

Idéer og muligheder for valg af materialer til fremtidens klimavenlige grisestald

Lisbeth Ulrich Hansen^a, Torben Jensen^a og Søren Jacobsen^b

^a SEGES Innovation P/S

^b Danish Farm Design

STØTTET AF

Svineafgiftsfonden

Hovedkonklusion

Resultater fra workshoppen *Nye materialer og metoder til klimavenligt byggeri* viste, at flere firmaer, der leverer materialer til landbruget, har øget fokus på at reducere klimabelastningen. Landbruget kan med fordel hente inspiration fra andre dele af byggerisektoren, som på nuværende tidspunkt har flere erfaringer med nye processer og materialer. Det vil være nødvendigt at teste materialerne under realistiske forhold, hvor der er påvirkning fra produktionsdyr og ammoniak.

Anvendelse af en ny cementtype FUTURECEM giver en CO₂-reduktion på ca. 20 pct. i den færdige beton og Low Carbon stål en CO₂-reduktion på 45-75 pct. Brug af skruefundament i kombination med punktfundamenter i beton kan reducere betonforbruget med ca. 80 pct.

Sammendrag

Klimakrav til nybyggeri skal dokumenteres med en klimaberegning, og selvom landbrugsbyggeri ikke endnu er omfattet, satte en workshop med deltagelse af forskere, kreditgivere og leverandører til landbrugsbyggeri fokus på *Nye materialer og metoder til klimavenligt byggeri*. Efter afholdelse af workshoppen er grænseværdien strammet yderligere for enfamiliehuse, rækkehuse mv., og samtidig blev der indført en grænseværdi for selve byggeprocessen. Fremover vil grænseværdien reduceres yderligere, og det forventes, at landbrugsbyggeri også bliver omfattet.

Bygninger er ansvarlige for ca. 40 pct. af den globale udledning, hvoraf den største del stammer fra det operationelle energiforbrug, mens ca. 10 pct. er indlejret i bygningsmassen. Over tid vil bidraget fra energiforbruget falde, fordi der i højere grad vil blive anvendt "grøn energi". Bygningers levetid er faldet betragteligt i de sidste 100 år; fra en levetid på 350-400 år i 1920-40 til en levetid på "blot" 50-150 år i perioden 1990-2010.

Landbrugsbyggeri udgør kun ca. 8 pct. af nybyggeri i Danmark og samtidig har der været en stor reduktion i bygningsmassen i perioden 2012-2023, der gør landbrugsbygninger til den største enkelt-kategori af udgåede bygninger.

Leverandører af cement, beton og stål til landbrugsbyggeri har igangværende udviklingsprojekter med fokus på lavere CO₂-udledning fra både fremstillingsproces og materialer. Således har en ny cementtype, FUTURECEM, en reduktion på ca. 20 pct. i den færdige beton og Low Carbon stål en reduktion på 45-75 pct. Brug af skruefundament i kombination med punktfundamenter i beton kan reducere betonforbruget med ca. 80 pct.

Genbrug af byggematerialer kan reducere CO₂-udledningen med 80-90 pct., men det kræver organisering, og vil på nuværende tidspunkt ofte fordyre et projekt. På EU-niveau er der indført krav om selektiv nedrivning og potentielle krav om 50 pct. genanvendelse.

Brug af biogene materialer kan være interessant for dansk landbrug, da flere af materialerne – fx halm og hør – kan dyrkes i Danmark.

Det er muligt at reducere CO₂-udledning fra landbrugsbyggeri ved at ændre konstruktion og valg af materialer. Tidligere er der fra SEGES Innovations side udviklet *Konceptstalden*, og med indarbejdelse af elementer fra den tidligere *Ø-stald* kan klimabelastningen reduceres yderligere.

Landbrugsbyggeri vil sandsynligvis også blive pålagt at reducere klimaafttrykket inden for en årrække, og på baggrund af præsentationer og diskussioner på workshoppen vil det derfor være relevant at beregne LCA for landbrugsbyggeri, hvor fx CO₂-reducerende beton, skruefundamenter, lette sandwich-vægelementer og Low Carbon stål indgår. Det vil derefter være nødvendigt at teste materialerne under realistiske forhold, hvor der er påvirkning fra produktionsdyr og ammoniak.

Baggrund

Igennem flere år har SEGES Innovation gennemført en række aktiviteter, hvor formålet har været at gøre staldbyggeri primært billigere, men også gerne mere klimavenligt. Udvikling af *Konceptstalden* i 2019 viste, at det var muligt at gøre stalden billigere, men desværre var klimaafttrykket 26 pct. større end fra en traditionel stald med betonelementer og eternittag. Konceptstalden var opbygget med en traditionel bund i beton, stålspar, PIR-skumselementer som facade og taget var opbygget på træåse med stålplade som beklædning [1].

I samarbejde med Danmarks Tekniske Universitet (DTU) blev der i 2021-22 udgivet en række rapporter, som analyserede eksisterende byggepraksis i landbruget med henblik på at dokumentere miljøbelastning og foreslå mindre belastende praksis. Ved at gennemføre livcyklusvurderinger (Life Cycle Assessment, LCA), blev det tydeligt, at de mest klimabelastende bygningsselementer var beton i gyllekanalerne og stål som facade- og tagbeklædning [2].

Analysen har vist, at konceptstaldens klimaafttryk kan reduceres med op mod 30 pct. ved at anvende byggematerialer med et mindre klimaafttryk. Imidlertid er det ikke alle løsninger, som er praktisk realiserbare. En udviklet og testet membranbund af plastdug havde en god holdbarhed, men var ikke økonomisk konkurrencedygtig som erstatning for betonbunden i gyllekummer, da den var tidskrævende og dermed dyr at montere. En sådan løsning ville ellers kunne reducere det samlede klimaafttryk i staldens levetid med 11 pct. [3].

Plastkanalvægge har ligeledes være testet og giver i første omgang ikke den store reduktion i klimaaftrykket sammenlignet med beton. Dog er genanvendelsespotentialt væsentligt større, hvis væggene kan anvendes igen i en ny stald eller granuleres og genanvendes til ny plast [3].

Et alternativ kunne være at arbejde på at gøre betonbunden mere klimavenlig, ved fx at benytte CO₂-reduceret cement og begrænse betonmængden mest muligt. Der er udviklet nye cementtyper, hvor klinker erstattes med kalcineret ler og kalkfiller, som kan reducere klimabelastningen med op til 20 pct. afhængig af, hvordan betonen er sammensat [4].

Tilsvarende gælder fundamentet, hvor der altid har været benyttet randfundamenter af beton. Disse fundamenter kunne sandsynligvis klimaoptimeres ved at anvende skruefundamenter eller punktfundamenter de steder, hvor belastningen er stor. Derudover kunne der benyttes CO₂-reduceret beton og et reduceret fundament de steder, hvor fundamentet kun skal udgøre en barriere for gylle og gnavere.

Ved at anvende træspær i stedet for stålspær opnås en reduktion i klimaaftrykket fra den bærende konstruktion på 86 pct. Dette giver en reduktion i klimaaftrykket i staldens levetid på 6,4 pct. Tages vægelementerne med, vil der kunne opnås yderligere en reduktion på 4,4 pct. Dermed opnås også en reduktion i klimaaftrykket på 11 pct. ved at udskifte stål og beton i konstruktion og vægge med træ [3]. Da der ikke vil være tale om en 1:1 udskiftning fra stål og beton til træ, vil der være en lang række konsekvenser, som skal undersøges nærmere, såsom konstruktionens opbygning (limtræ, konstruktionstræ, gittertræ), væggenes opbygning (afstivning, typer af plader, isoleringsmaterialer), brandsikring og sikring mod påvirkning af dyr (indvendig beklædning) og gnavere.

I de øvrige nordiske lande benyttes der ofte træ i landbrugsbyggeriet, men det vurderes, at limtræsbjælker indtil videre er for dyre at anvende, og at massive trævægge uden isolering ikke er anvendeligt til griseproduktion. Ligeledes er vægelementer i krydslamineret træ til grise ikke relevante. I stedet bør der hentes inspiration fra Ø-staldene, som blev bygget tilbage i 90'erne, og hvor væggene var opbygget i et træskelet med isolering og med træbeklædning ind- og udvendig [5].

Formålet med nærværende projekt var at synliggøre, hvilke byggetrends, der er i bolig- og industribyggeri, herunder beskrive nye materialer og byggeprocesser, for herigennem at hente inspiration til og vurdere, hvordan fremtidens landbrugsbyggeri kan udvikle sig. Ligeledes var formålet at optimere *Konceptstalden* yderligere ved at indarbejde erfaringer med brug af krydslamineret træ (CLT) kombineret med lette ydervægge, som blev benyttet i de ældre Ø-stalde.

