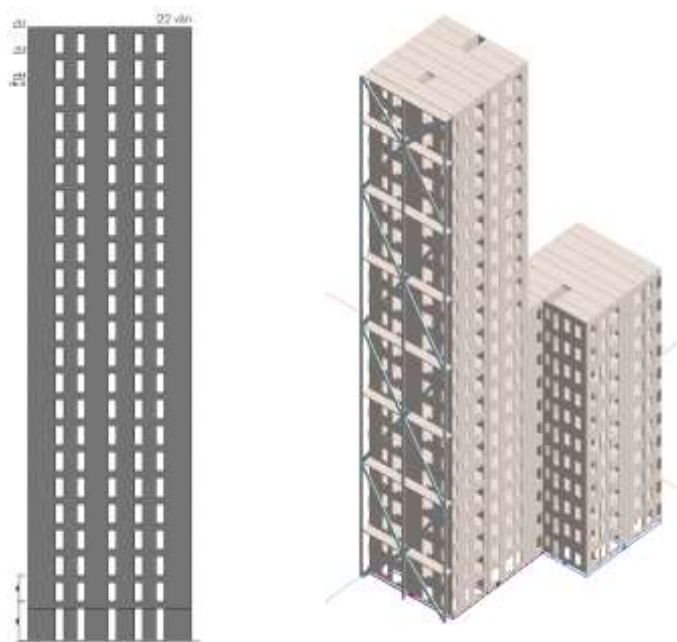


BRANDTEKNISK BESKRIVNING AV TVÅ KONCEPTUS I BYGGNADSKLASS BR0

Slutrapport



Axel Mossberg, Lisa Broberg, Björn Andersson, Brandskyddslaget;
Fredrik Nystedt, Johan Norén, Christer Wickmark, Briab;
Alar Just, RISE; Birgit Östman, Linnéuniversitetet

2020-02-20

FÖRORD

Avsikten med SBUF projekt 13742 **Brandteknisk beskrivning av två koncepthus i byggnadsklass Br0** har varit att ta fram brandskyddsbeskrivningar för de två konceptbyggnader som definierats inom Formasprojektet *Timber Buildings – Concept Studies* som leds av Marie Johansson RISE.

Det innebär att byggnadernas brandskydd, tekniska installationer, bärverk, detaljlösningar, brandstopp, inkapsling samt övergripande brandskydd och eventuella ytterligare säkerhetssystem utformas och verifieras för att uppnå tillfredsställande brandsäkerhet i dessa konceptbyggnader enligt svensk bygglagstiftning.

Brandskyddsbeskrivning av koncepthus 1 har tagits fram av Axel Mossberg, Lisa Broberg och Björn Andersson, Brandskyddslaget och av koncepthus 2 av Fredrik Nystedt, Johan Norén och Christer Wickmark, Briab. Den tekniska utformningen har tagits fram av Alar Just RISE och Birgit Östman Linnéuniversitet.

Referensgruppen har bestått av deltagarna i Formasprojektet *Tall timber buildings, concept studies*, dvs främst Bjerking, BTB Byggnadstekniska byrån, C.F. Møller Architects, Fristad bygg, Masonite Beams, Moelven Töreboda och White Arkitekter.

Finansiärer vid sidan om SBUF med NCC Building Sweden som sökande har varit Bjerking, Gyproc, Masonite Beams, SHS Smart Housing Småland, Svenskt trä. Vi tackar varmt för detta stöd.

2020-02-20

Birgit Östman
Linnéuniversitetet
projektledare

SAMMANFATTNING

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

Entreprenörsnyttan är att kunna medverka till mindre CO₂-utsläpp. Vid höga byggnader har stomvalet större betydelse där man mer påtagligt kan visa på lägre klimatbelastning. Genom att ta fram dimensioneringsmetoder och konkreta lösningar som går att kalkylera så kan man minska riskkostnaden för byggprojekt. Entreprenörsnyttan är också att man med större säkerhet i färdig byggnad och i produktion kan få kalkylerbara handlingar för att minska riskpåslag pga. osäkerheter.

Syftet med detta utvecklingsprojekt har varit att använda det framtagna tillämpningsstödet från SBUF-projekt 13371 för att göra en brandteknisk beskrivning av två koncepthus i byggnadsklass Br0, ett hus i Växjö och ett i Stockholm. Byggnaderna har trästomme i 22 våningar.

Enligt rådande svensk byggnadslagstiftning (BBR och EKS) kan s.k. förenklad dimensionering inte användas för byggnader som överstiger 16 våningar, utan brandskyddet ska projekteras, utformas och verifieras med analytisk dimensionering.

Kraven på brandskydd i de två konceptbyggnader som ingick i Formasprojektet *Tall Timber Buildings* har förtydligats. Brandskyddskraven i dessa byggnader kan sammanfattas som:

1. Byggnaderna ska förses med automatisk vattensprinkleranläggning där tillförlitligheten och förmågan hos anläggningen verifieras enligt SBF 120:8.
2. Bärförmågan vid brand ska vara minst R 90. Den brännbara konstruktionen ska förses med en beklädnad med brandskyddande förmåga i minst 90 minuter. Lämpligt material är exempelvis gipsskivor med fiberförstärkning.
3. Schakt ska tätas i bjälklag.
4. Byggnaden ska utföras med två oberoende trapphus. Minst ett av dessa ska utformas som Tr1-trapphus med sluss mot det fria eller med övertrycksättning. Möjliga felfunktioner i dessa system ska beaktas och hanteras.
5. Det ska finnas en brandsluss mellan trapphus och övriga utrymmen.
6. Byggnaden ska utföras med minst en räddningshiss.
7. Lägenheter ska förses med nätanslutna brandvarnare med batteribackup. Om lägenheter förses med flera brandvarnare ska dessa vara seriekopplade.
8. Byggnaden ska förses med trycksatt stigarledning.
9. Vitala funktioner som kräver strömförsörjning och/eller reservkraft ska utredas i projekteringen. Detta gäller även utformningen av reservkraften.
10. I byggnadens drift- och underhåll ska en genomgång av stommens skydd ingå. Detta ska kontrolleras årligen och eventuell påverkan ska åtgärdas omgående.

Några ytterligare krav anges för respektive konceptbyggnad.

Resultaten från detta SBUF-projekt ska inkluderas i handboken Best Practice Guide, som håller på att tas fram av RISE under 2020.

INNEHÅLL

1. INLEDNING	4
1.1 BAKGRUND	4
1.2 MÅL OCH SYFTE	4
1.3 OMFATTNING OCH GENOMFÖRANDE	5
1.4 AVGRÄNSNINGAR	5
2. BYGGNADER MED FÖRNYELSEBARA MATERIAL (TRÄ)	6
3. VERIFIERING AV BRANDSKYDD I BR0-BYGGNADER	7
4. GROVANALYS AV HÖGA BOSTADSHUS MED TRÄSTOMME	9
4.1 STATISTIK	9
4.2 SPRINKLERSKYDD	11
4.3 RISKER I HÖGA BYGGNADER MED BRÄNNBAR KONSTRUKTION	12
5. KONCEPTBYGGNAD 1	15
5.1 BYGGNADENS FÖRUTSÄTTNINGAR	15
5.2 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR VERIFIERING	16
5.3 VERIFIERING AV BRANDSÄKERHETEN	18
5.4 BRANDSKYDDET I KONCEPTBYGGNAD 1	20
6. KONCEPTBYGGNAD 2	21
6.1 BYGGNADENS FÖRUTSÄTTNINGAR	21
6.2 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR VERIFIERING	25
6.3 GRUNDLÄGGANDE JÄMFÖRELSEANALYS	26
6.4 SCENARIOANALYS	35
6.5 FELFUNKTIONSANALYS AV TEKNISKA SYSTEM	38
6.6 BRANDSKYDDET I KONCEPTBYGGNAD 2	39
7. DISKUSSION	40
8. TEKNISK UTFORMNING AV KONSTRUKTIONER	41
8.1 VAL AV DIMENSIONERANDE BRANDPÅKÄNNING	41
8.2 DIMENSIONERING GENOM KLASSIFICERING	41
8.3 DETALJLÖSNINGAR	45
8.4 SYNLIKT TRÄ	45
8.5 BALKONGER	46
9. REFERENSER	47

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

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. För att öka kunskapen med höga träbyggnader har ett nationellt projekt *Tall Timber Buildings – Concept Studies* nyligen genomförts där möjligheter och svårigheter med höga träbyggnader (+20 våningsplan) har undersökts bland annat vad gäller konstruktion, livscykelanalys och brandskydd. Båda byggnaderna är bostadshus. En av byggnaderna har trapphus i betong och det andra i KL-trä.

I 8 kap 4 § i Plan- och Bygglagen (SFS 2010:900), PBL, anges att ett byggnadsverk skall ha de tekniska egenskaper som är väsentliga i fråga om bl.a. säkerhet i händelse av brand. Enligt 3 kap. 8 § i tillhörande förordning (SFS 2011:338), PBF, innebär ovanstående lagkrav att byggnadsverket skall vara projekterat och utfört på ett sådant sätt att:

1. byggnadsverkets bärförmåga vid brand kan antas bestå under en bestämd tid,
2. utveckling och spridning av brand och rök inom byggnadsverket begränsas,
3. spridning av brand till närliggande byggnadsverk begränsas,
4. personer som befinner sig i byggnadsverket vid brand kan lämna det eller räddas på annat sätt,
5. räddningsmanskapets säkerhet vid brand beaktats.

I Boverkets Byggregler, BBR 28, avsnitt 5 (BFS 2011:6 med ändringar tom 2019:2), redovisas föreskrifter och allmänna råd till ovanstående lagkrav enligt 3 kap. 8 § i PBF. Enligt BBR avsnitt 5:112 skall brandskyddet i byggnader i byggnadsklass Br0 verifieras med analytisk dimensionering. Byggnadsklass Br0 omfattar enligt BBR 5:22 byggnader med mycket stort skyddsbehov. Detta gäller, bland annat, för byggnader med fler än 16 våningar ovan mark. För Br0-byggnader ställs således särskilda krav på verifieringen av att brandskyddet och inom ramen för *Tall Timber Buildings* har ett tillämpningsstöd för brandteknisk dimensionering av höga Br0-byggnader med förnyelsebara material tagits fram (SBUF 13371, 2018).

Tillämpningsstödet 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 konstateras att kunskapsluckor gällande 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 självlocknar när lös inredning (variabel brandbelastning) brunnit upp är en viktig förutsättning för att brandförloppet ska vara förutsägbart. Ett förutsägbart brandförlopp skapas genom att antingen säkerställa att de lameller som bygger upp en KL-träskiva inte lossnar vid uppvärmning (delaminerar) eller genom att använda beklädnadsskivor som skyddar träkonstruktionen tills dess att bränslet tar slut. Pga. begränsat kunskapsunderlag och avsaknad av harmonisering rekommenderar tillämpningsstödet att byggelement av KL-trä skyddas med beklädnadsskivor

Tillämpningsstödet konstaterar att den höga byggnadshöjden innebär särskilda utmaningar som behöver hanteras under projektering, produktion och förvaltning. Detta ställer i sin tur krav på noggrannhet i riskidentifieringen där vikt behöver läggas på att fånga upp de svårigheter som uppkommer i en hög byggnad med träkonstruktion. Det rekommenderas även ett särskilt förfarande när det gäller kontroll av projektering och utförande, samt noggrann planering av brandskydd under byggtid.

1.2 Mål och syfte

Syftet med detta utvecklingsprojekt är att använda det framtagna tillämpningsstödet (SBUF 13371, 2018) för att påbörja en brandteknisk projektering av de två koncepthus som redovisas i *Tall Timber Buildings – Concept Studies*. Målsättningen är att tillföra ytterligare kunskap som stödjer utveckling med höga byggnader med förnyelsebara material (trä).

1.3 Omfattning och genomförande

Projektet omfattar en brandteknisk projektering av två koncepthus i brandteknisk byggnadsklass Br0 med utgångspunkt i den detaljeringsgrad som redovisas i Tall Timber Buildings – Concept Studies. Den detaljeringsgrad som presenteras är på en övergripande nivå och motsvarar ett programskede. Konstruktörerna har presenterat en utformning av konstruktionen som kan hantera horisontella deformationer och dynamisk respons och arkitekterna har presenterat förslag till planlösning.

Med utgångspunkt i den arbetsmetodik som beskrivs i tillämpningsstödet kommer ett brandskyddskoncept tas fram för respektive koncepthus. Brandskyddskonceptet besvarar frågor betydelsefulla för detta skede i projekteringen. Exempel på sådana frågor är tillgång till utrymningsväg, principer för brandcellsindelning, tekniska system, krav på avskiljande och bärande förmåga samt möjlighet till räddningsinsats.

Den projektering som sker i detta skede syftar till att kunna fatta grundläggande beslut om byggnadens storlek, tekniska standard och utformning i stort. En programhandling är en sammanfattning av förutsättningarna för ett projekt och utgör det samlade underlaget för beslut om fortsatt projektering. Det utredningsarbete som utförs handlar om att precisera alla beställarens krav och önskemål samt att utreda de förutsättningar som finns för projektet. De funktionskrav som kommer ställas på byggnaden, som tex. brandsäkerhetskrav, fastställs.

1.4 Avgränsningar

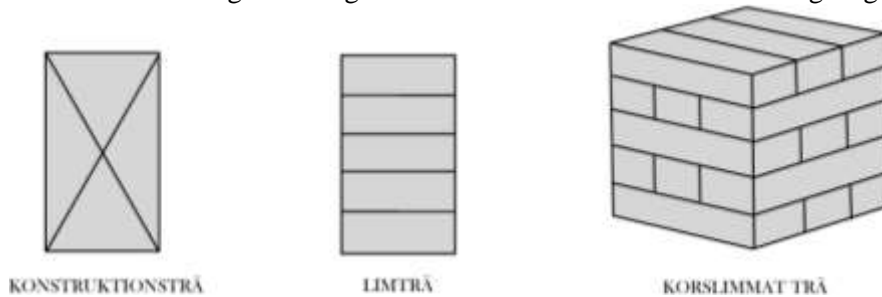
Projektet fokuserar på aspekter kopplat till användningen av förnyelsebara material (trä) och kombinationen av dessa material och en hög byggnadshöjd. Aspekter där enbart byggnadshöjden påverkar brandskyddets utformning kommer endast belysas ytligt då kunskapen om projektering av höga byggnader med obrännbara material är förhållandevis god och de svårigheterna som enbart är kopplade till byggnadshöjden är relativt välkända.

Det brandskyddskoncept som presenteras utgår från den information som i dagsläget är känd gällande de två koncepthusen. Det innebär att krav och förslag till utformning av brandskyddet i andra delar än konstruktion och planlösning inte omfattas av projektet. Särskilt betydelsefulla delar i kommande projektering av koncepthusen är brandskydd av installationer och ytterväggens utformning. Då koncepthusen ännu inte har nått denna detaljeringsnivå avgränsas projektet till frågor som berör den bärande konstruktionen, planlösningsfrågor och skydd mot utveckling av brand inom byggnad.

Båda konceptbyggnaderna är att betrakta att vara i ett tidigt programskede och de verifieringar som utförs följer detta projekteringsläge. Detta innebär att detaljlösningar inte studerats och att brandskyddet inte utretts i detalj utan endast på en övergripande nivå. De lösningar som föreslås i denna rapport måste därför detaljstuderas i förhållande till aktuella projekt innan de tillämpas.

2. BYGGNADER MED FÖRNYELSEBARA MATERIAL (TRÄ)

Det finns idag ett flertal byggelement för konstruktionsändamål på marknaden. Dessa kan generellt delas in i två olika huvudgrupper; vanligt konstruktionsträ och sammansatta byggelement i trä, se *Figur 1*. Limträ och korslimmat trä (KL-trä) utgör två exempel på sammansatta byggelement i trä. Båda elementen utgörs av sågat konstruktionsträ som har sammanfogats genom limning.

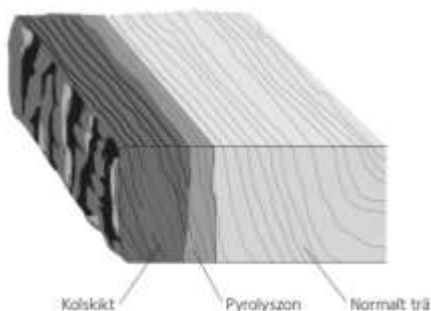


Figur 1. Principutformning av konstruktionsträ (t.v.), limträ (mitten) och KL-trä (t.h.).

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 och det finns idag vedertagna metoder och modeller i den europeiska standarden för dimensionering av träkonstruktioner (EN 1995-1-2). För KL-trä ser det annorlunda ut. Det finns inte någon europeisk standard. Kunskapen gällande bärförmåga vid brand är begränsad för detta byggelement i jämförelse med konstruktionsträ och limträ. Metoder och modeller för dimensionering vid brandpåverkan har publicerats och kommer att ingå i nästa version av Eurokod 5. Se även KL-trähandboken (Svenskt Trä).

En betydande faktor som påverkar KL-träets egenskaper, särskilt vid brand, är limmet som binder samman de olika lagren. Det finns idag en mängd olika lim på marknaden som är godkända att användas i bärande träkonstruktioner. Det har dock konstaterats valet av lim är avgörande för hur byggelementet beter sig vid brand. Det är av yttersta vikt att använda lim som tål brandpåverkan.

Trä är ett brännbart material, vilket innebär att det kommer att antändas och förkolas då det utsätts för tillräckligt hög värmepåverkan i samband med en brand. Kolskiktet uppstår som en följd av en icke fullständig förbränning av materialet och träet fortsätter att förkolas så länge värmepåverkan från branden är tillräckligt stor. Kolskiktet har en värmeisolerande effekt, vilket medför att både oskyddade och skyddade träkonstruktioner kan antas brinna och förkolas på ett förutsägbart sätt. I *Figur 2* visas de olika skikten som bildas vid förkolningsprocessen.



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

Byggelement av KL-trä kan bete sig annorlunda vid brand och skapa oförutsägbara brandförlopp till skillnad än annat konstruktionsträ. Anledningen är att om limmet mellan de lameller som elementet byggs upp av släpper vid upphettning försvinner det skyddande kolskiktet och nytt bränsle tillförs. När så sker ökar brandens intensitet och 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.

3. VERIFIERING AV BRANDSKYDD I BR0-BYGGNADER

Att dimensionera 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 som BBRAD och EKS listar:

- 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.

För en hög byggnad är det bland annat aspekter kopplat utrymning och genomförande av räddningsinsats som är särskilt viktiga att belysa. Om den höga byggnaden dessutom har träkonstruktion ändras förutsättningarna gällande brandbelastning, brandpåverkan på konstruktionsdelar, brandförloppets varaktighet, taktik för släckinsats, etcetera. Dessa förändringar behöver belysas i riskidentifieringen.

Verifiering av brandskyddet i en Br0-byggnad bör göras både för det totala brandskyddet och för delar av brandskyddet. Verifiering av det totala brandskyddet bör göras mot funktionskraven i BBR och de tekniska egenskapskraven i PBF. I enlighet med Boverkets allmänna råd om byggnaders brandskydd, BBRAD (BFS 2013:12), ska utformningen för brandskyddet i byggnader i byggnadsklass Br0 verifieras mot de funktionskrav som finns i BBR. De allmänna råden i avsnitt 5 kan endast i begränsad omfattning användas som referenssystem. Den begränsade omfattningen definieras som skydd enbart relaterat till utformning av enskilda rum, brandceller eller komponenter. Rådet nämner även att brandskyddet bör utformas minst likvärdigt som det som gäller för motsvarande byggnadsklass, i detta fall Br1. Detta har i BIVs stöd för tillämpning vid brandteknisk dimensionering av Br0-byggnader (BIV, 2013) tolkats som att delar med enbart lokal påverkan på brandskyddet kan utformas likvärdigt med skyddet som förenklad dimensionering av en Br1-byggnad (i detta fall) ger, medan skydd som har en större påverkan på byggnadens övergripande brandskydd ska utföras analytiskt.

Alltså kan en jämförelseanalys, enligt BBRAD, endast användas i begränsad utsträckning för en Br0-byggnad. Dock anges inget annat värderingskriterium som kan tillämpas för att värdera vilken risk som är acceptabel respektive icke acceptabel i byggnaden. För Br0-byggnader bör de risker som är specifika för byggnaden identifieras och, vid behov, mötas med säkerhetshöjande åtgärder för att uppnå en acceptabel säkerhetsnivå. Utöver ovanstående ska även en särskild bedömning enligt EKS göras för Br0-byggnader. En sådan bedömning utgår från liknande förutsättningar som i BBRAD men har som syfte att identifiera om byggnadens bärverk eller delar av detta behöver utföras med ett utökat skyddsbehov.

