



CON TECH LAB —

RAPPORT

Digitalisering som
middel til en bæredygtig
byggebranche

CON
TECH
LAB_

ConTech Lab er byggebranchens fælles udviklingsplatform, hvor byggeriets virksomheder sammen kan udvikle og eksperimentere med nye måder at benytte data, digitalisering og teknologi på til at skabe fremtidens byggeri – et mere bæredygtigt og produktivt byggeri.

Formålet med rapporten er at give et 360-graders perspektiv på, hvordan byggebranchen kan blive bedre til at udnytte teknologi til at fremme og udvikle bæredygtigt byggeri. Ydermere at give den enkelte virksomhed, der gerne vil arbejde med bæredygtigt byggeri inspiration til hvilke teknologier, der er modne og implementerbare.

Rapporten er udviklet af ConTech Lab i samarbejde med et bredt udsnit af byggeriets virksomheder. Den giver et overblik over generelt anvendte bæredygtighedsteknologier i dag suppleret af konkrete cases og eksempler på, hvordan ny teknologi og digitalisering kan løfte branchens fælles indsats for en mere bæredygtig byggebranche i fremtiden.

ConTech Lab er et samarbejde mellem Molio, Realdania og Industriens Fond.

God læselyst!

Indhold

Forord	5
Introduktion	6
Executive Summary	8
Del 1:	
Generelt anvendte bæredygtighedsteknologier i dag	11
Bæredygtighedscertificering	12
LCA, livscyklusanalyse	14
Beregning af dagslys, energi og indeklima	18
Materialevalg	22
Sensorer	26
Opsummering af del 1	28
Del 2:	
Teknologier ready-for-market. Klar til bæredygtighedsopgaver	31
LCA, livscyklusanalyse	32
Brug af IoT-sensorer	34
Generative design	36
Materiale- og bygningspas	38
3D print	40
Maskiner og robotter	42
Opsummering del 2	44
Samarbejde	46
Referencer	48



Forord

Den danske bygge- og anlægsbranche står over for en ambitiøs og grøn omstilling. Der skal bygges langt mere bæredygtigt og produktivt i fremtiden, hvis vi skal have en mulighed for at imødekomme de klima- og miljøudfordringer, som verden står overfor. Bygge- og anlægsbranchen kommer til at spille en afgørende rolle, når det kommer til at reducere CO₂-aftrykket, ressourceforbruget og affaldsmængderne fra fremtidige bygninger og byggepladser.

Det er krævende at bygge bæredygtigt i dag. Der stilles store krav til virksomhederne i alle led af byggeriets værdikæde, som alle udfordres på at finde rentable løsninger på at leve op til høje krav til bl.a. data, dokumentation og materialer. Derfor er det også vigtigt, at ConTech Lab med denne rapport sætter fokus på, hvordan eksisterende teknologier og digitale løsninger kan være med til at lette og effektivisere byggeriets arbejde med bæredygtighedsopgaver. Rapporten viser med al tydelighed, at en væsentlig del af byggeriets bæredygtighedspotentiale vil kunne løftes ved hjælp af eksisterende og modne teknologier. Teknologier, som desværre kun i meget begrænset omfang bliver benyttet i byggebranchen i dag.

Så der er ingen tvivl om, at der findes et meget stort behov for at udbrede kendskabet til de mange digitale værktøjer og teknologier – og ikke mindst skabe viden om, hvordan virksomhederne kan drage nytte af dem allerede i dag. Modne og afprøvede teknologier kan være med til at understøtte en udvikling, hvor bæredygtighed bliver tænkt ind fra starten og fremadrettet bliver en integreret del af byggeriets processer.

Det er vores håb, at indholdet i denne rapport og de konkrete anbefalinger kan være med til at inspirere små såvel som store virksomheder i byggebranchen til at tage et skridt i retning af en ambitiøs omstilling – og være med til at fremme udviklingen af et bæredygtigt byggeri i Danmark. En digital, bæredygtig og produktiv dansk byggebranche vil styrke byggeriets konkurrenceevne og ikke mindst gøre danske virksomheder til et forbillede i et globalt marked, som efterspørger bæredygtige løsninger for fremtiden.

Thomas Hofman-Bang

Adm. direktør i Industriens Fond

Lennie Clausen

Programchef i Realdania

Introduktion

Formålet med rapporten er at kortlægge den eksisterende viden om, hvordan byggebranchen ved brug af moden teknologi og digitalisering kan fremme og udvikle et mere bæredygtigt byggeri. Rapporten giver et overblik over, hvilke teknologier der anvendes i dag samt hvilke teknologier, der er modne og implementerbare og i den forstand klar til at understøtte bæredygtighed i den danske byggebranche.

Byggebranchen har et stort potentiale for at øge bæredygtigheden i og med, at byggeriet i dag står for 40 % af de globale CO2 udledninger. Derfor er omverdens krav til øget bæredygtighed og et lavere klimaaftryk presserende. Ydermere er byggesektoren blandt de mindst digitaliserede sektorer i Danmark. Vi ønsker i denne rapport at øge indsigten i og forståelsen for, hvilke teknologier og digitale værktøjer, der kan fremme bæredygtigt byggeri i dag og i fremtiden, så vi som branche har mulighed for at yde et væsentligt og mærkbart bidrag til samfundets grønne omstilling.

Gennem rapporten kan alle, der har fokus på bæredygtigt byggeri eller arbejder med bæredygtighed som specialområde, få et tidssvarende indblik i hvilke digitale værktøjer, der hjælper med at løse bæredygtighedsopgaver.

ConTech Lab ønsker et bredt samarbejde omkring bæredygtighed. Derfor kan rapporten (også) læses med henblik på at identificere potentielle samarbejdsmuligheder på tværs af branchens initiativer, der arbejder inden for bæredygtighed og/eller digitalisering. Rapporten er blevet til i en kombination af desk research, dialog med branchens initiativtagere inden for bæredygtigt byggeri samt forskellige bæredygtighedseksperter på tværs af byggeriets værdikæde. Indholdet i rapporten er efterfølgende blevet valideret af nogle af initiativtagerne.

Rapporten er en del af den indsats ConTech Lab – en del af Molio, Industriens Fond og Realdania har igangsat for at indsamle og formidle viden om, hvordan byggebranchen kan blive bedre til at udnytte ny teknologi og digitalisering i forbindelse med bæredygtighed i byggeriet.

Læsevejledning

Indholdet er struktureret i to hovedafsnit, der tilsammen giver et overordnet 360-graders perspektiv på byggebranchens anvendelse af teknologi i forbindelse med bæredygtighedsopgaver.

Del 1:

Generelt anvendte bæredygtighedsteknologier i dag

handler om, hvilke bæredygtighedsopgaver, der typisk arbejdes med i dag, og om hvilke teknologier der ofte benyttes til at løse dem. Afsnittet giver et holistisk overblik over den seneste udvikling og de seneste tendenser i byggebranchen.

Afsnittets resultater og indsigter er fremkommet ved at interviewe en række bæredygtighedseksperter, som repræsenterer forskellige aktører i byggebranchen. De interviewede personer beskæftiger sig hovedsageligt med bæredygtighed, nogen af dem både med bæredygtighed og teknologi. De interviewede giver deres bud på, hvad de ser som typiske bæredygtighedsopgaver. De fortæller også,

hvilke digitale værktøjer de benytter for at løse opgaverne. Vi har desuden talt med dem om de udfordringer, der er i forbindelse med opgaverne, konkret og generelt for byggebranchen.

Del 2:

Teknologier ready-for-market. Klar til øget bæredygtighed

handler om teknologier, der er modne, men som endnu kun benyttes af få virksomheder i byggebranchen. Afsnittet er bygget op af cases med danske virksomheder, der benytter et bestemt digitalt værktøj eller en teknologi til at løse bæredygtighedsopgaver.

Vi har desuden hentet inspiration i udlandet hos virksomheder, der i større grad end herhjemme anvender ready-for-market-teknologier til at løse bæredygtighedsopgaver. I afsnittet er forskellige personer, som beskæftiger sig med ready-for-market-teknologier inden for bæredygtighed, enten i Danmark eller i udlandet, blevet interviewet.

Definition af ConTech

Begrebet ConTech dækker over de forskellige typer af teknologi og digitalisering som under ét betegnes Construction Technologies og som forkortes til ConTech.

Det dækker over både software og hardware, der kan effektivisere og forbedre selve byggeprocessen gennem hele værdikæden – fra design og projektering over udførelse og efterfølgende drift.

Liste over forkortelser

BIM	Building Information Modelling
DK-GBC	Danish Green Building Council Denmark
BREEAM	Building Research Establishment's Environmental Assessment Method
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
EPD	Environmental Product Declaration (Miljøvaredeklaration)
IoT	Internet of Things
LCA	Life Cycle Analysis (Livscyklusanalyse)
LCC	Life-cycle cost analyse

Afsnit	Generelt anvendte bæredygtigheds-teknologier i dag	Teknologier ready-for-market. Klar til øget bæredygtighed
Metode	Basis research & interviews	Cases & muligheder
Tidshorisont	I dag	Ready for market

Executive Summary

Vores undersøgelse af sammenhængen mellem teknologier og bæredygtighed har vist, at en væsentlig del af byggeriets bæredygtighedspotentiale kan løses med eksisterende modne teknologier, som endnu kun benyttes af få aktører i byggebranchen.

Bæredygtighed er blevet en integreret del af virksomhedernes arbejde i byggebranchen. Det stiller store krav til virksomhederne at kunne løse de mange opgaver relateret til bæredygtighed. Store dele af branchen er allerede i fuld gang med at implementere og udforske, hvordan man kan introducere digitale værktøjer og teknologier til at understøtte og effektivisere løsningen af de nuværende opgaver og derved løfte arbejdet med bæredygtighed til et nyt niveau. Men på trods af den positive udvikling, er der et meget stort potentiale i branchen, hvis man kan lykkes med at sikre en større udbredelse af de eksisterende løsninger på tværs af branchen.

De primære årsager til den lave udbredelse af teknologier til at løse bæredygtighedsopgaver er, at virksomhederne ikke har de fornødne digitale kompetencer eller ikke prioriterer den nødvendige tid til at sætte sig ind i, hvordan teknologierne kan implementeres i byggeprocessen og dermed skabe værdi for virksomheden, dens samarbejdspartnere og resten af samfundet. Potentialet ved at tage teknologierne i brug er imidlertid stort. Fordelene er bl.a. effektivisering, udnyttelse af data til optimering af processer og erfaringsudveksling på tværs af projekter og materialer.








Der hersker en generel opfattelse af, at teknologi er en dyr investering uden mulighed for en fornuftig return on Investment (ROI). Det er en holdning, der synes at være udsprunget af manglende viden om det bagvedliggende potentiale for en tidligere inddragelse af bæredygtighed i byggeprocessen. Der er yderligere

behov for at udbrede kendskabet til, hvordan en virksomhed kan bruge moden teknologi til at løse bæredygtighedsopgaver i udviklingen af forretningen.

Ligeledes viser rapporten, at der er et behov for at udbrede kendskab til de modne teknologier, der kan benyttes, når byggeriet driftes og skal renoveres eller nedrives. Der er meget fokus på bæredygtighed fra idé til udførelse og aflevering, men der er tendens til at glemme det kæmpe potentiale, der ligger i at øge bæredygtighed i forbindelse med drift, nedrivning og renovering, f.eks. ved at benytte modne teknologier, som sensorer og robotter, der kan optimere processer, minimere spild og øge cirkularitet.

Denne rapport illustrerer behovet for at udbrede kendskabet i byggebranchen til modne teknologier, der allerede nu kan løse bæredygtighedsopgaver. ConTech Lab ønsker med rapporten at sætte fokus på modne teknologier og implementeringen af dem i byggeprocessen. ConTech Lab vil bl.a. i samarbejde med branchen arbejde med løbende pionerprojekter med fokus på bæredygtighed og på, hvordan moden teknologi kan implementeres i praksis. Resultaterne af pionerprojekterne bliver tilgængelige via ConTech Labs hjemmeside. ConTech Lab arbejder yderligere på at udvikle et økosystem, der giver et overblik over tech-virksomheder, som understøtter bæredygtighedsopgaver. På denne måde er visionen, at barrieren over for teknologier nedbrydes, og potentialet ved brug af teknologier udbredes i byggebranchen.

