

Forskningsprojektet

Nye bæredygtige træhuse – helt af TRÆ, med vedvarende holdbarhed

2019 – 2021.

3 FORSØGS-PROJEKTER på fremtidens bæredygtige huse af træ

Søren Vadstrup,
december 2021.





Det Kongelige Akademi



Søren Vadstrup, arkitekt m.a.a., forskningslektor

T: 29 45 40 96

E: soren.vadstrup@kadk.dk

Forskningsprojektet

Nye bæredygtige træhuse – helt af TRÆ, med vedvarende holdbarhed

2019 – 2021

3 FORSØGS-PROJEKTER om fremtidens bæredygtige huse af træ

December 2021



#2 Gram Å hytten i Sønderjylland sommeren 2020



Forskningsprojektet

Nye bæredygtige træhuse – helt af TRÆ, med vedvarende holdbarhed.

2019 – 2021

Indhold

Indledning	side 3
Projektets konklusion	side 4
Hvad er en bæredygtig bygning Bæredygtighed = vedvarende holdbarhed	side 5
Krav til nye <i>vedvarende holdbare</i> bygninger i Danmark i dag Nye murede huse Nye vinduer af træ Nye bygninger af træ	side 6
Fem forskningsspørgsmål	side 7
De tre forsøgshuse Forsøgshus #1: Bulhus Forsøgshus #2: Sjællandsk højremshus med udskud Forsøgshus #3: Færøsk stavhus	side 7
Historiske træhuse i Danmark Bulhuse Bindingsværkshuse Landbindingsværkshusenes klimatilpasning og bæredygtighed Bræddebeklædt bindingsværk Det sjællandske landbindingsværkshus før 1830 Det færøske stavhus	side 9
Ny viden om historiske træhuse i Danmark	side 14
Mange moderne, såkaldt 'bæredygtige' træhuse, er ikke særlig bæredygtige.	side 15
Økonomi	side 16
Forsøgshus #1: Bulhus af egetræ efter forlæg fra Tyrstrup Bullade fra 1668	side 17
Udgangspunkt Forskning og udvikling Krav til tømmeret Yderligere krav til træmaterialerne Projektbeskrivelse Bulhuset Flytning og genopstilling	
Forsøgshus #2: 'Gram Å Hytten'. Fiskerhytte ved Gram Å.	side 26
Udgangspunkt Forskning og udvikling	
Forsøgshus #3: Færøsk stavhus	side 33
Udgangspunkt Forskning og udvikling Videreudvikling af stavhuset	
Litteratur	side 42



Indledning

En bæredygtig bygning - er en bygning, der *påviseligt* kan holde i mindst 200 år.

Alt andet, om huset kan skilles ad, om materialerne kan 'genanvendes' (elastik i metermål), om de er 'cirkulære' (mere elastik i metermål) eller om huset er 'smukt' (endnu mere elastik i metermål) – må det meget gerne opfylde, men det er totalt underordnet, i forhold til dens bæredygtighed, at bygningen, løbende og korrekt vedligeholdet, har en *påviselig* meget lang holdbarhed.

Det gælder i forhold til et mindre forbrug af jordens naturressourcer, i forhold til en minimal udledning af CO₂ til atmosfæren og i forhold til minimale mængder af affald, ikke mindst 'farligt affald'.

Det interessante er, at dette kan de fleste bygninger, der er ældre end 200 år *påvise*, 1:1. Så her kan man studere, hvordan man opnår disse bæredygtighedsaspekter i forhold til naturressourcer, CO₂ og affald, 1:1.

Som kender af den historiske danske bygningskultur, herunder ældre dansk træarkitektur, undrer det mig ofte hvor lidt kendskab der tilsyneladende er, i forhold til denne, hos de fleste af de arkitekter, ingeniører og håndværkere, der beskæftiger sig med at opføre nye bygninger af træ i Danmark.

Dette manglende kendskab, skinner ret tydeligt igennem i de materialer, konstruktioner og håndværksmetoder, disse nye træbygninger repræsenterer – og faktisk også i det arkitektoniske udtryk.

Men kan man overhovedet benytte de historiske træhuse i Danmark, som f.eks. bindingsværksbygninger, bulhuse og bræddebeklædte bindingsværksbygninger til at forbedre og inspirere moderne nybyggeri i træ? Ja, det kan man især indenfor tre områder:

- 1) I forhold til at opnå en meget lang holdbarhed og levetid for bygningen – faktisk *vedvarende*.
- 2) I forhold til at lære, hvordan og med hvilke materialer meget gamle bygninger skal *vedligeholdes*.
- 3) I forhold til yderst fleksible *byggesystemer*, der kan bygges om, udvides og indskrænkes meget nemt.

Alle tre ting bør være meget attraktive for moderne bæredygtigt byggeri af træ. Som led i min forskning på Kunstakademiets Arkitektskole ønskede jeg derfor at undersøge dette nærmere ved at tegne og bygge et lille forsøgshus, hvor vi kunne afprøve og vise forskellige aspekter af dette.

Det skete i foråret og efteråret 2019 (**forsøgshus #1: Bulhus af egetræ**). I 2020 var jeg med til at arrangere en 2-ugers *Sommerskole* for 20 arkitekt-studerende og 4 lærere fra Det Kgl. Akademi, hvor vi kastede os ud i bygningen af en lille 'fiskerhytte' af træ (**Forsøgshus #2: Østdansk bindingsværkshus med udskud**). Efter sommerferien 2020 startede jeg så et tredje forsøgshus sammen med Teknisk Skole, (**Forsøgshus #3: Færøsk stavhus af fyrretræ**). I oktober måned, men især i december måned 2020 'indhentede' Corona-Pandemien dette projekt, idet skolerne lukkede og eleverne blev sendt hjem. I løbet af foråret 2021 fortsatte vi igen byggeriet, men blev igen stoppet af Coronaen i efteråret 2021.

Denne publikation omhandler således alle tre forsøgshuse, hvoraf det sidste lige nu ikke er bygget færdigt. Men bliver det helt sikkert i løbet af foråret 2022.

Det gennemgående træk ved alle tre forsøgshuse er, at de repræsenterer tre historiske danske træhustyper. De viser tre måder at *effektivisere* træsamlingerne på og de viser også tre typer 'videreudviklinger' af det oprindelige historiske hus.

Ud fra de historiske udgangspunkter er de tre forsøgshuse konsekvent samlet *træ med træ*, idet sømbeslag, skruer og bolte i konstruktionen forkorter levetiden for træhuse betragteligt, så hele bæredygtighedsaspektet går fløjten.

Derfor er der også arbejdet med at effektivisere fremstillingsprocesserne mest muligt, så disse kan komme ned i pris. Bulhuset er udført af vådt egetræ, og med samlinger fræset på CNC-maskiner. Bindingsværkshuset er bygget af douglastræ og udført med 'håndholdt' maskinværktøj. Det færøske stavhus er bygget af tørret fyrretræ med kombineret CNC og håndholdt maskinværktøj, bl.a. med brug af fræseskabeloner.



Projektets konklusion

Det samlede projekt viser:

Det er absolut byggetekniske muligt at 'kopiere' et historisk træhus i dag, der har en *påviselig levetid* og holdbarhed på over 100-200 år, i praksis *vedvarende holdbarhed*, uden tab af den byggetekniske kvalitet – således at den samme lange levetid også kan forventes at komme til at gælde for det nybyggede hus.

Det er endvidere muligt at *effektivisere* udførelsen af de oprindelige træsamlinger, gennem *maskin-fremstilling* – herunder automatiske CNC-fræsede samlinger - i stedet for skruede og boltede samlinger, uden tab af den byggetekniske kvalitet eller autenticitet.

Denne effektivisering vil *billiggøre* fremstillingen af huset, så de ægte træsamlinger, træ med træ, derved kan konkurrere prismæssigt med de boltede og skruede samlinger.

Det kan eftervises, at bygningen kan opnå et lavt energiforbrug gennem 'isoleringsmaterialer', primært *stillestående luft*, og vinduer uden udvendige termoruder/energiruder, der kan påvise en lige så lang levetid på 100-200 år, som resten af bygningen.

Det er derimod ikke lykkedes endnu at skaffe *selektivt opskåret tømmer og planker* til nye træbygninger – fra danske skove og savværker, hvilket er en forudsætning for træets og husets *vedvarende holdbarhed*. Men der arbejdes fortsat på dette.



Det 'Færøske Stavhus' er bygget af snedkerlærlinge på Københavns Tekniske Skole i Herlev (NEXT), Dels med brug af CNC-fræsede samlinger, hvor disse kan 'betale sig', dels med 'håndfræsede' samlinger efter skabeloner. Det gælder f.eks. skråbåndene her – se senere.



Aalborghus slot. Boligfløjen til højre er opført i 1540 og 'Pakhuset' i baggrunden er opført i 1633, og det hele har været i brug lige siden, men ombygget og nyindrettet flere gange, gennem henholdsvis 480 og 387 år. Det er da ekstremt bæredygtigt, især da alt træværket er rimeligt intakt. Kun forkert vedligehold med forkerte materialer kan forhindre, at disse bygninger stadigvæk står der om 200 år.

Hvad er en bæredygtig bygning?

For at kunne arbejde med bæredygtighed for bygninger og i byggeriet, må vi have en entydig definition på, hvad en bæredygtig bygning er – defineret i forhold til Brundtland-rapportens krav om, at en **bæredygtig udvikling** medfører,

- at de nuværende menneskers og naturmiljøers behov skal kunne dækkes,
- uden at skade fremtidige generationers mulighed for at dække deres behov.

Generelt betyder dette at vi i fremtiden skal sørge for:

- Et langt mindre forbrug af jordens begrænsede naturressourcer,
- En minimal udledning af klimagasser, primært CO₂
- En minimal produktion af affald, og især farligt affald.

Bæredygtighed = vedvarende holdbarhed

Kikker vi specielt på hvordan bygninger og byggeriet kan bidrage til bæredygtig udvikling, rummer vores bygningskultur, d.v.s. bl.a. ældre bygninger, der allerede har rundet de første 100-200 år, nogle helt særlige fordele og muligheder indenfor dette. Ældre bygninger er nemlig dels bygget til at kunne holde meget længe, som nævnt mindst 100-200 år, dels kan de, hvis de vedligeholdes med de rigtige materialer, holde lige så længe ud over dette – faktisk ubegrænset eller *vedvarende*.

Dette passer ret fint med, at begrebet 'sustainable', der bl.a. blev benyttet af FN i 1987 i førnævnte rapport *Our Common Future*, mest præcist kan oversættes til dansk som 'holdbart', noget de hjemlige 'bæredygtighedsdiskussioner' ikke er særlig opmærksomme på. En bæredygtig bygning kan derfor, jf. bogen *Vedvarende holdbarhed. Bæredygtighed og cirkulær økonomi for bygninger* (Søren Vadstrup, 2018) defineres som:

1. En *eksisterende* bygning, som har holdt meget længe, d.v.s. i mindst 100-200 år, og som fortsat kan vedligeholdes, bevares og benyttes, hvorved den kan holde i mindst 100-200 år *mere* - i praksis ubegrænset eller *vedvarende*, og som derudover opvarmes og afkøles fra vedvarende energikilder, der ikke udleder CO₂ til atmosfæren.
2. En *nyopført* bygning, der er bygget så den *påviseligt* kan vedligeholdes, bevares og benyttes i mindst 200 år, og som opvarmes og afkøles fra vedvarende energikilder, der ikke udleder CO₂ til atmosfæren.

Vi har heldigvis over 1.3 millioner bygninger i Danmark, der ifgl. BBR er opført før ca. 1960 og som den ovennævnte undersøgelse viser, er bygget til at kunne holde i mindst 200 år, og hvoraf ca. 200.000 bygninger oven i købet har bevist dette 1:1, ved at have rundet 100-200 år.

Så disse ca. 1.3 mio. ældre bygninger, eller flere, er et fantastisk *bæredygtigheds-trumfkort* for Danmark i fremtiden, hvis de fortsat bliver vedligeholdt, bevaret og brugt i de næste mindst 200 år. Derved udleder de minimalt med CO₂ (bl.a. fra træ der brændes af eller rådner) og farligt affald og de kræver samtidigt ikke nævneværdigt flere begrænsede naturressourcer til deres (bygning og) opretholdelse. Til forskel for de mange yngre huse eller helt nye huse, der bygges i dag.



Krav til nye bæredygtige (vedvarende holdbare) bygninger i dag

Men, for de forholdsvis få nye bygninger til f.eks. boliger, vi skal opføre i fremtiden, er spørgsmålet derfor hvordan man i dag kan *påvise*, at en ny bygning, for at den skal kunne betegnes som en 'bæredygtig bygning' kan holde i mindst 200 år - eller mere?

Mit svar er, at det kan man ved at 'kopierer' en *eksisterende bygning*, der påviseligt *har* holdt i 100-200 år. Og dem har vi som nævnt over 200.000 af her i landet.

Den nye 'kopi' skal naturligvis være fuldstændigt korrekt i forhold den 'gamle' med hensyn til:

- 1 Materialevalget – specielt på facader og tag, men også vinduer, døre og indvendige materialer. Herunder materialernes iboende egenskaber, mursten, træ, træsorter, opskæring af træ m.m. bindemidler i mørtel og puds.
- 2 Konstruktionerne - herunder murværket, mørtel, samlinger og knudepunkter specielt samlinger af træ med træ, diodepuds, mørtelfuger og tyngdekraften
- 3 Opbygningen af specielt ydervæggene og taget, inkl. isoleringsmaterialer herunder bl.a. tagudhæng, opskalkning, konstruktiv træbeskyttelse, indmurede afdækninger

Elementer som fundamenter, gulvkonstruktion og f.eks. hulmur med trådbindere kan accepteres ændret til moderne materialer og konstruktioner.

