



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

BEGRÆNSNINGER FOR ETAGEBYGGERI MED BÆRENDE KONSTRUKTIONER I TRÆ

P0 PROJEKTRAPPORT

Andreas S. Slinkert, Jakob Dam, Julie K. B. Bertelsen, Malgorzata J. Stach,
Thomas d'Andrade og Pernille Jensen



Aalborg Universitet Esbjerg

25/09/2016





TITELBLAD

Tema: Introduktion til teknisk rapperskrivning
 Titel: Etagebyggeri med bærende konstruktioner i træ
 Gruppe: BA16- B303a

Hovedvejleder: **Jens S.Hagelskjær**
Aalborg Universitet Esbjerg

Projektperiode: 05.09.2016 – 23.09.2016

Oplag: 7

Sideantal: 20

Gruppens medlemmer:



 Thomas d'Andrade



 Julie Bertelsen



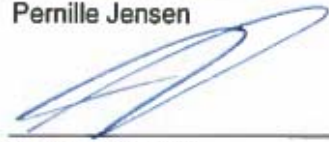
 Jakob Dam



 Pernille Jensen



 Malgorzata Juli Stach



 Andreas Slinkert

Synopsis:

Projektet tager udgangspunkt i det initierende problem: "Hvordan kan det være at træ ikke er et naturligt valg til bærende konstruktioner i etagebyggeri i Danmark?"

Rapporten omhandler en analyse af, hvilke fordele og begrænsninger der er for etagebyggeri i træ. Herunder sammenlignes træ med beton, i forhold til bl.a. holdbarhed og styrke. Der er gennem analysen fundet frem til, at armeret beton og krydslamineret træ (CLT) har næsten sammenfaldende egenskaber. Der er dog få, men betydningsfulde begrænsninger i lovgivningen, der begrænser anvendelsen af træ i etagebyggeri.





FORORD

Rapporten henvender sig primært til 1. semesterstuderende på ingeniørstudiet på Byggeri og Anlæg. Derudover henvender rapporten sig til personer eller organisationer, som arbejder med træ eller har interesse inden for området.

Der vil løbende i rapporten blive henvist til kilder, således at der refereres til brugte internetsider med [E] og herefter det tilsvarende nummer på kildelisten. Til litteratur er valgt [L] og herefter det tilsvarende nummer på kildelisten. Kildelisten ses sidst i rapporten.

I så fald brugte billeder og figurer ikke er eget materiale, er også disse angivet med kildereferencer.

Der vil i rapporten blive brugt forkortelser. Forkortelser og betydninger ses i nedenstående tabel. Ordet vil under første anvendelse blive brugt i sin fulde længde og forkortelsen i parentes bagved.

Der er i rapporten foretaget en afgrænsning således de økonomiske aspekter af, etagebyggeri ikke er belyst. Afgrænsningen er valgt på baggrund af tidsfristen.

Forkortelse	Betydning
IP	Itererende problem
CLT	Cross laminated timber



METODEBESKRIVELSE

Med udgangspunkt i artiklen "Verdens højeste træhuse skal ligge i Kvaglund" fra Jyske Vestkysten d. 17/08/2009 blev der udarbejdet en brainstorm, som førte til det initierende problem (IP).

Til informationssøgning er der brugt bøger og internetkilder. Der er lagt vægt på at anvende forskellige og uafhængige kilder, samt kildekritik. I den henseende at højne troværdigheden i rapporten.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	<u>INDLEDNING</u>	1
2	<u>DANMARK ER ET BETONLAND</u>	2
2.1	BYGGETRADITIONER	2
2.2	BYGGEMETODER:	3
3	<u>SAMMENLIGNING AF MATERIALERNE BETON OG TRÆ'S STYRKE OG HOLDBARHED.</u>	3
4	<u>LOVGIVNING OMKRING ETAGEBYGGERI OG HVILKE KRAV DER STILLES TIL BÆRENDE KONSTRUKTIONER</u>	5
4.1	FUGTIGHED	5
4.2	INDEKLIMA	6
4.2.1	TERMISK FORHOLD	6
4.2.2	LUFTENS KVALITET	7
4.2.3	LYDFORHOLD	7
4.2.4	LYSFORHOLD	8
4.2.5	BRAND	8
5	<u>MILJØ MÆSSIGE FORDELE OG ULEMPER VED BÆRENDE TRÆKONSTRUKTIONER AF BETON OG TRÆ I ETAGEBYGGERI</u>	9
5.1	BÆREDYGTIGHED	9
5.2	CO ₂ REGNSKAB I BYGGERI	10
6	<u>KONKLUSION</u>	11
7	<u>KILDELISTE</u>	12
7.1	ELEKTRONISKE KILDER:	12
7.2	LITTERÆRE KILDER:	13



1 INDLEDNING

Der har været fokus på CO₂ udledningen gennem de sidste mange år. Bygge- og anlægsbranchen har i den forbindelse en andel af CO₂ udslippet. I og med at træ er et naturligt materiale, som umiddelbart virker mere miljøvenligt end f.eks. beton, valgte gruppen at undersøge hvorfor træ ikke bliver mere brugt i forbindelse med etagebyggeri.

