

## Forsøgshus #1:

# **Nye bæredygtige huse af helt træ – med vedvarende holdbarhed**



**‘Nye bygninger skal kunne påvise, at de har en levetid på mindst 200 år – gennem historiske referencer til materialer, konstruktioner og detaljer m.v.’**



# Nye bæredygtige huse af helt træ – med vedvarende holdbarhed

## Projektets baggrund/forudsætninger

Nye bæredygtige bygninger skal kunne påvise, at de har en levetid på mindst 200 år.

Det kan f.eks. ske gennem referencer til materialer, konstruktioner og detaljer m.v. på historiske bygninger, der påviseligt har holdt i over 200 år.

1: ud fra vores kendskab til historisk træteknologi:

**Hvad kan påviseligt holde i 200 år**

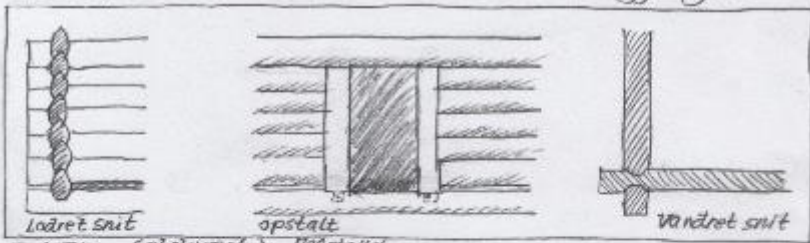
2: ud fra vores kendskab til historisk træteknologi:

**Hvad holder påviseligt ikke særlig længe**

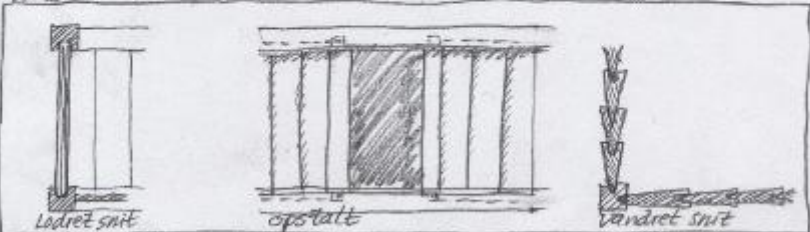
3: Ud fra vores kendskab til historisk træteknologi

**Hvordan kan man udføre disse konstruktioner og detaljer i dag**

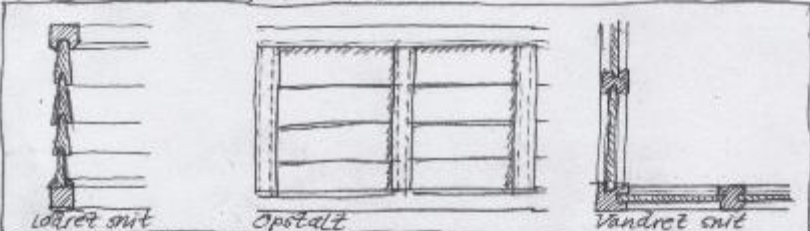
# YDERVÆGSKONSTRUKTIONER i træbygninger



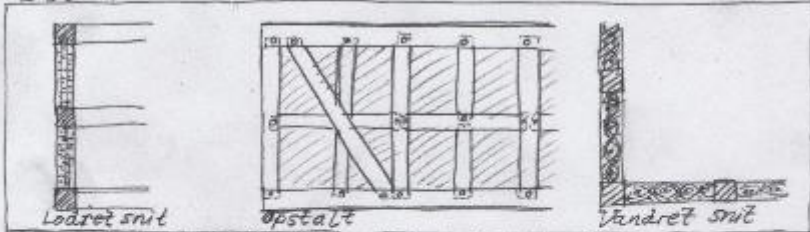
LAFI (stokværk) 190-tallet



STAV (stavværk) 800-tallet



BUL (skiftesværk) 800-tallet

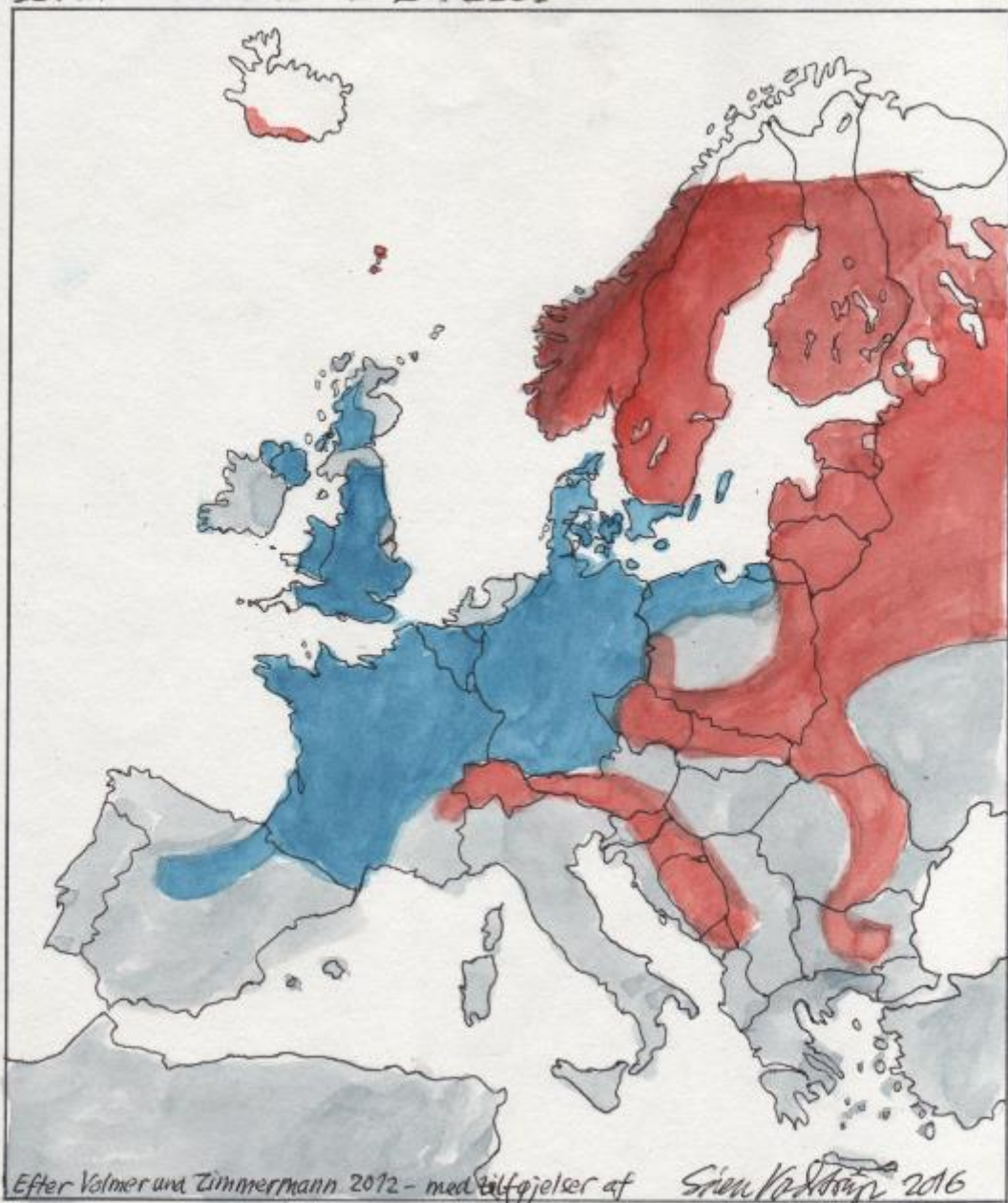


BINDINGSVÆRK (korsværk) 1000-tallet - 1850



REISVÆRK (breddebeklædt bindingsv.) © Søren Vindstrup 2016

# TRÆBYGNINGER I EUROPA



Efter Volmer und Zimmermann 2012 - med tilføjelser af Søren Vindstrup 2016

- Bindingsværk + Bul
- Laftehuse + Stav
- Natursten m.m.



## **TRÆ**

Manfred Hegger, Hans Drexler, Martin Zeumer: **Basic Materials**, (Birkhäuser 2007)

### **Træs egenskaber**

Træsarter: løvtræer (beskyttet af garvesyre) og nåletræer (beskyttet af harpiks)

Densitet: (massefylde) + vækst og årringstæthed

Styrkeegenskaber: Meget forskellige på langs af årerne og på tværs (over spån)

Svind og kvældning – i våd og tør tilstand

Lagrer CO<sub>2</sub>

God isoleringsevne

### **Brug**

Konstruktiv træbeskyttelse

Kemisk træbeskyttelse

Varmebehandlet træ

### **Variationer**

Limtræ

Krydsfiner

Cross-Laminated-Timber (CLT)



## TRÆ

Manfred Hegger, Hans Drexler, Martin Zeumer: Basic Materials, Birkhäuser 2007

Manglende viden om historisk træteknologi i denne bog:

### Træs egenskaber

Træsarter: løvtræer (beskyttet af garvesyre) og nåletræer (harpiks) (forskul på kerne og splint)

Densitet: (massefyldte) + vækst og årringstæthed (Eg: hurtigtvokset egetræ har størst styrke)

Styrkeegenskaber: Meget forskellige på langs af årerne og på tværs (over spån) (krumvokset træ til skråbånd)

Svind og kvældning – i våd og tør tilstand. (spejlskæring modvirker dette)

Lagrer CO<sub>2</sub> (ja, men mest, hvis træet og træbygningen holder meget længe (200 år f.eks.))

God isoleringsevne (proppes alligevel med plastikdampspærrer og mineraluld)

Ikke nævnt: Spejlskåret og kvartskåret træ kontra planskåret træ, hel- og halvtømmer (svindrevner, krumning mm)

### Brug

Konstruktiv træbeskyttelse (ventileret bagside)

Kemisk træbeskyttelse (kan ikke anbefales, hverken af tekniske eller miljømæssige grunde)

Varmebehandlet træ (en myte) (sodsværtet træ kan anvendes til indmurede bjælker)

### Variationer

Limtræ (går hurtigt op i limningen + limen suger fugt så træet rådner)

Krydsfiner (do)

Cross-Laminated-Timber (CLT) (kraftige dimensioner + endetræ suger fugt)



## TRÆ og nybyggeri i træ

### Ofte begåede fejl:

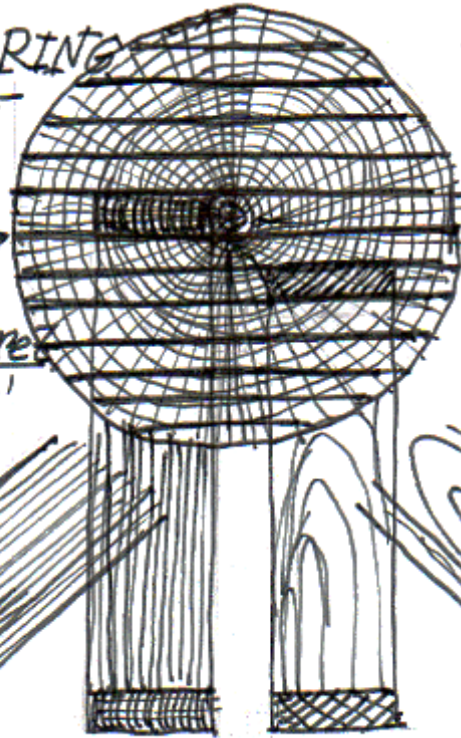
1. **Træsart:** Fejl: Importerede træsorter som 'cedertræ', fyr fra Nordsverige etc.
2. **Opskæring:** Fejl: Marvstrålernes retning vendes forkert – revner, svind, fugt, nedbrydning)
3. **Kunstig tørring:** Fejl: Råd- og svampeangreb opdages ikke
4. **Trækvalitet:** Fejl: Splintved fra fyr i udvendige beklædninger, gran i konstruktioner, splint i egebindingsværk
5. **Ubeskyttet endetræ:** Fejl: Fugtes op – revner og rådner (f.eks. CLT-elementer)
6. **Konstruktiv træbeskyttelse:** Fejl: Manglende ventilering af bræddebeklædninger
7. **Limtræ, krydsfiner** (f.eks. CLT-elementer): Fejl: Lim har for kort holdbarhed udvendigt. 'Går op i limningen'
8. **Imprægneret træ:** Fejl: For kort holdbarhed udvendigt. Forurener. Problematisk bortskaffelse
9. **Overfladebehandling:** Fejl: For ufleksibel og diffusionstæt – træet rådner
10. **Samlingsmåder/trækonstruktioner:** Fejl: Samles med metalbeslag, bolte, søm- og skruebeslag, skråsøm/skruer



OPSKÆRING  
af plan-  
ker.