Det er dog også en vigtig forudsætning, at de nye bygninger *vedligeholdes og istandsættes* med de samme slags materialer, der benyttedes før ca. 1960, d.v.s. ingen plastikmaling, portlandcement, trykimprægneret træ plastikdampspærre, gipsplader eller spånplader.

Nye murede huse

Hvis vi kikker på de historiske murede bygninger, som vi har flest af i kategorien 'ældre end ca. 1960', og som også er yderst let at påvise en levetid på 100-200 år for - skal vi, for at opfylde de ovenstående kriterier for at nye murede bygninger i dag, kan holde i 100-200 år, arbejde med:

- 1 rensede genbrugs-mursten, suppleret med nye mursten i begrænset omfang,
- 2 med murværk i lufttærdende 'luftkalkmørtel' som muremørtel og puds,
- 3 med murede 'overlukninger' med murstik (uden jern),
- 4 med bærende bagmure i mursten
- 5 og med opskalkede tegltage med udkraget gesims og med ca. 50-55 graders tagværker af 12 x 12 cm tømmer, samlet med træsamlinger uden bolte, søm og skruer.

Vi har jo ret mange bygninger fra 1500- og 1600-tallet i disse materialer og dertil murede kirkebygninger, der påviseligt har stået i 500-600 år. Man kunne derfor også overveje at udføre de nye murede bygninger i luftkalkmørtel for at undgå det klimabelastende cement. De ældste murede etagehuse på 4-5 etager har netop rundet 180 år, og de står bestemt ikke og er lige ved at falde sammen.

Nye vinduer af træ

Vi har endnu mere check på, hvordan vi i dag kan fremstille nye udadgående vinduer af træ, der påviseligt kan holde i mindst 200 år – ja mageligt i 300-400 år, d.v.s. 'vedvarende'. De skal være af:

- 1 100 % kernetræ
- 2 Spejlskåret træ i rammer og sprosser
- 3 Spinkle dimensioner i de udvendige rammer, højst 2,5 – 3,5 cm
- 4 De udvendige rudeglas skal være med enkeltglas i kitfals med skrå faser, uden 'vandlommer'
- 5 Malet og vedligeholdt med linoliemaling

Disse vinduer kan energiforbedres med indvendige forsatsvinduer, hvorved de kan spare mere på varmen end tilsvarende nye vinduer med udvendige termoruder eller energiruder.

Nye bygninger af træ

Bygninger af træ er ekstra klimavenlige, fordi træet 'låser' CO₂, i hele bygningens levetid. Og vi har faktisk træhuse i Danmark, der foreløbigt har holdt uden nævneværdig udskiftning af træmaterialerne i 350 år, bl.a. Bulladen i Christiansfeld, der står stort set uændret fra 1668.

Men derfor er det **ekstra** vigtigt at nye bygninger af træ holder i mindst 100-200 år – eller *vedvarende*. For hvis de holder kortere tid, f.eks. kun 60-80 år, hvad de fleste nye træhuse i dag forventes at gøre (se senere), så udleder de en masse CO₂, når denne nedrivning sker. I form af afbrænding af træet eller forrådnelse i naturen eller på lossepladser.

Derudover skal det træ, der anvendes til nye bygninger også komme fra store træer (80-100 år), der har oplagret en maksimal mængde CO₂ i veddet. Nyplantede træer opnår først en 'positiv' CO₂-balance, hvor de optager mere CO₂ end de 'udleder', f.eks. når blade og grene rådner, efter 60-80 år, hvor væksten går i stå.



Fem forskningsspørgsmål

Med baggrund i forskningsprojektet '*Det danske bindingsværkshus – før, nu og i fremtiden*', læs mere herom på hjemmesiden www.bevardithus.dk, har jeg sammen med forskellige samarbejdspartnere gennemført tre forsøgsprojekter i 2019 - 2021, der skal belyse, at det er muligt i dag at bygge bæredygtige træhuse **uden** de, i forhold til husets lange holdbarhed, meget skadelige sømbeslag, skruer og bolte i konstruktionen og samlinger.

Jeg vil derfor med dette projekt besvare spørgsmålet: Hvordan kan vi bygge nye træhuse i dag i Danmark med *vedvarende holdbarhed* – ved at stille og besvare følgende fem forskningsspørgsmål, idet netop en *vedvarende holdbarhed* er den første forudsætning for en bæredygtig bygning.

1. At det er byggetekniske muligt at 'kopiere' et historisk træhus i dag, der har en *påviselig levetid* og holdbarhed på over 100-200 år, i praksis *vedvarende holdbarhed*, uden tab af den byggetekniske kvalitet – således at dette også kan forventes at komme til at gælde for det nybyggede hus.
2. At det er muligt at *effektivisere* udførelsen af de oprindelige træsamlinger, gennem *maskinfremstilling* – herunder automatiske CNC-fræsedesamlinger - i stedet for skruede og boltede samlinger, uden tab af den byggetekniske kvalitet eller autenticitet.
3. At dette vil *billiggøre* fremstillingen af huset, så de ægte træsamlinger, træ med træ, derved kan konkurrere prismæssigt med de boltede og skruede samlinger.
4. At det er muligt at skaffe *selektivt opskåret tømmer og planker* til nye træbygninger – fra danske skove og savværker, hvilket er en forudsætning for træets og husets *vedvarende holdbarhed*.
5. At bygningen kan opnå et lavt energiforbrug gennem 'isoleringsmaterialer', primært *stillestående luft*, og vinduer uden udvendige termoruder/energiruder, der kan påvise en lige så lang levetid på 100-200 år, som resten af bygningen.

De tre forsøgshuse/forsøgskonstruktioner

Jeg har, for at besvare disse forskningsspørgsmål, bygget 3 forsøgshuse/forsøgskonstruktioner sammen med de nedennævnte hjælpere og samarbejdspartnere i 2019 - 2022:

Forsøgshus #1: Bulhus af egetræ efter model 1:1 fra 1668 (Tyrstrup Bullade ved Christiansfeld)
Udført i samarbejde med Søren Bak Andersen samt lærere og elever på Kbh. Tekniske Skoles Snedkerafdeling i maj 2019. CNC-fræsedes og andre maskinfremstillede træsamlinger
Udstillet på KADK i september-november 2019 afsluttet af et velbesøgt eftermiddags-seminar den 11. november 2019. Derefter nedtaget og lagt i depot til senere genrejsning. Se herunder side 17-25



#1 Bulhuset (2019)



Forsøgshus #2: 'Gram Å Hytten' – fiskerhytte ved Gram Å i Sønderjylland

Udført hos firmaet Dinesen i Jels i juli måned i 2020 – som led i KADK's Sommerskole for studerende i samarbejde med Peter Møller Rasmussen og Christian Vennerstrøm fra KADK samt Hans Peter Dinesen. Huset er et østdansk landbindingsværkshus i højremskonstruktion - med udskud i siderne.

Huset er bræddebeklædt med klinkbrædder på tag og ydervægge.

Dagslyset kommer fra en gennemgående lanterne, der skal erstatte jernalderhusets 'tagøje' (vindauge).

Huset er bygget med maskinudførte træsamlinger i douglasfyr.

Bygningen står i dag på en naturgrund ved Gram Å. Se herunder side 26-32



#2 Gram Å Hytten (2020)

Forsøgshus #3: Færøsk stavhus – med forlæg i 'Husið við Brunn' på Nolsøy og Frilandsmuseets færøhus.

Udført på Københavns Tekniske Skole i Herlev i efteråret 2020 og i 2021 i samarbejde med faglærerne Toke Bang, Kjestine Mark Jensen og Kim plus arkitekt Asser Vadstrup (tegninger)

Huset udføres med maskinfræsede og CNC-fræsede træsamlinger, d.v.s. notede, kæmmede og bladede samlinger, Enkelte tapsamlinger. Huset er endnu ikke helt færdigt. Se herunder side 33-45



#3 Færøsk Stavhus 2021-22

Historiske træhuse i Danmark

Men hvor skal vi kikke hen for at finde historiske træbygninger i Danmark, der er over ca. 200 år, som vi kan studere, kopiere og lære af?

Bulhuse

Mest oplagt er jo de – desværre kun fem, ud af oprindeligt mange hundrede, og heraf kun ca. 3 intakte og endda kun én på sin oprindelige plads – *bulhuse* fra 1600-tallet af egetræ, som vi har i Sønderjylland. De er stort set 100% af træ + stråtag. Men går vi Gotland i Østersøen ligger der stadigvæk over 700 bulhuse, ganske vist af fyrretræ, men hovedparten stadig i brug som sunde, gode, holdbare og populære boliger mm. Så dem kan vi studere og lære meget af, hvordan man bygger med træ, så det uden problemer kan holde i mindst 200 år. Bulhuset i Tyrstrup i Sønderjylland er brugt som 'forbillede' for **forsøgshus #1** i dette projekt. Se 17-25.



Bulladen i Tyrstrup ved Christiansfeld. Opført i 1668 i egetræ, uden metalsamlinger.



Beboet 2-etages bulhus af fyrretræ i Visby på Gotland fra midten af 1800-tallet.



Bindingsværkshuse

Vi har omkring 60.000 *bindingsværkshuse* i Danmark, de ældste fra 1400-tallet, men mange fra midten af 1600-tallet til ca. 1880-erne. De har flere forskellige konstruktioner, fyldmaterialer i tavlene og træsorter i tømmeret, og derfor i meget forskellig kvalitet. Men ved at studere disse, kan vi også konstatere, at en holdbarhed og levetid på mindst 200 år ikke er noget særsyn eller særlig svært at opnå.

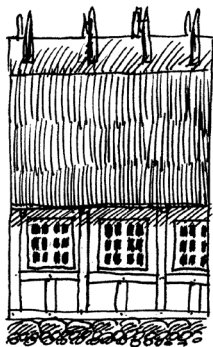
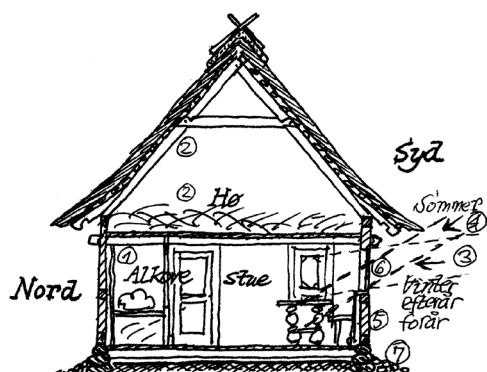


Det undersøgte bindingsværkshus fra 1740, Viby Bygade 12 i landsbyen Viby på Hindsholm.

En analyse af et almindeligt dansk bindingsværkshus fra 1740, beliggende på Fyn, der dog er så heldig at have bibeholdt sine tavler med lerklining eller ubrændte lersten, pudset med luftkalkmørtel, viser følgende:

- 1 Bindingsværkstømmeret er samlet udelukkende af træ med træ, uden metalbeslag. På den undersøgte bygning er der alt i alt benyttet 5 forskellige træsamlinger i selve bindingsværket, hvilket har forenklet fremstillingen af bygningen meget: Lige tapsamling, skrå tapsamling, gennemstukket tapsamling, vinkelblad og lige hageblad. I tagværket er der yderligere tre træsamlinger: Skrå slidstapning, skråt svalehaleblad og kamsamlinger ved spærenderne. Se ...
- 2 De danske bindingsværksbygninger er tydeligvis konstrueret til at kunne *skilles ad* meget nemt, og samles igen – bl.a. fordi de efter meget gamle byggetraditioner altid er 'bundet' (samlet) og 'afbundet' (adskilt) på en såkaldt 'afbindingsplads', en plan byggeplads med udlagte 'sveller' af træ, hvorved selve konstruktionen meget praktisk for udførelsen af tømmerensamlinger bliver løftet ca. 30 cm op over jorden. Afbindings-pladsen kan ligge ved siden af byggegrunden eller evt. langt fra denne. Derfor bliver tømmeret også nummereret efter forskellige meget gamle nummererings-systemer. Se ...
- 3 De træsorter, der er anvendt i bindingsværket er nøje udvalgt og anvendt efter deres egenskaber i forhold til varighed, slidstyrke, forekommende tømmerlængder m.m. Herunder også lokale forhold. F.eks. på den undersøgte bygning: fodtømmer i eg, stolper og løsholter i elmetræ (andre steder eg eller fyr), tagremme og tværbjælker, herunder gavlbjælker, er af fyrretræ, spær er af gran og fyr og lægter er af gran. Lodrette bræddegavle (på bl.a. Sjælland) er af fyrretræ. Gulv- og loftbrædder er af fyrretræ, vinduer og døre er i fyrretræ.
- 4 Bindingsværkstømmeret, loft- (og gavl-) bjælkerne samt spærene er udført som 'halvtømmer' eller 'kvartskåret' tømmer, hvor marven så vidt muligt er undgået og den *spejlskårne*, og meget lidt vandmodtagelige side, vendes udad. Se ...
- 5 Bindingsværkswæggene er beskyttet konstruktivt gennem et meget kraftigt udhæng, både ved stråtage og tegltage, samt et til flere vandbrædder over det vandrette bindingsværkstømmer på gavlene. Endvidere af en mindst 30 cm høj kampestensokkel samt en skrå og drænende pigstenskant langs fundamentene, der mindsker opsprøjtet fra taget. De udmurede eller lerklinede tavler er 'låst' via en geisfuss (V-not) i siden af tømmeret for at tætte væggene mest muligt. Vinduerne sidder bindig med ydersiden af tømmeret.

