

RAMVERK FÖR HANTERING AV BRANDBELASTNING VID PROJEKTERING AV TRÄHUS

Slutrapport

Författare: Axel Mossberg, Daniel Brandon, Alastair Temple, Robert McNamee & Bengt Gäfväls

Rapport nr: 2023:1

SBUF ID: 14145

Finansiärer:





Sammanfattning

Byggandet av trähus ökar snabbt i Sverige. Ökat byggande med trä kan potentiellt bidra till både ökad kostnadseffektivitet och en lägre klimatbelastning inom byggbranschen. För att det ska bli en lägre klimatbelastning är det dock viktigt att byggnaden fungerar som en kolsänka, vilket innebär att kolet i byggnaden hålls bundet, åtminstone till dess att nya träd har vuxit upp. Det är därför viktigt för personsäkerhet, egendomsskydd och klimat att byggnader i trä inte har väsentligt större risk än andra byggnader för att totalskadas vid brand.

Sen 1994 och introduktionen av Boverkets Byggregler (BBR) är de svenska byggreglerna kopplat till brand materialneutrala. Det innebär att byggnader med stomme i trä har samma förutsättningar rent regeltekniskt som byggnader med stomme i betong, stål eller andra material. Det finns dock en avgörande skillnad i byggnadens brandbelastning när stommen är brännbar, speciellt om stommen samtidigt är exponerad, vilket inte tas hänsyn till på ett tydligt sätt i regelverket. Brandbelastning är en viktig faktor i det svenska regelverket och reglerar bland annat byggnadens bärförmåga vid brand, tillåten storlek och brandmotstånd på brandceller/-sektioner och liknande. Trä skiljer sig här från sina obrännbara motsvarigheter och samtidigt som byggandet med trä har ökat har även forskningen och medvetenheten på området gått snabbt framåt på senare år. Med ökat kunskapsunderlag har dock en osäkerhet skapats kopplat till hur regelverk och kunskap ska tillämpas vid bedömningen av brandbelastningen för byggnader i trä. Boverket har identifierat frågan som en särskilt viktig utredningspunkt i arbetet med de nya byggreglerna och även föreslagit ändringar i regelverket för att tydligare kravställa att motsvarande säkerhetsnivå i byggnader med brännbart stommaterial som i andra byggnader. Även de stora branschföreningarna (Föreningen för Brandteknisk ingenjörsvetenskap, BIV, och Sveriges Brandkonsultförening, BRA) har pekat ut frågan om den inneboende brandbelastningen i trästommen som speciellt viktig att utreda för att säkerställa att korrekta säkerhetsnivåer kravställs.

Det byggs med trä i högt tempo redan nu och avsikten med det aktuella projektet är att ge enkel och praktisk vägledning i hur trähus bör projekteras ur brandteknisk synvinkel för att ta hänsyn till både gällande, och kanske än mer kommande, regelverk och den kunskap som finns på området. Ramverket som presenteras i denna rapport avser att ge projektörer stöd och ett gemensamt underlag att utgå ifrån för att minska säkerhets- och projektrisker kopplade till den brandtekniska projekteringen av byggnader med trä som bärande stommaterial.

Ramverket som utvecklats beaktar verksamhets- och byggnadsspecifika förutsättningar så som variabel brandbelastning, utformning av öppningar (även benämnt öppningsfaktor) och mängd exponerad trästomme. Ramverket har utformats för att vara enkelt att använda, vilket ökar möjligheten för likartade bedömningar i olika projekt med exponerad trästomme. Det utvecklade ramverket bedöms genom detta kunna bidra till att förenkla byggande med

trästomme samtidigt som säkerhetsnivån både bedöms bli bättre, mer effektivt utformad och mer homogen.

Ramverket är förenklat men bygger på flera olika avancerade modeller och är förknippat med en rad begränsningar, avgränsningar och avgörande antaganden. Användare av ramverket behöver därför sätta sig in i det underlag som presenteras i rapporten för att säkerställa att projektering sker i enlighet med de förutsättningar som ramverket bygger på. Ansvaret vid användande av ramverket ligger alltså hos respektive projektör och inte hos författarna till denna rapport.

Förord

Den här rapporten utgör slutrapport i projektet ”Ramverk för hantering av brandbelastning vid projektering av trähus”. Projektet finansierades av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), Smart Housing Småland (SHS)¹, Sveriges Brandkonsultförening (BRA) och Centrum för Boende och Byggnade i Trä (CBBT).

Arbetet som ligger till grund för denna rapport genomfördes av författarna och koordinerades av Axel Mossberg, Bengt Dahlgren Brand & Risk. Ramverket som presenteras utvecklades genom en samlad insats av projektgruppen där Bengt Dahlgren Brand & Risk och NCC i huvudsak stod för kartläggning av behoven hos de tänkta användarna av ramverket samt vilka grundläggande kravställningar och principiella underlag som ramverket behövde uppfylla för att bli praktiskt applicerbart. RISE, under ledning av Daniel Brandon, stod för att utveckla en teknisk lösning för att möta dessa kravställningar och behov.

Projektets syfte var att ta fram ett underlag för brandsäker projektering av trähus. I samband med arbetet i projektet presenterade Boverket remissen för de nya byggregler som planeras att träda i kraft under 2024. I dessa byggregler är regleringen av byggnader med trästomme förändrad på ett sätt som kan ha relativt stor påverkan på många sådana byggnader. Resultaten från det aktuella projektet kan ge projektörer stöd i hur utformningen av byggnader med trästomme ska kunna utföras i de fall som t.ex. delar av trästommen exponeras eller liknande.

Till projektet knöts en expertgrupp för regeltolkning som bestod av:

- Caspar Kindt, Bricon
- Cecilia Ylikangas, Tyréns
- Jesper Dalgren, FSD
- Lisa Broberg, Brandskyddslaget
- Martin Tornborg, Ramböll
- Martina Jelvinger, Bengt Dahlgren Brand & Risk
- Tim Hedlund, Brandskyddslaget

Utöver expertgruppen var även projektets referensgrupp en viktig del av framgången. I referensgruppen ingick:

- Caroline Bernelius Cronsioe, Föreningen för Brandteknisk Ingenjörsvetenskap (BIV)

¹ Smart Housing Småland finansieras av Vinnova, Region Kalmar, Jönköping och Kronoberg

- Fabian Ardin, Boverket
- Håkan Frantzich, Lunds Tekniska Högskola (LTH)
- Madelene Nordkvist, Räddningstjänsten Storgöteborg
- Magnus Norberg, Sveriges Brandkonsultförening (BRA)
- Mats Sundbom, Jämtlands Räddningstjänstförbund
- Stephanie Lenngren, SSEA
- Åsa Bolmsvik, Skanska

Författarna vill rikta ett stort tack till alla medverkande för gott samarbete under projektets gång.

Innehållsförteckning

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INLEDNING | 9 |
| 1.1 | Syfte och mål..... | 11 |
| 1.2 | Begränsningar/avgränsningar | 12 |
| 1.3 | Läsanvisningar | 15 |
| 2 | METOD | 16 |
| 2.1 | Genomförande | 16 |
| 2.2 | Litteraturstudie | 17 |
| 2.3 | Workshop med experter | 17 |
| 2.4 | Hantering av riskfaktorer | 17 |
| 2.5 | Analys och använd beräkningsmodell | 18 |
| 2.6 | Riktlinjer för projektering/användning av resultat | 27 |
| 3 | LITTERATURSTUDIE | 28 |
| 3.1 | Brandbelastning och brandmotstånd | 28 |
| 3.2 | Bakgrund till kraven på brandmotstånd i det svenska regelverket | 29 |
| 3.3 | Föreslagna ändringar av det svenska regelverket | 36 |
| 3.4 | Trä och brand..... | 37 |
| 3.5 | Reperterbarhet vid tillämpning av analytiska lösningar | 38 |
| 3.6 | Brandbelastning för olika verksamheter | 38 |
| 3.7 | Öppningsfaktorns påverkan på brandförloppet | 39 |
| 3.8 | Sammanfattande diskussion..... | 39 |
| 4 | RAMVERK FÖR DIMENSIONERING AV TRÄKONSTRUKTIONER | 41 |
| 4.1 | Dimensioneringsprocess | 41 |
| 4.2 | Förkolningsdjup | 43 |
| 4.3 | Passivt skydd av icke-exponerade ytor | 45 |
| 4.4 | Säkerställande av integritet i KL-trä..... | 47 |
| 4.5 | Justering av förkolningsdjup beroende på placering | 48 |
| 5 | EXEMPEL PÅ TILLÄMPNING | 49 |
| 6 | DISKUSSION | 54 |
| 7 | SLUTSATS | 57 |
| 8 | FÖRSLAG PÅ FRAMTIDA FORSKNING | 58 |
| 9 | REFERENSER | 59 |

| | |
|---|----|
| BILAGA A – INGÅENDE BESKRIVNING AV BERÄKNINGSMODELLEN | 66 |
| Equations | 70 |
| BILAGA B – VALIDERING AV BERÄKNINGSMODELL..... | 78 |
| BILAGA C – KÄNSLIGHETSANALYS | 83 |
| BILAGA D – MAXIMAL TEMPERATUR VID FÖRKOLNINGSRANDEN UNDER BRANDFÖRLOPPET | 89 |

I INLEDNING

I och med övergången från Nybyggnadsreglerna till Boverkets byggregler 1994 skiftade byggreglerna till att vara s.k. materialneutrala. Detta innebar att det tidigare förbudet mot att ha brännbart material i stommen för byggnader med fler än tre våningsplan inte längre fanns. I konsekvensutredningen vid denna övergång angavs då att det nu skulle finnas möjlighet att bygga hus med fler våningar i trä än tidigare och att det fanns exempel på byggnader i trä med upp till fem våningsplan i t.ex. USA och Kanada.

Bygandet med trästomme gick i början relativt långsamt men med introduktionen av KL-trä på marknaden ändrades förutsättningarna markant. Det byggs idag mer hus med trästomme än någonsin tidigare och under 2021 var ca 20 % av de påbörjade lägenhetsbyggena i byggnader med trästomme [1]. Det byggs inte bara fler byggnader i trä utan även högre byggnader. Några exempel på detta är bygandet av Mjöstornet i norska Brummunddal (18 våningar), Sara Kulturhus i Skellefteå (20 våningar) och HoHo i Wien (24 våningar). Incitamenten att bygga med trä är både kopplade till ekonomi och miljö. För att trähus ska bidra till en mindre klimatpåverkan än byggnader med andra stommaterial krävs dock att de står kvar under en sådan tid att nya träd hinner växa upp. Det är därför viktigt för personsäkerhet, egendomsskydd och klimat att byggnader i trä inte har väsentligt större risk än andra byggnader för att totalskadas vid brand.

Med det ökade bygandet i trä har även forskningen på området ökat och det har på senare år både publicerats och initierats mer forskning på området än någonsin tidigare [2]. Med ökad kunskap har det dock även uppkommit en osäkerhet i branschen i vilken mån hänsyn ska tas till stommens brandbelastning vid dimensionering av byggnader med trästomme. Strikt tolkat kan reglerna både läsas som att hela stommens brandbelastning behöver beaktas eller som att ingen brandbelastning från stommen behöver beaktas. När Boverket tillfrågats (dnr 2766/2019) har svaret varit att den juridiskt korrekta lösningen inte nödvändigtvis är en säker lösning och att byggherren och brandskyddskonsulterna bör ”hantera situationen på ett klokt sätt” oaktat formuleringarna i regelverket. Boverket har även gått ut med att just byggnader med trästomme

är ett av de områden som särskilt utreds för ändrade kravställningar kopplat till arbetet med Möjligheternas byggregler².

Frågan har på senare tid även diskuterats av branschföreningarna Sveriges Brandkonsultförening (BRA) och föreningen för Brandteknisk Ingenjörsvetenskap (BIV). Den senare av dessa har även släppt en rapport med frågeställningar kopplat till brandskydd av trähusbyggnader [3]. Även här är mycket fokus på frågan om brandbelastning och exponerade stomdelar, vilket är parametrar som har stor påverkan på projekteringen av brandskyddet i en byggnad.

Denna fråga har även diskuterats i tidigare forskningsprojekt, men då primärt kopplat till byggnader med fler än 16 våningsplan [4], [5]. I dessa projekt konstaterades även att brandbelastningen hos stommen i en byggnad av trä är en fråga där stora kunskapsluckor finns och där lösningarna varierar. Det kan även konstateras att de projekten inte fokuserade på denna fråga och därför rekommenderade en enkel lösning för problemet, det vill säga inklädnad av hela stommen med gips, eller motsvarande material. Denna lösning är dock inte alltid önskvärd och kan innebära en högre belastning på klimatet än nödvändigt för många byggnader. Det bör även tilläggas att byggnader med fler än 16 våningsplan är speciella ur brandteknisk synpunkt då det inte finns några allmänna råd att förhålla sig till gällande projekteringen av brandskyddet. Det finns därför fortsatt behov av stöd kopplat till mer ”vanliga” byggnader, som inte har fler än 16 våningsplan.

Osäkerheterna kopplat till lämplig kravnivå och tolkningen av regelverket innebär idag att olika fastighetsägare, brandskyddskonsulter och granskande myndigheter riskerar att ha olika uppfattning om vilken kravbild som föreligger. Detta innebär en tydlig projektrisk för många byggnader med trästomme, speciellt i de fall stommen avser vara helt, eller delvis, exponerad. Det finns exempel på fall där olika brandskyddskonsulter (eller sakkunniga) ställt olika krav på bärverkets brandklass för en och samma byggnad, även för relativt ”vanliga” byggnader. Motsvarande gäller även huruvida stommen kan vara helt, delvis eller alls exponerad, där åsikterna om skyddsbehov och riskpåverkan idag går isär i branschen. Det finns även risk för att osäkerheterna, och/eller eventuella bränder i byggnader där brandskyddet inte projekterats korrekt i förhållande till den belastningen som skulle kunna uppstå. Sådana incidenter skulle kunna leda till en överdrivet konservativ reglering som effekt. Exempel på sådana effekter kan

² Presentation Fabian Ardin, Boverket, på Brandskydd 2021 samt mailkonversation med Fabian Ardin, Boverket, 2022-05-11.

ses i efterspelet av den tragiska branden i Grenfell tower i Storbritannien, där många människor omkom på grund av snabb brandspridning i fasaden. I eftermälet av branden har brännbara delar förbjudits i fasadkonstruktionen generellt för vissa byggnader i Storbritannien [6]. Sådan reglering kan vara naturlig efter en omfattande händelse men skulle kunna ge stor påverkan på vilka material som får användas och hur. En omfattande händelse i en träbyggnad skulle alltså kunna riskera att påverka möjligheterna att bygga med trä negativt.

Av den forskning som publicerats på området kan det konstateras att det i hög takt tillkommer ny kunskap om hur en byggnad med träkonstruktion beter sig i olika brandförlopp, men att denna kunskap är svår för brandskyddskonsulter att applicera i byggprojekt. Detta då inga samlade riktlinjer eller vägledningar tagits fram som utifrån utförda tester kopplar till hur brandbelastning och exponerade stomdelar bör beaktas vid projektering. Trots vissa kvarvarande kunskapsluckor så finns det alltså mycket kunskap som skulle kunna användas men det har hittills saknats ett ramverk för hur dessa kunskaper ska implementeras vid projektering av trähus. I och med förslagen till ändringar i de nya byggreglerna blir ämnet ännu mer aktuellt, i och med att brandbelastningen i byggnader med trästomme framöver sannolikt kommer behöva beaktas. Detta är något som få konsulter idag har kunskap om hur det ska göras.

1.1 Syfte och mål

Mot bakgrund av ovanstående problemställningar är syftet med projektet att möjliggöra en förenklad och evidensbaserad metod för att beakta den permanenta brandbelastningen i byggnader med trästomme. Detta bedöms kunna förenkla användandet av trästomme på ett brandtekniskt säkert sätt och på så sätt bidra positivt till möjligheterna att bygga mer med trä samtidigt som riskerna vid brand minskas.

Målet med projektet är att ta fram ett ramverk för projektering av träbyggnader där byggnads- och verksamhetsspecifika riskfaktorer kopplas till lämpligt brandskydd i förhållande till den brännbara stommen. Ett sådant ramverk bedöms ge större möjligheter för enhetliga bedömningar och således sänka projektriskerna kopplat till brandskyddet vid byggande med trästomme. Det bedöms även minska den långsiktiga risken för omfattande bränder i denna typ av byggnader. Det räcker med att enskilda omfattande bränder inträffar för att påverka allmänhetens tilltro till trä som byggmaterial, vilket i förlängningen skulle kunna påverka regleringen av byggnader med trästomme på ett sätt som är negativt för träbyggandet. Med ett evidensbaserat ramverk bedöms denna risk minska avsevärt. Ramverket i sig baseras på beräkningar av inbränning i träkonstruktionen för ett fullständigt brandförlopp samt underlag för

att beräkna det icke-bärande lagret för brandlastfall enligt EKS. Dessutom ges kravställningar på eventuell täandskyddande beklädnad av icke exponerade delar av träkonstruktionen.

Utöver ovanstående kommer projektet kunna bidra med underlag till Boverket och branschen som stöd till en framtida reglering, och/eller standardisering, av brandskyddskraven kopplat till byggnader med trästomme. Detta bedöms viktigt då projektet bedöms kunna ge en nyanserad bild av riskerna kopplat till byggnader med trästomme och på så vis bidra till att regleringen inte blir överdrivet konservativ, vilket kan ha negativ effekt på framtida byggmöjligheter och/eller kostnader för sådana byggnader.

1.2 Begränsningar/avgränsningar

Arbetet som är utfört i den här rapporten är förknippat med ett antal antaganden och begränsningar. Dessa är delvis direkt förknippade med beräkningsmodellen, men även med den indata som beräkningsmodellen använder. Samtliga begränsningar och avgränsningar går inte att lista specifikt men i detta avsnitt har några viktiga aspekter särskilt belysts. Observera dock att ytterligare begränsningar/avgränsningar nämns i den löpande texten och att beräkningsmodeller och liknande kan ha inneboende begränsningar och avgränsningar som kan behöva beaktas.

Det är viktigt att observera att användare av ramverket som presenteras i denna rapport i slutändan också är ansvariga för att säkerställa att ramverket tillämpligt för den aktuella projekteringssituationen. Användare måste alltså verifiera att de antaganden och begränsningar som listas nedan innehålls eller behandlas konservativt. Detta gäller även de principiella antaganden som är förknippade med enzonsmodellering generellt, vilket diskuteras vidare i avsnitt 2.5.1.

Målet med projektet är alltså att ta fram ett ramverk för projektering av byggnader med trästomme där byggnads- och verksamhetsspecifika riskfaktorer kopplas till lämpligt brandskydd. Målet är även att ta hänsyn till gällande och, i den mån det är möjligt, de kommande byggreglerna som föreslås i projektet *Möjligheternas byggregler*. Detta innebär att grundsyftet med ramverket är att uppfylla kraven vid dimensionering enligt modell av naturligt brandförlopp i EKS 12 [7]. För högre brandsäkerhetsklasser och Br0-byggnader kan användaren behöva justera brandbelastningen med 50 %, respektive 100 %, beroende på byggnad och byggnadsdel. Detta är alltså något som användaren själv behöver beakta vid användning av ramverket.

Vid korrekt användande bedöms ramverket vara applicerbart för de flesta möjliga utformningar med trästomme. Det är dock viktigt att notera att branddynamiken i träbyggnader är komplex och brandskadorna i utrymmen med exponerat trä kan påverkas av flera olika parametrar. Att hantera alla sådana parametrar som variabler i ramverket skulle resultera i både en för omfattande mängd scenarier att studera och för omfattande resultat för att hålla ramverket relevant och praktiskt applicerbart. För att reducera antalet variabler har följande principer tillämpats för olika parametrar:

1. Konservativa antaganden där detta bedömts lämpligt.
2. Omformulering av ingångsparametrar för att ge större applicerbarhet.
3. Användning av etablerade standarder och bedömningsmetoder för enskilda parametrar.

Där osäkerheter har funnits i olika variabelers påverkan på slutresultatet har dessutom ett antal känslighetsanalyser genomförts.

I tabellen nedan listas några viktiga parametrar och hur de hanterats i ramverket.

Tabell 1. Lista på parametrar och hur dessa hanterats i ramverket.

| Parameter | Hantering i ramverket |
|-----------------------------------|---|
| Storlek på ventilationsöppningar | Behandlas som en variabel i ramverket. |
| Omfattning av exponerad trästomme | Behandlas som en variabel i ramverket. |
| Placering av exponerade ytor | Om exponerade träytor placeras så att de strålar mot varandra med stor synfaktor finns det en risk att branden inte självslocknar. Det bör därför undvikas att placera exponerade träytor i innerhörn eller andra sammansättningar med stor synfaktor mot varandra. Inom det aktuella projektet har det inte studerats vilka avstånd som kan vara lämpliga. |
| Brandbelastning | Behandlas som en variabel i ramverket. Dock behöver brandbelastning per golvarea omvandlas till brandbelastning per omslutningsarea för att minska känsligheten av utrymmets storlek och volym, se känslighetsanalys i avsnitt 2.5.3. |
| Utrymmets volym och utformning | Modellen bedöms applicerbar för de geometriska utformningar där de grundläggande antagandena för modellen bedöms |

korrekta. Se dock även känslighetsanalysen som är utförd i avsnitt 2.5.3 samt diskussion gällande hantering av lokaler med väldigt stor öppningsfaktor i avsnitt 6.

Ytskikt i utrymmet

De delar av utrymmet som inte utgörs av exponerat trä antas vara klädda med gips, eller termiskt motsvarande material, i tillräcklig utsträckning för att bakomliggande brännbart material inte ska involveras i branden, se även avsnitt 4.3. Gips är relativt termiskt inert, vilket innebär att beräknade brandtemperaturer under detta antagande aningen är representativa eller konservativa.

Maximal effektutveckling per ytenhet för variabel brandbelastning

Har antagits vara 250 kW/m^2 i enlighet med EN 1991-1-2 [8], vilket anges som maxvärde för de flesta listade verksamheter, utom teatrar och bibliotek.

Brandens tillväxthastighet

I och med att det som primärt studeras är bränder som går till övertändning med relativt stora ytor exponerade träytor så bedöms den konstruktiva påverkan av en brand beräknad i modellen vara relativt okänslig för tillväxthastigheten i den variabla brandbelastningen. Detta eftersom tidsperioden innan träytskiktet antänder inte innebär några större skador på träkonstruktionen och förbränningen av trämaterial bedöms bli styrande efter det att träkonstruktionen antänt. Förbränningen av träkonstruktionen accelererar i sin tur förbränningen av den variabla brandbelastningen i utrymmet. På grund av detta bedöms en fast brandtillväxt enligt EN 1991-1-2 [8] vara ett rimligt antagande i beräkningarna.

Materialbeteende

Integritet hos exponerat trä

Beräkningsmodellen förutsätter att delaminering inte sker, vilket alltså behöver säkerställas vid tillämpning. För konstruktioner i limmat trä behöver därför limmets integritet vid brand bekräftas med GLIF-test [9], eller motsvarande. Alternativt kan erforderlig lamelltjocklek väljas för att undvika påverkan på limskiktet i enlighet med avsnitt 4.4 och 4.5.

| | |
|---|---|
| Ytbehandling av exponerat trä | Har inte beaktats i projektet på grund av bristande kunskapsläge kring påverkan av ytbehandling på förkolningshastigheter och liknande. |
| Integritet hos passivt skydd av träkonstruktioner | Där skydd av träkonstruktionen krävs ska detta uppfylla kravnivåerna enligt avsnitt 4.3. |

Observera att det kan även komma ny kunskap som inte beaktats i detta ramverk och som kan behöva beaktas vid framtida dimensionering. Sådana hänsynstaganden behöver respektive projektör beakta vid dimensionering.

1.3 Läsanvisningar

Efter detta inledande avsnitt redovisas i rapporten metoden för den aktuella studien i avsnitt 2. Detta är ett avgörande avsnitt som beskriver både genomförande av projektets olika delar och den tillämpade beräkningsmodellen samt hur den utvärderats. Metoden följs av litteraturstudie i avsnitt 3 och sedan presenteras själva ramverket i avsnitt 4. För att ytterligare illustrera hur ramverket ska användas redovisas ett tillämpningsexempel i avsnitt 5. I avsnitt 6 redovisas diskussion och i avsnitt 7 redovisas slutsatser från arbetet. Slutligen redovisas förslag på framtida forskning i avsnitt 8.

Utöver grundrapporten finns vidare detaljer i bilagorna, där Bilaga A redovisar en mer ingående beskrivning av den använda beräkningsmodellen än den övergripande beskrivning som ges i avsnitt 2. I Bilaga B redovisas mer detaljer kring valideringen av beräkningsmodellen och i Bilaga C redovisas en känslighetsanalys. I Bilaga D redovisas temperaturer vid förkolningsranden, vilket är kompletterande information till beräkningsresultatet för att kunna beräkna det icke-bärande lagret i träkonstruktionen. Observera att bilagorna är skrivna på engelska.

2 METOD

I avsnittet nedan beskrivs metoden som tillämpats i projektet.

2.1 Genomförande

Projektet inleddes med en litteraturstudie för att ge ett underlag till projektets fortsatta genomförande. Inom litteraturstudien fokuserades på källor kopplade till brandbelastning, branddynamik och brandmotstånd i träbyggnader. Även regelverk och riktlinjer för bärande och avskiljande konstruktioner vid brand undersöktes. Litteraturstudiens genomförande redogörs för i mer detalj i avsnitt 2.2 och resultaten presenteras i avsnitt 3.

Som ytterligare underlag till projektet genomfördes en workshop med brandskyddskonsulter där flera olika frågor kopplade till träbyggnader och brandskydd diskuterades. Huvudfokus låg dock på hur hantering av stommens brandbelastning för sådana byggnader fungerar idag och hur konsulterna ansåg att detta bör fungera i framtiden. Vidare fokuserades även på hur en byggnads risk kan ansättas och hanteras i relation till skyddet för ras och brandspridning inom byggnaden. Slutligen diskuterades även hur utformningen av ett eventuellt ramverk skulle kunna se ut för att fungera på bästa sätt i konsulternas vardag. Workshopen redogörs för i mer detalj i avsnitt 2.3.

I det vidare arbetet sammanställdes de olika riskfaktorer som identifierats och bedömts relevanta kopplade till branddynamik och brandmotstånd i träbyggnader. Sedan diskuterades hantering av dessa riskfaktorer inom kontexten för projektet och analysmetoden som valts. I detta steg genomfördes även ett antal olika känslighetsanalyser. Dessa analyser genomfördes i form av beräkningar för att identifiera hur stor påverkan olika faktorer hade på slutresultatet. Syftet med känslighetsanalyserna var att identifiera vilka faktorer som är viktiga att beakta och huruvida dessa faktorer kan generaliseras eller inte i det vidare arbetet. Detta arbete beskrivs vidare i avsnitt 2.4.