Marv-  
stråler →

Spejlskåret  
'vandtæt'  
stabilt  
ingen  
revner



Planskåret

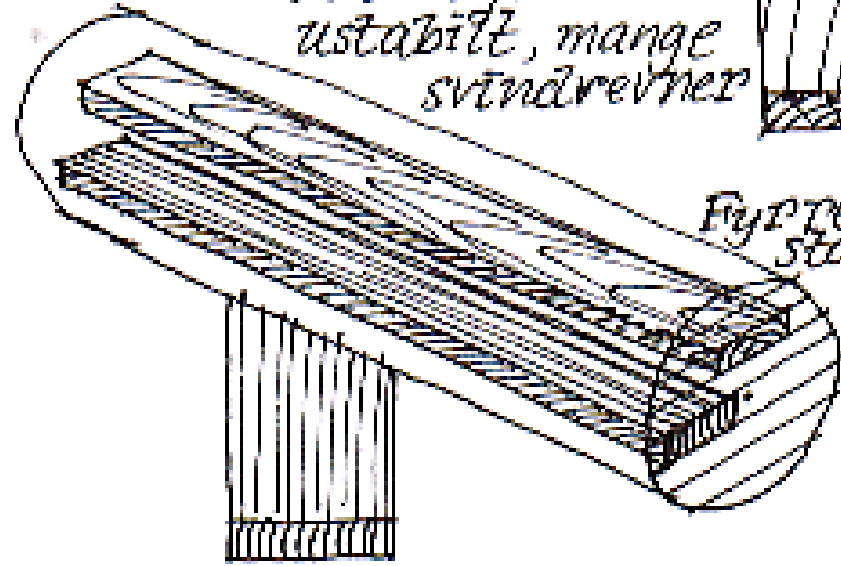
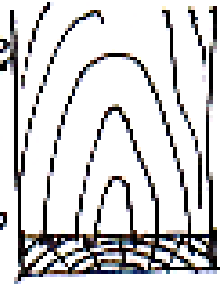
Spejlskåret

Planskåret

Vandsugende  
ustabilt  
revner  
og spræk-  
ker.

Planskåret træ

Vandsugende  
ustabilt, mange  
svindrevner



Fyrre-  
stamme

Spejlskåret træ

Vandafvisende  
stabilt, ingen  
svindrevner

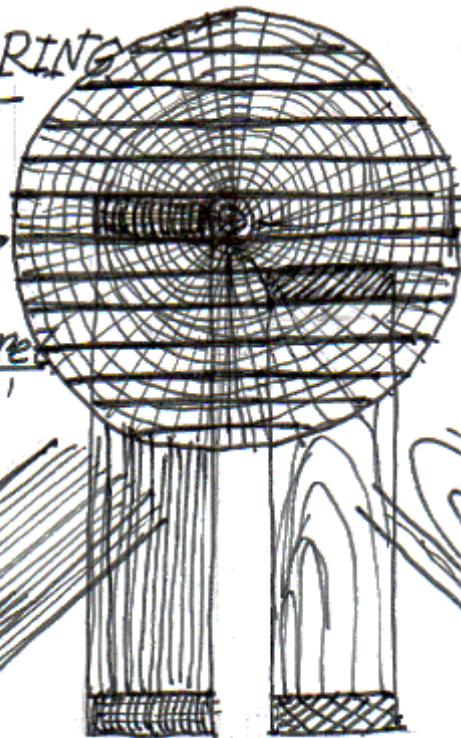


# OPSKÆRING af plan-ker.

Marv-stråler →

Spejlskåret

'vandtæt' stabilt ingen revner



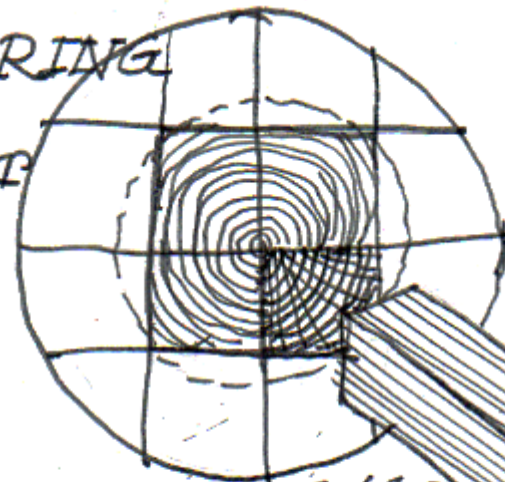
Planskåret

Spejlskåret

Planskåret

Vandsugende ustabilt revner og sprækker.

# OPSKÆRING af tømmet



Spejlskåret heltømmer

lukket Side

lukket Side

Spejlskåret halvtømmer

lukket

Lukket

Åbne sider

Rigtigt: oversiden er lukket.

Forkert: Må ikke anvendes til træterasser!



En vandret overside på hel- eller halvtømmer skal altid være lukket.

© Søren Vedstrøm 07



## Spejlskårne brædder



I det *spejlskårne* træ har man koncentreret alle træmaterialets bedste egenskaber.

1. Stort set vandafvisende,
2. Det er hårdt i veddet
3. Utilbøjeligt til at revne og flække
4. Stabilt og svinder og kvælder (udvider sig) næsten ikke
5. Kræver minimal vedligeholdelse, bl.a. i forbindelse med maling og overfladebehandling.

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

## Planskårne brædder

Det *planskårne træ*s egenskaber er på mange måder lige modsatte:

1. Vandsugende, fordi marvstrålerne leder vandet ind i veddet
2. Blødt
3. Tilbøjeligt til at revne og flække
4. Ustabilt, fordi det svinder og kvælder meget
5. Kræver uforholdsmæssigt meget vedligeholdelse.

Dette betyder dog ikke, at man *ikke* kan anvende planskårne brædder til f.eks. en udvendig bræddebeklædning. Det vigtige er her, hvordan man vender brættet i forhold til kerne/marv og barkkant/splintside.





## Nedbrydning af træ

Ilt → CO<sub>2</sub>

Vand

Sollys

Trænedbrydende svampe og insekter

## Modtræk

Ilt - intet

Vand - Konstruktiv træbeskyttelse (holder træet så tørt som muligt)

Kernetræ: Træ med højt olie- og harpiksindhold i træet,

Olieimprægnering af træet (evt. trætjære)

Træets opskæring (marvstrålernes retning)

Sollys - Dækkende maling

Trænedbrydende svampe (følger med vandet)

Sodsværtet træ kan anvendes ved indmuring



# HISTORISK TRÆBEHANDLING

- 1. Så tørt som muligt**  
Indendørs – udendørs  
Konstruktiv træbeskyttelse  
    skrå overflader  
    kraftigt udhæng  
    vandbrædder  
    hævet over jorden (+ beton)  
    ÷ vandlommer (skruemaskiner efterlader huller i træet)  
Ventileret træ (spinkle dimensioner)  
Samlinger træ med træ frem for træ med jern (kondens omkring jernet)

# KONSTRUKTIV træbeskyttelse

Kraftigt  
tagudhæng

①

Kanter og  
endebæ  
beskyttes

⑤

Vandbrædder  
over vinduer  
og døre m.fl.

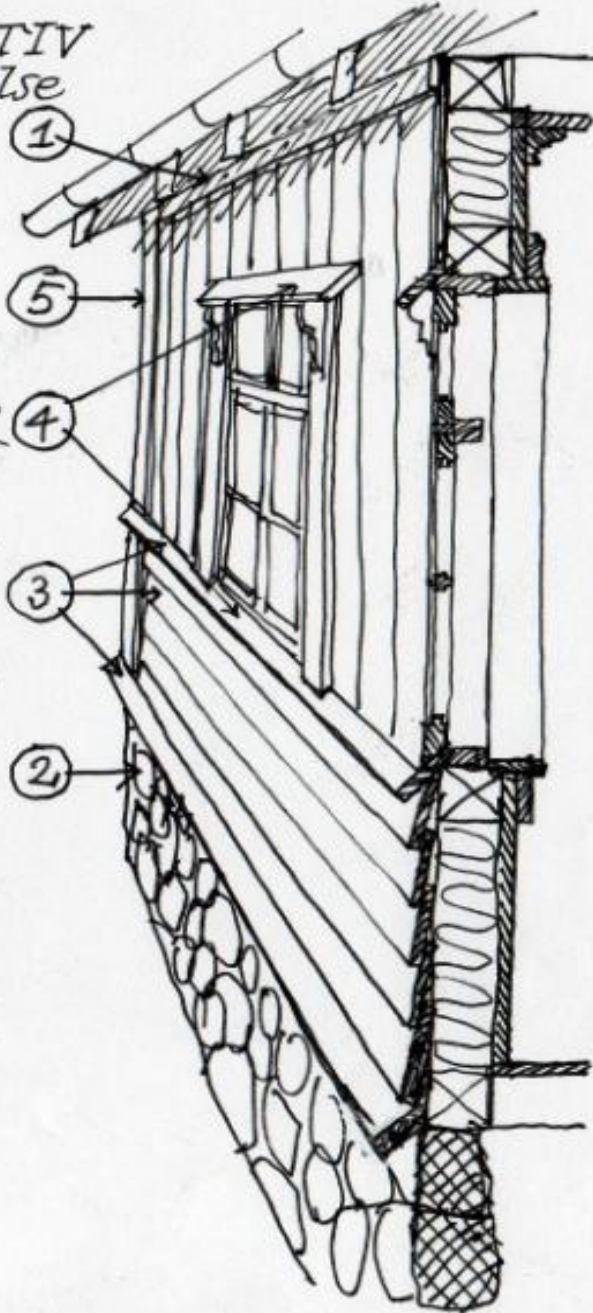
④

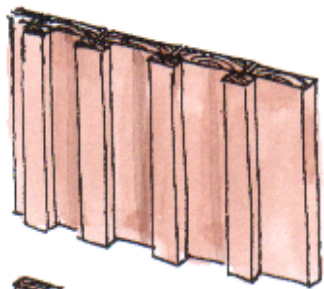
Vandbrædder  
og vandrette  
brædder på  
de mest ud-  
satte steder

③

Høj sokkel  
af beton  
eller natur-  
sten

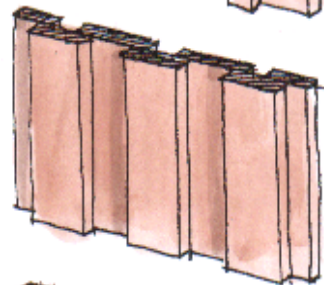
②





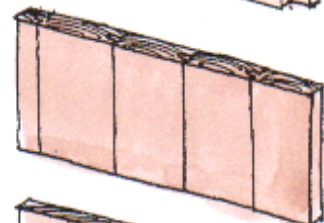
1  
Brædder  
med  
lister

Affasede lister 1700-tal.  
Profilerede lister 1800-tal.  
Kantede lister 1900-tal.



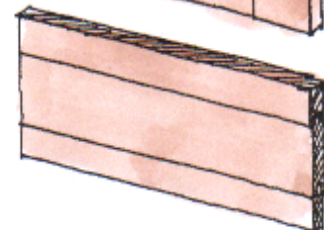
2  
Brædder  
1 på 2

1 på 2 1700-1900-tal.  
Profilerede br. 1800-tal.  
Pløjede profilbr. 1800-tal.



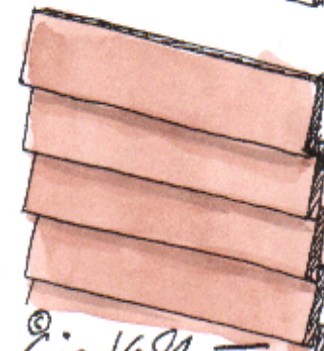
3  
Lodrette  
høvlede  
og pløjede  
brædder

fer og not br 1800 og 1900-t.  
Stafbrædder 1800 og 1900-t.  
Dobbeltfasede br. 1900-tal.



4  
Vandrette  
fer og not  
brædder

Sporpanel 1900-tal.  
Blokehusbrædder 1900-tal.



