Examensarbete

Byggingenjör 180 hp

Brandkrav, branddimensionering och brandskydd för trätakstolar

Ur ett konstruktörsperspektiv

Examensarbete inom byggteknik 15 hp

Halmstad 2018-08-23

Frida Bernander och Kajsa Lindhé

HÖGSKOLAN
I HALMSTAD

Sammanfattning

Takstolskonstruktörer upplever att kunder ställer högre krav på brandmotstånd vilket har gjort att brand har fått ett större fokus vid konstruering av takstolar. Detta kan bero på revideringen av BBR som trädde i kraft 2012 för att göra de befintliga funktionskraven mer verifierbara och tydliga. Studien innehåller en sammanställning och ett förtydligande av de lagar och föreskrifter som rör takstolar och takkonstruktioner vid brand. Det presenteras även ett tillvägagångssätt för hur en takstol kan dimensioneras vid brand samt möjliga åtgärdsförslag för att öka en takstols och takkonstruktions brandmotstånd. Studien har dels genomförts genom kartläggning av relevant litteratur och dels genom undersökning av konstruktionsvirkes brandmotstånd.

De regler och krav som gäller för takstolar och takkonstruktioner har sammanställts i en lathund som ska kunna följas för att till sist kunna bestämma brandkrav på en specifik bärverksdel. För att kunna göra en brandteknisk dimensionering av träkonstruktioner presenteras den lastkombination som ska användas i brandlastfallet och två olika metoder för att beräkna brandmotstånd med avseende på bärförmåga. Vid beräkning framkom det att en takstol av konstruktionsvirke med en standarddimension kan antagas ha ett brandmotstånd, med avseende på bärighet, som motsvarar R0. Olika åtgärdsförslag för att kunna skydda takstolen och takkonstruktion presenteras också. Det är dels metoder för att skydda takstolen men även lösningar för takfoten och takkonstruktionen i sin helhet. För att tydliggöra lathundens funktion och möjliga tillämpningar på åtgärder för att skydda konstruktionen har två fiktiva exempel tagits fram; ett vårdboende och ett flerbostadshus.

Det som har framkommit av studien gällande bestämningen av brandmotstånd är att det görs stegvis och att många parametrar spelar in, såsom verksamhetsklass, byggnadsklass, brandbelastning, brandsäkerhetsklass, avskiljande funktion samt möjlighet för uppkomst av brand. En aspekt som problematiserar bestämningen av brandmotstånd är att vissa faktorer behöver bestämmas genom subjektiv bedömning vilket möjliggör för skillnader från fall till fall.

Det har visat sig att vid dimensionering för brand ska lastkombinationen för olyckslast användas. Denna lastkombination innebär en reducering av lasterna vid jämförelse med brottgränstillståndet.

En oskyddad takstol kan anses ha brandmotstånd R0 vilket gör att den måste skyddas under erforderlig tid. De åtgärderna som har undersökts för att kunna brandskydda takstolen är gips, trämaterial, isolering, impregnering och brandskyddsfärg varav de tre första kan ge takstolen skydd medan brandskyddsfärg och brandimpregnering inte är applicerbara.

Nyckelord: *takstol, takkonstruktion, brand, brandmotstånd, dimensioneringsregler, brandskydd, konstruktionsvirke*

Abstract

This study contains a compilation and a clarification of the rules and requirements that can be applied to trusses and roof structures in consideration to fire. The different steps to decide the fire resistance of a truss or a roof construction is not that distinct and has to be combined with experience and subjective assessment. In case of fire the load combination for accidental load is used and in comparison with the ultimate limit state, the loads are reduced. Two different methods have been presented to determined the strength of construction timber, when exposed to fire. Both methods showed that construction timber, with a width of 45 mm, had a strength that correlate to a fire resistance of zero minutes. To improve the fire resistance of a roof construction different methods to protect the element has been presented. The most efficient ways to protect the construction is with gypsum boards and rockwool but for lower requirements wood covering can also be used. Fire retardant treatment (FTR) and fire protecting paint are also presented but are not applicable on wood trusses due to that FTR decreases the strength and fire protecting paint needs larger dimensions. In order to illustrate the different steps that are used when determining fire requirements of roof structures, two fictitious examples is presented.

Keywords: *truss, roof structure, fire, fire resistance, design rules, fire protection, structural timber*

Förord

Detta examensarbete har genomförts under vårterminen 2018 för en högskoleingenjörsexamen på byggingenjörsprogrammet vid Högskolan i Halmstad. Arbetet behandlar brandkrav, branddimensionering och brandskydd med avseende på takstolar av konstruktionsvirke. Brandteknisk dimensionering är inte ett ämne som har behandlats i en större utsträckning under studietiden och vår förhoppning med denna studie var att skapa en tydlighet kring de krav som ställs gällande brand på takkonstruktioner av trä samt utreda och förtydliga dimensioneringsregler och möjliga åtgärder. På grund av ämnets komplexitet kan denna studie anses vara ett stöd i rätt riktning för konstruktörer men fortsatt arbete krävs för att skapa en tydligare helhetsbild.

För hjälp med att få idéer och inspiration kring ämnet samt stöd i form av tekniska hjälpmedel vill vi tacka Derome Träteknik och vår handledare där; Johan Björklund.

Vi vill även tacka vår handledare, Johan Lind, på Högskolan i Halmstad för allt stöd vi har fått i form av konstruktiva diskussioner och inspiration både kring ämnet och utformningen av rapporten.

2018-05-12, Halmstad

Frida Bernander
Kajsa Lindhé

Definitioner

Definitioner som förtydligar begrepp kring lagar och samhälle

Allmänna råd = En beskrivning av hur en bindande regel, förordning eller föreskrift kan eller bör uppfyllas, det vill säga en rekommendation på en möjlig metod eller lösning som uppfyller de ställda kraven. Väljs ett alternativt sätt än det som anges i de allmänna råden så ska det kunna visas att den bindande regeln, förordningen eller föreskriften uppfylls (Boverket, 2014).

Föreskrift = Detaljerade regler som utgår från lagar och förordningar då dessa inte ger tillräcklig styrning. Det är myndigheter som skriver föreskrifter efter att ha fått ett bemyndigande i förordningen (Boverket, 2014).

LVM-boende = Boende för omhändertagna enligt lagen om vård av missbrukare (BFS 2011:6).

LVU-boende = Boende för omhändertagna enligt lagen om vård av unga (BFS 2011:6).

LSU-boende = Boende för omhändertagna enligt lagen om verkställighet av sluten ungdomsvård (BFS 2011:6).

Definitioner som berör brand

Avskiljande konstruktion = En konstruktion som motstår hela eller delar av ett brandförlopp. Den ska även uppfylla de krav som ställs på integritet och isolering. En avskiljande konstruktion kan vara ett bjälklag eller en vägg, inklusive genomföringar eller liknande samt anslutningar till andra byggnadsdelar (BFS 2011:6).

Brandbelastning f = Brandenergi per golvarea inom ett visst område [MJ/m^2 golvarea], vilken bestäms för den totala mängd energi som kan förbrännas vid ett fullständigt brandförlopp i förhållande till golvarean (BFS 2011:6).

Brandcell = En avskild del av en byggnad där en brand under hela eller delar av brandförloppet kan utvecklas utan spridning till andra delar av byggnaden eller andra byggnader. Den ska vara avskild från övriga delar av byggnaden så att utrymning tryggas samt att personer i intilliggande brandceller eller byggnader skyddas under hela eller delar av brandförloppet (BFS 2011:6).

Brandmotstånd, brandteknisk klass = En sammansatt konstruktions, såsom ett bjälklags eller en ytterväggs, egenskaper vid brand. Benämns även som R, E och I- krav där olika kombinationer är möjliga. Benämningen följs av en tidsangivelse vilket innebär hur länge en byggnadsdel upprätthåller sitt brandmotstånd. (RISE, u.å.).

Bärförmåga R = Ett bärverks eller konstruktionsdels förmåga att bära angivna laster vid brand (SS-EN 1991-1-2).

Integritet E = En avskiljande konstruktionsdels förmåga att förhindra att flammor och brandgaser sprids genom denna vid brand (SS-EN 1991-1-2)

Isolering I = En avskiljande konstruktionsdels förmåga att vid brand hejda en temperaturökning, över ett förutbestämt värde, på den sidan som inte exponeras (SS-EN 1991-1-2).

Parameterberoende temperatur-tidkurva = Ett utrymmes gastemperatur som en funktion av tiden och som bestäms utifrån en brandförloppsmodell och de fysiska parametrarna som kan anses finnas i det aktuella utrymmet (SS-EN 1991-1-2).

Standardbrand = En vedertagen nominell temperatur-tidkurva vilken är godkänd för klassificering och verifiering av brandmotstånd. Den beskriver gastemperaturen i ett utrymme som en funktion av tiden (SS-EN 1991-1-2).

Definitioner som berör byggnader

Byggnadsarea = Den area som en byggnad upptar på marken samt projektionen av byggnadsdelar som påverkar användandet av den underliggande marken (SS 21054:2009)

Bärverk = En del i byggnaden som är dimensionerad för att bära laster och har en tillfredsställande styvhet (SS-EN 1990)

Lägenhet = En bostad i ett hus med minst tre bostäder i (SIS, 2012).

Småhus = Ett bostadshus som består av högst två bostäder (SIS, 2012).

Innehållsförteckning

1 Inledning ... 1
1.1 Bakgrund ... 1
1.2 Problembeskrivning ... 2
1.3 Syfte ... 2
1.4 Mål ... 2
1.5 Avgränsningar ... 3
1.6 Metod ... 3
2 Metod ... 4
2.1 Angreppssätt ... 4
2.2 Metodik ... 4
2.3 Datainsamling ... 5
2.3.1 Reliabilitet ... 6
2.3.2 Validitet ... 6
2.4 Verktyg ... 7
3 Branddimensionering enligt Boverkets författningssamling (BFS) ... 8
3.1 Boverkets författningssamling gällande brandskydd ... 8
3.2 Förenklad respektive analytisk dimensionering ... 8
3.3 Allmänna förutsättningar för brandskydd ... 9
3.4 Sammanfattning av lathund ... 10
3.5 Verksamhetsklasser (Vk) ... 10
3.6 Byggnadsklasser (Br) ... 13
3.7 Brandbelastning vid förenklad dimensionering ... 14
3.8 Vindsbjälklag som avskiljande konstruktion ... 14
3.9 Skydd mot brandspridning från vindsutrymmen ... 16
3.10 Brandsäkerhetsklass ... 16
3.10.1 Brandsäkerhetsklass för Br1-byggnader ... 18
3.10.2 Brandsäkerhetsklass för Br2-byggnader ... 20
3.10.3 Brandsäkerhetsklass för Br3-byggnader ... 21
3.11 Brandmotstånd med avseende på bärförmåga ... 22
4 Dimensioneringsmetoder för takstol i trä vid brand enligt Eurokod och EKS ... 24
4.1 Innefattande normer och regelverk ... 24
4.2 Dimensioneringsmetodik för bärverk i konstruktionsvirke ... 24

4.3 Dimensionerande laster vid brand ... 25
4.3.1 Olyckslast enligt SS-EN 1990 ... 26
4.4 Dimensionering av bärförmåga - förenklade metoder för bestämning av tvärsnittsegenskaper ... 27
4.4.1 Metoden med reducerat tvärsnitt ... 27
4.4.2 Metoden med reducerade egenskaper ... 29
4.5 Påverkan på träets hållfasthet på grund av brand ... 29
4.5.1 Bestämning av $k_{mod,fi}$ ... 30
4.6 Dimensionerande bärförmåga för spikplåtsförband vid brand ... 31
4.6.1 Oskyddade spikplåtsförband ... 31
4.6.2 Skyddade spikplåtsförband ... 31
5 Åtgärder för att öka brandmotstånd ... 34
5.1 Åtgärder för att skydda takstolen ... 34
5.1.1 Gips ... 34
5.1.2 Träbeklädnad ... 36
5.1.3 Isoleringsmaterial ... 37
5.1.4 Brandimpregnering ... 37
5.1.5 Brandskyddsfärg ... 37
5.2 Lösningar för takkonstruktionen ... 38
5.2.1 Sektionering ... 38
5.2.2 Skivmaterial på bjälklag ... 38
5.2.3 Takfotslösningar ... 39
5.2.3.1 Tät takfot ... 39
5.2.3.2 Svällande isolering ... 39
5.2.3.3 Takfotsventil ... 39
6 Beräkning av brandmotstånd på konstruktionsvirke ... 40
6.1 Jämförelse mellan brottlast och brandlast ... 41
7 Tillämpningar på egna exempel ... 42
7.1 Exempel flerbostadshus ... 42
7.1.1 Bestämning av brandmotstånd med hjälp av lathunden ... 42
7.1.2 Åtgärdsförslag för takkonstruktionen ... 46
7.2 Exempel vårdboende ... 48
7.2.1 Bestämning av brandmotstånd ... 48
7.2.2 Åtgärdsförslag för takkonstruktionen ... 50

8 Analys 54
9 Diskussion 56
10 Slutsatser 58
10.1 Framtida forskning 58
Referenser 60
Bilaga A - handberäkningar på balk
Bilaga B - dimensionerande laster med reduktionsfaktor
Bilaga C - beräkning av balk i brottgränstillstånd
Bilaga D - beräkning av balk i brandlastfallet
Bilaga E - beräkning av takstol i brottgränstillstånd

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Stora och förödande stadsbränder har inträffat upprepade gånger under Sveriges historia vilket var anledningen till att byggnation med trästomme tidigare begränsades till hus med två våningar. År 1994 ersattes de tidigare materialrelaterade bestämmelserna med funktionskrav vilket innebar att byggnader oavsett storlek och höjd kunde uppföras med valfritt stommaterial så länge som kraven i BBR uppfylldes. Anledningen till förändringen kan bland annat förklaras med att stora framsteg gjordes på den brandtekniska forskningen under slutet av 1900-talet (Östman & Stehn, 2014).

En revidering av kapitel 5 i BBR, vilken behandlar brandskydd, trädde i kraft 2012 vars syfte bland annat var att göra funktionskraven mer verifierbara och tydligare. I tidigare version av reglerna hade otydligheter skapat utrymme för regeltolkningar vilket ledde till en branschpraxis som kunde se olika ut runt om i landet. Revideringen innebar även att brandskyddskraven ökade på många områden (Boverket, 2011). Enligt konstruktörer på Derome Träteknik, som är ledande inom konstruering och produktion av takstolar i Sverige (Derome Träteknik, u.å), har kundernas krav på en takstols brandmotstånd ökat de senaste 7-8 åren. Detta skulle enligt vår uppfattning kunna ha ett samband med revideringen av brandskyddskapitlet i BBR.

I dagens samhälle där miljöfrågor och klimatet ofta är aktuella ämnen har trä som material många fördelar då det binder koldioxid och kräver en liten energiförbrukning vid framställning. Sverige har också stora skogstillgångar där avverkningen är mindre än tillväxten (Bergkvist & Fröbel, 2013). Under 2015 var andelen nybyggda lägenheter med trästomme i ordinära flerbostadshus 9 procent av det totala antalet nybyggda lägenheter (Trä-och möbelföretagen, 2016). Enligt Nord (2013) så har andelen flerbostäder med trästomme legat på cirka 10 procent mellan åren 2000 - 2011, dock ingår inte specialbostäder (till exempel studentlägenheter och äldreboenden) men uppskattningen är att trä har en större andel på detta område då marknadsfokus legat här. Under senare år har även intresset för större byggnader, såsom simhallar och hallar, i trä ökat.

Trä som material har vissa fördelaktiga egenskaper vid brand då det bildas ett förkolnat ytskikt vilket skyddar det obrända träet innanför som fortfarande har kvar sin bärförmåga. Om förkolningen blir tillräckligt omfattande förlorar konstruktionen dock sin bärighet vilket till slut leder till kollaps (Malanga, 1995).

Ett problem som kan uppstå i takkonstruktioner med lätta vindsbjälklag, såsom trä, i samband med brand är den ökade risken för brandspridning till angränsande brandceller via vinden. En brist kan till exempel vara att takstolar har tappat sin bärförmåga och fallit ner på vindsbjälklaget vilket förstör brandcellsgränsen. Andra möjliga problem kan vara avsaknad av brandcellsindelning på vinden eller att branden har kunnat sprida sig upp via takfoten (Boverket, 2008).

1.2 Problembeskrivning

Brand har fått ett större fokus vid konstruering av takstolar i trä och det finns tecken som tyder på att kunder idag allt oftare ställer krav på ett högre brandmotstånd, speciellt gällande flerfamiljshus och olika typer av vårdboenden. Vid egen kommunikation med personer i branschen har det framkommit att det råder en viss kunskapsbrist kring hur gällande brandkrav ska tillämpas samt hur branddimensionering av trätakstolar ska utföras.

Ett förtydligande av regler och krav gällande brand för takkonstruktioner i olika typer av byggnader skulle göra att takstolskonstruktörer erhåller en större förståelse kring brandskydd. Detta skulle kunna möjliggöra en dialog mellan konstruktör och brandkonsult och därmed skapa en utgångspunkt för ett optimalt brandskydd. För att bemöta att högre brandkrav ställs på takstolar och takkonstruktioner krävs även en tydlig dimensioneringsmetodik för brandlastfallet med avseende på bärförmåga samt kunskap om vilka åtgärder som finns att tillgå för att öka takstolens respektive takkonstruktionens brandmotstånd.

1.3 Syfte

Studiens syfte var att sammanställa och förtydliga de regler och krav för takstolar och takkonstruktioner, gällande brand, som finns för olika typer av byggnader. Den har också utrett och förtydligat hur en takstol ska dimensioneras i samband med brand med avseende på bärförmåga och för att få en utgångspunkt har även brandmotståndet för en oskyddad bärverksdel i konstruktionsvirke undersökts. Inom ramen för studien har möjliga metoder för att öka takstolens samt takkonstruktionens brandmotstånd undersökts och analyserats.

Detta har mynnat ut i nedanstående frågeställningar:

- Vilka regler och krav gäller för takkonstruktioner på olika typer av byggnader med avseende på brand?
- Hur dimensioneras trätakstolar med avseende på bärförmåga vid brand?
- Vilket brandmotstånd har en oskyddad bärverksdel av konstruktionsvirke?
- Vilka möjliga metoder finns för att öka takstolens samt takkonstruktionens brandmotstånd?

1.4 Mål

Målsättningen med denna studie var att skapa en lathund för bestämningen av brandmotståndskrav på takstolar respektive takkonstruktioner på olika typer av byggnader samt att tydliggöra hur branddimensionering av takstolar fungerar. Inom ramen för arbetet har även möjliga metoder för att öka brandmotståndet hos en takstol presenterats.

1.5 Avgränsningar

Studien har avgränsats till svenska förhållanden, såsom de regler och krav som gäller samt åtgärder som går att tillämpa i Sverige. En avgränsning har även gjorts till förenklad branddimensionering, det vill säga den analytiska dimensioneringen i BBR har inte behandlats. Eftersom takstolar byggs av konstruktionsvirke har endast denna typ av virke behandlats i studien.

1.6 Metod

Rapporten är av kvalitativ karaktär och har genomförts genom kartläggning och insamling av relevant litteratur gällande brand med avseende på lagar och föreskrifter, dimensioneringsregler samt möjliga åtgärder för att höja takstolens respektive takkonstruktionens brandmotstånd. Beräkningar, både för hand och med datorprogram, har gjorts för att undersöka vilket brandmotstånd en oskyddad bärverksdel av konstruktionsvirke har samt för att dimensionera en underram i brandlastfallet.

Litteratur som främst har använts är vetenskapliga artiklar, lagar och föreskrifter samt Eurokoder. Dessa har inhämtats från olika databaser, såsom Compendex, Google Scholar och E-nav, DiVA samt Boverkets webbplats.

2 Metod

2.1 Angreppssätt

Vilken metodik som bör väljas beror på studiens karaktär och syfte. En studie kan vara: beskrivande, utforskande, förklarande eller problemlösande. Beroende på rapportens syfte kan dock en kombination vara möjlig, det vill säga ett arbete kan bestå av flera delstudier varav en del är beskrivande och en annan är problemlösande (Höst et al, 2006).

Denna studiens syfte kan till stor del anses vara beskrivande och utforskande eftersom lagar, föreskrifter och dimensioneringsregler gällande brand beskrivs och undersöks på djupet. För att uppnå syftet för rapporten så har en kartläggande metodik använts för att fastställa de regler, krav och dimensioneringsregler från Boverket och Eurokoder som gäller i Sverige. En litteraturstudie har även valts till delen gällande åtgärder för att identifiera möjliga lösningar. Den valda metoden, det vill säga kartläggning av litteratur, kan anses vara relevant för att uppnå studiens syfte som är att undersöka och förtydliga vad som faktiskt gäller snarare än hur lagar, föreskrifter och dimensioneringsregler tillämpas.

Den data som samlas in kan vara *kvalitativ* eller *kvantitativ*, där kvantitativ data karaktäriseras av att den kan räknas eller klassificeras medan kvalitativ data består av ord och beskrivningar. Om underlaget är av kvantitativ natur kan det bearbetas med statistisk analys medan kvalitativ data kräver analysering genom sortering och kategorisering (Höst et al, 2006).

Den studie som har genomförts i detta arbetet kan anses vara av kvalitativ karaktär då data har samlats in och analyserats genom sortering och kategorisering av relevant litteratur. Däremot så kan primärdatan som har använts till denna rapport i sin tur bygga på kvalitativ eller kvantitativ forskning där den sistnämnda har varit mer förekommande då mycket av den vetenskaplig litteraturen som har nyttjats bygger på experiment.

2.2 Metodik

Kartläggningen gällande lagar, föreskrifter och dimensioneringsregler har skett genom litteraturstudier av relevanta delar i Boverkets byggregler (BBR), Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (EKS 10) och Eurokoder gällande brand. Annan relevant litteratur, såsom allmänna råd från Boverket och andra europeiska standarder, har även tillkommit då dessa har hänvisats till. För att skapa en djupare förståelse har även litteratur gällande branddimensionering från branschen undersökts. Den kartläggning som har gjorts kring möjliga åtgärder har skett genom studier av relevant vetenskaplig litteratur och produktleverantörers hemsidor gällande bland annat brandimpregnering, brandskyddsfärg och gips. Tänkbara konstruktionslösningar från både vetenskapliga artiklar och utgivningar från branschen har också studerats. Vid kartläggningen har även sökningar gjorts på databaser såsom Google Scholar och DiVA för att undersöka vad som redan har skrivits inom ämnet.

