



Det klimavenlige landbrugsbyggeri- Arbejdspakke 2 Urban Mining og Design for Adskillelse

Volden, Mikkel T. B. ; Jensen, Lotte M.B.; Ryberg, Morten

Publication date:
2022

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Volden, M. T. B., Jensen, L. M. B., & Ryberg, M. (2022). *Det klimavenlige landbrugsbyggeri- Arbejdspakke 2: Urban Mining og Design for Adskillelse*. DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

DET KLIMAVENLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Arbejdspakke 2

- Urban Mining og Design for Adskillelse

Rapport



DET KLIMAVENTLIGE LANDBRUGSBYGGERI

Arbejdspakke 2

- Urban Mining og Design for Adskillelse

Rapport

Januar, 2022

Af

Mikkel T. B Volden

Lotte M. B. Jensen

Morten Ryberg

Projekt udarbejdet af SEGES Innovation P/S
Projektleder Kenneth Poulsen, Byggechef, SEGES
Innovation P/S

Copyright: Reproduktion af dele af eller hele denne publikation skal indeholde en reference til rapportens titel, forfattere etc.

Udgiver: DTU, Institut for byggeri og anlæg, Brovej, Building 118, 2800 Kgs. Lyngby Denmark
www.byg.dtu.dk

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Indhold

1	Introduktion	1
2	Metode	3
3	Resultat	4
	3.1 Genanvendelse af betonelementer - Betonelementstalden	4
	3.2 Stålstalden – Design for adskillelse	7
	3.3 CLT udgave af betonelementstalden – og design for adskillelse	8
4	Konklusion	9
	Referencer	12

1 Introduktion

Byggesektoren står for ca. 40 % af den samlede CO2 emission på planeten. En stor del af emissionen stammer fra driften af bygninger. Men i Europa er vi blevet gode til at reducere energiforbruget til drift af bygninger. Derfor bør fokus i stigende grad være på klimabelastninger forbundet med produktion af byggematerialer og byggeaffald. Der er grundlæggende tre måder vi kan reducere miljøpåvirkningen fra byggematerialer –

- Genanvende bygninger direkte (renovere og transformere dem 'som de er' til ny brug).
- Bygge i biobaserede materialer (f.eks. træ).
- Genanvende bygningskomponenter og materialer direkte, så de i princippet aldrig når at blive til affald.

En række større Europæiske forskningsprojekter fokuserer i disse år på hvordan byer eller regioner kan etablere et næsten lukket flow af byggematerialer (CIRCulT, Loops). Københavns Kommune har skrevet forskningsansøgningen og vundet CIRCulT sammen med London, Helsinki og Hamborg. I hver af de 4 store byer, vil der skulle ske en reduktion af brugen af jomfruelige byggematerialer med op til 20% i den 4 årige projektperiode. Til at understøtte denne trend har også Realdania Fonden lanceret en serie af erhvervs Ph.d. projekter og to store 4 årige såkaldte Grand Solutions projekter (CIRCLEBANK og BusinessReuse). I CIRCLEBANK etableres en platform, og såkaldt 'hoteller' hvor byggekomponenter kan opbevares og handles. Arkitekter og andre designere kan se, hvad der er i 'banken' og designe ud fra det. Det er en meget anderledes design proces, end den som i dag praktiseres af arkitekter. BusinessReuse projekter omhandler et andet vigtigt element i denne omstilling; at vi får adgang til at teste 'gamle' materialer og byggekomponenter på en ikke- destruktiv måde, så de igen kan genanvendes og der kan udstedes nødvendige garantier ift. statik og holdbarhed.

Urban Mining betyder at man 'høster', 'sourcer' eller 'miner' byggekomponenter fra den eksisterende bygningsmasse. Det kan ske når bygninger enten skal nedrives eller renoveres. Jo mere direkte en byggevarer kan genanvendes i den samme form, og til den samme brug, jo mere CO2 emission undgås. Hvis byggevarer skal igennem en kompliceret og lang proces for at kunne genanvendes eller måske kun dele kan genanvendes i nye byggevarer, reduceres fordelene i forhold til undgået CO2 emission.

For mange landbrugsbygninger er vilkårene sådan, at det nogle gange bedre kan betale sig bare at lade dem stå. De bliver ikke aktivt nedrevet eller renoveret.

Dette vil måske ændre sig, fordi prisen på byggematerialer vil stige - dels pga. forsyningsvanskeligheder, dels pga. politiske indgreb. Det mest tydelige eksempel på sådanne indgreb er den frivillige bæredygtighedsklasse, som leder over i at man fra 2023 skal dokumentere CO2 aftrykket fra bygninger.

Der er stadig diskussion om hvordan miljøgevinsten fra genanvendte byggematerialer skal beregnes, men i alle metoder fremgår at det selvfølgelig vil reducere emissionen, fordi man undgår den CO2 emission, som er forbundet med udvinding af råstoffer og produktion af nye byggevarer.

