

# Fleretagers træhuse - State of the art

Notatet er udarbejdet under InnoBYG spireprojektet:  
**Fleretagers træhuse i Danmark**  
– Er det muligt, og hvad mangler?

Forfattere:  
Peder Fynholm, Anders Kjellow & Niels Morsing

Version: 1.0

Dato: 27. februar 2017  
Projektforløb: januar 2016 – december 2016

Notatet er udarbejdet af:



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**

Notatet er udarbejdet for:



## Forord

Projektlederen vil gerne takke alle deltagende partnere og virksomheder i projektet for deres indsats til af-dækning af emnet samt InnoBYG for finansiel støtte til gennemførelsen.

Uddrag fra dette notat må ikke gengives på nogen form uden skriftligt samtykke fra Teknologisk Institut

### **For spørgsmål i relation til dette notat, kontakt venligst:**

Peder Fynholm

Sektionsleder, Teknologisk Institut

Telefon: +45 7220 2333

Email: [pfy@teknologisk.dk](mailto:pfy@teknologisk.dk)

Betingelser for brug af *Fleretagers træhuse - State of the art* og ansvarsfraskrivelse

*Fleretagers træhuse - State of the art* stilles gratis til rådighed for brugeren. Indholdet i *Fleretagers træhuse - State of the art* er tænkt som generel information for branchefolk inden for byggeriet og kan på ingen måde sidestilles med rådgivning. Brugeren opfordres i alle tilfælde til at undersøge og vurdere, om professionel rådgivning er nødvendig.

InnoBYG fraskriver sig ethvert ansvar for tab, skader eller ulempe, både direkte og indirekte af enhver art, der skyldes eller er en følge af brugen *Fleretagers træhuse - State of the art*.

InnoBYG fraskriver sig ethvert ansvar for fejl, udeladelser og mangelfulde opdateringer, der måtte være i *Fleretagers træhuse - State of the art*. InnoBYG giver ingen garanti af nogen art, heller ikke for anvendelighed eller egnethed til et bestemt formål eller for rigtigheden eller fuldstændigheden af *Fleretagers træhuse - State of the art's* indhold. Anvendelsen af *Fleretagers træhuse - State of the art* sker på brugerens eget initiativ og skaber i intet tilfælde et retsforhold mellem InnoBYG og brugeren.

InnoBYG har alle immaterielle rettigheder til hele indholdet i *Fleretagers træhuse - State of the art*.

## 1. Indhold

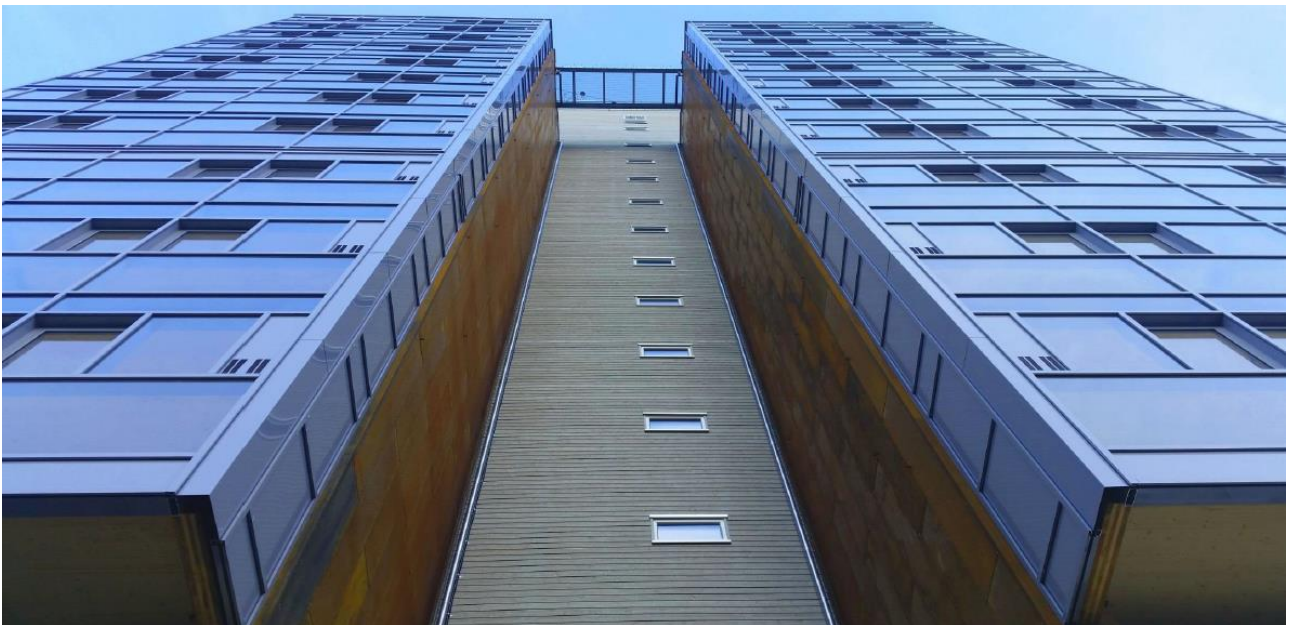
|  |    |
|--|----|
| 2. Introduktion .....  | 4  |
| 3. Baggrund .....  | 5  |
| 4. Historie og tradition.....  | 6  |
| 5. Moderne byggemetoder i træ.....                                   | 7  |
| Byggesystemer af træ til fleretagers byggerier .....                 | 7  |
| Bygningstyper og eksempler .....                                     | 11 |
| Mulighed for øget præfabrikationsgrad .....                          | 13 |
| Transport til og håndtering på byggepladsen .....                    | 13 |
| 6. Bæredygtighed.....  | 15 |
| Miljø .....  | 15 |
| Økonomi .....  | 17 |
| 7. Lovgivning .....  | 20 |
| Bygningsreglement.....   | 20 |
| Træfremmende initiativer rundt omkring i verden .....                | 21 |
| 8. Kompetencer og ressourcer .....                                   | 23 |
| 9. Forsikring af fleretagers træhuse i Danmark .....                 | 24 |
| 10. Hvorfor er fleretagers træhuse interessant for en bygherre?..... | 26 |
| 11. Køreplan mod første fleretagers træhusbyggeri i Danmark .....    | 27 |
| Bilag 1: Udenlandske eksempler .....                                 | 28 |

## 2. Introduktion

Dette notat er udarbejdet som del af InnoBYG spireprojektet: Fleretagers Træhuse i Danmark – Er det muligt og hvad mangler?

Det overordnede mål med projektet er at skabe et langsigtet fundament for, at opnå en større anvendelse af træ i fleretagers byggeri i Danmark og gøre træ til et mere naturligt valg for byggeriets parter i forhold til fleretagers byggerier, end det er i dag.

Projektdeltagerne har gennem egen erfaring, litteratur, workshops, interviews, nationale og internationale studieture samlet viden om mulighederne og udfordringerne ved at anvende træ i fleretagers byggeri. Resultaterne af dette arbejde er samlet i notater forfattet af forskellige aktører deltagende i InnoBYG spireprojektet. Projektet er udført i et samarbejde mellem Teknologisk Institut (DTI - projektleder), Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Dansk Brand- og Sikringsteknisk Institut (DBI) samt en række virksomheder og brancheorganisationer med relation til byggebranchen. Projektet er forløbet i perioden januar 2016 – december 2016.



*Et opadskuende blik på "Treet" i Bergen. 14 etager med bærende konstruktion i træ. (Tak til Ole Herbrand Kleppe, Bob Ejendomsutvikling).*

### 3. Baggrund

I Europa og Nordamerika skyder fleretagers højhuse i træ i vejret med jævn hast, antallet af projekter stiger eksponentielt fra år til år, og prædikatet ”Verdens højeste træhus” skifter ejer med en hast, der gør det svært at følge med. I Danmark derimod orienterer bygherrer samt de store rådgivere og entreprenører sig typisk stadig mod beton og stål, og Danmark har endnu sit første store fleretagers træhus til gode.

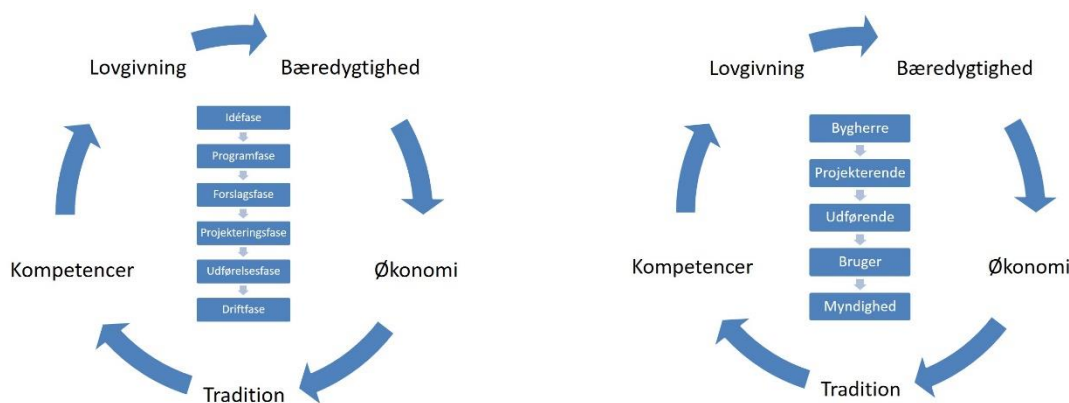
Flere af de udenlandske projekter har været helt eller delvist initieret som følge af fokus fra myndighedsside eller fra private organisationer inden for byggebranchen med det formål at vise, at træ også kan anvendes i fleretagers byggeri. Den samme fokus ses endnu ikke fra myndighedsside eller private organisationer i Danmark. Der er dog blandt byggebranchens parter, specielt fra de projekterende og udførende, en øget interesse for at finde bæredygtige og fornybare byggematerialer også til fleretagers byggerier.

Projektet har sat fokus på muligheder og udfordringer ved at anvende træ i fleretagers byggerier gennem en workshops, interviews med branchens parter, indlæg på gå-hjem møder og konferencer samt studieture til aktuelle byggerier rundt omkring i Europa. Formålet med disse aktiviteter har været at identificere mulighederne for – og byggebranchens interesse i – at gøre træ til et naturligt valg i nye højhuse.

I notatet henvises der hovedsageligt til træhuse højere end 4 etager, da det ofte opfattes som den maksimale højde man lovligt må bygge med træ i Danmark i dag. Det er vigtigt at pointere, at der **IKKE** er lovmæssige begrænsninger for at bygge træhuse i Danmark, som er højere end 4 etager.

Det er notatets hensigt, at belyse de ydre parametre som kan påvirke de enkelte aktører i byggebranchen i forhold til valg af byggematerialer og metoder, og det som kan påvirke valgene i de enkelte faser af et byggeri jf. figur 1.

**”Det er vigtigt at pointere, at der IKKE er lovmæssige begrænsninger for at bygge træhuse i Danmark, som er højere end 4 etager.”**



Figur 1: Ydre omstændigheder påvirker byggeriets parter og de forskellige faser i en byggeproces ift. valg af materialer og konstruktioner.

