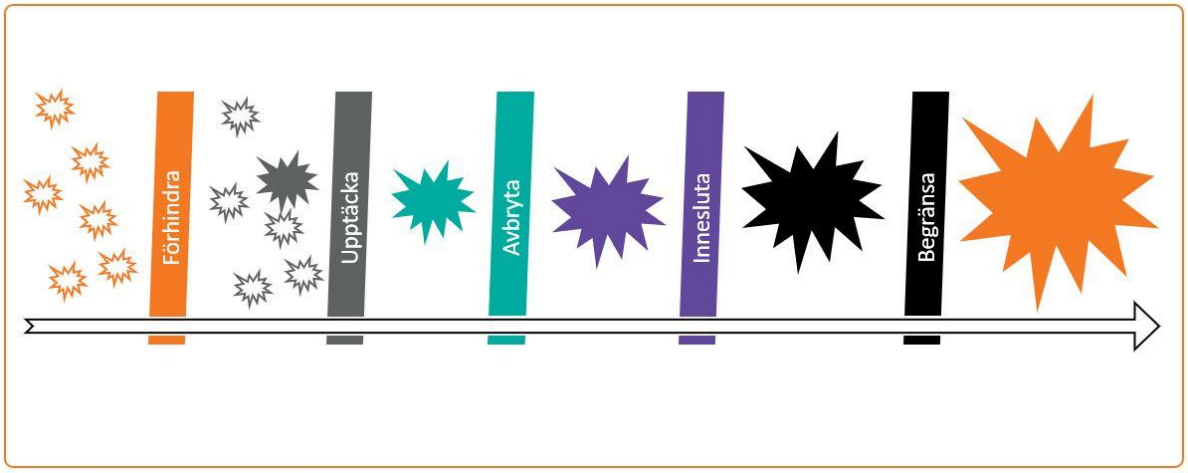
SBUF
ID: 13371

BRANDSKYDDSLAGET
Briab
FRISTAD BYGG
Vi bygger på samverkan

BRANDSKYDD I BR0-BYGGNADER

Tillämpningsstöd vid brandteknisk dimensionering av höga Br0-byggnader med förnyelsebara material (trä)



Björn Andersson, Brandskyddslaget
Lisa Broberg, Brandskyddslaget
John Hultquist, Brandskyddslaget
Björn Evers, Briab
Caroline Eriksson Lantz, Briab
Fredrik Nystedt, Briab

2018-12-05

SBUF stödjer
forskning & utveckling
som leder till
praktisk handling

Tillämpningsstöd vid brandteknisk dimensionering av höga Br0-byggnader med förnyelsebara material (trä)

AB Fristad Bygg

Brandskyddslaget AB

Briab Brand & Riskingenjörerna AB

Tillämpningsstöd vid brandteknisk dimensionering av höga Br0-byggnader med förnyelsebara material (trä)

Björn Andersson, Brandskyddslaget AB

Lisa Broberg, Brandskyddslaget AB

John Hultquist, Brandskyddslaget AB

Björn Evers, Briab Brand & Riskingenjörerna AB

Caroline Eriksson Lantz, Briab Brand & Riskingenjörerna AB

Fredrik Nystedt, Briab Brand & Riskingenjörerna AB

Tillämpningsstöd vid brandteknisk dimensionering av höga Br0-byggnader med förnyelsebara material (trä)

Björn Andersson, Brandskyddslaget AB
Lisa Broberg, Brandskyddslaget AB
John Hultquist, Brandskyddslaget AB
Björn Evers, Briab Brand & Riskingenjörerna AB
Caroline Eriksson Lantz, Briab Brand & Riskingenjörerna AB
Fredrik Nystedt, Briab Brand & Riskingenjörerna AB

SBUF ID - 13371

Antal sidor: 58.

Nyckelord: Brandskydd, brandskyddsprojektering, Br0, verifiering, trä, hög byggnad, TTB, CLT, riskidentifiering.

Sökord: Brandskydd, Br0, analytisk dimensionering, verifiering, höga byggnader, trä, KL-trä

Sammanfattning: Rapporten innehåller en sammanfattning av de specifika brandrisker som finns i en hög byggnad med konstruktion av trä samt ger vägledning avseende identifiering av verifieringsbehov, verifiering, kontroll och dokumentation vid projektering av brandskydd i en hög Br0-byggnad med konstruktion av trä. En viktig utgångspunkt när en träkonstruktion används är att utforma brandskyddet så att brandförloppet blir förutsägbart, vilket kan åstadkommas genom att använda beklädnadsskivor med tillräcklig skyddsförmåga eller genom att säkerställa att branden självslocknar. För KL-trä innebär det en särskild utmaning som innebär att delaminering inte får ske innan branden slocknat. Verifieringen av brandskyddet i en Br0-byggnad utgår från en riskidentifiering som har sin utgångspunkt i byggnadens utformning och verksamhet. I en hög byggnad med träkonstruktion ändras förutsättningarna gällande brandbelastning, brandpåverkan på konstruktionsdelar, brandförloppets varaktighet, taktik för släckinsats, etc. När det gäller brandskyddets utformning bör en föreskriftsinventering göras för att avgöra vilka delar av brandskyddet som kan utformas enligt de allmänna råden och för vilka delar som analytisk dimensionering krävs för att fastställa utformningen. Även en verifiering av brandskyddets robusthet ska göras och här kan nyckelord som djupförsvarsprincip och enkelfelskriterium ge stöd för att skapa ett pålitligt och motståndskraftigt brandskydd.

© Brandskyddslaget AB

© Briab Brand & Riskingenjörerna AB

Förord

I december 2016 beviljade SBUF – Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond en ansökan gällande en utveckling av metod för analytisk dimensionering av Br0-byggnader. Projektet syftar till att utveckla ett tillämpningsstöd för projektering av byggnader över 16 våningar (Br0) där konstruktionen helt eller delvis utförs med förnyelsebara material. Under arbetets gång har Boverket skickat ut EKS 11 på remiss med möjligt ikraftträdande i juli 2019. EKS 11 innehåller flera förändringar för Br0-byggnader som i tidigare versioner inte behandlats i EKS. Tillämpningsstödet diskuterar innebörden av dessa tillägg, men bygger samtidigt på de regelverk som är nu gällande, dvs. BBR 26 och EKS 10.

Projektet har utförts i samarbete mellan Brandskyddslaget AB och Briab Brand & Riskingenjörerna AB med stöd av AB Fristad bygg. Projektet utgör en del av Tall Timber Buildings – Concept studies, finansierat av Formas och lett av RISE.

Arbetet med tillämpningsstödet har utförts i samarbete med en referensgrupp bestående av representanter från följande företag och organisationer:

- Berg CF Möller
- Bjerking
- Brandteknik, Lunds tekniska högskola
- Linnéuniversitetet
- Moelven Töreboda
- NCC
- RISE
- Sweco
- White arkitekter

Sammanfattning

Intresset kring att bygga höga byggnader med träkonstruktion har ökat kraftigt på senare tid. Att bygga med trä som är ett förnyelsebart material innebär miljövinster samt ekonomiska vinningar för design, produktion och utförande. Ett led i att öka kunskapen med höga träbyggnader har Formas beviljat anslag för ”Tall Timber Buildings – Concept Studies” där möjligheter och svårigheter med en hög träbyggnad (+20 våningsplan) ska undersökas. En betydelsefull del i det arbetet är brandskyddets utformning. Då Boverkets byggregler anger att byggnader över 16 våningsplan tillhör byggnadsklass Br0 ställs särskilda krav på verifieringen av att brandskyddet i dessa byggnader uppfyller samhällets krav. De allmänna råden hur brandskyddet ska uppföras är inte tillämpbara och byggherren har det fulla ansvaret att visa att den föreslagna utformningen uppfyller samtliga funktionskrav i BBR och EKS.

Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap BIV har tidigare tagit fram ett tillämpningsstöd hur brandskyddet i Br0-byggnader kan verifieras. Denna rapport kan beaktas som ett komplement till BIV:s tillämpningsstöd med fokus på Br0-byggnader som är höga och uppförs med träkonstruktion. Rapporten innehåller en sammanfattning av de specifika brandrisker som finns i en hög byggnad med konstruktion av trä samt ger vägledning avseende identifiering av verifieringsbehov, verifiering, kontroll och dokumentation vid projektering av brandskydd i en hög Br0-byggnad med konstruktion av trä.

Det finns flertalet byggsystem med träkonstruktion varav en konstruktion med KL-trä är ett av de system som på senare år blivit mer vanligt. KL-trä har en förmåga att kunna ta upp både vertikala och horisontella laster, vilket gör materialet attraktivt. Samtidigt har det visat sig att skivor av KL-trä kan bete sig annorlunda vid brand och skapa oförutsägbara brandförlopp till skillnad från andra konstruktionsmaterial. Anledningen till detta är att limmet mellan de lameller som skivan byggs upp av släpper vid upphettning och gör att det skyddande kolskiktet försvinner och nytt bränsle tillförs. När så sker ökar brandens intensitet och det med upprepade övertändningar som följd. Exponerade ytor av trä ger också upphov till mer intensiva brandförlopp utanför brandrummet och ytterväggen utsätts för en större påverkan. Ett viktigt skyddsmål i en byggnad med träkonstruktion är att branden självslocknar när den lösa inredningen brunnit upp. Detta kan säkerställas genom att använda värmebeständigt lim som inte delaminerar eller om träkonstruktionen skyddas med beklädnadsskivor. På så vis skapas ett förutsägbart brandförlopp.

Att verifiera brandskyddet i en Br0-byggnad innebär att först identifiera verifieringsbehovet och därefter verifiera att brandsäkerheten är tillfredsställande. Under projekteringen bör kontroll av verifieringen ske löpande för att säkerställa rätt kvalitet. I identifieringen av verifieringsbehovet läggs grunden för det kommande verifieringsarbetet. Här är det viktigt att göra en riskidentifiering med utgångspunkt i byggnadens utformning och verksamhet. Riskidentifieringen ska ta hänsyn till de särskilda aspekter gällande räddningsinsats, befarad konsekvens och utrymning som BBRAD listar. För en hög byggnad är det bl.a. aspekter kopplat genomförande av räddningsinsats som är särskilt viktiga att belysa. Om den höga byggnaden dessutom förses med träkonstruktion ändras förutsättningarna gällande brandbelastning,

brandpåverkan på konstruktionsdelar, brandförloppets varaktighet, taktik för släckinsats, etc. Dessa förändringar behöver belysas i riskidentifieringen. Några utredningspunkter som bör belysas i en hög byggnad med träkonstruktion är:

- Vilket bidrag får oskyddade ytor av trä till följd av placering och mängd?
- Hur ska skydd mot brandspridning inom byggnaden, till och inom bärverk, i fasad och längs med fasaden upprätthållas?
- Hur ska schakt, installationer och hålrum (kaviteter) som går igenom brandcellsgränser utformas för att ge ett fullgott skydd mot brandspridning?
- Hur kan brandsläckning ske på bästa sätt?
- Hur kan risk för uppkomst av brand minskas?

I identifieringen av verifieringsbehovet ingår även att göra en inventering av föreskrifterna i BBR och EKS för att bedöma om de risker som identifieras kan hanteras av de allmänna råden eller inte. En metod för detta är att gradera respektive föreskrift från ingen till stor påverkan och därmed välja ut de delar av brandskyddet där förenklad dimensionering bedöms ge tillfredsställande säkerhet och de delar där brandskyddets utformning behöver verifieras med analytisk dimensionering. För varje föreskrift bör det motiveras om byggnadens höjd och konstruktionsmaterial har betydelse för hur brandskyddet utformas för att uppfylla kraven i föreskriften. De delar av brandskyddet som kräver fördjupad analys i denna typ av byggnader är vanligen möjligheten till utrymning vid brand (BBR 5:3), skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgas (BBR 5:5), möjlighet till räddningsinsats (BBR 5:7) samt bärförmåga vid brand (EKS 1.1.2).

Utöver delar av brandskyddet krävs det även att den totala brandsäkerheten i byggnaden bedöms genom att studera brandskyddets robusthet. Här handlar det om att bedöma hur pass känslig byggnaden är för fel av olika slag och om det finns händelser som kan orsaka samtidiga fel på flera skyddssystem. När brandskyddet utformas bör det göras utifrån ledord som djupförsvarsprincip och enkelfelskriterier. Med djupförsvarsprincipen byggs brandskyddet upp av olika lager där det under normala förhållanden handlar om att säkerställa att brand inte uppkommer och att de skyddssystem som finns underhålls på ett tillräckligt sätt. Därutöver tillkommer lager av skyddssystem för att hantera en brand – från tidig upptäckt och skydd mot initial skada, via system för att avbryta brandförloppet och slutligen begränsa skadans omfattning. Enkelfelskriteriet innebär i sin tur att brandskyddets skyddsförmåga inte ska påverkas av fel i enskilda system. I analysen av brandskyddets robusthet bör även särskilt känsliga delar under detaljprojektering, produktion och förvaltning identifieras och förebyggas.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Mål och syfte 2
1.3 Omfattning och genomförande 2
1.4 Avgränsningar 2
2 TRÄ SOM KONSTRUKTIONSMATERIAL 3
2.1 Allmänt om trä 3
2.2 Byggelement i trä 3
2.3 Korslimmat trä (KL-trä) 4
3 BRANDFÖRLOPP I TRÄBYGGNADER 7
3.1 Förbränning av trä 7
3.2 Generell beskrivning av brandförloppet 10
3.3 KL-träs påverkan på brandförloppet 12
4 DIMENSIONERINGSPROCESSEN FÖR BR0-BYGGNADER 15
4.1 Identifiering av verifieringsbehovet 15
4.2 Verifiering av tillfredsställande brandsäkerhet 17
4.3 Kontroll av verifiering 17
4.4 Dokumentation av brandskyddets utformning 18
5 VÄGLEDNING – BYGGNADENS FÖRUTSÄTTNINGAR 19
5.1 Byggnadens utformning och dess verksamhet 19
5.2 Riskidentifiering 20
6 VÄGLEDNING – FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR VERIFIERING 23
6.1 Föreskriftsinventering 23
6.2 Val av verifieringsmetod 29
7 VÄGLEDNING – VERIFIERING AV BRANDSÄKERHETEN 31
7.1 Brandskyddets robusthet 31
7.2 Skydd mot utveckling och spridning av brand 32
7.3 Bärförmåga vid brand 33
7.4 Möjlighet till räddningsinsats 36
8 VÄGLEDNING – RISKANALYS EKS 37
8.1 Genomförande 37
8.2 Riskidentifiering 38
8.3 Riskvärdering 40
9 VÄGLEDNING – KONTROLL AV VERIFIERING 41
9.1 Val av kontrollnivå 41
9.2 Genomförande av kontroll 42
10 SLUTSATSER 43
11 REFERENSER 45

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Hållbarhet har blivit en stor fråga gällande byggnaders utformning och konstruktion under det senaste decenniet och är fortsatt starkt växande. Tidigare har en av de stora frågorna varit hur energikonsumtionen i den färdiga byggnaden kan sänkas, vilket till stor del har åstadkommits genom användning av mer energieffektiva installationer och högpresterande klimatskal som minskar behovet av uppvärmning. Nästa fråga på agendan för ett hållbart byggande är vilka material och produktionsmetoder som används under byggnadsfasen. Ett sätt att utveckla detta är att utföra de bärande byggnadsdelarna med förnyelsebara material, t.ex. trä.

Att bygga med förnyelsebara material är långsiktigt hållbart eftersom miljöbelastningen minskar. Tillverkningen av exempelvis byggprodukter av trä innebär i de flesta fall mindre utsläpp av växthusgaser och kortare byggtid än vid tillverkning och användning av byggprodukter av traditionellt använda material. Vidare har trä en hög bärförmåga i förhållande till sin vikt.

Fler invånare och pågående urbanisering kommer att leda till städer med högre befolkningstäthet, vilket i sin tur ökar behovet av att bygga på höjden. Höga byggnader har en högre utnyttjandegrad av den begränsade marken, men innebär också stora utmaningar i projekteringen eftersom sådana byggnader klassas som Br0-byggnader vilket innebär att det saknas allmänna råd för hur brandskyddets ska utformas i dessa. I dessa byggnader ska brandskyddet projekteras, utformas och verifieras med metoder för analytisk dimensionering.

Miljövinsten vid byggande av höga byggnader ligger i ett effektivt användande av resurser. Intresset i hur mark används ökar bland de som praktiserar livscykelanalys (LCA) men det finns få studier på detta i byggnadsbranschen (Allacker m.fl., 2014). Att sammanlänka de här två frågorna, höga byggnader med bärverk av förnyelsebara material, ger möjligheter till ett mer hållbart och yteffektivt byggande i storstadsregioner där bostadsbrist råder. Att bygga med förnyelsebara byggnadsmaterial skapar förutsättningar för minskade handelshinder samt ekonomiska vinningar för design, produktion och utförande.

2015 beviljade Formas finansiering för projektet ”Tall timber buildings – Concept Studies som har en målsättning att öka kunskapen om att bygga högt i trä (Johansson, 2015).. Inom ramen för projektet studeras bl.a. möjligheter med olika byggsystem, modeller för hantering av statiska och dynamiska laster, data för livscykelanalyser samt dimensionering av brandskydd. Arbetet med denna rapport utgör en del av ”Tall timber buildings” med fokus på projektering av brandskydd i höga träbyggnader. Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond SBUF har bidragit med värdefull finansiering av arbetet.

