

# HALM

CIRKULÆR TEKTONISK TÆNKNING

## TEKTONIK

## TEKNOLOGI

Stacking



Layering



Clamping



Tensioning



Penetrating



Locking



Halmballer

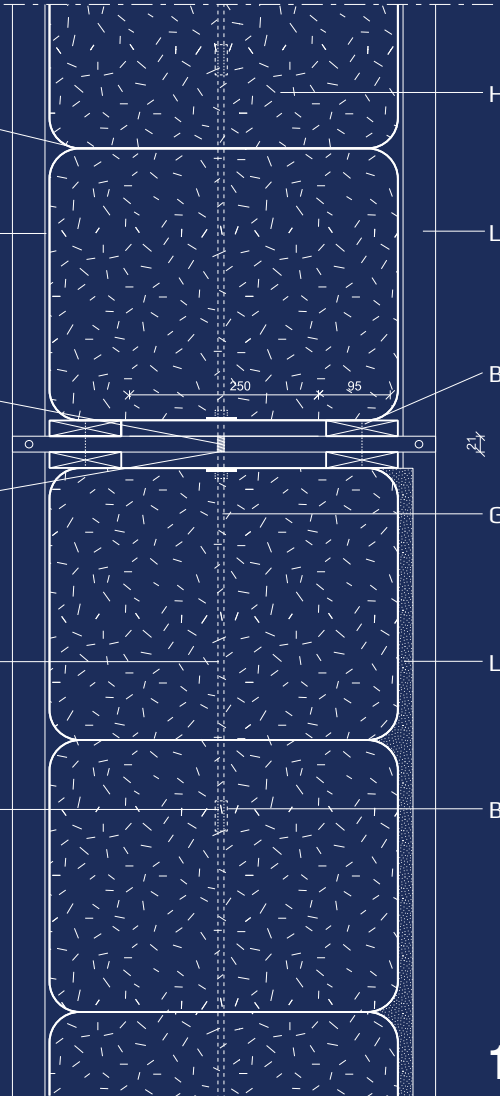
Liste

Brædder

Gevindstang

Lerpuds

Bøsning



1:10

43 7 460 7 43  
560



# MANIFEST

## MANIFEST FOR EN CIRKULÆR INDUSTRIEL ARKITEKTUR

Arkitekter skal medvirke til at skabe en økologisk balance i menneskets brug af klodens ressourcer. Vi må derfor arbejde aktivt på, at minimere byggeriets materialeforbrug og sikre genbrug og genanvendelse af eksisterende ressourcer til den højeste værdi i biologiske, tekniske og kulturelle kredsløb. Fremtidens industrielle arkitektur skal være baseret på cirkulære og økologiske principper og udløse nye arkitektoniske potentialer og kvaliteter – til gavn for dens brugere og for samfundet som helhed. Vi skal som arkitekter:

MAXIMERE kvaliteten og MINIMERE forbruget ud fra følgende VISIONER:

- at formindske et negativt økologisk aftryk
- at understøtte levedygtighed og mangfoldighed i både naturgrundlag – og i en kulturel og social kontekst
- at fastholde og optimere kvaliteter og ressourcer, der er forankret i den eksisterende bygningsmasse
- at forenkle måden hvorpå vi tænker byggeriets processer og løsningsmodeller

Øge værdiskabelsen fra GENANVENDELSE til GENBRUG ud fra følgende STRATEGIER:

- at genbruge de eksisterende ressourcer så direkte som muligt – det vil sige – hele bygninger > frem for elementer > frem for komponenter > frem for materialer
- at videreudvikle allerede gennemprøvede ideer og løsningsmodeller
- at standardisere byggesystemer og detaljeløsninger der sikrer, at elementer og komponenter kan genbruges uden yderligere forarbejdning
- at udvikle principper for design for adskillelse så materialer fra elementer og komponenter, der ikke kan direkte genbruges, kan tilbageføres direkte i enten naturens økosystemer eller industriens produktionsapparat
- at forenkle bygningens konstruktion ved en reducere af de anvendte materialetyper og antallet af forskellige detaljeløsninger