När parametrarna för analysen hade identifierats i föregående steg utfördes ett stort antal olika beräkningar av brandförlopp i byggnader med trästomme. Den använda beräkningsmodellen beskrivs övergripande i avsnitt 2.5 och mer i detalj i Bilaga A. Resultatet från beräkningarna är det huvudsakliga resultatet som presenteras i denna rapport i avsnitt 4.

Slutligen sammanställdes en riktlinje för hur beräkningsresultatet kan användas vid projektering av byggnader med trästomme. Denna riktlinje redovisas i avsnitt 4.

2.2 Litteraturstudie

Som nämnt ovan hade den litteraturstudie som genomfördes fokus brandbelastning, branddynamik och brandmotstånd i träbyggnader samt på regelverk och standarder kopplat till brandbelastning och dess påverkan på avskiljande och bärande konstruktioner i byggnader generellt. Litteraturstudien genomfördes delvis genom sökningar på vetenskapliga databaser som Scopus, Google Scholar, Web of Science och liknande. Utöver detta studerades även gällande och tidigare regelverk för brandskydd samt deras konsekvensutredningar när detta funnits tillgängligt.

Resultatet från litteraturstudien redovisas i avsnitt 3.

2.3 Workshop med experter

Workshopen med experter planerades ursprungligen för att diskutera hur projektet skulle hantera riskfaktorer och dimensioneringsprinciper för byggnader med trästomme i förhållande till de regelverk som var aktuella vid projektets genomförande (BBR 29 [10] och EKS 12 [7]). Under projektets framdrift släpptes dock först ett utkast och sen en remiss [11] till nya byggregler, där byggnader med brännbara stommar föreslogs hanteras annorlunda än tidigare. Detta gjorde att projektet och workshoparna omformulerades något, för att linjera mer med de nya förslagen till regelverk.

I den workshop som genomfördes i projektet deltog en expertgrupp med brandskyddskonsulter aktiva inom den svenska byggsektorn. Deltagarna rekryterades via Sveriges brandkonsultförening (BRA) och rekryterades genom en intresseanmälan. En fullständig deltagarlista finns i förordet till denna rapport. Workshopen genomfördes digitalt 13/12 – 2022.

Syftet med workshopen var delvis att diskutera riskfaktorer i byggnaden och hur dessa kunde hanteras inom kontexten för den analysmodell som projektet avsåg tillämpa. Vidare var syftet även att diskutera hur resultaten från projektet skulle presenteras för att på bästa sätt kunna användas i den dagliga projekteringen.

2.4 Hantering av riskfaktorer

I arbetet identifierades ett antal faktorer som kan påverka risken vid brand i en byggnad. Sådana faktorer är exempelvis verksamhet, våningsantal och sprinklersystem. En utmaning är att översätta effekterna av riskfaktorerna till något som kan hanteras inom den analysmodell som valts. I och med att Boverket under projektets gång presenterat nya förslag på regelverk [11]

bedömdes dock en hantering inom de ramar som regelverket rekommenderar vara att föredra. Detta innebär att samtliga riskfaktorer hanteras genom en påverkan på den brandbelastning som beräknas för respektive byggnad/verksamhet/utrymme, t.ex. hanteras den ökade risken i byggnader med många våningsplan genom att brandbelastningen utökas.

2.5 Analys och använd beräkningsmodell

Modellen som används inom projekt har utvecklats i flera steg. Den ursprungliga modellen utvecklades av Brandon och Anderson, 2018 [12]. En uppdaterad version, som används som utgångspunkt i detta projekt, publicerades av Brandon et. al. 2021 [13]. Denna rapport inkluderar också en längre diskussion kring validering av modellen i Bilaga B.

I beräkningsmodellen representeras brandrummet av en enzonsmodell som bygger på antagandet att brandgaserna är väl omblandade. Grundprincipen för en beräkning är att beräkningsgången initieras genom att temperaturutvecklingen över tid baserat på geometrin och mängden variabel brandbelastning beräknas. Baserat på den temperaturexponering som då beräknats i modellen ges temperaturprofilerna och inbränningen på de exponerade ytorna av trä, vilka i sin tur ger extra pyrolysgaser till branden. De pyrolysgaser som frigörs antas brinna i brandrummet om syrehalten är tillräckligt hög och utanför brandrummet om syrehalten är låg.

Därefter görs den ursprungliga beräkningen om men då inkluderas det ”nya” energitillskottet från de brandexponerade ytorna, det vill säga genom de pyrolysgaser som förbränns inne i brandrummet. Detta resulterar i en ny temperaturprofil och ny inbränning i träkonstruktionen som hanteras på motsvarande sätt som i föregående steg. Sedan upprepas denna beräkningsgång med så många iterationer som krävs för att beräkningsresultatet ska konvergera.

Energitillskottet från de brinnande träytorna bygger på experimentella data från Schmid et al. (2018) [14]. Det har visat sig att en del av energin stannar i kolskiktet och frigörs i ett senare skede när kolet oxideras vilket observerats under rumsbrandförsök [13]. Denna oxidation av det kolade skiktet utgör ungefär 20% av den totala energin och frigörs primärt efter att brandens flammande fas är över. Även detta fenomen inkluderas i modellen.

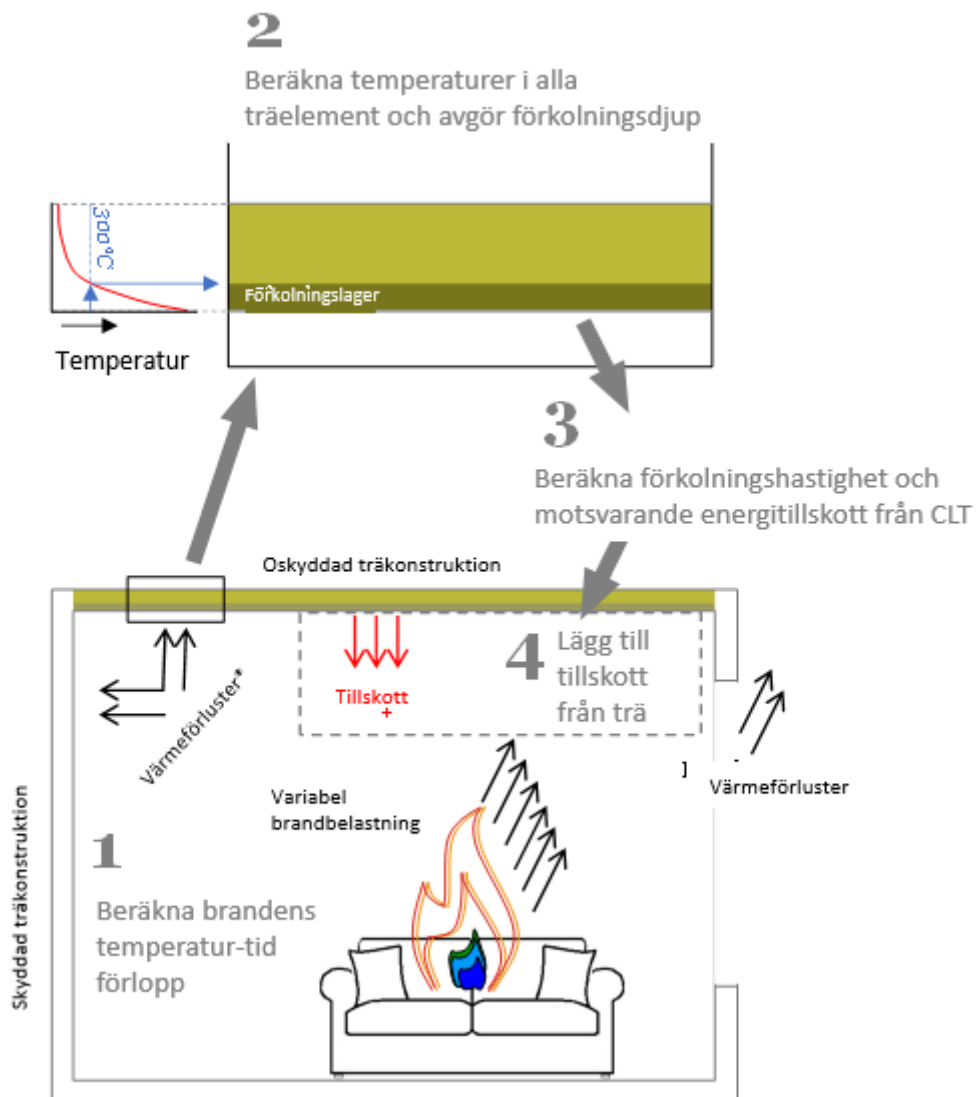
Ett ytterligare fenomen som inkluderas på ett förenklat sätt i modellen är att värmeöverföringen mellan brandrummet och inneslutningen förändras då den flammande fasen av branden är över. Under den fullt utvecklade brandens flammande fas antas brandgaserna vara opaka och värmeöverföringen genom strålning sker direkt från gasen mot alla ytor. När flamfasen är över och temperaturen i brandrummet blir lägre än på ytorna blir volymen genomskinlig och ytorna

”ser” varandra. I denna fas kyls ytorna av konvektion och strålningsutbytet mellan ytorna antas vara litet så emissiviteten sätts till 0 för att simulera ett realistiskt avsvlningsförlopp.

Modellen kan sammanfattas med följande steg:

1. Beräkna brandrummets temperaturutveckling över tid med hjälp av en enzonmodell. Den initiala beräkningen bygger på mängden variabel brandbelastning/brandenergi (se Bilaga B). För alla efterföljande beräkningar används effektkurvan från steg 4.
2. Använd temperaturkurvan i brandcellen för att beräkna temperaturprofilerna i alla skyddade och oskyddade träelement.
3. Beräkna inbränningen och energin som tillförs från de brännbara ytorna.
4. Addera energin som frigjorts från träytorna till den variabla brandenergin inkluderat energin från det oxiderande kolskiktet.
5. Iterera tills modellen konvergerar (Steg 1-4)

Modellen illustreras grafiskt i Figur 1. En mer detaljerad beskrivning av modellen finns i Bilaga A.



Figur 1. Grafisk illustration av den använda beräkningsmodellen.

2.5.1 Grundläggande antaganden hos enzonsmodeller

Ett grundläggande antagande vid enzonsmodellering är att gastemperaturen i utrymmet är homogen, det vill säga det råder samma temperatur i hela utrymmet i ett givet tidssteg. Detta antagande är generellt betraktat som rimligt för bränder där oförbrända brandgaser är välblandade [15], vilket kan uppstå efter övertändning. För stora, öppna lokaler är dock detta antagande inte nödvändigtvis korrekt. Flera experiment har genomförts för att studera effekterna av så kallade "traveling fires" i byggnader med stålstomme, där det indikerats att en långsamt "vandrande" ("traveling") brand kan ge en värre belastning för stålstommen än det som förutsetts vid parametrisk brand [16]. En studie som genomfört motsvarande jämförelse men med träkonstruktion visade dock att motsvarande slutsats inte nödvändigtvis gäller för sådana konstruktioner [17]. Resultaten från den studien redovisas summerat i Tabell 2.

Tabell 2. Summering av resultat från [17].

| Parametrar enligt metoden för effektivt tvärsnitt i EN 1995-1-2 ³ | Vandrande brand | Parametrisk brand |
|--|-----------------|-------------------|
| Förkolningsskikt, d_{char} | 42 mm | 46 mm |
| Icke-bärande skikt, d_0 | 7-12 mm | 5-11 mm |
| Totalt ineffektivt skikt, d_{ef} | 49-54 mm | 51-57 mm |

Även om referenser i fråga endast berör ett specifikt fall och dessutom använder en annan brandmodell än den som tillämpas vid enzonsmodellering så finns begränsningar som fortsatt indikerar att enzonsmodellering är den bästa lösningen för den aktuella problemställningen. De begränsningar som bedöms relevanta för valet inom den aktuella beräkningsmodellen listas nedan:

- Det finns inga tillgängliga studier som indikerar att vandrande bränder är dimensionerande vid brand i träkonstruktioner.
- Det finns inga tillgängliga experiment med en exponerad träkonstruktion där en sakta vandrande brand inträffat.

³ Observera att EN 1995-1-2 endast anger värden för standardiserad brandpåverkan. Värden i tabellen bedöms dock kunna användas i motsvarande tillämpning.

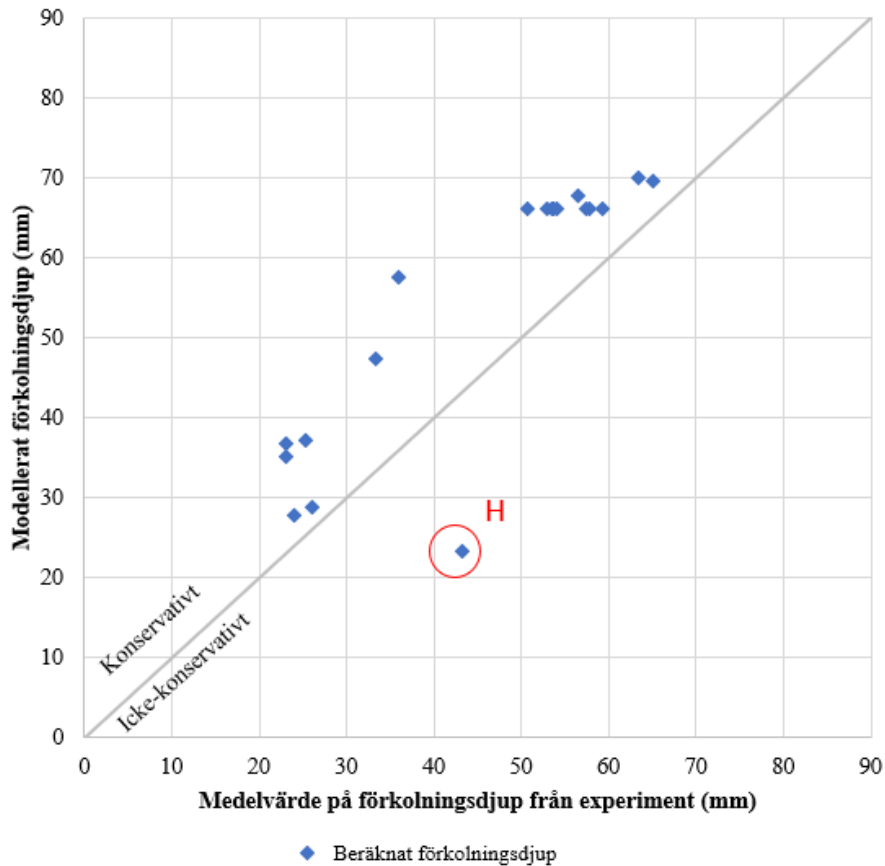
- Det finns få eller inga beräkningsmodeller som kan hantera sakta vandrande bränder.

Utöver ovanstående kan det konstateras att för det största/längsta brandtest med exponerad träkonstruktion som genomförts (20 och 35 meter långa rum) så ger den aktuella modellen konservativa resultat. Detta diskuteras vidare i Bilaga B.

2.5.2 Utvärdering av beräkningsmodell

Beräkningsmodellens beräkningar av förkolningsdjup har validerats mot 22 brandförsök, vilket redovisas i Bilaga B. Försöken inkluderade öppningsfaktorer från 0,03 till 0,27 m^{0,5} och med rumsareor från 7 till 350 m². Modellens uppskattningar konstaterades vara konservativa för samtliga förkolningsdjup i utrymmen med öppningsfaktorer upp till 0,19 m^{0,5}. Dock konstaterades det även att modellen inte gav konservativa resultat för ett test med en öppningsfaktor som var större än 0,27 m^{0,5}, vilket markerats med en röd cirkel i Figur 2. Detta beror sannolikt på att avsvälningstakten i brandrummet överskattats efter det att den flammande fasen av branden avslutats. Några justeringar av modellen testades, men på grund av brist på försöksdata med stora öppningsfaktorer konstaterades det att denna problematik inte enkelt gick att åtgärda. Därför hanteras stora öppningsfaktorer (>0,15 m^{0,5}) genom konservativa antaganden i det föreslagna ramverket. Dessa beskrivs vidare i avsnitt 4.

För övriga öppningsfaktorer konstaterades alltså att modellen gav konservativa resultat.



Figur 2. Modellerat förkolningsdjup jämfört med medelvärdet för förkolningsdjupet i utförda experiment. Experimentet med stor öppningsfaktor är markerad med en röd cirkel och ett rött H.

Vidare konstaterades det att förkolningsdjupet generellt är större längre ner på byggnadsdelarna i brandrummet, vilket sannolikt beror på högre syrekoncentrationer i den lägre delen av brandrummet [13]. Detta innebär att även om modellen generellt ger en bra representation av medelvärdet på förkolningsdjupet på både väggar och i brandrummet som helhet så har den en tendens att underskatta förkolningsdjupet långt ner på väggarna och överskatta förkolningsdjupet i taket. I enlighet med analysen i Bilaga B bedöms förkolningsdjupet fortsatt vara konservativt om användaren multiplicerar modellens förkolningsdjup med:

- 0,85 för att få förkolningsdjup i tak
- 1,0 för att få genomsnittligt förkolningsdjup på väggar, och
- 1,15 för att få förkolningsdjup på den nedre halvan av väggar.

För väggar kan alltså förkolningsdjupet multipliceras med 1,15 för den nedre halvan och med 1,0 för den övre halvan.

Detaljerade jämförelser av specifika brandförsök visade att modellens beräknade yttemperaturer för gipsskivor stämde väl överens med experimentella resultat för plattermoelement. Eftersom både gipsskivor och plattermoelement är termiskt inerta bedöms detta vara en bra jämförelse för modellvalideringen. Dock överskattade modellen de högsta brandtemperaturerna i brandrummet.

2.5.3 Känslighetsanalys

Grundsytet med ramverket som presenteras i denna rapport har varit att göra det så enkelt och praktiskt tillämpbart som möjligt. Det innebär generellt att tabeller med enkla resultatvärden utifrån enkelt identifierbara eller beräkningsbara variabler har eftersträvat. För att nå ett sådant utfall, utan att äventyra ramverkets säkerhet eller giltighet har en omfattande känslighetsanalys genomförts. Målet med känslighetsanalysen, som beskrivs i mer detalj i Bilaga C, har varit att reducera antalet variabler som behöver ingå i resultattabellerna, i och med att tabeller med fler variabler än två generellt blir opraktiskt att tillämpa.

I känslighetsanalysen studerades påverkan av hur utrymmets brandbelastning formulerades, brandrummets storlek respektive bredd/längd-förhållande och omfattning på exponerad trästomme. I den första delen av känslighetsanalysen jämfördes användandet av brandbelastning per golvarea med brandbelastning per omslutningsarea som styrande indataparameter. Resultaten visade att förkolningsdjupet är mer konstant för utrymmen av olika storlek men med samma brandbelastning per omslutningsarea. För utrymmen med olika storlek och samma brandbelastning per golvarea visade beräkningarna att relativt stora variationer av förkolningsdjup förekommer. Det innebär att om brandbelastning per golvyta inte skulle räknas om till brandbelastning per omslutningsarea skulle projektet behöva presentera resultat för många olika storleksintervall av brandceller, något som inte behövs i samma omfattning med aktuellt angreppssätt.

Den andra delen av känslighetsanalysen studerade olika konfigurationer och utformningar av brandrummet. Här konstaterades att utformningen av brandrummet hade minimal påverkan på det beräknade förkolningsdjupet när övriga ingångsvärden hölls konstanta.

I den tredje delen av känslighetsanalysen studerades förkolningsdjupet när brandrummets storlek, brandbelastning och öppningsfaktor varierades. Det konstaterades att beräkningsresultatet varierade mellan 5–10 % beroende på brandcellsstorleken när övriga faktorer hölls konstanta.

Med grund i de tre delarna av känslighetsanalysen beslutades det att införa det mest konservativa resultatet av beräkningar på tre olika brandrumsstorlekar (30, 250 och 1250 m²) i ramverket som presenteras i denna rapport.

2.5.4 Beskrivning av icke-bärande lager

I Eurokod 5 [18] inkluderas tre olika metoder för att dimensionera bärförmåga i träkonstruktioner. I det aktuella arbetet är metoden med reducerat tvärsnitt samt den avancerade beräkningsmetoden i Bilaga B relevanta. Det är värt att notera att metoden med reducerat tvärsnitt motsvarar metoden med effektivt tvärsnitt enligt det förslag som finns till kommande Eurokod 5 [19].

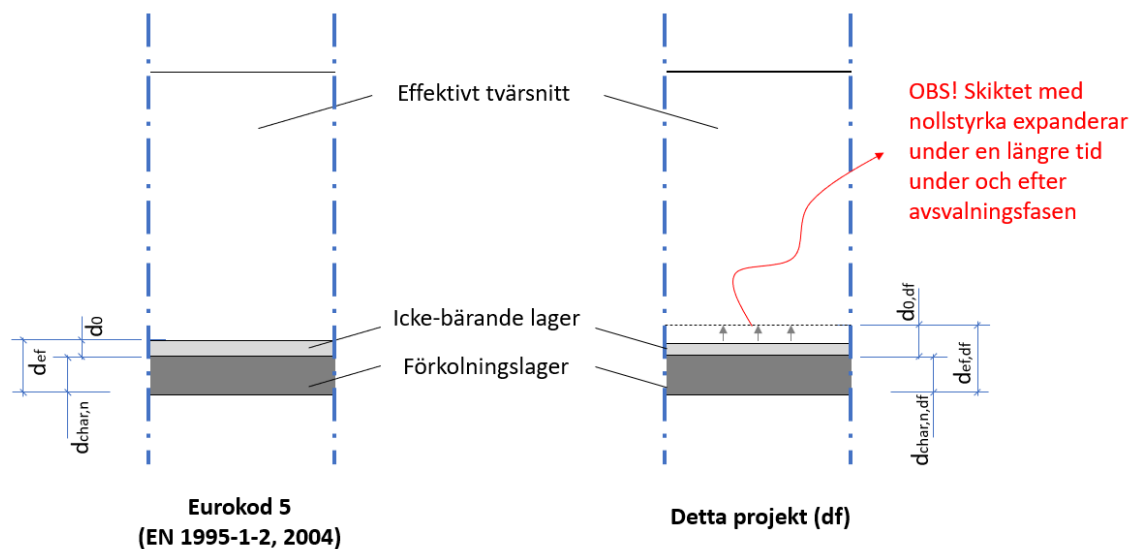
I metoden med reducerat/effektivt tvärsnitt beräknas ett förkolningsdjup (d_{char} i Figur 3) och ett icke-bärande lager (d_0 i Figur 3) som sedan dras bort från den bärande byggnadsdelen vid dimensionering av bärförmåga vid brand. Beräkningen utgår från dimensionering enligt standardbranden, det vill säga den belastning som gäller vid brandprovning. I det aktuella projektet studeras naturliga (eller ”realistiska”) bränder, vilket innebär att motsvarande angreppssätt behöver justeras. Detta då det icke-bärande lagret, som är ett fiktivt lager vars bärförmåga antas försvinna på grund av upphettning i de delar av träkonstruktionen som inte förkolnas, kommer att fortsätta växa i brandens avsvlningsfas, det vill säga även efter att förkolningen i konstruktionen har avstannat [20]. Det beror på träkonstruktionens termiska tröghet, som gör att ”värmevågen” går genom materialet med en viss fördröjning.

Det icke-bärande lagret dras av från bärverksdelens ursprungstvärsnitt samtidigt som olika lastsituationer (t.ex. vid kompression, böjning eller spänning) påverkar tvärsnittet på olika sätt. Det innebär att omfattningen på ett verkligt icke-bärande lager beror på vilken lastsituation som studeras [21]. Exempelvis indikerar resultaten av en nyligen genomförd studie att den bärande

kapaciteten hos axiellt lastade träpelare kan reduceras drastiskt under avsvalningsfasen [22], sannolikt på grund av den termiska trögheten som nämnts ovan.

Utöver den komplexitet i bestämningen av det icke-bärande lagret som nämns ovan är det sannolikt att detta lager skiljer sig i homogena material (t.ex. massivträ) och icke-homogena material (t.ex. KL-trä) [23]. Olika sammansättningar av KL-trä kan därför ge upphov till olika storlek på det icke-bärande lagret. Istället för att kvantifiera detta lager för många olika konstruktioner och lastsituationer så ges istället temperaturprofilerna vid förkolningsranden i Bilaga D. Arbetet med att kvantifiera det icke-bärande lagret föreslås som en vidareutveckling av detta arbete.

Principen för beräkningen av det reducerade/effektiva tvärsnittet i det aktuella projektet jämfört med det som föreslås i Eurokod 5 illustreras i Figur 3.



Figur 3. Metoden med reducerat tvärsnitt i Eurokod 5 (t.v.) jämfört med metoden som tillämpas i detta projekt (t.h.).

Observera att denna metod inte kan användas för bärverksdelar med små tvärsnitt och som exponeras från flera sidor. För beräkningar av brandmotstånd anger Eurokod 5 att hänsyn ska tas till 8-10 % extra förkolning för att kompensera för hörneffekter. Metoden med reducerat tvärsnitt får inte användas för linjära element där den minsta tvärsnittsdimensionen understiger $4x_{d_{char}}$. Dessa riktlinjer är dock baserade på data från brandmotståndsprovningar, som i

allmänhet ger branta temperaturprofiler när ytan i trämaterial. Vid naturliga brandförlopp tränger värmen längre in i konstruktionen under avsvlningsfasen, vilket kan ge större påverkan på kapaciteten i materialet vid långa bränder eller bränder med lång avsvlningsfas. I brist på en bättre riktlinje rekommenderar författarna att måttet ovan från Eurokod 5 kan användas som vägledning men att det bör behandlas med viss försiktighet. Om det råder tveksamheter kring måttets tillämpbarhet rekommenderas en numerisk analys med beräkningar som baseras på de brandgastemperaturer som anges i bilaga E. För dessa beräkningar kan beräkningsmetoder enligt Eurokod 5 Annex B tillämpas. I stället för att använda de materialegenskaper som anges i det aktuella annexet till Eurokod 5 rekommenderas dock att använda de materialegenskaper som anges i bilaga A (tabell 5) i denna rapport. Alternativt kan andra termiska materialegenskaper användas som har fastställts för naturlig brandexponering.