1.2 Mål och syfte

Projektet syftar till att ta fram ett tillämpningsstöd avseende verifiering och utformning av brandskyddet i höga byggnader (över 16 våningar) där bärverk och andra delar, t.ex. avskiljande väggar och fasadelement består av förnyelsebara material (trä). Målsättningen är att underlätta projektering av brandskydd i höga byggnader med träkonstruktion och på så vis möjliggöra ett mer hållbart byggande.

1.3 Omfattning och genomförande

Tillämpningsstödet har tagits fram gemensamt av Brandskyddslaget och Briab med stöd av AB Fristad bygg. Projektet utgör en del av Tall Timber Buildings – Concept studies (TTB), finansierat av Formas (Johansson, 2015). En referensgrupp finns knuten till projektet med representanter från Berg CF Möller, Bjerking, Brandteknik vid Lunds tekniska högskola, Linnéuniversitetet, Moelven Töreboda, NCC, Sweco och White arkitekter.

Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap BIV publicerade 2013 ett tillämpningsstöd för Br0-byggnader i allmänhet (BIV, 2013). Projekt utgår från BIV:s tillämpningsstöd och riktas in mot användning av trä samt definierar de frågor som projektörer bör besvara vid verifiering av brandskyddet i dessa byggnader. Detta tillämpningsstöd innehåller:

- En sammanfattning av de specifika brandrisker som finns i en hög byggnad med konstruktion av trä.
- Vägledning avseende identifiering av verifieringsbehov, verifiering, kontroll och dokumentation vid projektering av brandskydd i en hög Br0-byggnad med konstruktion av trä.

1.4 Avgränsningar

Tillämpningsstödet ska beaktas som ett förslag till tolkning av Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av brandskydd i byggnader och de specifika anvisningar gällande Br0-byggnader som anges där. Tillämpningsstödet berör även föreslagna ändringar i Boverkets konstruktionsregler EKS som hitintills inte haft med några föreskrifter eller allmänna råd gällande Br0-byggnader. Lagar, förordningar, föreskrifter och allmänna råd är självfallet överordnade den information som finns i tillämpningsstödet.

Tillämpningsstödet är skrivet med fokus på höga bostadshus i förnyelsebara material (trä). Det innebär att de exempel som ges framförallt är tillämpbara på byggnader i verksamhetsklass 3A (bostäder). Den information som ges rörande konstruktioner av KL-trä är självfallet tillämpbara oavsett verksamhetsklass.

Tillämpningsstödet beskriver användningen av en träkonstruktion utifrån ett konceptuellt perspektiv med fokus på system snarare än detaljer. Utöver Br0-analysen ska brandskyddet projekteras på sedvanligt sätt med specifikationer avseende utformning av utrymningsvägar, brandceller, ytterväggar, tekniska system etc. Några sådana specifikationer finns inte i tillämpningsstödet.

2 Trä som konstruktionsmaterial

2.1 Allmänt om trä

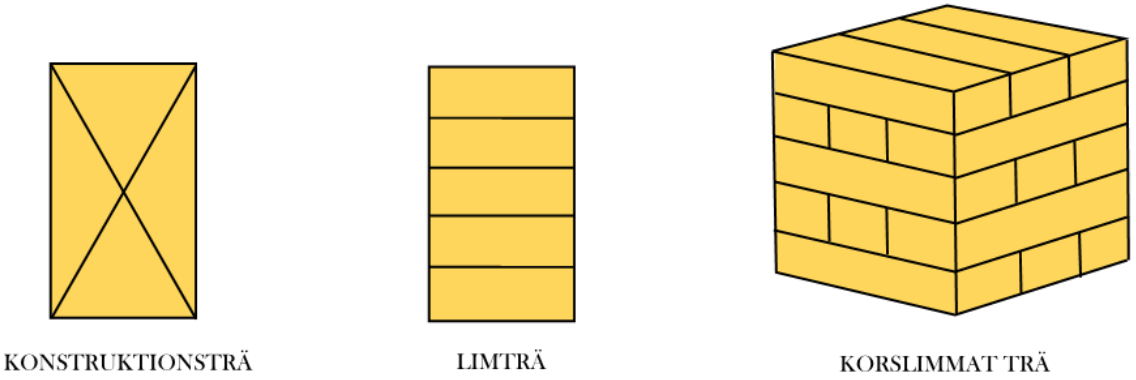
Trä är ett organiskt material som huvudsakligen består av polymerer så som cellulosa (~45 %), hemicellulosa (~25 %) och lignin (~25 %) samt en mindre mängd extraktivämnen (ex. hartser, fetter, mineraler, etc.) (~10 %). Utöver detta innehåller träet även fukt som är bundet till cellväggarna. I fuktiga miljöer där fuktkvoten i träet är högre än träets fibermättnadspunkt finns även vatten i fri form i hålrummen mellan cellväggarna. Trä är ett anisotropt material, vilket innebär att dess egenskaper är olika i olika riktningar. Träet är exempelvis betydligt starkare i fiberriktningen än tvärs fibrerna.

Träets mekaniska egenskaper påverkas huvudsakligen av dess densitet och fuktinnehåll. Detta medför att träets mekaniska egenskaper inte bara varierar mellan olika träslag utan även kan variera inom samma träslag. Vid tillverkning av bärande byggnadsdelar i trä sorteras dessa in i olika hållfasthetsklasser (ex. C24, C27, C30 etc.). Vid dimensionering av bärande byggnadsdelar i trä används karakteristiska värden för respektive hållfasthetsklass.

2.2 Byggelement i trä

Det finns idag ett flertal byggelement för konstruktionsändamål på marknaden. Dessa kan generellt delas in i två olika huvudgrupper; vanligt konstruktionsträ och sammansatta konstruktionselement i trä. Vanligt konstruktionsträ utgörs av sågat virke (s.k. brädor, plankor etc.), se Figur 1. Denna typ av byggelement är vanlig förekommande som bärande byggnadsdelar i mindre byggnader (ex. villor) eller lätta enskilda konstruktioner (ex. uppstolpat yttertak). Limträ och korslimmat trä (s.k. KL-trä) utgör två exempel på sammansatta byggelement i trä, se Figur 1. Båda elementen utgörs av sågat konstruktionsträ som har sammanfogats genom limning. Dessa utgör exempel på träelement som används i alla typer av byggnader.

Konstruktionsträ och limträ har under en längre tid använts som bärande byggnadsdelar i byggnader. Den långa erfarenheten har medfört att kunskaperna om hur respektive byggelement beter sig vid brand är goda. Detta kunskapsläge har bl.a. resulterat i att det idag finns vedertagna metoder och modeller i den europeiska standarden för dimensionering av träkonstruktioner (EN 1995-1-2) som beskriver hur bärande byggnadsdelar av både konstruktionsträ och limträ ska dimensioneras vid brandpåverkan. Till detta finns även flera handböcker.



Figur 1 *Principutformning av konstruktionsträ (t.v.), limträ (mitten) och KL-trä (t.h.).*

Kunskapen om att tillverka och använda bärande byggnadsdelar av KL-trä började utvecklades under 1990-talet. Men det är först nu under 2010-talet som det fått sitt stora genombrott inom byggbranschen, särskilt som bärande byggnadsdelar i högre byggnader. Skillnader i utformningen av KL-trä medför att det brandtekniskt varken går att jämföra det med limträ eller konstruktionsträ. Detta innebär att kunskapsläget om hur bärande byggelement i KL-trä beter sig vid brand är relativt begränsat jämfört med exempelvis bärande byggelement i konstruktionsträ eller i limträ. KL-trä finns exempelvis inte omnämnd i EN 1995-1-2, dvs. det finns inte några vedertagna metoder eller modeller för hur KL-trä ska dimensioneras vid brandpåverkan. 2015 kom en harmoniserad standard (SS-EN 16351; Träkonstruktioner – Massivträ för byggsystem – Krav) som även tydliggör vilka krav som måste införlivas vid en certifiering av byggsystem av KL-trä. Men, standarden är inte officiellt giltig och en ny version väntas bli klar under 2019. Tidigare har certifiering skett utifrån en europeisk teknisk bedömning (ETB). Sortering av produkter i KL-trä sker dock fortfarande av tillverkarna utifrån en ETB, vilket leder till att respektive tillverkare har sina egna standardtjocklekar och hållfasthetsklasser.

2.3 Korslimmat trä (KL-trä)

Korslimmat trä förkortas vanligtvis till KL-trä. Andra vanliga benämningar på produkten är Cross Laminated Timber (CLT), Crosslam, X-Lam, BSP och flerskiktsskivor i trä. KL-trä utgör massiva träelement bestående av ett antal lager limmade brädor av konstruktionsträ där respektive skikt är korslagt (d.v.s. roterat 90 grader) i förhållande till intilliggande skikt. Produkter i KL-trä utgörs av ett ojämnt antal skikt, varav minst tre skikt, där respektive skikt har en tjocklek som varierar mellan 20–60 mm. De hoplimmade skikten bildar en skiva, där den totala tjockleken vanligtvis varierar mellan 80-300 mm (Svenskt Trä, 2017).

Hållfastheten hos en produkt i KL-trä påverkas främst av tvärsnittets uppbyggnad. Generellt är det de bärande brädorna i huvudbärriktningen som har störst påverkan på KL-produktens hållfasthet, medan de mellanliggande skikten i huvudsak ger dimensionsstabilitet. Uppbyggnaden av KL-trä medför att risk för skjuvningsbrott föreligger vid höga skjuvspänning tvärs fibrerna (Svenskt Trä, 2017).

Ytterligare en faktor som påverkar KL-träets egenskaper, särskilt vid brand, är limmet som binder samman de olika lagren. Det finns idag en mängd olika limmer på marknaden som är godkända att användas som del i bärande träkonstruktioner. Det har

dock konstaterats genom ett flertal, både småskaliga och fullskaliga, brandtester att brandmotståndet hos KL-träprodukter varierar mellan olika limtyper. Detta beror huvudsakligen på att det i gällande standarder för limprodukter som avses att användas i bärande konstruktioner inte anges något temperaturkrav kopplat till brandpåverkan. I gällande standarder anges endast ett temperaturkrav på 70°C, vilket den limmade bärverksdelen ska klara av att exponeras för under två veckors tid samtidigt som den bära en viss last. I samband med att kunskapen avseende hur olika limmer påverkar brandmotståndet hos en KL-träprodukt ökar bör temperaturkriterier i gällande standarder ses över och omformuleras så att de tydligare reflektera hur limmet påverkar den bärande byggnadsdelens uppbyggnad och bärförmåga vid brand.

Melamin Formaldehyd-lim (MF-lim) / Melamin Urea Formaldehyd-lim (MUF-lim)

MF-lim utvecklades under 1970-talet. Fördelarna med denna typ av lim är att det står emot fukt väldigt bra och har en väldigt kort torkningstid. MUF-limmet har utvecklats som ett kostnadseffektivt alternativ till MF-limmet. Melaminet gör att limmet formar en struktur som ökar dess värmemotstånd när det torkar (Zhou m.fl., 2017). Nackdelen med MF- och MUF-lim är att de innehåller formaldehyd som är skadligt både för människan och miljö. Detta medför vissa begränsningar i viljan att använda produkten.

Poly Uretan-lim (PU-lim)

Detta lim finns i ett flertal olika varianter och är en av det vanligaste limtyperna på den europeiska marknaden för KL-trä. Fördelen med denna typ av lim är att den är lätt att använda (en-komponents-lim), har kort torkningstid i rumstemperatur, färglös och fri från formaldehyd. PU-lim har generellt ett ganska dåligt brandmotstånd då den vid förhöjda temperaturer ofta leder till att delaminering uppstår. Antalet varianter av produkten medför att det är svårt att bestämma en generell temperatur då produkten förlorar sin vidhäftningsförmåga (Kippel, 2014).

På senare tid har en ny typ av PU-limmer tagits fram, vilka kommersiellt benämns HBX-lim. Genomförda brandtester visar att dessa har ett bättre brandmotstånd då delaminering inte sker vid förhöjda temperaturer. (Brandon & Dagenais, 2018)

Phenol Resorcinol Formaldehyd-lim (PRF-lim)

Denna typ av lim används vanligtvis i Nordamerika vid tillverkning av limträ. Limmet är populärt på marknaden då det har visat på god bärförmåga både i normalfallet och vid förhöjda temperaturer (Yeh, Kretschmann, & Wang, 2013). Limmade träprodukter med detta lim har i tester vid långvarig värmepåverkan (220 °C) visat sig ha god bärförmåga (Kippel, 2014). En nackdel med produkten är att stora luftfickor kan uppstå inom den limmade produkten då limmet torkar.

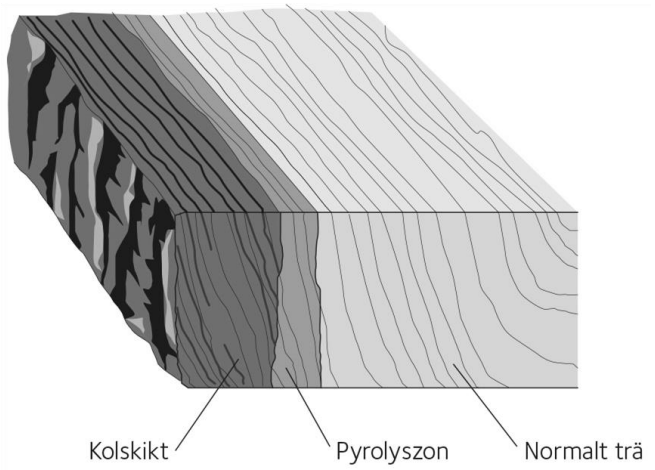
3 Brandförlopp i träbyggnader

3.1 Förbränning av trä

Trä utgör ett brännbart material, vilket innebär att det kommer att antändas och förkolnas då det utsätts för tillräckligt hög värmepåverkan i samband med en brand. Nedbrytning av trä är en relativt komplex process men som generellt kan beskrivas enligt följande. Ett första steg påbörjas då temperaturen i träet når strax över 100 ˚C. Vid denna temperatur börjar fukten som finns i träets att förångas där ångbildningsvärmet fördröjer temperaturinträngningen till allt fritt vatten omvandlats till ånga. En del av vattenångan som frigörs transporteras ut ur träet mot den brandexponerade ytan, medan den del av vattenångan som är innanför zonen där trycket är som högst transporteras i motsatt riktning och återkondenseras där temperaturen i träet understiger 100 ˚C. (Östman m.fl., 2012).

När temperaturen i träet är cirka 200-280 °C börjar fibrerna att brytas ner (d.v.s. träet börjar pyrolyseras). Den termiska nedbrytningen resulterar i att flyktiga och brännbara ämnen frigörs. De brännbara ämnena kan antändas när de avdunstat från den brandexponerade träytan och blandats med syret i omgivningsluften.

Genomförda tester visar att trä antänder redan vid en värmestrålning på ca 12 kW/m^2 vid närvaro av en extern tändkälla (ex. gnista eller pilotlåga). Detta motsvarar en yttemperatur på ungefär 300 ^{o}C. Vid en värmestrålning på ca 30 kW/m^2, vilket motsvarar en yttemperatur på ungefär 500°C, självantänder träet (Hadden m.fl., 2017). I samband med detta börjar den brandexponerade ytan att förkolna. Kolskiktet uppstår som en följd av en icke fullständig förbränning av materialet. Träet fortsätter att förkolas så länge värmepåverkan från branden är tillräckligt stor. I Figur 2 visas de olika skikten som bildas vid förkolningsprocessen.

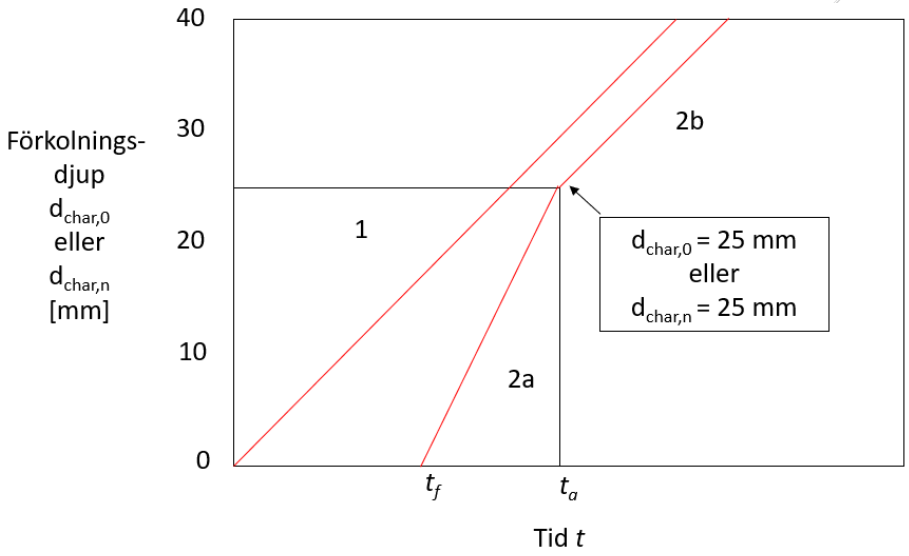


Figur 2 Schematisk beskrivning av olika skikt som uppstår i brandpåverkat trä.

Ovanstående beskriver huvudsakligen förbränningsprocessen i konstruktionsträ och i limträ men kan även tillämpas för KL-trä. När man tittar på förbränningsprocessen av KL-trä bör även hänsyn tas till limmets inverkan (Svenskt Trä, 2017).