## 4. Historie og tradition

Træs tusindårige historie som byggemateriale gør det til et af de ældste byggematerialer, vi har. Til sammenligning har man kun anvendt stål til bygninger siden 1880'erne og moderne beton siden 1850'erne. Det kan derfor virke paradoksalt, at træ fravælges som materiale til højhusbyggeri på grund af manglende erfaringer med materialet sammenlignet med stål og beton. Forklaringen er blandt andet, at de store industriforarbejdede emner af massivtræ, der for alvor har gjort det teknisk muligt at bygge højt med træ, er relativt nye opfindelser. CLT (Cross-Laminated Timber) blev for eksempel først introduceret i 1980'erne, og erfaringsgrundlaget for byggeri med dette materiale er derfor først ved at blive etableret. Erfaringsgrundlaget vokser dog hurtigt og er efterhånden temmelig omfattende, når man kigger ud over Danmarks grænser. I Europa og Nordamerika skyder fleretagers højhuse i træ i vejret og de seneste år har antallet af projekter været eksponentielt stigende. Der er nærmest en konkurrence i gang, om hvem der kan bygge "Verdens højeste træhus". I Sverige var andelen af fleretagers træhuse i 2015 på 8,7%<sup>1</sup>. En andel der har ligget og svinget de seneste 10 år omkring de 10%.

I 2013 blev "Forté", i Melbourne, Australien med 10 etager det højeste moderne træhus i verden. Det beholdt titlen indtil "Treet" med sine 14 etager stod færdigt i Bergen, Norge i 2015. I 2016 har "Brocks Commons" i Vancouver, Canada, med 18 etager overtaget titlen, men holder den kun indtil senest 2018, hvor "HoHo" med 24 etager står færdig i Wien, Østrig<sup>2</sup>.

I Danmark derimod orienterer de store bygherre, rådgivere og entreprenører sig stadig mod beton og stål, og Danmark har endnu sit første store fleretagers træhus til gode. Forklaringerne er mangfoldige, men det spiller en særlig rolle, at den danske byggetradition igennem århundreder har været båret af sten og tegl, som har været det foretrukne materiale til facader og tage. I modsætning til for eksempel vores nordiske nabolande har træ gennem de seneste 400 år generelt været en mangelvare i Danmark. Omkring år 1700 udgjorde det danske skovareal kun ca. 2% af landets areal, og den danske byggetradition har været præget af "træmangel" helt indtil i dag. Godt 15% af Danmarks areal er i dag dækket af skov og arealet er stigende<sup>3</sup>. Der er i dag nettotilvækst i skovene både i DK og på resten af den nordlige halvkugle, og træ er derfor ikke længere en mangelvare, hverken i DK eller i de lande vi importerer størstedelen af vores træ fra.

**"Omkring år 1700 udgjorde det danske skovareal kun ca. 2% af landets areal, og den danske byggetradition har været præget af "træmangel" helt indtil i dag."**

I områder med store skovressourcer som det øvrige Norden og Nordamerika har træ længe været det dominerende byggemateriale til lavt byggeri, og netop derfor er der måske her større gå-på-mod og selvsikkerhed, når det gælder at bygge højt med træ. Omfattende træhus-projekter i flere lande med tilsvarende små skovressourcer som Danmark – for eksempel England og Holland – vidner dog om, at national adgang til store skovressourcer og medfølgende træindustri ikke er en forudsætning for at kunne bygge højt med træ. Det manglende danske fokus på træ kan således ikke kun forklares med manglende tradition. Andre faktorer som de lovgivningsmæssige rammer, manglende anerkendelse og forståelse for de miljømæssige fordele, usikkerhed med hensyn til den økonomiske bæredygtighed, manglende teknisk *knowhow* hos byggeriets parter og pga. utilstrækkelig eller ingen uddannelse på universiteter og tekniske skoler spiller også ind. Disse emner bliver berørt i de efterfølgende afsnit, men først en introduktion til moderne byggemetoder i træ.

<sup>1</sup> <http://www.tmf.se/statistik/traandel---flerbostadshus/>

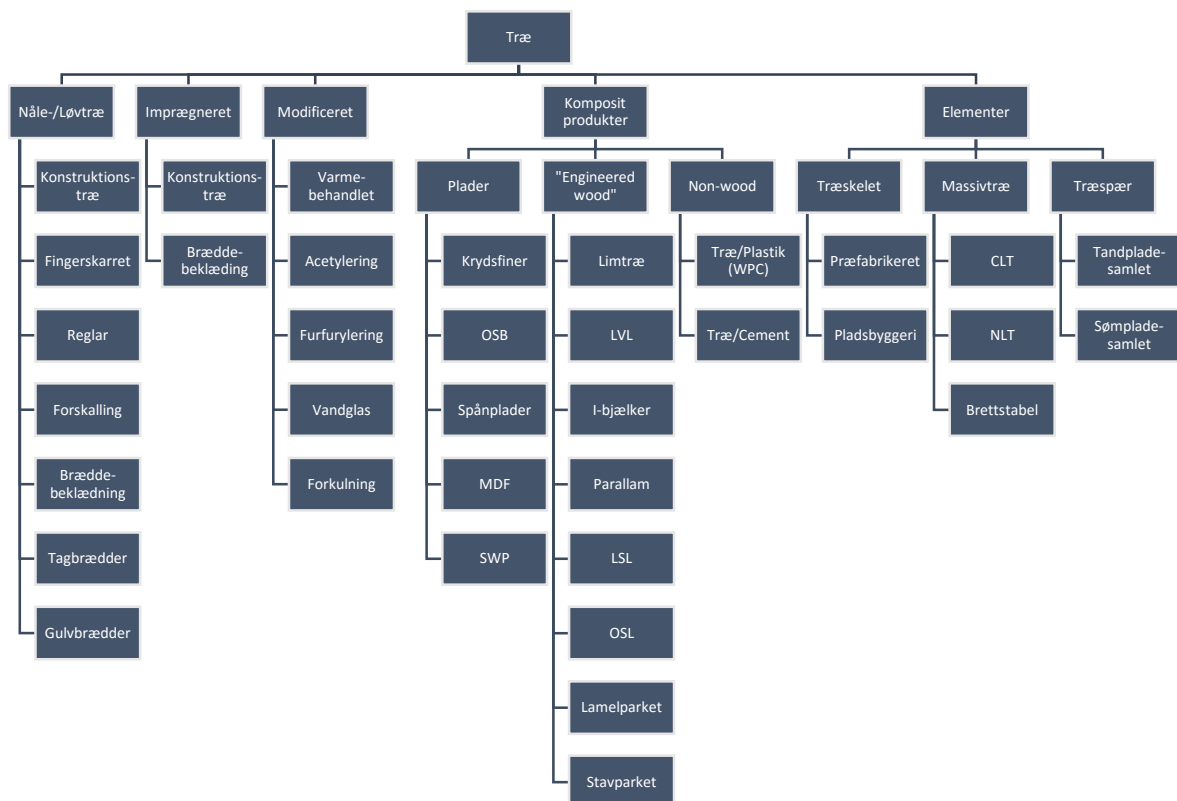
<sup>2</sup> I bilag 1 er der samlet en eksempel-liste af udvalgte udenlandske byggerier.

<sup>3</sup> Skov og plantager 2012.

## 5. Moderne byggemetoder i træ

Der findes et hav af muligheder ift. valg af træprodukter til konkrete byggeopgaver. Træmaterialets store alsidighed giver mulighed for fremstilling af en lang række produkter, der tilpasses det aktuelle anvendelsesområde, se oversigtsdiagram nedenfor. Træområdet er endvidere ganske omfattende reguleret og beskrevet i det europæiske standardiseringssystem, hvilket sikrer stor geografisk bevægelighed og konkurrence.

Uanset hvilke byggematerialer eller –metoder der anvendes, er det vigtigt at bruge materialerne, således at deres egenskaber udnyttes bedst muligt til det pågældende projekt. Det betyder, at det ofte giver mening at anvende materialer i hybridkonstruktioner, dvs. i kombination med andre materialer. Her skal det sikres, at løsningerne projekteres således, at materialer og komponenter passer sammen ift. fx fugtbetingede bevægelser m.v.



### Byggesystemer af træ til fleretagers byggerier

I Danmark er præfabrikerede elementer i klart overtal i nutidens fleretagers byggerier, da de muliggør en højere grad af kvalitetssikring samt kortere byggetid. Der findes flere forskellige byggeprincipper, hvor krav til spændvidde, styrke og stabilitet er afgørende for valg af byggeprincip, men ofte vil der være flere brugbare byggeprincipper til den enkelte opgave. Nedenfor er givet en kort præsentation af nogle udvalgte principper for træhusbyggerier.

### Præfabrikerede træelementer

Præfabrikerede træelementer anvendes i dag i vid udstrækning i Danmark. Det gælder specielt i forbindelse med renovering, men også ved nybyggeri i op til 4 etager. Der findes pt. et par håndfulde danske producenter, som leverer præfabrikerede træelementer på det danske og nordiske marked. Endvidere findes der aktører uden for landets grænser, som eksporterer præfabrikerede træelementer til Danmark. Der findes ikke sikre statistikker, som fortæller om mængden og markedsandele for disse løsninger, men tilbagemeldingen fra branchen er, at det er et område med stadigt stigende aktivitetsniveau.

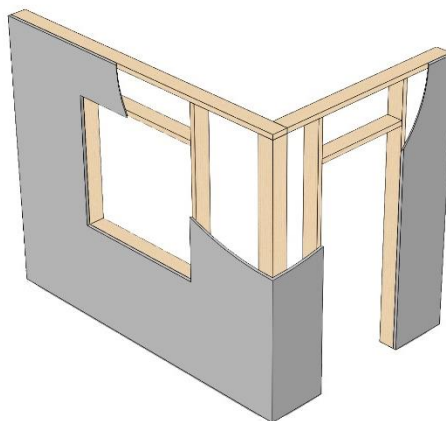
Præfabrikerede træelementer opbygges af ribber typisk af konstrukstræ. Men det kan også være limtræ, LVL, I-bjælker eller lignende. Ribberne placeres typisk med en indbyrdes afstand på 50-60 cm afhængig af krav til styrke og stivhed. Mellem ribberne udfyldes der helt eller delvist med isoleringsmateriale, og elementerne beklædes med vindspærre, dampspærre samt ud- og indvendig beklædning. Præfabrikerede træelementer kan på fabrik udføres som plane elementer eller som rumstore volumenelementer med færdig indvendig aptering. Præfabrikationsgraden afgøres af behovene i det enkelte byggeri, og det vil ofte være transporthensyn, som sætter grænserne for, hvor store elementer der kan fremstilles.

Præfabrikerede træelementer kan anvendes som væg-, dæk- eller tagelementer. De kan indgå som udfyldningselementer eller som helt eller delvist bærende og/eller stabiliserende bygningselementer. Præfabrikerede træelementer er endnu ikke europæisk reguleret af en harmoniseret standard, men der er i Danmark krav til, at fremstilling af præfabrikerede træelementer skal følge standarden prEN 14732-1<sup>4</sup>.

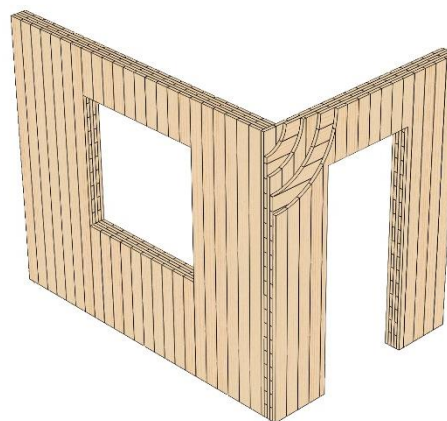
### Massive træelementer

Massive træelementer i den ”moderne” form har været kendt og brugt siden slutningen af 80’erne. Gennem de seneste 20 år er udviklingen af massive træelementer gået mod krydslimede massive træelementer ofte benævnt CLT (Cross Laminated Timber). Udviklingen har haft sit udspring i Mellemeuropæiske lande bestemt Østrig, Schweiz og Sydtyskland. I Danmark mærkede vi ligeledes en opblomstring af anvendelsen af massive træelementer i slutningen af 90’erne og starten af 00’erne, hvor flere byggerier, der anvendte disse elementer, så dagens lys<sup>5</sup>. I den periode var det hovedsagligt massive træelementer af typen ”Brettstapel”, der blev anvendt i Danmark. Det udmøntede sig også i en lokal produktion af sømmede massive ”Brettstapel”-elementer.

