CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Brandsäkert byggande i framtidens samhälle

Att bygga höga hus i trä

Kandidatarbete i bygg- och miljöteknik

HANNAH AHRENS
FREDRIK BERGFELDT
NANETTE CRONEMYR
EMELIE HÄLLERSTÅL

Avdelningen för Bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2015

Sammanfattning

Huvudsyftet med rapporten har varit att undersöka om det i framtiden kommer vara möjligt att i Sverige bygga brandsäkra bostadshus i trä med fler än åtta våningar. Ämnet är relevant på grund av en ökande urbanisering och samhällets växande intresse för miljötänk. Detta kan leda till att det i framtiden byggs fler höghus i städer och på grund av miljömedvetenhet kan fler av dessa komma att byggas i trä. Då trä är ett brandbenäget material är det viktigt att frågor inom brandsäkerhet besvaras för att höghus i trä ska kunna byggas. I rapporten ges en bakgrund till brand, trä som byggmaterial och vilka aspekter som kan vara avgörande vid valet av stommaterial. Bakgrundsinformation i kombination med en genomförd undersökning om höghus och dess framtida utveckling har legat till grund för slutsatser och diskussion. Rent tekniskt tyder rapporten på att det är möjligt att bygga höghus i trä med fler än åtta våningar. Det som bromsar utvecklingen är dock brandsäkerheten, för att uppnå ställda brandkrav blir kostnaderna höga och genomförandet svårare. Efter utförd studie har det framgått att personer med allmän kunskap inom ämnet brand kan tänka sig att bo i trähöghus medan yrkeskunniga är mer skeptiska. För att det i framtiden ska bli ett hållbart koncept så måste de boende garanteras brandsäkerhet, vilket kan göras genom skärpta och tydligare brandkrav. Idag verkar det inte vara lönsamt att bygga högre än åtta våningar på grund av de ökade brandkraven. Att bygga lägre hus, upp till åtta våningar är dock genomförbart och byggnation av dessa hus ser ut att öka i framtiden.

Abstract

The main purpose of the study has been to examine if it in the future will be possible in Sweden to build fireproof residential buildings higher than eight stories. The topic is relevant because of an increasing urbanization and society's growing interest in environmental thinking. In the future this may result in building of more high-rises in the cities and because of the environment, more of those may be built with wood. Since wood is a fire-prone material it is of importance that fire safety issues is addressed before any high-rise buildings are built with wood. The study will provide background information about fire, wood as a construction material and about witch aspects that are crucial in the selection of construction material. The background information combined with a completed research of high-rise buildings and the development of their future has acted as the foundation for the conclusions and the discussion. The study indicates that it is technically possible to construct buildings higher than eight stories with wood. What slows the progress is the fire safety issues, reaching the requirements is expensive and construction of the buildings is difficult. After completing the study it has been shown that people with general knowledge within the field of fire safety may consider staying in timber high-rises, while skilled professionals who are more knowledgeable are more sceptical. To make it a sustainable concept in the future the residents must be ensured fire safety, which can be done through stricter and clearer fire requirements. Today it does not seem profitable to build higher than eight stories because of the increased fire requirements. To construct lower buildings, up to eight stories, is however possible and the construction of these seem to continue to increase in the future.

Förord

Denna kandidatrapport skrevs våren 2015 vid avdelningen för Bygg- och miljöteknik på Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg. Rapporten omfattar 15 högskolepoäng, den handleddes av Ingemar Segerholm och examinerades av Mihail Serkitjis.

Vi vill rikta ett stort tack till de personer som avsatt tid för att hjälpa oss, som har svarat på de frågor vi haft och som tagit emot oss på studiebesök. Vi vill även tacka de personer som deltagit i vår undersökning och som visat intresse för vårt arbete.

Göteborg, Maj 2015

Innehållsförteckning

1 INLEDNING ... 1

1.1 Bakgrund ... 1

1.2 Syfte ... 1

1.3 Upplägg och problembeskrivning ... 1

1.4 Metod ... 2

1.5 Avgränsningar ... 2

2 LITTERATURGENOMGÅNG ... 3

2.1 Brand i bostäder ... 3

2.1.1 Brandtekniska klasser och krav ... 3

2.1.2 De vanligaste orsakerna till brand i bostäder ... 5

2.1.3 Brandförlopp ... 6

2.1.4 Invändig brandspridning ... 7

2.1.5 Brandspridning via fasad ... 8

2.1.6 Brandsäkerhet och utrymning vid brand ... 8

2.2 Byggbranschens miljöpåverkan ... 9

2.3 Ekonomi styr byggbranschen ... 9

2.4 Trä som byggnadsmaterial ... 10

2.4.1 Svensk skogsindustri ... 10

2.4.2 Materialegenskaper ... 11

2.4.3 Brandegenskaper ... 12

2.4.4 Hur trä brandskyddas ... 12

2.4.5 Miljöpåverkan ... 14

2.4.6 Ekonomi ... 14

3 UNDERSÖKNING ... 15

3.1 Jämförelse med stål och betong ... 15

3.1.1 Brand ... 15

3.1.2 Miljö ... 16

3.1.3 Ekonomi ... 16

3.2 Höghus idag och i framtiden ... 17

3.2.1 Urbanisering leder till att fler höghus byggs ... 17

3.2.2 Specifika brandkrav i höghus ... 18

3.2.3 Hur spridning förhindras ... 19

3.3 Höghus i trä ... 19

3.3.1 En växande trend 19
3.3.2 Tekniken att bygga trähöghus 19
3.3.3 Efterarbete vid brand 22
3.3.4 Kostnad vid brand 22
3.3.5 Genomförda projekt 23
3.3.6 Framtidsprojekt 25
3.3.7 Åsikter om att bo i trähöghus 26
4 DISKUTERANDE SLUTSATSER 27
4.1 Diskussion 28
4.2 Rekommendationer 29
5 KÄLLHÄNVISNINGAR 31
5.1 Intervjuer 34
5.2 Figurer 34

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Trä har i hundratals år varit Sveriges viktigaste byggnadsmaterial (Träguiden, 2015). Förr byggdes många svenska städer helt i trä där bostäder värmdes och lystes upp av öppna eldslågor. I kombination av dåligt förebyggande brandskydd och släckande brandförsvar var brandrisken stor, vilket vid flera tillfällen resulterade i att stora delar av hela städer brann ner.

På grund av brandrisken instiftades år 1874 en lag i Sverige om att det var otillåtet att bygga trähus med fler än två våningar (Widman, 2012). Det ledde till att utvecklingen av träbyggnadsteknik avstannade och alternativa byggnadsmetoder och material började utforskas. Stål- och betongstommar blev vanligare och byggnader började utformas med större variation i storlek och form. Lagen om att bygga med trä i högst två våningar upphörde att gälla år 1994 och det blev återigen tillåtet att bygga högre flervåningshus i trä, nu utan begränsning.

Sedan mitten av 1990-talet har träbyggnadstekniken förbättrats och användning av moderna träbyggnadssystem blivit vanligare. Moderna metoder och strängare miljökrav har lett till att efterfrågan på höga hus i trä har ökat kraftigt de senaste åren och trenden ser ut att öka. Mellan år 2000 och 2011 ökade andelen flervåningshus i trä från 1 till 15 procent och enligt Widman tror experter att andelen år 2020 kommer ligga mellan 30 till 40 procent. Åsikterna om huruvida materialet är lämpligt vid byggnation av höghus går dock isär, det finns tydliga läger för och emot. De som inom byggbranschen främst jobbar med trä är övertygade om materialets fördelar och att det är i trä framtidens höghus bör byggas. Betongbranschen är dock skeptisk till materialet och över undrar brandsäkerhet kommer kunna säkerställas i byggnader.

Trämaterials brännbarhet var år 1874 och är än idag ett av de stora problem som begränsar materialet. På den tiden löstes problemet genom att begränsa byggandet men frågan är hur det idag och i framtiden kommer lösas, när träbyggande istället uppmuntras. Att bygga höga hus i trä är fortfarande nytt, det har ännu i Sverige inte byggts högre än åtta våningar och endast en storbrand har skett vilket var i ett femvåningshus. Information om brandsäkerhet och konsekvenser vid brand är därför ännu begränsad vilket gör ämnet både relevant och intressant.

1.2 Syfte

Syftet med studien är att undersöka om det är möjligt att bygga brandsäkra trähus med fler än åtta våningar. Rapporten syftar även till att utreda hur stor betydelse brandsäkerhet har vid val av stommaterial.

1.3 Upplägg och problembeskrivning

Rapporten kommer delas in i tre huvudsakliga etapper, *2 Litteraturgenomgång*, *3 Undersökning* och *4 Diskuterande slutsatser* med tillhörande *4.1 Diskussion*. Litteraturgenomgången kommer utreda vad brandsäkerhet innebär, hur den idag säkerställs vid bostadsbyggnation och vilka faktorer som avgör hur brandproblem hanteras. Trä som byggnadsmaterial kommer behandlas separat där fakta kring material- och brandegenskaper kommer studeras. I övrigt kommer även väsentlig fakta rörande miljö och ekonomi i byggbranschen redovisas, vilka är viktiga aspekter vid nybyggnation. Litteraturgenomgången kommer syfta till att ge läsaren relevant bakgrundskunskap för att sedan kunna följa undersökningen.

Undersökningen kommer ligga till grund för efterföljande slutsatser, diskussion och rekommendationer. Frågor som kommer utredas berör samhällets syn och uppfattning kring boende, brand, material och hur synen på detta kommer förändras. För att besvara syftet kommer en undersökning om brandrisker som medföljer med att bo i ett trähöghus utföras. Frågor kring hur brandsäkerhet har säkerställts i lägre flerbostadshus i trä fram tills idag kommer besvaras. Även hur den kommer att säkerställas när byggnationer överstiger åtta våningar.

Litteraturgenomgången och undersökningen ska vara tillräckligt utförliga och omfattande för att kvalificerade slutsatser ska kunna dras och för att lösningar ska kunna föreslås. Slutsatser kommer diskuteras fram då rapporten berör framtida problem som baseras på antaganden, personliga tankar och händelser.

1.4 Metod

En kvalitativ litteraturstudie har genomförts där information och fakta främst hämtats från litteratur och trovärdiga Internetkällor. Även muntliga källor har utnyttjas i form av föreläsningar, studiebesök och intervjuer med yrkeserfarna. De har svarat på faktafrågor och har lyft sina åsikter och hypoteser om framtiden. Insamlad data har sedan sammanställts och därefter har slutsatser dragits.

Det finns i dagens situation inget modernt trähöghus med fler än åtta våningar som brunnit. Detta medför en avsaknad på dokument och fakta som behandlar ämnet. Ämnet om framtida problem har därför diskuterats i intervjuer med brandingenjör, driftingenjör, försäkringssäljare och arkitekt. Informationen om krav som nämns i studien är hämtat från Boverkets byggregler, BBR kapitel 5 - Brand, samt från tillhörande utökningar.

1.5 Avgränsningar

Studien tar endast upp bostadshus med fler än åtta våningar och rapporten begränsas till Sverige. Endast svenska normer och indikationer på utveckling kommer att beaktas, jämförelser kommer endast ske mot svenska krav och regler. Exempel på byggnader från utlandet och byggnader med färre än åtta våningar redovisas för att jämförelser ska kunna genomföras. Rapporten kommer endast behandla krav som medför att omfattande förändringar måste göras i konstruktionen för att krav ska kunna uppnås.

Studien kommer främst behandla brandaspekter men även miljö och ekonomi. Vanligtvis behandlas akustik- och fuktproblem vid träkonstruktion, detta kommer dock inte tas upp i rapporten.

2 LITTERATURGENOMGÅNG

För att få förståelse för varför brandsäkerhet är en viktig faktor vid byggnation av bostäder i trä kommer följande kapitel beröra brand och trä åtskilt. Även hur miljö- och ekonomifrågor påverkar byggindustrin kommer beröras i ett separat kapitel.

Det första kapitlet *2.1 Brand i bostäder*, beskriver hur brand i bostäder uppkommer och sprids, vad Sverige har för brandrelaterade krav och hur byggnader och material indelas i diverse brandklasser. Nästkommande avsnitt *2.2 Byggbranschens miljöpåverkan* och *2.3 Ekonomi styr byggbranschen* syftar till att ge förståelse för hur och varför miljö- och ekonomifrågor är viktiga och om de är avgörande parametrar i byggbranschen. I kapitlet *2.4 Trä som byggnadsmaterial* beskrivs materialet i allmänhet, vilka egenskaper som gör trä fördelaktigt som konstruktionsmaterial och hur det beter sig när det utsätts för brand.

2.1 Brand i bostäder

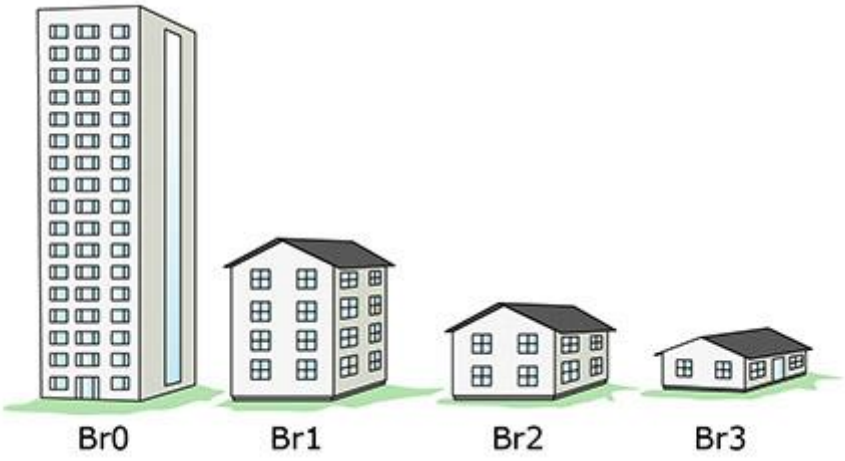
I Sverige omkommer närmare 100 personer i brand varje år (Brandskyddsföreningen (1), 2015). Flest bränder sker i bostäder och det är även där flest brandrelaterade dödsfall inträffar. Bränder i bostäder har ofta snabba förlopp vilket gör dem svåra att kontrollera och de får ofta allvarliga konsekvenser. För att kartlägga brand krävs förståelse för hur och varför brand uppstår, på vilket sätt den sprids och hur det kan förhindras. Även hur brandsäkerhet ska garanteras innan och under eventuell brand är viktigt för förståelsen.

2.1.1 Brandtekniska klasser och krav

När en byggnad konstrueras krävs att vissa byggtekniska krav uppfylls, de svenska kraven är sammanställda i Boverkets byggregler, BBR (Boverket (1), 2012). Kapitel fem i BBR är tillägnat brand och beskriver krav och rekommendationer om brandtekniska klasser, möjlighet till utrymning, skydd mot uppkomst, utveckling samt spridning av brand och brandgas i och mellan byggnader. Även krav på brandskydd och möjlighet till räddningsinsatser beskrivs.