Materialer og metoder

Der blev i projektet indsamlet viden om byggetrends og nye materialer ved at afholde en workshop om Fremtidens stalde i december 2024 med titlen: *Nye materialer og metoder til klimavenligt byggeri*. Der var deltagelse af forskere, kreditgivere og leverandører til landbrugsbyggeriet. Ligeledes blev der arbejdet videre med materialevalget til *Konceptstalden*, for at synliggøre muligheden for en yderligere reduktion af klimaaftrykket.

Workshoppen var opbygget i fire blokke: Bæredygtigt byggeri – et overblik; Klimabelastende materialer og muligheder for reduktion; Bæredygtigt byggeri i dag og i fremtiden samt Genbrug og ændrede byggeprocesser. Et detaljeret program med angivelser af indlægsholdere fremgår af appendiks 1.

Der blev foretaget en materialeoptimering af *Konceptstalden* ved at indarbejde elementer fra den tidligere udviklede Ø-stald. I forbindelse med DTUs arbejde med at analysere eksisterende

byggepraksis i landbruget [2], blev Konzeptstaldens klimaaftryk sammenlignet med en betonstald og en stald med krydslamineret træ (CLT). I nærværende projekt beregnes LCA på en CLT-stald med en let ydervæg, som var opbygget med materialer som fremgår af tabel 1.

Tabel 1. Materialevalg og mængder til LCA-beregning af LCA-stald med letvæg

Materiale	Enhed	Mængde
ISOVER flex (145 mm)	m ²	619,9
Træ, fyrretræ (12 % fugt/10.7 % H ₂ O)	m ³	0,6
DS ståltrapezprofil (20-115)	m ²	158,2
Krydsfiner (9 mm), ubehandlet	m ³	1,4
Undertag, PP-membran	m ²	158,2
Konstruktionstræ af fyr og gran, savede og tørrede	m ³	1,6

Resultater fra workshop

Workshoppen blev afholdt med deltagelse af ca. 65 personer, og indeholdt både faglige indlæg og diskussion. Nedenfor er gengivet de vigtigste informationer og budskaber.

Bæredygtigt byggeri – et overblik

Klimakrav til byggeri

Nybyggeris klimakrav skal dokumenteres med en klimaberegning (LCA), og for byggeri over 1.000 m² skulle der i 2024 overholdes en grænseværdi på 12 kg CO₂-eq/m²/år. Efter afholdelse af workshoppen blev dette krav strammet yderligt, og grænseværdien for fx enfamiliehuse, rækkehuse og små huse blev reduceret til 6,7 kg CO₂-eq/m²/år. Samtidig blev der indført grænseværdi for selve byggeprocessen (transport, energiforbrug) [6]. Som det fremgår af figur 1, vil grænseværdien reduceres yderligt de kommende år.

Landbrugsbyggeri har indtil nu ikke været omfattet, men eftersom klimakravene til byggeri i de kommende år skærpes yderligere, vil der sandsynligvis også komme krav til landbrugsbyggeri.

Der har siden 2020 været mulighed for, at bygherrer kunne vælge den frivillige lavemissionsklasse i forbindelse med byggeri. Som navnet fortæller, var ordningen et frivilligt og praktisk redskab, som kunne benyttes på alle bygningstyper.

De kommende klimakrav til byggeri vil bevirke, at bygherrer og leverandører i langt højere grad skal udvikle deres produkter og produktion. Der skal således et øget fokus på genanvendelse, lavere energiforbrug og biogene materialer.

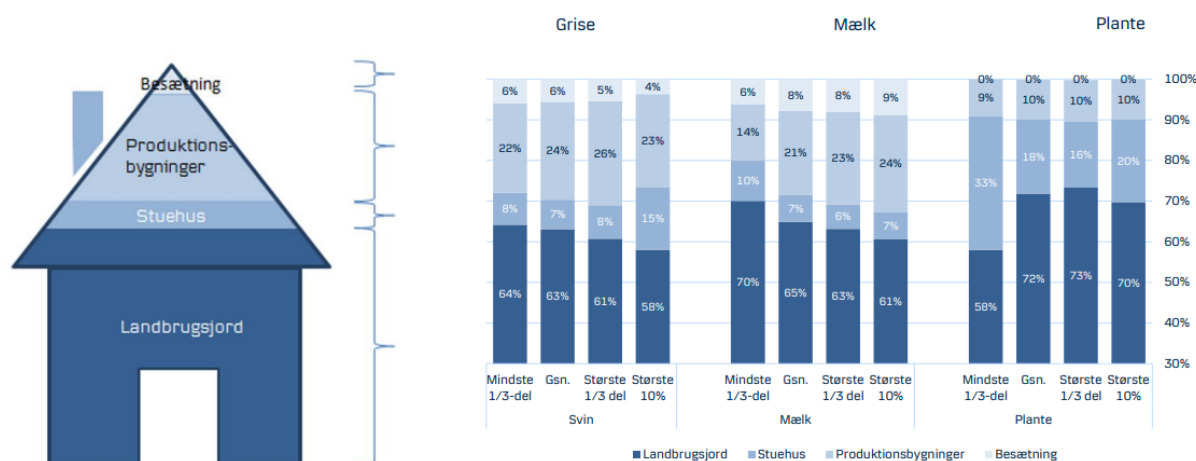
Tabel 2				
CO₂e-grænseværdi for nybyggeri fordelt på bygningstyper, 1. juli 2025				
Kg CO₂e/m²/år	2025	2027	2029	
Grænseværdi for bygninger	7,1	6,4	5,8	
Ferieboliger under 150 m ²	4,0	3,6	3,2	
Enfamiliehuse, rækkehuse og tiny houses samt ferieboliger på mindst 150 m ²	6,7	6,0	5,4	
Etageboliger	7,5	6,8	6,1	
Kontorbygninger	7,5	6,8	6,1	
Institutioner	8,0	7,2	6,4	
Andet nybyggeri	8,0	7,2	6,4	
Selvstændig grænseværdi for byggeproces	1,5	1,3	1,1	
Grænseværdi inkl. byggeproces	8,6	7,7	6,9	

Figur 1. Køreplan for indfasning af klimakrav til bygninger. Kilde Social- og Boligministeriet.

Værdiansættelse af landbrugsbygninger

Som konsekvens af kravene til byggeri – herunder forventning til, at der også kommer krav til landbrugsbyggeri – vil kreditgivere også stille krav. Danske Bank har i første omgang sat fokus på de 300 virksomheder, der har de største emissioner for at afklare status og potentialer. I denne gruppe er fx også Danish Crown og Arla. Derefter vil kreditgivere sandsynligvis sætte fokus på landbrugsbyggeri – herunder værdifastsættelse i forbindelse med långivning.

Ved værdifastsættelse af en landbrugsejendom, indgår der flere forhold end lige bygningsmassen. På ejendomme med grise og malkekøer udgør produktionsbygningerne ca. 25 pct. af værdien (figur 2), men forhold som CO₂-udledning og -afgift, arbejdsmiljø, miljøpåvirkning (fx asbest) og alternativ anvendelse indgår også i kreditvurderingen, og dermed i långivning.



Figur 2. Værdifordeling på landbrug – opdelt på griseproduktion, mælkeproduktion og planteavl. Kilde Danske Bank.

Klimabelastende materialer og muligheder for reduktion

Cement, betonvarer og -elementer

Arbejdet med at gøre cement og beton mere klimavenligt har være i gang længe, og SEGES Innovation har tidligere publiceret et Notat om dette [4]. Aalborg Portland forventer, at CO₂-udledningen ved produktion af cement er 0 i 2030 ved at benytte nye produkter (15 pct.), alternative brændselstyper (30 pct.) og endelig CO₂-fangst. Der er på nuværende tidspunkt udviklet en ny cementtype, FUTURECEM,

som giver ca. 20 pct. lavere klimaaftryk i den færdige beton, og udviklingen fortsættes for at forbedre egenskaberne fx i relation til hærkning.

Ikast Betonvarefabrik (IBF) producerer et bredt sortiment af betonvarer til landbrugsbyggeri, og arbejder ligeledes målrettet mod at reducere klimabelastningen. Eftersom cement står for 85 pct. af CO₂-udledningen fra beton, arbejdes der med at reducere indholdet af cement. Derfor har IBF på nuværende tidspunkt flere udviklingsprojekter i gang, som alle handler om at reducere CO₂ i beton: fx mikroorganismer, der ved hjælp af calciumkarbonat binder tilslagsmaterialerne sammen, tilsætning af slagge fra stålindustrien, brug af hampefibre og flere andre produkter.

Give Elementer har stor erfaring med produktion af betonelementer til bl.a. landbrugsbyggeri, og er ligesom IBF udfordret af de klimapåvirkninger, som kommer fra både cement (65,2 pct.), armering (12,6 pct.) og transport (9,5 pct.) (figur 3).

