



## FREMTIDENS GRØNNERE BYGGERI

INTERNATIONAL SCREENING AF BYGGEMATERIALER- OG KONCEPTER  
MED REDUCERET KLIMA- OG RESSOURCEAFTRYK



**TEKNOLOGISK**  
**INSTITUT**

## INDHOLD

Introduktion	3
Byggeriets grønne omstilling	4
Analyse og sammenfatning	6
Udvalgte cases	16

### **PUBLIKATIONEN ER UDARBEJDET AF**

Teknologisk Institut i forbindelse med resultatkontraktprojektet "Bæredygtige byggematerialer" støttet af Uddannelses- og Forskningsstyrelsen.

### **FOTOS**

Angivet ved hvert enkelt foto  
Øvrige fotos: Teknologisk Institut

### **UDGIVELSE**

Marts 2023

# Introduktion

---

Bygninger, broer og veje står for ca. 30 % af Danmarks CO<sub>2</sub>-udledning. Det kommer fra bygningernes energiforbrug, byggeprocessen i forbindelse med nybyggeri eller renovering og produktionen af byggematerialer. Danmark har forpligtet sig til at levere indenfor bæredygtighed, og dele af dette er blevet gjort målbart. Pr. januar 2023 er der kommet krav til beregninger af klimaaftryk, samt grænseværdier for CO<sub>2</sub>-udledning for visse byggerier. Dette skaber incitament til at finde nye måder at designe og bygge på.

I denne screening undersøger vi, hvordan byggebranchen forsøger at løse disse udfordringer. Hvilke måder skal vi i fremtiden bygge på, og hvilke materialer - nye som kendte - indgår i fremtidens grønnere byggeri? Screeningen er baseret på nationale og internationale cases, som hver især bidrager med løsninger, som har potentiale for at nedsætte byggeriets CO<sub>2</sub>-aftryk samt ressourceforbrug. På baggrund af disse cases, har vi beskrevet nogle overordnede tendenser og trends, som kan være med til at pege på, hvor byggeriet bevæger sig hen. Der er ikke foretaget en grundig analyse af hver case, hvorfor de præsenterede påstande om fordele og ulemper primært beror på de angivne kildehenvisninger.

Screeningen skal primært bruges af byggeriets udførende til at blive inspireret til at anvende alternative materialer og byggemetoder med henblik på at opnå et byggeri med lavere klimaaftryk.

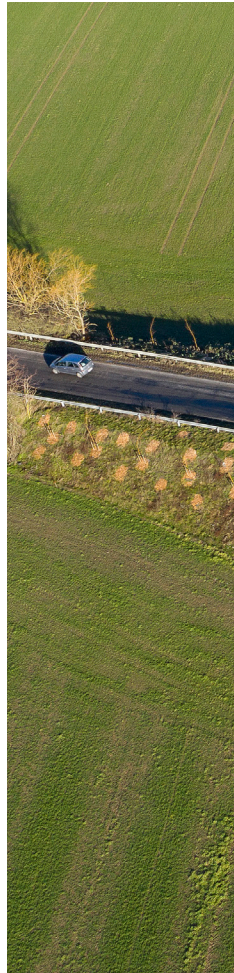
# Byggeriets grønne omstilling

---

I april 2021 udgav Indenrigs- og boligministeriet rapporten: "National strategi for bæredygtigt byggeri". I den præsenteres Danmarks vedtagne klimalov, som lovfæster et mål om, at Danmark skal reducere sin CO<sub>2</sub>-udledning med 70 % i 2030 sammenlignet med 1990.

Den nationale strategi for bæredygtigt byggeri udgør regeringens sektorhandlingsplan for bygge- og anlægssektoren. Samtidig følger den op på anbefalingerne fra Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren, der igennem et større arbejde har præsenteret en række forslag til reduktion af CO<sub>2</sub>-udledninger. Initiativerne falder inden for i alt fem indsatsområder: Mere klimavenligt byggeri og anlæg, Holdbare bygninger af høj kvalitet, Ressourceeffektivt byggeri, Energieffektive og sunde bygninger og Digitalt understøttet byggeri.

En af nøglerne til at understøtte strategien er nytænkning i byggeriet med henblik på at skabe et mere klima- og ressourcenevenligt byggeri med anvendelsen af innovative byggematerialer og byggemetoder.









# Analyse og sammenfatning

---

Den udførte screening er baseret på en gennemgang af 48 udvalgte cases, som hver især indeholder innovationer og løsninger, som peger på muligheder for fremtidens byggeri. Fokus i nuværende screening har været på løsninger, som kan være med til at reducere byggeriets aftryk på klima og/eller ressourceforbrug. Forskelligheden i de udvalgte cases er med til at pege på, at fremtidens byggeri vil præges af et større antal løsninger, hvor der ikke er én eller få løsninger, som indeholder den gyldne nøgle til øget bæredygtighed. I et globalt perspektiv synes dette da også at give god mening, da der blandt andet er store globale forskelle i bygningskultur, vejrpåvirkning og lokale ressourceforekomster. Med introduktionen af nye materialer og nye byggemetoder, mangler der i mange tilfælde viden om miljøpåvirkning, holdbarhed, forventede levetider samt hvordan materialerne opfører sig i forskellige eksponeringsmiljøer. Derfor peger screeningen også på vigtigheden af, at disse nye materialer bliver yderligere testet og dokumenteret i forhold til miljøpåvirkninger, mekaniske egenskaber, klimamodstandsdygtighed, brand mv., så vi sikrer, at vi ikke får indbygget svagheder i vores bygninger, som med tiden kan give store økonomiske- og miljømæssige belastninger. Til trods for at de udvalgte cases viser stor forskellighed, er der alligevel nogle hovedtrends, som synes at markere sig som fællesnævnerne. Af disse er fire udvalgt til nærmere diskussion i det følgende.





# DYB RENOVERING

Der er stigende fokus på at se vores bygningsmasse som en ressource, og det, som vi kan bevare (gennem vedligehold, renovering og transformation), kan ses som ressourcer sparet ved at undgå nybyggeri.

Termen dyb renovering anvendes om gennemgribende renovering med fokus på renovering af klimaskærmen med henblik på at forlænge levetiden af bygningens konstruktioner samt nedbringe energiforbruget signifikant. I Rambølls rapport: "Analyse af CO<sub>2</sub>-udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg" fra 2020 slås det fast, at det er mest fordelagtigt – både klimamæssigt og totaløkonomisk - at renovere frem for at rive ned og bygge nyt. Samtlige cases i analysen viser, at en renovering er mest fordelagtig både ift. Klimapåvirkning og totaløkonomi. Denne konklusion bakkes op af BUILD Rapporten: "Klimapotentialt ved renovering kontra nedrivning med nybyg" fra 2022.