Två exempel på fiktiva byggnader har använts för att konkretisera den lathund som har tagits fram genom litteraturstudier av främst BBR och EKS 10. Genom att följa exemplen tydliggörs tillvägagångssättet för bestämning av brandmotstånd för respektive byggnads takkonstruktion. De två fiktiva byggnaderna har även använts till studiens frågeställning gällande åtgärder för att öka takstolens och takkonstruktionens brandmotstånd. För att illustrera konstruktionsvirkes brandmotstånd har ett exempel med en fritt upplagd balk beräknats för hand. Detta har gjorts genom dimensionering med hjälp av de i studien framtagna lastkombinationerna och de presenterade beräkningsmetoderna. För att tydliggöra skillnaden mellan brottlastfallet och brandlastfallet har dimensionering av en fiktiv balk gjorts med ett dimensioneringsprogram.

2.3 Datainsamling

För datainsamlingen har främst databaser använts varav de mest använda har varit Compendex, Google Scholar, DiVA och E-nav, där det i de tre förstnämnda har sökts efter vetenskapliga artiklar och publikationer från RISE (tidigare SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut). Från E-nav har standarder inhämtats, vilket bland annat innefattar Eurokoder som är de dimensioneringsregler som gäller för konstruktioner i Sverige. Vid behov har även hjälp från biblioteket anskaffats för att få fram relevanta standarder.

För att inhämta de lagar, föreskrifter och allmänna råd som gäller i Sverige har Boverkets hemsida använts bland annat för att hitta de aktuella versionerna av exempelvis BBR och EKS. Boverkets webbplats har även använts för sökningar när oklarheter har uppstått vid regeltolkningar för att få ett förtydligande samt för att införskaffa andra utgivningar av Boverket som ger kompletterande information till BBR. Handböcker gällande praxis för branddimensionering har även fjärrlånats via biblioteket. Vid ett tillfälle har även Boverket kontaktats för att få vissa förtydliganden.

Exempel på konstruktionslösningar och generell information gällande branddimensionering för träkonstruktioner har även inhämtats från webbplatser och publikationer från lämpliga branschorganisationer, såsom TräGuiden, Svenskt Trä och diverse andra produktleverantörer.

De sökord som har använts på Compendex och Google Scholar för att hitta relevanta forskningsartiklar har varit: *fire resistance, wood, trusses, fire retardant treatment, metal-plates, gypsum, insulation, fire protection, fire, wood covering, construction timber, roof construction.*

Svenska sökord på DiVA har varit: *mineralull, stenull, brand, trä, brandskyddsfärg, brandimpregnering, träkonstruktioner, K-klasser, träbeklädnader.*

Informationen gällande de två exempel på byggnader som har använts i studien för att konkretisera och förhoppningsvis skapa en tydligare bild för läsaren har inhämtats genom personlig kontakt med Derome Träteknik. Datan har bestått av fiktiva byggnader med tillhörande fastighetsbeskrivning som är inspirerade från verkliga projekt.

2.3.1 Reliabilitet

Vid datainsamling inom valt ämne är det viktigt att se till så att den görs noggrant, det vill säga att valda källor är tillförlitliga och att de är väl analyserade. Som följd av att redovisa hur arbetsgången har sett ut blir det lättare för mottagaren att kritisera arbetets tillvägagångssätt (Höst et al, 2006). Vid sökning av tillförlitliga källor är det viktigt att vara medveten om vilka källor som är primära och vilka som är sekundära eftersom en primärkälla alltid är mer tillförlitlig. En primärkälla beskriver den information som är originaldata och förstahandsinformation av till exempel vetenskapliga artiklar, böcker eller avhandlingar. En sekundärkälla kan vara böcker och artiklar som bygger på olika primärkällor där till exempel en analys eller en kritisk granskning har gjorts (Göteborgs universitet, 2017).

Målen med examensarbetet var att sammanställa de regler och krav som ställs samt få fram relevanta dimensioneringsregler som gäller för en takstols förmåga att stå emot brand. Eftersom de lagar, föreskrifter och dimensioneringsregler gällande brand ibland har uppfattats som svårtolkade har detta medfört risk för feltolkning när dessa har analyserats. För att minimera dessa feltolkningar har kompletterande sökningar på Boverkets webbplats och hos andra branschorganisationer gjorts gällande hur dessa lagar, föreskrifter och dimensioneringsregler ska tolkas, dock kvarstår problemet om en viss feltolkning.

Vid val av källor har det varit viktigt att använda primärkällor eftersom det ökar reliabiliteten i examensarbetet. För att kartlägga olika åtgärder för att höja takstolens brandmotstånd var det av intresse att hitta litteratur som berörde samma ämne. Gällande leverantörer av olika produkter har det varit av vikt att undersöka tekniska specifikationer och prestandadeklarationer för att säkerställa att de är tillämpbara i Sverige.

2.3.2 Validitet

Validitet syftar på förhållandet mellan det valda undersökningsområdet och vad det är som väljs att mäta. Det vill säga om det insamlade materialet är relevant för undersökningsområdet och om det önskade resultatet nås av detta material (Höst et al, 2006).

Det insamlade materialet har analyserats noggrant där endast relevanta delar har vidare bearbetats och använts. Vid urval av regler och krav har fokus legat på att identifiera det som gäller för takstolar och takkonstruktioner vid brand och vid sortering av dimensioneringsregler har de som råder för trä, stål och generella regler valts ut. Det har varit av stor vikt att avgränsa och se till så att materialet har belyst det som skulle mätas.

2.4 Verktyg

För det fiktiva exemplet "Vårdboende" har ett dimensioneringsprogram använts för att dimensionera underramen för olyckslast vid brand. Programmet heter *Pamir* och har funnits till förfogande hos Derome Träteknik. *Pamir* har även använts för att göra en djupare analys kring skillnader mellan brottlastfallet och brandlastfallet på en fiktiv balk. Handberäkningar har gjorts för att illustrera vilket brandmotstånd en bärverksdel av konstruktionsvirke kan antas ha. Bilder som återfinns i studien har ritats i *AutoCad*.

3 Branddimensionering enligt Boverkets författningssamling (BFS)

Följande avsnitt beskriver vilka grundläggande krav som ställs på brandskydd samt vilka lagar som ligger till grund. Sedan följer en förklaring av skillnaden mellan förenklad respektive analytisk branddimensionering vid projektering av en byggnad. Avsnittet avslutas sedan med en lathund (3.5 - 3.11) som beskriver hur den förenklade dimensioneringen går till vid bestämning av brandmotstånd på takstolar och takkonstruktioner.

3.1 Boverkets författningssamling gällande brandskydd

De grundläggande kraven på brandskydd återfinns i plan-och bygglagen (PBL) vilka förtydligas i plan- och byggförordningen (PBF). Dessa krav utvecklas och förtydligas sedan ytterligare i Boverkets byggregler (BBR) under kapitel fem, Brandskydd (Boverket, 2017). De fem grundläggande kraven vid händelse av brand återfinns i PBF 3. kap, 8§ och presenteras nedan:

"För att uppfylla det krav på säkerhet i händelse av brand som anges i 8. kap 4 § första stycket 2 plan -och bygglagen (2010:900) ska ett byggnadsverk vara projekterat och utfört på ett sätt som innebär att

1. *byggnadsverkets bärförmåga vid brand kan antas bestå under 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, och*
5. *hänsyn har tagits till räddningsmanskapets säkerhet."* (SFS 2011:338)

I kapitel 5 i BBR hanteras kraven 2-5 från PBF och det som återfinns är minimikrav på brandsäkerhet vid uppförande av nya byggnader eller vid ändring av befintliga byggnader. Det första ställda kravet gällande bärförmåga vid brand behandlas i Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (EKS), avdelning C (Boverket, 2017).

De gällande kraven återfinns i:

- BBR - Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BFS 2011:6 (konsoliderad version med ändringar till och med BFS 2017:5)
- EKS 10 - Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder), BFS 2015:6

3.2 Förenklad respektive analytisk dimensionering

Enligt BBR (BFS 2011:6) ska brandskyddet i en byggnad projekteras, utformas och verifieras genom förenklad eller analytisk dimensionering.

Vid en förenklad dimensionering tillgodoser byggherren föreskrifterna för brandskydd genom att följa de lösningar och metoder som beskrivs i de allmänna råden i Boverkets byggregler, kapitel fem, avsnitt 5:2-5:7. I vissa fall då ett automatiskt släcksystem används för att uppfylla kraven får inte förenklad dimensionering användas.

Vid en analytisk dimensionering uppfyller byggherren en eller flera av föreskrifterna för brandskydd på annat sätt än genom att följa de allmänna råden. En byggnads brandskydd ska verifieras genom kvalitativ bedömning, scenarioanalys, kvantitativ riskanalys eller motsvarande metoder. Analytisk dimensionering ska användas för att verifiera brandskyddet i byggnader i byggnadsklass Br0. Eftersom denna studie är avgränsad till förenklad dimensionering kommer inte Br0 - byggnader att hanteras i nedanstående lathund.

3.3 Allmänna förutsättningar för brandskydd

En grundläggande förutsättning för branddimensionering är att göra en korrekt bedömning gällande var i en byggnad som en brand kan uppstå. I BBR kap. 5, avsnitt 5:1 står:

"Byggnader ska utformas med sådant brandskydd att brandsäkerheten blir tillfredsställande. Utformningen av brandskyddet ska förutsätta att brand kan uppkomma.
Brandskyddet ska utformas med betryggande robusthet så att hela eller stora delar av skyddet inte slås ut av enskilda händelser eller påfrestningar" (BFS 2011:6)

Eftersom denna studie behandlar takstolar och i förlängningen därmed även vindar uppstår frågan om ett generellt antagande ska göras att en brand kan uppstå på vinden. Vid personlig kommunikation[1] via e-post med tjänsteman på Boverket kan vissa klargöranden göras:

- Det saknas tydlighet kring i vilka utrymmen som en brand kan antas uppkomma, dock brukar till exempel inte brandskyddet utformas för att en brand kan uppstå i exempelvis ett hålrum i en väggkonstruktion. Om vinden kan anses vara ett utrymme där brand kan uppkomma, om det till exempel finns installationer, ska brandskyddet utformas för det. Kan vinden jämföras med ett hålrum i en konstruktion, det vill säga den är mindre och brandkällor saknas, behöver det inte vara nödvändigt att dimensionera för att en brand kan uppkomma där.

- En annan aspekt att ta hänsyn till är robustheten i konstruktionen. Om branden kan tänkas sprida sig upp till vinden på grund av att någon annan del av brandskyddet inte är korrekt utfört, till exempel via takfot eller otäta genomföringar, kan det föreligga en risk att branden sedan sprids vidare till närliggande brandceller. Om en sådan situation uppkommer så kan inte konstruktionen anses ha en betryggande robusthet.

En slutsats som kan dras av ovanstående information är att ett stort vindsutrymme i de flesta fall bör dimensioneras för att en brand kan uppkomma där eftersom det ofta förekommer installationer och liknande brandkällor, såsom belysning. Kravet på robusthet gör att hänsyn måste tas till hur konstruktionen klarar en brand och vid ett stort vindsutrymme kan det anses föreligga en större risk för brandspridning till närliggande brandceller. Mindre utrymmen, exempelvis små kattvindar, kan i vissa fall ses som ett hålrum i en konstruktion.

[1] Boverket, e-post från svarstjanst@boverket.se, 2018-03-29

3.4 Sammanfattning av lathund

Avsnitt 3.5 - 3.11 beskriver de områden som ingår i lathunden och nedan beskrivs de steg som ska gås igenom för att bestämma brandmotstånd för en byggnadsdel:

1. Bestäm vilken verksamhetsklass byggnaden ingår i genom att följa avsnitt 3.5.

2. Välj byggnadsklass utifrån vilken typ av byggnad det är i avsnitt 3.6.

3. Bestäm brandbelastning enligt avsnitt 3.7. Brandbelastning behövs i vissa fall för att bestämma avskiljande funktion i Br1-byggnader samt för att bestämma brandmotstånd.

4. Om vindsbjälklaget är en avskiljande konstruktion ska avsnitt 3.8 och dess anvisningar följas gällande avskiljande förmåga.

5. Instruktionerna i avsnitt 3.9 gällande skydd mot brandspridning från vindsutrymmen ska följas.

6. Utifrån byggnadsklassen ska brandsäkerhetsklassen bestämmas genom att följa instruktionerna i avsnitt 3.10.

7. Efter bestämd brandsäkerhetsklass går det nu att bestämma krav på brandmotstånd med avseende på bärförmåga genom att följa det som står i avsnitt 3.11. Brandbelastningen hittas i avsnitt 3.7.

Observera att det är skillnad på avskiljande funktion (EI) och bärförmåga (R). En konstruktionsdel kan ha endast ett krav på bärförmåga vid brand eller bara ett krav på avskiljande förmåga. Om det finns ett krav på en viss avskiljande funktion på en bärande konstruktion kommer denna att styra bärförmågan, det vill säga krävs EI60 bidrar det även till ett krav på R60.

3.5 Verksamhetsklasser (Vk)

Enligt BBR (BFS 2011:6) ska utrymmen i byggnader delas in verksamhetsområden (Vk) beroende på avsett användningsområde. Observera att samma byggnad kan innehålla flera verksamhetsklasser. Indelningen är beroende av:

- hur väl personerna som ska vistas där har kunskap om byggnaden och utrymningsmöjligheter.
- om utrymning till största del kan ske självständigt.
- om personerna som ska vistas där kan antas vara vakna.
- om det föreligger en ökad risk för uppkomst av brand eller om ett brandförlopp kan bli mycket snabbt och omfattande.

Tabell A.1 sammanfattar vilka utrymmen som ingår i respektive verksamhetsklass.

Tabell A.1 Verksamhetsklasser. Baserad på BFS 2011:6.

Verksamhetsklass	Beskrivning	Verksamhetsexempel
Verksamhetsklass 1	• God lokalkännedom • Förväntas vara vakna • Kan sätta sig själv i säkerhet	• Industrilokaler • Lager • Kontor
Verksamhetsklass 2	• Förväntas inte ha en god lokalkännedom • Kan sätta sig själv i säkerhet • Förväntas vara vakna Gäller för 2A, 2B och 2C	• Samlingslokaler
Verksamhetsklass 2A	Specifikt för 2A • Lokaler som avser att rymma mindre än 150 personer	• Skolor • Butiker • Konferensanläggningar • Vårdcentraler • Hörsalar
Verksamhetsklass 2B	Specifikt för 2B • Lokaler som får rymma mer än 150 personer	• Biografer • Aulor • Restauranger • Sporthallar
Verksamhetsklass 2C	Specifikt för 2C • Lokaler som får rymma mer än 150 personer och där alkohol serveras i en större befattning	• Diskotek • Nattklubbar • Pubar
Verksamhetsklass 3	• Förväntas ha en god lokalkännedom • Kan sätta sig själv i säkerhet • Förväntas inte vara vakna Gäller för 3A och 3B	• Bostäder
Verksamhetsklass 3A		• Vanliga bostadslägenheter • Trygghetsboenden • Fritidsbostäder
Verksamhetsklass 3B		• Vårdhem • Hem för ensamkommande flyktingbarn
Verksamhetsklass 4	• Förväntas inte ha en god lokalkännedom • Kan sätta sig själv i säkerhet • Förväntas inte vara vakna	• Hotell • Vandrarhem • Andra tillfälliga boenden

Verksamhetsklass 5	• Begränsad eller ingen möjlighet att sätta sig själv i säkerhet Gäller för 5A, 5B, 5C och 5D	• Vårdmiljöer
Verksamhetsklass 5A	Specifikt för 5A • Lokaler avsedda för verksamhet dagtid (även liknande verksamhet nattetid)	• Förskolor • Dagverksamhet
Verksamhetsklass 5B	Specifikt för 5B Boenden för människor med: • Psykisk sjukdom • Fysisk sjukdom • Funktionsnedsättning • Utvecklingsstörning • Demens	• Öppna LVM- boenden • Öppna LVU- boenden
Verksamhetsklass 5C	Specifikt för 5C • Hälso- och sjukvård	• Sjukhus
Verksamhetsklass 5D	Specifikt för 5D • Lokaler för människor som är inlåsta	• Häkten • Fängelser • Anstalter • Psykiatrianstalter • LVM- boenden • LVU- boenden • LSU- boenden
Verksamhetsklass 6	• Lokaler där det finns större risk för brand • Där branden sprider sig snabbt och omfattande • Lokaler med lättantändligt material	• Kvarnar • Pappersindustri • Textilindustri • Produktionsindustri inom jordbruk • Lokaler för yrkesmässig bearbetning av trä

3.6 Byggnadsklasser (Br)

Enligt BBR (2011:6) ska en byggnad delas in i lämplig byggnadsklass (Br), vilken är beroende av om skyddsbehovet kan antas vara: *mycket stort, stort, måttligt* eller *litet*. Bedömningen av skyddsbehovet ska göras på basis av troliga brandförlopp, möjliga konsekvenser vid brand och komplexiteten av byggnaden.

Nedan följer en tabell som sammanfattar de allmänna råden kring vilka byggnader och verksamhetsklasser som bör ingå i vilken byggnadsklass. Eftersom de olika verksamhetsklasserna kan förekomma i olika byggnadsklasser ska tabell A.2 studeras noggrant så att rätt byggnadsklass väljs.

Tabell A.2 Byggnadsklasser. Baserad på BFS 2011:6.

Byggnadsklass	Skyddsbehov	Byggnadstyper som ingår
Br0[1]	Mycket stort	• Byggnader med fler än 16 våningar • Vissa typer av samlingslokaler[2] • Större byggnader i Vk5C • Byggnader i Vk5D
Br1	Stort	• Byggnader med tre eller fler våningar • Vissa typer av samlingslokaler[3] • Vissa byggnader med två våningar[4]
Br2	Måttligt	• Småhus med högst tre våningsplan Byggnader med två våningsplan: • som har fler än två lägenheter där bostäder även finns i vindsplanet • med en byggnadsarea på mer än 200 m² som inte delas in i brandsektioner • med samlingslokaler i Vk2B eller 2C i bottenvåningen • Vissa byggnader med ett våningsplan[5, 6]
Br3	Litet	• Övriga byggnader som inte nämnts kan utformas i Br3

[1] Kommer inte behandlas, analytisk dimensionering.

[2] Avser lokaler i Vk2B som inte ligger på bottenplan och som rymmer fler än 1000 personer, lokaler i Vk2C som ligger i bottenplan och som rymmer fler än 600 personer, lokaler i Vk2C som inte ligger i bottenplan och som rymmer fler än 300 personer.

[3] Samlingslokaler på andra våningen i Vk2B och 2C

[4] Byggnader med två våningsplan avsedda för Vk4, 5A, 5B och 5C.

[5] Samlingslokaler i Vk2B och 2C i bottenvåningen eller under bottenvåningen.

[6] Bostäder och lokaler i Vk5B eller 5C

3.7 Brandbelastning vid förenklad dimensionering

Brandbelastning definieras, enligt BBR (BFS 2011:6) som mängden brännbart material per golvarea i en brandcell. Brandbelastning behövs i vissa fall för att bestämma avskiljande funktion i Br1-byggnader samt för att bestämma brandmotstånd.

För att bestämma dimensionerande brandbelastning vid förenklad dimensionering bör Boverkets allmänna råd om brandbelastning, BBRBE (BFS 2013:11), användas. Genom att studera tabellen nedan går det att se att de flesta fall går in under brandbelastningen $f \leq 800$ MJ/m^2.

Tabell A.3 Brandbelastning vid förenklad dimensionering. Baserad på BFS 2013:11.

Brandbelastning f (MJ/m^2)	Verksamhet
$f \leq 800$	• Biografer, restauranger och teater i Vk2 • Kontor i Vk2 • Lokaler i Vk5 • Personbilsgarage* • Skolor och livsmedelsbutiker i Vk2A och 2B • Utrymmen i Vk3, 4 och 5B
$f \leq 1600$	• Galleria och shoppingcenter i Vk2A och 2B
$f > 1600$	• Arkiv* • Bibliotek* • Lager* • Utrymmen i verksamhetsklass 6

*oberoende av verksamhetsklass

3.8 Vindsbjälklag som avskiljande konstruktion

Enligt BBR (BFS 2011:6) ska byggnader delas in i brandceller så att ett tillfredsställande skydd mot spridning av brand och brandgas erhålls. Brandcellerna ska separeras med en avskiljande konstruktion. Kravet på avskiljande förmåga beror på verksamhetsklass, byggnadsklass och brandbelastning. Om vindsbjälklaget är en avskiljande konstruktion ska denna kunna upprätthålla skyddet mellan brandceller så att brandspridning inte förekommer inom erfordrad tid, det vill säga branden ska inte kunna spridas från en brandcell till en annan via vindsbjälklaget under det gällande tidskravet.

Det finns specifika krav gällande avskiljande förmåga som är beroende på verksamhetsklass, vilka presenteras nedan i tabell A.3. Dessa krav är alltså oberoende av vilken byggnadsklass byggnadsdelen ingår i. Exempelvis så ska den avskiljande funktionen för bostäder i ett flerbostadshus uppfylla kravet EI60 oavsett om byggnaden ingår i Br1 eller Br2.

Tabell A.4 Särskilda förutsättningar på avskiljande förmåga. Baserad på BFS 2011:6.

Verksamhetsklass	Beskrivning	Avskiljande förmåga
3A	Lägenheter ska utföras som egna brandceller. Den avskiljande konstruktionen mellan lägenheter ska minst ha en avskiljande förmåga på EI60.	EI60
3B	Varje rum ska en avskiljande konstruktion i lägst EI30. En grupp av boenderum (max sex personer) ska vara en egen brandcell som ska hålla minst EI60.	EI30, EI60
4	Rum utförs som egna brandceller. Avskiljande konstruktion ska minst konstrueras i EI60.	EI60
5B	Lägenheter ska utformas som egna brandceller.	EI60
6	Lokaler ska utformas med avskiljande konstruktion.	EI60

Där inga specifika krav ställs enligt tabell A.4 så finns generella krav om vindsbjälklaget ska fungera som en avskiljande konstruktion, vilka beror på byggnadsklass.

- För avskiljande konstruktion i Br1 ska tabell A.5 följas, där den dimensionerande brandbelastningen hämtas från tabell A.3.
- Ingår byggnadsdelen i Br2 eller Br3 gäller lägst kravet EI30.

Tabell A.5 Krav på brandcellsavskiljande byggnadsdelar i Br1 - byggnader. Baserad på BFS 2011:6.