	Fordeling	GWP	GWP	GWP
	M-%	kg CO ₂ e/ ton mat.	kg CO ₂ e/ ton element	fordeling %
Cement	13,8	750	103,5	65,2
Sand	29,7	2,5	0,7	0,5
Sten	46,8	3	1,4	0,9
Kemi	0,8	1200	9,7	6,1
Vand, %	5,3	0,5	0,0	0,0
Armering, %	3,3	600	20,1	12,6
Beslag m.v., %	0,3	800	2,2	1,4
A2 Transport			15,0	9,5
A3 Energi m.v.			6,0	3,8
	100,0		158,7	100,0

Figur 3. Fordeling af materialer i et betonelement (M-%), GWP (Global Warming Potential er en måleenhed, der bruges til at beskrive, hvor meget en given drivhusgas bidrager til den globale opvarmning sammenlignet med kuldioxid (CO₂-eq.)). Kilde Give Elementer.

Give Elementer har på denne baggrund udviklet alternative elementer, som har en lavere klimabelastning (figur 4), ligesom der benyttes betontyper med et lavere indhold af cement (figur 5).

Element-type	vægt, kg/m ²	GWP/m ²
Traditionelt	540	89,0
Ribbe-facade	500	79,4
Let Sandwich	390	61,2
Let Sandwich v.2	300	49,3

Figur 4. Forskellig elementtypers vægt og GWP angivet som kg CO₂-eq/m². Kilde Give Elementer.

Beton	GWP	Heraf fra Cement
type	kg CO ₂ e/m ³	%
C50	294	87,1
C35	257	84,2
C25	180	72,6
C20	165	69,2

Figur 5. Forskellige betontypers indhold af cement og GWP angivet som kg CO₂-eq/m³. Kilde Give Elementer.

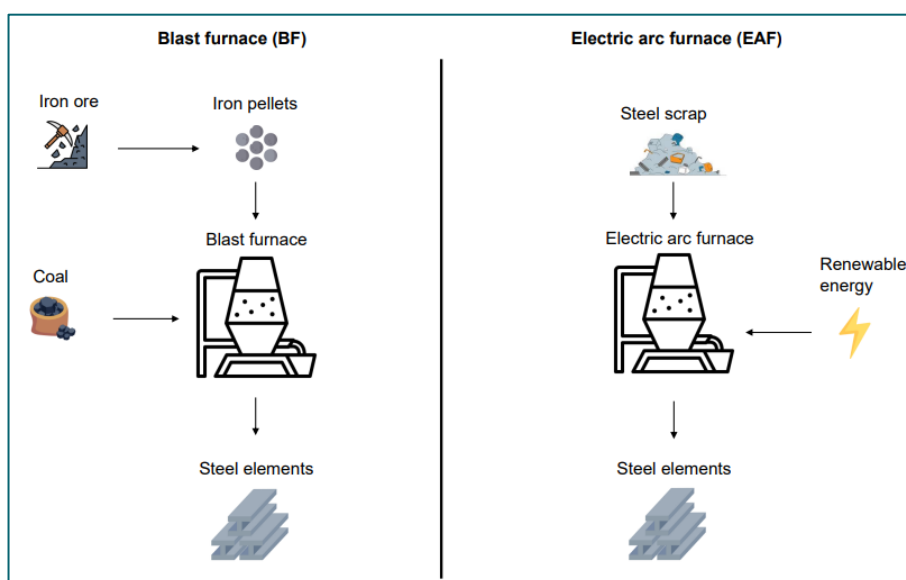
Skruefundament og stålkonstruktioner

Dansk Skruerfundament er et relativt nyt firma, der har specialiseret sig i alternativer til traditionelle fundamenter af beton (figur 6). På trods af, at stål udleder 1.700 kg CO₂/tons, kan det betale sig at erstatte – helt eller delvis – beton i fundamenter med skruer. Dertil kommer et mindre anlægsarbejde

og gode muligheder for etablering af fundamenter på steder med dårlige jordforhold. Brug af skruefundament i kombination med punktfundamenter i beton forventes at kunne reducere betonforbruget med ca. 80 pct.



Figur 6. Etablering af skruefundament. Kilde Dansk Skruefundament.



Figur 7. Produktion af stål ved kulfyret højovn (tv.) eller genbrug af stål samt grøn energi (th.). Kilde Give Steel.

Stål udgør 7-9 pct. af verdens samlede CO₂-udledning, og Give Steel arbejder på flere fronter for at reducere udledningen: genbrug af stål (figur 7), effektiv produktion, gentænkning af design og transport samt reduceret energiforbrug. Produktion af Low Carbon stål via grøn energi kan reducere CO₂-udledningen med 45-75 pct. – dog forventes en merpris på ca. 5 pct.

Ved at ændre på design/dimensionering og svejse fremfor valse stålspær, kan der spares ca. 35 pct. i spærrets vægt, lige som der vil være en CO₂-reduktion.

Bæredygtigt byggeri i dag og i fremtiden

Fremtidens byggematerialer

Definitionen af, hvornår et byggeri er bæredygtigt, er ikke entydig; ej heller hvilke elementer, der indgår. Der blev præsenteret følgende tre niveauer:

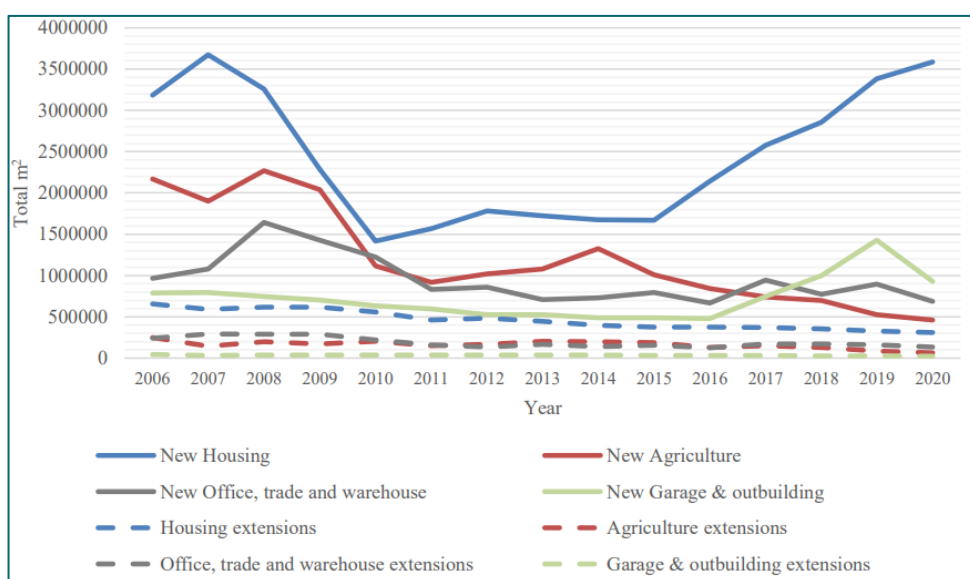
- Bæredygtighed: Sammenligner, hvad der er mest bæredygtigt i forhold til bedste praksis (SBI 60 bygninger).
- Absolut bæredygtighed: Forsøger at fordele i henhold til planetariske grænser.*

- Regenerativ: Baseret på det indre arbejde i økosystemer, der regenererer naturens balancer.

*) Planetariske grænser er et koncept, der beskriver ni kritiske processer, der er afgørende for Jordens økosystem og definerer et sikkert råderum for menneskelig trivsel. Disse grænser repræsenterer tærskler, hvor menneskelig aktivitet kan forårsage irreversible skader på miljøet og klimaet.

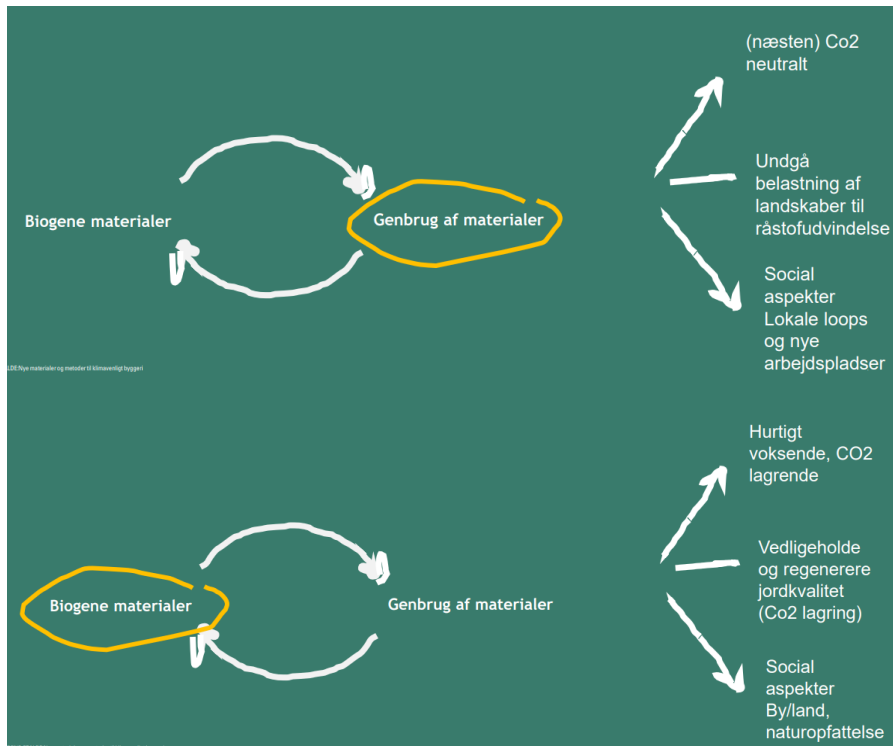
Det byggede miljø står for omkring 50 pct. af alt udvundet materiale og byggesektoren er ansvarlig for over 35 pct. af EU's samlede affaldsproduktion. Bygninger er ansvarlige for ca. 38-40 pct. af den globale udledning af drivhusgasser, hvoraf 28 pct. stammer fra det operationelle energiforbrug i den eksisterende bygningsmasse (opvarmning, afkøling, ventilation, belysning), og de resterende 10 pct. kommer fra indlejret energi i materialer til nybyggeri og renovering.