Kolskiktet har en värmeisolerande effekt, vilket medför att både oskyddade och skyddade träkonstruktioner kan antas brinna och förkolna på ett förutsägbart sätt. Denna förutsättning utgör grundprincipen för de dimensionerande värden samt beräkningsmetoder och modeller som finns angivna för konstruktionsträ och limträ i SS-EN 1995-1-2 (2004). Standarden är dock inte tillämpbar för KL-trä, utan vägledning för beräkningar för denna konstuktionstyp finns i KL-trähandboken (Svenskt Trä 2017).

Det konstanta värmemotståndet i kolskiktet medför att inbränningen i en träkonstruktion oskyddad mot brandpåverkan kan antas vara linjär, se linje 1 i Figur 3. För träkonstruktioner som är skyddade mot brandpåverkan sker inbränningen med olika hastigheter under brandexponeringen, se linje 2 i Figur 3. Inbränning som sker efter att den skyddande beklädnaden fallit bort (2a) antas ske nästan dubbelt så fort som jämfört med inbränningen i en träkonstruktion oskyddad mot brandpåverkan. Detta beror på en kombination av att träet under den skyddande beklädnaden har värmts upp, den höga brandtemperaturen i rummet och att det inte har bildats något skyddande kolskikt. När kolskiktet i hos den brandexponerade träytan har nått en tjocklek på ca 25 mm sjunker inbränningshastigheten till samma som för en träkonstruktion oskyddad mot brandpåverkan.



Figur 3 *Förkolningsdjupets tidsförlopp, SS-EN 1995-1-2 (2004).*

I SS-EN 1995-1-2 saknas vägledning och dimensionerande värden för att beräkna inbränning av KL-trä. Ett flertal tester, både småskaliga och fullskaliga, har gjorts för att försöka fastställa inbränningshastigheten i KL-trä. Erhållet resultat från genomförda tester visar dock att inbränningshastigheten i KL-trä varierar väldigt mycket vilket beror på följande faktorer:

- Risk för delaminering.
- Uppbyggnaden av KL-träet.
- Förekomst av passivt brandskydd

Delaminering är ett fenomen som innebär att det yttersta lagret i KL-träet faller bort efter en tids brandpåverkan. Detta kan ske både lokalt och globalt i KL-trä elementet. (Bartlett m.fl., 2017). Detta fenomen uppstår till följd av att limmet som används förlorar sin vidhäftningsförmåga vid förhöjda temperaturer.

Erhållet resultat från ett flertal brandtester visar att i de fall delaminering uppstår ske inbränningen fortare än då delaminering inte uppstår. Detta visas tydligt i resultatet från de småskaliga brandtester som genomfördes vid Empa i Düsseldorf (Andreas Frangi m.fl., 2009). Sammanlagt undersöktes inbränningshastigheten på elva KL-träelement med varierande uppbyggnad och olika limtyper som exponerades för standardbrandkurvan (SS-EN 1363-1:2012). I nedanstående tabell redovisas resultatet för de KL-träelement där brandpåverkan sker rätvinkligt mot fiberriktningen. Delaminering observerades endast för de provkroppar som innehöll PU-lim. I dessa försök noterades en högre inbränningshastighet än i de försök då delaminering inte uppstod.

Tabell 1 *Inbränning hos KL-trä elementmed antingen PU- eller MUF-baserad limtyp som exponeras för standardbrand (Frangi m.fl., 2009).*

Test	Uppbyggnad av KL-träelement (typ av trä, antal lager och uppbygnad	Limtyp	Varierad inbrännings-hastighet under hela brandförloppet
V1	Furu, 5 st (10/10/10/10/20 mm)	MUF	0,53-0,58
V2	Furu, 5 st (10/10/10/10/20)	PU	0,56-0,94
V4	Furu, 2 st (30/30)	PU	0,65-1,04
V5	Furu, 2 st (30/30)	MUF	0,56-0,67
V6	Furu, 5 st (10/10/10/10/20)	PU	0,55-0,85
V7	Furu, 5 st (10/10/10/10/20)	PU	0,61-1,00
V8	Furu, 3 st (20/20/20)	PU	0,59-0,85
V9	Furu, 5 st (10/10/10/10/20)	PU	0,58-1,08
V10	Furu, 3 st (20/20/20)	PU	0,59-0,89
V11	Furu, 3 st (20/20/20)	PU	0,57-0,76

Samma sak observerades vid småskaliga brandtester KL-träelement exponerade av standardbrandkurvan i Japan då delaminering förekom (Suzuki & Tensei, 2015). Inbränningshastigheten undersöktes på ett antal element i KL-trä bestående av antingen japanskt lärkträ eller japanskt cederträ, vilka var limmande med antingen ett vattenbaserat PU-lim eller PRF-lim. I genomförda tester observerades delaminering för merparten av de provkroppar som innehöll ett vattenbaserat PU-lim, medan delaminering endast observerades för ett fåtal av de provkroppar som innehöll PRF-lim. För provkropparna innehållande ett vattenbaserat PU-lim uppskattades en generell inbränningshastighet på ca 0,78 mm/min medan en generell inbränningshastighet på ca 0,66 mm/min uppskattades för provkroppar innehållande PRF-lim.

I en stor amerikansk studie har inbränningen hos KL-trä för fem olika limtyper studerats (Brandon & Dagenais, 2018). De fem limtyperna utgjordes av två PU-lim (PU1 och PU2), ett MF-lim, ett EPI-lim och ett PRF-lim. Det ena PU-limmet (PU2) utgjorde ett s.k. HBX-lim. Erhållet resultat visar att under 70 minuters brandpåverkan observerades en genomsnittlig inbränningen mellan 51-59 mm observerades hos alla provkroppar

förutom den provkropp som innehöll PU1. För den provkropp som innehöll PU1 (d.v.s. det äldre PU-limmet) observerades en genomsnittlig inbränning på 75-86 mm. För denna provkropp observerades även delaminering. Delaminering observerades också för provkroppar som innehöll EPI-lim, dock bedöms delaminering endast ha skett av förkolnade delar inom kolskiktet och inte i anslutning till pyrolyszonen då ingen temperaturökning noterades.

Resultaten från ovanstående tester visar att det inte är möjligt att förutsätta att de inbränningshastigheter som anges i SS-EN 1995-1-2 för homogent trä och limträ kan tillämpas för KL-trä. Ytterligare information om inbränningshastighet finns i KL-trähandboken (Svenskt Trä, 2017).

Att förse KL-trä med någon form av passivt brandskydd som förhindrar att träet utsätts för direkt brandpåverkan under hela brandförloppet medför att ingen inbränning sker. Genomförda tester där KL-trä skyddats med gips under hela brandförloppet visar att ingen inbränning sker (Kolaitis m.fl., 2014). Genomförda tester där KL-träet utsätts för direkt brandpåverkan efter att det skyddande gipslagret fallit bort observeras initialt en ökad inbränningshastighet likt den som observeras vid delaminering av oskyddat KL-trä. Detta beror framförallt av den förhöjda temperaturen i det yttersta lagret av KL-träet. Vid dessa tillfällen observeras även en tillökning av branden till följd av att tillskottet av nytt brännbart material. (Brandon & Östman, 2018).

3.2 Generell beskrivning av brandförloppet

Ett brandförlopp består generellt av fem olika faser (Quintiere & Karlsson, 2000), vilka visas i Figur 4 nedan.

Antändning

Antändningen är energiberoende i form av hur mycket energi som behöver tillföras för att det brännbara materialet ska antända. Mängden syre påverkar men vid normala förhållanden är det ingen begränsning i denna fas. Antändning förutsätter en exoterm reaktion antingen via en pilotlåga eller via självantändning. Antändningen karakteriseras antingen som en synlig flamma eller en glödbrand.

Tillväxt

Tillväxtfasen påverkas av vilken typ av förbränning som sker, omgivningens utformning (t.ex. en horisontell eller vertikal yta), materialets (bränslets) egenskaper samt tillgång till syre. Tillväxthastigheten varierar beroende på förutsättningarna för respektive faktor nämnd ovan. Hastigheten kan variera från sakta till väldigt snabb (explosiv) givet rätt förutsättningar. En pryolysbrand kan t ex vara väldigt snabb och producera stora mängder energi vid vissa förhållanden, jämfört med t e x en glödbrand vilken utvecklar sig sakta men producera en stor mängd giftiga rökgaser. Så länge tillgången på syre finns är branden i denna fas bränslekontrollerad, dvs tillgången på bränsle är avgörande för om branden ska fortsätta att växa.

Övertändning

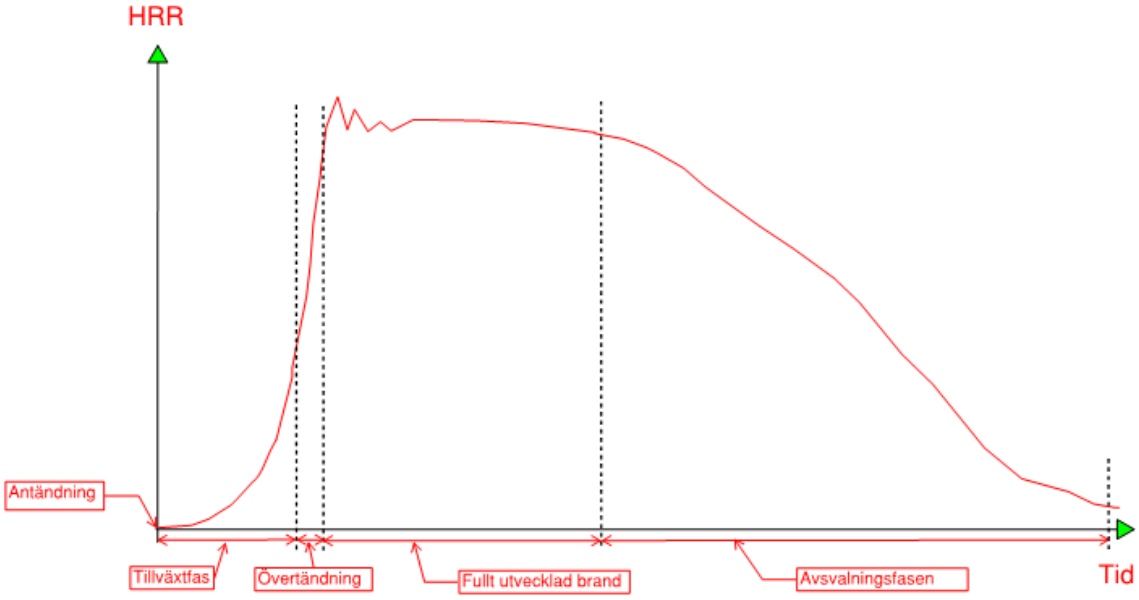
Övertändning är den övergångsfas mellan tillväxtfasen och den fullt utvecklade branden som kan beskrivas som ett fenomen där alla brännbara gaser och brännbara ytor inom utrymmet antänder och brinner samtidigt. Studier visar att övertändning sker vid en temperatur mellan 500-600 °C, vilket motsvarar en infallande strålning mot golvet är mellan 15 och 20 kW/m^2. En indikation på att övertändning är på väg att inträffa är när sticklågor tränger ut genom rummets yttre skal vilket indikerar ett bränsleöverskott i rummet.

Fullt utvecklad brand

När branden blivit fullt utvecklad är energiutvecklingen som störst inom brandrummet. Det är primärt en syrekontrollerad brandfas där obrännbara brandgaser antänds när det passerar ut genom öppningar i fasaden. Under denna fas är medeltemperaturen på brandgaserna i många fall mellan 700 och 1000 °C men vid vissa förhållanden vid låga förluster till väggarna och god tillgång på syre och bränsle kan temperaturerna bli högre.

Avsvalning

Avsvalningsfasen är en energikontrollerad fas där mängden bränsle (primärt lös inredning) har förbrukats och det till slut bara finns fast inredning (tak, väggar och golv i den omslutande ytan) kvar. För att trä ska kunna upprätthålla en flamma utan yttre påverkan behöver massavgången (frigörandet av pyrolysgaser) ligga på minst ca 4 g/m^2/s (Emberley m.fl. 2017).



Figur 4 *Brandförloppets fem olika faser. HRR står för Heat Release Rate och är ett mått på brandens effektutveckling.*

3.3 KL-träs påverkan på brandförloppet

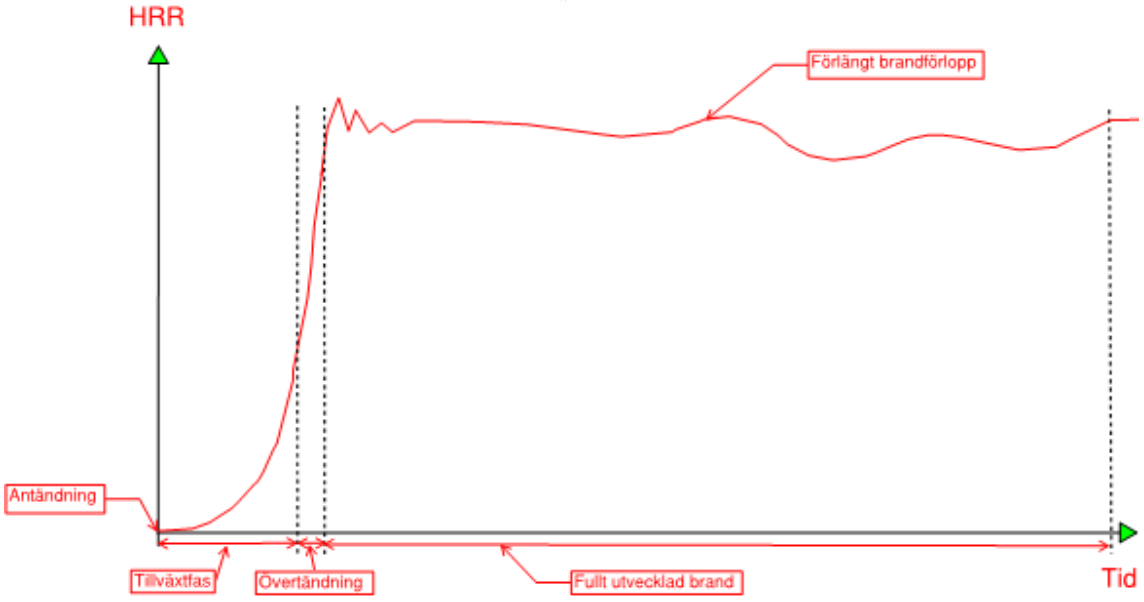
KL-träkonstruktioner påverkar rumsbranden på olika sätt. Med en nästintill obegränsad mängd brännbart material (brandbelastning) vid det oskyddade fallet förlängs brandförloppet och påverkan på avskiljande och bärande förmåga behöver säkerställas. Konstruktionsdelar av KL-trä har hög isolationsförmåga vilket påverkar återstrålning och temperaturstegringen i brandrummet blir större.

Ett viktigt fenomen är om konstruktionen självslocknar eller inte. Det finns experimentella studier som visar att delaminering kan ske i vissa byggelement vilket leder till att brandförloppets intensitet ökar när träytor som tidigare varit skyddade plötsligt blir exponerade för en fullt utvecklad brand.

Ökad brandintensitet utanför själva brandrummet, via fönsteröppningar, har observerats vid studier. Detta kan påverka val av fasadsystem och krav på att förhindra brandspridning till annan brandcell i höjdled.

3.3.1 Brandbelastning

Till skillnad från obrännbara konstruktioner bidrar en konstruktion av brännbart material med en viss brandbelastning i själva rummet, antingen direkt eller i ett senare skede. Utöver normal inredning i ett rum, som i bostäder och kontor har en brandbelastning som inte överstiger 800 MJ/m² (Boverket, 2013b) tillkommer energi från de brännbara ytor som involveras i brandförloppet. Förutsatt att ingen självslockning sker (se avsnitt 3.3.3) innebär detta att brandförloppet skulle kunna fortlöpa till dess att allt brännbart material i byggnaden förbrukats, se Figur 5. Konsekvenserna av ett sådant förlopp för dimensionering av bärande byggnadsdelar diskuteras vidare i avsnitt 7.3.



Figur 5 *Den fullt utvecklade fasen av branden förlängs genom tillskottet av energi från brännbara ytor.*

3.3.2 Isoleringsförmåga

Trä är mer isolerande än exempelvis gips och betong, vilket betyder att mindre energi absorberas i träkonstruktionen. Efter en övertändning, när en rumsbrand gått från att vara bränslekontrollerad till att bli ventilationskontrollerad stiger temperaturen snabbare eftersom värmeförlusterna är mindre. Dessutom kommer de exponerade träytorna att pyrolysera och avge brännbara gaser som kan delta i brandförloppet.

Då den övertända branden har ett stort syreunderskott kommer den största delen av den extra energin som tillförs att förbrännas utanför rummet med den fullt utvecklade branden. Bränsleöverskottsfaktorn ökar och de externa brandplymerna ut genom öppningar blir större.