Byggnadsdel	Brandbelastning f (MJ/m^2) med avseende på brandteknisk klass		
	$f \leq 800$	$f \leq 1600$	$f > 1600$
Bjälklag som är belägen över källare och avskiljande konstruktioner	EI60	EI120 (EI60*)	EI240 (EI120*)

*För byggnader som är utrustade med sprinklersystem

3.9 Skydd mot brandspridning från vindsutrymmen

I BBR (2011:6) står det att vindsutrymmen ska utformas så att skyddet mot brandspridning mellan brandceller upprätthålls samt så att en omfattande brandspridning begränsas. I de allmänna råden nämns att:

- risken för att en brand sprids från fönster via takfoten till vinden, som utgör en annan brandcell, bör begränsas. En möjlig lösning är att takfoten utförs med avskiljande förmåga i lägst EI 30.
- vinden bör delas in i brandceller på maximalt 400 m^2 med avskiljande förmåga i lägst klass EI 30 om vind och underliggande plan utgör skilda brandceller. I Br1-byggnader bör, utöver tidigare nämnda indelning, vinden även delas in i brandceller på maximalt 1200 m^2 med avskiljande funktion i lägst klass EI 60. (BFS 2011:6)

I BBR finns även krav på skydd mot brandspridning från intilliggande tak, vilket innebär att en brand inte ska kunna spridas från ett intilliggande tak till en högre belägen brandcell. Två lösningar som nämns i de allmänna råden är att:

- det intilliggande taket, det vill säga det lägre belägna taket, på ett avstånd av mindre än åtta meter från ytterväggen ges ett brandmotstånd på REI 60.
- det intilliggande taket, det lägre belägna taket, kan också ges ett brandmotstånd motsvarande REI 30 om samtliga närliggande brandceller har avskiljande förmåga och bärförmåga i 30 minuter.

3.10 Brandsäkerhetsklass

Enligt EKS 10 (BFS 2015:6) ska byggnadsdelar delas in i brandsäkerhetsklasser vilka är grundade på risken för personskador vid möjlig kollaps av byggnadsdelen under ett brandförlopp. I bedömningen ska risken för att utrymmande personer eller räddningspersonal vistas i området vägas in. Hänsyn ska också tas till de sekundära effekter som kan uppstå, såsom fortskridande ras till andra delar av den bärande konstruktionen. Hur påverkan på utrymnings- och insatsmöjligheter ser ut ska även bedömas. Brandsäkerhetsklassen krävs för att sedan kunna bestämma brandteknisk klass, det vill säga vilket brandmotstånd (R) som ska uppfyllas.

Brandsäkerhetsklasserna delas in på följande sätt:
Brandsäkerhetsklass 1 - **Ringa** risk för personskada vid kollaps av byggnadsdel.
Brandsäkerhetsklass 2 - **Liten** risk för personskada vid kollaps av byggnadsdel.
Brandsäkerhetsklass 3 - **Måttlig** risk för personskada vid kollaps av byggnadsdel.
Brandsäkerhetsklass 4 - **Stor** risk för personskada vid kollaps av byggnadsdel.
Brandsäkerhetsklass 5 - **Mycket stor** risk för personskada vid kollaps av byggnadsdel.

I de allmänna råden i EKS 10 finns tabeller som ger exempel på lämplig indelning vilken främst beror på byggnadsklass, byggnadsdelens funktion, säkerhetsklass samt i vissa fall verksamhetsklass. Tabellerna ger exempel på vilken brandsäkerhetsklass som bärverk i olika säkerhetsklasser bör ha men specificerar inte alltid vilka typer av bärverk som bör inkluderas utan använder det relativt odefinierade begreppet *"vissa bärverk i säkerhetsklass X"*. De säkerhetsklasser som hänvisas till återfinns i EKS 10 (BFS 2015:6, (a)) och används vid dimensionering med hjälp

av partialkoefficientmetoden i brottgränstillståndet. Det finns tre säkerhetsklasser och byggnadsdelar ska hänföras till en av dem beroende på risken för allvarliga personskador vid brott.

Enligt Thor (2012) så ska en viss försiktighet tillämpas vid att direkt överföra säkerhetsklasserna från dimensionering i brottgränstillståndet till brandlastfallet. Han menar att bedömningen för bestämning av brandsäkerhetsklass bör grunda sig på vilka konsekvenser som uppstår vid kollaps av byggnadsdelen med de lasteffekter som gäller vid brand. Han förtydligar detta med ett exempel där en takstol i en idrottshall med stor spännvidd behandlas. Vid en dimensionering i brottgränstillståndet bör en sådan takstol hänvisas till säkerhetsklass 3 då en plötslig kollaps skulle innebära stor fara för många människors liv men vid brand kommer inte denna takstol att kollapsa oförutsett utan det kommer inträffa efter en viss brandpåverkan. När detta brott på grund av brand uppkommer så kommer det inte finnas någon möjlighet för människor eller räddningspersonal att befinna sig i skadeområdet, därmed är risken för personskada i brandfallet mindre än vid brottgränsfallet. Att kopplingen mellan säkerhetsklass och brandsäkerhetsklass ska användas med omdöme bekräftas även av Lovén et al. (2017) som menar att konstruktören av byggnaden ska vara med i diskussionerna då valet av brandsäkerhetsklass inte kan anses vara självklart.

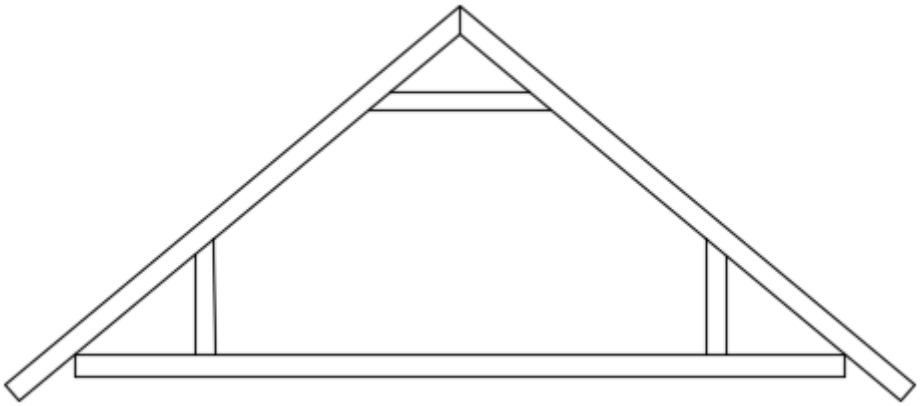
Observera att olika delar av takstolen kan ha olika brandsäkerhetsklasser; om exempelvis vindsbjälklaget ses som en avskiljande konstruktion kan underramen hänvisas till en högre brandsäkerhetsklass. Om en del av konstruktionen har ett krav på en avskiljande funktion ska nedanstående tabell användas för att bestämma dess brandsäkerhetsklass.

Tabell A.6 Brandsäkerhetsklass för avskiljande konstruktion. Baserad på BFS 2015:6.

Brandsäkerhetsklass	Exempel på bärverk som krävs för att upprätthålla avskiljande konstruktion (gäller för brandbelastning ≤ 800 MJ/m^2)
1	-
2	Bärverk som krävs för att upprätthålla avskiljande konstruktion motsvarande brandteknisk klass EI15
3	Bärverk som krävs för att upprätthålla avskiljande konstruktion motsvarande brandteknisk klass EI30
4	Bärverk som krävs för att upprätthålla avskiljande konstruktion motsvarande brandteknisk klass EI60
5	Bärverk som krävs för att upprätthålla avskiljande konstruktion motsvarande brandteknisk klass EI90

3.10.1 Brandsäkerhetsklass för Br1-byggnader

Lovén et al. (2017) beskriver i Brandskyddshandboken gällande takkonstruktioner i Br1 - byggnader att bärverk i yttertakskonstruktioner kan hänvisas till brandsäkerhetsklass 1 eller 3 beroende på vad vinden ska utnyttjas till. Dessa lägre brandkrav kan tillämpas om det inte finns någon särskild risk för att bärverket vid brand kan falla ner utanför fasadlivet och därmed medföra skador på personer och räddningspersonal. Enligt praxis så anses en sådan särskild risk inte föreligga om bärverket skär vindsbjälklagets ytterkant och lutar sig inåt byggnaden i en vinkel på högst 45°. Finns det exempelvis en takkupa går denna praxis inte att tillämpa då den inte skär bjälklagets ytterkant. Vid dessa förutsättningar kan bärverk till takkonstruktioner där vinden ska innehålla bostads-och kontorslägenheter hänvisas till brandsäkerhetsklass 3. Om vindsutrymmet är oinrett eller utnyttjas som förråd eller fläktrum kan brandsäkerhetsklass 1 användas. Det kan dock ställas krav på avskiljande funktion som är högre än det som ställs på den bärande funktionen vilket på så sätt gör att brandkravet på bärförmågan på vissa delar ökar. Nedan presenteras ett exempel på en yttertakskonstruktion som kan anses uppfylla kravet gällande att det inte föreligger risk för nedfall utanför fasadliv.



Figur 1 Takkonstruktion som uppfyller praxis för lägre brandsäkerhetsklass i Br1 - byggnader

I tabell A.6 presenteras indelningen i brandsäkerhetsklasser för byggnadsdelar i Br1-byggnader enligt EKS 10 (BFS 2015:6).

Tabell A.7 Brandsäkerhetsklass för Br1-byggnad. Baserad på BFS 2015:6.

Brandsäkerhetsklass	Exempel på byggnadsdelar i en Br1- byggnad
1	● Vissa bärverk i säkerhetsklass 1 ● Takfot i byggnader med upp till fyra våningsplan ● Icke-bärande innervägg.
2	-
3	● Trapplan och trapplopp som utgör utrymningsväg ● Balkong utan gemensamt bärverk.
4	● Vissa bärverk i säkerhetsklass 2 ● Bjälklag i byggnader med upp till åtta våningsplan ● Vissa bärverk i säkerhetsklass 3 i byggnad med högst fyra våningsplan.
5	● Vissa bärverk i säkerhetsklass 3 i byggnad med fem eller fler våningsplan.

3.10.2 Brandsäkerhetsklass för Br2-byggnader

I EKS 10 (BFS 2015:6) återfinns allmänna råd för bestämning av brandsäkerhetsklass i Br2-byggnader. Den beskriver att bärverksdelar som inte är belägna under översta källarplanet inte kan hänvisas till högre klass än brandsäkerhetsklass 3, vilket gör att nedanstående tabell endast presenterar upp till och med denna.

Tabell A.8 Brandsäkerhetsklass för Br2-byggnad. Baserad på BFS 2015:6.

Brandsäkerhetsklass	Exempel på byggnadsdelar i en Br2- byggnad
1	• Bland annat vissa bärverk i säkerhetsklass 1 och takfot. • Sekundärbärverk såsom åsar, fribärande takplåtar och dylikt som inte är stomstabiliserande. • Bärverk som tillhör byggnadens huvudsystem, som inte är belägna under översta källarplanet, och som vid kollaps inte leder till en total kollapsad area* större än 300 m² i byggnader med Vk1 eller 150 m² i byggnader med Vk2. • Som alternativ till tillåten kollapsad area kan huvudsystem med en spännvidd ≤ 30 m i Vk1 respektive takstolar med en spännvidd ≤ 15 m i Vk2. Detta förutsätter dock att eventuella sekundärbärverk inte har större spännvidder än vad som här anges. • Sekundärbärverk i takkonstruktionen med stomstabiliserande funktion, under förutsättning att konstruktionen förblir stabil även när takplåt, takåsar eller liknande har kollapsat i två intilliggande fack på en sträcka av halva takfallet, dock ≤ 15 meter. Sekundärbärverket utanför det kollapsade området kan ses som opåverkat av brandlasten när stomstabiliteten kontrolleras.
2	-
3	• Bärverk som tillhör byggnadens huvudsystem.

*Med kollapsad area avses för en pelare hela den arean som de byggnadsdelar, vilka pelaren bär upp, tar last ifrån. För en takstol betyder det hela sträckan bort till takstolens andra upplag respektive hela sträckan bort till intilliggande takstolar på ömse sidor om den av pelaren uppburna takstolen. För övriga bärverksdelar beräknas kollapsad area på motsvarande sätt.

3.10.3 Brandsäkerhetsklass för Br3-byggnader

I EKS 10 (BFS 2015:6) återfinns allmänna råd för bestämning av brandsäkerhetsklass i Br3-byggnader. Den beskriver att bärverksdelar som inte är belägna under översta källarplanet inte kan hänvisas till högre klass än brandsäkerhetsklass 2, vilket gör att nedanstående tabell endast presenterar upp till och med denna.

Tabell A.9 Brandsäkerhetsklass för Br3-byggnader. Baserad på BFS 2015:6.

Brandsäkerhetsklass	Exempel på byggnadsdelar i en Br3- byggnad
1	Bärverk i Br3- byggnader som inte klassas som brandsäkerhetsklass 2-5 i denna tabell.
2	Bärverk som tillhör byggnadens huvudsystem i bostadshus.

3.11 Brandmotstånd med avseende på bärförmåga

Vid branddimensionering av träkonstruktioner kan olika metoder användas för att avgöra om brandskyddet är tillräckligt; *nominell brand* (standardbrand) där klassificeringssystemet tar hänsyn till omständigheterna och osäkerheterna eller *parametriskt brandförlopp* (naturligt brandförlopp) där de fysiska parametrarna inne i brandcellen används för att beräkna brandförloppet (SS-EN 1991-1-2, SS-EN 1995-1-2). Eftersom beräkningsmetoderna vid ett naturligt brandförlopp många gånger inte är tillräckligt utvecklade för att kunna användas vid branddimensionering av träkonstruktioner används vanligtvis standardbrand (Svenskt Trä, 2016). Ovanstående gör att lathunden endast kommer behandla de krav som ställs vid branddimensionering enligt klassificering (standardbrand). Kraven på brandmotstånd gällande bärförmåga för byggnadsdelen då branddimensionering med beräkningsmetoden för standardbrand används återfinns i EKS 10 (BFS 2015:6).

I tabell A.10 kan brandmotstånd med avseende på bärighet bestämmas, vilket är beroende på tidigare bestämd brandsäkerhetsklass samt brandbelastning som går att hitta i tabell A.5. Enligt EKS 10 (BFS 2015:6) kan dock den dimensionerande brandbelastningen f≤ 800 MJ/m^2 användas utan särskild utredning för *bostads-och kontorslägenheter, skolor, hotell, personbilsgarage, livsmedelsbutiker, lägenhetsförråd och jämförbara brandceller.*

Tabell A.10 Brandmotstånd i bärande avseende. Baserad på BFS 2015:6.

Brandsäkerhetsklass	Brandteknisk klass vid brandbelastning f (MJ/m^2)		
	f≤ 800 MJ/m^2	f≤1600 MJ/ m^2	f> 1600 MJ/m^2
1	0	0	0
2	R15	R15	R15
3	R30 (R15*)	R30 (R15*)	R30 (R15*)
4	R60	R120 (R90*)	R180 (R120*)
5	R90 (R60*)	R180 (R120*)	R240 (R180*)

*Vid installation av automatisk vattensprinkleranläggning utförd enligt avsnitt 5:252 och 5:2521 i Boverkets byggregler (2011:6)

4 Dimensioneringsmetoder för takstol i trä vid brand enligt Eurokod och EKS

I detta avsnitt kommer de dimensioneringsmetoder som gäller för brandteknisk dimensionering av träkonstruktioner av konstruktionsvirke att beskrivas. Avsnittet börjar med en presentation av vilka normer och regelverk som är relevanta. Eftersom en takstol består av både konstruktionsvirke och spikplåtar av stål kommer tillvägagångsätt för branddimensionering med avseende på bärförmåga av respektive material att presenteras. Det resonemang som kommer föras framöver i studien utgår ifrån att en takstols standardbredd är 45 mm.

4.1 Innefattande normer och regelverk

Vid dimensionering av bärförmåga för en brandexponerad takstol ingår ett flertal Eurokoder samt EKS. EKS beskriver de nationella val som har gjorts vid tillämpning av Eurokoderna. Eftersom en takstols ingående material är konstruktionsvirke och spikplåtar av stål används följande Eurokoder:

- SS-EN 1995-1-1, Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner - Del 1-1.
  Denna Eurokod beskriver de allmänna gemensamma reglerna för byggnader, här hittas bland annat de karakteristiska värdena som är grundläggande vid dimensionering samt hur dimensioneringsmetodiken ser ut. Dimensioneringen av bärförmåga vid brand grundar sig på många av de uttryck som återfinns här.

- SS-EN 1995-1-2, Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner - Del 1-2.
  Här återfinns förutsättningarna för brandteknisk dimensionering av träkonstruktioner, där metoder för att analysera bland annat bärförmåga vid brand presenteras.

För att kunna avgöra vilka laster som ska innefattas samt hur lastkombinationen ska se ut används följande Eurokoder:

- SS-EN 1990, Eurokod 0: Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk.
  Här återfinns de grundläggande reglerna för laster och lastkombinationer, bland annat för exceptionella dimensioneringssituationer (olycklast) där brand inräknas.

- SS-EN 1991-1-2, Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-2.
  Denna Eurokod presenterar hur laster ska behandlas vid termisk och mekanisk verkan av brand där bland annat regler kring vilka laster som ska medräknas återfinns.

4.2 Dimensioneringsmetodik för bärverk i konstruktionsvirke

Enligt SS-EN 1995-1-2 ska ett bärverk kunna upprätthålla sin bärförmåga under avsedd brandexponeringstid och vid dimensionering enligt standardbrandkurvan antas detta vara uppfyllt om bärförmågan bibehålls under den tid som kravet anger. Vid användning av standardbrandkurvan anses det vara tillräckligt att göra analys av enskilda virkesdelar för att validera bärförmågan.

För att bevisa att den krävda brandvaraktigheten (t) är uppfylld ska nedanstående krav tillgodoses:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}$$

$E_{d,\,fi}$ Dimensionerande lasteffekt vid brand

$R_{d,t,\,fi}$ Dimensionerande bärförmåga vid brand

Tillvägagångssättet för att branddimensionera konstruktionsvirke kan beskrivas kortfattat på följande sätt:

1. Bestäm dimensionerande laster enligt metoden i 4.3.1.
   Beräkna lasteffekten ($E_{d,\,fi}$), exempelvis det belastande momentet.
2. Använd någon av de förenklade metoderna, vilka reducerar tvärsnittet på olika sätt, som beskrivs i 4.4.
3. Beräkna den relevanta hållfastheten ($f_{d,\,fi}$), exempelvis böjhållfastheten, för träet vid brandexponering som presenteras i avsnitt 4.5, beräkningarna ser olika ut beroende på vilken av metoderna i 4.4 som har använts.
4. Beräkna dimensionerande bärförmåga enligt ordinarie dimensioneringsregler men med tvärsnittsmått och hållfasthet enligt punkt 2 och 3 ovan.
5. Se om tidigare nämnda krav uppfylls: $E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}$

4.3 Dimensionerande laster vid brand

I SS-EN 1991-1-2 beskrivs vilka laster som ska ingå vid dimensionering för brand där ett antal viktiga punkter nämns:

- Alla laster som ingår vid normaltemperatur ska medräknas i brandfallet.
- Nyttiga laster ska ej reduceras på grund av förbränning.
- Vid snölast där smältning kan antas ska en individuell bedömning göras.
- Att andra oberoende olyckslaster kan inträffa samtidigt som brandlasten, exempelvis att en lastbil kör in i byggnaden samtidigt som det brinner, behöver inte tas hänsyn till.
- Beroende på olyckssituation kan ytterligare laster som uppkommer på grund av branden behöva beaktas, såsom nedfallande delar på andra konstruktioner.

Det finns två olika metoder för att ta fram en relevant lastkombination för brandlastfallet, där den ena utgår från en exceptionell dimensioneringssituation (olyckslast) enligt SS-EN 1990 och den andra utgörs av förenklade regler där lastfallet i brottgränstillståndet reduceras med hjälp av en reduktionsfaktor. Den förstnämnda, det vill säga olyckslast enligt SS-EN 1990, kan anses vara den grundläggande metoden medan de förenklade reglerna enbart kan användas där inga tvångskrafter på grund av brand särskilt behöver beaktas (SS-EN 1991-1-2). Tvångskrafter kan uppstå på grund av temperaturrörelser vid termisk last och kan behöva beaktas vid infästningar med hjälp av ståldetaljer (Träguiden, 2014). Detta kan behöva tas hänsyn till då en takstol består av både trä och stål.

Nedan kommer den grundläggande metoden, det vill säga olyckslast enligt EN 1990, att beskrivas mer ingående. De förenklade reglerna med reduktionsfaktor presenteras i Bilaga B för den som vill läsa mer.

4.3.1 Olyckslast enligt SS-EN 1990

I SS-EN 1990, som beskriver de grundläggande dimensioneringsreglerna för bärverk, återfinns den primära lastkombinationen som ska användas vid branddimensionering, som är kombinationen för exceptionella laster (olyckslaster). Vid exceptionella dimensioneringssituationer, det vill säga vid dimensionering för olyckslast, bör dessa antingen:

- Innehålla en uttrycklig olyckslast (brand eller påkörning)
- Förbindas med en situation efter en olyckshändelse, det vill säga A = 0

Enligt SS-EN 1991-1-2 så kan lasteffekterna bestämmas för enbart t = 0 om inga indirekta tvångskrafter som uppstår vid brand särskilt behöver ta hänsyn till. Antagandet är då att lasteffekterna är konstanta under hela brandförloppet.

Nedan presenteras den aktuella lastkombinationen och dess ingående parametrars betydelse. Observera att addition mellan de olika lasterna inte alltid är möjlig, plus-tecknen ska ses som att lasterna ska kombineras. Notera att partialkoefficienter (γ) inte står med, detta beror på att dessa sätts till 1,0.

$$E_{d,fi} = \sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \Psi_1 \times Q_{k,1} + \sum_{i>1} \Psi_{2,i} \times Q_{k,i} \qquad (6.11b)$$

$E_{d,fi}$ Det dimensionerande värdet på lasteffekten i brandlastfallet vid tiden (t) minuter.

$G_{k,j}$ Det karakteristiska värdet på den permanenta lasten j. Flera permanenta laster, såsom egentyngder, kan alltså finnas och ska summeras.

P Spännkraft, behöver vanligtvis inte tas hänsyn till vid dimensionering av trä.

A_d Olyckslastens dimensionerande värde. I SS-EN 1990, s. 42 står att: "*För brandsituationer bör A_d representera dimensioneringsvärdet för den indirekta effekten av den termiska lasten orsakad av brand, utom för temperatureffekter på materialegenskaperna.*" Enligt Thor (2012) är denna definitionen ganska otydlig men bör kunna tolkas som eventuella tilläggskrafter, både positiva och negativa, som uppstår på grund av inspänningseffekter i angränsande byggnadsdelar, exempelvis tryckkrafter som uppstår vid förhindrad längdutvidgning. Enligt SS-EN 1991-1-2 behöver dock inte tvångskrafter som uppkommer från intilliggande konstruktionsdelar beaktas om brandkraven utgår från en standardbrand. A_d bör därför i de flesta fall kunna sättas till 0.