Den seneste udvikling, indenfor fleretagers træhusbyggeri, er CLT, som nærmest er blevet synonym med højhuse i træ. Til forskel fra skeletbyggeriet har de massive CLT-konstruktioner nogle klare fordele eksempelvis



Figur 2: Principskitse af præfabrikerede træelementer.



Figur 3: Principskitse af CLT træelementer.

<sup>4</sup> Nationalt annekst til Eurocode 5, Energistyrelsen, 2014

<sup>5</sup> Træhuse af massive træelementer. Peder Fynholm, Teknologisk Institut, 2000

<sup>6</sup> Massivtræ i byggeriet. Associerede Ingeniører ApS, 2001



i forbindelse med lastfordeling og minimering af risiko for progressivt kollaps. CLT-elementer kan anvendes som væg-, dæk- eller tagelementer og kan indgå som udfyldningselementer eller som helt eller delvist bærende og/eller stabiliserende bygningsselementer i byggeriet. Af hensyn til varme- og lydisolering skal massive træelementer tilføjes isolering for at leve op til Bygningsreglementets krav.

#### Store europæiske CLT-producenter:

- **KLH** <http://www.klh.at/en/>
- **Stora Enso** <http://www.clt.info/en/>
- **Binderholz** <http://www.binderholz.com/en/>
- **Züblin** <http://www.zueblin-timber.com/>

Der findes i dag ikke en produktion af massive træelementer, herunder CLT, i Danmark. De fleste europæiske producenter findes i Mellemeuropa.

De eksisterende europæiske producenter har de seneste år leveret CLT til det meste af verden. Men Nordamerika har nu sin egen produktion, hvilket vil have en indvirkning på den europæiske eksport til det marked. Eksempelvis har Structurelam i British Columbia, Canada, leveret CLT-elementer til Brock Commons i Vancouver.

Hvorvidt en CLT-produktion i fremtiden vil være rentabel i Danmark, vil afhænge af den fremtidige efterspørgsel og udviklingen i det øvrige Europa. Ser man på erfaringerne fra England, er der nu efter 10 års anvendelse af CLT i byggeriet blevet investeret i en CLT produktion, der opstartes i 2017.

CLT-elementer fremstilles i tykkelser fra 60 til 500 mm og i bredder fra 1,25 m til 3,50 m samt i længder på op til 24 m. CLT produceres med forskellig opbygning og overfladekvalitet afhængig af anvendelsesområdet og krav til egenskaberne.

Der er på europæisk plan vedtaget en fælles europæisk standard for massive træelementer (EN 16351:2015). Standarden er dog endnu ikke (December 2016) offentliggjort i Europæisk Tidende, hvilket er forudsætningen for, at produkterne kan CE-mærkes ift. standarden. Der findes dog en række CE-mærkede produkter på markedet i dag. Disse produkter er imidlertid CE-mærket med udgangspunkt i individuelle Europæiske Vurderings-Dokumenter (EAD'er), hvilket på nogle områder gør det svært at sammenligne produkterne. Eksempelvis er der ikke faste standardklasser, som det eksempelvis kendes fra limtræ, hvilket betyder, at der må regnes på flere forskellige alternative CLT-løsninger i de enkelte projekter.

#### Søjle-bjælkesystem og hybridløsninger

Søjle-bjælkesystemer anvendes ligeledes ifm. højhuse i træ. Disse systemer kan opbygges af træprodukter som eksempelvis limtræ og LVL, men kan også være udført i eksempelvis stålsystemer i kombination med eksempelvis CLT-elementer eller præfabrikerede træelementer. Systemer som disse vil typisk blive betegnet som



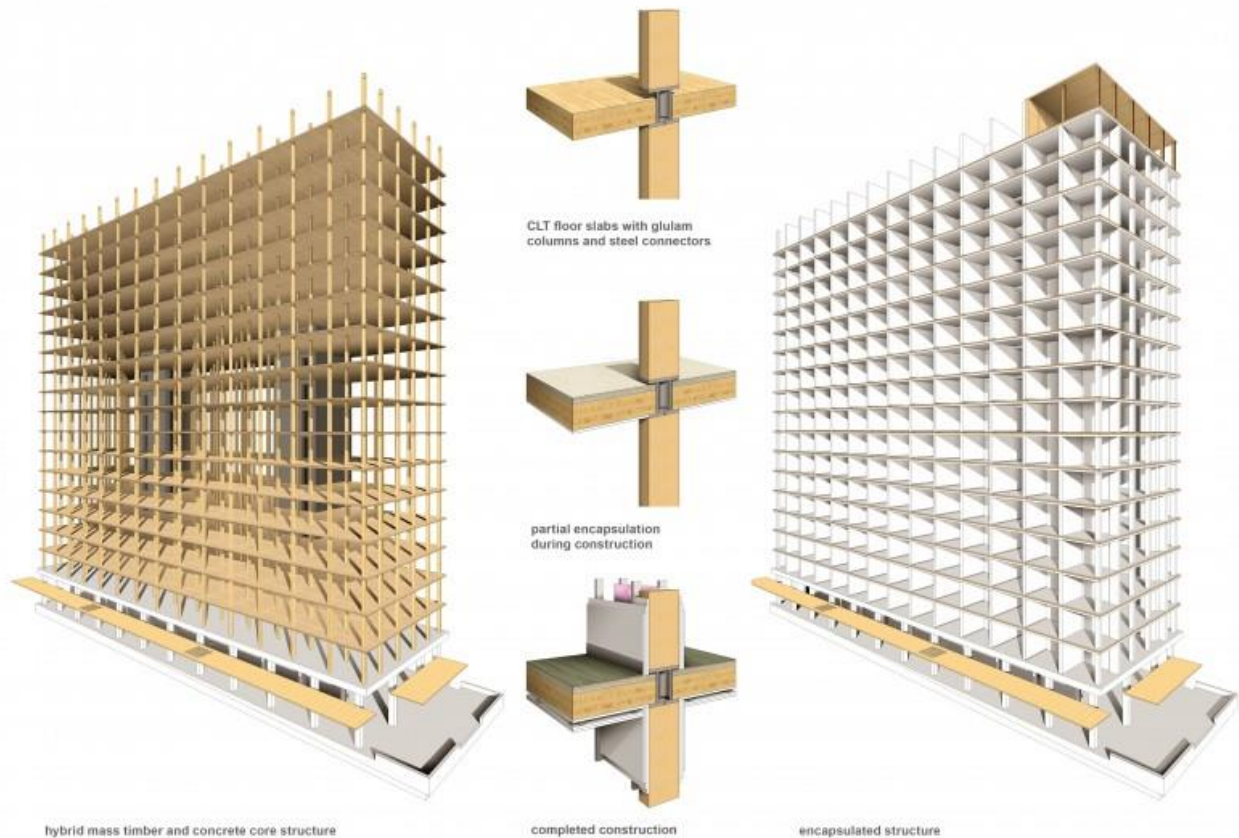
Figur 4: CLT elementer kan i dag CE-mærkes, men endnu ikke efter en fælles europæisk standard.

hybridløsninger. I søjle-/bjælkesystemer i stål vil træet kunne anvendes som brandsikring af stålet. Søjle-/bjælkesystemer vil udgøre det bærende skellet, og vægge kan være udfyldningselementer og dæk være bærende CLT elementer. I modsætning til byggesystemer baseret på CLT, findes er i de hybride byggesystemer danske leverandører til alle de primære bygningsdele.

De mange muligheder inden for træprodukter giver ligeledes mange kombinationsmuligheder indenfor produktprogrammet af trækomponenter. Det er dog også muligt at kombinere eksempelvis CLT med beton og stål i etageadskillelser ift. at optimere udnyttelsen af materialerne. Herved kan opnås større spændvidder og øget passiv brandsikring.



Figur 5: Hybridkonstruktion med limtræssøjler og CLT-bjælker. Kilde: Acron Ostry Architects, Foto: KK Law.



Figur 6: Tegning af hybrid konstruktion samt midlertidig og permanent inddækning af konstruktionen. Kilde: <https://www.acronostry.ca/project/brock-commons-tallwood-house/>

## Bygningstyper og eksempler

Der har gennem de seneste 10 år været en konstant udvikling og et kapløb om at få bygget verdens højeste hus i træ. Et kapløb, som ikke nødvendigvis blot har til formål at bygge højt, men i ligeså høj grad flytte grænserne for, hvad der er muligt. I Danmark er bybilledet generelt ikke præget af højhuse over 8 etager, og potentialet for at bygge højhuse i mange etager er begrænset, selvom der i den seneste tid ses flere højhusbyggerier rundt omkring i de større byer. Samtidig er der et potentielt marked for at erstatte en ”traditionelt” med fleretagers bygninger med træ.

Hovedparten af de byggerier, der er skudt op rundt omkring i verden, er typisk boligbyggeri evt. kombineret med erhverv/detailhandel i nederste etage. Boligbyggeri i flere etager vil være et oplagt afsætningsområde for træbaserede løsninger. Det er ikke alle typer af fleretagers byggerier, hvor det giver mening at anvende træ. Bygningens brug herunder spændvidder vil typisk være den begrænsende parameter. Eksempelvis er krav til fleksibilitet med dertil hørende behov for store spændvidder og øgede nyttelaster ifm. kontorbyggerier stille skærpede krav til konstruktionstykkelser.

På Bilag 1 er der angivet nogle eksempler på højhuse, der gennem de sidste 10 år er skudt op rundt omkring i Europa, og mange flere er på vej i den kommende tid. Nedenfor er givet en kort beskrivelse af nogle af de byggerier, der har sat præg på udviklingen inden for fleretagers træhusbyggeri gennem de seneste 10 år.

### Stadthaus, Murray Grove

Kapløbet om verdens højeste træhus blev for alvor sat i gang i 2008, hvor Stadthaus, Murray Grove, blev opført i Hackney, London. Bygningen var fra starten ikke tænkt opført i træ, men som betonbyggeri. Omkring byggetidspunktet var der lang leveringstid på beton som følge af Londons OL-forberedelser, hvorfor bygherren blev forelagt muligheden for at opføre bygningen i træ (CLT). Bygningen består af private udlejningslejligheder fra Telford Homes samt almennyttige billige boliger. CLT var i England, og for arkitekten Waugh Thistleton, på opførelsestidspunktet endnu ikke et byggemateriale, man havde stor erfaring med. Waugh Thistleton havde 3 år tidligere opført et mindre spillested i Waterloo og på den måde høstet erfaring med materialet. Selvom isoleringsniveauer (70 mm isolering i klimaskærmen) ikke er at sammenligne med kravene i Danmark har der fra beboernes side været positive tilbagemeldingerne ift. komfort og energiforbrug. I byggeriet af Stadthaus har bygherre Telford Homes, National House Building Council (NHBC), og Building Research Establishment (BRE) ligeledes været aktive omkring verificering af de valgte byggematerialer og de valgte konstruktionsløsninger. Da løsningerne var nye i England, blev det aftalt blandt parterne at betragte projektet som et pilotprojekt. Projektets løsninger blev ligeledes prøvet en ekstra gang af BRE på trods af, at KLH (CLT leverandøren) havde europæiske, tekniske godkendelser på produktet.