I softwaret LCAByg, som generelt bruges til LCA på byggeri i Danmark, beregnes genanvendelse af byggematerialer, som udgangspunkt, som værende "burden free" CO2-mæssigt. Dvs. det er CO2-mæssigt "gratis" at bruge genanvendte materialer. På den anden side gives der heller ingen CO2-kreditering for genanvendelse eller anden nyttiggørelse af materialer efter endt levetid

En mulighed for at medtage kreditering for genanvendelse eller anden nyttiggørelse af materialer efter endt levetid er at benytte et såkaldt D modul fra EPD'en. Her er skitseret et endt-leve-tids-scenarie, som typisk er konservativt (f.eks. at beton nedknuzes og benyttes til vejfyld og hvor der krediteres for at beton erstatter grus som vejfyld og dermed CO2-udledningen i forbindelse med udvinding og transport af grus til brug som vejfyld).

En anden metode giver i beregningen en CO2 'rabat' for genanvendte materialer på f.eks. 50% i LCA'en, og ved 3. genanvendelse yderligere en rabat på 25%. Men måske skal 'CO2 rabatten' for genanvendte byggevarer (SLC, Second Life Components) være væsentligt højere i fremtiden.

Design for Disassembly (DfD) - Design for Adskillelse

Design for Adskillelse adresserer at byggevarer skal være forberedte på at blive direkte genanvendt til stort set det samme formål. F.eks. skal stålelementer være boltet sammen i stedet for svejset, og beton elementer kan boltes sammen i stedet for at samlingerne udstøbes (som er praksis i dag). Ligesom størrelsen for CO2 rabatten for at anvende SLC (Second Life Components= genanvendte byggevarer) er til diskussion, så diskuteres det også hvilken CO2 rabat, der skal manifesteres i en EPD, hvis et produkt er forberedt på direkte genanvendelse ved at være designet for (fremtidig) adskillelse.

Er Urban Mining og Design for Adskillelse – interessante principper for landbrugsbygninger? En stald kræver en mængde bygningsmaterialer for at blive opført, som alle bidrager med miljøpåvirkninger. En moderne dansk svinestald har typisk en levetid på blot 40 år inden den tages ud af drift. Visse bygningskomponenter kan dog have en væsentligt længere levetid end 40 år (f.eks. 120 år) og dermed et potentiale for at blive genanvendt igen i en ny bygning.

Danske svinestalde har som sagt en typisk levetid på kun 40 år, hvilket er væsentligt lavere end for andre bygningstyper, som typisk ligger mellem 60 og 120 år (Aagaard m.fl. 2013). Det skaber nogle særlige udfordringer for byggemetoden, hvis miljøpåvirkningerne skal mindskes. Brugen af byggematerialer, som typisk vil have længere levetid end Svinestaldens forventede levetid på 40 år, vil ikke kunne udtjene deres levetid, medmindre de adskilles og bruges igen i et nyt byggeri.

Der kan dermed ligge et stort potentiale i at undersøge de potentielle, miljømæssige gevinster ved at genanvende egnede bygningskomponenter igen i opførelsen af en ny svinestald eller andre bygninger.

I RAPPORTEN Prioritering af CO2-belastende konstruktionsdele (Volden et al, 2021) er beskrevet to umiddelbare løsninger på at nedbringe CO2-aftrykket fra de mest miljøbelastende bygningskomponenter fra en Betonelementstald:

(a) Erstatte bygningskomponenterne med et alternativ, som består af et mindre CO2- belastende materiale (f.eks. biobaserede materialer såsom træ)

(b) Finde måder at genanvende bygningskomponenterne i et nyt byggeri, på en måde, hvor det erstatter produktionen af nye materialer (vuggetilvugge.dk 2021)

Begge disse metoder bevarer, i udgangspunktet, Betonelementstaldens umiddelbare geometri, statiske system/princip og bygningsdesign.

I det følgende vil vi se på Betonelementstalden som et case studie for ad b: genanvendelse af bygningskomponenter, der kan erstatte produktionen af nye materialer, og dermed undgå den CO2 emission, der er forbundet med produktionen af nye byggevarer. En samlet designløsning af en staldbygning, med mindre miljøbelastende byggematerialer og hvor dele af bygningen kan adskilles og bruges igen i en ny staldbygning, kan derfor have et stort potentiale til at mindske svinstaldes bidrag til klimaforandringer.

Rapporten er opbygget som Case studier og der tages udgangspunkt i de tre staldtyper, som blev analyseret i RAPPORT Prioritering af CO2-belastende konstruktionsdele – IDÉKATALOG (Volden et al, 2021).

Der stilles det krav til det nye bygningsdesign, at det opfylder de samme funktioner, som det nuværende design kendt fra betonelementstalder.