5  
Klink-  
beklæd-  
ning

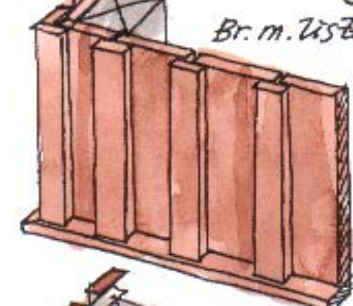
Vandrette  
brædder  
på klink

Klink Falsede  
bræd. klinker  
1700-1800-tal  
1900-t

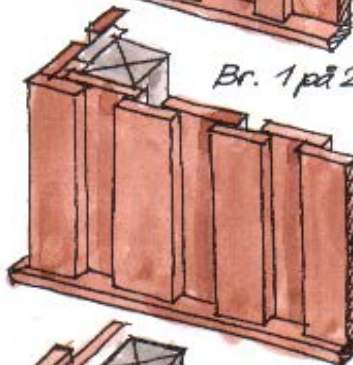
Water Falsede  
boards og  
falsede  
1900-t 1900-t

© Søren Vindstjerner

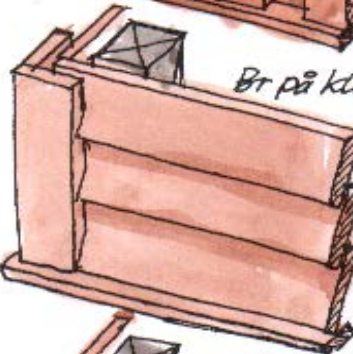
### Hjørne- og fod- detaljer



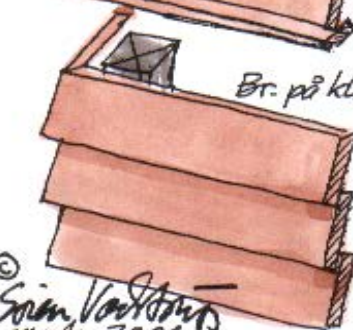
Br. m. lister



Br. 1 på 2



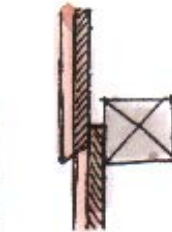
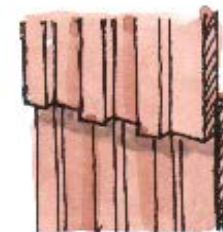
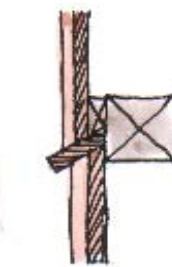
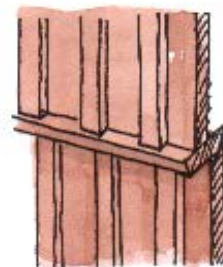
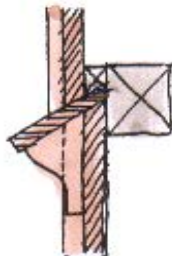
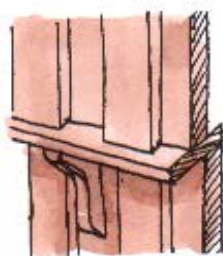
Br på klink



Br. på klink

© Søren Vindstjerner  
marts 2000

### Overgang til gavl trekant m.m.



vindue

















## Udvendigt TRÆ – 3 gode råd

- 1: Kernetræ frem for trykimprægneret eller vacuumimprægneret træ
- 2: Konstruktiv træbeskyttelse:
  - Undgå jordkontakt
  - Store udhæng, mindsker regnvand på træfacaden
  - Aldrig vandrette flader for oven – altid skrå afdækninger
  - Vandbrædder og vandrette brædder på udsatte steder
  - Beskyt endetræet
  - Planskåret træ: Kernesiden udad og rodenden opad
  - Ventileret beklædning
- 3: Maling af træet med en dækkende maling:  
Linoliemaling, trætjærefarve, kompositiponsfarve.  
frem for Plastikmaling, Acrylmaling eller 'Træbeskyttelse' (transparente bejdsere med fungicider)

## Nybyggeri i træ i 2019

Moderne parcelhus i træ

Spinkle trækonstruktioner



Moderne parcelhus i træ

Spinkle trækonstruktioner

Undtagen bjælkerne

De må støttes af jern



sømbeslag





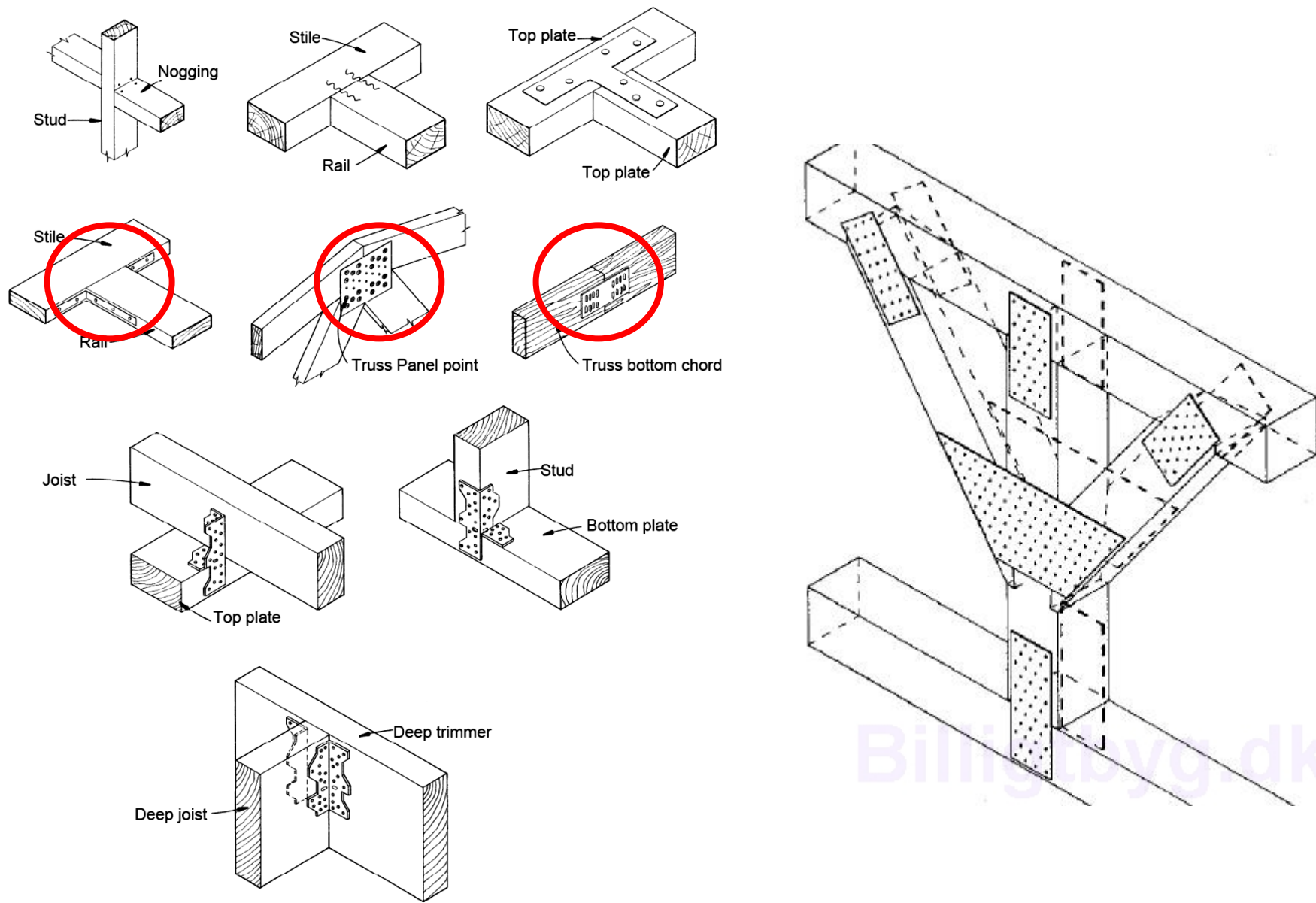


Fig. 84 Common use of Butt joints





# Analyse af nye bæredygtige huse af træ



Grunden til at de fleste nye træhuse ikke særligt holdbare er:

- De anvender træ i meget ringe kvalitet af *gran eller fyr* (splintved) – både udvendigt og i konstruktionen.
- De anvender *tilfældigt opskåret* træ, indeholdende *marv*, der danner revner, vrider og krummer
- De konstruktive samlinger udføres med *søm- og skruebeslag* eller *bolte + skråsøm/skruer*.
- Meget træ limes sammen.
- Der anvendes *kunstigt tørret* træ, der bruger en masse energi til udtørringen.
- Træet overfladebehandles med *plastikmaling* – eller der anvendes helt ubehandlet træ.

Alle seks punkter medfører at især træfacaderne og trækonstruktionerne relativt hurtigt bliver angrebet af råd, som nævnt allerede efter 60-80 år - som følge af det generelt vandsugende træ, den yderligere opfugtning fra marvstrålerne revner, eller fra kondens omkring jernbeslagene, samt opfugtningen under en tæt plastikmaling m.m.

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

Det samme kan siges om anvendelsen af importeret træ, eksempelvis fra troperne. Selv om det erfaringsmæssigt kan holde længere end dansk fyrre- og grantræ, udledes der CO<sub>2</sub> under den lange transport, og selve skovdriften kan være problematisk for klimaet.



## Forskningsprojektet:

# Nye bæredygtige bygninger helt af træ – med en *påviselig* holdbarhed på mindst 200 år.

## Hvordan kan vi 'påvise' at en ny bygning vil kunne holde i 200 år?

Ved at udføre bygningen udføres som en 'tro kopi' af en bygning, **der har holdt i 200 år**

- Materialeæssigt (træsarter, træ kvalitet)
- Materialeegenskaber (opskæring af træet)
- Dimensioner og konstruktion.

## Forskning og udvikling

- Selektiv opskæring af træet (spejlskåret, kvartskåret)
- Træsamlinger træ med træ (bladsamlinger, tapsamlinger og kamsamlinger)
- Overfladebehandling *uden* GORI eller plastkmalning (linoliemaling, træ tjærefarve, lim- og temperafarve)
  
- Lokale træmaterialer (dansk egetræ)
- Lufttørret træ (helt frisk træ)
- Mekaniserede samlinger (CNC – eller håndmaskiner)



# Forskningsprojektet:

## Nye bæredygtige bygninger helt af træ

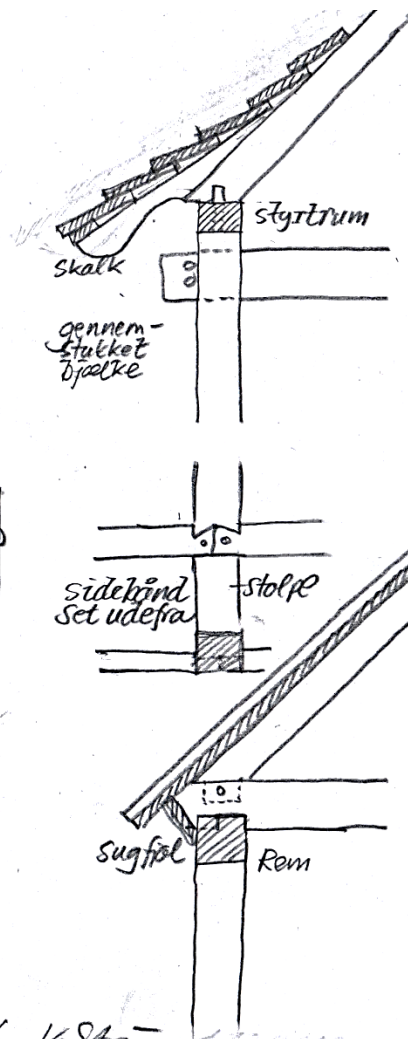
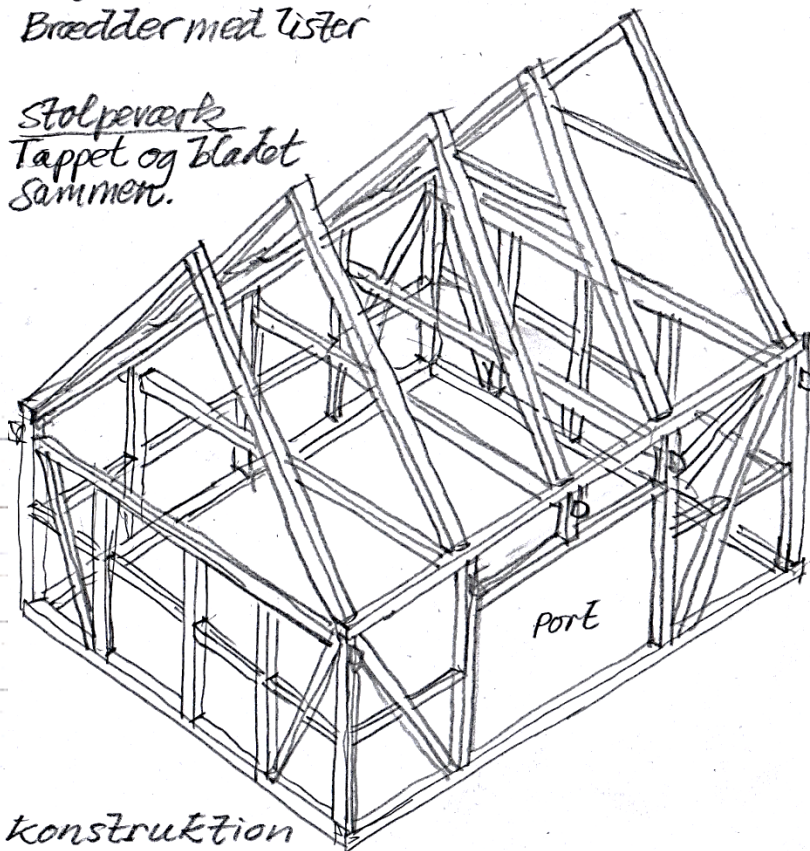
– med en påviselig holdbarhed på mindst 200 år.