Anbefalinger på baggrund af rapporten:

-  Det er hensigtsmæssigt for virksomheder i byggebranchen at gennemgå deres byggeprocesser og sikre, at bæredygtighed bliver integreret samt undersøge, hvordan nyere teknologi kan bidrage til at understøtte bæredygtighed.
-  Digitale kompetencer skal løftes hos bæredygtighedseksperter og omvendt skal bæredygtighedsniveauet løftes hos digitale eksperter, så de i fællesskab kan skabe bedre løsninger.
-  Som virksomhed kan man med fordel undersøge, hvilke teknologier som passer til den enkelte bæredygtighedsopgave for at opnå mest muligt værdi samt ensartethed. Dette gælder især for simuleringer.
-  Bygherre og forbruger skal tage et større ansvar og efterspørge øget bæredygtighed med målbare krav og definitioner.
-  Byggebranchen har brug for fælles standarder for at kunne ensarte tilgangen til bæredygtighedsopgaver og kunne sammenligne data i forhold til dataudveksling og dokumentation.
-  Byggebranchen skal i fællesskab se på, hvordan moden teknologi som Generative Design, IoT-sensorer, Robotteknologi, 3D-print og materiale- og bygningspas kan bruges og implementeres i byggeprocessen for at opnå mere effektivitet.
-  Når byggebranchen udvikler løsninger inden for materiale- og bygningspas, er det vigtigt at undersøge fremtidssikret teknologi, da det er data, der skal lagres og benyttes igen efter mange år.
-  En part i byggebranchen skal holde overblik over de mange nye løsninger, der kommer med tiden samt formidle dem til branchen, så de er implementerbare.

CON TECH LAB

Del 1:

Generelt anvendte bæredygtighedsteknologier i dag

Dette afsnit tager udgangspunkt i bæredygtighedsopgaver. For hvert afsnit er det beskrevet, hvilke opgaver de fleste bæredygtighedseksperter i byggebranchen sidder med i dag, og hvilke digitale værktøjer eller metoder de oftest bruger til at løse dem. Desuden handler del 1 om, hvilke udfordringer der er forbundet med at løse bæredygtighedsopgaver med nutidens digitale værktøjer og metoder.

Afsnittet omhandler følgende bæredygtighedsopgaver:

- **Bæredygtighedscertificering**
- **LCA-analyser**
- **Simuleringer**
- **Materialevalg**
- **Brug af sensorer**

Bæredygtighedsopgaverne er valgt ved desk research og ud fra viden indhentet i forbindelse med de interviews af 11 nøglepersoner, der beskæftiger sig med bæredygtigt byggeri på daglig basis.



Bæredygtigheds- certificering



I byggebranchen er der ikke altid en fælles forståelse af, hvad et bæredygtigt byggeri egentlig indebærer. Bæredygtighed kan være meget u håndgribelig, fordi begrebet "bæredygtigt byggeri" ikke er konkret målbart.

Det nærmeste, man kommer en fælles forståelse af bæredygtighed, er EU's definition, som består 3 søjler: Miljømæssig bæredygtighed, Økonomisk bæredygtighed og Social bæredygtighed.

Miljømæssig bæredygtighed handler om energieffektivitet, ressourceforbrug, evnen til at minimere miljø- og klimapåvirkninger samt reducere negativ påvirkning af biodiversitet. Et eksempel på miljømæssig bæredygtighed er beslutningen om at bygge kompakt, energieffektivt og med færrest mulige materialer.

Ved Økonomisk bæredygtighed er der fokus på optimering af driften af et byggeri, god mulighed for udlejning, forøget produktivitet hos brugeren af bygningen og gode finansieringsmuligheder. I praksis er det f.eks. brug af materialer og konstruktioner, som letter rengøring eller har længere levetid, før de skal skiftes ud. Desuden er energiforbruget også et parameter, når man taler økonomisk bæredygtighed.

Social bæredygtighed lægger vægt på, hvor værdifuldt byggeriet er for dem, der skal bruge det. Det handler om daglig brugertilfredshed og velvære, bedre indeklima, øget fleksibilitet, tilgængelighed for brugeren samt tryk og sikkerhed. I praksis handler social bæredygtighed om, at alle medarbejdere i f.eks. et kontorbyggeri har adgang til dagslys og frisk luft samt at minimere støj og lugtgener. (1)

DGNB

– det mest brugte certificeringssystem i Danmark

Det er, som nævnt, svært at sige hvad et komplet bæredygtigt byggeri egentlig er. Noget af det tætteste man kan komme, er en bæredygtig certificeret bygning. (1)

Der findes forskellige certificeringssystemer. Det mest brugte i Danmark er DGNB, som består af kriterier defineret af den tyske organisation Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. Kriterierne er tilpasset danske forhold.

For at opnå en DGNB-certificering skal et byggeri eller byområde evalueres ud fra en række kriterier inden for de fem hovedområder i DGNB; miljømæssig kvalitet, økonomisk kvalitet, social kvalitet, teknisk kvalitet og proceskvalitet.

Den endelige vurdering af et byggeri eller byområdes bæredygtighed foretages ud fra en DGNB-evalueringsmatrix. I praksis indtastes evalueringspoint for hvert underkriterium i denne evalueringsmatrix og pointene omregnes automatisk til en samlet score for hele kriteriet. Resultatet angives som antal procent i forhold til de maksimale opnåelige point.

Der er krav om en mindste-pointscore for hvert af de fem hovedområder, så byggeriet eller byområdet som helhed har et højt kvalitetsniveau, hvor ingen af områderne negligeres til fordel for andre. På baggrund af denne evaluering tildes projektet en sølv-, guld- eller platincertificering. For at opnå platincertificering kræver det en samlet score på 80 procent. For guld score kræver det 65 % samlet score og til slut 50 % samlet score i forhold til at opnå sølvcertificering. (1)

DGNB-kriterierne er med til at skabe et fælles sprog, der gør det muligt at tilrettelægge og prioritere indsatsen i lange og komplicerede udviklingsprocesser på tværs af fagligheder og organisationer. Kriterierne har en detaljeringsgrad, som giver et helhedsorienteret billede, der skaber fokus på parametre, som ellers ofte bliver



overset eller kan være vanskelige at arbejde med. Med DGNB-certificering er det altså muligt at vægte mere diffuse, kvalitative livskvalitetsværdier overfor direkte målbare tekniske parametre (2).

Ved at DGNB-certificere sine bygninger bliver branchen på længere sigt i stand til at sammenligne byggeri på tværs af by- og landegrænser. Det vil gøre det muligt kontinuerligt at hæve barren for bæredygtighed i takt med, at erfaringer og kompetencer bliver større. Det forudsætter dog, at den teknologiske formåen, i forhold til at kunne sammenligne DGNB-data på tværs af markeder (og lære af dem), bliver større.

Mange større bygherrer kræver i dag, at deres bygninger skal have en bæredygtighedscertificering. Især er pensionselskaber og offentlige bygherrer langt fremme med hensyn til krav om certificering af bæredygtighed.

Nuværende proces for DGNB-certificering

Indsamling af dokumentation for at opnå DGNB-certificering kan være en kompliceret og tung proces. Det skyldes, at der er mange aktører involveret, og at der skal fremlægges dokumentation igennem hele værdikæden. DK-GBC (Green Building Council) tilbyder et kursus, der udelukkende handler om DGNB-dokumentationsindsamling.

Udfordringen er typisk, at de informationer, dokumenter og data, der skal indsamles, er lagret på mange forskellige digitale platforme, som understøtter forskellige processer, formål og målgrupper. Det kan f.eks. være kvalitetsstyring, dokumenthåndtering, tidsplanlægning og ressourceplanlægning.

DGNB-auditorerne, som har ansvaret for opsamling og aflevering af dokumentation, skal altså ind på alle platformene for at finde den nødvendige dokumentation. Typisk har de ingen idé om, hvor dokumentation er. Det er ofte en omfattende manuel proces at kortlægge hvilke aktører/platforme, der indeholder hvilken dokumentation - og efterfølgende at kontakte dem for enten at få adgang til den nødvendige dokumentation eller at få den tilsendt.

Det mest almindelige er, at man fra start udpeger DGNB-ansvarlige fra hver virksomhed i de forskellige byggefaser og giver dem adgang til den platform, hvor dokumentationen bliver opsamlet. Det kræver, at alle parter koordinerer hvornår og hvad de lægger op på platformen. Desuden skal alle i hver deres fase indhente dokumentation, der oftest ligger på mange forskellige platforme, eller som skal genereres, fordi de ikke findes på forhånd.

Den næste udfordring er at få de respektive fagpersoner i hver byggefase til at stille den nødvendige dokumentation til rådighed. Det kan være svært, fordi det er tidskrævende, og fordi man beder travle folk om at dokumentere data og oplysninger, de ikke har indsamlet før. Nogle få virksomheder har bæredygtighedsspecialister til at hjælpe med undervisning og rådgivning – selv ude på byggepladsen.

Sammenfattende kan man sige, at der ligger en større opgave i at forbedre processen for DGNB-dokumentationsindsamling. Herunder at kommunikere hvor vigtigt det er for bæredygtighedscertificeringen.

I skrivende stund er data for DGNB-point for hvert byggeprojekt ikke digitalt til rådighed på DK-GBC's hjemmeside i forhold til LEED, som stiller deres data til rådighed. Hvis DK-GBC stillede disse data til rådighed, kunne fremtidige DGNB-certificerede byggeprojekter benytte sig af dem og evt. bruge machine learning til at forudsige og optimere bæredygtige parametre. Det ville give et bedre beslutningsgrundlag og fremme bæredygtigt byggeri. Det kræver dog at dataet ligger digitalt og frit til rådighed.

LCA, livscyklusanalyse

En LCA (Life Cycle Analysis), på dansk livscyklusanalyse, bliver brugt til at sammenstille og evaluere input, output og miljøpåvirkninger for et produkt eller en hel bygning i hele levetiden, altså fra udvinding af råmateriale til endelig bortskaffelse. Ved byggeri kan LCA defineres: Fra produktion af materialer, byggeproces, driftsfase, endt levetid (nedrivning eller renovering) til genbrug/genanvendelse/endelig bortskaffelse.

LCA-analysen fortæller hvilke miljøpåvirkninger, som er repræsenteret i forskellige kategorier.

En miljøpåvirkningskategori repræsenterer en miljøproblemstilling, typisk: Global opvarmning, stratosfærisk ozonlagsnedbrydning, fotokemisk ozondannelse, forsurening, eutrofiering/ næringssaltbelastning og udpining af ressourcer.

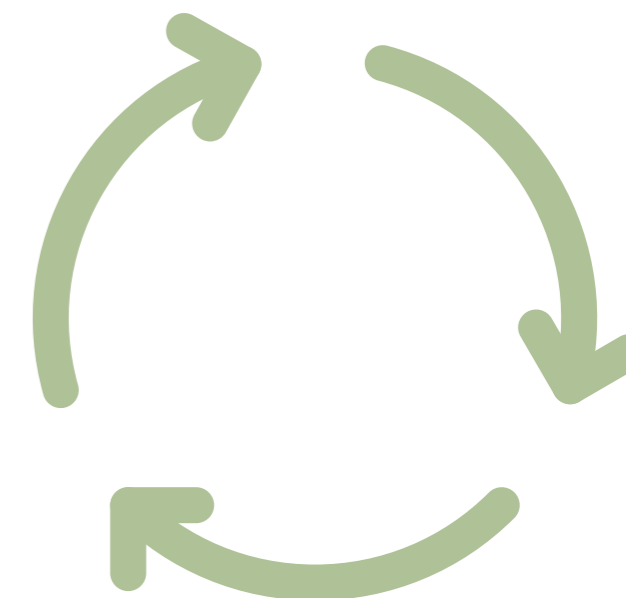
I nogle tilfælde kan det give mening kun at fokusere på global opvarmning. Den type LCA forstår mange som "carbon footprint". Det er relevant, hvis man kun vil spore CO₂-udledningen af transporten, der er forbundet med materialeleverancer til byggepladsen. Eller ved andre lignende scenarier hvor man kun er interesseret i at kunne dokumentere CO₂-udledningen.

