Foto: Fredrik Kahl (RISE)

BRAND I MASSIVTRÄ

Utmaningar och lösningar

RISE har genomfört ett omfattande forskningsprojekt i syfte att visa hur konstruktioner i massivträ kan klara ett fullständigt brandförlopp. Här beskriver Daniel Brandon och Robert McNamee projektet vars resultat tillsammans med tidigare erfarenheter lett fram till **rekommendationer för dimensionering av exponerat massivträ för att förhindra kollaps vid ett fullständigt brandförlopp**.

TEXT DANIEL BRANDON & ROBERT MCNAMEE

Ett ökat användande av massivträ inom byggbranschen är en viktig del i vår strävan att minska klimatavtrycket. Speciellt då byggbranschen är en sektor som står för en betydande del av det totala koldioxidavtrycket[1]. Även estetik och konstruktionsbarhet nämns ofta som huvuddrivkrafter bakom den senaste utvecklingen av massivträbyggandet.

Den eventuella oro som finns kring träets brännbarhet avfärdas många gånger genom att konstatera att kärnan i konstruktionsdelarna skyddas av det kollager som skapas under en brand och att ett flertal studier visar att massivträ fungerar bra och på ett förutsägbart sätt vid en brand. Ibland görs en jämförelse med oskyddade stålkonstruk-

Figur 1: Ett rumsbrandprov (Test 3).

tioner för att stödja detta argument [2]. Denna infallsvinkel grundar sig på resultat från standardiserad brandmotståndsprovning där den termiska exponeringen enligt standardbrandkurvan är fördefinierad, dock bortser man då från det faktum att en brännbar konstruktion kan öka brandbelastningen vilket förändrar brandexponeringen.

Vid verkliga rumsbränder som inkluderar massivträ är förkolningshastigheten beroende av brandexponeringen, medan brandexponeringen i många fall är beroende av takten med vilken virket förbränns. Brandexponeringen är också beroende av förbränningen av det variabla bränslet (till exempel möbler) och värmeförlusterna till väggarna och ut genom öppningarna [2]. Då dessa interaktioner är komplexa betyder det att brandmotståndet hos massivträkonstruktioner bäst illustreras med riktiga rumsbrandtester i motsats till standardiserade brandmotståndstester där brandexponeringen är fördefinierad.

ETT SVENSKT PERSPEKTIV

När man bygger högre än tre våningar utan sprinkler finns en standardlösning för att minska risken för att stommen i massivträ bidrar till branden. Man täcker helt enkelt stommen med ett skyddande skikt som uppfyller klassen $K_2 10/B\text{-}s_1,d_0$ vilket i praktiken leder till att ett lager vanligt gips kan användas. Dock har det visat sig vid rumsbrandförsök att en sådan lösning inte avsevärt begränsar stommens bidrag till branden när en övertändning inträffar [4]. Då skyddet faller av efter en relativt kort exponering kan det leda till att stommens bidrag till branden ger en längre brandexponering vilket skulle kunna leda till kollaps om ingen aktiv släckningsinsats utförs [5].

Allt fler byggnader innehåller synligt massivträ, vilket i praktiken ofta uppnås genom en avvägning, där en brandsäkerhetsåtgärd, ofta sprinkler, används för att minska risken för att träkonstruktionen ska bidra till branden. Om sprinkler är effektiva kan branden inte utvecklas nämnvärt. Dock är det viktigt att komma ihåg att sprinklersystem statistiskt sett inte fungerar till 100%. Felfrekvensen på mellan 2% och 10% finns rapporterade i litteraturen. Om sprinklersystemet inte fungerar alls kan det leda till kraftiga bränder. Även om riskerna är låga kan vi förvänta oss scenarion där sprinklerfel inträffar.

VARFÖR ÄR DET VIKTIGT?

Ett antal rumsbrandtester med exponerat massivträ visar att det finns utmaningar när det gäller att säkerställa att branden avtar. Det finns exempel på tester där branden inte stoppades manuellt genom släckning där strukturen kollapsat, detta kan till och med inträffa i strukturer med ett brandmotstånd enligt standardmetoderna på 120 minuter [6].

Intressant i denna kontext är att Boverket skriver att *”Byggnadsdelar som hänförs till brandsäkerhetsklass 4 och 5 ska i princip kunna motstå ett fullständigt brandförlopp. Därför finns det i regelverket en koppling till brandbelastningen för brandsäkerhetsklass 4 och 5.”* [7]

Mer detaljerat anger Boverkets föreskrifter att ett brandmotstånd på 60 minuter motsvarar att klara ett fullständigt brandförlopp i byggnader med normal brandbelastning. För byggnader med högre brandbelastning skulle högre brandmotståndskrav anses motsvara att klara ett fullständigt brandförlopp. Sådana samband återfinns även i bakgrundsdokumentationen till regelverk i andra länder. I exempelvis Nederländerna är standardkravet för brandmotstånd på 60 minuter baserat på en struktur för att klara den fullständigt brandförlopp i ett brandscenario med 60 kg/m² gran som bränsle (ca 1100MJ/m²) [8].