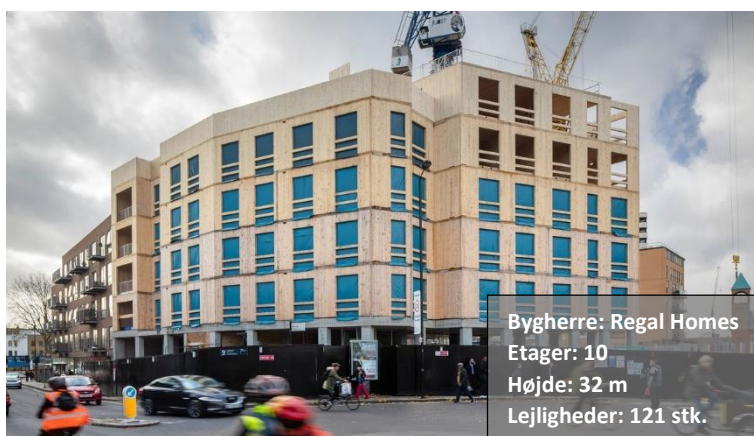
## TREET

I efteråret 2015 fik TREET med sine 14 etager titlen som verdens højeste træhusbyggeri. Bygningen blev opført i tre etaper (1. – 5. etage, 6. – 10. etage samt 11. – 14. etage). For hver etape er lejlighederne udført i præfabrikerede byggemoduler, som er stablet ovenpå hinanden i 4 etagers højde. Mellem hver af de tre etaper blev der etableret en platform af gitterdragere i limtræ. På disse blev der lagt et dæk af beton til bl.a. at give huset tyngde. Korridorer, trappeopgang og elevatorskagt blev udført i CLT. Den bærende konstruktion udgøres af en gitterkonstruktion i limtræ, og huset er så og sige en bro, der står op. Projektets gennemførelse var præget af stor entusiasme blandt alle aktører, og der blev nedsat en bred projekteringsgruppe til at finde løsninger og evaluere de udfordringer, der opstod undervejs i projektet. Hovedentreprenørerne blev udvalgt på forhånd for at kunne bidrage med viden om produkterne samt erfaring med montagen. Der blev ikke brugt nye materialer i projektet, men de blev anvendt og sat sammen på en ny måde.



## Dalston Lane

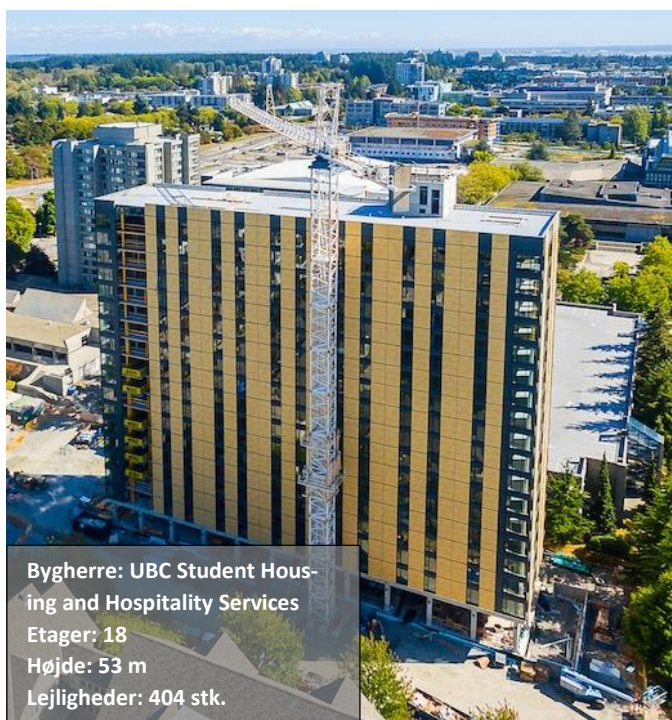
Dalston Lane, London, er den enkeltstående sammenhængende bygning, hvori der er anvendt mest træ – hele 4500 m<sup>3</sup> CLT. Bygningen er på højeste sted 10 etager og består af CLT i vægge, gulv og trapper. Et af argumenterne for, at der er valgt CLT er, at bygningen er placeret ovenpå undergrundsbanen (The tube), og der var derfor krav til maksimal belastning. Ved at vælge CLT er det muligt at bygge 2 etager mere på med tilhørende salg af ejerlejligheder.



Selvom bygningskroppen udelukkende består af CLT, vil det være begrænset, hvad man kan se af træ, når bygningen tages i brug, da de udvendige overflader beklædes med en skalmur (Petersen Tegl), og indvendige vægge beklædes med brandgips. Bygningen er opført på en platform af beton, som giver mulighed for detailhandel i stueplan. Bygningen opføres i 2016/2017 i den centrale del af London, og da at antallet af leverancer til byggepladsen i opførelsesperioden reduceres med 80% sammenlignet med en tilsvarende bygning opført i beton, opnås væsentligt mindre trafikbelastning og støjgener under byggeriet.

## Brock Commons

Seneste skud på stammen i kapløbet om verdens højeste fleretagers træhusbyggeri er under opførelse i Vancouver, Canada. Byggeriet, som når 18 etager, opføres på University of British Columbia (UBC) og skal anvendes som kollegium for studerende på UBC. Bygningens skelet og facade blev færdiggjort i september 2016, og bygningen forventes klar til aflevering i maj 2017. Bygningen er opført på et podium af beton og med to elevatorkerner udført i beton til at støtte bygningen ifm. vindlast og jordskælv. Denne banebrydende bygning vil fremvise nyskabelser inden for træprodukter og byggeteknikker og skabe en unik mulighed inden for forskning og læring omkring design, opførelse, drift og beboelse af en høj træbygning i en nordamerikansk kontekst.



## Mulighed for øget præfabrikationsgrad

Vi har i Danmark stor erfaring med præfabrikation af træelementer, og en stor del af det træhusbyggeri, der i dag opføres, er fremstillet som plane eller volumenstore elementer på fabrik. En høj præfabrikationsgrad giver gode muligheder for at lave robuste konstruktionsløsninger, målrettet kvalitetssikring, godt og sikkert arbejdsmiljø ligesom byggetiden på byggepladsen kan minimeres.

De udenlandske fleretagers træhusbyggerier er typisk konstrueret med en præfabrikationsgrad på CLT, som er betragteligt lavere, end hvad man er vant til i Danmark. Elementerne vil typisk være tilpasset i størrelse og med huller til døre og vinduer, mens den øvrige aptering vil foregå på byggepladsen. Der er således et stort potentiale for yderligere at kunne hæve præfabrikationsgraden af CLT på det danske marked. Dette vil på sigt ligeledes give mulighed for eksport af CLT løsninger med en høj præfabrikationsgrad.

## Transport til og håndtering på byggepladsen

Transportgener ifm. byggerier i storbyer som eksempelvis London er vigtige at holde sig for øje. I projektet på Dalston Lane, jf. ovenstående er reduktionen af tunge transportere til byggepladsen reduceret med 80%<sup>7</sup>. Dette gavner projektøkonomien og reducerer samtidigt de gener, byggeriet påfører omgivelserne.

Da vægten af CLT er mindre end ¼ af vægten af betonelementer, stilles der ligeledes mindre krav til størrelsen af kraner på byggepladsen. Samtidig er det muligt at arbejde, bore, skære huller til gennemføringer uden brug af tungt og støvende værktøj. Arbejdsmiljøet på byggepladsen og støj/støvgenerne blandt naboerne er derfor også forbedret sammenlignet med betonløsninger. I projektet Moholt 50|50 blev der blandt tømrerne sat stor pris på, at slagbor og mejsel kunne erstattes med træskruer og boremaskine. Der er i den forbindelse stor forskel

*Citat fra Knut Sneisen efter boring af 18.000 huller til fastgørelse i projektet Moholt 50|50:*

***"Der er stor forskel på såvel støj og slitage, om hullerne skal bores i træ eller beton."***

<sup>7</sup> Dalston Lane, the World's largest CLT building, <http://waughthistleton.com/dalston-lane/>

på, hvorvidt der skal bores 18.000 skruer i beton eller træ både ift. støjgener, men også i forhold til slitage på værktøjet.



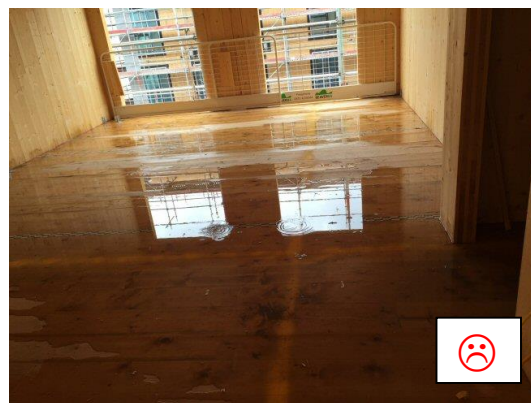
Træ og fugt er som bekendt en dårlig cocktail, hvorfor dette forhold kræver opmærksomhed specielt ifm. håndtering på byggepladsen. Det kan ikke tages for givet, at det holder tørvejr ifm. med montagen. I Danmark er der generelt blandt byggebranchens parter stor opmærksomhed på risiko for skimmel i byggeriet og dermed også fugtsikring. Denne opmærksomhed deler man ikke i samme grad andre steder i Europa, hvilket også udmønter sig i lavere grader af fugtsikring i byggefasen, end hvad vi er vant til. Ofte vil man eksempelvis kun afdække endetræet på CLT elementer enten med pap eller en endetræsforsegling, såfremt der er udsigt til fugt i byggeperioden.

De forskellige byggemetoder og konstruktionsløsninger vil i praksis have forskellig robusthed over for fugtpåvirkning og vil derfor også kræve forskellige niveauer af opmærksomhed. Grundlæggende skal det dog sikres, at træet ikke udsættes for skadelig fugtpåvirkning i byggefasen. Det bør derfor være en naturlig del af alle byggeprojekter at udarbejde en fornuftig fugtsikringsstrategi for at minimere risici for fugtophobning i konstruktionerne. Løsningerne skal således tænkes ind lige fra projektering af samplingsdetaljer til produktionen og transporten til byggepladsen, samt i forbindelse med montagen. I den forbindelse bør de udførendes kendskab og erfaring med byggemetoderne vurderes og integreres i forhold til fugtsikringsstrategien, se eksempelvis vejledning om håndtering af fugt i byggeriet.<sup>8</sup> Hvis man er vant til at arbejde med montage af betonelementer, er man ikke nødvendigvis ligeså fokuseret på fugtsikring i opførelsesfasen, som hvis man er vant til at arbejde med trækonstruktioner.



I det 18-etagers byggeri Brock Commons i Canada har man fra projekteringsfasen haft fokus på fugtsikring af byggeriet:

- Planlægning af træelementmontage i tør-/sommerperiode
- Vandtæt forsegling af træelementer for at minimere vandoptag i forbindelse med opførelsen
- Betonlag på gulve med direkte vandafledning af konstruktionen
- Måling af fugtindholdet inden indkapsling af konstruktionen
- Præfabrikerede midlertidige afdækningselementer til brug ifm. vådt vejr.
- Præfabrikerede facadebeklædningsløsninger følger med opstillingen af bærende elementer
- Vandalarmer og afbrydelse af vandforsyning efter fyraften
- Personaleuddannelse i afhjælpning og forhindring ifm. vandskader



<sup>8</sup> Vejledning om håndtering af fugt i byggeriet, SBI, 2010.