Selvom en LCA pr. definition omfatter hele produktets/byggeriets livscyklus (dvs. fra vugge til grav), kan det altså være relevant kun at inddrage en begrænset del, f.eks.: En vugge-til-port-analyse (fra anskaffelse af råvarer til produktet er færdigt). Årsagen kan være, at en bygherre har stillet krav om en vugge-til-port-analyse på en bestemt del af et byggeri, fordi det er det tætteste man kan komme på en livscyklusanalyse i tilfælde hvor det ikke er muligt at skaffe yderligere information omkring materialet. (4)

LCA-analyser bliver oftest brugt i forbindelse med en bæredygtigcertificeret bygning, da de også indgår som en del af DGNB-certificeringen. Andre gange bliver de anvendt på lokale områder af et byggeri eller indenfor bestemte processer i byggeriet.

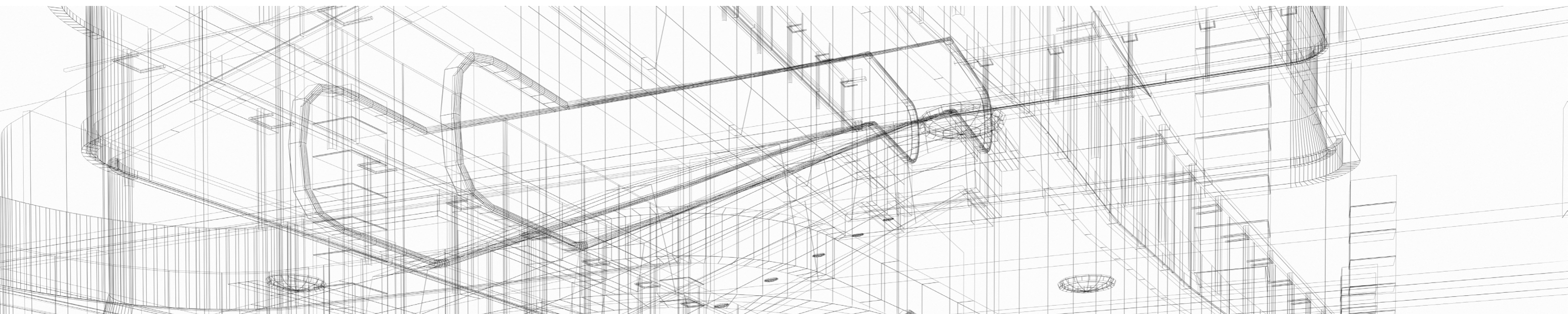
LCA er altså en metode til kvalificering af miljøpåvirkninger fra et produkts livscyklus. Metoden kræver et datagrundlag af høj kvalitet og så vidt muligt specifikt for det pågældende produkt, sted og anlæg. Da man ofte ikke har adgang til alle de relevante data, er det uundgåeligt at lave nogle antagelser. Det er vigtigt for at sikre robuste resultater, at man tester de mest kritiske antagelser vha. følsomhedsanalyser.

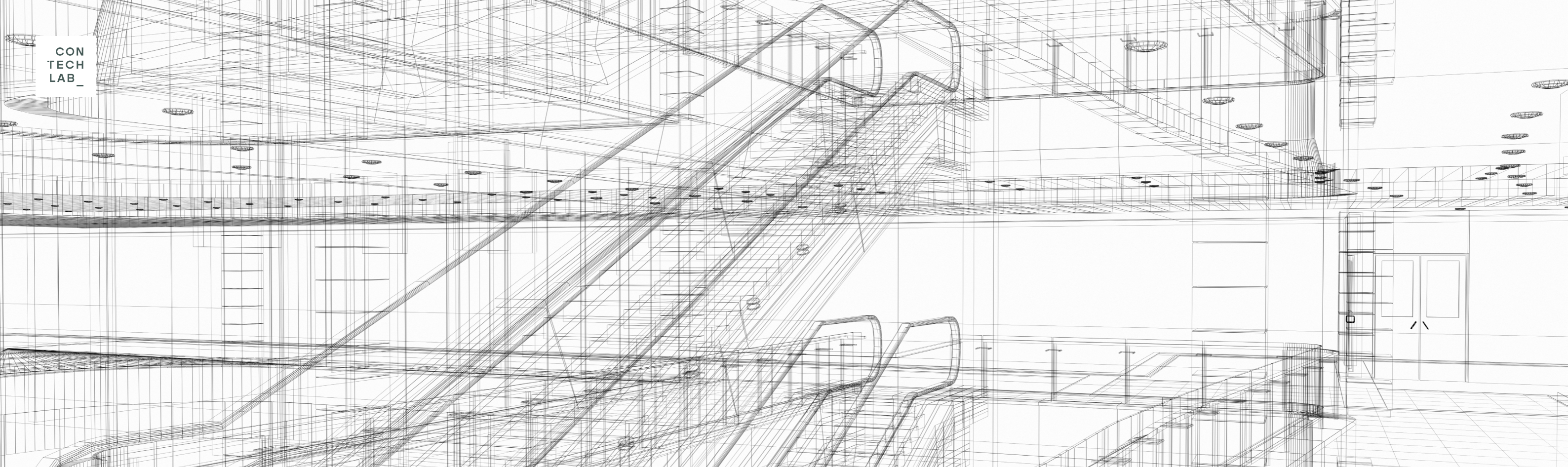
LCA er også en relativ vurdering, dvs. at man typisk er interesseret i at sammenligne LCA-resultater for alternative produkter. Det forudsætter, at de produkter, som skal sammenlignes, leverer den samme funktion/service (for byggevarer f.eks.: Samme styrke, holdbarhed, levetid, isoleringsevne). Og at produkterne sammenlignes i den sammenhæng de indgår i, altså på bygningsniveau. (4)



Nuværende proces for LCA-analyse

Når man skal foretage en LCA-analyse, typisk i forbindelse med en DGNB-certificering, er det ofte en rådgiver i projekteringsfasen, der foretager analysen. Analysen er opdelt i 5 faser og 17 moduler. 10 af modulerne indgår i den frivillige bæredygtighedsklasse (5). Den frivillige bæredygtighedsklasse bliver et krav at anvende på alle fremtidige byggerier fra 2023. Den er sat i verden for at fremme bæredygtigt byggeri i Danmark. I bæredygtighedsklassen ses på alle faser i byggeriets livscyklus ud fra et samlet hensyn på både de miljømæssige, sociale og økonomiske forhold. Principperne for den frivillige bæredygtighedsklasse er at den er enkel og omkostningslet at anvende og kan avendes på alle bygningstyper og af alle bygherrer. (6)





Rådgiveren skal have forskellige LCA-specifikke overvejelser på plads. Først skal rådgiveren vide, hvilken livscyklusfase der skal beregnes. Som tidligere beskrevet kan det f.eks. være vugge-til-grav eller vugge-til-port. Derefter skal kategori/formål være på plads: Nybyggeri, nedrivning eller renovering? Tal og parametre kan nemlig variere, alt efter hvilket formål man har.

Rådgiveren skal desuden have styr på udformning af bygningen og valg af materialer: Hvilke materialer skal anvendes og i hvilke mængder. Typisk vil man trække materialemængder ud fra en BIM model af bygningen. Der er dog store udfordringer i byggebranchen i forhold til at anvende BIM modeller som grundlag til LCA. Der er ingen fællesstandard for en LCA-take-out eller praksis om korrekt opmåling af mængder. Processen i dag er præget af meget manuelt og tunge processer typisk udført sent i processen.

Man skal herefter overveje, hvad levetiden er på hele bygningen og på de enkelte materialer. Levetider er forskellige afhængigt af, hvilken bygningstype der regnes på, typisk er det 80 år for kontorbyggeri, 100 år for skoler og 120 år for boligbyggeri. Dog har man i henhold til nyeste DGNB-undervisningsmateriale opdateret levetider til at følge de beregningsperioder som også bruges af EU og den Frivillige bæredygtighedsklasse, som er 50 år. Næste fase er at få styr på hvor meget energi (el og varme) man regner med at bruge i driftsfasen (5).

Endelig skal man overveje, hvilket datagrundlag der er fundament for LCA-analysen. Datagrundlaget er typisk ÖKObau.dat, som er en tysk database for byggevarer. Databasen indeholder en række af bygningens livscyklusfaser på et udpluk af de indikatorer der findes i de europæiske standarder for vurdering af bygningers

miljømæssige kvalitet. Databasen kan anvendes til både nybyggeri og renoveringsprojekter. Dog er udfordringen bl.a. at EPD'er ikke gengiver samme faser, eller samme regionspecifikke transport, energi og miljøscenarier. Selv ved produkter som tilsyneladende opfylder samme produktspecifikationer kan produkterne være opgjort på forskellige måder og er svære at sammenligne. En yderligere udfordring er, at EPD'er, der kun er tilgængelige via PDF-format, skal indtastes manuelt i det beregningsværktøj, man ender med at benytte. ÖKObau.dat har dog digitaliseret meget af informationerne hvorfor den bliver anvendt modsat f.eks. danske EPD'er som kun per opfordring fås hos producenterne i PDF-format.

For at samle alle relevante informationer og i sidste ende at kunne foretage selve LCA-analysen, benytter de fleste sig af et digitalt beregningsværktøj. Uanset hvilket beregningsværktøj man vælger (fx LCAbyg), kan man ikke undgå en manuel og omstændig proces: Udover EPD'er fra pdf-filer, der altså indtastes manuelt, skal man også indhente mængder på materialer fra 3D-modellen. Det er et større koordineringsarbejde med mange tal og informationer at holde styr på. Og hvis man manuelt indtaster forkerte data undervejs, kan det betyde rigtig meget for det output man får.

Der er et stort potentiale for en langt mere effektiv LCA-beregningsproces, hvis EPD'er bliver tilgængelige i form af data, der kan importeres direkte ind i det beregningsværktøj, man benytter. Det vil desuden eliminere risikoen for tastefejl og give mulighed for at sammenligne miljødata på tværs af projekter.

Den digitale platform LCAbyg

Der er stigende efterspørgsel på LCA-analysen. For at gøre

analysearbejdet lettere har BUILD, Aalborg Universitet, udarbejdet programmet LCAbyg med støtte fra Trafik- og Byggestyrelsen. (7)

LCAbyg indeholder materialedatabaser, hvor der allerede er indhentet mange af de nødvendige oplysninger. På den måde bliver det både nemmere og hurtigere at udarbejde en LCA-analyse. Det er dog stadig nødvendigt at indtaste EPD'er for de forskellige materialer, man vil sammenligne eller benytte. Det samme gælder materialemængden, altså arealer og tykkelse. Derefter kan LCAbyg udarbejde analyser og rapporter, man kan trække ud og benytte til sit videre arbejde eller til at sammenligne produkter med hinanden.

Mange af de personer, der er interviewet til denne rapport, fortalte, at de foretrækker at bruge Excel-værktøjer, de selv har udarbejdet

til at lave LCA-analyser. Årsagen er, at de vurderer arbejdsprocessen ved at anvende LCAbyg som tung og langsommelig, blandt andet fordi antallet af forskellige materialer i programmets databaser er meget begrænset. Derfor ender brugeren ofte med selv at skulle indhente/manuelt indtaste de nødvendige miljødata fra f.eks. ÖKObau.dat eller fra producenten.

Nogle virksomheder, som er længere fremme digitalt, er i gang med at udvikle interne systemer, der integrerer miljødata med BIM-model. Det betyder, at de kan sammenligne materialer direkte på BIM-modellen, hvor forskellige farvermarkeringer så indikerer, hvilke materialer der har de bedste miljødata, typisk målt/angivet som carbon footprint. Det beskrives nærmere under afsnittet Teknologier ready-for-market. Klar til øget bæredygtighed.

“ I dag kæmper vi ofte med usikre beregninger, fordi modellerne ikke er præcise nok. Men teknologierne bliver hele tiden bedre, så vi eksempelvis undgår, at modellen tæller hulrummet i en væg med som en del af væggen. ”

Beregning af dagslys, energi og indeklima

EU's klimamål i 2030 er en drivhusreduktion på 39 % i forhold til udledningen i 2005 (8). Bygningers andel af det samlede energiforbrug fylder så meget, at det er oplagt at rette fokus mod byggebranchen som en vigtig og aktiv medspiller til at nå det ønskede mål.