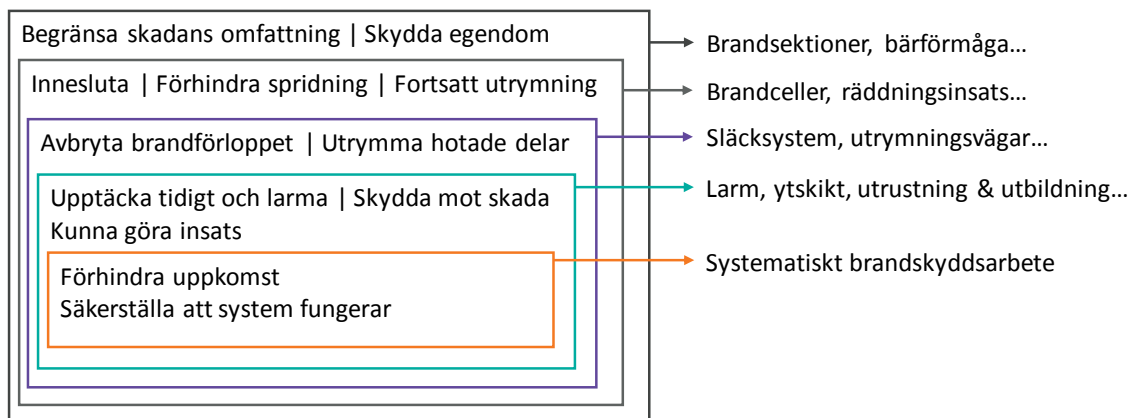
Med utgångspunkt i utredningsbehovet enligt ovan görs en inventering av föreskrifterna i BBR och EKS för att identifiera de avsnitt i där konstruktionsmaterial och byggnadshöjd påverkar möjligheten att uppfylla funktionskraven på ett sätt som inte hanteras av de allmänna råden.

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.

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 djupförvarsprincip och enkelfelskriterier. Djupförvarsprincipen (se *Figur 3*) 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. Nedan visas ett exempel på hur djupförvarsprincipen kan tillämpas när brandskyddet utformas i en byggnad.



Figur 3. Exempel på tillämpning av djupförvarsprincipen på brandskyddets utformning.

En traditionell utformning av brandskydd i ett bostadshus lägger större vikt på de yttre försvarslinjerna än de inre. 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. Djupförvarsprincipen 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.

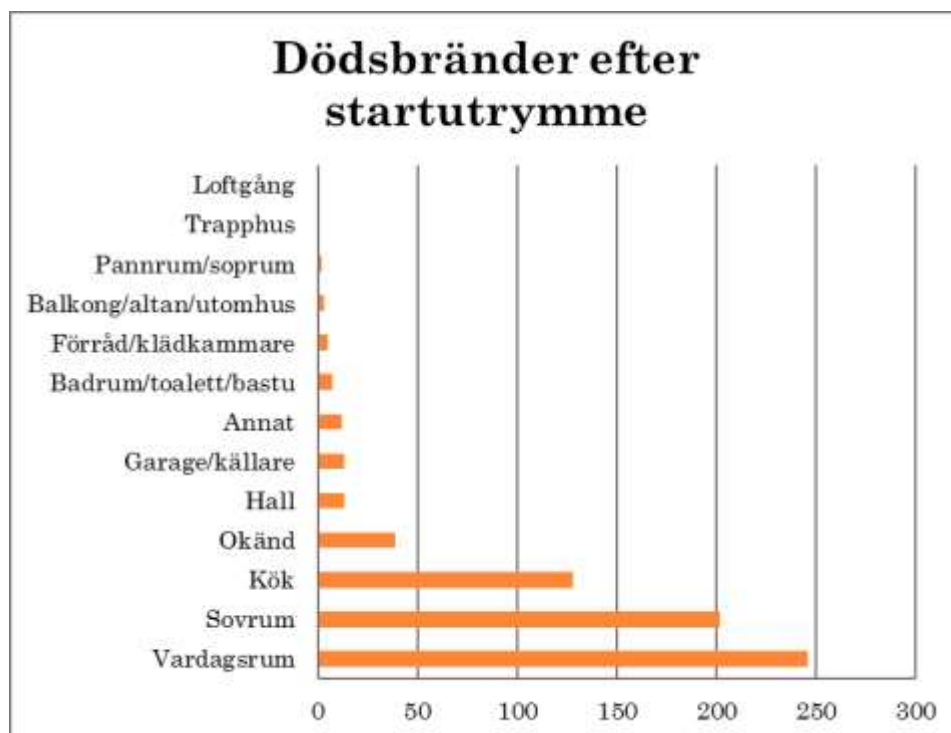
4. GROVANALYS AV HÖGA BOSTADSHUS MED TRÄSTOMME

4.1 Statistik

4.1.1 Bränder

I Sverige avlider cirka 92 personer i byggnadsbränder varje år. Dessa dödsfall är fördelade på i genomsnitt 84 dödsbränder per år. Det innebär att det ca 1,1 personer avlider per dödsbrand. I förhållande till Sveriges befolkning avlider i genomsnitt cirka 0,01 personer av brand i byggnad per 1 000 invånare varje år (Forsberg, 2016). En stor andel av de som omkommer, cirka 70 %, har enligt tidigare studier svårigheter att utrymma. I ungefär 50 % av fallen är den omkomna ensam då branden startar och i cirka 50 % av fallen så är den omkomna sovande eller alkoholpåverkade (Nystedt, 2003).

För flerbostadshus är siffrorna liknande och här avlider cirka 40 personer varje år i cirka 37 bränder under ett år i Sverige. Detta innebär att cirka 1,06 personer avlider per dödsbrand (MSB, 2016). I *Figur 4* nedan visas fördelningen mellan de startutrymmen för brand som ledde till dödsfall i flerbostadshus enligt svensk insatsstatistik från 1999-2015 (MSB, 2016).

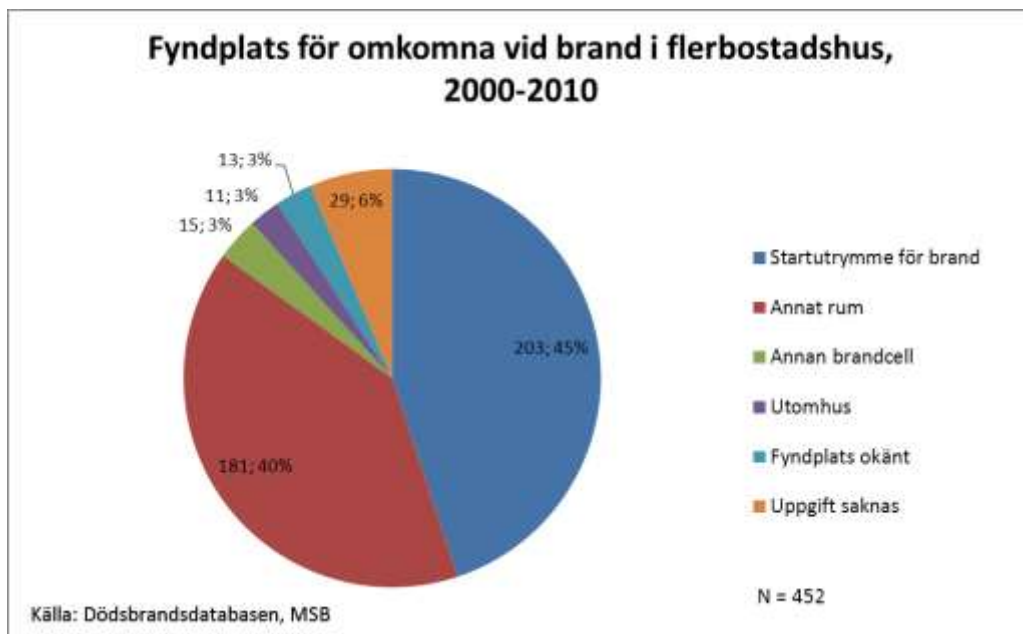


Figur 4. Dödsbränder efter startutrymme.

Som statistiken visar så inträffar den absoluta majoriteten av alla dödsfall inom lägenheten medan källare, vind, balkong och andra biutrymmen står för cirka 0,5 % av dödsfallen. Dödsfall på grund av brand i utrymningsväg (trapphus eller loftgång) är ovanligt (0,3 % av fallen). Det ska dock sägas att detta inte inkluderar dödsfall i trapphus med startutrymme i en lägenhet. Då skulle t.ex. dödsfallen från Rinkebybranden inneburi en höjning av denna siffra.

Observera även att annat/okänd är angett för cirka 8 % dödsfallen. Av de bränder där branden startade i annat/okänd antas ingen större andel vara i trapphuset/hisshallen utan helt enkelt varit utrymmen som inte är typiska i bostadshus, inte vara rapporterade eller ha haft sådan omfattning att det är svårt att slå fast i vilket rum den startade (vilket inte är troligt för utrymningsvägar). Detta bekräftas även av djupare analyser gjorda på insatsstatistik från 1996-2008 där det konstaterats att sannolikheten för att en brand sprider sig utanför startbrandcellen i en lägenhetsbyggnad är ca 3 % (Nystedt, 2011).

Exakt hur stor andel som omkommer inne i den egna lägenheten har inte hittats men ovanstående statistik indikerar att denna siffra är hög. I *Figur 5* nedan visas fyndplatser för omkomna vid bränder i flerbostadshus enligt svensk insatsstatistik från 2000-2010 (MSB, 2019).



Figur 5. Fyndplats för omkomna vid brand i flerbostadshus enligt svensk insatsstatistik 2000-2010.

Enligt statistik från MSB för åren 1998-2008 så uppgav 90 % av hushållen (undersökningen för detta genomfördes 2007) att de hade en brandvarnare men vid cirka 58 % av alla dödsbränder under samma period så har fungerande brandvarnare saknats (MSB, 2009). Av detta kan man dra slutsatsen att brandvarnare saknas oftare än hushållen medger och att brandvarnare har en betydande säkerhetshöjande effekt. I litteraturen går att hitta siffror på riskreducerande effekt på mellan 30-50 % när brandvarnare finns installerat jämfört med när den saknas (Nystedt, 2003; Ruegg & Sieglind, 1984; Runefors, Johansson & Van Hees, 2017).

Andelen dödsfall som inträffar i trapphuset är lågt och totalt hittas cirka 6 % utanför brandcellen där branden startade (benämnt annan brandcell respektive utomhus). Hur många av dessa som omkommit på grund av skador de fick redan i brandcellen de kom ifrån (till exempel i sin egen lägenhet) är okänt. Eftersom nästan alla dödsbränder endast innefattar en person som omkommer så är antalet personer som omkommer i annan brandcell än där branden startade vanligtvis lågt. Det finns dock undantag, till exempel omkom sju personer i trapphus vid Rinkebybranden, 2009 (Statens Haverikommission, 2010). Detta var ett vanligt trapphus, det vill säga inte trycksatt eller avgränsat med slussar. Under 2009-2012 har MSB tre rapporterade fall, med totalt nio omkomna, i utrymningsvägen (varav Rinkebybranden är en). Utöver detta så har det 2007-2012 funnits ett känt dödsfall till följd av brand- och brandgasspridning till övriga lägenheter samt ett fall med två omkomna i intilliggande lägenhet till följd av brandgasspridning via trapphuset. Från händelser innan denna tid finns inga tillgängliga uppgifter.

Enligt en undersökning av insatsstatistiken gällande hur risken för brandspridning beror på byggnadshöjd så finns vissa variationer men inget tydligt samband kan ges. Enligt undersökningen så var brandspridningsrisken för hus upp till och med fyra våningar ca 3,3 %, för hus 5-8 våningar 2,6 % och för hus mellan 9-16 våningar 3,6 % (procent av bränderna som sprider sig). För hus över 17 våningar fanns inga fall med brandspridning, detta skulle kunna bero på att det statistiska underlaget för dessa hus är betydligt mindre (Nystedt, 2009). Dock finns det inte något som indikerar att risken för brandspridning är avsevärt större för t.ex. ett 20-våningshus än för ett 16-våningshus.

Denna statistik visar även att insatstiden för räddningstjänsten har en större roll gällande risken för brandspridning än våningsantalet i byggnaden. Risken ökar från 2,3 % för byggnader inom 5 minuters insatstid till 7,2 % för byggnader med 20 minuters insatstid (Nystedt, 2009).

Sprinkler utgör idag inget krav i bostäder i Sverige och det finns därför heller ingen svensk statistik kopplad till boendesprinklers effekter på brandsäkerheten. Det finns dock statistik från USA, som till viss del kan extrapoleras till svenska förhållanden, se nedan.

4.1.2 Automatisk vattensprinkleranläggning

De flesta automatiska släcksystem utformas för att kontrollera och minska en brand. Det finns olika typer av automatiska släcksystem; automatisk vattensprinkler, boendesprinkler, vattendimsystem med mera. Automatisk vattensprinkler och boendesprinkler är de system som är vanligast. I de aktuella byggnaderna är det traditionell sprinkler (inte boendesprinkler) som kommer installeras.

Organisationen NFPA i USA släpper årligen en rapport med statistiskt underlag över sprinkler i USA (Ahrens, 2017). I rapporten från 2017 kan man utläsa att mellan 2010 och 2014 var risken för dödsfall i samband med brand 87 % lägre i sprinklade byggnader i förhållande till osprinklade byggnader.

Utöver ovanstående anges även att i 91 % av bränderna där det finns sprinkler i hemmiljö (att likna med boendesprinkler) så är systemet effektivt mot branden. I de kvarvarande fallen var problemet att systemet inte aktiverade (6 % av bränderna) eller att systemet aktiverade men inte lyckades hantera branden (3 % av bränderna). Den vanligaste felkällan vid fallerande sprinkler var att systemet hade stängts av. Denna felkälla var orsaken till fallerande system i 62 % av de fall som systemet inte aktiverat (Ahrens, 2017).

Enligt statistiken sänks risken för att dö vid brand med 81 % i bostäder med sprinkler i förhållande till bostäder utan sprinkler. Risken för brandmän att dö i bränder minskar med 67 % under samma förhållanden (Ahrens, 2017).

4.2 Sprinklerskydd

Sprinkler är ett tillförlitligt sätt att kunna visa mer synligt trä inomhus, eftersom sprinkler förhindrar eller senarelägger en övertändning av lägenheten eller rummet (Nystedt 2011). Mängden värme, rök och giftiga gaser från branden påverkas. Försök har visat att sprinklersystemet påverkar brandens utveckling innan förhållandena i brandrummet kan hota människor som befinner sig där. Även den sprinklerkontrollerade branden producerar brandgaser, men temperaturen och koncentrationen av giftiga brandgaser är så låg att det finns gott om tid att utrymma, eller till och med att stanna kvar i rummet. Aktiveringen av sprinklersystemet kan dock orsaka en siktnedsättning, speciellt i nära anslutning till sprinklerhuvudet, men siktförhållandena är generellt sett bättre i en sprinklad byggnad jämfört med samma brand i en osprinklad byggnad. Sammanfattningsvis visar försök i boendeliknande miljöer att det produceras rök, men att den inte är speciellt giftig eller varm vilket ger en liten påverkan på människor som befinner sig i brandrummet. Endast de personer som befinner sig i brandens omedelbara närhet bedöms kunna utsättas för allvarlig skada eller dödsfall.

Sprinklersystemet påverkar också brandens effektutveckling vilken i de flesta fall kommer att minska rejält. Minskningen beror i huvudsak på brandens storlek när sprinklern aktiverar, vad det är som brinner och hur väl vattnet når branden. Försök i mindre rum visar att tvåzonsskiktningen upphör efter sprinkleraktivering, men så är inte fallet i större rum, där skiktningen behålls en bit bort från branden och brandgaserna därmed kvarstannar i det övre varma brandgaslagret.

Dimensionerande brandscenario och dimensionerande brand är centrala begrepp vid analytisk dimensionering. Statistik och erfarenheter från inträffade bränder visar att konsekvenserna av en brand när sprinklersystemet aktiverar och är effektivt är låga. Personskador inträffar sällan och egendomsskadorna minskas drastiskt.

För att kunna bestämma när en brand medför en kritisk påverkan för utrymning är det nödvändigt att definiera en maximalt tillåten nivå av brandspecifika variabler som temperatur, sikt och värmestrålning. Nivåerna för dessa variabler anges i ett allmänt råd till byggreglerna och för de flesta byggnader är det ofta nivån på minsta tillåten sikt (10 m i större lokaler) som är dimensionerande. Försök har visat att en aktivering av sprinklersystemet leder till lokala problem med siktbarheten, samtidigt som inga andra nivåer för kritisk påverkan överskrids. En väsentlig fråga är därför om siktbarhet är ett bra mått på kritisk påverkan för bedömning av utrymningssäkerheten i lokaler med sprinklersystem? Om måttet är olämpligt, vore det i så fall bättre att studera toxicitet i stället.

Tillförlitligheten hos sprinkler är hög, men för stora och komplicerade byggnader bör risken för bortfall/felfunktion beaktas. Vattenskador kan förekomma, men dessa är normalt mindre än när räddningstjänsten börjar släcka i ett senare brandskede. Vattenskador skulle kunna minskas ytterligare genom att använda dimsprinkler (Gustavsson och Renström).

4.3 Risker i höga byggnader med brännbar konstruktion

I kapitel 3 redovisas de krav som ställs på verifiering av brandskydd i en Br0-byggnad.

Sammanfattningsvis handlar det att visa hänsyn till fyra särskilda aspekter kopplade till brandsäkerhet när brandskyddet utformas. I detta avsnitt ges en beskrivning av de svårigheter som en hög byggnad med brännbar konstruktion behöver hantera.

4.3.1 Specifika svårigheter i höga byggnader

Höga hus är generellt förknippade med ett antal parametrar som påverkar byggnadens brandsäkerhet och riskbild. Efter genomförd grovanalys bedöms följande parametrar påverkas vid höga hus:

- Byggnader kan bli väldigt stora vilket påverkar det totala personantalet som kan påverkas vid en fullständig kollaps.
- Höjden på trapphus, installationsschakt, ventilationskanaler och hisschakt kan ge komplicerade termiska tryckskillnadsfall med ökad risk för brandgasspridning eller försämrad möjlighet till brandgasevakivering.
- En brand som sprider sig i höjddled via installationsschakt, otäta bjälklag, trapphus, hisschakt eller fasad kan påverka fler plan.
- Ventilationssystem kan utföras för att betjäna ett större antal brandceller i en potentiellt större byggnad. En brand som sprider sig via ventilation kan därmed påverka ett potentiellt högre personantal.
- Utrymningstiden kan öka vid en totalutrymning av byggnaden på grund av ett potentiellt högre personantal som nyttjar samma utrymningsväg samt att gångavståndet ökar inom utrymningsvägen.
- Utalarmering för att kommunicera en totalutrymning av byggnaden kan försvåras av att det är bostäder i byggnaden.
- Gångavståndet inom trappor ökar vilket medför att det blir svårare att hjälpa personer med funktionshinder nerför trappor samt att gruppen människor som inte orkar ta trappan ökar. Utökat gångavstånd innebär att överraskande brandgasspridning till trapphuset kan orsaka att utrymmande har långt till närmsta väg att ta sig ut ur trapphuset.
- Insatsvägarna kan bli längre, kommunikationen sämre och möjlighet till släckinsats sämre.
- Utvändigt släckinsats försvåras. Gränsen för när utvändigt släckinsats inte längre kan utföras går dock redan vid 6–8 våningsplan.

4.3.2 Specifika svårigheter i byggnader med bärande konstruktion i brännbart material

Byggnader med brännbar konstruktion innebär generellt risker som kan påverka brandsäkerheten. I det tillämpningsstöd för att bygga höga byggnader med träkonstruktion som tagits fram anges nedanstående punkter som viktiga att beakta i en riskidentifiering (SBUF 13371, 2018):

- 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?

Efter genomförd grovanalys bedöms följande parametrar påverkas av att den bärande konstruktionen är utförd i brännbart material:

- Om branden når den bärande konstruktionen kan oförutsägbara brandförlopp uppstå på grund av att KL-träskivor delamineras.
- Brand i en exponerad obehandlad trästomme innebär ett avsteg på ytskiktsskivan i en byggnad och har till följd att snabbare och häftigare brandförlopp kan uppstå.

- Exponerade trätytor innebär mer intensiva brandförlopp samtidigt som materialet har en bättre isolerande förmåga än stål och betong, vilket kan leda till att mer förbränning sker utanför brandcellen på byggnadens utsida. Detta innebär en större påfrestning på fasadens utformning.
- Brännbar konstruktion som skyddas innebär en större känslighet i skyddet av denna konstruktion då fel i utförande eller projektering av detta kan ha stora konsekvenser.
- Oskyddad brännbar bärande konstruktion innebär att brandbelastningen i denna inte kan betraktas vara skyddad, vilket kan ha stora konsekvenser på förväntat brandförlopp och förenklad kravnivå.
- Konstruktiva detaljer och infästningar som är värmekänsliga kan behöva skyddas ytterligare om brandspridning sker in i konstruktionen.
- Räddningstjänstens insats kan bli mer avgörande vid en brand då chansen för att en brand självslocknar är mindre.
- På grund av större känslighet i konstruktionen kan det vara viktigt att även beakta risken för uppkomst av brand och införa åtgärder för att minska denna risk.
- Beständigheten av skyddet över tid kan påverkas av skyddsmetod (t.ex. brandskyddsfärg) och yttre risker (t.ex. röta).