I Danmark bliver der bygget ca. 4.000.000 m² nye bygninger om året, hvor langt det meste er boligbyggeri (figur 8). Landbrugsbyggeri har været faldende siden 2008 og udgør kun ca. 8 pct.; dog med en lille top i 2014 [7].



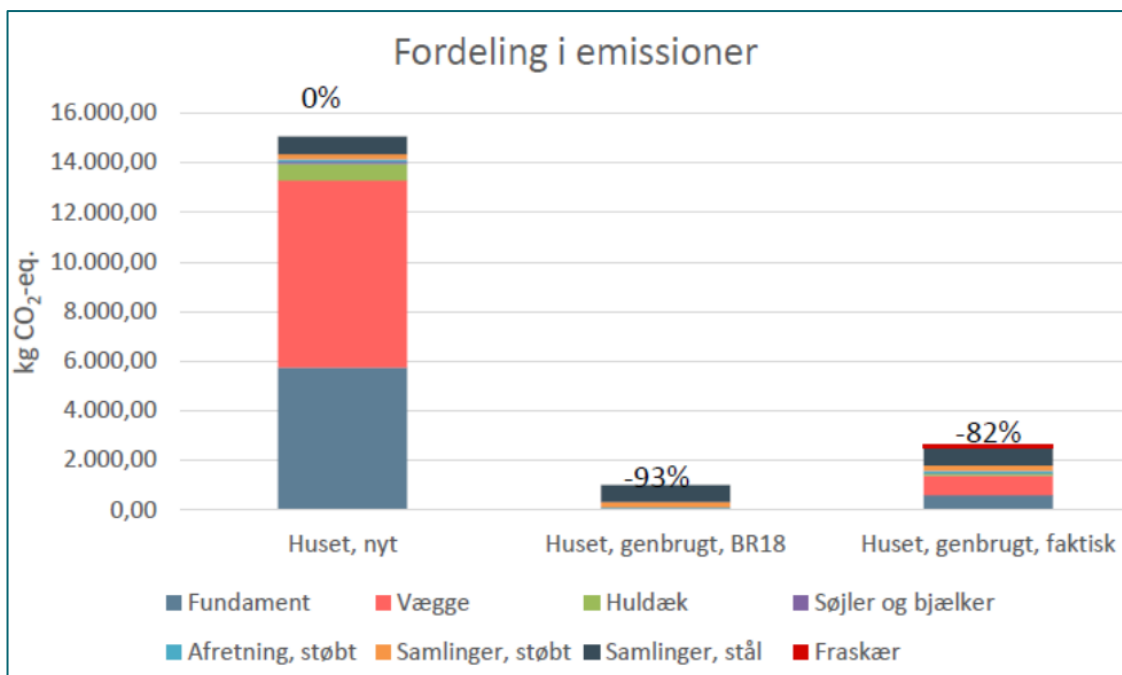
Figur 8. Nybyggeri (m²) i perioden 2006-2020 i Danmark. Kilde [7].

For at reducere CO₂-udledningen kan der i fremtidens byggeri indgå genbrug af materialer og/eller brug af biogene materialer (figur 9). Det skal dog bemærkes, at genbrugte materialer er eller kan blive en knap ressource; ligesom levetiden af disse materialer/bygningsdele skal inddrages i vurderingen af lagring af CO₂.



Figur 9. Overblik over, hvilke konsekvenser, genbrug af materialer (øverst) og brug af biogene materialer (nederst) har på CO₂-udledning, landskabet/jordkvalitet og sociale aspekter. Kilde L. Bjerregaard, Arkitektskolen, Aarhus.

Genbrug af materialer i byggeriet kan reducere CO₂-udledningen med 80-90 pct. (figur 9 og 10), men organisering og pris er på nuværende tidspunkt en udfordring. Der er forskningsprojekter, der sætter fokus på denne problemstilling (fx Arkitektskolen i Aarhus: *Genbrug på matriklen*) [8] ligesom der er udviklet byggesystemer (fx *Structural Reuse*) til håndtering af genbrugsmaterialer.

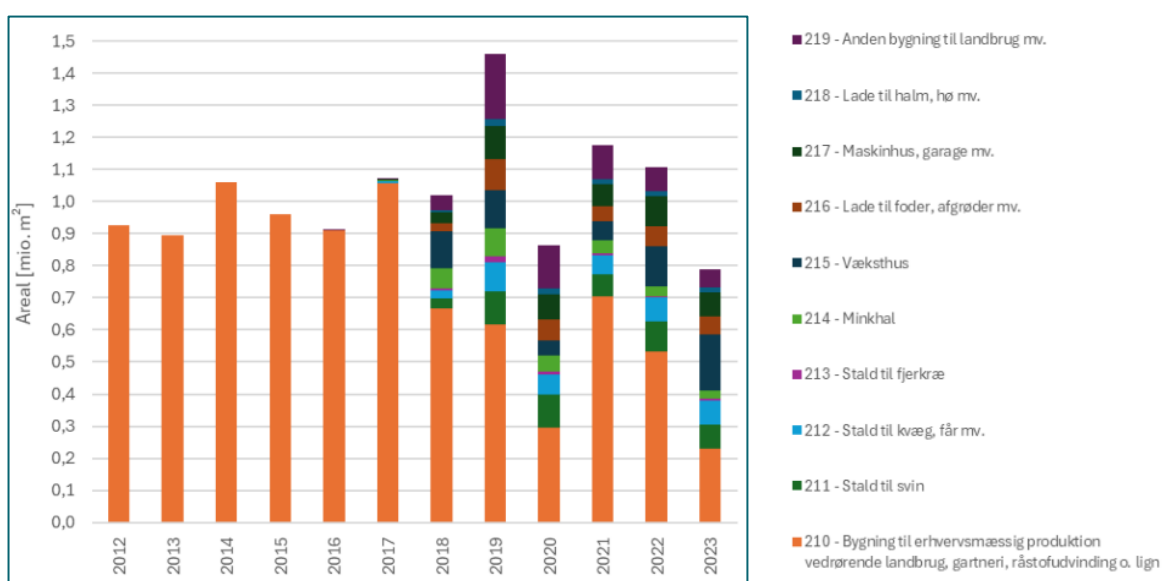


Figur 10. Fordeling af emission på et nyt hus og et hus med genbrugte materialer. Kilde [8].

Den stigende urbanisering er en global bosætningstendens, der har præget den måde, byer og landdistrikter har udviklet sig på igennem de seneste årtier. I Danmark betyder det, at de større byer vokser, mens landdistrikter affolkes, hvilket 50.000 tomme boliger i landdistrikterne vidner om.

I rapporten *Fremtidens bofællesskaber Funktionstømte bygninger – i storbyen, provinsbyen og på landet* [9] og et notat fra BUILD [10] vurderes det, at der er over 60 mio. m² funktionstømte landbrugsbygninger, og godt halvdelen af dem, vurderes at have potentiale for genanvendelse på grund af deres økonomiske og historiske værdi. Udtræk fra BBR viser, at 4.600 landbrugsbygninger er udgået i perioden 2012-2023 (figur 11), og gør landbrugsbygninger til den største enkeltkategori af udgåede bygninger.

På EU-niveau vil der på længere sigt komme skrappe krav om selektiv nedrivning med henblik på genbrug og genanvendelse samt potentielle krav om op til 50 pct. genanvendelse af byggematerialer i nybyggeri.