Nyere lavenergibyggeri er dimensioneret til at imødekomme energirammerne i det gældende bygningsreglement, bl.a. via større isoleringstykkelse, vinduer med lav U-værdi og bedre udnyttelse af solindfald. Dermed bestemmer bygningsreglementet, at det er nødvendigt med mekanisk ventilation for varmegenvinding, da det er svært at få naturligt ventilation til at fungere i praksis. Alle tiltagene er indført for at reducere energiforbruget, men de stadig strammere krav om nedsat forbrug udgør samtidig en udfordring for indeklimaet i byggerierne. (9)

Det vigtigt at udføre simuleringer af dagslys, energi og indeklima for at sikre, at man overholder de krav, der er skrevet ind i bygningsreglementet. En simulering kan dokumentere, at et designforslag overholder de opstillede krav.

Nuværende proces for simuleringer

Forudsætninger for beregningsmetoder findes i forskellige SBI-anvisninger, der stemmer overens med BR18 kravene i forhold til energiforbrug. Forudsætningerne tager højde for relevante parametre, alt efter hvilken type simulering man laver – f.eks. mekanisk eller naturlig ventilation, hvor man indregner parametre som vindfaktor og hvor mange gange, der udluftes. Det samme gælder for simulering af lysindfald, hvor der tages højde for vinduernes dimension i forhold til areal, og hvor man bl.a. også medregner varmekonstruktion og de parametre, der påvirker lysindfaldet i bygningen.

Af interviews og research foretaget i forbindelse med denne rapport fremgår det, at de enkelte virksomheder og personer ikke har samme

tilgang til at foretage simuleringer. Nogen foretrækker enten at anvende en analytisk forsimplet model typisk kaldt "håndberegninger" ellers anvender man computer til simuleringer.

Flere brugere har erfaret, at resultaterne fra to beregningsprogrammer kan være meget forskellige i det samme rum. Det kan skyldes begrænsninger i selve beregningsprogrammet og/eller de personer, der laver modellerne. Det er kritisk, da f.eks. dagslysberegninger bruges til at dokumentere, at bygningsreglementets krav om dagslysfaktorværdi er overholdt. Og til at beregne behovet for kunstig belysning. En misvisende dagslysberegning kan have store konsekvenser for udformningen af en bygning og overvejelser om udnyttelse af f.eks. et kontorlandskab. Derfor er det afgørende, at beregningerne udføres korrekt, at resultaterne er pålidelige, og at man kender eventuelle begrænsninger ved det digitale værktøj, man anvender (10).

Hvis man vil anvende digitale simuleringsværktøjer med det formål at spare tid, skal fordelene ved tidsbesparelsen altså holdes op imod, at man måske ikke kan regne med de resultater, man får. Dette skyldes typisk, at man for det første ikke kender den præcise udformning eller produkter. For det andet er beregningsmetoderne meget teoretiske, men ikke tilstrækkelig valideret i forhold til outputtet. Man regner dermed typisk kun på få ekstreme scenarier fordi det kræver tid og det ikke er de scenarier der optræder i bygningens daglige drift.

Derfor skal man være opmærksom på, hvordan man laver en korrekt simulering. For det første skal man bruge de rigtige forudsætninger og inputparametre og dernæst den rigtige beregningsmetode og til sidst vælge de rigtige scenarier.



Det der oftest sker ved at benytte simuleringværktøjer er, at resultaterne typisk er overdimensionerede og hvis man eksempelvis overdimensionerer for varmetab, kan man ende op med et større varmesystem end nødvendigt. Derudover kræves der en del oplysninger for at kunne gennemføre en simulering og når man skal gennemføre en simulering tidligt i projekteringsfasen, så har man ikke altid alle de nødvendige oplysninger såsom vinduesplacering og lystransmittans i forbindelse med en dagslyssimulering.

Derudover er simuleringværktøjerne ofte ikke kompatible på tværs af platforme. Det betyder, at hvis der skal simuleres forskellige parametre, skal der bruges forskellige programmer, hvortil der skal bruges forskellige BIM modeller (eller der skal laves en ny model i programmet). Det kan dog forholdsvis let løses ved at benytte formatet IFC (Industry Foundation Classes) såfremt at både dem der laver (eksporterer IFC) og dem der beregner på baggrund af IFC er enige om hvilke data, der skal udveksles og hvem der laver modellen til dette eksakte formål.

En fordel ved de digitale simuleringværktøjer er hurtighed. De kan afprøve flere løsninger end det er muligt, hvis der skal foretages manuelle beregninger. På den måde kan man nå at afprøve og undersøge mange forskellige scenarier og måske identificere muligheder for alternativer og forbedringer, der ikke var tænkt på i forvejen.

I løbet af de seneste år er der sket en fundamental ændring i hvilke digitale værktøjer, der bliver brugt til henholdsvis dagslys- og indeklimasimuleringer. Ændringen skyldes en større efterspørgsel af simuleringer i forbindelse med en bæredygtighedscertificering. Mange producenter er nu i gang med, eller planlægger, at udvikle simuleringværktøjer, som kan anvendes i forbindelse med deres produkter.

Almindeligt anvendte digitale simuleringværktøjer

En af de mere tidskrævende faser er design/projektering. I en traditionel proces skitserer, dimensionerer og planlægger designeren manuelt, hvordan bygningen skal udformes. Det er en ikke-lineær, iterativ proces, hvor ideer skal fra hovedet til papiret. I bygningsdesign anvendes digitale værktøjer som Revit, ArchiCad eller Rhinoceros 3D til at skabe en model og derefter andre softwares til at simulere, som kan være integreret i disse.

Til at analysere en løsning over et helt år kan man benytte dynamiske simuleringværktøjer. Der findes forskellige programmer, som kan mange af de samme ting. To af de mest populære er IDA ICE og BSim, der begge kan analysere energi, indeklima og ventilation på grundlag af vejrdatabaser, som giver overblik over løsningens performance i forskellige situationer. Begge programmer kan analysere mange forskellige situationer, men det er ofte nødvendigt at modellere bygninger/rum i programmet, da der er stærkt begrænsede muligheder for at importere foruddefinerede modeller. Det gør ofte arbejdet tidskrævende.

Den traditionelle designproces kan suppleres af nyere designværktøjer, f.eks. parametriske design, hvor der er forbindelse mellem forskellige elementer: Hvis en væg i bygningen gøres større, øges vinduesarealet eller antallet af døre samtidig. Altså, hvis enkeltparametre ændres, følger resten af designet med. Det betyder, at designeren kan sidde med en grundmodel af et design, som så kan afprøves i uendelig mange variationer, på tværs af de definerede parametre. Derefter kan brugeren udvælge de løsninger, der performer bedst, og efterfølgende anvende forskellige optimeringsværktøjer til at udvælge den bedste og endelige løsning (11).

CFD (Computational Fluid Dynamics) er et eksempel på et simuleringværktøj, der med fordel kan benyttes til dimensionering af ventilationsanlæg.

CFD kan analysere luftstrømme og temperaturer. CFD bruges også til at vurdere udemiljøet omkring og mellem bygninger bl.a. på med henblik på vind. Hvis der skulle udføres sammenlignelige fysiske forsøg, ville det være både dyrt og tidskrævende. Ved at anvende CFD som værktøj kan der altså spares tid. Desuden giver det mulighed for at optimere designet.

Udover de nævnte simuleringværktøjer er der stadig flere, som benytter sig af plugins til BIM-programmet Revit og tegneprogrammet Rhinoceros. Dynamo (Revit) og Grasshopper (Rhino) er begge visuelle programmeringssprog, som kan bruges til at analysere og optimere modeller, der allerede er modelleret i programmerne, i stedet for at skulle tegne dem igen i et separat program. Det sparer ofte tid. (12), (13).

“ Vi har altid haft teorier om hvordan man beregner dagslys, men det er først efter vi er begyndt at arbejde i modeller, at vi rent faktisk kan se hvordan det ser ud ”

Materialevalg

Alle materialer påvirker miljøet. Materialevalget har stor betydning i et livscyklusperspektiv, fordi det energiforbrug og det CO₂-aftryk, der er resultatet af produktion, transport og bearbejdning af materialet, kan være meget betydeligt.

Det tætteste vi kommer på at vide, om et materiale er miljømæssigt forsvarligt, er ved at se på materialets EPD (Environmental Product Declaration). En EPD, også kaldet en miljøvaredeklaration, dokumenterer en byggevarers miljømæssige egenskaber og udvikles efter anerkendte europæiske og internationale standarder. EPD'en indeholder informationer om varens energi- og ressourceforbrug, affaldsgenerering samt miljøpåvirkninger fra produktion, anvendelse og bortskaffelse af den pågældende byggevarer (14).

EPD'en er en deklARATION (ikke en miljømærkning eller en miljøanprisning), som ikke i sig selv siger noget direkte om bæredygtigheden af byggevareren eller om byggevareren er sundhedsskadelig, socialt bæredygtig eller om den kan genanvendes. Om et materiale er mere bæredygtigt end et andet kræver en sammenligning, som bedst foretages på bygningsniveau, hvor byggevareren indgår i byggeriet og kan sammenlignes med alternativer (14).

En EPD indgår som input til en LCA-analyse og anvendes desuden til at opnå point i DGNB-certificeringssystemet.

Nuværende proces for materialevalg

Systematiske metoder til at sammenligne hvilke materialer, der er mest bæredygtige, eller indeholder mindst skadelig kemi, er ikke tilgængelige på internettet eller fra andre kilder. Derfor er det ofte medarbejdere, der har flere års erfaring med materialevalg, som træffer valg på baggrund af deres hidtidige erfaringer med, hvilke materialer der performer godt, og hvilke der ikke gør.

Miljøvaredeklarationer (EPD'er) fungerer som supplement til medarbejdernes erfaring og omvendt, men det er ikke alle produkter, der har en EPD. I forbindelse med DGNB-certificering, skal afgangning af materialerne, der er brugt i bygningen, dokumenteres. For nogle virksomheder er det et kæmpe arbejde at indhente disse informationer fra enten EPD'er eller direkte fra producenten selv.

Selvom der findes EPD-mærkning på byggevareren er det stadig meget svært at indhente oplysninger om byggematerialers påvirkning af miljøet over hele deres levetid (LCA). Desuden udregner producenterne miljøpåvirkningen på forskellige måder. Det betyder, at det er vanskeligt/umuligt at sammenligne materialernes samlede påvirkning af miljøet og graden af bæredygtighed. Mange EPD'er foreligger udelukkende som PDF-filer, hvilket gør det svært at sammenligne data på tværs af digitale platforme, medmindre man indtaster dem manuelt.

Produkter med EPD'er bliver typisk valgt af rådgivere og arkitekter under projektering, mens de faktiske produkter først vælges i udførelsesfasen af entreprenøren. Materialeproducenter skal derfor kunne navigere i værdikæden, og sikre at dokumentationen når de rette aktører (14).

Materiale- og bygningspas

Et materialepas er en deklARATION som samler information om materialer ét sted. Helt grundlæggende er det en digital indholdsfortegnelse af hvad produktet indeholder hvilket bliver kaldt det "kemiske indhold", som i dag ikke kræves deklareret, samt information relevant for cirkularitet (adskillelse). Da tidshorisonten for genanvendelse er lang,



er det vigtigt at have viden i materialepasset, som vi måske i dag ikke forstår betydningen af, men som vil være vigtig i forhold til f.eks. 'cocktail-effekter' af kemiske forbindelse eller vigtig for en fremtidig re-cirkuleringsindustri (f.eks. adskillelse). Desuden samler materialepasset allerede etableret information såsom EPD-data, SCIP-data mm. på en struktureret maskinlæsbar måde.

Et bygningspas defineres som bestående af en række materialepas, dette kan bl.a. forstås som en BIM model der refererer til materialepas.

Nogen virksomheder mener, det skal indføres på EU-plan, nogen mener det skal være i frivillig ordning (3-parts verificeret), og andre igen mener, det er vigtigst at få passet indført i det danske bygningsreglement. Det er endnu ikke besluttet, hvilket format materiale- og bygningspas får, eller hvordan man får adgang til dem. Det kan blive via en database, hvor brugerne skal betale for adgang, eller via åbne nationale databaser med gratis adgang for alle. På nuværende tidspunkt ser det ikke ud til, at der er planer om at indføre et materialepas som krav. På længere sigt vil det muligvis blive en konkurrencefordel for virksomhederne, der tilbyder materialepas, hvis de starter med at deltage i en frivillig ordning, fordi der på sigt kommer flere krav til at have styr og indsigt i ens materiale i forbindelse med livscyklusanalyse.