3.3.3 Självslockning

Självslockning av KL-trä är idag inte en faktor som beaktas vid brandskyddsteknisk dimensionering. Däremot kan man efter att ha studerat de tester som gjorts på KL-trä (Crielaard, 2015, Emberley m.fl., 2017 och Hadden m.fl. 2017) se ett behov att inkludera den faktorn vid dimensioneringen av träkonstruktioner. Av rapporterna framgår att det behövs fler studier, framför allt i fullskala för att tillföra ny kunskap hur KL-trä ska utföras för att inte bidra till ett fortsatt brandförlopp när all lös inredning (brandbelastning) i form av brännbara möbler och övrig brännbar inredning har brunnit upp. Det finns studier som visar att självslockning sker för tester med upp till två exponerade ytor som ”ser” varandra, förutsatt att ingen delaminering sker och att det i scenarion med fler än två exponerade ytor fortsätter att brinna (Bartlett m.fl., 2017).

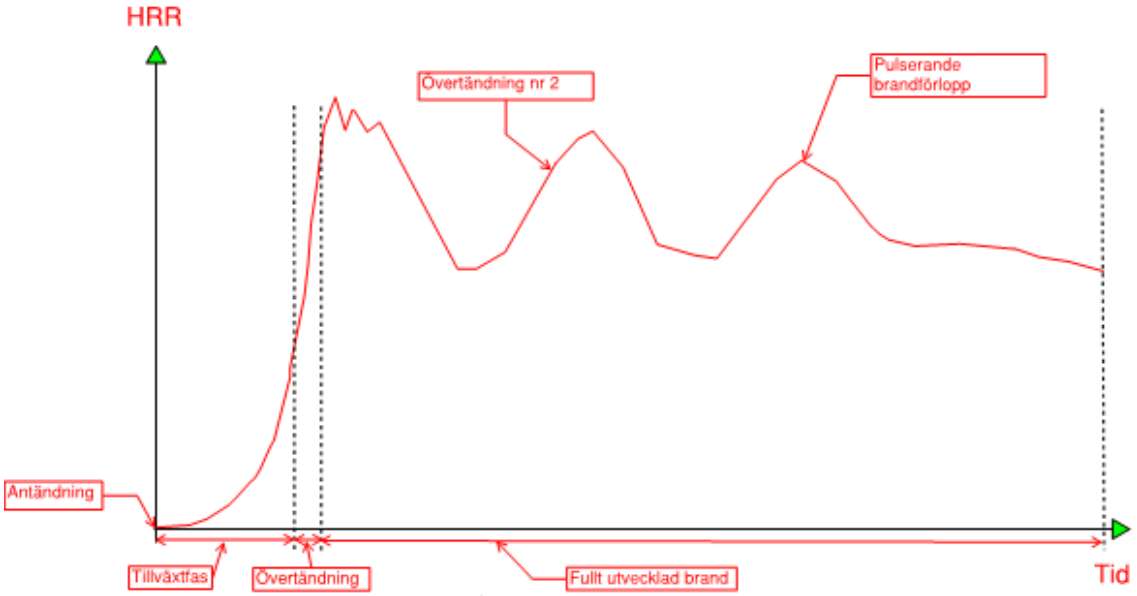
Fysiken bakom självslockning är komplex där faktorer som förkolningslagrets isoleringsförmåga och genomsläpplighet för brännbara gaser samt det opåverkade trämaterialets termiska egenskaper är viktiga faktorer. Även yttre faktorer såsom tillgången till syre och vindförhållanden över ytan påverkar fenomenet. Crielaard (2015) visar på att förutsättningarna för självslockning av trä är att den infallande strålningen understiger 5-6 kW/m^2 samt att luftströmmen över ytan är max 0,5 m/s. Vid försök med en lufthastighet på 1,0 m/s skede ingen självslockning.

3.3.4 Brandförloppet – Observerade skillnader

I brandförsök redovisade av bl.a. Hadden m.fl. (2017) och Emberley m.fl. (2016) kan man se att temperaturen ökar kraftigt initialt och stiger till ett maxvärde (högre än standardbrandkurvan EN 1363-1) varpå en avtagande fas fortsätter. Brandförloppet beror på storleken på öppningarna mot det fria i förhållande till lokalens omslutningsarea (öppningsfaktorn). Liknande observationer finns redovisade i den sammanställning som National Fire Protection Association (NFPA) gjort av olika studier (Barber & Gerard, 2015). I NFPA:s rapport anger man även att KL-träkonstruktionen ökar rumsbrandens energiutveckling med 160 %. Om KL-träet delaminerar genom att förkolningslager eller hela lameller lossnar intensifieras brandförloppet igen, vilket är en process som kan upprepas med ett oförutsägbart brandförlopp till följd, se Figur 6.

I samtliga studier som redovisats finns det fall där KL-träskivan delaminerar under brandförloppet (Hadden m.fl., 2017, Emberley m.fl., 2016, Bartlett m.fl., 2017 och Brandon & Dagenais, 2018). I de studier som gjorts visar det sig att man får en förhöjd värmeutveckling i anslutning till själva delamineringen vilket medför ökad risk för en ny övertändning i sent skede samt ett förlängt brandförlopp.

Intressant är också att rumsbranden i möbler i kombination med exponerade väggar som antänts medför ett snabbare brandförlopp då både återstrålningen och den ökade brandytan påverkar. Det medför att tid till en eventuell övertändning minskar samt att tiden till att den lösa brännbara inredningen har förbrukats minskar samtidigt som delaminering medverkar till ett pulserande brandförlopp samt en förlängning av brandförloppen.



Figur 6 *Principiell illustration av multipla övertändningar pga. delaminering.*

En av slutsatserna i Crielaard (2015) är att om man kan säkerställa att KL-trä inte delaminerar genom t ex extra tjocka yttre lameller eller genom att limmet håller ihop konstruktionen vid högre temperaturer (200-400 °C) har det observerats att KL-trä har liknande egenskaper vid brand som en homogen träbit. Vidare behöver man kunna säkerställa att branden självslocknar när brandbelastningen från den lösa inredningen är konsumerad av branden om man vill kunna dimensionera för ett naturligt brandförlopp vid projektering av byggnaden i KL-trä.

4 Dimensioneringsprocessen för Br0-byggnader

Föreskrifterna i Boverkets byggregler (Boverket, 2018a) avsnitt 5 ”Brandskydd” och i Boverkets konstruktionsregler (Boverket, 2016) baseras i huvudsak på Plan- och byggförordning (2011:338) egenskapskrav. Reglerna är främst inriktade på människors säkerhet, men de krav som finns på bl.a. ytskikt, brandcellsindelning och bärförmåga anses dock utgöra en tillräcklig nivå för egendomsskyddet.

För vissa byggnader är det osäkert om förenklad dimensionering resulterar i ett brandskydd med en det samhället anser vara en tillräcklig säkerhetsnivå. Dessa byggnader har tilldelats en egen byggnadsklass (Br0) och för dessa byggnader ska analytisk dimensionering användas för att verifiera att brand- och utrymningssäkerheten uppfyller samhällets krav. I Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd – BBRAD (Boverket, 2013a) anges att:

Analytisk dimensionering bör omfatta en beskrivning av vad som ska analyseras, hur det ska ske och vad som är tillfredsställande brandsäkerhet. Vid analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd bör följande steg ingå:

- *Identifiering av verifieringsbehovet.*
- *Verifiering av tillfredsställande brandsäkerhet.*
- *Kontroll av verifiering.*
- *Dokumentation av brandskyddets utformning.*

Byggnadens utformning verifieras mot funktionskraven i BBR. Brandskyddet för byggnaden bör värderas i en helhetsbedömning utifrån byggnadens riskbild. Särskild hänsyn bör tas till följande aspekter:

- *Om utvändig släckinsats inte kan genomföras.*
- *Om invändig räddningsinsats kan vara komplicerad.*
- *Om den befarade konsekvensen är mycket stor.*
- *Om utrymningsförloppet kan vara förenat med stora svårigheter.*

I en remissversion till EKS 11 (Boverket, 2018b) införs bestämmelser gällande Br0-byggnader, vilka tidigare inte funnits med i föreskriften. Enligt remissförslaget ska val av brandsäkerhetsklass i Br0-byggnader utgå från en särskild bedömning av byggnadsdelarnas skyddsbehov med avseende på konstruktionens bärförmåga. Vid bedömningen ska hänsyn till de aspekter som anges i BBRAD och som även förs in i EKS.

4.1 Identifiering av verifieringsbehovet

Identifieringen av verifieringsbehovet handlar i stort om att beskriva de särskilda förutsättningar som råder i byggnaden och analysera respektive avsnitt i BBR kapitel 5 ”Brandskydd” med avseende på dessa. Syftet är att avgöra vilka delar av brandskyddet som behöver utformas med analytisk dimensionering och vilka delar där förenklad dimensionering kan användas som utgångspunkt.

Följande arbetsgång föreslås:

- Förutsättningar för byggnaden:
    - Byggnadens utformning och dess verksamhet.
    - Riskidentifiering.
- Förutsättningar för verifiering:
    - Föreskriftsinventering.
    - Val av verifieringsmetod.
- Analys av verifieringsbehovet:

4.1.1 Förutsättningar för byggnaden

Viktiga förutsättningar för att kunna bedöma verifieringsbehovet är en beskrivning av byggnaden och den tänkta verksamheten. Därutöver går det att göra en övergripande riskidentifiering som belyser byggnaden och verksamhetens unika förutsättningar.

4.1.2 Förutsättningar för verifiering

När byggnadens förutsättningar är kända fortsätter arbetet med att bedöma verifieringsförutsättningarna vilka utgår från en inventering av föreskrifter i BBR avsnitt 5 i syfte att utröna vilka föreskrifter som påverkas av de risker som identifierats i samband med riskidentifieringen. Analysen omfattar även en genomgång av de förutsättningar som anges i BBR gällande krav på verifieringsmetod och välja de metoder som är bäst lämpade.

4.1.3 Analys av verifieringsbehov

Med utgångspunkt i byggnadens utformning, dess verksamhet, riskidentifieringen och föreskriftsinventeringen kan verifieringsbehovet fastställas. Verifieringsbehovet bedöms på två nivåer – det totala brandskyddet och delar av brandskyddet. Det totala brandskyddet ska verifieras med en övergripande riskanalys som utgår från en bedömning av barriärer och robusthet. För delar av brandskyddet kan BBRAD:s anvisningar om scenarioanalys och kvantitativ riskanalys tillämpas i förekommande fall, och i andra fall kan kvalitativa bedömningar nyttjas för att beskriva varför de allmänna råden anses ge tillfredsställande säkerhet i byggnaden.

4.2 Verifiering av tillfredsställande brandsäkerhet

Verifieringen av brandskyddet i en Br0-byggnad bör göras på två olika nivåer – det totala brandskyddet och delar av brandskyddet. Verifieringen av byggnadens totala brandskydd bör innehålla en beskrivning av de särskilda förutsättningar som råder i byggnaden och vilka åtgärder som vidtagits för att hantera dessa. Bedömningen av det totala brandskyddet ska utgå från funktionskraven i BBR samt de tekniska egenskapskraven i PBF. För delar av brandskyddet, t.ex. utrymningssäkerhet eller skydd mot brandspridning kan anvisningar i BBRAD (Boverket 2013a) användas. För scenarioanalys finns ytterligare vägledning i INSTA TS 950 (2014).

Detaljer avseende brandskyddets utformning, exempelvis mått på utrymningsvägar, ytskikt på väggar, krav på vägledande markering, brandcellsgränser etc. skiljer sig troligen inte mellan Br0- och Br1-byggnader. Därför bör förenklad dimensionering i de flesta fall kunna användas som underlag för brandskyddets utformning i enskilda brandceller även för Br0-byggnader. I verifieringen ska det ingå motiv och övervägande avseende vilka detaljer som kan utformas med förenklad- resp. analytisk dimensionering.

4.3 Kontroll av verifiering

Plan- och bygglag (2010:900) anger i 10:e kapitlet former för kontroll av genomförandet av byggåtgärder. Byggherren ansvarar för att det finns en plan för kontrollen av en byggåtgärd där det bl.a. ska framgå vilka kontroller som ska göras, vad kontrollerna avser och vem som utför kontrollerna. I kontrollplanen ska det framgå i vilken omfattning kontrollen ska utföras och det finns två principiellt skilda förfaranden:

- Kontrollen utförs inom ramen för byggherrens dokumenterade egenkontroll.
- Kontrollen utförs av någon med särskild (certifierad) sakkunskap och erfarenhet i fråga.

Byggherrens egenkontroll innebär att var och en som utför ett arbete, själv kontrollerar och intygar att det blir rätt utfört. Projektering räknas som en del av genomförandet av byggåtgärder och inom ramen för byggherrens egenkontroll kan en projektör kontrollera sitt eget arbete. Egenkontroll utförs lämpligen med olika omfattning baserat på kontrollbehovet. Samtliga kontroller ska dokumenteras och styrkas med underskrift av den som utfört kontrollen.

En kontroll av certifierad sakkunnig kan bli aktuell om byggnadsnämnden anser att byggherrens egenkontroll inte är tillräcklig. När byggnadsnämnden prövar om det behövs en certifierad sakkunnig ska särskild hänsyn tas till risken för att allvarliga personskador uppkommer, om åtgärden eller byggnadsverket inte uppfyller föreskriva krav. För brand finns särskilt sakkunniga som har certifierad kompetens avseende brandteknisk kunskap, praktiskt arbete och kunskaper om bygglagstiftningen. Boverket har tagit fram föreskrifter och allmänna råd om certifiering av sakkunniga inom brandskydd (Boverket, 2011). Byggnadsnämnden ska godta utlåtande från sakkunniga vars kompetens styrkts genom certifiering för uppgiften.

Oavsett om byggnadsnämnden fattat beslut att byggherrens egenkontroll är tillräcklig eller att sakkunnigkontroll krävs, ska all projektering genomgå löpande egenkontroll för att säkerställa att projekteringen utförs med rätt förutsättningar och metoder. Egenkontroll måste ske löpande på alla nivåer där stor vikt läggs på t.ex. verifieringens förutsättningar och praktiska genomförande. Former för kontroll och granskning har förtydligats i en kommande nordisk teknisk specifikation (INSTA TR 952, 2018).

4.4 Dokumentation av brandskyddets utformning

Dokumentationen av verifieringen är tillsammans med kontrollen av densamma hörnstenar i brandskyddsprojekteringen av en Br0-byggnad vilka visar att föreslagen lösning uppfyller samhällets krav på tillfredsställande säkerhet. Dokumentation bör ske löpande för att möjliggöra effektiv kontroll, samt för att kontinuerligt uppdatera brandskyddsbeskrivningen med specifikationer för de tekniska system som verifieringen resulterat i.

Det är viktigt att brandskyddsbeskrivningen innehåller ett detaljerat projekteringsunderlag till övriga konsulter för att säkerställa att brandskyddet projekteras på ett sätt som överensstämmer med slutsatserna av den analytiska dimensioneringen. Det är också viktigt att relevant information som begränsningar avseende personantal och användningsområde samt valda systemlösningar och specifikationer inkluderas i brandskyddsbeskrivningen. I övrigt bör verifieringen i sin helhet placeras i en bilaga till brandskyddsdokumentationen.

5 Vägledning – byggnadens förutsättningar

5.1 Byggnadens utformning och dess verksamhet

Viktiga förutsättningar för att kunna bedöma verifieringsbehovet är en beskrivning av byggnaden och den tänkta verksamheten. Därutöver går det att göra en övergripande riskidentifiering som belyser byggnaden och verksamhetens unika förutsättningar. Underlag finns bl.a. i guideböcker och statistik över inträffade bränder.

I ett första steg samlas relevant information in, exempelvis idéer från arkitekt, beställarens specifikationer, diskussioner med andra konsulter m.m. som berör byggnadens utformning och den tänkta verksamheten. Genomgången syftar till att belysa alla de aspekter kring utformning och verksamhet som har betydelse för brandskyddets utformning. Exempel på sådana aspekter är:

- Byggnadens utformning.
- Byggnadens storlek, typ av konstruktion, våningsantal m.m.
- Tillgängliga utrymningsvägar.
- Insatstid och åtkomlighet för räddningstjänst.
- Avstånd till närliggande byggnader.
- Personer i byggnaden.
- Antal och fördelning inom byggnaden.
- Rörlighet och medvetenhet.
- Vana att vistas i byggnaden.
- Särskilda brandrisker.
- Lokaler med brandfarlig verksamhet och potentiella tändkällor.
- Brännbara material och brandbelastning.

För att riskidentifieringen ska kunna utföras med tillräcklig precision krävs att minst följande fastställs:

- Antal våningsplan.
- Typiskt utförande av våningsplan.
- Antal trapphus och antal hissar.
- Ytskikt.
- Fasadens utformning.
- Verksamhet.
- Personantal.

Underlag finns bl.a. i guideböcker utgivna av Hurley & Rosenbaum (2015), Australian Building Codes Board (2005) och SFPE (2007).

5.2 Riskidentifiering

I bostäder är brandskyddet generellt utformat med en miniminivå för att bevara den personliga integriteten och därmed undviks åtgärder som har ett stort behov av drift- och underhåll. I bostäder är följande faktorer avgörande för brandskyddet:

- De flesta dödsbränder inträffar i bostäder.
- Nödvändigt att bevara den personliga integriteten.
- Avskiljning mellan bostäder.
- Välkänd och likformig brandbelastning.