## 6. Bæredygtighed

### Miljø

Opførelse, brug og nedrivning af bygninger står for 40% af verdens energiforbrug og 40% af verdens ressourcerforbrug. Det er derfor essentielt, at byggesektoren bidrager med reduktioner i CO<sub>2</sub>-udledningen, hvis de nationale og internationale klimamål skal nås. En rapport fra UNEP formulerer det således: ”... *if targets for greenhouse gas emissions reduction are to be met, it is clear that decision-makers must tackle emissions from the building sector. Mitigation of greenhouse gas emissions from buildings must be a cornerstone of every national climate change strategy*”<sup>9</sup>.

I en dansk kontekst har der fra politisk hold længe været fokus på at mindske energiforbruget i byggesektoren. Der er opnået betydelige resultater, når det gælder reduktion af bygningers energiforbrug i brugsfasen og udbredelsen af nul-energi-byggeri, passiv-huse, og zero energy buildings – kært barn har mange navne – er støt stigende.

Derimod har opmærksomheden på at mindske energiforbruget i konstruktionsfasen været til at overse. Eksempelvis har Bygningsreglementet ingen fastsatte krav til miljøpåvirkninger eller energiforbrug i konstruktionsfasen. En svensk livscyklusanalyse af et moderne energieffektivt betonbyggeri viste, at CO<sub>2</sub>-udledningen under konstruktionsfasen udgjorde 50% af den totale CO<sub>2</sub>-udledning eller omtrent lige så meget som hele den forventede CO<sub>2</sub>-udledning i brugsfasen af bygningens 50-årige forventede levetid<sup>10</sup>. Tal i samme størrelsesorden angives i et studie lavet af Søren Jensen Rådgivende Ingeniørfirma<sup>11</sup>. Man har altså nået et niveau for energieffektivisering i brugsfasen, hvor en bygningens CO<sub>2</sub>-udledning i hele sin levetid er sammenlignelig med CO<sub>2</sub>-udledningen fra konstruktionsfasen alene. Eller sagt med andre ord: CO<sub>2</sub>-udledningen i konstruktionsfasen er nu ligeså betydende som CO<sub>2</sub>-udledningen i brugsfasen for moderne bygninger. Det er således vigtigt, at fokus nu også rettes mod energibesparelser i konstruktionsfasen.

**”Det er således vigtigt, at fokus nu også rettes mod energibesparelser i konstruktionsfasen”.**

Træ har meget at bidrage med, når det gælder energibesparelser i konstruktionsfasen, da en stor del af CO<sub>2</sub>-udledningen i konstruktionsfasen hidrører fra materialefremstillingen. Som en opfølgning på førnævnte svenske livscyklusanalyse af det moderne betonbyggeri har Sveriges Byggindustrier udgivet en rapport, der præsenterer en livscyklusanalyse af et nyopført, energieffektivt 8-etagers træhus-byggeri (med beton i kælder og stueplan) inklusiv den forventede CO<sub>2</sub>-udledning i brugsfasen af bygningens 50-årige forventede levetid<sup>12</sup>. Rapporten viste, at konstruktionsfasen i dette byggeri var ansvarlig for 38% af den totale CO<sub>2</sub>-udledning. Betonen i kælder, stue og garage udgjorde 22% af den totale CO<sub>2</sub>-udledning, mens træelementerne i etage 1-7 udgjorde 8% af den samlede CO<sub>2</sub>-udledning.

Det globale politiske fokus på at formindske den globale opvarmning kan principielt udmønte sig i to forskellige strategier: 1) at undgå/formindske udledningen af drivhusgasser ved afbrænding af fossile energikilder, og 2) at finde en metode til lagring af CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Ved at bygge med træ adresserer man begge strategier på samme tid.

<sup>9</sup> Buildings and Climate Change, Summary for Decision-Makers, United Nations Environment Programme, 2009.

<sup>10</sup> Byggandets Klimatpåverkan, Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong, Rapport NR B 2217, IVL, 2015.

<sup>11</sup> Livscyklusvurdering som katalysator for forbedring af byggeriets miljøpåvirkning, BYG Bæredygtigt Byggeri 5, 2016.

<sup>12</sup> Byggandets Klimatpåverkan, Livscykelberäkning av klimatpåverkan för et nyproducerat energieffektivt flerbostadshus med massiv stomme av trä, Sveriges Byggindustrier, 2016

Træ binder CO<sub>2</sub> fra atmosfæren, når det vokser. Som tommelfingerregel ”forbruger” træet 1,6-1,8 kg CO<sub>2</sub> pr. 1 kg træ, det danner. Når træet nedbrydes af svampe eller andre naturlige processer, frigives en tilsvarende CO<sub>2</sub>-mængde til atmosfæren igen. Tilsvarende sker ved forbrænding. Men når træ indgår i byggeriet, fungerer bygningen som CO<sub>2</sub>-lager (”carbon sink”). Til byggeriet af Moholt 50|50 i Norge (se appendix A) blev der brugt ca. 5600 m<sup>3</sup> eller ca. 2240 tons massivtræ, hvis vi forudsætter en massefylde på 400 kg/m<sup>3</sup>. Byggeriet resulterede dermed i en lagring af godt 3500 tons CO<sub>2</sub> – eller svarende til knap 2000 gennemsnitsbilers<sup>13</sup> årlige CO<sub>2</sub> udledning ved et kørselsbehov på 15.000 km/år.

Den mest betydende del af CO<sub>2</sub>-gevinsten ved træbyggeri opnås dog via substitutions-gevinsten, der ligger i det sparede forbrug og dermed sparede produktion af stål og beton. Produktion af stål og beton er ansvarlig for henholdsvis 9% og 5% af verdens totale forbrug af fossile energikilder. Til produktion af 1 tons beton og 1 tons stål udledes henholdsvis 87 kg<sup>14</sup> og 1,9 tons<sup>15</sup> CO<sub>2</sub>. Produktion af træ lagrer derimod CO<sub>2</sub> fra atmosfæren selv inklusiv forbruget af fossile brændstoffer i forbindelse med dyrkning, fældning og forarbejdning af træet.

De potentielle miljømæssige gevinster ved at bygge med træ er derfor betragtelige. Befolkningstilvæksten i verden og vandringeren fra land til by gør, at behovet for nye boliger i verdens byer er enormt. Der ligger derfor en meget stor potentiel CO<sub>2</sub>-besparelse i at øge anvendelsen af træ i opførelsen af disse boliger. Ved Moholt 50|50-projektet vurderes den samlede CO<sub>2</sub>-besparelse at være 55-60% i forhold til et tilsvarende traditionelt byggeprojekt<sup>16</sup>. Ifølge et studie fra Yale University kan substitution af stål og beton med træ potentielt spare op til 31% af de globale CO<sub>2</sub>-udledninger og op til 19% af det globale forbrug af fossile energikilder<sup>17</sup>.

**”Using wood substitutes could save 14 to 31% of global CO<sub>2</sub> emissions and 12 to 19% of global fossil fuel consumption by using 34 to 100% of the world’s sustainable wood growth (Chadwick et al. 2014)”.**

Potentialet for at mindske CO<sub>2</sub>-udledningerne via substitution med træ i byggeriet er også interessant i en dansk kontekst. Københavns Kommune forudser et behov for 45.000 nye boliger over de næste 10 år. Samtidigt har kommunen et erklæret mål om at være CO<sub>2</sub>-neutral i år 2025 svarende til et fald på ca. 200.000 tons CO<sub>2</sub><sup>18</sup>. Der ligger et stort og uudnyttet potentiale for CO<sub>2</sub>-besparelser i at substituere stål og beton med træ ved opførelsen af de 45.000 nye boliger (100.000 nye beboere). Beregninger viser<sup>19</sup>, at hvis bare 1 ud af 6 boliger af de nye boliger opføres med CLT som primært konstruktionsmateriale i stedet for beton, kan der opnås lige så store reduktioner i CO<sub>2</sub>-udledning, som Københavns Kommune forventer at opnå via etablering af solceller<sup>20</sup>. Til sammenligning forventer man i Århus en stigning i befolkningstallet på 50.000, hvilket ligeledes vil udmønte sig i behov for flere boliger. Ligesom der for byggeriets parter ligger et stort arbejde i at kommunikere dette budskab til de offentlige bygherrer.

<sup>13</sup> En gennemsnitsbil er her defineret som en bil med en gennemsnitlig udledning af CO<sub>2</sub> på 120 g/km.

<sup>14</sup> Concrete Industry Sustainable Performance Report, 8<sup>th</sup> report: 2014 Performance Data, MPA the Concrete Center 2015.

<sup>15</sup> Sustainable Steel – Policy and Indicators, World Steel Association, 2016.

<sup>16</sup> Hel ved på Moholt 50|50, Dimensjon 01/2016, Veidekke, 2016.

<sup>17</sup> Chadwick et al. (2014), Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation with Wood and Forests, Journal of Sustainable Forestry, 33:248-275.

<sup>18</sup> Københavns Kommuneplan 2015.

<sup>19</sup> Horswill, Nielsen, Can CLT Construction Help Copenhagen Become World’s First Carbon Neutral City?, Structures and Architecture – Cruz (Ed), Taylor and Francis Group, 2016

<sup>20</sup> Klimaplanen 2025 – En grøn, smart og CO<sub>2</sub>-neutral by, Københavns Kommune



Ud over miljøgevinster via CO<sub>2</sub>-besparelser passer trækonstruktioner også fint ind i tankegangen om cirkulær økonomi, altså genbrug og genanvendelse af materialeressourcer, fordi bygningsdelene kan skilles ad, hvilket også letter håndteringen i nedrivningsstadiet.

Er der overhovedet nok træ til – bæredygtigt – at dække det stigende behov for træ til højhuse? Hvis behovet skal dækkes bæredygtigt, må det blandt andet forudsættes, at hugsten af træ i skovene ikke overstiger tilvæksten. Tilvæksten af træ i de europæiske skove (uden Rusland) er 840 millioner m<sup>3</sup>, mens den årlige hugst er 583 millioner m<sup>3</sup> (66%)<sup>21</sup>. Der er således en årlig uudnyttet hugst på 257 millioner m<sup>3</sup> træ – eller 33% af tilvæksten. Hertil kan man lægge en fremtidig stigning af den årlige m<sup>3</sup>-tilvækst på grund af den nuværende forøgelse af skovarealet. Europas skovareal er i de seneste 25 år (1990-2015) forøget med 17,5 millioner hektar eller ca. 700.000 hektar om året. I Danmark fældes kun ca. halvdelen af tilvæksten (ca. 2,5 millioner m<sup>3</sup> ud af en tilvækst på ca. 5 millioner m<sup>3</sup>)<sup>22</sup>, og også i Danmark er skovarealet stigende og vokser med ca. 3000 hektar årligt. I den øvrige verden er der endnu større uudnyttede ressourcer. For eksempel udnytter Rusland kun ca. 20% af den årlige tilvækst (tilvækst = 853 millioner m<sup>3</sup>, hugst = 170 millioner m<sup>3</sup>)<sup>23</sup>, mens tallet er 65% for Canada (tilvækst = 227 millioner m<sup>3</sup>, hugst = 148 millioner m<sup>3</sup>)<sup>24</sup> og 49% for USA (tilvækst = 748 millioner m<sup>3</sup>, hugst = 364 millioner m<sup>3</sup>)<sup>25</sup>.