En relevant fråga när en byggnad med bärande konstruktion i brännbart material (ex. trä) projekteras är huruvida stommen kommer att kunna involveras i brandförloppet eller inte. Det finns ofta önskemål om att rent visuellt visa mycket trä när denna typ av byggnad projekteras, vilket i vissa fall medför att hela eller delar av stommen exponeras¹. Detta medför dock effekter i brandskyddet eftersom en exponerad stomme behöver inkluderas i den brandbelastning som byggnaden dimensioneras för. Brandbelastning styr vilken klass på brandceller och bärande konstruktioner som byggnaden behöver projekteras med.

Lägenheter dimensioneras normalt med en total brandbelastning understigande 800 MJ/m² i enlighet med Boverkets allmänna råd om brandbelastning (BBRBE). I detta råd framgår även att brandbelastning ska beräknas genom att summera permanent brandbelastning (den brandbelastning som inte förändras med byggnadens användning) och variabel brandbelastning (den brandbelastning som förändras med byggnadens användning). Permanent brandbelastning är t.ex. brännbara byggnadsmaterial som inte skyddas mot ett helt brandförlopp och variabel brandbelastning är t.ex. möbler och annat. För lägenheter anges i rådet att den variabla brandbelastningen kan antas vara 750 MJ/m². Detta innebär att den permanenta brandbelastningen kan uppgå till 50 MJ/m² om byggnaden ska projekteras för en total brandbelastning på < 800 MJ/m². Vid högre brandbelastning ökar krav på bärverk och brandceller avsevärt.

Tillskottet i brandbelastning om stommen exponeras kan dock förväntas vara avsevärt högre än dessa 50 MJ/m². Detta exemplifieras i diagrammet nedan där brandbelastningstillskottet för ett bjälklag i KL-trä redovisas. I den tänkta konstruktionen är bjälklagen ritade med 300 mm KL-trä, vilket alltså innebär ett tillskott i brandbelastningen på 2700 MJ/m² om endast ett bjälklag tillåts vara exponerat. Detta skulle innebära att byggnadens brandceller skulle behöva uppfylla EI 240 (EI 120 med sprinkler) och stommen skulle behöva uppfylla R 360 (R 240 med sprinkler), förutsatt att skyddsbehovet för stommen anses vara utökat. En sådan dimensionering bedöms inte vara rimlig och slutsatsen är därför att stommen i stort behöver vara skyddad.

¹ Med exponerad stomme menas i detta fall att den inte är skyddad mot ett helt brandförlopp. Alltså är en trästomme som t.ex. endast skyddas mot 30 minuters brandpåverkan genom gips eller liknande fortfarande att betrakta som exponerad.



Figur 6. Maximalt tillskott i brandbelastning från exponerade bjälklag i KL-trä.

Om bjälklag skyddas och del av bärande väggar istället önskas exponerade så finns möjlighet att beräkna vilken mängd KL-trä som kan exponeras beroende på lägenhetsstorlek. Detta baseras på att det då finns ett ”brandbelastningsutrymme” på 50 MJ/m^2 i lägenheter. Observera att detta innebär att ingen annan brandbelastning än stommen bedöms som permanent, vilket är ett icke-konservativt antagande. Detta antagande görs i beräkningen endast för att illustrera problematiken kring att exponera bärande trästommar. Resultatet från en sådan beräkning visas nedan.



Figur 7. Teoretisk möjlighet till exponerade bärande KL-träväggar beroende på lägenhetsstorlek.

Stommen behöver således skyddas helt under ett fullständigt brandförlopp i byggnaden för att inte behöva beaktas som permanent brandbelastning enligt BBRBE. Synliga trätytor kan utföras som beklädnad utanpå inklädnaden av stommen.

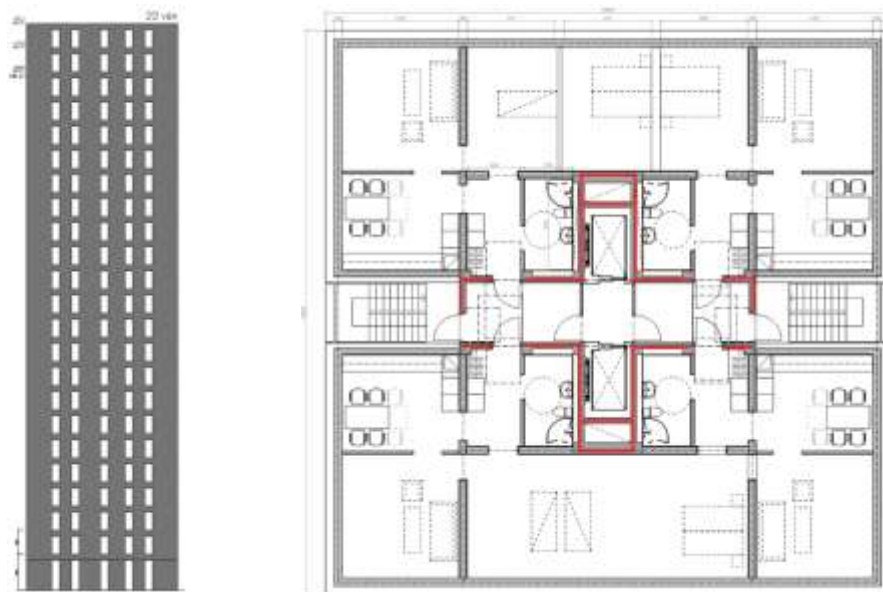
5. KONCEPTBYGGNAD 1

5.1 Byggnadens förutsättningar

5.1.1 Byggnadsbeskrivning

Konceptbyggnad 1 är nybyggnation av ett flerbostadshus med 22 våningsplan ovan mark. Varje våningsplan är ca 380 m², varav boarean är ca 275 m² bestående av fyra lägenheter i varierande storlek. Våningshöjden är 3,2 meter och total byggnadshöjd är 75 meter. Byggnaden kommer att vara centralt belägen inom Växjö tätort, med maximalt 10 minuters insatstid för räddningstjänsten.

Lägenheter utformas i verksamhetsklass (Vk) 3A. Utrymning från varje våningsplan kan ske via två oberoende trapphus. Byggnaden är också försedd med två hissar. Fasadritning och planlösning redovisas i *Figur 8*.



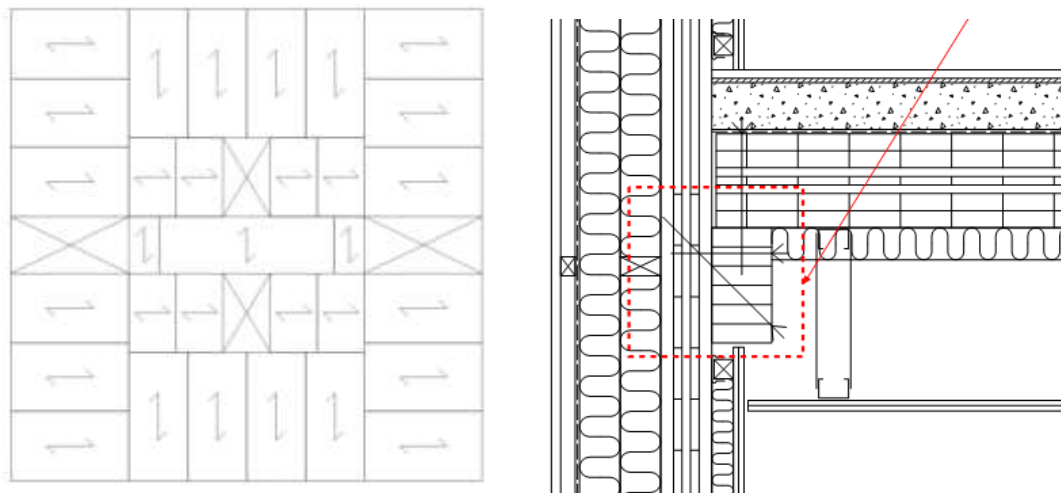
Figur 8. Föreslagen fasad och planlösning. Rödmarkerade väggar utgörs av betong, resterande är av KL-trä

Byggnaden har en kärna av betong, övriga delar av konstruktionen utgörs av korslimmat trä (KL-trä), se *Figur 8*. Både väggar av betong och KL-trä varierar i tjocklek, generellt minskar tjockleken högre upp i byggnaden. Ambitionen är att den bärande stommen ska bestå av cirka 85 volymprocent trä.

Innerväggar av trä utformas med en kärna av KL-trä och i övrigt som en träregelvägg med akustikprofil, isolering, träreglar och slutligen gipsskivor ytterst. Yttreväggar har en kärna av KL-trä med träreglar och isolering på vardera sidan. Yttreväggens insida är försedd med gipsskivor och utsidan med en ännu ej definierad typ av panel. Dock har utformning av fasad inte varit fokus i detta projekt.

Bjälklagen består av en kärna av KL-trä med pågjutning av betong på ovansidan och isolering på undersidan. Föreslagen utformning inkluderar ett installationsutrymme mellan isoleringen och nedpendlade gipsskivor. Bjälklagen utförs som flertalet mindre plattor, vars yttersta träskikt orienteras olika i syfte att uppnå konstruktionskraven.

Bjälklagen planeras att skruvas på bjälkar av lim- eller KL-trä som i sin tur skruvas i väggen. *Figur 9* redovisar konstruktionsprincip med bjälklagsplattor och dess infästning.



Figur 9 Konstruktionsprincip med bjälklagsplattor och principskiss bjälklagsupphängning.

Ambitionen är att ytskikt av trä ska nyttjas i största möjliga mån i både lägenheter och allmänna utrymmen.

5.1.2 Riskidentifiering

För konceptbyggnad 1 är de risker som beskrivs ovan relevanta. Ingen ytterligare riskidentifiering är nödvändig.

5.2 Förutsättningar för verifiering

En fullständig verifiering av brandskyddet i konceptbyggnad 1 ska beakta både byggnadshöjden och materialvalet. Denna rapport fokuserar på risker relaterat till materialvalet – KL-trä i konstruktionen – medan byggnadshöjden endast berörs övergripande. Anledningen till detta är att det finns flertalet vägledningar för verifiering och utformning av brandskydd i höga byggnader oberoende av materialval. Byggnaden antas endast innehålla bostäder.

5.2.1 Föreskriftsinventering

Föreskriftsinventeringen är en kvalitativ inledande analys och följer den vägledning som ges i SBUF 13371 (2018) och BIVs tillämpningsdokument 3/2013. För respektive föreskrift görs en bedömning om faktorerna byggnadshöjd och materialval medför lokal eller global påverkan samt till vilken grad; 'Ingen påverkan', 'Viss påverkan', 'Stor påverkan' eller 'Mycket stor påverkan'. Baserat på detta görs en bedömning om en mer fördjupad analys krävs eller om den kvalitativa analys som görs i föreskriftsinventeringen är tillräcklig. Generellt bedöms förenklad dimensionering vara tillräcklig då ingen eller viss påverkan påvisas, och särskilt då det primärt handlar om lokal påverkan. Nedan sammanfattas föreskriftsinventeringen för respektive huvudavsnitt i BBR. För ej beskrivna föreskrifter bedöms förenklad dimensionering vara acceptabel.

BBR 5:2 – Brandtekniska klasser och övriga förutsättningar

Dessa föreskrifter och allmänna råd är i huvudsak informativa och beskrivande i syfte att klassificera byggnadsdelar samt beskriva byggnadens förutsättningar. Allmänna råd bedöms därmed vara applicerbara även för Br0-byggnader.

BBR 5:3 – Möjlighet till utrymning vid brand

Vid verifiering av utrymning är byggnadshöjden den primärt avgörande faktorn. Fördjupad analys erfordras således, men är oberoende av materialval och skiljer sig därför inte från andra höga byggnader.

Materialval bedöms endast ha viss påverkan avseende maximalt tillåtna gångavstånd om de allmänna råden för ytskikt inte kan uppfyllas. I lägenheter är påverkan endast lokal medan i allmänna utrymmen är brandbelastningen och risken låg. I aktuell konceptbyggnad 1 bedöms exponerat trä i både

lägenheter och allmänna utrymmen kunna uppfylla de allmänna råden för ytskikt genom någon typ av målning eller behandling. Ytterligare analys av utrymning avseende materialvalet bedöms ej krävas.

BBR 5:4 – Skydd mot uppkomst av brand

Materialval har en definitiv påverkan på skydd mot uppkomst av brand. Dock är detta redan beaktat i de allmänna råden varvid förenklad dimensionering bedöms vara acceptabel.

BBR 5:5 – Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgas inom byggnader

Syftet med kraven för fast inredning, ytskikt och beklädnader bedöms vara att minska risken för snabb brandspridning som kan påverka utrymningen. I detta avseende bedöms materialval primärt ha viss påverkan, lokalt i lägenheterna och globalt i allmänna utrymmen. Skillnaden mellan konceptbyggnad 1 och en 16-våningsbyggnad enligt förenklad demonisering bedöms inte erfordra en högre skydds nivå. Om de allmänna råden kan uppfyllas bedöms vidare analys inte erfordras. Däremot, om exponerade ytskikt utgörs av byggnadens konstruktion kan det vara motiverat att med fördjupad analys undersöka högre krav i syfte att skydda och förhindra brandspridning till konstruktionen.

Materialval har stor påverkan gällande brandbelastning och brandförlopp. Därför erfordras fördjupad analys avseende brandcellsindelning och brandteknisk klass för avskiljande konstruktion. Eventuellt bör högre krav ställas i syfte att uppnå ett förutsägbart brandförlopp. Exempelvis särskilda vertikala sektioneringsgränser, högre brandteknisk klass och att inte tillåta lägre brandteknisk klass för dörrar i brandcellsgränser. Analysen beror dock i huvudsak på om konstruktionen avses vara skyddad eller ej. Dessutom bör brandbelastning bestämmas med analytisk dimensionering enligt Boverkets allmänna råd om brandbelastning för att beakta eventuell brännbar fast inredning och ytskikt.

Både byggnadshöjd och materialval har stor påverkan på krav gällande ytterväggar och fasadsystem. Fördjupad analys erfordras om fasadsystemet inkluderar brännbara material. Det bedöms dock vara mycket svårt att verifiera och utforma ett robust fasadsystem för höga byggnader som inkluderar en större del brännbart material.

BBR 5:6 – Skydd mot brandspridning mellan byggnader

Avseende brandspridning mellan byggnader bedöms fördjupad analys endast erfordras om allmänna råd inte kan uppfyllas. Överlag bedöms det vara svårt att verifiera brandskyddet i en hög byggnad som inte utformas med obrännbar fasad eller taktäckning. Möjligen kan en analys undersöka närliggande byggnaders påverkan på aktuell byggnad. Dock är detta inget som krävs i Boverkets byggregler och kan samtidigt ändras i framtiden utan hänsyn till aktuell konceptbyggnad.

Om övriga krav i detta avsnitt kan uppfyllas enligt allmänt råd bedöms analytisk dimensionering gällande avstånd till närmsta byggnad vara möjlig.

BBR 5:7 – Möjlighet till räddningsinsatser

Överlag påverkar materialval inte möjlighet till räddningsinsats. Om konstruktionen är exponerad kan materialvalet möjligen påverka betydelsen av räddningstjänstens släckinsats.

BBR 5:7 beskriver också krav på släckutrustning. I en byggnad där konstruktionsmaterialet är brännbart och helt eller delvis exponerat kan det vara motiverat att möjliggöra snabb insats av de boende i syfte att minska risken att branden sprider sig till konstruktionen. I sådant fall bör en fördjupad analys undersöka ökade krav gällande släckutrustning, exempelvis handbrandsläckare i varje lägenhet.

EKS Kap. 1.1.2 – Tillämpning av SS-EN 1991-1-2 - Termisk och mekanisk verkan av brand

Materialval bedöms ha en mycket stor påverkan vid utformning av höga byggnaders konstruktion. Byggnadshöjden innebär också att konsekvensen kan vara stor. En brännbar konstruktion av KL-trä medför ökad brandbelastning och ett oförutsägbart brandförlopp. I syfte att uppnå ett förutsägbart brandförlopp bedöms ett ökat skyddsbehov föreligga för aktuell konceptbyggnad 1. Fördjupad analys erfordras varvid följande frågeställningar är relevanta:

- Är befintlig kunskap, provmetoder och standarder kring brandskydd tillräckliga för att verifiera en byggnad utformad med exponerad konstruktion av KL-trä?
- Kan nominella temperatur-tidförlopp alternativt modell av naturligt brandförlopp förväntas representera ett brandförlopp i en byggnad med konstruktion av KL-trä som riskerar delaminera?

- För konstruktioner av KL-trä, räcker det att vid konstaterat utökad skyddsbehov öka bärförmågan enligt angivna tabellvärden för Br0-byggnader? Krävs det ytterligare skydd?
- Är tillgängliga metoder lämpliga för att utforma en konstruktion som riskerar att involveras i branden och inte självslockna på samma sätt som i byggnad med traditionell konstruktion?

Vidare bör den fördjupade analysen utvärdera vikten av ett fungerande sprinklersystem i en byggnad med konstruktion av KL-trä. Särskilt bör brandskyddets robusthet beaktas.

5.2.2 Val av verifieringsmetod

Verifieringen av brandskyddet i detta tidiga skede handlar i huvudsak om att använda kvalitativa metoder för att bedöma robusthet och samla in information om de viktiga frågeställningar.

5.3 Verifiering av brandsäkerheten

5.3.1 Utrymning

Verifiering av utrymning i konceptbyggnad 1 erfordrar analytisk dimensionering i huvudsak på grund av byggnadshöjden. Materialvalet bedöms inte ha någon påverkan då ytskiktskraven i samtliga brandceller kan uppfyllas enligt allmänt råd. För att möjliggöra verifiering med en acceptabel säkerhetsnivå på grund av byggnadshöjden bedöms att följande brandskyddslösningar erfordras:

- Två trapphus, varav minst en utformas som övertrycksatt Tr1-trapphus.
- Minst en av hissarna utformas som räddningshiss.
- Brandsluss mellan trapphus och övriga utrymmen.
- Heltäckande automatisk sprinkleranläggning.
- Deltäckande automatiskt brandlarm med detektion i samtliga allmänna utrymmen.
- Lägenheter förses med nätanslutna brandvarnare med batteribackup. Om lägenheter förses med flera brandvarnare ska dessa vara seriekopplade.

Föreslagen planlösning för konceptbyggnad 1 bedöms möjliggöra ovan utformning utan större ändringar.

5.3.2 Skydd mot utveckling och spridning av brand

Obehandlat trä har ytskikt i brandteknisk klass D-s2,d0. Utgångspunkten för kraven i konceptbyggnad 1 bedöms vara en motsvarande Br1-byggnad varvid exponerat trä måste vara behandlat för att uppnå ytskiktskraven. Behandling sker oftast genom målning eller impregnering. För ökad robusthet bör brandskyddsimpregnerat trä användas. Med impregnering uppfyller hela byggnadsmaterialet den brandtekniska klassen och då ställs inga särskilda krav på underliggande material. Produkten ska dessutom uppfylla krav för långtidsbeständighet enligt EN 16755 för aktuell miljö. Generellt ska träet uppfylla brandteknisk klass B-s1,d0 för att kunna användas både i tak och på väggar i samtliga utrymmen.

Möjlighet finns att med en automatisk vattensprinkleranläggning motivera en lägre klass för ytskikt i lägenheter motsvarande obehandlat trä, alltså D-s2,d0, vilket har verifierats av Nystedt och Östman (2012).

För att verifiera krav gällande brandcellsindelning, brandcellsgränser och avskiljande förmåga måste det först fastställas om konstruktionen kan vara involverad i brandförloppet eller ej eftersom det påverkar brandbelastningen som en avgörande faktor. Med gällande förutsättningar bedöms det vara mycket svårt att verifiera brandskyddet i en byggnad med exponerad konstruktion av KL-trä. I dagsläget är bedömningen därför att konstruktionen måste skyddas från att involveras i brandförloppet.

Brandbelastningen påverkar både brandcellsgränser och bärförmåga vid brand. För brandcellsgränser bedöms det vara möjligt att med sprinklers utforma avskiljande förmåga som brandteknisk klass EI 60 enligt förenklad dimensionering för Br1-byggnader med upp till 1600 MJ/m² brandbelastning. Dock kräver det högre brandteknisk klass för bärförmåga vid brand. Med sprinklers kan brandbelastningen vara upp till 800 MJ/m² om bärförmågan är R 90, och upp till 1600 MJ/m² om bärförmågan är R 180.