2.6 Riktlinjer för projektering/användning av resultat

Ett huvudsyfte med projektet har varit att ta fram enkla riktlinjer som ska kunna tillämpas vid projektering av byggnader med brännbar stomme. Användbarhet och enkelhet har därför varit i fokus vid val av tillvägagångssätt och beräkningsfall. Trots detta har vissa anpassningar behövts göras på grund av analysmodellen, projektets tidplan och budget.

En sådan anpassning är att projektören behöver anpassa brandbelastningen i utrymmet som studeras till brandbelastning per omslutningsarea istället för golvarea som normalt används. Detta har diskuterats i avsnitt 2.5.3 och redogörs vidare för i Bilaga C.

En ytterligare anpassning är att projektörerna ansvariga för konstruktionen fortsatt behöver beräkna det icke-bärande skiktet ("zero strength layer") för respektive bärverksdel som finns i de utrymmen som analyseras. Som underlag till en sådan beräkning ges dock temperaturprofilen i trä i Bilaga D. Anledningen till att inte tjockleken på ett sådant skikt också kan ges är att det beräknas olika beroende på om bärverksdelen utsätts för ensidig brandpåverkan (som t.ex. för ett brandavskiljande bjälklag eller en brandavskiljande vägg) eller om den utsätts för brandpåverkan på flera sidor (som t.ex. för en pelare eller balk). För att kunna presentera sådana resultat hade det alltså behövts genomföras ett stort antal strukturella beräkningar för respektive beräknat förkolningsdjup, något som inte gick att genomföra inom ramen för projektets tidplan och budget.

Hur byggnader ska projekteras med stöd av det aktuella projektet redovisas vidare i avsnitt 4 och ett exempel på tillämpning ges i avsnitt 5.

3 LITTERATURSTUDIE

Det finns många aspekter av hur träkonstruktioner påverkar branddynamiken vid ett brandförlopp och även många andra aspekter att beakta när trä inkluderas i byggnader på olika sätt. Det finns flera referenser som ger en överblick över sådana aspekter, t.ex. [2], [24], och en helhetsbild presenteras inte i denna rapport. Här fokuseras istället på de aspekter som har påverkan på byggnadens brandbelastning och/eller som har direkt påverkan på den bärande eller avskiljande förmågan hos träkonstruktioner vid brand.

Nedan redovisas den litteratur som studerats i projektet övergripande. Syftet är att ge en överblick över vilka dokument som legat till grund för projektet och inte att redovisa detaljer inom respektive källa.

3.1 Brandbelastning och brandmotstånd

Brandbelastning är ett avgörande begrepp i det svenska brandskyddsregelverket. Enligt Boverkets allmänna råd om brandbelastning (BBRBE) [25] definieras brandbelastning enligt följande:

Med brandbelastning avses brandenergi per golvarea inom ett visst utrymme. Brandbelastning bestäms för den totala mängd energi som kan förbrännas vid ett fullständigt brandförlopp i förhållande till golvarean för aktuellt utrymme.

Brandbelastning är alltså allt brännbart i ett utrymme som vid en brand kan förväntas brinna upp. Brandbelastningen reglerar i sin tur flera av kraven i byggreglerna, så som krav på brandmotstånd hos brandcellsgränser och bärverk. Generellt gäller att högre brandbelastning ger högre krav. Exempelvis dimensioneras bostäder och kontor för ”normal brandbelastning”, vilket innebär under 800 MJ/m^2 golvarea. Det ger ett grundkrav på 60 minuters brandmotstånd enligt standardbranden ISO 834 [26].

Bakgrunden till att brandbelastning utgör en viktig del av regelverket kan spåras tillbaka till början av 1900-talet [27]. Då genomfördes ett antal större brandtester och bakgrunden till det som nu är standardbranden utvecklades. I senare arbeten kopplades även brandbelastningen till brandmotståndet och tanken var då, i alla fall enligt flera senare tolkningar, att brandmotståndet i en ”fullt skyddad” byggnad skulle motsvara att all brandbelastning i ett utrymme konsumerades, utan påverkan av räddningstjänsten eller annan släckning [27], [28]. Denna

grundtanke har till stor del levt kvar i det svenska regelverket, vilket även kan ses i Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder) [7]. Där anges det att vid dimensionering genom beräkning så ska de högre brandsäkerhetsklasserna motstå ett fullständigt brandförlopp, inklusive avsvalningsfas.

Det kan konstateras att det som normalt anges som 60 minuters brandmotstånd i det svenska regelverket alltså har som grundsyfte att motstå att all brandbelastning konsumeras vid brand i ett utrymme, utan att branden påverkas av en släckinsats eller annan begränsning. Detta bekräftas av Boverkets remiss till nya byggregler där bland annat följande anges [11]:

Skyddsmålet för byggnader i byggnadsklass Br1 är att det bärande huvudsystemet ska vara utformat för att utan insats från räddningstjänst med stor sannolikhet motstå ett fullständigt brandförlopp inklusive avsvalningsfasen.

När byggnaden blir tillräckligt hög införs även en säkerhetsmarginal för att ytterligare minska risken att ett brands intensitet och förlopp överskrider den belastning som bärverket i byggnaden är dimensionerat för. Summerat uttrycker sig Boverket i samma remiss som nämns ovan enligt följande:

En vanlig missuppfattning är exempelvis att brandmotståndstiden 60 minuter (R 60) i en byggnad i byggnadsklass Br1 innebär att bärförmågan vid brand är 60 minuter. I själva verket innebär detta alltså att byggnadsdelen med stor sannolikhet ska motstå ett fullständigt brandförlopp, oavsett hur intensivt brandförloppet är och därmed hur snabbt energin i brandbelastningen frigörs. När antalet våningsplan ökar i byggnaden, ökar också den brandmotståndstid som en byggnadsdel ska uppfylla. Inte heller här ska detta förstås som att byggnadsdelar i en högre byggnad ska förutsättas kollapsa efter en längre tid än i en lägre byggnad, utan i stället som att en ökad säkerhetsmarginal mot kollaps ska finnas.

3.2 Bakgrund till kraven på brandmotstånd i det svenska regelverket

I Sverige reglerades byggande länge på lokal nivå och de första nationella byggreglerna infördes av Byggnadsstyrelsen 1947 [29] tillsammans med anvisningar som komplement till dessa regler [30]. Där angavs bland annat att brandmotståndsklasser, vilka delades in efter om materialet var obrännbart eller innehöll brännbara delar samt efter hur lång brandprovningstid och efterföljande vattenbegjutning som materialet klarat. För byggnader med tre eller fler våningsplan skulle vertikala bärverk då utföras brandsäkra, vilket bland annat innebar att konstruktionen skulle vara obrännbar. För byggnader med fler än fyra våningsplan skulle även

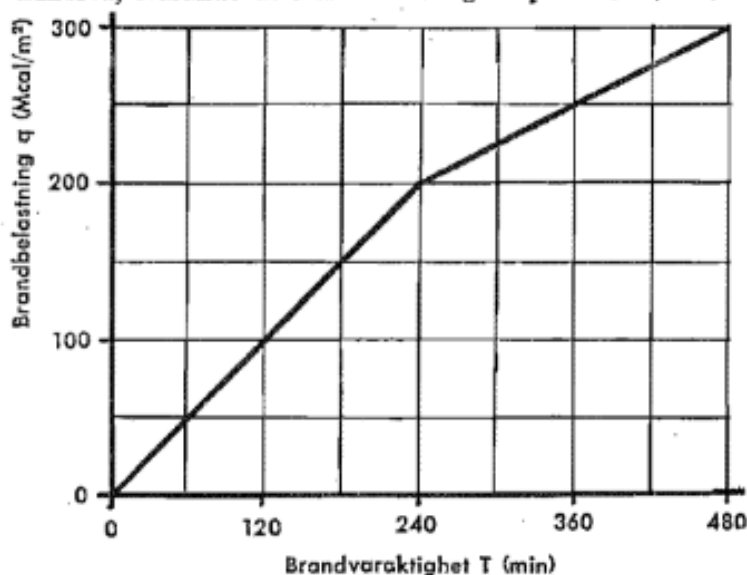
bjälklag utföras obrännbara. Dessutom angavs att byggnader av trä med större planyta än 300 m² skulle delas in med brandmurar så att den ytan inte överskreds i någon del.

Kopplingen mellan krav på bärverk och brandbelastningen infördes sedermera i det byggregelverk som kallades Svensk Byggnorm och som utgavs av Statens planverk 1967 [31]. Där angavs att:

Brandbelastningen för en brandcell utgör den sammanlagda värmemängd (q), som per ytenhet av brandcellens totala omslutningsyta (A_i) frigörs vid en fullständig förbränning av allt brännbart material i brandcellen (inkl byggnadsstomme, inredning, beklädnad och golvbeläggning).

I byggreglerna angavs även att brandmotståndet kunde bestämmas utifrån en temperatur-tidkurva som uttrycktes med en ekvation lik den som idag definierar standarbranden enligt ISO 834. Samband mellan brandgastemperaturer och tiden utifrån den styrande ekvationen angavs i en separat tabell. Det angavs även ett förenklat samband mellan brandvaraktigheten och brandbelastning som återges nedan [31].

För brandcellens avsvalningsfas väljs en linjär temperatur-tidkurva, svarande mot en minskning i θ_t av 10°C/min.



Figur 4. Samband mellan brandvaraktighet och brandbelastning enligt SBN 67.

Vidare angavs att teoretiska beräkningar med utgångspunkt i värme- och massbalanskvationer kunde tillämpas. Här angavs även förenklade samband för brandcellstemperaturer vid olika öppningsfaktorer.

I uppdateringen av Svensk byggnorm 1975 [32] infördes en tabell med ett utseende likt den som fortfarande finns i nu gällande allmänna råd om brandbelastning, BBRBE [25]. Tabellen visas nedan.

| Byggnadsdel | I annan byggnad än brandsäker eller brandhärdig | I brandhärdig byggnad | I brandsäker byggnad för olika brandbelastning f (MJ/m ²) | | | |
|--|---|-----------------------|---|--------------------|--------------------|-----------|
| | | | $f \leq 100$ | $100 < f \leq 200$ | $200 < f \leq 400$ | $f > 400$ |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1. Vertikalt bärverk jämte stomstabiliserande horisontellt bärverk | | | | | | |
| a) i byggnad med högst 2 våningar | – | B 30 | B 30 | B 60 | B 120 | B 240 |
| b) i byggnad med 3 eller 4 våningar | – | – | A 30 | A 60 | A 120 | A 240 |
| c) i byggnad med fler än 4 våningar | – | – | A 60 | A 90 ^e | A 180 ^g | A 240 |
| d) under översta källarplanet | A 60 | A 60 | A 60 | A 90 | A 180 | A 240 |
| 2. Horisontellt, ej stomstabiliserande bärverk | – | B 30 | B 30 | B 60 | B 120 | B 240 |
| 3. Brandcells begränsande byggnadsdel ^a | B 30 | B 30 | B 30 | B 60 | B 120 | B 240 |
| 4. Trappa (trapplopp och trappplan) utan brandcells begränsande funktion ^b | A 30 ^d | A 30 ^d | A 30 | A 30 | A 30 | A 30 |
| 5. Fönster, dörr eller lucka i brandcells begränsande byggnadsdel, såvida ej annat särskilt anges ^c | B 15 | B 30 | B 30 | B 60 | B 60 | B 60 |
| 6. Brandmur (jfr :37) | A 120 | A 120 | A 120 | A 120 ^f | A 180 ^f | A 240 |

^a I brandsäker byggnad gäller att byggnadsdel, som avskiljer källare från byggnaden i övrigt, utförs i A-klass med angiven sifferbeteckning samt att vindbjälklag i B-klass förses med tändsdyddande beklädnad på ovasidan. Beträffande yttervägg se :341 och :342.

^b Angivna krav behöver inte uppfyllas beträffande trappa för kommunikation inom annan brandcell än trapphuset.

^c Ej bärande överstycke till dörr får utföras i samma klass som dörren.

^d Endast för trappa belägen under översta källarplanet.

^e I byggnad med högst åtta våningar gäller A 60 för bjälklag.

^f Gemensam brandmur dock A 240.

^g I byggnad med högst åtta våningar gäller A 120 för bjälklag.

Figur 5. Tabell för brandklasser beroende på brandbelastning från SBN 1975.

Tabellen kompletterades med en anvisning att kolumn 4, det vill säga brandbelastning på mellan 100 och 200 MJ/m² kunde tillämpas för bostads- och kontorslägenheter, skola, hotell, personbilsgarage samt utrymme med förråd för bostadslägenheter. Det angavs även att den kolumnen kunde tillämpas vid högre brandbelastning än 200 MJ/m², om det fanns förutsättningar för att brandförsvaret genom insats eller på annat sätt sannolikt kunde bekämpa branden inom 60 minuter från brandstart. Observera att brandbelastningen uttrycktes som en funktion av omslutningsarean, vilket är anledningen till att värdena är avsevärt lägre än de som idag ges i BBRBE.

Siffrorna som hänvisar till klasserna i tabellen baserades på statistiska undersökningar för olika lokal- och byggnadstyper som publicerades i en separat kommentar till byggnormen [33]. Värdena från den undersökningen redovisas i Figur 6 nedan, då återskapade från rapporten *Brandteknisk dimensionering av massiva träkonstruktioner* [34]. Dessa värden är de som fortsatt legat till grund för värden på dimensionerande brandbelastning i samtliga regelverk fram till och med dagens BBRBE [25], vilket även bekräftats av Boverket i remissen till de kommande byggreglerna [11].

Det kan alltså noteras att det statistiska underlaget, som fortfarande gäller som dimensionerande brandbelastning, är insamlat på en tid då brännbar stomme inte tilläts för byggnader i fler än tre till fyra våningsplan. Det bör även noteras att praxis vid tillämpning var att golvbeläggningen inte ingick i de dimensionerande värdena utan att denna lades till separat vid dimensionering, eftersom golvbeläggning normalt är homogen och därför enkel att kvantifiera brandbelastningen ifrån [34].

Vidare angavs i SBN 1975 [32] att dimensionering genom beräkning fortsatt var möjligt och att ekvationerna för värme- och massbalans då kunde utgå från att 80:e percentilen av det statistiska underlaget för brandbelastning. Det angavs även flera kurvor för olika brandgastemperaturer beroende av öppningsfaktor och brandbelastning.

| Typ av lokal eller byggnad | Brandbe- lastning, medelvärde | Brandbe- lastning, standard- avvikelse | Dimensionerande brandbelastning. (Brandbelastning som innehålls i 80 % av observe- rade fall) |
|---|-------------------------------------|---|--|
| | MJ m ⁻² | MJ m ⁻² | MJ m ⁻² |
| 1 Bostäder ¹ | | | |
| 1a 2 rum + kök | 150 | 24,7 | 168 |
| 1b 3 rum + kök | 139 | 20,1 | 149 |
| 2 Kontorshus ^{2,3} | | | |
| 2a Tekniska kontors- lokaler (arkitekt- kontor o d) | 615 | 155 | 730 |
| 2b Ekonomiska och administrativa kon- torslokaler (banker, försäkringsbolag o d) | 512 | 162 | 644 |
| 2c Samtliga undersökta kontorslokaler | 579 | 205 | 709 |
| 3 Skolor ² | | | |
| 3a Lågstadieskolor | 84,2 | 14,2 | 98,4 |
| 3b Mellanstadieskolor | 96,7 | 20,5 | 117 |
| 3c Högstadieskolor | 61,1 | 18,4 | 71,2 |
| 3d Samtliga undersökta skolor | 80,4 | 23,4 | 96,3 |
| 4 Sjukhus | 116 | 36,0 | 147 |
| 5 Hotell ² | 67,0 | 19,3 | 81,6 |

¹ Brandbelastning av golvbeläggning är ej inkluderad i angivna värden.

² Angivna värden gäller endast brandbelastning av lösa inventarier.

³ Här angivna värden refererar till kontorsrummens golvyta i stället för brandcellens omslutningsyta, beroende på svårigheter att bestämma brandcellernas storlek vid den statistiska undersökningen. Brandbelastningen refererad till omslutningsarean erhålls genom att tabellvärdena multipliceras med kvoten mellan brandcellens golvarea och omslutningsarea.

Figur 6. Tabell över statistiska underlag till dimensionerande brandbelastningsvärden i Svensk Byggnorm 1975.

I Svensk Byggnorm 1980 [35] infördes en ytterligare parameter att beakta vid dimensionering genom beräkning, genom att byggnadsdelar med ett grundkrav på A 90 skulle dimensioneras med en utökad brandbelastning om 50 %. Detta är alltså motsvarande krav som idag ges för vissa byggnadsdelar vid beräkning av naturligt brandförlopp i EKS [7]. Varför kravnivån infördes har det inte hittats några noteringar kring men det kan konstateras att höjningen av brandbelastningen är i linje med det utökade minutkravet som funnits för vissa bärverksdelar i högre byggnader sedan SBN 1975 [32]. Enligt Boverket är grunden till detta utökade krav dock en utökning av säkerhetsmarginalen vid dimensionering av bärverksdelar vars kollaps kan innebära en mycket stor konsekvens [11].

Motsvarande tabeller, fastän omarbetade i mindre delar, fanns kvar i regelverket även när Svensk Byggnorm byttes ut mot Nybyggnadsreglerna 1988 [36]. Vid övergången till Boverkets Byggregler (BBR) 1994 [37] gjordes ett antal större förändringar varav en var att regelverket blev så kallat ”materialneutralt”. Detta innebar att byggnader med brännbar stomme nu kunde uppföras med fler våningsantal än tidigare. I konsekvensutredningen till denna ändring angav Boverket att det nu skulle bli möjligt att bygga hus med fler våningar i trä än tidigare och att det fanns exempel på byggnader i trä med upp till fem våningsplan i t.ex. USA och Kanada. I BBR infördes även en ny not i anslutning till tabellen för krav på bärverk där det angavs att ”*om det i byggnadsdelen ingår brännbart material, behöver detta endast beaktas i skäligen utsträckning vid beräkning av brandbelastning*”. Inga övriga schabloner för brandbelastning eller liknande uppdaterades i samband med denna övergång. Möjligheten att dimensionera för den lägsta brandbelastningen om räddningstjänsten kunde förväntas hantera branden inom 60 minuter behölls och kompletterades med att motsvarande dimensionering kunde tillämpas i byggnader med skydd av automatisk vattensprinkler [37].

I övergången till BBR 19 [38] som skedde 2012 ändrades brandbelastning från att uttryckas som en funktion av omslutningsarea till golvarea. Syftet var dock inte att ändra kravnivåer och nya nivåer bedömdes motsvara tidigare nivåer [39]. I och med övergången till BBR 19 utgick även Boverkets konstruktionsregler och samtliga brandskyddskrav på konstruktioner hanterades istället inom då gällande EKS 7 [40]. Inom BBR 19 och EKS 7 utgick även möjligheten att dimensionera för att räddningstjänsten skulle kunna hantera branden och reduktionen för sprinklade ändrades till att reducera en klassificeringsperiod för vissa bärverk istället för tidigare gällande generella reduktion oavsett brandbelastning och bärverksdel.

2013 införde Boverket ett nytt allmänt råd om brandbelastning, BBRBE [25], som då ersatte en tidigare handbok som Boverket gett ut 2008 och som gav vägledning om brandbelastning [41]. Denna handbok publicerades i samband med införandet av EKS. Handboken och det allmänna rådet är väldigt liknande och motsvarande schabloner återfinns i båda. I båda anges att permanent brandenergi kan vara exempelvis brännbara bärande byggnadsdelar inklusive den bärande konstruktionen. I handboken angavs dock även att konservativa uppskattningar av den permanenta brandbelastningen kan vara att föredra, eftersom exempelvis tilläggsisolering i framtiden skulle kunna öka den permanenta brandbelastningen i ett utrymme [41]. Både handboken och BBRBE anger dock att 200 MJ/m² kan ansättas som permanent brandbelastning och i båda skrifterna anges samma schabloner som tidigare gällt sedan SBN 1975.

I handboken angavs även att brandbelastningen kunde reduceras till 61 % av ursprungsvärdet i sprinklade utrymmen, vilket baserades på en sannolikhetsavvägning där säkerheten i en normal osprinklad byggnad bedömdes vara motsvarande som den i en sprinklad byggnad med reducerad brandbelastning [41]. Denna reduktion finns idag kvar både inom EKS 12 [7] och i BBRAD [42] men har justerats till 60 %.

I EKS 11 som infördes 2019 [43] infördes ytterligare en förutsättning vid dimensionering, nämligen att en särskild bedömning numera ska utföras för Br0-byggnader, det vill säga byggnader med mycket högt skyddsbehov. En sådan bedömning kan resultera i att kravnivån behöver utökas enligt förenklad dimensionering och vid dimensionering enligt naturligt brandförlopp kan den innebära att brandbelastningen ska utökas med 100 % för vissa byggnadsdelar. Värt att notera är att denna kravhöjning är tillbakadragen i den remiss som Boverket skickat ut för kommande byggregler [11].

Det kan alltså konstateras av ovanstående att brandbelastning varit en avgörande del av det svenska brandtekniska regelsystemet ända sedan krav på nationell nivå infördes. Det kan även konstateras att kravnivåer till viss del utvecklats men att hänsyn till effekterna av den brännbara stommen inte följt med fullt ut när regelverket blev material neutralt. Denna problematik har på senare år uppmärksammats i större utsträckning [5], [44] och Boverket har redan innan den nu gällande remissen publicerades aviserat att de avsett utreda frågan mer noggrant i kommande regelförändringar. Vidare kan det konstateras att grundsyftet hela tiden bedöms ha varit att en konstruktion i en byggnad med fler än tre till fyra våningsplan ska kunna motstå ett fullständigt brandförlopp inklusive avsvalningsfas för den brandbelastning som kan förväntas i utrymmet, både permanent och variabel.

3.3 Föreslagna ändringar av det svenska regelverket

Som nämnt ovan har Boverket nyligen släppt en remiss [11] på det som avses bli de nya byggreglerna som enligt nu gällande tidplan ska träda i kraft sommaren 2024, med övergångstid ett år. Byggreglerna är fullständigt omstrukturerade och innebär flertalet nyheter i förhållande till dagens regelverk. Ett av syftena med de nya byggreglerna är enligt Boverket att *”Byggreglerna ska utgöras av ett förenklat, konsekvent och funktionsbaserat teknik- och materialneutralt regelverk med en likriktad struktur och detaljeringsgrad.”*

Boverket lyfter att ”Flervåningsbyggnader med brännbar stomme” har varit en fokuspunkt under revideringsarbetet och kravnivån har i förslaget justerats för sådana byggnader under vissa förutsättningar. I förslaget finns ett förtydligande gällande tillskottet av permanent brandbelastning för byggnader med brännbar stomme och hur, samt när, denna ska beaktas vid dimensioneringen. I stort berör skillnaden inte byggnader med färre än fem plan som alltså kan utformas med motsvarande skydd som tidigare.

För byggnader med fler än fyra plan ovan mark behöver tillskottet av permanent brandbelastning beaktas, dock med undantag för byggnader som är upp till och med 8 plan ovan mark och försedda med sprinklerskydd samt för byggnader där stommen skyddas mot ett fullständigt brandförlopp (K_{260} för byggnader med variabel brandbelastning $<600 \text{ MJ/m}^2$). Det senare är aktuellt för de flesta verksamheter som normalt finns i byggnader med fler än fem våningsplan, det vill säga t.ex. hotell, bostäder, kontor och liknande.

De föreslagna förändringarna summeras i tabellen på nästa sida.

Tabell 3. Summering av krav för att inte behöva beakta tillskottet av permanent brandbelastningen från stommaterialet.

| Byggnad | Krav (en av punkterna väljs) |
|--|--|
| Upp till och med fyra plan ovan mark | <ul style="list-style-type: none"> Tillskott av permanent brandbelastning behöver inte beaktas |
| Fem till åtta plan ovan mark för verksamheter med <math><600 \text{ MJ/m}^2</math> i variabel brandbelastning T.ex. kontor, bostäder, hotell och skolor | <ul style="list-style-type: none"> Sprinkler Stomme skyddas motsvarande K_260 |
| Fem till åtta plan ovan mark för verksamheter med >math>>600 \text{ MJ/m}^2</math> i variabel brandbelastning T.ex. shoppingcentrum, arkiv, bibliotek | <ul style="list-style-type: none"> Stomme skyddas motsvarande ett fullständigt brandförlopp |
| Fler än åtta plan ovan mark | <ul style="list-style-type: none"> Stomme skyddas motsvarande ett fullständigt brandförlopp |

Alternativen till ovanstående är att antingen beräkna, och hantera, brandbelastningstillskottet från den brännbara stommen eller att dimensionera efter naturliga brandförlopp. Att hantera brandbelastningstillskottet från stommen inom ramarna för förenklad dimensionering bedöms dock problematiskt, då de flesta schabloner inte ger utrymme för en speciellt hög ökning av brandbelastning. Sådan dimensionering kommer alltså sannolikt innebära väldigt höga krav på både stomme och brandceller. För att kunna exponera trästommen inom kommande regelverk kan dimensionering enligt naturligt brandförlopp således bli en viktig metod.

Det bör dock noteras att det som presenterats av Boverket endast är ett förslag och den slutgiltiga utformningen av regelverket är således inte känd vid skrivandet av denna rapport.

3.4 Trä och brand

Trä är ett brännbart material som börjar pyrolyseras (det vill säga utsöndrar brännbara gaser) vid ca 200-300 °C [45]. Det innebär att när trä är en del av en byggnads konstruktion så påverkas branddynamiken vid en rumsbrand, under förutsättning att träkonstruktionen är, eller blir, exponerat mot branden. En viktig parameter som påverkar brandförloppet är att energimängderna i det trä som pyrolyseras tillförs till rumsbranden, det vill säga brandbelastningen i utrymmet ökar, vilket bidrar till ett intensivare och/eller längre brandförlopp

[2]. I vilken omfattning som brandbelastning tillförs till en rumsbrand beror dock på ett flertal faktorer så som öppningsfaktor, variabel brandbelastning, utformning av lokalen, med mera [2], [24].

3.5 Repeterbarhet vid tillämpning av analytiska lösningar

Det svenska brandskyddsregelverket är, som för flera andra länder, i grunden funktionsbaserat. Det innebär att analytiska lösningar kan tillämpas som alternativ till att använda förenklade regler och klassificeringar. När analytiska lösningar tillämpas inom brandskydd ställer det dock relativt höga krav på kompetensen hos den aktuella projektören. För att säkerställa att korrekta säkerhetsnivåer erhålls är det viktigt att utvärdera repeterbarheten i sådana lösningar.