Som et tankeeksperiment kunne man forestille sig, at hvis blot 20% af den uudnyttede europæiske tilvækst<sup>26</sup> på 257 millioner m<sup>3</sup> kunne udnyttes til CLT, ville man – årligt – kunne konstruere godt 16.300 ejendomme med 41 lejligheder i stil med Bridport House – altså ca. 668.000 boliger. Der er således ganske store, men ikke udtømmelige lokale træ-ressourcer at tage af, og som kan anvendes til konstruktionstræ uden at gå på kompromis med bæredygtighedskriteriet om nettotilvækst i skovene. Det afgørende er at sikre, at konstruktions-træet kommer fra en bæredygtig produktion. I Danmark er over 90% af skovarealet fredskov og omfattet af Skovlovens krav til bæredygtighed og skovdække på arealerne. Derudover er en del af skovbruget yderligere certificeret efter ordninger som FSC og PEFC. Til brug for sikring af bæredygtigt træ i offentlige aftaler om vareindkøb, tjenesteydelser, og bygge- og anlægsarbejder har vejledning, hvor der er angivet retningslinjer i forhold til definition og dokumentation af bæredygtigt træ<sup>27</sup>.

## Økonomi

Hvor træns miljømæssige fordele er dokumenterbare og velbeskrevne, er det straks sværere at kvantificere den økonomiske bæredygtighed af at bygge højhuse i træ i Danmark. Detaljerede økonomiske data fra færdiggjorte projekter er sjældent tilgængelige, og den økonomiske side af højhusbyggeri i træ er derfor underbelyst. I mangel på danske projekter må man tage udgangspunkt i udenlandske erfaringer, hvis man vil analysere de økonomiske aspekter af højhusbyggeri i træ vel vidende, at udenlandske data ikke nødvendigvis kan overføres direkte til danske forhold. Flere udenlandske projekter har dog opgivet de totale projektkomkostninger som angivet i tabellen nedenfor. Det fremgår imidlertid ikke klart af litteraturen, hvad omkostningerne præcist omfatter, men de ligger umiddelbart i den høje ende af, hvad der i Danmark vil være attraktivt for en bygherre.

---

<sup>21</sup> State of Europe's Forests 2015, Forest Europe, 2015

<sup>22</sup> Fakta om Danmarks skove, Dansk Skovforening, [http://www.skovforeningen.dk/site/fakta\\_om\\_skov\\_trae/](http://www.skovforeningen.dk/site/fakta_om_skov_trae/)

<sup>23</sup> State of Europe's Forests 2011, Forest Europe, 2011

<sup>24</sup> The State of Canada's Forests, Annual Report 2016, Natural Resources Canada, 2016

<sup>25</sup> Oswalt et al., Forest Resources of the United States 2015, USDA Forest Service, General Technical Report WO-91, October 2014

<sup>26</sup> I beregning er forudsat en udnyttelsesprocent på 50% af det skovede træ

<sup>27</sup> Sikring af bæredygtigt træ i offentlige aftaler om vareindkøb, tjenesteydelser og bygge- og anlægsarbejder. Vejledning Nr. 9467 af 25. juni 2014. Miljøministeriet, Naturstyrelsen.

| Projekt                             | Opførelsesår | Sted              | Etager  | Areal (m <sup>2</sup> ) | Budget   |
|-------------------------------------|--------------|-------------------|---------|-------------------------|--|
| <b>Brocks Commons</b> <sup>28</sup> | 2016-2017    | Vancouver, Canada | 18      | 15.120                  | 51,5 mio CAD<br>(275 mio DKK)<br>(18.188 DKK/m <sup>2</sup> )  |
| <b>HoHo</b> <sup>29</sup>           | 2016-2018    | Wien, Østrig      | 24      | 25.000                  | 65 mio. EUR<br>(484 mio. DKK)<br>(19.360 DKK/m <sup>2</sup> )  |
| <b>Moholt 50 50</b> <sup>30</sup>   | 2015-2016    | Trondheim, Norge  | 9 (x 5) | 20.000                  | 450 mio. NOK<br>(373 mio. DKK)<br>(18.650 DKK/m <sup>2</sup> ) |

Flere studier har på et teoretisk niveau sammenlignet omkostningerne ved højhusbyggeri i træ med omkostningerne for et tilsvarende byggeri i beton og/eller stål. I et canadisk scenarie blev omkostningerne for henholdsvis et 12-etagers og et 20-etagers byggeri i træ sammenlignet med omkostningerne for tilsvarende bygninger i beton<sup>31</sup>. Analysen viste stort set samme omkostning for de to materialescenarier. I en nyere beregning fra Oregon, hvor omkostningerne for en 8-etagers træbygning blev sammenlignet med et tilsvarende betonbyggeri, blev træhusbyggeriet estimeret til at være 4% billigere<sup>32</sup>.

En rapport fra Utah University, hvor erfaringer fra 18 opførte massivtræsbygninger i Europa og Nordamerika blev samlet, vurderes de gennemsnitlige omkostninger ved massivtræsbyggerierne til at være 4% lavere end for sammenlignelige bygninger opført via traditionelle metoder<sup>33</sup>. Den samme undersøgelse vurderede, at massivtræsprojekterne resulterede i en 20% reduktion af den samlede opførelsestid sammenlignet med traditionelle byggemetoder.

Da byggetraditioner og –principper er vanskelige direkte at sammenligne på tværs af landegrænser, er det ej heller muligt at overføre økonomiske og tidsmæssige sammenligninger. I England taler man om en betragtelig reduktion af byggetiden, men her sammenligner man med in-situ støbt betonbyggerier, som alt andet lige vil have en betragtelig længere opførelsestid og udtørringstid end præfabrikeret elementbyggeri.

Hvorvidt et givent fleretagers byggeri i Danmark vil være mere eller mindre omkostningstungt, hvis det opføres i træ, kan der ikke gives et entydigt svar på. Svaret vil afhænge af de nærmere omstændigheder og vil variere fra projekt til projekt. De udenlandske erfaringer tyder dog ikke på, at høje omkostninger skulle være et argument for at fravælge træ til højhusprojekter i Danmark. Et konkret almentnyttigt boligbyggeri i 4 etager, Lisbjerg Bakke, opføres i 2017, og ifølge Bo Pedersen fra MOE A/S er det her lykket at holde rammebudgettet og lande på en bygningspris inkl. infrastruktur på ca. 11.000 kr/m<sup>2</sup> ekskl. moms, med et byggeprincip, som reelt også ville kunne anvendes i en 8-etagers bygning.

Ved en vurdering af den økonomiske bæredygtighed af fleretagers byggeri med træ er det nødvendigt også at inddrage den potentielle merværdi, som træhuse kan bidrage med. Eksemplerne oven for sammenligner omkostninger fra sammenlignelige bygninger, men ofte vil et træhusbyggeri give andre muligheder i bygningens design, som bør inddrages i en analyse af den økonomiske bæredygtighed. Bridport House i London er et godt eksempel på dette. Da man skulle erstatte en eksisterende 5-etagers bygning fra 1960'erne, var man underlagt et krav om, at den nye bygning maksimalt måtte være 10% tungere end den gamle bygning, for at undgå

<sup>28</sup> Structure of UBC's tall wood building now complete, The University of British Columbia, Media release 15. September 2015. <http://news.ubc.ca/2016/09/15/structure-of-ubcs-tall-wood-building-now-complete/>

<sup>29</sup> HoHo Vienna Facts and Figures, <http://www.hoho-wien.at/Projekt/Daten-Fakten>

<sup>30</sup> Moholt 50|50 studenterboliger, Trondheim, <http://veidekke.no/prosjekter/article19204.ece>

<sup>31</sup> The Case for Tall Wood Buildings, mgb ARCHITECTURE + DESIGN, 2012.

<sup>32</sup> CLT Feasibility Study, A Study of Alternative Construction Methods in the Pacific Northwest, 2014

<sup>33</sup> Smith et al. (2015), Solid Timber Construction, Process – Practice – Performance, University of Utah.

sammenstyrning af en større kloakledning i undergrunden. Ved at vælge træ som materiale, fik man i den nye bygning plads til 8 etager og 41 lejligheder – mod 20 lejligheder i den gamle bygning<sup>34</sup>. Valget af træ bidrog således med en merværdi til projektet, som ikke kunne opnås med traditionelle byggemetoder. Set i et livscyklusperspektiv vil de ekstra lejeindtægter fra den nye bygning være en klar fordel i den økonomiske analyse.

Den kortere byggetid for træhuse bidrager også med merværdi. Opførelsen af Bridport House tog 10 uger – en halvering af estimatet for et tilsvarende betonbyggeri. Ud over de medfølgende konstruktionsrelaterede besparelser gjorde det de berørte beboere i stand til at blive genhuset hurtigere end normalt. Et andet eksempel på hurtig byggetid kommer fra Vancouver, Canada. Her opføres byggeriet af ”Brocks Commons”, som med sine 18 etager, vil være verdens højeste højhus i træ, når det står færdigt i 2017. I september 2016 blev bygningens bærende træskelet og facade færdiggjort, hvilket var 4 måneder hurtigere end tidsplanen<sup>35</sup>. Opførelsen var færdig kun 70 dage efter de første leverancer af præfabrikerede elementer ankom til byggepladsen. Ifølge bygherren forventes bygningens interiør færdiggjort i maj 2017, 18% (el. 4 måneder) hurtigere end et typisk projekt.

Selvom konstruktion af fleretagers træhuse bliver mere og mere udbredt er byggemetoden stadig ny og erfaringsgrundlaget derfor sparsomt. Det er sandsynligt, at konstruktionsomkostningerne vil falde efterhånden, som man opbygger erfaringer. I dansk sammenhæng er det sandsynligt, at de første byggerier vil have et stærkt element af erfaringsopsamling og forøget risiko, og at de derfor vil være dyrere end efterfølgende byggerier. For at sparke erfaringsopsamlingen i gang er der derfor brug for visionære evt. offentlige bygherrer, der kan se mulighederne.

---

<sup>34</sup> Joseph Mayo, *Solid Wood: Case Studies in Mass Timber Architecture, Technology and Design*, Routledge, 2015.

<sup>35</sup> Structure of UBC’s tall wood building now complete, The University of British Columbia, Media release 15. September 2015. <http://news.ubc.ca/2016/09/15/structure-of-ubcs-tall-wood-building-now-complete/>

## 7. Lovgivning

### Bygningsreglement

Den danske byggelovgivning og bygningsreglementet (BR-15) stiller funktionsbaserede krav, hvilket betyder, at der ikke findes præsriptive lovkrav, som foreskriver anvendelsen af bestemte materialer eller konstruktioner. Til brug for opfyldelse af de funktionsbaserede krav findes en række Eurocodes, der sammen med dokumentation af materialer (ydeevnedeklarationer for CE mærkede produkter) og anvisninger ift. den konkrete anvendelse kan bruges som dokumentation af, at de valgte løsninger lever op til Bygningsreglementets krav. Såfremt materialerne og konstruktionerne har de rette egenskaber, er bestemte materialer såsom bærende trækonstruktioner i fleretagers byggerier således ikke udelukket.

Udfordringen med Bygningsreglementets funktionsbaserede krav er, at de ydeevner, som forventes af konstruktionerne, ikke altid er direkte verificerbare, hvilket eksempelvis gælder for brandkravene. Her er der fra myndighedsside udgivet en eksempelsamling for "traditionelt" byggeri, som angiver præsriptive eksempler, der opfylder de funktionsbaserede krav. Det er vigtigt at understrege, at Eksempelsamlingen ikke er lovgivning. At Eksempelsamlingen bliver betragtet sådan blandt byggeriets parter er en anden sag, som i høj grad har at gøre med manglende eksempler på opfyldelse af brandkrav ved hjælp af andre løsninger, end det som er beskrevet i Eksempelsamlingen. Dette er en stor udfordring for højhusbyggeri i træ, at Eksempelsamlingen ikke indeholder eksempler, hvor brandbare materialer kan bruges som bærende konstruktion i højhusbyggeri. Det understreges endnu engang, at man godt kan bygge lovlige højhuse med træ, selvom der ikke kan henvises til Eksempelsamlingen.