I rapporten vurderes det miljømæssige potentiale for tre staldtyper igennem genanvendelses- og genbrugspotentialet af henholdsvis beton, stål og CLT. Derudover diskuteres det hvor godt de tre materialer egner sig til adskillelse efter bygningens levetid. Det viser sig, at der især for CLT og konstruktionsstål er et eksisterende potentiale for miljømæssige gevinster ved genanvendelse af materialerne efter endt levetid. Beton har nogle udfordringer mht. adskillelse og genanvendelse efter bygningens levetid – både ift. samlingsdetaljer og let tilgængelige, ikke-destruktive styrke- vurderinger af materialet. Bl.a. af disse to grunde ender beton med at knuses og erstatte stabilgrus i vejfyld. Det medfører en væsentligt mindre indlejret miljøgevinst efter endt levetid for beton, sammenlignet med de to øvrige materialer, men måske står vi overfor nye muligheder, som kan gøre betonelementer attraktive for genanvendelse.

2. Metode

Allokeringsmetode

Det software, som er benyttet til Baseline rapport og Rapport om prioritering af miljøbelastende dele er LCAByg. Det vil derfor være naturligt at fortsætte med at benytte dette software. LCAByg benytter sig af cut-off-metoden i overensstemmelse med DS/EN

15804, hvilket betyder at "polluter pays". Dvs. den der står for klimapåvirkninger tilskrives disse fuldstændigt. Brug af genanvendte byggematerialer betragtes således som gratis' eller burden free.

Det betyder at genanvendte byggematerialer anses for ikke at have en klimapåvirkning. Kreditering for genanvendelse af byggematerialer eller energiproduktion ved forbrænding af materialer efter nedrivning af stalden medregnes ikke iht. cut-off metoden. Medregning af dette vil være inkonsekvent ift. den valgte allokeringssystem og vil give en unfair miljøfordel til det valgte system, som kan karakteriseres som "greenwashing" og i strid med korrekt LCA-metode.

I en EPD efter standarden DS/EN 15804 (og dermed "cut-off-metoden") er der som sagt mulighed for at regne på et såkaldt "D-modul" uden at det er et krav endnu.

D-modulet er den sidste fase i livscyklussen efter "bortskaffelsesfaserne" (C1-C4 processerne). Den omhandler genbrugs-, genanvendelses- eller genvindingspotential (nyttiggørelse) for produktet/systemet og ligger således udenfor systemet. Det betyder i LCA-praksis, at man ikke må modregne D-modulet i et system eller scenarie for genanvendelse (f.eks. af stålrammerne fra Stålstalden), men det skal rapporteres særskilt som en indikator for genbrugs-, genanvendelses- eller genvindingspotential for produktet.

3. Resultat

Urban Mining og Design for adskillelse for 3 stald-eksempler

3.1 Genanvendelse af betonelementer - Betonelementstalden

I dette kapitel vil mulighederne for at udnytte design for adskillelse i Betonelementstalden blive undersøgt. Betonelementstalden i nærværende casestudie er opbygget af beton sandwichelementer med træspær, og terrændæk/fundament af beton.

Betonelementstaldens geometri har en række fordele både i forhold til funktion men også ift. mængden af eksempelvis randfundament og ydervægge sammenlignet med alternative staldtyper (f.eks. Stålstalden). Med udgangspunkt i Rapport 1 (Baseline, Mahdi et al) og Rapport 2 (Prioritering af CO2 belastende dele, idékatalog, Volden et al) fokuseres på Betonelementstaldens betonelementer, fordi de både har en meget længere levetid (120 år) end staldens typiske brugstid (40 år), og de er CO2 tunge.

Derfor er spørgsmålene; hvor stort er potential i nogle af Betonelementstaldens CO2-eq-tunge bygningskomponenter ift. til design for adskillelse? For at svare på dette beregnes D-modulet og der diskuteres løsninger/udfordringer ved adskillelse af betonelementerne i Betonelementstalden