Bostadshusets höjd samt om det är ett flerbostadshus är avgörande för brandskyddets utformning. Brandskyddet i låga enfamiljshus har en minimiuppsättning av brandskydd som i princip enbart kräver brandvarnare för snabb utrymning och en avskiljning som säkerställer att brandens inte sprids mellan byggnader. För högre bostadshus krävs ytterligare säkerhet bl.a. genom en eller flera skyddade utrymningsvägar. I ett flerbostadshus krävs särskilda åtgärder för att säkerställa att brand inte kan spridas mellan olika lägenheter. Dessa åtgärder ska omfatta alla de spridningsvägar som är relevanta för byggnaden

Byggnadens utformning ska verifieras mot funktionskraven i BBR. Brandskyddet för byggnaden bör värderas i en helhetsbedömning utifrån byggnadens riskbild. Enligt BBRAD bör särskild hänsyn tas till följande aspekter:

- Om utvändig släckinsats inte kan genomföras.
- Om invändig räddningsinsats kan vara komplicerad.
- Om den befarade konsekvensen är mycket stor.
- Om utrymningsförloppet kan vara förenat med stora svårigheter.

Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap (BIV) har publicerat ett tillämpningsdokument (BIV 2013-3) avseende brandteknisk dimensionering av Br0-byggnader. Dokumentet är tänkt att fungera som ett stöd för projektören i tillämpningen av BBR vid dimensionering av Br0-byggnader med fokus på tillvägagångssätt vid identifiering av verifieringsbehovet. I tillämpningsdokumentet redovisas ett antal förslag till tolkning av de fyra viktiga aspekterna för höga byggnader, vilka har kompletterats med specifik information riktad till byggnader med brännbar konstruktion.

En hög byggnad står inför följande särskilda brandrisker till följd av byggnadshöjden:

- Risk för brandspridning inom byggnaden:
    - Utvändig släckinsats kan inte göras vilket gör att brand i och längs med fasad blir särskilt riskabel och ställer höga krav på material och utformning.
    - Skorstenseffekt i vertikala schakt.
    - Risk för mer omfattande brandspridning till följd av längre insatstid för räddningstjänsten.

- Långa insatstider för räddningstjänsten:
    - Långa sträckor tar längre tid att förflytta sig.
    - Orienterbarheten försvåras.
    - Kommunikation vid insats kan försvåras till följd av stora avstånd.
- Lång utrymningstid då långa sträckor att förflytta sig tar lång tid.

Utöver de svårigheter som höga byggnader står inför har en hög byggnad av trä även följande särskilda brandtekniska förutsättningar till följd av materialet:

- Brandbelastningen ökar då bärverk och ytskikt utförs av brännbart material. Brandbelastningen är en dimensionerande faktor för brandskyddet, skyddad respektive oskyddad brandbelastning behöver utredas och fastställas.
- Bärverket består av brännbart material vilket gör att risk finns för brandspridning till och inom konstruktionen. Risken för s.k. kavitetsbränder vid modulbyggande ökar om inte särskild fokus läggs på skydd.
- Det finns ingen tydlig sluttid för ett fullständigt brandförlopp i en träbyggnad där flera brinnande ytor ”ser” varandra, vilken används för att dimensionera bärverket.
- Montering och infästningar i stål skulle kunna förlora sin funktion vid förhöjd temperatur.
- Spridning av brandgaser i byggnaden genom läckage i skarvar till andra brandceller eller konstruktion.
- Extra sektionering kan krävas för att förhindra omfattande brandspridning vertikalt.
- Ytskikt av oskyddat trä inom bostäder och lokaler kan intensifiera brandförloppet och öka förbränningen utanför brandrummet.
- Räddningstjänstens insats krävs för att släcka en brand då chansen till självslockning är mindre.
- En brand kan få större spridning under en kortare tid i en byggnad av trä än i en byggnad av traditionella obrännbara material.

Utöver ovanstående brandtekniska svårigheter finns även risken för vattenskador till följd av sprinkler eller manuell brandsläckning av räddningstjänsten som kan innebär en särskild påfrestning i en byggnad med träkonstruktion pga. risk för röta.

6 Vägledning – förutsättningar för verifiering

De brandtekniska aspekterna som bör utredas specifikt vid dimensionering av brandskydd i höga byggnader i trä är:

- Vilket bidrag får oskyddade ytor av trä till följd av placering och mängd? Kan ytskikt av trä tillåtas inom lägenheter. Brandbelastningen behöver fastställas, likväl konstruktionens bidrag till brandförloppet. Målsättningen är att skapa ett förutsägbart förlopp där branden självslocknar när lös inredning brunnit upp.
- Hur ska skydd mot brandspridning inom byggnaden, till och inom bärverk, i fasad och längs med fasaden upprätthållas?
- Hur ska schakt, installationer och hålrum (kaviteter) som går igenom brandcellsgränser utformas för att ge ett fullgott skydd mot brandspridning?
- Hur kan brandsläckning ske på bästa sätt? Räddningstjänstens möjlighet till insats bör utredas och vid behov ges bättre förutsättningar jämfört med en traditionell byggnad
- Hur kan risk för uppkomst av brand minskas? Värdet av att förebygga bränder ökar med konstruktionens känslighet för brand. Exempel på åtgärder som får ökade betydelse är spisvakt, utbildning, tillgång till släckutrustning, etc.

Ovanstående aspekter ska finnas med när föreskriftsinventeringen görs, samt när verifieringsmetoden väljs.

6.1 Föreskriftsinventering

I föreskriftsinventeringen rangordnas identifierade riskers påverkan på möjligheter att uppfylla krav i kapitel 5 i BBR. Rangordningen görs kvalitativt baserad på ingenjörsmässiga bedömningar baserade på vetenskap, erfarenheter och logiska resonemang. Här tas särskild hänsyn till de fyra viktiga aspekter som BBRAD anger. Vid genomgången av de särskilt viktiga aspekterna för en hög träbyggnad bör fokus ligga på sådana faktorer som dels kan relateras till byggnadshöjden och dels till valet av konstruktionsmaterial. Det är viktigt att beskriva likheter och skillnader mellan byggnader med traditionella material och byggnader med förnyelsebara material.

Föreskriftsinventeringen går ut på att identifiera de avsnitt i BBR och EKS där konstruktionsmaterial och byggnadshöjd påverkar möjligheten att uppfylla funktionskraven på ett sätt som inte hanteras av de allmänna råden. Att belysa barriärernas prestanda utifrån ett materialperspektiv är en betydelsefull uppgift.

Avsikten är att bedöma:

- De föreskrifter som påverkas i stor grad av byggnadens särskilda förutsättningar så att utformningen behöver verifieras direkt mot funktionskraven (analytisk dimensionering)?
- De föreskrifter som påverkas mindre av byggnadens särskilda förutsättningar och utformningen bör kunna följa de allmänna råden (förenklad dimensionering)?

- De föreskrifter som påverkas av byggnadens särskilda förutsättningar och utformningen behöver verifieras i direkt samverkan med t.ex. räddningstjänsten?

För respektive avsnitt i BBR och EKS görs en bedömning av funktionskraven med tillhörande allmänna råd utifrån följande frågeställningar:

- Innebär byggnadshöjden en svårighet att uppfylla funktionskravet? Utgå från de särskilda aspekterna och bedöm om:
    - Kan de allmänna råden användas för att utforma brandskyddet?
    - Är de allmänna råden tillräckliga för att fånga upp riskerna som byggnadshöjden innebär?
- Innebär konstruktionsmaterialet en svårighet att uppfylla funktionskravet? Utgå från de särskilda aspekterna och bedöm om:
    - Kan de allmänna råden användas för att utforma brandskyddet?
    - Är de allmänna råden tillräckliga för att fånga upp riskerna som konstruktionsmaterialet innebär?

I föreskriftsinventeringen rangordnas identifierade konsekvensers påverkan på byggnadens möjligheter att uppfylla krav ställda i BBR (Boverket, 2018a). Rangordningen utförs i en 4-gradig skala – *ingen* påverkan, *viss* påverkan, *stor* påverkan och *mycket stor* påverkan. Rangordningen bör baseras på ingenjörsmässiga bedömningar utifrån välkända fysiska fenomen och logiska resonemang. Den utgör främst en grovsortering inför analysen av verifieringsbehovet. Motiven till bedömningen av påverkan bör dokumenteras. Följande avsnitt i BBR och EKS omfattas av inventeringen:

- BBR 5:3, Möjlighet till utrymning vid brand.
- BBR 5:5, Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgas inom byggnad.
- BBR 5:7, Möjlighet till räddningsinsatser.
- EKS 1.1.2, Tillämpning av SS-EN 1991-1-2 – Termisk och mekanisk verkan av brand.

6.1.1 Möjlighet till utrymning vid brand (BBR 5:3)

I BBR avsnitt 5:3 beskrivs funktionskrav och allmänna råd relaterat till möjligheten till utrymning vid brand. Det övergripande kravet är att byggnader ska utformas så att det ges möjlighet till tillfredsställande utrymning vid brand. Med tillfredsställande utrymning avses att personer som utrymmer, med tillräcklig säkerhet, inte utsätts för förhållanden som hindrar utrymning till en säker plats. För nedanstående avsnitt i BBR 5:3 bedöms de allmänna råden *inte* kunna ge tillfredsställande möjligheter till utrymning, antingen på grund av byggnadshöjden eller materialvalen.

5:321 Tillgång till utrymningsväg	
Föreskriftstext:	Minst två av varandra oberoende utrymningsvägar
Allmänt råd:	Anvisningar för utrymningsvägars placering och utformning
Påverkan:	Höjd: Viss påverkan. Material: Ingen påverkan
Kommentar:	Höga byggnader kan behöva utformas med flera utrymningsvägar. Utrymningsvägarna kan behöva utgöras av fler än ett trapphus Tr1.
5:331 Gångavstånd till utrymningsväg	
Föreskriftstext:	-
Allmänt råd:	Maximalt gångavstånd 45 m till utrymningsväg
Påverkan:	Höjd: Ingen påverkan. Material: Viss påverkan
Kommentar:	Vid exponerat trä i lägenhet eller utrymningsväg behöver gångavståndet verifieras.
5:332 Gångavstånd inom utrymningsväg	
Föreskriftstext:	Utrymningsvägar ska utformas så att risken för att personer blir instängda av brand och brandgas begränsas.
Allmänt råd:	Anger avstånd till trappa och utgång
Påverkan:	Höjd: Viss påverkan. Material: Viss påverkan
Kommentar:	Vid exponerat trä i lägenhet eller utrymningsväg behöver gångavståndet verifieras.
5:334 Utformning av utrymningsvägar	
Föreskriftstext:	-
Allmänt råd:	Anger krav på bredd och höjd
Påverkan:	Höjd: Viss påverkan, Material: Ingen påverkan
Kommentar:	Räddningspersonal kan inkräkta på tillgänglig fri bredd för utrymning då de, beroende av antal trapphus, delvis nyttjar samma gångstråk som utrymmande.
5:335 Dörrar	
Föreskriftstext:	Dörrar som ska användas för utrymning ska vara utåtgående i utrymningsriktningen och lätta att identifiera som utgångar
Allmänt råd:	Krav på att kunna återvända
Påverkan:	Höjd: Stor påverkan. Material: Ingen påverkan
Kommentar:	Höga byggnader bör utformas med möjlighet att lämna utrymningsvägen (trapphuset) om det kommer in brandgaser i detta.
5:341 Vägledande markeringar	
Föreskriftstext:	Vägledande markeringar ska finnas i utrymmen som är svårorienterade.
Allmänt råd:	Anger var skyltar bör placeras
Påverkan:	Höjd: Viss påverkan, Material: Ingen påverkan
Kommentar:	Lång förflyttning i höjdled kan underlättas om utrymmande får information om hur långt det är kvar till markplan, lika utrymning från tunnlar.
5:353 Verksamhetsklass 3 och 1	
Föreskriftstext:	Krav på anordningar för tidig upptäckt och varning i händelse av brand och nödbelysning
Allmänt råd:	Brandvarnare
Påverkan:	Höjd: Stor påverkan, Material: Ingen påverkan
Kommentar:	Det kan finnas ett behov av utrymningslarm och automatiskt brandlarm för att ge varning i händelse av ett okontrollerat brandförlopp.

6.1.2 Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgas inom byggnad (BBR 5:5)

I BBR avsnitt 5:5 beskrivs funktionskrav och allmänna råd gällande skydd mot utveckling och spridning av brand. I avsnittet ställs krav på material och deras bidrag till brandens utveckling, samt på konstruktioner som ska begränsa spridning av brand inom en byggnad. Kraven som ställs är materialneutrala och huruvida kravnivån uppfylls kan ofta verifieras med provning. För nedanstående avsnitt i BBR 5:5 bedöms de allmänna råden *inte* kunna ge tillfredsställande möjligheter till utrymning, antingen på grund av byggnadshöjden eller materialvalen.

5:53 Brandcellsindelning	
Föreskriftstext:	Byggnader ska delas in i brandceller för tillräcklig tid för utrymning och att konsekvenserna på grund av brand begränsas. Brandcellsgränser kan kompenseras av tekniska installationer.
Allmänt råd:	Utrymmen med olika verksamhetsklass bör skiljas av med brandcell. Så gäller även bostäder (lägenheter), utrymningsvägar, brandceller med hög brandbelastning mm.
Påverkan:	Höjd: Stor påverkan, Material: Viss påverkan
Kommentar:	Beroende på verksamhet kan ytterligare brandcellsindelning behövas för att uppfylla föreskriftskraven. Eventuella krav på storbrandcell (vertikal sektionering).
5:531 Br1	
Föreskriftstext:	I Br1 ska brand- och brandgasspridning begränsas mellan brandceller med avskiljande konstruktion
Allmänt råd:	Krav på avskiljning är EI 60, EI 120 eller EI 240 beroende på brandbelastning. Installation av sprinkler reducerar generellt kravet.
Påverkan:	Höjd: Stor påverkan. Material: Viss påverkan
Kommentar:	Beroende på höjd kan eventuellt en högre skyddsnivå erfordras. Särskilt känsliga utrymmen är utrymningsvägar som betjänar hela byggnaden. Valt utrymningskoncept, risk för okontrollerad brand, etc. påverkar skyddsnivån. Tekniska system, t.ex. sprinkler, kan användas för att förstärka skyddet mot brandspridning.
5:5311 Installationsschakt	
Föreskriftstext:	Schakt ska utformas så att brandcellsgräns upprätthålls. Risken för brandspridning genom värmeöverföring från ventilationskanaler till brännbara material ska beaktas.
Allmänt råd:	Schakt ska utgöra egen brandcell eller avskiljas i varje bjälklag. Brännbara delar ska avskiljas EI 15 från ventilationskanaler.
Påverkan:	Höjd: Stor påverkan. Material: Viss påverkan
Kommentar:	Höjden på byggnaden kan göra att många lägenheter ansluter till samma schakt. Det kan därför vara lämpligt att schakten gjuts igen i varje bjälklag för att begränsa skadan om en barriär brister.
5:534 Dörr, lucka och port	
Föreskriftstext:	Dörrar, luckor och portar i en avskiljande konstruktion ska utformas så att brandcellsgränser upprätthålls.
Allmänt råd:	Dörrar och dyl. bör ha samma brandtekniska klass som brandcellsgränsen. Kravet kan minskas mot utrymningsväg.
Påverkan:	Höjd: Viss påverkan. Material: Stor påverkan
Kommentar:	Ökad brandbelastning kan kräva högre klass på dörrar. Dörrar försedda med dörrstängare kan behöva magnetuppställning el. motsv. för att de inte ska riskera att bli uppställda med kil.
5:551 Ytterväggar Br1	
Föreskriftstext:	Funktionskraven berör avskiljning mellan brandceller, brandspridning inuti väggen och längs med fasadytan samt risk för nedfallande delar.
Allmänt råd:	Ytskiktsklasser och obrännbart material i kombination, alternativt verifiering med SP Fire 105.
Påverkan:	Höjd: Mycket stor påverkan. Material: Mycket stor påverkan
Kommentar:	Svårt att använda kravnivån för Br1. Ytterväggens utförande behöver verifieras med analytisk dimensionering. Testmetoden kan vara otillräcklig vid brännbara ytskikt.

5:553 Fönster i ytterväggar	
Föreskriftstext:	Fönster ska placeras eller utformas så att brandspridning mellan brandceller begränsas.
Allmänt råd:	Skyddsavstånd eller brandklass enligt tabell i allmänt råd
Påverkan:	Höjd: Viss påverkan. Material: Viss påverkan.
Kommentar:	Fönsterplacering hart stor betydelse för brandspridning mellan våningsplan och det allmänna rådet (1,2 m vertikalt avstånd) ger endast ett begränsat skydd. Utformning behöver verifieras med analytisk dimensionering.
5:561 Omfattande brandspridning (allmänt)	
Föreskriftstext:	Stora byggnader ska utformas så att omfattande brandspridning begränsas.
Allmänt råd:	Brandspridning kan begränsas med brandceller, brandsektioner eller tekniska installationer.
Påverkan:	Höjd: Stor påverkan. Material: Viss påverkan
Kommentar:	Stora brandceller i höga byggnader gör släckinsats svår. Barriärer kan krävas i större omfattning än de 1250 m^2 som anges i allmänt råd. Vertikal sektionering i storbrandceller kan bli aktuellt.

6.1.3 Möjlighet till räddningsinsatser (BBR 5:7)

I BBR avsnitt 5:7 beskrivs funktionskrav och allmänna råd gällande möjlighet till räddningsinsatser, vilka ska vara möjliga att utföra med tillfredsställande säkerhet. I en hög byggnad ställs räddningstjänsten inför särskilda utmaningar, vilka beskrivits av BIV (2016). För nedanstående avsnitt i BBR 5:7 bedöms de allmänna råden *inte* kunna ge tillfredsställande möjligheter till räddningsinsats i huvudsak på grund av byggnadshöjden.