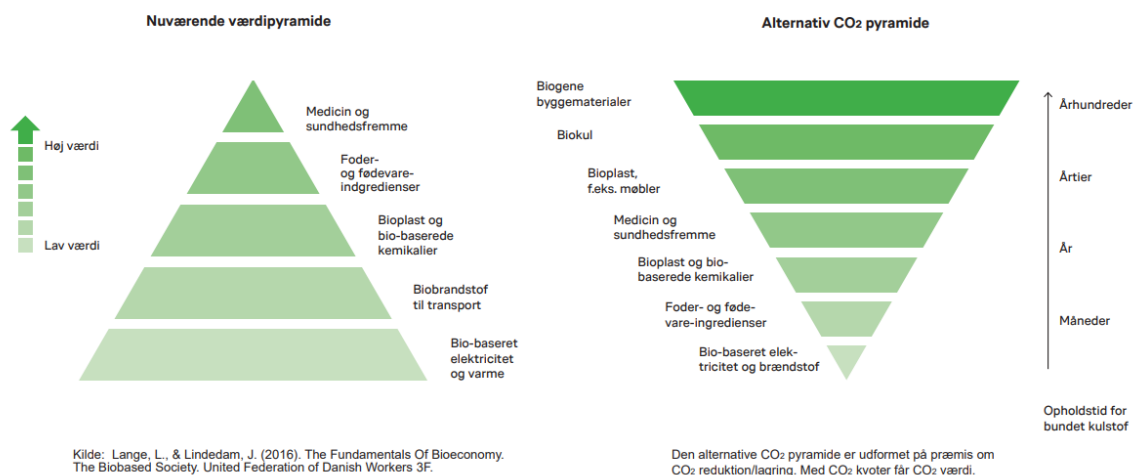


Figur 11. Udgåede landbrugsbygninger opdelt på underkategorier (mio. m²). Kilde (10)

Byggeri med brug af biogene materialer er så småt i gang. Der er etableret et videncenter for *Regenerativt Byggeri*, som arbejder for at udvikle og fremme et nyt byggeparadigme, hvor der gives mere tilbage til natur og miljø end der tages. Bag centeret står Aarhus Universitet, Arkitektskolen Aarhus og det rådgivende ingeniørfirma, Søren Jensen [11].

Et af de mere kendte projekter er byggeri med halm fra firmaet *ECO COCON* [12], men flere andre materialer/afgrøder er blevet undersøgt og præsenteret i rapporten *Fra marken til byggeri*, med det formål at synliggøre, at landbruget kan bidrage til CO₂-lagring (figur 12) [13].

Kaskade udnyttelse i landbruget



Figur 12. Kaskade udnyttelse i landbruget. Til venstre er vist den nuværende værdipyramide og til højre den alternative CO₂ pyramide, som bl.a. indeholder biogene byggematerialer. Kilde [13].

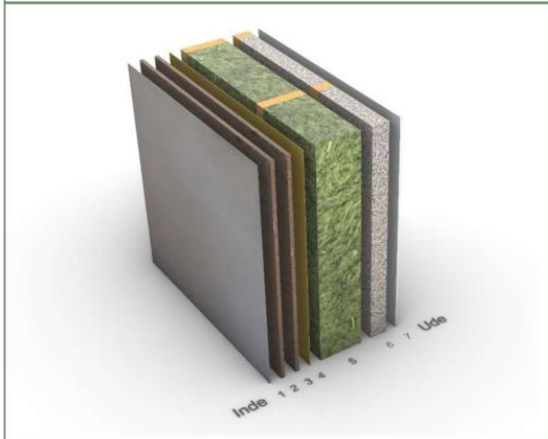
Ligeledes giver *Inspirationskatalog for biobaserede konstruktioner* et bredt og gennemarbejdet overblik over, hvordan tag, etagedæk, indervæg, terrændæk og ydervæg kan produceres af biogene materialer (figur 13) [14].

YDERVÆG 4

Træskelet | Lerplader | Græsfiber | Hempcrete | Kalkpuds

BESKRIVELSE

Ydervæg bestående af træskelet med græsfiberisolering. Træskelet kan bygges på stedet eller leveres som præfab. kassette. Tunge lerplader med lerpuds give brandbeskyttelse indfra, mens hempcrete agerer vindspærre og brandbeskyttelse udefra.



PERFORMANCEINDIKATORER

U-VÆRDI:	0,19 W/m²K	
TERMISKMASSE:	15 Wh/K pr. m²	
FUGTKLASSE:	3	
TRINLYD, L _{n,w} (C ₁ C _{1,50-2150}):	-	
LUFTLYD, R _w (C ₁ C _{1,50-3150}):	53 dB (-7 dB -15 dB -7 dB)	
GWP-TOTAL:	26,6 kg CO ₂ -ækv. pr. m²	
GWP-BIOGEN:	-49,3 kg CO ₂ -ækv. pr. m²	
GWP UPFRONT (A1-A3):	-26,6 kg CO ₂ -ækv. pr. m²	
GWP-FOSSIL (A1-A3):	22,7 kg CO ₂ -ækv. pr. m²	
	BÆRENDE	IKKE-BÆRENDE
30 min + K ₁ 10 / D-s2,d2:		
30 min + K ₁ 10 / B-s1,d0:		
60 min + K ₁ 10 / B-s1,d0:		
120 min + K ₁ 10 / B-s1,d0:		
K ₂ 60 / A2 s1,d0:		

Figur 13. Eksempel på et træskelet ombygget af græsfiber, hempcrete og kalkpuds med afgivelse af bl.a. U-værdi, GWP-total. Kilde [14].

Bæredygtigt bolig- og industribyggeri

De mest bæredygtige m², er de m² der ikke bygges, og derfor bør der kigges mod cirkulært byggeri og byggeri på naturens præmisser. Fra 1. juli 2025 er der lovkrav om selektiv nedrivning, når et etageareal er over 250 m² [15], og det vil skubbe yderligere til udviklingen.

Inden for byggeri – herunder landbrugsbyggeri – er der behov for nye tankegange, og derfor kan et historisk tilbageblik på byggeskikke være interessant (figur 14).

Klimakravene vil fortsat blive strammet op, og behovet for at gå fra fossile til fornybare byggematerialer øges. Dertil kommer, at den stigende tekniske kompleksitet vil øge materialeforbruget. En anden konkret udfordring, der vil være i fremtiden, er hensyntagen til naturkræfterne fx håndtering af vand. Aarhus Universitet har udviklet et værktøj – SCALGO – som kan benyttes til planlægning af byggeri og naturgenopretning [16].

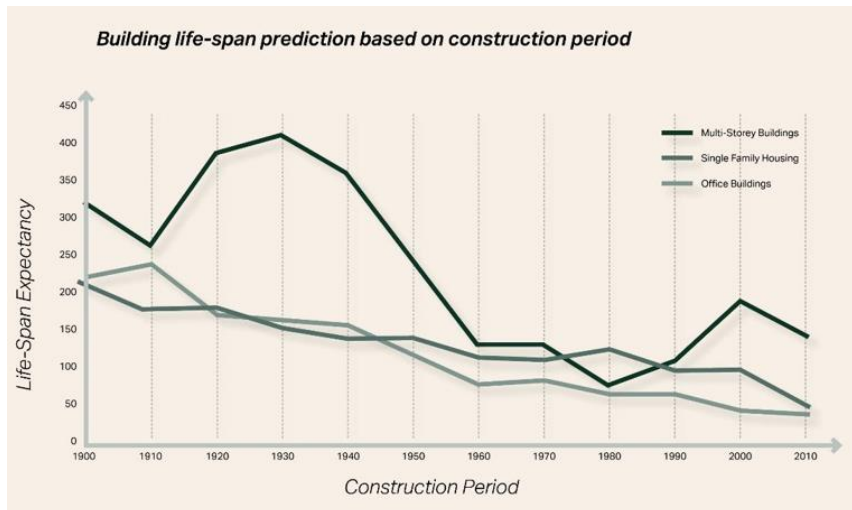
Indenfor boligbyggeriet er der eksempler på, at eksisterende byggematerialer benyttes i nyt byggeri. Byggevarer med brugte byggevarer, fx *Upcycling Forum*, giver mulighed for, at bygningsdele til genindbygning defineres i udbudsmaterialet.



Figur 14. Ø.tv. Staldbygning fra middelalderen med pileflettet facade og trækonstruktion. Dyr og mennesker under samme tag. Ø.th. Gård fra renæssancen/barokken bygget med stråtag og større trækonstruktioner. Tv. Nutidig produktionsanlæg i beton og stål. Th. Kostald fra Norge som er bygget af træ fra egen skov. Kilde Pluskontoret Arkitekter.

Genbrug og ændrede byggeprocesser

På trods af forbedrede konstruktioner, teknologier og materialer er bygningers levetid faldet markant fra starten af 1900-tallet og indtil nu (figur 15) [17]. Den nuværende gennemsnitlige levetid i både USA og Europa er ca. 60 år.