Dette viser sig da også som en tydelig trend for fremtidens byggeri. At vi ser flere og flere projekter med eksisterende bygninger og industrialanlæg, som renoveres eller transformeres ind i en nutidig kontekst til gavn for brugerne, økonomi og klima. Det skal naturligvis nævnes, at de eksisterende konstruktioner skal have en vis kvalitet og forventet lang restlevetid, før renovering eller transformation er en bæredygtig løsning på længere sigt.







” Samtlige cases i analysen viser, at en renovering er mest fordelagtig både ift. klimapåvirkning og totaløkonomi.







# ALTERNATIVE BYGGEMATERIALER

Langt de fleste bygninger i dag bygges stadig af kendte materialer som beton, tegl og stål. Med øget fokus på at skabe et lavere CO<sub>2</sub>- og ressourceaftryk fra byggematerialerne, er træ begyndt at vinde større indpas, blandt andet også til bærende konstruktioner i form af CLT (Cross Laminated Timber).

Men skal byggeriet for alvor nedsætte CO<sub>2</sub>- og ressourceaftrykket, er der behov for både innovationer af kendte byggematerialer samt introduktion af nye materialer, som kan erstatte og supplere kendte byggematerialer. Screeningen viser også, at der bliver udviklet og eksperimenteret med mange nye typer af materialer. Flere af disse er endda også indbygget i diverse demonstrationsbyggerier for at demonstrere mulighederne i en byggemæssig kontekst. De mange eksempler peger på, at fremtidens byggeri kan være præget af, at vi på globalt plan bruger mange forskellige materialer - blandt andet dikteret af lokale forekomster og vejrlig.

Ved anvendelse af nye materialer er det vigtigt at holde sig for øje, at der kan være store variationer med eksempelvis skalerbarhed, råmaterialeforekomster, potentiale for klima- og ressourcebesparelser samt muligheder for genbrug/genanvendelse, der hvor materialerne skal anvendes.

# COMEBACK TIL MATERIALER

I takt med at der stilles større krav til klimaaftrykket i fremtidens byggeri, er der behov for nye løsninger, der kan møde disse krav.


Nogle af disse løsninger er dog ikke helt nye. Flere løsninger er faktisk ældre innovationer, som enten ikke anvendes længere (i større stil) eller aldrig har vundet indpas i byggeriet. Med nutidens og fremtidens behov for at nedsætte eksempelvis CO<sub>2</sub>- og ressourceaftryk er nogle af de ældre innovationer igen blevet interessante alternativer.

Der er dog ofte brug for at udvikle modificerede versioner af disse byggematerialer, så de møder nutidens krav til bygbarhed, klima, miljø, økonomi mv.

Et af disse materialer er eksempelvis stampet lerjord. Det er en flere tusind år gammel teknik, som i dag er blevet interessant igen. Dagens version af den stampede lerjord består af fugtig jord, som støbes og stemples i en støbeform lag-på-lag. Jorden indeholder typisk sand, grus, ler og et stabiliserende materiale - typisk brændt kalk.

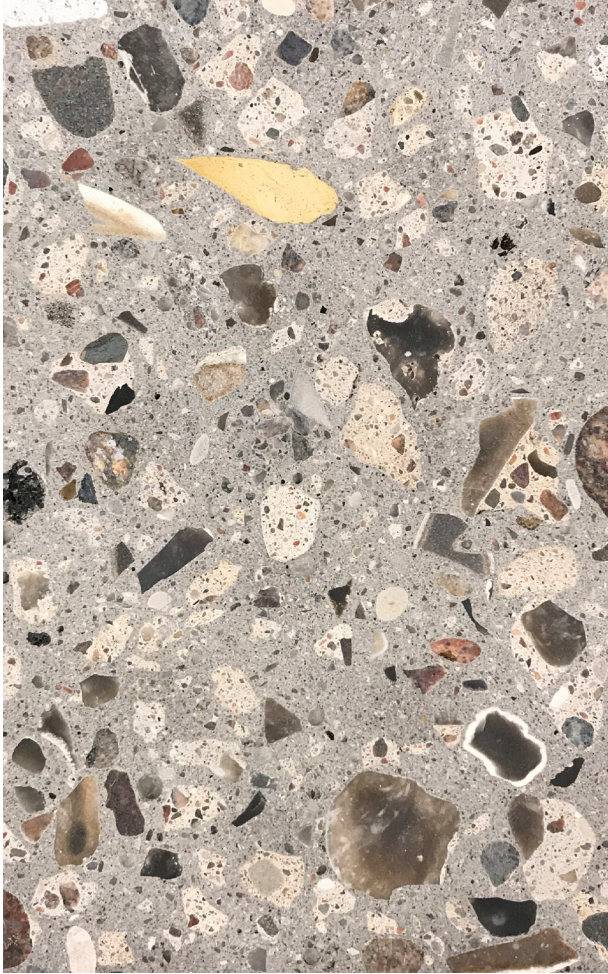






” Med nutidens og fremtidens behov for at nedsætte eksempelvis CO<sub>2</sub>- og ressourceaftryk, er nogle af de ældre innovationer igen blevet interessante.









# GENANVENDELSE OG GENBRUG

Der er stigende fokus for at se vores byggeaffald som værdifulde ressourcer, der kan anvendes i byggeriet på ny. Det skyldes bl.a. en øget bevidsthed om, at mange ressourcer ikke er fornybare. Dermed er der opstået en forøget interesse for at sikre, at de ressourcer som allerede er anvendt til produktion af materialer, kan anvendes så længe som muligt på så meningsfuld en måde som muligt.

Det afspejler sig også i de forskellige cases, hvor direkte genbrug (dvs. hvor produkterne bruges et nyt sted på samme måde) fylder mere end det tidligere har gjort. Det er dog altid vigtigt at huske, at genbrug ikke nødvendigvis er bedre end genanvendelse. Nogle former for genanvendelse og genbrug eksisterer allerede på industriel skala, men for mange produkter/materialer ses genanvendelse og genbrug kun i begrænset omfang eller overhovedet ikke.

For at sikre en højere grad af genanvendelse og genbrug kræver det understøttende lovgivning, nye test og dokumentationsparadigmer samt nye måder hele byggeriets værdikæde fordeler risiko og ansvar på. Genanvendelse og genbrug påvirker ofte mange forskellige aktører, og det er derfor ofte nødvendigt at løse udfordringer i flere led af værdikæden.

# Udvalgte cases

---

Alle cases udvalgt til denne screening er udvalgt på baggrund af, om de har potentialet for at nedsætte klimaaftrykket (udledning af CO<sub>2</sub>) og/eller ressourceforbrug fra byggeriet.

I det følgende præsenteres en sammenfatning af de udvalgte cases. Her gennemgås, hvordan de udvalgte cases fordeler sig med henblik på geografi, materialetype, demonstration, skaleringspotentiale, type af opnået miljøgevinst samt middel til at opnå den.