Då exponerat massivträ bidrar till brandbelastningen krävs kunskap om detta bidrag för att korrekt kunna dimensionera för ett fullständigt brandförlopp. Utan några åtgärder för att begränsa detta bidrag kommer det att uppstå fall där byggnader i massivträ fortsätter att brinna tills byggnaden rasar.

Litteraturstudier visar endast ett fåtal progressiva kollapser av flervåningsbyggnader genom brand [9,10]. Kollaps i byggnader över 8 våningar till följd av brand är ännu mer sällsynt, endast tre sådana incidenter under de senaste 20 åren har identifierats, vilket är försumbart i jämförelse med det globala beståndet av den typen av byggnader. Det extremt låga antalet identifierade kollapser av flervåningshus orsakade av brand visar att byggreglerna fungerar för att förhindra kollaps i dagens bestånd av flervåningsbyggnader. För att träkonstruktioner i flera våningar ska ha en brandprestanda som är likvärdiga med obrännbara konstruktioner vilket är vanligast idag, måste träkonstruktioner i massivträ utformas för att klara ett fullständigt brandförlopp för att minska risken för kollaps.

Det är viktigt att komma ihåg att sprinklersystem statistiskt sett inte fungerar till 100%. Felfrekvensen på mellan 2% och 10% finns rapporterade i litteraturen.

VÄGEN FRAMÅT

Ett omfattande forskningsprojekt har genomförts på RISE för att demonstrera hur konstruktioner i massivträ kan klara ett fullständigt brandförlopp. Projektet inkluderade brandtester med brandscenarier som valdes för att vara kritiska, men fortfarande

Test	Testparametrar					Resultat			
	Antal öppningar	Öppningsfaktor (EN1991-1-2)	Exponerat trä inklusive placering *	Exponerat trä[m²]	Antal gipslager på skyddade ytor	Medelförkolning tak [mm]	Ekvivalent brandmotståndstid baserad på förkolningsdjup [min] ◊	Medelförkolning vägg, 45 cm från golvet [m]	Ekvivalent brandmotståndstid baserad på förkolningsdjup [min] ◊
1	2	0.062 $m^{1/2}$	T B	53.8	2	36	55	0	–
2	2	0.062 $m^{1/2}$	T V H B	91.2	3	44	67	76	116
3	2	0.062 $m^{1/2}$	T V I (78%) † F P B	96.2	3	47	>71	88	>136
4	6	0.25 $m^{1/2}$	T V H F P B	77.9	2	28	42	65	123
5	2	0.062 $m^{1/2}$	T V I F (60%) ‡ P B	97.2	3	50	77	80	100

* PLACERING: T – tak, I – inre vägg, V – vänster vägg, H – höger vägg, F – främre vägg, P – pelare, B – Balk
† Den bakre delen, 1.5 m, av den högra väggen var skyddad.
‡ Den första 0.7 m av den främre delen från båda sidor var skyddade.
◊ Dessa uppskattningar anges endast som indikation. Vid naturliga bränder kan zonen som hettats upp, men inte förkolnat, vara större än vid standardiserade brandmotståndstester. Denna zon har nedsatt bärförmåga.

Testparametrar och resultat från den experimentella studien [11]. Den ekvivalenta brandmotståndstiden är tiden för att uppnå samma förkolningsdjup vid ett standardiserat brandmotståndsprov.

representativa för riktiga lägenheter och kontor. Dessa val baserades på mer än 200 000 beräkningar som inkluderade statistiska parametrar från riktiga byggnader. Det förväntas därför att åtgärderna för att motstå ett fullständigt brandförlopp kommer att vara effektiva för de allra flesta verkliga bränder i denna sorts byggnader.

Brandrummet i den experimentella studien hade innermåtten 7,0×6,9×2,7 m där konstruktionen i väggar och tak var av KL- och limträ. De olika testerna inkluderade olika ytareor av exponerat trä, där taket exponerades i alla tester. Brandbelastningen under testerna var 560 MJ/m² utan att inkludera tillskottet från den exponerat träkonstruktionen. Övriga testparametrar sammanfattas i tabellen ovan. Ett antal åtgärder vidtogs för att begränsa träkonstruktionens bidrag till branden. Baserat på analys av tidigare brandtester [5] utformades dessa åtgärder för att minska risken för:

1. delaminering
2. nedfall av brandskydd (i detta fall gipsskivor)
3. betydande förkolning bakom gipsskivor.