Dimensionerande brandbelastning ska bestämmas med analytisk dimensionering enligt Boverkets allmänna råd om brandbelastning (BBRBE) för att inkludera oskyddat trä i respektive brandcell. För att

ta fram brandbelastningen analytiskt bör angivet värde om 750 MJ/m^2 enligt BBRBE användas som variabel brandbelastning för bostäder. Att använda andra statistiska data för att påvisa lägre variabel brandbelastningen bedöms ej vara lämpligt eftersom brandbelastningen är en stor osäkerhetsfaktor. Permanent brandbelastning utgörs av brännbara byggnadsdelar som inte visar någon, eller endast försumbar variation av mängden material och förbränningsbeteende under en byggnads livslängd. För konceptbyggnad 1 utgörs den permanenta brandbelastningen av väggar, golv och tak. Om dessa utgörs av exponerat trä kan den dimensionerande brandbelastningen bli betydligt högre än 800 MJ/m^2 , vilket påverkar krav på brandmotståndstid för både avskiljande och bärande konstruktioner.

5.3.3 Bärförmåga vid brand

Det bedöms i dagsläget svårt att verifiera brandskyddet i konceptbyggnad 1 utan att skydda konstruktionen med obrännbara beklädnadsskivor. Risken för ett oförutsägbart brandförlopp på grund av delaminering av KL-trä kan inte hanteras. Dimensionering enligt naturligt brandförlopp enligt EKS och Eurokod bedöms inte vara möjlig för en exponerad träkonstruktion då det saknas modeller som tar hänsyn till konstruktionens bidrag till brandförloppet. Vidare saknas provningsmetoder för att i brandfallet verifiera limmets temperaturtålighet i KL-trä.

Om konstruktionen skyddas tillräckligt bedöms det principiellt inte vara någon större skillnad mellan en byggnad vars konstruktion består av KL-trä eller stål. Således kan brandskyddet dimensioneras därefter och en acceptabel nivå kan uppnås.

För att uppfylla svensk bygglagstiftning bedöms den enda möjliga metoden med gällande förutsättningar vara dimensionering genom klassificering enligt nominella temperatur-tidförlopp samtidigt som konstruktionen skyddas från att vara involverad i brandförloppet. Med anledning av byggnadshöjden och materialval för konstruktionen kan ett ökat skyddsbehov konstateras. Enligt EKS tabell C-7a ska byggnadens huvudsystem då utformas med lägst brandteknisk klass R 120, alternativt R 90 med sprinklers, om brandbelastningen understiger 800 MJ/m^2 . Om dimensionerande brandbelastning tillåts upp till 1600 MJ/m^2 är kravet R 240, alternativt R 180 med sprinklers.

Om den permanenta brandenergin begränsas till 50 MJ/m^2 är det möjligt att visa att den totala brandbelastningen understiger 800 MJ/m^2 , vilket innebär att en bärförmåga på R 90 är tillräcklig i en byggnad med automatisk vattensprinkleranläggning. Överslagsberäkningar visar att det är möjligt att tillåta ytskikt av trä på en yta om $0,5\text{-}0,75 \text{ m}^2/\text{m}^2$ golvyta, beroende på om ett brännbart ytskikt har en tjocklek på 9 eller 14 mm. Att konstruktionen behöver skyddas från att involveras i brandförloppet behandlas fristående. Dock kan en brännbar beklädnadsskiva utgöra en del av detta skydd.

Sammanfattningsvis ska en brännbar, bärande konstruktion skyddas från antändning med en beklädnad med brandskyddande förmåga i minst 90 minuter. Tillskottet i brandbelastning från brännbara ytskikt måste begränsas till maximalt 50 MJ/m^2 golvyta.

5.3.4 Möjlighet till räddningsinsats

Möjlighet till räddningsinsats påverkas främst av byggnadshöjden varvid verifiering och utformning bör följa etablerad branschpraxis för räddningsinsats i höga byggnader. Utredning krävs men skiljer sig inte från andra höga byggnader. Följande tekniska system bedöms krävas i konceptbyggnad 1:

- Minst en räddningshiss med brandsluss på varje plan.
- Trycksatt stigarledning
- Signalförstärkning RAKEL och rökydkarradio, om behov finns pga. dålig täckning.

Eftersom konstruktionen skyddas och inte förväntas involveras i brandförloppet bedöms det ej föreligga ett stort behov av utökad släckutrustning. Detta kan istället vara ett beslut för verksamhetsutövaren.

5.4 Brandskyddet i konceptbyggnad 1

I detta avsnitt sammanfattas det brandskyddskonceptet för konceptbyggnad 1:

- Byggnaden ska förses med automatisk vattensprinkleranläggning där tillförlitligheten och förmågan hos anläggningen verifieras enligt SS-EN 12845 och standardserien SS-EN 12259. Sprinkleranläggningen ska utföras med larmventiler på varje våningsplan.
- Bärförmågan vid brand ska vara minst R 90. Den brännbara konstruktionen ska förses med en beklädnad med brandskyddande förmåga i minst 90 minuter. Lämpligt material är exempelvis gipsskivor med fiberförstärkning.
- Brännbara ytskikt tillåts i lägenheter så länge deras bidrag till brandbelastningen inte överstiger 50 MJ/m². Det innebär 0,5-0,75 m² brännbart ytskikt per m² golvyta, beroende på ytskiktets tjocklek (9 alternativt 14 mm).
- I lägenheter kan brännbara ytskikt på väggar utföras i klass D-s2,d0. Ytskikt i tak ska utföras i B-s1,d0, vilket även gäller väggar i övrigt.
- Byggnaden ska utföras med två oberoende trapphus. Minst ett av dessa ska utformas som Tr1-trapphus med sluss mot det fria eller med övertrycksättning.
- Byggnaden ska utföras med minst en räddningshiss.
- Det ska finnas en brandsluss mellan trapphus och övriga utrymmen.
- Lägenheter ska förses med nätanslutna brandvarnare med batteribackup. Om lägenheter förses med flera brandvarnare ska dessa vara seriekopplade.
- Byggnaden ska förses med trycksatt stigarledning.

6. KONCEPTBYGGNAD 2

6.1 Byggnadens förutsättningar

6.1.1 Byggnadsbeskrivning

Principen för konceptbyggnad 2 arkitektoniska utformning är ritad av C.F Möller, och principen för byggnadens bärande konstruktion är ritad av Bjerking. Byggnaden planeras att utföras med en högdelen i 22 våningar ovan mark och en lågdelen i 11 våningar ovan mark, se *Figur 10*. I byggnaden kommer även ett källarplan att finnas. Byggnaden är tänkt att placeras inom tätbebyggt område i Stockholm.



Figur 10. C.F Möllers arkitektoniska utformning av konceptbyggnad 2.

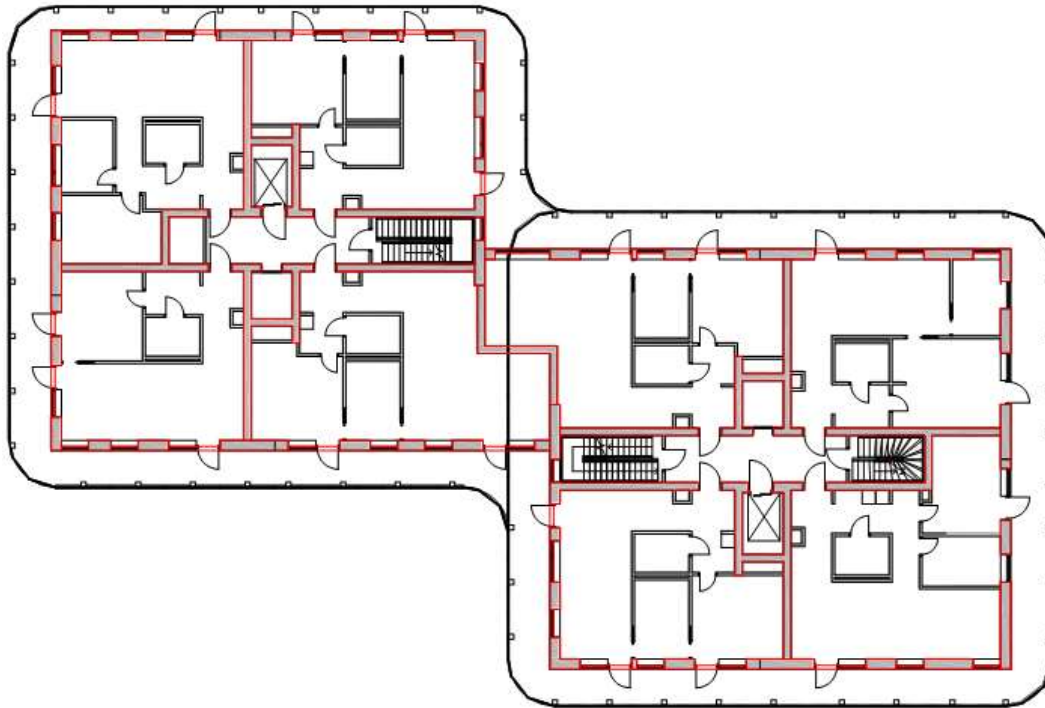
Denna typ av byggnader innehåller vanligtvis olika typer av verksamheter (ex. butiker, kontor och bostäder). Med på grund av avgränsningar i utvecklingsprojektet kommer denna byggnad endast att innehålla hyresrätter. I figuren nedan visas föreslagen planlösningen för våning 1–11 i byggnaden. Den vänstra delen (Hus B) visar utformningen av lågdelen medan den högra delen (Hus A) visar utformningen av högdelen. I figuren visas även tänkt placering av brandcellsgränser.



Figur 11. Principiell utformning av våning 1-11.

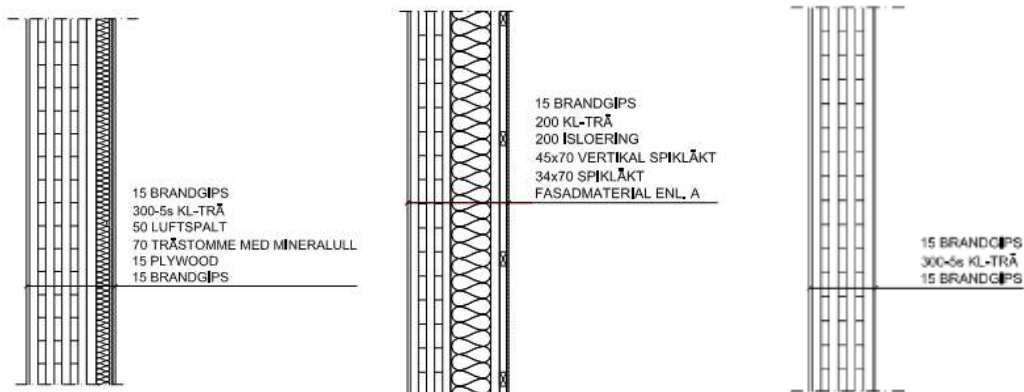
För högdelen, som är av störst intresse i denna analys, kan utrymning ske via två trapphus. Utformningen av det ena trapphuset definieras brandtekniskt som ett Tr1-trapphus medan utformningen av det andra trapphuset definieras brandtekniskt som ett Tr2-trapphus. Båda trapphusen leder till markplan där utrymning kan ske direkt till det fria. Denna del av byggnaden betjänas även av två hissar, där den ena hissen utgör en räddningshiss.

Byggnaden stabiliseras genom skivverkan, vilket huvudsakligen utförs med korslimmade träskivor (d.v.s. KL-trä) i både väggar och bjälklag. Bjälklaget utförs styvt och för över de horisontella lasterna till de bärande väggarna som därefter för ner lasterna till grunden. Bärande väggar är generellt placerade i fasad, mellan lägenheter och mot trapphus. Hög- och lågdelen utförs som en samverkanskonstruktion (d.v.s. ej separata stommar). Beroende på byggnadens placering kan högdelen eventuellt behöva styvas upp med ett fackverk i fasad. Rödmarkerade väggar i figuren nedan visas planerad placering av bärande väggar inom våning 1–11 i byggnaden. Samtliga väggar som är bärande medverkar i byggnadens stomstabiliserande system.



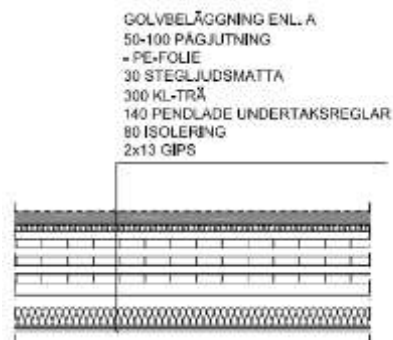
Figur 12. Principiell placering av bärande väggar mellan våning 1–11 i byggnaden visas med rött.

Lägenhetsavskiljande väggar planeras att utföras med 300 mm KL-trä medan ytterväggar istället utförs med 200 mm KL-trä, se figur nedan. Båda väggtyperna planeras att förstärkas med både isolering och brandgips för att hantera krav avseende både akustik och brandskydd. Nedan redovisas principer. Ytterligare brandskydd kommer dock behövas för att stommen inte ska anses vara exponerad. Detta redogörs vidare för i analysen nedan.



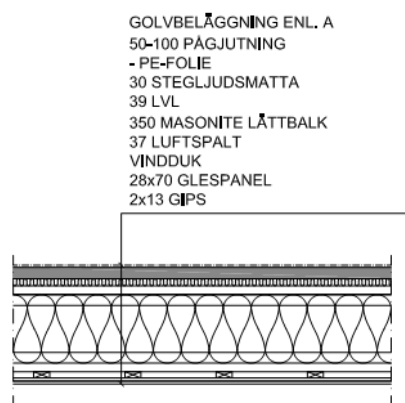
Figur 13. Principiell utformning av bärande väggar i byggnaden. Lägenhetsavskiljande vägg (t.v.), yttervägg (mitten) och bärande vägg inom lägenhet (t.h.).

Bjälklagen planeras att utformas med 300 mm KL-trä, vilket är samma mängd KL-trä som de bärande innerväggarna har. Bjälklaget kommer att förses med en pågjutning av både konstruktiva och akustiska skäl. Av samma akustiska skäl planeras undersidan av bjälklaget att kläs in med både brandgips och isolering. Principiell utformning av bjälklagen redovisas nedan.



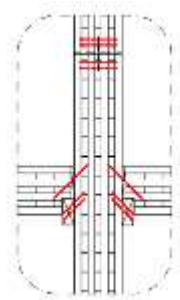
Figur 14. Principiell utformning av bjälklaget.

Som ett alternativ till bjälklaget i KL-trä föreslås ett samverkansbjälklag bestående av lättbalkar i trä med en påskruvad LVL-skiva kan användas, se figur nedan. För även detta bjälklag krävs förstärkningar med betong, isolering och gips av konstruktiva, akustiska och brandskäl.



Figur 15. Principiell utformning av samverkansbjälklag.

För att undvika sättningar i byggnaden så hängs bjälklagen in. På detta sätt undviks också tryck vinkelrätt fibrerna i bjälklagsskivorna. Detta innebär att det kommer att finnas ett antal skarvar mellan väggar och bjälklag samt knutpunkterna mellan dessa som behöver hanteras. Ett principiellt exempel på hur detta kan se ut visas i figuren nedan.



Figur 16. Horisontalskarv i vägg och infästning golv till vägg.

I Bjerking's beskrivning av den bärande konstruktionen redovisas inga exponerade trätytor utan hela konstruktionen är inklädd med brandgips, isolering eller genom pågjutning i betong. Därför förutsätts eventuella synliga trätytskikt i C.F Möllers underlag inte utgöra del av den bärande konstruktionen.

Respektive våningsplan i byggnaden kommer att utföras med balkonger som löper runt hela fasaden. Fasadmaterial är idag okänt.

6.1.2 Riskidentifiering

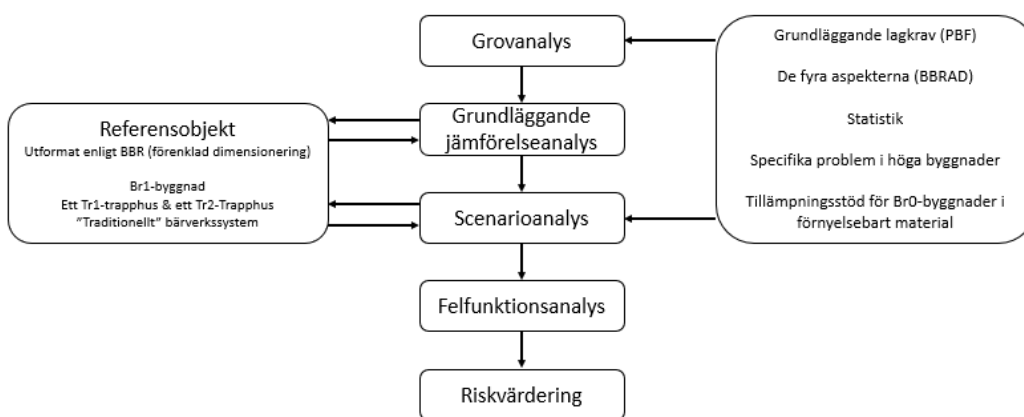
För konceptbyggnad 2 är de risker som beskrivs ovan relevanta. Ingen ytterligare riskidentifiering är nödvändig.

6.2 Förutsättningar för verifiering

Verifieringen omfattar hela byggnaden. Dock är högdelen i fokus eftersom lågdelen i sig inte ger upphov till Br0-kravet. De delar där samspelet mellan dessa byggnadsdelar är avgörande för brandskyddet är dock innefattade i denna analys.

En fullständig verifiering av brandskyddet i konceptbyggnad 2 ska beakta både byggnadshöjden och materialvalet. Denna handling fokuserar på risker relaterat till materialvalet – KL-trä i konstruktionen – medan byggnadshöjden endast berörs övergripande. Anledningen till detta är att det finns flertalet vägledningar för verifiering och utformning av brandskydd i höga byggnader oberoende av materialval. Byggnaden antas endast innehålla bostäder.

En grovanalys i kombination med en jämförande kvalitativ riskanalys bedöms kunna utgöra grunden för att identifiera nödvändiga brandskyddsåtgärder i byggnaden. För att ytterligare identifiera potentiella brister i brandskyddet utförs även en scenarioanalys samt en felfunktionsanalys för den aktuella byggnaden. Arbetsgången för analysen illustreras i figuren nedan.



Figur 17: Arbetsgång för analysen.

I riktlinjerna som ges i den tekniska specifikationen SIS-TS 24833:2014/INSTA 950 - *Fire Safety Engineering – Comparative method to verify fire safety design in buildings* (SIS, 2014) anges följande för en referensbyggnad:

The reference building shall be equivalent to the trial fire safety design building to ensure appropriate comparison. The basis is that the reference building is designed in accordance with pre-accepted solution(s), implying that it corresponds to an acceptable level of safety.

The reference building should be equivalent to the trial building with regards to the fire safety prerequisites except for the deviation(s) and added measures that are the subject of the analysis, e.g. the buildings shall be of the same risk class/building class and contain the same type of occupancies. The reference building shall be of a design that may actually be constructed. All conditions, assumptions and simplifications shall be described and measured to ensure that they are reasonable and realistic.

I och med att byggnaden är i byggnadsklass Br0 kan en referensbyggnad inte utformas enligt de allmänna råden BBR, eftersom byggnadsklassen kräver analytisk dimensionering av brandskyddet som helhet. Enligt avsnitt 2.3.2 i BBRAD bör brandskyddet i en Br0-byggnad minst motsvara brandskyddet det som gäller för motsvarande byggnadsklass, vilket i detta fall innebär Br1. Närmsta utformning av en jämförbar Br1-byggnad är en byggnad med 16 våningar ovan mark med motsvarande verksamhet (d.v.s. bostäder), vilket därför väljs som referensbyggnad för analysen nedan även fast våningsantalet skiljer sig.

6.3 Grundläggande jämförelseanalys

Analysen inleds med en övergripande jämförelse mellan den aktuella byggnaden och referensbyggnaden som utförs i enlighet med förenklad dimensionering. Syftet med den övergripande jämförelsen är att identifiera skillnader mellan de båda objekternas brandskydd och att utifrån detta identifiera parametrar som bedöms påverka personsäkerheten vid händelse av brand.

I den jämförande bedömningen kommer utformningen av det aktuella brandskyddet att studeras och jämföras med riskbilden för referensbyggnaden. I enlighet med grovanalysen utgår bedömningen från hur den planerade byggnadens utformning påverkar respektive parameter som anges i 3 kap. 8 § PBF och motsvarande funktionskrav enligt BBR i förhållande till referensbyggnaden. Bedömningen har delats upp för respektive parameter och redovisas i separata avsnitt nedan.

6.3.1 Beskrivning av referensbyggnad

Med hänsyn till ovanstående beskrivning kommer de övergripande bedömningskriterierna för den analytiska dimensioneringen att utgå från en referensbyggnad i 16 våningsplan ovan mark med snarlik utformning och som är utförd enligt de föreskrifter och allmänna råd som anges i BBR. Överlag dimensioneras även den aktuella byggnaden enligt föreskrifter och allmänna råd för förenklad dimensionering, men med ett antal extra åtgärder för att öka säkerheten vid brand.

Om inte annat specifikt nämns så är följande brandskyddsfaktorer överensstämmande för de två objekten:

- Brandcellsindelning och brandtekniska avskiljningar (EI 60).
- Utförande av ytskikt med särskilda krav för utrymningsväg och brandsluss.
- Utformning av utrymningsvägar avseende fri bredd, beslagning, nödbelysning etc.
- Tillgång till utrymningsvägar (två trapphus)
- Räddningstjänstens insatsmöjligheter avseende framkomlighet och utvändigt brandpostnät.
- Räddningshiss.