Afslutningsvis præsenteres en kort gennemgang af alle udvalgte cases med angivelse af innovation og påstået miljøgevinst. Der er ikke foretaget en grundig analyse af hver case, hvorfor de præsenterede påstande om fordele og ulemper primært beror på de angivne kildehenvisninger. Screenings hovedinteresse ligger i summen af alle cases - hvilke hovedtrends bygge- og anlægsbranchen vi ser ind i her i starten af 2023. Derfor skal dette afsnit ses som et bilag til screeningen, hvor der via de angivne links er mulighed for selv at dykke længere ned i hver enkelt case, hvis den vækker interesse.

## CASEFORDELINGER PÅ TEMAER



Geografien er inkluderet i analysen for at få et indblik i den geografiske fordeling af cases. Selv om en case er placeret et sted geografisk, kan der dog godt blive arbejdet med samme koncept/produkt i andre dele af verdenen. Cases som er placeret i Danmark, er både talt med under "Danmark" og "Europa".

Der er en overrepræsentation af cases i Europa - det skal dog ikke ses som et udtryk for, at Europa er længst fremme i de pågældende teknologier, men blot et udtryk for tilgængelighed af informationer på konkrete cases. Derfor er det vurderet, at de udvalgte cases repræsenterer globale tendenser.

I screeningen fordeler de udvalgte cases sig på følgende geografiske placeringer:

Danmark: 16  
Europa: 36  
Asien: 4  
Nord Amerika: 5  
Oceanien: 3



Når der arbejdes med byggematerialer med reduceret klima- og ressourcepåvirkning, kan man enten tage udgangspunkt i de traditionelle materialetyper anvendt i byggeriet i dag og fx optimere sammensætning, produktion, brug mv. eller man kan arbejde med nye/utraditionelle materialer.

Det er interessant at have for øje, da nye typer af delmaterialer kan stille andre krav til anvendelse samt test og dokumentation.

I screeningen fordeler de udvalgte cases sig på følgende byggematerialer, hvoraf nogle cases fordeler sig på et eller flere byggematerialer:

Beton: 14  
Tegl: 8  
Træ: 6  
Asfalt: 2  
Biomaterialer: 14  
Mineralsk materiale: 3  
Uafhængig af materialetype: 3  
Andet utraditionelt materiale: 5



Alle cases er vurderet på, hvilket niveau de er demonstreret. Det er dog ikke altid et retvisende billede af, hvor langt produktet/konceptet er fra markedet, da der er eksempler på opførte huse baseret på et produkt eller et koncept, uden at det er tæt på markedet. Det ses fx nogle gange, at et produkt/koncept er anvendt i et enkeltstående demonstrationsbyggeri, uden at centrale udfordringer for kommerciel anvendelse er løst.

Det kan generelt være udfordrende at vurdere et materiales tekniske udviklingsniveau, da mange ønsker at sætte fokus på det positive i en case, hvorfor der kan mangle information om, hvor tæt produktet reelt er på markedet. Derfor er cases vurderet i forhold til, hvordan udviklingen i cases er blevet demonstreret.

I screeningen fordeler de udvalgte cases sig på følgende demonstrationsniveauer:

Idé/proof of concept: 2

Udviklingsstadiet: 3

Prototype (mindre prøver): 6

Mock-up (fuldskala størrelse): 12

Demonstration (bygget): 16

I produktion/på markedet: 9



Ikke alle produkter eller koncepter har et stort skaleringspotentiale. Det kan fx skyldes, at delmaterialer kun findes i små mængder, eller at mulige anvendelser er begrænset grundet produktets tekniske egenskaber. Det er vigtigt at have for øje, når en case evalueres.

I nogle tilfælde kan et produkt eller en case fremstå rigtig godt på klimaregnskabet, uden at det rykker noget på et større plan, hvis det lavere klimaaftryk er opnået ved anvendelse af begrænsede ressourcer, som ellers ville kunne være anvendt andetsteds.

I screeningen fordeler de udvalgte cases sig på følgende vurderinger af skaleringspotentialet:

Lavt: 15

Middel: 19

Høj: 10

For de resterende cases er skaleringspotentialet uklart.



Det er muligt at opnå en miljøgevinst på flere forskellige måder. Måden, hvorpå en miljøgevinst opnås, har ofte også en betydning for, hvilken type af aktør som den pågældende case involverer.

I screeningen fokuserer de udvalgte cases sig på forskellige midler til at opnå miljøvinsten. Det er vurderet, at de fordeler sig indenfor fire kategorier, hvoraf flere cases fordeler sig på en eller flere kategorier:

Genanvendelse og genbrug: 15

Ny type materiale/delmateriale: 22

Optimering af produkt/produktion mv.: 6

Brug/design: 14

Længere levetid: 4



I analysen er der fokuseret på to miljøgevinster, herunder CO<sub>2</sub>-reduktion og ressourcebesparelse. Nogle cases vil give begge miljøgevinster, mens andre kun vil give den ene.

Der findes mange andre miljøgevinster, som dog ikke er omfattet af nærværende analyse.

I screeningen fordeler de udvalgte cases sig på følgende miljøgevinster:

Ressource reduktion: 20

CO<sub>2</sub>-reduktion: 44



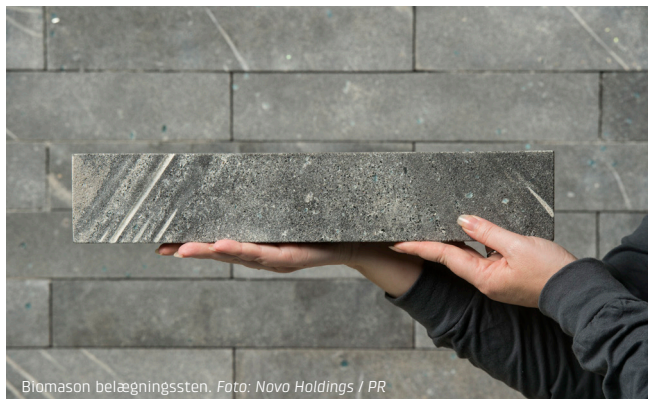
## CASE#01 - BIOLITH BELÆGNINGSSTEN

Amerikanske Biomason har erstattet cement med en biocement. Det er bakterien *Sporosarcina pasteurii*, der er god til at producere calciumkarbonat på en kontrolleret måde. Biomason's første kommercielle produkt (Biolith) er baseret på biocement og består af 85% granit og 15% biocement.

Biocement har et lavt CO<sub>2</sub>-aftryk sammenlignet med traditionel Portland cement. Det er dog fortsat et nyt materiale med ukendt holdbarhed og levetid. Anvendes indtil videre kun til belægningsprodukter.

Case: Biomason biolith belægningssten (US)

Kilde: [ing.dk/artikel/bakterieproduceret-beton-skal-goere-byggepladsen-mere-co2-venlig-231434](https://ing.dk/artikel/bakterieproduceret-beton-skal-goere-byggepladsen-mere-co2-venlig-231434)



Biomason belægningssten. Foto: Novo Holdings / PR

## CASE#02 - FERROCK

Et alternativt materiale til beton, som er produceret af primært biprodukter fra andre produktioner fx stålproduktion. Stålstøvet reagerer med CO<sub>2</sub> og danner jernkarbonat, hvilket efter hærkning bliver til Ferrock.