Kraven är definierade utifrån en standardiserad brandkurva, baserat på ett regelverk framtaget genom olika europeiska tester. Det är upp till varje enskilt land att bestämma vilka kravnivåer som ska gälla i respektive land. Kraven finns också till för att räddningstjänst ska kunna garantera utrymning av samtliga boende innan byggnaden kollapsar.

Byggnader delas beroende på skyddsbehov in i byggnadsklasser Br0 till Br3, där Br0 är byggnader med stort behov och Br3 är byggnader med litet behov (Boverket (1), 2012). Graden skyddsbehov beror på troligt brandförlopp, konsekvenser vid brand och byggnadens komplexitet. Främst beror klassen dock på antal våningar, som *Figur 2.1* visar. En vanlig villa är uppnår klass Br3, höghus upp till 16 våningar klassas som Br1 och byggnader högre än det klassas som Br0.



Figur 2.1 Byggnadsklasser (Träguiden, 2015). Återgiven med tillstånd.

I *Figur 2.2* beskrivs de olika verksamhetsklasser en byggnad kan tilldelas. Uppdelningen är baserad på vilken typ av verksamhet som ska bedrivas i byggnaden och därmed vilken typ av lokalkännedom en person i byggnaden kan tänkas ha. Bostäder tillhör verksamhetsklass 3 vilket innebär att personer i byggnaden bör ha god lokalkännedom och förväntas på egen hand kunna sätta sig själva i säkerhet, personer kan dock inte förväntas vara vakna.

Klass	**Verksamhet**
Verksamhetsklass 1	Industri, kontor m.m.
Verksamhetsklass 2	Samlingslokaler m.m.
Verksamhetsklass 3	Bostäder
Verksamhetsklass 4	Hotell m.m.
Verksamhetsklass 5	Vårdmiljöer m.m.
Verksamhetsklass 6	Där brand kan få ett mycket snabbt förlopp. Förhöjd sannolikhet att brand kan uppstå

Figur 2.2 Verksamhetsklasser. Baserad på information från Boverket, 2012.

I *Figur 2.3* beskrivs de olika klassbeteckningar konstruktioner och element kan tilldelas. Denna beteckning baseras på funktion och beskriver hur element beter sig när de blir utsatta för brand. Varje beteckning efterföljs av ett tidskrav 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 eller 360 minuter. R30 betyder till exempel att bärigheten (R) i element ska upprätthållas i 30 minuter. Klassen kan kombineras med tilläggsbeteckningar M för mekanisk påverkan, S för brandgastäthet för dörrar och C för dörrar med dörrstängare.

Beteckning	Förklaring
R	Bärförmåga
RE	Bärförmåga och integritet (täthet)
REI	Bärförmåga, integritet och isolering
E	Integritet
EI	Integritet och isolering
EI_1 eller EI_2	Integritet och isolering för brandavskiljande fönster eller branddörrar

Figur 2.3 Klassbeteckningar. Baserad på information från Boverket, 2012.

I *Figur 2.4* beskrivs de olika brandklasser som material, beklädnader och ytskikt indelas i. Kraven kan kompletteras med tilläggsklasserna s0 till s3 beroende av mängd brandgas byggdelen avger och d0 till d2 beroende av mängd brinnande droppar eller partiklar byggdelen avger.

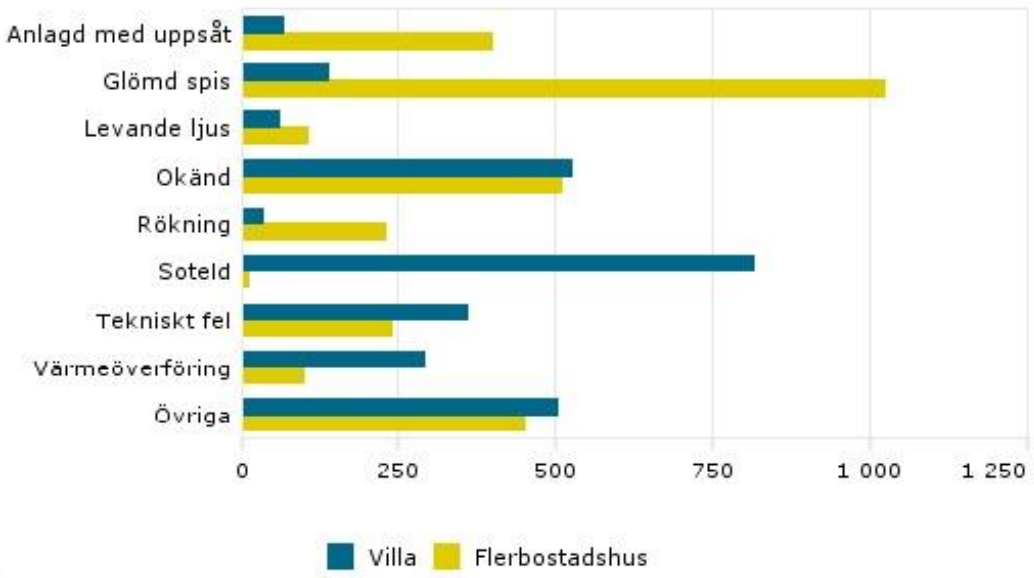
Klass	Egenskaper	Materialexempel
A1	Ingen övertändning. Medverkar inte till brand.	Mineralull, betong
A2	Ingen övertändning. Medverkar till brand i mycket begränsad omfattning.	Gips
B	Medverkar till brand i mycket begränsad omfattning.	Brandskyddat trä
C	Övertändning efter mer än 10 minuter. Medverkar till brand i begränsad utsträckning.	Tapet på gips
D	Övertändning efter 2 till 10 minuter. Medverkar till brand.	Obehandlat trä
E	Övertändning inom 2 minuter. Medverkar till brand i stor utsträckning.	Brandskyddat skumplast
F	Ingen brandklass finns.	Skumplast

Figur 2.4 Brandklasser. Baserad på information från Boverket, 2012.

2.1.2 De vanligaste orsakerna till brand i bostäder

Hur brand i hem uppstår och hur brandförlopp ter sig beror på situation och hem enligt Per Thureson (personlig kommunikation, 17 februari 2015). Det föremål som orsakar brand kallas brandstiftare, och kan exempelvis vara levande ljus, strykjärn, spis eller TV. Det kan även vara en cigarett som orsakar glödbrand, vilka ofta upptäcks sent då brandvarnare reagerar långsammare på brand utan låga. Brand kan bero på tekniska fel men ofta är det människor som är orsaken. Många gånger handlar det om ouppmärksamhet och glömska, som till exempel glömd spis eller brinnande ljus. Orsaker kan relateras till sociala grupper och geografiska områden. Exempelvis är anlagd brand och brand till följd av rökning inomhus vanligare i flerbostadshus, se *Figur 2.5*.

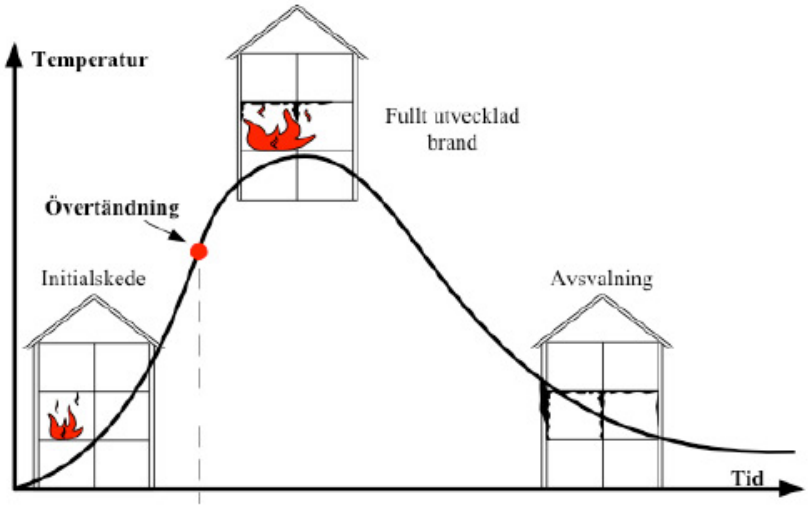
De brandorsaker som är vanligast och hur de skiljer sig mellan villa och flerbostadshus beskrivs i *Figur 2.5*. Den vanligaste orsaken i villa är soteld, som står för 31 procent av de totala fallen. I flerbostadshus är glömd spis den överlägset vanligaste med 34 procent. Tekniska fel är som tidigare nämnt en vanlig brandorsak. Detta innefattar till exempel elfel vilket är en av de brandorsaker som ökat mest de senaste åren, hävdar Brandskyddsföreningen (Brandskyddsföreningen (2), 2015). Enligt Svenska Dagbladet (Oneborg, 2011) ökade elbränder med 50 procent mellan år 2006 och 2011.



Figur 2.5 Brandorsaker i hem 2013 (MSB, 2013). Återgiven med tillstånd.

2.1.3 Brandförlopp

När en brand utbrutit kan dess beteende se olika ut. För att beskriva detta används ofta begreppet brandförlopp, som förklarar generellt hur en brand i exempelvis ett rum ser ut. Utvecklingen kan beskrivas med hjälp av en brandförloppskurva, se *Figur 2.6*.



Figur2.6 Brandförloppskurva (Träguiden, 2014). Återgiven med tillstånd.

På den horisontella axeln anges tid och den vertikala axeln anger genomsnittlig temperatur på de brandgaser som samlas under taket. Tidsperioden från *antändning* till *övertändning* kallas det *tidiga brandförloppet*, för att undvika personskada är det viktigt att all utrymning sker under denna period. En brand kan utvecklas på två olika sätt, den kan antingen avta eller eskalera beroende på syretillgång (Bengtsson, 2001).

Då en brandkälla antänder något närliggande objekt och brand utbryter kallas *initialbrand (Casco, 2015)*. Från initialbranden stiger brandgaser, vilket är varma gaser och partiklar som till största del består av uppvärmd luft. Brandgasen innehåller bland annat kolmonoxid, koldioxid, kolväteföreningar, sot- och kolpartiklar. Dessa kan vara livshotande för personer som andas in stora mängder. Plymen av brandgaser stiger uppåt och träffar taket, viker av åt sidorna och bildar en så kallad takstråle som följer taket.

Då takstrålen slår mot väggarna och bromsas börjar ett övre, varmt brandgaslager bildas. Rummets syretillförsel gör att initialbranden ökar, sotpartiklarna blir fler och gaslagret blir mörkare och tjockare. Temperaturen i rummet ökar och alla föremål och ytor värms upp.

När ett föremåls temperatur når cirka 300 grader Celsius börjar materialet sönderdelas och brännbara gaser bildas. När alla tillgängliga, brännbara föremål och ytor har antänts sker övertändning vilken normalt varar mellan några sekunder upp till en halv minut.

Övertändning följs av *fullt utvecklad rumsbrand*, som kan pågå från någon minut till flera timmar. Tiden beror på mängd brännbara föremål, material som finns tillgängliga i rummet och om branden sprider sig vidare till andra rum. När bränslet i rummet börjar ta slut sjunker effektutveckling och temperatur vilket betyder att *avsvalningsfasen* har påbörjats.

2.1.4 Invändig brandspridning

Enligt Per Thureson (personlig kommunikation, 17 februari 2015) sker spridning av brand i ett rum i första hand mellan lösa delar i form av inredning. För att beskriva antändligheten hos ett material och dess förmåga att sprida brand används begreppet energi. Ett rum med mycket energi med exempelvis mycket tygbeklädda möbler har större benägenhet att antändas och sprida eld vidare i rummet. Idag finns inga krav på hur mycket lösa delar ett rum får innehålla, endast fasta delar hanteras i BBR.

Element med stora dimensioner och hög densitet har svårare att antända och sprida eld vidare. Trots det används gärna vekare, mer lättantändliga material i hem. Estetik, pris och bekvämlighet går ofta före brandsäkerhet när människor inreder sina hem.

Om brand inte kontrolleras kommer den spridas till fasta delar i konstruktionen via innerväggar, innertak, golv eller ventilation. Därför är krav på dessa element viktiga och de bestäms enligt BBRs brandklasser, se avsnitt *2.1.1 Brandtekniska klasser och krav*.

Då brand tagit fäste i konstruktionen är det viktigt att den hindras från att spridas till intilliggande rum och vidare i byggnaden. För att förhindra spridning delas byggnaden in i brandceller. En brandcell är en del av en byggnad inom vilken en brand kan utvecklas under ett visst tidsintervall utan att spridas till närliggande delar av byggnaden (Boverket (1), 2012). En viktig komponent i byggnader är brandväggar, som också ska begränsa spridning av brand. Det är viktigt att denna vägg är rätt konstruerad med avseende på både dimension och installation, då minsta fel kan resultera i att brandväggen inte längre uppfyller sitt syfte.

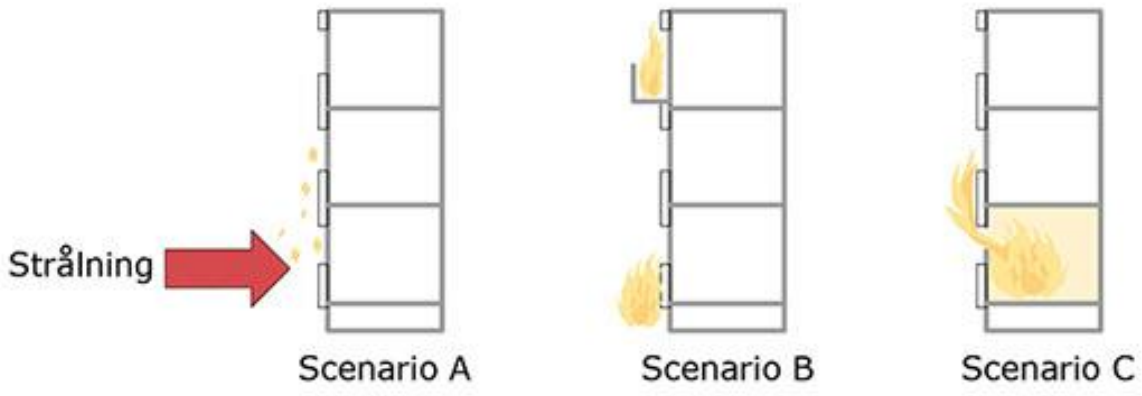
2.1.5 Brandspridning via fasad

De flesta bränder startar inomhus men de kan även starta utvändigt, antingen i fasaden eller i ett närliggande objekt som sedan sprider branden till fasaden. Oavsett var branden startar finns det risk att den sprids vidare längs fasaden till andra brandceller i byggnaden. Hur branden sprids beror på var den startar och dess intensitet (Träguiden (1), 2014).

Spridning via fasad kan ske på främst tre sätt. Det första är vid brand i närliggande byggnad, branden sprids då via värmestrålning till närliggande fasad, se *Figur 2.7*. I detta scenario är det viktigt med en väl brandskyddad fasad och att det är ett tillräckligt stort avstånd mellan byggnader.

Det andra är då brand startar i ett objekt i närhet av fasaden, se *Figur 2.7*. Brand sprids då antingen genom att fasaden självantänder när värmestrålningen blir för hög eller via direkt kontakt med eld. Det går i detta fall att skydda fasader genom att till exempel ha ett icke brännbart material på bottenvåningen.

