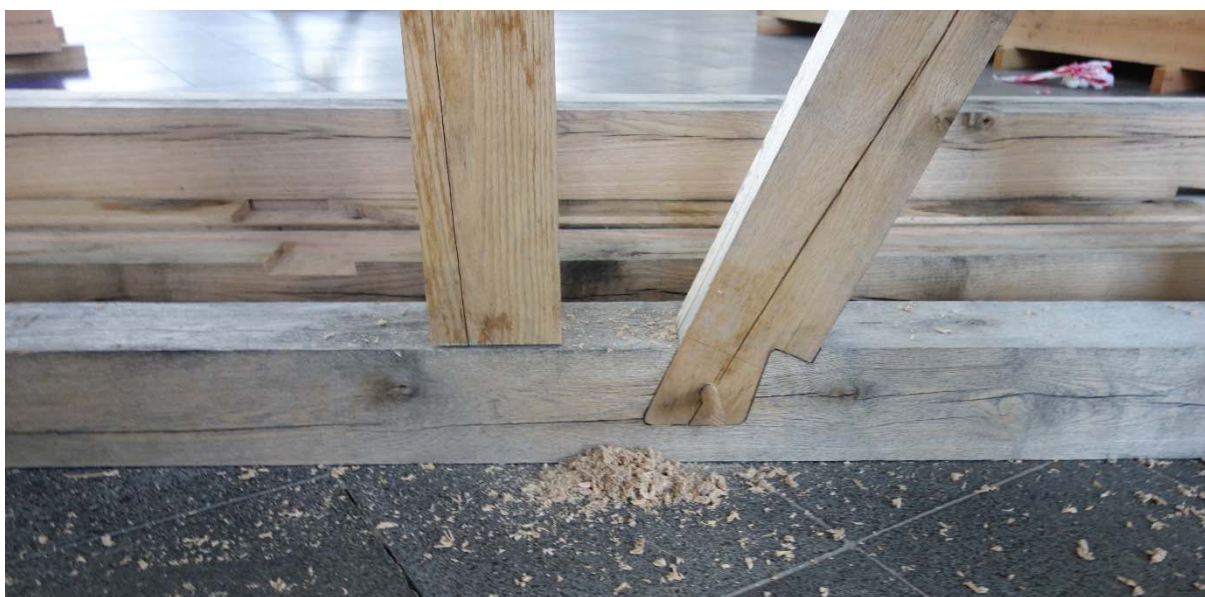


Nye bæredygtige TRÆHUSE – helt af TRÆ - med vedvarende holdbarhed



**Forsknings- og forsøgshus på udstillingen på KADK
om Klimaforandringer den 5. september – 15. november 2019**

Af Søren Vadstrup, arkitekt og forskningslektor på KADK



Det store spørgsmål i disse år er naturligvis hvordan vi i Danmark – og Verden – kan opnå et stop for CO₂-udledningen i 2050, og en 70% reduktion i 2030.

Her viser et forskningsprojekt på Kunstakademiets Arkitektskole, at byggebranchen kan komme med et meget væsentligt bidrag. Og hvor de almindelige forbrugerråd i forhold til at reducere vores CO₂-aftryk, nemlig ved at begrænse **B**iler, **B**øffer og **B**adeferier, kræver en større omstilling og markante afsavn fra forbrugerne, kan byggebranchen levere en langt mere anseelig reduktion, *uden* nævneværdige begrænsninger i vores hverdag.

Byggebranchen belaster især miljøet og CO₂-balancen indenfor tre områder:

1. Gennem et meget stort forbrug af Jordens begrænsede naturressourcer som sand/grus, ler, kridtsten, vand, jern, råolie og træ fra store skove, der er 100 år om at vokse op.
2. Gennem CO₂-udledningen fra produktionen af meget energikrævende byggematerialer: Beton, kalkmørtel, rudeglas, mineraluld, mursten og stålprofiler m.m. Eller meget lidt holdbare byggematerialer som spånplader, limtræ, plastik, gipsplader mm. Selve opvarmningen af bygningerne vil om forholdsvis kort tid, og inden 2030, kunne være fossilfri og bygge på vedvarende energikilder.
3. Produktion og deponering af byggeaffald fra nedrivninger, produktion og spild af byggematerialer fra byggeprojekter.