Danmark er et foregangsland indenfor klimavenlige energikilder og klimavenlige løsninger, især inden for vindmøllebranchen. I Danmark er brugen af beton i etagebyggeri mere udbredt end anvendelsen af træ.

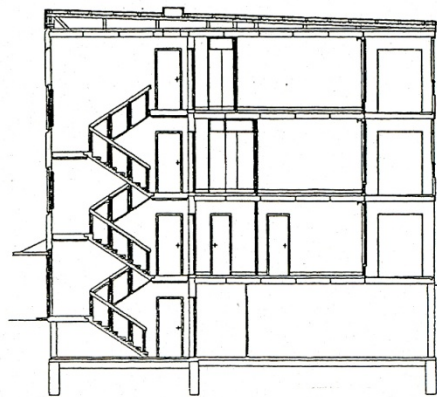
Ovenstående betragtninger ledte frem til følgende IP:

Hvordan kan det være, at træ ikke er et naturligt valg til bærende konstruktioner i etagebyggeri i Danmark?

2 DANMARK ER ET BETONLAND INDENFOR ETAGEBYGGERI

2.1 BYGGETRADITIONER

Udviklingen af dansk byggeri gik stærkt fra 1850 og fremefter i forhold til tiden før. I takt med industrialiseringen skete der en rivende udvikling af produktionsgange og produkter. En hurtigere, nemmere og mere stabil produktion af jern, tegl og kunstigt fremstillet Portland cement betød en effektivisering og forbedring af byggematerialerne. [E1] Gennem 1700-tallet oplevede København 2 store brande, hvilket resulterede i en række skærpede krav om konstruktioner og materialevalg i efterfølgende byggerier. [E2] Byggelovgivning på landet handlede udelukkende om brand og hed "Brandpolitiloven for Landet" af 2.marts 1861. Den var den eneste gældende byggelov helt frem til år 1961. [E21] De bærende konstruktioner i en etagebygning består af fundamentet, ydervæggene, indervæggene og etageadskillelsen.



Figur 1 Viser et tværsnit af et etagebyggeri. [E27]

Årstal	Fundament	Ydervægge	Indervægge	Etageadskillelser
Før 1900	Murværk el. træ pæle.	Massivt murværk el.	Murværk el. udmurede bindingsværk	Træ
Efter 1900	Beton		Murværk	Træ, stål, beton pladestøbt
Efter 1950	Beton	Beton: plader el. elementer	Murværk el. Beton i elementer el. plader	Beton i elementer

Tabel 1 Materialernes tidslinje [E28]

Efter 1950 blev byggeriet industrialiseret og de gamle byggetraditioner kunne ikke følge med efterspørgslen på boliger. Elementbyggeriet vandt hurtigt indpas netop pga. af den forkortede byggetid. [E23]



2.2 BYGGEMETODER:

Før elementbyggeriet tog fart i 1940 og 1950'erne blev de enkelte byggematerialer i større grad leveret eller fragte til byggepladsen. Håndværkerne udformede de rå byggematerialer til at passe i mål og form på bygningen. Efter 1940 og 1950'erne blev der støtte fokus på præfabrikerede byggematerialer som skal monteres i en given rækkefølge. Til sammenligning med f.eks. en bil på en bilfabrik. [E29]

Elementbyggeri i enten beton eller CLT har samme byggemetode. Elementerne præfabrikeres på fabrikker hvorefter de fragtes på lastbiler ud til byggepladsen hvor fundamentet er støbt. Her rejses elementerne vha. kran. Fordelene ved etagebyggeri i CLT er at elementer er lettere end betonelementer. Det betyder at fundamentet kan være billigere og mindre dimensioneret. Derudover kan kranerne løfte større CLT elementer eller kranerne kan være mindre på byggepladsen. Træ elementerne har samtidig den fordel, at de er lettere at tilpasse med almindeligt tømrerværktøj. [E25]

For at sikre byggemetodens succes er det nødvendigt, at alle partnere der er involveret i byggesagen er opmærksomme på materialevalget og hvordan det skal håndteres for at undgå konstruktionsfejl og yderligere omkostninger og spildtid.

3 SAMMENLIGNING AF MATERIALERNE BETON OG TRÆ'S STYRKE OG HOLDBARHED.

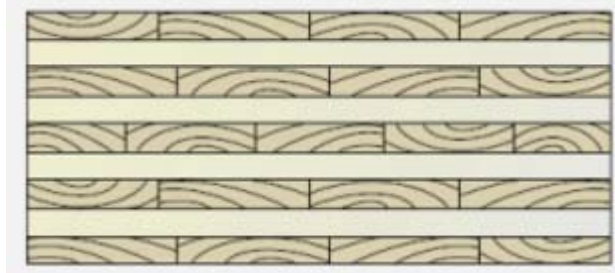
I afsnittet vil der blive gennemgået nogle essentielle parametre inden for holdbarhed og styrke, for både armeret beton og CLT elementer. Afsnittet er opbygget således, at der først kommer et kort teoretisk afsnit om de forskellige parametre omkring armeret beton og CLT elementer. Derefter opsamles det mest væsentlige i en tabel.

3.1 BETON

Beton er et blandingsprodukt og kan derved laves af forskellig art. De forskellige arter af beton har forskellige styrker og svagheder. Beton laves ved at blande cementmørtel, der består af cement, sand og vand, med små sten. Der findes forskellige cement typer med forskellige styrker. Størrelsen på stenene er også afgørende for styrken af beton. Beton omtales oftest i to forskellige faser: en frisk beton og en hærdet beton. Frisk beton er den korte periode efter støbning før betonen hælder. Den anden fase er, når betonen er hærdet og helt fast.

3.2 KRYDSLAMINERET TRÆ (CLT)

CLT er et massivt træelement, der er opbygget af brædder der ligges vinkelrette på hinanden i flere lag, oftest mellem 3 og 7 lag, nogle gange flere. Hvert eller hvert andet lag lægges modsat og limes sammen. På figur 2 ses et CLT element, der viser, hvordan lagene kunne lægges.



Figur 2 Opbygningen af et CLT element. Fra <http://www.trae.dk/leksikon/clt>

Materialer har forskellige styrker. Her vil der blive set på trykstyrke og trækstyrke. Trykstyrken er den styrke materialet kan presses, inden det kollapser. Trækstyrken er den styrke, man kan rive i materialet, før det går fra hinanden. Beton har en trykstyrke på typisk 25-35 MPa. Trækstyrken er væsentlig lavere. Den er kun cirka en tiendedel af trykstyrken. CLT elementer kan konstrueres efter behov. Derfor er det vanskeligt at finde generelle styrketal. Elementet kan vælges i flere forskellige tykkelser og antal lag. CLT elementer kan både anvendes vandrette og lodrette. Styrketallet gælder kun lodrette elementer. Trækstyrken er 22,5 MPa, samt trykstyrken er 29 MPa for elementerne. [L4] Udover CLT bruges også konstruktionstræ i bærende konstruktioner. I Danmark benyttes konstruktionstræ af styrkeklasse C14-C30.

Et andet parameter er densiteten, som er et udtryk for massefylden i stoffet. Det kan anvendes til at bestemme om materialet er tungt eller let. Den normalt anvendte beton vil have en densitet på 2250-2400 kg/m³. CLT elementer har typisk en densitet på 510 kg/m³, dette afhænger af trætypen der anvendes. [E4]

3.3 SAMMENLIGNING MELLEML BETON OG TRÆ

Beton er et materiale, der primært er beregnet til tryk. Derfor tilføres der ofte armeringsjern i betonen. Det gør man for at udnytte at stål har en høj trækstyrke. Armeret beton vil derved have en høj trykstyrke og en høj trækstyrke. CLT elementerne skal limes sammen. Derfor er det vigtigt, at der anvendes en stærk lim og at der holdes tryk på elementet til limen er helt tør.

Sikkerhed er yderst vigtigt i bygningskonstruktioner. Derfor er det også essentielt at se på materialenes brandsikkerhed, når et materiale skal vælges.

Beton er et ikke brandbart materiale, dog vil beton smuldre hvis det udsættes for opvarmning til 800°C. Det skyldes at vandet vil trækkes ud af betonen og derved trække sig sammen. Samtidig vil det armerede jern udvide sig og betonen kan smuldre. CLT elementer af svære dimensioner brænder ikke, men derimod forkulles de meget langsomt, hvis det ikke er omsluttet af flammer. Forkulningsprocessen beskytter træet imod videre indebrænding, hvilket også betyder, at resten af træet fortsat kan beholde sin bæreevne. Forkulningshastigheden er oven i købet forudsigelig, så man kan beregne hvor længe bygningen er modstandsdygtig. Derfor betragtes CLT elementer for værende ikke brandbare og opfylder myndighedernes krav til branddrøje konstruktioner. [E30]

	Beton	Limtræ (GL32h)	Konstruktionstræ (C14-C30)
Trækstyrke	2,6-3,2 MPa	22,5 MPa	8-18 MPa
Trykstyrke	25-35 MPa	29 MPa	16-23 MPa
Densitet	2250 - 2400 kg/m ³	510 kg/m ³	350-460 kg/m ³
Brand	Ikke brandbart	Ikke brandbart	Brandbart

Tabel 2 Sammenligning mellem styrke og holdbarhed i beton og CLT elementer

4 LOVGIVNING OMKRING ETAGEBYGGERI OG HVILKE KRAV DER STILLES TIL BÆRENDE KONSTRUKTIONER

Der findes et overordnet regelsæt indenfor byggeri i Danmark, som er samlet i Byggeloven. Byggeloven har til formål at sikre kvalitet indenfor dansk byggeri, i det den stiller en række minimumskrav til bl.a. sikkerhed, brandsikring og komfort. Der findes også bygningsreglementet, som giver en mere detaljeret beskrivelse af de enkelte krav, der er indenfor byggeri. [E5]

4.1 FUGTIGHED

Når der bygges med træ, er det meget vigtigt at have fokus på fugtighed. Træ kan deformere ved høj og længerevarig fugtighed. Endvidere vil træet risikere angreb af svampe, hvis fugtindholdet overstiger en given procent. [E6]

Især i Danmark kan fugt blive en afgørende faktor for, hvilke byggematerialer der vælges, idet der falder meget regn i løbet af året. I Danmark bygges der meget med beton, hvilket ikke tager skade af vand, hvorimod træ er mere udsat for vand. [E7] Limtræ kan godt tåle vand, men vil påføre sig et misfarvet udseende og større nedbøjninger end forventet. Der skal derfor tages nogle forhåndsregler under byggeprocessen, når der bygges af træ. [E8]

Hvis træet leveres til byggepladsen i plastfolie, er det vigtigt, at skære pakken op i bunden med det samme, så der ikke opstår kondens, dette vil ellers fugte træet og danne skimmelsvamp.

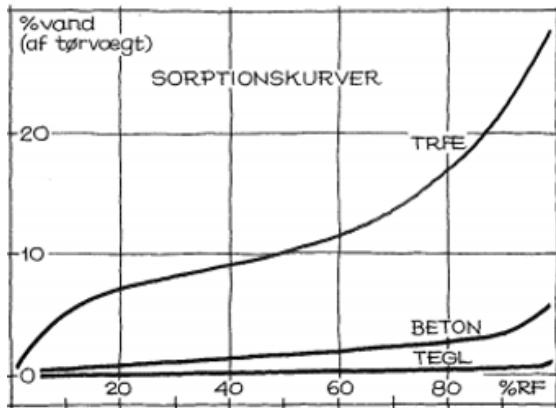
Derudover skal træet være afdækket af presenninger, når det opbevares på byggepladsen under byggeprocessen. Skal træet stå i en længere periode skal det opbevares under tag, hvor det er beskyttet mod diverse vejrforhold. [E9]

Det kan være en ulempe at bruge træ som byggemateriale, idet der skal tages højde for dets svaghed overfor fugtpåvirkning.

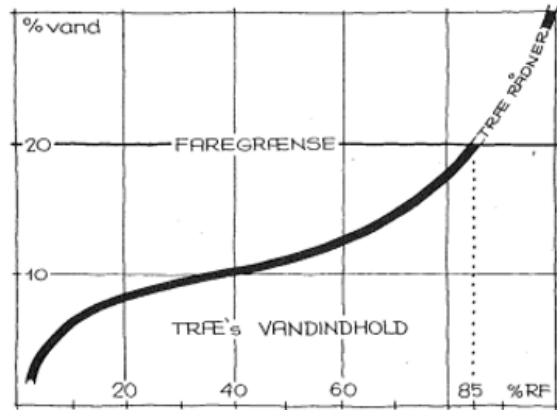
Bygningsreglementet 2010 kap 4.1, stk. 5 siger, at fugtfølsomme byggematerialer helst skal undgås, for at formindske risikoen for fugt- og skimmelskader.

Uanset hvilke materialer der benyttes til opførelsen af et byggeri, vil der være risiko for fremkommende fugtproblemer, eftersom byggematerialerne udsættes for fugtpåvirkning både under og efter byggeriet. [E10]

Det ses af figur 2, at når luftens relative luftfugtighed stiger, stiger både fugtindholdet i beton og træ. Træet indeholder dog langt mere fugt end beton.



Figur 2 Indholdet af vand i beton, træ og tegl i forhold til luftens relative luftfugtighed [E11]



Figur 3 Indholdet af vand i træ, med indtegnet faregrænse [E11]

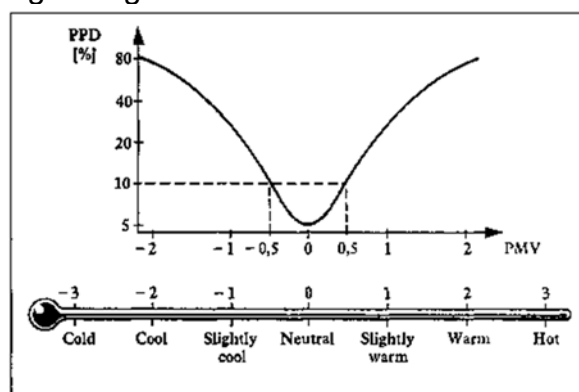
Træ er et af de byggematerialer, der kan indeholde mest fugt. Hvis træ udsættes for vand, f.eks. i form af nedbør, under byggeprocessen vil fugtindholdet stige kraftigt. Hvis det sker, skal træet udtørre for at bringe fugtindholdet ned under 20% af træets tørvægt. [E11] Det skyldes, at træet ellers vil gå i forrådnelse. Det ses af figur 3, at faregrænsen for træes forrådnelse ligger ved 20% af dets tørvægt. Hvis træet får lov at udtørre, og nå sin ligevægtstilstand med den omgivende luft, vil det forblive stærkt og holde længe. Udtørningsprocessen er også nødvendig, for at træet skal undgå at blive angrebet af svampe. [E12]

4.2 INDEKLIMA

Kvaliteten af indeklimaet har en stor betydning, da vi bruger størstedelen af vores tid indendørs. Derfor er der mange forskellige forhold, der skal tages hensyn til, for at få det helt rigtige indeklima. De 4 essentielle forhold har vidt forskellig betydning for indeklimaet. Disse 4 er beskrevet i de følgende afsnit.

4.2.1 TERMISK FORHOLD

De termiske forhold er de forhold en person føler, altså luftfugtighed og luftens temperatur. I bygningsreglementet 2015, står der, at bygninger skal kunne opretholde et sundhedsmæssigt tilfredsstillende termisk indeklima, i de rum hvor personer opholder sig i længere tid.



Figur 3 Beskrivelse af de termiske forhold [L2]



Det termiske indeklime udtrykkes ved PMV (Predicted Mean Vote) og PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), som man kan se på figur 5. PMV indekset afhænger af en persons velvære, om personen føler sig for kold eller for varm. Det afhænger af deres beklædning og aktivitets niveau. PPD angiver, hvor mange procent af en gruppe, med samme aktivitets niveau og samme påklædning, der forventes at være utilfredse, efter en længere periode i givne termiske forhold. Det er de personer der stemmer -3, -2, +2 og +3 på PMV skalaen. Det er vigtigt i forhold til lovgivningen, at de rum i bygningen, som personer opholder sig i, skal have et sundhedsmæssigt tilfredsstillende termisk indeklime, til den menneskelige aktivitet i rummet. [L2]

4.2.2 LUFTENS KVALITET

Ifølge lovgivningen skal alle bygninger ventileres. Der findes mange forskellige ventilations typer. Men fælles for dem, er at de skal udføres, drives og vedligeholdes, så der opnås tilfredsstillende luftkvalitet i aktivitets tiden. [L3] (kapitel 6.3.1 stk 1) Ventilationsanlæg må ikke kunne volde sundhedsmæssige gener, ved at udblæse forurenede luft og anlæggets dele må ikke føre til personskade.

Den naturlige ventilation drives af vindens påvirkning på den bygning, man befinder sig i. Det forekommer ved en åbning, som f.eks. et vindue eller en dør. Der er flere variationer ved den naturlige ventilation. Den kan være ensidet, tværgående eller fungere som opdriftsventilation.

Hybrid ventilation ventilerer bygningen ved en kombination af mekanisk og naturlig ventilation. Hybrid ventilation er designet til, visse perioder at fungere som naturlig ventilator og andre perioder, at fungere som mekanisk ventilator. Mekanisk ventilation er udelukkende elektrisk drevet, som er mindre følsomme overfor variationer i udeklimaet. De mekaniske ventilatore kan med fordel benyttes steder med meget skiftende udeklima. [L3] (kapitel 6.3)

4.2.3 LYDFORHOLD

I bygningsreglementet 2015 står der, at bygninger skal indrettes og udføres, så beboerne er sikret tilfredsstillende lydforhold. [L3] (kapitel 6.4, stk 1) Det akustiske indeklime er en væsentlig del, da gode lydforhold er vigtigt for et godt indeklime. Det gælder støj fra naboer, veje, jernbaner og byggepladser. Det akustiske indeklime dækker over lydisolering, trinlydniveau, støjniveauer og efterklangstid. Det er derfor vigtigt, at man er meget omhyggelig med valg af materialer, alt efter hvilke lydkrav der er til projektet. Kravene afhænger af, hvilke områder konstruktionen er placeret i. [L3] (kapitel 6.4)

3. Områder for blandet bolig- og erhvervsbebyggelse, centerområder (bykerne)	55 dB	45 dB	40 dB
4. Etageboligområder	50 dB	45 dB	40 dB
5. Boligområder for åben og lav boligbebyggelse	45 dB	40 dB	35 dB
6. Sommerhusområder og offentligt tilgængelige rekreative områder	40 dB	35 dB	35 dB

Tabel 3 Grænseværdier for støj i boligområder [L3]

I tabel 2 ses, grænseværdierne for støj i forskellige bolig områder. Den første søjle angiver mandag-fredag i tidsrummet 7-18 og lørdag 7-14. Den anden søjle angiver mandag-fredag i tidsrummet 18-22, lørdag 14-22 og søndag/Helligdage i tidsrummet 7-22. Den tredje søjle angiver alle dage mellem 22-7.

4.2.4 LYSFORHOLD

Kravene til lysforhold afhænger af de aktiviteter og opgaver, der skal laves i rummet. Vinduer skal være placeret, så de skaber tilfredsstillende lys, men også så de ikke skaber unødvendig overophedning. [L3] (kapitel 6.5, stk 1) En bygning som primært benyttes i dagstimerne, er ikke så afhængig af kunstig belysning, som en bygning der både benyttes i nattetimerne og dagstimerne. Kravene til den elektriske belysning afhænger af, hvem der benytter rummene og hvilket formål rummene har. Ældre mennesker har ofte brug for mere belysning end unge mennesker har. Det er især vigtigt ved flugtveje og fælles adgangsveje. Arbejdsrum skal være udstyret med bevægelsescensor, dette kan undlades, hvis der er risiko for, at der kan ske en ulykke. [L3] (kapitel 6.5.3)

4.3 BRAND

Bygningsreglementet 2015 kapitel 5.4, stk.1, omhandler de brandtekniske installationer. Brandtekniske installationer dækker over brandalarmer, sprinkleranlæg og røgalarmer. Alle installationer skal installeres og udføres, så de er pålidelige. De skal være mulige at kontrollere og vedligeholdes, gennem hele installationens levetid. [L3] (kapitel 5.4, stk. 1) I bygningsreglementet 2015, kapitel 5.3, stk.3, står der, at bygningsdele som vægge og lofter skal udføres, så branden ikke kan sprede sig til hulrum, som passerer en eller flere brandadskilende bygningsdele. [L3] (kapitel 5.3, stk. 3) I den forbindelse er det vigtigt at bygningen indrettes og udføres, så branden kan begrænses og holdes tilbage, i den tid, som er nødvendig i forhold til evakuering og beredskabets indsats. [L3] (kapitel 5.5, stk. 1)

I bygningsreglementet 2015, står der i forhold til brandkravene, at hvis en bygning, skal bygges højere end 9,6 meter til højeste etage, må konstruktionen kun udføres med ikke brandbare materialer. [E26]

5 MILJØ MÆSSIGE FORDELE OG ULEMPER VED BÆRENDE KONSTRUKTIONER I ETAGEBYGGERI

5.1 BÆREDYGTIGHED

Bæredygtighed i byggeriet er defineret ud fra tre punkter mht. bygningerne:

- Miljømæssige aspekter
- Sociale aspekter
- Økonomiske aspekter

Man forsøger at skabe et overblik i hele bygningens levetid. Fra anskaffelse af råmaterialer, over brugsperioden til nedrivning og genanvendelse af bygningen. Energiforbruget og materialernes klimapåvirkning er her to store pejlemærker. Men det er ligeså vigtigt at tage hensyn til et godt indeklima i form af frisk luft og sollys ved miljø- og arbejdsforhold under byggeprocessen. [E13]

For at træ kan være et bæredygtigt og klimavenligt materiale i byggeriet kræver det, at træ er en bæredygtig ressource i skoven. Bæredygtig skovdrift handler primært om at der ikke fjernes mere træ fra skoven end der vokser frem. Man skal kunne bruge skovens resourcer, uden at forringe ressourcernes potentiale. Således at vores generation kan få gavn af ressourcerne samtidig med, at de er tilgængelige for fremtidige generationer. Den bæredygtige skovdrift skal sikre en levering af CO₂-neutrale produkter af træ til markedet. Men hvis der fjernes mere skov end der plantes, så ødelægges CO₂-lagringen i skovene og skovrydningen bliver i stedet en kilde til mere CO₂ i atmosfæren.



Figur 4 Fordelingen af CO₂ udledning globalt [E14]

Som vist på figur 6 står skovrydningen for 18% af den samlede globale udledning af CO₂. Tallet kan gøres mindre gennem bæredygtig skovdrift. [E14]

I Danmark produceres der årligt omkring 2 millioner kubikmeter træ, men der bruges 8 millioner kubikmeter træ. Det betyder, at vi langt fra er selvforsynende

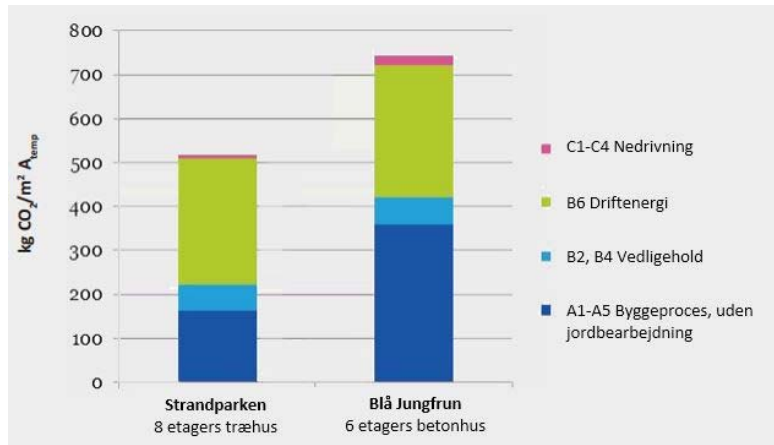
med træ som nation. Skov- og naturstyrelsen ønsker at fordoble skovarealet i Danmark inden år 2100 således selvforsynings procenten går fra de nuværende 20% til 45%. For at det kan lade sig gøre skal der plantes ca. 5000 hektar skov hvert år fra år 2003. [E15]

5.2 CO₂ REGNSKAB I BYGGERI

Den danske regering har et mål om, at reducere 40 % af de samlede CO₂ udledninger i forhold til år 1990 inden år 2020. Derudover har man fra EU's side en målsætning om at reducere CO₂ udslippet med 80-95% i år 2050 i forhold til år 1990. [E16]