Efter ca. 1830 ændrer de nyopførte landbindingsværkshusene i Danmark konstruktion til den mere højloftede og konstruktivt stabile *spærfagskonstruktion*. Denne fortsætter frem til ca. 1880, hvor bindingsværket afløses af *grundmur* – dog med et lille kort 'intermezzo', kaldt *Nationalromantik* i årene 1915 – 1935. Vi har dog som nævnt stadigvæk ca. 70.000 bevarede bindingsværksbygninger i Danmark, der udgør en meget stor bæredygtigheds-ressource for Danmark, hvis de ikke rives ned og fortsat bevares. Se bl.a. herunder.



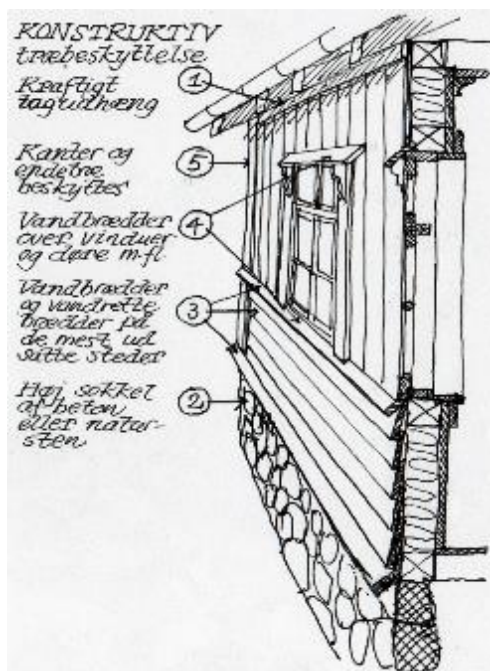
Landbindingsværkshusenes klimatilpasning og bæredygtighed

Et bindingsværkshus i styrtrumskonstruktion med stråtag opført ca. 1740.
(fra bogen: MIT BINDINGSVÆRKSHUS af Søren Vadstrup, 2020)

1. Alkoverne fungerer som temperatur-buffer-zoner, der varmeisolerer den kolde nordside om vinteren.
2. Stråtaget isolerer huset godt (λ -værdi 0,04 W/mK) – inklusiv et lag hø på loftets styrtrum. (i dag kork).
3. Huset får passiv solvarme efterår, vinter og forår gennem sydsidens massive 'vinduesbånd'.
4. Om sommeren virker det 70 cm store tagudhæng som en effektiv solafskærmning mod overophedning.
5. Lervæggene virker som fugtbuffer for indeklimaet, hvorved huset kræver mindre energi at opvarme.
6. Vinduerne, af kernetræ af fyr, har foreløbigt holdt i 230 år – mindst 200 år mere kan forventes.
7. Pigstenskanten langs ydermurene mindsker opsprøjt og opfugtning af væggene ved regnskyl.
8. Huset er opført af lokale materialer bl.a. elmetræ, fyrretræ, grantræ, ler, læsket kalk, tagrør.
9. Det lerklinede bindingsværk er meget enkelt at vedligeholde - med meget få og billige materialer.
10. Bindingsværket har 'låst' store mængder CO₂ i over 200 år – og låser også dette, de næste ca. 200 år.
11. En nedrivning belaster til gengæld CO₂-balancen voldsomt, gennem afbrænding/forrådnelse af træet.
12. Et bindingsværkshus er konstrueret og nummereret til at kunne flyttes meget nemt til et nyt sted.
13. Huset er indrettet så det opvarmede boligareal kan indskrænkes om vinteren, for at spare energi.
14. Huset opvarmes med støbejernsovne og brænde, der er CO₂-neutralt. (ikke træpiller)
15. Vinduerne er i dag forsynet med indvendige forsatsruder med energiglas, der sparer energi til opvarmning.

Bræddebeklædt bindingsværk

Bræddebeklædte bindingsværksbygninger, der kendes i Danmark fra begyndelse af 1800-tallet (bl.a. Kanon-bådsskurene, vind- og vandmøller m.fl.) men især efter ca. 1870, operer med fem typer bræddebeklædninger med hver deres detaljer. De er meget bevidst beskyttet konstruktivt gennem sokler, udhæng, 'forsegling' af bræddernes endetræ, vandbrædder over vinduer og ved fodremmen og af særligt let udskiftelige underfacader, f.eks. med træspån eller klinkbrædder. Se ...



De fem punkter til konstruktiv træbeskyttelse af bræddebeklædte bindingsværkshuse.

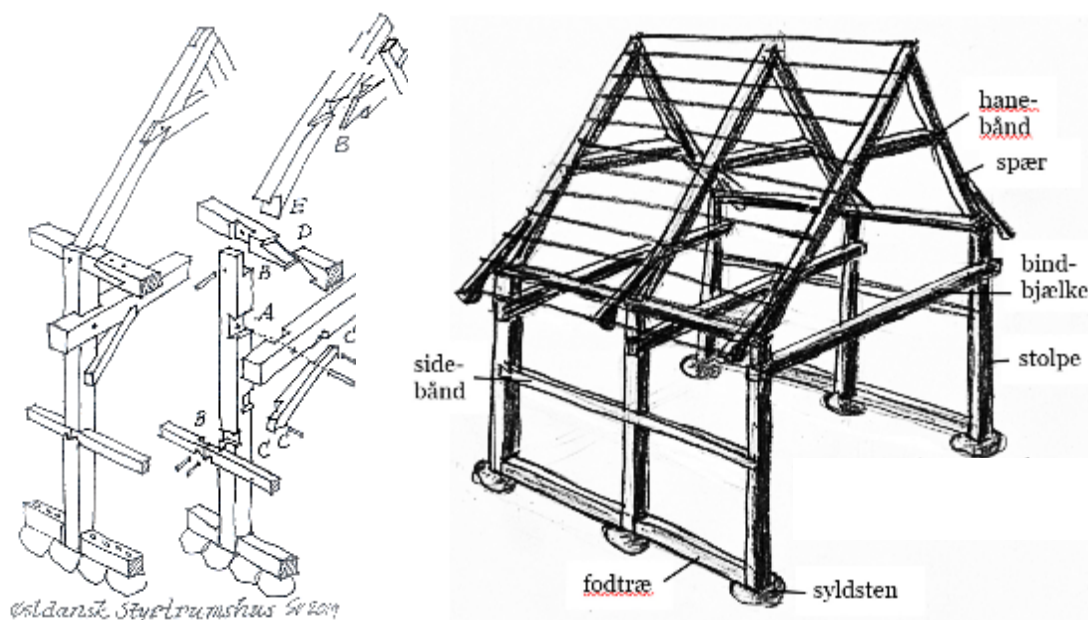


Det sjællandske landbindingsværkshus før 1830

Når man studerer de danske bindingsværkstraditioner skiller en særlig regional type sig ud som særlig interessant, nemlig det *sjællandske landbindingsværkshus*, også kaldt det 'Østdanske ovnhus', for gennem sin særlige indretning, har det en geografisk udbredelse til Skåne, Bornholm og Lolland-Falster.

Det sjællandske landbindingsværkshus er karakteriseret ved:

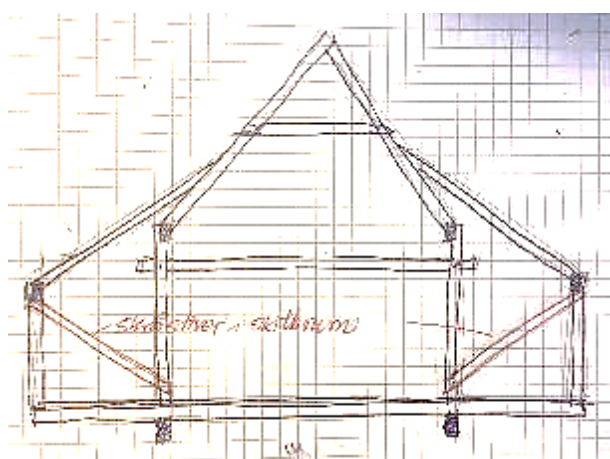
- 1 Kun at anvende *kæmmede og bladede træsamlinger*, både til samlinger mellem stolper og tværbjælker (bindbjælker), mellem stolper og løsholter (sidebånd) og mellem stolper og tagremmen.
- 2 Stolperne står direkte ned på individuelle kampesten, uden fodrem under stolpeenderne. Der kan dog være anbragt løse 'syldstykker' af træ mellem stolperne, sat i en lille not i siden af stolperne på dette sted. Formentlig for at holde de lodrette *støjler* til de lerklinede tavler fast i bunden.
- 3 Spærene er samlet til tagremmene med en *klo*, uden yderligere træagling eller lignende, hvorved det udelukkende er tyngdekraften gennem tagets vægt, der holder klo-samlingen, og dermed hele huset sammen.
- 4 Bindingsværkssvæggene er hvidkalkede 'over stok og sten'.
- 5 Både den særlige fundering af stolperne på individuelle kampesten og tagværkets skrå kræfter ned på tagremmene medfører ofte at de sjællandske landbindingsværkshuse får meget skæve ydervægge med tiden.



Træsamlinger på det sjællandske/østdanske landbindingsværkshus (styrtrumshus)

A: Kæmning (glamning, skramning) B: Svalehaleblad (lige/skråt) C: Skråt blad eller vinkelblad
D: Lige hageblad (tagremme) E: Klo (spærklo)

Det sjællandske landbindingsværkshus (styrtrumshus) er brugt som 'forbillede' for **forsøgshus #2** 'Gram Å Hytten' i dette projekt. Dog er der her udført såkaldte 'udskud' i begge langsider, som det var tilfælde med styrtrumshusene i jernalderen og middelalderen, formentlig frem til midten af 1400-taller. Se...



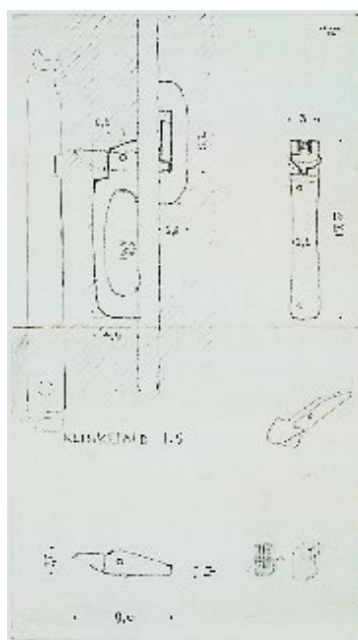
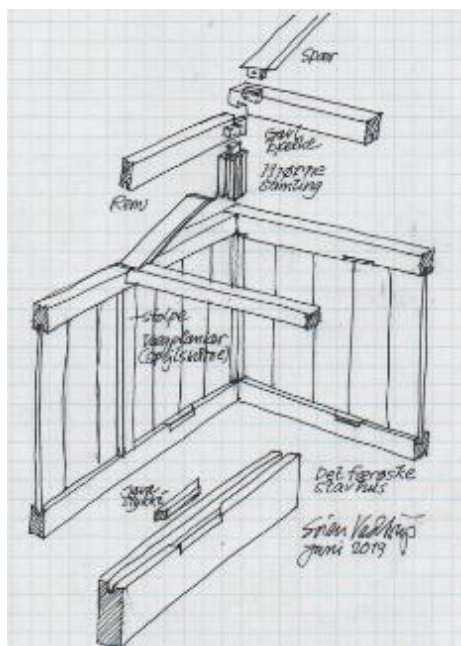


Det færøske stavhus

Endelig er vi så heldige, at vi indenfor 'rigsfællesskabet' i Danmark, er 'begavet' med een af verdens mest avancerede træhuskonstruktioner, nemlig *det færøske stavhus*, ikke mindst set i et bæredygtigheds-perspektiv:

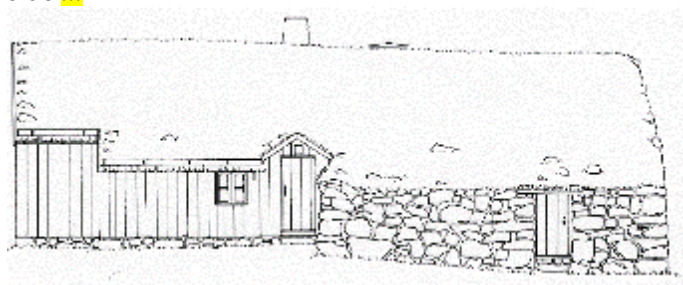
- 1 Det er bygget helt af træ, uden metalsamlinger – endda inkl. dørhængsler, lukketøj, låse og håndtag. Kun vinduerne indeholder metalbeslag, plus der anvendes søm til gulv, loft og udv. beklædningsbrædder.
- 2 Alle trædele er dimensioneret ned til et minimum, dels for at spare træ, men også for at give træet en hurtigere udtørring og dermed længere levetid, hvilket minimerer rustdannelser f.eks. omkring sømmene.
- 3 Husets stavvægge, bestående af tynde, lodrette spejlskårne brædder (de egentlige 'stave'), sidder i noter i begge ender, men bliver banket tæt sammen og 'låst' med små 'trapez-låse', så man opnår en helt vindtæt vægkonstruktion.
- 4 Den udvendige bræddebeklædning er fældet ind i en not i siderne på vinduernes og yderdørenes karme, så man også her opnår en helt vindtæt samling. Disse 'notede' samlinger kan dernæst optage træets kvældning og svind i forskellige fugtigheder og temperaturer, herunder mens det tørrer op, uden at udvise revner eller andre utætheder.
- 5 Den udvendige bræddebeklædning, tagbrædder og gulvbrædder er sømmed med jernsøm. Men de udvendige beklædningsbrædder er på en ret avanceret måde 'interim-sømmet' med birkebark, læder eller træknopper under sømhovederne, så man efter noget tid kan kompensere for bræddernes naturlige udtørring og svind, ved at trække sømmene ud, flytte brædderne tættere sammen og sømme dem igen.