Det mest bæredygtige, miljøvenlige og fornuftige vi som lande, byer, byggebranche og borgere kan gøre er derfor at sørge for at de bygninger, vi omgiver os med, opfylder de 3 L'er:

- **L**ang holdbarhed – hvilket sparer naturressourcer, CO₂ og byggeaffald, i forhold til kort levetid
- **L**agring af CO₂ – bl.a. ved at bevare eksisterende træ, rudeglas, mursten, stål og beton
- **L**øbende vedligeholdelse – med de klassiske materialer og metoder

Bemærk at ingen af disse tre krav medfører begrænsninger eller afsavn i vores hverdag som mennesker.

Eksisterende bygningers levetider

Forskningsprojektet viser entydigt, baseret på mange års og mange bygningers referencer og erfaringer, at eksisterende bygninger, der er opført *før* ca. 1960-70, og herefter vedligeholdes rigtigt, med de rigtige materialer og metoder – hvilket også er 'gennemforsket' og ikke særlig vanskeligt eller dyrt – under normale omstændigheder kan holde i mindst 200 år *mere*. Det vil sige i praksis ubegrænset. Både i kraft af bygningernes oprindelige materialer og i kraft af deres ofte uhyre fleksible indretning. Vi kalder det 'vedvarende holdbarhed', idet 'miljø sagen' dermed kan operere med både vedvarende energikilder og vedvarende holdbarhed. Ud over bygninger kan møbler, værktøj, gryder, bestik og glas også holde vedvarende. Måske også tøj.

Se Publikationen: *Vedvarende holdbarhed – bæredygtighed og cirkulær økonomi for bygninger* af Søren Vadstrup (<https://www.bevardithus.dk/produkt/vedvarende-holdbarhed/>)

Den mest bæredygtige bygning af alle er derfor en *eksisterende bygning*, der kan være over 150-200 år, og som bevares, vedligeholdes og ombygges på en kvalificeret måde, så den kan holde i yderligere 150-200 år – det vil sige *vedvarende*.

Hvad angår det konkrete energiforbrug i nye og gamle bygninger, afhænger dette, viser det sig, mere af bygningens anvendelse og beboernes og brugernes adfærd, end af bygningen i sig selv. Så her er der ikke den store forskel på gamle og nye bygninger. Og hvis man anvender fossilfri og vedvarende energikilder, belaster energiforbruget til opvarmning af bygninger, ikke CO₂-balancen.



Tyrstrup bullade ved Christiansfeld. Opført i 1668. Vi kan se at der stort set ikke er skiftet nu i de bærende konstruktioner eller ydervæggene siden 1668.

Nye bygningers levetider

Når det gælder *ældre* bygningers levetider, ved vi som nævnt ret præcist, hvor gamle de er, og hvor længe de, korrekt vedligeholdt, kan holde i fremtiden. Men dette vigtige spørgsmål kan mærkeligt nok ikke besvares for helt *nye bygninger*.

Vi har derfor på Kunstakademiets Arkitektskole igangsat et nyt forskningsprojekt, der skal svare på dette spørgsmål, ud fra de sidste 30 års erfaringer med de byggematerialer og bygningskonstruktioner, der har været benyttet her. Vi har i første omgang holdt os til nye bygninger af *træ*. Nye betonhuse med forskellige beklædninger, herunder træ, mursten eller metal, må vente til senere.

Vi har nemlig bygninger af træ i Danmark, der er mellem 350 og 450 år gamle, som vi med god ret kan kalde 'vedvarende holdbare', idet de uden problemer kan holde mindst lige så længe *yderligere*, hvis de vedligeholdes med de rigtige materialer og metoder. Hvis de ikke gør det, rådner de derimod efter ganske få år. Jeg tænker her på nogle af vores ældste bindingsværkshuse fra 1500- og 1600-tallet i Ribe, Helsingør, Køge, Randers og Aalborg m.fl. Og jeg tænker også på de tilbagevendende bulhuse, d.v.s. træbygninger heält af træ, der findes i Sønderjylland.