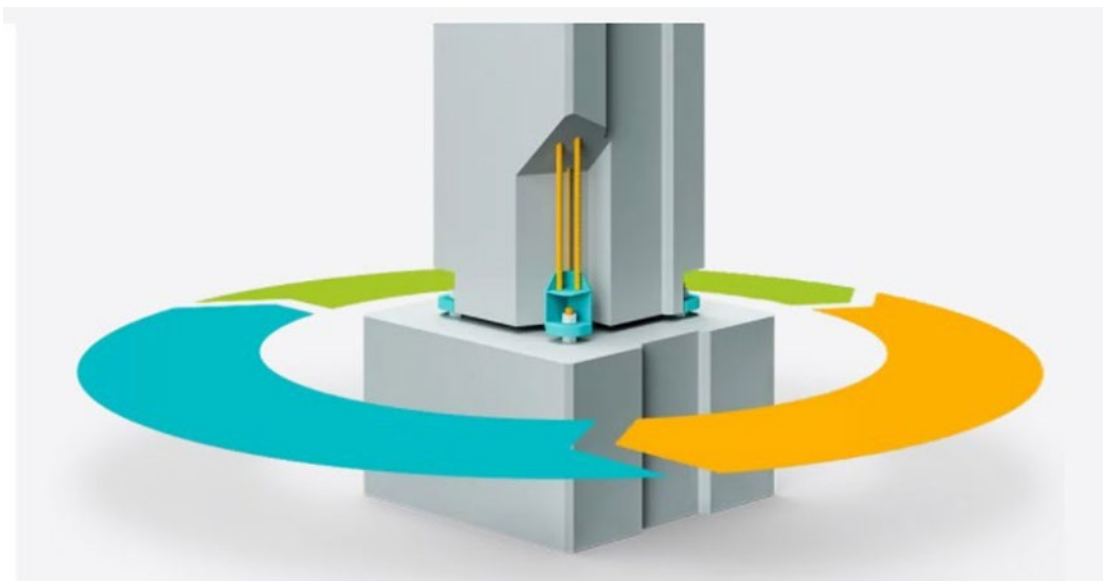
Direkte genanvendelse af beton fra Betonelementstalden

Det er generelt en udfordring at genanvende beton direkte, hvorfor betonen i dag oftest

knuses og bruges eksempelvis i vejfyld som erstatning for grus (Astrup 2014). Produktionen af grus er ikke specielt miljøbelastende sammenlignet med produktionen af beton, og der ligger derfor et større, miljømæssigt, potentiale i at betonelementerne i stedet nedtages og anvendes igen, således at produktion af nye tilsvarende betonelementer undgås.

Beton vejer dog relativt meget, hvilket betyder at der kræves store maskiner til at transportere det som elementer til en ny byggeplads. Derudover samles betonen typisk ikke med skruer eller beslag, som er tilfældet for andre byggematerialer, hvilket kan gøre det ganske vanskeligt at adskille betonelementer uden at de bliver beskadiget.

Der findes dog løsninger, hvor betonelementer eksempelvis samles med beslag, så det er muligt både at samle og adskille elementerne på en fornuftig måde. Sådanne løsninger er dog, desværre, ikke blevet implementeret i byggebranchen i Danmark (endnu), hvilket skyldes flere udfordringer – heriblandt pris på adskillelige samlinger. Men også styrke- krav til bærende beton, som i dag kan være svært/omfattende at dokumentere hvis beton skal genanvendes. Der arbejdes bl.a. på såkaldte "ikke-destruktive-testmetoder" for forskellige byggematerialer, hvis mål bl.a. er at gøre det let tilgængeligt at styrkevurdere genanvendelige byggematerialer.



Figur 1. Boltet istedet for udstøbt samling, udviklet af det finske betonelement firma Peikko. <https://www.peikko.com/products/circular-economy/overview/>

Herudover er udfordringerne at betonelementer ofte er 'skræddersyede' og den direkte anvendelse vil kræve at arkitekter og andre designere vender deres design proces 'på hovedet' og designer ud fra de betonelementer de har til rådighed. Arkitekter og andre bliver også nødt til fra starten at forholde sig til hvilke retninger armeringen i betonelementerne spænder.

Der er således en lang række udfordringer ved den direkte genanvendelse af betonelementer. Men den åbenlyse mulighed er også tilstede fordi det som allerede nævnt har en meget lang levetid og et meget stort CO2 aftryk.

Potentiale for genanvendelse – D-modul

Indtil nogle af disse udfordringer er løst, vil beton fortsat blive knust og anvendt som erstatning for grus ved bl.a. vejfyld. Dette afspejles også i D-modulet for den anvendte EPD på beton (Dansk-Beton-Fabriksbetonforeningen 2020a), hvor det er angivet, at D-modulet er beregnet ud fra en antagelse om, at betonen netop knuses og bruges som vejfyld.

Det er vigtigt at bemærke potentialet for D-modulet vil kunne vokse for beton i fremtiden, i takt med at let tilgængelige løsninger for genanvendelse af beton-elementer bliver en integreret del af byggebranchen, som beskrevet ovenfor.

Denne rapport forholder sig til de forhold som gør sig gældende i dag. Dermed vil potentialet for genanvendelse af beton blive udtrykt ved at beregne D-modulet fra den pågældende EPD som er brugt på beton. Størrelsen af D-modulet skal ses som et udtryk for de miljømæssige gevinster der er forbundet med genanvendelse eller nyttiggørelse af nedrevet beton.