$\Psi_1 \times Q_{k,1}$ Den största samverkande variabla lastens karakteristiska värde som multipliceras med faktorn för frekvent värde, vilket är ett nationellt val enligt EKS 10 (BFS 2015:6).

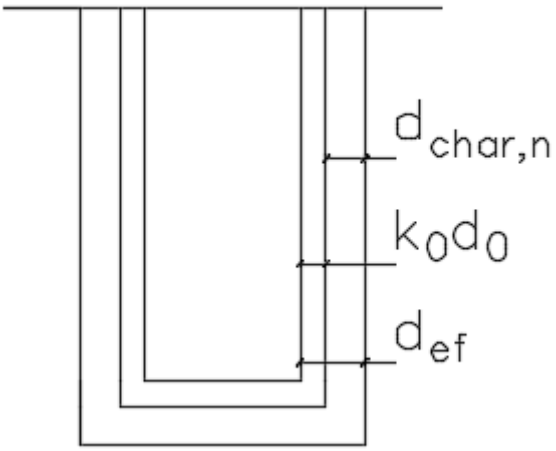
$\Psi_{2,i} \times Q_{k,i}$ Karakteristiska värden på övriga variabla laster vilka multipliceras med faktorn för kvasipermanentvärde, vid flera variabla laster summeras dessa.

4.4 Dimensionering av bärförmåga - förenklade metoder för bestämning av tvärsnittsegenskaper

I SS-EN 1995-1-2 finns det två olika metoder för att bestämma tvärsnittsegenskaperna vid en brandsituation: metoden med reducerat tvärsnitt och metoden med reducerade egenskaper. Den förstnämnda är den som enligt normen rekommenderas att användas medan den andra är förbehållen för barrträ med rektangulära tvärsnitt som exponeras för brand från tre eller fyra sidor samt för cirkulära tvärsnitt som exponeras kring hela omkretsen. Båda metoderna kan användas vid dimensionering av konstruktionsvirke och kommer därför att presenteras i detta avsnitt.

4.4.1 Metoden med reducerat tvärsnitt

Denna metod bygger på att det ursprungliga tvärsnittet reduceras med ett effektivt förkolningsdjup (d_{ef}). Metoden grundar sig på antagandet att det innanför det faktiska förkolningsdjupet ($d_{char,n}$) finns ett skikt ($k_0 \times d_0$) som kan antas sakna sin hållfasthet och styvhet medan tvärsnittet innanför dessa två skikt är opåverkat av branden.



Figur 2 Illustration av vad de olika parametrarna innebär vid metoden med reducerat tvärsnitt.

Den grundläggande formeln för metoden med reducerat tvärsnitt presenteras nedan.

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \times d_0$$

d_{ef} Det effektiva förkolningsdjupet, vilket ska subtraheras från det ursprungliga tvärsnittet.

$d_{char,n}$ Det ekvivalenta förkolningsdjupet. Formel för denna beskrivs längre ner i avsnittet.

k_0 En faktor som grundar sig på brandexponeringstiden (t). Värdet hittas i tabell B.1.

d_0 = 7 mm

Tabell B.1 k_0 för oskyddade ytor. Baserad på SS-EN 1995-1-2.

	k_0
t < 20 minuter	t/20
t ≥ 20 minuter	1,0

Det finns två olika metoder för att beräkna förkolningsdjupet (d_{char}) där den ena bygger på endimensionell förkolning ($d_{char,0}$) medan den andra som kallas ekvivalent förkolning ($d_{char,n}$) även tar hänsyn till avrundning i hörn och eventuella sprickor. För att få använda den endimensionella metoden finns krav på ett minsta mått på det ursprungliga tvärsnittets bredd (b_{min}). Dessa krav kommer inte att presenteras här då antagandet kan göras att det krävs en större ursprunglig bredd på tvärsnittet än vad konstruktionsvirke har, vilket gör att endast beräkningsgång av det ekvivalenta förkolningsdjupet ($d_{char,n}$) kommer att redogöras för nedan.

Ekvivalent förkolningsdjup ($d_{char,n}$) för oskyddad konstruktionsdel:

$$d_{char,n} = \beta_n \times t$$

$d_{char,n}$ Det ekvivalenta dimensionerande förkolningsdjupet, vilken tar hänsyn till rundning i hörn.

β_n= 0.8 Den ekvivalenta förkolningshastigheten, för massivt trä med karakteristisk densitet ≥ 290 kg/m^3, som tar hänsyn till rundning i hörn och eventuella sprickor.

t brandexponeringstiden i minuter.

4.4.2 Metoden med reducerade egenskaper

Följande metod kan endast användas på rektangulära tvärsnitt av barrträd vilka exponeras för brand på tre eller fyra sidor.

För att beräkna resttvärsnittet används tidigare nämnda beräkningssätt för att få fram ekvivalent förkolningsdjup ($d_{char,n}$).

Samma resonemang som belystes i föregående avsnitt gällande val mellan endimensionell respektive ekvivalent förkolning gäller här, det vill säga att konstruktionsvirkets minsta bredd är för liten för att uppfylla kraven för endimensionell förkolning vilket gör att den ekvivalenta förkolningshastigheten (β_n) används.

Observera att det vid denna metod inte är det effektiva förkolningsdjupet (d_{ef}) som används utan endast det ekvivalenta förkolningsdjupet ($d_{char,n}$) som tas fram och sedan reduceras materialegenskaperna istället med hjälp av reduktionsfaktorn $k_{mod,\,fi}$. Detta kommer att presenteras i avsnitt 4.5.

4.5 Påverkan på träets hållfasthet på grund av brand

Vid brandexponering påverkas träets egenskaper i fråga om hållfasthet. Den dimensionerande hållfastheten tas fram på följande sätt:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \times \frac{k_{fi} \times f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$f_{d,\,fi}$ dimensionerande hållfasthet vid brand.

$k_{mod,\,fi}$ en faktor som betraktar reduceringen i hållfasthet och styvhet vid förhöjd temperatur, jämför med k_{mod} vid normaltemperatur. Denna kommer att presenteras detaljerat senare i 4.6.1. eftersom beräkningen skiljer sig åt beroende på vilken av de tidigare metoderna, metoden med reducerat tvärsnitt eller metoden med reducerade egenskaper, som har använts.

$k_{fi} = 1{,}25$ värde för massivt trä.

f_k det karakteristiska värdet på hållfastheten (5-procentsfraktilen).

$\gamma_{M,\,fi} = 1.0$ partialkoefficienten för trä.

4.5.1 Bestämning av $k_{mod,fi}$

Som nämnt i ovanstående avsnitt så skiljer sig bestämningen av $k_{mod,fi}$ beroende på vilken av de förenklade metoderna vid dimensionering av bärförmåga som använts. Hur värdet på $k_{mod,fi}$ tas fram för respektive metod presenteras nedan.

Förenklad dimensionering med reducerat tvärsnitt (4.4.1)
Vid förenklad dimensionering med reducerat tvärsnitt är $k_{mod,fi} = 1.0$

Förenklad dimensionering med reducerade egenskaper (4.4.2)
När metoden med reducerade egenskaper används så beräknas $k_{mod,fi}$ på följande sätt:

- För $t \geq 20$ min bestäms:

  $k_{mod,fi}$ för böjhållfasthet: $k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1}{200} \times \frac{p}{A_r}$ (1)

  $k_{mod,fi}$ för tryckhållfasthet: $k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1}{125} \times \frac{p}{A_r}$ (2)

  $k_{mod,fi}$ för draghållfasthet och elasticitetsmodul: $k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1}{330} \times \frac{p}{A_r}$ (3)

  p omkretsen av det brandexponerade resttvärsnittet (m).

  A_r tvärsnittsytan av resttvärsnittet (m^2).

- För $t = 0$ (för oskyddade och skyddade konstruktionsdelar)

  $k_{mod,fi} = 1.0$

- För tiden $0 \leq t \leq 20$ min (för oskyddade konstruktionsdelar)

  $k_{mod,fi}$ kan beräknas med hjälp av linjär interpolation, det vill säga interpolering mellan $k_{mod,fi} = 1.0$ (vid $t = 0$) och endera av uttrycken (1, 2 eller 3), vid $t = 20$ min.

4.6 Dimensionerande bärförmåga för spikplåtsförband vid brand

En takstols olika delar sätts samman med utanpåliggande spikplåtar, vilka pressas in i träet. Mitek AB är en tillverkare av spikplåtar och deras koncern är, enligt dem själva, världsledande inom utveckling och tillverkning av produkten (Mitek, u.å). Vid en genomgång av deras sortiment av spikplåtar noteras att den maximala spiklängden är 14 mm (Mitek, u.å (a), Mitek, u.å (b), Mitek, u.å (c)). I SS-EN 1995-1-2 beskrivs dimensioneringsregler vid brand för olika typer av förband och i denna görs en åtskillnad kring oskyddade respektive skyddade utanpåliggande spikplåtsförband.

4.6.1 Oskyddade spikplåtsförband

Enligt SS-EN 1995-1-2 så ska oskyddade utanpåliggande spikplåtar dimensioneras enligt SS-EN 1993-1-2, det vill säga Eurokoden för brandteknisk dimensionering av stålkonstruktioner, men i denna finns inget tillvägagångssätt för beräkning specifikt för detta fall, vilket belyses av Björkman (2012). Björkman har i sin masteruppsats analyserat spikplåtsförbandens bärförmåga vid brand både teoretiskt samt experimentellt med studieobjekt som till stor del kan liknas vid en takstol, där konstruktionsvirke med en bredd på 45 mm samt spikplåtar med korta spikar har studerats. Med hjälp av en teoretisk beräkning som grundade sig på de förenklade metoderna för branddimensionering av trä så kunde slutsatsen dras att förkolningsdjupet bör bli för stort för att spikarna ska kunna förankras i träet redan vid 15 minuter. Den experimentella studien visade att de oskyddade spikplåtsförbanden brast efter 11 minuter brandbelastning.

Även andra studier har gjorts kring oskyddade utanpåliggande stålförband, dock med andra förutsättningar gällande trämaterial och typ av förband. I en undersökning av Moss et al. (2009) studerades fanerträbalkar (LVL) som sammanfogades med bland annat utanpåliggande stålförband vilka fästes med genomgående bultar. I studien visades det att förbanden brast efter cirka 11 minuter. Frangi et al. (2010) har också gjort ett liknande experiment där det var limträ med utanpåliggande spikplåtar som undersöktes. I detta fall uppstod brott efter cirka 12 minuter.

Ovanstående studier har vissa likheter men även olikheter, såsom olika typer av trämaterial, förband samt lasteffekter, men vissa antaganden bör dock kunna göras utifrån dem. Det grundläggande antagandet kan anses vara att utanpåliggande oskyddade spikplåtsförband har väldigt låg bärförmåga vid brandexponering och eftersom det inte finns någon tydlig dimensioneringsmetod i Eurokoden är det rimligt att anta brandmotstånd R0.

4.6.2 Skyddade spikplåtsförband

Enligt SS-EN 1995-1-2 får utanpåliggande spikplåtar räknas som skyddade om de är helt täckta, inklusive kanterna, av trä eller träbaserad skiva. Tolkningen som görs gällande begreppet helt täckta är att alla fyra sidor kring förbandet måste skyddas. Reglerna gäller för förband vid exponering av en standardbrand samt för brandmotståndstider som inte överstiger 60 minuter. Den minsta tjocklek som krävs för den skyddande beklädnaden beräknas enligt nedanstående uttryck:

$$a_{fi} = \beta_n \times k_{flux} \times (t_{req} - t_{d,fi})$$

a_{fi} Minimum tjocklek på den skyddande träbeklädnaden (mm).

$\beta_n = 0.8$ Den ekvivalenta förkolningshastigheten, för massivt trä med karakteristisk densitet ≥ 290 kg/m^3.

$k_{flux} = 1.5$ Koefficient som tar hänsyn till den ökning av värmeströmning som sker genom förbindaren.

t_{req} Den fordrade brandmotståndstiden för standardbrand.

$t_{d,fi}$ Det oskyddade förbandets brandmotståndstid som i detta fall sätts till 5 min.

Den tjockleken som beräknas fram (a_{fi}) ska alltså garantera att förbandets bärförmåga upprätthålls under den erfordrade brandmotståndstiden (t_{req}).

5 Åtgärder för att öka brandmotstånd

I nedanstående avsnitt presenteras olika åtgärdsförslag som kan skydda takstolen, och därmed öka dess brandmotstånd, samt olika lösningar för takkonstruktionen i sin helhet. Det som är viktigt att poängtera är att det är viktigt att tänka på konstruktionen i sin helhet. Ett enskilt material kommer inte att kunna garantera ett högre brandmotstånd om exempelvis genomföringar inte utförs korrekt.

5.1 Åtgärder för att skydda takstolen

Nedan redovisas olika materials möjligheter att skydda takstolen och därmed ge konstruktionen ett högre brandmotstånd. Grundtanken med åtgärderna är att dessa ensamma ska kunna skydda takstolen under hela den föreskrivna brandmotståndstiden, utan hänsyn till eventuellt brandmotstånd hos själva takstolen.

5.1.1 Gips

Att klä in en konstruktionsdel i gips är en bra åtgärd eftersom det ger ett ökat brandskydd. En gipsskiva består utav ett lager av obrännbart gips täckt med fastlimmat papp där cirka 75% av skivan består utav ren gips och 25% består utav olika tillsatser såsom glasfibrer och vermiculite (som är ett material med god förmåga att absorbera och avge fukt). Tillsatserna förbättrar brandmotståndet och minskar risken för sprickbildning och krympning när skivan exponeras för värme. Gips innehåller ungefär 21% av sin egna vikt i kemiskt bundet vatten och även en viss mängd fritt vatten. När gipset har nått en temperatur på 80°C startar en nedbrytningsprocess med värme som drivkraft. Vid brand frigörs vattnet i gipset i form av vattenånga vilket sänker temperaturen och hämmar brandutvecklingen (Elewini et al. 2007).

Det har gjorts experiment på National Technical University of Athens där jämförelser mellan beklädnader av gips och träbaserat skivmaterial och deras brandskyddande egenskaper har studerats. Studien har inkluderat både lätta (träramar) och massiva träelement. Efter att det gjorts bland annat temperaturmätningar visade det sig att gipsskivor gav ett bättre brandskydd än vad det träbaserade skivmaterialet gjorde. I de delar av testutrymmet som täcktes av gipsskivor observerades inget brott eller någon förkolning på bakomliggande träelement efter en naturlig brand på 45 minuter. I testrummet fanns där även en fristående vägg som skyddades av ett träbaserat skivmaterial där väggen delvis föll ihop efter ungefär 35 minuter (Kolaitis et al. 2014).

Nedan följer ett urval av gipstyper som används för brandbeklädnad:

Gipsskiva typ A- *Är vanligt förekommande när gipsskivan ska kläs med någon form av beklädnad. Den går även att tillämpa på alla typer av invändiga tak och väggar.* (SS-EN520)

Gipsskiva typ F- *Skivor som består av mineralfibrer och/ eller andra tillsatser för att förbättra vidhäftningen i kärnan när skivan utsätts för höga temperaturer.* (SS-EN520)

Fireboard- *Detta är en specialskiva som är avsedd för brandbeklädnad av balkar och pelare. Dess kärna består av glasfiberarmerad specialgips som har ett ytskikt av glasfiberväv. Eftersom denna skivtypen har väldigt bra brandegenskaper klarar den alla typer av inklädnader där byggmåtten varierar* (Knauf, u.å).

Knauf- gruppen, som enligt dem själva är ledande byggvaruproducenter i Europa, har rangordnat sina olika typer av gipsskivor efter vilket brandmotstånd de olika skivorna har, vilka presenteras i tabellen nedan (Knauf, u.å (a)).

Tabell C.1 Knauf- gruppens gipsutbud. Baserad på Knauf, u.å (a).

Knaufs utbud	Skivtyp	Brandmotstånd
6,5 mm Reno Board	Typ A	8 minuter
12,5 mm Classic Board	Typ A	20 minuter
2x 12,5mm Classic Board	Typ A	30 minuter
15,5 mm Secura Board	Typ F	30 minuter
2x 15,5 Secura Board	Typ F	60 minuter
30 mm Fireboard		60 minuter

5.1.2 Träbeklädnad

I SS-EN 1995-1-2 nämns olika typer av skivmaterial och träpanel som kan förhöja en konstruktions brandmotstånd genom att skivorna förlänger tiden till att den bärande virkesdelen börjar förkolna. Östman och Boström (2015) har i sin studie undersökt olika träbeklädnaders förmåga att skydda underliggande material vid brand, vilka kan delas in i så kallade europeiska K-klasser. Enligt de europeiska kraven på K-klasser så ska temperaturen bakom beklädnaden inte överstiga 250 ℃, ingen förkolning ska uppkomma på bakomliggande material samt att större delar av den skyddande trämaterialet inte får falla ned. Syftet med K-klassificerade träprodukter är att skydda underliggande material, såsom att beskydda träkonstruktioner från att förkolna. Klasserna delas in i tre olika nivåer beroende på hur länge de kan anses uppfylla sin brandskyddande funktion; 10, 30 eller 60 min. I studien undersöktes spånskivor, plywood, OSB och träpanel. De slutsatser som kunde dras var att det avgörande för beklädnadens brandskyddande förmåga var dess tjocklek medan densiteten spelade en mindre roll. Exempelvis så har träbaserade skivor och träpanel med en tjocklek på minst 24-30 mm en brandskyddande förmåga i 30 minuter.

Enligt Östman (2016) har de europeiska K-klasserna blivit godkända inom det europeiska systemet och kommer att inkluderas i relevanta produktstandarder. Det bör även nämnas att det i Sverige sedan tidigare har funnits K-klasser men dessa har även ställt höga brandkrav på materialets ytskikt, vilket inte de nya europeiska K-klasserna beaktar.

Nedan presenteras en tabell med träbeklädnaders brandskyddande förmåga. Klassen för 10 minuter är borttagen eftersom det inte är ett vanligt förekommande brandkrav.

Tabell C.2 Träbeklädnaders brandskyddande förmåga. Baserad på Östman, 2016.

Brandskyddande förmåga (minuter)	Träprodukt	Skivtjocklek (mm)
30	Spånskiva Plywood OSB Massivträskiva Träpanel	*25* *24* *30* *26* *27*
60	Massivträskiva Träpanel	*52* *2 × 27*

5.1.3 Isoleringsmaterial

Mineralull är obrännbart och är därmed ett bra material för att brandskydda konstruktioner. Samlingsnamnet mineralull inbegriper både stenull och glasull varav stenull är den med högst smältpunkt (Vylund och Palmkvist, 2017). Enligt Paroc (2012) har deras stenull en smältpunkt på 1000 ℃ och bibehåller sina egenskaper fram till denna temperatur. I de konstruktionsexempel som Paroc presenterar visas lösningar med stenull i kombination med andra material, såsom gips -och spånskivor, som kan klara brandkrav från REI30 till REI60 med isoleringstjocklekar på mellan 95 och 120 mm. Enligt Vylund och Palmkvist (2017) är skrymdensiteten en viktig faktor gällande stenullens brandskyddande förmåga då en för låg skrymdensitet möjliggör för heta brandgaser att passera genom isoleringen och vidare till bärande konstruktionsdelar. Isoleringsmaterial i form av olika typer av cellplaster är däremot brännbara och kan smälta vid så låga temperaturer som 100 ℃.

5.1.4 Brandimpregnering

Genom att impregnera trä kan dess egenskaper förändras vid brandexponering. Faktorer som påverkas är till exempel tiden till antändning, flamspridning och värme- och rökutveckling. Det är främst mängden brännbara gaser som reduceras medan det bildas mer kol (Pouzette och Tsantaridis, 2016). Det finns dokumenterat att hållfasthetsegenskaper hos trä reduceras efter impregnering. Nedbrytningens drivkraft är miljöbetingad och beror till stor del av temperatur och luftfuktighet och gör att impregneringen förflyttar sig ut ur materialet vilket bidrar till en pH-förändring hos träet. Materialet blir då sprött och det kan i sin tur ha förödande effekter på exempelvis en impregnerad takstol. I South Carolina gjordes träprover på en impregnerad takstol där det visade sig att dess styvhet reducerades med 20 procent och dess böjhållfasthet med 40 procent. Utöver reduceringen av hållfasthetsegenskaper kollapsade dessa träprover plötsligt på grund av avsaknaden av seghet i materialet. Det är kemikalierna i impregneringen som reagerar med träets fibrer vilket gör att materialet blir sprött med tiden efter det att materialet har utsatts för ojämn temperatur (Hodgin, 2001).

5.1.5 Brandskyddsfärg

För att öka brandmotståndet hos en bärande konstruktionsdel i trä så finns möjligheten att måla denna med brandskyddsfärg. Brandskyddsfärgen fungerar vanligtvis genom att den sväller upp vid brandexponering, på så sätt isoleras träet och därmed fördröjs starttidpunkten för dess förkolning. Ett problem kan dock vara om skador uppkommer på färgskiktet då detta kan innebära att skyddet försämras (Pouzette och Tsantaridis, 2016).

Protega, som enligt sig själva är ledande inom vattenbaserad brandskyddsfärg i Sverige, erbjuder ett stort sortiment av produkter för passivt brandskydd, bland annat brandskyddsfärger för bärande träkonstruktioner som kan uppfylla R30 och R60 (Protega, u.å, Protega, 2006). Vid studie av dimensioneringstabeller kan det utläsas att Protegas minimibredd för att kunna använda brandskyddsfärg på konstruktionsvirke är 50 mm (Protega, 2006).

5.2 Lösningar för takkonstruktionen

I BBR (2011:6) ställs inte bara krav på takstolen i sig utan även på takkonstruktionen i stort. Eftersom takstolen utgör exempelvis ett vindsbjälklag är åtgärder som berör takkonstruktionen av relevans för denna studie. Nedan presenteras därför lösningar för takkonstruktionen där takstolen är en ingående del.

5.2.1 Sektionering

Enligt BBR (2011:6) så ska brandmotståndet mellan lägenheter vara EI60 i flerbostadshus och radhus men Boverket (2008) har uppmärksammat att kravet på en timmes brandmotstånd med lätta vindsbjälklag inte alltid uppfylls på grund av att branden kan spridas via vinden. En möjlig åtgärd för att klara kravet på brandskyddet är att låta brandcellsavgränsningen gå hela vägen upp till yttertaket.