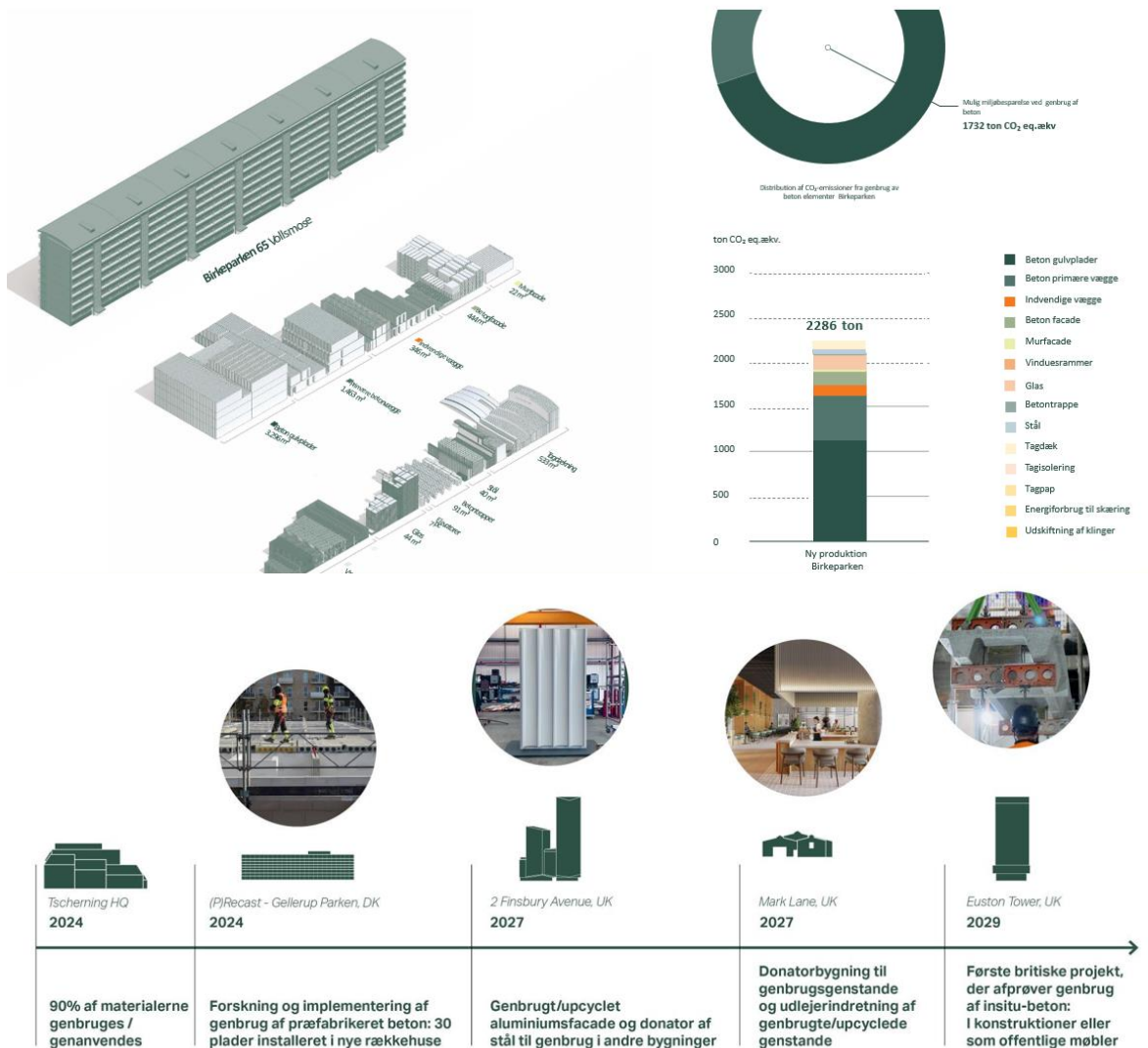


Figur 15. Bygningers levetid (år) afhængig af hvornår de blev opført. Kilde [17].

I fremtiden bør der foretages en vurdering af, om materialer kan genbruges i nyt byggeri fremfor, at de bortskaffes (figur 16 og 17). Følgende overvejelser skal indgå: Hvilke tilgængelige materialer har vi? Kan de bruges igen? Hvordan kan de udvindes? Hvordan indtænkes de i designet?



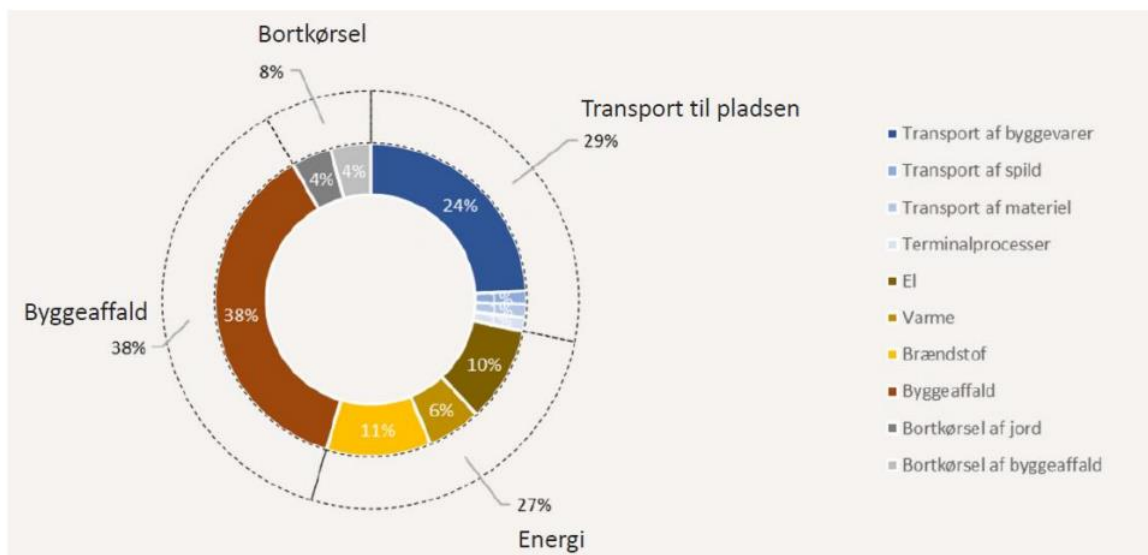
Figur 16. Øverst eksempel på lineært byggeri – nederst eksempel på cirkulært byggeri. Kilde 3XN/GXN Arkitekter.



Figur 17. Øverst eksempel på ressourcekortlægning og vurdering af besparelse i CO₂ ved genopførsel. Nederst danske og udenlandske projekter med genbrug. Kilde 3XN/GXN Arkitekter.

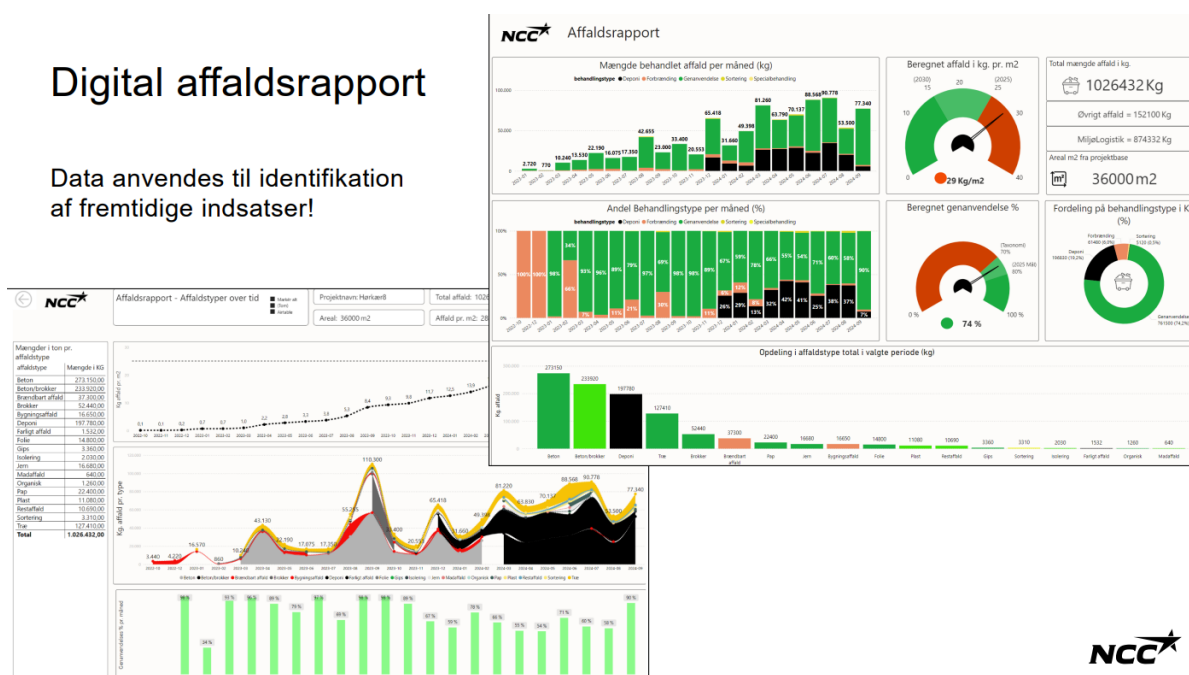
Virksomheden Nordic Construction Company (NCC) er en svensk bygge- og anlægsvirksomhed, der har aktiviteter i hele Norden. NCC har internt en målsætning om 50 pct. CO₂-reduktion af stål, transport og asfalt og 90 pct. genanvendelse af byggeaffald inden 2030.