### Klassisk stolpeværkshus

- Lokale materialer
- Lufttørret træ
- Samlet træ med træ
- Mekaniserede samlinger
- Kan skilles ad og flyttes
- Kan udvides og indskrænkes

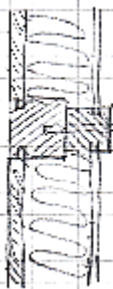
Gavle  
 Brædder på klink  
 eller  
 Brædder med lister

Stolpeværk  
 Tappet og bladet  
 Sammen.



Konstruktion 1:  
 styrtrums-  
 konstruktion:  
 Spær kæmmet over  
 brækketop  
 Gennemstakket  
 bjælke  
 Opskalket tag  
 med klinklagte  
 brædder.  
 (spejlsk.)

Konstruktion 2:  
 spærfagskonstruktion  
 spær tappet til  
 bjælken  
 Kæmmet bjælke  
 med sugfiel  
 Opskalket tag  
 med brædder  
 1 på 2.  
 (spejlsk.)



TRÆHUS HELT AF TRÆ  
 ISOLERING og lydforringelse  
 Bulvæg af 19x13cm stolper (kvartskåret)  
 og 35x3,4cm bulplanker  
 10x10cm kvartskåret tommer  
 Dyrlet på bulstolper  
 Not del 28x95 hv. fl. br (kvartskåret eller  
 løst med trapez-løse  
 imellem - 15cm træfiberisolering)

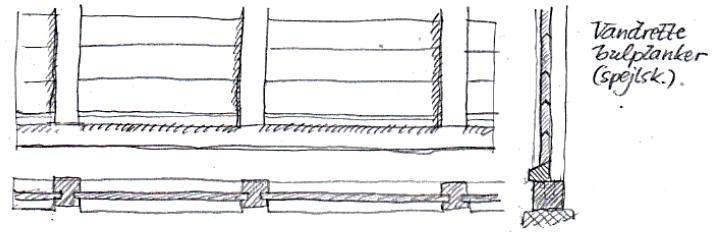
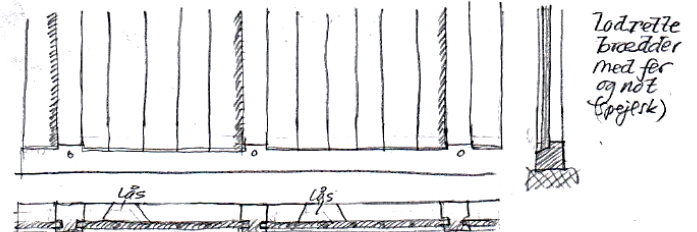
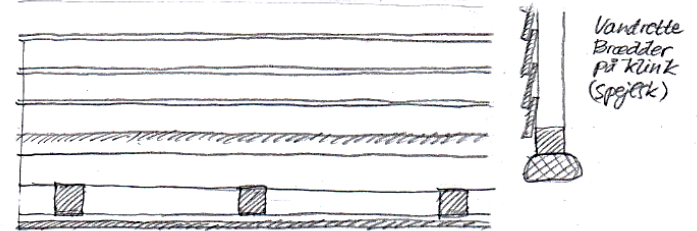
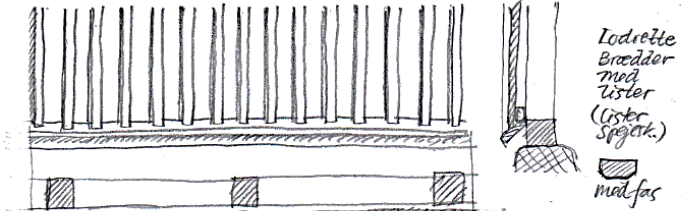
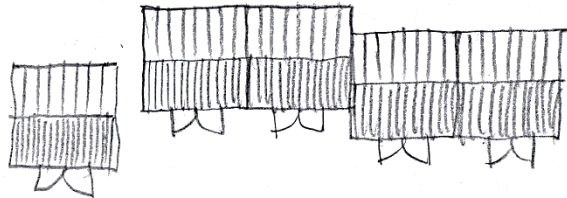
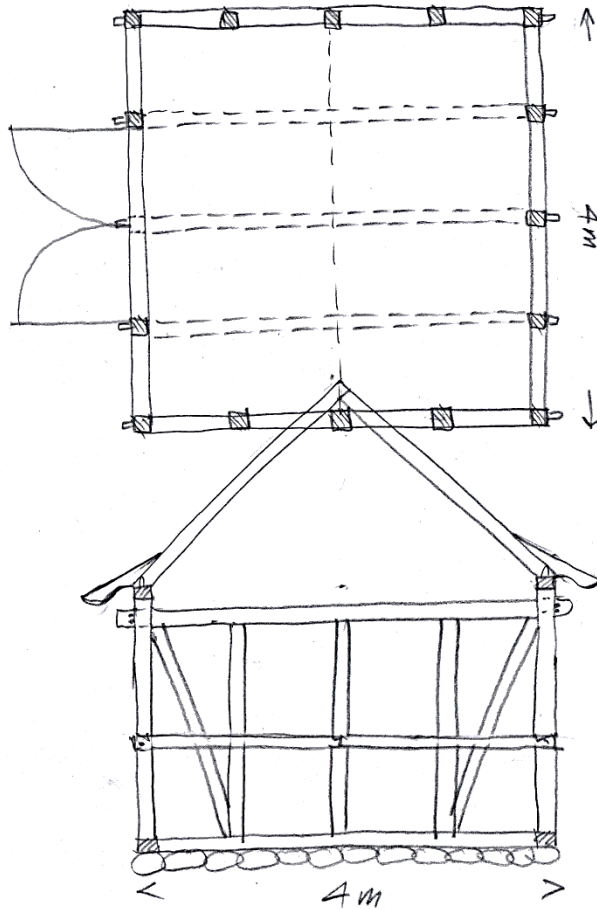
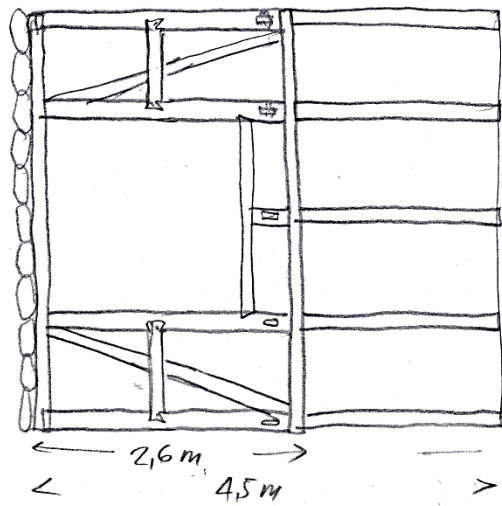
konstruktion  
 KLASSISK STOLPEVÆRKSHUS Søren Vadsby  
 1.10.2018

# Klassisk stolpeværkshus



Styrtårnsmaskonstruksjon  
 KLASSISK STOLPEVÆRKSHUS

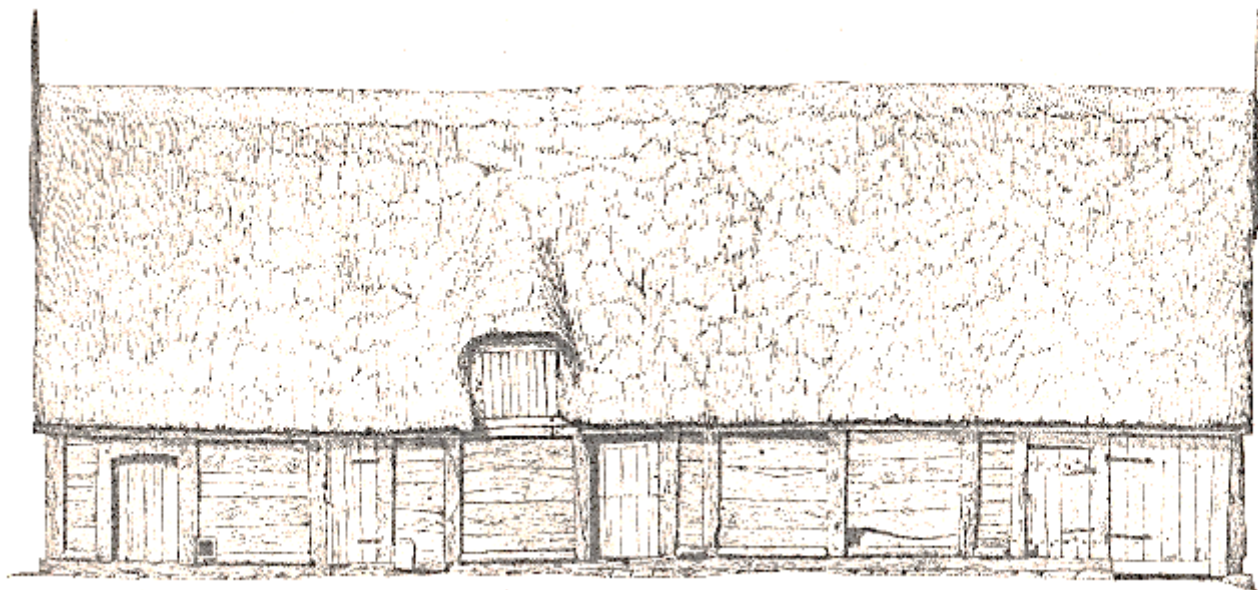
Snaulie & Stang  
 1.10.2018



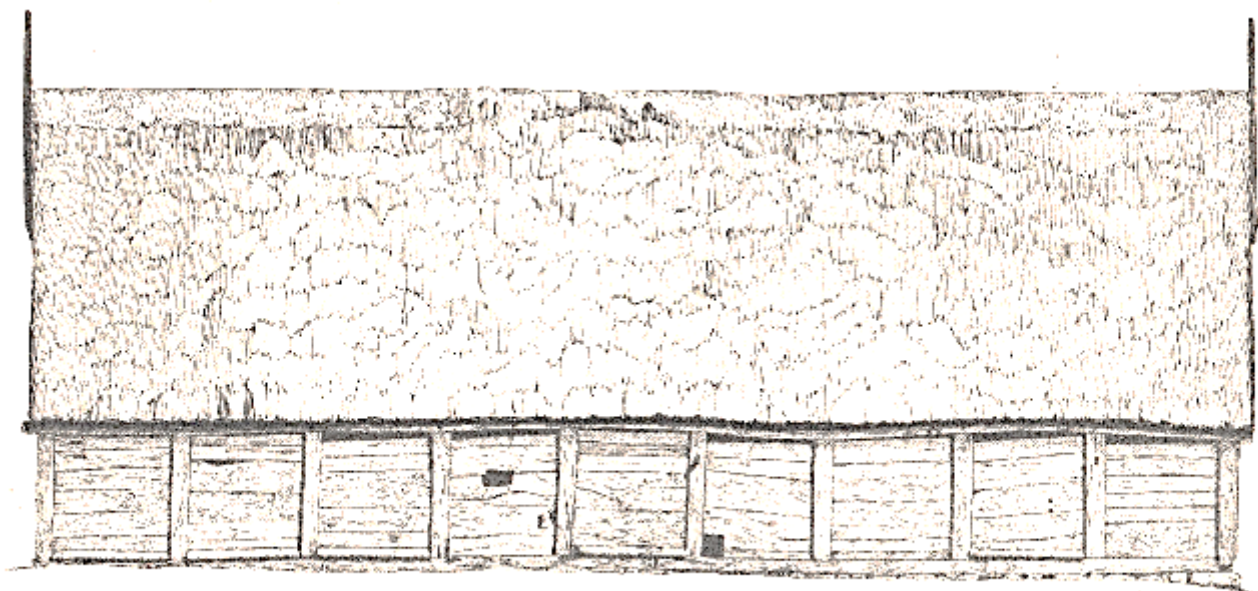
4 forskjellige vegbekledninger + 1 på 2  
 KLASSISK STOLPEVÆRKSHUS

Snaulie & Stang  
 24.3.2019

Bulhus  
Mogens Clemmensen 1932



Østside.