D-modulet for beton i den anvendte EPD (Dansk-Beton-Fabriksbetonforeningen 2020 a) er angivet til

-4,6 [kg. CO₂ eq.] 1 m³ beton C25/30

Dvs. det samlede potentiale for D-modulet er en reduktion på 515 kg. CO₂ eq. i forhold til mængden af beton på 112 m³ i inder- og ydervægge. Betonelementstaldens potentiale ift. nedrivning og genanvendelse af betonen er relativt lille, som det fremgår af D-modulet i EPD'en for beton. Dette skyldes, som nævnt tidligere, at betonen i dag erstatter stabilgrus som tilslag i vejfyld.

D-modulet og genanvendelsespotentialet har dog potentiale til at vokse markant i fremtiden, hvis der findes en måde at genanvende beton-elementerne direkte i et nyt byggeri. I en sådan situation vil den genanvendte beton kunne erstatte produktionen af nye betonelementer.

Ved brug af "cut-off" metoden for allokering, som benyttes til livscyklusvurderinger på bygninger jf. DS/EN 15804, er genanvendte byggematerialer "gratis". Det betyder, at genanvendt materiale kun tilskrives miljøpåvirkninger der sker i forbindelse med omdannelsen fra affald til genanvendeligt materiale. Hvis betonelementer fra Betonelementstalden i fremtiden kan adskilles, transporteres til en ny byggeplads og bruges igen i opførelsen af eksempelvis en ny Betonelementstald, vil brugen af disse genanvendte betonelementer således være næsten "gratis" i LCA beregningen, da de kun vil blive tildelt miljøpåvirkninger i forbindelse med evt. rensning og transport til ny byggeplads. Adskillelse er en del af modul C for 'tidligere produktsystem' og skal ikke medregnes. Dette kræver dog som nævnt en ændring af praksis ift. hvordan betonelementerne samles, således af de kan adskilles igen, samt implementeringen af ikke-destruktive metoder til at kortlægge elementernes kvalitet og forventede restlevetid, for at de kan benyttes i genanvendt form i et nyt byggeri.

Man kunne forestille sig en cirkulær model for Betonelementstalden, hvor de samme betonelementer anvendes i flere svinestalde, i løbet af deres livscyklus.

3.2 Stålstalden – Design for adskillelse

Stålrammer

Konstruktionsstålet har et stort potentiale i forhold til design for adskillelse, eftersom der er mulighed for at genbruge stålrammerne direkte i en ny staldbygning. Hvis ikke dette er muligt, er genanvendelse af brugt stål, i produktionen af nyt konstruktionsstål, allerede veletableret – typisk dansk konstruktionsstål består således af op til 78 % genbrugsstål (Give-Steel-A/S 2020).

Klimaskærm

Stålstaldens klimaskærm er opbygget af selv bærende sandwichelementer med en kerne af PU-skum isolering med metalplade på begge sider. Disse metal-PU-metal sandwichelementer udmærker sig bl.a. ved at være lette i vægt, hurtige at opsætte og med høj isolerings- evne (pga. PU-skum isolering). Derudover egner de sig, ligesom stålet, til at blive adskilt igen (nedtaget i hele elementer) og har dermed potentiale for at kunne bruges igen i et nyt byggeri. Desværre har de en relativt kort forventet levetid på højst 45 år (European-Association-for-Panels-and-Profiles 2018).

En dansk svinestalds forventede levetid er 40 år (Aagaard m.fl. 2013), så det vil umiddelbart ikke være muligt at bruge de samme sandwichelementer i flere staldbygninger, medmindre en bygning tages ud af drift før tid.

Potentialet i genanvendelse af stål er som allerede nævnt stort. Det vidner om, at det allerede er en realitet, at stål bliver genanvendt og brugt i produktionen af nyt stål. Dette er selvfølgelig positivt, men disse fordele ved konstruktionsstål er der således allerede taget højde for, når miljøpåvirkningerne fra konstruktionsstål bliver vurderet i en EPD (EPD-Danmark 2021, Jf. DS/EN 15804).

Det betyder dog også, at selv om over halvdelen af konstruktionsstålet i dag allerede er genanvendt i produktionen, har stål stadig en relativ høj miljøpåvirkning sammenlignet med mange andre materialer.

Således er det konstruktionsstål, som er blevet brugt i resultaterne i RAPPORT Prioritering af CO₂- belastende konstruktionsdele – IDÉKATALOG (Volden et al) produceret med 78 % genbrugsstål. Miljøpåvirkningerne fra konstruktionsstålet i Stålstalden ville således være (væsentligt) højere, hvis beregningerne blev baseret på en anden type konstruktionsstål, hvor andelen af genbrugsstål i produktionen var lavere.

Der er 4.497 kg. konstruktionsstål i Stålstalden som bliver brugt til stålrammerne. D-modulet i den benyttede EPD for konstruktionsstål er rapporteret til

-318 [kg. CO2 eq.] pr. ton konstruktionsstål

Da Stålstalden indeholder 4,5 ton konstruktionsstål, betyder det at det samlede potentiale for genbrug, genanvendelse eller nyttiggørelse for konstruktionsstålet i Stålstalden er en besparelse på 1,43 ton CO2 eq.