Udvikle TEKTONISKE LØSNINGER der bygger på CIRKULÆR TÆNKNING ud fra følgende PRINCIPPER:

- at minimere antallet af materialetyper i konstruktionen
- at bruge samlinger der kan adskilles
- at reducere spild i produktionen
- at anvende rene materialer uden unødige efter- eller overfladebehandling
- at udelade materialer der:
  - kræver store mængder ikke-fornybare energi i produktionsfasen
  - har store negative miljøpåvirkninger – for eksempel materialer baseret på råolie
  - kan være sundhedsskadelige for mennesker eller miljøet

# STRATEGIER

## DE 3 VÆGFRAGMENTER BYGGER PÅ FØLGENDE FÆLLES TEKTONISKE STRATEGIER

1. Vi arbejder kun med rene materialer, uden nævneværdigt indhold af miljøskadelige stoffer.
2. Vi arbejder hovedsaglig med byggekomponenter i industriens standardmål for at undgå unyttigt spild i byggeprocessen ved tilpasning og sammenbygning.
3. Vi arbejder med mindst mulig forarbejdningsgrad af materialer og byggekomponenter for at fastholde lange levetider og en høj fremtidig brugsværdi ved ny anvendelse.
4. Vi arbejder udelukkende med reversible samlinger, som er samlingsdetaljer, hvor delelementerne nemt kan skilles ad uden at blive beskadiget.
5. Vi arbejder med konstruktionstyper og enkle samlingsdetaljer, der let kan overføres til en industriel produktion baseret på automatiserede produktionsformer og præfabrikation.
6. Vores hovedprioritet er byggekomponenter med lavt CO<sub>2</sub> aftryk og få udvalgte avancerede CO<sub>2</sub>-tunge byggekomponenter til vigtige samlingsdetaljer.
7. Vores byggesystemer kombinerer standardelementer (har her hovedvægt) og få særligt tilpassede elementer, hvor sidstnævnte skal optage tolerancer i konstruktionen.
8. Vi arbejder med en tydelig tektonisk opbygning, hvor konstruktionens logik let kan aflæses uden behov for tunge beskrivelser og kompliceret tegningsmateriale.
9. Vi arbejder med materialer, der aktivt regulerer indeklimaet via deres termiske egenskaber. Konstruktionerne er bygget uden dampspærre. Materialerne er diffusionsåbne og kan derved optage og afgive fugt. Ligeså kan de indgå i passive systemer ved deres varmeakkumulerende egenskaber.