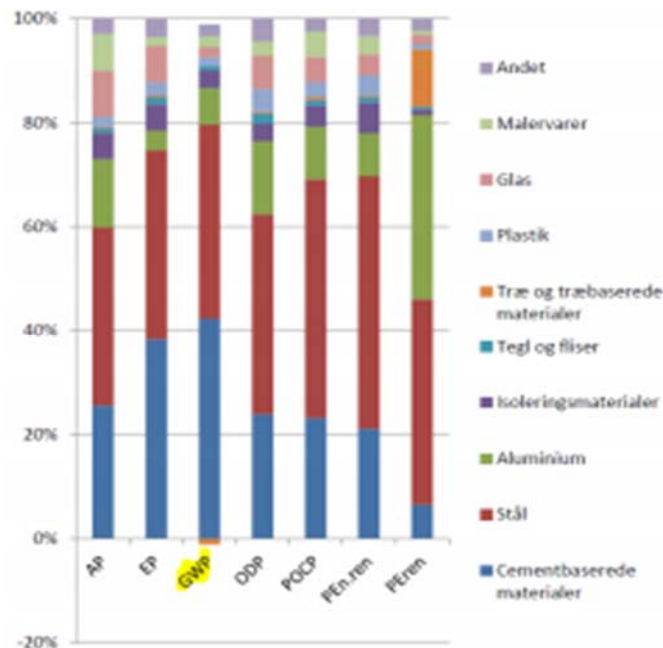
Byggeriets indsats har fokuseret på at forbedre isolering, vinduer og døre samt termostaterne til varmestyring. Således at energiforbruget for bygningerne i deres levetid reduceres mest muligt. I yderligere forsøg på at reducere bygningernes CO₂ aftryk kigges der nu på materialernes produktion, levering og bortskaffelse. I Danmark bruges ca. 40% af det samlede energiforbrug på bygninger, hvilket betyder at der er mulighed en kraftig CO₂ reduktion indenfor byggeriet. [E17]

Det Svenske Miljøinstitut IVL og Sveriges tekniske universitet, KTH har sammen lavet en livscyklusvurdering af etagebyggerier bygget af henholdsvis beton og CLT. I figur 4 ses en væsentlig forskel i bygningernes klimaaftryk. Indenfor drift og vedligeholdelse adskiller de to bygninger sig ikke væsentligt fra hinanden. Men materialevalget, dets produktion samt transport til byggepladsen udgør en stor del af bygningens samlede CO₂ aftryk. Den svenske rapport konkluderer, at CLT har en lavere klimapåvirkning end beton. [E18]



Figur 5 CO₂ forbrug for beton og CLT, igennem hele livscyklusen [E18]

En sammenligning af byggematerialernes CO₂ aftryk viser, at træ har en negativ nettoudledning af CO₂ i og med at træerne optager og binder CO₂ under deres opvækst. Energibehovet til fældning og bearbejdning af træ er desuden væsentlig lavere end energibehovet til bearbejdelse af andre byggematerialer. [E19] På figur 8 vises de samlede miljø påvirkninger ved opførelse af en dansk kontorbygning fordelt på bygningsdele. Klimabelastning er angivet som global warming potential. (GWP)



Figur 6 Den totale miljøpåvirkning ved opførelse af et dansk kontor [E20]
De øvrige påvirkninger er forurening (AP), næringsstoffbelastning (EP), nedbrydning af ozonlaget (ODP), fotokemisk ozondannelse (POCP), primær energi (PEn.ren) og primær energi, fornyelige ressourcer (PE.ren). [E20]

6 KONKLUSION

Frygten for brande i byerne og på landet har især siden 1700-tallet påvirket materialevalget til de bærende konstruktioner. Derfor har byggeriet siden da stor fokus på ikke-brandbare materialer i bærende konstruktioner i etagebyggeriet. Det har været en fordel for mursten og armeret beton. Lovgivningen inden for brand er den største udfordring i og med bygningsreglementet foreskriver, at man ikke må bygge etagebyggerier højere end 4 etager af brandbare materialer.

CLT har en væsentlig mindre trykstyrke end beton. Beton har en svag trækstyrke, men kan forstærkes ved armering med jern. CLT har derimod en stor trækstyrke. CLT har den fordel, at de har en væsentlig lavere densitet end beton. Det gør dem lettere og derved nemmere at fragte og håndtere.

Miljømæssigt har anvendelsen af træ i byggeriet en stor positiv effekt på at mindske CO₂-udslippet. Bæredygtig skovdrift er en forudsætning for levering af CO₂ neutrale produkter til byggebranchen.

Det kan konkluderes, at især den danske lovgivning er til hindring for opførelsen af etagebyggeri af træ som bærende konstruktioner. Især vedr. CLT elementer har både tekniske og miljømæssige fordele bliver påvirket i forhold til almindelige betonelementer.

Det begrænser anvendelsen af træ, til konstruktioner på mere end 4 etager. Det er en af de væsentligste grunde til, at træ ikke er det naturlige valg til etagebyggeri i Danmark.



