bare en ensartet affaldsfraktion. Affaldet består af en række forskellige typer og kvaliteter, men vil ofte i praksis blive blandet sammen. Løsningen er en blanding af teknologi, praktiske løsninger og opgradering af kompetencer af mandskabet, der håndterer affaldet.

En mulig indsats er at indsamle data om forskellige sorteringspraksis og sorteringsløsninger på forskellige byggepladser, der kan understøtte den teknologiske udvikling og praktiske løsninger.

En række byggevarer er desuden sammensat af mange forskellige typer materialer, f.eks. kompositmaterialer, hvilket øger kompleksiteten i den efterfølgende affaldsbehandling og kan i nogle tilfælde være en udfordring ift. cirkularitet. Der mangler information om hvordan dette påvirker affaldssystemet og hvordan disse materialer bedst muligt kan blive cirkulære, og en mulig indsats kunne være at indsamle data om dette.