Der er flere udfordringer forbundet med at indføre materialepas i Danmark. For det første er det et stort arbejde for mange producenter at indhente de nødvendige data. Derudover er det langt fra sikkert, at alle nødvendige oplysninger rent faktisk er tilgængelige. F.eks. kan en udførlig kemisk indholdsbeskrivelse være svær at fremskaffe, fordi detaljerne er en konkurrencehemmelighed. Derfor ville det være en fordel at basere mængden af tilgængelig data på internationale standarder.

En anden udfordring er at beslutte, hvilken teknologi, der skal understøtte data på materiale- og bygningspas. Der er stadig mange virksomheder, som ikke kigger på nyere teknologi, som skal kunne understøtte bygningspasset selv efter 100 år, når bygningen skal rives ned. Mange overvejer løsninger, hvor man kan koble data på en BIM-model, uden at vide om det er for meget belastning for modellen eller hvordan data skal genfindes efter 100 år. Det er i sig selv en udfordring at åbne en 5 år gammel Revit model. (15).

Databaser kan hjælpe til bedre overblik

Flere større ingeniørvirksomheder opbygger en intern database, hvor de opsamler erfaringer fra bæredygtige materialer, så de er klar til at træffe det bedste valg ved nye projekter. Disse databaser holdes typisk internt og deles ikke på tværs af virksomheder. De er heller ikke intelligente, hvilket betyder, at brugerne stadig skal grave i manuelle beskrivelser for at tage stilling til, hvad der skal bruges hvor og hvornår.

Ved udarbejdelse af bygningspas kan oplysninger om byggematerialer med fordel samles i en database, som bygningspasset så kan trække data fra. På den måde undgås det, at de samme oplysninger om de samme materialer skal indtastes manuelt flere steder. (15).

En samlet database vil desuden betyde, at det bliver muligt at sammenligne materialer på tværs af byggerier, blive klogere på sine valg og hermed på længere sigt at træffe mere bæredygtige beslutninger.

Sammenfattende kan man opsummere de overordnede bæredygtighedsfordele ved at etablere bygnings- og materialepas som:

- At give bedre mulighed for genanvendelse/genbrug af byggematerialerne
- At forebygge byggeaffald ved fx vedligehold og renovering
- At reducere udgifterne til vedligehold og renovering
- At give bedre mulighed for håndtering og fjernelse af byggematerialer med problematiske stoffer

Databasen BygDok

I Danmark arbejder forskellige virksomheder og initiativer med at stille miljødata om materialer til rådighed for byggebranchen. Danske Byggecentre er f.eks. i gang med at etablere et site, BygDok, som stiller byggevardokumentation til rådighed for det professionelle byggeri. Databasen kan benyttes til at udvælge materialer eller til at fremsøge dokumentation ved aflevering af byggeriet. Det er ambitionen, at sitet samler al dokumentation om byggevarer fra CE-mærkning og monteringsvejledninger til miljøcertificeringer og -deklarationer. BygDok henter oplysninger fra produktportalen Byggebasen, og indeholder pt. (Foråret 2021) oplysninger om 450 leverandører og 650.000 varenumre. BygDok blev lanceret 1. september 2019, og på nuværende tidspunkt er der registreret omkring 120.000 CE-mærkninger (15).

“ Beslutninger om materialevalg bliver taget på 'gut feelings', fordi vi ikke har data der understøtter valget ”

– Arkitekt

Sensorer

En sensor er en komponent, som er følsom over for fysisk påvirkning, f.eks. lys, lyd, bevægelse eller temperatur. Sensorens signal anvendes som input til it-programmer, der så registrerer, hvad status er (16). I nogen tilfælde har man indbygget intelligente sensorer, som giver besked, når et materiale er overbelastet eller temperaturen er for høj, så man straks kan reagere. Det vigtigt at overveje fra start, hvad formålet er med en sensor, og hvordan man vil bruge den.



Sensorteknologi og IoT (Internet of Things) er et velkendt begreb i byggebranchen, hvor mange allerede er opmærksomme på de gevinster, de får ved brug af sensorer, som er forbundet med internettet. IoT er enheder der er koblet på internettet, som udveksler data og gør data er tilgængelig på smartphone, app, cloud osv. Sensorerne måler og indsamler data, der så bliver delt med IoT-teknologi, som overvåger og videreformidler oplysninger om, hvordan den aktuelle situation ser ud.

Sensorer er i brug både under opførelse af byggeri og i forbindelse med drift. Under opførelsen kan man f.eks. benytte sig af dem til måling af fugtighed i materialer, herunder træ og beton, hvor man kan koble eller indstøbe sensorer, der så holder øje med, at data ikke afviger fra de ønskede værdier. Det giver bedre kvalitetssikring. Man kan også benytte sig af sensorer til vedligehold af betonoverflader på toppen af høje bygninger, hvor det ellers er omstændeligt at tjekke tilstanden.

Efter et byggeri er opført kan man med fordel bruge sensorer til måling af fugtighed, lys, temperatur og tryk i ventilationssystemer inde i bygningen. Det kan fremme den sociale bæredygtighed, fordi et monitoreret/forbedret indeklima giver højere medarbejdertilfredshed.

Nuværende proces for brug af sensorer

Sensorteknologi bliver sjældent brugt optimalt i byggebranchen, selvom de anvendes mange steder. Årsagen er, at sensorsystemer er omfattende og komplekse at indføre, og at det langt fra altid er tænkt ind fra start, hvordan og hvor de skal benyttes.

En anden udfordring er, at sensorer kræver vedligehold og kalibrering

(nogle typer endda omfattende og ofte), hvis deres output skal forblive validt. Der kan også være problemer med adgang til sensorer, som er bygget ind i konstruktionen, hvis tilgængeligheden ikke er tænkt med i designfasen.

Endelig kan der opstå problemer med net-/strømforbindelsen hos IoT-sensorer, der jo transmitterer data via internettet. Mistet eller ustabil forbindelse, kan det få store konsekvenser hvis vitale monitoreringsdata mangler på kritiske tidspunkter.

Mange af de virksomheder, vi har været i kontakt med, fortæller, at det kan være svært at få lov til at bruge sensorer til måling af indeklima, fordi der ikke bliver stillet krav om det af bygherre, som typisk ingen interesse har i at følge op på komfort og drift af bygningen på længere sigt, da bygningen vil blive overtaget af en driftsherre.

Større udbredelse af sensorteknologi kan forbedre komfort/indeklima og gøre bygninger mere intelligente, så de f.eks. kan fortælle, når en bruger har glemt at slukke lyset, eller automatisk regulere temperaturen alt efter hvor mange personer de registrerer i et rum. Forudsætningen for større udbredelse er, at måden at tænke forretning på ændres, så man fremover også medregner bygningens bæredygtighedsperformance, når den er taget i brug - og ikke kun, når den er under opførelse/renovering. Altså også medregner de sociale bæredygtighedsfaktorer i det samlede regnskab.

En anden stor opgave, der skal løses, hvis sensorer skal have større udbredelse, er ensretning af data. I dag er der ofte tale om mange forskellige sensorer, der indhenter/formidler forskellige dataformater. Én samlet platform med kompatible data til brugeren, er sandsynligvis nødvendig.

Status på brug af sensorer i dag

I dag bliver sensorer typisk brugt til måling af fugtighed, lys, temperatur eller tryk i ventilationssystemer. Derudover anvendes CO2-målere i f.eks. skoler og kontorbygninger til at styre ventilationsanlæg og/eller automatisk vinduesåbning.

De bliver også anvendt til at undersøge og holde øje med bygningers tilstand. Det kan være i forbindelse med fugt for at forebygge/undgå svamp i bygningen. Sensorerne bliver desuden brugt til at overvåge svingnings/vibrations-data, som for fremtiden kan spare materialer, fordi overdimensionering ikke vil være lige så nødvendig som i dag (17).

Et andet anvendelsesområde er monitorering af korrosion af stålarmering i betonkonstruktioner. Her er der dog den udfordring, at armeringen kan være svær at komme til, og at det er meget dyrt pr. målepunkt. Metoden kan være fejlbehæftet, hvis der ikke er skabt et samlet overblik over korrosion i hele konstruktionen (18).

Mange steder bliver sensorer brugt til overvågning i byggefasen. Sensorovervågning kan for eksempel holde øje med fugt i større anlægskonstruktioner for at forebygge alvorlige problemer som frostskafer på betonen eller korrosion på armeringen (19).

Brugen af sensorer til regulering af lys og luft i nyere kontorbyggerier i drift er relativt udbredt i dag, men teknologien er stadig sjældent anvendt i boligbyggeri på grund af kompleksiteten i systemerne.

“ Man kan bruge sensorer meget mere end man gør nu. F.eks. sætte dem på alle betonelementer og se betonens levetid og hvordan det agerer, men det er svært at finde ud af hvordan man administrerer det igennem hele levetiden ”

– Leverandør

Opsummering af del 1

Formålet med del 1 har været at lave en opgørelse over generelt anvendte bæredygtighedsteknologier samt hvilke bæredygtighedsopgaver, der typisk arbejdes med i dag. Kapitlet giver dermed et indblik i, hvor byggebranchen er i forhold til processer, teknologi og udfordringer og skaber en oversigt over indsatsområder for byggebranchen.

Bæredygtighedscertificering, LCA-analyser og materialevalg

bærer præg af samme udfordringer. Informationer fra enten leverandører, BIM-modeller eller fællesdatabaser skal manuelt indsamles fra forskellige systemer, der ikke kommunikerer indbyrdes. Arbejdsprocessen bliver dermed tids- og ressourcekrævende. Hvis man fremover skal optimere processen omkring bæredygtighedscertificering, LCA-analyser og materialevalg vil det derfor kræve, at denne arbejdsproces bliver automatiseret. Dette kræver bedre fælles standarder, man kan forholde sig til. Derudover forekommer selve informationerne typisk i form af PDF-filer og det gør det svært at sammenligne erfaringer på tværs af aktører i byggebranchen. Værdifuld vidensdeling og potentiel optimering af bæredygtige byggeprocesser går tabt. Derfor hersker der et behov for større udnyttelse af teknologier, som kan bidrage til at konvertere informationer fra byggerier til data, som kan sammenlignes og analyseres.

I forhold til simuleringer udnytter vi ikke de store potentialer, der er ved simuleringstvækketøjer, men holder os i høj grad til beregninger. En af grundene til dette er, at der findes mange forskellige simuleringstvækketøjer i dag, og man ved ikke nødvendigvis, hvilke metoder der ligger til grund for de forskellige simuleringstvækketøjer. Metoderne er hermed baseret på laboratorieforsøg, som ikke er valideret i forhold til de faktiske forhold, når bygningen er i drift. En anden grund er, at man altid tager højde for driftsscenerier, som svarer til en langt højere belastning, end der reelt vil være i en simulering. Derudover kræves der en del oplysninger for at kunne gennemføre en simulering. Ved gennemførelse af en simulering tidligt i projekteringsfasen har man ikke altid alle de

nødvendige oplysninger. Det kan eksempelvis være oplysninger om vinduesplacering og lystransmittans i forbindelse med en dagslyssimulering. Manglen på oplysninger resulterer typisk i, at man i stedet skønner nogle af oplysningerne eller justerer simuleringerne undervejs i takt med, at oplysningerne bliver mere konkrete.

Når det kommer til IoT-sensorer er der et stort uudnyttet potentiale. Dette skyldes, at det er svært at få sensorerne til at snakke sammen og danne det fulde overblik. Der bliver samlet en masse data fra sensorer i dag, men desværre bliver data ikke valideret eller sammenlignet - og dermed bliver der ofte ikke optimeret på indeklima, lys og materialetilstand på baggrund af data. Dette skyldes den manglende opfølgning og integration af data fra IoT-sensorer. Ofte bliver der ikke stillet krav til data og opsamling fra sensorer, derfor vil det fremadrettet være hensigtsmæssigt, hvis bygherrer kendte til det fulde potentiale ved IoT-sensorer og dermed kunne stille disse krav.