5:72 Åtkomlighet för räddningsinsatser	
Föreskriftstext:	-
Allmänt råd:	Byggnader ska vara åtkomliga för räddningsinsatser
Påverkan:	Höjd: Mycket stor påverkan. Material: Ingen påverkan
Kommentar:	Påverkas av byggnadens höjd som försvårar/omöjliggör utvändig insats.
5:731 Släckutrustning	
Föreskriftstext:	Släckutrustning ska finnas om brandförloppet kan få snabb spridning och stor intensitet
Allmänt råd:	Anger krav på inomhusbrandpost i Vk1 och Vk6
Påverkan:	Höjd: Ingen påverkan. Material: Viss påverkan.
Kommentar:	Om det finns exponerande ytor med trä bör det övervägas om krav på handbrandsläckare ska finnas i resp. lägenhet för att en brand inte ska få fäste i konstruktionen.
5:732 Brandgasventilation	
Föreskriftstext:	Brandgasventilation av trapphus, vind, förråd och källare
Allmänt råd:	-
Påverkan:	Höjd: Stor påverkan. Material: Viss påverkan
Kommentar:	Brandgasventilation av trapphus behöver dimensioneras analytiskt pga. våningshöjd.
5:733 Stigarledning	
Föreskriftstext:	Stigarledningar ska finnas om byggnaden är högre än 24 m
Allmänt råd:	Anger krav på tryck och flöde. Stigarledningar i byggnader högre än 40 m ska vara trycksatta.
Påverkan:	Höjd: Stor påverkan. Material: Viss påverkan
Kommentar:	Det saknas beskrivning av den tillförlitlighet som krävs för trycksatt stigarledning, vilket gör att systemet i sin helhet bör verifieras med analytisk dimensionering.

6.1.4 Tillämpning av SS-EN 1991-1-2 – Termisk och mekanisk verkan av brand (EKS 1.1.2)

I EKS avsnitt 1.1.2 (Boverket, 2016) beskrivs funktionskrav och allmänna råd gällande bärförmåga vid brand. Kravnivån utgår från en indelning i brandsäkerhetsklasser som styrs av bärverkets betydelse för byggnadens stabilitet och byggnadsklassen (Br1-Br3). I nuvarande version av EKS finns inga anvisningar specifika för Br0-byggnader, men i remissen till EKS 11 (Boverket, 2018b) kompletteras föreskriften text och allmänna råd för denna byggnadsklass.

För nedanstående avsnitt i BBR 5:7 bedöms de allmänna råden inte kunna ge tillfredsställande möjligheter till räddningsinsats i huvudsak på grund av att EKS 10 saknar anvisningar för Br0-byggnader. I kommentarerna till berörda avsnitt ges därför kompletterande information baserat på föreslagna förändringar EKS 11.

2 §	
Föreskriftstext:	Byggnadsdelar ska hänföras till brandsäkerhetsklasser utifrån risken för personskador om byggnadsdelen kollapsar under ett brandförlopp. Vid val av brandsäkerhetsklass för byggnader i byggnadsklass Br1-Br3 ska man inkludera risker för personskada, sekundära effekter av ras och påverkan av funktioner som har betydelse för möjlighet till utrymning och insats.
Allmänt råd:	Indelning av byggnadsdelar i byggnader som tillhör byggnadsklass Br1-Br3 redovisas.
Påverkan:	Höjd: Mycket stor påverkan. Material: Ingen påverkan
Kommentar:	Hela avsnittet är inte tillämpbart för Br0-byggnader. I remiss till EKS 11 (Boverket, 2018b) anges att en särskild bedömning av byggnadsdelarnas skyddsbehov med avseende på konstruktionens bärförmåga vid brand ska göras. Bedömningen ska beakta risken för personskador och utgå från aspekter som anges i BBRAD och EKS, se avsnitt 5.2. I remissen anges även att bärförmågan vid brand i en Br0-byggnad inte får vara lägre än vad som gäller för närmast likvärdiga byggnad i byggnadsklass Br1 eller Br2.
3 §	
Föreskriftstext:	Byggnadsdelar som krävs för att upprätthålla funktionen hos en brandcellsgräns eller annan avskiljande konstruktion ska utformas så att funktionen erhålls under avsedd tid.
Allmänt råd:	Krav EI15-EI90 anges för brandceller och brandsektioner med utgångspunkt i brandsäkerhetsklass (Br1-Br3)
Påverkan:	Höjd: Viss påverkan. Material: Ingen påverkan
Kommentar:	Brandbelastningen och eventuellt byggnadshöjden skulle kunna inverka på vilken avskiljande förmåga konstruktioner i framförallt brandsäkerhetsklass 4 och 5 ska utföras i. För Br0-byggnader föreslår remiss till EKS 11 (Boverket, 2018b) att en kravnivå som är minst den för Br1 ska tillämpas.
6 §	
Föreskriftstext:	Dimensionering enligt klassificering (nominella temperatur-tidförlopp)
Allmänt råd:	Krav R15-R240 anges för bärverk baserat på brandsäkerhetsklass och brandbelastning (Br1-Br3).
Påverkan:	Höjd: Stor påverkan. Material: Viss påverkan
Kommentar:	I remissen till EKS 11 (Boverket, 2018b) anges att den relevanta tidsperioden för nominellt brandförlopp ska väljas med utgångspunkt i brandsäkerhetsklass, brandbelastning samt den särskilda bedömning av skyddsbehovet som görs i 2 §. Om bedömningen resulterar i ett högre skyddsbehov (än Br1) bör en större säkerhetsmarginal väljas. Om det finns exponerade träytor uppkommer en svårighet att bedöma brandbelastningen, vilket i sin tur skapar en osäkerhet gällande kravnivån.

7 §	
Föreskriftstext:	Dimensionering enligt modell av naturligt brandförlopp
Allmänt råd:	Anger krav (del eller fullständigt brandförlopp) på byggnadsdelar baserat på brandsäkerhetsklass, vilket har en indirekt koppling till byggnadsklass (Br1-Br3).
Påverkan:	Höjd: Stor påverkan. Material: Mycket stor påverkan
Kommentar:	För Br0-byggnader anger remissen till EKS 11 (Boverket, 2018b) att den bedömning av skyddsbehovet som görs i 2 § ska ligga till grund för valt brandförlopp. För höga byggnader (Br1) gäller ett fullständigt brandförlopp baserat på 50 % ökad brand. Om konstruktionsmaterialet inte bidrar till brand när all energi i den lösa inredningen förbränts bör den kravnivå kunna fungera som en utgångspunkt. Men, om konstruktionsmaterialet involveras i branden och inte självslocknar kan dimensionering enligt naturligt brandförlopp inte utföras.

6.2 Val av verifieringsmetod

Verifieringen av brandskyddet i en Br0-byggnad bör göras på två olika nivåer – det totala brandskyddet och delar av brandskyddet. En kvalitativ bedömning kan användas för att redovisa vad som förväntas av byggnadens brandskydd. I bedömningen bör effekten av fel på enskilda brandskyddssystem belysas. Vidare bör verifieringen redovisa hur de särskilda förutsättningarna påverkar utformningen av brandskyddet med avseende på:

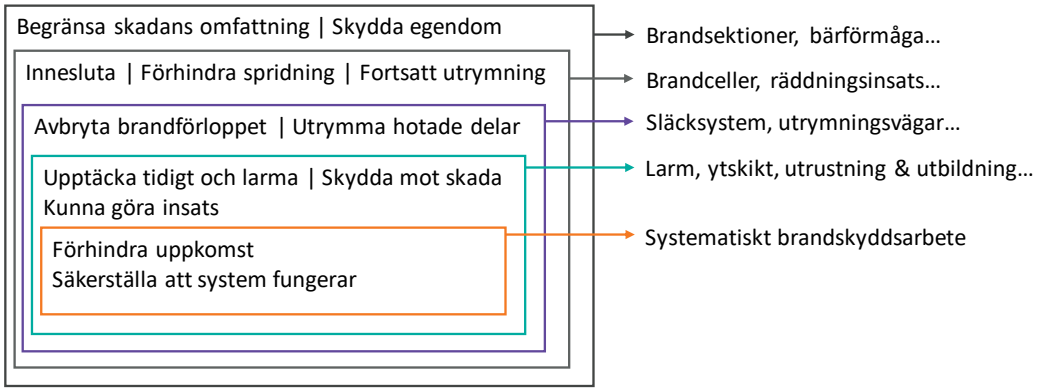
- Utrymning vid brand.
- Skydd mot brand- och brandgasspridning mellan brandceller.
- Skydd mot brandspridning mellan byggnader.
- Bärförmåga vid brand.
- Möjlighet till räddningsinsats.

För delar av brandskyddet kan BBRAD (Boverket, 2013a) eller andra etablerade metoder användas, t.ex. den för scenarioanalys i INSTA TS 950 (2014). Självfallet går det även att nyttja andra verifieringsmetoder som kvalitativa bedömning och provning (Nystedt & Östman, 2012). Kravnivåer vid t.ex. provning kan behöva justeras för att fånga upp de avvikande förutsättningar som råder i en hög byggnad med brännbar konstruktion.

7 Vägledning – verifiering av brandsäkerheten

7.1 Brandskyddets robusthet

Inom kärnkraftssäkerheten finns begrepp som djupförsvarsprincipen och enkelfelskriterium. Djupförsvarsprincipen anger att säkerheten ska bygga på flera försvarslinjer där den första linjen omfattar kvaliteten i anläggningen, dess drift och underhåll, för att förebygga driftstörningar som kan hota säkerheten. I den andra linjen finns säkerhetssystem och förberedda åtgärder för att motverka att driftstörningar, som trots allt kan inträffa, leder till olyckor. I påföljande linjer finns ytterligare system som begränsar konsekvensens omfattning med målsättningen att undvika katastrofer. I Figur 7 visas ett exempel på hur djupförsvarsprincipen kan tillämpas när brandskyddet utformas i en byggnad.



Figur 7 Exempel på tillämpning av djupförsvarsprincipen på brandskyddets utformning.

En traditionell utformning av brandskydd i ett bostadshus lägger större vikt på de yttre försvarslinjerna än de tidiga. I byggreglerna finns förhållandevis få bestämmelser som verkar olycksförebyggande jämfört med sådana som är skadebegränsande. I en byggnad av brännbart material är tidiga åtgärder av ökad betydelse eftersom förväntade skador på konstruktionen är större i dessa byggnader. Att arbeta med organisatoriska åtgärder, samt tekniska lösningar för att förhindra uppkomst av brand bör få ökad vikt här. Vidare kan det finnas anledning att överväga om åtgärder ska vidtas för att kunna göra en tidig släckinsats. Här kan tillgång till handbrandsläckare i kombination med ökade utbildningsinsatser spela en avgörande roll.

Djupförsvarsprincipen handlar om att skapa flera oberoende och redundanta lager av skyddsåtgärder för att undvika den potentiellt stora skada som kan inträffa. Syftet är att inget enskilt system, oavsett hur robust det är utformat, ensamt ska stå för det erforderliga skyddet. Nyckelord i sammanhanget är redundans, oberoende och diversifiering. Redundans innebär att fler än en komponent (system) har samma funktion, t.ex. att ha två pumpar i stället för en. Redundans innebär också att enkelfelskriteriet uppfylls eftersom en komponent kan fallera utan att systemet i sin helhet tappar sin funktion. Ytterligare ett sätt att beskriva redundans är att utforma ett system med n+1 komponenter, där n är antalet komponenter som erfordras och n+1 innebär att det finns en komponent i reserv i händelse av bortfall på någon av de erforderliga. Oberoende mellan system kan uppnås genom att de redundanta komponenternas funktion är skilda från varandra. T.ex., om pumparna i exemplet ovan

har separat anslutning till vattenkällan och är placerade i olika rum. Slutligen innebär diversifiering att komponenter som har samma funktion bygger på olika designprinciper, exempelvis användning av en dieseldriven pump och en eldriven pump.

Normalt är räddningstjänsten en effektiv barriär för att förhindra spridning av brand till annan brandcell. De senaste årens insatsstatistik visar att hela 97 % av lägenhetsbränderna inte sprider sig utanför startbrandcellen. I höga byggnader kan räddningstjänsten inte uppnå samma höga effektivitet och brandskyddet måste därför kompletteras med ytterligare barriärer. Räddningstjänstens roll är fortfarande betydelsefull eftersom det finns scenarier som faller utanför de dimensionerande förutsättningarna. En snabb räddningsinsats med små taktiska enheter vilka garanteras en säker angreppsväg är en lämplig strategi i höga byggnader.

En automatisk vattensprinkleranläggning är ett system som kan användas för att kompensera för räddningstjänstens minskade möjligheter till en snabb och effektiv räddningsinsats. En sprinkleranläggning var vanligen en tillförlitlighet kring 95 %. Sprinklern klarar därför inte ensamt av att släcka eller kontrollera branden med samma eller högre sannolikhet än vad räddningstjänsten förmår. Ytterligare brandskydds-åtgärder krävs som ett komplement till sprinklersystemet, alternativt måste sprinklersystemet dimensioneras så att dess tillförlitlighet blir högre än den förmåga som räddningstjänsten kan uppvisa.

Dessvärre finns det scenarier och mänskligt agerande som ett fast system inte kan hantera. Ytterligare åtgärder för att begränsa brandspridning är nödvändiga, företrädesvis med avskiljande konstruktioner Särskild hänsyn krävs till skydd mot brandspridning via ytterväggen, framförallt mellan fönster.

7.2 Skydd mot utveckling och spridning av brand

Att skydda mot utveckling och spridning av brand är en utmaning i en byggnad av brännbart material då konstruktionen själv kan delta i brandförloppet. I kapitel 3 redovisas grundläggande aspekter som påverkar brandförlopp i träbyggnader och några viktiga delar som behöver beaktas noga när brandskyddet ska verifieras redovisas nedan.

- Dimensionerande brandbelastning
- Dimensionerande brandförlopp
- Utformning av detaljer

Förenklad dimensionering av byggnader med verksamhetsklass 3A medger att avskiljande och bärande konstruktioner kan utformas utifrån de krav som gäller när brandbelastningen understiger 800 MJ/m^2. För en byggnad med brännbar konstruktion i byggnadsklass Br0 är detta angreppssätt inte tillämpbart. Den variabla brandbelastningen (80% percentilen) i en bostad uppgår till 750 MJ/m^2 (Boverket, 2013b) och tillsammans med bidraget från permanent, oskyddad brandbelastning skulle brandbelastning lätt kunna överstiga 1 200 MJ/m^2. Beräkningsexemplet utgår från ytskikt av trä på golv och 50 % av väggytorna samt att branden når ett djup på 4 cm

innan den självslocknar. Om konstruktionen förses med skikt av tändskyddande beklädnad går det påtagligt minska bidraget till brandbelastningen, se även avsnitt 7.3.1.

Att kunna verifiera att en brand i oskyddade träytor självslocknar samt bedöma konstruktionens bidrag till brandförloppet är av yttersta vikt när brandbelastningen ska fastställas. Brandon (2018) presenterar en beräkningsmetod som tar hänsyn till både variabel och permanent brandbelastning. Metoden bygger på en modell av ett naturligt brandförlopp där man genom ett iterativt förfarande kan fastställa inträngningsdjupet vid självslocknad. Beräkningsmodellen förutsätter att delaminering inte sker, vilket i sin tur ställer krav på antingen temperaturresistent lim eller ett skydd med gipsskivor. Brandon (2018) och Brandon & Dagenais (2018) innehåller den senaste tillgängliga informationen för att uppnå ovanstående. Se även avsnitt 7.3.2.

Eftersom brandförloppet i en byggnad med träkonstruktion ser annorlunda ut än vad som kan förväntas i en byggnad av obrännbart material behöver det verifieras att kravnivån i olika standarder och tester motsvarar de förlopp som kan förväntas i en byggnad med brännbar konstruktion. En större del av bränslet kommer att brinna utanför brandcellen, vilket vid vissa förhållanden teoretiskt sett kan ge mer intensiva fasadbränder än det standardiserade scenariot som används i SP FIRE 105.

7.3 Bärförmåga vid brand

I aktuell EKS (europeiska konstruktionsregler) ges ingen vägledning kring hur man ska hantera Br0-byggnader. I remissen till nästa EKS, version 11, tas detta däremot upp och används därför som underlag för efterföljande text i detta avsnitt. Vid bedömning av skyddsbehovet för byggnadsdelar i Br0-byggnader ska, utöver vad som gäller för Br1-Br3, även hänsyn tas till de särskilda aspekter som redovisas i avsnitt 5.2. Bärförmågan vid brand för enskilda byggnadsdelar i byggnader som tillhör byggnadsklass Br0 får dock inte vara lägre än vad som gäller för närmast likvärdiga byggnad i byggnadsklass Br1 eller Br2. I EKS ges två möjliga sätt att dimensionera bärförmågan vid brandpåverkan:

- Klassificering mot nominella temperatur-tidförlopp.
- Naturligt brandförlopp.