# PRINCIPPER

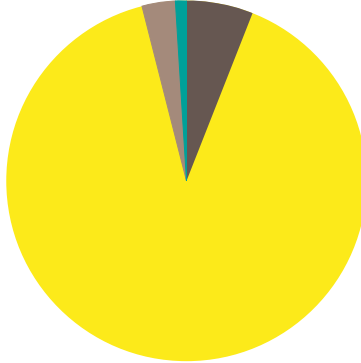
## CIRKULÆRE PRINCIPPER FOR VÆG I HALM

1. Der er anvendt rene organiske materialer; halm og træ med en begrænset levetid og lavt miljøaftryk, samt det højindustrialiserede materiale stål med en lang levetid og stort miljøaftryk.
2. Væggens udformning er afledt af standarddimensionerne på de anvendte halmballer (i dette tilfælde konstruktionsballer). Hertil kommer træbrædder i standardformat, tilskåret væggens mål og udformning. Endelig er væggen spændt sammen med gevindstænger i standardlængder og med møtrikker.
3. Halmen udgør langt hovedparten af væggen og er kun meget lidt forarbejdet (høstet og bundet til baller). Træbrædder er tilskåret i begrænset omfang for at passe til væggens geometri. Gevindstænger, beslag og møtrikker forarbejdes ikke yderligere, men bruges som de er og opnår her en høj genanvendelsesgrad.
4. Væggen er en stablet konstruktion i halmballer, der ved hjælp af gevindstænger spændes sammen mellem to trærammer. Disse samlinger er reversible og konstruktionen kan skilles ad igen. Halballernes overfladebehandling i lerpuds vil nemt kunne bankes af.
5. Samling af halmvæggen sker on-site, men de anvendte trærammer vil med fordel kunne produceres på en off-site produktionslinje og sammen med gevindstænger udvikles til samlet byggesystem.
6. Hoveddelen af konstruktionen er uforarbejdet halm og træ med et meget lille CO<sub>2</sub> aftryk og en meget lille mængde rustfrit stål med et højt CO<sub>2</sub> aftryk.
7. Væggen bygges op af standard halmballer og et demonterbart system af trærammer og gevindstænger, der optager tolerancer mellem bygningsdele. Byggesystemet kan videreudvikles til et modulsystem med særlige knudepunktsløsninger.
8. Væggen fremstår med en pudset overflade, opdelt i felter af rammesystemet i træ som herved tydeligt træder frem. Denne detalje formidler historien om; den stablede halm (der ikke umiddelbart er synlig) der spændes mellem trærammerne. Væggens beklædning videreformidler på den måde væggens konstruktive logik.
9. Halmvægge er defineret som lette ydervægskonstruktioner med høj isoleringsevne og har kun begrænsede varmeakkumulerende egenskaber. Dette afhænger bl.a. af deres overfladebehandling og inddækning. De kan overfladebehandles med forskellige kombinationer af lerpuds der giver en diffusionsåben konstruktion.

# DATA

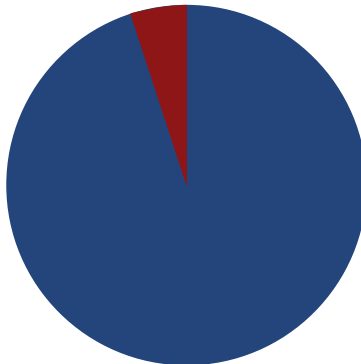
## MATERIALESAMMENSÆTNING AF HALMVÆGGEN

- 91% Halmballer
- 3% Træ
- 1% Forarbejdet stål
- 6% Lerpuds



## FORDELING AF ARBEJDSSTID

- 5% Prefabrikation
- 95% On-site



## PRIS

Halmvæg inkl. trærammer og lerpuds 157 kr. per m<sup>2</sup>

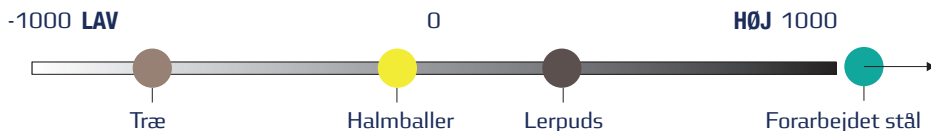


NB. Priserne er den rene materialeudgift, inkl. moms - men uden levering og arbejdstid indregnet.  
Udregnet efter 2017 priser.