Man kan nye bygninger af træ matche denne tilsyneladende tårnhøje kvalitet og lange holdbarhed som de gamle træbygninger påviseligt har?

Analyse af nye bæredygtige huse af træ

En analyse af de træhuse, der bygges i Danmark – og i Verden, i de seneste 30 år, viser, at kun meget få af disse er decideret bæredygtige, efter ovennævnte definition. Især fordi deres holdbarhed er alt for ringe, kun ca. 60-80 år. Herefter 'frigives' den låste CO₂ i træet alt for hurtigt til atmosfæren, til at det kan kaldes klimavenligt. Derved producerer træbygninger med en holdbarhed under 60-80 år også store mængder byggeaffald og opførelsen af flere nye huse på deres plads, forbruger af Jordens begrænsede naturressourcer.

Det der gør de fleste nye træhuse ikke særligt holdbare i dag, og dermed ikke-bæredygtige, er:

1. De anvender træ i meget ringe kvalitet af *gran eller fyr* (splintved) – eller importeret tropisk træ.
2. De anvender *tilfældigt opskåret* træ, indeholdende *marv*, der danner revner, vrider og krummer
3. De konstruktive samlinger udføres med søm- og skruebeslag eller *bolte*. Eller træet limes sammen
4. Der anvendes *kunstigt tørret* træ, der bruger en masse energi til udtørringen
5. Træet overfladebehandles med *plastikmaling* – eller der anvendes helt ubehandlet træ.

Alle fem punkter, måske undtaget det importerede tropiske træ, medfører af især træfacaderne og trækonstruktionerne rådner relativt hurtigt - som følge af det generelt vandsugende træ, yderligere opfugtning fra marvstrålernes revner, eller fra kondens omkring jernbeslagene, samt opfugtningen under en tæt plastikmaling m.m.

Dertil kommer anvendelsen af trykimprægneret træ, vacuumimprægneret træ, mineraluld som isoleringsmateriale, plastikdampspærre i konstruktionen samt træ, plastik- eller aluminiumsvinduer med udvendige termo- eller energi-ruder, der i sig selv har en levetid på sølle 20-30 år, før de skal skiftes ud. Alt sammen tælle voldsomt ned på holdbarheds- og bæredygtigheds-skalaen.



Demonstration af en helt tæt dampspærre i plastik i en moderne træbygning. En såkaldt 'blow-door-test' viser for effektiv tæthed bør være.

Billedet viser dermed også hvilken stor plasticpose, moderne træbygninger, både befinder sig i, indeholder og er.

Nye træhuse – helt af træ

Men hvordan ser en ny bygning af træ ud, der *påviseligt* kan holde i mere end 60-80 år? I projektet 'Nye bæredygtige TRÆHUSE helt af træ - med vedvarende holdbarhed' har vi 'kopieret' de vigtigste materiale-mæssige og konstruktive elementer fra den historiske træbygningsteknik i Danmark: Et eksisterende sønderjysk *bulhus fra 1668*, der således *foreløbigt* har holdt i 350 år. Det er derfor projektets hypotese, at vores 'forsøgshus' vil kunne holde *mindst* lige så længe.

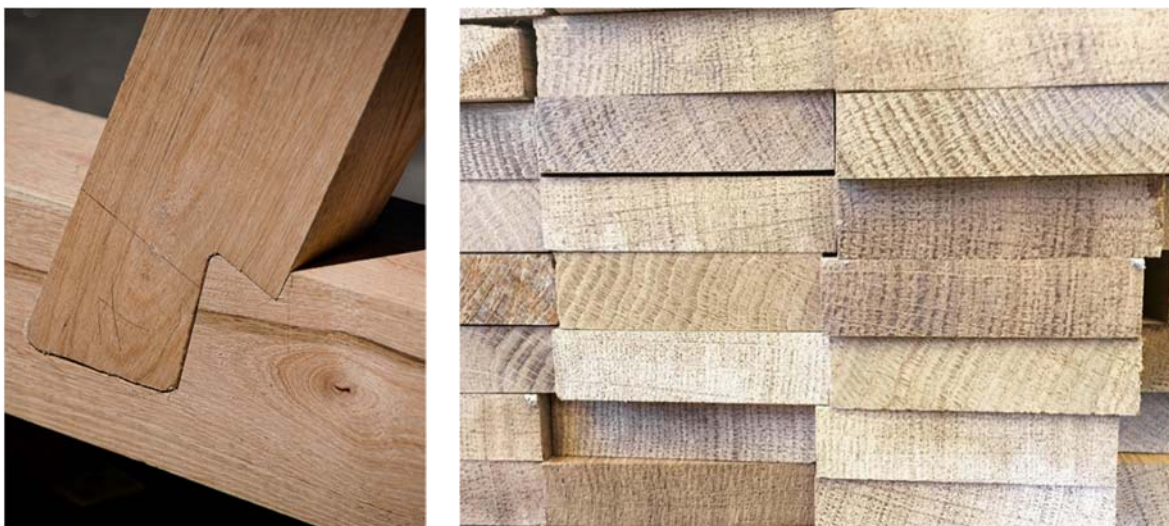


Til venstre: Japansk, såkaldt 'Hinoki' (= spækhugger) – samling, en løs tap med låsekiler, hjembragt fra Japan.
Til højre: Den tilsvarende CNC-fræsede løse tap med låsekiler, der kan samle to bjælkeender, uden jernbeslag.

Det gælder bl.a.:

1. Anvendelse af lokalt dansk egetræ til konstruktionen og den udvendige beklædning
2. Selektivt opskåret træ, f.eks. spejlskåret træ, til de forskellige elementer,
3. Udførelse af alle samlinger træ med træ, uden nogen form for jern
4. Anvendelsen af naturligt tørret – her endda helt nyfældet træ
5. Overfladebehandling med kapillaråbne, klassiske malingstyper

For at påvise, at en træbygning helt af træ kan bygges i dag, også prismæssigt, er der som led i projektet udviklet og udført CNC-fræsede samlinger, der efterfølgende kan masseproduceres.



Til venstre: CNC-fræsede svalehaleblad. Maskinen kan kun udføre afrundede hjørner, hvilket giver husets detaljer et helt særligt, men ret smukt, udseende. Nå først en detalje som denne er programmeret til maskinen, kan den indgå i hundredevis, ja tusindvis, af andre bygninger, der herefter kan udføres uden jernbeslag eller limning.

Til højre: Spejlskårne planker af egetræ. Spejlene eller 'marvstrålerne' ses som tynde, mørke streger, vinkelret på endetræets årer. Spejlene virker som vandtætte 'skotter' i træet, men medfører også revner og flækker. Udvendige brædder og planker skal derfor altid have marvstrålerne anbragt parallelt med husets yderside – eller i en vinkel på max. 20-30 grader. Endetræets årer skal danne en vinkel med ydersiden på 90-60 grader. Bedst nærmest 90 grader. Der må ikke forekomme *marv* i de udvendige trædele, da marven suger revner og suger vand. Spejlskåret træ (uden marv) har erfaringsmæssigt en holdbarhed i udemiljøet på mindst 200-300 år. Planskåret træ, hvor endetræets årer danner en vinkel mod ydersiden på 0 – 60 grader holder erfaringsmæssigt i 60-80 år – fyrretræ 20-30 år.

Kan man overhovedet indrette en bygning, konstrueret som et bulhus fra 1600-tallet, til en moderne bolig? I Visby på Gotland ligger der alene 500 bulhuse, der er indrettet og beboet efter fuld moderne standard. Og på resten af Gotland mindst lige så mange. Så det kan der vist ikke være tvivl om.

Varmeisoleringen af huset kan ske med cellulosefibre, lokaltdyrket hør- eller hamp, ålegræs, kork eller muslingeskaller. Plastikdampspærre er naturligvis forbudt.



Bulhus fra 1700-tallet i Visby på Gotland. Vedligeholdt med gotlandsk trætjære.

