



Forskningspapir 2:

Nye bæredygtige træhuse – helt af TRÆ - med vedvarende holdbarhed

Af Søren Vadstrup

Læs også: Vadstrup, Søren: *Vedvarende holdbarhed – bæredygtighed og cirkulær økonomi for bygninger*. (2018): <https://www.bevardithus.dk/produkt/vedvarende-holdbarhed/>

Træbygninger og CO2

'Træ er fremtidens bæredygtige byggemateriale' – hører og læser vi gang på gang. Men det er en sandhed med modifikationer. Faktisk kan de nye bygninger af træ, vi bygger i dag, ikke hjælpe meget til at nå Regeringens mål om en reduktion af CO₂-udledningen i Danmark på 70% inden 2030! Og det kan de ikke, fordi de er bygget i for ringe kvalitet – og har derfor en forventet levetid på 60-80 år.



Tyrstrup bullade, opført i 1668.

Når vi kikker på dagens træmaterialer, set i forhold til CO₂-balancen, så optager træer i naturen som bekendt CO₂ og producerer O₂ til atmosfæren. Men når bladene eller nålene, samt grene m.v., falder ned og rådner i naturen, udleder kuldioxid og bruger ilt. Altså den omvendte proces.

Hvis vi skal bygge huse af træ, der kan holde i mere end 60-80 år, skal vi for det første undgå at bruge sømbeslag, skruer og bolte i konstruktionen. Dernæst, og som en konsekvens af dette, skal alle træsamlinger udføres træ med træ. Dette kræver at det træ, der anvendes har en dimension for tømmerets vedkommende på 12 x 12 cm og for udvendige brædder 12 x 3 cm.

Derfor skal de træarter som fyr, douglas, gran, tuja og eg, der anvendes til bygningstømmer, planker og brædder, have vokset sig til en passende størrelse, hvilket først sker efter ca. 80-90 år, hvor stammen er ca. 60-70 cm i diameter, inkl. bark og splint. Når træet er fældet og skovbunden gjort klar til ny-plantning, planter man et nyt træ i stedet. Selv om man har gjort dette i århundreder i Danmark, og vi derfor hele tiden har store træer til rådighed, må det alligevel være tilladt at opstille følgende 'regnestykke' i forhold til CO₂. Nemlig at hvis den træbygning, der er kommet ud af det fældede træ, holder i kortere tid end 80 år, så er CO₂-balancen for det 80-årige træ, der har været anvendt til bygningen, negativ. Og dermed også for naturen og atmosfæren. Jo kortere tid, jo mere negativt bidrager træet til CO₂-balancen. For så udleder de træmaterialer, som den efter kun 70-80 år nedrevne bygning indeholder, alt det CO₂, som træet har 'optjent', gennem afbrænding eller forrådnelse.

Men hvis bygningen holder længere end 80 år, så 'låser' den CO₂ og bidrager dermed positivt til naturens og atmosfærens CO₂-balance. Og hvis den holder i 200 år, bidrager den endnu mere, nærmest for hvert år den undgår at blive revet ned.

Nye træbygninger, der holder under 60-80 år belaster CO2-ballancen

Nu ved jeg godt, at både de moderne træhuse, der bygges af tynde lægter, samlet med sømbeslag, eller af plader af sammenlimet træ (CLT), fortrinsvis anvender mindre træer i gran, der ikke har stået særlig længe i skoven. Men så har de heller ikke lagret særlig meget CO2.

Derfor, hvis en træbygning holder *kortere tid* end 80 år, måske fordi det er så dårligt bygget at træmaterialerne er rådne efter den tid, belaster den atmosfærens CO2-balance *tre gange*: Først gennem CO2-udledningen fra det nedrevne tømmeres afbrænding eller forrådnelse efter de 80 år eller mindre. Dernæst gennem den negative CO2-balance, som det plantede erstatningstræ har, før det har vokset op i 80 år og for det tredje *tabet* af den indlejrede, låste eller oplagrede CO2 i træmaterialerne, som et godt bygget træhus, der har holdt i *over* 80 år, og fortsat lever videre, vil repræsentere, her og nu.