För att utvärdera detta har så kallade ”Round Robin”-studier genomförts på olika delar av brandområdet. Round Robin-studier innebär att flera olika aktörer ges samma problem och ombeds lösa detta oberoende av varandra. För de studier som genomförts på brandområdet konstaterades stora skillnader i bedömningarna [46], [47], vilket bedömdes kunna innebära trovärdighetsproblem för sådan dimensionering.

För vissa metoder, så som de zonmodeller som används inom ramarna för det aktuella projektet, har det dock konstaterats att a priori modellering av fullskaliga brandförsök överensstämmer relativt väl med verkligheten [48]. De använda beräkningsmetoderna är dock komplexa och har flera viktiga begränsningar, vilket gör att det fortfarande finns risk för felanvändning hos projektörer och andra tillämpare. Det är därför viktigt med tydlig struktur och vägledning i hur dessa modeller, och resultaten från dem, kan användas [48].

3.6 Brandbelastning för olika verksamheter

Som nämnt ovan är grunderna för de svenska riktlinjerna för brandbelastning relativt gamla och inte nödvändigtvis representativa för verksamheter som finns idag. I litteraturstudien genomfördes därför en övergripande undersökning kopplat till om det finns annat underlag för brandbelastning som kan vara mer relevant att luta sig mot. En sammanfattning av olika källor och vilken variabel brandbelastning som föreslås för dessa redovisas i tabellen på nästa sida.

Tabell 4. Sammanställning av variabel brandbelastning för olika verksamheter från olika källor.

| Verksamhet | BBRBE* [49] | SS-EN 1991-1-2* [8] | PD 7974-7*** [50] | Spearpoint, et al. 2015* [51] | Zalok, et al. 2009** [52] |
|---------------|-------------|---------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Bostad | 750 | 948 | 780 | | |
| Hotell | 400 | 377 | 310 | | |
| Kontor | 520 | 511 | 420 | | |
| Restaurang | 600 | | 298 | | 582 |
| Affär/Varuhus | 750 | 730 | 393 | | 661 |
| Parkeringshus | 400 | | | 260 | |
| Skola | 450 | 347 | 285 | | |
| Sjukhus | 360 | 280 | 230 | | |

* 80:e percentil

** 95:e percentil

*** Medelvärde

Som ses ovan är de olika referenserna relativt svåra att jämföra då det i många fall anges olika percentiler och det är inte alltid som den underliggande fördelningen redovisas. Det kan även konstateras att bakgrundsmaterialet till det som anges även i andra länders standarder inte alltid beskriver hur dimensionerande värden tagits fram.

3.7 Öppningsfaktorns påverkan på brandförloppet

Som nämnt ovan är öppningsfaktor en viktig parameter som har stor påverkan på brandförloppet i ett utrymme. Sammanställningar av öppningsfaktorer har genomförts i tidigare studier [13] och dessa kontrollerades inom projektet mot ett antal olika ritningsunderlag inom projekt som deltagarna varit involverade i. Sammantaget användes underlaget för val av öppningsfaktorer att studera vidare inom projektet.

3.8 Sammanfattande diskussion

Av litteraturstudien ovan kan det konstateras att ett grundsyfte med gällande regelverk varit att byggnader med fler än tre till fyra våningar ska kunna motstå ett fullständigt brandförlopp med

den brandbelastning som finns i utrymmet. Även om denna faktor inte fullt ut följt med i regelverket vid förändringarna som innebar att högre byggnader med brännbar stomme blev tillåtet så bedöms det fortsatt varit en grundläggande faktor i kravens utformning. För vissa byggnadsdelar finns även ett ökat skyddsbehov, vilket gör att dessa ska hanteras med större säkerhetsmarginal, även den kopplad till brandbelastningen i utrymmet.

Av Boverkets nya regelförslag kan det även konstateras att beräkning av naturligt brandförlopp, likt det som genomförs inom ramarna för det aktuella projektet, bedöms bli en viktig del av att kunna exponera bärande trästommar om förslaget genomförs. För träkonstruktioner är sådana beräkningar komplicerade och det bedöms därför finns behov av tydliga ramverk och vägledning för att säkerställa korrekt hantering av projektörer.

Med grund i litteraturstudien har utgångspunkten för det vidare arbetet varit att verifiera funktionskravet att en byggnad ska kunna motstå ett fullständigt brandförlopp i enlighet med kravnivåerna som anges för naturliga bränder i EKS 12 [7]. Detta innebär även att hänsyn tagits till att brandbelastningen kan behöva utökas 50-100 % beroende på byggnad och byggnadsdel när val av beräknade brandbelastningsnivåer gjorts.

4 RAMVERK FÖR DIMENSIONERING AV TRÄKONSTRUKTIONER

Nedan redovisas dimensioneringsprocess samt förkolningsdjup och passivt skydd av icke-exponerade ytor.

4.1 Dimensioneringsprocess

Det ramverk som föreslås för dimensionering av träkonstruktioner innebär att projektören behöver genomföra följande steg:

1. Definiera dimensionerande öppningsfaktor för utrymmet/lokalen/byggnaden.

Generellt ger en mindre öppningsfaktor mer konservativa resultat. Om flera olika delar av en byggnad dimensioneras med en och samma öppningsfaktor bör därför den dimensionerande öppningsfaktorn vara den minsta som förekommer inom de delar som berörs av den aktuella dimensioneringen.

2. Definiera dimensionerande brandbelastning.

Brandbelastningen som avses här är den dimensionerande brandbelastning (variabel och permanent) som förekommer i utrymmet/lokalen/byggnaden och som inte består av de brännbara byggnadsdelar som är exponerade enligt kommande steg i denna dimensioneringsprocess. I många fall kan därför sannolikt permanent brandbelastning reduceras, eller eventuellt bortses från, vid val av denna brandbelastning. Det är upp till respektive projektör att avgöra hur stor denna brandbelastning är.

Observera att valet av brandbelastning kan påverka framtida flexibilitet i utrymmet/lokalen/byggnaden i och med att det har avgörande påverkan på dimensioneringen. Att ändra verksamhet till en med högre brandbelastning kan således vara svårt om detta inte tagits höjd för från början.

3. Om brandbelastning enligt steget ovan uttryckts per golvarea – omvandla denna till per omslutningsarea.

Observera att omslutningsarea här är arean av golv, tak och väggar, inklusive öppningar, så som dörrar och fönster. Dock inkluderas **inte** innerväggar, pelare och/eller balkar. Normal görs denna bedömning för respektive studerad brandcell.

4. Definiera exponerad omfattningen på exponerad brännbar stomme i utrymmet/lokalen/byggnaden i förhållande till omslutningsytan.

Observera att omslutningsarea här är arean av golv, tak och väggar, inklusive öppningar, så som dörrar och fönster. Här inkluderas dock innerväggar, pelare och/eller balkar.

5. Identifiera korrekt tabell i avsnitt 4.2 för att definiera förkolningsdjup.

Om värden hamnar ”mellan” olika tabeller eller värden i tabeller kan linjär interpolering tillämpas för att definiera korrekt värde. Justering av förkolningsdjup utförs i enlighet med avsnitt 4.5.

6. Identifiera temperaturprofil vid förkolningsranden i Bilaga D för beräkning av icke-bärande lager.

Om projektören inte är bekant med denna typ av beräkning rekommenderas det att en person med tillräcklig kompetens tillfrågas för att utföra beräkningen.

7. Identifiera korrekt tabell i avsnitt 4.3 för att definiera passivt skydd för icke-exponerade ytor.

I tabellerna ges brandmotstånd i minuter. Det innebär att ytorna ska skyddas med tändskyddande beklädnad (K₂XX) i motsvarande de minuttal som anges i tabellerna.

Om värden hamnar ”mellan” olika tabeller eller värden i tabeller kan linjär interpolering tillämpas för att definiera korrekt värde.

8. Välj lämplig skyddsmetod för att uppfylla steg 7.

Skyddsmetoden kan vara gips, brandgips eller andra typer av skivmaterial med skyddande egenskaper.

9. Säkerställ att delaminering inte kan ske i träkonstruktionen.

Vägledning för detta steg finns i avsnitt 4.4.

4.2 Förkolningsdjup

I tabellerna nedan anges förkolningsdjup för brandrum med upp till $0,15 \text{ m}^{0,5}$ i öppningsfaktor. För större öppningsfaktorer kan dock samma värden som för $0,15 \text{ m}^{0,5}$ användas, under förutsättning att det bedöms rimligt att en större öppningsfaktor skulle innebära en brand med generellt lägre temperatur. Det är upp till den ansvariga projektören i respektive projekt att avgöra om detta är ett rimligt antagande eller inte. Raderna för $0,15 \text{ m}^{0,5}$ och större är markerade med * för att uppmärksamma läsaren på denna notering. Röd markering innebär att inget konvergerande förkolningsdjup uppnåts och värdet är därför inte att betrakta som konservativt.

10 % exponerad omslutningsyta

Förkolningsdjup (mm)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|------------------------------------|--------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppningsfaktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 27 | 41 | 53 | 63 | 73 | >81 |
| | 0.06 | 24 | 37 | 48 | 57 | 65 | 72 |
| | 0.1 | 18 | 29 | 37 | 44 | 51 | 57 |
| | ≥0.15* | 13 | 21 | 27 | 33 | 38 | 42 |

*se inledande stycke

20 % exponerad omslutningsyta

Förkolningsdjup (mm)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|------------------------------------|--------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppningsfaktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 31 | 45 | 57 | 68 | >77 | >86 |
| | 0.06 | 27 | 41 | 52 | 61 | 70 | 78 |
| | 0.1 | 21 | 33 | 41 | 49 | 55 | 62 |
| | ≥0.15* | 15 | 23 | 29 | 36 | 41 | 45 |

30 % exponerad omslutningsyta

Förkolningsdjup (mm)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|------------------------------------|--------|--|-----|-----|-----|-----|------|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppningsfaktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 35 | 49 | 61 | 72 | >82 | >>90 |
| | 0.06 | 33 | 46 | 56 | 64 | 73 | 82 |
| | 0.1 | 24 | 37 | 46 | 53 | 60 | 66 |
| | ≥0.15* | 17 | 26 | 32 | 39 | 44 | 49 |

40 % exponerad omslutningsyta

Förkolningsdjup (mm)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|---|--------|--|-----|-----|-----|-----|------|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppnings- faktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 40 | 55 | 67 | 78 | >86 | >>94 |
| | 0.06 | 37 | 50 | 60 | 68 | 76 | 85 |
| | 0.1 | 28 | 41 | 51 | 58 | 64 | 70 |
| | ≥0.15* | 21 | 29 | 36 | 42 | 48 | 53 |

50 % exponerad omslutningsyta

Förkolningsdjup (mm)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|---|--------|--|-----|-----|-----|------|-------|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppnings- faktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 56 | 70 | 82 | >93 | >100 | >>105 |
| | 0.06 | 47 | 60 | 70 | 79 | 87 | >95 |
| | 0.1 | 39 | 53 | 62 | 69 | 75 | 81 |
| | ≥0.15* | 27 | 37 | 46 | 53 | 59 | 64 |

60 % exponerad omslutningsyta

Förkolningsdjup (mm)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|---|--------|--|-----|-----|------|-------|-------|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppnings- faktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 71 | 83 | >94 | >102 | >>107 | >>110 |
| | 0.06 | 56 | 67 | 77 | 85 | 94 | >101 |
| | 0.1 | 44 | 57 | 66 | 72 | 79 | 84 |
| | ≥0.15* | 32 | 43 | 52 | 59 | 65 | 70 |

4.3 Passivt skydd av icke-exponerade ytor

I tabellerna nedan redovisas brandmotståndskrav i minuter för ett standardiserat brandförlopp som brännbara delar av den studerade lokalen/brandcellen ska skyddas med för att betraktas som icke-exponerade. Detta motsvarar alltså krav på tändskyddande beklädnad (K₂XX) definierat enligt SS-EN 13381-7:2019 eller bestämd enligt metoder i Eurokod 5. Röd markering innebär att inget konvergerande brandmotstånd uppnåtts och värdet är därför inte att betrakta som konservativt.

10 % exponerad omslutningsyta

Brandmotstånd (min)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|------------------------------------|--------|--|-----|-----|-----|-----|------|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppningsfaktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 31 | 53 | 75 | 95 | 113 | >120 |
| | 0.06 | 29 | 48 | 67 | 83 | 116 | 113 |
| | 0.1 | 20 | 34 | 48 | 61 | 75 | 89 |
| | ≥0.15* | 14 | 25 | 31 | 38 | 46 | 53 |

*Se inledande stycke i avsnitt 4.1.

20 % exponerad omslutningsyta

Brandmotstånd (min)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|------------------------------------|--------|--|-----|-----|-----|------|------|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppningsfaktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 36 | 61 | 83 | 120 | >120 | >120 |
| | 0.06 | 34 | 56 | 78 | 110 | 116 | >120 |
| | 0.1 | 25 | 43 | 56 | 72 | 86 | 110 |
| | ≥0.15* | 16 | 27 | 34 | 43 | 51 | 59 |

30 % exponerad omslutningsyta

Brandmotstånd (min)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|---|--------|--|-----|-----|------|------|------|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppnings- faktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 43 | 69 | 92 | >120 | >120 | >120 |
| | 0.06 | 43 | 67 | 83 | >120 | >120 | >120 |
| | 0.1 | 31 | 51 | 69 | 83 | 101 | >120 |
| | ≥0.15* | 20 | 29 | 38 | 51 | 59 | 67 |

40 % exponerad omslutningsyta

Brandmotstånd (min)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|---|--------|--|-----|------|------|------|------|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppnings- faktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 53 | 81 | >120 | >120 | >120 | >120 |
| | 0.06 | 51 | 75 | 101 | >120 | >120 | >120 |
| | 0.1 | 38 | 59 | 78 | 95 | >120 | >120 |
| | ≥0.15* | 25 | 36 | 46 | 56 | 67 | 75 |

50 % exponerad omslutningsyta

Brandmotstånd (min)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|---|--------|--|-----|------|------|------|------|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppnings- faktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 61 | 89 | >120 | >120 | >120 | >120 |
| | 0.06 | 51 | 75 | 107 | >120 | >120 | >120 |
| | 0.1 | 43 | 67 | 86 | 113 | >120 | >120 |
| | ≥0.15* | 31 | 46 | 56 | 64 | 69 | 75 |

60 % exponerad omslutningsyta
Brandmotstånd (min)

| | | Brandbelastning per omslutningsarea (MJ/m ²) | | | | | |
|------------------------------------|--------|--|------|------|------|------|------|
| | | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 |
| Öppningsfaktor (m ^{0.5}) | 0.04 | 83 | >120 | >120 | >120 | >120 | >120 |
| | 0.06 | 61 | 86 | 120 | >120 | >120 | >120 |
| | 0.1 | 51 | 78 | 95 | >120 | >120 | >120 |
| | ≥0.15* | 38 | 56 | 67 | 75 | 81 | 86 |

4.4 Säkerställande av integritet i KL-trä

Som har beskrivits i avsnitt 1.2 och avsnitt 2.5 förutsätter modellen att delaminering inte uppstår vid brand. För att säkerställa att delaminering inte sker rekommenderas att metoden som föreslås i prEN 1995-1-2:2025 [19] och som utvecklats av Brandon, Klippel och Frangi (2021) [9] används. Här bör även noteras att den vanliga föreställningen att melaminlim inte ger upphov till delaminering inte är korrekt. Det är därför viktigt att kontrollera integriteten av den aktuella KL-träkonstruktionen i ett brandtest, så som det som föreslagits ovan.

Ett alternativ till brandtest är att utforma konstruktionen med tillräcklig lamelltjocklek för att undvika att värmen tränger in till limningen och på så vis undvika att delaminering uppstår. Här är det viktigt att ta hänsyn till de temperaturer som kan uppstå inne i konstruktionen, för att säkerställa att limmet klarar dessa. Vidare är det viktigt att beakta att temperaturen som limmet klarar beror av lamelltjockleken [21] och tidsperioden som limmet utsätts för värme [53] samt att temperaturtåligheten för KL-trä lim sällan nämns specifikt i produktdatablad eller liknande.

Förutom osäkerheterna kopplade till limmet ovan så bör följande punkter beaktas och hanteras konservativt om avsikten är att skydda mot delaminering genom tjockleken på det yttersta skiktet i konstruktionen:

- Delaminering startar ofta lokalt och kan då initiera en kaskadeffekt för större delar. Lokalt större skada kan därför leda till delaminering. Det är därför viktigt att beakta att de värden som anges i avsnitt 4.2 är medelvärden och att de därför inte nödvändigtvis är tillräckliga för att skydda mot delaminering.

- Det kan förekomma betydligt större förkolningsdjup i de lägre delarna av ett brandrum som i sin tur kan initiera delaminering. Detta förklarar varför delaminering ofta börjar längst ner på exponerade väggar [54].
- I byggreglerna hanteras vanligtvis ett spektrum av scenarier och det dimensionerande fallet är inte alltid ett av de värsta tänkbara. Exempelvis dimensioneras variabel brandbelastning utifrån 80:e percentilen på ett representativt statistiskt underlag. Det bör därför beaktas att det kan förekomma högre brandbelastning i ett verkligt scenario och att detta kan leda till allvarliga konsekvenser om det driver brandrummet till delaminering.

På grund av osäkerheterna ovan rekommenderas detta tillvägagångssätt primärt användas för konstruktioner i taknivå.

4.5 Justering av förkolningsdjup beroende på placering

Baserat på valideringen av modellen som diskuterats i avsnitt 2.5 samt i Bilaga B föreslås justeringsfaktorer för att justera förkolningsdjupet beroende på hur den undersökta byggnadsdelen är placerad. Detta är en justering som både kan öka materialeffektivitet och säkerhet. Justeringen beaktar den icke-homogena brandskada som ofta ses i brandrum med träkonstruktioner.

Föreslagen justeringsfaktor för förkolningsdjupet är:

$$\alpha_{\text{tak}} = 0.85$$

$$\alpha_{\text{nedre halvan av väggar}} = 1.15$$

För väggar kan alltså förkolningsdjupet multipliceras med 1,15 för den nedre halvan och med 1,0 för den övre halvan. Förkolningsdjupet för de byggnadsdelar som anges ovan ska alltså multipliceras med faktorerna ovan för att få ett mer korrekt/representativt värde.

Det är viktigt att denna faktor beaktas om lamelltjockleken används för att skydda mot delaminering, vilket diskuterats i avsnitt 4.4. Det är även viktigt att beakta detta vid dimensionering av lastbärande väggar så att inte förkolningsdjupet långt ner på väggen riskerar att påverka bärverksdelens totalstabilitet vid brand. Observera dock att underlaget för denna justering är relativt begränsat och det är därför viktigt att projektören själv avgör vad som är lämplig säkerhet vid dimensionering.

5 EXEMPEL PÅ TILLÄMPNING

Nedan redovisas ett exempel på tillämpning, där även den linjära interpoleringen som föreslagits i ramverket ovan exemplifieras. Observera dock att beräkningen av det icke-bärande lagret genom värdena i Bilaga D inte tagits med på grund av att detta hade krävt utförliga förklaringar av detaljerna. Om projektören/läsaren inte är bekant med denna typ av beräkning rekommenderas det att en erfaren konstruktör tillfrågas för att genomföra det steget i processen.

Exemplet nedan baseras på ett utförd brandförsök av Brandon et al. (2021) [13] (Test 1). Brandrummet som studerades var 7,0 x 6,85 x 2,73 m (längd x bredd x höjd), det vill säga cirka 48 m². Den totala omslutningsytan i rummet 170,7 m² (A_t).

Observera att det innan det första steget är viktigt att beakta de begränsningar och antaganden som ligger till grund för ramverket och som anges i avsnitt 1.2 och 2.5.

STEG 1: DEFINIERA ÖPPNINGSAKTOR

Lokalen har två öppningar om 2,25 x 1,78 (b_v x h_v). Öppningsfaktor beräknas enligt nedan.

$$O = \frac{b_{v,t} \cdot h_{v,t} \cdot \sqrt{h_{v,t}}}{A_t} = 0.063m^{0.5}$$

STEG 2: DEFINIERA DIMENSIONERANDE BRANDBELASTNING

Rummet har en brandbelastning om 560 MJ/m² golvarea (q_f).

STEG 3: OMVANDLA BRANDBELASTNING TILL OMSLUTNINGSAREA

Omvandlingen av brandbelastningen till omslutningsarea beräknas enligt nedan.

$$q_{t,d} = \frac{q_f \cdot l \cdot b}{A_t} = 157.3 \text{ MJ/m}^2$$

STEG 4: DEFINIERA EXPONERAD MÄNGD BRÄNNBAR STOMME I UTRYMMET/LOKALEN/BYGGNADEN I FÖRHÅLLANDE TILL OMSLUTNINGSYTAN

I utrymmet exponeras tak och balkar, vilka sammanlagt har en area om: A_{exp} = 54 m². Detta ger i sin tur exponerad mängd brännbar stomme enligt nedan.

$$a_{exp} = \frac{A_{exp}}{A_t} * 100 = 31.5\%$$

STEG 5: IDENTIFIERA KORREKT TABELL FÖR ATT DEFINIERA FÖRKOLNINGSDJUP

För att identifiera korrekt förkolningsdjup behöver interpolering mellan åtta olika värden från tabellerna i avsnitt 4.2 genomföras. Detta redovisas i diagrammet nedan.

| | Lägre värde a_{exp} : 30% | | | | Högre värde a_{exp} : 40% | | | |
|---|---|--|--|--|---|--|--|--|
| | Lägre värde $q_{t,d}:120 \text{ MJ/m}^2$ | | Högre värde $q_{t,d}:180 \text{ MJ/m}^2$ | | Lägre värde $q_{t,d}:120 \text{ MJ/m}^2$ | | Högre värde $q_{t,d}:180 \text{ MJ/m}^2$ | |
| | Lägre värde ($\text{m}^{0.5}$) O: 0.06 | Högre värde ($\text{m}^{0.5}$) O: 0.08 | Lägre värde ($\text{m}^{0.5}$) O: 0.06 | Högre värde ($\text{m}^{0.5}$) O: 0.08 | Lägre värde ($\text{m}^{0.5}$) O: 0.06 | Högre värde ($\text{m}^{0.5}$) O: 0.08 | Lägre värde ($\text{m}^{0.5}$) O: 0.06 | Högre värde ($\text{m}^{0.5}$) O: 0.08 |
| Tabellvärden | 46 mm | 37 mm | 56 mm | 46 mm | 50 mm | 41 mm | 60 mm | 51 mm |
| 1:a ordningens interpolering | 45.4 mm ($O = 0.063 \text{ m}^{0.5}$) | | 55.3 mm ($O = 0.063 \text{ m}^{0.5}$) | | 49.4 mm ($O = 0.063 \text{ m}^{0.5}$) | | 59.4 mm ($O = 0.063 \text{ m}^{0.5}$) | |
| 2:a ordningens interpolering | 51.5 mm ($q_{t,d} = 157.3 \text{ MJ/m}^2$) | | | | 55.6 mm ($q_{t,d} = 157.3 \text{ MJ/m}^2$) | | | |
| 3:e ordningens interpolering (Resultat) | 52.2 mm ($a_{exp} = 31.5\%$) | | | | | | | |

Det resulterande förkolningsdjupet enligt ramverket är alltså 52,2 mm.

Under förutsättning att integriteten kan säkerställas bedöms även reduktionsfaktorn för inbränning i tak som anges i avsnitt 4.5 kunna användas. Förkolningsdjupet bedöms alltså kunna reduceras med en faktor 0,85.

STEG 6: IDENTIFIERA TEMPERATURPROFIL VID FÖRKOLNINGSRANDEN I BILAGA D FÖR BERÄKNING AV ICKE-BÄRANDE LAGER.

För att definiera det icke-bärande lagret bakom förkolningsranden har data inte tagits fram på motsvarande sätt som för förkolningsdjup och passivt skydd. För att kunna beräkna det icke-bärande lagret behöver dock projektören välja korrekt rad i Bilaga D. Även här rekommenderas linjär interpolering om det behövs för att erhålla ett värde.

Beräkning av icke-bärande lager kan göras genom finita-element-metoder eller andra beräkningsmetoder, exempelvis den föreslagna av Brandon et al. (2017) [20]. Den lokala påverkan som branden kan ha på materialegenskaper ska beaktas. Det kan exempelvis uppnås genom att bärverksdelen delas in i många små element där varje element ges egenskaper som överensstämmer med den temperatur som förekommer i elementet. Detta steg bör genomföras av en person som har erfarenhet av denna typ av beräkningar.

Observera att steg 5 och 6 kan ersättas av numeriska beräkningar med användning av brandtemperaturerna som anges i bilaga E. Detta måste inkludera beräkning av temperaturerna genom hela det bärande tvärsnittet och en beräkning av den strukturella kapaciteten där de mekaniska egenskaperna för trä motsvarar de som kan förväntas vid gällande temperaturer. Här kan Eurokod 5 Annex B användas som utgångspunkt, men det är viktigt att korrekta termiska egenskaper för att förutsäga temperaturen hos trä som utsätts för naturliga bränder används. Här kan exempelvis även de egenskaper som anges i bilaga A (Tabell 5) i denna rapport användas. Tills ytterligare forskning har genomförts kan detta föredras för linjära element som är exponerade mot brand från flera sidor. Denna metod skulle också kunna användas för att fånga effekten av mer komplexa fenomen som oxidation (dvs reduktion) av kolskiktet. Sådana hänsynstaganden förväntas leda till mindre konservativa förutsägelser av temperaturfördelningen i träelementen under brandens avsvalningsfas.

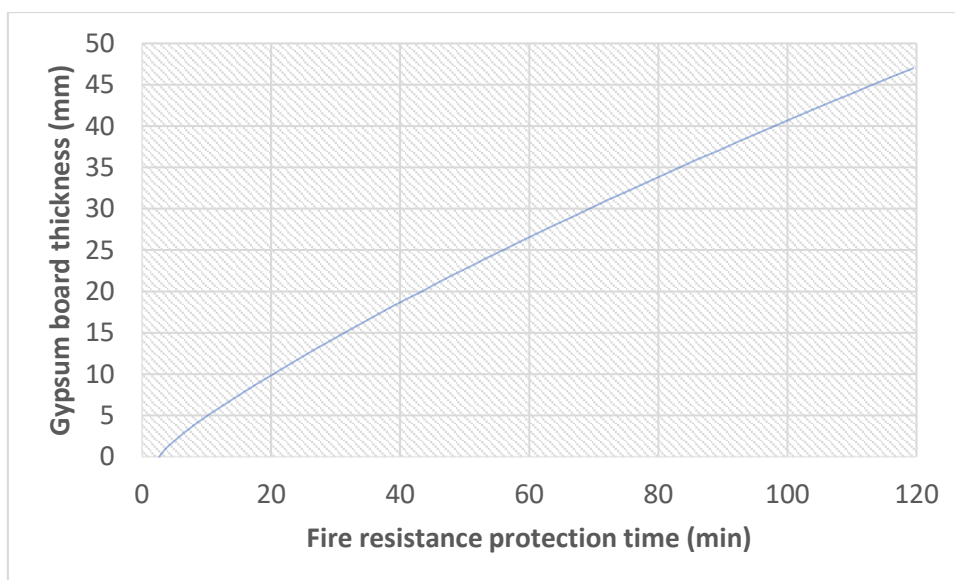
STEG 7: IDENTIFIERA KORREKT TABELL FÖR ATT DEFINIERA PASSIVT SKYDD FÖR ICKE-EXPONERADE YTOR

För att identifiera korrekt passivt skydd behöver interpolering mellan åtta olika värden från tabellerna i avsnitt 4.3 genomföras. Motsvarande interpolering som i Steg 5 resulterar i krav på 78,1 minuters brandmotstånd för skyddade delar.