7.3.1 Dimensionering genom klassificering

Dimensionering genom klassificering är starkt kopplad till brandbelastningen och anger vilken brandteknisk klass i bärande avseende som ska användas. Man kopplar klassificeringen till ett nominellt brandförlopp, t.ex. standardbrandkurvan beskriven i SS-EN 1363-1 (2012). En konstruktion som vid brandprovning eller beräkning visats kunna bära sin belastning med brandpåverkan enligt standardbranden förutsätts uppfylla sin bärande funktion vid en verklig brand för aktuell brandbelastning. Har man visat detta så är det underförstått att man undviker kollaps inom den tidsram som den brandtekniska klassen anger. Det är dock viktigt att komma ihåg att detta inte innebär att bärverksdelarna förutsätts kollapsa efter 60 min eller 90 min. Kollaps av en flervåningsbyggnad skulle kunna få mycket allvarliga konsekvenser. Egenskapskravet är att bärförmågan ska antas bestå under en bestämd tid. En påverkan enligt standardbrandkurvan eller modell för naturligt brandförlopp anses uppfylla

egenskapskravet. En byggnadsdel får således kollapsa, men det ska vara osannolikt att så sker och det finns ingen fastställd verklig tid när det är tillåtet. För lägre byggnader, som ofta hänförs till byggnadsklass Br2, är brandbelastningen inte en dimensionerande faktor för bärverkets klass och man kan därför dra slutsatsen att dessa byggnader får kollapsa.

Av det allmänna rådet i EKS framgår att utgångspunkten vid val av tidsperiod för en Br0-byggnad kan vara likvärdig den som anges för Br1- eller Br2-byggnad men att valet av tidsperiod ska baseras på en särskild bedömning i kombination med brandbelastningen och byggnadsdelens brandsäkerhetsklass. Om den särskilda bedömningen visar att ett högre skyddsbehov föreligger så finns det anledning att välja en högre säkerhetsmarginal vid dimensionering av bärverksdelars brandskydd. Den högre säkerhetsmarginalen kan uppnås genom att en längre tidsperiod väljs jämfört med vad som hade tillämpats i närmast likvärdiga byggnad i byggnadsklass Br1 eller Br2. Andra metoder för att uppnå en högre säkerhetsmarginal kan vara installation av automatisk vattensprinkler.

I och med att brandbelastningen styr vilken brandteknisk klass som blir aktuell kommer en stomme med oskyddat trä hänföras till den högsta möjliga klassen, R 240 (enligt tabell C-7). Detta gäller för en Br1-byggnad. Då rådet anger att man ska välja närmsta högre tidsperiod för en Br0-byggnad så blir tidsperioden 360 minuter, R 360, om man följer de tidsperioder som nämns i BBR. Om man installerar automatisk vattensprinkler blir klassen R 240 (R 180 + 60 minuter). Att skydda en stomme för dessa tidsperioder medför att det skyddade skiktet blir mycket tjockare än vad som normalt anbringas som skydd på andra stommar (stål, betong).

Brandbelastningar i inneslutningar som är dimensionerade för att motstå brand, behöver inte beaktas. Ett passande skydd kan vara en tändskyddande beklädnad som förhindrar antändning av bakomliggande trä. Som kriterium att uppnå bedöms K_2xx vara lämpligt, där xx motsvarar tiden som beklädnaden ska klara att skydda det bakomliggande träet. Skyddstiden får avgöras i samband med verifieringen och kan åstadkommas med exempelvis gipsbaserade skivor med fiberförstärkning.

Om man då väljer att skydda trästommen, så att stommen inte antänds, kommer den brandteknisk klassen istället att bli R 120 (R 90 + 30 minuter). Om man installerar automatisk vattensprinkler blir klassen R 90 (R 60 + 30 minuter).

7.3.2 Naturligt brandförlopp

Att tillämpa modell av naturligt brandförlopp vid dimensionering av byggnad med stomme av trä är problematiskt då det måste finnas kunskap om de omslutande ytornas termiska egenskaper eftersom detta har stor påverkan på brandgastemperaturen och därmed även den bärande konstruktionens temperatur och bärförmåga. Termiska data för KL-trä är inte entydigt (se avsnitt 2.3) bestämt mycket beroende på limmet som finns mellan de olika skikten.

Om limmet är av typen MUF, eller annat lim med hög temperaturtålighet, kommer KL-skivan att fungera mer som en massiv trävägg med normal inbränning och då kan eventuellt ett naturligt brandförlopp användas. Exempel på metod finns i Brandon (2018).

I bilaga A till EN 1991-1-2:2002 finns beskrivet hur ett naturligt brandförlopp kan beräknas. Den är begränsad till brandceller som är högst 500 m^2 och kan därför användas för exempelvis för lägenheter i ett bostadshus. Olika öppningsfaktorer måste beaktas då det är svårt att med säkerhet känna till hur stora öppningar som erhålls vid en brand. Vidare kräver metoden att brännbara konstruktionsdelar är skyddade under hela brandförloppet.

Att en byggnad inte får kollapsa medför ett problem för byggnader i trä då trä i sig är ett brännbart material och om stommen i sig bidrar till brandförloppet. Hur man ska bygga en stomme som inte får kollapsa i ett hus som helt kan brinna upp är inte självklart. I det svenska regelverket finns inget formellt hinder för detta vilket är en inbyggd problematik med risk för storbränder och allvarliga konsekvenser med påverkan på samhället.

7.3.3 Egendomsskydd

Utöver det som angetts ovan, vilket berör personskyddet, finns även anledning att beröra egendomsskyddet förknippat med en brand i en träbyggnad. Oskyddat trä skadas även vid liten brandpåverkan och vi har inte idag erfarenhet av hur mycket av en stomme i KL-trä som måste bytas efter en brand. En bärande innervägg på tionde våningen som bara är delvis skadad kan behöva bytas med stora kostnader som följd. Detta problem skulle kunna gå att hantera genom att säkerställa att byggnadsdelar är lätt utbytbara i den händelse de skadas av brand. Det finns dock en risk att den typen av byggnadssätt inte passar ihop med skydd mot fortskridande ras som kräver starka förband och goda sammanhållningsegenskaper.

En annan aspekt som behöver belysas är huruvida det ens är möjligt att belasta byggnaden med nyttig last efter ett brandförlopp. Vid olycksfallsdimensionering, som brandlastfallet hänförs till, så är lastpåverkan kraftigt reducerad på grund av att man när det brinner förutsätter lägre laster, lastfaktorer och partialkoefficienter än vad som gäller vid brottlastdimensionering. Detta gäller oavsett stommaterial men är viktigare för en stomme i trä vilken vanligtvis har lägre egenvikt än en stomme i stål eller betong.

7.3.4 Val av skyddsprincip

Som nämnts ovan så förespråkas att den bärande stommen förses med någon form av skydd för att inom rimliga ramar säkerställa att en brand inte når den bärande stommen vilket kan leda till kollaps. Detta är redan implementerat i bland annat Danmark och Tyskland där trähus inte får byggas i för många våningar utan att stomme förses med skydd (Östman m.fl., 2012).

Det finns olika metoder för att skydda trä, där en vanlig metod är att förse stommen med ett offerskikt i trä som ser till att resttvärsnittet efter en viss tidsperiod har tillräcklig bärförmåga. Denna metod är dock inte tillämplig för på grund av risken för självunderhållande inbränning. Istället behöver det passiva brandskyddet utföras så att

trästommen skyddas av ett material som inte bidrar nämnvärt till brandförloppet (i princip obrännbart material). En mycket vanlig missuppfattning är att brandskyddsbehandling av träytan för att klara ytskiktskraven i BBR även ger tillräckligt skydd för stommen. En sådan behandling är enbart funktionsduglig i det tidiga brandförloppet och har ingen verkan efter när branden blivit fullt utvecklad.

7.4 Möjlighet till räddningsinsats

Höga byggnader innebär en särskild utmaning för räddningstjänsten då den taktik och den utrustning som de normalt använder inte kan tillämpas i lika stor utsträckning. BIV (2016) sammanfattar skillnaderna mot bränder i lägre byggnader som svårigheten att skapa en överblick över händelseförloppet, tid- och resursåtgången vid vertikal förflyttning uppåt, tillträde till de högre belägna delarna av fasaden samt taket, tillgång till släckvatten och möjligheterna till utvändig vattenpåföring på delar högre än 23 m. En Br0-byggnad har vanligen en höjd som överskrider 45 m och den problembild som skapas av en hög byggnad är således inte unik för dessa byggnader, även om den förstärks efterhand som byggnadshöjden ökar.

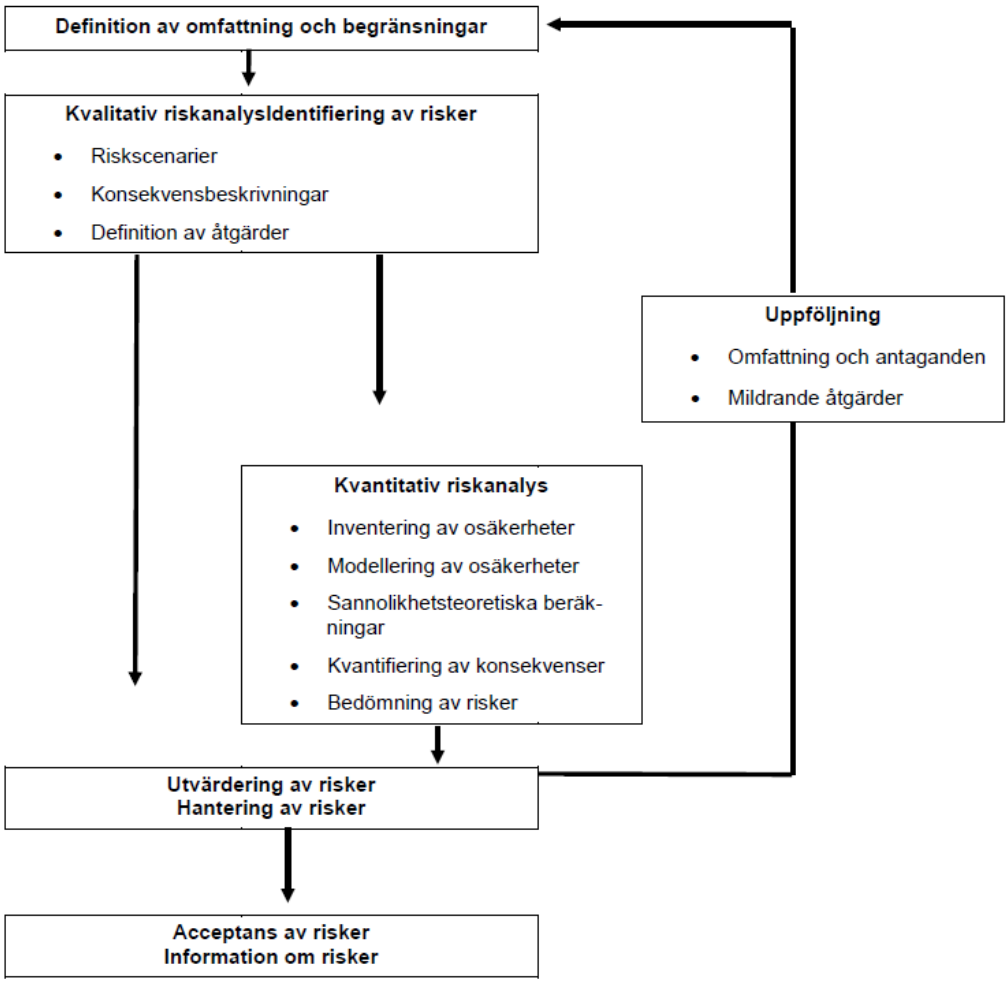
Vylund och Palmkvist (2017) har sammanställt kunskapen kring metodik och taktik vid släckning av konstruktionsbränder i hålrum utan att orsaka stora vattenskador. Tillgång till information om brandstopp, typ av material och hur konstruktionen är uppbyggd är avgörande för en lyckad insats. Exempel på värdefull utrustning är IR-kameran och tillgång till en skärsläckare.

Vid verifiering av möjlighet till räddningsinsats är det framförallt tillvägagångssättet vid en insats som behöver fastställas med utgångspunkt i aktuell konstruktion. Därutöver bör den problembild som är generell för räddningsinsats i höga byggnader beaktas, vilket bl.a. berör:

- Nyckelhantering.
- Räddningshiss.
- Stigarledning.
- Brandgasventilation av trapphus och vind.
- Radiosamband/kommunikation.
- Insatsstödjande information.

8 Vägledning – riskanalys EKS

I EKS 10 (Boverket, 2016) beskrivs hur EN 1991-1-7 – Olyckslaster ska tillämpas. I bilaga A till EN 1991-1-7 delas byggnader in i konsekvensklasser (1, 2a, 2b och 3) och byggnader med fler än 15 våningsplan tillhör konsekvensklass 3. För dessa byggnader anges att en systematisk riskvärdering av byggnaden bör göras där både förutsägbara och oförutsägbara risker beaktas. Som stöd för riskvärderingen finns bilaga B till EN 1991-1-7 där följande översiktliga bild av riskanalysens genomförande redovisas.



Figur 8 Flödesschema för riskanalys (SS-EN 1991-1-7:2006).

8.1 Genomförande

I stort går genomförandet av en riskanalys EKS ut på att identifiera, uppskatta och värdera risker i syfte att kunna fastställa behovet av åtgärder. Riskanalysen fokuserar på exceptionella dimensioneringssituationer med målsättningen att ge byggnaden en acceptabel robusthet mot både förutsägbara och oförutsägbara risker. Genomförandet kan brytas ner i följande huvudmoment.

- Omfattning och begränsningar:
    - Alla tänkbara risker, även naturkatastrofer och antagonistiska handlingar bör beaktas.
    - För varje tänkbar risk görs en helhetsbedömning av robustheten där en utformning enligt konsekvensklass 2b utgör en miniminivå.
- Riskidentifiering:
    - Identifiering av risker och kvalitativ uppskattning av sannolikhet och konsekvens görs med fördel i en gemensam ”riskworkshop” med stöd i de råd som ges i EN 1991-1-7 – Bilaga B.
    - Riskerna bör dokumenterats i ett riskregister, se avsnitt 8.2.
- Riskvärdering:
    - Identifierade risker kan värderas utifrån de i EN 1991-1-7 – Bilaga B föreslagna riskacceptanskriterierna, se avsnitt 8.3.
- Riskhantering:
    - De risker som bedöms vara oacceptabla eller rimliga att åtgärda hanteras genom att ta fram och verifiera åtgärdsförslag, vilka syftar till att minska riskerna eller öka robustheten hos bärverket.
    - Riskhantering kan ske genom att risken elimineras, utformningen ändras eller att det anordnas förebyggande åtgärder.
    - Inspektioner, varningssystem och övervakning är exempel på åtgärder för att skapa kontroll över riskerna.
- Information om risker:
    - Samtliga identifierade risker dokumenteras i ett riskregister (se avsnitt 8.2) där det även bör redogöras för hur risknivåer och eventuella åtgärder har uppskattats (motivering).

8.2 Riskidentifiering

Risker kan delas in i olika typer, t.ex. olyckslaster från trafik, olyckor i byggnaden och naturolyckor. Varje risk beskrivs med händelse, orsak och påverkan. I samband med riskidentifieringen kan följande beaktas:

- Vilka är de normala lasterna och kan de förväntas bli högre?
- Låga värden för bärförmågor, p.g.a. exempelvis oförutsedd reduktion.
- Geotekniska och andra miljöförhållanden som avviker från det antagna.
- Olyckslaster som:
    - Brand.
    - Explosion (gas, damm, explosiva ämnen).
    - Översvämning (urspolning).
    - Påkörning (väg, järnväg, fartyg, flygfarkost, arbetsfordon, övrigt).

  - Jordbävning, jordskred, stenras, skogsbränder.
  - Extremt väder: vind, regn, snö, hagel, blixtnedslag.
  - Terrorism och vansinnesdåd.
- Vad händer om en bärverksdel avlägsnas?
- Används nya material i bärverket eller är själva utformningen oprövad?
- Närbelägna transportleder för farligt gods, farliga verksamheter eller hantering av brandfarlig och explosiva varor?
- Hur och när inspekteras bärverket?

När riskerna identifierats görs en kvalitativ bedömning av sannolikhet och konsekvens, exempelvis med en 5-gradig skala enligt klassificeringen i Tabell 2. I Tabell 3 ges några exempel på risker och hur de bedömts.

Tabell 2 Exempel på sannolikhets- och konsekvensklasser vid bedömning av risker (SS-EN 1991-1-7).