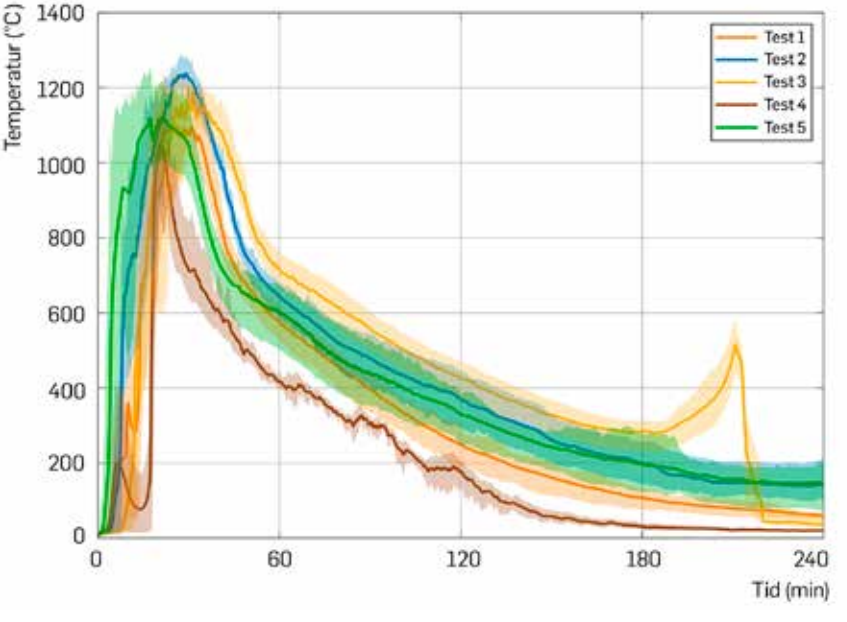
Vid delaminering av massivträkonstruktionen under brandexponering faller bitar av tvärsnittet av utefter limfogarna så att den skyddande effekten av kollagret på ytan blir mindre. Observera att det är möjligt att andra fenomen som t.ex. brott på skiljeväggar också kan leda till ökade brandbelastningar i riktiga konstruktioner.

Delaminering undveks genom att använda KL-trä som klarar testet och kriterierna i bilaga B i det slutgiltiga utkastet till den framtida Eurocode 5 [11]. Tvärsnittet klarar också det amerikanska/kanadensiska testet enligt ANSI/APA PRG 320, Annex B [13]. Den använda KL-träet hade 5 stycken 35 mm tjocka lameller och limmet som använde var Loctite HB X Purbond. Limningen skedde endast mellan lamellagren, inte mellan parallella lameller.

Nedfall av skyddssystemet av gipsskivor och betydande förkolning bakom skyddsskiktet hindrades genom tillräckligt många lager gips. Tjockleken på det skyddande lagret beror på vilken brandexponering som förväntas. I detta exempel bestämdes den nödvändiga mängden gips med hjälp av en beräkningsmodell [14]. Beroende på vilken ytarea som exponeras i rummet bestämdes det skyddande skiktets tjocklek till två eller tre lager 15,9 mm tjockt typ X gips (den amerikanska typen), se tabell.

Den största ytarean som brandexponerades var lika med 202% av golvytan och bestämdes utifrån prediktiv modellering [14] för att sträva efter att inbränningen inte skulle överstiga den vid 120 minuters brandmotståndsprovning. Detta gjordes för att koppla testupplägget till nuvarande praxis.

Alla brandförlopp med undantag för test 3 avklingade kontinuerligt (se figur 2) frånsett några pyrande och heta punkter i slutet av 4-timmarstestet. En viktig lärdom från test 3, som började återantända efter 3,5 timmar, är att interaktionen mellan exponerade väggar kan göra att nedkylningsfasen saktar ner. Värmekamerabilder av hörn samt ett betydligt högre kolningsdjup vid de



Figur 2: Temperaturutveckling i brandrummen.

nedre områdena av hörn mellan två exponerade väggar, indikerade förlängd strålningsinteraktion mellan ytorna på denna plats. En hög syrekoncentration tros vara orsaken till att denna effekt är uttalad i den nedre delen av rummet, och att det inte verkade signifikant i den övre delen av rummet.

För att ge några jämförelser med brandmotståndskrav, visas det genomsnittliga förkolningsdjupet i taket och i nederkant av väggar i den utförda testserien i tabell 1. Skadorna i nederkant av väggar var störst, vilket ger den mest konservativa indikationen på skadan.

Baserat på detta forskningsprojekt och tidigare projekt ges följande rekommendationer för att dimensionera exponerat massivträ för fullständiga brandförlopp.