Det tredje scenariot är då brand startar invändigt i en brandcell med minst en öppning mot fasaden, exempelvis ett fönster, se *Figur 2.7*. Om rummet övertänds blir lågorna så kraftiga att de kan slå ut en fönsterruta. Det har via prövning konstaterats att detta scenario är det mest påfrestande för fasaden. För att skydda den mot detta kan till exempel brandklassade fönster, flamskärmar eller automatiska fönsterluckor installeras. Även sprinkler kan installeras för att förhindra rummet från att övertändas.



Figur 2.7 Fasadspridning (Träguiden, 2015). Återgiven med tillstånd.

2.1.6 Brandsäkerhet och utrymning vid brand

När brand uppstår är snabb utrymning livsavgörande. Enligt Bijan Adl-Zarrabi (personlig kommunikation, 13 februari 2015) bör utrymning från ett brinnande hus ta under 4 minuter för att rök och eld inte ska skada personer i huset. Då tiden är knapp krävs väl fungerande och varnande system i byggnaden. I lagen om skydd mot olyckor finns det krav på att det i varje hem ska finnas ett skäligt brandskydd (Boberg, 2013). Vad som är skäligt är dock inte definierat. Bygglagstiftningen skiljer på krav och allmänna råd. Det ställs krav på att det i varje nybyggd lägenhet ska finnas brandvarnare och rekommendation om att det även ska finnas i befintliga bostäder. Brandfilt och brandsläckare är enkla och effektiva skyddsåtgärder att ha i sitt hem i händelse av brand.

För att underlätta utrymning bör byggnader vara utformade med lättillgängliga och tydligt skyltade utrymningsvägar. Om bostaden består av fler än ett plan ska det finnas minst en på

varje våning (Boverket (1), 2012). Det finns olika krav och rekommendationer på utrymningsvägar, trapphus, hissar och brandhissar beroende på vilken verksamhet byggnaden är avsedd för och vilken byggnadsklass den har. Exempel på vad som kan skilja är antal utrymningsvägar och avstånd till dessa. Det som gäller för alla klasser är till exempel olika krav för branddörrar och råd om vilken fri bredd en utrymningsväg ska ha. I hus anpassade för funktionshindrade finns specifika brandkrav. Exempelvis ska det finnas minst en säker plats i anslutning till en utrymningsväg där de kan avvakta fortsatt utrymning. I Br2 och Br3 ska utrymning kunna ske utan hjälp från räddningstjänst.

2.2 Byggbranschens miljöpåverkan

Miljödiskussionen är idag mer aktuell än någonsin, krav i byggbranschen blir hårdare och det blir viktigare att bygga med naturliga, återvinningsbara material. Byggsektorn brukar kallas för 40 procentsektorn eftersom 40 procent av Sveriges totala avfall kommer från sektorn och 40 procent av de farliga ämnena finns i byggavfallet (Augustsson, 2014). Byggbranschen står även för cirka 40 procent av Sveriges totala energianvändning och stora mängder utsläpp (Renovera Engergismart, 2015). Detta ställer höga krav på branschen att utnyttja brukad energi på bästa sätt. Ökad användning av förnybara energikällor och högre energieffektivitet är två viktiga mål för att minska den negativa påverkan på miljön.

Historiskt sett är det driftsfasen vid en byggnation som krävt mest energi medan produktionsfasen har i jämförelse varit praktiskt tagen försumbar (Bergkvist & Fröbel, 2013). Idag har dock energiåtgången under driftsfasen reduceras kraftigt, exempelvis värms hus sällan med oljepanna längre, vilket gör produktionsfasen till ett mer avgörande skede. Vid exempelvis nollenergihus är byggfasen helt avgörande för byggnadens totala energiåtgång.

Påverkan på miljön innan, under och efter produktion måste minimeras för att uppnå ett hållbart, klimatneutralt samhälle (Bergkvist & Fröbel, 2013). EU har ersatt byggproduktdirektivet med en byggproduktförordning där det bland annat finns krav på att alla byggelement ska vara återvinningsbara (Augustsson, 2014). Sverige har förhoppningar om att det även ska införas krav på att farliga ämnen ska anges vid varumärkning vilket skulle göra det lättare att aktivt kunna välja miljövänligare alternativ.

2.3 Ekonomi styr byggbranschen

Byggbranschen styrs till stor del av den ekonomiska faktorn, där det gäller att bygga med låga kostnader och maximera vinster i företag. Enligt Andersson (personlig kommunikation, 13 Maj 2015) är val av material- och tillverkningsteknik vid nybyggnation till största del beroende av kostnader. Detta gör att byggnader ofta konstrueras på kravgränser. Billigare material som precis klarar exempelvis brandkrav väljs i regel framför ett mer brandtåligt, dyrare material. Vissa brandskyddande rekommendationer kan även väljas bort för att minimera utgifter.

Andersson hävdar att då alla krav för en byggnad uppnåtts är det i regel alltid kostnaden som avgör de slutliga valen. Om exempelvis två konstruktioner i olika material jämförs där båda uppfyller ställda krav och angivna direktiv kommer det vara priset som slutligen avgör valet av konstruktion.

2.4 Trä som byggnadsmaterial

Trä har många egenskaper som gör det lämpligt att användas som konstruktionsmaterial. Det är starkt i förhållande till sin lätta vikt, det är billigt, finns tillgängligt i stora mängder och det är naturligt och miljövänligt. Det har dock även flera egenskaper som gör det mindre lämpligt. Bland annat är trä fuktkänsligt, det kan variera i egenskap och kvalitet, låg densitet kan vara en nackdel då det byggs med på höga höjder och materialet är brännbart (Burström, 2013).

Materialet är ständigt under utveckling och det forskas konstant om hur träets ofördelaktiga egenskaper kan förbättras och materialet optimeras. En av de första innovationerna var limträ som bland annat gjorde att en jämnare kvalitet kunde garanteras. Idag ses fler möjligheter istället för problem med materialet vilket har gjort att det finns en ökad efterfrågan på träkonstruktioner och träbaserade produkter (Svenskträ, 2012).

2.4.1 Svensk skogsindustri

Sverige täcks idag till 70 procent av skog, varav 83 procent är barrskog, 5 procent lövskog och resterande 12 procent blandskog (Bergkvist & Fröbel, 2013). Varje år avverkas drygt 90 miljoner skogskubikmeter vilket är mindre än tillväxten om cirka 120 miljoner. Det betyder att Sveriges skogsvolym varje år ökar, vilket också gjorts under hela 1900-talet. Volymen är idag dubbelt så stor jämfört med för 100 år sedan. Eftersom Sverige har goda tillgångar till trä är möjligheten stor att det blir ett mycket väl använt material även i framtiden.

Sverige är världens tredje största exportör av papper, massa och sågade träprodukter, endast USA och Kanada är större (Kinnwall, 2015). Under år 2011 utgjorde skogsbruket och skogsindustrin 2,2 procent av Sveriges BNP. För att behålla landets konkurrenskraft och för att kunna mätta en ökande efterfråga av trä hävdar vissa att skogsproduktionen i framtiden kommer behöva ökas ytterligare.

För att få ökad tillväxt kan intensivodlig användas, ett begrepp som innefattar olika förbättringsåtgärder som förslag. Bland annat plantera fler, nya, snabbväxande trädslag och åtgärder gällande bättre föryngring, gödsling, förädla plantor och bättre insektsbekämpning (Flyckt, 2010). Det går att öka skogsproduktionen med 30 miljoner skogskubikmeter om 15 procent av den befintliga skogsandelen börjar intensivodlas. Fördelar med intensivodling är dels ökad virkesmängd och biobränsle men även minskning av koldioxidutsläpp. Kol kan bindas i biomassa och biobränslen kan ersätta fossila bränslen. Intensivodling är dock inte bara positivt, diskussion om miljöeffekterna av till exempel gödsling har pågått sedan 60-talet. Negativa konsekvenser kan vara minskad biologisk mångfald och förstörelse av kulturmiljö.

Snabbväxande skog används redan i Sverige. En av de främsta träsorterna idag är Contortatallen som ger 40 procent högre produktion än den vanliga svenska tallen. Till exempel skulle tillväxten kunna ökas genom att utöka odlingen av snabbväxande träslag på nedlagda jordbruksmarker.

Sveriges skogsbruk har länge legat i framkant på världsmarknaden med avseende på ekonomisk, social och biologisk uthållighet. Det är bekräftat att landet har en hållbar skogsindustri som kan säkerställa en ekonomisk hållbar framtid, att villkoren för de arbetande är rättvisa och att det går att vidhålla markens naturliga ekologiska processer. Sverige har en långvarig produktionsförmåga och den biologiska mångfalden kommer att kunna bevaras.

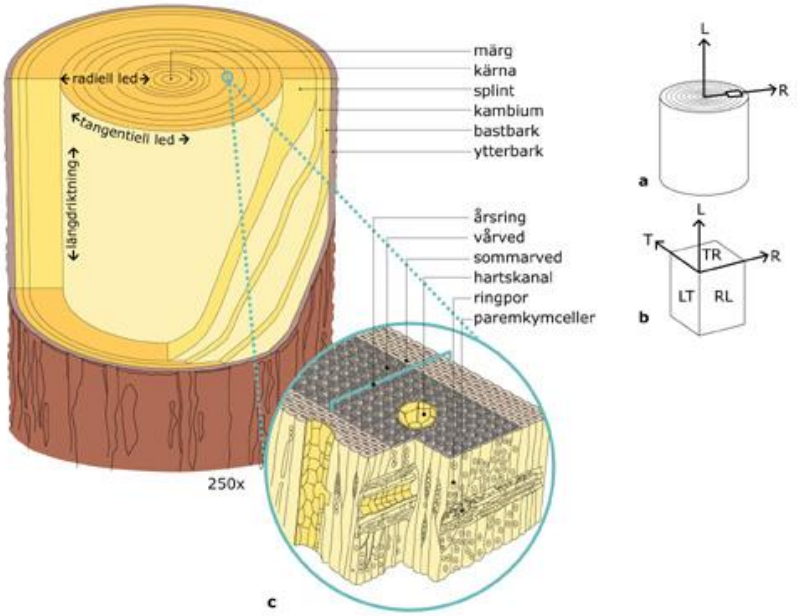
2.4.2 Materialegenskaper

Trämaterial finns i olika former och kvaliteter. Inom husbyggnation är det främst gran och furu som används (Holgén, 2002). Trä delas in i kvalitetsklasser; snickerivirke som bedöms utifrån utseende och konstruktionsvirke som bedöms utifrån hållfasthet (Burström, 2013).

Trä är ett anisotropt material, vilket betyder att det har olika egenskaper i olika riktningar. Då trä är en naturlig produkt kommer materialet aldrig vara perfekt, egenskaperna kan i stor utsträckning skilja från träd till träd men även inom samma trädstam. Till följd av detta värderas materialet i tre olika riktningar; fiberriktning, radiell riktning och tangentiell riktning. Trä uppnår den högsta hållfastheten då det belastas i drag i fiberriktning. Vid tryck i samma riktning uppnås endast cirka halva hållfastheten. Elasticitetsmodulen skiljer mellan olika träsorter och fiberriktning, men är ungefär lika i drag, tryck och böjning. Krypning i trä ökar med ökad fuktkvot, särskilt stor är den i tvärriktningen.

En annan egenskap som varierar på grund av materialets uppbyggnad är densitet, ju högre densitet, desto hårdare är materialet. Sommarved är tre gånger tyngre än vårved. Vårvedsbredden ökar med trädets tillväxthastighet vilket gör att densiteten varierar med årsringsbredd och därmed efter var i landet trädet växer (Bergkvist & Fröbel, 2013). Faktorer som avgör tillväxt är temperatur, fuktighet, beståndstäthet, markförhållande, läge och genetiska egenskaper.

Kompaktdensiteten är ungefär 1500 kg/m3. Nyavverkat virkes rådensitet varierar med träslag och om det är rot- eller toppstock. Den normala densitetdefinitionen brukar vara antingen torr-rådensitet eller densitet vid 12 procent fuktkvot. Torr-rådensiteten brukar vara 400 kg/m^3 för gran och 430 kg/m^3 för furu med en variation på ungefär 25 kg/m^3. I *Figur 2.8.* beskrivs trädstammens uppbyggnad.



Figur 2.8 Trädets uppbyggnad och riktningar (Träguiden, 2015). Återgiven med tillstånd.

Utöver fiberriktning och densitet påverkas även trädets hållfasthet av fuktinnehåll som vid nyavverkat virke i kärnan kan ha en fuktkvot på 30 till 35 procent och i splinten 130 till 150 procent. Värmeledningsförmåga hos trä är störst i fiberriktningen och ökar med fuktkvot och densitet. Värmekapaciteten är cirka 1300 J/kg°C för absolut torrt trä och har en god värmeisolerande förmåga på grund av dess höga porositet.

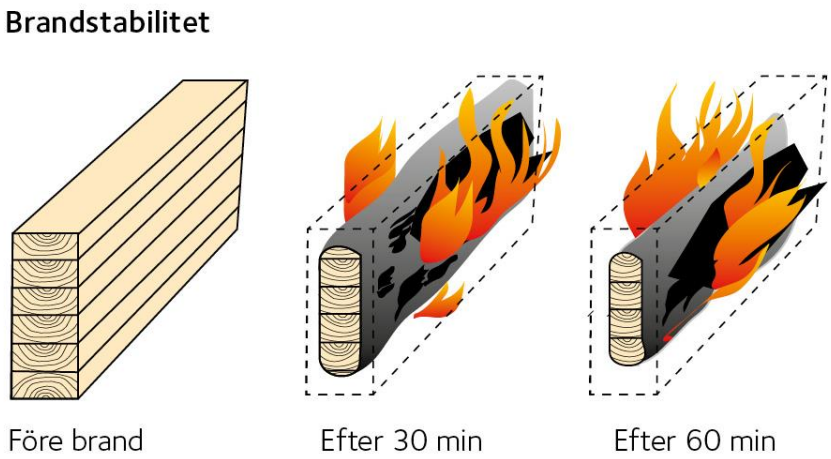
2.4.3 Brandegenskaper

Trä uppnår i naturligt tillstånd brandklass D, se avsnitt *2.1.1 Brandtekniska klasser och krav*, vilket är lågt för konstruktionsmaterial (Träguiden (2), 2003). Materialets brandegenskaper varierar beroende på en rad faktorer, bland annat finfördelning, fukthalt, densitet, hartsinnehåll, fiberriktning och ytstruktur (Östman & Tsantaridis, Brandskyddat trä, 2004). Då trä används som byggnadsmaterial är en låg brännbarhet önskvärd, vilket uppnås vid hög densitet, stora dimensioner och släta ytor. Hur snabbt ett träelement antänder varierar med avstånd till öppen låga, värmeutstrålning och ventilation i rummet (Bergkvist & Fröbel, 2013). För att ett trämaterial ska antända vid närvaro av öppen låga krävs en värmestrålning på cirka 12kW/m^2 och en yttemperatur mellan 250 och 280 grader Celsius (Burström, 2013).