De færøske stavhuse i denne konstruktion er ikke særlig gamle, formentlig fra slutningen af 1700-tallet, men de bygger videre på meget gamle nordiske træ-traditioner, bl.a. fra Norge, hvor de berømte 'stavkirker', der dog er meget større bygninger, stammer helt fra middelalderen, d.v.s. fra 1300- og 1400-tallet.

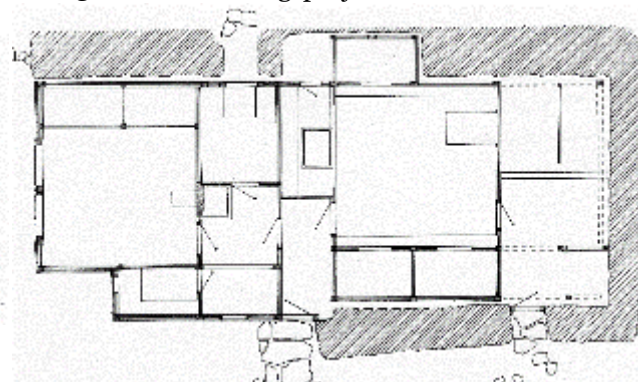


Principskitse af stavvæggene på det færøske stavhus – og en opmåling af et klinkefald af træ.

Det færøske stavhus er brugt som 'forbillede' for **forsøgshus #3** i dette forskningsprojekt. Se nærmere side ...



Færøhuset på Frilandsmuseet i Lyngby





Ny viden om historiske træhuse i Danmark

Forskningsprojektet har dels resulteret i de ovenstående analyser af de historiske træbygninger i Danmark – og det danske bindingsværkshus er eksempelvis et fuldgældigt træhus – dels den nedenstående analyse af 'nye bæredygtige træhuse' i dag. Denne viden er bl.a. formidlet i bogen 'Mit bindingsværkshus' af Søren Vadstrup, dels i en række andre artikler og internetmaterialer, der kan ses på hjemmesiden www.bevardithus.dk

Men forskningsprojektet har også resulteret af en påvisning af fem ret avancerede og relativt upåagtede egenskaber ved de historiske danske bindingsværkshuse og den danske historiske træteknologi.

- 1 Bygningen er konsekvent udført med træsamlinger – træ med træ, hvilket er én af forudsætningerne for en meget lang holdbarhed og levetid for en træbygning. Dette kræver dog at samlingerne er helt tætte og uden vandlommer. Håndværkerne har løst dette problem gennem en 'forskuet anbring', der trækker tåpsamlingerne helt tæt sammen.
- 2 Bygningen er meget bevidst udført så alle træsamlingerne m.fl. ret nemt kan *skilles ad*.
- 3 Som konsekvens af dette er en række træsamlinger i den samlede konstruktion fastgjort til hinanden udelukkende ved hjælp af *tyngdekraften*. Eller med 'let udtrækkelige' kiler/nagler. Dette kræver at huset har et relativt *tungt tag*, hvilket på Færøerne er klaret med et tykt lag græstørv.
- 4 Samlingerne er yderst *simple og enkle* tåpsamlinger, notsamlinger, kæmmede samlinger, bladsamlinger, grat-samlinger m.fl. hvoraf de fleste både kan tage træk og tryk. Til de enkelte huse benytter man kun 5-6 forskellige træsamlinger, hvad der forenkler håndværket – måske så ikke-faglærte kan bygge med?
- 5 Trækonstruktionerne er tydeligvis udført med '*selvudtørrende*' samlinger og detaljer, hvorved man kan benytte 'ikke-tørret' træ, endda helt friskt fældet træ til bygningen. Men ydervægskonstruktionerne er samtidigt yderst tætte, på grund af de 'notede samlinger', så der ikke føles 'træk'.

Metalbeslag, skruer og bolte er 'gift' for nye og gamle træhuse

Man kan meget tydeligt se - både på historiske træbygninger, men ikke mindst på nyere, at der hvor der opstår problemer med at opnå en lang holdbarhed, på bare 50-80 år, stort set altid er omkring beslag, søm, skruer og andet metal i selve konstruktionen. Især samlinger med lange selvskærende skruer er skadelige for bygningens holdbarhed. Metal på ydersiderne af konstruktionen skaber ikke de samme problemer, bl.a. sømning af udvendige bræddebeklædninger.

Derfor er de nye træhuse, der bygges i Danmark og Norden i dag, ikke særligt bæredygtige af tre grunde:

- De holder maksimalt i 50-80 år,
 - fordi de benytter træ med en vilkårlig kvalitet, vilkårlig opskæring og placering af marven.
 - fordi de er samlet med jernbeslag, fastgjort i konstruktionen med søm, skruer og bolte.
- Træet er kunstigt tørret og/eller transporteret til Danmark, langvejs fra.
 - eller det er imprægneret med giftstoffer.
- Træet er malet med plastikmaling - eller det står ubehandlet.
 - Begge dele fremmer træets forrådnelse og forkorter bygningens levetid.



Efter de 50-80 års levetid udleder det kasserede træ en masse CO₂ gennem forrådnelse eller afbrænding. Det giftimprægnerede træ forurener naturen. I dag er nye huse af træ ydermere fyldt med en række ikke-bæredygtige materialer og elementer, p.g.a. disses begrænsede holdbarhed: Limtræ, mineraluld, plastikmembraner, gummifugemasser, termoruder/energiruder (18-20 år) m.v.

Det skal tilføjes at metalbeslag, søm, skruer og bolte – anbragt i bærende trækonstruktioner, herunder ikke mindst tagværker, også i murede huse - er en meget farlig *cocktail* i tilfælde af brand.

Jernet bliver mange hundrede grader varmt og forkuller træet rundt om metallet, og slipper derved sin bæreevne, længe før selve branden får fat i træet. Dette er ekstremt farligt både for beboerne og for brandfolkene. Så af denne grund burde samlinger med metalbeslag, søm og skruer være forbudt i bærende konstruktioner. Se næste side.

CNC-fræsede bladsamlinger på #1 Bulhuset af egetræ. Når denne digitaliserede samling er statisk beregnet, har fået et navn, f.eks. SV-1, og er indlæst i CNC-maskinen, kan den benyttes mange andre steder i mange andre bygninger, hvor der skal sidde et skråbånd på en rem. Her kan samling 'SV-1', der er samlet udelukkende træ med træ - både erstatte et metalbeslag med samme formål, udføres langt billigere og påviseligt holde meget længere end dette, da jernet ødelægger træet.



Mange moderne såkaldt 'bæredygtige' træhuse er ikke særlig bæredygtige.

Mange nye, såkaldt 'bæredygtige' træhuse, der bygges i dag er ikke særlig bæredygtige. Det kan man bl.a. konstatere ved at sammenligne den med den ovenstående lille analyse af de historiske danske træhuse og den danske historiske træteknologi:

- 1 De er bygget af træmaterialer med en helt tilfældig opskæring, herunder *limtræ*, eller sammenlimet træ (CLT), primært bestående af planskåret træ, ofte indeholdende marv, der har meget ringe holdbarhed, idet det revner meget villigt langs marvstrålerne. Fra revnerne trænger vand dybt ind i veddet, så det rådner.
- 2 De af økonomiske grunde meget *spinkle trædimensioner*, primært bestående af trælægter, eller de sammenlignede CLT-plader, er samlet med metalbeslag, bolte, sømbeslag, selvskærende skruer osv, der samler kondensfugt omkring jernet der får træet til at rådne og jernet til at ruste.
- 3 Samlinger med jernbeslag er også meget farlige i tilfælde af brand, da de dels kan medvirke til at sprede branden, via jernets varme og store overflader, dels vil de under en brand, længe før træet begynder at brænde, forkulle inde i træet på grund af varmen - og derved miste sin konstruktive bæreevne.
- 4 Der benyttes det miljøbelastende trykimprægnerede træ udvendigt, eller træet plastikmales eller står ubehandlet – begge dele får det planskårne træ til at rådne meget hurtigt.
- 5 Bygningens klimaskærm isoleres med mineraluld og tættes med plastikdampspærre. Begge dele kan medvirke til at ydervægskonstruktionen bliver fugtet op på en farlig og ukontrollabel måde, så den rådner hurtigt 'indefra'. Især ved *konvektion* af fugtig luft gennem uundgåelige utætheder i plastikmembranen – indefra eller udefra (sommerkondens).

Alle fem elementer peger i *direkte modsat retning* af den historiske byggeteknik for ældre træhuse. Dette gør at moderne træbygninger erfaringsmæssigt kun kan forventes af opnå en holdbarhed på 50-80 år, hvorefter de må rives ned eller bygges voldsomt om, hvilket udleder CO₂ og medfører affald. Hvis træmaterialerne så oven i købet er transporteret den halve jordklode rundt, vælter minuspointerne yderligere ind på 'bæredygtigheds-kontoen'.

Da træerne i skovene tager 60-80 år før de er CO₂-neutrale, d.v.s. oplagrer mere CO₂ i deres ved end de 'udleder' gennem forrådnelse af blade og grene m.v. om vinteren, vil en udnyttelse af træmaterialerne i bygninger med en levetid under 60-80 år belaste CO₂-balancen og dermed bygningens status som bæredygtig.

Så for træbygningers vedkommende betyder en *påviselig holdbarhed* og levetid på over 100-200 år allermest for at kunne udgive sig som bæredygtigt byggeri. **En træbygning, der ikke kan påvise, at den kan holde i mindst 80-100 år – kan ikke betegnes som bæredygtig.** Igen: Hvordan kan man så påvise dette, når det drejer sig om et helt nyt hus? Det skal dette projekt give et lødigt svar på.



Bindingsværkshus på Nyord, samlet med sømbeslag, der brændte sommeren 2020, braste meget hurtigt sammen på grund af disse.



Forsøgshus #1

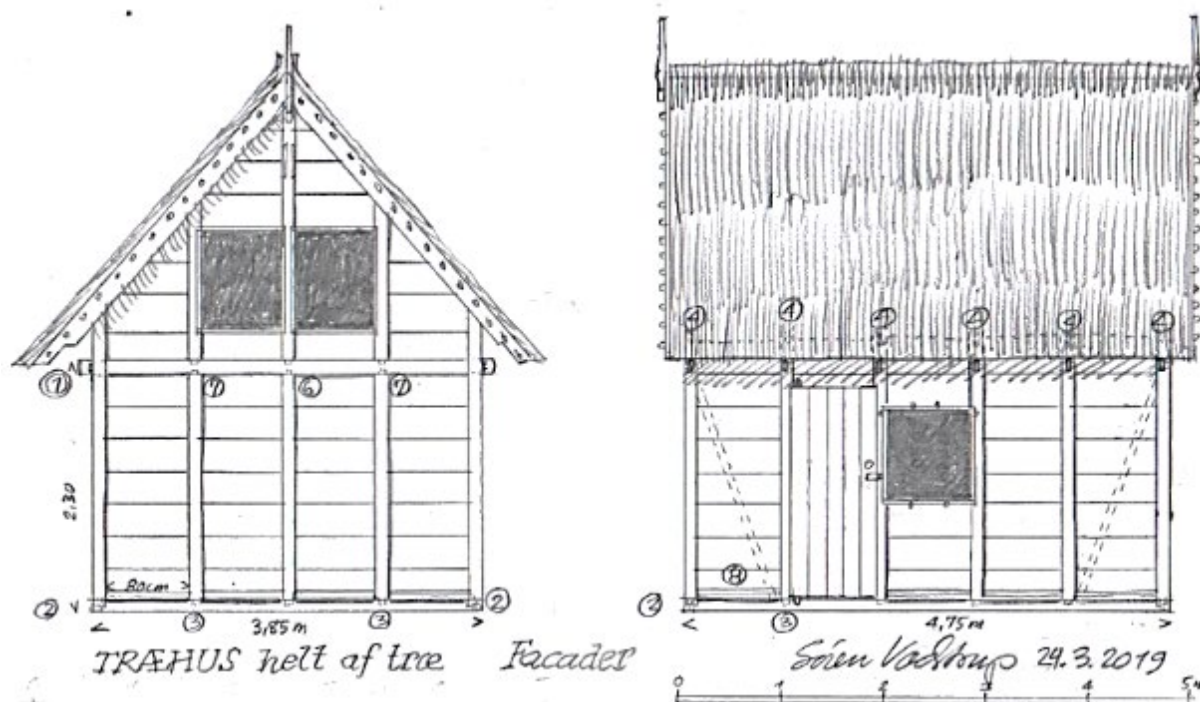
Bulhus af egetræ - efter forlæg fra Tyrstrup Bullade fra 1668

Den 25. april til den 16. maj 2019 gennemførte jeg sammen med ph.d.-studerende Søren Bak-Andersen fra Kunstakademiets Arkitektskole, og sammen med elever og lærere på snedkerfagskolen på Københavns Tekniske Skole og 'Videncenter for Håndværk, Design & Arkitektur' på NEXT-Uddannelse et 1:1 forsøgshus af træ på 2,5 x 2,5 meter. Projektkoordinator fra NEXT og Videncenteret: Jens Kjartan Mogensen

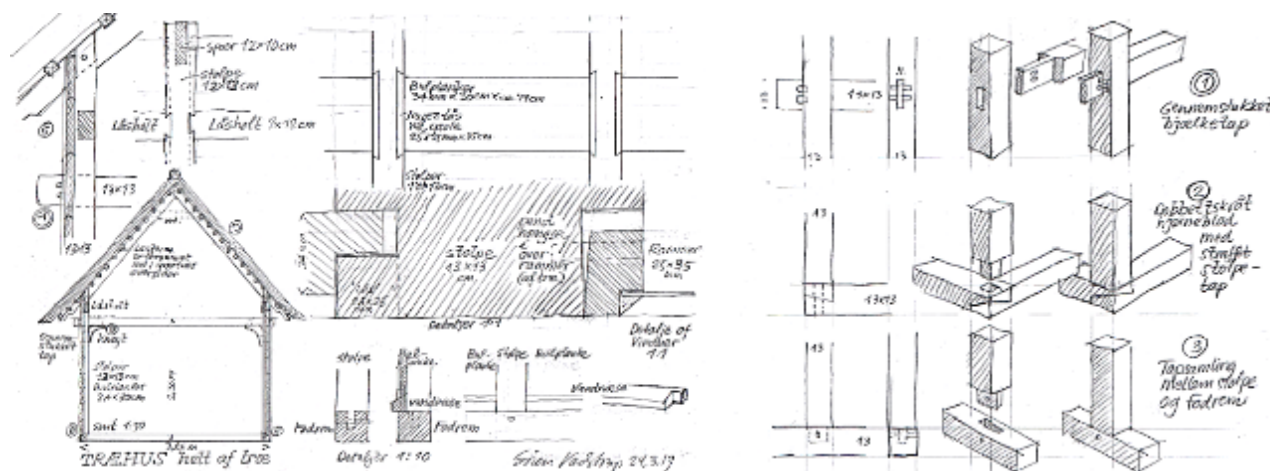
Dette hus skiller sig ud fra alle andre nye træhuse, der opføres i disse år, ved at:

1. Huset bygges af dansk egetræ
2. Alle samlinger er udelukkende udført træ med træ
3. Der udvikles automatiserede og arbejdsbesparende CNC-fræsede samlinger
4. Der arbejdes med selektivt opskåret træ – uden marv – til de forskellige elementer
5. Der benyttes ikke-ovntørret træ – her nyfældet og nyopskåret træ.