Utöver antalet våningsplan skiljer sig en del brandskyddsfaktorer för den aktuella byggnaden jämfört med referensbyggnaden. I *Figur 5* nedan illustreras skillnaderna. Grovanalysen ovan ges en kort beskrivning över de ytterligare brandskyddsåtgärder som planeras samt de som skiljer sig från referensbyggnaden. En fördjupad analys av dessa åtgärder redovisas i avsnitt Risker i höga byggnader.

Tabell 1. Grova skillnader mellan konceptbyggnad 2 och referensbyggnaden.

Brandskyddsfaktor	Konceptbyggnad 2, 22 våningar ovan mark	Referensbyggnad, 16 våningar ovan mark
Bärförmåga	R 90 + Sprinkler - Brännbar konstruktion	R 90
Möjlighet till utrymning vid brand	1 Tr1-trapphus 1 Tr2-trapphus Brandvarnare + Sprinkler + Kortare avstånd till utrymningsväg - Exponerade trätytor inom lägenheter	1 Tr1-trapphus* 1 Tr2-trapphus* *Grundkravet för 16-våningsbyggnader innehållande endast bostäder är tillgång till minst ett Tr2-trapphus Brandvarnare
Skydd mot uppkomst av brand	Grundkrav enl. BBR + Spisvakt	Grundkrav enl. BBR
Skydd mot utveckling och spridning av brand- och brandgas inom byggnader	Grundkrav EI 60 + Sprinkler + Schakt skiljs av i varje bjälklag. Denna avskiljning ersätter inte klass i schaktvägg. + Fläkt i drift som skydd mot brandgasspridning - Exponerade trätytor inom lägenheter - Risk för brandspridning via håligheter uppkomna av rörelser i konstruktionen	Grundkrav EI 60 - Schakt kan utföras öppna - Spjäll som skydd mot brandgasspridning
Skydd mot	> 8 meter till annan byggnad	> 8 meter till annan byggnad

brandspridning mellan byggnader	+ Sprinkler	
Möjlighet till räddningsinsatser	Trycksatt stigarledning Räddningshiss + Två insatsvägar (båda trapphusen) + Korta avstånd vid insats + Brandlarm förkortar insatstid	Trycksatt stigarledning Räddningshiss - En insatsväg (ett trapphus)

Förutom skillnader i byggnadstekniskt brandskydd finns även skillnad i utformningsmöjlighet mellan referensbyggnaden och den aktuella byggnaden. Utan att frånga krav på maximala gångavstånd inom korridor samt lägenheter kan referensbyggnaden ha en >200% större bruttoarea på samtliga våningsplan i både hög- och lågdel.

De gångavstånd som tillämpats är kortare än de som tillåts enligt förenklad dimensionering i BBR (cirka 17 meter som mest jämfört med tillåtna 30 meter inom lägenheter och 3 meter jämfört med 30 meter inom utrymningsväg). Det längsta totala gångavståndet är alltså cirka 33 % kortare i den aktuella byggnaden än i referensbyggnaden.

6.3.2 Byggnadsverkets bärförmåga (EKS 11)

För byggnadsdelar i byggnader tillhörande byggnadsklass Br0 ska en särskild bedömning av byggnadsdelarnas skyddsbehov med avseende på deras bärförmåga vid brand göras. Syftet med utredningen är att klargöra om ett utökat skyddsbehov föreligger eller inte. Vid den särskilda bedömningen ska hänsyn tas till följande punkter:

- om utvändig släckinsats inte kan genomföras,
- om invändig räddningsinsats kan vara komplicerad,
- om den befarade konsekvensen vid kollaps är mycket stor och
- om utrymningsförloppet kan vara förenat med stora svårigheter.

Observera att denna analys i detta skede generaliseras för hela bärverket. När en detaljlösning för stommen finns att tillgå kan enskilda delar av stommen analyseras närmare, vilket skulle kunna innebära andra bedömningar för dessa enskilda delar.

Utvändig släckinsats

Utvändig släckinsats är normalt inte genomförbar för en byggnad högre än åtta våningar oavsett typ av verksamhet i byggnaden. Detta innebär att utvändig släckinsats inte är genomförbar för stora delar av aktuell byggnad. Detsamma gäller dock för jämförbar referensbyggnad då denna också överstiger åtta våningar. Den aktuella byggnaden förses dock med sprinkler, vilket innebär att behovet av en utvändig släckinsats minskar. Dessutom har byggnaden balkongplattor som bryter fasaden i varje våningsplan. Balkongplattorna är 1,6 meter djupa, vilket minskar risken för brandspridning via fasaden avsevärt. Enligt tidigare beräkningar genomförda av Brandskyddslaget innebär en 60 cm djup balkongplatta bättre skydd mot brandspridning via fasaden än det avstånd på 1,2 meter som anges i BBR:s allmänna råd (Nilsson & Mossberg, 2016).

Att den bärande konstruktionen är i trä skulle kunna innebära häftigare brandförlopp och mer förbränning utanför brandrummet. Detta skulle i sin tur kunna leda till högre risk för brandspridning via fasaden. Dock kläs denna stomme in och brandspridning till denna sker därför endast om det blivit fel i utförande eller brukande i kombination med att sprinkler fallerar.

Med grund i detta bedöms inte skyddsbehovet vara utökat med hänsyn till den utvändiga släckinsatsen.

Invändig räddningsinsats

Den invändiga räddningsinsatsen kompliceras av byggnadens höjd. I den aktuella byggnaden finns fyra våningsplan fler än i referensbyggnaden, vilket innebär en viss komplikation. Dock är byggnaden lättorienterad och har korta angreppsvägar samt tillgång till två trapphus vilket ökar redundansen vid insats. Både den aktuella byggnaden och referensbyggnaden är utrustade med räddningshiss och trycksatt stigarledning, vilket underlättar insatsen högt upp i byggnaden. För den aktuella byggnaden utförs stigarledningen enligt SBF 504:1, vilket innebär en högre säkerhetsnivå än den som anges i BBR och därmed finns att tillgå i referensbyggnaden.

Med grund i detta bedöms inte skyddsbehovet vara utökat med hänsyn till den invändiga räddningsinsatsen.

Befarad konsekvens vid kollaps

Ett utökat våningsantal innebär en större konsekvens vid kollaps. Dessutom är konstruktionen i det aktuella fallet samverkande genom stumma förband med den lägre byggnadskroppen. Detta innebär stor risk för att den lägre byggnadskroppen kollapsar till följd av en kollaps av den högre byggnadskroppen. Att den högre byggnadskroppen har en begränsad area i förhållande till en referensbyggnad vägs därför upp genom att den lägre byggnadskroppen också riskerar kollaps.

Med grund i detta bedöms skyddsbehovet vara utökat med hänsyn till den befarade konsekvensen vid kollaps.

Utrymningsförloppet kan vara förenat med stora svårigheter

Att byggnaden är högre innebär större svårigheter i utrymningsförloppet. Dock bedöms dessa effekter vara begränsade för en 20-våningsbyggnad i förhållande till en 16-våningsbyggnad. Dessa effekter undersöks vidare i avsnittet kring utrymning nedan men summerat bedöms inte det aktuella utförandet innebära större svårigheter än för motsvarande referensbyggnad.

Med grund i detta bedöms inte skyddsbehovet vara utökat med hänsyn till svårigheterna i utrymningsförloppet.

Risk för påverkan på bärande konstruktioner vid projektering, byggfel eller brukande.

Vid projekteringen av en hög byggnad med bärande konstruktion i trä finns det brister i forskningsläget och till följd av detta saknas exempelvis vedertagna beräkningsmodeller och skyddsmetoder. Detta gör att projekteringen är förknippad med större osäkerheter än vid dimensionering av en byggnad med mer traditionell bärande konstruktion. Med hänsyn till dessa osäkerheter bör en försiktighetsprincip

Utöver projekteringsrisken så finns i en byggnad alltid en risk att brandskyddet påverkas av fel vid byggnation som inte upptäcks eller vid felaktigt brukande av byggnaden. Dessa faktorer listas inte i EKS men med den aktuella stommen bedöms sådana fel behöva beaktas även i projekteringen. Stommaterialet innebär en ökad känslighet mot sådana fel och om en brand skulle inträffa i ett utrymme där skyddet av stommen påverkats eller utförts felaktigt finns det en risk att denna brand blir mer omfattande än vad som kan förväntas i en referensbyggnad. Sprinklerskyddet innebär en viss redundans i detta men på grund av konsekvensen av en sådan händelse bedöms ändå skyddsbehovet påverkas.

Med grund i detta bedöms skyddsbehovet vara utökat med hänsyn till risken för felaktigheter i brukande eller byggnation.

Slutsats

Totalt sett bedöms stommen ha ett utökat skyddsbehov enligt EKS. Detta innebär att den ska projekteras enligt tabell C-7a i EKS 11. Med hänsyn till sprinklerskyddet innebär detta att den bärande konstruktionen ska utföras i lägst brandteknisk klass R 90.

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

I referensbyggnaden utrymmer de som befinner sig i byggnaden antingen via ett Tr1-trapphus eller ett Tr2-trapphus. Samma princip för utrymning tillämpas i den aktuella byggnaden. Det bör dock noteras att grundkravet för referensbyggnaden är utrymning via ett Tr2-trapphus som enda utrymningsväg.

Utöver detta förses lägenheterna i den aktuella byggnaden också med sprinkler och gångavstånden är förhållandevis korta, vilket förbättrar utrymningssäkerheten i förhållande till referensbyggnaden.

6.3.4 Skydd mot uppkomst av brand (BBR 5:4)

Det finns sammanställningar som visar att brandfrekvensen i trähus är lägre än för byggnadsbeståndet som helhet (Eriksson, Nord & Östman, 2016). I denna anges dock även förklaringar som att detta bestånd till stor del är nyare byggnader. Med grund i detta ses den aktuella byggnaden och referensbyggnaden som likvärdiga i avseendet uppkomst av brand.

På grund av den ökade känslighet som finns i stommaterialet finns det dock anledning att se över potentiella åtgärder för att minska risken för uppkomst av brand. För lägenheter är möjligheten till

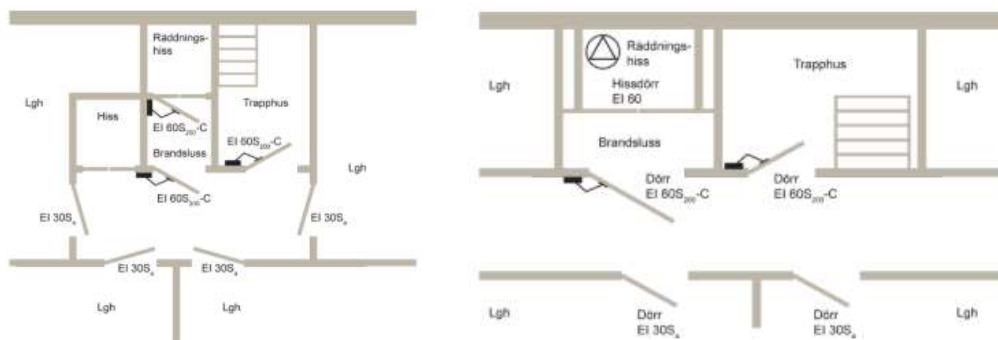
sådana åtgärder begränsad men ett vanligt förslag är spisvakt. Denna åtgärd har konstaterats kunna hindra cirka 4-10 % av inträffade dödsbränder i olika inventeringar (Runefors, Johansson & Van Hees, 2016, 2017).

Med grund i ovanstående bedöms spisvakt utgöra en rimlig åtgärd för att minska risken för uppkomst av brand för att förbättra robustheten i brandskyddet hos den aktuella byggnaden. Detta innebär att utförandet avseende skydd mot uppkomst av brand är bättre i den aktuella byggnaden än i referensbyggnaden.

6.3.5 Skydd mot utveckling och spridning av brand- och brandgas inom byggnader (BBR 5:5)

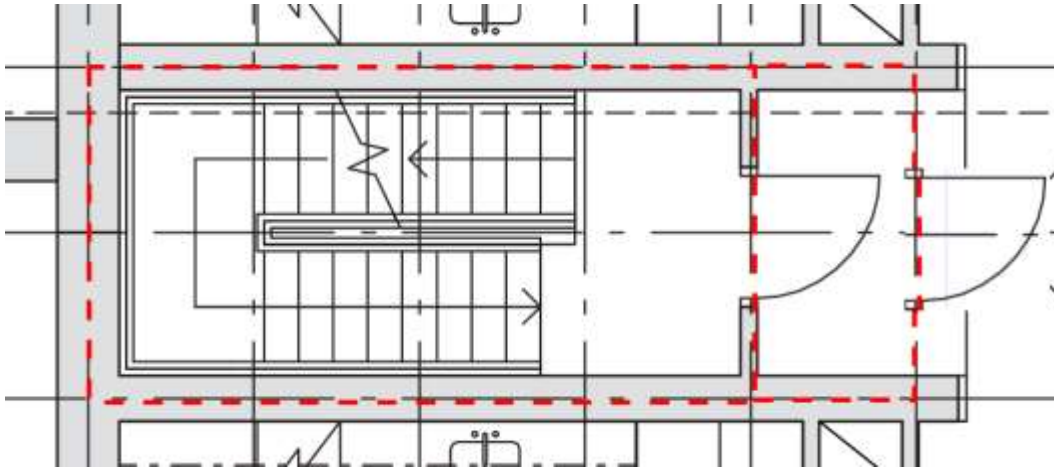
För skydd mot utveckling och spridning av brand och rök inom byggnadsverket är främst utformningen av de fasta brandcellsgränserna av intresse. Både i referensbyggnaden och i det aktuella objektet är grundkravet på brandteknisk klass hos brandceller lägst EI 60. I båda byggnaderna accepteras lägenhetsdörrar schablonmässigt i klass EI 30-S_a men då lägenhetskorrideren utgör brandsluss blir kravet istället EI 60-S_mC för dörrarna. Detta eftersom räddningshissen och Tr1-trapphuset kräver denna klass även i referensbyggnaden.

I detta skede är inte detaljutförande klarlagt men med aktuell planlösning krävs att lägenhetsdörrar utförs i brandteknisk klass EI 60-S_mC då dessa öppnar mot räddningshissens brandsluss. Detta kan innebära vissa problem med tillgänglighet då dörrstängare kan påverka tillgängligheten för bostäderna. Alternativa lösningar till utformningen är att skapa en brandsluss framför räddningshissen med två dörrar innan den ansluter till lägenhetskorrideren. Det går även att ha en utformning med en dörr samt trycksättning, men det måste då fortfarande skapas ett slussutrymme mellan hissdörren och slagdörren, se exempel nedan från PBL kunskapsbanken (Boverket, u.å.).



Figur 18. Olika lösningar för räddningshissar enligt PBL kunskapsbanken (Boverket, u.å.).

Utöver detta så kommer den aktuella byggnaden behöva utformas med ett övertrycksatt trapphus, vilket utgör en alternativ lösning till utformningen av trapphus Tr1, eftersom brandslussen inte är öppen till det fria. Detta innebär att möjlighet till tryckavlastning sannolikt behöver införas, antingen via ett hisschakt eller via ett separat schakt till det fria. För att utforma lägenhetsdörrar utan dörrstängare skulle ett extra dörrparti krävas mot trapphuset, se figur nedan.



Figur 19. Exempel på lösning för brandsluss till Tr1-trapphus. Observera att dörrplaceringar och slagriktning behöver ses över.

Om trycksättning tillämpas ska denna uppfylla kraven i BBR 5:256 och verifieras enligt SS-EN 12101-6. Felfunktioner i ett sådant system måste beaktas då sådana annars skulle kunna påverka utrymningssäkerheten.

Utöver ovanstående utrustas den aktuella byggnaden med sprinklerskydd, vilket enligt statistiken från NFPA minskar risken för brandspridning utanför startutrymmet avsevärt. I bostadsbyggnader utan sprinkler spred sig branden utanför startutrymmet i 26 % av fallen, medan detsamma endast skedde i 3 % av fallen i bostadsbyggnaderna med sprinklerskydd.

6.3.6 Skydd mot brandspridning mellan byggnader (BBR 5:6)

Referensbyggnaden och den aktuella byggnaden bedöms behöva utformas med samma krav på avstånd till annan byggnad för att inte riskera brandspridning till närliggande byggnadsverk. Detta innebär att intilliggande byggnader utförs på ett avstånd av minst 8 meter eller med brandtekniskt klassade fasader.

I och med sprinklerskyddet i den aktuella byggnaden bedöms utförandet i denna aspekt avsevärt förbättrat i jämförelse med motsvarande referensbyggnad.

6.3.7 Möjlighet till räddningsinsatser (BBR 5:7)

Referensbyggnaden och den aktuella byggnaden utformas med samma krav på tillgänglighet för räddningstjänsten (framkomlighet till byggnaden och räddningshiss inom byggnaden) samt krav på vattentillgång (i brandpostnätet och trycksatta stigarledning) och brandgasventilering av trapphus.

I den aktuella byggnaden läggs det dock in ett antal säkerhetshöjande åtgärder för att underlätta för räddningstjänstens insats. Dessa är:

- Krav på fungerande kommunikationsmöjlighet i trapphus (ev. komplettering med RAKEL-förstärkare vid behov).
- Adresserbart detektionssystem i hisshallar som visar på vilket plan detektorer aktiverat i brandförsvarstabla.
- Stigarledning utformas enligt SBF 504:1, vilket innebär en högre skyddsnivå än den som anges enligt förenklad dimensionering i BBR.
- Trycksatt trapphus som motverkar rökspridning till trapphuset, vilket underlättar insats.
- Sprinklerskydd.

6.3.8 Jämförelseanalys

Jämförelseanalysen utförs med hänsyn till de grundkrav i PBF som listats ovan. Analysen av brandskyddet i den aktuella byggnaden utförs därför indelat efter dessa faktorer, i enlighet med grovanalysen.

6.3.8.1 Byggnadsverkets bärförmåga

Enligt 3 kap. 8 § PBF så ska ett byggnadsverk vara projekterat och utfört på ett sådant sätt att byggnadsverkets bärförmåga vid brand kan antas bestå under en bestämd tid. I EKS anges att bärande konstruktioner ska utformas och dimensioneras så att säkerheten mot materialbrott och mot instabilitet är betryggande vid brand och föreskriven last. Vidare anges föreskrifter om brandtekniska klasser i bärande konstruktioner beroende på byggnadsteknisk klass och antal våningsplan. För en Br0-byggnad med normal brandbelastning och utökat skyddsbehov ska samtliga bärverk vara utförda i lägst R 90.

R 90 betyder att huset ska motstå värmebelastningen från 90 minuters brand enligt standardbrandkurvan ISO 834. Detta motsvarar i realiteten att stommen kan stå emot en viss brandbelastning snarare än en viss tid. En konstruktion som uppfyller R 60 ska normalt kunna stå emot den brandbelastning som finns i en normal lägenhet och klassen R 90 innebär därför en ytterligare säkerhetsmarginal.

Den extra säkerhetsnivån som utgörs av bärighetsklass R 90 är enligt EKS 11 tillräckligt för både referensbyggnaden och den aktuella byggnaden. Det bör dock noteras att i den aktuella byggnaden utförs bärverket i R 90 samt med sprinklerskydd, vilket bedöms ge en högre säkerhetsnivå för de bärande byggnadsdelarna än i referensbyggnaden.

Konsekvenserna för intilliggande byggnader vid ras bedöms inte vara avsevärt förhöjda för byggnaden men skyddet är, som ovan nämnt, bättre. Insatstider har inte försvårats väsentligt och utrymningsmöjligheterna bedöms vara bättre än i referensbyggnaden.

Säkerhetsnivån för byggnadsverkets bärförmåga vid brand bedöms vara bättre än för referensbyggnaden. För att säkerställa denna slutsats utförs även beräkningar av naturligt brandförlopp i scenarioanalysen.

Observera att stommens bärighet även ska utredas i separat riskanalys i enlighet med krav för konsekvensklass 3 enligt EKS 11.

6.3.8.2 Skydd mot brand- och brandgasspridning inom byggnad

En byggnad ska enligt 3 kap. 8 § PBF projekteras och utföras så att utveckling och spridning av brand och rök begränsas inom byggnadsverket. I BBR har detta krav delats in med avseende på skydd mot brandspridning inom en brandcell samt skydd mot brand- och brandgasspridning mellan brandceller. Skyddet mot brandspridning inom byggnaden kan alltså i princip delas upp i: (1) risk för uppkomst av brand, (2) krav på ytskikt, (3) krav på brandcellsindelning, (4) krav på avskiljningar mot trapphus och hissar, (5) krav på installationsschakt, (6) utformning av ventilationssystem, (7) förekomst av automatiskt släcksystem samt (8) krav på brandspridning via fasad.