Om ett trämaterial under längre tid utsätts för temperaturer över 100 grader Celsius torkar materialet och ytan förkolnar. I detta skede ökar träets förmåga att absorbera gaser vilket leder till att syreupptagningsförmågan blir högre och värmeutvecklingen starkare. Det leder till att materialet i fortsättningen kommer antändas vid lägre temperaturer än normalt.

Då ett träelement antänds förkolnar ytan i en takt om cirka 0,6 mm/min. Kolet fungerar som isolering och ger ett effektivt skydd mot värmepåverkan för det inre, friska träet, vilket kan bibehålla ursprunglig form och egenskaper. Det betyder att en konstruktion kan brandsäkras genom ökade dimensioner. Anledningen till kolets isolerande förmåga är att det har lägre värmekonduktivitet än trä. Trä innehåller en stor mängd vatten vilket ger materialet hög värmekapacitet. När vatten förångas åtgår energi som bidrar till att temperaturen i materialet sänks.

Vid dimensionering av konstruktioner förutsätts eventuell brand. Träelement överdimensioneras för en förkolningshastighet på 50 mm/tim, den genomsnittliga hastigheten är 6mm/min (0,6*60 = 36 mm/tim). Vid limträ antas en hastighet på 35mm/tim. Bärförmågan vid brand beräknas enligt Eurokod 5. *Figur 2.9* visar en limträbalk som utsätts för brand.



Figur 2.9 Förkolning av träelement (Träguiden, 2015). Återgiven med tillstånd.

2.4.4 Hur trä brandskyddas

Det är möjligt att höja brandklassen för trä utan större ingrepp. Med vissa brandskyddande åtgärder kan brandklass B uppnås, vilken är den högsta klassen för brännbara material (Träguiden (2), 2003). Det går inte att göra några trämaterial helt obrännbara, vid tillräckligt stor brandutveckling brinner även brandsäkrat material.

För att brandsäkra trä kan brandskyddsmedel användas. Det ökar materialets brandmotstånd och används antingen som impregnering eller som brandfärg. Impregnering ger ett mer varaktigt och mindre känsligt skydd. Det tillåter träet att bevara mer av dess ursprungliga, naturliga estetik. Brandskyddsmedel påverkar materialets ytskikt och har störst inverkan i det tidiga brandstadiet, innan övertändning. Det går att påverka tid till antändning, flamspridning, värme- och rökutveckling. För att uppnå tillräckligt säkert brandskydd behövs stora mängder tillsatser. Tillsatserna är vattenlösliga och har därför en tendens att ta upp fukt vid varierande luftfuktighet. Det leder till att fuktkvoterna blir höga vilket kan resultera i saltutfällning på ytan. Utomhus är det främsta problemet med detta att det brandskyddande medlet urlakas och effekten försämras. På insidan är detta snarare ett estetiskt problem. Brandskyddsmedel är baserade på olika kemiska föreningar och fungerar genom att det ändrar den termiska nedbrytningen av materialet så att mindre brännbara gaser avges och mer kol bildas.

Enligt BBR är det vid byggnation av till exempel offentliga byggnader, sporthallar eller flervåningshus ett krav att använda brandskyddat trä (Boverket (1), 2012). Andra användningsområden är till invändiga ytskikt på väggar och tak eller i utrymningsvägar och trapphus.

För att skydda utvändiga träfasader på byggnader med fler än två våningar finns det enligt svensk lag vissa krav som måste kunna uppfyllas. Antingen ska fasaden vara bruten, se *Figur 2.10*, eller så ska sprinkler installeras. Även brandklassade fönster, flamskärmar ovanför fönstren, eller automatiska fönsterluckor kan installerats. Se *Figur 2.11* för de tre sistnämnda åtgärderna.

Figur 2.10 Förslag på träfasad (Träguiden, 2015). Återgiven med tillstånd.

Figur 2.11 Brandklassade fönster, flamskärm och automatisk fönsterlucka (Träguiden, 2015). Återgiven med tillstånd.

2.4.5 Miljöpåverkan

Skog och träd binder naturligt koldioxid, ett genomsnittligt träd absorberar under sin livstid ca 1 ton koldioxid per kubikmeter tillväxt och frigör cirka 0,7 ton koldioxid via fotosyntesen (Bergkvist & Fröbel, 2013). Bundet kol lagras i virket och finns inbundet i de produkter som skapas av träet. Först den dagen virket förbränns frigörs kol i form av värmeenergi. Värmeenergi kan omhändertas, vilket gör hela processen klimatneutral och material- och resursanvändning optimal.

$$6H_2O + 6CO_2 + \text{Solenergi} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Vatten + Koldioxid + Solenergi → Glukos + Syre

Även om användning av träprodukter inte kräver någon tillförd energi är träindustrin inte helt klimatneutral. Vid tillverkning av sågade trävaror krävs en viss mängd externt tillförd energi. 80 procent av den energin går att hämta från egna biprodukter, exempelvis från bark och spån, resterande 20 procent hämtas från elenergi.

Brandskyddat trä inverkar inte nämnvärt på miljön, de kemikalier som används har i allmänhet låg toxicitet och restprodukter går både att deponera eller förbrännas ihop med annat brännbart material.

2.4.6 Ekonomi

Eftersom Sverige har stora trä- och skogstillgångar i nästan hela landet är trä ett relativt billigt byggmaterial. Småhus och villor byggs ofta i trä av bland annat den anledningen. Kostnaderna ökar nämnvärt då byggnaderna blir högre och kraven ökar, enligt David Winberg (personlig kommunikation, 9 april 2015). Med ökade konstruktionskrav ställs även högre krav på noggrannhet vid projektering. Infästningar och anslutningar måste utformas exakt för att eventuell brand inte ska kunna spridas via defekter i konstruktionen. Det gör även att kostnader vid produktion ökar eftersom element måste monteras efter exakta mått och defekt material måste ersättas vilket kostar både tid och pengar.

Den del av en nybyggnation som kräver mest tid och arbetskraft och därmed står för störst del av kostnaden är byggfasen (Bergkvist & Fröbel, 2013). För att minimera kostnader under produktion fabrikstillverkas ofta stora delar av konstruktionen. Det är fördelaktigt för trä, ett stommaterial som i stor utsträckning kan prefabriceras. Trä kräver ingen längre mognadsfas utan kan monteras och skickas i stort sett omedelbart. Det är ett lätt material vilket gör det enkelt och billigt att från fabrik transportera till byggplatsen. Träfasader kostar att underhålla då de måste målas samt behandlas för att kunna stå emot fukt och andra yttre påfrestningar.

Trä är totalt sett det dyraste materialet att bygga med på höga höjder. Det beror främst på kraven som måste uppfyllas med ett sådant lätt material och alla detaljer som måste vara noggrant kontrollerade med tanke på brandsäkerhet. Det som däremot är billigare med trä som byggnadsmaterial är alla produktionsfördelar i form av lägre fraktkostnader för leveranser vid prefabricerade element, lägre kostnader för lyft och montage och lägre kostnader för ändringar samt kompletteringar (Stehn, Rask, Nygren, & Östman, 2008). Montage av träelement kan oftast utföras med enkla byggkranar.

3 UNDERSÖKNING

I kapitel *3.1 Jämförelse med stål och betong*, jämförs för- och nackdelar samt användningsområden mellan materialen. Inledande avsnittet *3.1.1 Brand*, förklarar vad som sker då stål och betong utsätts för brand. Nästkommande avsnitt, *3.1.2 Miljö*, beskriver hur miljön påverkas av materialen med avseende på grundvatten, naturresurser samt koldioxidutsläpp. Till sist behandlas avsnittet *3.1.3 Ekonomi*, som beskriver och jämför olika kostnadsskillnader mellan stål och betong.

Efterföljande kapitel, *3.2 Höghus idag och i framtiden*, behandlar samhällsutvecklingen och hur höghus kommer utvecklas som bostadsform. Utformning av höghus med avseende på brandkrav och brandspridning kommer också undersökas.

Det avslutande kapitlet, *3.3 Höghus i trä*, undersöker tekniken vid byggnation, kostnader innan och efter brand samt genomförda och framtida projekt.

3.1 Jämförelse med stål och betong

Trä, stål och betong är de stommaterial som används mest i byggindustrin idag. De har olika egenskaper och lämpar sig för olika typer av byggnader. Inget material är perfekt, det finns för- och nackdelar med alla tre. Stål är ett stommaterial som är lätt och har ungefär lika hög hållfasthet i drag som i tryck, det är fördelaktigt vid byggnation av höga slanka byggnader (SBI, 2004). Nackdelar är att det finns risk för korrosion och att spröda brott kan uppstå. Betong är ett beständigt material med god isolerande förmåga och hög hållfasthet i tryck (Burström, 2013). Draghållfastheten är dock inte lika hög vilket kan lösas via inläggning av armering som kan ta upp laster i drag. Vanligtvis görs samverkanskonstruktioner med stål och betong, vilket ofta används i höga hus medan småhus och villor främst är tillverkade av trä.

3.1.1 Brand

Alla tidigare nämnda stommaterial kan, om de är korrekt konstruerade, uppnå gällande brandkrav. Det som skiljer materialen åt är benägenhet för spridning och hur de brandskyddas. Betong är det mer fördelaktiga alternativet ur brandsynpunkt då det uppnår brandklass A, vilket innebär att det är helt obrännbart. Inte heller stål är brännbart men materialet deformeras vid höga temperaturer.

Då stål utsätts för höga temperaturer förlorar det, på grund av hög värmekonduktivitet, mycket hållfasthet (Burström, 2013). Materialet förlängs på grund av dess höga värmeledningsförmåga vilket kan leda till stora konstruktionsskador. Även krypning ökar kraftigt med temperaturen då den når 400 grader Celsius. Stålkonstruktioner skyddas därför alltid med någon typ av brandskydd, ofta genom att bygga in stål i annat bjälklag, måla med självsvällande färg eller klä in utsatta konstruktionsdelar i gips- eller fibersilikatskivor (Stålbyggnadsinstitutet, 2004). Skyddas materialet ordentligt förhindras värmespridning och därmed att brand sprids i en konstruktion.

Betong är tätt, isolerande och kan varken antändas eller sprida brand. Det som dock är en risk vid brand i betongkonstruktioner är spjälkning (Anderberg, 2000). Spjälkning är ett fenomen som sker då betong hastigt värms upp så att diffusion och påtvingad konvektion av vatten i betongen sker. Detta kan bygga upp ett portryck inuti materialet som resulterar i spjälkning. Det kan göra att armering blir fritt exponerad och hållfastheten sjunker.

3.1.2 Miljö

Både stål och betong kräver stora mängder energi och orsakar miljöfarliga utsläpp under hela tillverkningen. För att tillverka stål måste järnmalm brytas, anrikas, sintras och sedan förädlas i en masugn (Stålbyggnadsinstitutet, 2004). Malm bryts i gruvor som enligt Sveriges Geologiska Undersökning förstör landskapsbilden och påverkar grundvatten och vattendrag (SGU, 2015). Även gruvavfall är ett stort problem då det står för största delen av Sveriges sammanlagda avfall.

Ståltillverkningen bidrar med stora utsläpp av bland annat koldioxid och svaveldioxid men även utsläpp via vatten sker då detta används som rening (Stålbyggnadsinstitutet, 2004). Positivt med stål är att 100 procent av det material som tillverkats kan återvinnas eller återanvändas.

Betong består av cement, ballast, vatten och tillsatsmedel. När betong tillverkas är det främst cementtillverkning som påverkar miljön. Cementindustrin står för cirka sju procent av världens totala koldioxidutsläpp (Persson, 2006), då framställning av ett ton cement bildar ett ton koldioxid. Utsläpp sker främst under kalcineringsprocessen, då kalksten upphettas med hjälp av stora mängder tillförd energi. Kalksten måste även brytas vilket påverkar omgivning och miljö vid brotten.

Att bryta ballast och framställa tillsatsmedel har inte lika stor påverkan. Förr användes ofta naturgrus vilket hade en negativ inverkan på grundvatten. Idag används dock större mängd bergskross vilket ses som ett miljövänligare alternativ. Betong har lång livslängd och är vid rivning 100 procent återvinningsbart, material från rivna byggnader kan krossas och används som utfyllnad i exempelvis vägar.

3.1.3 Ekonomi

Pris på betong är relativt stabilt då cement, vatten och ballast är lättillgängligt (Stehn, Rask, Nygren, & Östman, 2008). Det som gör att priset kan variera är vilken betongkvalitet som önskas. Då betong är ett stabilt byggnadsmaterial är det fördelaktigt vid byggnation av höga byggnader. Det är inte nödvändigt med lika omfattande och kontinuerliga kontroller som vid byggnation med trä. Ett prefabricerat betonghöghus med åtta våningar kostar ungefär hälften så mycket som ett hus i samma storlek byggt i trä, enligt David Winberg (personlig kommunikation, 28 april 2015).

Betong kräver torktid vilket kan förlänga produktionstider. Då betongen torkar kan övrigt arbete inte fortgå och exempelvis utförandet av installationer måste invänta betongens mognad (Liljebäck, 2013). Då betong är ett tungt material blir kostnader för leveranser och montage betydligt högre jämfört med trä. Ofta används processer som pålning i Sverige för att stabilisera undergrunden. Lasten blir vid byggnation med betong betydligt högre, fler pålar måste användas och grundläggningskostnaderna blir då nämnvärt högre. Även rivningskostnader för betongbyggnader är högre jämfört med trä.

Pris på stål varierar mycket beroende på vilken typ av stål det är (SBI, 2004). Även pris på viktiga råvaror som malm, kol och skrot varierar och beror av världsmarknaden. Vid eventuell brist på stål skulle kostnader för tillverkning öka kraftigt vilka idag redan är relativt höga. Vid tillverkning finns dock möjlighet till besparingar då det tillverkas färdiga komponenter som går snabbt att montera på bygget.

Även stålets dimensioner är ekonomiskt fördelaktiga då priset på markyta är väldigt högt. Stål är starkt i förhållande till sin vikt och går därför att tillverka i små dimensioner vilket gör att boytan kan utnyttjas till fullo.