STEG 8: VÄLJ LÄMPLIG SKYDDSMETOD FÖR ATT UPPFYLLA STEG 7

I det aktuella exemplet är endast tak och balkar exponerade och övriga träkonstruktioner behöver därför skyddas mot brand med den ekvivalenta brandmotståndstid som angetts i Steg 7 ovan för att säkerställa att brandförloppet avslutas. För att uppnå de 78 minuter som anges ovan krävs enligt [24] mer än två lager 18 mm tjocka gipsskivor av typ F. Det krävs alltså minst tre lager skydd av sådan klass för att upprätthålla brandmotståndet. Det kan konstateras att sådant skydd både är kostsamt [55] och ger stor påverkan på klimatbelastningen i en byggnad. Det rekommenderas därför att studera och utvärdera fästmetoder för de skyddande skivorna, för att på så vis förlänga tiden som de sitter fast och skyddar det underliggande materialet vid brand.

Om infästningen av skivorna kan säkerställas så kan mängden gips som krävs för att skydda underliggande lager avsevärt reduceras. En analys baserad på den avancerade beräkningsmetoden som föreslås i prEN 1995-1-2:2025 [19] där det antas att gipsskivorna är direkt monterade på KL-trä och har en initial densitet på 679 kg/m^3 visar att totalt 32 mm (t.ex. två 16 mm gipsskivor) behövs, se Figur 7. Detta har undersökts i fullskaleförsök av Brandon, et al. (2021) [13], vilket även är motsvarande utformning som det exempel som återges i detta avsnitt. I försöken förekom förkolning lokalt på olika ställen, vilket indikerar att skyddslagret var precis på gränsen för att motstå det fullständiga brandförloppet i utrymmet.



Figur 7. Samband mellan gipstjocklek och brandmotståndstid för gipsskivor som är direkt monterade på KL-trä och som är monterade så att de inte faller ner under brandförloppet. Beräknad enligt prEN 1995-1-2:2025 och en initial gipsdensitet på 679 kg/m³.

STEG 9: SÄKERSTÄLLANDE AV INTEGRITET I KL-TRÄ

KL-trä tillverkas normalt inte med större lamelltjocklek än 40 mm. Detta innebär att limmet sannolikt kommer utsättas för temperaturer som överskrider de kritiska temperaturer som ofta förekommer i publicerade tester för när lim fallerar (ofta i intervallet 200-300 °C). Det är därför att använda en konstruktion som klarat testet som anges i prEN 1995-1-2:2025. Detta är viktigt även för de balkar som förekommer i konstruktionen.

6 DISKUSSION

Som litteraturstudien visat så bedöms grundsyftet med det svenska byggregelverket vara att en byggnad med fler än tre-fyra våningar ska kunna motstå ett fullständigt brandförlopp, inklusive avsvälning. För träkonstruktioner med exponerad yta är detta dock relativt komplicerat att garantera och säkerställa. Det finns endast ett fåtal beräkningsmetoder utvecklade för att studera huruvida sådana bränder slocknar eller inte och dessa beräkningsmodeller varierar från parametriska modeller [56] till relativt komplicerade zonmodeller [48], [57], [58]. Dessutom finns det endast ett fåtal personer som har erfarenhet av och kan genomföra denna typ av beräkningar utan stor grad av osäkerhet.

Som nämnts i litteraturstudien så har Round robin-studier visat att beräkningsresultat från olika brandskyddsprojektörer varierar kraftigt när de ges i uppgift att bedöma samma brandförlopp. Även utan den ytterligare komplexiteten av en exponerad trästomme så fanns det i studierna inte två olika projektörer som producerade exakt samma resultat. Att ytterligare lägga lager av komplexitet i dimensioneringen bedöms därmed ge en överhängande risk för ojämna säkerhetsnivåer som kan vara kraftigt personberoende.

För att underlätta projektering av brandsäkra träbyggnader både i förhållande till nuvarande och kommande byggregler har författarna till denna rapport därför ansett att det är bättre att tillämpa en av de bäst validerade tillgängliga modellerna för att utveckla ett förenklat ramverk. Det förenklade ramverket är det som beskrivs i huvuddelen av denna rapport. I arbetet med ramverket har flera känslighetsanalyser genomförts, begränsningar diskuterats och konservativa antaganden i vad som bedöms vara lämplig grad ansatts.

Antaganden och begränsningar diskuterats i andra delar av denna rapport men några av de mest avgörande antaganden är:

- Brandrummet antas ha en uniform gastemperatur
- Effektutvecklingen per golvarea är satt till 250 kW/m² i enlighet med det som gäller för de flesta verksamheter i Eurkod 1, EN 1991-1-2.

Viktiga förutsättningar är:

- Modellen förutsätter att delaminering av träkonstruktionen inte förekommer.

- Alla ytor som inte exponeras förutsätts vara skyddade mot hela det beräknade brandförloppet.

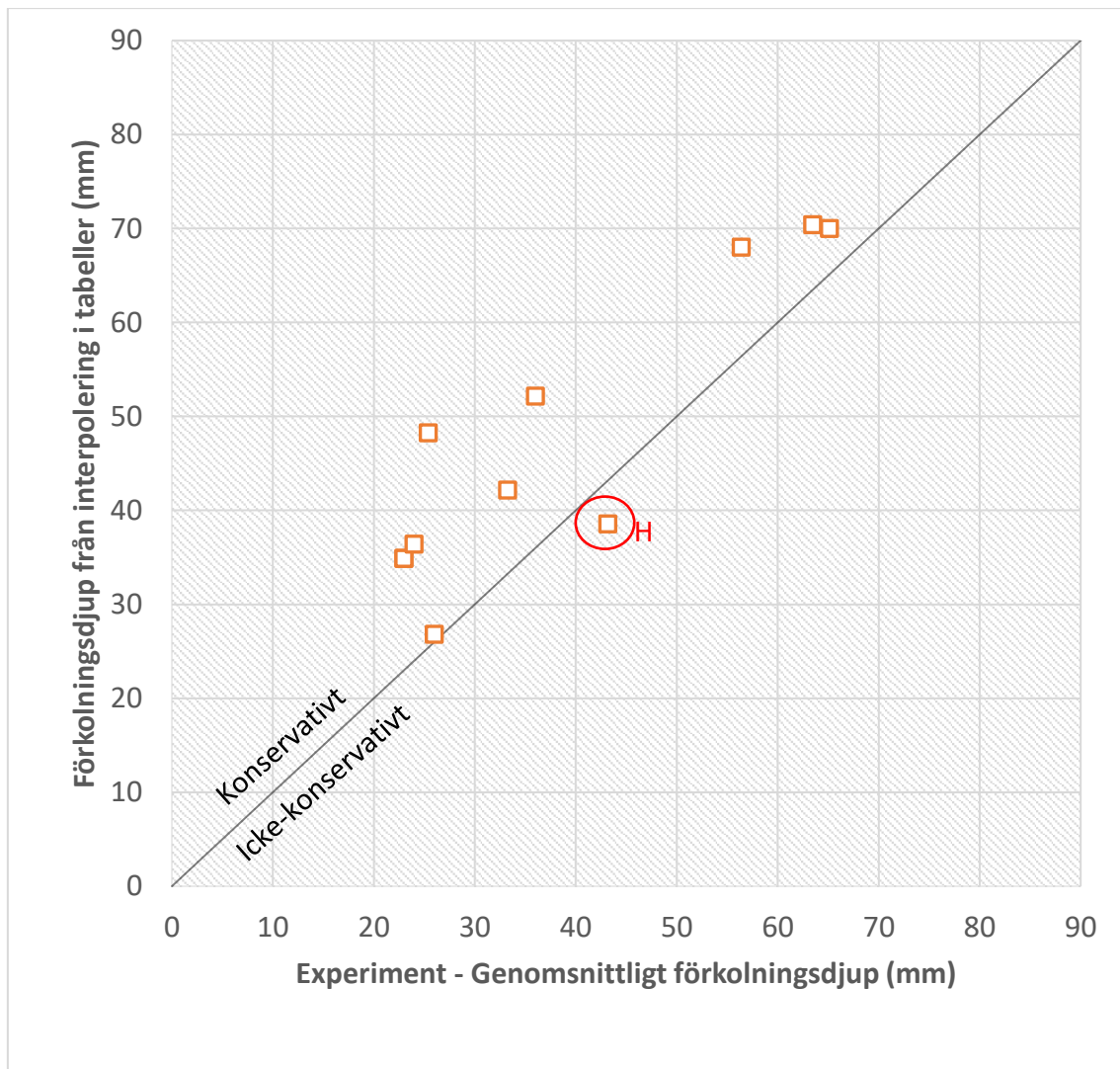
Några viktiga begränsningar är:

- Effekterna av ytbehandlingar av träkonstruktionen har inte beaktats på grund av bristande dataunderlag för sådan bedömning. Det bedöms dock konservativt att inte beakta sådana behandlingar.
- Beräkningar indikerar att utrymmen med väldigt stor öppningsfaktor inte modelleras på ett korrekt och konservativt sätt. Detta behandlas genom antagandet att en lägre öppningsfaktor kan vara representativ/konservativ i bedömningen av lokaler med stora öppningsfaktorer. Detta bedöms vara konservativt men det är upp till respektive projektör att själv avgöra om så är fallet för den utformning som är aktuell i det specifika fallet.

I och med att ett huvudsyfte med denna rapport är att tillgängliggöra kunskap, reducera risken för felprojekteringar samt öka säkerheten vid dimensionering är exemplet på tillämpning i avsnitt 5 en viktig del av rapporten. För att studera modellens resultat genomfördes motsvarande procedur för alla brandtester som är listade i Bilaga B. Resultaten från denna genomgång redovisas i figuren nedan. Den förenklade metoden bedöms förutsäga förkolningsdjupen med god precision.

Som det diskuteras i avsnitt 4.5 är det dock viktigt att beakta att förkolningsdjupet kan variera beroende på var i brandrummet förkolningen sker. Detta behöver alltså också beaktas i enlighet med de riktlinjer som ges där.

Det är även viktigt för projektörer att beakta begränsningarna kopplat till verksamhetsförändringar när dimensionering görs utifrån specifika brandbelastningar med hjälp av det presenterade ramverket. Verksamhetsförändringar som innebär utökad brandbelastning kan alltså innebära högre kravnivåer, vilket kan vara svårt att hantera vid ändring/ombyggnad. Således bör byggnadens framtida flexibilitet vara en parameter som beaktas när projektörer väljer dimensionerande brandbelastning.



Figur 8. Förkolningsdjup som tagits fram via interpolering i tabellerna jämfört med experimentella genomsnittliga förkolningsdjup. Observera att tabellerna inte inkluderar öppningsfaktorer mindre än $0,04 \text{ m}^{0,5}$, vilket gör att vissa experiment inte har inkluderats.

7 SLUTSATS

Syftet med projektet har varit att ta fram ett förenklat och evidensbaserat ramverk för att beakta den permanenta brandbelastningen i byggnader med trästomme. Detta har genomförts och ramverket bedöms avsevärt förenkla användandet av trästomme på ett brandtekniskt säkert sätt i byggnader.

Ramverket beaktar verksamhets- och byggnadsspecifika förutsättningar så som variabel brandbelastning, utformning av öppningar och mängd exponerad trästomme. Ramverket bedöms enkelt att använda, vilket ökar möjligheten för likartade bedömningar i olika projekt med exponerad trästomme.

Sammantaget bedöms ramverket kunna bidra till att förenkla byggande med trästomme samtidigt som säkerhetsnivån både bedöms bli bättre, mer effektivt utformad och mer homogen.

8 FÖRSLAG PÅ FRAMTIDA FORSKNING

I projektet har det konstaterats att det finns områden där vidare utveckling skulle kunna förbättra eller effektivisera dimensionering av både träbyggnader och andra byggnader. Sådana områden är:

Beräkning av icke-bärande lager

Som nämnts i rapporten har kvantifiering av icke-bärande lager inte genomförts. Detta är ett omfattande arbete, men det hade kunnat ge en avsevärt bättre dimensioneringssituation om det fanns tillgängligt på ett sätt liknande det som presenteras i denna rapport. Studien av icke-bärande lager bör innefatta effekten av hörneffekter och en definition av nedre gränsvärden för balkdimensioner för användning av den presenterade metoden för sådana linjära element.

Undersökningar av brandbelastning

Det kan konstateras att statistiska data för brandbelastningar i olika verksamheter ofta är både inaktuell och relativt begränsad. Det rekommenderas därför att en omfattande större undersökning av brandbelastningar i olika verksamheter genomförs för att ge ett underlag till bättre dimensionering av både träbyggnader och andra byggnader.

Sätt att motverka delaminering

Att undvika delaminering är en viktig parameter vid dimensionering av träkonstruktioner. Därmed bedöms mer data behövas på olika angreppssätt att hantera denna problematik.

Ytbehandlingars påverkan på förkolningsdjup

Som nämnt i denna rapport bedöms ytbehandlingar eventuellt kunna påverka förkolningsdjupet positivt. Mer data behövs dock på området för att kunna utreda denna fråga.

Synfaktorns påverkan på fortsatt förkolning

Som nämnt i detta arbete så finns det, på grund av den höga synfaktorn, risk för fortsatt förkolning i hörn eller liknande där brännbara ytor går emot varandra. Vidare studier för att studera vilka skyddsavstånd eller liknande som behövs mellan brännbara ytor i hörn skulle behövas för att öka kunskapen på detta område.

9 REFERENSER

- [1] Trä- och möbelföretagen, ”Trähusbarometern - Mars 2022”, 2022.
- [2] C. Pettersson, ”Fire Safety in Timber Buildings - A review of existing knowledge”, Brandforsk, Stockholm, Brandforsk 2020:10, 2020.
- [3] Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap, ”Sammanställning av frågeställningar kring trähus och trähusbyggande från föreningen för Brandteknisk Ingenjörsvetenskaps medlemmar”, BIV, BIV Rapport 2022:1, 2022.
- [4] B. Andersson, L. Broberg, J. Hultquist, B. Evers, C. Eriksson Lantz, och F. Nystedt, ”Brandskydd i Br0-byggnader - Tillämpningsstöd vid brandteknisk dimensionering av höga Br0-byggnader med förnyelsebara material (trä)”, Brandskyddslaget/Briab, Stockholm, SBUF ID-13371, 2018.
- [5] A. Mossberg *m.fl.*, ”Brandteknisk beskrivning av två konceptus i byggnadsklass Br0”, SBUF, 2020.
- [6] S. Matarazzo, ”The Grenfell impact – Will the new post-Grenfell fire regulations change the way we build?”, *alsecco UK Iconic Façades*, 11 april 2019. <https://alsecco.co.uk/2019/04/the-grenfell-impact-will-the-new-post-grenfell-fire-regulations-change-the-way-we-build/> (åtkomstdatum 16 maj 2022).
- [7] Boverket, *Boverkets konstruktionsregler - EKS 12 (BFS 2011:10 med ändringar t.o.m. 2022:4)*. Karlskrona, 2022.
- [8] SIS, *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-2: Allmänna laster - Termisk och mekanisk verkan av brand*, vol. SS-EN 1991-1-2.
- [9] D. Brandon, M. Klippel, och A. Frangi, ”Glueline Integrity in Fire”, RISE, Borås, RISE Report 2021:107, 2021.
- [10] Boverket, *Boverkets byggregler - BBR 29 (BFS 2011:6 med ändringar t.o.m. BFS 2020:4)*. Karlskrona, 2020.

- [11] Boverket, *Remiss - Boverkets förslag till föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i händelse av brand i byggnader*. Karlskrona, 2023.
- [12] D. Brandon och J. Anderson, ”Wind effect on internal and external compartment fire exposure”, RISE, Borås, 2018:72, 2018.
- [13] D. Brandon, J. Sjöström, A. Temple, E. Hallberg, och F. Kahl, ”Fire Safe implementation of visible mass timber in tall buildings – compartment fire testing”, RISE, Borås, 2021:40, 2021.
- [14] J. Schmid, A. Santomaso, D. Brandon, U. Wickström, och A. Frangi, ”Timber under Real Fire Conditions : the influence of oxygen content and gas velocity on the charring behavior”, *J. Struct. Fire Eng.*, vol. 9, nr 3, s. 222–236, 2018.
- [15] U. Wickström, *Temperature Calculation in Fire Safety Engineering*. Cham: Springer International Publishing, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-30172-3.
- [16] J. Stern-Gottfried och G. Rein, ”Travelling fires for structural design–Part I: Literature review”, *Fire Saf. J.*, vol. 54, s. 74–85, nov. 2012, doi: 10.1016/j.firesaf.2012.06.003.
- [17] F. Richter, P. Kotsovinos, E. Rackauskaite, och G. Rein, ”Thermal Response of Timber Slabs Exposed to Travelling Fires and Traditional Design Fires”, *Fire Technol.*, vol. 57, nr 1, s. 393–414, jan. 2021, doi: 10.1007/s10694-020-01000-1.
- [18] ”Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner - Del 1-2: Allmänt - Brandteknisk dimensionering SS-EN 1995-1-2:2004”, SIS, Stockholm, 2004.
- [19] ”Förslag till tekniskt innehåll i kommande Eurokod 5 - prEN 1995-1-2:2025”, SIS, Stockholm, 2023.
- [20] D. Brandon, A. Just, och M. Tiso, ”Parametric fire design – zero-strengthlayers and charring rates”, presenterad vid INTER International Network on Timber Engineering Research Proceedings, Kyoto, 2017.

Åtkomstdatum: 02 juli 2023. [Online]. Tillgänglig vid:
<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-59254>

- [21] M. Klippel, J. Schmid, R. Fahrni, A. Frangi, och D. Lange, "Assessing the adhesive performance in CLT exposed to fire", presenterad vid World Conference on Timber Engineering, Seoul, 2018.
- [22] T. Gernay, "Fire resistance and burnout resistance of timber columns", *Fire Saf. J.*, vol. 122, s. 103350, juni 2021, doi: 10.1016/j.firesaf.2021.103350.
- [23] M. Klippel och J. Schmid, "Design of Cross-Laminated Timber in Fire", *Struct. Eng. Int.*, vol. 27, nr 2, s. 224–230, maj 2017, doi: 10.2749/101686617X14881932436096.
- [24] A. B. Östman Birgit, Red., *Fire Safe Use of Wood in Buildings: Global Design Guide*. Boca Raton: CRC Press, 2022. doi: 10.1201/9781003190318.
- [25] Boverket, *Boverkets allmänna råd om brandbelastning, BBRBE*. 2013.
- [26] International Organization for Standardization, *ISO 834-1 Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements*. 1999.
- [27] A. Law och L. Bisby, "The rise and rise of fire resistance", *Fire Saf. J.*, vol. 116, s. 103188, sep. 2020, doi: 10.1016/j.firesaf.2020.103188.
- [28] V. Babrauskas och R. B. Williamson, "The historical basis of fire resistance testing — Part II", *Fire Technol.*, vol. 14, nr 4, s. 304–316, nov. 1978, doi: 10.1007/BF01998390.
- [29] *Kungl. Maj:ts Byggnadsstadga*. 1947.
- [30] "Anvisningar till byggnadsstadgan", Kungl Byggnadsstyrelsens anvisningar 1946:1, 1946.
- [31] Statens Planverk, *Svensk Byggnorm 67*. 1967.
- [32] Statens Planverk, *Svensk Byggnorm 1975*. Stockholm, 1975.

- [33] Statens Planverk, *Kommentar till Svensk Byggnorm 1976:1*. Stockholm, 1976.
- [34] O. Carling, "Brandteknisk dimensionering av massiva träkonstruktioner", Träteknik, Stockholm, 1990.
- [35] Statens Planverk, "Svensk Byggnorm 1980", Stockholm, PFS 1980:1, 1980.
- [36] Boverket, "Nybyggnadsregler", BFS 1988:18, 1988.
- [37] Boverket, "Boverkets byggregler", BFS 1993:57, 1993.
- [38] Boverket, *Boverkets byggregler - BBR 19 (BFS 2011:26)*. Karlskrona, 2011.
- [39] Boverket, "Konsekvensutredning för revidering (BFS 2011:26) av avsnitt 5 Brandskydd i Boverkets byggregler, BBR (BFS 2011:6) samt för allmänt råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BFS 2011:27)", Karlskrona, 2011.
- [40] Boverket, *Boverkets konstruktionsregler - EKS 7 (BFS 2008:8 med ändringar t.o.m. 2010:28)*. Karlskrona, 2010.
- [41] Boverket, "Handbok om brandbelastning", Karlskrona, 2008.
- [42] Boverket, *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BBRAD 3*. 2013.
- [43] Boverket, *Boverkets konstruktionsregler - EKS 11 (BFS 2011:10 med ändringar t.o.m. 2019:1)*. Karlskrona, 2019.
- [44] K. Eriksson och J. Löfgren, "Brandbelastning i träbyggnader - Jämförande beräkning och kartläggning om hur branschen hanterar permanent brandbelastning", Mälardalens Högskola, 2020.
- [45] A. I. Bartlett, R. M. Hadden, och L. A. Bisby, "A Review of Factors Affecting the Burning Behaviour of Wood for Application to Tall Timber Construction", *Fire Technol.*, vol. 55, nr 1, s. 1–49, jan. 2019, doi: 10.1007/s10694-018-0787-y.

- [46] G. Rein *m.fl.*, "Round-robin study of a priori modelling predictions of the Dalmarnock Fire Test One", *Fire Saf. J.*, vol. 44, nr 4, s. 590–602, maj 2009, doi: 10.1016/j.firesaf.2008.12.008.
- [47] N. Johansson, J. Anderson, R. McNamee, och C. Pelo, "A Round Robin of fire modelling for performance-based design", *Fire Mater.*, vol. 45, nr 8, s. 985–998, 2021, doi: 10.1002/fam.2891.
- [48] D. Brandon, A. Temple, och J. Sjöström, *Predictive method for fires in CLT and glulam structures – A priori modelling versus real scale compartment fire tests & an improved method*. 2021. Åtkomstdatum: 02 juli 2023. [Online]. Tillgänglig vid: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-58151>
- [49] Boverket, "Konsekvensutredning - Boverkets allmänna råd om brandbelastning, BBRBE", Karlskrona, 2013.
- [50] *Published Document 7974-7:2019 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Part 7: Probabilistic risk assessment*. 2019.
- [51] M. J. Spearpoint, M. Z. M. Tohir, A. K. Abu, och P. Xie, "Fire load energy densities for risk-based design of car parking buildings", *Case Stud. Fire Saf.*, vol. 3, s. 44–50, maj 2015, doi: 10.1016/j.csfs.2015.04.001.
- [52] E. Zalok, G. V. Hadjisophocleous, och J. R. Mehaffey, "Fire loads in commercial premises", *Fire Mater.*, vol. 33, nr 2, s. 63–78, 2009, doi: 10.1002/fam.984.
- [53] D. Brandon och C. Dagenais, "Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2: Task 5 – Experimental Study of Delamination of Cross Laminated Timber (CLT) in Fire", NFPA, Quincy, MA, FPRF-2018-05, 2017. Åtkomstdatum: 03 juli 2023. [Online]. Tillgänglig vid: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-59256>
- [54] D. Brandon, A. Just, P. Andersson, och B. Östman, "Mitigation of fire damages in multi-storey timber buildings : Statistical analysis and guidelines for design", RISE, Borås, 2018:43, 2018. Åtkomstdatum: 03

juli 2023. [Online]. Tillgänglig vid:
<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-35110>

- [55] R. Chaggaris, S. Pei, G. Kingsley, och E. Kinder, "Cost-Effectiveness of Mass Timber Beam–Column Gravity Systems", *J. Archit. Eng.*, vol. 27, nr 3, s. 04021028, sep. 2021, doi: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000494.
- [56] D. Brandon, "Engineering methods for structural fire design of wood buildings – structural integrity during a full natural fire", RISE, Borås, 2018:44, 2018. Åtkomstdatum: 03 juli 2023. [Online]. Tillgänglig vid: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-59255>
- [57] J. Schmid och A. Frangi, "Structural Timber In Compartment Fires – The Timber Charring and Heat Storage Model", *Open Eng.*, vol. 11, nr 1, s. 435–452, jan. 2021, doi: 10.1515/eng-2021-0043.
- [58] C. Wade, M. Spearpoint, C. Fleischmann, G. Baker, och A. Abu, "Predicting the Fire Dynamics of Exposed Timber Surfaces in Compartments Using a Two-Zone Model", *Fire Technol.*, vol. 54, nr 4, s. 893–920, juli 2018, doi: 10.1007/s10694-018-0714-2.
- [59] J. A. ROCKETT, "Fire Induced Gas Flow in an Enclosure", *Combust. Sci. Technol.*, vol. 12, nr 4–6, s. 165–175, apr. 1976, doi: 10.1080/00102207608946717.
- [60] A. H. Buchanan och A. K. Abu, *Structural Design for Fire Safety*, 2nd edition. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley, 2017.
- [61] D. Brandon, S. Qvist, Ij. van Straalen, Y. Watez, och P. Steenbakkens, "Literatuurstudie - Brandveiligheid en Bouwen met Hout", RISE, Borås, 2022:99, 2022. Åtkomstdatum: 03 juli 2023. [Online]. Tillgänglig vid: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-62449>
- [62] D. Brandon, J. Schmid, J. Z. Su, M. S. Hoehler, B. Östman, och A. Kimball, "Experimental Fire-Simulator For Post-Flashover Compartment Fires", presenterad vid The 10th International Conference on Structures in Fire, Belfast, 2018. Åtkomstdatum: 03 juli 2023. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.semanticscholar.org/paper/Experimental-Fire-Simulator-For->

Post-Flashover-Brandon-
Schmid/14fbc778693d81c2d051b2c483b067bbe48a6aec

- [63] M. Hevia och A. Ramon, "Fire Resistance of Partially Protected Cross-Laminated Timber Rooms", Carleton University, Ottawa, 2014.
- [64] S. Zelinka, L. Hasburgh, K. Bourne, D. Tucholski, och J. Ouellette, "Compartment Fire Testing of a Two-Story Mass Timber Building", United States Department of Agriculture, FPL-GTR-247, 2018. doi: 10.13140/RG.2.2.26223.33447.
- [65] R. M. Hadden *m.fl.*, "Effects of exposed cross laminated timber on compartment fire dynamics", *Fire Saf. J.*, vol. 91, s. 480–489, juli 2017, doi: 10.1016/j.firesaf.2017.03.074.
- [66] R. McNamee, J. Zehfuss, A. I. Bartlett, M. Heidari, F. Robert, och L. A. Bisby, "Enclosure fire dynamics with a cross-laminated timber ceiling", *Fire Mater.*, vol. 45, nr 7, s. 847–857, 2021, doi: 10.1002/fam.2904.
- [67] P. Kotsovinos *m.fl.*, "Fire dynamics inside a large and open-plan compartment with exposed timber ceiling and columns: CodeRed #01", *Fire Mater.*, vol. 47, nr 4, s. 542–568, 2023, doi: 10.1002/fam.3049.
- [68] J. Su, P.-S. Lafrance, M. Hoehler, och M. Bundy, "Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2: Task 2 & 3 – Cross Laminated Timber Compartment Fire Tests", Fire Protection Research Foundation, Quincy, 2018.