Efter en brand i ett flerbostadshus med trästomme i Luleå som totalförstörde hela byggnaden gjorde Östman och Stehn (2014) en analys kring bidragande orsaker till brandspridningen och gav rekommendationer för att förbättra brandskyddet. Branden startade som en liten spisbrand som sedan spreds upp till vinden via otätheter i ventilationskanalen och vidare ner i konstruktionen. De kom bland annat fram till att branden snabbt kunde sprida sig i hela vindsutrymmet eftersom vinden inte hade någon brandcellsindelning. En sektionering av vinden så att de följer brandcellsgränserna i underliggande plan kan begränsa brandspridning.

5.2.2 Skivmaterial på bjälklag

I den analys som Östman och Stehn (2014) gjorde av en brand i Luleå, vilken presenterades i föregående avsnitt så kom de även fram till att förändringar i konstruktionen av vindsbjälklaget hade kunnat minska spridningen av branden. Vindsbjälklaget var brandskyddat med gips på undersidan men klarade inte att förhindra att branden spreds neråt när den väl hade tagit sig till vinden. Detta är ofta ett problem under ett längre brandförlopp eftersom vindsbjälklaget sällan har beklädnad på ovansidan. Ett lager gips på vindsbjälklagets översida kan vara ett sätt att förhindra brandspridning nedåt.

5.2.3 Takfotslösningar

En möjlig väg för en brand att sprida sig upp på vinden är via takfoten, det vill säga att branden startar i en lägre belägen brandcell och sedan sprids uppåt via fönster och fasaden. På detta sätt kringgås vindsbjälklagets avskiljande funktion och branden kan få fäste i takkonstruktionen (Räddningstjänsten Syd, 2014). Denna risk har bemötts av BBR (2011:6) genom att ställa krav på att takfoten ska ha en avskiljande förmåga på lägst EI30. Det finns flera olika typer av lösningar för att uppfylla brandkravet vilka kommer att presenteras nedan.

5.2.3.1 Tät takfot

En möjlig lösning för att uppnå kravet på brandmotståndstiden är att ha en tät takfot och istället vid behov ventilera vindsutrymmet via taket. Tätningen kan göras genom att till exempel en brandtålig fibercementskiva fästs på undersidan, det vill säga att takfoten tätas horisontellt (Cembrit, 2011). En annan lösning är att täta vertikalt genom att exempelvis låta en gipsskiva täcka öppningar mellan hammarband och råspont (TräGuiden, 2003).

5.2.3.2 Svällande isolering

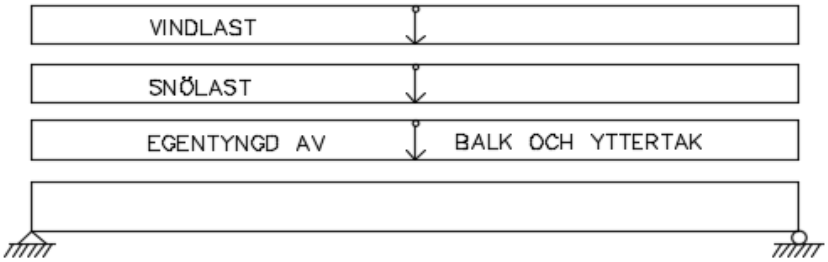
Genom att använda sig av ett svällande brandstopp ges möjligheten att ha en ventilerad vind. Brandstoppet består av ett svällband som sväller vid förhöjda temperaturer och isolerar därmed luftspalten vid händelse av brand. Tätningen häftas direkt mot underlaget, som utgör luftspaltens undersida, och det är därför viktigt att kringliggande material har samma brandklass så att inte dessa fallerar före svällbandet (Tenmat, u.å).

5.2.3.3 Takfotsventil

För att möjliggöra fortsatt ventilering av vinden via takfoten finns även möjligheten att montera takfotsventiler, vilka fungerar som vanliga ventiler men som vid höga temperaturer expanderar och tätar. Därmed förhindras brandspridning upp på vinden. För att takfotsventilen ska kunna upprätthålla sin avskiljande funktion krävs att den omkringliggande konstruktionen, som ventilen är fäst vid, kan uppfylla samma brandmotstånd (Eld & Vatten, 2013).

6 Beräkning av brandmotstånd på konstruktionsvirke

För att undersöka vilket brandmotstånd konstruktionsvirke kan antagas ha generellt så har beräkningar gjorts på en relativt grundläggande konstruktion; en fritt upplagd balk som ska representera en del av en takstols överram. För att få fram ett representativt "minimi-brandmotstånd" har realistiska men gynnsamma förutsättningar använts vid beräkningar, där hänsyn tagits till lastvärden, hållfasthetsklass, tvärsnittsdimension och spännvidd. Nedan kommer det teoretiska experimentet att presenteras, de exakta uträkningarna finns i Bilaga A.



Figur 3 Illustration av balken med laster

För att ge träbalken så goda förutsättningar som möjligt användes först tvärsnittsdimension 45×220 mm, vilket kan anses vara en vanligt förekommande virkestyp. Senare gjordes även en beräkning där bredden ökades till 70 mm. I båda fallen användes hållfasthetsklass C30, vilken är en av de högre standardklasserna. Vid egen kommunikation med konstruktörer på Derome Träteknik beskrevs C24 och C30 som de hållfasthetsklasserna som vanligtvis används för konstruering av takstolar. Balkens spännvidd valdes till 6 m vilket kan anses vara en rimlig längd på en överram. Centrumavståndet valdes till 1.2 m då detta är det normala för en takkonstruktion. Den lastkombination som användes vid beräkningarna var den för olyckslast vilken presenterades i avsnitt 4.3.

Gällande lasterna så är nedanstående punkter nämnvärda:

- Vindlast på tak ger oftast sug, det vill säga uppåtriktade krafter, vilket kan anses gynnsamt vid samverkan med resterande laster. I fallet med plant tak finns dock även tryckkrafter men denna vindkraft kommer vara den mindre av de variabla lasterna, vilket gör att den kommer att multipliceras med sitt Ψ_2 - värde som är 0 enligt EKS 10 (BFS 2015:6). Denna lasten blev alltså 0, vilket gör att den inte har medräknats.
- För att få fram snölasten valdes snölastzonen för Halmstad vilket gav ett relativt lågt karakteristiskt värde (s_k) på 1.5 kN/m^2 enligt EKS 10 (BFS 2015:6).
- Eftersom beräkningar endast har gjorts på en balk av rent konstruktionsvirke, det vill säga inga spikplåtar, samt vid en standardbrand har A_d satts till 0. Detta eftersom inga indirekta tvångskrafter kan anses uppstå på grund av spikplåtar samt att ingen hänsyn behöver tas till krafter som uppkommer på grund av intilliggande konstruktionsdelar vid en standardbrand. En följd av det som nämns ovan är att lasteffekten kan analyseras vid t = 0 och antagas vara konstant under hela brandförloppet.

För analys av balken med tvärsnittsdimensionen 45×220 gjordes beräkningar med de två tidigare nämnda metoderna; metoden med reducerat tvärsnitt och metoden med reducerade egenskaper. Brandexponeringstiden sattes till 15 minuter, det vill säga ett brandmotståndkrav på R15. Beräkningarna utgick även från att tvärsnittet var exponerad för brand på tre sidor vilket kan antas vara realistiskt då yttertakskonstruktionen kan anses skydda dess ovansida. Ingendera av metoderna gav en momentkapacitet som översteg lasteffekten i brandlastfallet. Det dimensionerande momentet beräknades till 5.7 kNm medan momentkapaciteten uppkom till 2.7 kNm respektive 2.2 kNm.

Ovanstående resultat stämmer väl in med Thors (2012) resonemang gällande denna typ av konstruktionsvirke där han menar att ett krav på R30 inte är möjligt då det vid brand på två eller fler sidor inte finns något tvärsnitt kvar efter 30 minuter.

Tvärsnittet ökades sedan till 70 × 220, övriga förutsättningar var desamma som tidigare. Med detta tvärsnitt klarade balken kravet på R15, då det dimensionerande momentet beräknades till 5.7 kNm medan momentkapaciteten blev 9.12 kNm. Detta gäller dock endast virket men om den ska ses som en takstol måste även spikplåtarnas bärförmåga beaktas. Ett oskyddat spikförband har brandmotstånd R0 vilket gör att om takstolen ska kunna klara ett krav på R15 ska spikplåtarna skyddas enligt avsnitt 4.6.2. Det kan dock antas att balken inte skulle kunna uppfylla R30 eftersom tvärsnittsbredden efter 30 minuter skulle vara 8 mm, det vill säga endast 8 mm skulle ha bibehållna hållfasthetsegenskaper.

6.1 Jämförelse mellan brottlast och brandlast

En bärverksdel ska alltid dimensioneras i brottgränstillståndet för att minimera risken för kollaps som kan medföra personskador men i en brandsituation används i stället lastkombinationen för olyckslast. Det är av intresse att undersöka olikheterna mellan dessa för att få en djupare förståelse kring hur brand kan tänkas påverka dimensioneringen i jämförelse med normalfallet. För att illustrera skillnaden mellan brottlast och brandlast har en balk dimensionerats med hjälp av ett dimensioneringsprogram. Utgångspunkten är att balken är skyddad för brandexponering. Anledningen till detta val är att möjliggöra en jämförelse av lastkombinationerna. Det är exakt samma laster i båda fallen, den enda skillnaden är att de används i olika lastkombinationer och därmed multipliceras med olika partialkoefficienter.

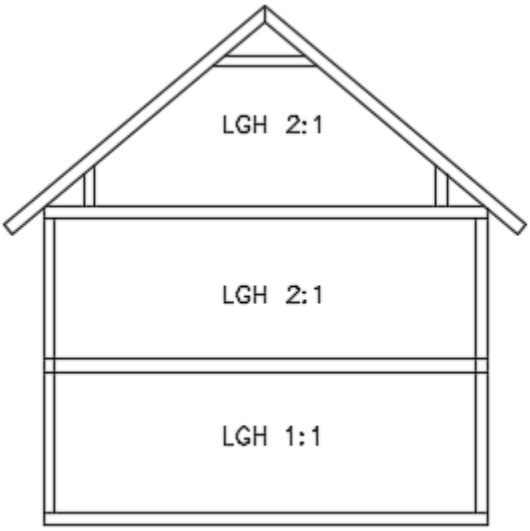
I brottgränstillståndet hade balken en utnyttjandegrad på 171 % medan den i brandlastfallet minskade till 53 %, det vill säga att den håller i brandlastfallet men inte i brottlastfallet. Detta visar på den kraftiga reducering av laster som görs i brandlastfallet, vilken kan vara svår att utröna genom att endast se på den allmänna formeln som presenteras i 5.3.1. Eftersom det vid dimensionering för brand inte används några koefficienter som ökar lasterna samt att det är de lägre Ψ-värdena (Ψ_1 och Ψ_2) som används blir det en stor skillnad vid jämförelse med brottgränstillståndet. Detta illustreras tydligt när den dimensionerande lastkombinationen studeras närmare, i båda fallen är snölasten variabel huvudlast men i brottgränstillståndet multipliceras denna med 1.37 (γ_d × 1.5) och i brandlastfallet med 0.40 (Ψ_1). Beräkningar för balken i brottgränstillstånd presenteras i Bilaga C och uträkningar för brandlastfallet återfinns i Bilaga D.

7 Tillämpningar på egna exempel

I detta avsnitt presenteras två fiktiva exempel på byggnader där först brandmotståndskrav tas fram med hjälp av lathunden i avsnitt 3.5 - 3.11. Därefter kommer olika åtgärdsförslag för att uppfylla kraven att redogöras.

7.1 Exempel flerbostadshus

Byggnaden är ett flerbostadshus med totalt fyra lägenheter uppdelade på tre våningar. Den översta våningen är en inredd vind med snedtak, det vill säga uppbyggd med en ramverkstakstol. På entréplan finns två lägenheter med egen ingång. De resterande lägenheterna har två våningar och återfinns på både andra våningen och vindsplanet. Respektive lägenhet har en egen anslutande trappa mellan planen. Även dessa lägenheter har egna ingångar utifrån. Byggnadsarean är 93 m^2 och taket har en lutning på cirka 40°. Huset återfinns centralt i en tätort och det påträffas två byggnader i dess närhet varav den ena, ett småhus med lägre nockhöjd, ligger på ett avstånd på sju meter ifrån och den andra, ett flerbostadshus, ligger tätt intill. Nedan visas en sektion av byggnaden.



Figur 4 Sektion av flerbostadshus som visar lägenhetsindelning.

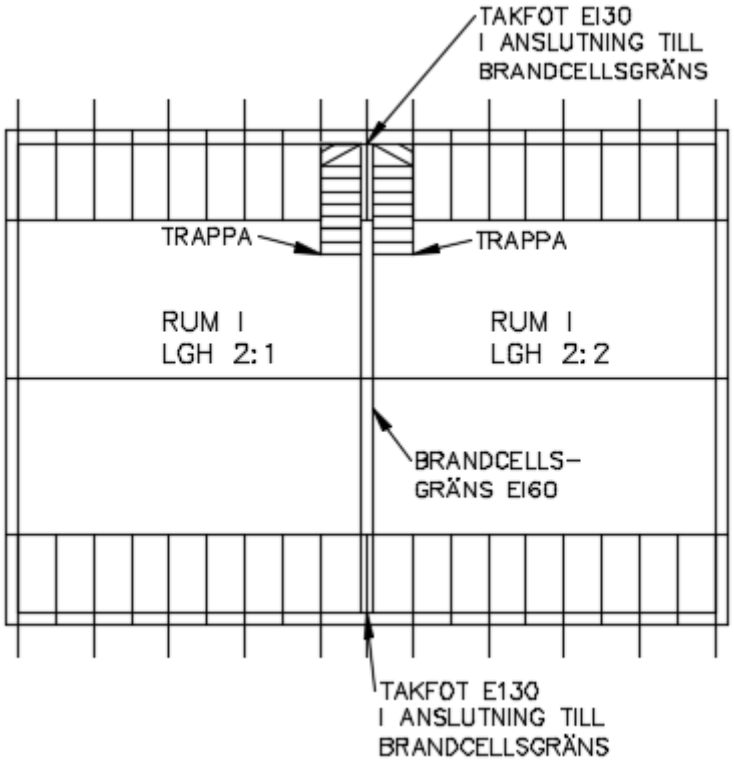
7.1.1 Bestämning av brandmotstånd med hjälp av lathunden

1. **Bestäm i vilken verksamhetsklass byggnaden ingår i genom att följa avsnitt 3.5.**
   Hela byggnaden kan hänvisas till Vk3A då den innehåller vanliga bostadslägenheter.

2. **Välj byggnadsklass utifrån vilken typ av byggnad det är i avsnitt 3.6.**
   Flerbostadshuset har tre våningar vilket gör att det ska hänvisas till Br1.

3. **Bestäm brandbelastning enligt avsnitt 3.7. Brandbelastning behövs i vissa fall för att bestämma avskiljande funktion i Br1-byggnader samt för att bestämma brandmotstånd.**
   Brandbelastningen för byggnaden är f ≤ 800 MJ/m^2 då det är en Vk3 - byggnad.

4. **Om vindsbjälklaget är en avskiljande konstruktion ska avsnitt 3.8 och dess anvisningar följas gällande avskiljande förmåga.**
   Varje lägenhet i huset ska vara en egen brandcell med en avskiljande förmåga på EI60 men bjälklaget till vindsvåningen har i detta fall ingen avskiljande funktion då de två översta lägenheterna breder ut sig över både andra våning och vindsplanet. För att förtydliga går det att säga att de övre lägenheterna utgör egna brandceller vars gränser inte är begränsade till ett våningsplan utan skär både andra våningen och vindsplanet. Vindsvåningen och andra våningen delas dock av två bostäder vilket gör att de avskiljande väggarna ska klara EI60. Den avskiljande väggen på vindsvåningen ska gå hela vägen ut till takfoten och upp till råsponten under yttertaket för att anses uppfylla kravet.



Figur 5 Planritning av vindsvåning med brandcellsgräns.

5. **Instruktionerna i avsnitt 3.9 gällande skydd mot brandspridning från vindsutrymmen ska följas.**
   Det krävs ingen brandcellsindelning utöver brandcellsgränsen mellan lägenheterna, dels för att det inte finns något öppet vindsutrymme där branden kan spridas samt för att arean är långt ifrån att uppnå 400 m^2.

Den lägre byggnaden som är belägen sju meter ifrån flerbostadshuset påverkar inte branddimensioneringen av takkonstruktionen. Den närliggande ytterväggen kan dock behöva ett högre krav på avskiljande förmåga enligt BBR (BFS 2011:6). För att upprätthålla ett godkänt brandmotstånd mot byggnaden som ligger tätt intill krävs även här en avskiljande funktion för att förhindra brandspridning mellan brandceller. Det är viktigt att denna skiljer av hela konstruktionen, det vill säga från grund till nock. Brandspridning mellan brandceller via takfoten ska även förhindras genom att denna ska ha en avskiljande funktion som klarar EI30. Det krävs en avskiljande förmåga på takfoten i anslutning till brandcellsgränsen på vindsvåningen så att inte flammor som slår ut från ett fönster i den ena lägenheten kan sprida branden över till anslutande brandcell via dess takfot.

6. Utifrån byggnadsklassen ska brandsäkerhetsklassen bestämmas genom att följa instruktionerna i avsnitt 3.10.

Eftersom det är en Br1-byggnad följs tabell A.7 för att bestämma brandsäkerhetsklass med avseende på bärigheten och eftersom ingen del av takstolen har en avskiljande förmåga behöver inte tabell A.6 beaktas. Genom att följa tabell A.7 kan antagandet göras att brandsäkerhetsklass 4 lämpar sig bäst. Denna ramverkstakstol kan dock ses som en hybrid då den både utgör bjälklag samt bärverk för yttertakskonstruktionen. Enligt praxis för Br1-byggnader kan en lägre byggnadsklass användas om ingen risk för nedfall utanför fasadlivet föreligger, vilket bör kunna tillämpas på vissa delar av takstolen då taklutningen är 40 ° och ingen risk kan anses finnas för nedfall utanför fasad. Eftersom det är en inredd vind bör det i de fall en lägre brandsäkerhetsklass kan användas hänvisas till brandsäkerhetsklass 3. Nedan beskrivs val av brandsäkerhetsklass på olika delar av takstolen.

Underram

Underramen bör hänvisas till brandsäkerhetsklass 4 då en kollaps av denna innebär stor risk för personskada. Här bör det även antas att brand kan uppkomma på båda sidor, det vill säga underramen ska kunna motstå brand från både ovan -och undersidan. Detta på grund av att en brand kan starta på antingen vindsplanet eller i våningen under samt att brandspridning från det nedre planet till det övre kan uppstå eftersom en trappöppning mellan planen finns.

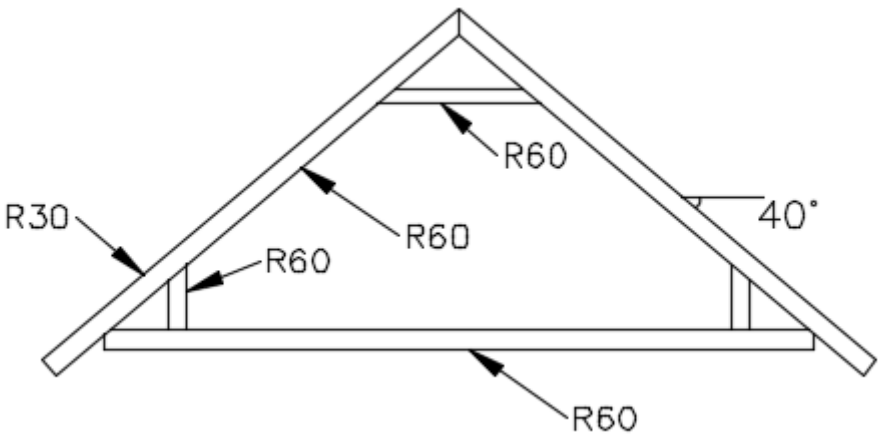
Stödben

Stödbenen bör även de hänvisas till brandsäkerhetsklass 4 då en kollaps av dessa innebär stor risk för personskada för människor i rummet förutsatt att stödbenen har en bärande funktion. I detta fall anses kattvinden vara ett hålrum i en konstruktion då utrymmet är väldigt litet. Detta gör att brand endast kan anses uppkomma från en sida, det vill säga det inredda rummet. Många gånger används dock kattvinden som förvaringsutrymme vilket innebär att det kan finnas installationer i form av ljusanordningar. Om förutsättningarna hade varit sådana hade stödbenen behövts dimensioneras för brand från båda sidor. Eftersom det inte finns en öppning i takfoten i anslutning till detta utrymme utan istället en luftspalt som följer överramen behöver inte heller brandspridning från underliggande våning via fönster beaktas.

Hanbjälke
Hanbjälken bör också hänvisas till brandsäkerhetsklass 4 då en kollaps innebär stor risk för personskada. Utrymmet ovanför bör i detta fall kunna ses som ett hålrum i en konstruktion då det är litet och inte kan användas som förvaringsutrymme. Eftersom utrymmet är litet förefaller det troligt att konstruktionen byggs med en helt inbyggd luftspalt med ventilering från yttertaket vilket innebär att det inte föreligger någon risk för brandspridning till hanbjälkens ovansida från luftspalten. Hanbjälken behöver därför endast dimensioneras för brand från en sida, det vill säga från det inredda rummet. Ett större utrymme ovanför hanbjälken hade dock inneburit ett annorlunda resonemang eftersom det då hade kunnat antas att en brand hade kunnat uppkomma där eftersom det troligtvis hade använts till förvaring och därmed innehållit diverse installationer. Risken för brandspridning via luftspalten hade också ökat då utrymmet hade varit ventilerat med hjälp av den.

Överram
De delar av överramen som kan anses vara en del av den inredda bostaden bör hänvisas till brandsäkerhetsklass 4 då resterande inneslutande delar av rummet har denna klass. Brand bör dock endast anses uppkomma från det inredda rummet. Övriga delar av överramen bör dock kunna hänvisas till brandsäkerhetsklass 3, enligt tidigare nämnda praxis för yttertakskonstruktioner, då kollaps av dessa inte kan anses medföra stor risk för personskada.

7. **Efter bestämd brandsäkerhetsklass går det nu att bestämma krav på brandmotstånd med avseende på bärförmåga genom att följa det som står i avsnitt 3.11. Brandbelastningen hittas i avsnitt 3.7.**
   Enligt tabell A.10 med brandbelastning 800 MJ/m2 ska delarna med brandsäkerhetsklass 4 ha ett brandmotstånd på R60 och de delar som kan hänvisas till brandsäkerhetsklass 3 ska ha ett brandkrav på R30.



Figur 6 Illustration av takstol med krav på brandmotstånd.