7 KILDELISTE

7.1 ELEKTRONISKE KILDER:

- [E1] <http://www.danskbyggeskik.dk/frontpage/index.action#/article/show.action?article.id=68,/article/themeGroupIndex.action?article.themeArticleGroup.identity=GROUPB> (10/09/2016)
- [E2] <http://www.danskbyggeskik.dk/frontpage/index.action#/article/show.action?article.id=68> (10/09/2016)
- [E3] <http://www.klhuk.com/media/29233/technical%20characteristics.pdf> (06/09/2016)
- [E4] <http://lagersalg.lilleheden.dk/dk/produkter.asp?id=12> (06/09/2016)
- [E5] <https://www.bolius.dk/byggeloven-18116/> (08/09/2016)
- [E6] <http://www.trae.dk/leksikon/fugtighed-og-trae/> (08/09/2016)
- [E7] http://byggningsreglementet.dk/file/154179/vejledning-fugt_i_byggeriet.pdf (07/09/2016)
- [E8] <http://flexwood.dk/wp-content/uploads/2012/12/opbevaring-af-limtr%C3%A6.pdf> (07/09/2016)
- [E9] <http://flexwood.dk/wp-content/uploads/2012/12/opbevaring-af-limtr%C3%A6.pdf> (06/09/2016)
- [E10] http://byggningsreglementet.dk/file/154179/vejledning-fugt_i_byggeriet.pdf (06/09/2016)
- [E11] <http://www.danskbyggeskik.dk/pdf/get.action;jsessionid=E750DF05F209A74712103857B37B7203?pdf.id=1283> (05/09/2016)
- [E12] <http://www.danskbyggeskik.dk/pdf/get.action;jsessionid=E750DF05F209A74712103857B37B7203?pdf.id=1283> (06/09/2016)
- [E13] <http://www.teknologisk.dk/ydelser/baeredygtigt-byggeri/baeredygtigheds certificering/30894.2> (07/09/2016)
- [E14] <http://www.trae.dk/leksikon/baeredygtig-skovdrift-fundamentet-for-klimaloesninger-med-trae/> (08/09/2016)
- [E15] <http://www2.sns.dk/udgivelser/2003/nyeskove/html/kap06.htm> (10/09/2016)
- [E16] <http://www.efkm.dk/sites/kebmin.dk/files/klima-energi-bygningspolitik/dansk-klima-energi-bygningspolitik/energi aftale/Faktaark%20%20energi%20og%20klimapolitiske%20maal.pdf> (06/09/2016)
- [E17] <http://www.cowi.dk/menu/service/byggeri/baeredygtigeoggroennebygninger/co2regnskaberforbygninger/> (06/09/2016)
- [E18] <http://www.trae.dk/artikel/hoejhuse-af-trae-har-lav-klimapaavirkning/> (08/09/2016)
- [E19] <http://www.trae.dk/leksikon/kulstofkilderne-reduceres-med-trae/> (06/09/2016)
- [E20] http://concito.dk/files/dokumenter/artikler/bygningers_klimapaavirkning_endelig_270214.pdf (08/09/2016)
- [E21] <http://www.danskbyggeskik.dk/frontpage/index.action#/article/show.action?article.id=57> (14/09/2016)



- [E22] <http://www.trae.dk/leksikon/massivtrae-om-byggemetodens-kritiske-punkter/> (14/09/2016)
- [E23] [http://denstoredanske.dk/lt, teknik og naturvidenskab/Teknik/Murerarbejde og -v%C3%A6rkt%C3%B8j/beton/beton](http://denstoredanske.dk/lt,_teknik_og_naturvidenskab/Teknik/Murerarbejde_og_-_v%C3%A6rkt%C3%B8j/beton/beton) (14/09/2016)
- [E24] <http://bygningkultur.dk/stilguide/#1185> (14/09/2016)
- [E25] <http://www.trae.dk/leksikon/clt/> (14/09/2016)
- [E26] http://bygningsreglementet.dk/file/218960/exsamling_brand_vtre.pdf. (14/09/16)
- [E27] <http://danskbyggeskik.dk/frontpage/index.action#/article/show.action?article.id=53> (20/09/16)
- [E28] <http://danskbyggeskik.dk/frontpage/index.action#/frontpage/showbuildingComponent.action> (20/09/16)
- [E29] [http://denstoredanske.dk/lt, teknik og naturvidenskab/Teknik/Byggeri og byggeteknik/montagebyggeri/montagebyggeri \(Historie\)](http://denstoredanske.dk/lt,_teknik_og_naturvidenskab/Teknik/Byggeri_og_byggeteknik/montagebyggeri/montagebyggeri_(Historie)) (20/09/16)
- [E30] <http://www.lilleheden.dk/om-limtr%C3%A6/styrke> (21/09/16)

7.2 LITTERÆRE KILDER:

- [L1] Dam, H., Gerward, L., Leistiko, O., Lindemark, T., Nielsen, A., & Sørensen, O. T. (2008). Materialebogen. København V: Nyt Teknisk Forlag.
- [L2] Madsen, T. L (1998) Det termiske indeklima. Institut for Bygninger og Energi DTU, Lyngby
- [L3] Hansen, E. J. (2016). ANVISNING OM BYGNINGSREGLEMENT 2015. København SV: Statens Byggeforskningsinstitut.
- [L4] Jensen, C. G., & Olsen, K. (209). *Teknisk ståbi*. København V: Nyt Teknisk Forlag.