Klass	Konsekvens vid brott	Sannolikhet (under byggnadens livslängd)
1	Mycket låg. Lokalt brott av ringa betydelse	0,1 %
2	Låg. Lokalt brott	1 %¤
3	Medel. Brott i del av bärverket. Total eller partiell kollaps av bärverket är osannolik. Liten risk för skador och störningar.	10%
4	Hög. Brott i del (delar) av bärverket med stor risk för partiell kollaps och viss risk för skador och störningar.	63 %
5	Allvarlig. Plötslig kollaps av bärverket med stor risk för skador och förluster av liv.	100 %

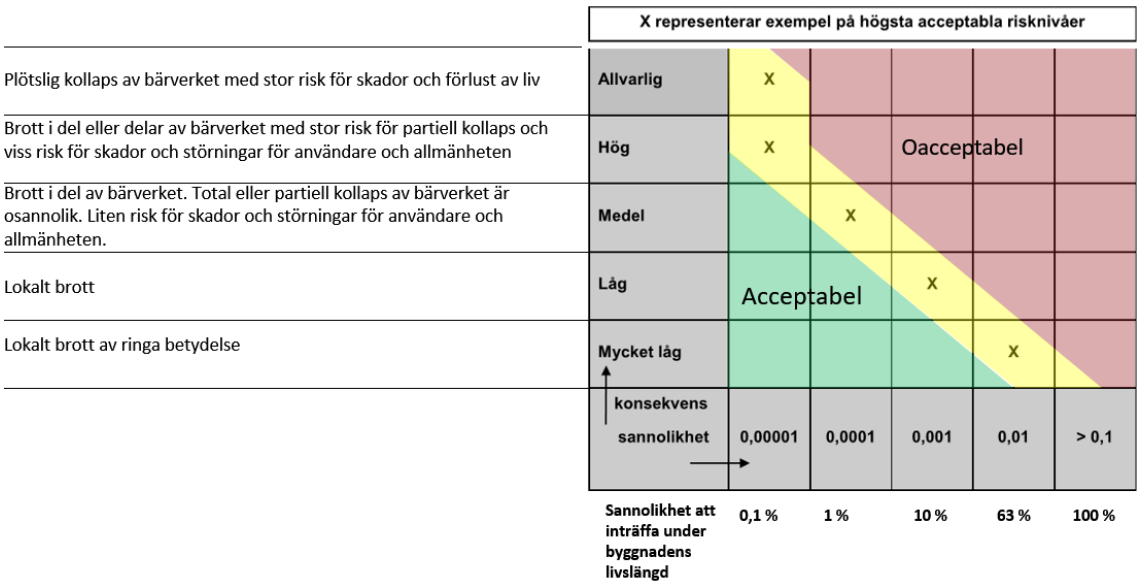
Tabell 3 Exempel på utdrag från ett riskregister. $S_{FÅ}$ och $K_{FÅ}$ representerar sannolikhet/konsekvens före åtgärd samt $S_{EÅ}$ och $K_{EÅ}$ representerar sannolikhet/konsekvens efter åtgärd.

Risk ID	**Händelse** (Risk för…)	**Orsak** (…på grund av…)	**Påverkan** (…vilket medför att…)	$S_{FÅ}$	$K_{FÅ}$	**Åtgärd**	$S_{EÅ}$	$K_{EÅ}$
Olyckslaster infrastruktur (trafik)								
1	Påkörning bil	Påkörning fasad	Påverkan på bärande element	3	5	Pelare och infästningar dimensioneras för en påkörningslast, raskopplingar	3	1
Olyckor i byggnaden								
2	Brand i lägenhet	Torrkokning, sängrökning etc.	Påverkar den bärande stommen.	4	2	Installation av sprinkler, raskopplingar, dimensionering enligt gällande regelverk	1	1

Risk ID	Händelse (Risk för…)	Orsak (…på grund av…)	Påverkan (…vilket medför att…)	$S_{FÅ}$	$K_{FÅ}$	Åtgärd	$S_{EÅ}$	$K_{EÅ}$
Naturolyckor/väderpåverkan								
3	Väderpåverkan	Storm, isstorm, 100-års regn	Huset kan komma i svängning och skulle kunna tippa.	5	5	Dimensionering enligt gällande regelverk, särskild utredning gällande vindlast utförs.	1	1
Övriga risker								
4	Feldimensionering	Mänskliga faktorn	Feldimensionering av bärande stomme	3	5	Kvalitetskontroll, egenkontroller, säkerhetsfaktorer	1	1
5	Produktionsmiss	Dålig kvalitet på betong, missad armering, infästningar etc. Mänskliga faktorn.	Påverkar den bärande stommen.	4	2	Egenkontroller, bra och tydliga handlingar, arbetsberedning och överlämning	3	1

8.3 Riskvärdering

Värdering av risk kan ske genom att riskerna placeras i en riskmatris utifrån uppskattad sannolikhet och konsekvens. Värderingen av riskerna sker semi-kvantitativt och risker bedöms som oacceptabla om de placeras till höger om ett ”X” i Figur 9. Bedömningen av riskerna och deras placering i riskmatrisen bör göras före och efter föreslagna åtgärder.



Figur 9 *Matris för riskvärdering. Om en risk placeras i en ruta till höger om ett ”X” i figuren bedöms denna risk som oacceptabel och åtgärder krävs (SS-EN 1991-1-7).*

9 Vägledning – kontroll av verifiering

All verifiering bör genomgå egenkontroll för att säkerställa att projekteringen har skett på ett korrekt sätt. För Br0-byggnader är behovet av kontroll normalt sätt större än i byggnader i annan byggnadsklass. Anledningen är framförallt att byggnader i byggnadsklass Br0 anses har mycket stort skyddsbehov relaterat till utrymning och konsekvensen av att byggnaden störtar samman.

9.1 Val av kontrollnivå

I ett utkast till en gemensam nordisk teknisk specifikation (INSTA TR 952, 2018) redovisas ett system för kontrollnivå som utgår från byggnadens komplexitet, personer i byggnaden och vilken verifieringsmetod som använts. I Figur 10 redovisas ett system för att välja nivå på kontrollen där de olika nivåerna definieras enligt nedan (Lundin, 2001) som 1) utföraren kontrollerar sig själv, 2) någon annan person med minst samma kompetens utför kontrollen och 3) tredjepartskontroll med en fristående kontrollant.

Complexity of the construction	Composition of occupants[1]	Verification method				
		Pre accepted design	*Analytical design*			
			Simplified verification methods such as qualitative arguments, simple and well known hand calculation methods.	Normal Verification methods such as novel hand calculation methods	Verifications methods with the use of advanced simulation tools on normal applications and non-complex constructions	Verifications methods with the use of advanced simulation tools with unusual application and complex constructions
Simple	Low risk	1	1	2	2	2
	High risk	2	2	2	2	3
Medium	Low risk	2	2	2	2	3
	High risk	2	2	3	3	3
High	Low risk	2	2	3	3	3
	High risk	3	3	3	3	3
[1] Low risk: Few occupants with good mobility, high risk: Large number of occupants or occupants with low mobility						

Figur 10 *Val av kontrollnivå (nivå 1-3) utifrån komplexitet (INSTA TR 952, 2018). Nivå 1 innebär att utföraren kontrollerar sig själv, nivå 2 innebär att kontrollen utförs av en annan person med minst samma kompetens och nivå 3 innebär att kontrollen utförs av en fristående tredje part.*

En Br0-byggnad är per automatik inte en byggnad med hög komplexitet. Det är stor skillnad på ett sjukhus och ett flerbostadshus även om båda tillhör byggnadsklass Br0. Däremot bör personerna i en Br0-byggnad kategoriseras som ”hög risk” då de är många till antalet samt kan ha begränsad rörlighet. När det gäller verifieringsmetoden för analytisk dimensionering så bör den bedömas vara avancerad, men inte nödvändigtvis tillämpad på en unik och komplex byggnad.

Beroende på situationen kan alltså kontrollnivån för en Br0-byggnad utföras antingen av annan person på berört företag (nivå 2) eller som tredjepartskontroll (nivå 3). För höga byggnader med träkonstruktion bör dock kontrollen utföras av en fristående tredje part.

9.2 Genomförande av kontroll

INSTA TR 952 (2018) har en omfattande redovisning av hur kontroller av brandteknisk projektering bör genomföras. Grundläggande för kontrollerna är att de bör ske löpande över projekteringen där kontrollpunkterna ändras efterhand som projekteringen framskrider. Den första kontrollen bör utföras tidigt, redan när förutsättningarna för byggnaden har klarlagts (se kapitel 5). När sedan samtliga förutsättningar för verifiering (se kapitel 6) har tagits fram är det lämpligt att utföra den andra kontrollen. Den tredje kontrollen utförs efter att verifieringen är utförd (se kapitel 7) och den fjärde kontrollen utförs när verifieringen har dokumenterats. I Figur 11 beskrivs omfattning av resp. kontroll för en hög Br0-byggnad med förnyelsebart material.

Figur 11 *Omfattning av respektive kontrollsteg (INSTA TR 952, 2018), med modifiering för att passa en Br0-byggnad.*

10 Slutsatser

Kunskapen om hur träkonstruktionens bidrag till brandförloppet och dess beteende vid brand (KL-trä) medför att vissa försiktighetsmått behöver vidtas vid användning av en brännbar stomme. Att en brand självslocknar när lös inredning (variabel brandbelastning) brunnit upp är en viktig förutsättning för att brandförloppet ska vara förutsägbart. Utan ett förutsägbart brandförlopp är det svårt att projektera en lösning som ger en säkerhetsnivå som samhället anser vara tillfredsställande.

Ett förutsägbart brandförlopp skapas genom att antingen säkerställa att KL-trä inte delaminerar eller genom att använda beklädnadsskivor som skyddar träkonstruktionen tills dess att bränslet tar slut. Det finns forskningsresultat som visar att delaminering kan undvikas, både relaterat till mängden exponerat trä och till vilken limtyp som används. Dock är kunskapsläget begränsat och ännu finns ingen europeisk standard eller motsvarande som visar hur KL-trä ska tillverkas för att uppnå eftersträvade egenskaper vid brand. Därmed blir det nödvändigt att skydda träkonstruktionen med beklädnadskivor.

Då utvecklingen inom området går snabbt framåt kan möjligheten att använda exponerat trä som konstruktionsmaterial bli aktuellt, vilket i sin tur innebär att brandförloppet ändras. Det är i så fall avgörande för hur brandskyddet utformas i jämförelse med en byggnad med traditionellt material. Att dessutom bygga högt innebär särskilda utmaningar som behöver hanteras under projektering, produktion och förvaltning.

Projektering

- Var noggrann i riskidentifieringen. Lägg vikt vid att fånga upp de svårigheter som uppkommer i en hög byggnad med träkonstruktion.
- Utforma brandskyddet med utgångspunkt i djupförsvarsprincipen med ledorden redundans, oberoende och diversifiering. Visa att vald utformning av brandskyddet kan hantera identifierade svårigheter med tillräcklig robusthet.
- Överväg åtgärder som förhindrar att bränder uppkommer och säkerställer att det kan släckas snabbt om de uppstår.
- Utforma brandskyddet så att brandförloppet blir förutsägbart. Trä som behöver skyddas måste förbli skyddat under hela brandförloppet. Vid användning av KL-trä är ett temperaturresistent lim av yttersta vikt.
- Fastställ brandbelastningen genom att räkna med den del av den brännbara konstruktionen som kommer medverka i branden till dess att lös inredning brunnit ut. Att nyttja förenklad dimensionering och en brandbelastning på < 800 MJ/m^2 är inte möjligt.
- Var noggrann med detaljer. Anslutningar (förband) är en svag länk som kräver särskild hänsyn.
- Implementera rutiner för kontroll av projekteringen som är aktiv under hela projekteringsfasen.

Produktion

- Utförande av detaljer kräver utökad egenkontroll eller kontroll av tredje part. Fotodokumentation är särskilt betydelsefull för delar som ej kan kontrolleras efter färdigställande.
- Brandskydd under byggtid behöver planeras med särskild hänsyn till konstruktionens sårbarhet.

Förvaltning

- Samråd med räddningstjänsten om lämplig insatstaktik
- Utformas ett system för reparation efter skada, t.ex. vattenläckage eller brand.
- Fastställ hur ombyggnad kan ske med hänsyn till konstruktionens unika förutsättningar.

11 Referenser

Australian Building Codes Board (2005), *International Fire Engineering Guidelines*, Australian Government, State and Territories of Australia, Canberra.

Allacker, K., Maia de Souza, D. and Sala, S. (2014). *Land use impact assessment in the construction sector: an analysis of LCIA models and case study application*. International Journal of Life Cycle Assessment, 19, pp. 1799-1809.

Barber, D., Gerard, R., *Summary of the fire protection foundation report - fire safety challenges of tall wood buildings*, Fire Science Review 4:5, 2015.

Bartlett, A.I. m.fl. (2017), *Auto-extinction of engineered timber: Application to compartment fires with exposed timber surfaces*, Fire Safety Journal 91, pp 407–413.

BIV (2013), *Brandteknisk dimensionering av Br0-byggnader*, BIV:s tillämpningsdokument 2013-3, utgåva 1.

BIV (2016), *Insatsstödjande åtgärder i höga byggnader upp till 16 våningar*, BIV:s tillämpningsdokument 2015-4.

Boverket (2011), *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om certifiering av sakkunniga inom brandskydd*, SAK 3, BFS 2011:17.

Boverket (2013a), *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd*, BBRAD 3, BFS 2011:27 med ändringar tom. 2013:12.

Boverket (2013b), *Boverkets allmänna råd om brandbelastning*, BBRBE 1, BFS 2013:11.

Boverket (2016), *Boverkets konstruktionsregler*, EKS 10, BFS 2011:10 med ändringar t.o.m. BFS 2015:6.

Boverket (2018a), *Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd)*, BBR 26, BFS 2011:6 med ändringar tom. 2018:4.

Boverket (2018b), *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder, EKS 11, BFS 2018:xx*, EU-anmälan, oktober 2018.

Brandon, D. (2018), *Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings - Phase 2: Task 4 – Engineering Analysis and Computer Simulations*, Fire Protection Research Foundation, National Fire Protection Agency.

Brandon, D., Östman, B. (2018), *Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2: Task 1 – Literature review*, Fire Protection Research Foundation, National Fire Protection Agency.

Brandon, D., Dagenais, C. (2018), *Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2: Task 5 – Experimental Study of Delamination of Cross Laminated Timber (CLT) in Fire*, Fire Protection Research Foundation, National Fire Protection Agency.

Crielaard, R. (2015), *Self-extinguishment of Cross-Laminated Timber*, Master's Thesis Report, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology.

Emberley, R. m.fl. (2017), *Self-extinction of timber*, Proceedings of the Combustion Institute 36, pp 3055–3062, Elsevier.

Frangi A., Fontana M., Hugi E., Jöbstl R. (2009). *Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire,* Fire Safety Journal 44, (1078-1087).

Hadden, R.M. m.fl. (2017), *Effects of exposed cross laminated timber on compartment fire dynamics*, Fire Safety Journal 91, pp 480-489.

Hurley, M., Rosenbaum, E. (2015), *Performance-Based Fire Safety Design*, CRC Press.

INSTA TS 950 (2014), *Fire Safety Engineering —Comparative method to verify fire safety design in buildings*, INSTA/TS 950.

INSTA TR 952 (2018), *Fire Safety Engineering — Review and Control in the Building Process*, prINSTA/TR 952.

Johansson, M. (2015), *Höga byggnader i trä – konceptstudier*, Ansökan till Formas, diarienr 2015-115, beslutsdatum 2015-06-16.

Kippel, M. (2014). *Fire safety of bounded structural timber elements*. Diss. ETH no. 21843, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, ETH Zurich.

Kolaitis D., Asimakopoulou E., Founti M. (2014). *Fire protection of light and massive timber elements using gypsum plasterboards and wood based panels: A large-scale compartments,* Construction and Building Materials 73, (163-170). Elsvier

Lundin, J. (2001), Verifiering, kontroll och dokumentation vid brandteknisk projektering, rapport 3122, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.

Nystedt, F., Östman, B. (2012), *Tekniska byten i sprinklade byggnader – fallstudier*, SP rapport 2012:33, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Quientiere, J., Karlsson, B. (2000), *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press.

SFPE (2007), *SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection*, Society of Fire Protection Engineers, Bethesda.

SS-EN 1363-1:2012, *Provning av brandmotstånd - Del 1: Allmänna krav*, Europeisk standard (svensk version).

SS-EN 1991-1-7:2006, *Eurokod 1 – Laster på bärverk – Del 1-7: Allmänna laster – Olyckslast*, Europeisk standard (svensk version).

SS-EN 1995-1-2:2004, *Eurokod 5 – Dimensionering av träkonstruktioner – Del 1-2: Allmänt – Brandteknisk dimensionering*, Europeisk standard (svensk version).

SS-EN 16351:2015, *Träkonstruktioner - Massivträ för byggsystem - Krav*[1].

Storstockholms brandförsvar (2016), *Vägledning vid utformning av byggnadstekniskt brandskydd i höga byggnader*, dokumentnr. VL2014-08, beslutad 2014-04-15 med revideringar tom 2016-11-04.

Svenskt Trä (2017), KL-trähandbok, Föreningen Sveriges Skogsindustrier, Stockholm.

[1] Standarden är inte publicerad i EU:s tidning Official Journal och kan inte användas för till exempel CE-märkning. Dessutom är bland annat brandavsnitten fel.

Suzuki J., Mizukami T. (2015). *Fire resistance of timber panels structures under standard fire exposure,* Fire technology, 52, 1015-1034.

Yeh, B., Kretschmann, D., & Wang, B. (2013). *Manufacturing - Cross laminated timber manufacturing. i CLT Handbook U.S (s. p. 572)*. FPInnovations & Binational Softwood Lumber Council.

Zhou, J., m.fl. (2017). *Bounding preformance of melamine-urea-formaldehyd and phenol-resorcinol-formaldehye adhesives in interior grade glulam*, Journal of Adhesion Science and Technology, (2630-2639).

Vylund, L., Palmkvist, K. (2017), *Taktik och metodik för släckning av höga trähus*, RISE Rapport 2017:65.

Östman, B. m.fl. (2012), *Brandsäkra trähus 3: Nordisk - baltisk Kunskapsöversikt och vägledning*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Stockholm.