# ANALYSER

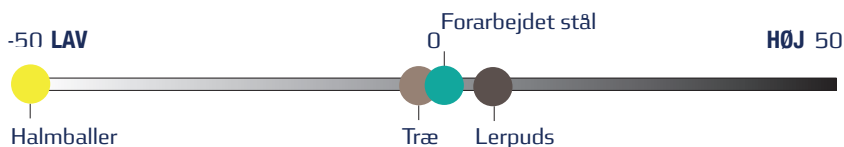
## KG CO2 EQ/M3 MATERIALE\*

Materialernes CO2-aftryk pr. m3



## KG CO2 EQ/M2 VÆG\*

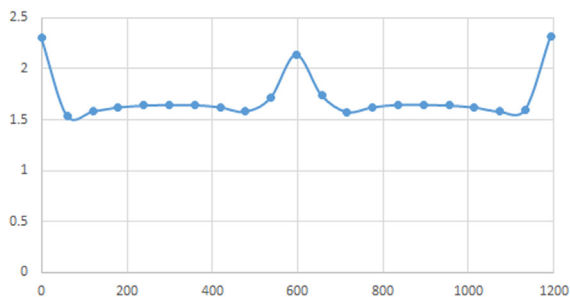
CO2-aftryk pr. m2 færdig væg



**HALMVÆGGENS SAMLEDE CO2 AFTRYK: -54 KG CO2 EQ PR. M2**

## U-VÆRDI BEREGNING\*

Energitab gennem materialer

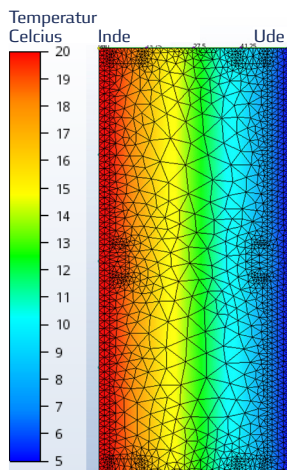


## VARMEFLUX I HALMVÆG (W/M2)

U-Værdi uden træ = 0,110 W/m²K

U-Værdi med træ = 0,143 W/m²K

\*Analyser udarbejdet på baggrund af EPDer (Environmental Product Declaration) fra [www.ökobaudat.de](http://www.ökobaudat.de) og data fra Institut Bauen und Umwelt ([www.ibu-epd.com](http://www.ibu-epd.com)). Beregninger af U-værdier foretaget af Daniel Sang-Hoon Lee.

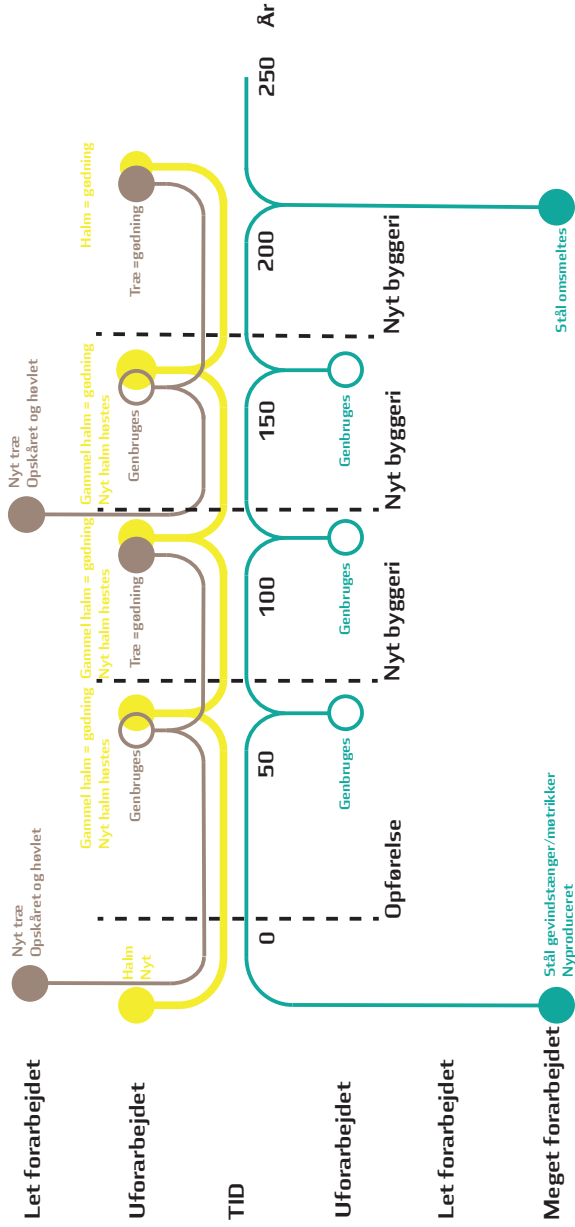


## TEMPERATURVARIATION

I halmvæggen

# NATUR

Meget forarbejdet



Let forarbejdet

Uforarbejdet

TID

Uforarbejdet

Let forarbejdet

Meget forarbejdet

# TEKNOLOGI



# TID

Diagrammet viser et livstidsscenario for vægfragmentet i halm, hvor vi søger at diskutere, hvordan både væggen som helhed og de enkelte materialer kan genbruges og genanvendes set i et 250-årigt perspektiv.