3.2 Höghus idag och i framtiden

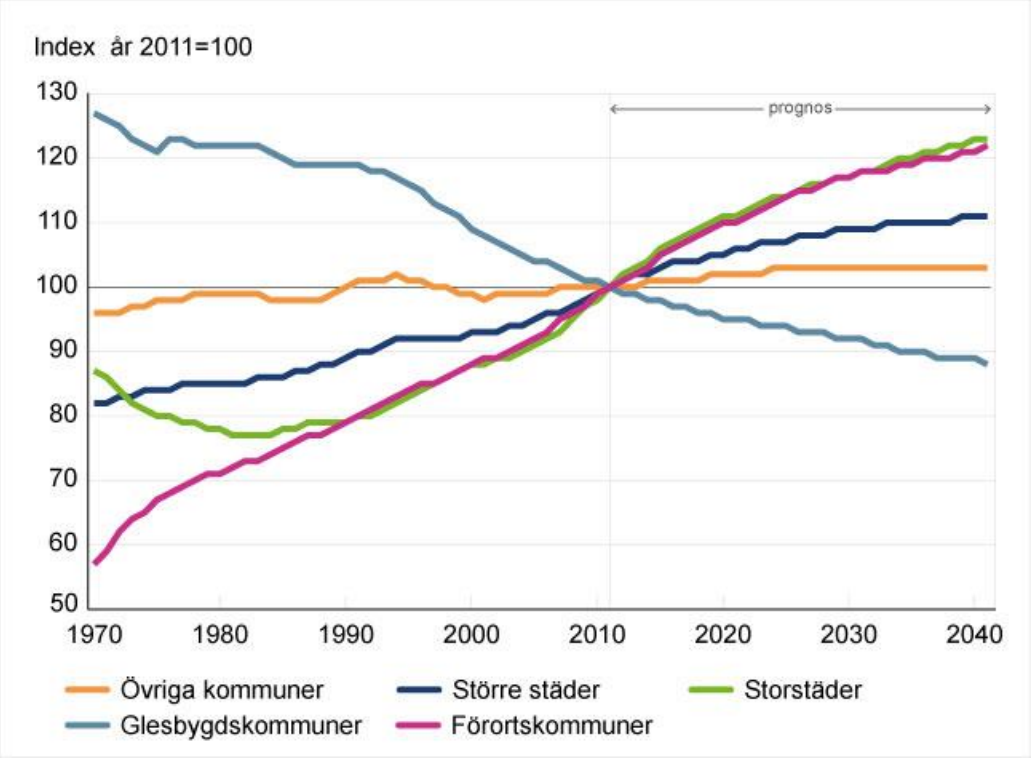
Att bygga hus på höjden är det mest optimala sättet att samla fler människor på mindre yta. Yta i dagens stadskärnor är en bristvara, med en ökande urbanisering blir det viktigare att kunna bistå med centralt belägna bostäder. Fler boende i samma hus medför brandrisker, då sannolikheten att brand uppstår blir större.

Kommande avsnitt, *3.2.1 Urbanisering leder till att fler höghus byggs*, bidrar till att skapa förståelse kring varför det är viktigt att bostäder finns tillgängliga med ett attraktivt läge. Efterföljande avsnitt, *3.2.2 Specifika brandkrav*, listar några av alla krav som finns för att brandklassa höghus och vad de innebär. Sista avsnittet, *3.2.3 Hur spridning förhindras*, förklarar åtgärder för att förhindra spridning av brand.

3.2.1 Urbanisering leder till att fler höghus byggs

Jordens totala befolkningsmängd uppgår idag till 7,3 miljarder och beräknas öka till 9 miljarder innan år 2050 (United Nations, 2014). Samma år förväntas den andel av befolkningen som bor i tätorter ha stigit till 66 procent jämfört med dagens 54 procent. Det är en väntad utveckling då det för 65 år sedan endast bodde 30 procent i tätorter. Den urbana befolkningen växer och det ställer höga krav på mer utrymme i världens städer.

I Sverige sker en liknande utveckling, år 2025 beräknas befolkningsmängden uppgå till 10 miljoner. Majoriteten förväntas vara bosatta i landets tre storstadsregioner, Stockholm, Göteborg och Malmö. På grund av ökande urbanisering och hög invandring har Sveriges storstadsregioner haft och kommer ha den största folkökningen (Boverket (2), 2012). Utöver det lever Sveriges befolkning även längre idag, fler barn föds och glesbygden förlorar dessutom många unga vuxna till storstadsregioner och universitetsorter. I *Figur 3.2* beskrivs Sveriges befolkningsutveckling från år 1970 till 2011 och den förväntade utvecklingen fram till år 2041.



Figur 3.2 Befolkningsutveckling i Sverige år 1970 till år 2011 och förväntad utveckling år 2011 till år 2041 (SCB, 2011). Återgiven med tillstånd.

Urbanisering leder till att efterfrågan på bostäder förändras. Ett centralt boende, med goda kommunikationsmöjligheter, i närhet till exempelvis skola, vård och arbete blir för många attraktivt och viktigt. Fler unga vuxna väljer att stanna kvar i städerna även efter att de bildar familj. Prognoser visar också att personer som når pensionsåldern är friskare, lever längre och oftare väljer att fortsätta arbeta trots uppnådd pensionsålder. Det leder till att fler av både den yngre föräldragenerationen och den äldre generationen stannar kvar i städerna.

Det ökande invånarantalet leder till att efterfrågan på bostäder växer, städer blir tätare och byggbar markyta mer sällsynt. För att tillfredsställa behovet krävs att städer kan utvidgas och när utbyggnad av städer inte längre är möjlig eller tillräcklig på bredden måste tillväxten ske på höjden. Enligt Boverket kommer i framtiden byggnation av höga bostadshus fortsatt öka, detta för att behovet av utrymme ska kunna tillgodoses (Boverket (2), 2012).

I alla typer av byggnader är målet att hålla brandrisken så låg som möjligt. Gällande höghus är det extra viktigt då det finns fler människor att evakuera om en brand utbryter. Fler städer i Sverige växer med avseende på befolkning och höga byggnader, vilket medför mer ansvar och krav som måste uppfyllas.

3.2.2 Specifika brandkrav i höghus

Byggnader har olika krav på brandsäkerhet, ju högre en byggnad är desto viktigare är utrymning och bärförmåga. Enligt Boverkets regler byggklassas bostadshus med fler än tre våningar som Br1-byggnader. Krav på bärverk och bjälklag varierar med antal våningsplan. Från våningsplan fem och högre höjs vertikala samt stomstabiliserande horisontella bärverk från R60 till R90. Detta krav kan uppfyllas genom att förstärka bärverken med grövre balkar (Boverket (1), 2012). Vid fler än åtta våningsplan blir kraven fler och svårare att uppnå, fokus läggs främst på utrymning. Fler personer befinner sig längre ifrån marken vilket medför längre utrymningstid.

När åtta våningar passeras höjs kraven drastiskt. De krav och rekommendationer som höjs är många och vissa kräver mycket arbete och medför stora kostnader (Boverket (1), 2012). Enligt Boverket ska bland annat trapphus uppnå Tr2 och vara trycksatta jämfört med tidigare då endast Tr2-klassificering var nog. Trycksättning hindrar spridning av brandgas till trapphuset, vilket gör både utrymning och räddningsarbete effektivare och säkrare. Trapphusen måste dessutom vara i direkt anslutning till fri utomhusluft.

Enligt krav ska det finnas stigarledningar till släcksystem i trapphus och nödbelysning i alla utrymningsvägar. Anslutande dörrar till trapphus bör som lägst ha klass EI60-SmC jämfört med tidigare EI30-SmC. Det ska även finnas automatiska släcksystem och sprinklersystemen bör höjas från typ 2 till typ 3. Fasadbeklädnad måste dessutom ha högre klass för att förhindra spridning av brand.

Vid fler än 16 våningsplan höjs byggnadsklassen till Br0, då ska alla brandskydd verifieras med analytiskt dimensionerat brandskydd. Med detta menas att föreskrifterna i Br1, förenklad dimensionering, måste omprövas specifikt i varje punkt för att kraven ska uppnås. Vid verifiering bör särskild hänsyn tas till byggnadens brandskydd ur ett helhetsperspektiv (Boverket, 2013). Hus med fler än 16 våningar är idag ovanliga i Sverige. Kraven höjs ytterligare, det mest omfattande är att krav på minst ett trapphus i Tr1 vilket är kravet över Tr2. Krav som höjts i Tr1 är bland annat att det måste finnas brandsluss mellan trapphus och angränsande rum, trapphuset ska vara i direkt anslutning till det fria och det ska även vara trycksatt med anslutande dörrar med en högre klass.

3.2.3 Hur spridning förhindras

Vid utformning av lägenheter finns det, enligt BBR, specifika krav om vilka material som ska användas för att förhindra brandspridning till angränsande lägenheter (Boverket (1), 2012). Det vanligaste sättet att förhindra brandspridning är att utforma alla lägenheter som separata brandceller. För att brandceller ska fungera korrekt ska utsatta delar som brandstopp, elementförband och installationer utformas med noggrannhet och väggar, golv och tak ska vara obrännbara. Då omslutande väggar, golv eller tak är tillverkade i brandbenägna material måste dessa täckas av något som inte bidrar till brandbelastning. Vanligast är gips som är billigt, ljuddämpande och brandsäkert.

För att förhindra krypbränder måste brandgaser förhindras att spridas via glipor och springor. Hålrum måste då tätas med material som inte bidrar till brandspridning, detta kallas fullisolerade konstruktioner (Thureson, 2015). Utrymmen drevas med exempelvis stenull och lufttätas med silikon eller färdigtillverkade foglister. Med dessa insatser blir lägenheten tät och kan klassas som brandcell. Det finns fler åtgärder att vidta för att öka brandsäkerheten, men de är inga krav.

3.3 Höghus i trä

Kraven att inte bygga högre än två våningar i trä upphörde i samband med att Sverige gick med i EU (Boverket, 2014). Kraven ändrades från att vara materialbaserade till att istället baseras på funktion. Det blev nu möjligt att bygga höga hus i trä då materialet inte längre hade samma begränsande krav, att uppfylla de nya funktionskraven blev möjligt med rätt metoder.

3.3.1 En växande trend

För att byggföretag ska kunna uppfylla kundernas önskemål måste de anpassas till vad som efterfrågas på marknaden. Miljöfrågan blir viktigare inom alla typer av verksamhetsområden, även byggbranschen (Stehn, Rask, Nygren, & Östman, 2008). Det blir viktigare att bygga med miljöanpassade material och produkter, vilket är en av anledningarna till varför trä har blivit mer populärt att bygga med. Trenden är inom husbranschen tydlig, det är miljötänk som är i fokus (Holmberg, 2015). De senaste åren har fler än 50 flerbostadshus högre än tre våningar byggts med trästomme i Sverige (Falk, 2009).

Vid husbyggnation är det viktigt att arkitekturen utvecklas och anpassas med tiden. Trä uppfattas allmänt vara ett material som bidrar till bättre trivsel i hemmet och ser modernt ut på grund av att det speglar miljömedvetenhet. Att vara samtida med det arkitektoniska tillsammans med miljöargument har stor betydelse vid marknadsföringen av byggprodukter och system av trä.

3.3.2 Tekniken att bygga trähöghus

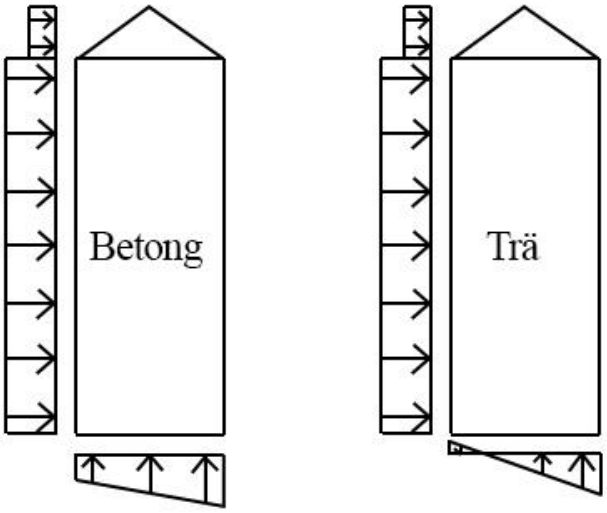
Vid produktion av trähöghus finns två möjliga tillvägagångsätt. Antingen byggs huset med en prefabricerad konstruktion eller platsbyggt. De flesta av Sveriges redan befintliga trähus är platsbyggda, idag är det dock vanligast att bygga med prefabricerade hus (Svenskträ, 2012).

Vid monteringen av prefabricerade trästommar kan installatörer påbörja arbetet direkt vid färdigställt våningsplan och behöver inte invänta att resterande våningsplan blir klara. Installationer kan även göras i modulen redan i fabrik, beroende på vilka prefabricerade

moduler som används. Detta medför att monteringen av ett prefabricerat trähöghus går fort då färre installationer är beroende av varandra.

Tillverkning och montering av platsbyggda trähöghus skiljer mycket från prefabricerade trähöghus eftersom varje del måste monteras på plats. Den extra tid som krävs för montering kompenseras med möjligheten att kunna utforma huset efter kundens önskemål. Precis som i prefabricerade trähöghus kan installatörerna påbörja arbetet även om våningsplanet ovan inte är fullständigt monterat.

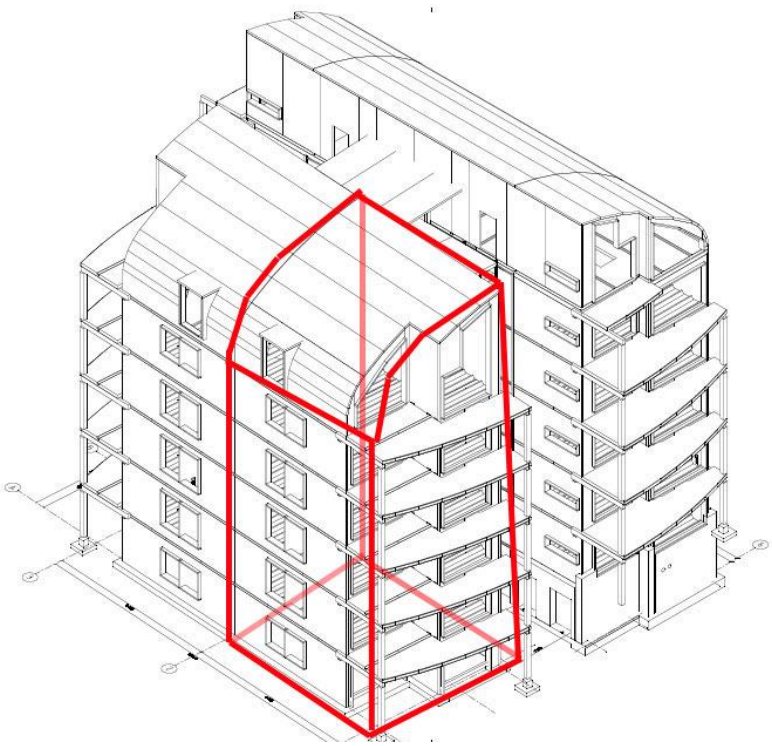
Träets lätthet medför stor känslighet för stora vindlaster då dess egentyngd är låg. Detta hanteras med en grundplatta som fungerar som ett ankare. Alla våningsplan måste vara förankrade i varandra i så väl tryck som drag men samtidigt kunna röra sig i sidled utan att stjälpning orsakas, se *Figur 3.3* för jämförelse mellan betong och trä hus med pålagd vindlast. Träbyggnaden får dragspänningar vilket betongbyggnaden inte får på grund av att den har större egenvikt.