BILAGA A – INGÅENDE BESKRIVNING AV BERÄKNINGSMODELLEN

Overview

The model used within this project was developed and first published by Brandon and Andersson (2018) [12] with an updated version, as used in this project, published by Brandon et. al. (2021) [48] in 2021, which also includes discussion regarding the validation of the model.

The model is based around a single zone model and utilises knowledge of the movable fuel load in a compartment with the single zone model, and the corresponding assumption of well mixed conditions within the compartment, to predict an initial fire within a compartment. This fire is used to calculate the heating of a timber section, from which a charring rate can then be established for the timber. The combustion gasses released by this charring are subsequently assumed to combust within the compartment at the time of, or soon after, their release or, where there is insufficient oxygen, outside of the compartment. By utilising relationships between charring and heat release rates of timber, as established experimentally by Schmid et al. (2018) [14], the heat released by this charring process can then be added to that from the movable fuel. In addition to this immediate release, it has been shown that part of the combustion energy is stored within the char itself and then released later during oxidation of the char. As observed during large scale compartment tests, Brandon et al. (2021) [13], this char oxidation occurs primarily after the cessation of flaming combustion, likely due to the increase in available oxygen at the char surface. It has been estimated from experimental studies that approximately 20 % of the energy from the timber is released during this oxidation process [57].

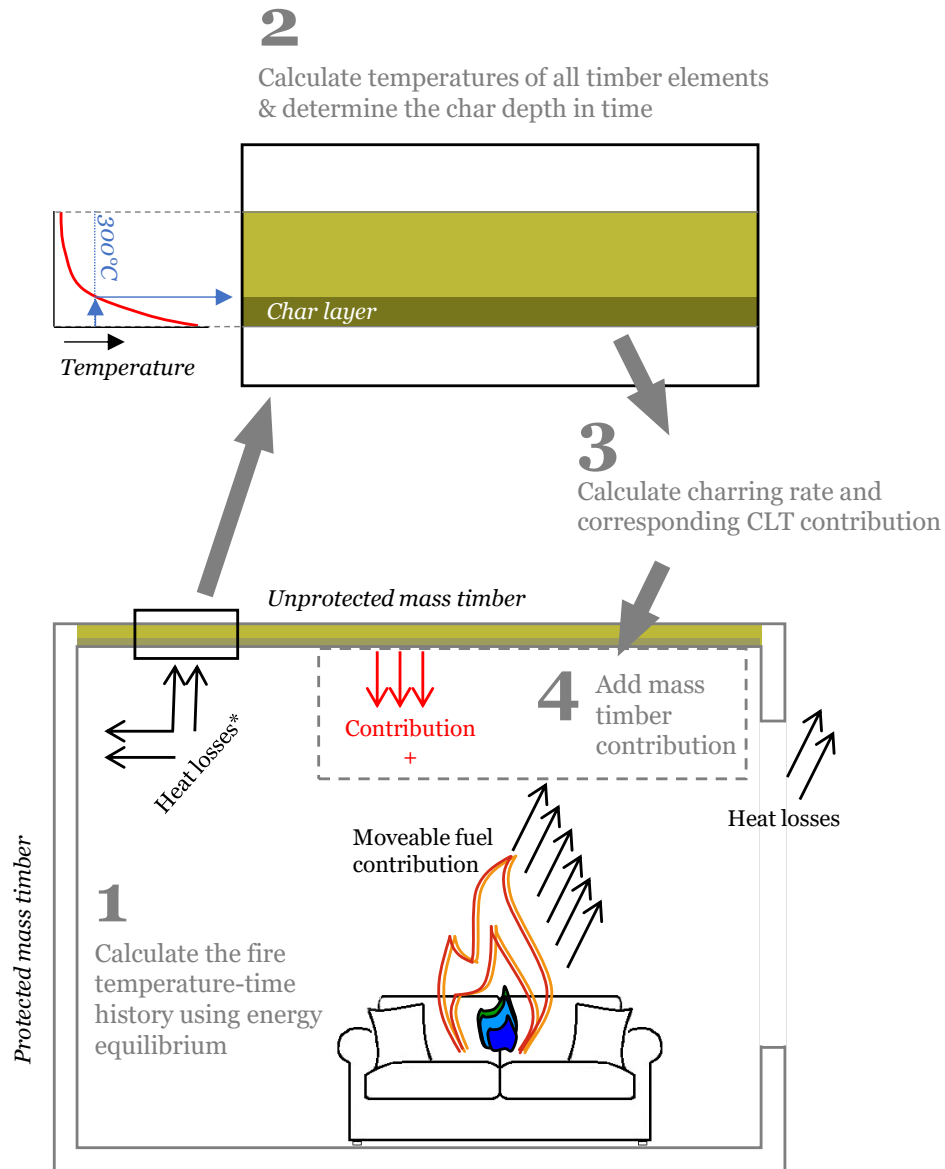
The final phenomenon approximated in the model is the change in heat transfer between the fire and the compartment boundary when flaming combustion stops. In the earlier stages of the fire and through the fully developed stage, the high level of flaming means that the gases are in effect opaque and there is therefore radiation transfer between the gases within the compartment and the boundaries. This is captured in typical zone models where it is assumed that for the duration of the model there is convective and radiative heat transfer between the hot fire gases and the boundaries. However, when flaming stops, the gases within the compartment become transparent and the walls from this point “see” each other (and the outside through any openings). As during the decay phase the boundaries of the compartment are typically hotter than the gases, the removal of the radiative interaction between the gases and boundaries

therefore slows down the cooling of the boundaries (in this case the mass timber). This is simulated within the implementation of the model by setting the emissivity of the surfaces to 0 after the cessation of flaming (assumed to be when the gas temperature drops below 700°C).

The model can therefore be summarised via the following steps:

1. Calculate the compartment fire temperatures for the full temperature-time history using a single zone model and a heat release rate curve. For the first calculation the heat release rate curve should correspond to the moveable fuel in the room (e.g. the basic fire curve described in Annex B). For all subsequent calculations, the heat release rate curve from step 4 is used.
2. Use these compartment temperatures to calculate the temperature-time history of any protected and unprotected timber structural element.
3. Calculate the charring rate through time for any timber structural element and calculate the potential heat release rate through time due to the charring,
4. Add the CLT combustion contribution to contribution of the moveable fuel load, and establish char oxidation energy release.
5. Iterate (i.e. repeat steps 1 to 4) until convergence.

The model is also illustrated graphically and schematically in Figure 1 and Figure 2 respectively.



*in the decay phase, the net heat flux is directed from the boundary surfaces towards the room

Figure 1: The four steps of every iteration

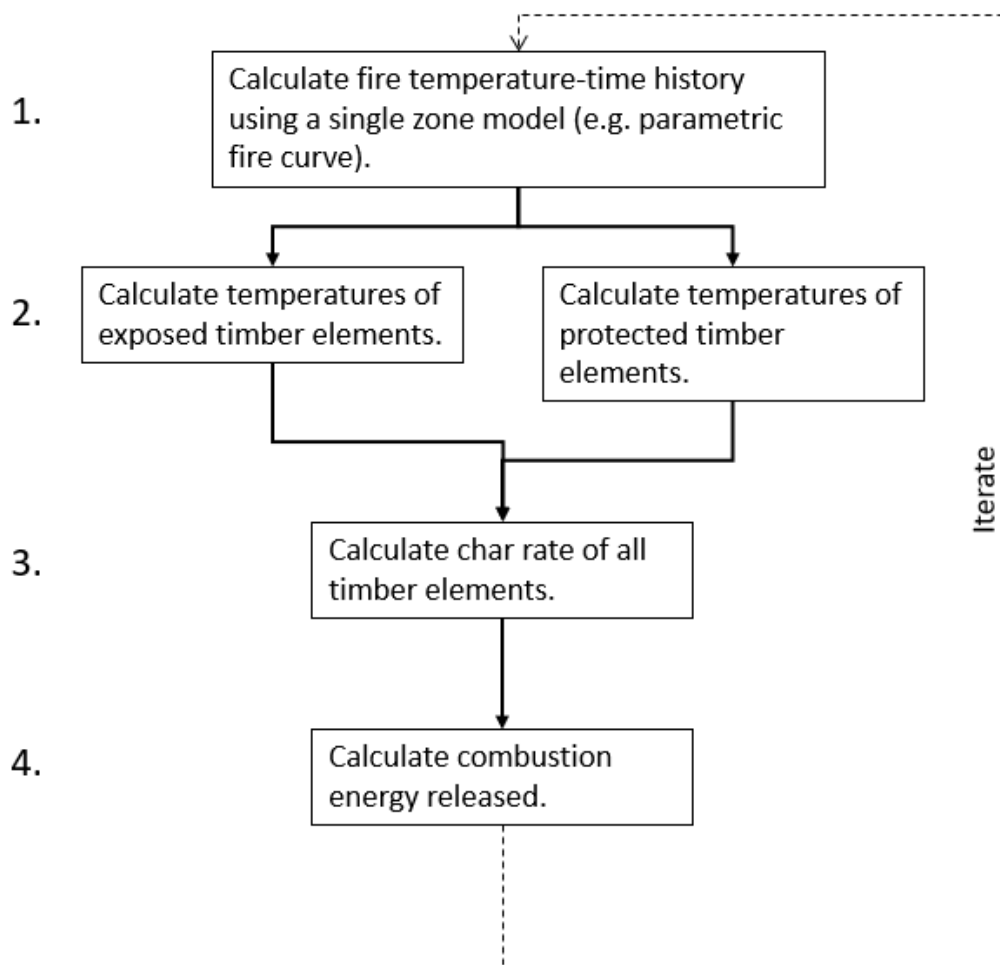


Figure 2: Schematic of model process

Equations

Movable Fuel Load Fire

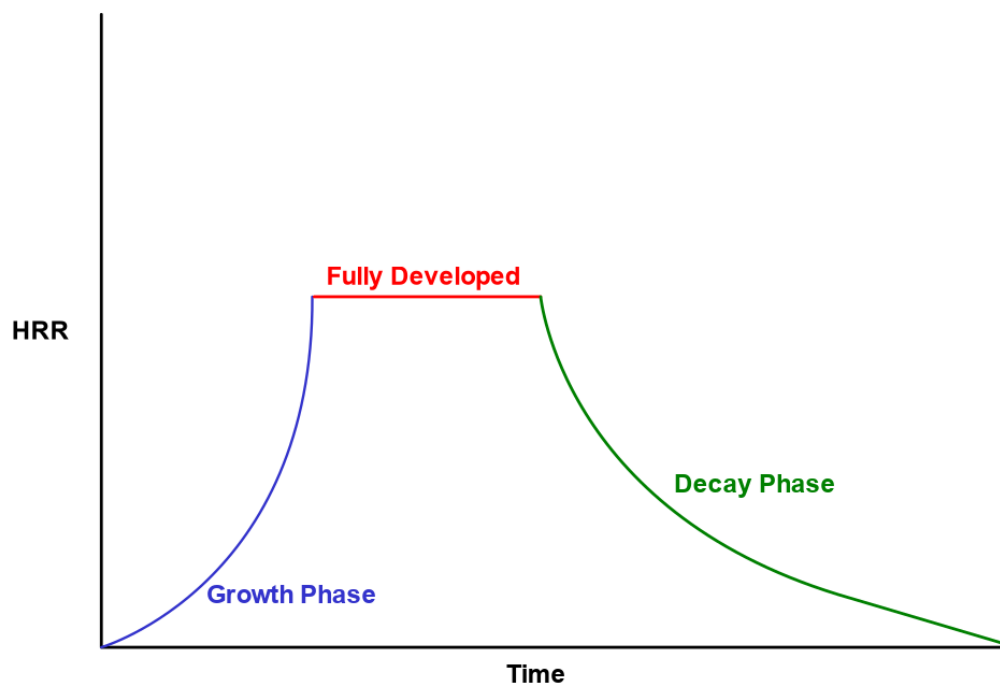


Figure 3. Sketch showing shape and phases of the movable fuel load fire

Beyond the design of the compartment in question, the primary driver of the fire is the movable fuel load, its type (which will dictate the growth rate), and its quantity (represented by a fuel load density, which will dictate the duration of its contribution). When conducting a standalone analysis using this model, it is important for appropriate assumptions to be made for both of these factors. As the aim of the modelling in the project is to provide information for a range of design cases the “quantity” of the fuel varies for each calculation conducted so as to give results covering common design situations. The fuel load densities included a range from 270-1500 MJ/m² floor area, which was then recalculated to better fit with fire load densities per boundary area. This gave a range of 60-360 MJ/m² as an approximation.

From these inputs the heat release rate history, or “fire curve” of the movable fuel load is calculated. The fire curve is split into 3 parts for calculation, as sketched in Figure 3, a growth phase, fully developed (or “maximum”) phase and a decay phase. First the maximum heat

release rate is calculated. The fire will either be ventilation or fuel controlled, and can therefore be described with the following equation:

$$\dot{Q}_{C,max} = \max \{ \dot{Q}_{C,max;vent} \dot{Q}_{C,max;fuel} \} \quad \text{eq. A1}$$

Where $\dot{Q}_{C,max;vent}$, the maximum heat release rate under ventilation-controlled conditions, is described by the following equation [15]:

$$\dot{Q}_{C,max;vent} = \alpha_1 * \alpha_{air} * A_o \sqrt{H_o} \quad \text{eq. A2}$$

Where α_1 is a flow rate coefficient, α_{air} is the energy released per unit mass of inflowing air ($3.01 * 10^6$ W s/kg, if supply air has an oxygen content of 23% - volume basis) A_o is the total area of the compartment openings and H_o the average height of all openings. And the maximum heat release rate under fuel-controlled conditions is given by:

$$\dot{Q}_{C,max;fuel} = \beta * A_{fl} \quad \text{eq. A3}$$

Where β is the heat release rate density of the fuel (kW/m²) and A_{fl} is the area of the floor (m²).

During the post-flashover phase combustion will also take place outside the compartment, as unburnt combustibles within the fire gases flow out of openings and into an oxygen rich environment. This is normally described with an excess fuel fraction, α_4 ⁴. This fraction is defined as the ration between the exterior and interior heat release rates, and the HRR therefore is calculated by:

$$\dot{Q}_{C,max,total} = \dot{Q}_{C,max,int} * (1 + \alpha_4) \quad \text{eq. A4}$$

Where $\dot{Q}_{C,max,total}$ is the combined maximum heat release rate of internal and external combustion. An excess fuel fraction of 0.1 has been assumed for this project.

After this maximum HRR has been established the growth phase can be calculated, it follows the form of:

$$\dot{Q}_t = \alpha_7 t^2 \quad \text{eq. A5}$$

⁴ Note that the subscripts of the various α factors used in the equations in this appendix do not increase with the order they appear in the appendix, but rather are named to maintain consistency with those in the report *Predictive method for fires in CLT and glulam structures – A priori modelling versus real scale compartment fire tests & an improved method* by Brandon et al (2021) which is referenced in places as a source of further detail. This is done to avoid confusion should a reader review the reference report.

Where α_7 is the growth rate and t is the time since ignition. For this project a fast fire growth rate, of 0.047 kW/s^2 , as shown to provide a good match for fires in validation studies of the model [13] has been used. The fire curve follows this growth until the calculated maximum is reached.

Finally, there is a decay phase. The decay phase will start after a proportion of the total moveable fuel has been used. It has been found during validation studies [13] that a value of 0.5 provides a good match. This start point is therefore found by establishing the duration of maximum heat release rate required so that the area under the HRR curve is equal to 0.5 the total fuel load. The shape of the decay curve is governed by a hyperbolic function rather than the more commonly used linear or parabolic functions. These latter functions cause a relatively sharp stop to the fire, while a hyperbolic function provides a smoother end to the fire as observed in real fires. The decay curve is therefore governed by the following equation:

$$Q_{C;dec}(t) = \frac{1}{x(t-y)} \quad \text{eq. A6}$$

Where $Q_{C;dec}(t)$ is the heat release rate of the variable fire load during the decay phase as a function of time, t is the time and x and y are determined using the following boundary conditions:

- $\int_0^{t_{dec}} Q_C(t) dt = \alpha_5 \alpha_6 F$, as the total area under the heat release rate curve should correspond to the fuel load, F , and the combustion efficiency, α_5 . α_6 is the fraction of fuel consumed at the start of the decay phase (0.5).
- $Q_C(t_{dec}) = \dot{Q}_{C;max;total}$, as the heat release declines during the decay phase, from the heat release rate corresponding to the fully developed phase to zero.
- $\int_{t_{dec}}^{\infty} Q_{C;dec}(t) dt = \alpha_5 (1 - \alpha_6) F$, as the area under the heat release rate curve of the decay phase should correspond to fuel left at the start of the decay and the combustion efficiency.

Fire Temperature Calculation

Once the movable fuel load is calculated the first part of the iterative portion of the model is to use a single zone model to calculate the gas temperature. This requires the heat release rate of the fire to be known, movable fuel portion described above and the CLT contribution below, along with the losses (primarily via gas flow out of any openings and via convective and radiative heat transfer into the boundaries). Using the law of conservation of energy states the energy released should, be equal to the energy lost (hereby the heat energy stored in gasses

inside the compartment is considered negligible) and so the energy balance of the zone model can be described using the following equation:

$$\dot{Q}_C + \dot{Q}_{C;CLT} = \dot{Q}_W + \dot{Q}_R + \dot{Q}_L \quad \text{eq. A7}$$

Where:

\dot{Q}_C is the heat release rate corresponding to the movable fuel load

\dot{Q}_W is the rate of heat loss through compartment boundaries (floor, walls and ceiling)

\dot{Q}_L is the rate of heat loss through air flow out of openings in the compartment

\dot{Q}_R is the rate of heat loss through radiation out of openings

$\dot{Q}_{C;CLT}$ is the heat release rate of the CLT calculated using a heat transfer model

The maximum heat loss rate due to air flow out of the openings is calculated using (Wickström 1986):

$$\dot{Q}_L = \alpha_1 (T_f - T_\infty) c A \sqrt{h} \quad \text{eq. A8}$$

Where:

T_f is the fire temperature (K).

T_∞ is the ambient temperature (K)

c is the specific heat of air

The factor α_1 is a flow rate coefficient and is often assumed to be $0.50 \text{ kg}/(\text{s m}^{5/2})$. According to [59] the value of this coefficient ranges between 0.40 and $0.61 \text{ kg}/(\text{s m}^{5/2})$. For this model α_1 was chosen empirically based on historic test data with a value of $\alpha_1=0.40$ being found to correspond well to the data [13].

Up to the point of flame extinction, assumed to be 700°C in the implementation of this model, it can be assumed that there is radiative interaction between the thick flames of the compartment fire and the boundaries. This heat transfer between the two is described by:

$$\dot{Q}_{R,CP} = \sigma \varepsilon (T_f^4 - T_s^4) \quad \text{eq. A9}$$

Where:

σ is the Stefan Boltzmann constant

ε is the effective emissivity

T_s is the surface temperature

In addition to this interaction between the surfaces and the fire there are also radiative losses out of the opening. In keeping with the single zone assumption of the model it has been assumed that there is a view factor of 1 across the area of the opening. At the cessation of flaming the fire

itself would stop radiating to outside, and radiative losses via the opening would in fact come from the boundary surfaces. To keep the implementation of the model simple, this change has not been included and instead it has been assumed that the fire gases continue to radiate to outside. As this occurs during the decay phase, where the gas temperatures are lower than the surface temperatures, this will result in a lower heat loss and therefore be conservative with regards to the exposure to the timber structure. The radiative losses are therefore described by the following equation:

$$\dot{Q}_{R,CB} = A_O(T_f^4 - T_\infty^4)\sigma \quad \text{eq. A10}$$

Where:

A_O is the surface area of all openings

The heat losses through the boundaries are calculated via the use of a 1D heat transfer analysis, described in the following subsection. With all of these losses established, the temperature history of the fire can be calculated by substituting the loss terms into eq. A8 and rearranging for T_f :

$$T_f = \frac{\dot{Q}_C + \dot{Q}_{C;CLT} - \dot{Q}_W - \dot{Q}_R}{c\alpha_1 A \sqrt{h}} + T_\infty \quad \text{eq. A11}$$

Noting that for the first iteration of the model this is not possible, and so it is assumed that the combined heat losses equal half of the initial heat released by the movable fuel and that the contribution of the CLT ($\dot{Q}_{C;CLT}$) is zero.

Calculation of Timber Temperatures

To establish the contribution of the CLT to the fire, first the rate of charring must be established, and for this to be calculated the history of the through depth temperatures is required in turn. This is calculated using a 1-dimensional finite element heat transfer model to predict the heat transfer through the depth of the wall from the fire side to the external, ambient, side. On both sides of the wall, it is assumed that both radiative and convective boundaries exist and that the boundary condition can be expressed as:

$$q_n = h(T_g - T_s) + \sigma\varepsilon(T_g^4 - T_s^4) \quad \text{eq. A12}$$

Where:

- q_n is the net heat flux through the surface,
- h is a convection coefficient (W/m²K),
- T_g is the gas temperature (K),

T_s is the surface temperature (K)

The convective heat transfer coefficient and emissivity used within the model are 25 W/m²K and 0.8 respectively, which is in accordance with the guidance in EN 1991-1-2 (2002) and EN 1995-1-2 (2004). In fully developed compartment fires with thick flames and smoke, such as for the majority of the duration of the fires considered in this model it is reasonable to assume, as done here, that the radiation and gas temperatures are the same. As described in the model overview, at the cessation of flaming the radiative interaction between the compartment gases and the walls stops, this is implemented in practice by setting the emissivity at the heated boundary in the heat transfer to 0.

In addition to allowing the determination of the charring rate, and hence the contribution of CLT to the fire, by conducting 1D heat transfer calculations through all of the walls, the ceiling and the floor, the total heat losses through the compartment boundary can be calculated (for inclusion in the zone model fire temperature calculation). The heat losses through the boundaries are calculated using:

$$\dot{Q}_w = \sum_{i=1}^m \dot{q}_{n,i} * A_i \quad \text{eq. A13}$$

Where:

- $\dot{q}_{n,i}$ is the net heat flux per surface area through boundary i
- A_i is the surface area of boundary i
- m is the number of boundary

The effective thermal properties used within this model for the timber and gypsum board are shown in Table 1 and Table 2. The thermal properties for temperatures in-between the temperature values of the table were linearly interpolated.

Table 1: Effective thermal properties of CLT material utilized.

| Temperature (°C) | Conductivity (W/mK) | Specific Heat (J/kgK) | Density (kg/m ³) |
|------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|
| 20 | 0.07 | 1347 | 494.6 |
| 98 | 0.06 | 987 | 494.6 |
| 99 | 0.73 | 4006 | 494.6 |
| 120 | 0.75 | 6075 | 494.6 |

Table 2: Effective thermal properties of gypsum boards utilized.

| Temperature (°C) | Conductivity (W/mK) | Specific Heat (J/kgK) | Density (kg/m ³) |
|------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|
| 11 | 0.827 | 816.8 | 896 |
| 70 | 0.46 | 514.1 | 896 |
| 100 | 0.167 | 628.3 | 896 |
| 130 | 0.177 | 8865.5 | 829.7 |

| | | | |
|------|------|------|-------|
| 121 | 0.20 | 2577 | 494.6 |
| 200 | 0.67 | 2300 | 494.6 |
| 250 | 0.82 | 3671 | 460 |
| 300 | 0.24 | 1936 | 375.9 |
| 350 | 0.12 | 4305 | 257.2 |
| 400 | 0.14 | 3388 | 187.9 |
| 500 | 0.15 | 4472 | 163.2 |
| 600 | 0.53 | 7799 | 138.5 |
| 800 | 0.82 | 9192 | 128.6 |
| 1220 | 1.37 | 9192 | 1 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 140 | 0.187 | 37674 | 808.2 |
| 150 | 0.243 | 21700 | 785.8 |
| 170 | 0.164 | 672 | 741.9 |
| 600 | 0.115 | 960 | 741 |
| 720 | 0.177 | 3924 | 740.1 |
| 750 | 0.38 | 864 | 695.3 |
| 1000 | 0.392 | 864 | 695.3 |
| 1200 | 1.659 | 864 | 695.3 |

Calculation mass timber energy contribution

Assuming a charring temperature of 300°C [18], [60] the charring rate can be calculated for the whole fire from the calculated timber temperatures by tracking the progress of the heat in the material. It has been found in previous studies that the heat release rate per millimetre of char is a constant 5.39 MJ/m²mm. Using this relationship with the charring rate the heat release rate contribution of the char over the duration of the fire can be calculated. The relationship is as follows:

$$\dot{Q}_{C;CLT} = \sum_{i=1}^m 5.39 * \frac{\dot{\beta}_i}{60} * A_i * \alpha_2 \quad (MW) \quad \text{eq. A14}$$

Where:

$\dot{\beta}_i$ is the charring rate (mm/min)

A_i is the surface area of assembly i (m²)

α_2 the fraction of combustion energy release in oxygen poor environment

In the decay phase it has been observed that the char layer oxidises causing a regression of the char surface. This process also releases heat, and as such will contribute to maintaining high temperatures during the decay phase. From thermogravimetric analysis conducted previously [13] it can be observed that after 400°C there is very little char regression in an oxygen poor environment, while there is a more rapid mass loss in an oxygen rich environment (20% O₂). This comparison indicates that a switch from oxygen poor to oxygen rich environment can involve a significant release of additional energy stored in the char layer. It was also established that the mass fraction of the char, in comparison to uncharred wood, is approximately 0.25. It was also found that a ratio of approximately 0.05 of the mass of the timber remained after

oxidation in the cone tests. It is therefore concluded that an α_2 value of 0.2 is a reasonable assumption for this model.

Following from this the heat released by charring can be calculated and then added to that obtained from the “movable fuel load” (see equation 11) for the calculation of the fire temperatures in the next iteration of the model. This does not however include the energy released by the oxidation of char after flame extinction. The total energy stored in the char after flame extinction can be calculated with:

$$(1 - \alpha_2)\alpha_3 \int_0^{t_{fe}} \dot{Q}_{C;CLT}(t) dt \quad \text{eq. A15}$$

Where t_{fe} is the time at which flaming extinction occurs and α_3 the fraction of the energy stored in the char that is released during oxidation. For the purposes of the modelling undertaken here it is assumed that $\alpha_3 = 1$, which is a conservative assumption.

Experimental work by Brandon et al. (2021) [13] indicates that the char regression is faster during the first half hour after the switch to an oxygen rich environment, after which it slows down. To provide a simple means of including this within the model a hyperbolic function is used to distribute the energy released by oxidation from the point of extinction. This causes a larger release of heat at the start with a long slow down.

Iteration

As the calculation of the fire temperature, using equation A4, requires knowledge of the contribution to the fire of the CLT, which itself is dependent upon the overall fire development which the CLT contributes to. The model is therefore completed using an iterative method, the overall process of which is described in the overview in section A.7, and in the first iteration the CLT contribution is assumed to be 0. A new CLT contribution is calculated from the resulting through depth temperatures, and this is added to the movable fuel load in the second iteration. This process is repeated until convergence between iterations.

BILAGA B – VALIDERING AV BERÄKNINGSMODELL

Comparisons with compartment fire tests are presented here. As mentioned, Section 2.5.1 the framework involves requirements of material performance. These requirements are specifically:

- no significant effects of glue line integrity failure (also known as fire induced delamination)
- complete encapsulation of non-exposed timber with protective boards

Section 2.5.1 and Section 1.2 also mentions assumptions made.

The number of published compartment tests that are fully within the scope are limited as the majority of previous compartment tests with exposed mass timber surfaces did involve glue line integrity failure or significant charring behind gypsum boards [61]. To increase the available data, also replications of compartment tests by Brandon et al. (2018) [62] are included. The full list is shown in Tabell 5.

Tabell 5: Compartment fire tests relevant for validation. *MT* = mass timber; *HRRPUA* = heat release rate per unit area; *var.* = variable; *GB prot.* = gypsum board protection; *adh.* = adhesive; *exp. Avg* = experimental average

| Reference | Floor area (m ²) | Fuel load density (MJ/m ²) | Exposed MT surface (m ²) | Opening factor (m ^{0.5}) | Maximum HRR PUA of var. fuel (kW/m ²) | CLT outer lamella thickness (mm) | CLT thickn. (mm) | Adh. | GB prot. | Exp. avg char depth (mm) |
|---------------------------------------|------------------------------|--|--------------------------------------|------------------------------------|---|----------------------------------|------------------|------|-----------------|--------------------------|
| A: Test 3, Medina Hevia (2015) [63] | 15.8 | 532 | 11.3 | 0.042 | 254 | 35 | 175 | HBE | 2 x 12.7 type X | 33 |
| B: Test 2, Zelinka et al. (2018) [64] | 82.8 | 550 | 16.7 | 0.105 | 193 | 35 | 175 | HBE | 2 x 15.9 type X | 23 |
| C: Test 3, Zelinka et al. (2018) [64] | 82.8 | 550 | 24.9 | 0.105 | 193 | 35 | 175 | HBE | 2 x 15.9 type X | 23 |
| D: Test β1, Hadden et al. (2017) [65] | 7.4 | 132 | 14.8 | 0.042 | 210 | 20 | 100 | PU | 2 x 12.5 type F | 24 |
| E: Test 1, Brandon et al. (2021) [13] | 48.0 | 560 | 53.8 | 0.063 | 220 | 35 | 175 | HBX | 2 x 15.9 type X | 36 |
| F: Test 2, Brandon et al. (2021) [13] | 48.0 | 560 | 91.2 | 0.063 | 220 | 35 | 175 | HBX | 3 x 15.9 type X | 56 |
| G: Test 3, Brandon et al. (2021) [13] | 48.0 | 560 | 96.2 | 0.063 | 220 | 35 | 175 | HBX | 3 x 15.9 type X | **65 |
| H: Test 4, Brandon et al. (2021) [13] | 48.0 | 560 | 77.9 | 0.266 | 584 | 35 | 175 | HBX | 2 x 15.9 type X | 43 |

| | | | | | | | | | | |
|--|-------|-----|-------|-------|----------------|----|-----|-----|-----------------|------|
| I: Test 5, Brandon et al. (2021) [13] | 48.0 | 560 | 97.2 | 0.063 | 220 | 35 | 175 | HBX | 3 x 15.9 type X | 63 |
| *** J: Test 1, McNamee et al. (2021) [66] | 24.0 | 891 | 24.0 | 0.144 | Not determined | 33 | 165 | HBS | NA | 45 |
| ***K: Test 2, McNamee et al. (2021) [66] | 24.0 | 891 | 24.0 | 0.050 | Not determined | 33 | 165 | HBS | NA | 74 |
| ***L: Test 3, McNamee et al. (2021) [66] | 24.0 | 891 | 24.0 | 0.032 | Not determined | 33 | 165 | HBS | NA | **85 |
| M: Code Red #01, Kotsovinos et al. (2021) [67] | 352.0 | 374 | 352.0 | 0.071 | 170 | 40 | 140 | MUF | NA | 25 |
| * N: Test MF-A, Brandon et al. (2018) [53] | 41.9 | 550 | 13.2 | 0.030 | 155 | 35 | 175 | HBX | 2 x 12.7 type X | 65 |
| * O: Test MF-B, Brandon et al. (2018) [53] | 41.9 | 550 | 41.9 | 0.032 | 155 | 35 | 175 | MF | NA | 51 |
| * P: Test PRF-A, Brandon et al. (2018) [53] | 41.9 | 550 | 41.9 | 0.032 | 155 | 35 | 175 | MF | NA | 54 |
| * Q: Test PRF-B, Brandon et al. (2018) [53] | 41.9 | 550 | 41.9 | 0.032 | 155 | 35 | 175 | PRF | NA | 53 |
| * R: Test EPI-A, Brandon et al. (2018) [53] | 41.9 | 550 | 41.9 | 0.032 | 155 | 35 | 175 | PRF | NA | 59 |
| * S: Test EPI-B, Brandon et al. (2018) [53] | 41.9 | 550 | 41.9 | 0.032 | 155 | 35 | 175 | EPI | NA | 54 |
| * T: Test PU2-A, Brandon et al. (2018) [53] | 41.9 | 550 | 41.9 | 0.032 | 155 | 35 | 175 | EPI | NA | 54 |
| * U: Test PU2-B, Brandon et al. (2018) [53] | 41.9 | 550 | 41.9 | 0.032 | 155 | 35 | 175 | HBX | NA | 58 |

* Tests with conditions replicated from a compartment test Test 1-4 by Su et al. (2018) [68], it should be noted that the replicated fire involved glue line integrity failure during the fully developed phase, which is expected to have prolonged the duration of the ventilation-controlled conditions. This should lead to somewhat higher damage than typically expected for a scenario where glue line integrity failure is prevented.

**These tests were stopped before full decay occurred

***These tests are out of the scope of the model since glue line integrity failure occurred

Figure 4 (left) shows model predictions and char depths after a fire for all compartment fires that are included in Tabell 5 and have a known maximum heat release rate that only corresponds to the variable fuel. It can be seen that all predictions except for that of Test H are conservative. Test H had, by far, the highest opening factor of the compartment tests.

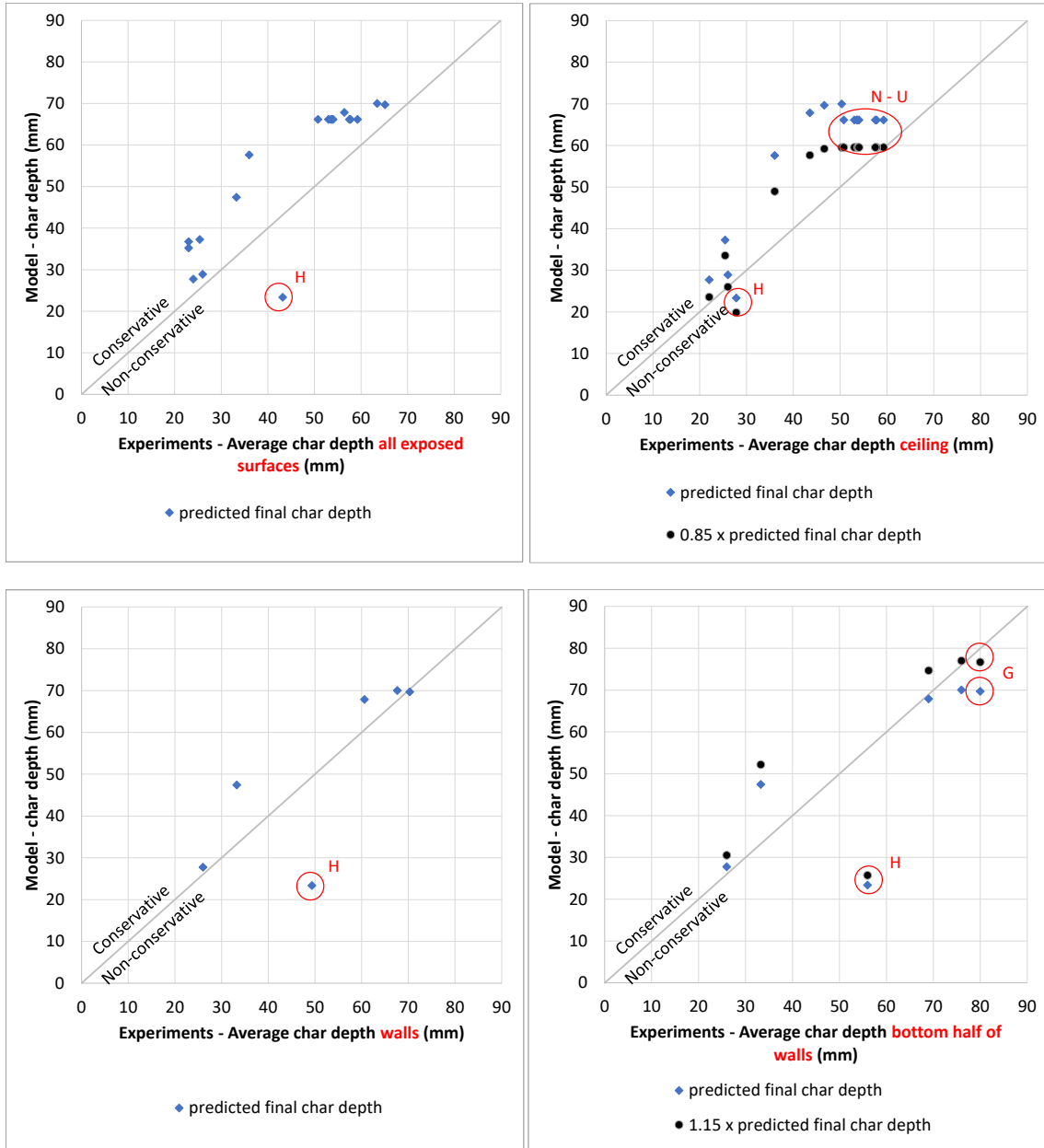


Figure 4. Final char depth predictions versus the average char depth of all exposed surfaces in published compartment tests

This Annex, details an evaluation of the model by setting predictions of char depths against the average char depths measured after 22 different fire tests, 14 of which were compartment fire tests and 8 of which were replication tests in which compartment fire conditions of tests by Su et al. (2018) [68] were replicated. The series only includes tests in which the material performance criteria of Section 2.5.1 for gypsum boards and mass timber integrity were met, meaning that no significant charring behind gypsum board occurred and glue line integrity of the mass timber was avoided. The data set for validation includes opening factors ranging from 0.03 to 0.27 m^{0.5} and floor plan areas from 7 to 350 m².

The model gave conservative estimations of the average char depth for all compartments with opening factors up to 0.19 m^{0.5}. The model did not correspond well with the single compartment test with the larger opening of 0.26 m^{0.5}, in that test (Test H) the heat release rate from the variable fuel was much higher than seen in other experiments with the same variable fuel [13]. In addition, the decay seems to be overestimated by the model. As there was only one test with such a high opening factor, adjustments of the model cannot be justified as there is not enough data for validation.

The model gave conservative predictions of the average char depth for compartments in the whole range of floor areas (7 to 350 m²). Char damage after a fire is generally higher in the bottom of the compartment than it is in the top of the compartment, as can for example be seen in work from McGregor (2014); Hadden et al. (2017); Su et al. (2018), Brandon et al. (2021). Analysis by Brandon et al. 2021 strongly indicates that this is due to higher oxygen concentrations in the bottom of the compartment. Although the model predictions in general correspond well with the average char depth of the compartment and the average char depth over the complete height of walls, the average char depth in the bottom of walls is in several cases non-conservative. Similarly, the char depth predictions of ceiling are in general most conservative.

The analysis of Annex B indicates that the char depth predictions of all data still remain or become conservative if they are:

- multiplied by 0.85 for predictions of the char depth of the ceiling
- multiplied by 1.0 for predictions of the overall char depth of walls
- multiplied by 1.15 for predictions of the char depth of the lower half of walls

For the development of the model Brandon et al. (2021) singled out 5 compartment tests for more in-depth comparisons. With exception of the large opening factor compartment (test H in Tabell 5) discussed above, modeling predictions of the plate thermometer temperature, gas temperatures and heat release rate were put side by side and indicated that predictions of gypsum surface temperatures corresponded well with experimental plate thermometer temperatures⁵. The peak temperature, however, was overestimated by the model in all comparisons.

⁵ As, both, plate thermometers and gypsum boards are thermally inert, the comparison of their surface temperature is deemed useful for model validation.

BILAGA C – KÄNSLIGHETSANALYS

As mentioned in Section 2.5.1, the sensitivity study aims to reduce the number of parameters incorporated in the framework to improve practicality. The parameters under investigation are as follows:

- width to length ratio
- floor area
- fuel load density
- surface area of exposed wood.

In the sensitivity analysis the influence of changing individual parameters is assessed. A smaller variation of predicted char depths is here used as an indication of less sensitivity of the predicted structural damage to the varied parameter.

Sensitivity analysis 1: Fuel per floor area versus fuel per boundary area.

Historically the fuel load in compartments was expressed as fuel load per boundary area in Swedish regulations. Harmonisation within Europe, led to a switch to expressing the fuel load per floor area instead. In order to assess relevant options a first sensitivity analysis was performed whereby:

- 20% of the compartment boundary (including floor and openings) comprises exposed wood.
- The compartment interior height is 3.0 m
- The opening factor⁶ is 0.06 m^{0.5}
- The floor area is **varied** (but a square floorplan is implemented)

Figure 5 shows the results for analysis whereby either the fuel per floor area was constant (red), or the fuel per perimeter area was constant (black). It can be seen that, for this set of calculations, the predicted char depth is significantly dependent on the floor area if the fuel load is expressed per floor area. In contrast expressing the fuel load per boundary area leads to less

⁶ The opening factor is calculated in accordance with Eurocode 1 (EN 1991-1-2, 2002) using: $O = \frac{A_v \sqrt{h}}{A_t}$, whereby A_v is the opening area, h is the opening height, A_t is the total area of the compartment boundary including area of openings.

dependence on the floor area for predictions of the char depth, which indicates an opportunity to present a framework in which floor area is not one of the variables.

Due to the high dependency on the floor, expressing the fuel load density per floor area is not considered in further sensitivity analysis.

Note: Flashovers in very large compartments can significantly reduce the available evacuation times and compromise the ability for the fire service to interfere. The risks should be mitigated and accounted for and are not accounted for by only using the framework.

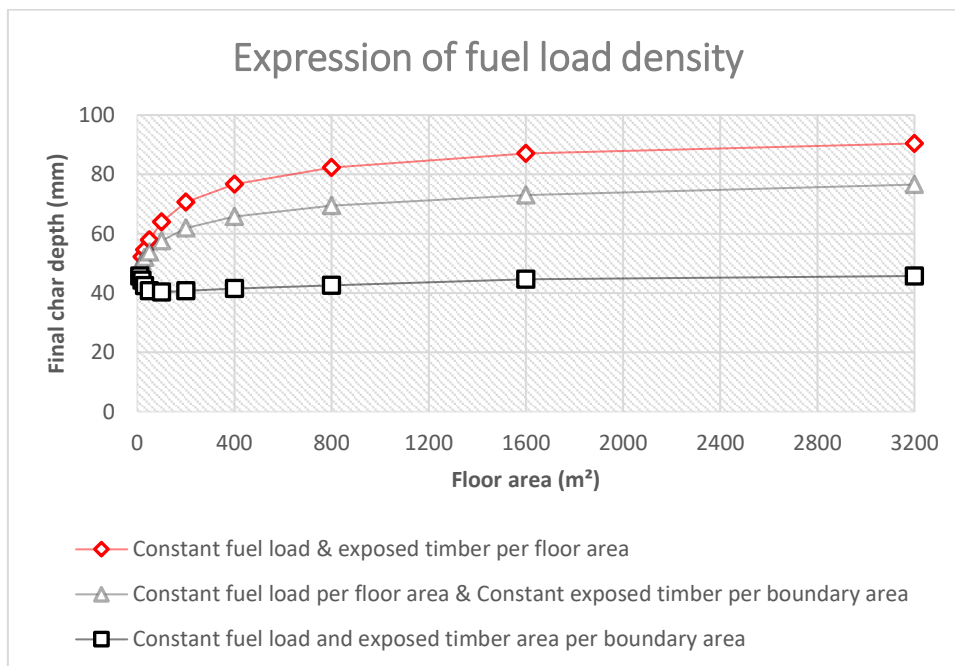


Figure 5. Char depth versus floor area for constant fuel load per floor area (red) and constant fuel load per boundary area.

The advantage of expressing the fuel per boundary area over expressing the fuel per floor area for predictions of the damage also has a physical explanation. Namely, the combustion energy of the fuel will eventually be lost through the compartment boundary and the more boundary area a compartment with a certain volume has, the more heat can be lost through that boundary.

Sensitivity Analysis 2: Shape of the floorplan

While the height of most real fire compartments has minor variations, the width, length, and their ratio can vary significantly. The previous sensitivity analysis (Sensitivity Analysis 1) includes a varying shape, as it keeps the height of the compartment constant and varies the floor area. It however did not cover the dependency of results on the shape of the floor plan. A second sensitivity analysis is discussed here to indicate the dependency of the structural damage on the floor plan shape, by changing the length-to-width ratio of the compartment. Although it is hereby assumed that the floor plan is rectangular, the analyses can to some extent also represent compartments with non-rectangular shapes if the volume and boundary area of the compartment shape are similar to that of the analysis (see Figure 6 for some schematic examples).

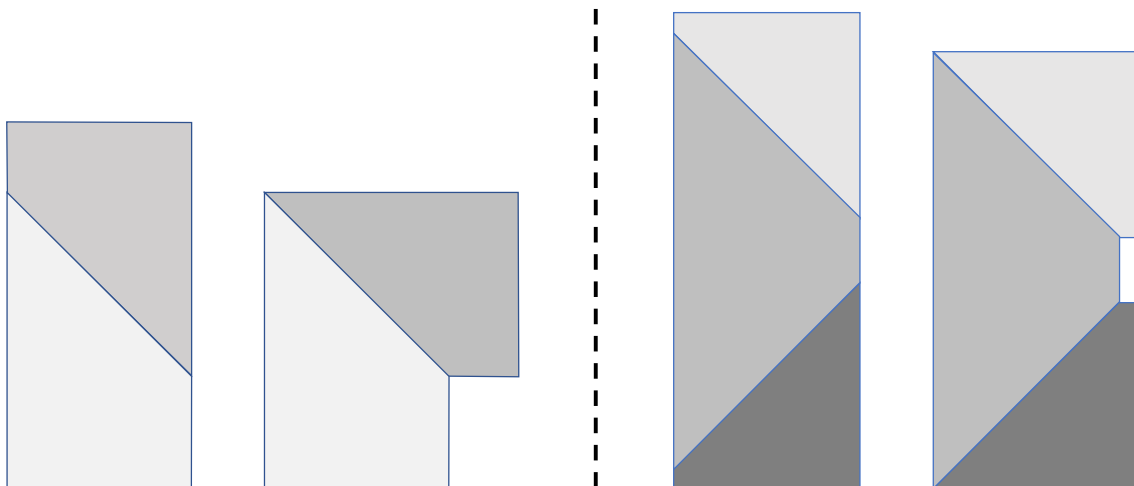


Figure 6. Two schematic examples of floor plan shapes with the same floor area, volume and compartment boundary area.

The sensitivity analysis included eight series describing all possible combinations of the following variables:

- an exposed surface area equal to 60 % or 30% of the compartment boundary area
- a fuel load per compartment boundary area of 200 MJ/m² or 100 MJ/m²
- an opening factor of 0.06 m^{0.5} or 0.16 m^{0.5}

Each series involved nine analyses, with the following compartment properties:

- 1) Length-to-width ratio 1:1 & Floor area 10 m²
- 2) Length-to-width ratio 1.5:1 & Floor area 10 m²
- 3) Length-to-width ratio 2:1 & Floor area 10 m²
- 4) Length-to-width ratio 1:1 & Floor area 100 m²
- 5) Length-to-width ratio 1.5:1 & Floor area 100 m²
- 6) Length-to-width ratio 2:1 & Floor area 100 m²
- 7) Length-to-width ratio 1:1 & Floor area 1000 m²
- 8) Length-to-width ratio 1.5:1 & Floor area 1000 m²
- 9) Length-to-width ratio 2:1 & Floor area 1000 m²

Figure 7 shows predicted char depths. The similarity of final char depths in analysis 1 to 3, 4 to 6 and 7 to 9, separately, indicate an independence of the shape of the floor plan for a compartment with a given volume, a given fuel load per boundary area and a given exposed surface per boundary area.

In line with the results of the first sensitivity analysis, the predicted final char depth was to a small extent dependent on the size of the compartment. Both the first and second sensitivity assessments included very small compartments, with floor areas starting from 10m², which can potentially be left out of the scope of this project due to their relative rarity. A final sensitivity assessment was performed to reformulate the scope, aiming to maintain a practical outcome that leaves out floor area as a dependent variable.

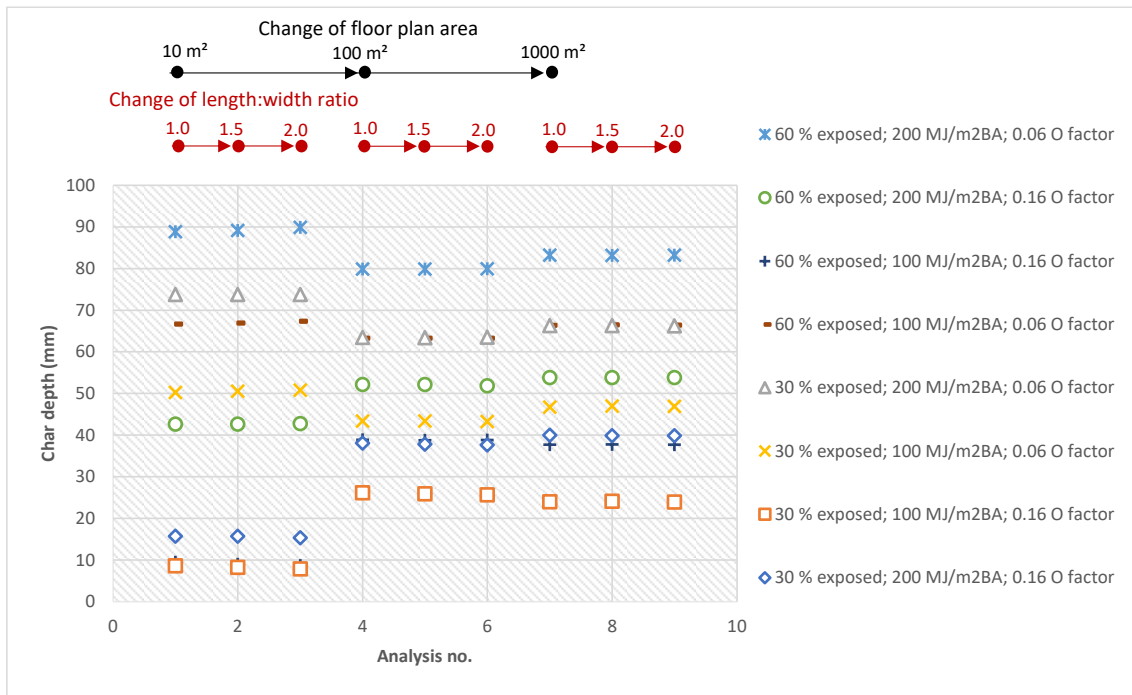


Figure 7. Predicted char depths for scenarios with different compartment shapes, exposed surface areas, opening factors and fuel load densities.

Sensitivity Analysis 3: Assessment

Sensitivity analysis 1 and 2 suggested that expressing the fuel load and the exposed surface area with respect to the total area of the compartment boundary resulted in a small dependency of the char depths to the floor area.

Similar to sensitivity analysis 2, in the third and largest sensitivity analysis series with varying exposed surface areas, fuel load densities and opening factors are run. However, in this analysis the floor plan shape is not considered as a factor and the floor area is varied much more significantly.

Figure 8 shows the dependence of the predicted final char depth on the compartment size. Dependent on the series, the variations in the char depth predictions is roughly 5 to 10 mm (which roughly corresponds to 7 to 10 minutes fire resistance testing).

Based on this analysis the researchers chose to perform the calculations to form the framework with three different floor areas: 30 m², 120m² and 1250m², and present the scenario with the highest predicted char depth in the frame work.