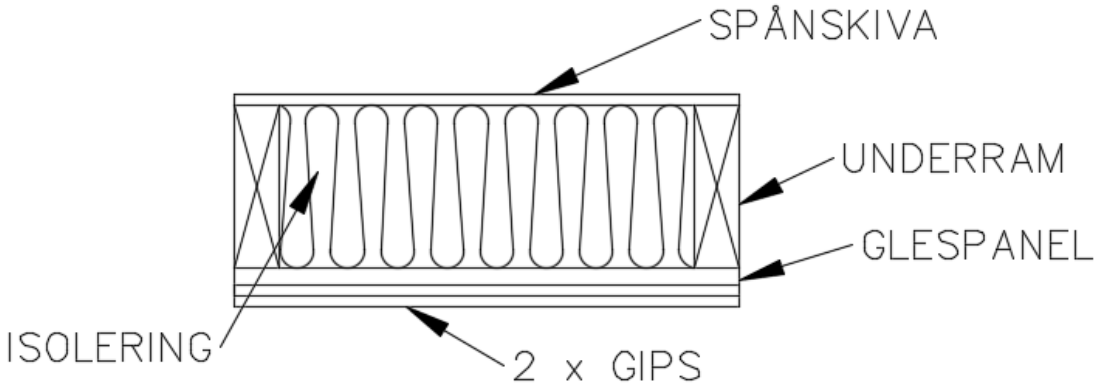
7.1.2 Åtgärdsförslag för takkonstruktionen

En takstol brukar konstrueras med konstruktionsvirke som har en tvärsnittsbredd på 45 mm, därmed krävs att takstolen skyddas för att klara ett brandmotstånd på både R30 och R60. Vid brandexponering från tre sidor kan en takstol antas ha brandmotstånd R0.

Efter resonemang utifrån de tidigare presenterade materialen som kan skydda takstolen har åtgärdsförslag tagits fram. Det är dock av vikt att poängtera att dessa inte stöds av beräkningar utan endast bygger på antaganden med utgångspunkt i de brandmotståndstider som de olika materialen uppfyller. Ett annat alternativ är att undersöka redan färdiga konstruktionslösningar från olika produktleverantörer men även detta medför problem då deras beräkningar inte är redovisade samt att det kan finnas svårigheter att urskilja de olika materialens funktion. Nedan presenteras åtgärdsförslag för de olika delarna.

Underram

För att uppfylla brandkravet på R60 bör undersidan skyddas med två lager gips typ F. På översidan bör det räcka med ett lager med spånskiva, vilken skyddar konstruktionsvirket i 30 minuter. Detta är under förutsättning att bjälklagets hålrum är helt fyllda med mineralull, förslagsvis stenull som har bättre brandegenskaper än glasull. Eftersom isoleringen då skyddar underramens sidor reduceras tvärsnittet endast från ovansidan när spånskivans skydd har försvunnit, vilket gör att dess hållfasthetsegenskaper inte minskar i samma utsträckning som i vårt uträknade exempel i tidigare avsnitt. Vid dimensionering i brandlastfallet är det dessutom lägre värden på både egentyngden och den nyttiga lasten än i brottgränstillstånd, vilket då gör den "överdimensionerad" vid brand. Det är dock viktigt att isoleringen ligger tätt mot träet så att branden inte kan smita ner på sidorna. Detta resonemang går inte att överföra till undersidan då bortfallet av skyddande material troligtvis medför nedfall av isolering inom en kort tidsperiod. Vid jämförelse med en konstruktionslösning från Paroc (2012) så är det relativt likt det förslag som presenterats ovan med två lager gips på undersidan och en spånskiva på ovansidan.

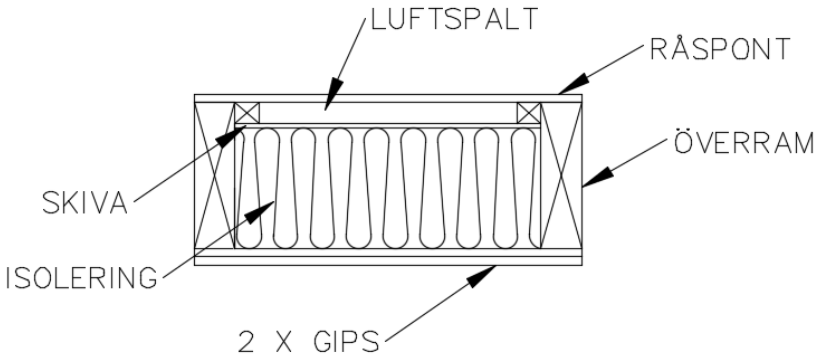


Figur 7 Konstruktionslösning för underram

Stödben/Hanbjälke
Eftersom brand endast kan antas uppkomma på ena sidan av stödbenen, från det inredda rummet, bör dessa skyddas med två lager gips typ F på den sidan. Denna åtgärd bör ge ett skydd mot brand i 60 minuter. Det skulle kanske kunna räcka med ett lager gips typ F eftersom resterande delar av stödbenens tvärsnitt skyddas av isolering vilket innebär att vid bortfall av gipset exponeras tvärsnittet endast för brand från en sida. Resten av det inredda rummet bör dock skyddas med två lager gips typ F så lämpligtvis kan även stödbenen ha samma skydd.

För att upprätthålla hanbjälkens krav på R60 bör undersidan skyddas med två lager gips typ F. Eftersom brand endast kan antas uppkomma från det inredda rummet bör detta skydd vara tillräckligt.

Överram
De delar som är en del av det inredda rummet ska täckas med två lager av gips typ F på undersidan för att upprätthålla kravet på R60. Resterande delar har ett krav på R30 vilket bör upprätthållas vid ett standardutförande för en sådan här konstruktion då i princip hela tvärsnittet skyddas av mineralull. Luftspalten i konstruktionen skapar en yta på tvärsnittet som kan ses som oskyddad, dock fästs en läkt här vilken skyddar den delen under en viss tid. För att upprätthålla robustheten i konstruktionen bör skivan som fästs till luftspalten kunna bevara sitt skydd under erfordrad tid så att nedfall av denna inte påverkar exempelvis isoleringen. En plywood-skiva med tjockleken 24 mm bör upprätthålla ett erforderligt skydd.



Figur 8 Konstruktionslösning för överram.

Takfot
Takfoten ska ha en avskiljande funktion motsvarande EI30 vid brandcellsgränsen för att minimera risken för brandspridning mellan brandceller. Förslagsvis konstrueras takfoten tät på ett visst avstånd från brandcellsgränsen vilket till viss del är beroende av närliggande fönsters placering på andra våning. Om inget fönster finns i närheten av brandcellsgränsen kan avståndet vara mindre. Om takfotsventilation önskas kan takfoten förses med ventiler som tätar vid höga temperaturer.

Brandcellsavskiljande vägg
Den brandcellsavskiljande väggen på vindsvåningen bör utföras genom att den mittersta takstolen i takkonstruktionen kläs in i med två lager gips typ F på vardera sida. Detta innebär att

det kan antas att det tar 60 minuter för branden att nå takstolen vid brandexponering från ena lägenheten. Denna lösning kan anses vara överdriven vid en första anblick men eftersom takstolen utgör stommen av brandcellsväggen måste dess bärförmåga garanteras under 60 minuter. Om takstolen exempelvis exponeras för brand efter 30 minuter skulle den troligtvis kollapsa efter 15 minuter vilket hade lett till att brandcellsgränsen fallerat.

7.2 Exempel vårdboende

Byggnaden är en friliggande enplansvilla som utgör ett gruppboende för personer med vårdbehov. Villan består utav fyra bostäder och gemensamhets-, personal- och teknikutrymme och har en byggnadsarea på 470 m^2 samt en oinredd vind där taket har en lutning på 17°. Boendet återfinns utanför tätorten där det inte finns några närliggande byggnader.

7.2.1 Bestämning av brandmotstånd

1. **Bestäm i vilken verksamhetsklass byggnaden ingår i genom att följa avsnitt 3.5.**
   Denna typen av byggnad kan ingå i både verksamhetsklass 3B och 5B beroende på vilken typ av vårdboende det är. Till denna byggnaden har verksamhetsklass 5B valts för att det antas finnas en begränsad eller ingen möjlighet hos de boende att sätta sig själva i säkerhet.

2. **Välj byggnadsklass utifrån vilken typ av byggnad det är i avsnitt 3.6.**
   Detta vårdboendet platsar i byggnadsklass 2 eftersom det är en byggnad i ett våningsplan med bostäder i verksamhetsklass 5B.

3. **Bestäm brandbelastning enligt avsnitt 3.7. Brandbelastning behövs i vissa fall för att bestämma avskiljande funktion i Br1-byggnader samt för att bestämma brandmotstånd.**
   Brandbelastningen för en byggnad i verksamhetsklass 5B sätts till $f \leq 800$ MJ/m^2.

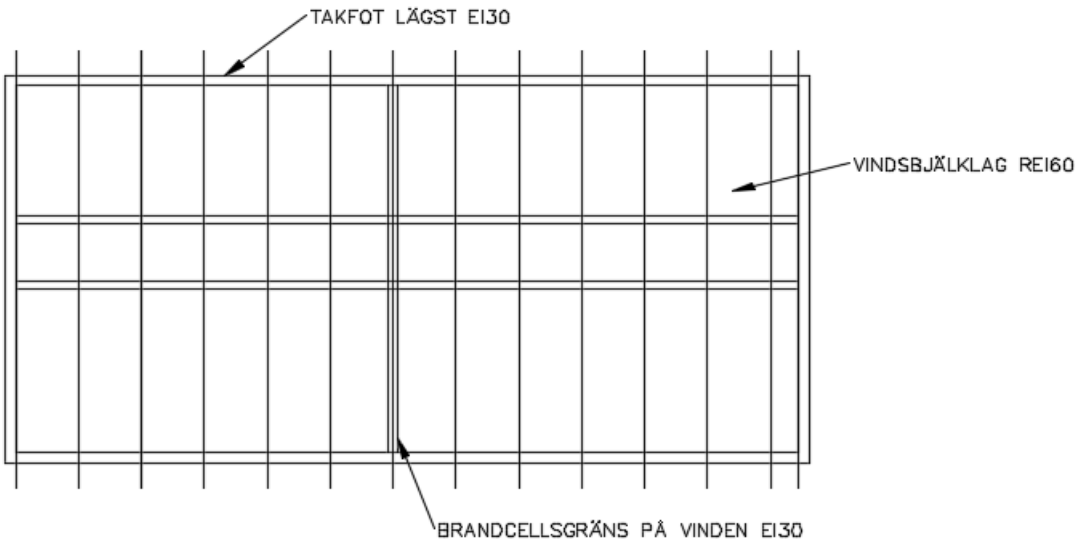
4. **Om vindsbjälklaget är en avskiljande konstruktion ska avsnitt 3.8 och dess anvisningar följas gällande avskiljande förmåga.**
   För en byggnad i verksamhetsklass 5B ska varje lägenhet i byggnaden utgöra en egen brandcell, vilket medför att vindsbjälklaget ska ha en avskiljande funktion i EI60.

5. **Instruktionerna i avsnitt 3.9 gällande skydd mot brandspridning från vindsutrymmen ska följas.**
   Underliggande utrymmen utgör egna brandceller vilket gör att en vind som överstiger en area på 400 m^2 bör sektioneras. Vårdhemmets byggnadsarea överstiger detta (470 m^2) vilket gör att sektionering krävs. Väggen som skiljer de olika sektionerna åt bör dimensioneras för EI30.

   Vinden utgör i detta fall egna brandceller skilda från de underliggande lägenheterna vilket gör att för att skydda vindsutrymmet från brandspridning via takfoten bör den dimensioneras för EI30. Här kan det dock diskuteras om takfoten istället bör

dimensioneras för EI60. Vindsutrymmet på denna byggnaden är så pass stort, trots sektioneringen, att om branden skulle sprida sig till vinden hade egendomsskadorna blivit förödande. Eftersom föreskrifterna endast kräver EI30 så är det detta krav som väljs.

Byggnaden ligger skilt från andra konstruktioner vilket gör att det inte finns några krav på brandskydd gällande spridning till intilliggande byggnader.



Figur 9 Planritning av vindsbjälklag med väggar för upplag och brandcellsgränser

6. **Utifrån byggnadsklassen ska brandsäkerhetsklassen bestämmas genom att följa instruktionerna i avsnitt 3.10.**

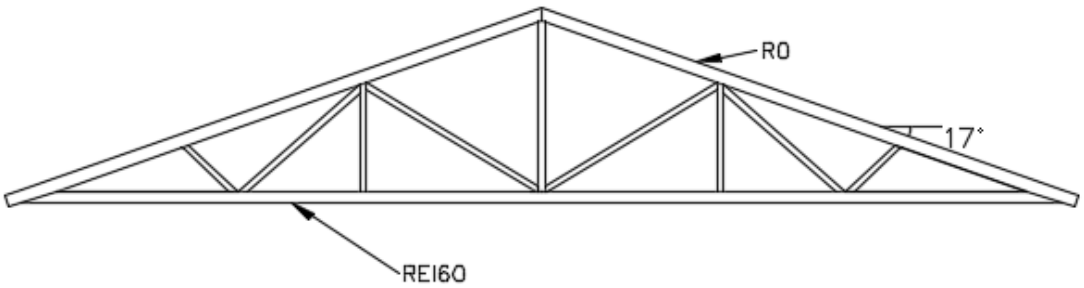
Underram
Vindsbjälklaget är i detta fall en avskiljande konstruktion som har kravet EI60 vilket gör att underramen på takstolen bör tillhöra brandsäkerhetsklass 4, enligt tabell A.6. Branden får inte sprida sig från en brandcell över till en annan via vinden. Underramen bör därmed dimensioneras för att klara last från överramen och yttertakskonstruktionen så att dessa vid nedfall inte bryter brandcellsgränserna. Överramen bör förväntas falla ner tidigare än underramen kollapsar eftersom den har en lägre brandsäkerhetsklass. Vid dimensioneringen av underramen för nedfall av överram och yttertakskonstruktion bör värsta scenario antas, det vill säga att branden först tar fäste i nocken.Vid beräkningar bör då även snölast medräknas då denna inte kan antas ha smält. Takkonstruktionen ska dimensioneras utifrån att en brand kan uppstå både på vinden, då det förutsätts att installationer finns, och i utrymmena under vilket gör att underramen ska hålla för brand från både dess under- och ovansida.

Överram
Enligt tabell A.8 ska en byggnads huvudsystem, det vill säga byggnadens bärande system, hänföras till brandsäkerhetsklass 3. Ett resonemang kan dock föras kring att överramen i stället kan hänföras till brandsäkerhetsklass 1 då risken för personskada vid kollaps kan anses vara ringa. Eftersom vindsbjälklaget ska kunna hindra brandspridning mellan

brandcellsgränser ska det dimensioneras för att kunna bära yttertakskonstruktionen vid nedfall vilket gör att delar inte ska kunna falla genom bjälklaget och orsaka personskada. Vinden är även oinredd, byggnadens taklutning är mindre än 45° och överramen skär bjälklagets ytterkant vilket gör att risken för nedfall utanför fasadliv är låg. På grund av ovanstående argumentation bör därför överramen kunna hänföras till brandsäkerhetsklass 1.

7. **Efter bestämd brandsäkerhetsklass går det nu att bestämma krav på brandmotstånd med avseende på bärförmåga genom att följa det som står i avsnitt 3.11. Brandbelastningen hittas i avsnitt 3.7.**
   Överramen kan konstrueras oklassificerad, det vill säga brandmotstånd R0.

   Underramen på takstolen utgör den avskiljande konstruktionen mellan de underliggande brandcellerna och vindsutrymmet och har därmed ett krav på EI60 vilket gör att bärförmågan behöver sättas till R60.



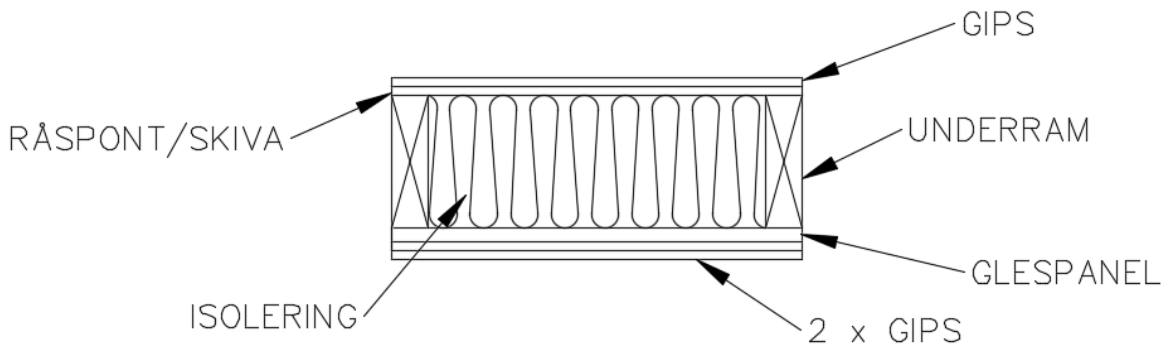
Figur 10 Illustration av takstol med krav på brandmotstånd

7.2.2 Åtgärdsförslag för takkonstruktionen

En takstol brukar konstrueras med konstruktionsvirke som har en tvärsnittsbredd på 45 mm. Vid brandexponering från tre sidor kan en takstol antas ha brandmotstånd R0. I detta fall finns ett krav på REI60 på vindsbjälklaget, det vill säga att detta ska upprätthålla både bärighet och avskiljande funktion under 60 minuter. Överramen kan utföras oklassificerad och har därmed inget krav på brandmotstånd.

Underram
Underramen är den del av takstolen som utgör vindsbjälklaget och ska i detta fall uppfylla ett krav på REI60. Det kan antas att brand kan uppkomma på båda sidor av bjälklaget. Undersidan bör skyddas med två lager gips typ F. Det kan i en brandsituation antagas att överram och yttertakskonstruktion faller ned på vindsbjälklaget då överramen har brandmotstånd R0, för att inte brandcellsavgränsningen ska fallera krävs då att underramen kan ta upp dessa laster samt att inga nedfallande delar skadar gipsen på underramens underkant. Underramen ska därför dimensioneras för den extra last som kan uppkomma och för att skydda mot nedfall genom brandcellsgränsen krävs att det på underramen finns en beklädnad med en hållfasthet som kan

fånga upp det som faller ned. På ovansidan bör därför ligga ett lager skivmaterial eller råspont och ett lager gips typ F för att klara kravet på REI60. Det kan tänkas att ett lager skivmaterial eller råspont bör ge ett tillräckligt skydd såsom resonemanget för underramen i föregående fall gällande flerbostadshuset men en skillnad är dock att det här går att antaga att delar faller ned och därmed kan skada isoleringens brandskyddande funktion av underramen. Skivmaterial eller råspont bör kunna skydda underramen under 30 minuter men när detta skydd sedan är borta kan nedfallande delar förstöra brandcellsgränsen och flytta på isoleringen. Ett lager gips på skivmaterialet eller råsponten gör att detta lager kan skyddas för brandexponering under cirka 30 minuter vilket därmed senarelägger dess förkolning.



Figur 11 Konstruktionslösning för underram

En annan mer praktisk lösning kan vara att fästa råspont, som ska fånga upp nedfallet, på underramens undersida och sedan ha två lager gips typ F. Detta innebär att underramens ovansida endast skyddas av isolering. Ett möjligt problem med denna konstruktion är att dess robusthet kan påverkas negativt eftersom det nedfallande materialet kan flytta på isoleringen och därmed blotta underramen så att den exponeras för branden.

Underramen har också dimensionerats med hjälp av ett dimensioneringsprogram för att undersöka hur den påverkas på grund av den extra lasten som uppstår till följd av nedfall av överram och yttertakskonstruktion i brandlastfallet. Det antagande som har gjorts är att underramen är helt skyddad och därmed påverkas inte dess hållfasthet av branden. Spännvidden valdes till 16 m och takstolen har fyra upplag, vilket även syns på planritningen. I brottgränstillstånd belastas inte underramen av samma laster som i brandlastfallet eftersom överramen då bär stora delar av yttertaket och snölasten. I brottlastfallet hade underramen en utnyttjandegrad på 32 % och i brandlastfallet ökade denna till 53 % vilket beror på den omfördelning av laster som kan antas uppkomma. Även om lasterna reduceras i brandlastfallet så är det fler laster som belastar underramen. I detta fall krävdes ingen ökning i tvärsnittsdimension eller hållfasthetsklass för att ta hänsyn till att underramen ska kunna bära nedfallet som kan uppstå i en brandsituation. Beräkningar för takstolen i brottgränstillståndet återfinns i Bilaga E och uträkningar för underramen i brandlastfallet hittas i Bilaga D.

Takfot
Takfoten ska enligt BBR ha en avskiljande funktion på lägst EI30. För att minimera risken för brandspridning via takfoten förordas i detta fall en tät takfot runt hela byggnaden. Ventileringen av takkonstruktion flyttas därmed till yttertaket.

Brandcellsavskiljande vägg
Vinden bör delas upp i två ungefär lika stora delar med en brandcellsavskiljande vägg i EI30 och denna vägg bör utformas på liknande sätt som vid det tidigare exemplet med flerbostadshuset. En takstol i mitten av takkonstruktionen bör skyddas av ett lager gips typ F på vardera sida, det bör då ta cirka 30 minuter innan takstolen brandexponeras. En tidigare exponering för brand hade bidragit till kollaps av takstolen inom en kvart och därmed hade den avskiljande väggen förlorat sin funktion i förtid.

8 Analys

Ett av studiens primära syften var att förtydliga och utreda de regler och krav som gäller med avseende på brand på takstolar i trä för olika typer av byggnader i Sverige. En målsättning var att ta fram en lathund för att enklare kunna bestämma takstolens respektive takkonstruktionens brandtekniska klass. Det som framkom under framställningen av lathunden var att det inte finns ett helt tydligt tillvägagångssätt för att komma fram till ett specifikt brandmotståndskrav på en takstol respektive takkonstruktion. Vissa steg i processen för att nå ett brandtekniskt krav är enklare än andra. Exempelvis är både verksamhetsklasser och byggnadsklasser relativt tydligt beskrivna i BBR vilket gör att det går lätt att bestämma dessa för en byggnad. De faktorer som däremot kan anses försvåra bestämmandet är *var en brand kan anses uppkomma* och *val av brandsäkerhetsklass*. Anledningen till att dessa är svåra att bestämma är för att det krävs att det görs en bedömning vilken är beroende av både föreskrifter, allmänna råd, praxis och erfarenhet. Eftersom takstolen är en del av takkonstruktionen så spelar även andra parametrar, såsom avskiljande förmåga och brandcellsindelning, in vid bestämmandet av brandmotståndkrav vilket gör att det i varje fall måste göras en samlad bedömning för att nå en klassificering som kan anses följa de föreskrifter och allmänna råd som finns.