Vestside.





Bullade til Tyrstrup præstegård  
Opført i 1668





Tyrstrup bullade  
ved Christiansfeld  
opf 1668



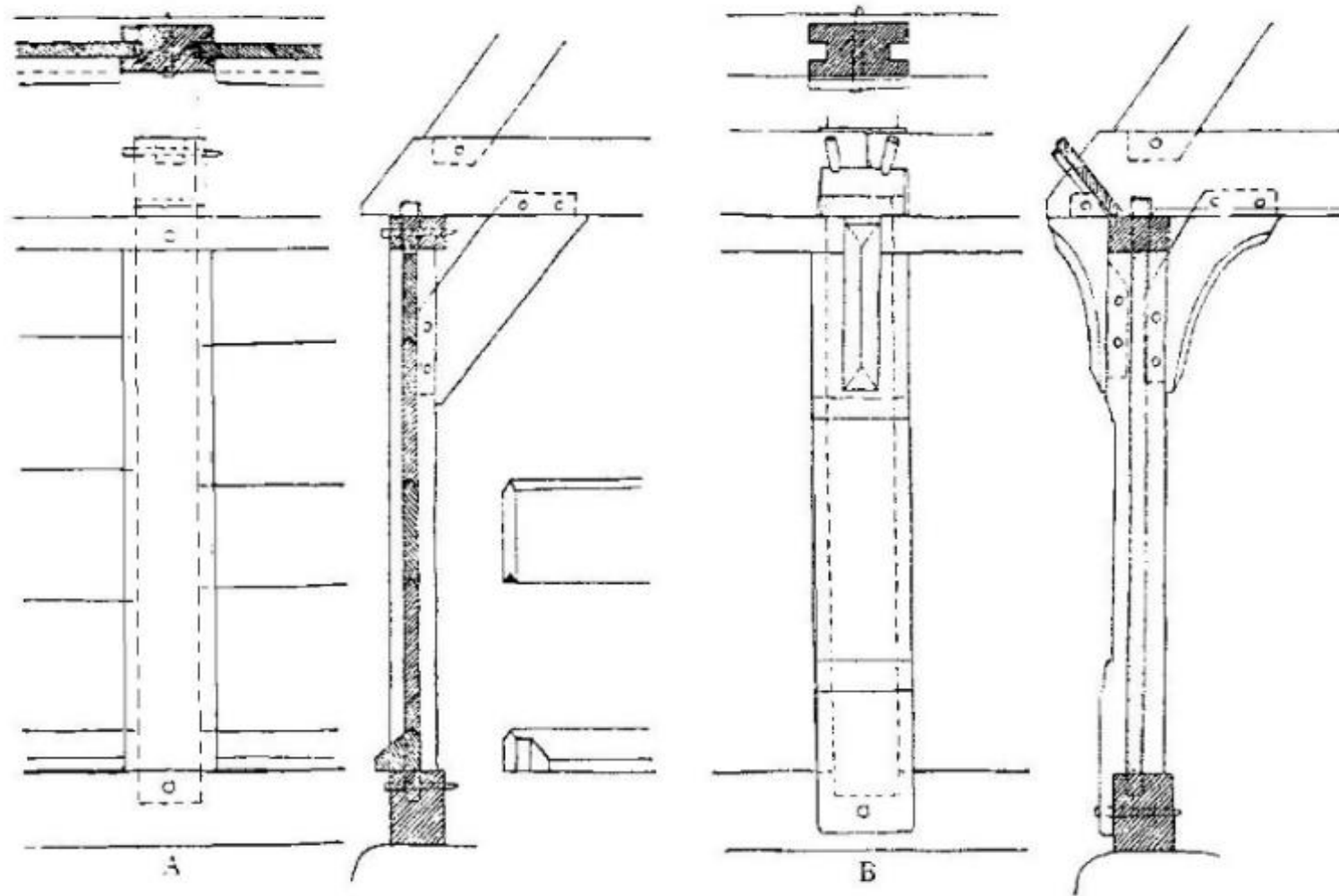


Fig. 6. Konstruktion af bulhusvæg.  
A: alm. Stolpe. B: Stolpe med „skæl“ og knægt. 1:50.



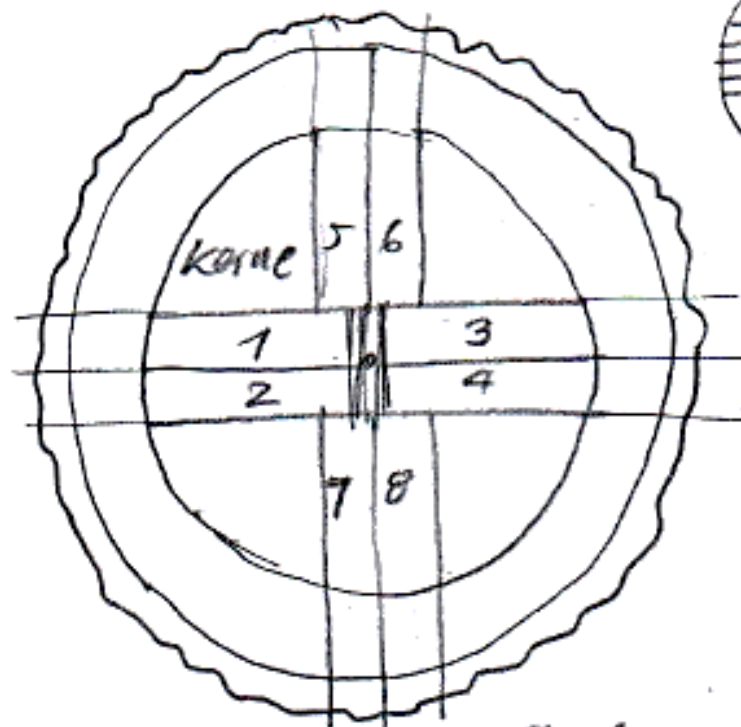
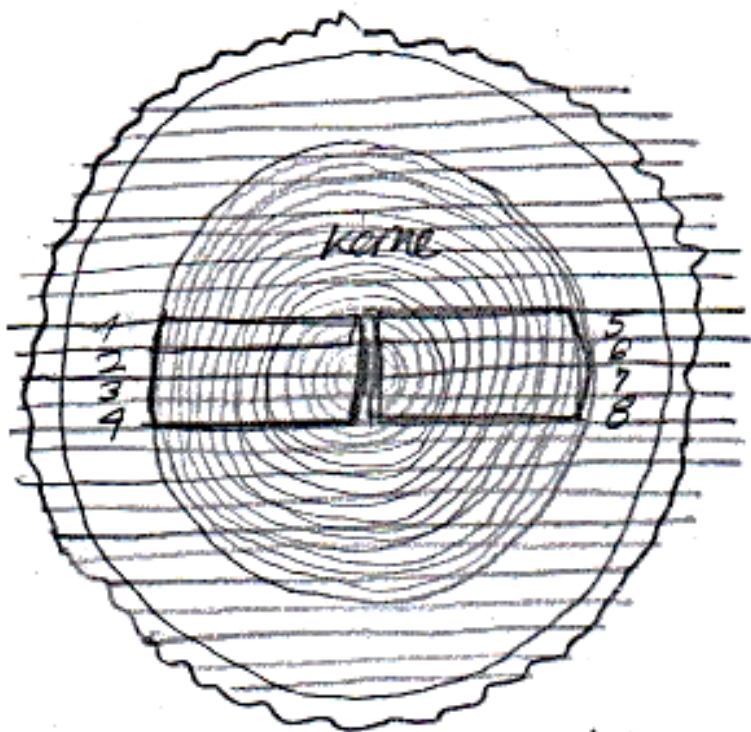
## Forskningsprojektet:

# Nye bæredygtige bygninger helt af træ

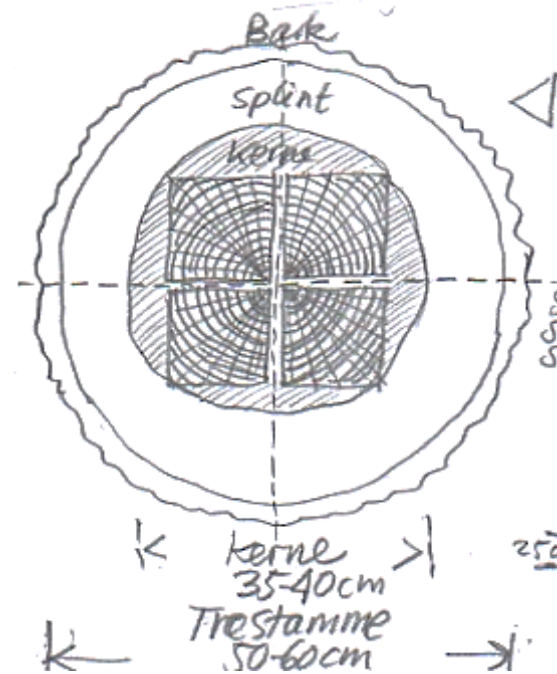
## – med en *påviselig* holdbarhed på mindst 200 år.

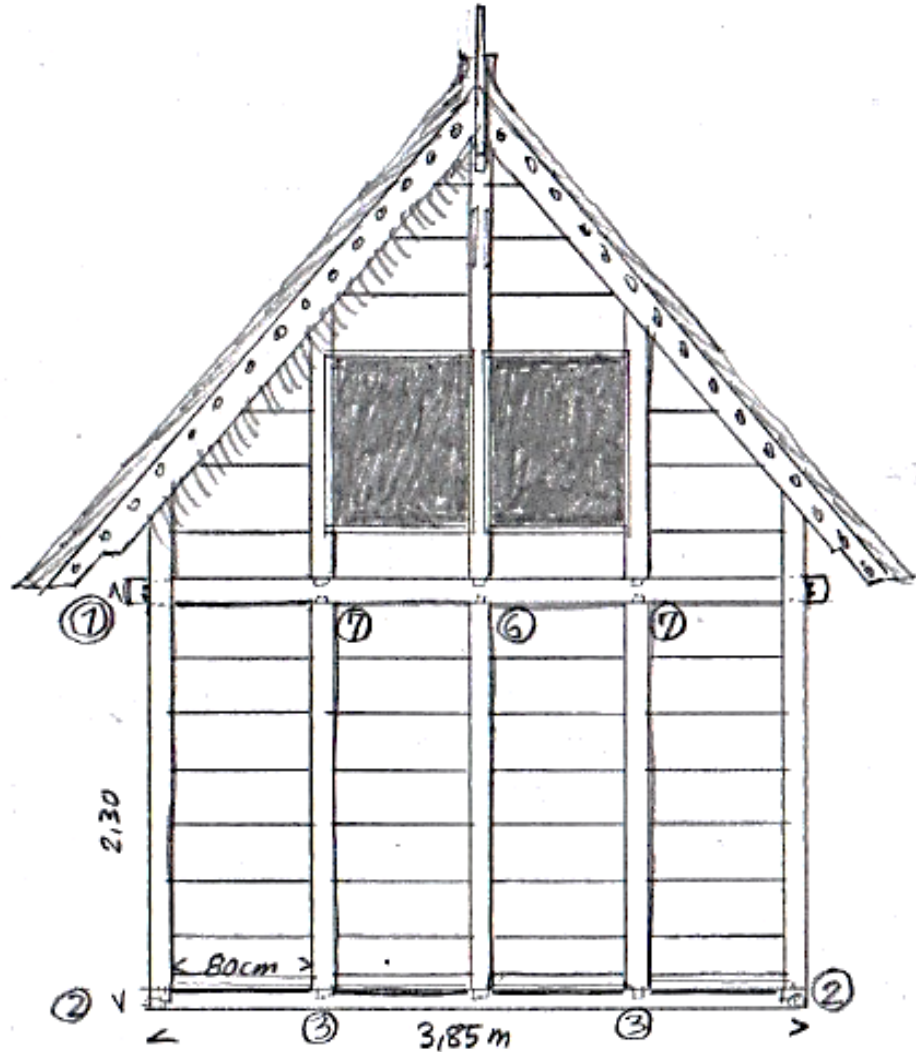
1. Bygningen udføres som en 'kopi' af et **bulhus fra 1668**
  - materialemæssigt, materialeegenskaber, dimensioner og konstruktion.
  - Bulhuset bygger på en tusindårig nordisk træbygningstradition i løvtræ.
  - Bulhusene blev i øvrigt forbudt af kongen i 1554 og igen i 1577, men uden stor effekt.
  - På grund af den vedvarende holdbarhed **låser** bygningen store mængder **CO<sub>2</sub>**
2. Bygningen er **fleksibel, flytbar** og er bygget af **lokale materialer (primært egetræ)**
  - Der forekommer ikke giftimprægneret, kunstigt tørret eller sammenlimet træ
3. Træet er opskåret/udsavet **selektivt**.
  - Træ er ikke bare træ. Opskæringen, d.v.s. marvstrålernes og årernes retning i træet, har meget stor indflydelse på holdbarhed og levetid.
  - Den særlige opskæring medfører ikke noget yderligere spild i træstammen.
4. Alle samlinger udføres **træ med træ**
  - uden beslag, skruer, bolte m.v.
  - dog evt. med udvendig sømning af beklædningsbrædder.
5. Overfladebehandlet med **kapillaråbne** malingstyper - og ikke diffusionsåbne
  - f.eks. limfarver, temperafarver, træbjærefarve, linoliemaling, sæbeskuring