Diagrammet er bygget op omkring en tidslinje i midten med materialer fra naturens økosystemer over linjen og materialer fra teknologiens systemer under linjen. Jo længere man bevæger sig væk fra tidslinjen i begge retninger, desto mere er de pågældende materialer forarbejdet.

Når man ser på diagrammet, gør følgende punkter sig særligt gældende for halm-væggen:

- Væggen består af de 3 primære elementer halm, træ og stål, der har meget forskellige levetider. Dette betyder, at væggen som helhed ikke vil kunne genbruges.
- Halmen vil skulle udskiftes, hver gang væggen skal genopføres som del af en ny bygning. Halmen anvendes uforarbejdet og vil derfor kunne føres direkte tilbage til dets oprindelige økosystem i form af gødning til jorden.
- Trærammer og stålgevindene vil som samlet system kunne genbruges minimum en gang i et nyt byggeri.
- Stålgevindene vil kunne genbruges flere gange end trædelene, som vil skulle udskiftes efter ca. 100 år.

Vi har i diagrammet ikke taget højde for overfladebehandlingerne i for eksempel ler- /kalkpuds, som vil skulle løbende vedligeholdes.

# REFERENCER

## UDSTILLINGEN BYGGER PÅ FØLGENDE FORSKNINGSREFERENCER:

### PHD PROJEKTER - IGANGVÆRENDE

Det nye facadeparadigme Recycling – upcycling – disassembly i facadedesign, Pelle Munch-Petersen, ErhvervsPhD i samarbejde med Henning Larsen Arkitekter.

The Tectonics of Reuse – Learning sustainable insulation methods from the vernacular architecture, Henriette Ejstrup Andersen, PhD studerende

### PHD PROJEKTER - AFSLUTTEDE

Bæredygtige systemleverancer ved renovering: Ressourcer. Økologi. Nødvendighed. Schipull Kauschen, Jan. København: The Royal Danish Academy of Fine Arts, Schools of Architecture, Design and Conservation, 2014

Blokmur-murblok: det beklædte blokmurværks enkle natur og arkitektoniske potentiale. Leimand, Nini. København: Kunstakademiets Arkitektskole, 2008

### ØVRIG FORSKNING

Idékatalog over nye designstrategier for genanvendelse: Et InnoBYG-projekt. Frederiksen, Line Kjær; Stylsvig Madsen, Ulrik; Beim, Anne (Redaktør); Oberender, Anke (Redaktør); Butera, Stefania (Redaktør). 2 udg. København: Det Kongelige Danske Kunstakademis Skoler for Arkitektur, Design og Konservering, 2016.

Materialeatlas over byggematerialers genbrugs- og genanvendelsespotentialer: Et Inno-BYG-projekt. Butera, Stefania; Oberender, Anke; Stylsvig Madsen, Ulrik (Redaktør); Beim, Anne (Redaktør); Frederiksen, Line Kjær (Redaktør). 2 udg. Høje Tåstrup: Teknologisk Institut Byggeri, 2016

Genbyggstudier. Beim, Anne (Redaktør); Sørensen, Peter (Redaktør); Kjær Frederiksen, Line (Redaktør). 1. udg. København: Kunstakademiets Arkitektskole, 2015

Design for deconstruction. Heschler, Oliver; Popovic Larsen, Olga; Nielsen, Søren. Summary report of the cooperative activities of COST Action C25 - Sustainability of constructions: Integrated approach to life-time structural engineering. red. / Luis Braganca. Vol. 2 Brussels: European Science Foundation, COST, 2011

Fletmurværk af blokke og mursten. Jerl Jensen, Mette; Leimand, Nini. In: Tegl, Nr. 1, 2010

Sustainability, freedom and identity. Nielsen, Søren. In: Arkitektur DK, Vol. 2008/06, Nr. 06, 2008

Tectonic thinking in contemporary industrialized architecture. Beim, Anne. In: The Journal of Facade Design and Engineering, Vol. 1, Nr. 1/2, 8, 20.12.2013