Øvrige bygningskomponenter i stålstalden

Der er umiddelbart ikke andre bygningskomponenter i Stålstalden med en forventet levetid som er væsentligt højere end selve staldens på 40 år. Dette skyldes primært, at de fleste bygningskomponenter må forventes at være slidt op, efter de 40 års forventede levetid for Stålstalden. Det eneste betydningsfulde bygningskomponent for CO2-aftrykket, som har en væsentligt længere levetid end staldens forventede levetid (udover stålrammerne), er randfundamentet. Da der ikke kendes til en gennemprøvet og meningsfuld måde at genanvende betonen fra randfundamenter mere eller mindre direkte i et nyt byggeri, vurderes dette bygningskomponent ikke yderligere i forhold til design for adskillelse.

3.3 CLT udgave af betonelementstalden – og design for adskillelse

I RAPPORTEN Prioritering af CO2 belastende dele (Volden et al) demonstreres at der kan opnås en markant reduktion af CO2 aftrykket ved Betonelementstalden, uden at ændre geometri, ved at erstatte betonelementerne med CLT elementer (træ - Cross Laminated Timber). Herudover er der også fordele i relation til direkte genanvendelse, fordi CLT elementer nemt kan blive, faktisk som de er allerede nu, forberedt for design for adskillelse. De er ofte samlet med skruer eller beslag, ligesom andre træbaserede elementer og materialer. Dette gør CLT elementer relativt nemme at adskille igen, og betyder, at de egner sig til direkte genanvendelse og har derfor fordel af en design-for-adskillelises strategi. CLT forventes at have en lang levetid som konstruktionstræ og beton på 120 år (Aagaard m.fl. 2013). Det betyder, at CLT elementerne vil kunne genanvendes mere eller mindre direkte igen i en ny bygning – op til 3 gange i en staldbygning med en levetid på 40 år. Dette kommer også til udtryk i D-modulet for den danske EPD på CLT (EPD-Danmark 2020a) for genanvendelses-potentialet.

Andre bygningsmaterialer, såsom bræddebeklædningen, må forventes at skulle kasseres når CLT-stalden har nået sin forventede levetid på 40 år. Hvis træet til bræddebeklædningen kommer fra bæredygtig skovdrift, så er det ikke umiddelbart noget, miljømæssigt problem at skulle kassere bræddebeklædningen efter den forventede levetid for svinestalden.

Fibercementplader, isolering og konstruktionstræ må generelt anses for, at være bygningsmaterialer som er svære at genanvende direkte igen i et nyt byggeri på en (også økonomisk) meningsfuld måde. Dels fordi disse materialer kan være svære at skille ad uden at beskadige dem, dels fordi de kan være udsat for et stort slid i deres levetid.

Derfor må CLT, umiddelbart, anses for at være ét af de bygningskomponenter, som har størst potentiale til at blive genanvendt direkte igen i et nyt byggeri fra CLT-stalden eftersom dette bygningsmateriale både sidder beskyttet og har en væsentligt længere forventet levetid end svinestalden. Med CLT elementernes vægt på mere end 24 ton fra ydervæggene og mere end 20 ton fra indervæggene i CLT-stalden, er der altså mulighed

for at genanvende op til 44 ton CLT elementer.

Potentiale for genanvendelse -- D-modul

CLT har et relativt stort potentiale i forhold til genanvendelse og genbrug, hvilket også kommer til udtryk i den relevante EPD for CLT. D-modulet er således opgivet til

-57,4 [kg. CO₂ eq.] m³ CLT for et scenarie hvor CLT'en genanvendes og således erstatter produktionen af nyt CLT.

Da stalden indeholder 95 m³ CLT, betyder det, at det samlede potentiale ved genbrug, genanvendelse eller nyttiggørelse, som dermed erstatter produktionen af ny CLT, er en besparelse på 5,5 ton CO₂ eq.

Potentiale for genanvendelse af CLT

Jf. den anvendte EPD for CLT, betragtes der allerede en situation hvor CLT kan adskilles og genanvendes igen i et nyt byggeri. Dette kommer til udtryk i D-modulet for genbrug (EPD_CLT_md-20007_2020).

Ved brug af "cut-off" metoden for allokering, som benyttes til livscyklusvurderinger på bygninger jf. DS/EN 15804, kan (direkte) genanvendte byggematerialer dog betragtes som "gratis". som allerede nævnt. Det betyder, at genanvendt materiale kun tilskrives miljøpåvirkninger der sker i forbindelse med omdannelsen fra affald til genanvendeligt materiale. Hvis CLT-elementer fra CLT-stalden kan nedtages og blive brugt direkte igen i opførelsen af en ny CLT-stald, vil brugen af disse direkte genanvendte elementer være næsten "gratis" i LCA-beregningen, da de kun vil blive tildelt miljøpåvirkninger i forbindelse med, evt. rensning og transport til ny byggeplads (adskillelse er der taget højde for allerede). Det kræver dog, at CLT-elementernes kvalitet og forventede restlevetid kan dokumenteres tilfredsstillende, for at de kan benyttes i genanvendt form i et nyt byggeri.