Materialet består af 95 % genanvendt materiale, og det absorberer CO<sub>2</sub> under produktion. Kan opnå høje styrker sammenlignet med beton.

Uklart om det er egnet til at blive anvendt som konstruktionsmateriale i byggeriet (som armeret beton). Hertil kommer, at der er begrænsede mængder af affaldsmaterialet, som anvendes til produktet, hvorfor en global opskalering synes vanskelig.

Case: Ferrock (US)

Kilde: <https://theconstructor.org/concrete/ferrock-characteristics-applications/565525/>



Ferrock har en rødlig overflade. Foto: Unsplash

### CASE#03 - BIO-BITUMEN ASFALT

Ved at anvende det plantebaserede stof lignin til asfaltproduktion i stedet for den traditionelle olie-baserede bitumen, kan der opnås større CO<sub>2</sub>-besparelser.

En Hollandsk screening estimerer en besparelse på 200.000 ton CO<sub>2</sub> baseret på fremstillingen af 8 mio. ton ny asfalt. Der mangler stadig viden ift. ydeevne, økonomi og livscyklusanalyse for hele levetiden.

Case: Chaplin CL project (NL)

Kilde: [www.biofuelsdigest.com/bdigest/2021/06/06/lignin-leads-the-way-worlds-first-lignin-bio-asphalt-road-lignins-array-of-applications-and-more/](http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2021/06/06/lignin-leads-the-way-worlds-first-lignin-bio-asphalt-road-lignins-array-of-applications-and-more/)



Eksempel på asfaltbelægning

### CASE#04 - DRYSTACK

Mekanisk samling imellem murstenene i stedet for en kemisk samling. Muremørtel erstattes af polyamid-6 brikker i murværk til stabling af vægge i stedet for opmuring. Alle mursten (fra enhver producent) kan anvendes pga. en særlig udviklet boreteknik.

Der forventes at være en CO<sub>2</sub>-besparelse, da cementen i mørtlen udgår, og løsningen understøtter cirkulær økonomi. Der er potentielt problematiske kemikalier/stoffer anvendt til løsningen.

Case: Drystack (NL)

Kilde: [drystack.nl/](http://drystack.nl/)



Murværk med Drystack. Foto: [drystack.nl/](http://drystack.nl/)

## CASE#05 - TRANSFORMATION AF INDUSTRIBYGNINGER

Transformation af eksisterende bygninger (typisk industribygninger) i urbane områder til fx kontorer, beboelse, eller butikker.

Disse cases anvender eksisterende konstruktioner, og dermed kan nye konstruktionsmaterialer spares, hvilket typisk er forbundet med en større CO<sub>2</sub>- og ressourcebesparelse. Tendensen er, at disse transformationer ofte bliver til attraktive områder/bygninger. Det kan være dyrere at transformere en bygning end nedrivning/bygge nyt, og det kræver, at konstruktionerne har en vis bæreevne og en acceptabel tilstand.

Case: 798 Art District, Beijing (CN)

Kilde: [www.archdaily.com/955139/transforming-factories-into-living-spaces-the-changing-face-of-spains-industrial-architecture](http://www.archdaily.com/955139/transforming-factories-into-living-spaces-the-changing-face-of-spains-industrial-architecture)



## CASE#06 - GENBRUG AF Tegl TIL MUR OG TAG

Mursten og tagsten af tegl har en lang levetid, og de små komponenter er egnede til et genbrugsmarked, idet produkter fra flere kilder (nedrivninger og renovringer) ofte kan kombineres. Anvendes til samme formål som oprindeligt, dvs. murværk i facader og indervægge, hhv. tagbeklædning og senest som vægbeklædning

Miljøgevinsten relaterer sig til CO<sub>2</sub>- samt ressourcebesparelser, idet genbrugssten erstatter ny produktion af tegl, som har et stort CO<sub>2</sub>- og ressourceaftryk.

Case: Jacobsens hus, Carlsberg-byen, København (DK)

Kilde: [www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/04/978-87-93710-01-6.pdf](http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/04/978-87-93710-01-6.pdf)



Mursten testes og klargøres til genbrug



## CASE#07 - BYGGESTEN AF PLASTAFFALD

Byggestenen lavet af 100 % genanvendt plast. Designet er publiceret som open-source og kan produceres på maskiner, som allerede anvendes ifm. Precious Plastic project. Er angiveligt simpelt at producere og kan samles ved brug af en hammer. Produktet anvender indsamlet plastaffald (1,5 kg pr. byggestenen), og det kan skilles ad og genbruges igen.

Produktet er mest målrettet midlertidige konstruktioner eller udviklingslande.

Case: Precious Plastic (NL)

Kilde: [designwanted.com/precious-plastic-brick](https://designwanted.com/precious-plastic-brick)



Precious Plastic Bricks. Foto: [Preciousplastic.com/](https://preciousplastic.com/)

## CASE#08 - DYB RENOVERING

Termen anvendes om gennemgribende renovering med fokus på renovering af klimaskærmen med henblik på at forlænge levetiden af bygningens konstruktioner samt nedbringe energiforbruget signifikant. I Rambølls rapport: "Analyse af CO<sub>2</sub>-udledning og totaløkonomi i renovering og nybyg" fra 2020, er der analyseret 16 casestudier; enfamiliehuse, etageboliger, offentlige bygninger og erhvervsbygninger. Analysen viser, at det er mest fordelagtigt – både miljømæssigt og totaløkonomisk – at renovere frem for at rive ned og bygge nyt. Bygningens konstruktioner skal dog have en vis kvalitet og lang restlevetid, hvis renovering skal kunne betale sig.

Case: Fenix I Warehouse Renovation, Rotterdam (NL)

Kilde: [dk.ramboll.com/medier/rdk/storre-fokus-paa-renovering-kan-bringe-danmark-i-maal-i-2030](https://dk.ramboll.com/medier/rdk/storre-fokus-paa-renovering-kan-bringe-danmark-i-maal-i-2030)



Fenix Warehouse renovation, Rotterdam. Foto: Flickr / [haajik.myportfolio.com](https://www.flickr.com/photos/haajik/myportfolio.com)

## CASE#09 - STUDIE I KORK

Kork er lavet af barken fra korkegen, *Quercus Suber L.* Kork. Når man høster kork, skræbes barken forsigtigt af med en økse, uden at fælde træet. Barken regenererer sig selv efter hver høst, hvorfor det samme træ således kan skræbes for bark flere gange. Korkegen gror i hele middelhavsregionen og især Portugal, hvor 60 % af verdens kork kommer fra. Kork optager mere CO<sub>2</sub> end det afgiver, og det kan anvendes til mange typer elementer i bygningen, herunder isolering. Materialestrømme og opskaleringmuligheder kan være en udfordring.

Case: Cork Study, London (UK). I den udvalgte case er kork blevet anvendt som facademateriale til et mindre atelier i London.