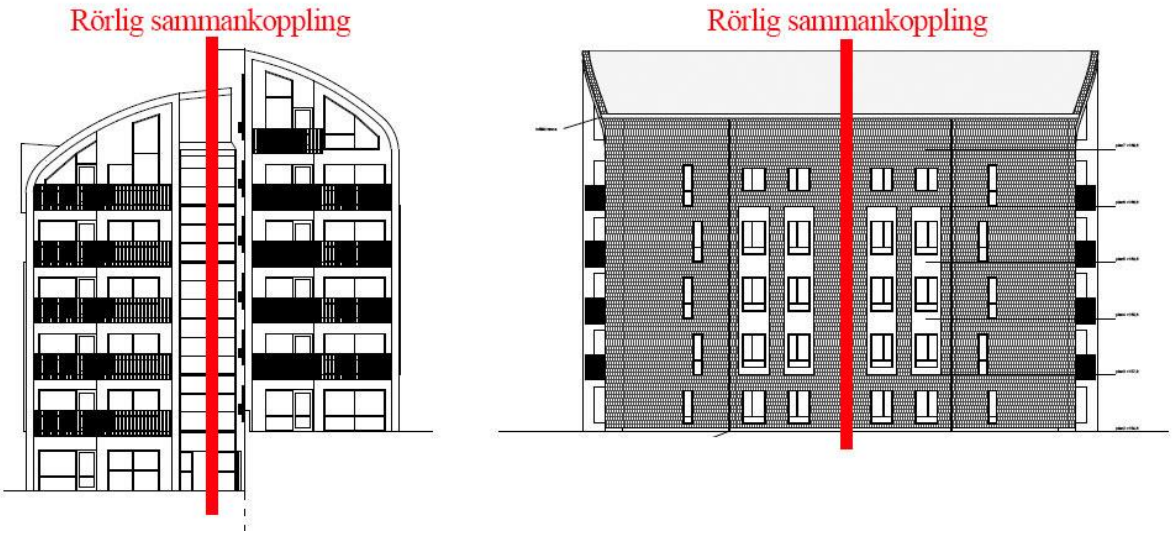
Figur 3.3 Illustrerad betong- och träbyggnad med pålagd vindlast från sidan.

Problemet med stjälpning har vid flertalet trähöghus i Sverige lösts på liknande sätt. De lägenheter som ligger ovanpå varandra är sammansatta i form av höga pelare som är förankrade till varandra med rörliga kopplingar.

Enligt Magnus Almung (personlig kommunikation, 10 Maj 2015) användes den metoden vid byggnationen av flerbostadshus i trä på Åsbovägen, se *Figur 3.4* och *Figur 3.5* i Fristad utanför Borås.

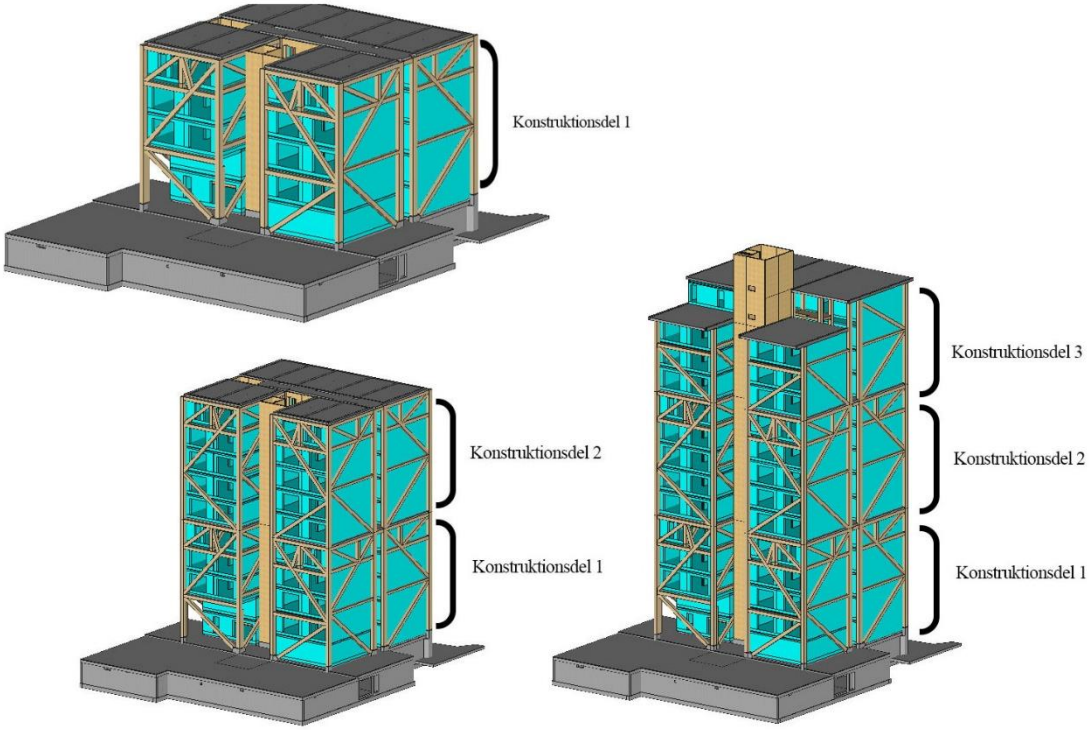


Figur 3.4 Husbyggnation i form av fyra stycken pelare fritt sammankopplade, Åsbovägen, Borås (FRIBO, 2013). Återgiven med tillstånd.



Figur 3.5 Illustration över var rörliga sammankopplingar är gjorda, Åsbovägen, Borås. (FRIBO, 2013). Återgiven med tillstånd.

I huset *Treet* beläget i Bergen, Norge, har konstruktionen delats upp i tre större konstruktionsdelar som slutligen monterats ihop till ett slutligt hus på 14 våningar (Abrahamsen & Malo, 2014). Första och andra konstruktionsdelen består av fem våningsplan och den tredje består av fyra. Varje konstruktionsdel stelmonteras i den bärande stommen men fästs inte i varandra för att förhindra stjälpning. Detta resulterar i att de tre konstruktionsdelarna kan röra sig oberoende av varandra, se *Figur 3.6.*



Figur 3.6 Konstruktionsdelar 1, 2 och 3. (Abrahamsen & Malo, 2014). Återgiven med tillstånd.

Det *Treet* har till sin fördel är att den bärande konstruktionen inte är täckt. Detta underlättar arbetet för räddningstjänst och ingenjörer som kan säkerställa att inga skador finns på bärande balkar efter eventuell brand (Abrahamsen & Lothe, 2014).

3.3.3 Efterarbete vid brand

Brand i höghus medför alltid efterarbete, bland annat rök- och vattensanering och reparation av diverse skador. Enligt Martin Lindgren (personlig kommunikation, 12 Maj, 2015) kontaktas vanligtvis försäkringsbolagen direkt efter besked har nått husförvaltaren om att brand har utbrutit i huset. Om möjlighet finns vill försäkringsbolagen att saneringsfirmorna finns på plats så fort brandmännen har släckt branden och gett klartecken för dem att gå in. Desto tidigare saneringsfirmorna kan påbörja arbetet desto lindrigare blir skadorna och efterarbetet blir mindre omfattande.

3.3.4 Kostnad vid brand

Den genomsnittliga kostnader för åtgärder som säkerställer brandsäkerheten i en bostad, oavsett konstruktion och material, ligger enligt Bijan Adl-Zarrabi (personlig kommunikation, 17 februari, 2015) på fem till tio procent av den totala byggkostnaden.

Brand medför alltid kostnader för reparationer eller rivning. En jämförelse av kostnader har gjorts mellan flerbostadshus konstruerade i trä och betong (Lundberg, 2005). Jämförelsen beskriver skillnader i kostnader vid brand i konstruktioner av de olika materialen samt skillnader i risk att storbrand utbryter. Med storbrand menas de bränder där totaltkostnaderna för de skador som orsakats av branden överstigit 1,5 miljoner kronor. De bränder som studerats är 125 stycken storbränder mellan åren 1995 och 2004, 70 av dessa var i trä och resterande 55

i betongkonstruktioner. Resultaten av jämförelsen visar att kostnaderna vid brand i en träkonstruktion blir nästan fem gånger dyrare än vid brand i betong samt risken att en storbrand ska utbryta är 11,5 gånger högre i träbyggnader. I de 55 fall då storbrand utbrutit i betongkonstruktioner var det i 26 av fallen endast vindsvåningen som brunnit och orsakat skador, vindsvåningarna var i dessa fall konstruerade av trä och papp.

Vid försäkring av trähus blir försäkringspremien alltid mer än dubbelt så hög i jämförelse med hus i betong eller stål enligt Erik Salén (personlig kommunikation, 13 Maj, 2015). För att få huset försäkrat kräver försäkringsbolagen att alla möjliga risker och planerade lösningar redovisas av en brandingenjör. Möjliga framtidsprojekt med trähöghus upp mot 20 till 30 våningar kommer vara svåra att få försäkrade på grund av de ökade brandriskerna. Det ligger i försäkringsbolagens intresse att regelbundna kontroller utförs för att garantera att huset är i gott skick.

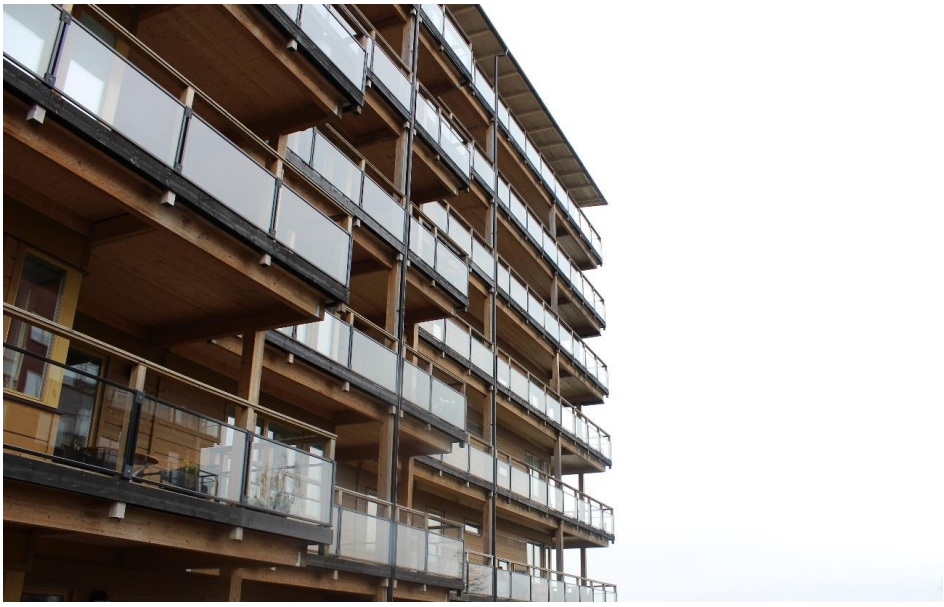
3.3.5 Genomförda projekt

Under de senaste 21 åren har byggbranschen utvecklats och det finns idag flera trähöghus med upp till åtta våningar. I avsnittet, *3.3.5.1 Limnologen i Växjö,* beskrivs träkvarteret som anses vara det första höghuset i trä som byggdes i Sverige (Falk, 2009). Efterföljande avsnitt, *3.3.5.2 Studentboendet Klintbacken i Luleå,* behandlar den enda kända storbranden som i Sverige skett i ett modernt trähöghus (Östman & Stehn, Brand i flerbostadshus av trä - Analys, rekommendationer och FoU-behov, 2014).

3.3.5.1 Limnologen i Växjö

År 2006 påbörjades byggandet av kvarteret Limnologen invid sjön Trummen i Växjö, ett bostadsområde som vid uppförandet var Sveriges högsta flerbostadshus byggt helt i trä (Midroc, 2015). Kvarteret består av fyra åttavåningshus där både stomme, bjälklag, väggar och hisschakt är konstruerade i massivt trä. Endast första våningen är gjord i betong för att ge husen tillräcklig stabilitet. Projektet Limnologen var i egenskap av pilotprojekt under hela byggprocessen noga dokumenterat och övervakat för att insamlad fakta skulle kunna användas till andra, kommande byggnationer av höga hus i trä. En långsiktig forskningsprocess pågår i samarbete med bland andra Linnèuniversitetet och träindustrin.

För att kunna säkerställa brandsäkerhet i huset har brandsprinkler monterats, något som inte är ett krav men som medförde att vissa andra åtgärder inte behövde göras då den totala brandsäkerheten var tillräckligt hög (Frantz, 2008). Det gjorde ändå att den totala kostnaden för brandsäkerheten blev aningen högre än nödvändigt. Varje lägenhet är en egen brandcell, likaså trapphus, hisschakt och andra utrymmen. För att skydda trästommen kläddes den in i gips och träullsplattor på insidan av huset, på yttersidan är stommen fullt synlig, se *Figur 3.7*.



Figur 3.7 Limnologen, Växjö. Egentagen bild.

3.3.5.2 Studentboendet Klintbacken i Luleå

Branden i det fem våningar höga studentbostadent, Klintbacken i Luleå är den enda storbranden i ett modernt trähöghus som rapporterats i Sverige (Östman & Stehn, Brand i flerbostadshus av trä - Analys, rekommendationer och FoU-behov, 2014). Branden skedde hösten 2013 och var resultatet av att en spis fattade eld på översta våningen. Branden spreds via fläkten vidare i ventilationssystemet där ventilationskanalen blev kraftigt upphettad. På vinden fanns brännbart material som antände och spred branden vidare. Takkonstruktionen brann av och branden spreds fortsatt nedåt i konstruktionen. Ingen blev skadad i branden men byggnaden blev totalförstörd. *I Figur 3.8* visas konsekvenserna av branden.

Det var vid färdigställandet av byggnaden fastställt att alla, enligt BBR, ställda krav var uppfyllda. Trots det blev konsekvenserna av branden förödande. Anledningen har genom undersökning visats vara felkonstruktion av flera detaljlösningar. Kontroll av ventilationen visades varit ofullständig då kraven för denna inte uppfyllts. Det fanns otätheter i brandisoleringen som branden kunden spridas via.

Ett annat misstag var användning av inplastade brandstopp i anslutningen mellan yttervägg och modul vilket bidrog till brandspridning nedåt i byggnaden. Det fanns heller inget specifikt brandskydd eller sektionering på vinden. Att detta ska finnas är dock bara rekommendationer enligt BBR. Se *Figur 3.8* för skadornas omfattning på grund av branden.

Figur 3.8 Studentbostaden efter brand och grannhuset (Lindh, 2014). Återgiven med tillstånd.

3.3.6 Framtidsprojekt

Planerade byggnadsprojekt av trähöghus med fler än åtta våningar börjar byggas på olika platser i Sverige och utvecklingen sker även i andra delar av Europa (Nord & Brege, 2013). I USA finns flervåningshus med trästommar sedan långt tillbaka och med de rådande utvecklingsfrågorna inom miljö, ekonomi och boendeformer har det kommit att bli vanligare inom byggbranschen runt om i världen. I Sverige är det fortfarande relativt nytt att bygga höghus i trä och nu börjar även byggprojekt som utmanar arkitekturen och tekniken i världen dyka upp.

3.3.6.1 Stockholm bygger trähöghus

I Stockholm finns planer på att bygga höghus i trä med fler våningar än som tidigare gjorts, vilket utmanar byggbranschen (Walldén, 2014). HSB hade under år 2013 en tävling för att rösta fram ett byggprojekt som ska stå färdigt vid sitt 100-årsjubileum. En skyskrapa på 34 våningar, en höjd på 100 meter helt i trä stod som vinnare. Arkitektsamarbetet Berg CF Möller/DinellJohansson har ritat huset som ska stå på Västerbroplan. HSB är dock inte ensamma om att vilja bygga högt i trä, även Folkhem har planer på ett tröhöghusprojekt. (Asplind, 2014). Ett trähöghus har planerats att byggas i Sundbyberg på 22 våningar, 65 meter högt och helt byggt i gran och furu. Byggstarten är planerad till år 2016 men all formalia är inte helt klart. Bromma flygplats som ligger mindre än tre kilometer från den planerade byggplatsen har haft invändningar över byggprojektet på grund av flygtrafiken. Planerandet av det höga huset har därför inte färdigställts och är än så länge inte mer än ett förslag. Det som kommer avgöra om de två ovanstående byggförslagen kommer gå igenom beror på om alla inblandade parter godkänner och finner att kraven är möjliga att uppnå.

3.3.6.2 Höghus i Wien

Det finns inga helt klara planer på trähus med fler än åtta våningar i Sverige, men det finns dock i Österrike. År 2017 ska enligt *the Guardian* världens högsta trähus stå klart i Wien (French, 2015). Projektet kallas *HoHo*, det ska bli 25 våningar, 84 meter högt och kostnaden beräknas till 45 miljoner Euro. Vidare hävdar *the Guardian* att tre fjärdedelar av bygganden kommer bestå av trä och kärnan kommer vara i betong. Byggprojektet kräver mycket planering och ett gott samarbete med räddningstjänsten i Wien för att säkerställa att det blir tillräckligt brandsäkert.

3.3.7 Åsikter om att bo i trähöghus

”Om du fick möjligheten att flytta in till en ny lägenhet i ett höghus helt byggd i trä, skulle du överväga att inte flytta dit på grund av brandrisken?”

Frågan som nämns ovan ställdes av Fredrik Bergfeldt på hemsidan facebook.com som vände sig till de som kunde tänka sig att delta. Totalt svarade 54 personer och 47 personer svarade nej, tre svarade ja och resterande svarade tvetydligt (Bergfeldt, 2015). Av de 50 tydligt svarande personerna var två insatta inom ämnet brand, deras svar var ja respektive nej. Enligt undersökningen överväger personer inte möjliga brandrisker vid inflyttning till en lägenhet i ett höghus av trä.

Vid jämförelse mellan ovan nämnda resultat och med de intervjuer som gjorts tillsammans med de som dagligen arbetar med brand. D. Widman, P.Thuresson, B. Andersson, E. Salén och M. Lindberg visades en skillnad. Samtliga intervjuade svarade att de hade krävt att se brandrisklösningarna för att överväga inflyttning.

4 DISKUTERANDE SLUTSATSER

De krav som tidigare begränsade träbyggande var materialbaserade jämfört med dagens funktionsbaserade. Trä har visat sig kunna uppfylla kraven vilket har lett till att nya möjligheter för bland annat arkitekter, konstruktörer, hantverkare och kunder har öppnats upp. Möjligheterna medför dock risker då det blir avgörande att kraven måste följas och uppfyllas, inte bara på papper utan även i verkligheten. I trästommar sker spridning av brand snabbare och lättare än i andra material, kraven har då en betydande roll för att förhindra förödande konsekvenser. Högre krav ställs på att alla inblandade parter utför sitt jobb på rätt sätt. Konstruktionen måste utformas korrekt, detaljutformningen måste vara felfri och kontroller av byggnaden måste utföras med stor noggrannhet.

När kraven omformades och trä inte längre begränsades på samma sätt ökade intresset för materialet. Även kombinationen av att det är nytänkande, miljövänligt och för många estetiskt tilltalande har bidragit till de senaste årens ökning. I de projekt som byggts har trä inte alltid varit det främsta alternativet men har ändå valts på grund av kundens efterfrågan. Ur brandsynpunkt är till exempel betong överlägset trä, det är obrännbart och bidrar inte till extra brandbelastning. Det som dock talat för valet av trä är miljöaspekten, där trä är avsevärt bättre än både stål och betong. Klimatsmarta val ställs i proportion till bland annat kostnader och funktion för att det mest lönsamma valen ska kunna göras. Idag väger miljötänk ofta tyngre vilket gör att trä gärna väljs. Trenden med miljömedvetenhet är troligtvis icke övergående vilket tyder på att trä även kommer väljas i framtiden.

En annan viktig aspekt inför framtiden är den ökande urbaniseringen. Det finns anledning att tro att byggandet av högre hus kommer tillta för att efterfrågan på bostäder ska kunna mötas. Ofta görs valet att bygga på höjden även om utrymme att bredda staden finns. Detta för att uppnå en modern, tät stad där fler har nära till allt. En trolig följd till urbanisering i kombination med miljötänk är att höghus i trä kommer byggas i större utsträckning.

En viktig del i det moderna samhället är elektronik. Användning av elektriska produkter har ökat och kommer troligtvis fortsätta öka. Det medför större brandrisk, elbränder har enligt undersökning ökat kraftigt de senaste åren. Brandrisken kan öka om fler elprodukter används i hemmet samt om installationen görs på egen hand utan professionell hjälp. Utvecklingen av det elektroniska samhället kan dock även ha sina fördelar. Glömd spis är till exempel den största brandorsaken i hem, vilket kan motverkas då moderna spisar vid inaktivitet stänger av sig själva.

Om brand uppstår och eld tar fäste i konstruktionen finns risk att hela byggnaden blir obrukbar. Även om konstruktionen håller kan fukt- och rökskador göra byggnaden obeboelig. Reparationskostnaderna kan överstiga kostnaden för rivning och uppbyggande av ett nytt hus. Detta kan leda till orimligt höga försäkringspremier eller till svårigheter med att få byggnaden försäkrad. Den här faktorn kan bli avgörande om det är värt att bygga huset överhuvudtaget.

Det finns både fördelar och nackdelar med att bygga höga hus i trä. Materialet är billigt att avverka och Sverige har en hållbar modern och framtida skogsindustri. Eftersom materialet är lätt till tyngden är det både enkelt och billigt att transportera samt kostnader för exempelvis lyftkranar bli billigare. Förarbetet av markgrunden blir inte heller lika omfattande som vid exempelvis betongbyggnad på grund av materialets lätthet. Punktlighet vid leverans blir inte lika avgörande som vid byggnation med betong som är en färskvara. Eftersom trä inte heller kräver någon torktid kan personer från olika yrkesgrupper arbeta samtidigt. Detta gör att produktionstiden och därmed kostnaden för byggnationen blir lägre. Utöver detta är rivningskostnader också billigare.

Materialets lätthet kan även vara negativt sett ur ett kostnadsperspektiv. Vid högre konstruktioner blir vindlaster ett stort problem och byggnader måste förstärkas för att stå emot dessa, för att lösa detta krävs tid och kompetens. Konstruktioner i trä är även mycket känsliga för defekter, vilket ställer höga krav på projektering och utförande. Defekt material måste bytas ut och om detta upptäcks på bygget kostar det både tid och pengar. Även brandsäkring av trähus blir dyrare jämfört med andra hus då fler åtgärder måste genomföras. Trä behövs exempelvis isoleras och behandlas med brandskyddsmedel.

Vår allmänna uppfattning är att personer med neutral kännedom om trä och brand inte ser några problem med att bo i höghus av trä. Uppfattningen är även att brandrisken inte är ett större orosmoment hos kunden överlag. Boende förutsätter att konstruktionen är brandsäker och ägnar ingen tanke på att den inte skulle vara det. De personer med mer kunskap om byggnation i trä är dock skeptiska och ser brandrisken som en för stor risk. De skulle i regel avstå från att flytta in i ett höghus byggt i trä utan att först sett brandrisklösningarna. Detta tyder antingen på okunskap hos den generella befolkningen eller på att yrkeserfarna har blivit exponerade för slarv i byggbranschen. Gemene man har stort förtroende för den svenska byggindustrin och funderar inte över möjliga konsekvenser vid eventuell felkonstruktion.

För att svara på frågan om det går att bygga brandsäkra höghus i fler än åtta våningar blir svaret ja. Träkonstruktioner kan uppfylla de krav som idag finns och det är möjligt rent tekniskt att bygga höghus i trä. Den egentliga frågan att besvara blir istället om det är värt det.

Idag verkar det inte vara lönsamt att bygga högre än åtta våningar. Går priserna ned kan det däremot i framtiden bli mer vanligt. Rapporten tyder dock på att det är mer lönsamt att bygga lägre byggnader med upp till åtta våningar och utvecklingen verkar snarare gå mot ett mer utbrett byggande av dessa.

4.1 Diskussion

Ur ett ekonomiskt perspektiv finns det som tidigare nämnt både för- och nackdelar med materialet. Det är idag dyrare att bygga höghus i trä än i stål och betong. Kostnaderna är fortfarande väldigt höga, både för de som producerar och för de boende. Problemet som uppstår är att bara en viss samhällsgrupp kommer ha råd att flytta in i lägenheterna. Vi tror dock på en framtid där det kommer bli mer lönsamt att bygga med trä som stommaterial, att konstruktioner kommer bli billigare desto fler som tillverkas. Via forskning kommer antagligen nya, billigare lösningar och sätt att hantera materialet att utvecklas. Exempelvis tror vi att moduler kommer bli standard vid byggnation av trähöghus.

Det främsta argumentet för att bygga i trä är miljön. Trä är på dagens marknad det absolut mest miljövänliga byggnadsmaterialet och det enda som är baserat på en oändlig resurs. Att sträva efter att uppnå ett klimatneutralt samhälle är för oss viktigt och vi tror att byggbranschen har ett stort ansvar om detta ska ske. Miljökraven har tidigare höjts och om de skulle höjas ytterligare kan det medföra att trä blir ett ännu mer attraktivt material. Om nyttjandet av trä skulle öka markant kan Sveriges skogsproduktion komma att pressas och intensivodling bli mer använt. Nackdelarna med intensivodling är tidigare beskrivna och en utbredd odling kan istället ge en negativ miljöpåverkan. Med det sagt anser vi att produktionsökningen bör ske inom rimliga ramar.

Då träkonstruktioner kan uppfylla brandkraven ser vi inget fel med att använda materialet. Brister ligger inte i trä som material utan hos de som hanterar materialet. Oavsett om det finns krav som i teorin följs har det ingen betydelse om de inte följs i praktiken. Det förekommer fuskarbeten inom byggbranschen och slarv kan förekomma då byggen är under tidspress.

Studentbostadsbranden i Luleå är ett exempel på en situation där de trodde att kontroller utförts korrekt men som sedan visade sig vara ofullständiga. Huset brann ner vilket hade kunnat förhindras om byggnationen och kontroll utförts korrekt.

En faktor som vi tycker är viktig att poängtera är att den som flyttar in i en bostad har ansvar att själv påverka sitt brandskydd. Oavsett stommaterial och inom vilka ramar byggföretagen bygger, gällande krav och rekommendationer, beror bränders uppkomst och spridning på hur mycket antändningsbart material och inredning det finns i bostaden. Vad som är viktigt att veta är att sannolikheten att brand uppstår inte är större i trähus än i hus av betong eller stål. Kostnader och skador blir dock betydligt mer omfattande för trähus med avseende på brand och vattenskador.

Vi tycker att byggprocessen av trähöghus ska bli längre generellt. Med det menar vi rimlig tid för att kunna bygga husen med god kvalitet som till slut klarar skärpta kontroller. Vi är medvetna om att en längre byggtid leder till högre kostnader vilket kan minska intresset av trä som byggnadsmaterial. Detta anser vi ändå väga tyngre än risken att brand utvecklas och liv utsätts för fara. Eftersom vi ännu inte byggt trähöghus med fler än åtta våningar i Sverige finns ingen erfarenhet om hur brand hanteras i dessa hus. Därför är det bättre att bygga noggrant redan från början och stå för de kostnader som krävs. Vi tror att trä som byggmaterial kommer bli billigare med utvecklad teknik och detta kan kompensera för byggtidens kostnader.

Vi tror att träets framtid som material vid byggnation av höghus kommer bero mycket på hur kundernas syn på trä utvecklas. Om trenden med trähöghus fortsätter att öka och byggbranschen tillfredsställer kundernas krav kommer efterfrågan öka ytterligare. Däremot om någonting negativt händer, exempelvis om en storbrand utbryter i något av Sveriges befintliga eller framtida projekt, finns risken att många kunder blir avskräckta och synen på risken med att bo i ett trähöghus kan komma att ändras. Vi tror att byggandet av höghus i trä kommer öka så länge inga stora bränder sker och hotar utvecklingen. I första hand är det ändå kunden som avgör vad som byggs, och om ingen vågar bo i husen är det lönlöst att bygga. Det kan också vara så att trä börjar användas mer i samverkanskonstruktioner med stål och betong.

4.2 Rekommendationer

Följande rekommendationer är förslag från gruppen på hur brandsäkerhet skulle kunna hanteras annorlunda i framtiden, gällande krav i BBR.

I lagen om skydd mot olyckor finns det krav på att det i varje hem ska finnas ett skäligt brandskydd. Vad som är skäligt är dock inte definierat. Alla byggprojekt följer kraven i BBR och därför är det där alla förändringar måste ske. BBR består till viss del av krav men i första hand av rekommendationer som är fria att tolkas och följas. Många rekommendationer skulle kunna omformas till krav, både för att göra dem lättare att följa men även för att en högre brandsäkerhet ska kunna garanteras. Risk finns att rekommendationerna inte följs på grund av exempelvis oönskade kostnader. En rekommendation vi tycker bör omformas till krav är sprinkler i varje trähöghus. Ett annat förslag är installation av centrallarm vilka larmar räddningstjänsten direkt i händelse av brand.

Vi tycker att vid uppförandet av en ny byggnad bör alla relevanta parter involveras och ta del av hur byggnaden är utformad och dess detaljlösningar. Det är viktigt att ansvarsfördelningen är tydlig och att den som har det övergripande ansvaret tidigt kommunicerar med resterande parter. Exempelvis räddningstjänst, försäkringsbolag, konstruktör och alla andra involverade bör vara lika insatta i projektet från början till slut. Det kan vara väsentligt att en tredje part, exempelvis en byggnadsinspektör, kontrollerar projektet. Alla aspekter så som

detaljutformning, befintligt brandskydd, besiktningsområden och besiktningsansvar måste kontrolleras extremt noggrant vid byggnation av trähöghus. Det är viktigt att räddningstjänsten känner till byggnaders konstruktionslösningar för att kunna agera effektivt i händelse av brand.

5 KÄLLHÄNVISNINGAR

Abrahamsen, R. B., & Lothe, J. H. (den 3 Oktober 2014). *Sweco den 17 Maj 2015*. Hämtat från Treet: http://www.sweco.no/no/Norway/Nyheter/2014/Webcam_Treet/

Abrahamsen, R. B., & Malo, K. A. (2014). *STRUCTURAL DESIGN AND ASSEMBLY OF "TREET".* Bergen: Sweco. Hämtat från http://www.sweco.no/Global/Norway/Areas%20of%20operation/Bygg%20og%20konstruksjoner/Projects/STRUCTURAL%20DESIGN%20AND%20ASSEMBLY%20OF%20%E2%80%9CTREET%E2%80%9D%20-%20A%2014-STOREY%20TIMBER%20RESIDENTIAL%20BUILDING%20IN%20NORWAY.pdf

Adl-Zarrabi, B. (den 13 februari 2015). Universitetslektor/Forskargruppledare. (F. Bergfeldt, H. Ahrens, N. Cronemyr, & E. Hällerstål, Intervjuare)

Almung, M. (den 10 maj 2015). Arkitekt, Tengbom Arkitekter. (F. Bergfeldt, Intervjuare)

Anderberg, K. &. (2000). *Concrete spalling review*. Göteborg: FSD.

Andersson, B. (den 13 maj 2015). Driftsingenjör. (F. Bergfeldt, Intervjuare)

Asplind, B. (den 12 december 2014). *Fastighet och bostadsrätt*. Hämtat från Världens högsta trähus byggs i sundbyberg: http://www.fastighetochbostadsratt.com/Industriellt-byggande/53848-Varldens-hogsta-trahus-byggs-i-Sundbyberg.html

Augustsson, Y. (den 25 augusti 2014). *Bygg- och rivningsavfall*. Hämtat från Naturvårdsverket: https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Avfall/Avfallsforebyggande-program/Bygg--och-rivningsavfall/

Bengtsson, L.-G. (2001). *Inomhusbrand.* Hämtat från MSB den 22 april 2015: https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/17521.pdf

Bergkvist, P., & Fröbel, J. (december 2013). *Att välja trä.* Hämtat från Svenskträ: http://www.svenskttra.se/MediaBinaryLoader.axd?MediaArchive_FileID=d29f9522-ac5a-47b6-8f20-522578249af7&FileName=Att+v%C3%A4lja+tr%C3%A4+-+nionde+upplagan+2014.pdf

Boberg, A. (den 12 juli 2013). *Vanliga frågor till oss*. Hämtat från Räddningstjänsten Storgöteborg den 15 mars 2015: http://www.rsgbg.se/Om-oss/Vanliga-fragor-till-oss/

Boverket (1). (2012). *Boverkets byggregler, BBR - 5 Brandskydd.* Boverket.

Boverket (2). (den 30 november 2012). *En urbaniserad värld*. Hämtat från Boverket den 5 april 2015: http://sverige2025.boverket.se/en-urbaniserad-varld.html

Boverket. (2013). *BFS 2013:12 - BBRAD 3.* Boverket. Hämtat från https://rinfo.boverket.se/BBRAD%5CPDF%5CBFS2013-12-BBRAD3.pdf

Boverket. (den 24 juni 2014). *BBR från 1994 den 18 maj 2015*. Hämtat från Boverket: http://www.boverket.se/sv/lag--ratt/aldre-lagar-regler--handbocker/aldre-regler-om-byggande/bbr-fran-1994/

Brandskyddsföreningen (1). (2015). *Brandskydd i hemmet*. Hämtat från Brandskyddsföreningen den 27 februari 2015: http://www.brandskyddsforeningen.se/i-hemmet/brandskydd

Brandskyddsföreningen (2). (2015). *Brandskyddsföreningen*. Hämtat från Elbränder den 1 mars 2015: http://www.brandskyddsforeningen.se/pa-arbetet/valj-omrade-har/elbrander

Burström, P.-G. (2013). *Byggnadsmaterial.* Lund: Erlanders Beijing Printing Co. Ltd.

Casco. (2015). *Brandförloppet - Otäckt snabbt*. Hämtat från Casco den 28 april 2015: http://www.casco.se/index.php?contentID=1125

Falk, J. (2009). Nu utmanas betongen. *Forskning och framsteg*, http://fof.se/tidning/2009/4/nu-utmanas-betongen#overlay=tidning/2009/4/nu-utmanas-betongen.

Flyckt, R. (februari 2010). *SkogsEko*. Hämtat från Skogsstyrelsen den 5 maj 2015: http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Skogsbruk/Skogseko/Artikelregister/SkogsEko-22010/Intensivodling-pa-gott-och-ont/

Frantz, Å. (2008). *Limnologen – Inblick i svenskt träbyggande.* Växjö: Växjö Universitet. Hämtat från http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:205942/FULLTEXT01.pdf

French, M. (den 1 mars 2015). Vienna plans world's tallest wooden skyscraper. *The Guardian den 5 maj 2015*. Hämtat från http://www.theguardian.com/cities/2015/mar/01/vienna-plans-worlds-tallest-wooden-skyscraper

Holgén, P. (den 23 september 2002). *Frågelådan*. Hämtat från SkogsSverige den 5 maj 2015: http://skogssverige.se/vilka-ar-de-vanligaste-traslagen-for-husbyggnation-i-sverige

Holmberg, A. (den 4 Mars 2015). Arkitekt, Smedshammar & Holmberg. (L. Fredriksson, Intervjuare) Hämtat från https://www.byggahus.se/arkitektur/tre-arkitekter-om-trender

Kinnwall, M. (den 20 april 2015). *Branschfakta*. Hämtat från Skogsindustrierna den 28 april 2015: http://www.skogsindustrierna.org/branschen/branschfakta

Liljebäck, L.-E. (den 30 januari 2013). *Genombrott för trä i höga hus*. Hämtat från Naturvetarna: http://www.naturvetarna.se/Om-oss/Tidningen-Naturvetare/Artikelarkiv/Nr-1-2013/Genombrott-for-tra-i-hoga-hus/

Lindgren, M. (den 12 maj 2015). Brandingenjör, Räddningstjänsten Storgöteborg. (F. Bergfeldt, Intervjuare)

Lundberg, O. (2005). *Brand i flerbostadshus.* Betongforum.

Midroc. (2015). *Sveriges högsta nybyggda bostäder i trä*. Hämtat från Midroc den 5 maj 2015: http://mpd.midroc.se/sv/Referenser/Vaxjo-Limnologen.aspx

Nord, T., & Brege, S. (2013). *Världen för världen.* Linköping: Linköping universitet. Hämtat från http://www.trabyggnadskansliet.se/MediaBinaryLoader.axd?MediaArchive_FileID=90f5a737-81b3-46e7-98e2-

56521f369dc2&FileName=V%C3%A4rden+f%C3%B6r+v%C3%A4rlden_Tomas+Nord.pdf

Oneborg, T. (den 11 november 2011). Elbränder rekordökar på grund av hemmafix. *SvD den 1 mars 2015*. Hämtat från http://www.svd.se/nyheter/inrikes/elbrander-rekordokar-pa-grund-av-hemmafix_6626098.svd

Persson, B. (2006). Modern betongteknologi efter nya recept. *Husbyggaren*, 36. Hämtat från http://www.rollit.se/pdf/BertilPersson.pdf

Renovera Engergismart. (2015). *Engergianvändningens miljöpåverkan*. Hämtat från Renovera engergismart den 5 april 2015: http://www.renoveraenergismart.se/tips-pa-atgarder/energianvandningens-miljopaverkan/

Salén, E. (den 12 maj 2015). Försäkringssäljare, Länsförsäkringar. (F. Bergfeldt, Intervjuare)

SGU. (2015). *Gruvor och miljöpåverkan*. Hämtat från SGU den 2 mars 2015: http://www.sgu.se/mineralnaring/gruvor-och-miljopaverkan/

Stehn, L., Rask, L.-O., Nygren, I., & Östman, B. (2008). *Byggandet av flervåningshus i trä.* Luleå: Luleå tekniska universitet. Hämtat från http://epubl.ltu.se/1402-1536/2008/18/LTU-TR-0818-SE.pdf

Stålbyggnadsinstitutet. (2004). *Stålbyggnad.* Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet.

Svensktträ. (den 13 september 2012). *Ett nytt byggande för en ny tid.* Hämtat från Svensktträ den 8 april 2015: http://www.svenskttra.se/MediaBinaryLoader.axd?MediaArchive_FileID=45550327-ccba-4ebd-9ef6-32186f4b6581

Thureson, P. (den 17 feberuari 2015). Biträdande Sektionschef SP Fire Research. (F. Bergfeldt, H. Ahrens, N. Cronemyr, & E. Hällerstål, Intervjuare)

Träguiden (1). (den 6 oktober 2014). *Träfasader*. Hämtat från Träguiden den 15 mars 2015: http://traguiden.se/om-tra/byggfysik/brandsakerhet/synligt-tra/synligt-tra/trafasader/

Träguiden (2). (den 1 september 2003). *Brandklasser för material och konstruktioner*. Hämtat från Träguiden den 22 februari 2015: http://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/brandsakerhet/brandklasser-for-material-och-konstruktioner/

Träguiden. (2015). *Om trä*. Hämtat från Träguiden: http://www.traguiden.se/om-tra/

United Nations. (2014). *World Urbanization Prospects.* New York: United Nations. Hämtat från United Nations den 24 april 2015: http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf

Walldén, M. (den 28 februari 2014). *Högt mot himlen*. Hämtat från Brandsäkert den 5 maj 2015: http://www.brandsakert.se/2014/0228/h%C3%B6gt-mot-himlen-%E2%80%93-hsb-bygger-tr%C3%A4skyskrapa

Widman, P. (den 1 november 2012). Nu har byggarna fått träsmak. *Fastighetstidningen den 4 maj 2015*. Hämtat från: http://www.fastighetstidningen.se/trahus/

Winberg(1), D. (den 8 April 2015). Brandingenjör. (F. Bergfeldt, Intervjuare)

Winberg(2), D. (den 28 April 2015). Brandingenjör. (F. Bergfeldt, Intervjuare)

Östman, B., & Stehn, L. (2014). *Brand i flerbostadshus av trä - Analys, rekommendationer och FoU-behov.* Stockholm, Luleå: SP Trä Stockholm, Luleå Tekniska Universitet. Hämtat från https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww-v2.sp.se%2Fpubl%2FViewDocument.aspx%3FRapportId%3D16233&ei=P1JaVan8KYatsgH27oCgCg&usg=AFQjCNE7lAc1nkGxOI6kklPz8aQUlwNPvA&sig2=QRsokdcVQn47UqUr

Östman, B., & Tsantaridis, L. (2004). *Brandskyddat trä.* Hämtat från Brandforsk den 12 mars 2015: http://www.brandforsk.se/MediaBinaryLoader.axd?MediaArchive_FileID=08af4e38-5ff6-44e4-87f2-ead44dfa9498&FileName=BF_326_021_rapport.pdf&MediaArchive_ForceDownload=true

5.1 Intervjuer

Adl-Zarrabi, B. (den 13 februari 2015). Universitetslektor/Forskargruppledare. (F. Bergfeldt, H. Ahrens, N. Cronemyr, & E. Hällerstål, Intervjuare)

Andersson, B. (den 13 maj 2015). Driftsingenjör. (F. Bergfeldt, Intervjuare)

Holmberg, A. (den 4 Mars 2015). Arkitekt, Smedshammar & Holmberg. (L. Fredriksson, Intervjuare) Hämtat från https://www.byggahus.se/arkitektur/tre-arkitekter-om-trender

Lindgren, M. (den 12 maj 2015). Brandingenjör, Räddningstjänsten Storgöteborg. (F. Bergfeldt, Intervjuare)

Salén, E. (den 12 maj 2015). Försäkringssäljare, Länsförsäkringar. (F. Bergfeldt, Intervjuare)

Thureson, P. (den 17 feberuari 2015). Biträdande Sektionschef SP Fire Research. (F. Bergfeldt, H. Ahrens, N. Cronemyr, & E. Hällerstål, Intervjuare)

Winberg(1), D. (den 8 April 2015). Brandingenjör. (F. Bergfeldt, Intervjuare)

Winberg(2), D. (den 28 April 2015). Brandingenjör. (F. Bergfeldt, Intervjuare)

5.2 Figurer

Abrahamsen och Malo (2014): *Konstruktionsdelar 1, 2 och 3.* [Elektronisk bild]. Hämtat från Sweco den 10 maj 2015: http://www.sweco.no/no/norway/Nyheter/2014/Verdens-hoyeste-trehus-presenteres-pa-World-Conference-on-Timber-Engineering/

FRIBO (2013): *Husbyggnation i form av fyra stycken pelare fritt sammankopplade, Åsbovägen, Borås.* [Elektronisk bild]. Hämtat från FRIBO den 10 maj 2015: http://fribo.nu/bostader/asbovagen/

FRIBO (2013): *Illustration vart rörliga sammankopplingar är gjorda, Åsbovägen, Borås.* [Elektronisk bild]. Hämtat från FRIBO den 10 maj 2015: http://fribo.nu/bostader/asbovagen/

Lindh, Göran (2014): *Studentbostaden efter brand och grannhuset,* Privat foto.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2013): *Brandorsaker i hem.* [Elektronisk bild]. Hämtat från MSB den 15 mars 2015: http://ida.msb.se/ida2#page=a0080

SCB (2011): *Befolkningsutveckling i Sverige år 1970-2011 och förväntad utveckling år 2011-2041.* [Elektronisk bild]. Hämtat från MSB den 20 april 2015: http://www.scb.se/statistik/_publikationer/LE0001_2012K02_TI_04_A05TI1202.pdf

Träguiden (2014)*: Brandförloppskurva* [Elektronisk bild]. Hämtat från Träguiden den 10 mars 2015: http://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/brandsakerhet/brandforlopp-i-byggnader/

Träguiden (2015): *Brandklassade fönster, flamskärm och automatisk fönsterlucka* [Elektronisk bild]. Hämtat från Träguiden den 20 mars 2015: http://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/brandsakerhet/synligt-tra/synligt-tra/trafasader/

Träguiden (2015)*: Byggnadsklasser* [Elektronisk bild]. Hämtat från Träguiden den 10 mars 2015: http://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/brandsakerhet/byggnadsklasser-och-verksamhetsklasser/

Träguiden (2015): *Fasadspridning* [Elektronisk bild]. Hämtat från Träguiden den 20 mars 2015: http://traguiden.se/om-tra/byggfysik/brandsakerhet/synligt-tra/synligt-tra/trafasader/

Träguiden (2015): *Förkolning av träelement* [Elektronisk bild]. Hämtat från Träguiden den 20 mars 2015: http://www.svenskttra.se/MediaBinaryLoader.axd?MediaArchive_FileID=d29f9522-ac5a-47b6-8f20-522578249af7&FileName=Att+v%C3%A4lja+tr%C3%A4+-+nionde+upplagan+2014.pdf

Träguiden (2015): *Trädets uppbyggnad och riktningar.* [Elektronisk bild]. Hämtat från Träguiden den 10 mars 2015: http://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper/mekaniska-egenskaper1/stammens-uppbyggnad/