Man kunne også for CLT-stalden forestille sig en cirkulær model, hvor de samme CLT-elementer anvendes i flere svinestalde, i løbet af deres livscyklus.

4. Konklusion

For alle tre materialetyper - beton, stål og CLT - er der blevet betragtet to scenarier for genanvendelse af materialer:

1. D-modulet fra den relevante EPD, som er et udtryk for genanvendelsespotentialet ud fra en betragtning om det mest sandsynlige scenarie, som kendes i dag.
2. Et scenarie hvor materialerne (beton-elementer, stålrammer og CLT-elementer) genanvendes direkte i opførelsen af en ny svinestald i en cirkulær model, hvorledes materialerne vil indgå "gratis" i LCA-beregningen jf. DS/EN 15804 for "cut-off" metoden ift. allokering. Dette scenarie indbefatter dog en række forudsætninger, for at det kan

lade sig gøre. F.eks. skal beton-elementerne være mulige at adskille, samt der skal implementeres ikke-destruktive analyse-metoder for at kortlægge materialernes egenskaber.

Scenarie 2, hvor bygningsdele kan indgå i en cirkulær model og genanvendes direkte igennem flere svinestalde, har det største potentiale for CO₂-besparelser i fremtiden, men kræver også en række forudsætninger samt ændringer i praksis, for at det kan lade sig gøre.

Betonelement-stalden	[kg. CO ₂ eq. / m ²]
Oprindelig	84,3
LCA-optimeret	82,1
D-modul for beton - elementer	-0,3
Stålstalden	
Oprindelig	119,9
LCA-optimeret	105,6
D-modul for stålrammer	-2,5
CLT-stalden	
Oprindelig	77,4
LCA-optimeret	75,4
D-modul for CLT-elementer	-3,2

Tabel 4.1: GWP for Betonelementstalden, Stålstalden og CLT-stalden

I forhold til "genanvendelsespotentialet" udtrykt i D-modulet, er det kun beregnet for beton (for Betonelementstalden), stål (for Stålstalden) og CLT (for CLT-stalden). Dette skyldes primært at disse bygningskomponenter har en væsentligt længere forventet levetid, op til 120 år, i forhold til en svinestalds på blot 40 år, og dermed forventes at have en lang resterende levetid efter staldens levetid.

Potentialet i direkte genanvendelse af beton i ydervægge og indervægge kan være stort fordi elementerne har en estimeret levetid på 120 år, og muligheder for dette i fremtiden bør undersøges og udforskes. Med nutidens teknologier, er genanvendelsespotentialet for beton meget begrænset, hvilket kommer til udtryk i det meget lave D-modul som er beregnet for betonen i Betonelementstalden.

Stålstaldens stålrammer viste sig på flere parametre at egne sig godt til design for adskillelse og genanvendelse/nyttegørelse. Stålrammerne har en betydeligt længere levetid end selve stalden på op til 120 år. Det kunne dermed være muligt at adskille stålrammerne fra en udtjent Stålstald og bruge dem direkte igen i en ny Stålstald (med samme bredde). Beregnes D-modulet for konstruktionsstålet i Stålstalden, viser det sig også at der ligger et potentiale i en reduktion af GWP heri. Dog er den anvendte EPD for konstruktionsstål allerede bestående af 78 % genanvendt stål, hvorfor D-modulet ikke er så stort som man kunne forvente for den anvendte stål.

Stålstaldens LCA-optimerede design, med samme loft- og tagkonstruktion som betonelementstalden viste sig at have en meget positiv effekt på Stålstaldens GWP. Derfor anbefales det, hvis en Stålstald igen skal opføres, at opsøge samme konstruktionsopbygninger for disse bygningsdele som Betonelementstalden – dvs. 'låne' Betonelementstaldens geometri.

CLT elementerne har et stort potentiale i at blive adskilt og genanvendt i et nyt byggeri. De er typisk samlet med skruesamlinger eller beslag og derudover har de en lang levetid på op til 120 år. Derfor er D-modulet fra den relevante EPD for CLT26 blevet beregnet til -3,2 [kg. CO₂ eq. / m²], hvilket også viser, at der ligger et potentiale i at CLT'en bliver genanvendt og erstatter produktionen af ny CLT. Dette er da også det største D-modul som er blevet beregnet mellem de tre staldtyper i rapporten.