Kilde: [surmanweston.com/projects/cork-study/Architecture](https://surmanweston.com/projects/cork-study/Architecture) | ArchDaily  
<https://greentown.dk/collections/hvaderkork>



## CASE#10 - BIOFIBERFORSTÆRKEDE KOMPOSITTER

En biobaseret komposit der kombinerer en biofiber til forstærkning og en biobaseret resin som matrix. Der anvendes typisk en bast-fiber, som eksempelvis hampefiber brugt i denne case, mens den biobaserede resin typisk er produceret af biobaserede råvarer. Materialet vil kunne erstatte glasfiber-kompositter, og være et lettere og CO<sub>2</sub>-reduceret alternativ hertil. Udfordringer med genanvendelse, pris og lavere brudstyrker.

Case: Dinteloord Gas Receiving Station (NL). I casen er materialet anvendt som facademateriale på en mindre bygning i Haarlem, Holland.

Kilde: [marcovermeulen.eu/en/projects/dinteloord+gas+receiving+station](https://marcovermeulen.eu/en/projects/dinteloord+gas+receiving+station)



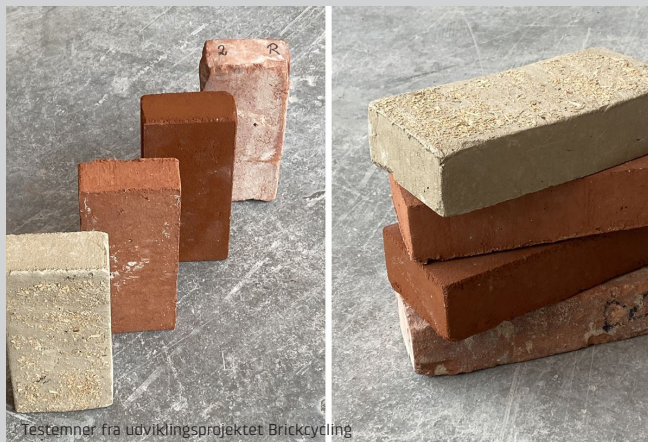


## CASE#11 - BRICKCYCLING

BrickCycling er en ny type af mursten baseret på nedknust murværksaffald og et bindemiddel, som er patentanmeldt. Der anvendes hverken cement, kalk eller opvarmning i processen. Miljøgevinsten relaterer sig til CO<sub>2</sub>- samt ressourcebesparelser. Tekniske egenskaber er ikke endeligt dokumenteret, herunder vurdering af levetid. Produktet er under udvikling, og der foreligger endnu kun mindre prototyper.

Case: BrickCycling, udviklingsprojekt (DK). Produktet udvikles af Brickcycling ApS gennem et projekt støttet af Miljøstyrelsen.

Kilde: [www.teknologisk.dk/projekter/brickcycling-mursten-af-murvaerksaffald/43511](http://www.teknologisk.dk/projekter/brickcycling-mursten-af-murvaerksaffald/43511)



## CASE#12 - NOTECH FACADESYSTEM

NOTECH er et nyudviklet facadesystem, der kombinerer vindueselement og et intelligent, passivt ventilationssystem. NOTECH er udviklet i et samarbejde mellem Volfdesign, Teknologisk Institut og WindowMaster international.

Systemet har relativt lavt energiforbrug i drift samt lavt CO<sub>2</sub>-aftryk i produktion gennem brug af hovedsageligt træ og ålegræs. Da det er en ny teknologi og et nyt produkt, mangler der data fra længere tids drift om, hvordan produkt og materialer performer over tid. Prisen fortsat relativ høj.

Case: Tilbygning Feldballe Friskole (DK)

Kilde: [www.indeklimaportalen.dk/indeklima\\_generelt/raadgivere/arkitektur/designet-til-lavt-klimaaftryk-og-frisk-luft](http://www.indeklimaportalen.dk/indeklima_generelt/raadgivere/arkitektur/designet-til-lavt-klimaaftryk-og-frisk-luft)



## CASE#13 - KULFIBER-ARMERING TIL BETON

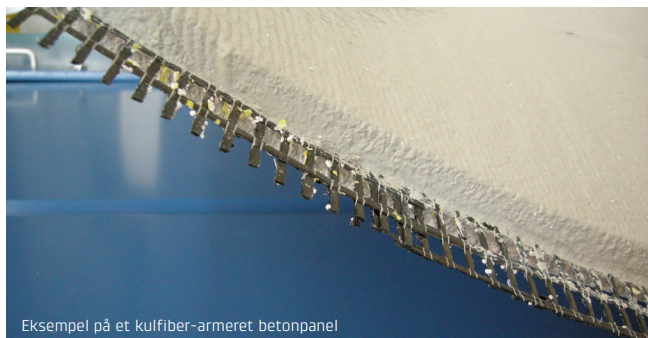
Kulfiber-armering til betonkonstruktioner som erstatning for traditionel stålarmering i bærende konstruktioner.

Den kulfiber-armerede beton er stærkere og lettere end traditionelt armeret beton. Fibrene rustner ikke, hvormed dæklagstykkelsen kan nedsættes til et minimum.

Det giver både tyndere og lettere konstruktioner - og dermed mulighed for et samlet set lavere CO<sub>2</sub>-aftryk og ressourceforbrug. CO<sub>2</sub>-aftrykket fra kulfibre er dog relativt højt. Det er baseret på olie, og det er indtil videre ikke muligt at skabe samme styrker med plantebaserede kulfibre. Prisen er også relativt høj.

Case: The Cube, Dresden (DE). Når denne bygning står færdig, vil den være den første i verden bygget af kulfiber-armeret beton.

Kilde: [www.dezeen.com/2021/07/30/henn-tu-dresden-carbon-fibre-concrete-building](http://www.dezeen.com/2021/07/30/henn-tu-dresden-carbon-fibre-concrete-building)



Eksempel på et kulfiber-armeret betonpanel

## CASE#14 - REVERSIBLE SAMLINGER TIL BETONELEMENTER

Projektet består af 60 almene boliger i Lisbjerg, som er designet med betonelementer med reversible samlinger, med henblik på at muliggøre direkte genbrug af betonelementerne på et senere tidspunkt. Fordelene ligger i besparelse af CO<sub>2</sub> og ressourcer ved genbrug af bærende betonelementer pga. let og simpel adskillelse.

Konceptet er kun for nyt byggeri, og miljøgevinsten opnås først, når bygningerne/konstruktionerne genbruges.

Case: Circle House, Lisbjerg (DK)

Kilde: [gxn.3xn.com/wp-content/uploads/sites/4/2019/02/CircleHouse\\_ENG\\_2018.pdf](https://gxn.3xn.com/wp-content/uploads/sites/4/2019/02/CircleHouse_ENG_2018.pdf)



Eksempel på reversibel samling fra Circle House. Foto: GXN

## CASE#15 - MYCELIUM SOM BYGGEMATERIALE

Mycelium er den underjordiske del af svampelegemet. Ved at blande mycelium med eksempelvis savsmuld eller andre planterester, kan myceliet binde materialerne sammen til blokke eller plader, som kan bruges til byggemateriale. Materialets tæthed og styrke kan bl.a. kontrolleres ved varmpresning.