***"Det er vigtigt at understrege, at Eksempelsamlingen ikke er lovgivning – man kan godt bygge lovlige højhuse med træ, selvom man ikke kan henvises til Eksempelsamlingen".***

Dette notat behandler ikke emnet brandforhold yderligere, da der henvises til det notat om Brandforhold i Fleretagers byggeri<sup>36</sup>, der ligeledes udarbejdes i regi af InnoBYG spireprojektet.

Udover brandkrav angiver BR-15 eksempelvis følgende af relevans for højt træhusbyggeri.

Konstruktioner - BR-15 afsnit 4.1:

*Bygninger skal opføres, så der opnås tilfredsstillende forhold i funktions-, sikkerheds-, holdbarheds- og sundhedsmæssig henseende.*

*Udførelsen skal være i overensstemmelse med god praksis, og der skal anvendes materialer, som er egnede til det konkrete formål.*

Indeklima - BR-15 afsnit 6.1:

*Bygninger skal opføres, så der under den tilsigtede brug af bygningerne i de rum, hvor personer opholder sig i længere tid, kan opretholdes et sundheds- og sikkerhedsmæssigt tilfredsstillende indeklima.*

Energiforbrug - BR-15 afsnit 7.1 (uddrag):

*Bygninger skal opføres, så unødvendigt energiforbrug til opvarmning, varmt vand, køling, ventilation og belysning undgås samtidig med, at der opnås tilfredsstillende forhold.*

---

<sup>36</sup> Fleretagers træhuse – Brandforhold, InnoBYG, 2017

Der er ingen af de overordnede tekniske krav, som stiller hindringer i vejen for at anvende træ i fleretagers byggerier, men manglende eksempler samt ”huller” i beregnings- og dokumentationsmetoder for nyere produkter, som eksempelvis CLT, kan give udfordringer ift. eftervisning af egenskaber. Dette kombineret med en lav grad af fokus på træ og trækonstruktioner i uddannelsesleddet, specielt inden for arkitekt- og ingeniørfagene gør, at kompetencerne inden for projektering og anvendelse af træ er begrænsede.

Et af de områder, som Bygningsreglementet ikke berører, er bygningers miljø- og klimapåvirkninger, hvilket ville være relevant ift. de klimamæssige udfordringer, vi står overfor globalt. Den tidligere citerede LCA-analyse<sup>37</sup> af betonbyggeriet i Stockholm viste, at CO<sub>2</sub>-udledningen fra produktionen af byggematerialerne og opførelsen af et moderne energieffektivt byggeri var af samme størrelsesorden som CO<sub>2</sub>-udledningerne forårsaget af bygningens brug (opvarmning mv.) set over hele bygningens forventede 50-årige levetid. Der har gennem mange år været lovgivning, der stiller krav om reduktion af bygningers energiforbrug i brugsfasen. Derfor er de lavt hængende frugter i forhold til reduceret energiforbrug i brugsfasen allerede høstet. Derimod er der ingen lovgivning, der stiller krav om reduktion af energiforbrug i konstruktionsfasen. At øge andelen af træ i byggeriet, vil være en lavt hængende frugt i forhold til at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen.

Ved at indføre et klimakrav til eksempelvis CO<sub>2</sub>-udslip under hele byggeriets levetid fra produktion af materialer til bortskaffelse efter nedrivning vil anvendelsen af træ formentlig øges markant. På bæredygtighedsområdet findes en række private initiativer til at støtte op om eksempelvis certificering af bygninger (DGNB, BREAM, LEED) eller sporbarheds certificering af træ og træprodukter (FSC og PEFC). Lovgivningsmæssigt findes der på europæisk plan Tømmerforordningen (EUTR), der forbyder markedsføring af ulovligt fældet træ. Krav til dokumentation af bæredygtighed for bygninger kan være med til at initiere flere bygherrer og projekterende til at fokusere på disse parametre ifm. valg af materialer og konstruktionsløsninger.

### Træfremmende initiativer rundt omkring i verden

Rundt omkring i verden har der gennem en årrække været en række initiativer, som på forskellig vis har støttet op om træhusbyggeri. Nogle af de mere politiske initiativer er gengivet i artiklen Modern Tall Buildings<sup>38</sup>. I det efterfølgende er gengivet nogle af de initiativer, der er nævnt i artiklen.

#### CPR (Byggevareforordningen)

Et af de initiativer, der fremhæves er den Europæiske Byggevareforordning, som ved ikrafttrædelsen 1. juli 2013 introducerede det nye 7. grundlæggende krav til bygværker: ”Bæredygtig udnyttelse af naturressourcer”. Det grundlæggende krav kommer dog først i spil, når det bliver en del af de harmoniserede specifikationer, hvilket endnu ikke er tilfældet.

#### Wood Use Strategy for Construction (Quebec)

2009: Her sigtets specifikt mod at øge brugen af træprodukter i erhvervsbyggeri og i opbygningen af flerfamiliehuse samt at intensivere anvendelsen af synlige træprodukter. Initiativet tilskynder miljøresultater samt brug

**”CPR’s 7. Grundlæggende krav foreskriver at:  
Bygværker skal konstrueres, opføres og nedrives på en sådan måde, at naturressourcer anvendes på en bæredygtig måde”.**

<sup>37</sup> Byggandets Klimapåverkan, Livscykelberäkning av klimapåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong, Rapport NR B 2217, IVL, 2015.

<sup>38</sup> Modern Tall Wood Buildings: Opportunities for Innovation, Bowyer et al, 2016

af træ. I henhold til dette initiativ vil byggeprojekter, der bruger træ i stedet for andre materialer og falder inden for 5% af udgifterne til andre forslag, blive overvejet på lige vilkår med øvrige projekter.

#### Timber First (Hackney Borough Council, London)

2012: Tilskynder brug af træ som et første valg byggemateriale til byggeprojekter. Eksempelvis er Dalston Lane under opførelse bl.a. på baggrund af dette initiativ.

#### Växjö kommuns Träbyggnadsstrategi (Växjö, Sverige)

2013: Der er i Växjö kommune udlagt en strategi, der blandt andet har som mål af 25% af alt nybyggeri skal være træbaseret i 2015 og 50% i 2020.

#### Wood First Initiative (British Columbia)

2014: 53 lokalsamfund på tværs British Columbia godkendte i 2014 resolutioner med hensigten om at anvende træ i offentlige bygninger. I gennemsnit har provinsen årligt næsten \$ 3 milliarder af kapital til investering i bygninger såsom hospitaler, skoler og sociale boliger.

#### Wood Encouragement Policies (City Councils of Latrobe, Wellington Shire, and Wattle Range, Australien)

2015: Sikrer, at nyt offentligt byggeri bruger træ som det foretrukne materiale til både byggeri og indvendige færdiggørelse, hvor træ anses som en egnet materiale til den foreslåede anvendelse, og sikrer, at økonomiske sammenligninger med byggeri med andre materialer tager hensyn til alle langsigtede fordele og livscyklus fordele ved at anvende træprodukter.

#### Wood First Policy (Rotorua District Council, New Zealand)

2015: Formålet med denne politik er at sikre, at Rotorua District afspejler distriktets historie og anerkender betydningen af skovbrugssektoren for den lokale økonomi ved at:

- Lette og fremme brugen af træ som et foretrukket, bæredygtigt, byggemateriale for alle projekter i bydelen
- Kræve at træ anvendes i alle offentlige byggeprojekter
- Aktivt støtte og promovere træ og træindustrien, lokalt, regionalt og på et nationalt niveau.

#### Timber Innovation Act (USA)

Fremsat 2016: Et program der blandt andet har til formål at fremme højt etagebyggeri i træ gennem støtte til forsknings- og udviklingsprogrammer, uddannelse, teknisk rådgivning af arkitekter og konstruktører, mm.

## 8. Kompetencer og ressourcer

Projektet har bl.a haft til formål at afdække interessen for fleretagers træhusbyggeri i Danmark. Mere end 40 virksomheder og brancheorganisationer har i løbet af projektperioden ønsket at bidrage til og støtte op om netværkets initiativer. Som det fremgår af figuren neden for, tilhører hovedparten af de deltagende virksomheder segmentet for de projekterende og udførende producenter.



Det har været overvældende og usædvanligt, at se den store interesse i de projekterende og udførende led af byggebranchen. Men den vigtigste aktør Bygherrerne/Investorerne mangler. Det har dog vist sig i projektperioden, at flere projekter er undervejs, og det er formentlig kun et spørgsmål om tid, før det første fleretagers træhusbyggeri (over 4 etager) bliver en realitet i Danmark.

Samtidig med den store interesse, er erfaringerne med at bygge i højden med træ i Danmark begrænset. Dette er en medvirkende årsag til, at der ofte vælges andre løsninger end de træbaserede. Usikkerhed og manglende kompetencer samt eksempler og løsningsdetaljer er en stor hindring. Det er således vigtigt, at der skabes et netværk i Danmark, hvor man kan trække på hinandens erfaringer, og som kan skabe et link til erfaringerne i udlandet.

For at træhusbyggeriet i flere etager får succes i Danmark er det vigtigt, at der vælges robuste løsninger, der i en indledende fase er håndterbare for alle byggeriets parter. Samtidig er det nødvendigt, at alle aktørerne i de enkelte projekter, er indstillet på at yde en ekstra indsats i de første projekter og være indstillet på at dele de indhentede erfaringer med andre i branchen, for at træbyggeriet kan afmystificeres. Derudover er det ligeledes nødvendigt, at der i uddannelsesleddet fokuseres på undervisning i træ og trækonstruktioner, da der blandt de studerende er stor interesse, men begrænset udbud af kursustilbud. Endelig er der behov for en vedvarende indsats omkring formidling og oplysning og mulighederne inden for anvendelse af træ i fleretages byggerier.

## 9. Forsikring af fleretagers træhuse i Danmark

Taler man med forsikringsbranchen i Danmark, har de af naturlige årsager ikke mulighed for i detaljer at beskrive hvilke forhold, der gør sig gældende ved forsikring af fleretagers træhuse (> 4 etager). Der er jo tale om et ikke eksisterende marked. Omvendt forsikres allerede i dag eksisterende etagehuse på 6-8 etager, hvor store dele af de bærende konstruktioner (eksempelvis etageadskillelser) er af træ. På den baggrund bør forsikring af fleretagers bygninger af træ ikke udgøre et problem.