1. Förhindra betydande energitillskott från massivträkonstruktioner genom att begränsa:
   - delaminering
   - nedfall av gipsskiva
   - betydande förkolning bakom brandskyddet
   - inverkan från sviktande skiljeväggar
2. Förhindra betydande termisk interaktion mellan exponerade väggytor (vertikala element)
3. Säkerställ tillräcklig bärförmåga, inklusive lämpliga säkerhetsmarginaler, under hela branden.

Foto: Mjöstårnet, Moelven

Allt fler byggnader innehåller synligt massivträ, vilket i praktiken ofta uppnås genom en avvägning, där en brandsäkerhetsåtgärd, ofta sprinkler, används för att minska risken för att träkonstruktionen ska bidra till branden.

Test nummer 1, 2, 3 och 5 utformades för att representera kraftiga men realistiska bränder i flerbostadshus. Det förväntas därför att de åtgärder som vidtagits, inkluderat mängden exponerad yta, är ett effektivt sätt att säkerställa att byggnaden står emot fullständiga brandförlopp.

Utöver punkterna som nämnts ovan, visar en analys av verkliga bränder att praktiskt taget alla brandrelaterade progressiva kollapser i höga byggnader involverade brand spridd över flera brandceller och våningar[10]. Detta visar att även begränsning av brandspridning är nyckeln till att klara ett fullständigt brandförlopp. Även fasadexponeringen utanför öppningarna i de genomförda försöken undersöktes i studien. Mer information kring detta finns i projektrapporten[15]. ■

Referenser

1. Himes Austin och Busby Gwen. "Wood buildings as a climate solution" Developments in the Built Environment 4 (2020): 100030
2. King Ian "How building with timber can be safe and sustainable." Building Control News, pbctoday. 4 januari, 2022. https://www.pbctoday.co.uk/news/building-control-news/building-with-timber/103171/
3. McNamee Robert, et al. "Enclosure fire dynamics with a cross-laminated timber ceiling" Fire and Materials 45.7 (2021): 847-857
4. Hakkarainen Tuula "Post-flashover fires in light and heavy timber construction compartments" Journal of fire sciences 20.2 (2002): 133-175
5. Daniel Brandon och Östman Birgit "Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings–Phase 2: Task 1-Literature Review" (2016). NFPA report: FRPF-2016-22, NFPA National Fire Protection Association, Fire Protection Research Foundation, Quincy, MA
6. Hoehler Matthew, Su Joseph, Lafrance Patrice, Bundy Matthew, Kimball Amanda., Brandon Daniel, & Östman Birgit "Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings: Large-scale Cross-laminated Timber Compartment Fire Tests" SiF 2018-The 10th International Conference on Structures in Fire, Belfast, UK. New University of Ulster, 2018
7. "Brandsäkerhetsklasser EKS". Boverket. 12 augusti 2020, https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/brandsakerhetsklasser-eks/
8. "Basis voor brandveiligheid - De onderbouwing van brandbeveiliging in gebouwen", Instituut Fysieke Veiligheid, på Nederlänska (2022)
9. Beitel Jesse och Iwankiw Nestor "Analysis of Needs and Existing Capabilities for Full-Scale Fire Resistance Testing" NIST GCR 02-843-1 (Revision) National Institute of Standards and Technology, (2008)
10. Brandon Daniel "Engineering methods for structural fire design of wood buildings– structural integrity during a full natural fire" BRANDFORSK 2018:2, Brandforsk, Stockholm, Sweden. ISBN 978-91-88695-83-3 (2018)
11. Brandon Daniel, Sjöström Johan, Temple Alastair, Hallberg Emil & Kahl Fredrik "Fire Safe implementation of visible mass timber in tall buildings-compartment fire testing" RISE Rapport; 2021:40. Research Institutes of Sweden, Borås, Sweden (2021). ISBN: 978-91-89385-26-9
12. prEN1995-1-2:2025 (E) Eurocode 5 – Design of timber structures, Part 1-2: Structural fire design SC5.T4 Final Draft (2022).
13. ANSI/APA PRG 320: Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber. ANSI and APA standard (2019)
14. Brandon Daniel, Temple Alastair & Sjöström Johan "Predictive method for fires in CLT and glulam structures–A priori modelling versus real scale compartment fire tests & an improved method" RISE Report 2021:63. Research Institutes of Sweden, Borås, Sweden (2021). ISBN: 978-91-89385-53-5
15. Sjöström Johan, Brandon Daniel, Temple Alastair, Hallberg Emil och Kahl Fredrik. "Exposure from mass timber compartment fires to facades" RISE Report 2021:39 Research Institutes of Sweden, Borås, Sweden (2021). ISBN: 978-91-89385-24-5

DANIEL BRANDON
Forskare/expert träkonstruktioner Brand och Säkerhet,RISE

ROBERT MCNAMEE
Forsknings/affärsutvecklare Brand och Säkerhet, RISE. Adjungerad lektor avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola.