



CHALMERS

Brandaspekter vid byggande med trä i höghus

En jämförelse mellan Sverige, Norge och Storbritannien
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

AMANDA NORBERG

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Brandaspekter vid byggande med trä i höghus

En jämförelse mellan Sverige, Norge och Storbritannien

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

AMANDA NORBERG



CHALMERS

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021

BRANDASPEKTER VID BYGGANDE MED TRÄ I HÖGHUS

En jämförelse mellan Sverige, Norge och Storbritannien

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Samhällsbyggnadsteknik*

AMANDA NORBERG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Det är idag välkänt att flera faktorer måste etableras för att stoppa växthuseffektens framfart. Etableringen av massivträ i höghus är en god start på vägen. Etableringen av massivträ syns tydligt i nybyggnationer och en strävan efter mer exponerat trä i byggnaden har påbörjats. Träets naturliga egenskaper med låg vikt i förhållande till volym skapar nya möjligheter för fraktning av prefabricerade element. Prefabriceringen bidrar till att större partier kan fraktas, vilket vidare leder till minskad tid på arbetsplatsen.

Anledningen till den sena etableringen av massivträhus beror på de brand- samt fukt-faktorer som tillkommer. Inte nog forskning hade tidigare utförts på materialet vilket kan skapa en osäkerhet bland konstruktörer, konsulter samt kunder. Materialet innebär en mer komplex konstruktion där brand samt fukt spelar en större roll vid jämförelse med betongbyggnader. Risken för mögel och röta medför riktlinjer för räddningstjänsten, där de behöver mer förkunskaper vid släckning av en träbyggnad vid jämförelse med en betongbyggnad.

Vid jämförelse av de brandtekniska kraven i Sverige, Norge och Storbritannien finns många likheter, dock använder sig de tre olika länderna av speciella verktyg. Norge har lägst krav vid användande av trä, de värdesätter hälsofördelarna högt och etablerar därför massivträ i större grad. Storbritannien har istället högst krav på träbyggnationer, katastrofer som Greenfell Tower och The Great Fire har satt djupa spår inom landet och bidrar till striktare krav. Sverige använder sig istället av tekniska byten vid massivträ hus. Tekniska byten innebär att till exempel installation av sprinkler kan bidra till mer exponerat trä. De tekniska bytena måste stärkas med hjälp av analytisk dimensionering. Analytisk dimensionering skapar enorma möjligheter för utvecklandet av massivträ i höghus.

Användandet av brandskyddsfärg, impregnering, gipsskivor samt andra brandskyddande material skapar stora möjligheter att fortsätta och vidareutveckla byggnationen i trä. Dagens forskning gällande byggnation i trä skapar stora möjligheter samt utvecklingspotential för byggmaterialet. Trä är ett utav de bästa alternativen miljömässigt och kommer fortsätta utvecklas för att skapa trygga, hälsosamma samt miljövänliga byggnader i framtiden.

FIRE SAFETY IN HIGH RISE TIMBER BUILDINGS

A comparison between Sweden, Norway and Great Britain

*Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering*

AMANDA NORBERG

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Construction management

Chalmers University of Technology

Abstract

It is today well known that multiple factors need to be established to slow down the greenhouse effect. The establishment of solid wood in high-rise buildings is a great way to start. The start of the establishment of solid wood is clearly visible in new constructions and an effort has been made to expose more timber in buildings. The timber's natural characteristics with low density create new possibilities for transporting prefabricated elements. Prefabrication contributes to larger parts transported at once, this leads to reduced time at the building site.

The reason for the late establishment of high-rise timber buildings mainly depends on fire regulations and risk for rot due to moist. The former research of the material was rare and creates an uncertainty for constructors, consultants and costumers. The material demands a more complex construction compared to concrete buildings. The risk of mold and rot results in guidelines for the fire brigade, where more prior knowledge of timber buildings is required.

When comparing the fire regulations in Sweden, Norway and Great Britain there are many similarities, although the three countries use different tools. Norway has the lowest demands with the use of timber, they value health benefits high and therefore establish solid wood to a greater extent. Great Britain has the strictest fire demands, catastrophes like The Great Fire and Greenfell Tower has created stricter demands. Sweden uses technical changes with buildings in timber. Technical changes can be described with an example: if sprinklers were to be installed, more exposed wood can occur. The technical changes need to be ensured by performance-based calculations. Technical changes create enormous opportunities for the development of solid wood in high-rise buildings.

The use of fire protection paint, impregnation, gypsum boards and other fire protection materials creates great opportunities to continue and further develop the construction in wood. Today's research regarding wooden construction creates great opportunities and development potential for the building material. Wood is one of the best alternatives environmentally and will continue to be developed to create safe, healthy and environmentally friendly buildings in the future.

Innehåll

Sammanfattning	I
Abstract	II
Innehåll	III
Förord	V
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Metod	1
2 Användning av trä i historien	2
3 Negativa aspekter med användande av trä	3
3.1 Brand	3
3.2 Mögel	3
3.3 Röta	4
4 Positiva aspekter med användande av trä	5
4.1 Miljö	5
4.2 Inneklimat	5
5 Definition av Br1 byggnad	6
5.1 Verksamhetsklasser	6
5.2 Harmonisering av brandklassificering	7
5.3 Förenklad dimensionering	8
5.4 Analytisk dimensionering	8
6 Uppbyggnad trähus	9
6.1 Massivt trä	9
6.1.1 KL-trä	9
6.1.2 Limträ	10
6.1.3 Delaminering	10
6.2 Träreglar	11
7 Befintliga byggnader	12
7.1 Kvarteret Limnologen	12
7.2 Ekologen	12
7.3 Fyrstikkbakken 14	13
7.4 Mjøstårnet	14
7.5 Wenlock Cross	14
7.6 Murray Grove	14
8 Brandtekniska krav i olika länder	16
8.1 Sverige	16

8.2	Norge	16
8.3	Storbritannien	16
8.4	Jämförelse enskilda krav	17
8.4.1	Byggnadsklasser	17
8.4.2	Utrymning från varje plan	17
8.4.3	Uppdelning i brandceller	18
8.4.4	Avstånd till närliggande byggnader	18
8.4.5	Acceptans med samt utan sprinklers	19
9	Jämförelse mellan trä och betong	20
9.1	Betong	20
9.2	Val av isolering	20
9.2.1	Stenull	20
9.2.2	Glasull	20
9.3	Skydd mot brand	21
9.3.1	Impregnering	21
9.3.2	Brandskyddsmålning	21
9.3.3	Gipsskiva	21
9.3.4	Promatect-100	21
9.3.5	Offerskikt	22
9.3.6	Naturligt brandskydd	22
9.4	Sprinklersystem	23
9.5	Ventilation under byggtid	24
9.6	Vattenskador till följd av brand	24
9.7	Släckningsarbete	25
10	Diskussion	26
11	Slutsats	28
	Referenser	29

Förord

Detta examensarbete skrevs under våren 2021 på Samhällsbyggnadsteknik vid Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet innefattar 15 högskolepoäng.

Jag har under rapportskrivandet fått hjälp och stöd vid frågor samt oklarheter av Brand- och Riskteknik befinnande sig på Sweco, Göteborg och vill passa på att ge dem ett stort tack.

Tack även till min handledare samt examinator Robert Jockwer på Chalmers för vägledning samt värdefulla kommentarer.

Slutligen vill jag tacka alla ni som under arbetet agerat som bollplank och diskuterat fram lösningar. Tack vare alla värdefulla kontakter skapades detta arbete.

Göteborg, juni 2021

Amanda Norberg

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vid byggnation med byggmaterialet trä finns både fördelar och nackdelar och dessa kan ses ur flertalet aspekter, varav miljö-, konstruktion-, ekonomi- och brandaspekten är endast några nämnda. Vissa företag väger dessa som mer nackdelar än fördelar gällande att bygga med trämaterial som huvudmaterial. Byggnation med betong som huvudmaterial har bevisats flertalet gånger vara skadligt för miljön och företag tvingas därför utvidga sin syn på material vid byggnation. Framtiden inom byggbranschen kommer att bestå av ett ökat användande av trämaterial vilket flertalet av företag redan börjat med.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är ändra den möjliga negativa brandaspekten med trä. Arbetet kommer visa tillvägagångssätt som hjälper till vid byggandet av en säker konstruktion som är godkänd med hjälp av de brandtekniska kraven. Fokus kommer även att ligga vid Sveriges arbetssätt i jämförelse med Norge och Storbritannien. Följande frågeställningar besvaras:

- Hur skiljer sig de brandtekniska kraven för Br1-byggnader i länderna Norge, Sverige och Storbritannien?
- Hur arbetar man med Br1 byggnader för att uppnå de brandtekniska kraven?
- Vilka extra åtgärder behövs för att bygga ett höghus i trä jämfört med ett höghus i betong?

1.3 Avgränsningar

Projektet kommer innefatta endast jämförande av tre länder, Sverige, Norge och Storbritannien. Projektet kommer även innefatta endast byggnader byggda i trä som främsta material vid jämförelse med andra länder. Arbetet jämför byggnader utan hantering av brandfarlig vara.

1.4 Metod

Arbetet kommer att undersöka ett höghus i trä där olika aspekter undersöks. Aspekterna innefattar differenser i brandskydd vid jämförelse med byggnadsmaterialet betong. Undersökning av olika brandtekniska krav från diverse länder kommer att undersökas samt jämföras och sedan diskutera för- och nackdelar med de olika kraven. Lösningar och kompromisser som tvingas ta fram i projekteringsprocessen kommer även diskuteras. Diskussioner kring de olika förändringar samt förbättringar som behövs göras vid byggande med trä jämförelsevis vid byggande med betong kommer göras. Under hela projektet kommer stöd tas från Sweco för att hitta relevant information samt kontakter.

2 Användning av trä i historien

Trä är ett utav de äldsta byggmaterialen känt för mänskligheten. Sveriges skogsrika landskap skapade en lättillgänglighet som bidrog till dess stora utveckling. Stora städer har konstruerats samt utvecklats med huvudmaterialet trä. Detta reducerades dock när stora bränder utbröt i städer och spred sig i enorma områden vilket utplånade städer och skapade extrema följder ekonomiskt samt etiskt. Nya regler behövde implementeras inom brandaspekten och den enklaste ändringen sågs med hjälp av att influera nya, mer brandsäkra alternativ. Ett exempel är Storbritannien som efter the Great Fire beordrade att alla nya hus skulle byggas i sten samt tegel (Smith & Frangi, 2014).

I dagens samhälle dominerar horisonterna av betong, stål samt glas, material som anses som obrännbara. Trä är dock fortfarande än idag en stor del av marknaden dock används materialet främst vid byggnation av hus med ett reducerat våningsantal. Att bygga med trä idag kan fortfarande ses som ett problem på grund av ytterligare krav som ställs ifrån brand- samt konstruktionsperspektiv (Smith & Frangi, 2014). Experter anser dock att byggmaterialet är på uppsving och goda lösningar finns att tillgå.

3 Negativa aspekter med användande av trä

Den största anledningen till varför trä inte används idag kan enkelt delas upp i tre delar. Den första och främsta orsaken är brand, trä är ett organiskt material som är lättantändligt. Träet har en naturlig förmåga att suga upp vatten, vid fall av för mycket fukt kan detta leda till röta och mögel. Vid sammansättningar av trä används ofta fästdon av stål, såsom skruv och spik. På grund av träets fuktiga miljö kan detta leda till korrosion i förbandet.

3.1 Brand

Den huvudsakliga nackdelen som ofta diskuteras är brandaspekten. Trä är som tidigare nämnt ett organiskt ämne och högst flamvänligt. Vid uttorkning av trä kan detta lätt antända genom höga temperaturer.

Östman med flera beskriver att träprodukters brandegenskaper beror dock på flertalet faktorer och kan variera kraftigt, faktorerna som brandegenskaperna baseras på är de som följer nedan:

- Fuktkvot, som nämnts tidigare så har torrare trä lättare att både självantända samt antända vid utvecklad brand. Träets fuktkvot ändrar dock ej brandklassningen på träet, anledning till detta är att all träslag ska vara konditionerat för att skapa en konstant fuktkvot i hela träslaget.
- Träslag, densitet. Olika träslag har olika beteenden vid brand. Detta beror främst på träslaget densitet, en högre densitet bidrar till högre antändningstid av virket.
- Dimensioner, tjocklek och tvärsnitt. Ökad dimension på träet bidrar ej till en förbättring av egenskaper men brandförloppet är lättare att förutsäga. Träets naturliga brandskyddsförmåga med ett kolskikt kan även utnyttjas här.
- Behandlingar kan effektivt påverka träets brandegenskaper genom impregnering, brandskyddsmålning etc.
- Trämodifiering, värmebehandling. Trämodifiering kan effektivt höja brandmotståndet med hjälp av furfurylering och acetylering.
- Skarvar mellan delar. Olika skarvar och infästningar kan påverka om de ej är ordentligt gjorda, genom att de lämnas exponerade. Luftspalter innehåller hög värmeöverföringsförmåga på grund av detta exponeras skyddade byggnadsdelar för en hög, oplanerad värme som den eventuellt ej är konstruerad för. (Östman m. fl., 2012)

3.2 Mögel

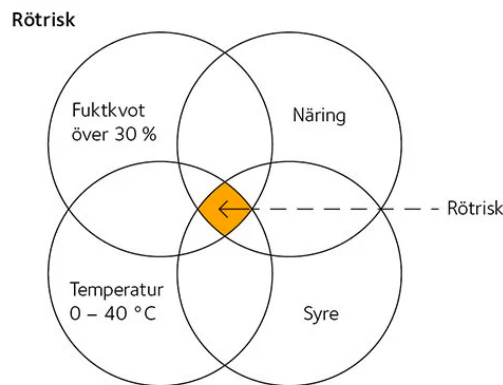
Mögel kan drabba träet genom höga fukthalter. Mögel innehåller svampar som endast växer på träets yta vilket bidrar till en missfärgning. Detta påverkar ej träets hållbarhetsförmåga men påverkar istället hälsan för boende eller vistande i lokalerna. Mögel kan infiltrera luftvägarna och leda till astma, irritation i ögon samt svalg samt ökad risk för luftvägsinfektioner. Mögel uppstår dock endast vid en temperatur som överstiger 20°C samt vid luftfuktighet som överstiger 80% under en längre period av tid. Detta problem är ovanligt i bostäder då ventilationen enkelt kan ta hand om extra fukt (Svenskt Trä, u. å.).

Enligt Svenskt Trä uppstår endast mögel vid påförd fukt, detta gäller vid de fall då träet torkat till målfuktkvoten om 18%. Detta kan till exempel ske vid vattenpåföring av räddningstjänsten, alternativt vattenläckor (Svenskt Trä, u. å.).

3.3 Röta

Röta skapas under samma förhållanden som mögel, detta leder dock ej hälsonackdelar, utan istället svagheter i bärformågan. Röta består även det av svampar, dessa växer dock in i veden och bryter ner hållfastheten i materialet (Svenskt Trä, u. å.).

Enligt Svenskt Trä kräver rötsvamp 4 olika faktorer för att utvecklas, en fuktkvot över 30%, näring, syre samt en temperatur mellan 0 - 40°C. I figur 1 nedan beskrivs förhållandet mer tydligt. Genom att skydda träet från vatten kan röta inte utvecklas. Vid fall av väder exponerat trä kan istället träet behandlas för att minska risken för fuktinträngning (Svenskt Trä, u. å.).



Figur 1: De fyra faktorerna som krävs för att röta ska utvecklas är näring, fuktkvot över 30%, syre samt en temperatur mellan 0 - 40°C. (Svenskt Trä, u. å.)

4 Positiva aspekter med användande av trä

4.1 Miljö

Det är idag välkänt att ytterligare medel behöver implementeras för att minska dagens koldioxidutsläpp och vidare bidra till minskning av växthuseffektens framfart. Genom att implementera trä som huvudmaterial i större utsträckning skapas en möjlighet att uppnå de globala klimatmålen. Förr som nu har Sverige en enorm möjlighet att vara i framkant med att ej äventyra framtida generationer samt uppnå hållbarhetsmålen. Detta sker idag genom Sveriges anrika skogsbruk samt riktlinjer vilket skapats för en hållbar skogsskövling. Tack vare att naturskyddsföreningen tillsammans med flera andra miljöorganisationer fört fram kännetecknen för ett hållbart skogsbruk, samt skapat förslag för genomförandet. Detta gör det enklare för företag samt privatpersoner att utföra och utveckla hållbarhetstänk, därefter tillsammans kämpa för en hållbar framtid. Förslagen utgår från tre viktiga aspekter: miljömässiga, ekonomiska och socialkulturella. Den miljömässiga aspekten grundar sig djupt i två utav Sveriges miljömål, nämligen Levande skogar samt Ett rikt växt- och djurliv (Naturskyddsföreningen, u. å.).

4.2 Inneklimat

Trä har en naturlig förmåga att absorbera vatten vid höga fukthalter och sedan frigge fukten vid torrare förhållanden i rummet. Vattenånga som tillverkas vid matlagning och dusch kan därför senare bidra till ett trevligare inomhusklimat vid händelse av torrare luft i hushåll.

Träets naturliga egenskaper bidrar till naturlig absorption av ljud. Byggarbetsplatser med träprodukter i stor utsträckning kännetecknas som tysta och torra, samtidigt som färdiga byggnader blir användarvänliga och hälsosamma. (Östman m. fl., 2012).

5 Definition av Br1 byggnad

Vid kravställningar i BBR fördelas byggnader upp i byggnadsklasser för att enkelt kunna särskilja brandtekniska krav. Klasserna som finns är Br3, Br2, Br1 samt Br0 där byggnadsklassernas nummer bestämmer kravställningen. Br3 har lägst till nästintill inga krav medan Br0 byggnader har strikta krav som i flera fall kräver att det stöds med analytisk dimensionering. Byggnadsklasserna kan på ett simpelt sätt förklaras med byggnadens skyddsbehov samt vilken verksamhet som ska finnas i byggnaden, vilket redovisas i tabell 1 (*Indelning i byggnadsklass och verksamhetsklasser - PBL kunskapsbanken - Boverket, 2020*).

Br1 byggnader innefattar översiktligt byggnader med 3-16 våningar. En ytterligare indelning i kravställningar finns uppdelade vid 9-16 våningar, där de brandtekniska kraven blir striktare i vissa aspekter. De striktare kraven som infaller för Br1 byggnader med 9-16 våningar innefattar generellt brandspridning via yttervägg samt bärförmåga. Br1 innefattar även byggnader med mindre våningsantal, dock med verksamhetsklass 4, 5A, 5B, 5C, samt samlingslokaler i verksamhetsklass 2B alternativt 2C (*Indelning i byggnadsklass och verksamhetsklasser - PBL kunskapsbanken - Boverket, 2020*).

Fokus i detta projekt kommer att vara hos Br1 hos byggnader med våningsantal 5-16 våningar samt verksamhetsklass 3a, valet av detta beror på att det finns mer jämförelse mellan de tre länderna med träbyggnader i Br1 (*Indelning i byggnadsklass och verksamhetsklasser - PBL kunskapsbanken - Boverket, 2020*).

Tabell 1: Skyddsbehovet för de olika byggnadsklasserna (Indelning i byggnadsklass och verksamhetsklasser - PBL kunskapsbanken - Boverket, 2020)

Byggnadsklass	Skyddsbehov
Br0	Mycket stort
Br1	Stort
Br2	Måttligt
Br3	Litet

5.1 Verksamhetsklasser

Enligt boverkets byggregler är verksamhetsklasserna fördelade baserat på risk för brand, möjlighet för utrymning samt vilken kännedom personer som vistas i byggnaden innehar (*Indelning i byggnadsklass och verksamhetsklasser - PBL kunskapsbanken - Boverket, 2020*). Verksamhetsklassen i byggnaden kan medföra särskilda brandtekniska krav. Verksamhetsklasserna delas in i personer som vistas i byggnaden förväntas vara vakna, ha god lokalkännedom samt om de förväntas kunna utrymma på ett säkert sätt. Bedömningen utgår enligt boverket utifrån fyra faktorer:

- Finns det stor risk för brand?
- Förväntas de vistande vara vakna?
- Kan personer som vistas i verksamheten sätta sig i säkerhet på egen hand?
- Vad är den förväntade lokalkännedomen?

Boverket beskriver att verksamhetsklasserna delas upp i 6 olika kategorier där det i vissa fall även tillkommer underkategorier för en mer precis bedömning.