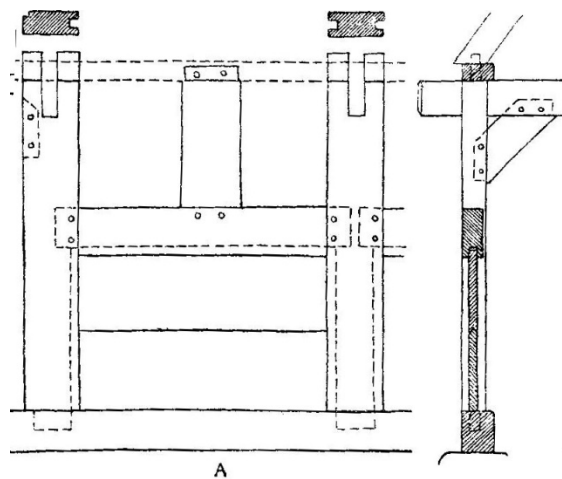
En træbygning, der holder kortere tid end 80 år, forringer således klodens CO2-balance dobbelt så meget, i forhold til en træbygning, der holder i længere tid – og også i forhold til en eksisterende træbygning, der allerede har holdt i 100-200 år. En træbygning, der kan holde i mere end 80 år, forbedrer således klodens CO2-regnskab to gange i forhold hertil.

En *eksisterende* træbygning på over 100 år, der fortsat bevares og vedligeholdes, er tilmed et plus for CO2-ballancen – *her og nu*, bl.a. i forhold til det meget 'kritiske' CO2-regnskab, med en ønsket reduktion på 70%, som Regeringen og befolkningen har frem til 2030. Nye træbygninger, der bygges i dag, er først CO2-neutrale om 80 år, det vil sige over 70 år *efter* målet i 2030, fordi de træer, vi genplanter nu, er 80 år om at erstatte de fældede træer, rent CO2-mæssigt.

Hvor længe kan bygninger helt af træ holde i dagens Danmark?

Men hvordan kan man så *påvise*, at en bygning af træ kan og vil holde i mindst 200 år? Specielt for et materiale som træ, der er forholdsvis skrøbeligt – det kan rådne, revne, rustsprænge og rejse sig, når det bliver vådt – er det derfor vigtigt at se på, hvordan disse problemer har været løst, rent historisk, i ældre bygninger. Og det er da også baggrunden for vores strategi og forslag.

Vi har tegnet og bygget et forsøgshus, der er konstruktivt, materialemæssigt og i sine grunddetaljer en kopi af et *bulhus*, der har stået på samme sted som lade til Tyrstrup Præstegård siden 1668. Det er 340 år. Og huset kan, korrekt vedligeholdt, holde mindst lige så længe *til*. Det står ikke og er ved at falde sammen.



Tyrstrup Bullade ved Christiansfeld i Sønderjylland, opført 1668 – og ikke flyttet siden.

Bulladen er bygget af egetræ. Selve bulplankerne er spejlskårne og monteret vandrette i en not i siden af stolperne. Over soklen går de ud over fodremmen med en lille vandnæse. På mange af de opmålte bulhuse, men ikke på dette, er bjælkerne gennemstukne i stolperne, og låst med to kiler i den såkaldte 'styrtrumskonstruktion', der har 'aner' tilbage til jernalderen og vikingetiden. Den langsgående afstivningen sker med indvendige skråbånd med et svalehaleblad i hver ende. Den tværgående med kraftige knægte, der er tappet på. Alle samlinger i bulhusene er udført træ med træ – uden jern.

Bulhuse på Gotland

Men kan man indrette et bulhus, der er bygget som i 1600-tallet til en moderne bolig? Det rejste vi til Visby på Gotland for at se. Her ligger der alene i Visby mindst 400 bygninger, i en tilsvarende bulkonstruktion, heraf mange fra 1700- og 1800-tallet, der tjener som fuldt moderne enfamiliehuse den dag i dag. Mange endda i to etager. På resten af Gotland lige så mange. Så en bygningstype som denne kan sagtens benyttes til moderne, komfortable boliger, og også som nybyggeri i 2019.