Ovanstående analys noterades särskilt vid tillämpningen av lathunden på de två fiktiva exemplen i studien. De första stegen, bestämning av verksamhetsklass, byggnadsklass och brandbelastning, var relativt enkla att bestämma men det blev sedan svårare att gå vidare då det bland annat krävdes en helhetssyn av byggnaden för att bestämma brandcellsgränser och således kunna avgöra om takkonstruktionen, och därmed takstolarna, var en avskiljande konstruktion. *Bestämmandet av brandsäkerhetsklass* ansågs vara det svåraste då det främst, trots att exempel finns i EKS, bygger på en bedömning av risk för personskada vid kollaps. I exemplet med flerbostadshuset krävdes även att en *bedömning gjordes gällande var en brand kunde tänkas uppkomma* vilket inte var problemfritt eftersom det inte finns några tydliga gränsdragningar i BBR. De frågeställningar som uppkom var vad som egentligen kan anses vara ett hålrum i en konstruktion eller vilka faktorer som ökar risken för brand, exempelvis vilka typer av installationer som påverkar brandrisken.

Studiens syfte var även att undersöka hur dimensioneringen av en takstol i trä går till med avseende på brand där målsättningen var att förtydliga dimensioneringsmetodiken gällande bärförmåga. Det som framkom av studien var att det finns två olika förenklade metoder för att beräkna bärförmågan i brandlastfallet för en konstruktionsdel i trä. Den lastkombination som ska användas vid brand är den för olyckslast och alla laster från brottlastfallet ska medräknas. Lasterna är dock reducerade vid jämförelse med brottlastfallet. Eftersom en takstol är en sammansatt konstruktion av två olika material, trä och stål, gjordes separata undersökningar gällande brandmotstånd för respektive material. Det som framkom angående oskyddade utanpåliggande spikförbands bärförmåga i brandlastfallet var att det inte finns en tydlig dimensioneringsmetodik i Eurokoden. Denna studie har därför fått stödja sig på olika experiment som har presenterats i vetenskapliga artiklar vilka har kommit fram till att oskyddade utanpåliggande spikförband inte kan antas ha ett högre brandmotstånd än R0. Detta antagande anses vara rimligt eftersom spikplåtarna inte tränger in djupt i träet och när virket förkolnar går det relativt fort innan spikarna inte har något opåverkat trä att fästa i. I Eurokoden finns en

metod för beräkning på skyddade spikplåtar. Denna är dock begränsad till att endast kunna hantera att träbaserade skivmaterial skyddar spikförbanden och ger en erforderlig tjocklek på den skyddande träbaserade skivan vid en viss brandmotståndstid.

För att konkretisera dimensioneringsmetodiken med avseende på bärförmåga för en bärverksdel i konstruktionsvirke samt för att försöka få fram ett "minimibrandmotstånd" genomfördes även beräkningsexempel på en fritt upplagd balk. Resultaten visade att balken inte klarade en tresidig brandexponering under 15 minuter med en tvärsnittsdimension på 45 × 220 mm och kan därmed hänvisas till den brandtekniska klassen R0. Att balkens böjhållfasthet inte klarade kravet var enligt författarna inte så överraskande då det vid beräkningarna snabbt kunde inses att tvärsnittet reducerades kraftigt efter 15 minuter. När tvärsnittsbredden ökades till 70 mm så klarade balken ett brandmotståndskrav på R15.

Vid datorberäkningar noterades det att lasterna i brandlastfallet reducerades kraftigt vid jämförelse med brottgränstillståndet vilket kan vara relevant att ha i åtanke vid branddimensionering. Om exempelvis en bärverksdel kan anses vara skyddad från brandexponering behöver inte ytterligare beräkningar utöver de i brottgränstillstånd göras eftersom lasteffekten blir mindre i brandlastfallet.

Inom ramen för studien har även olika åtgärdsförslag presenterats, både för takstolen i sig men även för takkonstruktionen i sin helhet samt takfoten. Eftersom en oskyddad takstol kan antas ha ett brandmotstånd som uppfyller R0 så har utgångspunkten för åtgärdsförslagen varit att de ska möjliggöra för skydd av bärverket under erforderlig tid. De åtgärder som har studerats för att skydda takstolen har varit; gips, isolering, beklädnader av trä, brandskyddsfärg och brandimpregnering. Det som studien har kommit fram till är att gips och stenull kan ge ett tillräckligt brandskydd vilket inte var särskilt överraskande då dessa metoder har framställts som traditionella sätt att skydda konstruktionsdelar för brand. Beklädnader av trä kan också ge ett visst brandskydd enligt de nya europeiska K-klasserna. Brandskyddsfärg kan göra att trä kan uppfylla ett brandmotstånd på upp till R60 men när dimensioneringstabeller från den ledande tillverkaren studerades insågs att användningen av denna metod är begränsad vid applicering på takstolar. Detta på grund av att takstolens standardbredd på 45 mm är mindre än de krav på tvärsnittsdimensioner som ställdes. Det har också framkommit att brandimpregnering inte är ett alternativ för att brandskydda takstolar då tidigare forskning på området visat att bärigheten reduceras när träet impregneras. Studien har också visat att det finns flera olika lösningar för att uppfylla kravet på en avskiljande funktion för takfoten där det finns metoder som möjliggör att den kan utföras som ventilerad. För att ge en bättre förståelse kring hur de olika åtgärdsförslagen kan användas gjordes även resonemang kring deras tillämpbarhet i de två exemplen.

Det som studien visade var att det i vissa fall krävs extra åtgärder för att brandskydda träet och uppfylla brandmotståndskraven, såsom vid vårdboendet där vindsbjälklaget även var en avskiljande konstruktion. Vid andra tillfällen kan en traditionellt utförd konstruktion antagas klara att skydda träet, vilket bjälklaget i flerbostadshuset är ett exempel på.

9 Diskussion

I föreskrifterna framgår det inte tydligt *var en brand kan antas uppstå* i en byggnad och *vilken brandsäkerhetsklass* som en bärverksdel ska hänföras till. Eftersom det finns en del oklarheter gällande bestämningen av *brandens uppkomst* och *byggnadsdelens brandsäkerhetsklass* medför detta till att en subjektiv bedömning behöver göras vilket kan leda till att olika personer kommer fram till olika krav för liknande projekt. Detta kan göra att det blir svårt för en konstruktör att förstå bakgrunden till de bestämda brandkraven i en byggnad om dessa skiljer sig från ett annat snarlikt fall. Stora olikheter med avseende på brandkrav mellan liknande projekt kan göra att en konstruktör inte får någon förståelse för den problematik som lagarna och föreskrifterna ska avhjälpa. Det finns ett behov av ökad brandskyddskompetens hos konstruktörer så att glappet mellan konstruktör och brandkonsult kan överbryggas, och så att konstruktör och brandkonsult i dialog kan utforma brandskyddet på bästa sätt.

Målsättningen med revideringen av brandskyddskapitlet i BBR som trädde i kraft 2012 var att göra kraven tydligare och på så sätt minimera risken för en branschpraxis som skiljde sig åt. Enligt författarna återstår en del av den problematik, såsom *brandens uppkomst* och *val av brandsäkerhetsklass*, som revideringen syftade till att minimera och det finns fortfarande områden som bör tydliggöras för att möjliggöra en mer enhetlig tillämpning. Det är önskvärt att reducera andelen tvetydigheter som ger upphov till att subjektiva bedömningar måste göras.

Praxisen som kan tillämpas på Br1- byggnader innebär att det kan ställas lägre brandkrav, R0 eller R30 beroende på avsedd funktion, på yttertakskonstruktionen om det inte finns någon risk för att bärverket, i samband med brand, kan falla ner utanför fasadlivet och orsaka personskador. Författarna anser detta vara aningen förvirrande då det inte nämns om de lägre krav som yttertakskonstruktioner i Br1-byggnader kan hänföras till även kan användas för Br2- och Br3-byggnader. Det vore rimlig att anta att detta också gäller de övriga byggnadsklasserna då de per definition har ett lägre skyddsbehov.

Det som har förefallit mest anmärkningsvärt vid litteraturstudier gällande dimensioneringsmetodiken för trä i brandlastfallet är att flera av de relevanta delarna i Eurokoderna är både svårlästa och otydliga varvid det som främst bör poängteras är avsaknaden av metod för att dimensionera utanpåliggande oskyddade spikplåtsförband. Den hänvisning som görs till branddelen av Eurokoden för stål skapar främst förvirring då det inte går att hitta någon dimensioneringsmetod där. Det kan därför antagas att det egentligen inte finns något sätt att dimensionera utanpåliggande oskyddade spikplåtsförband vilket skapar problem för takstolstillverkare då det varken finns tillvägagångssätt för att bevisa spikplåtens bärförmåga eller möjligheter att öka dess brandmotstånd. Så som takstolar konstrueras idag, med spikplåtar som har relativt korta spikar, krävs kanske ingen tydligare dimensioneringsmetodik men finns det ingen metod omöjliggörs även innovativa lösningar, exempelvis användning av spikplåtar med längre spikar. I Eurokoden finns dock en metod för att beräkna erforderlig tjocklek när spikplåtarna skyddas. Denna är dock förbehållen träbaserade skivmaterial vilket är märkligt då även gips och stenull borde kunna användas för att ge förbanden ett tillräckligt skydd.

Av studien har det framkommit att en oskyddad takstol har svårt att klara ett högre brandmotstånd än R0 vilket försvårar för användningen av trätakstolar där det ställs högre krav på brandteknisk klass. Vissa av de åtgärdsförslag som har presenterats i detta arbete är sådana som idag kan anses vara konventionella och väl beprövade såsom gips och isolering. Att träbeklädnader kan ge ett visst brandskydd kan möjliggöra nya brandskyddslösningar där inget krav ställs på ytskiktet, såsom vid tillfällen där det endast krävs skydd för att upprätthålla bärförmågan under 30 minuter. Av de olika alternativen som studerades var brandimpregnering det som stack ut mest då det vid en första anblick kan antagas vara en fungerande lösning men som visade sig påverka träets bärförmåga negativt vilket gör metoden oanvändbar. Om möjligheten hade funnits att använda brandimpregnering så kan flera fördelar antas då det inte bör ha en betydande påverkan på den ursprungliga tillverkningsprocessen av takstolen eftersom endast brandimpregnerat virke används istället. Vid litteraturstudier om användningen av brandskyddsfärg så har informationen varit begränsad men det förefaller troligt att det kan finnas svårigheter att applicera denna lösning på takstolar, eftersom dess standardbredd är 45 mm, då en ledande tillverkare saknar metoder för att dimensionera så smala tvärsnitt. Det som uppfattades som det område där flest innovativa lösningar har framtagits var åtgärdsförslagen för att uppfylla en avskiljande funktion på takfoten där både den svällande listen och takfotsventilen samtidigt möjliggör en fortsatt ventilering av vinden via takfoten.

Det som har framkommit av studien är att det ibland kan behövas annorlunda lösningar men med traditionella material för att lösa ett visst brandmotståndskrav. Ett bra exempel på detta är fallet med vårdboendet där det lätta vindsbjälklaget bör kunna anses uppfylla ett avskiljande krav på REI60 om underramen dimensioneras för att kunna bära överram och yttertakskonstruktion om dessa faller ned samt att råspont eller skivmaterial fångar upp nedfallet så att inte brandcellsgränsen bryts.

10 Slutsatser

Syftet med studien var att utreda och förtydliga vilka regler och krav som gäller för takkonstruktioner på olika typer av byggnader med avseende på brand. Målsättningen var att ta fram en lathund för att kunna bestämma brandmotstånd på en takstol och andra krav som ställs på takkonstruktionen. Det som har framkommit av studien är att bestämningen görs stegvis där många parametrar spelar in, såsom verksamhetsklass, byggnadsklass, brandbelastning, brandsäkerhetsklass, avskiljande funktion samt möjlighet för uppkomst av brand, för att slutligen komma fram till lämpliga brandkrav. En aspekt som problematiserar bestämningen av brandmotstånd är att vissa faktorer, såsom *läget för brandens uppkomst* och *val av brandsäkerhetsklass*, behöver bestämmas genom subjektiv bedömning vilket möjliggör för skillnader från fall till fall.

Studien har också syftat till att utreda hur trätakstolar ska dimensioneras med avseende på bärförmåga vid brand. Det som har framkommit är att alla laster från normalfallet bör vara med. Lasterna ska användas i lastkombinationen för olyckslast vilket innebär en reducering vid jämförelse med brottlastfallet. Det finns två olika förenklade metoder för att beräkna bärförmåga vid brand för en bärverksdel av konstruktionsvirke men eftersom en takstol består av både trä och stål måste även spikplåtsförbandens bärförmåga utredas. I Eurokoden finns ingen dimensioneringsmetodik för utanpåliggande spikplåtar men utifrån vetenskapliga artiklar kan slutsatsen dras att spikplåtarna kan hänföras till brandteknisk klass R0. Från de beräkningar som har gjorts på en tresidigt brandexponerad överram kan slutsatsen dras att en oskyddad yttertakskonstruktion med trätakstolar i princip har brandmotstånd R0.

Inom ramen för studien har även olika åtgärdsförslag för att öka takstolens och takkonstruktionens brandmotstånd utretts. Eftersom en oskyddad takstol kan anses ha brandmotstånd R0 måste de olika åtgärderna kunna skydda takstolen under erfordrad tid. De metoder som har undersökts är gips, trämaterial, isolering, impregnering och brandskyddsfärg varav de tre första kan ge takstolen skydd medan brandskyddsfärg inte är direkt applicerbart på konstruktionsvirke på grund av tvärsnittsbredden. Impregnering reducerar bärförmågan vilket gör att denna metod inte är lämplig.

10.1 Framtida forskning

Denna studie har behandlat hur regler och krav med avseende på brandskydd ser ut och det som har framkommit är att det många gånger krävs en subjektiv bedömning. Det hade därför varit intressant att undersöka hur lagarna och föreskrifterna efterföljs och om några generella riktlinjer kan dras från det. Ett annat ämne som kräver ytterligare studier är hur föreskrifterna och de allmänna råden kan göras tydligare så att problematiken med subjektiva bedömningar gällande *brandens uppkomst* och *brandsäkerhetsklass* kan undanröjas. En fråga som också behöver studeras mer på är dimensioneringsmetodiken för utanpåliggande oskyddade spikförband med avseende på bärförmåga där framförallt ett förtydligande i Eurokoden är eftersträvansvärd. Eftersom trä har många fördelar ur ett hållbarhetsperspektiv är mer forskning kring olika åtgärdsförslag för att klara brandkraven på takstolar önskvärd, exempelvis utveckling av brandimpregnering som inte försämrar träets bärförmåga.

Referenser

Artiklar

Björkman, J., 2012. *Timber joints with punched metal plate fasteners subjected to fire.* Masteruppsats. Luleå tekniska universitet. Hämtat 2018-03-14 från, http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1016188/FULLTEXT02.pdf

Boverket, 2008. *Boverket informerar om vindsbränder i radhus och flerbostadshus.* Hämtat 2018-01-31 från, https://www.boverket.se/contentassets/149976a7b92d457e917f5ee84d85a0b3/2008_4.pdf

Boverket, 2011. *Konsekvensutredning - för revidering (BFS 2011:26) av avsnitt 5 Brandskydd i Boverkets byggregler, BBR (BFS 2011:6), - för allmänt råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BFS 2011:27).* Hämtat 2018-02-19 från, https://www.boverket.se/contentassets/5398e52d625a474c907152fed391058d/konsekvensutredning-bbrad-1-slutlig.pdf

Elewini, E., Sultan, M., & Hadjisophocleous, G. 2007. Gypsum board fall-off in floor assemblies exposed to a standard fire. *In Fire and Materials 10th International Conference* (pp. 1-15).

Frangi, A., Erchinger, C., & Fontana, M., 2010. Experimental fire analysis of steel-to-timber connections using dowels and nails. *Fire and Materials*, 34(1), 1-19.

Hodgin, D.A., 2001. Problems with fire- retardant- treated (FTR) wood extend below the roof deck. *Interface (Raleigh, North Carolina),* 19(3), 5-8+11.

Kolaitis, D.I., Asimakopoulou, E.K., Founti, M.A., 2014. Fire protection of light and massive timber elements using gypsum plasterboards and wood based panels: a large- scale compartment fire test. *Construction and building materials,* 73, 163-170

Malanga, R., 1995. Fire endurance of lightweight wood trusses in building construction. *Fire technology*, 31(1), 44-61.

Moss, P. J., Buchanan, A. H., Fragiacomo, M., Lau, P. H., & Chuo, T., 2009. Fire performance of bolted connections in laminated veneer lumber. *Fire and Materials*, 33(5), 223-243.

Nord, T. 2013. *Wood construction - a review of development and status.* Linköpings universitet. Hämtat 2018-01-30 från, https://www.svenskttra.se/siteassets/2-anvand-tra/1-byggande/sammanstallning-wood-construction-in-the-nordic-countries.pdf

Pousette, A. och Tsantaridis, L., 2016. *Brandskyddat trä - egenskaper och användning, state - of - the - art.* SP-rapport 2016:44. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Vylund, L., och Palmkvist, K., 2017. *Taktik och metodik för släckning av höga trähus*. RISE Rapport 2017:65. RISE Research Institutes of Sweden.

Östman, B., och Stehn, L., 2014. *Brand i flerbostadshus - Analys, rekommendationer och FoU-behov*. SP Rapport 2014:07. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Östman, B., och Boström, L., 2015. Fire Protection Ability of Wood Coverings. *Fire Technology*, *51*, 1475-1493.

Östman, B., 2016. *Beklädnader av trä med brandskyddande förmåga*. SP Info 2016:04.

Böcker

Bergkvist, P., och Fröbel, J., 2013. *Att välja trä. En faktaskrift om trä*. Stockholm: Svenskt Trä

Höst, M., Regnell, B., och Runeson, P., 2006. *Att genomföra examensarbete*. Lund: Studentlitteratur

Lovén, F., Thor, J., Järphag, T., och Jönsson R., 2017. Bärverkets brandskydd, EKS. I Frantzich, H., de Korostenski, T., och Marberg, P-A, (red.). *Brandskyddshandboken #6, En handbok för projektering av brandskydd i byggnader*. Lund: Lunds tekniska högskola, lunds universitet

Svenskt Trä, 2016. *Limträhandboken Del 1*. Stockholm: Svenskt Trä.

Thor, J., 2012. *Bärande konstruktioner och brand. En handbok och lärobok med koppling till brandskyddskraven i EKS och Eurokoderna*. Stockholm: Brandskyddslaget AB

Hjort, B., 2017. *Design according to Eurocode - an introduction*. Kompendium.

Paroc, 2012. *Paroc protection - Brandklassade konstruktioner*. Broschyr.

Webbsidor

Boverket, 2014. *Regelhierarki - från lag till allmänt råd*. Hämtat 2018-02-13 från, https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/regelhierarki/

Boverket, 2017. *Krav på säkerhet i händelse av brand*. Hämtat 2018-02-12 från, https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/

Cembrit, 2011. *Under tak ute, Cementskivor som brandskydd i takfot och taksprång ute*. Hämtat 2018-04-05 från, https://www.cembrit.se/media/4100/under_tak_ute_publ178.pdf

Derome Träteknik, u.å. *Om oss*. Hämtat 2018-04-04 från, http://www.derometrateknik.se/om-oss

Eld & Vatten, 2013. *FB Takfotsventil, Version 1.1*. Hämtat 2018-04-04 från, http://eldochvatten.com/wp-content/uploads/2010/10/Produktdatablad-Takfotsventil-med-monteringsanvisning.pdf

Göteborgs Universitetsbibliotek, 2017. *Källkritik*. Hämtat 2018-02-20 från, http://www.ub.gu.se/skriva/kallkritik/

Knauf, u å (a). *Material och Brand*. Hämtat 2018-03-27 från, https://www.knauf.se/byggfysik-regler/brand/material-och-brand

Knauf, u.å. *Fireboard*. Hämtat 2018-03-28 från, http://byggsystem.knaufdanogips.se/index.php/produkter/brandskydd/byggskivor/produkter-brandskydd-fireboard

Mitek, u.å. *Om oss*. Hämtat 2018-03-16 från, http://www.mitekab.se/om-oss/

Mitek, u.å (a). *Spikplåt GNT - 100S*. Hämtat 2018-03-16 från, http://www.mitekab.se/produkt/spikplat-gnt-100s-10-mm/

Mitek, u.å (b). *Spikplåt MiTek TopW - 100S*. Hämtat 2018-03-16 från, http://www.mitekab.se/produkt/spikplat-gnt-topw/

Mitek, u.å (c). *Spikplåt GNT - 150S*. Hämtat 2018-03-16 från, http://www.mitekab.se/produkt/spikplat-gnt-150s-2/

Protega. u.å. *Vem är Protega?* Hämtat 2018-03-27 från, https://www.protega.se/om-protega/vem-ar-protega/

Protega. 2006. *Dimensioneringstabeller för brandisolering av bärande konstruktioner med NOVATHERM FR*. Hämtat 2018-03-27 från, https://www.protega.se/uploads/extrafiles_file_23.pdf

RISE Research Institutes of Sweden, u.å. *Europeisk brandklassning av material, produkter och konstruktioner*. Hämtat 2018-04-16 från, https://www.sp.se/sv/index/information/fireclassification/Sidor/default.aspx

Räddningstjänsten, 2014. *Brandskydd i radhus*. Hämtat 2018-04-04 från, https://www.rsyd.se/globalassets/bilder/hemochfritid/helbild-870x580/brandskydd_9.pdf

Swedish Standards Institute & Svensk Areamätning AB, 2012. *Så mäter du din bostad.* Hämtat 2018-02-08 från, https://www.sis.se/globalassets/temasidor/konstruktionochtillverkning/areamatning/matbroschyr.pdf

Tenmat, u.å. *Ventilerade takfotsstopp.* Hämtat 2018-04-05 från, http://www.passivabrandskydd.se/takfotsstopp.html

TräGuiden, 2003. *Tak och takfot.* Hämtat 2018-04-05 från, https://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/brandsakerhet/detaljlosningar/detaljlosningar/tak-och-takfot/

TräGuiden, 2014. *Kontroll av pelare för brand.* Hämtat 2018-03-08 från, https://www.traguiden.se/konstruktion/dimensionering/berakningsexempel/hallbyggnader/kontroll-av-pelare-for-brand/

Trä -och möbelföretagen (tmf), 2016. *Trähusbranschen.* Hämtat 2018-01-30 från, http://www.tmf.se/siteassets/statistik/statistiska-publikationer/trahusbranschen/trahusbranschen-2016.pdf

Lagtexter, normer och standarder

BFS 2011:6. *Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2017:5 (konsoliderad version),* kapitel 5 Brandskydd.