Efter at have interviewet forskellige bæredygtighedseksperter, fremgår det, at det er de samme digitale platforme, der anvendes på tværs af værdikæden. Generelt har mange virksomheder i byggebranchen ikke fokus på at anvende og dermed udløse potentialet ved nyere teknologier. Dette skyldes bl.a., at det for flere virksomheder virker uoverskueligt og tidskrævende at skulle sætte sig ind i økosystemet af nye teknologier. Det bliver derfor ikke prioriteret at løse bæredygtighedsopgaver på en mere effektiv måde vha. de modne og implementerbare teknologier. De omtalte uudnyttede, modne teknologier og metoder bliver præsenteret i del 2.



CON TECH LAB

Del 2:

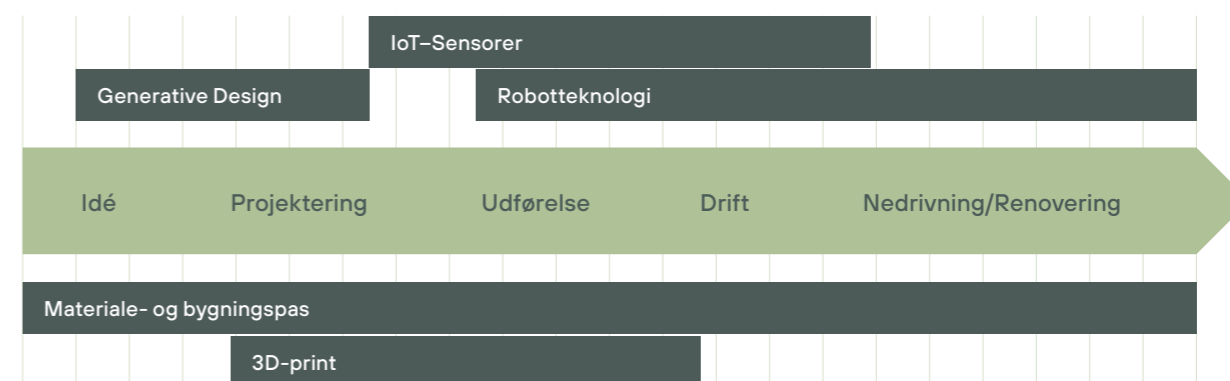
Teknologier ready-for-market. Klar til bæredygtighedsopgaver

Ved udarbejdelsen af denne rapport er brugen af en række forskellige "ready-for-market" bæredygtighedsteknologier blevet undersøgt. Ready-for-market betyder, at der er tale om modne teknologier, som er klar til brug, men alligevel kun anvendes af få virksomheder i byggebranchen. Vi mener, at byggebranchen kan løse sine bæredygtighedsopgaver langt mere effektivt, automatisere sine processer og muliggøre databaserede beslutninger, hvis disse ready-for-market teknologier implementeres af aktører på tværs af byggeriets faser.

Dette afsnit består af cases, hvor de interviewede virksomheder fortæller om deres brug af modne digitale værktøjer og teknologier til at løse bæredygtighedsopgaver. Alle cases dækker over forskellige faser i byggeriet, som illustreret af tidslinjen (Figur 2). Ved at

undersøge flere forskellige tiltag, der dækker over alle faser, og samtidig formidle udfordringerne og fordelene ved brugen af de anvendte teknologier, skaber afsnittet et overblik over bæredygtige teknologier, som med fordel kan erstatte de traditionelle arbejds- og procesmetoder.

Afsnittet gennemgår 5 områder (som også er omtalt i rapportens første del), hvor de medvirkende virksomheder i dag anvender moden, ready-for-market-teknologi: Generative design, IoT-sensorer, robotteknologi, 3D-print og materiale- og bygningspas. For hvert emne er der udvalgt nogle virksomhedscases, som illustrerer hvordan de modne teknologier anvendes i praksis til at løse bæredygtighedsopgaver i byggebranchen.



Figur 2 Tidslinje med tiltag og faser

LCA, livscyklusanalyse

Alle interviewede mente, at LCA-processen i sin nuværende form er både upraktisk og lang.

Det er besværligt at indhente EPD'er på materialer, da mange EPD'er stadig kun findes som PDF-filer. Det betyder, at man normalt ikke kan undgå en manuel indtastningsproces. Som løsning har den finske virksomhed Bionova Ltd udviklet softwareprogrammet One Click LCA (20), der er et rigtig godt bud på, hvordan man kan samle EPD'er på materialer ét sted, hvorfra det så er muligt at integrere data med andre typer af digitale platforme - f.eks. 3D-modeller, der så i højere grad kan benyttes til LCA-analyse, fordi modellen kan indhente data om materialernes miljøpåvirkning fra samme platform. Rigtig mange virksomheder indenfor byggeri i Sverige og Finland benytter allerede One Click LCA til at indhente miljøparametre på materialer. Det betyder, at mange producenter og leverandører indtaster deres EPD-data i platformen for at være med i spillet (20).

Svenske Sweco har brugt One Click LCA til at udvikle Solibri Plugin'et Carbon Cost Visualisation, som indhenter data online fra One Click LCA (20) og bruger denne data til at beregne forskellige materials miljøpåvirkning. Herefter visualiseres bygningsdelene med forskellige farver, der indikerer hvor stor en belastning et givent materiale udløser. Her kommunikerer modellen selv visuelt til en arkitekt eller ingeniør. Det giver gode muligheder for miljøoptimering,

også i den tidlige designfase. Og det giver rådgiveren mulighed for at få kommunikeret nogle tal på en måde, der kan forstås intuitivt. Også af personer, der ikke uddannet indenfor emnet. Ved at bruge Carbon Cost Visualisation semi-automatiseres klimaomkostningerne ved byggeriet, og problemerne (og problematiske materialer) kommunikerer intuitivt. Ved benyttelse af BIM-modeller, integreret med miljødata til udarbejdelse af LCA-analyser, kan det være svært for en bæredygtighedseksperter at forstå de resultater og tal, der kommer ud af modellerne. Samtidig kan det være svært for BIM-koordinatoren at holde styr på, hvordan man skal indtaste og forstå enhederne fra miljødata, når de skal implementeres i modellen. Dette skyldes, at BIM-koordinatoren ikke forstår de værdier og enheder der gør sig gældende med en LCA analyse og omvendt kan det være svært for bæredygtighedseksperter, at forstå BIM modellen. Der er et stort potentiale i at udvikle effektive visuelle LCA-analyser via BIM modeller, som så kan give og koordinere den nødvendige viden til både BIM- og bæredygtighedseksperter. Derfor vil det give god mening at klæde de respektive fagpersoner på til at forstå hinandens arbejdsområder ved at tilbyde lynkurser internt i virksomheder eller eksternt.



Brug af IoT-sensorer

Mange af de sensorer, der anvendes i dag, kan sende data trådløst. Derfor kan de anvendes til at følge aktivt med i bygningsdeles tilstand, men også hele bygningers sundhed, indeklima og energiforbrug. Disse sensorer bliver kaldt IoT (Internet of Things) -sensorer og forstås som en del af et system (internettet), der fungerer som de tilknyttede computers øjne og ører.

Woodsense er en dansk virksomhed, der anvender IoT-sensorer. Woodsense arbejder med sensorer i træelementer, hvor de måler træfugtighed, temperatur og luftfugtighed. Sensorerne bliver sat ind i træelementerne under produktionen og kan indsamle data trådløst. Herefter benytter Woodsense intelligent dataanalyse, der sender direkte besked ved akutte skader. Data anvendes også til at trække rapporter ud til forsikringer eller kvalitetskontrol. Og til at afhjælpe byggesjusk, da man via en app kan tilgå data om materialets tilstand (21).

En anden virksomhed, der arbejder med IoT-sensorer i byggeri, er Sensohive. Deres sensorer bliver brugt i mange forskellige forbindelser, men en af de mest populære anvendelser er at benytte sensorer og software til at monitorere hærdningen

af beton. Softwaren hedder Maturix, og bliver benyttet både på byggepladser og betonelementfabrikker, hvor brugerne opnår store tidsbesparelser. Her støbes en temperatur-sensor ind i betonen, og en transmitter bruges til at sende data videre til softwaren, som så beregner betonens modenhed. Resultaterne sendes til brugeren og systemet giver besked i real-time, når betonen er klar til brug - eller hvis der er risiko for, at der kan forekomme revner. (22).

Andre virksomheder arbejder med at implementere IoT-sensorer, der monitorerer og styrer bygningsdriften i brugsfasen. Målet her er at designe 'Smart Buildings', hvor lys, ventilation og varme bliver styret af et system, der indhenter og behandler data, hvorefter det træffer intelligente, energibesparende beslutninger. Systemet hjælper med at opdage eventuelle fejl. Det forventes, at den store mængde indsamlede data kan hjælpe arkitekter og ingeniører med at designe bedre bygninger i fremtiden (23).

Et eksempel på hvordan sensorer kan hjælpe til at skabe sikrere byggepladser er udviklet af startupvirksomheden Pillar Technologies. De har udviklet en samlet sensor pod, der kan bruges til måle mange forskellige parametre: Temperatur, luftfugtighed, CO-koncentration, partikler, støj, lys og tryk. Målet er at samle alle sensorer i én, der giver et samlet overblik. Sensor pod'en sender en notifikation til brugeren, hvis en grænseværdi er nået, eller hvis man nærmer sig den. I praksis, er løsningen blevet brugt til at forhindre brand og forsinkelser, men også til at beskytte de indlagte på et sygehus, der var under renovering. En trådløs sensor, der indhenter store mængder data fra mange forskellige kilder, har således en bred vifte af anvendelsesmuligheder (24).

Med de enorme mængder data, der indsamles fra mange forskelligartede sensorer, er der et stort behov for at få systematiseret output. Det arbejder open-sourceinitiativet Project Haystack på, bl.a. for at kunne optimere kontrolsystemer, energi, HVAC og lys. Under Project Haystack arbejdes der løbende med at udvikle eksempler på og guides til hvordan man systematisk 'tagger' data, implementerer smartere systemer, og får mere værdi ud af den store mængde data der bliver skabt af sensorerne (25).



Generative Design

I første del af rapporten er det forklaret, hvordan simuleringværktøjer kan benyttes til beregning af dagslys og andre energisimuleringer. Generative design er et nyere begreb indenfor designprocesser, hvor der anvendes algoritmer til at generere mulige designløsninger på baggrund af de vigtigste designparametre (f.eks. bedre dagslys eller energipreformance). Ud fra de valgte parametre, genereres en mængde forslag til løsninger, der overholder de opstillede krav. Herefter kan løsningerne rangeres og de bedste udvælges.

Et eksempel på en aktør, der arbejder med generative design og simuleringer, er City Intelligence Lab (en del af Austrian Institute of Technology). De udvikler software, der gør det muligt at simulere udendørs termisk komfort in real-time, simuleringer der ellers kunne tage måneder at udarbejde. Metoden er at indhente data fra en meget stor mængde simuleringer. Ved at benytte et AI-drevet framework, kan de generere resultater lynhurtigt. I et eksempel på det, de kalder 'Rapid Urban Prototyping', udviklede City Intelligence Lab en masterplan ved at bruge deres egenudviklede software, som så genererede massevis af analyser på baggrund af en parametriske model. Herefter kunne brugeren vælge hvilke parametre, der skulle vægtes højest, og se hvilke løsninger der levede op til de prioriterede krav. I slutfasen havde de 3 færdige muligheder, med 3 forskellige prioriteringer (26).

Spacemaker er en teknologivirksomhed, som arbejder med at udvikle software rettet mod byggeindustrien. Målet er at bygge bedre byer i fremtiden. Spacemaker arbejder primært med arkitekter, men har udviklet en platform, der gør det lettere for forskellige aktører at samarbejde på fælles modeller, via platformen, bl.a. på baggrund af simuleringresultater. Virksomheden forsøger på den måde at skabe fælles forståelse blandt alle involverede parter tidligt i processen. Platformen giver brugerne mulighed for at tegne bygninger i Revit (Autodesk) eller direkte i programmet.