Eleverne var sammen med deres lærere og forskere fra Arkitektskolen i København med til at videreudvikle disse 5 elementer, ikke mindst de automatiserede CNC-fræsede samlinger. Projektet startede med en videnskabelig opdatering på Arkitektskolen i København den 25. april om historisk træteknologi og specielt bindingsværkshusenes og bulhusenes konstruktioner og kulturhistorie.



En af de første tegninger til bulhuset. Det gennemførte hus blev lidt mindre.

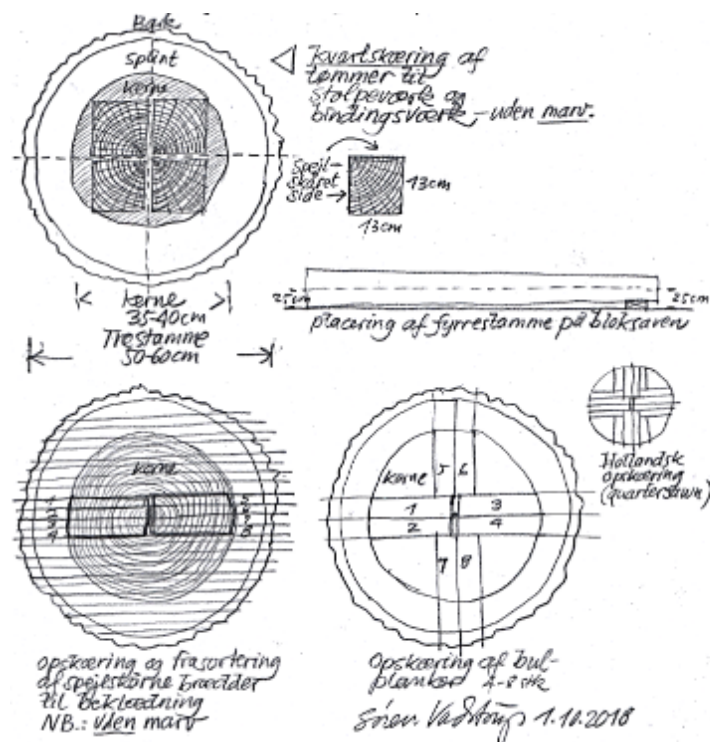


Detailtegninger til bulhuset, der er i styrtrumskonstruktion med gennemstukne bindbjælker, låst med 2 kiler.



Krav til tømmeret

- Alt træ skal være vokset og udsavet i Danmark.
- Tømmer: Kvartskåret eg eller fyr. 12,5 x 12,5 cm. Evt. halvtømmer. 100% kernetræ uden marv.
- Bulplanker: Spejlskåret eg eller fyr i størst mulig bredde, 3,4 cm tykt. 100% kernetræ uden marv
- Alt træ skal være lufttørret – men kan i dette tilfælde leveres nyopskåret og helt u-tørret
- Årringstæthed, knaster m.v. har ikke så stor betydning, men skal godkendes af projektholderne



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

Yderligere 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 træs 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 revnedannelser omkring marven.

3. Spejlskåret eller kvartskåret

Marvstrålernes 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 marv-strålerne ligger parallelt, eller stort set parallelt med overfladen, såkaldt spejlskårede brædder eller planker.

Spejlskårede brædder

I det spejlskårede træ har man koncentreret alle træmaterialets bedste egenskaber. Et spejlskåret bræt er:

- stort set vandafvisende,
- det er hårdt i veddet,
- det er utilbøjeligt til at revne og flække,
- det er stabilt og svinder og kvælder (udvider sig) næsten ikke,
- og endelig kræver det, af alle fire grunde, minimal vedligeholdelse, bl.a. i forbindelse med maling og overfladebehandling.

Spejlskårede brædder kan man vende, hvordan man vil og det er idet hele taget et ideelt materiale til bræddebeklædninger.

Planskårede brædder

Det planskårede træs egenskaber er stort set lige modsatte, og man skulle næsten ikke tro, at et spejlskåret og et planskåret bræt kom fra samme træ, få centimeter fra hinanden.

Det planskårede bræt er mere vandsugende, fordi marv-strålerne leder vandet ind i veddet, det er blødt, det er tilbøjeligt til at revne og flække, det er ustabilt, fordi det svinder og kvælder meget og derfor kræver det uforholdsmæssigt meget vedligeholdelse.

Dette betyder dog ikke, at man *ikke* kan anvende plan-skårede brædder til f.eks. en udvendig bræddebeklædning. Man skal blot konsekvent vende kernesiden udad.



Projektbeskrivelse

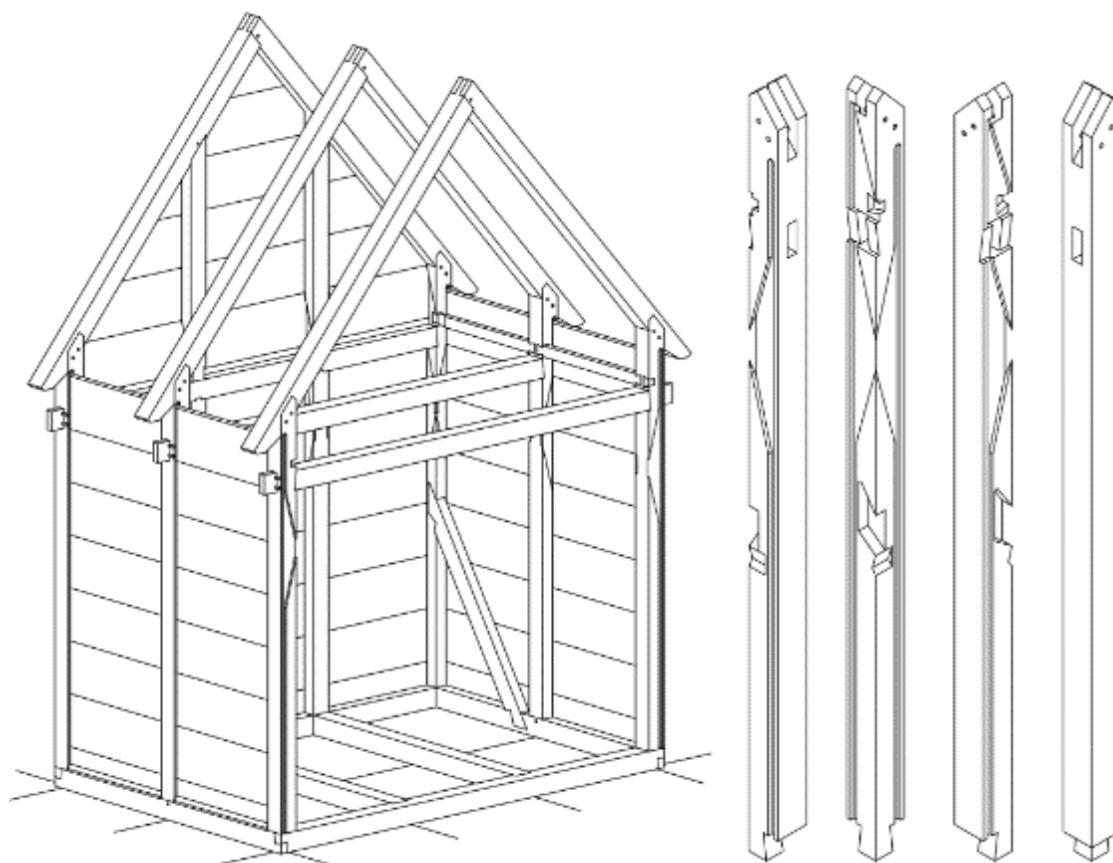
Forsøgshuset er konstrueret som et klassisk bulhus af stolpeværk i styrtrumskonstruktion – let kendelig på de gennemstukne, forkilede bjælketappe i langsidernes stolper – og indvendigt på spærføddernes højde over bjælkelaget, fra gammel tid kaldt 'styrtrummet'. Oprindeligt har styrtrumshusene haft indvendige knægte mellem stolper og bjælker, for tværstivhedens skyld, så de skal på igen. Knægtene nagles fast med trænagler.



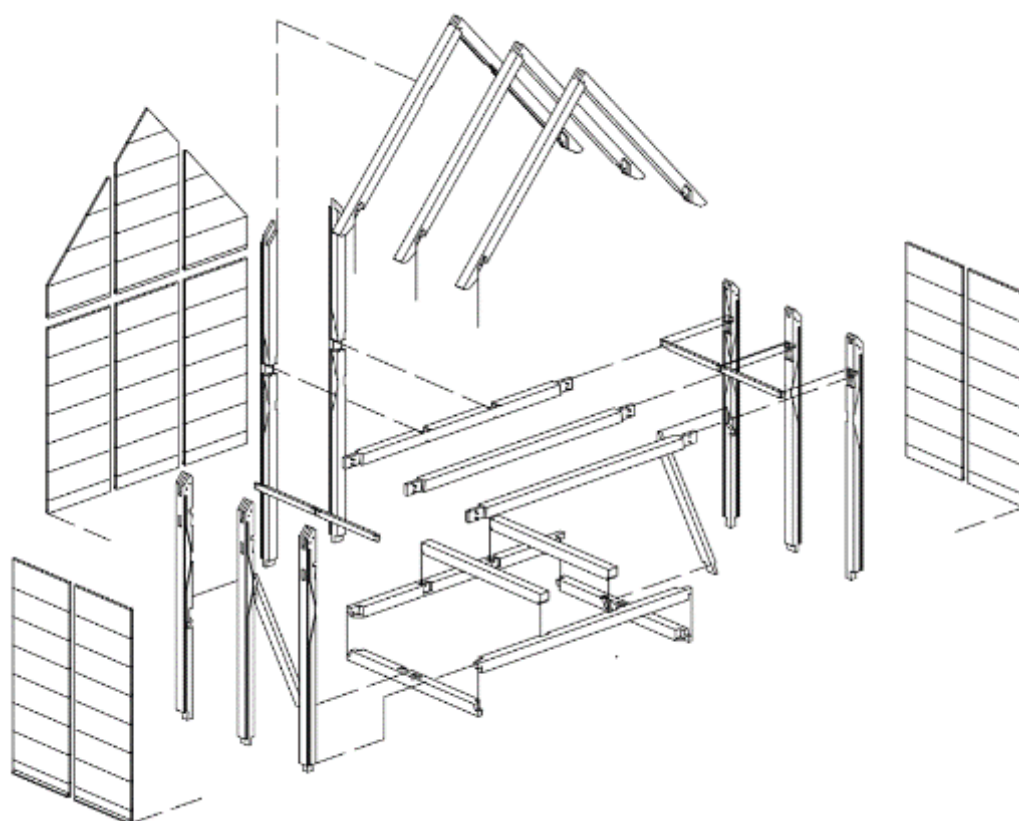
Hjørnestolperne er for neden stukket ned gennem fodremmens hjørne-bladsamling, for at låse denne. Øverst er spærene slidset gennem bjælkerne, med en 'låsehæl' som forsats. Denne løsning er valgt for at kunne føre spærene direkte ud i bygningens udhæng. På langs er der, lige under spærene, anbragt vandrette 'lášholte' mellem stolperne, der er gratet på.

Ydervæggenes bulplanker er sat ned i en not i siden af stolperne, og for at kunne få plankerne ind og ud, bliver de låst med en 'trapez-lås', der kendes fra det færøske hus. Bulplankerne har runde over- og underkanter, så regnvandet ikke lægger sig, og så man kan 'presse' plankerne meget tæt sammen, inden trapez-låsen lægges i. På langsiderne, hvor der ikke sidder vinduer, kan bulplankerne 'bare' stoppes ned for oven, hvorved et eventuelt samlet svind giver sig udslag i en 'revne' under tagskægget, hvor der alligevel skal ventileres.

Både de nederste bulplanker og stolpeenderne er forsynet med et skråt smig, der passer til en affasning på fodremmen, der vil lede regnvandet ud over samlingerne – som et meget lille 'stolpeskel'. Denne detalje udføres også ved gavlbjælkerne.