Inputmaterialerne er, i udgangspunktet biobaserede lavværdi-materialer og reststrømme, med et begrænset CO<sub>2</sub>-aftryk. Processerne er skalérbare. Dog er materialets styrke og holdbarhed som byggemateriale ikke velbeskrevet og eksemplerne for myceliums anvendelse i det byggede miljø er begrænset.

Case: The Hy-Fi tower, New York (US) bestående af 10.000 mycelium-mursten

Kilde: [www.archdaily.com/521266/hy-fi-the-organic-mushroom-brick-tower-opens-at-moma-s-ps1-courtyard](http://www.archdaily.com/521266/hy-fi-the-organic-mushroom-brick-tower-opens-at-moma-s-ps1-courtyard)



Hy-Fi tower under opførelse i New York. Foto: Flickr / N. M. B.

## CASE#16 - BAMBUS SOM KONSTRUKTIONSMATERIALE

Bambus som konstruktionsmateriale demonstreret blandt andet i Indonesien. Bambus gror meget hurtigt sammenlignet med træer, og er derfor en hurtigere vej til færdigt byggemateriale. At bygge med bambus giver potentielt et lavere CO<sub>2</sub>-aftryk sammenlignet med traditionelle byggematerialer, og materialet har angiveligt både en høj tryk- og trækstyrke.

Det er uklart, om det har god holdbarhed i fugtige og kolde klimaer, samt hvor mange steder bambus vil kunne gro. Hertil kommer eventuelle udfordringer med brand samt materialets irregulære former, som kan gøre det svært at bygge med.

Case: Luksus resort/Moon House (RI)

Kilde: [redshift.autodesk.com/articles/bamboo-construction](http://redshift.autodesk.com/articles/bamboo-construction)



Bambuskonstruktion. Foto: Flickr / Carolina Zuluaga

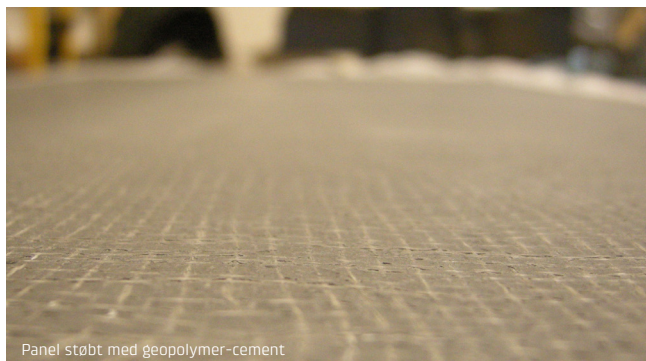
## CASE#17 - GEOPOLYMER-CEMENT

Geopolymer-cement er et grønnere alternativ til Portland cement i forhold til CO<sub>2</sub>-aftryk. Geopolymer-cement er en slags uorganiske polymerer bestående af mineraler, der typisk stammer fra affaldsstrømmene i mineindustrien og kraftværker. De åbner muligheder for at skabe værdi ud af affald, der ellers ville udgøre en miljømæssig udfordring.

Fordelene ligger i, at materialet har lavere CO<sub>2</sub>-aftryk end beton med Portland cement - og det kan også bruges til bærende konstruktioner. Ulemperne ligger i arbejdsmiljømæssige udfordringer ved fremstilling af geopolymer-cement og opskaleringen på længere sigt.

Case: GCI, University of Queensland (AU)

Kilde: [www.structuremag.org/?p=1347](http://www.structuremag.org/?p=1347)



## CASE#18 - GENBRUG AF HULDÆK

Betonkonstruktioner har en meget lang levetid (særligt hvis anvendt indendørs). Ofte nedknyttes betonkonstruktioner inden levetiden er opbrugt. Et alternativ til nedknytning er direkte genbrug i nyt byggeri. En af de store udfordringer er dog, hvordan elementernes tekniske egenskaber dokumenteres. De genbrugte huldæk anvendes som bærende dækkonstruktioner i nyt byggeri.

Med direkte genbrug spares CO<sub>2</sub> og ressourcer svarende til fremstillingen af nye elementer. Dog er der stadig udfordringer igennem værdikæden, herunder lovgivning - og prisen kan i nogle tilfælde være høj.

Case: Nye Aker Sykehus (NO)

Kilde: [www.tu.no/artikler/fritt-frem-for-a-bygge-nytt-med-brukte-huldekker/518240](http://www.tu.no/artikler/fritt-frem-for-a-bygge-nytt-med-brukte-huldekker/518240)





## CASE#19 - BIOMATERIALER - DET BIOLOGISKE HUS

Det Biologiske Hus er et bæredygtigt dansk huskoncept med boliger af høj kvalitet bygget af biologiske overskudsmaterialer fra landbrugsindustrien. Materialer, der i dag primært afbrændes til energiproduktion, bliver oparbejdet til værdifulde byggematerialer baseret på restmateriale fra produktionen af græs, halm, tomat, tang og ålegræs m.m.

Der ligger et potentiale for at reducere CO<sub>2</sub>-udledning og anvendelsen af ikke-fornybare ressourcer ved at upcycle restprodukter fra landbrugsindustrien. Der er dog fortsat uklarheder vedrørende materialestrømme og opskaleringsmuligheder.

Case: Det biologiske hus, Middelfart (DK)

Kilde: [detbiologiskehus.dk](http://detbiologiskehus.dk)



Det Biologiske Hus i Middelfart. Foto: Eentlaen

## CASE#20 - VÆGELEMENTER AF HALM

Ecocon er et modulært bud på, hvordan man kan bygge "halmhuse" i stor skala. Det er et byggeelement bestående af halm og træ. Det kombinerer et træskellet, som gør elementet bærende (110 kN/m<sup>2</sup>), med en kerne af hårdt presset halm som isoleringsmateriale. Elementet kombineres med en klimaskærm, facade samt en indvendig ler-baseret beklædning.

Modulerne består af 98 % naturlige fornybare materialer og er designet til adskillelse. Da produkt og byggekoncept er nyt, er der begrænset data på bygningslevetid og eventuelle skader, der måtte opstå over tid.

Case: Feldballe Friskole (DK)

Kilde: [henninglarsen.com/da/projects/1800-1899/feldballe-school](http://henninglarsen.com/da/projects/1800-1899/feldballe-school)



Moduler baseret på halm. Foto: Henninglarsen.com

## CASE#21 - HEMPCRETE

Hempcrete er en bio-kompositbeton blandet af naturlige materialer; hamp, kalk og vand og kaldes "hampebeton" på dansk. Denne sammensætning giver en isolerende, stærkt bindende og diffusionsåben masse, som kan anvendes som bygningsmateriale.