(1) Risk för uppkomst av brand

Sannolikheten för brand ökar något med antalet våningsplan eftersom den totala boytan (tändkällan) ökar. Detta förutsätter dock att referensbyggnaden har samma utformning och yta per våningsplan. I teorin skulle referensbyggnadens yta kunna tillåtas vara betydligt större än föreslagen layout, vilket redovisats ovan. Dessutom installeras spisvakter i samtliga lägenheter.

Sannolikheten för uppkomst av brand bedöms utifrån detta vara lägre för den aktuella byggnaden än för referensbyggnaden.

(2) Ytskikt

I den aktuella byggnaden kan det bli aktuellt med trädetaljer för att framhäva och accentuera att byggnadens bärverk är trä. Sådana detaljer kommer inte kunna vara exponerade delar av bärverket, vilket diskuterats tidigare i denna analys. Dock kan trä sättas som ytskikt i delar av byggnaden, men detta trä måste då beaktas i brandbelastningen samt får inte överstiga 20 % av omslutningsytan i

enlighet med BBR 5:521. Placering och omfattning behöver även stämmas av med Brandskyddssakkunnig för att säkerställa att utrymningssäkerheten inte påverkas negativt.

Ovanstående innebär att samma kravnivå bedöms föreligga i den aktuella byggnaden och i referensbyggnaden.

(3) Brandcellsindelning

Grundkravet på brandcellsindelningen är densamma i referensbyggnaden och den aktuella byggnaden, det vill säga EI 60. I och med räddningshissen är även utförandet av dörrar i princip samma i den aktuella byggnaden och i referensbyggnaden. Dörrar till lägenheter ska klara EI 30 Sa och dörrar till brandsluss ska utföras i EI 60-SmC (det högre kravet gäller om lägenhetsdörrar vetter mot brandsluss).

(4) Trapphus och hissar

Övertrycksättning av trapphus är en förutsättning för att uppfylla funktionskraven för ett Tr1-trapphus. Denna ska utföras enligt SS-EN 12101-6. Felfunktioner ska beaktas. Denna trycksättning motverkar även brand- och brandgasspridning via trapphuset.

(5) Krav på installationsschakt

Kraven för installationsschakt är egentligen samma i referensbyggnaden och den aktuella byggnaden. Dock finns normalt valet att antingen täta schakten i bjälklag schakten eller att bygga öppna schakt. I denna typ av hus innebär öppna schakt att skorstensverkan kan bli stor, vilket innebär att denna sorts lösning är olämplig. Därför ska schakten i den aktuella byggnaden utföras täta i bjälklag. Denna lösning bedöms ge en förbättrad säkerhet mot referensbyggnaden, eftersom det är möjligt att bygga med öppna schakt.

(6) Ventilationssystem

I den aktuella byggnaden utformas ventilationssystemet med ”fläktar i drift”. Den lösning som tillämpas ska verifieras med beräkningar och möjliga tryckskillnader med hänsyn till byggnadshöjden ska då beaktas. De acceptanskriterier som ska tillämpas för analysen anges i BBRAD. Detta bedöms innebära en förbättrad säkerhetsnivå än för referensbyggnaden eftersom en lösning med brandgasspjäll kan ge upphov till oförutsedda brandgasläckage. Detta då brandrummet inte tryckavlastas på samma sätt. Uppfylls nivåerna i BBRAD är detta även att betrakta som en acceptabel nivå för en Br0-byggnad.

(7) Förekomst av automatiskt släcksystem

I referensbyggnaden finns inget automatiskt släcksystem medan den aktuella byggnaden utformas med ett sprinklersystem. Sprinkler kan förhindra små bränder från att bli stora och sprida sig, vilket avsevärt förbättrar skyddet i den aktuella byggnaden. I enlighet med statistiken från NFPA minskar risken för att en brand sprider sig utanför startutrymmet från 26 % av bränderna i bostäder utan sprinkler till endast 3 % av bränderna i bostäder med sprinkler.

(8) Brandspridning via fasaden

Eftersom den aktuella byggnaden är högre ökar antalet våningar som kan omfattas av en brand som sprider sig vertikalt inne i ytterväggen eller från fönster till fönster. Antalet våningar som saknar möjlighet till utvändigt släckinsats ökar från 8 till 12 våningar jämfört med referensbyggnaden (räddningstjänstens stegbil når normalt högst 8 våningar ovan mark). En brand som sprider sig i fler än två våningar uppåt är dock mycket ovanligt.

Skyddet för den aktuella byggnaden är i avsevärt bättre än för referensbyggnaden eftersom en balkongplatta skyddar mot spridning uppåt. Som nämnt ovan innebär denna lösning att temperaturerna vid fasaden minskar och risken för brandspridning minskar därför.

Sammanvägd bedömning

Sammantaget är bedömningen att utformningen i den aktuella byggnaden innebär ett förbättrat skydd med avseende på utveckling och spridning av brand och rök inom byggnaden jämfört med referensbyggnaden.

6.3.8.3 Skydd mot brandspridning mellan byggnader

Enligt 3 kap. 8 § PBF ska en byggnad projekteras och utföras så att spridning av brand till närliggande byggnadsverk begränsas. Brandspridning till intilliggande byggnader bedöms dock inte i någon större utsträckning påverkas av antalet våningar i byggnaden. Det som främst påverkar risken för

brandspridning mellan byggnader är istället avståndet mellan byggnaderna. När avståndet mellan byggnader är begränsat kan antalet våningar vara av viss betydelse, om det är olika höjder på byggnaderna. Detta eftersom en brand i en lägre byggnad innebär ökad exponering mot den högre byggnaden i de fall branden bryter genom taket.

Avståndet mellan den aktuella byggnadskroppen och intilliggande byggnadskropp är mer än 8 meter, vilket är samma lösning som i referensbyggnaden.

Bedömningen är att den planerade utformningen innebär ett minst likvärdigt skydd med avseende på begränsning av brand till intilliggande byggnadsverk i förhållande till referensbyggnaden. Förekomsten av släcksystem påverkar visserligen riskbilden, men bara för fallet med brandspridning från den aktuella byggnaden. Fallet med risk för brandspridning från annan intilliggande byggnad är samma som i referensbyggnaden.

6.3.8.4 Utrymning vid brand

En byggnad ska enligt 3 kap. 8 § PBF projekteras och utföras så att personer som befinner sig i byggnaden kan lämna den eller räddas på annat sätt vid händelse av brand. I BBR anges att byggnader ska utformas så att det ges möjlighet till tillfredställande utrymning vid brand. Med tillfredställande utrymning avses att personer som utrymmer, med tillräcklig säkerhet, inte utsätts för nedfallande byggnadsdelar, hög temperatur, hög värmestrålning, giftiga brandgaser eller dålig sikt som hindrar utrymning till säker plats. Personer ska antingen kunna utrymma byggnaden alternativt ska de personer som befinner sig inom den av branden berörda delen kunna förflytta sig till en säker flyktplats inom byggnaden. Det senare fallet innebär att personerna måste vara skyddade mot värme och toxiska gaser under ett fullständigt brandförlopp eller minst den tid som fordras för att branden ska vara helt släckt.

I den aktuella byggnaden införs en rad åtgärder, exempelvis sprinkler, som medför minskad risk för brand- och brandgasspridning till övriga lägenheter och till trapphuset vilket minskar behovet av att utrymma hela byggnaden samt minskar risken för att trapphuset blockeras av rök. Sprinklersystemet ökar dessutom säkerheten i den branddrabbade lägenheten där den högsta risken för att omkomma vid brand föreligger.

I och med byggnadsmaterialet bedöms det dock kunna förekomma vissa fall där räddningstjänsten bedömer att byggnaden behöver totalutrymmas, t.ex. vid risk för kollaps. En överslagsberäkning av utrymningstiden för en totalutrymning visar att en sådan utrymning skulle kunna utföras på 5,5 minuter. Detta kan jämföras med en byggnad som accepteras enligt förenklad dimensionering (ett trapphus, 16 våningar, i övrigt lika förutsättningar) där beräknad utrymningstid är 7,5 minuter. Det ska observeras att dessa är ideala tider och ska inte ses som sanningar. Detta illustrerar endast att den aktuella byggnadens utrymningsförutsättningar vid en totalutrymning ger möjlighet till en ca 30 % snabbare teoretisk utrymning.

Den sammanfattande bedömningen är att den sammanlagda utrymnings säkerheten i aktuell byggnad är bättre jämfört med referensbyggnaden.

6.3.8.5 Räddningstjänstens insatsmöjligheter

Enligt PBF ska en byggnad projekteras och utföras med hänsyn till räddningsmanskapets säkerhet. Detta innebär att räddningstjänstens insats i möjligaste mån ska tillgodoses samt att räddningstjänstpersonalens säkerhet vid insats ska beaktas. Detta regleras i BBR genom ett antal åtgärder som syftar till att underlätta räddningstjänstens insats.

För den aktuella byggnaden kommer det grundläggande skyddet för räddningstjänstens säkerhet att utformas i enlighet med gällande föreskrifter för förenklad dimensionering med vissa tillägg för att öka säkerhetsnivån ytterligare. Eftersom en byggnads brandskydd i normalfallet syftar till att både byggnaden, personer som vistas i den samt räddningstjänsten ska få en acceptabel säkerhetsnivå kan uppfyllandet av kraven i förenklad dimensionering bedömas vara fullgott för att beakta räddningstjänstens säkerhet vid insats. Dock är räddningstjänstens insats något som ska beaktas särskilt vid utformningen av en Br0-byggnad i och med att komplicerade insatssituationer kan uppstå. Med hänsyn till detta utförs ett antal tillägg mot den nivå som anges enligt förenklad dimensionering och

som alltså appliceras i referensbyggnaden. De parametrar som bedöms avgörande och därmed behöver beaktas vid denna verifiering är:

- Brand- och brandgasspridning under pågående insats
- Bärförmåga vid brand
- Tillträde och vattensäkerhet för räddningstjänsten (både invändigt och utvändigt)
- Kommunikationsmöjligheter

Av dessa har de två översta punkterna redan redogjorts för ovan. Vattensäkerheten och tillträdet till byggnaden bedöms tillfredsställande i och med räddningshissen och att den trycksatta stigarledningen ska uppfylla SBF 504:1.

Kommunikationsmöjligheter ska provas på plats och komplettering av RAKEL förstärkare ska installeras vid behov.

Jämförande bedömning räddningstjänstens insatsmöjligheter

Vid jämförelse av den aktuella utformningen med en referensbyggnad så är tillträdet för räddningstjänsten och skyddet mot brandspridning mellan byggnader ungefär likvärdigt för byggnaderna. Vattensäkerheten, byggnadens bärförmåga, skyddet mot brand- och brandgasspridning under pågående insats och kommunikationsmöjligheterna är dock högre i den aktuella byggnaden. Detta bedöms ge avsevärt högre insatssäkerhet.

Detta innebär att räddningsmanskaps säkerhet vid händelse av brand i den aktuella byggnaden bedöms vara högre än för den studerade referensbyggnaden.

6.3.8.6 Förvaltningsskedet

Förvaltningsskedet regleras inte i detalj i bygglagstiftningen. Det anges dock i BBR att drift- och underhållsinstruktioner ska finnas till de byggnader som byggs och att det i dessa ska framgå hur brandskyddet ska underhållas för att avsedd funktion ska upprätthållas. Detta blir viktigt i den aktuella byggnaden då åtgärder kan tänkas som innebär att brandskyddet påverkas avsevärt. Framförallt är skyddet av stommen avgörande och kontroller av detta skydd ska därför införas med regelbunden basis.

6.3.8.7 Sammanställning

I Tabell 4 nedan sammanställs ovanstående bedömningar om hur den föreslagna utformningen av konceptbyggnad 2 påverkar gällande lagkrav om att byggnadsverk ska uppfylla väsentliga tekniska egenskapskrav i fråga om säkerhet i händelse av brand. I tabellen nedan redovisas hur den planerade byggnadens utformning påverkar respektive parameter i förhållande till referensbyggnaden. Den sammanfattande bedömningen redovisas med följande bedömningsmått:

- Det utformningsalternativ som innebär högst säkerhet: +
- Det utformningsalternativ som innebär lägst säkerhet: –
- Utformningsalternativen har en likvärdig säkerhet: =

Tabell 2. Sammanställning av jämförelseanalysen.

Lagkrav	Referensbyggnad	Konceptbyggnad 2
1. Byggnadsverkets bärförmåga vid brand	-	+
2. Begränsning av utveckling och spridning av brand och rök inom byggnadsverket	-	+
3. Begränsning av spridning av brand till närliggande byggnadsverk	=/-	=/+
4. Personer i byggnadsverket ska vid brand kunna lämna den eller räddas på annat sätt	-	+
5. Räddningsmanskaps säkerhet vid brand ska beaktas	-	+

För fyra av de fem grundläggande parametrarna bedöms alltså säkerheten vara högre för konceptbyggnaden jämfört med referensbyggnaden. För den kvarvarande faktorn bedöms skyddet vara bättre för brandspridning till annan byggnad och likvärdigt gällande brandspridning från annan byggnad.

Eftersom BBRAD anger att de allmänna råden i avsnitt 5 endast i begränsad omfattning kan användas som referenssystem så utreds dock personrisken ytterligare i scenarioanalysen nedan. Detta eftersom denna faktor bedöms vara den mest avgörande i bedömningen av byggnadens brandskydd.

6.4 Scenarioanalys

För den aktuella byggnaden har sex relevanta brandplaceringar identifierats:

1. Brand i lägenhet
2. Brand i hisshall
3. Brand i trapphus
4. Brand i hiss/hisschakt

För att kunna ange en grundläggande risknivå så grundas scenarioanalysen på att belysa skillnaden i antalet omkomna vid brand i den aktuella byggnaden jämfört med referensbyggnaden. Analysens fokus ligger därför på de scenarier där det finns en skillnad i förutsättningar mellan referensbyggnaden och den aktuella byggnaden. Även om sannolikheter och konsekvenser är svåra att kvantifiera exakt så kan en ungefärlig bild av storleksordningen på skillnaderna i lösningar utföras.

Vid detaljprojektering kan ytterligare scenarier tänkas (t.ex. brand i förråd och liknande). Dessa bör då även inarbetas i analysen.

6.4.1 Brand i lägenhet

Lägenheten är den plats där majoriteten av dödsfallen inträffar och även där den största brandbelastningen finns i byggnaden. Risken för brand- och brandgasspridning via fasad, schakt och ventilationssystem till övriga delar av byggnaden är också som störst vid en brand i en lägenhet.

I detta avsnitt sker en uppskattning av var i huset som dödsfall skulle kunna inträffa och vilken effekt skillnaderna mellan referensbyggnaden och den aktuella byggnaden har.

6.4.2 Risken att omkomma vid brand i den egna lägenheten

I grovanalysen redovisas att cirka 90 av 100 dödsfall sker vid lägenhetsbränder inne i lägenheten där branden startade. 6 av 100 dödsfall saknar uppgift alternativt har okänd fyndplats, utav dessa bedöms minst hälften vara inom samma brandcell som branden startat. Uppskattningsvis bedöms därför cirka 95 av 100 dödsfall till följd av brand ske inom den lägenhet där branden startar.

I aktuell byggnad installeras boendesprinkler vilket minskar risken för att omkomma vid brand genom att systemet släcker eller kontrollerar en brand i tidigt skede.

Med utgångspunkt i statistiken från grovanalysen antas att sprinkler fungerar i cirka 90 % av fallen men att detta inte automatiskt innebär att risken för dödsfall reduceras till 0. Totalt sett minskar risken för att omkomma i den egna lägenheten med 81 % enligt avsnitt 3.3.1. Eftersom reglerna kring sprinkler skiljer sig något mot de amerikanska reglerna antas ett något lägre värde och riskreduktionen antas därför till 75 %.

I de fall som sprinkler fallerar så har inga lättnader i skyddet gjorts som innebär att risken ökar inom lägenheten. Riskreduktionen i lägenheten kan därför direkt relateras till riskreduktionen som sprinklerskyddet innebär.

Med grund i ovanstående antas att av 95 dödsfall i referensbyggnaden så omkommer ungefär 24 personer i den aktuella byggnaden. Detta är oaktat skillnaden i personantal mellan byggnaderna, vilket är konservativt då referensbyggnaden teoretiskt kan ha en avsevärt större area och den aktuella byggnaden har endast ett våningsplan mer.

6.4.3 Risken att omkomma vid brand- och brandgasspridning till hisshallen och trapphuset

Statistiken enligt ovan visar att ca 3 av 88 dödsfall inträffar i annan brandcell än det branddrabbade utrymnet. Någon tydlig statistik kring var dessa dödsfall sker finns inte men bedömningen görs att de flesta av dessa dödsfall sker vid utrymning. Detta antagande baseras på kända fall där personer försökt utrymma genom rök, exempelvis Rinkebybranden som resulterade i sju dödsfall (Statens Haverikommission, 2010). Uppskattningsvis bedöms därför cirka 4 % av dödsfallen vid lägenhetsbränder vara på grund av brandgasspridning till utrymningsvägen.

Erfarenhetsmässigt från bränder som Rinkebybranden så har det visat sig att risken för dödsfall i utrymningsvägen är relevant att studera. Utrymning är vanligt förekommande i lägenhetsbränder, även om grundstrategin är att man ska stanna i lägenheten. I en stor del av fallen då utrymning sker lämnas även dörren öppen om dörrstängare saknas. Vid intervjuer av personer i lägenheter har det framgått att cirka 1/3 skulle försöka ta sig ut i ett trapphus, trots att detta är rökfyllt. Dessa visade även att ungefär lika många kände sig säkra i lägenheten i upp till 15 minuter vid sådana förhållanden (Statens Haverikommission, 2010).

Något större statistiskt underlag från personer som har utrymt trots att deras utrymningsväg är blockerad har inte hittats men i till exempel Rinkebybranden så försökte 10 personer att ta sig ut i trapphuset av de 14 personer som undersökte möjligheten (7 av dem omkom) (Statens Haverikommission, 2010). Vid utrymningen av World Trade Center som följde efter en bilbomb 1993 så angav en stor mängd personer att de utrymt genom rök (Sharma, 2008). Även om personer i andra lägenheter inte omkommer eller försöker ta sig vidare i trapphuset finns risken att de får i sig brandgaser när de öppnar dörren för att bedöma om de kan utrymma eller inte.

Brandrisken kommer primärt från lägenheter eftersom det är här brandbelastningen finns. Med hänsyn till sprinklerskyddet visar statistiken ovan att sprinkler är effektivt i cirka 90 % av fallen i bostäder. Detta stämmer även med statistiken för att bränder sprider sig utanför startutrymnet som minskar med motsvarande procentsats (från cirka 24 % av fallen till cirka 3 % av fallen) (Ahrens, 2017). Enligt ovanstående antas en något lägre procentsats med hänsyn till skillnader i regelverk och en riskreduktion från bränder i lägenheter ansätts till 75 %.

Våningsvis är utformningen, förutom sprinkler, samma i den aktuella och i referensbyggnaden. Detta innebär att våningsvis antas riskreduktionen vara 75 % enligt ovan. Detta innebär att av 4 dödsfall i referensbyggnaden så omkommer ungefär 1 personer ($4 \cdot 0,25 = 1$) i den aktuella byggnaden med hänsyn till ovanstående riskreduceringar. Observera dock att utformningen av trycksättningssystemet kan påverka denna riskreduktion.

6.4.4 Risken att omkomma vid brand- och brandgasspridning till andra lägenheter

Med grund i statistiken redovisad i grovanalysen så bedöms antalet döda till följd av brand- och brandgasspridning till intilliggande lägenhet för referensbyggnaden vara cirka 1 av 100 personer.

Av de fall då branden sprider sig utanför brandrummet så kan brandspridning vidare till andra lägenheter förväntas i endast cirka 3 % av fallen (Nystedt, 2011). Majoriteten av de fall då brandspridning sker så antas detta ske till ovanliggande lägenhet via fasaden (bedömt till 2 %). I detta fall är byggnaden likvärdig med referensbyggnaden för samtliga våningar över plan 8.

Brandgasspridning via ventilationssystem med fläktar i drift vilket är ytterst sällsynt (inga kända fall) och sannolikheten för att brandgasspridning ska ske i sådan omfattning att kritiska förhållanden ska uppstå är liten med tanke på den utspädning som sker i stora ventilationssystem. Ventilationssystem är relativt driftsäkra och om de är ur drift så kommer det märkas inom kort varför stilleståndstiden är uppskattningsvis max en dag var tredje år, alltså 0,1 % av tiden. Av 100 dödsfall i lägenhetsbränder bedöms därför $\ll 1$ dödsfall inträffa till följd av brandgasspridning via ventilationssystemet. Den något högre höjdskillnaden i aktuell byggnad ger att om fläktarna är ur funktion så kan termiken skapa högre läckage till de översta våningarna. Effekten av detta bedöms vara försumbart men en separat verifiering av ventilationssystemet utförs för att säkerställa att risken för brandgasspridning inte blir för stor.

I angränsande lägenheter så kommer sannolikt de boende ha längre tid på sig från det att de upptäcker branden (lukt och ljud) till att kritiska förhållanden inträffar i deras lägenhet vilket ökar möjligheterna att utrymma i tid jämfört med branddrabbad lägenhet.