# Opskæring af egetræ eller fyrretræ

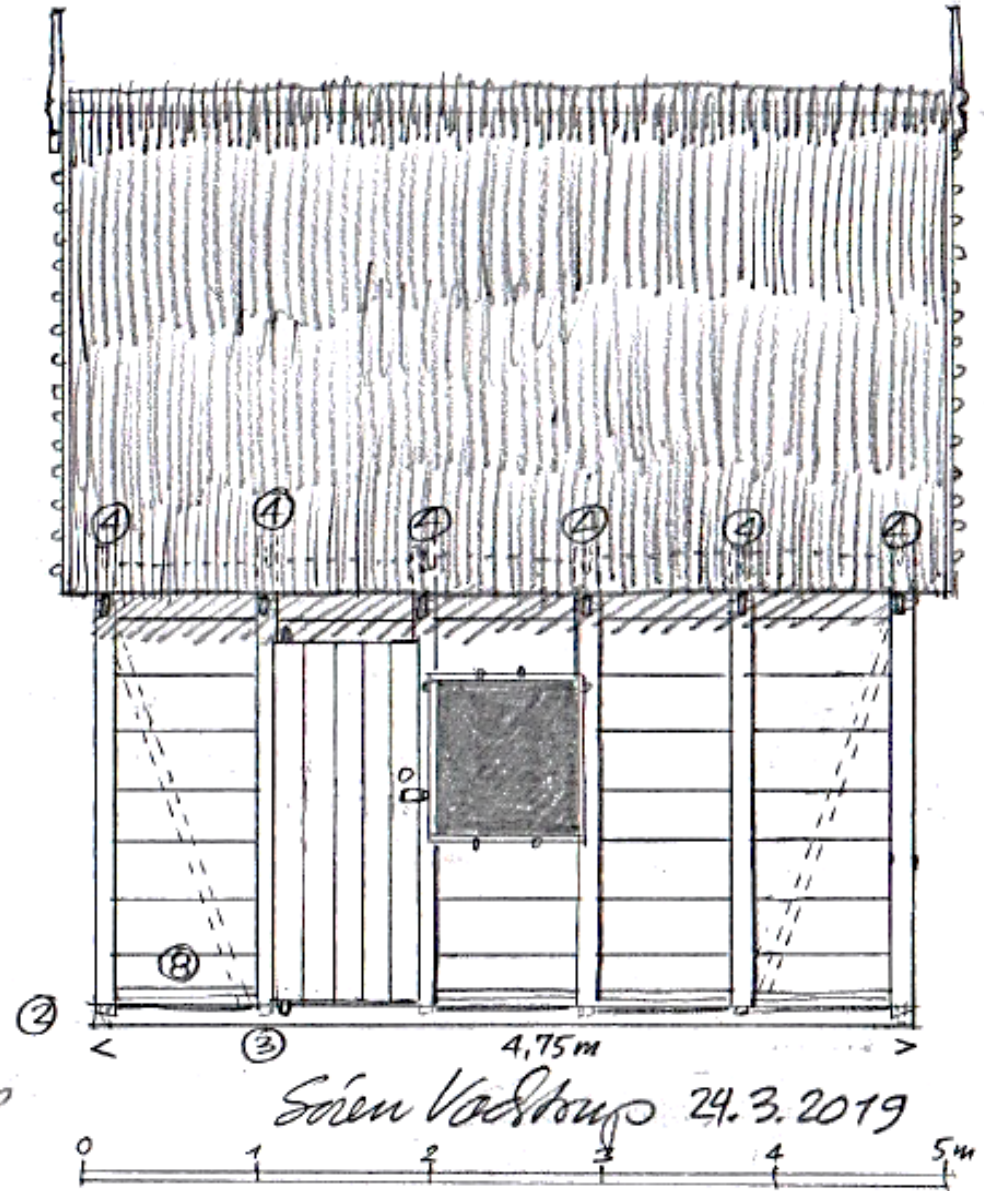


Hollandsk  
opskæring  
(quartersawn)

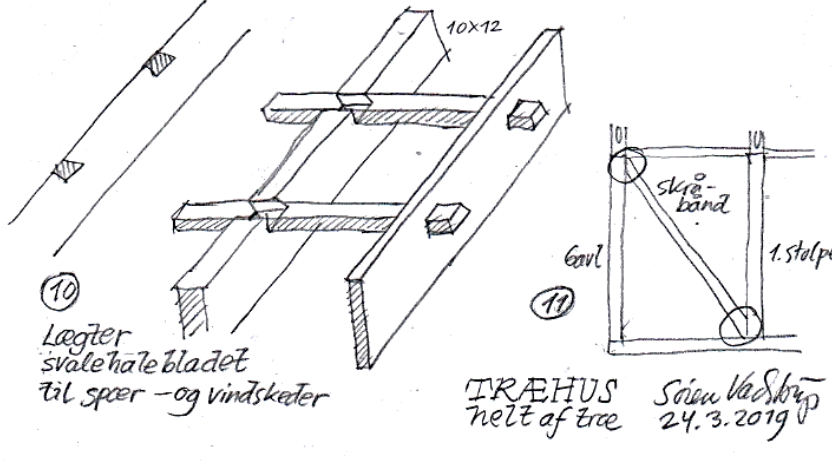
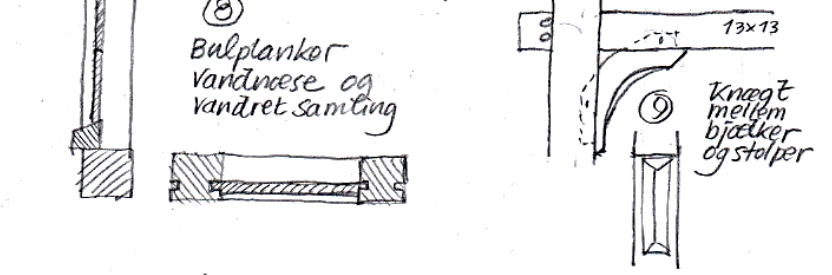
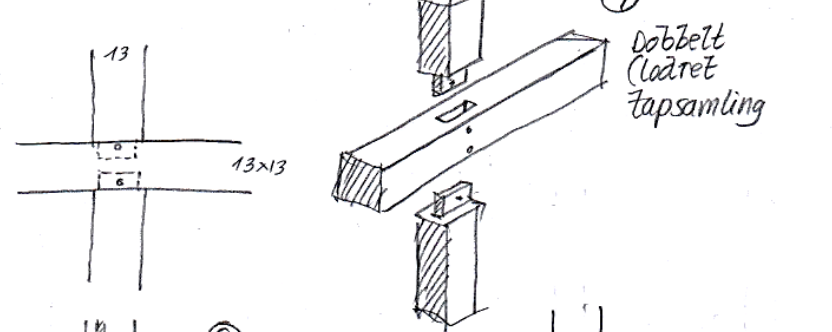
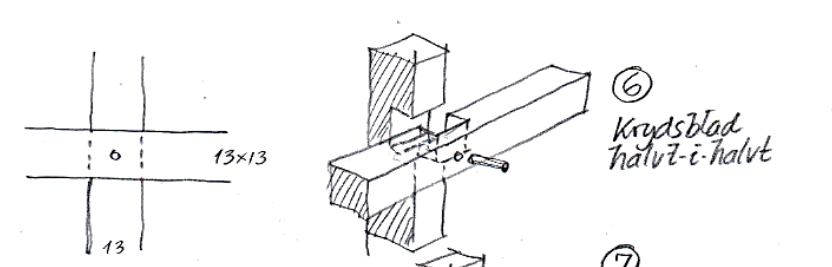
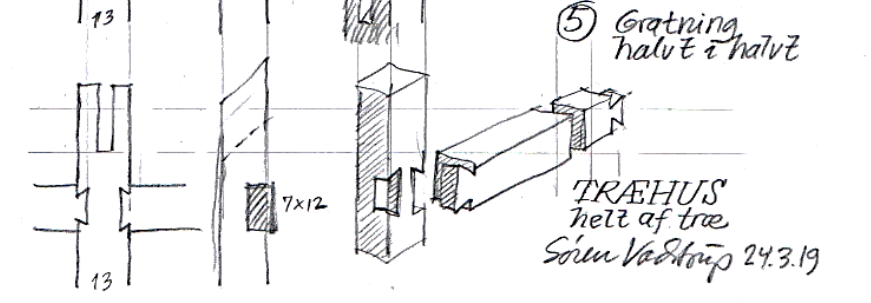
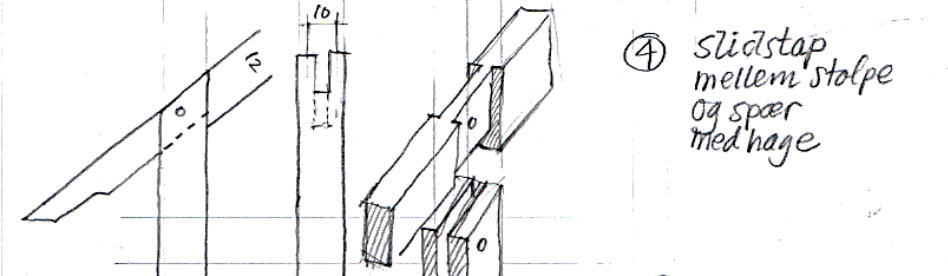
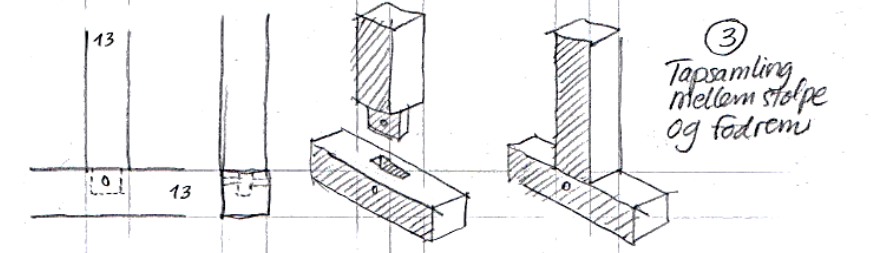
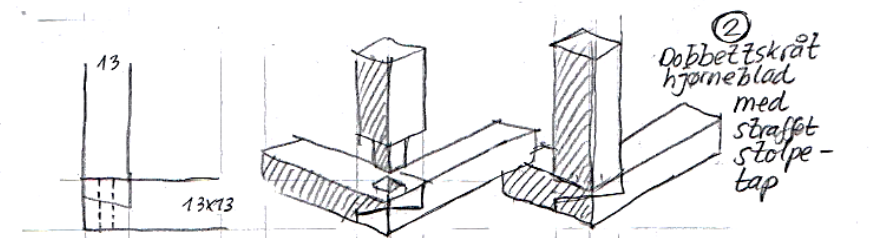
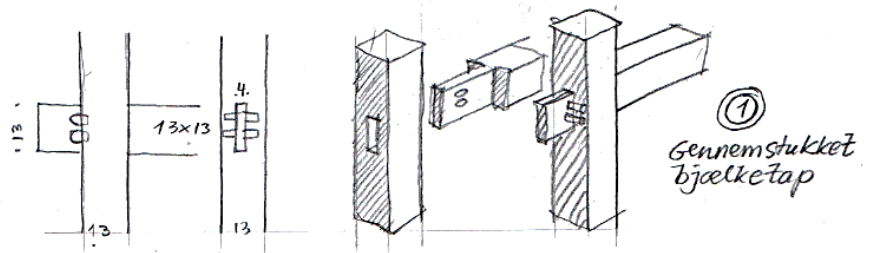