Der er tale om et byggemateriale med relativt lavt CO<sub>2</sub>-aftryk, selvom den tilsatte kalk skal opvarmes. Materialet har akustisk og isolerende egenskaber. Der er opført flere huse rundt omkring i verden baseret på Hempcrete, herunder omtalte case - Hemphouse i Melbourne.

Case: CDL Green Gallery at Singapore Botanic Garden (SG)

Kilde: [brj.com.sg/singapores-first-zero-energy-green-gallery](http://brj.com.sg/singapores-first-zero-energy-green-gallery)



Green Gallery at Singapore Botanic Garden bygget med hempcrete. Foto: Flickr / Jnzi

## CASE#22 - STAMPET LERJORD

"Rammed Earth" eller stampet lerjord er en flere tusind år gammel teknik. Med det stigende fokus på øget bæredygtighed i byggeriet, er metoden kommet på dagsordenen igen. Fugtig jord støbes og stemples i en støbeform lag-på-lag. Jorden indeholder typisk sand, grus, ler og en stabilisator, som typisk er kalk og/eller cement.

Med stampet lerjord anvendes et materiale med store forekomster og med et lavt CO<sub>2</sub>-aftryk. Teknikken stiller dog særlige krav til temperatur- og fugtforhold. Fungerer bedst ved høj luftfugtighed og moderate temperaturer. I køligere egne kræves yderligere isolering, og i regnfulde egne kræves ekstra beskyttelse af jordkonstruktionerne.

Case: Windhover Contemplative Center, Stanford (US)

Kilde: [www.dezeen.com/2016/05/23/aidlin-darling-design-windhover-spiritual-meditation-centre-stanford-university-california-rammed-earth-walls](http://www.dezeen.com/2016/05/23/aidlin-darling-design-windhover-spiritual-meditation-centre-stanford-university-california-rammed-earth-walls)



Eksempel på blok af stampet lerjord. Foto: Flickr / Jared Tarbell

## CASE#23 - CO<sub>2</sub>-HÆRDNING AF BETON

Alt beton optager CO<sub>2</sub> ved karbonatisering – som dog normalt er en meget langsom proces. Casen udsætter nystøbte belægningsprodukter for CO<sub>2</sub> strømme fra andre produktioner, hvorved CO<sub>2</sub>'en optages i produkterne. Udover optagelse af CO<sub>2</sub> i produktet, kan CO<sub>2</sub>-hærdningen potentielt give forbedrede egenskaber for produkterne. Det kræver noget infrastruktur at få CO<sub>2</sub>'en fra andre produktioner ført over til produkterne, og processen er primært interessant for ikke armeret beton (fx belægningsprodukter), eller armeret beton i indendørs, opvarmede miljøer.

Case: Pilot produktion (Rakennusbetoni- ja Elementti) i Hollola (FI)

Kilde: [www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/carbonaide-aims-carbon-negative-concrete-technology](http://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/carbonaide-aims-carbon-negative-concrete-technology)



Fremstilling af belægningsprodukter

## CASE#24 - BSM - BITUMENSTABILISERET MATERIALE

Koldblandet asfalt med genanvendt asfalt iblandet en mindre mængde ny, opskummet bitumen. Teknologien giver stor CO<sub>2</sub>-besparelse som følge af lavere energibehov (tørring og opvarmning af sten spares) samt ressourcebesparelse, da der anvendes genanvendt/affræset asfalt. Der findes systemer/produktionsmetoder, der muliggør, at man umiddelbart efter affræsning på stedet, kan bruge det genanvendte asfalt direkte i blanding og udlæg af ny asfalt. Dermed spares både tid og transport af materialer. Dog giver teknologien lavere bæreevne og kan pt. ikke anvendes til det øverste slidlag.

Case: Vejstrækning, Sønderborg (DK)

Kilde: [www.teknologisk.dk/projekter/koldblandet-asfaltbaerelag-bsm/41567](http://www.teknologisk.dk/projekter/koldblandet-asfaltbaerelag-bsm/41567)



Anlæg af vejstrækning med koldblandet asfalt



## ØVRIGE CASES

### *Case #25 - 2226 koncept – uden køle- og varmesystem*

Anvendelse af massive vægge og lofter uden brug af køle- og varmesystem. Kontorbygning, Lustenau (AT)

Kilde: [www.archdaily.com/451653/2226-be-baumschlagler-eberle](http://www.archdaily.com/451653/2226-be-baumschlagler-eberle)

### *Case #26 - Clay-Cem - ler i cement*

Mere klimavenlig metode til aktivering af ler til cementfremstilling. Luleå tekniska universitet (SE)

Kilde: <https://www.ltu.se/research/subjects/Byggmaterial/Forskning/2.92853>

### *Case #27 - LightCore - lette byggesten*

Lette byggematerialer baseret på grønnere bindersystemer.

National Technical University of Athens (GR)

Kilde: [www.lightcoce-oitb.eu/en/normal/home](http://www.lightcoce-oitb.eu/en/normal/home)

### *Case #28 - Træ-beton kompositdæk*

Præfabrikerede Træ-beton kompositdæk designet til adskillelse. Erhvervs PhD, DTU (DK)

Kilde: [www.linkedin.com/posts/peter-kolt-rasmussen-b90a7a85\\_traewbetonkomposit-cirkulaerwtbyggeri-designforadskillelse-activity-6927145927006650368-bmy2/](http://www.linkedin.com/posts/peter-kolt-rasmussen-b90a7a85_traewbetonkomposit-cirkulaerwtbyggeri-designforadskillelse-activity-6927145927006650368-bmy2/)

### *Case #29 - Cement fremstillet med Carbon Capture Storage*

Indfange det udledte CO<sub>2</sub> fra cementproduktion. Heidelberg Cement, Brevik (NO)

Kilde: <https://www.heidelbergmaterials.com/en/pr-17-06-2020>

### *Case #30 - Gensand*

Anvendelse af knust affald i teglproduktion. MUDP projekt RGS/Egernsund Wienerberger (DK)

Kilde: [bygge-anlaegsavisen.dk/Nyt-projektteam-giver-gammelt-murvaerk-hoejere-miljoemaessig-vaerdi](http://bygge-anlaegsavisen.dk/Nyt-projektteam-giver-gammelt-murvaerk-hoejere-miljoemaessig-vaerdi)

### *Case #31 - Genanvendt tilslag i produktion af ny cement*

Nedknust beton anvendes som delmateriale i produktionen af ny cement. Heidelberg Cement, Heidelberg (DE)

Kilde: [www.heidelbergmaterials.com/en/pr-16-05-2022](http://www.heidelbergmaterials.com/en/pr-16-05-2022)

### *Case #32 - Asker og slam i beton*

Asker fra forbrænding og slam fra spildevand nyttiggøres i beton. Ashcycle, udviklingsprojekt (DK)

Kilde: [sustain.dtu.dk/en/nyhedsliste/forskere-udvikler-nye-metoder-til-at-udnytte-vaerdifulde-raamaterialer-i-asker?id=2fba4e1d-b935-4115-a2d0-399025f822bb](http://sustain.dtu.dk/en/nyhedsliste/forskere-udvikler-nye-metoder-til-at-udnytte-vaerdifulde-raamaterialer-i-asker?id=2fba4e1d-b935-4115-a2d0-399025f822bb)

### *Case #33 - Energipæle med indbygget jordvarme*

Funderingspæle i beton med indstøbte jordvarmeslanger.