Risken för att omkomma inne i intilliggande lägenheter har inte ökat i aktuell byggnad jämfört med referensbyggnaden, speciellt med tanke på riskreduktionen i sprinklersystemet. Risken att fastna med blockerad utrymningsväg och brandgasspridning in till lägenheten har också minskat.

Riskreduktionen bedöms i detta fall likvärdigt som risken att branden sprider sig utanför startutrymmet, det vill säga cirka 85 % enligt samma resonemang som ovan.

6.4.5 Sammanställning

Sammanfattningsvis så omkommer den absoluta majoriteten, cirka 95 av 100 dödsfall, i lägenheten där branden startar. Inne i den lägenheten så påverkas inte antalet statistiskt omkomna särskilt mycket av byggnadens höjd. Eftersom de flesta omkommer i sin egen lägenhet så är det dock enklast att minska individrisken i byggnaden genom att införa åtgärder som påverkar risken inne i den egna lägenheten. Sprinklersystemet räddar cirka 69 av dessa dödsfall.

Statistiskt omkommer en mindre andel, bara ungefär 4 av 100 dödsfall, i hisshall eller i trapphuset vid en lägenhetsbrand. Med de åtgärder som utförs reduceras dessa 4 dödsfall till cirka 0,3.

En ännu mindre andel omkommer i intilliggande lägenheter, endast cirka 1 av 100 dödsfall. I den aktuella byggnaden utförs vissa förbättringar som leder till att endast cirka 0,15 dödsfall förväntas i den aktuella byggnaden.

Tabell 3. Sammanställning av antal omkomna i referensbyggnaden jämfört med konceptbyggnad 2.

Dödsorsak	Referensbyggnad	Konceptbyggnad 2	
	Omkomna	Riskreduktion	Omkomna
Brand inom egen lägenhet	95	75 %	24
Brand- och brandgasspridning till utrymningsväg	4	75 %	1
Brand och brandgasspridning till intilliggande lägenhet	1	85 %	0,15
Summa	100	~ 75,5 %	~ 24,5

Totalt sker alltså en riskreduktion med cirka 75 % i konceptbyggnaden jämfört med referensbyggnaden. Eftersom majoriteten av alla dödsfall sker inom lägenheten så ger dessa åtgärder störst effekt på risknivån. Genom att införa åtgärder för skydd mot brand- och brandgasspridning till utrymningsväg (sprinkler och trycksatt Tr1-trapphus) och mot brandspridningsrisken till övriga lägenheter (sprinkler, åtgärder för fasad, ventilationssystem, schakt) ges dock en ytterligare riskreduktion.

6.4.5.1 Känslighetsanalys

När detaljer kring de aktiva skyddssystemen är mer kända bör en känslighetsanalys utföras med rimliga, med konservativt valda värden för tillförlitligheten hos dessa.

6.4.5.2 Brand i hisshall

Eftersom hisshallen och korridorer är utformad som utrymningsvägar är det förbjudet att placera brännbart material här. Statistiken visar även att brand i utrymningsvägen är relativt sällsynt och med grund i den troligtvis låga brandbelastningen (om visst möblemang ändå finns här) så blir brandeffekten sannolikt låg. Detta visar sig även i statistiken av dödsbränder mellan 1999 och 2010 där ingen brand finns registrerad med startutrymme i en hisshall.

En brand i en hisshall skulle hindra en utrymning för samtliga lägenheter på det aktuella planet till trapphuset. Skillnaden mellan referensbyggnaden och aktuell byggnad blir mycket liten för utrymningsmöjligheterna från det aktuella våningsplanet. Eftersom hisshallen förses med sprinklerskydd och tryckavlastas via separat schakt så minskar dock risken för en omfattande brand med brandgasspridning in till lägenheterna och därmed risken för onödig utrymning via hisshallen. Chansen att branden släcks eller kontrolleras på ett sådant sätt att utrymning ändå är möjlig förbi denna bedöms öka i samma omfattning som vid en brand i en lägenhet, det vill säga med 85 % riskreduktion enligt ovan.

Riskreduktionen för de våningar som inte är branddrabbade i den aktuella byggnaden i jämförelse med referensbyggnaden blir för detta scenario alltså cirka 85 %. Observera dock att utformningen av trycksättningsystemet kan påverka denna riskreduktion.

6.4.5.3 Brand i trapphus

En brand i trapphuset skulle omöjliggöra en utrymning via den ordinarie utrymningsvägen. Eftersom den aktuella byggnaden har ett något lägre personantal än så hindras färre personer i byggnaden från utrymning. Dödsbränder i trapphus är dock relativt ovanliga jämfört med lägenhetsbränder. Under åren 1999-2015 har en person i Sverige omkommit till följd av brand som startade i trapphuset. Detta kan jämföras med cirka 600 personer som omkommit till följd av klarlagd brand i lägenhet.

Eftersom trapphuset är klassat som en utrymningsväg med tillhörande krav på ytskikt och det inte får plats särskilt mycket brännbart på ett vilplan så blir den förväntade brandbelastningen mycket begränsad. Behovet av utrymning blir mycket liten eftersom risken för brand- och brandgasspridning till någon av lägenheterna är låg.

För byggnaden finns dock två trapphus att tillgå, vilket minskar risken för omkomna vid brand i ett av dessa avsevärt. Jämfört med skillnaden i antalet omkomna till följd av lägenhetsbränder bedöms, med grund i ovanstående, skillnaderna vara av marginell betydelse.

6.4.5.4 Brand i hiss/hisschakt

För personerna som befinner sig i hissen vid en brand i denna är det marginell skillnad mot referensbyggnaden och den aktuella byggnaden.

Vid brand i hisskorgen/hissmotorn eller övriga delar av bostadshuset och aktivering av rökdetektor i hisshallar eller hisschaktet styrs hissar till entréplan eller planet ovanför (vid detektering i entréplanet). Detta är motsvarande för referensbyggnaden.

Detta scenario bedöms därför vara likvärdigt med brand i trapphus ovan och utreds därför inte vidare.

6.5 Felfunktionsanalys av tekniska system

I detta avsnitt sker en diskussion kring konsekvensen av utebliven teknisk funktion för någon av de komponenter som berör byggnadens säkerhet. Detta är dels för att studera inbördes beroenden och dels för att komma med förslag på lämpliga riskreducerande åtgärder. För byggnaden bedöms de mest grundläggande systemen/funktionerna vara sprinkler, skyddet av trapphuset samt systemen som underlättar räddningstjänstens insats.

Sammanfattningsvis planeras följande system för att uppfylla grundkraven för trapphuset samt räddningstjänstens insats. Tillförlitligheten hos dessa system och åtgärder för att öka robustheten i dessa bör undersökas i detaljprojekteringen:

- Dörrar med dörrstängare.
- Rökdetektorer i hisshall/sluss på varje plan för trycksättningsfunktioner.
- Fläkt för trycksättning samt eventuella spjäll eller liknande.
- Sprinklersystemet.
- Räddningshiss.
- Trycksatta stigarledningar.
- Förstärkningsutrustning för radiokommunikationsutrustning i trapphuset.
- Åtgärdsförslag som förbättrar tillförlitligheten bör studeras i projekteringen.

6.6 Brandskyddet i konceptbyggnad 2

Slutsatsen av denna analytiska dimensionering är att den utformning som föreslås nedan medför en acceptabel säkerhetsnivå i händelse av brand. Med acceptabel säkerhetsnivå menas en nivå som är minst likvärdig, eller högre än motsvarande nivå vid förenklad dimensionering. Samtliga parametrar enligt PBF och BBRAD har beaktats och bedömningen är att den aktuella byggnaden uppfyller de lagkrav som föreligger för säkerhet vid brand.

Utifrån ovanstående analys har följande parametrar identifierats och bör beaktas vid utformning av byggnaden:

- Byggnaden utförs med sprinklersystem enligt SBF 120:8.
- Trapphuset och eventuellt räddningshissen ska övertrycksättas. Möjliga felfunktioner i detta system ska beaktas och hanteras.
- Vitala funktioner som kräver strömförsörjning och/eller reservkraft ska utredas i projekteringen. Detta gäller även utformningen av reservkraften.
- Fasaddetaljer behöver granskas av brandskyddssakkunnig och det ska säkerställas att utförandet inte ökar risken för brandspridning i förhållande till förenklad dimensionering. Detta gäller både beklädnad och isolering.
- Byggnaden ska förses med trycksatt stigarledning enligt SBF 504:1.
- Förstärkare för RAKEL-kommunikation ska utredas och installeras vid behov.
- Schakt ska tätas i bjälklag.
- Den brännbara stommen ska skyddas med en beklädnad med brandskyddande förmåga i minst 90 minuter för att säkerställa att ett brandförlopp inte påverkar denna. Bärverket ska utföras i brandteknisk klass R 90.
- I byggnadens drift- och underhåll ska en genomgång av stommens skydd ingå. Detta ska kontrolleras årligen och eventuell påverkan ska åtgärdas omgående.

7. DISKUSSION

Analyserna av de två konceptbyggnaderna ovan visar att det är möjligt att nå acceptabla förutsättningar för att bygga hus med brännbar stomme och samtidigt uppfylla de krav som föreligger i gällande bygglagstiftning. Båda analyserna bedömer att stommen i sin helhet behöver skyddas mot ett fullständigt brandförlopp. Detta innebär i praktiken att egenskaperna hos själva stommaterialet blir sekundära, då stommen inte ska påverkas av en brand alls. Denna bedömning är gjord utifrån det tillskott i brandbelastning som stommen annars ger och som vid en oskyddad stomme skulle bli dimensionerande, vilket illustreras i avsnittet Risker i höga byggnader.

Det bör tilläggas att andra principer finns, till exempel skulle man kunna räkna på inbränningen i själva träskiktet under den tid som en brand förväntas pågå och addera endast denna brandbelastning till dimensionering. Då gör man alltså ett antagande om att träskiktet självslocknar när det brännbara i utrymmet, utom stommen, brunnit ut. Sådan självslockning finns rapporterad från experimentell forskning, men endast under väldigt speciella förutsättningar (Crielaard, et al. 2019, Emberley, 2017). För att självslockning ska ske i en KL-träkonstruktion krävs dels att brandens intensitet begränsas, vilket är osannolikt om samtliga ytor i ett rum har exponerad trästomme, och dels att det kolande skiktet som bildas på trästommen hålls intakt. Detta innebär stora osäkerheter då delaminering kan ske dels på grund av att limmet som håller samman skivorna smälter men även på grund av förändrad kraftpåverkan i KL-träelementet. Sammantaget har osäkerheterna kring eventuell självslockning av en exponerad trästomme bedömts vara för stora för att grunda brandskyddet på i dessa två konceptbyggnader.

Att undvika delaminering är en förutsättning för att brandförloppet ska bli förutsägbart och därmed enklare att skapa ett kostnadseffektivt skydd mot. USA och Kanada har nyligen gjort tillägg till standarden PRG 320 (ANSI/APA, 2019), där krav ställs att limmet ska fungera vid brand utan att delaminering sker. Om det skulle vara möjligt att ställa denna typ av krav i en europeisk kontext hade förutsättningarna att bygga högt med exponerat trä ökat. Det hade också öppnat upp för möjligheten att nyttja modeller av naturligt brandförlopp i byggnader med exponerad brännbar stomme, vilka för närvarande är under utveckling för att inkluderas i Eurokod inom några år.

En avgörande del av brandskyddet blir istället skyddet av stommen. Här kan olika varianter av skydd tänkas och för konceptbyggnaderna har inga detaljlösningar föreslagits. Dock är det viktigt att de detaljlösningar som tillämpas uppfyller det skydd som avses, det vill säga skydd mot ett fullständigt brandförlopp. Här bör konstruktionens utförande detaljstuderas för att identifiera potentiella svagheter som exempelvis spännband, infästningar eller liknande. Även skyddet över tid blir en avgörande faktor och för att nå ett robust brandskydd behöver lösningar tillämpas som inte innebär att enskilda nyttjare i byggnaden kan avsevärt försämra byggnadens totala brandskydd utan att detta kan upptäckas i det systematiska brandskyddsarbetet. För lägenhetshus kan detta innebära en utmaning då tillträde till enskilda lägenheter kan behöva göras för att säkerställa att ingen åverkan på skyddet har gjorts. Hur och med vilka intervall eventuella kontroller behöver göras måste därför utredas vidare i detaljprojekteringen.

Analyserna visar även att det tidigare arbete som gjorts inom *Tall Timber Buildings*-projektet kan ligga till grund för att utföra denna typ av analyser. Stora delar av riskidentifieringen för båda byggnaderna är utförd med grund i det tillämpningsstöd som tidigare tagits fram i projektet (SBUF 13371). Dock innebär varje projekt specifika förutsättningar och utmaningar.

8. TEKNISK UTFORMNING AV KONSTRUKTIONER

I detta avsnitt presenteras konstruktionslösningar som kan användas för att dimensionera en Br0-byggnad med ca 22 våningar och med trästomme, som skyddas från förkolning under ett fullständigt brandförlopp med brandskyddande beklädnadsskivor.

För att dimensionera en specifik byggnad behöver detaljer i aktuell byggnad vara kända. Det gäller framförallt genomföringar, installationer och hålrum, se nedan.

8.1 Val av dimensionerande brandpåkänning

De svenska konstruktionsreglerna EKS 11 innehåller regler för att hantera Br0-byggnader. Utöver att hänföra byggnadsdelarna i en Br0-byggnad till brandsäkerhetsklasser ska en särskild bedömning av byggnadsdelarnas skyddsbehov med avseende på deras bärförmåga vid brand göras för att klargöra om ett utökat skyddsbehov föreligger. Brandsäkerhetsklassen och därmed bärförmågan vid brand för enskilda byggnadsdelar i byggnader som tillhör byggnadsklass Br0 får inte vara lägre än vad som gäller för närmast likvärdiga byggnad i byggnadsklass Br1 eller i vissa fall Br2. I EKS ges två möjliga sätt att dimensionera bärförmågan vid brandpåverkan:

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

Dimensionering genom klassificering är starkt kopplad till brandbelastningen och anger vilken brandteknisk klass avseende bärande förmåga som ska användas. Klassificeringen kopplas till ett nominellt brandförlopp, vanligen standardbrandkurvan enligt EN 1363-1. En konstruktion som vid brandprovning eller beräkning visats kunna bära sin belastning vid brandpåverkan enligt standardbranden förutsätts uppfylla sin bärande funktion vid en verklig brand för aktuell brandbelastning. Har detta visats är det underförstått att kollaps undviks 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 (SBUF 13371). Kollaps av en flervåningsbyggnad skulle kunna få mycket allvarliga konsekvenser. Tanken bakom är att bärverk i brandsäkerhetsklass 4 och 5 enligt EKS 11 med stor sannolikhet ska klara fullständiga brandförlopp. Anledningen till att R 90 krävs i stället för R 60 trots att det är samma brandbelastning är att betrakta som en utökad säkerhetsmarginal. En högre kravnivå kan därför vara aktuell för vissa Br0-byggnader. Egenskapskravet är att bärförmågan ska antas bestå under en bestämd tid. En påverkan enligt standardbrandkurvan eller modell för naturligt brandförlopp anses uppfylla egenskapskravet. Kollaps ska vara osannolik och det finns ingen fastställd verklig tid när det är tillåtet.

Det är viktigt att notera att brandprovning av element vid standardbrand inte innebär att elementet inte involveras i en brand. Oskyddade väggar av KL-trä kan uppfylla höga brandmotståndskrav, t.ex. R 90.

8.2 Dimensionering genom klassificering

Boverkets vägledning till EKS och Br0-byggnader ger viktig bakgrundsinformation. Av det allmänna rådet i EKS 11 (tabell 4.8) framgår att utgångspunkten för 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 ska den högre säkerhetsmarginalen enligt EKS 11 uppnås genom att välja en längre tidsperiod än vad som hade tillämpats i närmast likvärdiga byggnad i byggnadsklass Br1 eller Br2. Genom installation av vattensprinkler kan dock kraven på bärförmåga vid brand reduceras till kraven för byggnader utan utökat skyddsbehov.

Trästommen bör med nuvarande kunskapsläge skyddas under hela brandförloppet. Alternativet med en oskyddad trästomme kräver mycket höga brandmotstånd och risken att undvika kollaps kan för närvarande inte hanteras.

8.2.1 Byggnadsdelar

Här redovisas hur bärande och brandavskiljande byggnadsdelar av KL-trä kan utformas vid dimensionering enligt standardbrand och med trästommen skyddad så att den inte börjar förkola. Dimensionerande last för en konstruktionsdel i brandlastfallet är olyckslasten och konstruktionens bärförmåga vid brand ska verifieras för varje byggnadsdel. För skivor av KL-trä som består av ett udda antal skikt med bestämda tjocklekar, antas fogarna mellan två skikt vid brandpåverkan kunna överföra skjuvkrafter, men inte böjmoment. Vid modellering av skivor med avseende på böjning, betraktas oftast ytterskikt och skikt parallella med ytterskikten som lastbärande. Tvärgående skikt betraktas icke direkt lastbärande men de bidrar till att överföra skjuvkrafter mellan skikten i längsriktningen.

Beräkning av brandmotstånd för KL-trä ingår inte till Eurokod 5-1-2, men riktlinjer baserade på senare forskning ingår i KL-trähandboken (Svenskt Trä). Hänsyn måste tas till om lim som kan medföra nedfall av förkolade skikt vid höga temperaturer (värmedelaminering) använts eller lim som inte medför nedfall (icke värmedelaminering). Detta har betydelse främst om förkolning av stommen tillåts. Om trästommen skyddas under ett helt brandförlopp kan KL-trä som delamineras användas. I KL-trähandboken finns även beräkningsexempel. Mer information om brandteknisk dimensionering av KL-trä finns i Klippel m.fl. 2018.

KL-träkonstruktioners brandmotstånd och bärförmåga vid standardbrand och utan förkolning kan dimensioneras genom att använda beklädnadsskivor med tillräcklig skyddstid. Skyddstider upp till 60 minuter kan verifieras genom K-klass. För längre skyddstider krävs ytterligare verifiering, eftersom längre tider för K-klass inte definierats (EN 13501-2).

Tjockare träskikt på brandsidan av KL-trä förbättrar brandegenskaperna, eftersom första skiktet förkolas med samma hastighet som konstruktionsträ, medan andra skiktet får fördubblad förkolningshastighet. Ett yttre skikt på 40 mm kan skydda i 60 minuter.

Limträ delamineras normalt inte under brand och kan därför dimensioneras brandtekniskt enligt EN 1995-1-2. Behovet av skydd av synliga träytter måste dock beaktas.

8.2.2 Förband

Olika typer av förband används i höga träbyggnader beroende på vilken konstruktionsmetod som används. Limträförband ska bibehålla sitt brandmotstånd för att undvika kollaps. Förband mellan skivor ska ofta även upprätthålla en brandavskiljande funktion, vilket kan vara svårare att uppnå. Förband bör kläs in med gipsskivor och förses med svällande lister i eventuella springor för att klara brandkraven.

Nedan beskrivs förband för limträ, KL-trä och träregelkonstruktioner som kräver olika typer av dimensionering.

8.2.2.1 Limträförband

Ofta krävs minst 90 minuters brandmotstånd i höga byggnader. Flertalet limträförband som provats uppnår inte 90 minuters brandmotstånd. Dessutom har förbanden vanligen provats vid dragpåkänning, vilket inte är tillräckligt för höga träbyggnader, som kan utsättas även för böj- och skjuvpåkänningar. I en ny studie har dock 90 och 120 minuter uppnåtts genom att skydda metalldelar i förband på olika sätt (Brandon et al 2019):

- **Träplugg.** En skyddande träplugg placeras med ett litet hålrum till det skyddade metallförbandet för att undvika direkt värmeöverföring. Träpluggen kan medföra att metallförbandets längd måste minskas, vilket oftast reducerar förbandets bärförmåga. Provningsen (Brandon et al 2019) visade dock att någon sådan kompromiss inte behövdes med en plywood med mycket hög densitet (specialprodukt).

- **Brandskyddande gipsskivor.** Stålförband bör skyddas med brandskyddande skivor. Skivornas totala skyddstid ger en grov indikation av skyddsförmågan. När skyddstiden uppnåtts är temperaturen bakom gipsskivan och stålskivans ytemperatur cirka 300°C. Ståldelar djupare in i förbandet kan antas ha ungefär samma temperatur eller något lägre, eftersom stålets värmeledningsförmåga är hög. Vid dessa temperaturer har trä förlorat sin hållfasthet och börjar förkola och förbandet kan deformeras när skyddstiden har uppnåtts. Med två eller fler gipsskivor används, kan minskat skruvavstånd ge ökad skyddstid. Observera att olika gipsskivor kan ha avsevärt olika skyddsförmåga. Det gäller även brandgipsskivor typ F av olika fabrikat.
- **Lufttäta brandstopp i hålrum.** Brandstopp kan användas för att göra och behålla hålrum lufttäta under brandpåverkan. Svällande brandstopp reducerar värmeledningsförmågan vid brand, vilket kan användas för att bibehålla ståldelarna relativt kalla. Icke-svällande brandstopp fungerar vanligen genom att bibehålla hålrummet lufttätt. Det måste dock beaktas att trä kan förkola om brandstoppet placeras mellan trädelar. När förkolningsgränsen har passerats minskar brandstoppets effektivitet. Icke-svällande brandstopp bör därför inte ha kontakt med skyddade stålplattor eller fästdon och brandstoppet bör vara minst lika djupt som den förväntade förkolningsgränsen vid den erforderliga brandmotståndstiden.