Computertegninger af bulhuset og en hjørnestolpe forberedt til CNC-fræseren.



Bulhuset i adskildt form – så kan man tælle og holde styr på alle delene.



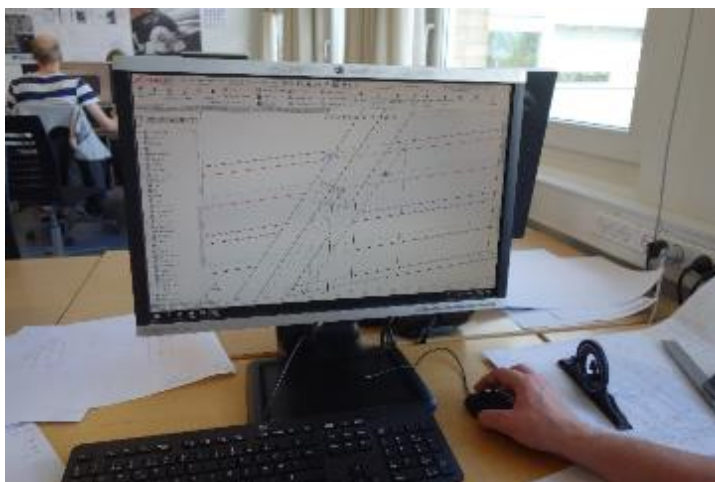
Bulhuset

Et bulhus er et bindingsværkshus/stolpeværkshus, hvor de bærende stolper står på en fodrem, og hvor der mellem stolperne er sat brede såkaldte *bulplanker* ned i en kraftig *not* (rille) på begge sider af stolpen. Oven på stolperne ligger en vandret *tagrem*, der har låst stolperne sammen for oven, og hvorpå de tværgående bjælker har været kæmmet ned i et lille hak.

Bulhuse har formentlig været bygget over hele landet siden jernalderen, med undtagelse af de mest træfattige områder. På Gotland ligger der den dag i dag over 700 bulhuse, der er fuldt beboelige og hvor nogle også har holdt i over 200 år.



'Vores' bulhus blev som nævnt bygget på Københavns Tekniske skoles bygningsnedkarafdeling i Rødovre i maj 2019. Man kan læse yderligere om dette projekt på hjemmesiden www.bevardithus.dk under 'forskning'.







Flytning og genopstilling

I august 2019 blev bulhuset imidlertid færdiggjort, flyttet fra Rødovre og genopstillet på en udstilling om 'bæredygtighed og klimaforandringer' i Meldahls Smedje på Arkitektskolen på Holmen den 5. september til den 15. november 2019. Den 13. november afholdt vi et meget velbesøgt eftermiddags-seminar om projektet på Arkitektskolen, hvor der kom over 350 mennesker fra hele branchen og mange andre med.





Bygningen ses her udstillet på KADK i september-november 2019 afsluttet af et velbesøgt eftermiddagsseminar den 11. november 2019. Derefter blev det nedtaget og lagt i depot - hvor det nu ligger adskilt.

Videncenter for Håndværk, design & Arkitektur har udgivet en bog: *WORK IN PROGRESS En billedokumentation af fire 1:1 workshops for håndværkselever*. Se link til denne [her](#).

Læs også den afsluttende projektrapport for 'projekt BULHUS': *Nye bæredygtige træhuse – helt af træ – med vedvarende holdbarhed*. [Her](#).



Forsøgshus #2 'Gram Å Hytten' – fiskerhytte ved Gram Å i Sønderjylland

Udført som led i KADK-Sommerskole afholdt hos firmaet Dinesen i Jels den 20. juli – 1. august 2020 med 20 arkitektstuderende og i samarbejde med Peter Møller Rasmussen og Christian Vennerstrøm fra KADK samt Hans Peter Dinesen. I år var det planen at bygge en 'hytte' af træ til overnatning for bl.a. lyst-fiskere eller vandrere langs 'Hærvejen'. Bygningen står i dag på en naturgrund ved Gram Å. Jeg kalder den derfor for 'Gram Å Hytten'.

Huset og projektet indgår i mit eget forskningsprojekt 'Nye bæredygtige træhuse – helt af træ, med vedvarende holdbarhed'. Se link [her](#).

Vi, studerende og lærere, tegnede hyttens grund-konstruktion ud fra fgl. udgangspunkter:

1: Materiale: træ (stolper og planker)

- Bygningstræ fra *fuldt udvoksede træer på over 60-80 år* lagrer den CO₂, træstammen har genereret
- Hvis den nye bygning selv *påviseligt* kan holde *over 60-80 år*, gavner den CO₂-balancen
- Hvis den holder i kortere tid, belaster den CO₂-balancen

2: Konstruktion: bindingsværk, samlet træ med træ, uden jern.

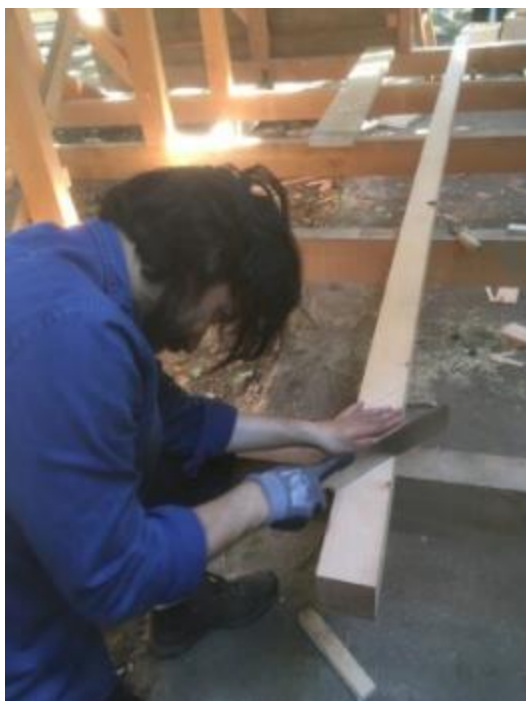
- Ved at kopiere udvalgte eksempler fra *historiske bygninger*, der påviseligt har holdt i over 200 år
- eksempelvis *danske bindingsværkshuse* af fyrretræ eller eg fra 1600 og 1700-tallet
- kan vi *påvise*, at den nye bygning vil holde lige så længe
- Studierne viser, at kombinationen af jern og træ i konstruktionerne, max holder 60-80 år

3: Ukomplerede og enkle træsamlinger som amatører kan udføre på meget kort tid, primært *bladsamlinger*, *klo-samlinger* og *slids-samlinger*. Der er derfor ingen *tapsamlinger* i huset.

Et østdansk højremshus fra middelalderen – med 'udskud'.

Derfor faldt valget på et østdansk *højremshus* fra jernalderen og middelalderen med udskud i begge sider. Disse blev i vores bygning udført som meget elegante 'svævende' udskud, der ikke rører jorden.

- Bygningen er oprindeligt (i jernalderen) bygget til at kunne opføres og *flyttes meget nemt*.
- Flere af træsamlingerne, bl.a. spærene, holdes kun på plads af tyngdekraften.
- De øvrige træsamlinger er samlet med træagler.
- Det oprindelige lysgivende lyrehul i det vinduesløse hus er udført som en lang lanterne.
- Huset er beklædt med klinklagte brædder på vægge og tag – da den oprindelige lukning med lerklinede vægge og stråtag ikke kunne nås på de 14 dages sommerskole.





4: Præfabrikerede byggemetoder som i middelalderen.

- Tildannelse af tømmer og planker og udførelse af alle *bindinger* (træsamlinger) på en plan plads.
- Nummerering
- *Afbinding* (adskillelse igen) på 'afbindingspladsen'.
- *Flytning* til byggepladsen
- *Rejsning* af bygningen og færdiggørelse på stedet

5: Bibeholdelse af forskellige elementer fra jernalder- og middelalderhuset

bl.a. udskud, lyrehul, ildsted, lergulv, indretning med bryggers, stue og herberg, der flyttes med som moderne elementer i bygningen.

- *Udskuddene* udføres som 'svævende' udskud,
- *Lyrehullet* som en lanterne,
- *Herberget* som alkover m.v.
- *Lergulvet* findes som fundament for ildstedet
- *Ildstedet* er placeret i enden af stuen, der har trægulv.

6: Beklædning af ydervægge og tag med klinklagte brædder

primært af tidsmæssige grunde, i stedet for lerklinede vægge og stråtag.

bulplanker var ikke mulige på grund af de spinkle stolpedimensioner, der var til rådighed.

7: Overfladebehandling med gråsort kalksæbefarve.

Den meget flotte og 'vandskyende' kolde sortgrå udvendige malerbehandling bestående af sæbespån, læsket kalk og sort pigment. Læs opskriften [her](#)

Selv om vi ikke nåede at blive helt færdige med hytten – den var også blevet temmelig stor undervejs på tegnebrættet – blev der lagt en fantastisk arbejdsindsats og et kæmpe engagement fra de studerendes side. Som det fremgår af billederne.

Se flere billeder på **Instagram**:

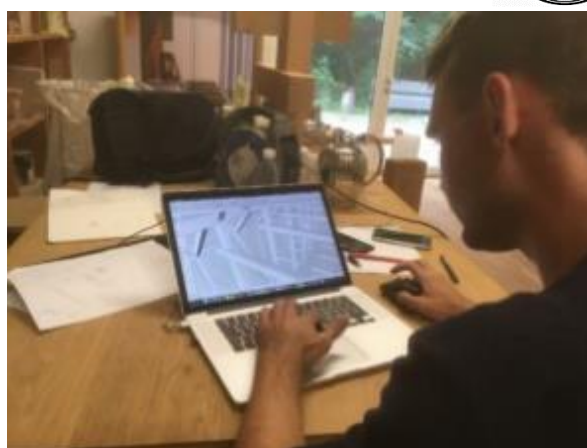
<https://www.instagram.com/p/CC-vuUchNyq/>

<https://www.instagram.com/p/CDTJnfchiL2/> (inkl. en lille film af en trænagling)

<https://www.instagram.com/p/CDZLD9RBqBS/>

<https://www.instagram.com/p/CEOaBBKh4E4/>







Forskning og udvikling

Det har det været spændende at afprøve de i dag meget sjældne sjællandske/østdanske bindingsværkskonstruktioner med kæmninger og bladsamlinger, specielt svalehaleblade og kløer, i en større bygning som denne.

Endvidere det historiske byggesystem med binding, nummerering, afbinding, transport og rejsning, der den dag i dag indgår i tømmerfaget og 'tømrersproget'.

Vi eksperimenterede med et stykke lergulv med den lokale 60 millioner år gamle, kulsorte, 'pyrit-ler' (pyrit = 'ildsten') i 3 lag, og også som tilslag i en lerpuds på ildstedet. Herunder også de lokale kokasser som fibermateriale i leret.

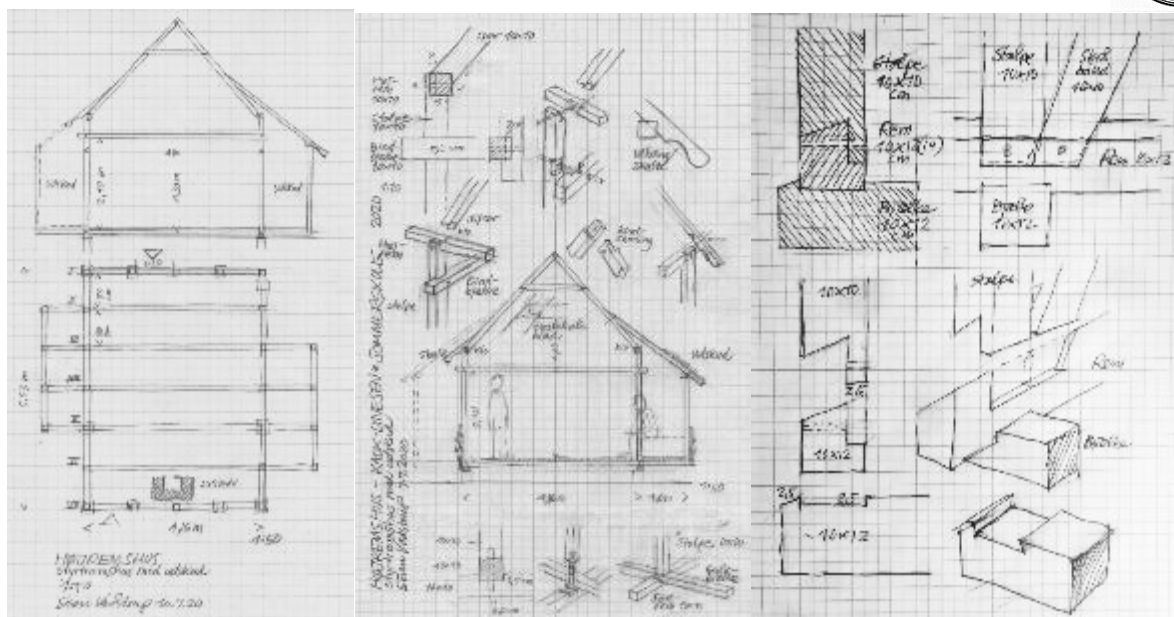
Overfladebehandlingen med *kalksæbefarve*, er et forsøg på at overføre japanske erfaringer med udendørs kalksæbebehandling af træ, kaldt ARAI, der kan oversættes med 'at vaske'. Læs om denne [her](#).