Referencer

<https://www.peikko.com/products/circular-economy/overview/>

<https://circlebank.dk/index.php/2021/04/26/grand-solution-circle-bank-will-outcompete-linear-construction-by-2030/>

<https://bloxhub.org/news/denmark-and-realdania-launch-call-for-new-research-team-on-circular-buildings/>

<https://innovationsfonden.dk/da/nyheder-presse-og-job/hold-af-forskere-og-virksomheder-er-udvalgt-til-accelerere-cirkulaert-byggeri>

<https://www.dtu.dk/nyheder/2021/10/cirkulaert-byggeri-sikrer-bedre-udnyttelse-af-ressourcer?id=a62718c8-89e7-4c75-bca2-079fedf58968>

Aagaard, Niels-Jørgen m.fl. (2013). „Levetider af bygningsdele ved vurdering af bæredygtighed og totaløkonomi“. I: URL: www.sbi-dk.proxy.findit.dtu.dk/Pages/Levetider-af-bygningsdele-ved-vurdering-af-baeredygtighed-og-totaloekonomi.aspx#s=2013:30.

c2ccertified.org (2017). What Is Design for Disassembly? URL: www.c2ccertified.org/news/article/what-is-design-for-disassembly.

Hauschild, Michael Z., Ralph K. Rosenbaum og Stig Irving Olsen (2018). Life Cycle Assessment – Theory and Practice. Springer. ISBN: 978-3-319-56474-6.

GRÅKJÆR (2021). Betonelementstald. URL: www.graakjaer.dk/betonelementstald.

vuggetilvugge.dk (2021). Cirkulær Økonomi. URL: www.vuggetilvugge.dk/viden-om/cirkulaer-oekonomi/.

Give-Steel-A/S (2020). „EPD of 1 ton of structural steel; EPD No.: MD-20042-EN“. I: URL: www.epddanmark.dk.

European-Association-for-Panels-and-Profiles (2018). „EPD of Double skin steel faced sandwich panels with a core made of polyurethane; EPD No.: EPD-PPA-20180076-CBG1-EN“. I: URL: www.ibu-epd.com.

EPD-Danmark (2021). Hvad er en EPD? URL: www.epddanmark.dk/om-epder/hvad-er-en-epd/.

Astrup, Thomas F. (2014). Genanvendelse af byggematerialer: Hvordan kan vi gøre det bedre? URL: www.bygge-anlaegsavisen.dk/genanvendelse-af-byggematerialer.

Dansk-Beton-Fabriksbetonforeningen (2020a). „Fabriksbeton styrkeklasse C25/30; EPD No.: MD-20011-DA“. I: URL: www.epddanmark.dk.

EPD-Danmark (2020a). „Cross Laminated Timber; EPD No.: MD-20007-EN“. I: URL: www.epddanmark.dk.

Dansk-Beton-Fabriksbetonforeningen (2020b). „Letbeton vægelement; EPD No.: MD-20016-DA“. I: URL: www.epddanmark.dk.

Cembrit-Holding-A/S (2016a). „Cembrit Corrugated sheets; EPD No.: EPD-CEM-20160114- IAD1-EN“. I: URL: www.bau-umwelt.com.

EPD-Norge (2017). „Hunton Undertak; EPD No.: PGRF/346:/623/PQ“. I: URL: www.epd-norge.no.

Cembrit-Holding-A/S (2016b). „Cembrit Construction Board; EPD No.: MD-16001-EN“. I: URL: www.epddanmark.dk.

Træ.dk-c/o (2020). „Sawn and dried construction wood products of pine and spruce; EPD No.: MD-20002-EN“. I: URL: www.epddanmark.dk.

IBU (2018). „Profiled sheets made of steel for roof, wall, deck and ceiling constructions; EPD No.: EPD-PPA-20180077-CBG1-EN“. I: URL: www.ibu-epd.com.

PU-Europe (2014). „Polyurethane (PU) board without facing; EPD No.:“ i: URL: www.pu-europe.eu.

IBU (2019). „ROCKWOOL stone wool thermal insulation; EPD No.: EPD-RWI-20190050-CBD1-EN“. I: URL: www.ibu-epd.com.

EPD-Norge (2019). „ISOVER Formstykker λ 34; EPD No.: NEPD-2611-1324-EN“. I: URL: www.epd-norge.no.

– (2020). „Hunton Trefiberisolasjon Innblåst; EPD No.: NEPD-2286-1041-NO“. I: URL: www.epd-norge.no.

EPD-Danmark (2020b). „FRØSLEV Heatwood solid wood panelling and cladding from Scots pine and Norway spruce; EPD No.: MD-20033-EN“. I: URL: www.epddanmark.dk.

EPD-Norge (2018). „Semullit/Träullit/Baux - White Natural; EPD No.: NEPD-1554-595-EN“. I: URL: www.epd-norge.no.

Danmarks
Tekniske
Universitet

Brovej, bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 4525 1700

www.byg.dtu.dk