Verksamhetsklass 1 (Vk1) innefattar lokaler där de vistande förväntas vara vakna, ha god lokalkännedom samt kan sätta sig själva i säkerhet. Verksamheter som infaller här är arbetsplatser såsom industri, lager, etc

Verksamhetsklass 2 (Vk2) innefattar lokaler där de vistande förväntas vara vakna samt kan sätta sig själv i säkerhet. Verksamheter som infaller här är samlingslokaler såsom biosalonger, butiker samt restauranger för att nämna några.

Verksamhetsklass 3 (Vk3) innefattar lokaler där de vistande förväntas ha god lokalkännedom samt de kan sätta sig själv i säkerhet. Verksamheter som infaller här är bostäder.

Verksamhetsklass 4 (Vk4) innefattar lokaler där de vistande kan sätta sig själv i säkerhet. Här infaller till exempelvis hotell samt vandrarhem.

Verksamhetsklass 5 (Vk5) innefattar lokaler där de vistande i byggnaden ej förväntas kunna sätta sig själv i säkerhet. Här infaller vårdlokaler som sjukhus, förskoleverksamhet samt dagverksamhet.

Verksamhetsklass 6 (Vk6) innefattar lokaler där det finns stor risk för brand. Dessa innefattar till exempel industrier där damm och träspån där lättantändliga ämnen cirkulerar.

5.2 Harmonisering av brandklassificering

För att enkelt kunna utföra byte av byggnadstjänster inom EU introducerades en harmonisering av brandklassificering kallad Euroklass-systemet. Vid systemets införande ersatte, alternativt introducerades det som ett alternativ till de tidigare nationella klassifikationssystemen i de delar där de handlade de nordiska och baltiska länderna. Systemet kan även användas inom konstruktion och geoteknik. Euroklass-systemet är uppdelat i två delsystem:

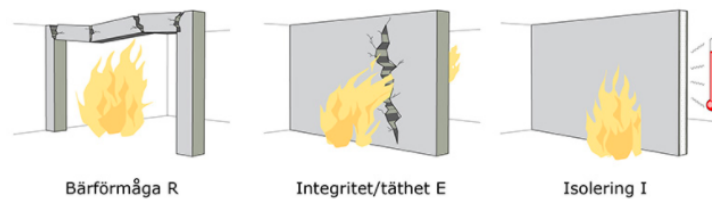
Det första systemet innefattar alla byggprodukter förutom golvbeläggningar, här innefattas mestadels ytskikt på väggar samt innertak.

Det andra systemet innefattar endast golvbeläggningar.

Systemen har klasser från A till F där A1 och A2 räknas som obrännbara material. Euroklass systemet kan även appliceras på fasad i vissa länder, dock ej i Sverige.

Kraven innefattar att konstruktionselementen ska kunna motstå en fullt utvecklad brand i ett angivet antal minuter. Brandexponeringen i en byggnad sker vanligtvis genom en standardbrandkurva som noga utvecklats för att kunna förutsäga risker i byggnader. Brandmotståndet hos en byggnadsdel kan verifieras med hjälp av prövning eller beräkning. De europeiska standarderna är mer detaljerade än innan för att kunna säkerställa en tydligare kravbild och säkerställa säkerheten på byggnaderna (Östman m. fl., 2012).

Funktionskraven på byggnadsdelar framställs som en rad bokstäver följt av två siffror, till exempel REI 60. R står för bärförmågan hos byggnadsdelen, E står för integriteten/tätheten, I står för isolering. Siffrorna som följer står för det visst antal minuter byggnadsdelen ska bibehålla sin förmåga, i detta fall är det 60 minuter. Figur 2 nedan beskriver mer visuellt vad beteckningen REI beskriver (TräGuiden, u. å.).



Figur 2: Mening bakom funktionskravens beteckning REI (TräGuiden, u. å.)

5.3 Förenklad dimensionering

En förenklad dimensionering innebär att byggherren använder sig av de allmänna råd skrivna i BBR och kringgår inte dessa på något sätt. Dessa regler samt riktlinjer är skapade med hjälp av prövningar av olika händelser samt brandförlopp (Boverket, 2020).

5.4 Analytisk dimensionering

Analytisk dimensionering kan användas vid utföranden som frångår de huvudsakliga kraven. Definitionen innefattar områden där de allmänna råden frångåtts vid ett eller flera tillfällen. Detta genomförs genom att konsulter beräknar olika riskförlopp för att tydligt se risker samt påverkan med denna lösning. Verifieringen ska utföras med hjälp av kvalitativ bedömning, scenarioanalys eller en kvantitativ riskanalys. Analytisk dimensionering är ett bra hjälpmedel vid fall där speciella lösningar krävs för att till exempel spara takhöjd, använda sig av ovanliga material etc. Detta krävs även för att utveckla klassiska byggnadsmetoder till nyare och möjligen bättre alternativ (Boverket, 2020).

En studie utfördes av Nils Johansson där nio svenska brandkonsulter gavs samma uppdrag. Uppdraget innefattade att ett riskförlopp skulle beräknas och sedan argumentera för om detta var en kravriktig lösning. Studien resulterade i att resultaten kan variera beroende på beräkningshjälpmedel samt förkunskap inom det specifika området. Vissa beräkningsmedel som användes under testet kan anses orealistiska och missvisande där resultaten ej speglar det verkliga händelseförloppet. Det viktigaste som kan tas med av denna studie är att det är viktigt att anlita konsulter med hög expertis och förståelse för vad projektet innebär (Johansson m. fl., 2020).

6 Uppbyggnad trähus

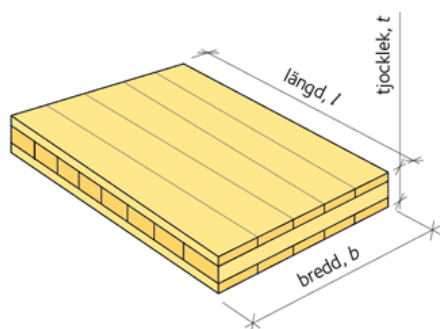
6.1 Massivt trä

Massivträ använd alltmer idag och i ur ett arketoniskt perspektiv ligger ambitionsnivån på en ökad exponering i byggnaden. Detta vill etableras för att skapa en varmare samt trevligare känsla. På grund av önskan för hög exponering bidrar detta till högre brandtekniska krav.

Massiva trästommar är konstruerade för att utnyttja träets naturliga bärförmåga i olika riktningar, konstruktionen bidrar till en högre bärförmåga jämfört med konstruktionsvirke. Massivträ kan delas upp i limträ samt korslaminerat trä. Vid vidare undersökning av korslaminerat trä används förkortningen KL-trä TraGuiden2017TillverkningKL-tra.

6.1.1 KL-trä

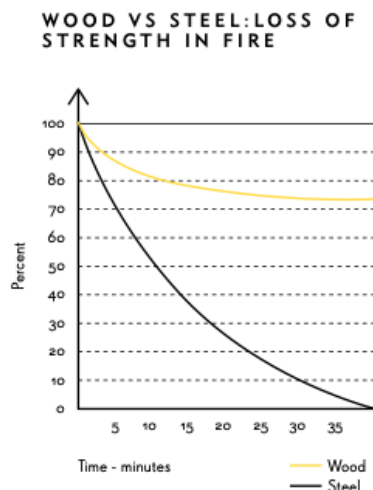
KL-trä är ett byggmaterial uppbyggt av lameller placerade i 90 graders vinklar i förhållande till närliggande skikt. Mer precis uppbyggnad av KL-trä syns i figur 3. För att utnyttja träets maximala hållfasthet används trä med högre hållfasthet i punkter med högre påfrestning, såsom ytskiktet samt huvudbärriktningen. Hållfasthet, standardiserad bredd samt längd varierar bland tillverkare (TräGuiden, 2017).



Figur 3: Uppbyggnad av KL-trä-skiva (TräGuiden, 2017)

Träets naturliga egenskaper med låg densitet bidrar till att större partier kan prefabriceras och sedan transporteras till byggarbetsplatsen. Tiden på byggarbetsplatsen minskar därefter till följd av den ökade prefabriceringen.

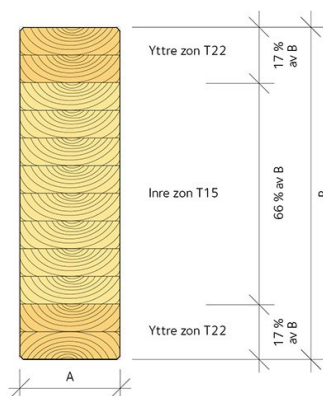
Korslaminerat trä har i sig själv hög brandtålighet, dock kan felkonstruerade kopplingar enkelt skada konstruktionens brandskydd. Kopplingar mellan KL-trä är vanligtvis i materialet stål vilket har en försämrad förmåga vid brand. Waugh Thistleton Architects har utfört en jämförelse mellan trä- samt ståls beteende under brand och resultaten redovisas i figur 4 nedan. På grund av stålets kraftigt minskande förmåga krävs det att stålet brandskyddas, detta infaller vanligtvis i samband med det övriga brandskyddet av KL-trä. Vid fall av ej skyddat stål behövs kopplingen dimensioneras för att förhindra värmeöverföring till bakomliggande trä. Detta funkar i flera fall ej i verkligheten och skapar en svaghet i konstruktionen vid brand (Thistleton Architects m. fl., u. å.).



Figur 4: Jämförelse av stål mot KLT:s påverkan vid brand (Thistleton Architects m. fl., u. å.)

6.1.2 Limträ

Limträ är konstruerat med hjälp av ihoplimmade lameller. Lamellerna är monterade med fiberriktningen parallellt med längdriktningen på balken. Uppbyggnaden konstrueras på ett sätt som skapar en optimal utnyttjande av träets naturliga bärförmåga, samt använder större del av träet. Vid punkter med högst påkänning används trä med starkare hållfasthet, medan vid punkter med lägre påkänning används lameller med lägre hållfasthet. Limträ är ett utav de starkaste materialen med avseende på vikt och densitet. Figur 5 nedan visar uppbyggnaden av en limträbalk som utnyttjat hållfastheten på det sätt som beskrivits innan, alltså genom att ha hög hållfasthet i de punkter där påkänningarna är som störst (SvensktTrä, u. å.-c).