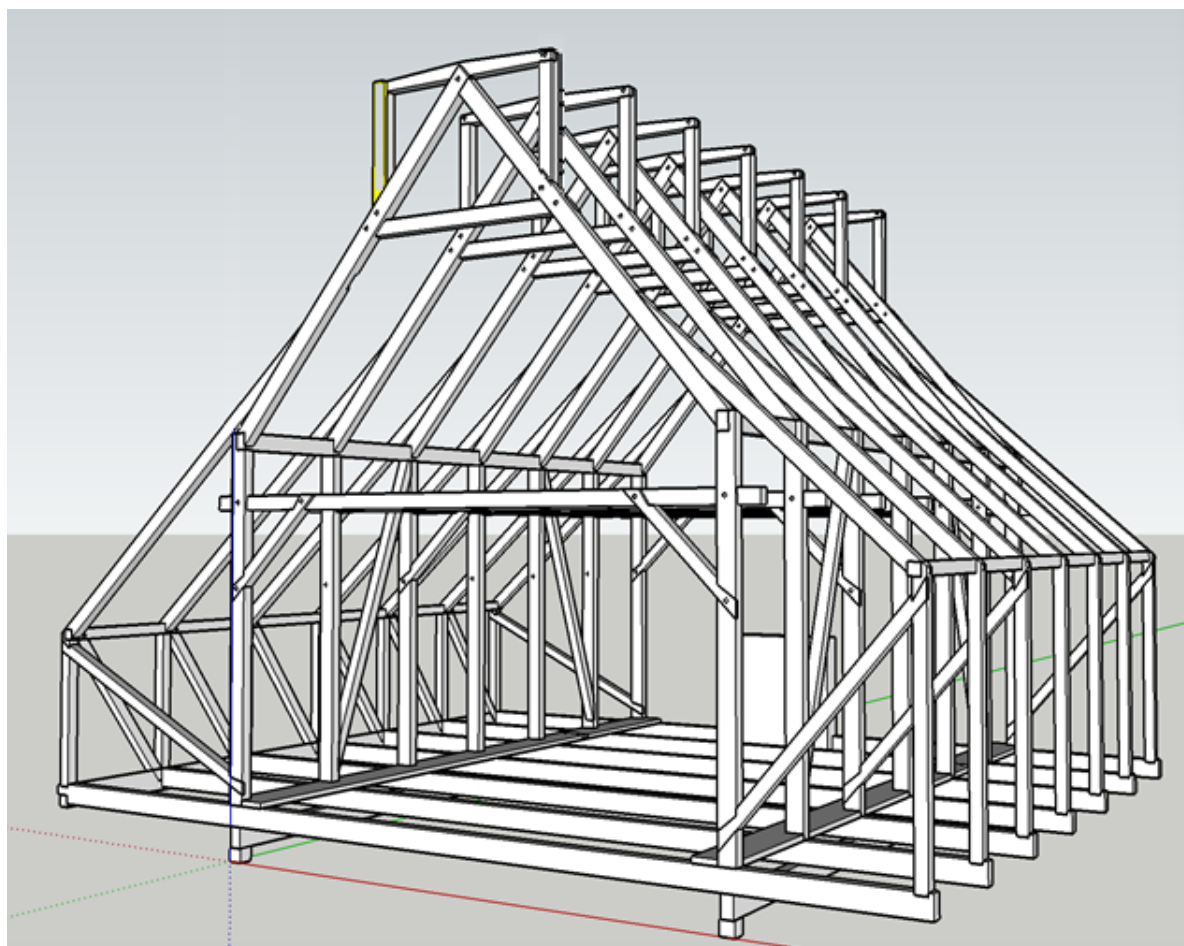


Gram Å Hytten fotograferet i november 2020.





Mine første skitser til hytten – et østdansk højremshus med udskud. Meget blev dog ændret undervejs.



Alle de små runde 'mærker' på tegningen repræsenterer trænaglinger, **ikke** jernbolte med møtrikker. Som på det sjællandske landbindingsværkshus er bjælker og stolper kæmmet sammen ('glammede bjælker'), skråstivere er samlet med svalehaleblade, spær og udskudsspær er samlet med kløer, fastholdt af tyngde-kraften. Også stolpernes fodpunkter holdes på plads af en kort tap og tyngdekraften.



Forsøgshus #3

Færøsk stavhus

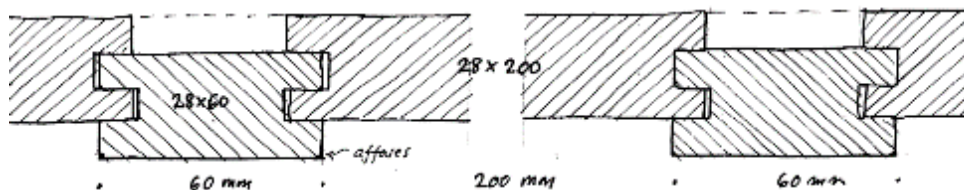
– med forlæg i 'Husið við Brunn' på Nolsøy og Frilandsmuseets færøhus.

Udført på Københavns Tekniske Skole i Herlev i samarbejde med faglærerne Toke Bang og Kjestine Mark Jensen. Medvirkende professor Christoffer Harlang og arkitekt Asser Vadstrup (tegninger).

Huset udføres med maskinfræsede og CNC-fræsede træsamlinger, d.v.s. notede, kæmmede og bladede samlinger, Enkelte tapsamlinger. Træsamlinger udført med fræseskabeloner gør samlingen meget hurtig, da alt sker på maskine, og præcis, da skabelonerne er tilpasset hinanden som positiv og negativ form.

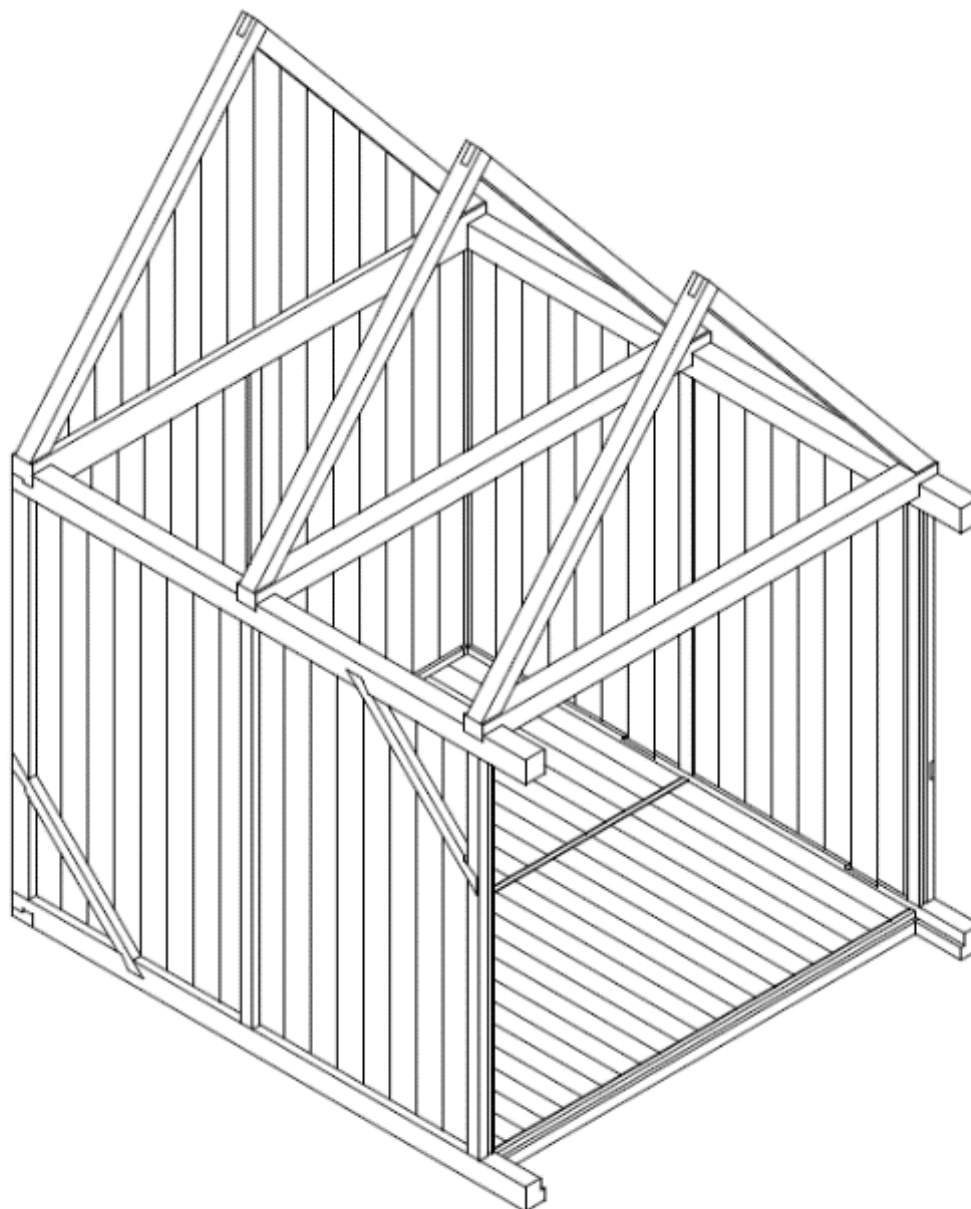
Forskning og udvikling

- Eftervisning af at de programmerede CNC-samlinger, når de eengang er programmeret til fræsemaskinen, kan anvendes i andre bygninger – som en slags standard-samling, f.eks. et svalehaleblad på et skråbånd, en hjørnesamling, spær-bjælkesamling m.m. Dette gøres bl.a. ved at overføre CNC-filerne til et projekt med nye træhuse, helt af træ, på Færøerne - med et mere eller mindre videreudviklet design.
- Der eksperimenteres med anvendelsen af helt nyfældet (vådt og ulagret) træ, kombineret med det færøske hus meget avancerede 'selvudtørrende' konstruktioner: Sammennotet indvendig beklædning med 'trapez-lås', midlertidigt sømmet udvendig beklædning, notede vindues-og dør-indbygninger.
- Spejlskåret og kvartskåret fyrretræ uden marv i samarbejde med danske savværker
- 'Interim-sømning' af den udvendige beklædning, kombineret med de materialebesparende not-mod-not-samlinger.