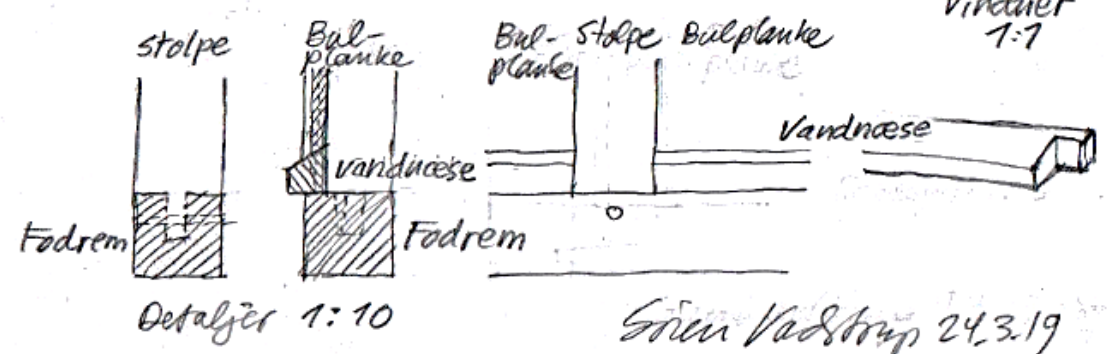
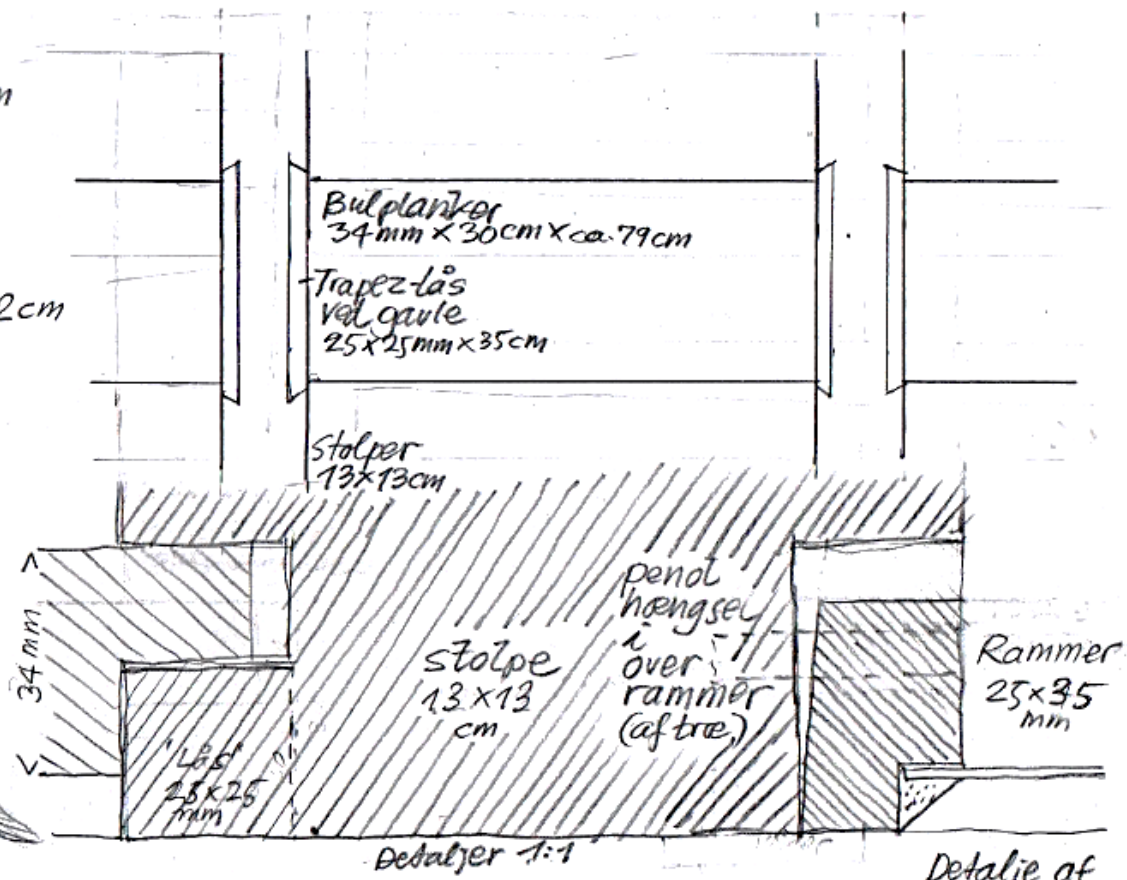
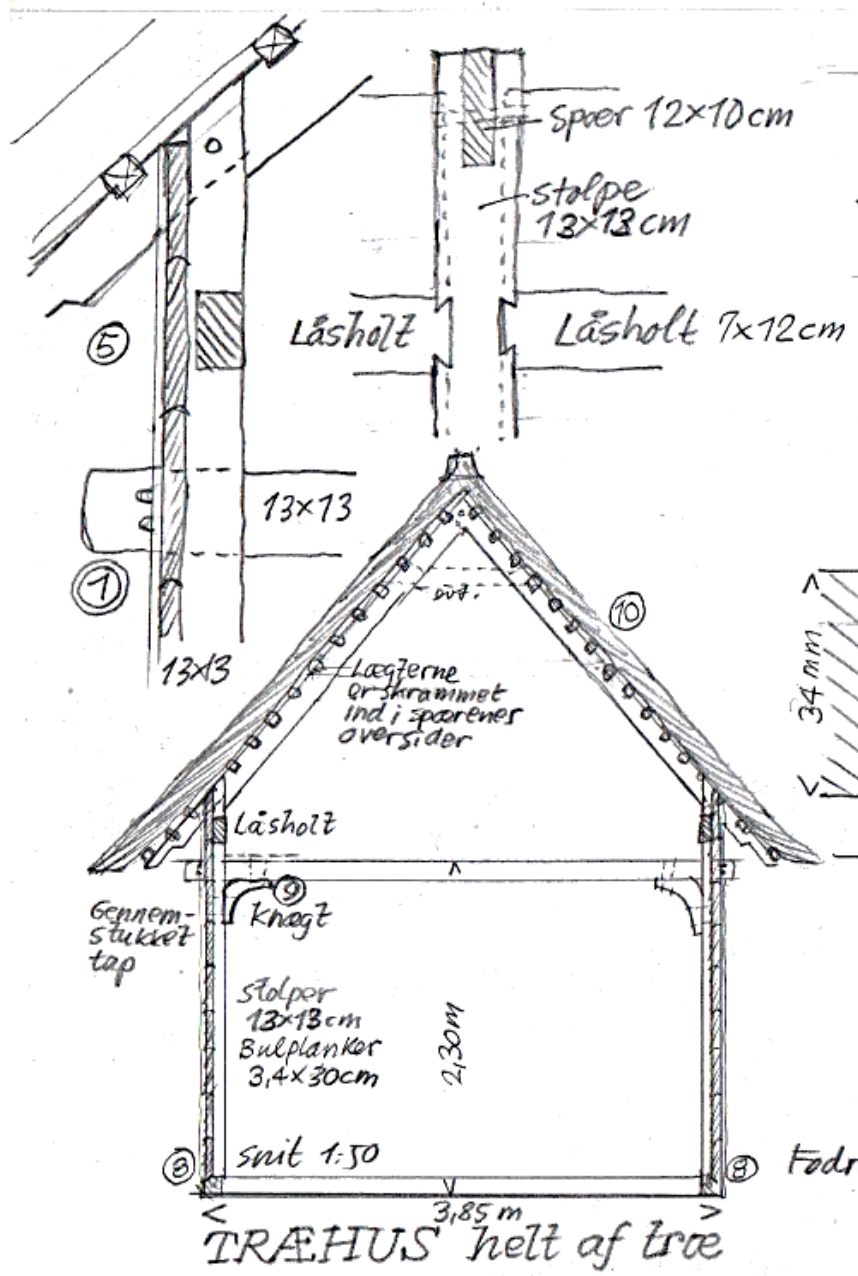


TRÆHUS helt af træ Facader



Søren Vadstrup 24.3.2019





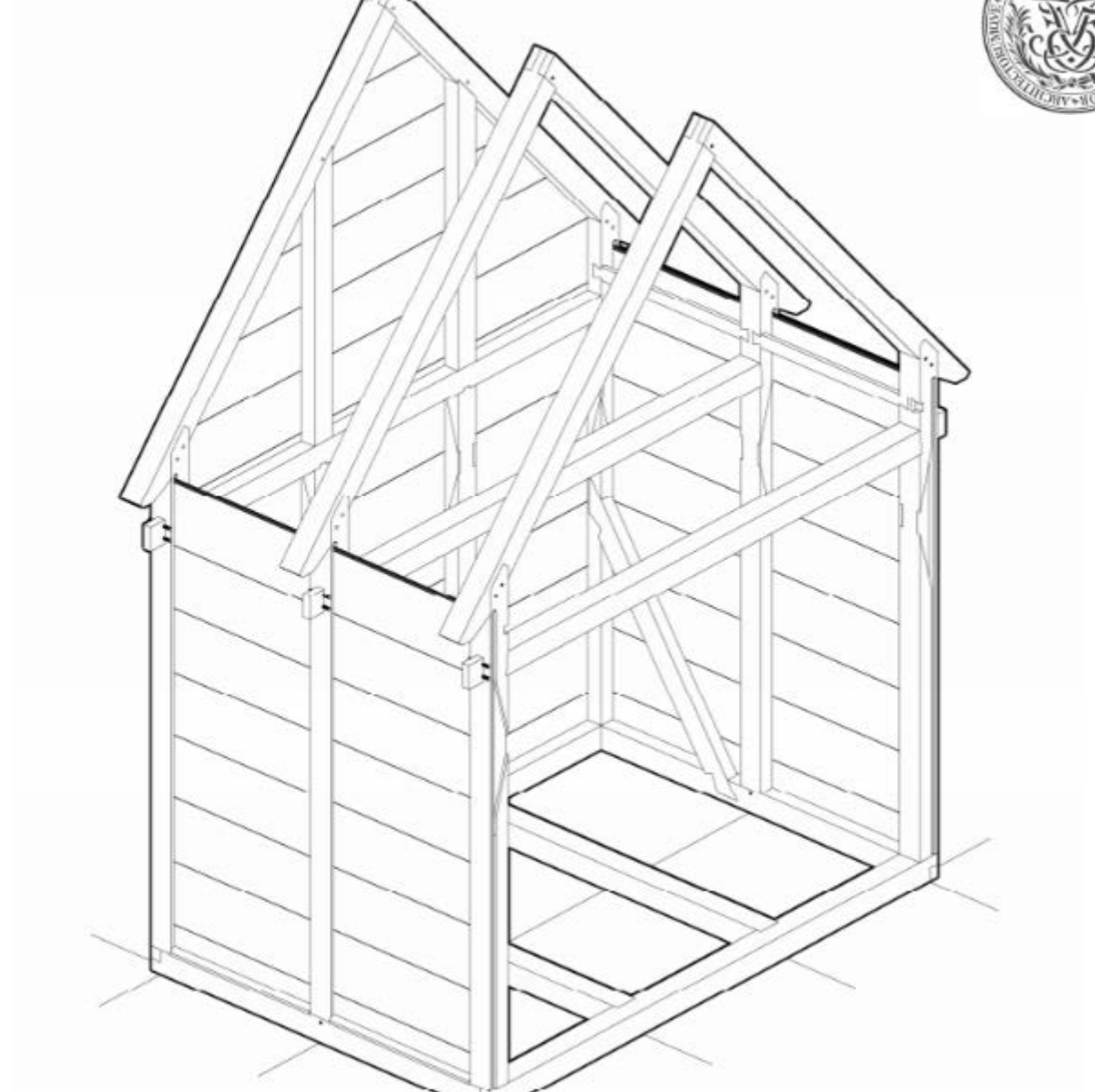
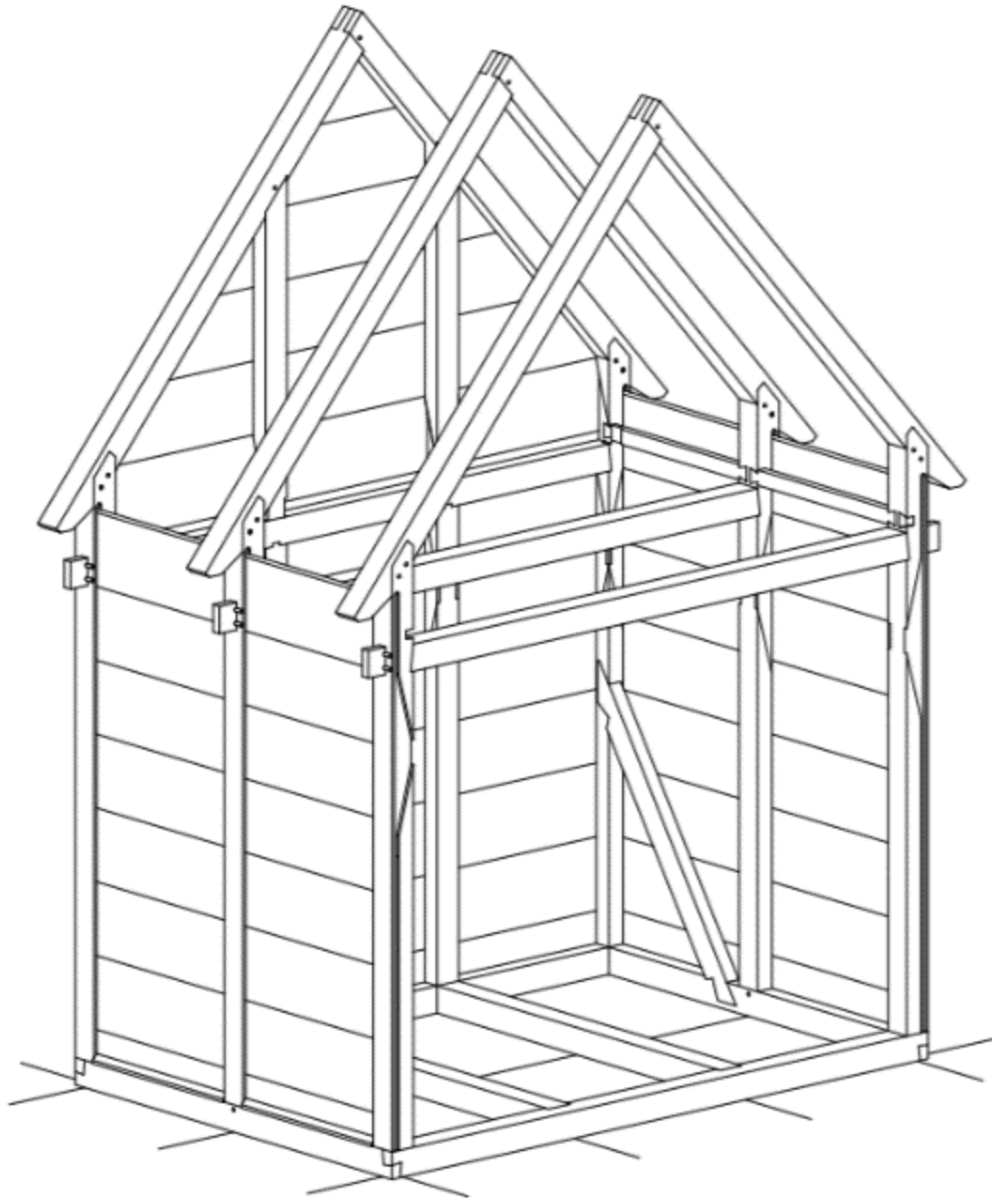
Siden Vindstrop 24.3.19