Selve byggeprocessen udgør 15-20 pct. af totaludledningen, og som det ses i figur 18 indgår transport til byggeplads, energiforbrug og byggeaffald med hver en tredjedel af udledningen.



Figur 18. CO₂-udledning fra byggeprocessen opdelt på delbidrag. Kilde NCC.

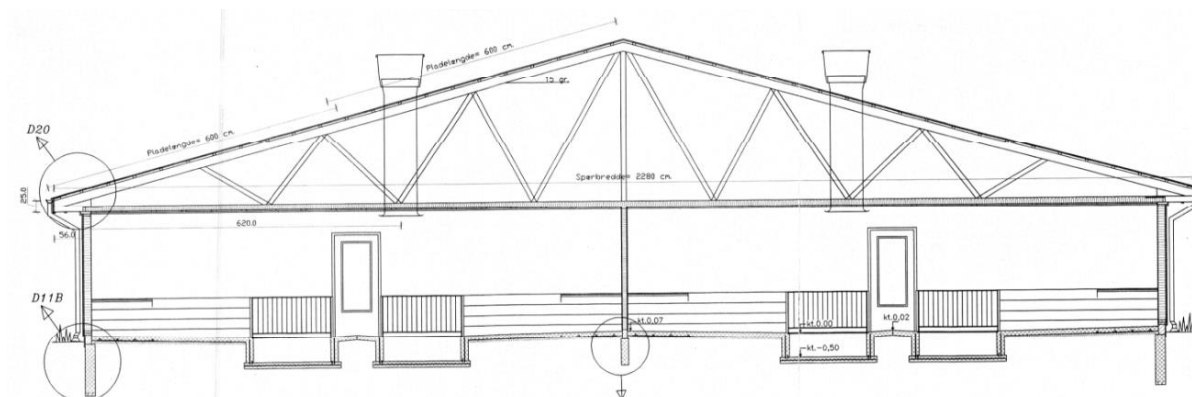
For at kunne styre ressourceforbrug på byggepladsen, har NCC et igangværende projekt med fokus på en overordnet monitorering og illustration af forbrugsdata, herunder opgørelse af de aktuelle affaldsmængder (figur 19).



Resultater fra LCA-beregning

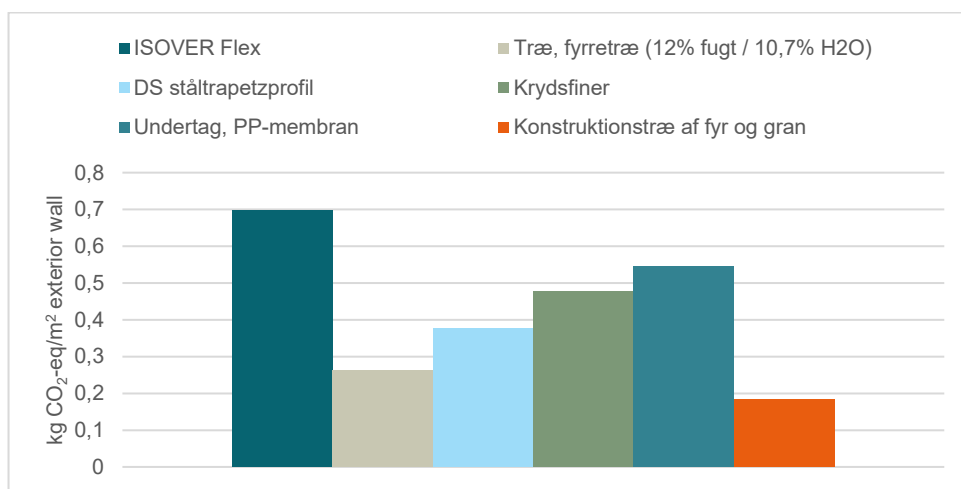
Tidligere er der beregnet LCA for en række forskellige typer af landbrugsbygninger [1, 2], hvor det fremgik, at Konzeptstalden havde et klimaaftryk på 119,9 kg CO₂-eq/m² sammenlignet med en traditionel stald (84,3 kg) og en CLT-stald (77,4 kg).

Et større brug af træ i konstruktionerne giver mulighed for at reducere klimabelastningen yderligere. I 1990'erne blev der udviklet og bygget Ø-stalde (figur 20), hvor ydervæggen var opbygget af træ. Erfaringerne med Ø-staldene var, at der kunne opnås en lavere pris ligesom der kunne opretholdes en god holdbarhed, hvis der blev etableret en stålplade indvendigt og sokkelhøjden blev øget, så den var sikret mod gnavnere [5].



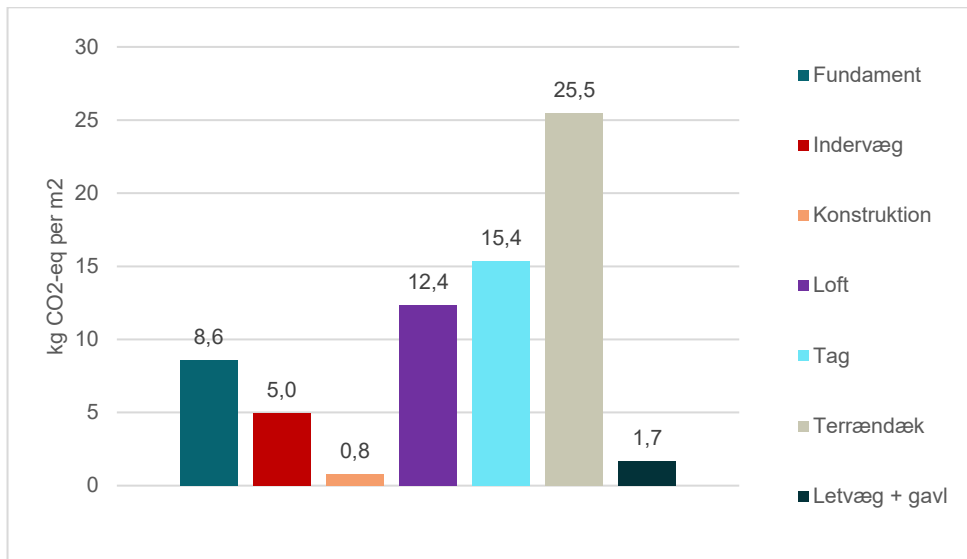
Figur 20. Principsnit af en Ø-stald indrettet med langsgående sektioner. Stalden var indrettet til smågrise med to-klimastier og delvist spaltegulv. Vægelementer i træ og tagkonstruktion i gitterspær. Væghøjden var 240 cm. Kilde [5].

I tabel 1 og figur 21 ses valg af materialer og deres CO₂-bidrag. På baggrund af disse resultater viste en LCA-beregning, at det samlede bidrag var 2,54 kg CO₂-eq/m² på let ydervæg (svarende til ydervæg i Ø-stald). Det højeste bidrag stammer fra isolering af væggen (27 pct.), PP-membranen (22 pct.) og krydsfiner (19 pct.).



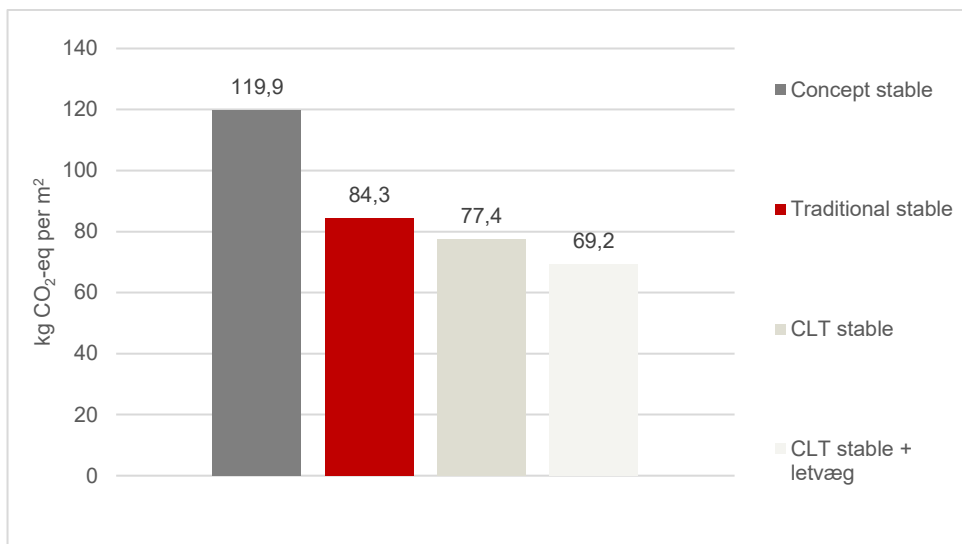
Figur 21. CO₂-bidraget for en let ydervæg (Ø-stald).