Eurokod 5 innehåller för närvarande beräkningsregler för högst 60 minuters brandmotstånd. Antalet brandprover med limträförband är dock fortfarande för litet för att kunna validera beräkningsregler. Därför behövs ytterligare brandprovning av limträförband för 90 minuters brandmotstånd eller mer.

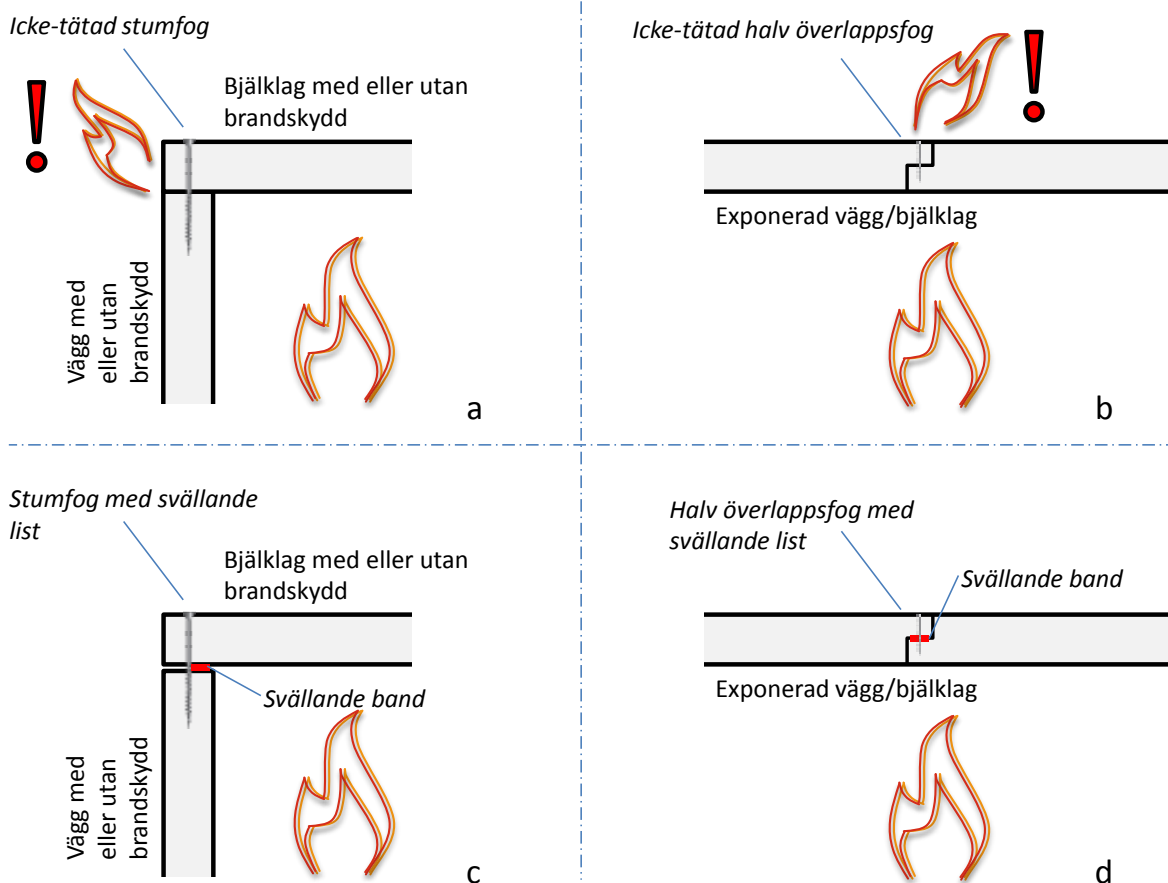
8.2.2.2 KL-trä förband

Förband mellan träskivor av typ KL-trä ska i allmänhet uppfylla även krav på avskiljande och bärande förmåga vid brand. Förband med KL-trä i bjälklag vilande på väggelement uppfyller kraven bättre än enbart bjälklaget och väggen (om det inte finns dragpåkänning i väggelementet) och är därför inget problem. I övriga fall måste förbandet dimensioneras för att uppfylla kraven.

Det svåraste kravet på förband av KL-trä är oftast att uppfylla den brandavskiljande förmågan. Sådana förband har inte ugnbrandprovats, med ett undantag (Kampmeier, 2008). Några fullskaleförsök med lägenhetsmoduler har genomförts som involverat KL-trä förband (McGregor, 2014 och Su m.fl. 2018). Förband som har lett till brandspridning i fullskaleförsök visas i *Figur 20 och 21*. Brandmotståndet hos dessa förband är dock inte känt, eftersom ugnbrandprovning inte genomförts. Båda förbanden har nyligen brandprovats med en svällande list, se *Figur 21c och d*, och brandspridning genom förbandet kunde då undvikas (Just m.fl. 2018).



Figur 20. Brandspridning genom en horisontell överlappsfog (t.v.) och genom en vertikal stumfog (t.h.)



Figur 21. Icke-tätad stumfog (a), icke-tätad halv överlappsfog (b), stumfog med en svällande list (c) och en halv överlappsfog med en svällande list (d).

Inga provresultat är kända för förband av KL-trä eller andra massivträförband med 90 minuters brandmotstånd eller mer. Därför är det nödvändigt att genomföra sådana brandprov.

Följande åtgärder ökar brandmotståndet, men effektiviteten behöver demonstreras:

- Brandstopp i massivträförband
- Brandstopp i gipsskiveskarvar
- Svällande lister i massivträförband

Brandmotståndet hos förband är beroende på tjockleken hos massivträpaneler, brandskyddande skivor och om värmedelaminering kan förekomma. Om förbandet är mellan KL-träskivor i samma plan, bör brandskyddande skivor placeras så att skarven mellan brandskyddsskivorna inte sammanfaller med skarven mellan KL-träskivorna.

Riktlinjer kring hur träförband ska brandprovast behöver tas fram, inklusive brandbelastning och eventuella tryckskillnader genom förbandet.

8.2.2.3 Förband i träregelkonstruktioner

Förband mellan lätta träregelkonstruktioner ska i allmänhet även uppfylla krav på avskiljande och bärande förmåga vid brand. Förbanden är även viktiga för att undvika brandspridning mellan förbundna konstruktionsdelar. Brand kan spridas i lätta träregelkonstruktioner med hålrum eller med vissa brännbara isoleringsmaterial. Sådan brandspridning måste undvikas (Brandon et al 2018; Östman et al 2010). Dessutom måste naturligtvis den avskiljande och bärande förmågan vid brand säkerställas.

8.3 Detaljlösningar

Byggnadstekniska detaljer är viktiga för träbyggnaders brandsäkerhet. Träkonstruktioner har ett förutsägbart brandtekniskt beteende, men konstruktionsdetaljer måste utformas noggrant för att kunna säkerställa byggnadens brandsäkerhet. Det som direkt berör byggande med KL-trä är oftast spalter i väggar, takfot och genomföringar av installationer (Svenskt Trä).

Vid projektering och dimensionering av brandskydd måste bland annat placering av brandstopp beaktas, t.ex. i takfot, fasadspalt, i och kring kanaler och mellan lägenheter. Det finns ett antal olika produkter och system som kan användas som brandstopp, bl.a. tätningsmassor anpassade för tätning av öppningar och fogar runt genomföringar av elkablar och kabelrör och genom brandcellsskiljande element som väggar och golv. De flesta är certifierade endast för obrännbara konstruktioner, men många av dessa produkter bör kunna användas även för träkonstruktioner, t.ex. brandfogmassa, brandskyddstejp, brandskyddsmanschett/förslutare, knipare, skivor och spjäll.

Val av tätning bör baseras på byggnadsdelens konstruktion och ledningar som skall föras genom konstruktionen. KL-trä är ett brännbart material vilket måste beaktas vid projektering av genomföringar. Några typer av tätning som kan användas är

- Knipare som är en stålhylsa med ett invändig, värmeexpanderande material kan användas för träkonstruktioner.
- Brandskyddsmanschetter som är avsedda för brandtätning av brännbara rör genom brandceller och består av plåthölje och ett inre skikt av ett material som sväller kan förhindra spridning av brand.
- Fogmassor anpassade för trä. Fogmassans brandtekniska klass är beroende av vilka material som kombineras.
- Brandskyddsskivor används vid större genomföringar och kompletteras ofta med fogmassor. Brandteknisk klass EI 60-EI 120 kan fås och bestäms av skivornas tjocklek.

Fler detaljlösningar ingår i Förslag till brandskydd i flervånings trähus (Brandon m.fl. 2018).

8.4 Synligt trä

Arkitekter och konstruktörer önskar att träbyggnader även ska ha synliga träytor. Därför beskrivs här möjligheter till att visa synliga träytor med förenklad dimensionering.

8.4.1 Invändiga ytor

Kraven på invändiga takytor är enligt BBR högre, klass B-s1,d0, än på väggytor, klass C-s2,d0, vilket gör att något olika lösningar kan accepteras.

Synligt trä från den bärande stommen bör exponeras endast i begränsad utsträckning inomhus, eftersom det kan bidra till brandbelastningen.

Brandskyddat trä bör kunna användas om kraven på beständighet enligt EN 16755 är uppfyllda. Det bör dock beaktas att även brandskyddat trä kan bidra till brandbelastningen vid fullt utvecklad brand och att det finns stora skillnader mellan olika produkter på markanden.

Ett säkert sätt att kunna visa träytor i byggnaderna är att använda ett träskikt utanpå en brandskyddande beklädnad av t.ex. brandgipsskivor. Om träskiktet är tillräckligt tunt bidrar det endast marginellt till brandbelastningen och beklädnaden har förutsättningar att uppfylla den ytskiktssklass som idag motsvarar klass B (Östman 1989).

8.4.2 Fasader

Arkitekter och konstruktörer önskar ofta att träbyggnader även ska ha träfasader, vilket kan bli svårt i Br0-byggnader, eftersom provningsmetoden SP Fire 105 inte kan tillämpas rakt av för Br0-byggnader enligt BBRs allmänna råd. Ett alternativt kriterium är att det totala värmeflödet in mot fasaden på fönstret i våningen ovanför brandrummet inte får överstiga 80 kW/m². Det gäller för byggnader > 8 våningar och skulle kunna tillämpas vid analytisk dimensionering.

Det finns inga europeiska standarder för fasader, men en vägledning för brandsäkra träfasader har nyligen publicerats (Östman, Mikkola, 2018).

Fasader bör utformas så att brand på utsidan av byggnaden eller i väggen inte kan spridas. Det kan ske bl.a. genom att luftspalter bakom fasadbeklädnaden avskiljs vid varje våningsplan för att förhindra brand i luftspalten, som kan bli mycket snabbare än utvändigt brandspridning och genom att utstickande delar monteras över fönster så att flammor leds ut från fasaden.

Mindre delar av fasaden kan utgöras av trä om de placeras så att brand inte sprids från en fasaddel till en annan. Viss vägledning finns i Brandsäkra trähus 3 (Östman m.fl. 2012).

Sprinkling bör kunna öka möjligheterna att använda träfasad även i Br0-byggnader, men det måste verifieras med analytisk dimensionering.

Det finns brandskyddade träpaneler som klarar både SP Fire 105 och långtidsbeständighet utomhus enligt EN 16755, men de kräver underhåll vilket kan bli svårt i höga byggnader. En möjlighet skulle kunna vara att använda löstagbara fasadelement, som kan tas ner för underhåll.

Brandklassade fönster bör kunna användas i större utsträckning. Brandklassade fönster kan förhindra eller senarelägga brandspridning både ut från en övertänd lägenhet och brand in i byggnaden från en fasadbrand. Brandklassade fönster måste dock vara låsta, vilket gör dem mindre lämpliga i bostäder. De kan enklare användas i kontor.

Trä och andra brännbara material bör således användas endast i begränsad utsträckning i fasader eftersom kunskapen om deras brandtekniska funktion är bristfällig och riskerna för bidrag till brandspridning bedöms som stora. Räddningstjänstens möjligheter att släcka en fasadbrand utifrån är begränsade till ca åtta våningar.

8.5 Balkonger

Balkonger kan utgöra en brandfara om en brand uppstår på balkongen. Denna typ av bränder släcks inte av en invändig sprinkler, eftersom branden har blivit alltför stor innan den når in i byggnaden och kan därmed inte hanteras av sprinklern. Balkongbränder kan snabbt spridas uppåt längs fasaden, vilket flera bränder i flervåningshus visat.

Problemet är generellt för alla typer av byggnader. Den säkraste lösningen är att förse balkongen med sprinkler, vilket tyvärr inte är så vanligt. I kalla klimat med frysrisk behövs torrörssystem. Horisontella torrörssystem som är utformade för boendemiljöer kan anslutas till det ordinarie våtrörssystemet.

Andra möjligheter är att alltid ha handbrandsläckare eller annan släckutrustning tillgänglig på balkongen. Sådan utrustning skulle kunna vara fast installerad och inspekteras regelbundet.

Mer information om konstruktionslösningar finns i Brandsäkra trähus 3.

9. REFERENSER

- Ahrens, M. *U.S. Experience with Sprinklers*, National Fire Protection Association, Quincy, 2017.
- ANSI/APA. *Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber*, PRG-320, American National Standards Institute, 2019.
- BBR 26 Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), Boverket, BFS 2011:6 med ändringar tom. 2018:4.
- BBRAD 3, Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BFS 2011:27 med ändringar tom. 2013:12.
- BIV Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap. Brandteknisk dimensionering av Br0-byggnader, BIVs tillämpningsdokument 3/2013 – Utgåva 1, 2013.
- Boverket (u.å.), Räddningsshissar. Hämtad 21 november 2019. Tillgänglig via <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/raddningsshiss>.
- Brandon D, Just A och Östman B. Förslag till brandskydd i flervånings trähus. RISE Rapport 2018:46.
- Brandon D, Landel P, Ziethén R, Albrektsson J, Just A. *High-fire-resistance glulam connections for Tall Timber Buildings*. RISE Rapport 2019:26 and Smart Housing Småland Report, 2019.
- Crielaard R, van de Kuilen J-W, Terwel K, Ravenshorst G & Steenbakkens P. *Self-extinguishment of cross-laminated timber*, Fire Safety Journal 105, 244-260, 2019.
- EKS 10. Boverkets konstruktionsregler, BFS 2011:10 med ändringar t.o.m. BFS 2015:6.
- EKS 11. Boverkets konstruktionsregler, BFS 2011:10 med ändringar t.o.m. BFS 2019:1. Gäller från 2019-07-01.
- EN 1363-1. *Fire resistance tests – Part 1 General requirements*. Europeisk standard.
- EN 13501-2. *Fire classification of construction products and building elements. Classification using data from fire resistance tests, excluding fire ventilation services*. Europeisk standard.
- EN 16755. *Durability of reaction to fire performance. Classes of fire-retardant treated wood products in interior and exterior end use applications*. Europeisk standard.
- Emberley R. *Fundamentals for the Fire Design of Cross Laminated Timber Buildings*. Doctoral thesis. University of Queensland, 2017.
- Eriksson P-E, Nord T & Östman B. Kartläggning av brandincidenter i flervåningshus med trästomme – Erfarenheter från 20 års brukande, SP rapport 2016:12, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2016.
- Forsberg M. Brandfrekvenser vid olika verksamhetsklasser, Brandskyddslaget, Stockholm, 2016.
- Gustavsson A och Renström P, Jämförelse av dimsprinkler, boende- och traditionella sprinklersystem. Examensarbete vid Linnéuniversitet, 2020.
- Johansson, N. Dödsbränder i bostäder 2012-2015, rapport 3204, avdelningen för brandteknik, Lunds universitet, 2017.
- Jonsson, A. Dödsbränder i Sverige - En analys av datakvalitet, orsaker och riskmönster, 2018:18, Karlstad universitet, 2017.
- Just A m.fl. *CLT Compartment fire test*. Proceedings WCTE 2018 World Conference on Timber Engineering, 2018.
- Kampmeier, B. 2009 Innovationen im Mehrgeschossigen Holzbau. Proceedings of Braunschweiger Brandschutz-Tage '09, Braunschweig, Germany. (in German) 2009.
- Klippel M m.fl. Guidance Document COST FP1404 - *Fire Design of CLT incl. Best Practice*. www.costfp414.com, 2018.
- McGregor, C J. *Contribution of cross-laminated timber panels to room fires*. Master thesis, 2014. Department of Civil and Environmental Engineering Carleton University. Ottawa-Carleton Institute of
- MSB Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap. *Dödsbränder 2008*, MSB 0085-09, Karlstad.
- MSB Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap. *Omkomna i bränder 1999-2015*, (statistikdatabasen IDA). [Online]. Tillgänglig via <https://ida.msb.se/ida2#page=a0095>, 2016.
- MSB Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap. Dödsbrandstatabasen. [Online]. Tillgänglig via <https://ida.msb.se>, 2019.
- Nilsson, M., & Mossberg, A. Skydd mot brandspridning via fönster i fasaden - Balkongplattor eller bröstning? BSL 2016:02, Stockholm, 2016.
- Nystedt F. *Deaths in Residential Fires - An Analysis of Appropriate Fire Safety Measures*, rapport 1026, Lunds universitet, Lund, 2003.
- Nystedt F. *Var gör sprinklersystemet mest nytta?* Tillgänglig via <https://wuz.se>, 2009.

- Nystedt F. *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings*, rapport 3150, Lunds universitet, Lund, 2011.
- Nystedt F & Östman B. Tekniska byten i sprinklade byggnader – fallstudier, SP rapport 2012:33, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2012.
- RAKEL RAdioKommunikation för Effektiv Ledning. MSB Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap.
- Ruegg T. T & Sieglinde K. F. (1984), *A benefit-cost model of residential fire sprinkler systems*, NBS Technical Note 1203. National Bureau of Standards, Gaithersburg.
- Runefors M, Johansson N & Van Hees P. *How could the fire fatalities have been prevented? An analysis of 144 cases during 2011–2014 in Sweden: An analysis*, Journal of Fire Sciences 34(6), 515-527, 2016.
- Runefors M, Johansson, N & Van Hees P. *The effectiveness of specific fire prevention measures for different population groups*, Fire Safety Journal 91, 1044-1050, 2017.
- SBF 120:8. Regler för automatiskt vattensprinklersystem. Brandskyddsföreningen, 2016.
- SBF 504:1. Regler för trycksatt stigarledning. Brandskyddsföreningen, 2018.
- Sharma T. S. *Feasibility and design considerations for the use of lifts as an emergency exit in apartment buildings*, Queensland University of Technology, Brisbane, 2008.
- SBUF 13371. Brandskydd i Br0-byggnader. Tillämpningsstöd vid brandteknisk dimensionering av höga Br0-byggnader med förnyelsebara material (trä). Briab och Brandskyddslaget. SBUF rapport 13371. 2018-12-05.
- SBUF 13371 Tillämpningsstöd vid brandteknisk dimensionering av höga Br0-byggnader med förnyelsebara material (trä). Briab och Brandskyddslaget. SBUF rapport 13371. Sammanfattning 2018-08-12.
- SIS SIS-TS 24833:2014/INSTA 950 - *Fire Safety Engineering – Comparative method to verify fire safety design in buildings*, Stockholm, 2014.
- SP Fire 105. *External wall assemblies and facade claddings – Reaction to fire*. Statens provnings- och forskningsinstitut. Rev: 1994-09-09.
- Statens Haverikommission. Lägenhetsbrand, Kuddbygränd 12, Rinkeby, Stockholms län, den 25 juli 2009, rapport RO 2010:01, Stockholm, 2010.
- Svenskt Trä. KL-trähandbok, Föreningen Sveriges Skogsindustrier, Stockholm, 2017.
- Su J, Lafrance P-S. *Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2: Task 2 & 3 – Cross Laminated Timber Compartment Fire Tests*. NFPA National Fire Protection Association, USA. Report number: FPRF-2018-01, 2018.
- Östman B. Brandklassade paneler med träyta. Trätek Rapport I 8912072, 1989.
- Östman B. m.fl. *Fire safety in timber buildings – Technical guideline for Europe*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Stockholm, 2010.
- Östman B. m.fl. Brandsäkra trähus 3: Nordisk - baltisk Kunskapsöversikt och vägledning. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Stockholm, 2012.
- Östman B, Mikkola E (eds). *Guidance on Fire Safety of Bio-Based Facades*, COST Action FP1404, 2018. www.costfp414.com

Linnéuniversitetet 

BRANDSKYDDSLAGET  **Briab**