På trods af den begrænsede nationale erfaring omkring forsikringsforhold for nybyggede fleretagers træhuse, har de seneste års højhusbyggerier i træ rundt omkring i verden givet international erfaringsopsamling. På internationalt plan har man i *Survey of international tall wood buildings* præsenteret en undersøgelse omkring forsikringsforhold for 10 internationale projekter. Projekterne var 5 til 10 etagers højde og placeret i Europa, Nordamerika og Australien. For langt hovedparten af projekterne var der ikke identificeret ændrede forhold i forhold til forsikring af bygningerne, se Tabel 1.

| PROJECT NAME                  | OWNER/ DEVELOPER   | DESIGN TEAM   | CONSTRUCTION TEAM   | AHJ       |
|-------------------------------|--|---|---|-----------|
| E3                            | No Change  | No Change   | No Change   | No Change |
| Limnologen                    | No Change  | No Change   | No Change   | No Change |
| Bridport House                | No Change  | No Change. Professional Indemnity for design activities   | No Change. Required to advise insurer of timber frame construction, no premium or policy change | No Change |
| 3XGRÜN                        | No Change  | No Change   | No Change   | No Change |
| Holz8 (H8)                    | No Change  | No Change   | No Change   | No Change |
| Forté                         | No Change. Construction Works (during construction), Professional Indemnity, Public Liability, Employee Insurance and Body Corporate Insurance (insurance of the building on completion) | No Change. Public Liability and Professional Indemnity  | No Change   | No Change |
| Earth Sciences Building       | Yes (required). Course of Construction insurance premium (see above)   | No Change   | No Change   | No Change |
| LifeCycle Tower ONE (LCT ONE) | No Change  | No Change   | No Change   | No Change |
| Tamedia                       | Yes (required). Owner carried builder-owner third-party liability insurance and contractors' all risks insurance (see above)   | Yes (Voluntary). Executing architect/planner opted to separate policy from blanket coverage (see above) | No Change   | No Change |
| Cenni di Cambiamento          | No Change  | No Change   | No Change   | No Change |

**Tabel 1: Resume af forsikringsforhold for forskellige interessenter i udvalgte internationale projekter fra Tyskland, Sverige, England, Australien, Canada, Østrig, Schweiz og Italien.<sup>39</sup>**

For enkelte projekter var der ændringer, som hovedsageligt var forankret i manglende kendskab til de materialer og byggemetoder, der var anvendt. Forsikringspræmierne i de pågældende projekter var ligeledes for de fleste projekters vedkommende uændret.

Som udgangspunkt kan alt byggeri, der er lovligt opført og indrettet, forsikres i Danmark (bygningen er forsikringsbar). Der er således ingen direkte barrierer ift. at kunne opføre fleretagers træhuse i Danmark set med

<sup>39</sup> Forrest Innovation Investment, Binational Softwood Lumber Council; Summary report: Survey of international tall wood buildings, 2014



forsikringsbranchens øjne. Det vil i hvert tilfælde være en konkret risikovurdering med særlig vægt på brandstrategirapport, konstruktionsforhold, fugt, granskning af projektmateriale, valg af byggematerialer, valg af sikringsanlæg m.fl.

Sammenlignet med andre lande er de ydre påvirkninger på husene begrænsede under danske forhold. Eksempelvis er Brock Commons – det tidligere beskrevne 18-etagers træhøjhus i Vancouver, Canada – under opførelse i et område med risiko for jordskælv med dertilhørende udfordringer ift. sikring af bygning og personer ifm. eksempelvis brand.

De enkelte forsikringselskaber har dog forskellige kriterier for vurdering af konkrete byggerier og fastlæggelse af risikoniveauer. De har også forskellige profiler for accept af risiko (risk appetite). Selskaberne kan således lægge begrænsninger og sætte forsikringspræmien i forhold til dette. Den ”almindelige” fastsættelse af forsikringspræmien vil i dag foregå automatisk via en computeralgoritme, mens der for større byggerier, som fleretagers træhuse, vil være tale om en personlig håndtering via en risiko-ingeniør. Den personlige håndtering gør, at subjektive valg vil være en del af risikovurderingen. Manglende kompetencer og viden om materialer og byggemetoder kan således spille ind i forsikringselskabernes afgørelser.

Jo tidligere i projektfasen en forsikringspartner kan indgå i sparring omkring valg af konstruktionsløsninger og minimering af risiko i forhold til sikring af forsikringsbare forhold, desto bedre og billigere forsikring kan der udarbejdes. I praksis vil forsikringen dog ofte først komme på banen i udbudsfasen, hvor mange af de grundlæggende valg også for forsikringspræmiens størrelse allerede er truffet.

For at opnå de bedste forsikringsforhold for fleretagers træhuse gælder de samme forhold som ved andre bygninger:

- Robuste materialer mod fugt, svigt og kollaps
- Brandsikre materialer
- Valg af robuste konstruktionsløsninger – gerne gennemprøvede
- Holdbare bygninger
- Forebyggelse
- Driftsfase

## 10. Hvorfor er fleretagers træhuse interessant for en bygherre?

Blandt danske bygherrer er interessen og opmærksomheden stigende, når det gælder fleretagers træhusbyggeri. Byggeri med træ rummer muligheder og potentielle løsninger på aktuelle problemstillinger, som man er opmærksom på som bygherre, og bygherrerne er enige i udsagnet om, at der bør rettes fokus mod at få gjort anvendelsen af træ til et naturligt valg blandt byggebranchens aktører i forbindelse med højhusbyggeri. Alene i forhold til forsyningsikkerhed og materialeomkostninger gives der udtryk for, at det ville være positivt med et alternativ til betonelementer: *”Der er i øjeblikket store problemer med at få leveret betonelementer og prisen på dem er på himmelflugt”* udtaler Nicolai Hommelhoff, udlejningschef og partner, Domis Ejendomme A/S.

Sammen med den positive interesse er der dog også en udpræget usikkerhed i forhold til at bygge højt med træ på grund af det manglende erfaringsmæssige grundlag under danske forhold. Risikoen for at skulle betale dyre lærepenge ved at være ”first mover” er en barriere i forhold til at kaste sig ud i større projekter, hvor træ anvendes til bærende konstruktioner i fleretagers byggeri.

Det største enkeltstående salgargument for at anvende træ i fleretagers byggeri angives som bæredygtighed. I den sammenhæng udtrykkes der et ønske om, at CO<sub>2</sub>-besparelsen ved materialevalget i konstruktionsfasen kunne medregnes til opfyldelse af Energikravene. *”I dag er der stigende fokus på at bygge så bæredygtigt som muligt, og man er opmærksom på, at træ har nogle fordele i miljømæssig sammenhæng. Det ville være en gulerod for bygherren i forhold til at vælge træ i den bærende konstruktion, hvis det kunne tælle med en faktor på opfyldelse af Energikravene”*, udtaler Nicolai Hommelhoff. Udover de miljømæssige fordele nævner han også indeklima, som et område, hvor træ kunne være interessant for en bygherre: *”Man har i dag store problemer med skimmelsvamp i lejlighederne, da vi bygger rigtigt ”tæt”, og hvis beboerne så ikke får udluftet ordentligt, så har vi problemet. Hvis en trækonstruktion kunne bidrage positivt der, ville det være et stort plus”*.

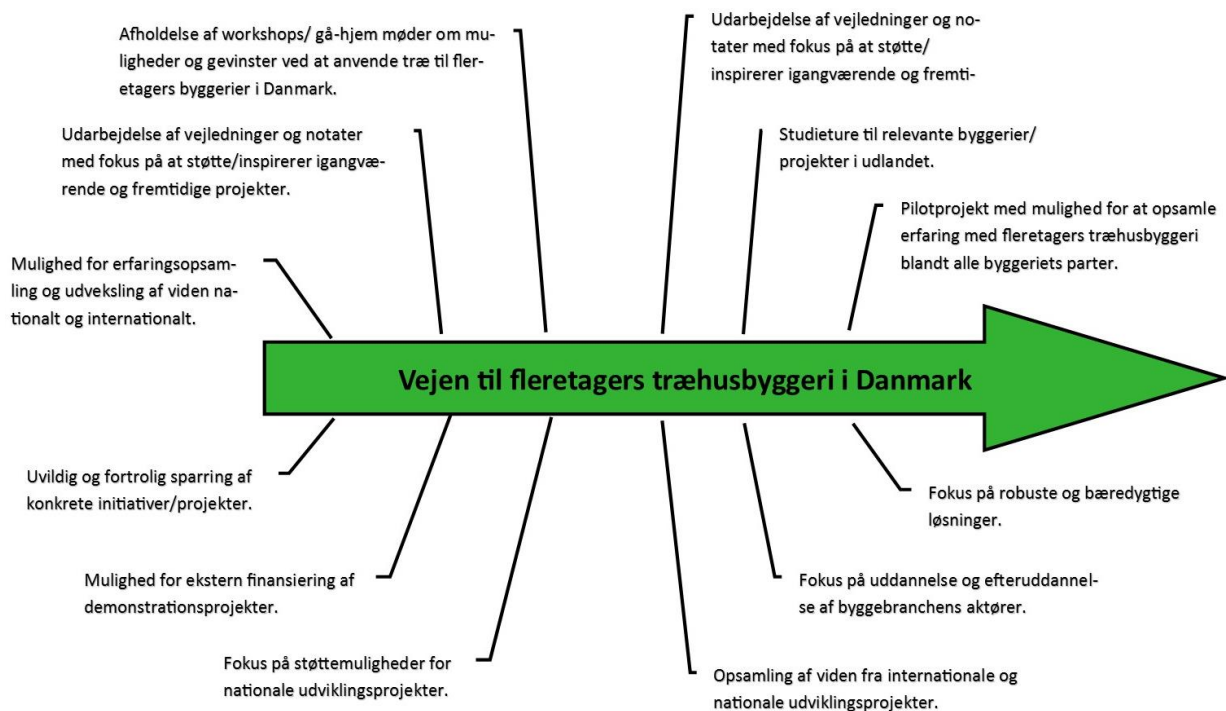
Der bliver generelt givet udtryk for en stigende interesse for at anvende træ i fleretagers træhusbyggeri, men den manglende erfaring med materialet og usikkerhed i forhold til myndighedskravene angives som en barriere. *”Vi bliver mere og mere positive ved tanken, men det kræver noget mere viden på området, før vi tør at sætte et stor byggeprojekt i gang med træ. Ingen har prøvet det før i Danmark, og derfor er du på ”usikker grund” for eksempel i forhold til hvilke brandkrav du vil møde”*, siger Nicolai Hommelhoff.

Risikoen for øget behandlingstid, som følge af introduktion af løsninger som er ”nye” for myndighederne, er også et opmærksomhedspunkt blandt bygherre. Det kan også bygherrens synsvinkel ses som et begrænsende led ift. at introducerer mere innovative løsninger i byggeriet.

Endelig vil der blandt bygherrer også være forskellige tilgange til muligheden for at anvende træ i fleretagers byggerier. Nogle bygherrer kan have visioner og interesse for at bevæge sig i den retning, mens andre bygherrer har et fokus på at skabe hurtig profit.

## 11. Køreplan mod første fleretagers træhusbyggeri i Danmark

Vejen mod at gøre træ i fleretagers byggeri til et mere naturligt valg blandt byggebranchens parter i Danmark, er kun i sin opstart. For at gøre det til et mere naturligt valg blandt byggebranchens parter at vælge træ til fleretagers byggerier er det nødvendigt med en vedholdende og samlende indsats blandt byggebranchens interessenter på dette område. InnoBYG-netværket, der blev opstartet i 2016 vil således blive fortsat med Teknologisk Institut som tovholder. Netværkets resultater er dog afhængig af de deltagende virksomheders bidrag til projektet, og der vil derfor blive afholdt workshops og gå-hjem møder for at sikre fremdrift og konkretisering af aktiviteterne. Et oplæg til hvordan netværket for fleretagers træhuse kan fortsætte er angivet på nedenstående figur.



Eksempler på nogle af de emner der i den kommende periode kan blive fokuseret på i netværket er nedenstående punkter:

- Hvorfor er det interessant for en bygherre?
- Kan det betale sig?
- Udførelse og håndtering på byggepladsen
- Grundlag for udvidelse af eksempelsamlingen, eksempelvis for byggerier op til 8 etager
- Miljøpåvirkninger og bæredygtig
- Arkitektoniske muligheder
- Hvad er CLT og andre byggemetoder
- Statik og andre bygningsfysiske forhold
- Lydforhold
- Uddannelse og undervisning

## Bilag 1: Udenlandske eksempler