Platformen er udviklet på baggrund af en stor mængde data, der er indhentet fra mange forskellige kilder (om støj, befolkningstæthed etc.). Denne data muliggør lynhurtig evaluering af 100+ parametre (dagslys, vind, termisk komfort, befolkningstæthed m.fl.) for hvert designforslag. De parametre, der kan analyseres, bliver vist når modellen importeres. Som et eksempel, er værktøjet blevet brugt til at optimere 150 lejligheder (33 %) i et bygningskompleks, ved at give dem havudsigt. Samlet set tilførte det 8 millioner euro i værdi til projektet (27). Spacemaker har udviklet en funktion i deres software til generative design, der hedder 'Explore'. Funktionen kan bruges, hvis en arkitekt er kørt fast og søger ny inspiration, f.eks. kan der tegnes en grund ind, hvorefter 'Explore' kommer med forskellige forslag til, hvordan byggeriet kan udformes (28).

Der opstår jævnligt nye virksomheder, som arbejder med at udvikle software til at understøtte den generative designproces. Et eksempel er Archistar (29), der har udviklet en platform til designoptimering på baggrund af AI og data. Andre eksempler er Testfit (30) og Higharc (31), der arbejder med generative designprocesser til store byggerier (Testfit) og enfamiliehuse (Higharc). Fælles for disse virksomheder er, at de ser stor værdi i at gøre op med den traditionelle designproces og i stedet udvikle nye platforme, der sparer tid i den tidlige ide- og designfase.

Materiale- og bygningspas

Materiale- og bygningspas er samlinger af data, der tilhører et produkt eller en hel bygning. I Danmark er der endnu ikke udviklet faste rammer for, hvad et materialepas skal indeholde, eller for hvordan man kan benytte digitale værktøjer til at håndtere det – men i udlandet er der flere eksempler på, hvordan standardiserede materialepas og bygningspas anvendes.

Der findes flere virksomheder, som indhenter oplysninger om produkter og samler dem i en materialepas-database. Den svenske virksomhed, Sundahus, er et eksempel på det. Hos Sundahus kan brugere købe en licens og dermed få adgang til den store mængde miljødata, de har tilgængelig. Idéen er, at det skal hjælpe brugerne til mere bevidste materialevalg. I databasen repræsenteres materialerne med enten en grøn, gul eller rød farve, samt en karakter der indikerer om det kemiske indhold kan være farligt eller miljøskadeligt. Sundahus mener, at alle skal kunne forstå om et produkt kan være farligt, selvom de ikke er kemiekspert. Den svenske database forholder sig også til, om et materiale overholder krav fra forskellige certificeringsordninger (f.eks. DGNB, BREEM eller Svanemærket) (32).

Et lignende system er udviklet af den hollandske virksomhed Madaster. Deres udgangspunkt er at gøre materialer tilgængelige for evigt, da de bliver set som ressourcer. Madaster vil give alle aktører mulighed for at bidrage til en cirkulær økonomi, ved at benytte sig af deres modeller, der er baseret på LCA-data. De har udviklet deres model så alle aktører, fra den enkelte husejer til store investeringsfonde, kan få gavn af platformen (33). Som husejer kan man få genereret et materialepas, der inkluderer mængder og tilstande på materialerne, samt lokationen. Ved at danne et bibliotek med alle data samlet et sted, giver det værdi til den der vil bygge med genbrugsmaterialer, men også til ejeren af materialerne.

Madasters filosofi er, at et materiale uden en identitet er anonymt, og derfor i højere grad risikerer at ende som affald end et materiale, som har en dokumenteret identitet i form af et materialepas (34).

Den franske virksomhed Upcyclea arbejder med materialepas på deres onlineplatform, som indeholder et cirkulært managementværktøj, der benytter sig af kunstig intelligens (AI). Deres udgangspunkt er at betragte bygninger som 'materialebanker', der kan fremme bæredygtige løsninger ved at generere indtægt for brugerne, frem for affald. På online-platformen myUpcyclea, får brugeren adgang til at uploade data fra 3D-modeller (BIM, 2D, plantegninger m.m.), hvorefter alle materialer bliver karakteriseret. Hvis det ønskes, kan platformen sætte de involverede parter i kontakt med hinanden (f.eks. en sælger og en køber). Herefter kan myUpcyclea hjælpe parterne ved at foreslå de mest

gavnlige økosystemer til genbrug og upcycling af produkter. Derudover kan platformen beregne og generere rapporter for miljøindikatorer, såsom hvor meget CO₂-udledning og affaldsgenerering, der er blevet undgået, og hvor mange penge der er blevet sparet/tjent. Alle tilgængelige materialer bliver listet i et gratis online materialebibliotek, hvor man kan søge og finde genbrugsmaterialer, der er til salg (35).

En mulig forretningsmodel i Danmark

Indhentningen af informationer til et materialepas kan være meget dyrt, så der er flere forskellige forretningsmodeller, der kan komme i spil. Hvis passene indføres i Danmark som en frivillig, privat, 3-partsverificeret ordning, vil det ikke være alle materialer, der har et materialepas. Man kan med fordel sigte efter en forretningsmodel,

der ligner Sundahus-modellen, altså at brugerne betaler for adgang til en onlinedatabase, hvor de så kan tilgå materialepassene og sammenligne produkter. Upcyclea fungerer efter samme forretningsmodel, de har dog en gratis database tilknyttet også.

Hvis materialepasset indføres som en del af lovgivningen, vil de fleste produkter sandsynligvis stige i pris på grund af det ekstra arbejde, der skal til, for at indhente de lovbestede data, der skal tilknyttes produktet.



3D-print

3D-print er en metode, der har gjort det muligt for alle at 'printe' genstande - alt fra helt normale hverdagsting til kunst, eller endda til et helt hus.

Det er et værktøj der kan printe alt fra beton, metal, plastik mm. og kan tages i brug i nærmest alle brancher, fordi mulighederne er endeløse. 3D-print er f.eks. en oplagt metode til fremstilling af specialdele. Ofte er det også billigt og nemt. Der er mange forskellige anvendelsesmuligheder for 3D-print i forbindelse med byggeri. Et af de vægtigste argumenter for, at 3D-print er en bæredygtig strategi for byggebranchen, er at teknologien kan bidrage til at minimere de store mængder materialespild, der ofte er på byggepladser.

En dansk virksomhed der arbejder med 3D print er COBOD (Construction Of Buildings On Demand). De arbejder med at udvikle og benytte 3D konstruktionsprintere. COBOD var bl.a. ansvarlige for at opføre det første 3D-printede byggeri i Europa. Bygningen hedder The BOD ('Building on demand') og er finansieret af den danske stat, som ønskede at undersøge mulighederne for 3D-printede bygninger. Bl.a. for at finde ud af om de kan overholde alle krav i bygningsreglementet. The BOD blev også printet for at promovere de mange nye muligheder 3D-printet byggeri giver. F.eks. har The BOD ingen lige, glatte vægge men en helt organisk form, der ville være enormt problematisk at opføre med traditionelle byggemetoder. De første praktiske erfaringer med 3D-printet byggeri har især afdækket to indlysende fordele: Virkelig store tidsbesparelser på byggepladsen og minimering af materialespild (36).

I udlandet bliver der også arbejdet med 3D-print og laserskærere indenfor byggeriet. Ved at benytte laserskærere og innovativt design blev systemet X-frame udviklet med det formål at fremme cirkulært byggeri. X-frame er udviklet til at bygge huse af materialer, der kan genbruges flere gange. X-frame har en ambitiøs målsætning om at ændre byggebranchen fra lineær økonomi til cirkulær økonomi, og derved undgå de store mængder byggeaffald, som bliver genereret i dag. X-framesdesign undgår brugen af skruer, lim og søm til samlinger, og benytter i stedet et særligt X-framesmodul i 12 mm laserskåret

krydsfiner. Modulet bruges til at opbygge paneler, der så kan anvendes til at bygge forskellige typer af småhuse. Alle komponenter pakkes i flade kasser, som er nemme at transportere til byggepladsen. Her bliver de så brugt til at fastholde træbjælkerne til husets rammeopbygning, uden at ødelægge deres fremtidige værdi (37).

Hvis tidsplanen holder, kan 3D-printet byggeri spare rigtig meget tid, fordi moduler og komponenter, også specialdele, kan produceres lynhurtigt og fleksibelt. Hermed minimerer man det materialespild på byggepladsen, der normalt opstår ved fejll levering eller fejlmontering. Derimod, hvis der opstår forsinkelser eller problemer, f.eks. i forbindelse med en levering af materialer ved 3D-printet byggeri, kan det få alvorlige konsekvenser. Fordi byggeriet/printningen foregår så hurtigt, bliver tidsplanen hurtigt så stram, at selv små forsinkelser giver en meget stor påvirkning.

Maskiner og robotter

Der er ingen tvivl om, at robotter er kommet for at blive. De er godt på vej til at gøre byggebranchens hverdag nemmere og mere bæredygtig. F.eks. ved nedrivningsarbejde, hvor der allerede er mærkbar hjælp at hente fra fjernstyrede nedbrydningsrobotter.

Nedbrydningsrobotter er meget effektive og nemme at betjene takket være innovative konstruktioner og nye teknologier. De har et godt effekt/vægt-forhold og er hurtigt på plads og klar, så brugeren kan starte arbejdet uden tidskrævende forberedelser. Robotterne kan bruges til en lang række opgaver: Traditionel nedbrydning, mejsling, knusning, klipning, gravning, skovling og løftning. Desuden slipper mennesker for at blive belastet med hårdt fysisk arbejde, når nedrivningsrobotterne tager over. Det betyder, at håndværkere m.fl. kan være på arbejdsmarkedet længere og uden nedslidning. Robotterne kan også fjerne farlige/giftige stoffer, så medarbejderne ikke skal arbejde i tæt kontakt med dem. Virksomheden Kingo Karlsen A/S har f.eks. benyttet en højtryksspuler-robot til at fjerne giftig blymaling fra en stor konstruktion, inden det reelle nedrivningsarbejde (38).

Den danske start-up Yellow Machines arbejder for at forbedre hverdagen for medarbejdere på byggepladserne. Deres mål er at integrere robotter til udførelsen af arbejdsopgaver der kan være risikable, gentagende eller farlige. Dette har de bl.a. gjort med udviklingen af robotten YM-1 til saneringsarbejde. YM-1 sikrer dokumentation, stabil arbejdsgang og tager samtidig menneskerne ud fra de støvede, larmende og farlige omgivelser (39).

Nedrivningsrobotter giver mulighed for at øge mængden af brugbare genbrugsmaterialer fundet ved nedrivning. På samme måde som der kan spules blymaling af, er der robotter, som kan spule fuger fra mursted ud, og dermed udvinde genbrugstegl til nye konstruktioner. I Danmark er der flere udbydere af nedbrydningsrobotter: Kieler, Husqvarna, Brokk og mange flere.

Den schweiziske virksomhed Eberhard har satset stort på at opføre en fabrik, der kan udvinde genbrugsmaterialer af høj kvalitet fra byggeaffald. På fabrikken kan smarte sorteringsrobotter, der benytter kunstig intelligens, identificere brugbart affald og sortere det fra. Det genererer 200 tons brugbare byggematerialer i timen (40).

På markedet for konstruktionsrobotter finder man bl.a. Hadrian X, der er udviklet af det australske firma FBR. Hadrian X kan lægge mursten op til 8 gange hurtigere end en normal murer. Robotten lægger murstenene efter en 3D-model, og kan bygge murerne i et hus på en enkelt dag. Systemet minimerer spild/affald og gør byggepladsen til et sikrere sted. Robotten skærer selv stenene til, og bruger mest muligt af de skårne dele for at minimere ressourcespild (41).

Et nyt tiltag på byggepladsen er brugen af eldrevne maskiner som pladevibratører, minigravere og læssemaskiner. Elektrificeringen formindsker CO₂-udledningen. Derfor er eldrevne maskiner en fordel, når et byggeri skal DGNB certificeres. De er desuden ofte mere lydløse end de 'gammeldags' maskiner, hvilket gør det muligt at arbejde om natten uden at genere naboerne (42). Ydermere er det socialt bæredygtigt for håndværkerne, så de ikke står i dieselos og larm.

Robotter og robotteknik er områder i hastig udvikling, og derfor også med gode investeringsmuligheder. Da robotter på byggepladser vil kunne nedbringe tid og omkostninger, bliver det muligt at bygge billigere end tidligere, fordi robotterne er hurtige og kan arbejde mange timer i træk. Også om natten. Det er vigtigt være opmærksom på, at i takt med at produktiviteten øges, vil konkurrencen om projekterne øges tilsvarende. Det kan være en konkurrencefordel at gøre brug af robotter tidligt i processen, til nedrivning eller konstruktion, fordi projekterne så kan færdiggøres hurtigere og ressourcespildet minimeres (43).