I figur 22 ses, at det samlede CO₂-bidrag fra en CLT-stald med let ydervæg (Ø-stald) bliver 69,2 CO₂-eq/m², hvor især terrændæk, tag og loft bidrager. Den ændrede opbygning af ydervægge reducerer bidraget fra 7,7 kg til 1,7 CO₂-eq/m².



Figur 22. CO₂-bidraget for CLT-stalden med let ydervæg (Ø-stald).

Af figur 23 ses CO₂-bidraget for fire forskellige typer af stalde, og det fremgår, at en stald med lette ydervægge vil reducere bidraget fra CLT-stalden yderligere.



Figur 23. CO₂-bidraget fra forskellige typer af stalde: Konceptstald (*Concept stable*), traditionel betonstald (*Traditional stable*), CLT-stald (*CLT-stable*) og CLT-stald med let ydervæg (*CLT stable + letvæg*).

Konklusion

- Leverandører af cement, beton og stål til landbrugsbyggeri har igangværende udviklingsprojekter med fokus på lavere CO₂-udledning fra både fremstillingsproces og materialer. Således har en ny cementtype, FUTURECEM, en reduktion på ca. 20 pct. i den færdige beton og Low Carbon stål en reduktion på 45-75 pct.
- Brug af skruefundament i kombination med punktfundamenter i beton kan reducere betonforbruget med ca. 80 pct.
- Genbrug af byggematerialer kan reducere CO₂-udledningen med 80-90 pct., men det kræver organisering, og vil på nuværende tidspunkt ofte fordyre et projekt. På EU-niveau er der indført krav om selektiv nedrivning og potentielle krav om 50 pct. genanvendelse.
- Brug af biogene materialer kan være interessant for dansk landbrug, da flere af materialerne – fx halm og hør – kan dyrkes i Danmark.

- Det er muligt at reducere CO₂-udledning fra landbrugsbyggeri ved at ændre konstruktion og valg af materialer. Der er tidligere fra SEGES Innovations side udviklet Konceptstalden, og med indarbejdelse af elementer fra den tidligere Ø-stald kan klimabelastningen reduceres yderligere.

Landbrugsbyggeri vil sandsynligvis også blive pålagt at reducere klimaaftrykket inden for en kort årrække, og på baggrund af præsentationer og diskussioner på workshopen vil det derfor være relevant, at beregne LCA for landbrugsbyggeri, hvor fx CO₂-reducerende beton, skruefundamenter, lette sandwich-vægelementer og Low Carbon stål indgår. Det vil derefter være nødvendigt at teste materialerne under realistiske forhold, hvor der er påvirkning fra produktionsdyr og ammoniak.

Referencer

- [1] Poulsen, K. og S. Jacobsen. 2019. KONCEPTSTALDEN 1.0, Svineproduktion.dk
https://svineproduktion.dk/-/media/PDF/I/-stalden/Staldindretning/Slagtesvinestald/Konceptstald/Konceptstalden_fulde_dokument.ashx
- [2] Bjerregaard Jensen, L. M.; L. M. Ottosen; V. Mahdi; M. W. Ryberg; M.T.B. Volden, , T. Tiedemann; K. Negendahl; S. Thorsteinsson; T. McGinley; K. Brink; P.S. Halding; A. Egerup; A. T. Lima; C. Fischer og D. Hartmann. (2023). Klimavenligt Landbrugsbyggeri, rapport 1-9, ed. Jensen: Samlet dokument med alle 9 rapporter, udgivet i 2022 og 2023.
[Klimavenligt Landbrugsbyggeri, rapport 1-9, ed. Jensen: Samlet dokument med alle 9 rapporter, udgivet i 2022 og 2023 - Arkitektur, Design og Konservering - Dansk portal for forskning og KUV](#). ISBN: 978-87-7475-692-7
- [3] Poulsen, K. 2022. Ændret materialevalg kan reducere konceptstaldens klimaaftryk. Meddelelse nr. 1279. SEGES Innovation, Den rullende afprøvning
- [4] Hansen, L.U. og S. Jacobsen. 2024. CO₂-reduceret beton i landbrugsbyggeri. Notat nr. 2404. SEGES Innovation, Den rullende afprøvning.
- [5] Jensen, T og K. Poulsen. 2024. Stalde med trækonstruktion. Notat 2411. SEGES Innovation, Den rullende afprøvning.
- [6] Bekendtgørelse nr. 271. [Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om bygningsreglement 2018 \(BR18\)](#) fra 11. marts 2025
- [7] Andersen R.; L.B. Jensen og M.W. Ryberg. 2022. Adaptation of circular design strategies based on historical trends and demolition patterns. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 1085.012062. [Open Access proceedings Journal of Physics: Conference series](#)
- [8] [Genbrug på matriklen - Arkitektskolen Aarhus](#)
- [9] Udlændinge-, Integrations- og Boligministeriet. 2016. Fremtidens bofællesskaber i funktionstømte bygninger i storbyen, provinsbyen og på landet. [Fremtidens bofællesskaber - Social- og Boligministeriet](#)
- [10] Jensen J.O.; O.M. Jensen og J. Kragh. 2015. Årsager til nedrivning. [Notat fra BUILD om årsager til nedrivning.pdf](#) og Notat om Analyse af BBR-data for udgået byggeri. [Analyse fra BUILD om BBR-data for udget byggeri.pdf](#)
- [11] [Aarhus Center for Regenerativt Byggeri – viden, netværk](#)
- [12] Byg en bæredygtig fremtid med EcoCocon. [Home | EcoCocon](#)
- [13] VIA University, Aarhus University, Restaurant Moment, Henning Larsen Architects, Borg og Træværk Aps. 2024. Fra marken til byggeri. Evaluering af biogene materials betydning for byggeriets planetære grænser. [Fra marken til byggeri](#)
- [14] Lindgren, L.B.; K.M. Frandsen og S.E. Maagaard. 2024 (rev. 2025). Inspirationskatalog for biobaserede konstruktioner. En del af Vej til biobaseret byggeri. [Inspirationskatalog for Biobaserede Konstruktioner](#)
- [15] [Forslag til Lov om ændring af lov om miljøbeskyttelse \(Selektiv nedrivning af visse byggerier\)](#)

- [16] Skab plads til vand. [Scalgo](#)
- [17] Andersen, R. og K. Negendahl. 2023. Lifespan prediction of existing building typologies. Journal of Building Engineering. 65 105696. [Lifespan prediction of existing building typologies - ScienceDirect](#)

Deltagere

Andre deltagere: Seniorrådgiver Teodora Dorca-Preda, Livscyklusvurderinger. Klima & Miljøteknologi, SEGES Innovation

NAV nr.: 101451

//JAHP//

Appendiks – program for workshop

Tidspunkt	Emne
Kl. 08.30	Kaffe og brød
Kl. 09.00	Velkomst v. Kent Myllerup, SEGES Innovation
Kl. 09.05	Introduktion til emnet og dagen
Kl. 09.15	Bæredygtigt byggeri – et overblik Klimakrav til byggeri og hvad sker der i landbrugsbyggeriet? v. Camilla Bruunsgaard Fugmann, BK-Nord Hvordan ser kreditgiverne på bæredygtigt byggeri? v. Pernille Stenstrup Christiansen, Danske Bank Opklarende spørgsmål
Kl. 10.00	Klimabelastende materialer og muligheder for reduktion Cement/Beton - nye betontyper v. Jacob Drejer, Aalborg Portland Fremtidens beton uden cement v. Dorthe Aaboe Kallestrup, IBF Betonelementer v. Klaus Haugsted, Give Elementer Opklarende spørgsmål
Kl. 10.50	Pause
Kl. 11.00	Klimabelastende materialer og muligheder for reduktion – fortsat Skruefundamenter/randfundamenter v. Christian Stobberup, Dansk Skruerfundament Stål v. Anette Maria Christensen, Give Steel Opklarende spørgsmål
Kl. 11.30	Paneldebat Hvordan kan materialeforbrug og byggeproces optimeres?
Kl. 12.00	Frokost
Kl. 13.00	Bæredygtigt byggeri i dag og i fremtiden Fremtidens byggematerialer v. Lotte Bjerregaard, Arkitektskolen Aarhus Hvad sker der i bolig- og industribyggeri? v. Christina Fabricius, Pluskontoret Arkitekter Opklarende spørgsmål
Kl. 14.10	Diskussion og kaffe
Kl. 14.35	Genbrug og ændrede byggeprocesser Hvordan bygger man med genbrugsmaterialer? v. Lasse Lind, 3XN/GXN Arkitekter Hvordan bruger vi de bæredygtige materialer og byggeprocesser i dagligdagen? v. Peter Andreas Sattrup, NCC Opklarende spørgsmål
Kl. 15.25	Paneldebat Hvilke muligheder er der for at gøre staldbyggeriet mere klimavenligt?
Kl. 16.25	Opsamling og afrunding af dagens emne
Kl. 16.40	Afslutning og tak for i dag v. Kent Myllerup, SEGES Innovation