VIA University College, Vejle (DK)

Kilde: [eudp.dk/sites/energiforskning.dk/files/media/document/EUDP\\_64017-05182\\_final\\_report\\_v02\\_1\\_06012020\\_0920%5B1%5D.pdf](http://eudp.dk/sites/energiforskning.dk/files/media/document/EUDP_64017-05182_final_report_v02_1_06012020_0920%5B1%5D.pdf)

### *Case #34 - Moderne tækkede huse*

Mulighederne for at anvende tagrør i forbindelse med moderne huse. CINARK / Arkitektskolen i København (DK)

Kilde: [arkitektforeningen.dk/wp-content/uploads/2022/04/IDA\\_Byg\\_Konference\\_apr\\_2022\\_AB.pdf](http://arkitektforeningen.dk/wp-content/uploads/2022/04/IDA_Byg_Konference_apr_2022_AB.pdf)

### *Case #35 - Det moderne tanghus*

Anvendelse af Læsø's tradition for tang som byggemateriale i nutidigt bæredygtigt byggeri. Læsø (DK)

Kilde: [realdania.dk/projekter/tanghuse-paa-laesoe---det-moderne-tanghus](http://realdania.dk/projekter/tanghuse-paa-laesoe---det-moderne-tanghus)

### *Case #36 - 3D-printede jordkonstruktioner med vækster*

3D-printede formstabile grønne vægge og tage. University of Virginia (US)

Kilde: [www.dezeen.com/2022/09/05/university-of-virginia-3d-printed-soil-seed-walls](http://www.dezeen.com/2022/09/05/university-of-virginia-3d-printed-soil-seed-walls)

**Case #37 - Ubrændt og komprimeret jordblok**  
Anvendelse af jord som byggemateriale. Újkígyós (HU)  
Kilde: [foldteglabt.hu/foldteglab.html](http://foldteglabt.hu/foldteglab.html)

**Case #38 - CleanTechBlock**  
Byggeblokke som sandwich koncept, med facadeteگل og kerne af skumglas. Clean Tech Block-huset, Egernsund (DK)  
Kilde: [energiforskning.dk/projekter/cleantechblock-2-energisparende-facadebeklaedning](http://energiforskning.dk/projekter/cleantechblock-2-energisparende-facadebeklaedning)

**Case #39 - Beklædningstegl**  
"Design for disassembly" koncept som et alternativ til muret facade. Margretheholmen, København (DK)  
Kilde: [xn--beklaedningstegl-3ib.dk/#udvalgte-referencer](http://xn--beklaedningstegl-3ib.dk/#udvalgte-referencer)

**Case #40 - Kalksandsten baseret på affald**  
Konventionel byggemateriale (kalksandsten), men baseret på råvarer af affald. StoneCycling (NL)  
Kilde: [www.stonecycling.com/wastebasedbricks](http://www.stonecycling.com/wastebasedbricks)

**Case #41 - VITSOE HQ**  
Træbaseret modulært byggeri, hvor bygningen kan rekonfigureres efter behov. Royal Leamington Spa (UK)  
Kilde: [www.archdaily.com/882389/vitsoe-hq-and-production-building-vitsoe-and-martin-francis](http://www.archdaily.com/882389/vitsoe-hq-and-production-building-vitsoe-and-martin-francis)

**Case #42 - Bygningsintegrerede solceller**  
Mulighed for at bruge en bygnings areal til at producere strøm. Copenhagen international school (DK)  
Kilde: [dac.dk/viden/arkitektur/copenhagen-international-school](http://dac.dk/viden/arkitektur/copenhagen-international-school)

**Case #43 - Life Eggshellence**  
Æggeskaller som tilslag i byggematerialer. Udviklingsprojekt Institute of Ceramic Technology, Castellón (ES)  
Kilde: [www.lifeeggshellence.eu/en/home](http://www.lifeeggshellence.eu/en/home)

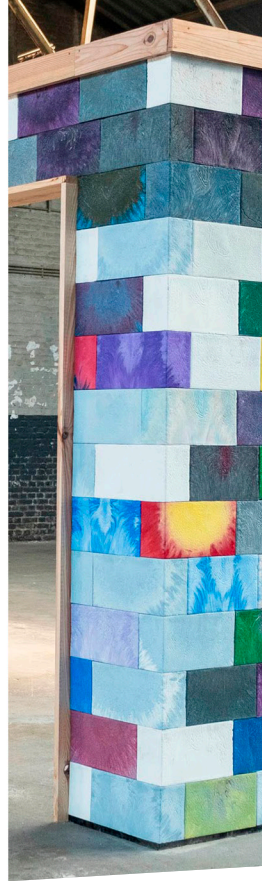
**Case #44 - CLT – CROSS LAMINATED TIMBER**  
CLT er ideelt til præfabrikation og til erstatning for betonkonstruktioner. Library at the Dock i Melbourne (AU)  
Kilde: [www.trae.dk/leksikon/clt](http://www.trae.dk/leksikon/clt)

**Case #45 - Calciumsilikat-baserede produkter**  
Calciumsilikat udmærker sig ved sine egenskaber i forhold til indendørs og udendørs miljøer. ECSPA, Brussels (BE)  
Kilde: [theconstructor.org/building/calcium-silicate-bricks-masonry-construction/17256](http://theconstructor.org/building/calcium-silicate-bricks-masonry-construction/17256)

**Case #46 - Seratech - Carbon-negativ cement**  
Et cementlignende materiale baseret på mineralet olivin som tilsættes CO<sub>2</sub>. Seratech, London (UK)  
Kilde: [elc-insight.org/rock-stars-the-academics-answering-the-construction-sectors-hardest-question](http://elc-insight.org/rock-stars-the-academics-answering-the-construction-sectors-hardest-question)

**Case #47 - Hørbaserede konstruktioner**  
Brokonstruktion baseret på hørfibre kombineret med bio-resin. Smart Circular Bridge project, Almere (NL)  
Kilde: [www.dezeen.com/2022/05/05/smart-circular-bridge-flax-completed-the-netherlands-architecture](http://www.dezeen.com/2022/05/05/smart-circular-bridge-flax-completed-the-netherlands-architecture)

**Case #48 - Tsugite - japanske trækonstruktioner**  
Avancerede trækonstruktioner samlet uden lim, søm og skruer. Prostho Museum, Kasugai-shi (JP)  
Kilde: [www.rethinktokyo.com/2018/08/08/tsugite-japanese-joinery-wood](http://www.rethinktokyo.com/2018/08/08/tsugite-japanese-joinery-wood)



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**