BFS 2013:11 *Boverkets allmänna råd om brandbelastning, BBRBE 1.*

BFS 2015:6. *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder), EKS 10,* Avdelning C, kap. 1.1.1 – 1.1.3

BFS 2015:6, a. *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder), EKS 10,* Avdelning A, Allmänna bestämmelser.

BFS 2015:6, b. *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder), EKS 10,* Avdelning B, kap. 0

SFS 2011:338. *Plan -och byggförordningen.* (kap. 3)

Swedish Standards Institute, 2002. SS-EN 1990. *Eurokod - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk.*

Swedish Standards Institute, 2002. SS-EN 1991-1-2:2002. *Eurokod 1 - Laster på bärverk- Allmänna laster- Del 1-2: Allmänna laster - Termisk och mekanisk verkan av brand.*

Swedish Standards Institute, 2004. SS-EN 1995-1-1:2004. *Eurokod 5 - Dimensionering av träkonstruktioner - Del 1-1: Allmänt – Gemensamma regler och regler för byggnader.*

Swedish Standards Institute, 2004. SS-EN 1995-1-2:2004. *Eurokod 5 - Dimensionering av träkonstruktioner - Del 1-2: Allmänt - Brandteknisk dimensionering.*

Swedish Standards Institute, 2009. SS 21054:2009. *Area och volym för husbyggnader - terminologi och mätregler.*

Swedish Standards Institute, 2009. SS-EN 520:2004+A1:2009. *Gipsskivor - definitioner, krav och provning.*

Swedish Standards Institute, 2016. SS-EN 338:2016. *Träkonstruktioner - Konstruktionsvirke - Hållfasthetsklasser.*

Bilaga A - handberäkningar på balk

Beräkningsexempel
Beräkningar för att se om konstruktionsvirke klarar R15.
Uträkningarna har gjorts med stöd från Hjorts kompendium (2017).

Indata

Spännvidd på balk	6 meter
Höjd	220 millimeter
Bredd	45 millimeter
Hållfasthetsklass	C30
Tunghet konstruktionsvirke (γ)	4.6 kN/m^2 (hämtat från SS-EN 338:2016)
Centrumavstånd	1.2 meter (cc)
Snölastekvation	$(s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k \times cc)$
C_e	1.0
C_t	1.0
Ψ_1(för snö)	0.3
P	0
A_d	0
μ_i	0.8
d_0	7 millimeter
β_n	0.8
f_{mk}	30 MPa
k_{fi}	1.25
$\gamma_{M,fi}$	1.0
$k_{mod,fi}$	1.0

Laster

Egentyngd yttertak	650 N/m^2	$g_k = 650 \times 1.2 = 780\ N/m$
Egentyngd balk		$g_k = 4600 \times 0.22 \times 0.045 = 45.54\ N/m$
Snölast	1.5 kN/m^2	$s = 0.8 \times 1.0 \times 1.0 \times 1500 \times 1.2 = 1440\ N/m$

$$E_{d,fi} = \sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \Psi_1 \times Q_{k,1} + \sum_{1>1} \Psi_{2,i} \times Q_{k,i}$$

$$E_{d,fi} = 780 + 45.54 + 0 + 0 + 0.3 \times 1440 + 0 = 1257.54\ N/m$$

Maximala momentet

$$M_{d,fi} = \frac{E_{d,fi} \times l^2}{8} \qquad M_{d.fi} = \frac{1257.54 \times 6^2}{8} = 5.66\ kNm$$

<u>Metod med reducerat tvärsnitt med</u> t = 15 min

$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \times d_0$

$d_{char,n} = \beta_n \times t$ $\qquad$ $d_{char,n} = 0.8 \times 15 = 12\ mm$

$k_0 = \frac{t}{20}$ $\qquad$ $k_0 = \frac{15}{20} = 0.75$

$$d_{ef} = 12 + 0.75 \times 7 = 17.25\ mm$$

<u>Nytt tvärsnitt, brand från tre sidor</u>

$h = 220 - 17.25 = 202.75\ mm$

$b = 45 - 17.25 - 17.25 = 10.5\ mm$

<u>Momentkapacitet</u>

Balken är hindrad från vippning → $k_{crit} = 1.0$

$f_{d,M,fi} = k_{mod,fi} \times \frac{k_{fi} \times f_k}{\gamma_{M,fi}}$ $\qquad$ $f_{d,M,fi} = 1.0 \times \frac{1.25 \times 30}{1} = 37.5\ MPa$

$M_{Rd,fi} = k_{crit} \times f_{d,M,fi} \times W$

$W = \frac{b \times h^2}{6}$ $\qquad$ $W = \frac{0.0105 \times 0.20217^2}{6} = 7.1938 \times 10^{-5} m^3$

$M_{Rd,fi} = 1.0 \times 37.5 \times 10^6 \times 7.1938 \times 10^{-5} = 2.698\ kNm$

$M_{d,fi} > M_{Rd,fi}$ vilket gör att, enligt denna beräkningsmetoden, tvärsnittet *220 × 45* har ett brandmotståndskrav på bärigheten som motsvarar R0.

<u>Metod med reducerade egenskaper</u>

<u>Förkolningsdjup när</u> t = 15 min

$d_{char,n} = \beta_n \times t$ $\qquad$ $d_{char,n} = 0.8 \times 15 = 12\ mm$

<u>Förkolningsdjup när</u> t = 20 min

$d_{char,n} = \beta_n \times t$ $\qquad$ $d_{char,n} = 0.8 \times 20 = 16\ mm$

<u>Reducerat tvärsnitt när</u> t = 15 min

$h = 220 - 12 = 208\ mm$

$b = 45 - 12 - 12 = 21\ mm$

<u>Reducerat tvärsnitt när t</u> =20 min

$h = 220 - 16 = 204\ mm$

$b = 45 - 16 - 16 = 13\ mm$

<u>Beräkning av</u> $k_{mod,fi}$

$k_{mod,fi}(0) = 1.0$

$$k_{mod,fi}(20) = 1.0 - \frac{1}{200} \times \frac{p}{A_r}$$

$p = h \times 2 + b \times 2$ $\qquad$ $p = 204 \times 2 + 13 \times 2 = 434\ mm = 0434\ m$

$A_r = h \times b$ $\qquad$ $A_r = 204 \times 13 = 2652\ mm^2 = 0.002652\ m^2$

$$k_{mod,fi}(20) = 1.0 - \frac{1}{200} \times \frac{0.434}{0.002652} = 0.18175$$

Interpolering mellan $k_{mod,fi}(0)$ och $k_{mod,fi}(20)$ för att få fram $k_{mod,fi}(15)$.

$$k_{mod,fi}(15) = 1 + \frac{15 - 0}{20 - 0} \times (0.18175 - 1.0) = 0.3863$$

<u>Momentkapacitet</u>

$f_{d,M,fi} = k_{mod,fi} \times \frac{k_{fi} \times f_k}{\gamma_{M,fi}}$ $\qquad$ $f_{d,M,fi} = 0.3863 \times \frac{1.25 \times 30 \times 10^6}{1} = 14.49\ MPa$

$M_{Rd,fi} = k_{crit} \times f_{d,M,fi} \times W$

$W = \frac{b \times h^2}{6}$ $\qquad$ $W = \frac{0.021 \times 0.208^2}{6} = 1.51424 \times 10^{-4} m^3$

$M_{Rd,fi} = 1.0 \times 14.49 \times 10^6 \times 1.51424 \times 10^{-4} = 2.19\ kNm$

$M_{d,fi} > M_{Rd,fi}$ vilket gör att, enligt denna beräkningsmetoden, tvärsnittet *45 × 220* har ett brandmotståndskrav på bärigheten som motsvarar R0.

<u>Beräkning med ett ökat tvärsnitt på balken</u>

h	220 millimeter
b	70 millimeter
t	15 minuter

Egentyngd balk $\qquad$ $g_k = 4600 \times 0.22 \times 0.07 = 70.84\ N/m$

De övriga lasterna är samma som för den mindre tvärsnittsarean

Egentyngd yttertak $\quad$ 650 N/m^2 $\qquad$ $g_k = 650 \times 1.2 = 780\ N/m$

Snölast 1.5 kN/m^2 $s = 0.8 \times 1.0 \times 1.0 \times 1500 \times 1.2 = 1440\ N/m$

$$E_{d,fi} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \Psi_1 \times Q_{k,1} + \sum_{1>1} \Psi_{2,i} \times Q_{k,i}$$

$$E_{d,fi} = 780 + 70.84 + 0 + 0 + 0.3 \times 1440 + 0 = 1282.84\ N/m$$

<u>Maximala momentet</u>

$M_{d,fi} = \frac{E_{d,fi} \times l^2}{8}$ $M_{d,fi} = \frac{1282.84 \times 6^2}{8} = 5.77\ kNm$

<u>Metod med reducerat tvärsnitt</u> t = 15 min

$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \times d_0$

$d_{char,n} = \beta_n \times t$ $d_{char,n} = 0.8 \times 15 = 12\ mm$

$k_0 = \frac{t}{20}$ $k_0 = \frac{15}{20} = 0.75$

$d_{ef} = 12 + 0.75 \times 7 = 17.25\ mm$

<u>Reducerat tvärsnitt</u>

$h = 220 - 17.25 = 202.75\ mm$

$b = 70 - 17.25 - 17.25 = 35.5\ mm$

Balken är hindrad från vippning → $k_{crit} = 1.0$

$f_{d,M,fi} = k_{mod,fi} \times \frac{k_{fi} \times f_k}{\gamma_{M,fi}}$ $f_{d,M,fi} = 1.0 \times \frac{1.25 \times 30 \times 10^6}{1} = 37.5\ MPa$

$M_{Rd,fi} = k_{crit} \times f_{d,M,fi} \times W$

$W = \frac{b \times h^2}{6}$ $W = \frac{0.0355 \times 0.20275^2}{6} = 2.4322 \times 10^{-4} m^3$

$M_{Rd,fi} = 1.0 \times 37.5 \times 10^6 \times 2.4322 \times 10^{-4} = 9.12\ kNm$

$M_{d,fi} < M_{Rd,fi}$ vilket gör att tvärsnittet *70 × 220* har ett brandmotståndskrav på bärigheten som motsvarar R15.

Bilaga B - dimensionerande laster med reduktionsfaktor

Dimensionerande laster med hjälp av reduktionsfaktor

I SS - EN 1991-1-2 beskrivs förenklade regler för dimensionerande laster i brandfallet vilka grundar sig på relevant lastkombination i brottgränstillstånd. Tillhörande reduktionsfaktorer (η_{fi}) multipliceras med lämplig lastkombination (6.10, 6.10a eller 6.10b) för att få fram de laster som ska räknas med i en brandsituation. För att få använda sig av de förenklade reglerna gäller det att följande tas i beaktning:

- När indirekta tvångslaster inte särskilt behöver tas hänsyn till kan analys göras för t = 0, där lasteffekten ($E_{fi,d}$) kan antas vara konstant under hela brandförloppet.
- De lasteffekter som används vid normal temperatur får även användas vid brand om en reduktionsfaktor används.

Nedan presenteras användningen av reduktionsfaktorn.

$E_{fi,d,t} = E_{fi,d} = \eta_{fi} \times E_d$

E_d	Dimensionerande laster i brottgränstillståndet
$E_{fi,d}$	Motsvarande dimensionerande värde i en brandsituation, där värdet är konstant.
η_{fi}	Reduktionsfaktor (endast för 6.10, 6.10a och 6.10b och hittas i SS-EN 1995-1-2).

Reduktionsfaktorn för dimensionerande last vid brand, hittas i SS-EN 1995-1-2, räknas ut olika beroende på vilken lastkombination i brottgränstillståndet som används.

Följande formel används för lastkombination 6.10:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \Psi_{fi} \times Q_{k,1}}{\gamma_G \times G_k + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1}}$$

Det minsta värdet ur dessa två formlerna ska användas vid användning av lastkombinationerna 6.10a och 6.10b:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \Psi_{fi} \times Q_{k,1}}{\gamma_G \times G_k + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1}}$$

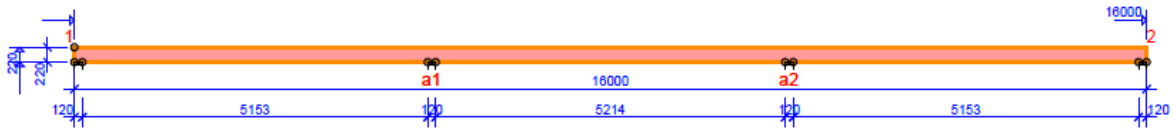
$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \Psi_{fi} \times Q_{k,1}}{\xi \times \gamma_G \times G_k + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1}}$$

$Q_{k,1}$	Det karakteristiska värdet på den variabla huvudlasten.
G_k	Det karakteristiska värdet på den permanenta lasten.
γ_G	Partialkoefficient för permanenta laster för den aktuella lastkombinationen.
$\gamma_{Q,1}$	Partialkoefficient för variabel last för den aktuella lastkombinationen.
Ψ_{fi}	Kombinationsfaktorn för frekvent värde för variabla laster vid brand, enligt EKS (BFS 2015:6, a) ska faktorn för frekvent värde (ψ_1) användas.
ξ	Reduktionsfaktor för ogynnsamma permanenta laster sätts till 0.89 enligt EKS (BFS 2015:6, b).

Bilaga C - beräkning av balk i brottgränstillstånd

Utdrag från beräkningdokumentation av balk i brottgränstillstånd med hjälp av datorprogrammet Pamir.

Schematisk bild av balk:



Generell information och laster:

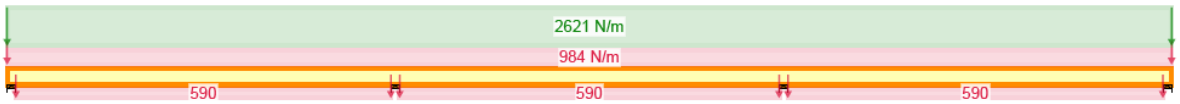
BELASTNINGAR (N/m²)	
SNÖLAST (Sk, 400 m.ö.h.):	2000 N/m²
VINDLAST (qp(z)):	926 N/m²
EGENLAST PÅ YTTERTAK:	750
EGENLAST PÅ INNERTAK:	450

Generella projektuppgifter

Grundläggande dimensioneringsregler	EN 1990:2002 + A1:2005 + EKS 10
Dimensionering av träkonstruktioner	EN 1995-1-1:2004 + A2:2014 + EKS 10
Egentyngd och nyttig last	EN 1991-1-1:2002 + EKS 10
Snölast	EN 1991-1-3:2002 + EKS 10
Vindlast	EN 1991-1-4:2005 + EKS 10

Tillverkningskontroll	Nej
Klimatklass	2 = 65% <= RF < 85%
Säkerhetsklass	SK2
Lastfördelningsfaktor	1,1
C/C	1200 mm
Antal sammansatta	1

Schematisk bild av balk med dimensionerande laster:



Dimensionerande lastkombination:

1,09*Egentyngd + 1,37*Liksidig snö + 0,96*(NL1 + NL2 + NL3 + NL4)

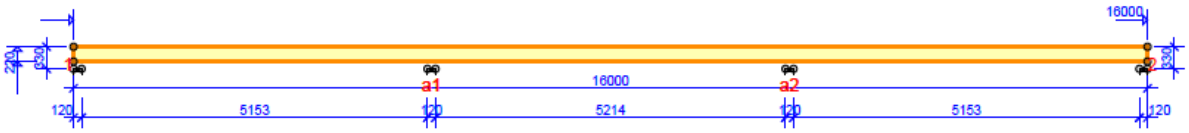
Balkens tvärsnitt och utnyttjandegrad:

TVÄRSNITT BREDD 45 mm				
KONSTR. DEL	HÖJD mm	KVALITET	AVSTYV. mm/st	NG. %
1-2	220	C24	Full	171

Bilaga D - beräkning av balk i brandlastfallet

Utdrag från beräkningsdokumentation av balk i brandlastfallet med hjälp av datorprogrammet Pamir.

Schematisk bild av balk:



Generell information och laster:

BELASTNINGAR (N/m²)	
SNÖLAST (Sk, 400 m.ö.h.):	2000 N/m²
VINDLAST (qp(z)):	926 N/m²
EGENLAST PÅ YTTERTAK:	750
EGENLAST PÅ INNERTAK:	450
ÖVRIGA LASTER ENLIGT BERÄKNINGSUTSKRIFT	

Generella projektuppgifter

Grundläggande dimensioneringsregler	EN 1990:2002 + A1:2005 + EKS 10
Dimensionering av träkonstruktioner	EN 1995-1-1:2004 + A2:2014 + EKS 10
Egentyngd och nyttig last	EN 1991-1-1:2002 + EKS 10
Snölast	EN 1991-1-3:2002 + EKS 10
Vindlast	EN 1991-1-4:2005 + EKS 10
Branddimensionering	EN 1995-1-2

Tillverkningskontroll	Nej
Klimatklass	2 = 65% <= RF < 85%
Säkerhetsklass	SK2
Lastfördelningsfaktor	1
C/C	1200 mm
Antal sammansatta	1

Schematisk bild av balk med dimensionerande laster:

Dimensionerande lastkombination:

1,00*Egentyngd + 0,40*Liksidig snö + 0,30*(NL1 + NL2 + NL3 + NL4)

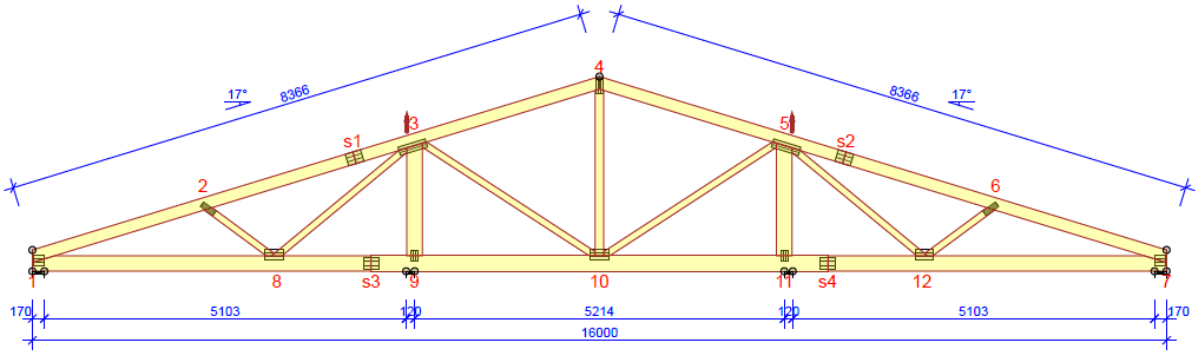
Balkens tvärsnitt och utnyttjandegrad:

TVÄRSNITT BREDD 45 mm				
KONSTR. DEL	HÖJD mm	KVALITET	AVSTYV. mm/st	NG. %
1-2	220	C24	Full	53

Bilaga E - beräkning av takstol i brottgränstillstånd

Utdrag från beräkningsdokumentation av fackverkstakstol i brottgränstillståndet med hjälp av datorprogrammet Pamir.

Schematisk bild av takstol:



Generell information och laster:

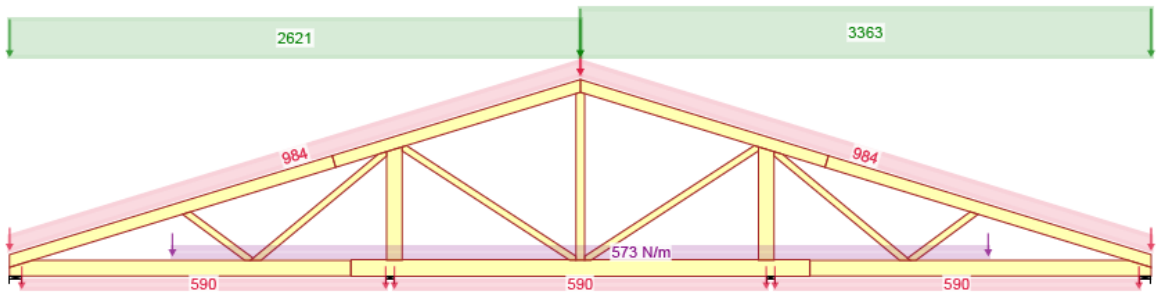
BELASTNINGAR (N/m²)	
SNÖLAST (Sk, 400 m.ö.h.):	2000 N/m²
VINDLAST (qp(z)):	926 N/m²
NYTTIG LAST PÅ UNDERRAM:	500
EGENLAST PÅ YTTERTAK:	750
EGENLAST PÅ INNERTAK:	450

Generella projektuppgifter

Grundläggande dimensioneringsregler	EN 1990:2002 + A1:2005 + EKS 10
Dimensionering av träkonstruktioner	EN 1995-1-1:2004 + A2:2014 + EKS 10
Egentyngd och nyttig last	EN 1991-1-1:2002 + EKS 10
Snölast	EN 1991-1-3:2002 + EKS 10
Vindlast	EN 1991-1-4:2005 + EKS 10

Tillverkningskontroll	Nej
Klimatklass	2 = 65% <= RF < 85%
Säkerhetsklass	SK2
Lastfördelningsfaktor	1,1
C/C	1200 mm
Antal sammansatta	1

Schematisk bild av takstol med dimensionerande laster:



Dimensionerande lastkombination:

1,09*Egentyngd + 1,37*Snö höger (μ4 höger, μ1 vänster) + 0,96*(NL1 + NL2 + NL3 + NL4)

Takstolens tvärsnitt och utnyttjandegrad:

TVÄRSNITT BREDD 45 mm				
KONSTR. DEL	HÖJD mm	KVALITET	AVSTYV. mm/st	NG. %
1-4	170	C30	Full	74
4-7	170	C30	Full	74
1-7	220	C24	Full	32
2-8	95	C24	Ingen	62
3-8	95	C24	Ingen	34
3-9	220	C30	Ingen	83
3-10	95	C24	Ingen	26
4-10	120	C24	Ingen	97
5-10	95	C24	Ingen	26
5-11	220	C30	Ingen	83
5-12	95	C24	Ingen	34
6-12	95	C24	Ingen	62

Kajsa Lindhé

Frida Bernander

HÖGSKOLAN
I HALMSTAD

Besöksadress: Kristian IV:s väg 3
Postadress: Box 823, 301 18 Halmstad
Telefon: 035-16 71 00
E-mail: registrator@hh.se
www.hh.se