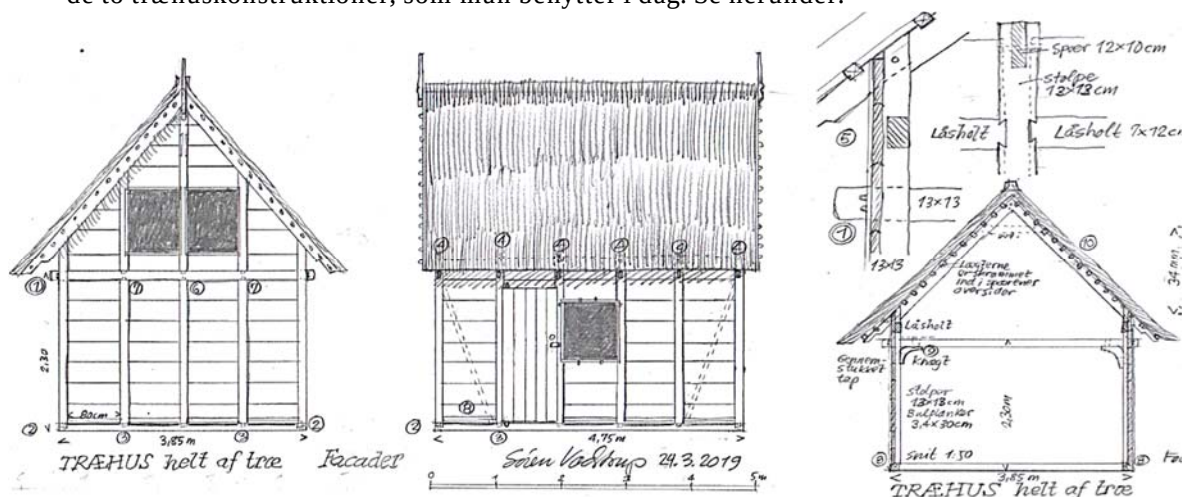


Et meget lille og et lidt større, beboet, bulhus på Gotland. Man kan meget tydeligt se, at de er i 'familie'. En meget stor fordel ved bulhuse er nemlig, at de kan forlænges, forkortes og forhøjes. De findes derfor også i 2 etager. Endelig kan de også skilles ad og flyttes.

Projektets hypoteser

Forskningsprojektets hypotese er, at:

- Hvis man omhyggeligt 'kopierer' ældre konstruktioner, materialer og detaljer, der har en beviselig levetid på foreløbigt 200 år, så vil den nye konstruktion leve lige så længe - løbende vedligeholdt med korrekte materialer, men uden væsentlige udskiftninger af konstruktioner eller materialer i denne periode.
- Man kan i dag fremskaffe de nødvendige materialer i de samme kvaliteter som oprindeligt, og fremstille e historiske trækonstruktioner, eksempelvis stolpeværks- eller bulhuse eller vinduer i træ for den sags skyld, med moderne og effektive metoder, *uden* at miste den oprindelige kvalitet og forventede levetid på 200 år, men til en konkurrencedygtig pris.
- Og derved opnå en pris per kvadratmeter for huset, der svarer til andre tilsvarende byggerier af træ, eksempelvis massivtræ (CLT) eller 'lægtekonstruktioner', samlet med søm- og skruebeslag.
- Opnå et energiforbrug på linje med tilsvarende bygninger i træ, i de ovennævnte konstruktioner.
- Vi vil samtidigt vise, at et bulhus eller et brædebeklædt stolpeværkshus på *alle* parametre, levetid (200 år), CO₂-belastning, vedligeholdelsesomkostninger, energiforbrug og miljøbelastning ved drift og vedligeholdelse, genanvendelighed, cirkulær økonomi m.v., er *mere bæredygtigt* end de to træhuskonstruktioner, som man benytter i dag. Se herunder.



Den første skitse af bulhuset, der skulle bygges på Københavns Tekniske Skole på 3 uger i april-maj måned 2019



Analyse af moderne 'bæredygtigt' byggeri i træ (I)

Analysen af de mest forekommende træhuse i Danmark, bestående af bræddebeklædte lægtekonstruktioner viser, at disse er fuld af *ikke-bæredygtige* materialer og løsninger.

- Selve konstruktionerne består bl.a. af tynde lægter/planker, samt spær af limtræ, samlet med bolte, selvskærende skruer og sømbeslag af jern.
- Der benyttes der kunstigt tørret træ, der sluger en masse energi, frem for naturlig lufttørring
- Det anvendte træ er generelt i dårlig kvalitet og indeholder fortrinsvis splintved indeholdende marv, og det har en helt tilfældig opskæring (retning af marv-strålerne).
- Klimaskærmen er isoleret med mineraluld og forsynet med tætte plastikdampspærre, og
- Udvendigt er træet plastikmalet eller eventuelt umalet, evt. også med trykimprægneret træ.

Bygningen har en maksimal levetid på 30-50 år, i forhold til plastikmembranernes tæthed, og dermed fugtphobning i konstruktionen, kondens og råd omkring jernbeslag og skruer, sommerkondens, limtræ, der går op i limningen, plastikmalet eller umalet udvendigt træ (splintved). Mineraluld og trykimprægnering belaster miljøet, herunder også ved evt. bortskaffelse, indvendig plastikmaling skaber dårligt indeklima, metal-beslag forværrer skader ved brand og fremmer selve brandudviklingen.



I alle moderne træbygninger benyttes 'maskinsømning' eller '-skruning', der tit banker/skruer søm eller skruer for langt ind i træet, så dette flækker og der opstår vandlommer, der får træet til at rådne hurtigere. Så disse bræddebeklædninger holder næppe mere end 30-50 år.

Metalbeslag, skruer, søm og bolte af jern – forkorter træbygningers levetid

Ud over en dårlig/tilfældig trækvalitet og for tætte overfladebehandlinger, har brugen af metalbeslag, søm, skruer og bolte af jern størst negativ effekt på træbygningers holdbarhed og levetid. Sømning med jernsøm af udvendige bræddebeklædninger har dog en holdbarhed på cirka 200 år i Danmark, men de udgør helt klart det svageste punkt i konstruktionen.

Erfaringerne fra restaureringer på ældre bygninger, hvor der for at spare penge er anvendt metalbeslag, samt skruer, søm og bolte, i stedet for de traditionelle samlinger, træ med træ, viser helt tydeligt, at jernet medfører kuldebroer, kondens og dermed opfugtning samt råd og svamp i træet. Dette forkorter konstruktionens levetid til max. 60-80 år. I tilfælde af brand medfører de varmeabsorberende metalbeslag, søm og skruer også en hurtigere brandspredning, plus at træet som det første forkuller rundt om jernet, så konstruktionen falder fra hinanden.

Analyse af moderne 'bæredygtigt' byggeri i træ (II)

Nye træhuse af massivtræ (CLT- Cross-Laminated-Timber)

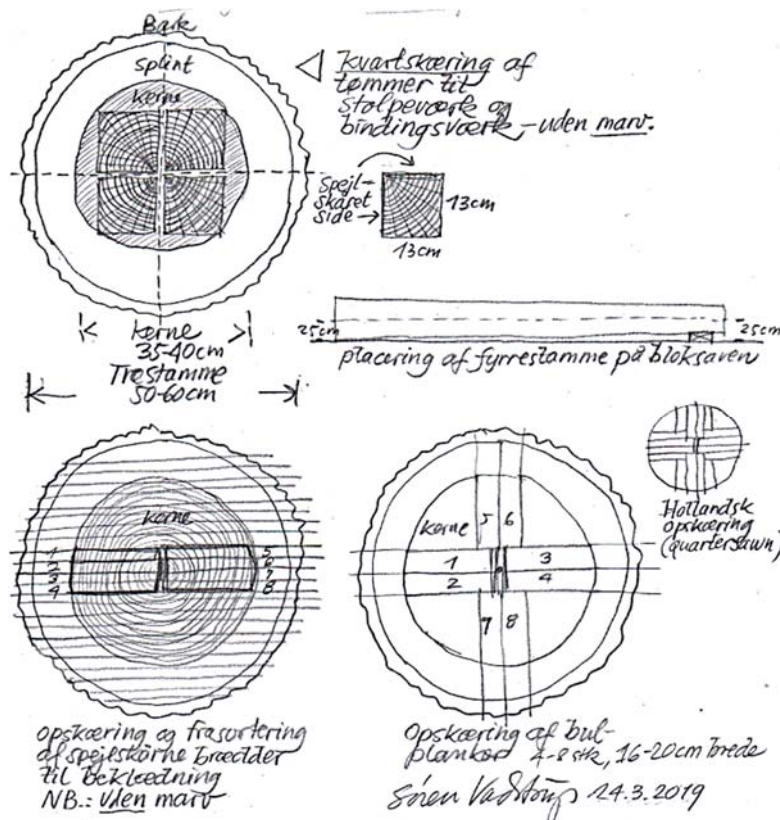
- Konstruktionen repræsenterer generelt træ i ringe trækvalitet (densitet) og tilfældig opskæring (retning af marv-strålerne).
- Deres integrerede isoleringsmaterialer har ikke bevist en levetid på over 30-50 år i praksis,
- Limtræ og udvendig sammenlimning har ikke bevist en levetid på over 30-50 år i praksis.
- Kraftige træ-dimensioner direkte i udemiljøet er fugtet op i længere tid end spinklere dimensioner, og rådner derfor hurtigere.
- Metalbeslag til samlingerne udgør kondens-fælder, der skaber råd og forværrer brandskader og udvikling af brande. Både udvendig og indvendig plastikmaling forværrer træets fugtforhold og mindsker dets levetid.

Forsøgshus #1

Vores forsøgshus adskiller sig fra andre nye bæredygtige bygninger af træ i Danmark af træ ved:

1. At have en *påviselig holdbarhed* på mindst 200 år (stråtage og skorstenspiber undtaget)
 - Ved at kopiere et eksisterende bulhus, der påviseligt har holdt 340 år.
2. At benytte træ, der har groet i *danske skove*, og derfor har kort transport til byggepladsen.
 - Her egetræ, der heller ikke er ovntørret, men ligesom i renæssancen, 'grønt'.
3. At benytte *selektivt opskåret træ*, uden marv og splint, hvor træets marvstråler ligger optimalt.
 - specielt spejlskåret og kvartskåret egetræ til de udvendige konstruktioner
4. At benytte samlinger af *træ med træ* – uden et eneste metalbeslag, bolte, søm eller skruer.
 - For at 'billiggøre' disse, er de udført på en 'fuldautomatisk' CNC-fræser.
5. At benytte *de klassiske byggematerialer*, fra før ca. 1960, til husets aptering
 - F.eks. strå- eller tegltag, træbjæle, limfarver, linoliemaling, luftkalkmørtel, vinduer med trukket glas i kitfals og forsatsrammer med mere.

Ingen, eller meget få, af de såkaldt bæredygtige huse af træ, der bygges i dag, indeholder bare eet eller flere af disse essentielle krav til et bæredygtigt hus. Det gælder specielt kravet om en *påviselig lang*, d.v.s. mindst 200 år, og i praksis, *vedvarende*, holdbarhed.



Krav til træmaterialerne

1. 100% kerneved

Bulhuset benytter konsekvent 100% kerneved i eg i de udvendige overflader og evt. mindre områder med splintved på de indvendige sider.

2. Marvskåret

Træstammernes marv er eet af det udsavede træes svageste punkter i forhold til en lang levetid, idet veddet uvægerligt vil trække kraftige svindrevner fra tømmerets kant ind til marven – langs veddets marvstråler. Derudover er marven meget vandsugende og vil udvikle radiære rev-nedannelser omkring marven.

3. Spejlskåret eller kvartskåret

Marvstrålerne retning i forhold til den udvendige overflade har meget stor betydning for træets holdbarhed. Ved udvendige brædder og planker skal man derfor benytte opskæringer, hvor marvstrålerne ligger parallelt, eller stort set parallelt med overfladen, såkaldt spejlskårne brædder eller planker.

Tømmer i udemiljøet skal opskæres så det enten er kvartskåret med to spejlskårene sider, eller halvtømmer med én spejlskåret side. Se øverste tegning.

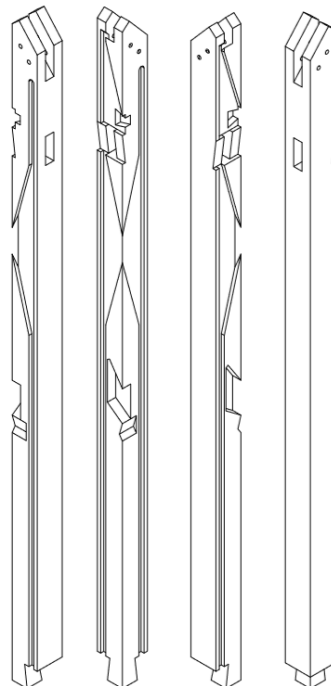
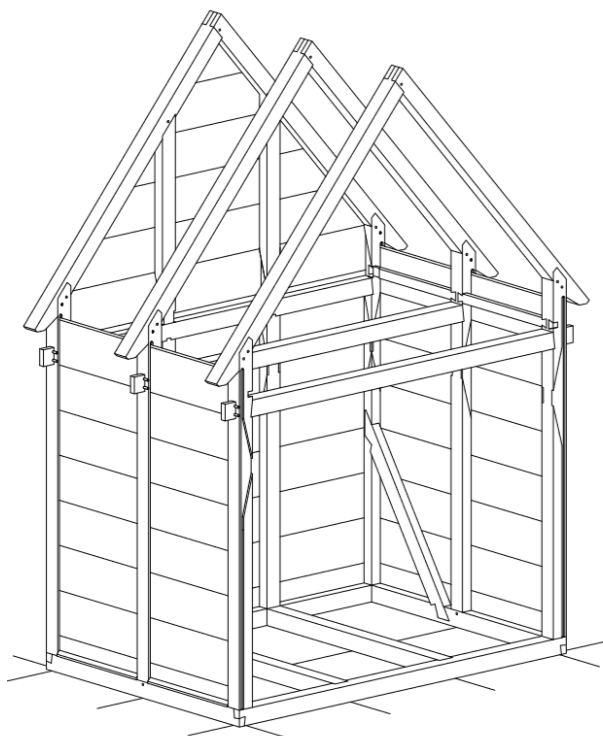
Overfladebehandling

Tyrstrup bullade står med ubehandlet træ i ydervæggene, formentlig siden opførelsen, og har derfor ikke været vedligeholdt, bort set fra taget, i over 100 år, mindst.

De nye bulhuse kan også stå ubehandlede, men bør af arkitektoniske grunde overfladebehandles udvendigt med træbjærefarve og linoliemaling, evt. limfarver, og indvendigt med limfarver. Disse repræsenterer kapillaråbne malinger (ikke diffusionsåbne).

Isolering m.v.

Varmeisolering af klimaskærmen skal ske med stillestående luft, f.eks. med træfiberisolering, uden plastikdampspærre. Indvendigt beklædes huset f.eks. med brædder med fer og not, der sømmes med rustfrie søm og færrest mulige skruer.



Således kom bulhuset til at se ud, efter at have været igennem computeren.



Læs mere om projektet på www.bevardithus.dk under 'Forskning' eller på dette link: <https://www.bevardithus.dk/forside/haandvaerk-og-bygningsrestauring/haandvaerket-i-centrum-2018-2020/nye-baeredygtige-traehuse-helt-af-trae/>