Opsummering af del 2

Som nævnt i del 1 løser mange virksomheder bæredygtighedsopgaver vha. digitale platforme og tilgange, som er præget af manuelt arbejde og ineffektivitet. Derudover er der fortsat et stort uudnyttet potentiale ved de teknologier, der i dag bruges i byggebranchen, såsom IoT-sensorer og simuleringer.

På baggrund af interviews med forskellige bæredygtighedseksperter vurderes det, at der er stor værdi ved at introducere nyere teknologier og metoder inden for LCA-analyse, Generative Design, IoT-sensorer, robotteknologi, 3D print og materiale- og bygningspas. Formålet med del 2: Teknologier ready-for-market. Klar til bæredygtighedsopgaver er, at vi gerne vil inspirere byggebranchen, især bæredygtighedseksperter, ved at introducere nye måder at løse bæredygtighedsopgaver på i form af modne teknologier.

Teknologierne, som er beskrevet under del 2, er hver især blevet vurderet og udvalgt på baggrund af ekspertvurderinger med supplerende desk research og undersøgelser. Alle de nævnte virksomheder laver noget, der kan understøtte de traditionelle bæredygtighedsopgaver på en mere effektiv måde og har et produkt, der er klar til brug.

Når det kommer til materiale-, bygningspas og LCA-analyser, findes der rigtig mange løsninger og teknologier, som er klar til brug. Der er især meget inspiration at hente fra udlandet, herunder Sverige og Finland, hvor ovennævnte teknologier er mere udbredt. Det gælder f.eks. det svenske Sundahus, hvor deres data kan integreres i allerede eksisterende løsninger og som effektiviserer og automatiserer processen omkring materiale-, bygningspas og LCA-analyser. I Danmark er vi mere varsomme, da der endnu ikke findes en klar fælles standard, man kan læne sig op ad og at man oftest skal henvende sig til produktleverandører for at indhente miljøinformationer.

Når man kigger på Generative Design, kan man konkludere, at det er en forfriskende ny tilgang til at lave simuleringer i projektering og i bæredygtighedsprocessen, men det kan være svært for mange virksomheder at implementere. Mange har ikke de fornødne digitale kompetencer og de har svært ved at se, hvordan det passer ind i byggeprocessen. Det kræver, at man har overskud til at undersøge, hvordan og hvornår Generative Design kan bruges i byggeprocessen og vigtigst af alt, at man har kompetencerne til at kunne arbejde med denne teknologi. Det er ikke kompetencer en traditionel bæredygtighedsekspert besidder.

3D-print og robotter er udbredte teknologier både i Danmark og udlandet. Robotteknologi bruges især til at udføre meget specifikke opgaver, f.eks. at lægge mursten, og fylder derfor heller ikke meget i

det samlede billede af, hvor langt fremme teknologien er. En anden grund til dette kan være, at mange løsninger ikke er tilpasset til den byggeplads, vi kender i dag og derfor kræver tilpasning eller stadig er på prototypestadiet.

Der eksisterer mange løsninger inden for IoT-sensorer. Løsningerne er specifikke inden for et bestemt område på byggepladsen eller bygningen i driftsfasen. Der er ikke meget fokus på, hvordan man kan koble denne data mellem de forskellige IoT-sensorer for at skabe et større og bedre billede. Dette betyder, at man ikke kan sammenligne sensordata på tværs af bygninger og derfor heller ikke bruge denne viden på en effektiv måde. Men der er et stort potentiale inden for sensorer og mange løsninger til forskellige formål allerede i dag.

Ovenstående viser, at virksomhederne i byggebranchen har behov for at få et overblik over, hvilke teknologier der findes til at løse bæredygtighedsopgaver, hvordan disse teknologier kan anvendes og hvordan teknologierne kan implementeres i byggeprocessen. I ConTech Lab arbejder vi netop på at udvikle et overblik over økosystemet af tech-virksomheder, der understøtter bæredygtige opgaver. Vi arbejder yderligere i samarbejde med branchen på at formidle ovenstående viden på konkrete projekter, så de er målbare og implementerbare. På denne måde er visionen, at barrieren over for teknologier nedbrydes, og potentialet ved brug af teknologier udbredes i byggebranchen.



Samarbejde

Rapporten er et samarbejde mellem Molio, Realdania og Industriens Fond.

Desuden retter ConTech Lab en stor tak til følgende virksomheder, der har bidraget med viden og interviews til rapporten:



Referencer

1. Denmark, Green Building Council. www.dk-gbc.dk
2. Council, Green Building. DGNB. Introduktion til DGNB. 2020. www.dk-gbc.dk/dgnb/introduktion-til-dgnb/
3. Frame ApS. Open frame. [Online] 2020. openframe.org/om-frame/
4. EPD Danmark. EPD Danmark. Kort om LCA. [Online] 2019. www.epddanmark.dk/at-lave-epder/kort-om-lca/
5. Trafik-, Bygge-, og Boligstyrelsen. LCA i Praksis. 2021
6. Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen. Introduktion til kravene i bæredygtighedsklassen. [Online] 2020. baeredygtighedsklasse.dk/2-Introduktion-til-kravene/Introside#
7. Statens Byggeforskningsinstitut, AAU. LCA Byg. [Online] 2020. www.lcabyg.dk/
8. Energistyrelsen. Dansk Klimapolitik. [Online] 2020. ens.dk/ansvarsomraader/energi-klimapolitik/fakta-om-dansk-energi-klimapolitik/dansk-klimapolitik
9. Bygningsreglementet. Bygningsreglementet. [Online] bygningreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/BRV/Energiforbrug
10. Anne Iversen, Nicholas Roy, Mette Hvaas. Dagslysberegninger i praksis - en undersøgelse af ni beregningsprogrammer med udgangspunkt i fem typiske rum. København: Statens Byggeforskningsinstitut, AAU, 2013
11. Autodesk University. Using generative design in construction applications. [Online] Januar 11, 2020. medium.com/autodesk-university/using-generative-design-in-construction-applications-e268c785b004
12. Grasshopper 3D. [Online] 2020. www.grasshopper3d.com
13. Autodesk, inc. Dynamo. [Online] 2020. dynamobim.org/
14. EPD Danmark, Green Building Council, Miljøforum Fyn Byggeri. EPD som konkurrenceparameter i bæredygtigt byggeri og renovering. [Online] 2019. www.epddanmark.dk/media/1013/epd_eksempelsamling_online.pdf
15. Teknologisk institut. Analys af Bygnings- og Materialepas. 2019.
16. Informatik. Sensorer. [Online] 2020. informatik-gym.dk/glossary/sensor/
17. Byggeri, Dagens. Sensorer sladrer om bygningen. [Online] marts 6, 2012. www.dagensbyggeri.dk/artikel/70031-sensorer-sladrer-om-bygningen
18. Sensorplaster skal gøre op med rust. Redaktionen. 2019, Building Supply, p. 1
19. Ugens Erhverv. Trådløse sensorer giver bedre byggeri. [Online] Juni 29, 2007. ue.dk/byggeri/3002/traadloese-sensorer-giver-bedre-byggeri
20. One Click LCA. One Click LCA. [Online] 2020. www.oneclicklca.com/
21. Woodsense. Woodsense. [Online] 2020. www.woodsense.dk/
22. Sensohive Technologies ApS. Maturix. [Online] 2020. maturix.com/
23. NCC, PKA, PensionDanmark, DEAS, ITU, Gate 21, Elforsk. Den datadrevne bygning til bedre drift. København : Gate 21, 2019
24. Pillar Technologies Inc. Pillar Technologies. [Online] 2020. pillar.tech/
25. Project Haystack. Project Haystack. [Online] 2020. www.project-haystack.org/
26. City Intelligence Lab. Astana sports city. [Online] 2020. cities.ait.ac.at/site/index.php/2018/05/29/astana-sports-city/
27. Spacemaker. Site development. [Online] 2020. www.spacemakerai.com/solutions/site-development
28. Vatn, Klara. Introducing explore. [Online] Maj 4, 2020. www.spacemakerai.com/blog/introducing-explore
29. Archistar. Archistar. [Online] 2021. archistar.ai/
30. Testfit. Testfit. [Online] 2020. testfit.io/
31. Higharc. Higharc. [Online] 2020. www.higharc.com/
32. Sundahus. Sundahus. [Online] 2021. www.sundahus.se/
33. Madaster. Madaster Use Cases. [Online] 2021. www.madaster.com/en/madaster-real-estate/business-2/use-cases
34. —. Why a materials passport. [Online] 2021. www.madaster.com/en/about-us/why-a-materials-passport
35. Upcyclea. Upcyclea. [Online] 2020. www.upcyclea.com/en/
36. COBOD international AS. COBOD. [Online] 2021. cobod.com/the-bod/
37. X-Frame. X-Frame. [Online] 2020. xframe.com.au/
38. Adolfsen, Lars Dalsgaard. Robot hjælper til med 33000m2 nedrivning. Building Supply. [Online] Januar 14, 2013. www.building-supply.dk/article/view/95025/robot_hjaelper_til_med_33000_m_nedrivning
39. Yellow Machines, YM-1. Yellow Machines. [Online] 2020. yellowmachine.dk/ym-1/
40. Eberhard. Eberhard. [Online] 2020. eberhard.ch/ebimik/
41. FBR. Hadrian X. [Online] 2018. www.fbr.com.au/view/hadrian-x
42. Licitationen. Eldrevne maskiner styrker klimaet. [Online] Januar 30, 2020. www.licitationen.dk/article/view/697591/eldrevne_maskiner_styrker_klimaet
43. Simon Miller, Andre Dyer, Matias Raby, Santiago Castagnino, Jeff Hill. Getting Ready for Robotics in Property Development and Building. [Online] Oktober 25, 2018. www.bcg.com/publications/2018/robotics-property-development-building
44. [Online] www.dk-gbc.dk/dgnb/introduktion-til-dgnb/hvorfor-dgnb-certificere/
45. Institut, Teknologisk. Teknologisk.dk. [Online] 2019. www.teknologisk.dk/_/media/77203_Materiale%20og%20bygningpas.pdf
46. Autodesk. Demystifying Generative Design, Generative Design Ebook. s.l. : Autodesk, 2018
47. Dr. Felix Wunner, Tino Krüger & Bernd Gierse. How AI driven generative design disrupts traditional value chains. Accenture. [Online] Maj 28, 2020. www.accenture.com/us-en/blogs/industry-digitization/how-ai-driven-generative-design-disrupts-traditional-value-chains
48. Davis, Daniel. Why generative design is doomed to fail. [Online] Februar 20, 2020. www.danieldavis.com/generative-design-doomed-to-fail/
49. WGBC. World Green Building Council. [Online] 2021. www.worldgbc.org/

Om rapporten

Formålet med rapporten er at give et 360-graders perspektiv på, hvordan byggebranchen kan blive bedre til at udnytte teknologi til at fremme og udvikle bæredygtigt byggeri. Ydermere at give den enkelte virksomhed, der gerne vil arbejde med bæredygtigt byggeri inspiration til hvilke teknologier, der er modne og implementerbare. Rapporten er udviklet af ConTech Lab i samarbejde med et bredt udsnit af byggeriets virksomheder. Den giver et overblik over generelt anvendte bæredygtighedsteknologier i dag suppleret af konkrete cases og eksempler på, hvordan ny teknologi og digitalisering kan løfte branchens fælles indsats for en mere bæredygtig byggebranche i fremtiden.

Om ConTech Lab

ConTech Lab er byggebranchens fælles udviklingsplatform, hvor byggeriets virksomheder sammen kan udvikle og eksperimentere med nye måder at benytte data, digitalisering og teknologi på til at skabe fremtidens byggeri – et mere bæredygtigt og produktivt byggeri. ConTech Lab kobler dyb forståelse for processerne i et byggeprojekt med ny teknologi, og afprøver nye måder at samarbejde på i pionerprojekter. Her deles al viden og læring, så det kommer hele branchen til gode. Også dem, der lige nu kan være usikre på, hvordan teknologi kan hjælpe dem til at blive bedre.

ConTech Lab er et samarbejde mellem
Molio, Realdania & Industriens Fond.

Læs mere på contechlab.dk