Renarch: sustainable buildings, ressourceansvarlige huse. Sørensen, Peter; Larsen, Lena. København: Kunstakademiets Arkitektskole, Institut for Teknologi, 2006

Økologi og arkitektonisk kvalitet. Beim, Anne; Mossin, Natalie; Larsen, Lena. København: Kunstakademiets Arkitektskole, 2002



## OM UDS STILLINGEN: 3 VÆGFRAGMENTER: TRÆ – TEGL – HALM

Vi har taget afsæt i de konkrete udfordringer vi arkitekter og byggeindustri står overfor, når vi skal vende skuden og udvikle byggeri og arkitektur mod en cirkulær økonomi. Vi oplever dagens byggeteknik og byggeri som unødigt kompliceret. Byggetekniske løsninger skal idag leve op til en endeløs række af krav og regler – der ofte bestrider hinanden. I udgangspunktet understøtter nutidigt byggeskik – IKKE en arkitektur der har afsæt i cirkulær tænkning. Det er et faktum at eksisterende bygninger og nutidigt byggeri spiller en afgørende rolle i et større ressourceregnskab, hvor faktorer som; materialers levetid, sporing af farlige stoffer og krav til lavt miljøaftryk er centrale.

Som svar på dette – har vi udviklet tre forskellige væg-fragmenter; 'rå-vægge' i TRÆ, TEGL og HALM. De er IKKE REPRÆSENTATIONER af en virkelighed eller fantasifulde PROTOTYPER, men realistiske løsninger med afsæt i cirkulære principper, hvor materialer, konstruktioner og byggeteknik er 'renset ind til benet'. Vi har både set tilbage på historiske og vernakulære byggetraditioner og frem mod anvendelse af nye industrialiserede byggekomponenter og -systemer. De tre mur-fragmenter skal ses som løbende eksperimenter, hvor vi tester mulige løsninger for fremtiden.

For at fokusere og forenkle det bagvedliggende analyse- og udviklingsarbejde og ligedan de forventede diskussioner – har vi valgt at vise en ikke færdig projekteret væg, med udvendig regnskærm og indvendige overflader. Ligeledes for at mindske kompleksitetsgraden viser vi kun vertikale hjørnesamlinger og udelader konstruktionssamlinger ved fundament, dæk og tag.

Udviklingen af de 3 VÆG-FRAGMENTER, MANIFEST, TEKTONISKE STRATEGIER og CIRKULÆRE BYGGEPRINCIPPER tager afsæt i aktuel og forudgående forskning i CINARK – Center for Industriel Arkitektur – se referenceliste.

## OM CINARK

CINARK – Center for Industriel Arkitektur er et arkitektonisk forskningscenter. Centeret udvikler, akkumulerer og koordinerer forsknings- og uddannelsesaktiviteter, der fokuserer på industriel arkitektur ud fra et bæredygtigt perspektiv. En central aktivitet er at indkredse og kritisk udvikle de særlige begreber, egenskaber, metoder, processer og produkter, der definerer en bæredygtig industriel arkitektur. Centret har til formål at afdække indlejrede og nuværende problemer og potentialer. Centret tilstræber at arbejde tæt sammen med arkitektvirksomheder, centrale aktører i byggebranchen og relaterede brancheorganisationer.

## TEAMET BAG UDS STILLINGEN

Anne Beim, Line Kjær Frederiksen, Ulrik Stylsvig Madsen, Pelle Munch-Petersen & Simon Sköld.

## TAK FOR HJÆLPEN TIL

Daniel Sang-Hoon Lee, Lektor KADK. Nini Leimand, Lektor KADK. Peter Sørensen, Timelærer KADK. Søren Blicher-Nielsen, House Arkitekter. Jan Schipull Kauschen, Tegnestuen Vandkunsten. Ask Askholm, Murermester. Murere Kren & Mikkel, Egen Vinding & Datter. Søren Obel, KADK. Genbyg A/S. Træfiber Danmark, Component A/S.



Det Kongelige Danske Kunstakademiske Skoler  
for Arkitektur, Design og Konservering

**CINARK**  
center for industriel arkitektur