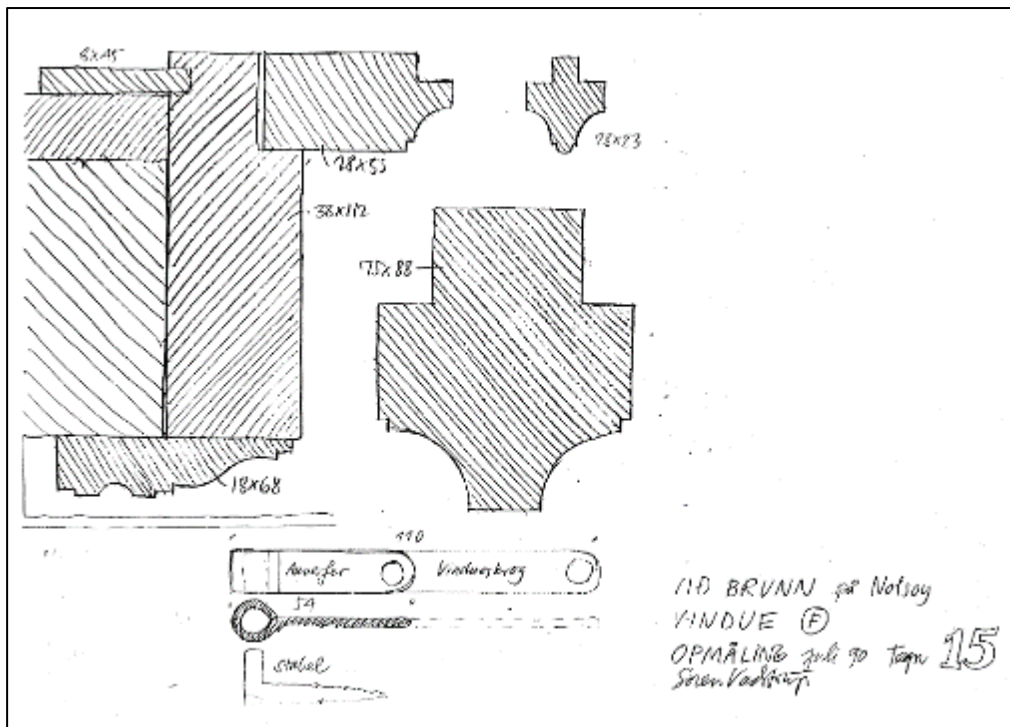


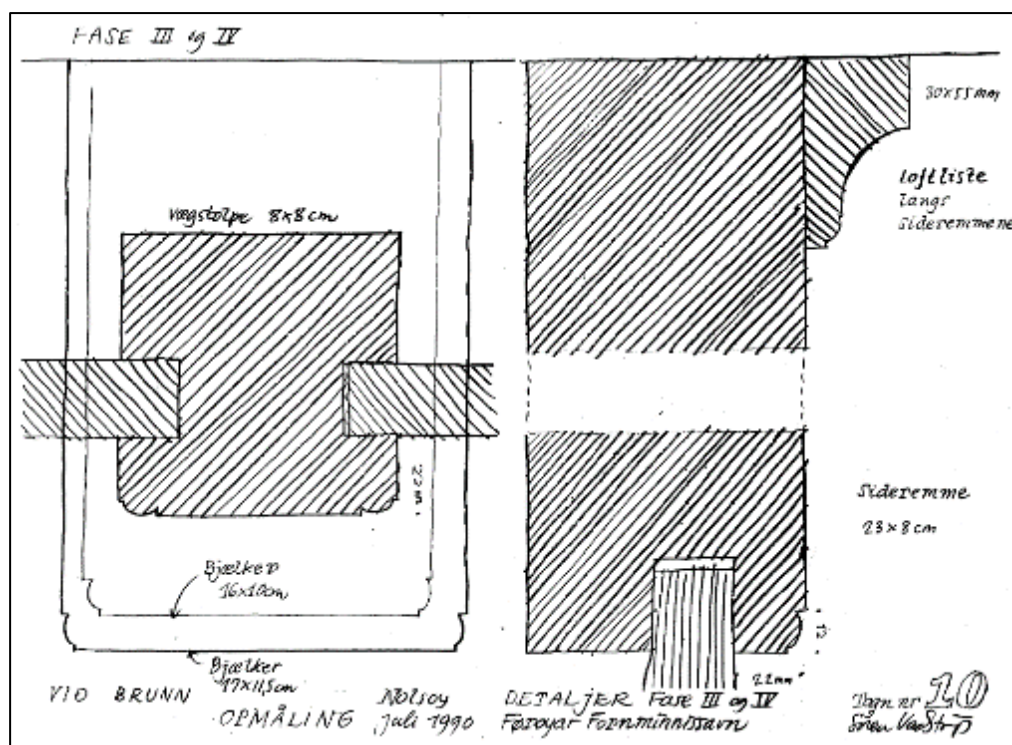
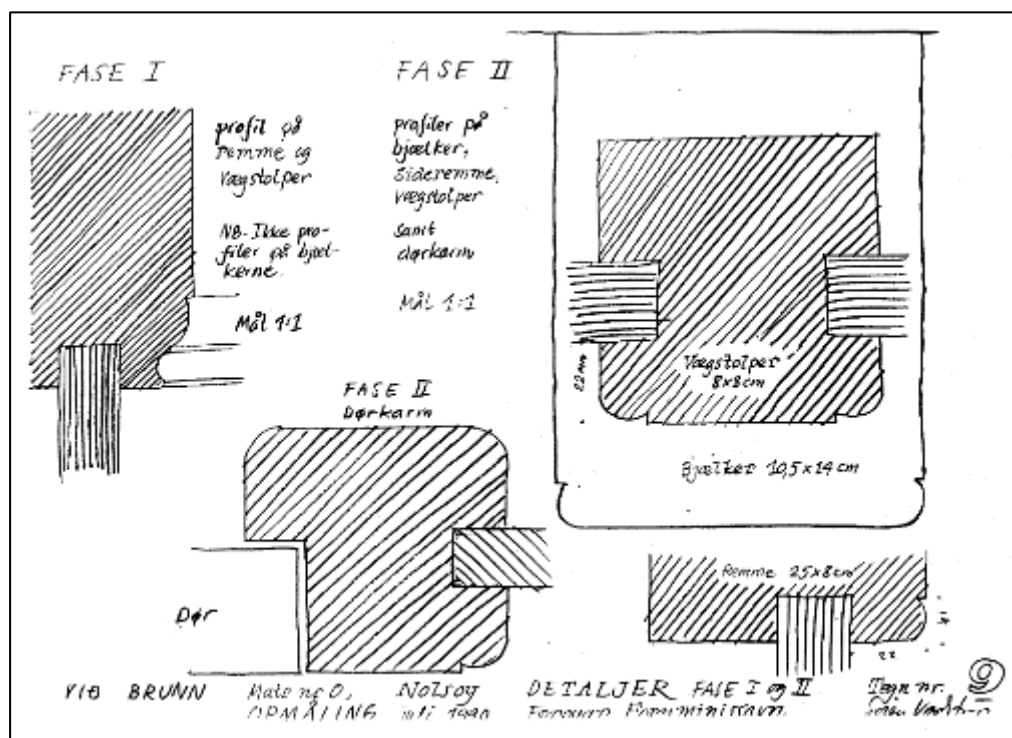
Not-mod-not brædder til udvendig beklædning. Detalje fra huset 'Við Brunn' på Nolsøy.

- Forsøg med varmeisolering med stillestående luft mellem de to helt tætte bræddebeklædninger. Dette er tidligere (i 1919) afprøvet med gode resultater på Trondheims Tekniske Universitet. (Einar Bygge, NTU, 1919). Se tegning af husets 'udskud'.
- Færøsk revledør med træhængsler og klinkefald/lås (se side 12)

[illegible]

Specifikationer, inklusive alle indhak og samplings-
detaljer for de enkelte tømmerstykker





Fotos fra byggeprocessen



Færøhusets selvlåsende hjørnesamling. Stolpen står dog kun på en ganske lille tap – plus tyngdekraften.



Her står de 3 stolte snedkerlærlinge med deres færdigt-udfræsede tømmer – næsten klar til samling.



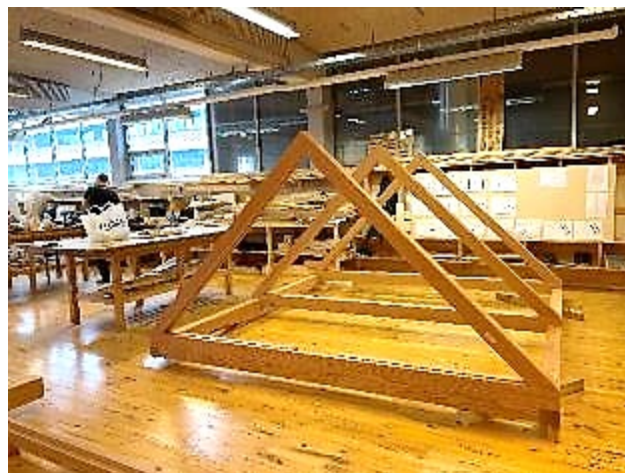
Vi var naturligvis også ude og studere et ægte færøhus på Frilandsmuseet. Se den fine trapez-lås.



Hængsler, dørgreb og klinkefald er også af træ på Færøhuset.



Maskinfræsning af remmenes 'krydskæmning' efter fræseskabeloner. Til højre er hele bundremmen samlet, med de særlige 'låste' hjørnesamlinger med taphul til stolpen og vandrette noter til vægplankerne.



Samling af spær og bjælker



Stolpeværkskonstruktionen, uden tag og vægplanker. Læg mærke til de fine skråbånd med svalehaleblad.





Så er der rejsegilde med fin krans. Drengene forsvandt, så det er kun Freja og Freja fra byggeholdet.



3-punktssamling mellem fodrem, gulvbjælke og vægstolpe. 4-punktssamling ved taghjørne. Alle uden jern.



Gulvet er udført i faldende bredder og med løs fer. Herefter skal vægplankerne skydes ind i noterne og



Her er der sat vægplanker i noterne og 'løsholter' til at holde vinduerne.



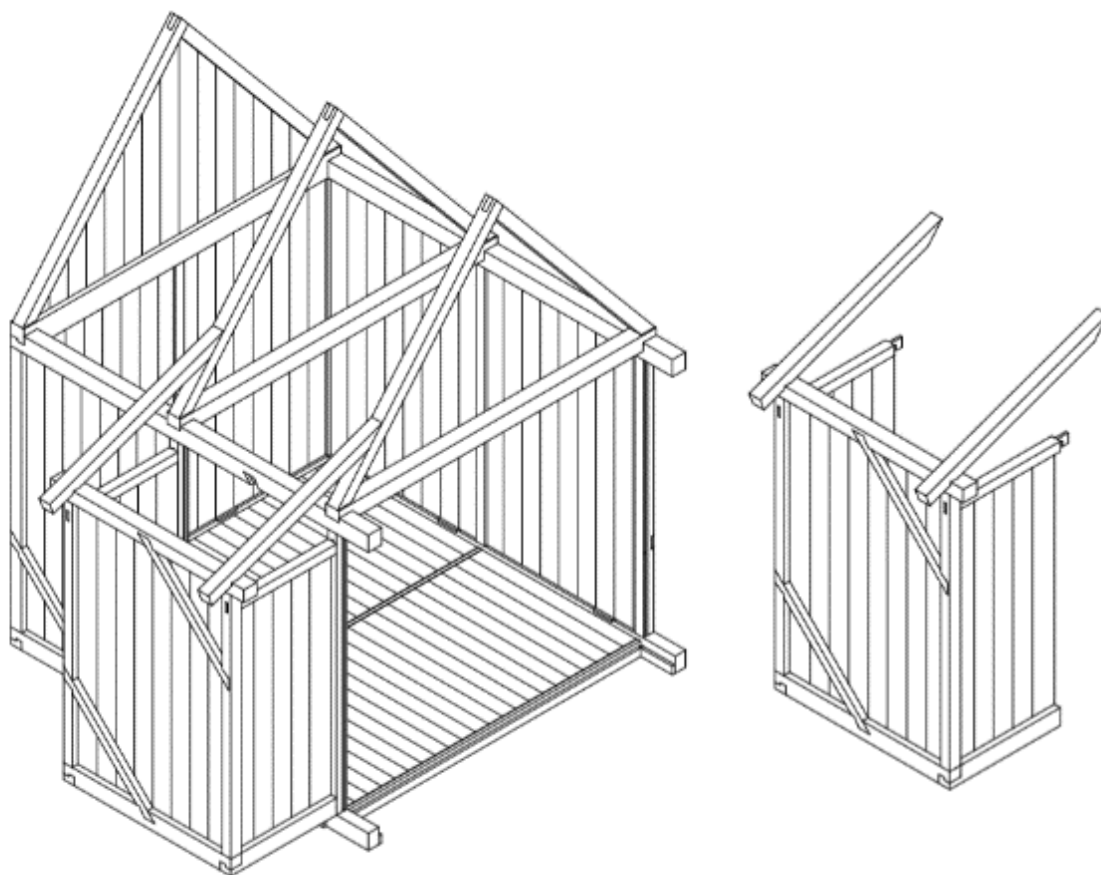
Videreudvikling af stavhuset

Selv om det færøske stavhus konsekvent er meget lufttæt, på grund af de omhyggeligt tætte strævægge, er ydervæggene ekstremt 'tynde'. Vi vil som nævnt ovenfor med dette projekt undersøge effektiviteten af isolering med *stillestående luft*, helt uden et 'fastholdelsesmateriale' som mineraluld, høvlspåner, træfiber etc. men simpelthen bare *luft*, der står helt stille i ydervæggen, gulvet og taget. Denne har samme lambdaværdi som de isoleringsmaterialer, der benyttes i dag, men hvis eneste formål er at holde den atmosfæriske luft i disse, *stille*, d.v.s. $\lambda = 0,04 \text{ W/m}$.

I den almindelige ydervæg kan luftmellemrummet, hvor luften står stille højst være 4-5 cm, hvilket jo ikke er meget, men dog noget. Så det bliver spændende at regne på.

Men for at øge luftmellemrummet, hvor luften kan stå stille betragteligt, vil vi sætte et lille *udskud* på 90 cm bredde i den ene side af bygningen. Dette helt lukkede rum kan bruges til alkove, skab, spisekammer, værksted eller køkken. Men det er ikke mindst et bud på, hvordan huset kan varmeisoleres langs siderne med stillestående luft, her hele 90 cm. En multifunktionel type hus-isolering. En phd. fra Arkitektskolen i Aarhus af arkitekt Birgitte Tanderup har også været inde på dette for de nordvestjyske 'udskudshuse' på landet.

De små udskud, der ses på Færøerne og på Frilandsmuseet, er 'klasket' ind på stavhuset på en meget mærkelig måde, uden direkte konstruktiv sammenhæng, så det har vi arbejdet lidt med at forbedre i vores forslag. Samtidigt med at udskuddet stadigvæk kan fjernes.





Litteratur

Forskningsprojektet *Nye træhuse – helt af træ* (se link [her](#)) er en del af forskningsprojektet: Vadstrup, Søren: *Det danske bindingsværkshus – før, nu og i fremtiden*. Se [link](#) til dette her. Begge steder er der yderligere litteratur og uddybende artikler.

Litteratur herudover:

Andersen, Søren Bak: *Gammel viden til nye bygninger. Traditionelle byggematerialer og håndværksteknik i nutidigt byggeri*. Ph.d.-afhandling på KADK oktober 2020. Om træ side 89-129. Se [link](#) her.

Clemmensen, Mogens: *Bulhuse. Studier over gammel dansk træbygningskunst*. 2 bd. Munksgaards Forlag, København 1937.

Stoklund, Bjarne: *Det færøske hus i kulturhistorisk belysning*. C.A.Reitzels Forlag, København 1996

Vadstrup, Søren: *Vedvarende holdbarhed. Bæredygtighed og cirkulær økonomi for bygninger*. (2018) Forskningsrapport på www.bevardithus.dk (om træhuse bl.a. side 42-45) Se [link](#) her.

Vadstrup, Søren: *Styrtrumshuset – det danske landbindingsværkshus immaterielle kulturarv*. Forskningspapir på www.bevardithus.dk januar 2020. Se [link](#) her.

Vadstrup, Søren: *Det sjællandske landbindingsværkshus*. (2020) Forskningspapir på www.bevardithus.dk. Se [link](#) her.

Vadstrup, Søren: *Det sjællandske landbindingsværkshus*
I: Brandt, Troels m.fl. (red.): 'Naturpark Mølleåen – Geologi, natur og historie omkring Øvre Mølleå'. Naturpark Mølleåens Venner, Farum (2020). Side 209-215. Læs mere [her](#).

Vadstrup, Søren: *Bindingsværk og kropsmål samt nummerering og rejsning af bindingsværkshuse*. (2020). Forskningspapir på www.bevardithus.dk.

Vadstrup, Søren: *Mit bindingsværkshus. En håndbog i vedligeholdelse og istandsættelse samt energiforbedring af bindingsværkshuse i Danmark*. (Netværk for Bindingsværk, 2020) Bogen kan købes [her](#).

Videncenter for Håndværk, design & Arkitektur: *WORK IN PROGRESS En billedokumentation af fire 1:1 workshops for håndværkselever*. Bulhus-projektet er omtalt på siderne 57 – 62. Se [link](#) her.