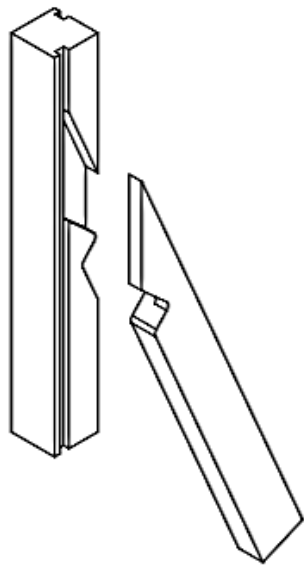
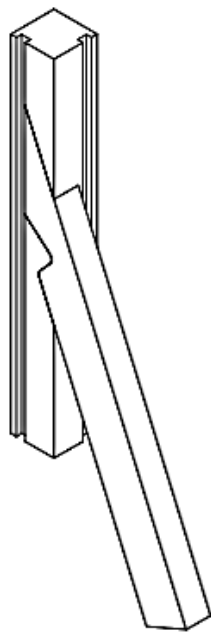
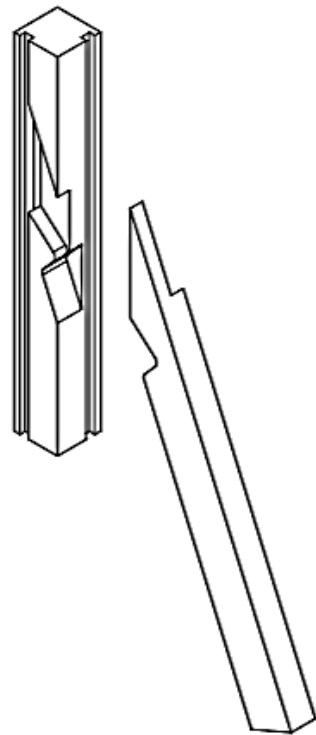
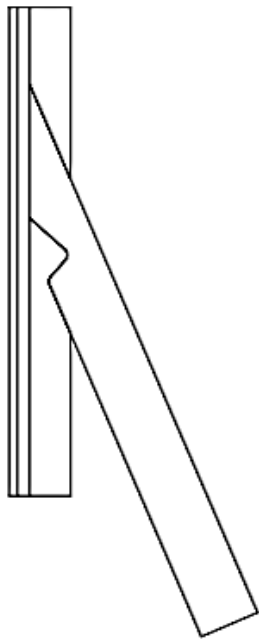


**CNC-fræser  
på Københavns Tekniske Skole**

**marts 2019**



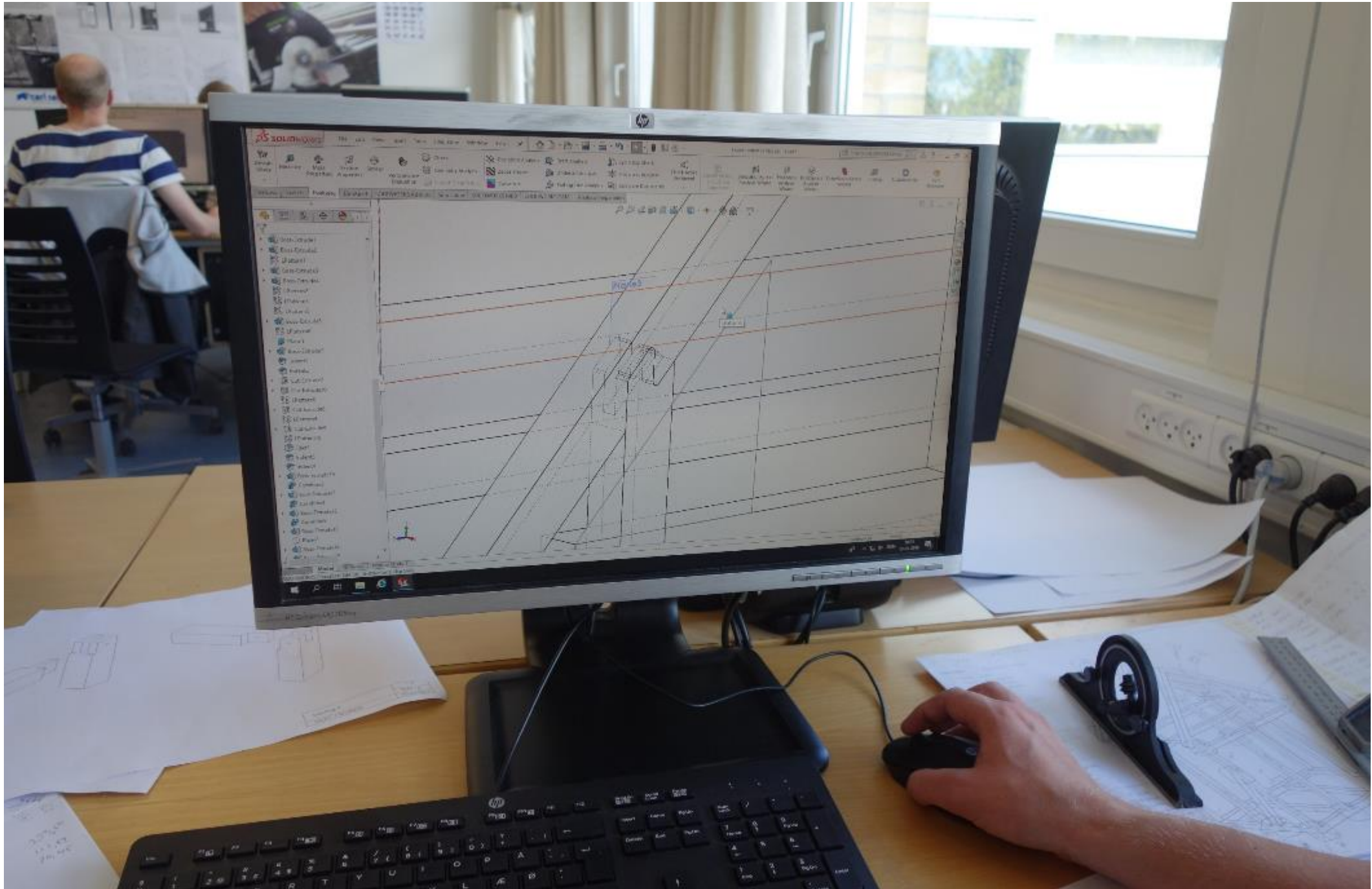






## Bæredygtige TRÆHUSE – helt af træ









## Bæredygtige TRÆHUSE – helt af træ



Japansk 'hinoki' (spækhugger) samling –  
tappen er hjembragt fra Japan i april 2018 og monteret på et stykke dansk bindingsværkstømmer



**Bæredygtige TRÆHUSE – helt af træ**



## Bæredygtige TRÆHUSE – helt af træ



Den CNC-fræsede 'hinoki-samling'

Øverst uden kiler i og  
nederst med kiler i

















# CHANGE FOR A SUSTAINABLE FUTURE ARCHITECTURE DESIGN AND CONSERVATION



INVITATION TIL Udstillingsåbning

TORSDAG DEN 5 SEPTEMBER KL. 16.00

I Udstillingssalen på KADK

Studerende, undervisere og forskere ved KADK viser 29 forslag til løsninger på en af vor tids største udfordringer – klimaforandringerne

ÅBNINGSTALER VED  
UDDANNELSES- OG FORSKNINGSMINISTER  
ANE HALSBOE-JØRGENSEN  
OG REKTOR LENE DAMMAND LUND



## WOODEN HOUSE made entirely of wood – with persevering durability

Institute of Architecture and Culture /  
Cultural Heritage, Transformation and Restoration

Søren Vadstrup, KADK students and students enrolled in Copenhagen Technical College's Joiner/Carpentry Department

The construction industry wants to build sustainable buildings out of wood. But few of these buildings are sustainable because they last for only 60 to 80 years. The project will focus on the buildings' verifiable service life as the paramount element of their sustainability. Specifically, we have replicated a Danish loghouse from 1668, which so far has endured for 350 years. By replicating the essential structural elements from the historic wood-building technique, it is the project's hypothesis that our 'experimental building' will be able to last at least just as long. These elements include: the use of Danish oak for structural elements and exterior cladding, selectively sawn wood for the various elements and making all joints as wood-in-wood without any type of iron. To prove that such a building can be built today – and be affordable at the same time – the project involves the development of CNC-milled joints which can be subsequently mass produced.





## Bæredygtige TRÆHUSE – helt af træ



## Bæredygtige TRÆHUSE – helt af træ



Forsøgshus #1:

**Nye bæredygtige huse af helt træ  
– med vedvarende holdbarhed**



1. Påviselig holdbarhed på 200 år - ved at kopiere et bulhus fra 1668 – materialemæssigt, konstruktion, detaljer
2. Dansk træ - egetræ fra Korinth (kort transport)
3. Selektivt opskåret træ - spejlskærne bulplanker, kvartskærne stolper
4. 'Grønt', friskfældet, ulagret træ - mindre energiforbrug og CO2 end ved kunstig tørring
5. Træsamlinger træ med træ - ingen metalbeslag, søm, skruer m.m.  
- CNC-fræsede samlinger – kan masseproduceres
6. Konstruktiv træbeskyttelse - udhæng, vandnæser, ikke-vandsamlende samlinger, høvlet træ
7. Flexibelt og flytbart - alle samlinger kan skilles ad og flyttes  
- fremstillet på en afbindingsplads og flyttet til byggepladsen
8. Kan fremstilles i sektioner - rundt omkring i landet – og samles et tredje sted.
9. Ubehandlet træ - som originalen  
- kan dog overfladebehandles med trætjærefarve, linoliemaling eller limfarve
10. Bygningen kan isoleres og indrettes fuldt ud som en moderne bolig





I Visby på Gotland ligger der 400 bulhuse, der er indrettet til moderne boliger – dette er endda ikke meget større end ‘vores’ bulhus.



**Bulhus i Visby på  
Gotland**

**Opført i midten af  
1800-tallet**

**Vedligeholdt med  
trætjære**