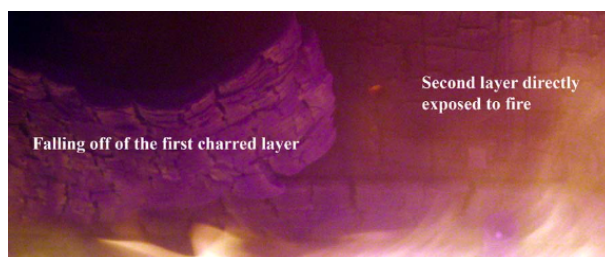


Figur 5: Uppbyggnad av Limträbalk (SvensktTrä, u. å.-c)

6.1.3 Delaminering

Ett problem som kan uppstå hos KL-trä samt limträ är delamination. Delamination innebär att limmet som håller samman lamellerna på limträ och KL-trä förlorar sin bärighet och bidrar till att lamellerna belägna närmast branden släpper. Fenomenet bidrar till att

en ny träyta blir exponerad och ett mer intensivt brandförlopp utvecklas, detta förhindrar möjligheten för självslockning. Figur 6 visar tydligt händelseförloppet av delaminering och hur det ser ut i verkligheten. På samma sätt som att flera materialval är godkända men bidrar olika till brandförlopp är det samma med valet av lim. Limmet ska godkännas enligt krav satta i EN 301 samt EN 15425, testet innebär att limmet utsätts för en maxtemperatur av 70°C under två veckor med en konstant last. På grund av dessa test ges ingen konkret insyn i hur limmet påverkas av högre temperaturer som uppstår vid brand (Frangi m. fl., 2009).



Figur 6: En KL-trä skivas beteende under delaminering (Frangi m. fl., 2009)

För att förstå KL-trä:s beteende under ett brandförlopp har Frangi, med flera utfört en forskning där flertalet tester utförts på olika typer av lim. Testet utfördes på grund av att informationen angående olika limsorter ansågs otillräckligt och kunde inte ge den säkerhet som ofta önskades av konstruktörer samt brandkonsulter. Under forskningen användes fem vanliga limsorter av polyuretan samt en gjord av melamine urea formaldehyd. Samtliga testskivor var placerade i horisontellt läge.

Resultaten av testen var att alla lim baserade på polyuretan delaminerade, medan limmet baserat på melamine urea formaldehyd ej delaminerade. Delaminering är starkt beroende av limtypen och dess uppbyggnad. Balkar med tjockare lameller visade tydligt bättre resultat då värmen hade svårare att ta sig till limmet. Inga speciella skillnader syntes med jämförelse av limträ där lamellerna är parallella än vid KL-trä där lamellerna är placerade med 90° vinkel. Forskningens slutsats kom fram till att test med striktare krav samt mer anpassade för en verklig brand borde införas för att försäkra säkerheten ytterligare i höghus med huvudmaterial av KL-trä alternativt limträ (Frangi m. fl., 2009).

Ett vanligt tillvägagångssätt för att minska risk för delaminering är att konstruera den yttre lamellen med en förhöjd tjocklek, detta bidrar till att vid en djupare inbränning än planerat försäkras ändå träets styrka.

6.2 Träreglar

Lätta träkonstruktioner använder sig av tunnare träreglar, på grund av det oförändrade konstruktionsvirket är densiteten låg. Vid låg densitet har materialet lättare att antända och kräver därefter högre brandtekniskt skydd. Brandskyddet säkerställs vanligtvis med hjälp av gipsskivor, tillvägagångssättet kan etableras på både väggar och golv. På grund av att träreglar ej utnyttjar träets starkaste egenskaper är dessa inte lika bärande och används därför i byggnader med lägre våningsantal.

7 Befintliga byggnader

Etableringen av höghus i trä är i full framfart redan idag. Nedan följer några exempel på befintliga byggnader, samt vilka materialval som använts. Byggnaderna sätter klara exempel på möjligheterna att uppnå flertalet miljömål runt om i världen.

7.1 Kvarteret Limnologen

Kvarteret Limnologen är beläget i Växjö och består av fyra stycken 8-våningshus upprättade 2008- 2009. Limnologen vann 2012 Träpriset för sitt framtidstänkande och lysande exempel på att det är möjligt att bygga högt i trä. Byggnadernas nedersta våning är uppbyggda med hjälp av betong. Detta används för att säkerställa stabilitet och uppfylla krav från BBR med obrännbara fasad på nedersta våningen i det fall de övre är i brännbart material. Resterande bärande konstruktioner är uppbyggt med hjälp av KL-trä, här innefattas även hisschaktet (Östman m. fl., 2012).

Varje enskild lägenhet är utformad med egen brandcell med brandteknisk klass EI 60. Gemensamt trapphus, hisschakt samt ventilationsschakt har även utförts i brandteknisk klass EI 60 (Östman m. fl., 2012).



Figur 7: Limnologen är belägen i Växjö och vann 2012 Träpriset för sitt framåttänkande (SvensktTrä, u. å.-b)

7.2 Ekologen

Upprättad 2018 och placerad precis bredvid Limnologen befinner sig Ekologen. Växjös framtidsvisioner med mer trähus lyser tydligt igenom även här. Byggnaden består av 5 våningsplan och innehåller 75 lägenheter. Stommen är uppbyggd med hjälp av massivträ och har en fasad skapad med hjälp av cederträ (SvensktTrä, u. å.-a). Cederträ är ett träslag med hög densitet vilket bidrar till ett högre brandmotstånd till skillnad från träslaget gran. En närmare blick på hur cederträet används i fasaden visas i figur 8.



Figur 8: Ekologen är belägen i Växjö och har en stomme av massivträ, samt en fasad i cederträ (SvensktTrä, u. å.-a)

7.3 Fyrstikkbakken 14

Lokaliserat i Bryn, Norge planeras ett bostadsprojekt med flera huskroppar vid namn Fyrstikkbakken 14. Projektet innefattar fem huskroppar innehållande totalt 163 lägenheter. Enligt arkitektur.no har fokuset i detta projekt har legat på att skapa ett klimatsmart och hållbart boende som är attraktivt för boende i alla åldrar. Konstruktionen består till mestadels av material med låga klimatavtryck såsom KL-trä samt betong med lågt klimatavtryck (*Fyrstikkbakken 14, Oslo*, u. å.). I figur 9 visas placering samt ytskikt tydligare.



Figur 9: Fyrstikkbakken 14 är belägen i Oslo och innefattar fem huskroppar konstruerade med hjälp av KL-trä (*Fyrstikkbakken 14, Oslo*, u. å.)

7.4 Mjøstårnet

Lokaliserat i Brumundall, Norge befinner sig på sin tid, världens högsta träbyggnad. Byggnaden är 85,4 meter hög och har hela 18 våningar. Byggnaden tillhandahåller flertalet verksamhet, för att nämna några finns lägenheter, kontor, hotell samt allmänna ytor såsom simbassäng. Byggnadens består av limträ i balkar, pelare och diagonala stöttebalkar. Problemet som nämnts tidigare med låg densitet på trä har bearbetats med att de översta sju bjälklagen är uppbyggda med betong. Byggnaden är även förankrad i berget beläget 56 meter under markytan (Crocetti, 2018). I figur 10 visas byggnaden under byggtiden.

För att förhindra brandspridning längs fasaden har träet impregnerats. Det har även installerats dubbla stigarledningar för att hjälpa brandkåren vid släckning. Flertalet brandtester har gjorts på stora partier för att försäkra hållfastheten efter brand.



Figur 10: Vid upprättande var Mjøstårnet världens högsta träbyggnad, byggnaden reser sig 85,4 meter över marken i Norge (Crocetti, 2018)

7.5 Wenlock Cross

Wenlock Cross som även hänförs till The Cube är belägen i London och var den högsta hybridbyggnaden i Storbritannien vid sitt uppförande. The Cube är en hybrid byggnad bestående av en konstruktion i stål och trä reser sig med 10 våningar. Valet av att bygga en hybrid byggnad kan i flera fall vara ett rätt val för att kunna utnyttja båda materialens unika egenskaper. Konstruktionsmaterialens för- samt nackdelar kompletterar därefter varandra. Byggnaden är uppbyggd med speciella vinklar för att säkerställa att alla boende har en vy åt minst två riktningar (Thistleton Architects m. fl., u. å.).

7.6 Murray Grove

Ytterligare en KL-trä byggnad belägen i London är Murray Grove även kallad Stadthaus. Vid sitt upprättande 2009 banade Murray Grove vägen för nästkommande KL-trä hus genom att vara den första i sitt slag. Byggnaden reser sig i nio våningar och består av rent KL-trä. Våningsantalet begränsades starkt till följd av lagar inom brandtekniskt byggande. Byggnaden tillhandahåller bostäder för stora familjer till små lägenheter. För att kunna skapa världens första KL-trä hus krävdes nära samarbete mellan, konstruktörer, kund och arkitekter för att kunna hitta lösningar för att uppfylla de olika kraven samt

önskemålen (Thistleton Architects m. fl., u. å.). I figur 11 nedan kan Murray Grove ses med sitt unika utseende.

Murray Grove är ett tidigt exempel på att det går att bygga i enbart KL-trä och visade tydligt möjligheter för nästkommande generationer inom byggnationer.



Figur 11: Murray Grove banade vägen för framtida KL-trä byggnationer vid sitt upprättande 2009 (*Murray Grove – Google Maps*, u. å.)

8 Brandtekniska krav i olika länder

8.1 Sverige

Det finns två olika myndigheter för regler inom byggnader, dessa delas upp i befintliga byggnader samt ändring alternativt ombyggnad. Vid befintliga byggnader ansvarar myndigheten för samhällsskydd och beredskap för regler. Vid ändring alternativt nybyggnation utfärdar Boverket allmänna råd. Byggherre, ägare och nyttjande ansvarar över att reglerna följs och upprätthålls under byggnadens livstid. Kommunen ansvarar genom byggnadsnämnd och räddningstjänst för tillsyn av brandskyddet. Till exempel kan räddningstjänsten kräva att byggnationer som anses osäkra krävs det att en brandkonsult utfärdar en kontroll av byggnadens brandtekniska krav. Boverket har sedan sitt upprättande 1994 reviderats 28 gånger och idag används BBR 29. Handböcker har skapats för att beskriva reglerna utförligare och visa mer konkreta exempel på hur de kan uppfyllas. Byggreglerna uppfylls via förenklad alternativt analytisk dimensionering som tidigare benämnts. En kontrollplan för brandskydd under byggnadstid etableras i planeringskedet för att förhindra skador (Östman m. fl., 2012).

8.2 Norge

Norge arbetar med ett system vilket kräver att alla moment inom byggnadens utförande måste klassificeras av en av tre projektklasser. Projektklassen beror på komplexitet och felkonsekvenser i byggnaden (Östman m. fl., 2012).

Direktoratet för byggkvalitet är en nationell byggmyndighet som styr ett frivilligt nationellt godkännande system. Detta agerar som ett stöd för den lokala myndigheten, systemet används där de lokala myndigheterna kan bevisa sitt kompetensområde samt -nivå för nationellt godkännande (Östman m. fl., 2012).

Funktionskraven hänvisas till de tekniska bestämmelserna, dessa krav är obligatoriska och kan ej ändras utan godkännande från lokal byggnadsmyndighet (Östman m. fl., 2012).

Vid användande av trä finns det inga begränsningar i funktionskraven. Östman, med flera beskriver att det generella kravet innebär att: Material och ytor som inte bidrar till en oacceptabel brandutvecklingsnivå får användas. Störst hänsyn bör tas till tid för övertändning, värmeavgivning, rökbildning och bildning av giftiga gaser” (Östman m. fl., 2012).

De preaccepterade tekniska bestämmelserna beskriver att trä endast är tillåtet i byggnader med brandmotstånd R 30 samt R 60 utan vidare verifiering. Dessa byggnadstyper innefattar byggnader med fyra våningar eller mindre. Vid uppförande av trähus med högre våningsantal krävs godkännande av Direktoratet för byggkvalitet (Östman m. fl., 2012).

8.3 Storbritannien

Storbritannien har genom åren utstått många tragedier till följd av brand, The Great Fire of London samt Greenfell Tower är att nämna några få. The Great fire of London som inträffade 1666 startade inne i ett lokalt bageri, bränder var en ej något sällsynt så människor runtom trodde den skulle dö ut snabbt. Det man inte tänkte på då var att en

torka hade inträffat och det hade ej regnat på flera veckor, branden spred sig snabbt och London stod i brand i fyra hela dagar (Johnson, u. å.).

Storbritannien använder sig av en unik strategi för utrymning av lägenheter. Vid brandutveckling ska boende som ej påverkas av branden stanna kvar i lägenheten och invänta vidare instruktioner. Detta för att räddningstjänsten lättare har tillgång till byggnaden samt de interna räddningsvägarna. Kravet bygger på att branden bibehålls i brandcellen där den uppkom, utrymningsvägarna behålls då fria från rök- samt brandspridning (Ministry of Housing, 2010).

Särskilda krav ställs för lägenheter belägna 4,5 meter över marknivå, detta för att egen alternativ genom fönster ej kan etableras. Två alternativ finns att använda sig av. Det första alternativet menar att alla rum ämnade för boende ska leda direkt till en skyddad hall i lägst brandteknisk klass REI 30. Gångavståndet från lägenhetsdörr till dörr belägen längst in i lägenhet får ej överstiga 9 meter. Det andra alternativet innefattar ej en skyddad korridor, därför får ej lägenhetens längsta gångavstånd till lägenhetsdörren överstiga 9 meter (Ministry of Housing, 2010).

Bränder på arbetsplatser har blivit stort uppmärksammade utanför Norden, på grund av detta har Storbritannien tagit fram rekommendationer för att förhindra detta. Rekommendationerna finns för att förhindra antändning samt förhindra brandspridning. Förslag som att förbjuda rökning, avfallshantering samt behörighet för heta arbeten är tre förslag som enkelt förhindrar antändning. För att förhindra brandspridning har man etablerat tidig installation av brandavskiljande byggnadsdelar, utrymningsvägar samt regelbundna kontroller (Östman m. fl., 2012).

8.4 Jämförelse enskilda krav

Vid jämförelse av enskilda krav mellan länderna syns det tydliga olikheter inom brandsäkerheten. Vidare del i arbetet jämför mer konkret hur länderna skiljs från varandra.

8.4.1 Byggnadsklasser

I Sverige delas byggnader upp i byggnadsklasser för att enkelt identifiera krav och skyddsbehov. Detta skiljer dock lite bland de olika länderna. Byggnadsklasserna delas upp i skyddsbehov och i detta ingår våningsantal, verksamhetsklass, etc.

Norge utgår främst utefter risken för skada vid utrymning, andra aspekter såsom miljö samt sociala intressen vägs även in här.

Storbritannien fokuserar mer på våningsantal samt storleken på de olika våningsplanen. Faktorer som spelas in kan delas upp i tre generella delar: utrymning, möjligheter för räddningsinsatser samt sammanstörtning (Olsson m. fl., u. å.).

8.4.2 Utrymning från varje plan

Sverige och Norge har samma krav vad gällande utrymning, detta innefattar krav på två av varandra oberoende utrymningsvägar. I det fall byggnaden innefattar mer än ett våningsplan ska det finnas en utrymning från varje plan där personer vistas mer än tillfälligt. Storbritannien har en liknande plan men differenserna är att utrymningsvägarna

stys av personantalet samt våningsplan. Höghus kan behöva två trapphus ledande till varje våningsplan för att uppnå kraven (Olsson m. fl., u. å.).

8.4.3 Uppdelning i brandceller

För att förhindra konstruktionsbrott vid uppkomst av brand krävs det att brandspridningen begränsas. Detta säkerställs genom brandcellsindelning där krav på integritet, isolering samt bärförmåga säkerställs under nog tid för att byggnaden ska kunna utrymmas säkert. Kraven på brandcellsstorlek samt material i brandcellsavskiljande vägg varierar mellan de olika länderna, nedan följer hur Norge, Sverige och Storbritannien tänker övergripande vad gäller brandcellsindelning (Östman m. fl., 2012).

Sverige ställer krav på att brandcellen ska utföras som avskild från resterande byggnad med en tät konstruktion i väggar, golv samt tak. Brandcellsindelningen ska utföras på ett sådant sätt att utrymningen av byggnaden, intilliggande brandceller eller byggnader ska behållas skyddade under hela brandförloppen (Olsson m. fl., u. å.).

Norges tillvägagångssätt påminner starkt av Sveriges då brandcellerna ska förhindra brand- och brandgasspridning till intilliggande brandceller under en viss tidsperiod för att kunna säkerställa utrymning samt räddningstjänstens räddningsinsatser. Byggnader som innehåller utrymmen med skilda risker för brand samt säkerhet ska delas upp i brandceller (Olsson m. fl., u. å.).

Storbritannien utgår även här genom brandcellsindelning för att förhindra brandspridning. Bakgrunden till kravet är för att förhindra att människor blir inlåsta i byggnaden till följd av snabb brandspridning. Brandcellsindelning finns också för att minimera risken för personskador av räddningstjänst, invånare, samt risk för förstörelse av byggnader. Indelningen av brandceller kan ses som en komplettering av andra krav, dessa innefattar avskiljning av utrymningsvägar samt att förhindra brandspridning till närliggande byggnader. Brandcellsindelningen kan ses i tre olika grader vad gällande säkerheten och delas in på liknande sätt som byggnadsklasserna i Storbritannien. Första aspekten innefattar byggnadens användningsområde, detta kan jämföras med Sveriges verksamhetsklasser. Andra aspekten berör byggnadens höjd till översta våningen, denna används för att enkelt kunna se hur svårt det är att utrymma byggnaden. Den sista aspekten innefattar om sprinklersystem är installerat (Olsson m. fl., u. å.).

8.4.4 Avstånd till närliggande byggnader

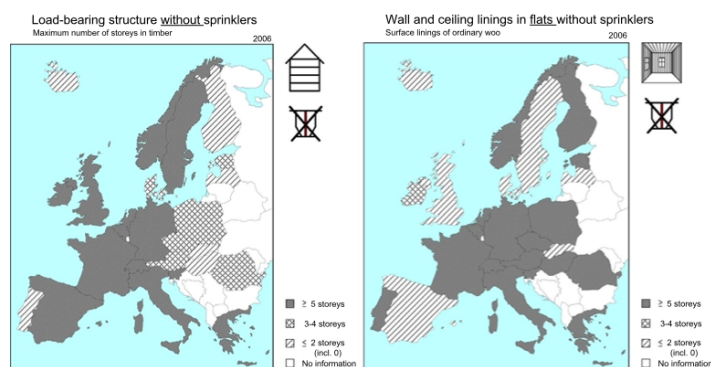
Sverige och Norge har ett fast krav som ej varierar vid olika byggnadstyper, kravet ligger på minst 8 meter. Vid lägre avstånd behövs särskilda krav användas, såsom speciella ytskikt på fasad, tak, dörrar samt fönster belägna mot närliggande byggnad.

Storbritannien har inte ett särskilt krav för detta utan är mer ”inbäddat med ett annat krav, uppbyggnad av ytterväggar. Uppbyggnaden av ytterväggar beror här som i många andra brittiska krav på faktorer. Faktorerna innefattar avståndet mellan byggnader, fasadens brandskydd, brandens potentiella storlek och intensitet som kan utvecklas i byggnaden samt risk för personer i intilliggande byggnad (Olsson m. fl., u. å.).

8.4.5 Acceptans med samt utan sprinklers

Bärande konstruktion i bostadshus i Storbritannien, Sverige och Norge kan acceptera ett utförande med eller utan sprinkler vid en byggnation med mindre än 5 våningar (Östman m. fl., 2017).

Innerväggar samt innertak med exponerat trä tillåts endast byggas vid maximalt 2 våningar utan installerad sprinkler i Storbritannien och Sverige. Norge har en högre acceptans gällande detta och tillåter istället byggnader med fler än 5 våningar att utföras med exponerat trä i innertak samt innerväggar (Östman m. fl., 2017). Figur 12 nedan visar visuellt de olika restriktionerna utan sprinklerinstallation vid bärande konstruktioner samt synliga ytskikt.



Figur 12: Restriktionerna i våningsantal vid träbyggnation utan installerad sprinkler (Östman m. fl., 2017)

Vid uppförande av träfasad tillåter Norge mer än 5 våningar både med och utan sprinkler. Sverige tillåter endast maximalt 2 våningar av brännbar fasad utan installerad sprinkler. Med sprinkler tillåts istället mer än 5 våningar med brännbar träfasad. Ett tillägg till de svenska reglerna kräver dock att den nedersta våningen av hus med träfasad bestå av ett obrännbart material, till exempel betong. För att kunna acceptera mer träfasad behövs en analytisk dimensionering genomföras för att säkerställa säkerheten i huset. Invändiga ytor bestående av exponerat trä behövs godkännas med hjälp av analytisk dimensionering (Östman m. fl., 2017).

9 Jämförelse mellan trä och betong

9.1 Betong

Det är allmänt känt att betong ej brinner. Orsaken till detta beror på betongs höga värmeledningskapacitet som vidare bidrar till en långsam temperaturökning. Betong uppfyller den allra högsta klassen för brandsäkerhet, nämligen A1. Klassen A1 innefattar endast obrännbara material. På grund av betongens naturliga förmåga släpps ingen rök eller giftig gas ut vid brand, detta säkerställer en säker utrymning. Betong har god tryckhållfasthet, dock uppgår draghållfastheten endast till 10% av denna. Lösningen för detta är att lägga in armering av stål i partier med dragpåkänningar (Svensk Betong, 2018).

Betong är ett utav våra främsta byggmaterial men står även det inför tuffa problem med hög densitet samt korrision. Den höga densiteten kan leda till svårigheter vid transport samt montering på grund av sin höga vikt i förhållande till storlek. Betong är även uppbyggt av en viss andel cement vilket under tillverkning släpper ut stora mängder koldioxid (Svensk Betong, 2018).

9.2 Val av isolering

Valet av isolering till ett höghus i trä är starkt avgörande. Brännbar isolering såsom cellplast kan leda till miserabla följder och utveckling av bränder. För att skydda träet och minimera de exponerade ytorna kan en obrännbar isolering som mineralull behöva etableras. Skillnaden på ett övertänt hus och en isolerad brand kan även variera här. Skillnaderna mellan de olika mineralsorterna beskrivs nedan för att kunna försäkra sig om att rätt isoleringsmaterial anpassas till byggnationen.

9.2.1 Stenull

Stenull har genom sin uppbyggnad naturliga egenskaper som ger ett passivt skydd mot brand. Stenull tål över 1000°C utan att smälta och förstöra sin funktion. Stenull fungerar genom att vid 250°C försvinner det yttersta skiktet, fibrerna förblir dock intakta vilket medför att det undre lagret skyddas mot exponering. En stenullsplatta består av mer än 90% luft (*Skillnaden mellan stenull och glasull — Profisol*, u. å.).

9.2.2 Glasull

Glasull tillverkas på samma sätt som stenull, dock ersätts stenen mot 70% återvunnet glas. Innehållet smälts samman och fibrerna läggs i samma riktning till skillnad från stenull. Glasullen komprimeras även ner till 1/5 av volymen. Glasull smälter vid en lägre temperatur vid jämförelse med stenull, gränsen befinner sig på cirka 500°C. Vissa experter anser att denna skillnad ej spelar någon roll på grund av att byggnaden redan är övertänd vid detta laget. Dock kan detta vara avgörande vid isolering brandcellsgränser för brandens fortsatta spridning vidare till närliggande brandceller (*Brandsäkert*, u. å.).

9.3 Skydd mot brand

Det anses vara relativt enkelt att skapa ett brandskydd för materialet trä, dock kan det vara svårt att behålla träets naturligt bra egenskaper. Tillsatserna kan i många fall vara vattenlösliga och drar därmed till sig fukt i omgivningen brandskyddets funktion kan minska.

9.3.1 Impregnering

Impregnering ger ett brandskydd på alla sidor av virket. I förädlingsprocessen säkerställs korrekt mängd brandskyddsmedel används gällande olika träslag samt monteringsförhållanden. Impregneringen fungerar med hjälp av att vid aktivering av impregneringen startar en kedjereaktion i medlet, vatten bildas på ytan vilket sänker temperaturen på den utsatta ytan. Koldioxid skapas som förbrukar de brännbara pyrolysgaser som uppstår. Reaktionen bidrar till att träet förkolnar, detta kan jämföras med att försöka elda blött trä, detta innebär att brandspridningen upphör (Woodsafe, u. å.).

9.3.2 Brandskyddsmålning

Brandskyddsmålning fungerar med hjälp av att färgen/lacken sväller upp vid brand och skapar ett skyddande lager som isolerar träet för branden. Detta bidrar till att tiden för branden fördröjs. Samtliga exponerade sidor ska målas samt kontinuerligt underhållas för att bibehålla brandskyddet. Samma färg används på alla träslag vilket kan medföra varierande resultat beroende på differenserna i brandskydd som finns i träets originalform. Flertalet brandisolerande färger kan dock ej användas utomhus på grund av risken att färgens egenskaper försvinner vid för mycket vattentillskott (Firesafe, u. å.).

9.3.3 Gipsskiva

Gipsskivans uppbyggnad består av en kärna av gips samt ytskikt av kartongskikt. Gipsskivor kan byggas upp med hjälp av andra stärkande material, till exempel kan en gipsskiva armeras med träfibrer jämnt fördelade över hela skivan. Alternativt syntetfiber som är jämnt fördelat eller koncentrerade till ytor. Anledningen till armering samt det yttre kartongskiktet är att en homogen gipsskiva är ömtålig och har en större tendens att falla sönder. Gips är ett obrännbart material och ger därför ett starkt skydd mot brand. Gipsens uppbyggnad fungerar genom att vid en brand startar en kemisk process där kristalliserat vatten som finns bundet i gipset avges som vattenånga. Förångningen sänker då temperaturen och hämmar brandens utveckling. För att uppnå brandteknisk klass EI 60 behövs dubbla lager 12,5 mm gipsskivor installeras (*Gipsskivans uppbyggnad - Norgips*, u. å.).

9.3.4 Promatect-100

Promatect-100 är en brandtålig skiva uppbyggd av kalciumsilikat. Skivan innehar en mättnad av gips och är jämnt armerad med glasfiber, skivan innehar därför en högre hållfasthet jämfört med enbart gips. Detta gör den mer tålig mot att smula sönder. Kanterna är täckta med spakel för att förhindra att slag mot kanterna förstör skivan. Skivan är anpassad för att kunna användas på träregelväggar då den har högt fuktmotstånd samt icke brännbar. Skivan är exemplarisk att använda i höga byggnader då den har

ett brandmotstånd på 120 minuter (EI 120). Detta innebär att istället för att göra flertalet lager av gipsskivor kan en enda homogen skiva användas för att säkerställa höga brandtekniska krav (Promat, u. å.).

Promatect kan även fästas på betong och skivan kan då användas även som form till betongen för att enkelt kunna gjuta in infästningarna, samt undvika användandet av formar som sedan demonteras (Promat, u. å.).

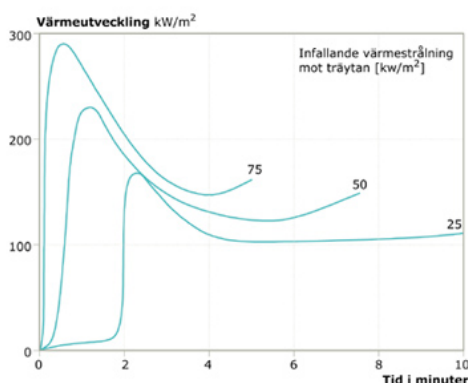
9.3.5 Offerskikt

Vid konstruktion av träbalkar samt träpelare används det ofta av offerskikt. Vid beräkning av konstruktionen adderas extra trämaterial för att konstruktionen ej ska riskera kollaps vid brand. Detta används för att ska de yttre lagren kunna förkolna och sedan användas som brandskydd utan att riskera integriteten av konstruktionen (Andersson m. fl., 2018).

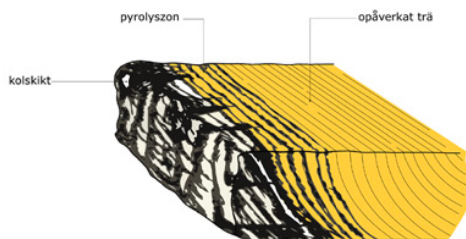
9.3.6 Naturligt brandskydd

Förkolningshastighet av trä som tidigare skyddats med beklädnad och sedan fallit bort är betydligt mycket högre än hos trä som monterats som oskyddat. Vid nedfall av beklädnad ökar snabbt förkolningshastigheten och den naturliga brandskyddseffekten minskar tillfälligt. För att kolskiktet återigen ska kunna ge ett effektivt skydd krävs det att kolskiktet uppkommit till en tjocklek på 25 mm. Träregelväggar är uppbyggda med hålrum och kolskiktet hinner i flera fall ej uppnå det begärda kolskiktet innan konstruktionen kollapsar (Östman m. fl., 2012).

Massivt trä har ett betydligt större eget brandskydd. Massivt trä antänds vid ca 300-400°C. Spontan antändning utan tillförd låga sker vid 500-600°C. Temperaturen kan vara svår att veta exakt därför anges antändning istället i värmestrålning, förhållandet mellan värmeutveckling och tid för antändning kan enkelt läsas av i nedanstående figur 13. Värmeutvecklingen i en brand är i stort avgörande om branden utvecklas och sprider sig vidare eller självslocknar. Vid brand kan massivt trä delas upp i tre olika zoner, kolskikt, pyrolyszonen samt den oförändrade zonen (TräGuiden, 2016). I figur 14 nedan visas uppbyggnaden av brandbelastat trä.



Figur 13: Förhållandet mellan värmeutveckling vid brand samt tidsförlopp (TräGuiden, 2016)



Figur 14: Visuell beskrivning av zoner samt fenomen som uppstår i trä vid förkolning (TräGuiden, 2016)

Ytan som utsätts för branden är den förkolnande, innanför denna finns pyrolyszonen som har en tjocklek på en millimeter. I pyrolyszonen uppstår deformationer under konstant värmebelastning. I den oförändrade zonen har träet i princip kvar alla sina egenskaper och bibehåller till stor del sin normala temperatur. Dessa tre zoner bidrar till massivt träs naturliga brandegenskaper och ser till att träet bibehåller sin bärförmåga under den kravställda perioden av tid TraGuiden2016Brandegenskaper.

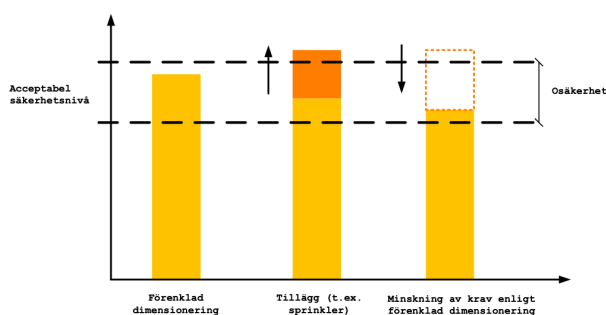
9.4 Sprinklersystem

Enligt Nystedt samt Östman är sprinklersystem utformade för att förhindra spridning av brand. Sprinklersystemets huvudsakliga syfte är ej att totalt släcka en brand, sprinklersystemen kan dock genom tidig detektion lyckas med detta och överträffa förväntningarna samt kraven.

Nystedt samt Östman beskriver i sin rapport om tekniska byten vid sprinklerinstallation samt möjligheterna att bygga i trä.

De två sprinklertyperna som används i undersökningen är boendesprinkler, samt automatisk vattensprinkler. Boendesprinklern är speciellt utformad för bostäder samt andra liknande miljöer såsom hotell. Den automatiska vattensprinklern är mer generell och kan användas i princip alla lokaler. Det automatiska systemet är mer tåligt för att kunna hantera alla miljöer medan boendesprinklern kan vara mer anpassad och blir därefter billigare.

För att godkänna exponering av trä kan ett tekniskt byte av brandskyddet etableras. I figur 15 nedan visas den förhöjda säkerhetsnivån vid installation av sprinklers samt sänkningen som kan etableras för att ändå uppfylla den accepterade säkerhetsnivån.



Figur 15: Representation av hur tekniskt byte fungerar (Nystedt & Östman, 2012)

Rapporten innefattar fem fallstudier relaterade till byggnation i trä, fallstudierna omfattar installation av boendesprinkler alternativt automatiskt sprinklersystem vilka undersöktes med hjälp av analytisk dimensionering. Resultaten kom fram till att skillnaden mellan sprinklade hus samt osprinklade är stora. På grund av dessa skillnader skapas en stor möjlighet att göra avsteg från dimensioneringen och samtidigt uppfylla de brandtekniska kraven (Nystedt & Östman, 2012).

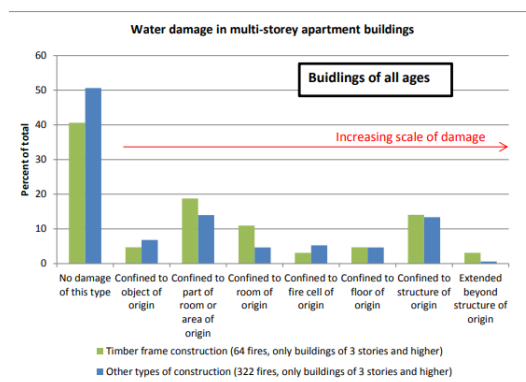
9.5 Ventilation under byggtid

Vid byggnation av småhus byggda i trä jämfört med byggnation av höghus exponeras träet för väderomslagen under en längre tid. På grund av risk för röta vilket kan leda till konstruktionsfel behöver väderskyddet etableras redan i planeringsstadiet. En vanlig lösning är att huset konstrueras på ett sätt så att huset kan torka upp vid kontakt med fukt. Denna lösning kräver dock noggrann kvalitetssäkring samt uppföljning för att försäkra att uttorkningen skett enligt planering TräGuiden (2003).

9.6 Vattenskador till följd av brand

Trä är som nämnts tidigare ett material som enkelt drar till sig fukt. Vid konstant höga fuktnivåer under en lång period av tid leder detta till röta samt mögel. I en studie skapad av RISE undersöks vattenskador till följd av brandsläckning. Studien utgår ifrån byggnader med minst 3 våningar i USA och Nya Zeeland som drabbats av brand. Jämförelsen sker mellan konstruktioner uppbyggda i trä mot konstruktioner i andra typer av material.

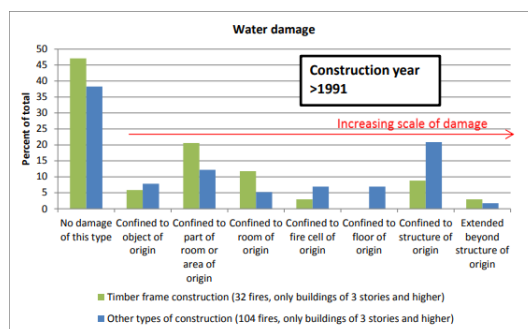
Resultatet menar att vid undersökning av byggnader i från alla årtal syns det att distributionen av vattenskador är relativt lika i de olika byggnadstyperna. För att se mer exakta studier se figur 16 nedan (Brandon m. fl., 2018).



Figur 16: Jämförelse av vattenpåverkan till följd av brand (Brandon m. fl., 2018)

Vid undersökning av byggnader byggda efter 1991 syns istället att vattenpåverkan var mindre i träbyggnader än i andra konstruktionsmaterial. Mer exakta siffror redovisas i figur 17 nedan. Genom att säkerställa träets uttorkning till den önskvärda fuktkvoten efter vattenpåförning är det ett utmärkt alternativ även här. De en gång negativa aspekterna om konstruktionsmaterialet trä har än en gång visat sig överkomliga och ses som ett smart och bra alternativ.

Vattenskadorna som tillkom var endast 20% beroende av sprinklersystemet medan de resterande 80 % var på grund av räddningstjänstens släckningsarbete. Vid djupare un-



Figur 17: Jämförelse av vattenpåverkan till följd av brand med byggnader byggda efter år 1991 (Brandon m. fl., 2018)

dersökning syns det tydligt att med hjälp av tidigt detektion på sprinklersystemet kan huset inte bara räddas från vidare brandspridning utan även från rötskador.

9.7 Släckningsarbete

Vid släckning av byggnader med trä som huvudmaterial till skillnad från betong som huvudmaterial finns det vissa aspekter som måste beaktas. Risken för röta kan riskera att byggnaden till viss del förlorar sin bärförmåga till följd av vattenpåföring. Då betong är ett oorganiskt material har det inte likadana egenskaper och röta efter släckningsarbete behöver ej beaktas.

I en rapport skriven av Lotta Vylund, Krister Palmkvist för RISE nämns taktik och metodik för släckning av höga trähus där det visas mer detaljerat hur släckningen ska gå till på ett så säkert och snabbt sätt som möjligt. Faktorer som förkunskap och värmekamera spelar stor roll in på byggnadens framtida bärförmåga. Kunskapen innebär att snabbt förstå hur konstruktionen i byggnaden ser ut och på så sätt lätt kunna identifiera situationen. Värmekameran kan snabbt identifiera byggnadssätt samt svagheter i konstruktion. Sista utväg är att skära upp hål för att undersöka, detta undviks till högsta grad för att ej öka syresättningen till branden. Släckmedel påförs genom så små öppningar som möjligt (Vylund & Palmkvist, 2017).

När trästommar brinner minskas deras bärförmåga vilket kan leda till kollaps. Vid användning av massivt trä antänds inte materialet lika lätt vid jämförelse med konstruktionsvirke, förkolning av ytskiktet kan även fungera som brandskydd. Vid delaminering ökas dock risken för brandspridningen återigen (Vylund & Palmkvist, 2017).

Vylund och Palmkvist beskriver förutsättningar som krävs för att räddningstjänsten ska kunna bevara byggnaden i största utsträckning. Följande beskrivs de tre viktigaste förutsättningarna:

- En släckinsats med begränsad vattenpåföring.
- En begränsningslinje som upprätthålls genom kylning.
- Kunskap/erfarenhet av byggnadstekniskt brandskydd.

10 Diskussion

Trots harmoniseringen som införts i EU för att stärka möjligheterna för samarbete skiljs ändå kraven mellan de tre länderna. Snarast likheter finns mellan Sverige och Norge, likheterna kan ses redan vid jämförelse med utrymning och avstånd till närliggande byggnader.

Differenserna mellan länderna är dock stora och syns redan tydligt vid jämförelse av byggnadsklasser. Alla tre länder utgår starkt ifrån skyddsbehovet men med vissa annorlunda aspekter. Sverige utgår från byggnadsklass samt verksamhet, där krav därefter ställs på till exempel utrymning, bärförmåga och brandskydd. Norge använder sig mer av sociala intressen, skada vid utrymning samt miljöaspekter. Storbritannien utgår från möjlighet till räddningsinsatser, utrymning samt sammanstörtning. Vid egen observation kan det tolkas som att Sverige sätter en byggnadsklass och sedan arbetar för att uppfylla de brandtekniska kraven, medan Storbritannien kontrollerar bärförmåga, utrymning och sedan bestämmer byggnadsklass.

Storbritanniens utrymningsstrategi med att boende ska vänta ut branden är en stor skillnad. Vid en sådan strategi krävs det absolut säkerhet på att byggnaden är utförd korrekt samt byggnaden utför regelbundna kontroller för att säkerställa brandavskiljande konstruktionsdelar.

Norge har den högsta acceptansen för trä vid jämförelse av kraven. Norge värdesätter hälsofördelarna med trä högt och vill etablera det så mycket som möjligt i de flesta byggnader. Storbritannien har istället genom åren varit utsatt för extrema missöden och detta sätter spår i användandet av trä än idag. Den egentliga orsaken för skildringarna kan vara svår att hitta men beror troligtvis på de olika ländernas erfarenheter samt utveckling inom ämnet.

För att uppnå de brandtekniska kraven i en Br1 byggnad med materialet trä som majoritet krävs det att flera faktorer beaktas. En standardlösning i Sverige är att applicera flertalet lager med gipsskivor, vid undersökning runtom i världen har flera skyddsmedel påbörjat sin etablering. Den obrännbara Promatect-100 skivan skapar möjligheter att endast använda ett homogent skikt. Brandisolerande färg fungerar genom att färgen sväller upp vid värme och skapar ett skyddande lager. Impregnering skapar ett 4 sidors skydd vilket skapar en kemisk reaktion som skapar en vattenånga som sänker yttemperaturen drastisk, koldioxid släpps ut vilket förbrukar de brännbara pyrolysgaserna. Trä har ett naturligt brandskydd som är effektivt vid användningen av massivträ. När kolskiktet uppnår 25 mm skapas det ett naturligt skydd som hindrar närliggande skikt att antända, detta kan vara avgörande för att bärande konstruktionsdelar ska bibehålla sin bärförmåga. Valet av brandskyddande medel varierar kraftigt från projekt till projekt. Gipsskivor är ett vanligt, billigt och bra alternativ som används mycket inom bostäder. Impregnering används ofta vid fasader för att förhindra brandspridning via fasad. Alla skydd har sina egna fördelar och etableras i olika projekt. För att uppnå kraven i träbaserade höghus krävs ofta tekniska byten stärkta med analytisk dimensionering.

Vid byggnation av trähus jämfört med betong finns det flertal faktorer som måste granskas samt utvärderas. Släckningsarbetet är en stor del som måste beaktas, vid släckning av bränder i hus prioriteras ofta huset i sin helhet framför enstaka konstruktionselement. Väggar sågas i sönder för att hitta branden och på ett enkelt samt snabbt sätt släcka den. I ett höghus med träelement kan detta vara avgörande för om huset senare kan återgå

till sin forna form. Prioriteten att rädda liv är självklart först, men kan kombineras med bevarelse av huset med tre enkla förutsättningar. En kunskap i byggnadstekniskt brandskydd är en god förutsättning för att rädda liv samtidigt som byggnaden räddas och därefter bespara boende på sina lägenheter.

Etablering av väderskydd är något som måste prioriteras tidigt i byggskedet vid byggnation med trä. Att konstruera en byggnad i regn är ett problem med alla byggmaterial, stål kan rosta, betongblandningen måste anpassas och trä riskerar rötskador. Betongen är den enklaste att montera i regn, speciellt med prefabricerade element, därför med en jämförelse med trä måste vissa åtgärder vidtas. Träkonstruktionen behövs täckas eller konstrueras på ett sådant sätt att det kan torka ut till den optimala fukthalten.

Betong är ett obrännbart material till skillnad mot trä. Arkitekters och framtida boendes strävan om exponerat trä kan i många fall skapa problem. Vid byggnation av trähus finns en strävan mot att visa konstruktionsmaterialet för att ta med de trevliga samt varma känslorna som skapas i rummet. En enkel lösning kan vara att täcka över alla träelement för att skapa ett brandtekniskt säkert hus, detta tillfredsställer dock ej önskan mot exponerat trä. Med dagens kunskaper, forskningar samt ambitioner kan detta dock åstadkommas. Med hjälp av exempelvis sprinklers kan mer trä exponeras med hjälp av tekniska byten. De konstruktionselement som är viktiga för hållbarheten kan täckas medan mer ytor i öppna rum lämnas exponerade för att skapa en god balans och samtidigt uppfylla de brandtekniska kraven.

För att svara enkelt på frågan om vad skillnaden på att bygga i betong samt trä finns det många skillnader, nackdelar med konstruktionsmaterialet betong kan bli fördelar med trä och tvärtom. Allt handlar om att väga nackdelar mot fördelar. Genom detta arbete syns det tydligt att höghus i trä är möjligt med dagens kunskaper och skapar enorma möjligheter för miljön, nya arbetssätt samt ekonomiskt.

Etableringen av högre trähus är självklart möjlig och pågår i denna stund, uppbyggnaderna av dessa är dock mer komplexa och kräver en djupare förståelse för byggnadskraven.

11 Slutsats

Sverige ligger i framkant med byggnation av höghus i trä och fortsätter att utvecklas framåt. Med hjälp av Europas harmonisering av byggregler kan en bred kompetens utvecklas och sedan utbytas mellan länder för att gemensamt skapa en miljövänligare samt mer kunskapsrik byggbransch. Trots harmoniseringen märks skillnaderna mellan Storbritannien, Norge och Sverige tydligt. Skillnaderna påverkas starkt av ländernas fokusområden inom byggnation.

När det kommer till produktionsaspekten av KLT syntes det i undersökningen att differenserna i limsorter har stor påverkan. Olika limsorter som är godkända av myndigheten kan leda till extrema skillnader i brandförloppet. För utvecklande inom byggande med trähus bör mer analysering samt tester utföras på högre byggnader än behandlat i denna rapport. Material, limsorter samt önskan för exponerat trä kan skapa problem i flera projekt. Att bygga höghus med trä är i dagsläget fortfarande unikt och konkreta krav och riskförlopp finns inte i dagsläget. Fortsättning på detta arbete kan ske genom mer tester och forskning inom olika limsorter som används i KLT. Forskningen bör inkludera de olika limmens beteenden vid brand för att skapa mer konkreta riktlinjer att tillgå.

Material som idag är en självklarhet har även de blivit ifrågasatta. Det uppstod debatter redan vid upprättandet av den första skyskrapan i betong. Detta är bara början för höghus i trä och kritiken mot höghus i massivträ är densamma som det varit för höghus i andra material. I framtiden kommer det vara lika självklart att bygga ett höghus i trä som att bygga ett i betong.

Referenser

- Andersson, B., Lisa Broberg, B., John Hultquist, B., Björn Evers, B., Caroline Eriksson Lantz, B. & Fredrik Nystedt, B. (2018, 12). *Brandskydd i Br0-byggnader* (forskningsrapport).
- Boverket. (2020, 8). *Brandskyddsdocumentation och brandteknisk dimensionering*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/brandskyddsdocumentation/>
- Brandon, D., Just, A., Andersson, P. & Östman, B. (2018). *Mitigation of fire damages in multi-storey timber buildings-statistical analysis and guidelines for design* (forskningsrapport). RISE.
- Brandsäkert*. (u. å.). Hämtad från <https://www.rockwool.se/fordelarna-med-stenull/brandsaekert/>
- Crocetti, R. (2018). Stabiliseringssystem för flervåningshus - Tidningen Trä. *Tidningen trä*. Hämtad från <https://www.svenskttra.se/publikationer-start/tidningen-tra/2018-3/stabiliseringssystem-for-flervaningshus/>
- Firesafe. (u. å.). *Brandskyddsmålning*. Hämtad från <https://www.firesafe.se/service/brandskyddsmalning>
- Frangi, A., Fontana, M., Hugli, E. & Jübstl, R. (2009, 11). Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire. *Fire Safety Journal*, 44(8), 1078–1087. doi: 10.1016/j.firesaf.2009.07.007
- Fyrstikkbakken 14, Oslo*. (u. å.). Hämtad från <https://www.arkitektur.no/fyrstikkbakken-14-oslo?tid=158202>
- Gipsskivans uppbyggnad - Norgips*. (u. å.). Hämtad från <https://www.norgips.se/kunskapsbank/gipsskivans-uppbyggnad/>
- Indelning i byggnadsklass och verksamhetsklasser - PBL kunskapsbanken - Boverket*. (2020, 8). Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/byggnadsklass-och-verksamhetsklasser/>
- Johansson, N., Anderson, J., McNamee, R. & Pelo, C. (2020). A Round Robin of fire modelling for performance-based design. *Fire and Materials*(October 2019), 1–14. doi: 10.1002/fam.2891
- Johnson, B. (u. å.). *Great Fire of London 1666*. Hämtad från <https://www.historic-uk.com/HistoryUK/HistoryofEngland/The-Great-Fire-of-London/>
- Ministry of Housing, C. . L. G. (2010). *Approved Document B (fire safety) Volume 1: Dwellings* (vol. 1). Hämtad från <https://www.gov.uk/government/publications/fire-safety-approved-document-b>
- Murray Grove - Google Maps*. (u. å.). Hämtad från https://www.google.com/maps?q=murray+grove&source=lmns&rlz=1C5CHFA_enSE884SE884&hl=sv&sa=X&ved=2ahUKEwi5maucwtHwAhXNsSoKHZesCOMQ_AUoAXoECAEQAAQ

- Naturskyddsföreningen. (u. å.). *Hållbart skogsbruk - vad är det?* Hämtad från <https://www.naturskyddsforeningen.se/vad-vi-gor/skog/vart-arbete/svenska-skogen/hallbart-skogsbruk>
- Nystedt, F. & Östman, B. (2012). *Tekniska byten i sprinklade byggnader - Fallstudier, SP Rapport 2012:33*. Hämtad från <http://wuz.se/wp-content/publications/SBUF-12571.pdf>
- Olsson, N., Alling, H., Berggren, C., Mossberg, A. & Skjöldebrand, M. (u. å.). *Syfteshandboken - Sveriges Brandkonsultförening*. Hämtad från <https://www.brandkonsultforeningen.se/syfteshandboken/>
- Östman, B., Brandon, D. & Frantzich, H. (2017). Fire safety engineering in timber buildings. *Fire Safety Journal*, 91 (April), 11–20. Hämtad från <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.002> doi: 10.1016/j.firesaf.2017.05.002
- Östman, B., Karlsson, B., Mikkola, E., Stenstad, V., Just, A., König, J., ... Buksans, E. (2012). *Brandsäkra trähus 3*. Stockholm: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Promat. (u. å.). *PROMATECT®-100*. Hämtad från <https://www.promat.com/sv-se/konstruktion/produkter-och-system/produkter/brandskivor/promatect-100/>
- Skillnaden mellan stenull och glasull — Profisol*. (u. å.). Hämtad från <https://www.profishol.se/skillnaden-mellan-stenull-och-glasull>
- Smith, I. & Frangi, A. (2014). *Use of Timber in Tall Multi-Storey Buildings*. doi: 10.2749/sed013
- Svensk Betong. (2018). *Betong begränsar bränder* (forskningsrapport). Hämtad från www.svenskbetong.se
- Svenskt Trä. (u. å.). *Mikroorganismer*. Hämtad från <https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/tra-och-fukt/mikroorganismer/>
- SvensktTrä. (u. å.-a). *Ekologen Växjö*. Hämtad från <https://www.svenskttra.se/inspiration/arkitektur/ekologen-vaxjo/>
- SvensktTrä. (u. å.-b). *Kvarteret Limnologen*. Hämtad från <https://www.svenskttra.se/inspiration/arkitektur/kvarteret-limnologen/>
- SvensktTrä. (u. å.-c). *Om limträ*. Hämtad från <https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/om-limtra/>
- Thistleton Architects, W., Wood, T., Innovation Investment, F. & Lumber Board, S. (u. å.). *CLT 100 UK Projects* (forskningsrapport).
- TräGuiden. (u. å.). *Brandklasser för material och konstruktioner*. Hämtad från <https://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/brandsakerhet/brandklasser-for-material-och-konstruktioner/>
- TräGuiden. (2003, 9). *Väderskydd*. Hämtad från <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/projektering-av-trahus---generellt/projektering-av-trahus---generellt/vaderskydd/>
- TräGuiden. (2016, 12). *Brandegenskaper*. Hämtad från <https://www.traguiden>

.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/termiska-egenskaper1/brandegenskaper/

TräGuiden. (2017, 7). *Tillverkning av KL-trä*. Hämtad från <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/kl-tra-som-konstruktionsmaterial/1.5-tillverkning-av-kl-tra/tillverkning-av-kl-tra/?previousState=0000100>

Vylund, L. & Palmkvist, K. (2017). *Taktik och metodik för släckning av höga trähus*. Hämtad från <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/252355/252355.pdf>

Woodsafe. (u. å.). *Funktionsbeskrivning*. Hämtad från <https://www.woodsafese.se/sv/content/funktionsbeskrivning>



CHALMERS