Høj, middel og lav grad af bæredygtighed for bygninger

I dagens Danmark tales der ustandseligt om bæredygtighed, bæredygtighed og bæredygtighed. Men når det drejer sig om *bygninger*, bør vi skelne mellem flere grader af bæredygtighed, idet vedligeholdelsen og ombygningen af eksisterende bygninger naturligvis indgår i denne klassificering:

1: Høj grad af bæredygtighed

- Ingen nedrivning af bygninger på stedet (der medfører affald og udleder CO₂ fra bl.a. træ)
- Påviselig levetid på mindst 200 år (sml. en eksist. bygning 1:1. Stråtag og skorstenspiber undt.)
- Målt energiforbrug på under 30 kWh/m² år over 5 år (fra fossilfrie energiformer)
- 100% lokale materialer (Danmark/Norden – dog også genbrugsmaterialer herfra)
- Max. 0,5 tons byggeaffald under opførelsen
- Høj grad af lagring af CO₂ i bygningen (træ, genbrugsmursten, eksist. glas m.m.)

2: Middel grad af bæredygtighed

- Ingen nedrivning af bygninger på stedet (der medfører affald og udleder CO₂ fra bl.a. træ)
- Påviselig levetid under 200 år (sammenlignet med eksist. bygninger 1:1 i samme konstruktion)
- Målt energiforbrug på under 30 kWh/m² år over 5 år (fra fossilfrie energiformer)
- 50% lokale materialer
- Mere end 0,5 tons byggeaffald

3: Lav grad af bæredygtighed

- Nedrivning af bygninger på stedet (dette medfører affald og udleder CO₂ fra bl.a. træ)
- Påviselig levetid under 100 år – hvis man sammenligner med eksisterende bygninger 1:1
- Målt energiforbrug på under 30 kWh/m² år over 5 år (fra fossilfrie energiformer)
- Under 50% lokale materialer
- Mere end 0,5 tons byggeaffald

Et forsknings- og forsøgshus

For at vise, at det kan lade sig gøre at opføre en bygning af træ *med høj grad af bæredygtighed* har vi, sammen med Teknisk Skole i København, bygget et forsøgshus 1:1, der i øjeblikket er udstillet på Arkitektskolen i København.

Bygningen er opført helt af træ, som en kopi af et dansk bulhus fra 1600-tallet, med selektivt opskåret træ, bl.a. spejlskærne bulplanker. Dety giver en *påviselig* levetid på mindst 350 år. Huset er udført uden nogen former for jernbeslag, søm, skruer eller sammenlimet træ. Træsamlingerne er programmeret og udført på en CNC-fræsemaskine af snedkerlærlinge. Som eksperiment er nogle af træsamlingerne inspireret fra japanske og færøske træhus-detaller. Træet er dansk egetræ fra bl.a. Fyn. Som eksperiment er træet er ikke kunstigt tørret, men fældet for nyligt – såkaldt 'grønt træ'.



Forsknings- og forsøgsprojektet:

Nye bæredygtige træhuse – helt af TRÆ - med vedvarende holdbarhed har:

- *Lang holdbarhed – over 200 år og i praksis vedvarende*
- *Lagring af CO₂ – gennem træmaterialer i kraftige dimensioner*
- *Løbende vedligeholdelse med de klassiske materialer og metoder*

Derudover benytter et ægte bæredygtigt træhus:

- *Lokale træmaterialer.*
- *Lufttørret træ.*
- *Lasker og knudepunkter – samlet træ med træ.*
- *Selektivt opskåret træ - bl.a. spejlskåret træ*
- *Kapillaråbne malinger til udvendig overfladebehandling af træet - linoliemaling eller trætjærefarve*

Forsøgshuset er udført på Snedkerskolen på Københavns Tekniske Skole i april-maj måned 2019, og efterfølgende færdiggjort af elever på skolepraktik (foto).

Medvirkende lærere:

Jørgen Richter, Next, Jens Kjartan Mogensen, Next, Mikkel Andersen, Next, Karsten Birk, Next, Thorsten Schmaltz, Next, Toke Bang, Next.

Medforsker på projektet fra KADK:

phd-studerende Søren Bak-Andersen.