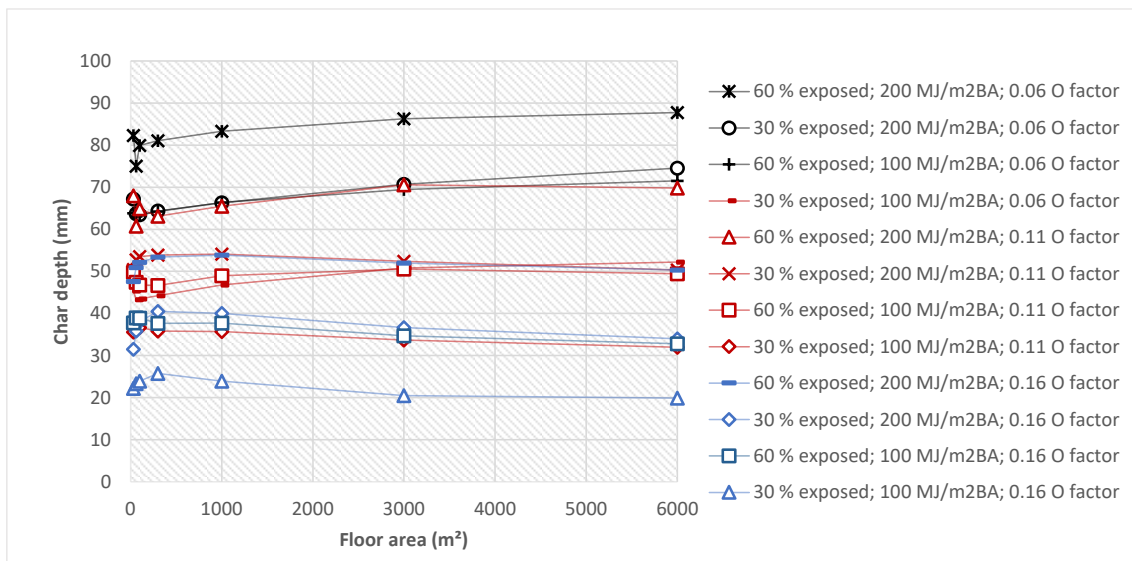


Figure 8. Char depth versus floor area for various defined scenarios.

BILAGA D – MAXIMAL TEMPERATUR VID FÖRKOLNINGSRANDEN UNDER BRANDFÖRLOPPET

På kommande sidor redovisas tabeller över temperaturer på olika djup i träkonstruktionen från förkolningsranden räknat.

| | | <i>Distance from the char line (mm)</i> | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|---|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| a_{exp} (%) | O ($m^{0.5}$) | q_{td} | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
| 10 | 0.04 | 60 | 291.9 | 184.6 | 116.8 | 98.9 | 86.1 | 74.6 | 64 | 54.6 | 46.7 | 40.2 | 35.1 | 31.2 |
| 10 | 0.04 | 120 | 288.8 | 205.5 | 148.2 | 112 | 92.5 | 77.3 | 64.2 | 53.5 | 45 | 38.5 | - | - |
| 10 | 0.04 | 180 | 299.1 | 222.2 | 167.3 | 113.6 | 91.6 | 74.9 | 61.2 | 50.5 | 42.5 | - | - | - |
| 10 | 0.04 | 240 | 294.3 | 224.8 | 158.4 | 107.6 | 84.4 | 67.7 | 54.9 | 45.4 | - | - | - | - |
| 10 | 0.04 | 300 | 299.3 | 221.7 | 137.2 | 97.1 | 76.2 | 60.3 | 49 | - | - | - | - | - |
| 10 | 0.04 | 360 | 291 | 197.8 | 112.6 | 83.7 | 64.2 | 50.6 | - | - | - | - | - | - |
| 10 | 0.06 | 120 | 286.2 | 192.2 | 121.6 | 108.2 | 92.6 | 80 | 68.5 | 58.5 | 50.1 | 43 | 37.4 | - |
| 10 | 0.06 | 180 | 294.5 | 209.8 | 154.8 | 114.8 | 97 | 82.3 | 69.5 | 58.5 | 49.5 | 42.2 | - | - |
| 10 | 0.06 | 240 | 295 | 219.1 | 169.1 | 116.6 | 96.8 | 81 | 67.5 | 56.4 | 47.4 | - | - | - |
| 10 | 0.06 | 300 | 296.4 | 226.1 | 173.2 | 115.7 | 94.5 | 78.1 | 64.5 | 53.6 | - | - | - | - |
| 10 | 0.06 | 360 | 299.1 | 231.3 | 171.8 | 113.5 | 91 | 74.4 | 61 | - | - | - | - | - |
| 10 | 0.1 | 120 | 298.5 | 184.1 | 115.4 | 96.6 | 84.4 | 74.5 | 65.1 | 56.5 | 49 | 42.6 | 37.3 | 33.1 |
| 10 | 0.1 | 180 | 296.2 | 198.9 | 128.1 | 108.1 | 92.6 | 80 | 68.4 | 58.3 | 49.8 | 42.8 | 37.2 | - |
| 10 | 0.1 | 240 | 293.9 | 207.2 | 146.2 | 112.9 | 95.3 | 81 | 68.4 | 57.7 | 48.8 | 41.8 | 36.2 | - |
| 10 | 0.1 | 240 | 293.2 | 203.4 | 142.4 | 109.7 | 89.7 | 74.2 | 61.2 | 50.7 | 42.5 | 36.5 | - | - |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10 | 0.1 | 300 | 291.8 | 209.1 | 151.8 | 109.9 | 88.6 | 72.4 | 59.1 | 48.8 | 41.1 | - | - | - |
| 10 | 0.15 | 60 | 282.4 | 119.1 | 89.9 | 74.3 | 63.7 | 55.4 | 49.3 | 44.6 | 40.4 | 36.5 | 33 | 30.1 |
| 10 | 0.15 | 120 | 296.4 | 166.3 | 108.4 | 88.3 | 76.9 | 68.4 | 60.3 | 52.8 | 46.1 | 40.5 | 35.7 | 31.9 |
| 10 | 0.15 | 180 | 286.6 | 180.6 | 115.3 | 96.7 | 83.7 | 71.7 | 60.8 | 51.3 | 43.5 | 37.4 | 32.7 | 29.3 |
| 10 | 0.15 | 240 | 286.7 | 189.7 | 119 | 104.1 | 87 | 73 | 60.8 | 50.7 | 42.7 | 36.6 | 32.1 | - |
| 10 | 0.15 | 300 | 287.7 | 197.2 | 128.7 | 107.1 | 87.8 | 72.7 | 60 | 49.6 | 41.6 | 35.7 | 31.5 | - |
| 10 | 0.15 | 360 | 292.9 | 205.2 | 143.4 | 108.9 | 88.1 | 72.2 | 59 | 48.5 | 40.6 | 34.9 | - | - |
| 20 | 0.04 | 60 | 294.4 | 190.6 | 119.3 | 105.1 | 89.7 | 76.9 | 65.3 | 55.4 | 47.1 | 40.4 | 35.2 | - |
| 20 | 0.04 | 120 | 290.8 | 209.7 | 155.6 | 113 | 93 | 77.3 | 64.1 | 53.3 | 44.8 | 38.4 | - | - |
| 20 | 0.04 | 180 | 299.9 | 224.6 | 168.3 | 113.2 | 90.9 | 74.1 | 60.5 | 49.9 | 42.1 | - | - | - |
| 20 | 0.04 | 240 | 296 | 225.2 | 155.8 | 106.3 | 83.1 | 66.6 | 54 | 44.9 | - | - | - | - |
| 20 | 0.04 | 300 | 294.4 | 212.6 | 119.9 | 92.7 | 72.4 | 57.5 | 47.1 | - | - | - | - | - |
| 20 | 0.04 | 360 | 290.3 | 192.1 | 109.5 | 80.7 | 61.4 | 48.1 | - | - | - | - | - | - |
| 20 | 0.06 | 120 | 288.1 | 196.3 | 133.2 | 110.7 | 94.2 | 81 | 69.2 | 58.9 | 50.3 | 43.1 | - | - |
| 20 | 0.06 | 180 | 294.7 | 211.9 | 159.5 | 115.7 | 97.3 | 82.4 | 69.3 | 58.3 | 49.2 | - | - | - |
| 20 | 0.06 | 240 | 293.7 | 219.7 | 169.7 | 116.2 | 96.2 | 80.3 | 66.8 | 55.7 | - | - | - | - |
| 20 | 0.06 | 300 | 293 | 225.4 | 170.1 | 114.6 | 93 | 76.7 | 63.2 | - | - | - | - | - |
| 20 | 0.06 | 360 | 294.2 | 228 | 165.4 | 111 | 88.5 | 72.1 | 59.1 | - | - | - | - | - |
| 20 | 0.1 | 120 | 287.7 | 181.1 | 115.9 | 98.1 | 86 | 75.5 | 65.7 | 56.8 | 49 | 42.5 | 37.2 | 32.9 |
| 20 | 0.1 | 180 | 292.4 | 198.3 | 129.1 | 109.4 | 93.3 | 80.2 | 68.4 | 58.2 | 49.6 | 42.6 | 37 | - |
| 20 | 0.1 | 240 | 293.6 | 208.3 | 149.3 | 113.7 | 95.7 | 81.1 | 68.3 | 57.5 | 48.7 | 41.6 | - | - |
| 20 | 0.1 | 240 | 294.8 | 206.2 | 148 | 110.4 | 90 | 74.3 | 61.1 | 50.6 | 42.5 | 36.6 | - | - |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 20 | 0.1 | 300 | 293.6 | 211.8 | 154.1 | 110.3 | 88.6 | 72.3 | 59 | 48.8 | 41.2 | - | - | - |
| 20 | 0.15 | 60 | 291.3 | 119.6 | 91.1 | 75.3 | 64.7 | 56.4 | 50.1 | 45.4 | 40.9 | 36.9 | 33.3 | 30.3 |
| 20 | 0.15 | 120 | 295.5 | 167.5 | 109.5 | 89.5 | 78.1 | 69.3 | 61 | 53.3 | 46.5 | 40.7 | 35.9 | 32 |
| 20 | 0.15 | 180 | 290.8 | 183.7 | 116.4 | 98.3 | 85 | 72.4 | 61.2 | 51.5 | 43.6 | 37.4 | 32.8 | 29.4 |
| 20 | 0.15 | 240 | 295.2 | 194.8 | 120.2 | 105.9 | 88 | 73.7 | 61.3 | 51 | 42.9 | 36.7 | 32.2 | - |
| 20 | 0.15 | 300 | 298.5 | 203.2 | 137.1 | 109 | 89.1 | 73.6 | 60.6 | 50.1 | 41.9 | 35.9 | - | - |
| 20 | 0.15 | 360 | 293 | 206.1 | 145.1 | 109 | 87.9 | 71.8 | 58.6 | 48.2 | 40.4 | 34.8 | - | - |
| 30 | 0.04 | 60 | 297 | 196 | 127.8 | 108.8 | 91.7 | 78.1 | 66 | 55.7 | 47.2 | 40.4 | 35.2 | - |
| 30 | 0.04 | 120 | 293.6 | 213 | 159.3 | 113.6 | 93 | 77 | 63.6 | 52.9 | 44.5 | 38.1 | - | - |
| 30 | 0.04 | 180 | 294.6 | 223.6 | 163.7 | 111.2 | 88.6 | 71.9 | 58.6 | 48.5 | - | - | - | - |
| 30 | 0.04 | 240 | 293 | 221.4 | 145.2 | 101.8 | 79.9 | 63.9 | 52 | - | - | - | - | - |
| 30 | 0.04 | 300 | 298.8 | 211.2 | 118.5 | 90.2 | 70.1 | 55.7 | - | - | - | - | - | - |
| 30 | 0.04 | 360 | 299.7 | 194.7 | 109 | 79.7 | 60.2 | 46.1 | - | - | - | - | - | - |
| 30 | 0.06 | 120 | 297.5 | 202.3 | 141.4 | 112.6 | 95.9 | 82.3 | 70.1 | 59.6 | 50.7 | 43.4 | - | - |
| 30 | 0.06 | 180 | 291.8 | 211.7 | 160.3 | 115.6 | 96.9 | 81.8 | 68.7 | 57.7 | 48.7 | - | - | - |
| 30 | 0.06 | 240 | 291.8 | 219.9 | 169.7 | 115.8 | 95.5 | 79.5 | 66.1 | 55 | - | - | - | - |
| 30 | 0.06 | 300 | 293.3 | 226.5 | 169.9 | 114.2 | 92.3 | 75.9 | 62.5 | - | - | - | - | - |
| 30 | 0.06 | 360 | 298.6 | 231.1 | 166.7 | 110.9 | 88 | 71.6 | - | - | - | - | - | - |
| 30 | 0.1 | 120 | 299.8 | 190.5 | 118.6 | 103.9 | 89.7 | 78.3 | 67.8 | 58.3 | 50.1 | 43.3 | 37.7 | - |
| 30 | 0.1 | 180 | 292.3 | 200.6 | 136.1 | 111.4 | 94.6 | 81 | 68.9 | 58.4 | 49.7 | 42.6 | - | - |
| 30 | 0.1 | 240 | 295.2 | 210.9 | 154.8 | 114.7 | 96.4 | 81.5 | 68.5 | 57.6 | 48.7 | 41.6 | - | - |
| 30 | 0.1 | 240 | 289 | 206.3 | 151.5 | 113.5 | 95 | 80.2 | 67.4 | 56.7 | 47.8 | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 30 | 0.1 | 300 | 294.9 | 214.5 | 156.4 | 110.7 | 88.7 | 72.3 | 59.1 | 48.9 | 41.3 | - | - | - |
| 30 | 0.15 | 60 | 273.3 | 119.2 | 92.2 | 76.8 | 66.5 | 58.3 | 52 | 46.8 | 41.9 | 37.5 | 33.6 | 30.5 |
| 30 | 0.15 | 120 | 290.3 | 167.4 | 110.5 | 91.1 | 79.7 | 70.5 | 61.8 | 53.8 | 46.8 | 40.9 | 36 | 32 |
| 30 | 0.15 | 180 | 286.9 | 182.9 | 116.8 | 99.9 | 85.5 | 72.5 | 61 | 51.2 | 43.3 | 37.2 | 32.6 | - |
| 30 | 0.15 | 240 | 295.9 | 196.2 | 123.4 | 107 | 88.4 | 73.8 | 61.2 | 50.9 | 42.7 | 36.6 | 32.2 | - |
| 30 | 0.15 | 300 | 288.6 | 199.5 | 135.8 | 107.7 | 87.8 | 72.3 | 59.4 | 49.1 | 41.2 | 35.5 | - | - |
| 30 | 0.15 | 360 | 297.9 | 209.7 | 150.7 | 109.7 | 88.3 | 72 | 58.7 | 48.3 | 40.5 | 35 | - | - |
| 40 | 0.04 | 60 | 292.4 | 198.1 | 135 | 110.2 | 92.2 | 78 | 65.5 | 55.1 | 46.6 | 39.9 | - | - |
| 40 | 0.04 | 120 | 298.8 | 218.3 | 165 | 114.1 | 93 | 76.7 | 63.1 | 52.4 | 44.1 | - | - | - |
| 40 | 0.04 | 180 | 298.2 | 226.9 | 164.5 | 110.3 | 87.3 | 70.6 | 57.5 | 47.7 | - | - | - | - |
| 40 | 0.04 | 240 | 297 | 220.9 | 140.7 | 97.9 | 77.4 | 61.8 | 50.6 | - | - | - | - | - |
| 40 | 0.04 | 300 | 299.2 | 205 | 115 | 86 | 66.2 | 52.7 | - | - | - | - | - | - |
| 40 | 0.04 | 360 | 296.7 | 201.6 | 114 | 84.9 | 65.3 | - | - | - | - | - | - | - |
| 40 | 0.06 | 120 | 287.5 | 199.7 | 140.8 | 112.4 | 95.3 | 81.5 | 69.2 | 58.7 | 49.9 | 42.6 | - | - |
| 40 | 0.06 | 180 | 293.8 | 214.1 | 164 | 115.9 | 97.1 | 81.8 | 68.6 | 57.5 | 48.3 | - | - | - |
| 40 | 0.06 | 240 | 293.5 | 222 | 171 | 115.9 | 95.3 | 79.2 | 65.6 | 54.5 | - | - | - | - |
| 40 | 0.06 | 300 | 295.5 | 228.7 | 170.8 | 113.9 | 91.8 | 75.3 | 61.8 | - | - | - | - | - |
| 40 | 0.06 | 360 | 293.2 | 225.9 | 158.6 | 107.8 | 85.4 | 69.3 | - | - | - | - | - | - |
| 40 | 0.1 | 120 | 291.5 | 190.6 | 119.8 | 106.8 | 91.8 | 79.6 | 68.4 | 58.6 | 50.2 | 43.2 | 37.4 | - |
| 40 | 0.1 | 180 | 288.3 | 201.6 | 141.6 | 112.4 | 95.1 | 81.2 | 68.8 | 58.3 | 49.5 | 42.3 | - | - |
| 40 | 0.1 | 240 | 292.6 | 211.9 | 158.7 | 115.1 | 96.5 | 81.4 | 68.3 | 57.4 | 48.4 | - | - | - |
| 40 | 0.1 | 300 | 298.7 | 221.5 | 170.1 | 116.6 | 96.6 | 80.6 | 67 | 55.9 | 47 | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 40 | 0.1 | 300 | 293.9 | 217.1 | 166.2 | 115.3 | 95.4 | 79.7 | 66.3 | 55.2 | - | - | - | - |
| 40 | 0.15 | 60 | 285.6 | 133 | 96.2 | 80.3 | 70 | 61.8 | 55.2 | 49.1 | 43.6 | 38.6 | 34.5 | 31 |
| 40 | 0.15 | 120 | 281.8 | 166.8 | 111.6 | 92.9 | 81.6 | 71.8 | 62.6 | 54.3 | 47.1 | 41 | 36 | 32 |
| 40 | 0.15 | 180 | 292.9 | 187.9 | 118.3 | 103.2 | 86.9 | 73.4 | 61.5 | 51.5 | 43.5 | 37.3 | 32.7 | - |
| 40 | 0.15 | 240 | 291.6 | 196.1 | 128.1 | 107.1 | 88.2 | 73.3 | 60.7 | 50.4 | 42.4 | 36.4 | - | - |
| 40 | 0.15 | 300 | 299.8 | 206.8 | 144.9 | 110 | 89.3 | 73.4 | 60.2 | 49.7 | 41.7 | 36 | - | - |
| 40 | 0.15 | 360 | 297.3 | 211 | 152.4 | 109.7 | 88 | 71.7 | 58.4 | 48.1 | 40.5 | - | - | - |
| 50 | 0.04 | 60 | 291.9 | 209.1 | 152.8 | 112.8 | 93.4 | 78.2 | 65.1 | 54.4 | 45.9 | - | - | - |
| 50 | 0.04 | 120 | 295.6 | 223.9 | 166 | 112.5 | 90.3 | 73.9 | 60.7 | 50.3 | - | - | - | - |
| 50 | 0.04 | 180 | 296.6 | 224.5 | 151 | 103.4 | 81.5 | 65.8 | - | - | - | - | - | - |
| 50 | 0.04 | 240 | 296.2 | 205.7 | 116.5 | 88.3 | 69.3 | - | - | - | - | - | - | - |
| 50 | 0.04 | 300 | 289.6 | 183.6 | 104 | 75.7 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 50 | 0.04 | 360 | 297 | 171.9 | 95.9 | 69.7 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 50 | 0.06 | 120 | 298.8 | 207.2 | 149 | 114 | 96.8 | 82.7 | 70.1 | 59.3 | 50.3 | 42.8 | - | - |
| 50 | 0.06 | 180 | 290.9 | 214.4 | 164.7 | 115.6 | 96.5 | 81 | 67.7 | 56.6 | - | - | - | - |
| 50 | 0.06 | 240 | 299 | 226.6 | 174.3 | 116.6 | 95.6 | 79.2 | 65.5 | - | - | - | - | - |
| 50 | 0.06 | 300 | 293 | 227.5 | 166.9 | 112.3 | 89.9 | 73.5 | - | - | - | - | - | - |
| 50 | 0.06 | 360 | 298.7 | 229 | 159.6 | 107.4 | 84.8 | 68.6 | - | - | - | - | - | - |
| 50 | 0.1 | 120 | 293.6 | 195 | 127.3 | 109.2 | 93.4 | 80.6 | 69.1 | 59 | 50.4 | 43.2 | - | - |
| 50 | 0.1 | 120 | 297.9 | 203.1 | 140.3 | 111 | 92.8 | 78.4 | 65.8 | 55.3 | 46.8 | - | - | - |
| 50 | 0.1 | 180 | 295 | 210.8 | 155.7 | 113.1 | 93.2 | 77.7 | 64.6 | 53.9 | - | - | - | - |
| 50 | 0.1 | 240 | 294.8 | 217 | 163.3 | 113.3 | 92.3 | 76.2 | 62.9 | 52.2 | - | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 50 | 0.1 | 300 | 296.9 | 223.3 | 166.4 | 112.7 | 90.7 | 74.3 | 61.1 | - | - | - | - | - |
| 50 | 0.1 | 360 | 297.7 | 227.3 | 165 | 110.8 | 88.2 | 71.8 | - | - | - | - | - | - |
| 50 | 0.15 | 60 | 294.6 | 154 | 105.2 | 86.3 | 75.4 | 66.5 | 58.1 | 50.5 | 43.9 | 38.4 | 33.9 | 30.4 |
| 50 | 0.15 | 120 | 283.4 | 177.1 | 115.4 | 97.9 | 85.1 | 73 | 62.1 | 52.7 | 45 | 38.8 | 34 | - |
| 50 | 0.15 | 180 | 293.2 | 194.8 | 122.3 | 107.5 | 89.7 | 75.5 | 63.3 | 53.1 | 44.9 | 38.6 | - | - |
| 50 | 0.15 | 240 | 297.3 | 204.6 | 142.8 | 110.5 | 91 | 75.8 | 62.9 | 52.4 | 44.2 | - | - | - |
| 50 | 0.15 | 300 | 296.5 | 210.3 | 152.6 | 111.6 | 90.7 | 74.8 | 61.7 | 51.2 | 43.2 | - | - | - |
| 50 | 0.15 | 360 | 297.7 | 216 | 159.6 | 111.5 | 89.8 | 73.5 | 60.3 | 50 | - | - | - | - |
| 60 | 0.04 | 60 | 290.9 | 219.1 | 162.5 | 112.3 | 90.6 | 74.4 | 61.2 | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.04 | 120 | 296.1 | 225.9 | 154.9 | 106.2 | 83.7 | 67.8 | - | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.04 | 180 | 297.7 | 210.7 | 119 | 91.6 | 72.6 | - | - | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.04 | 240 | 298.7 | 194.7 | 109.1 | 78.8 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.04 | 300 | 299.1 | 179.6 | 98.4 | 71.1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.04 | 360 | 293.9 | 159.3 | 91.5 | 65.3 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.06 | 60 | 294.4 | 205.6 | 145 | 112.1 | 93.9 | 79.4 | 66.7 | 56 | 47.3 | - | - | - |
| 60 | 0.06 | 120 | 292.8 | 216.5 | 163.8 | 114 | 93.4 | 77.5 | 64.2 | 53.3 | - | - | - | - |
| 60 | 0.06 | 180 | 296.1 | 226 | 168.2 | 112.8 | 90.7 | 74.3 | 60.9 | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.06 | 240 | 295.6 | 226.6 | 158.8 | 107.5 | 85 | 68.9 | - | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.06 | 300 | 299.9 | 221.7 | 141.5 | 98.6 | 78.8 | - | - | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.1 | 120 | 296.2 | 199 | 134.3 | 111 | 94.6 | 81.5 | 69.6 | 59.3 | 50.5 | 43.1 | - | - |
| 60 | 0.1 | 180 | 298.4 | 211.7 | 156.9 | 115.4 | 97.5 | 82.9 | 70 | 58.9 | 49.5 | - | - | - |
| 60 | 0.1 | 180 | 297.4 | 215 | 161.8 | 114.1 | 93.9 | 78.2 | 64.9 | 54 | - | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| 60 | 0.1 | 240 | 293.5 | 218.8 | 164.8 | 113.2 | 92 | 75.9 | 62.6 | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.1 | 300 | 296.2 | 225.1 | 166.5 | 112.5 | 90.3 | 73.9 | 60.5 | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.1 | 360 | 295.3 | 226.5 | 162.4 | 109.8 | 87.1 | 70.8 | - | - | - | - | - | - |
| 60 | 0.15 | 60 | 298.4 | 166.3 | 109.9 | 90.5 | 79.2 | 69.4 | 60.3 | 52.1 | 45 | 39.2 | 34.5 | - |
| 60 | 0.15 | 120 | 286.3 | 184 | 117.6 | 102.9 | 87.5 | 74.6 | 63.1 | 53.4 | 45.4 | 39.1 | - | - |
| 60 | 0.15 | 180 | 296.8 | 200.7 | 135.6 | 109.7 | 91.1 | 76.5 | 64 | 53.6 | 45.3 | - | - | - |
| 60 | 0.15 | 240 | 299.6 | 209.7 | 151 | 112.2 | 92.1 | 76.6 | 63.5 | 52.9 | 44.6 | - | - | - |
| 60 | 0.15 | 300 | 298.1 | 214.6 | 159.1 | 112.5 | 91.4 | 75.3 | 62.1 | 51.6 | - | - | - | - |
| 60 | 0.15 | 360 | 299 | 220 | 162.9 | 112.3 | 90.2 | 73.9 | 60.7 | 50.3 | - | - | - | - |

BILAGA E – TEMPERATURER UNDER BERÄKNADE BRANDFÖRLOPP

Här redovisas tabeller med brand temperaturer som resulterade av analysen för olika brandscenarier. Temperaturer presenteras i °C och följande förkortningar används:

- %ETrä - % exponerad omslutningsyta
- BB - Brandbelastning per omslutningsarea
- ÖF - Öppnings-faktor ($m^{0.5}$)

Notera att beräkningarna har en tendens att överskatta maximala gastemperaturer, vilket även diskuteras i bilaga B.

| % ETrä | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| BB | 60 | 60 | 60 | 60 | 120 | 120 | 120 | 120 | 180 | 180 | 180 | 180 | |
| ÖF | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | |
| Tid (min) | 0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | |
| | 2.5 | 28 | 164 | 59 | 107 | 28 | 164 | 59 | 50 | 28 | 165 | 25 | 24 |
| | 5 | 58 | 592 | 191 | 371 | 58 | 592 | 191 | 151 | 58 | 594 | 43 | 37 |
| | 7.5 | 109 | 1022 | 386 | 675 | 109 | 1022 | 386 | 304 | 109 | 1022 | 73 | 59 |
| | 10 | 181 | 1136 | 664 | 714 | 181 | 1120 | 663 | 522 | 181 | 1119 | 116 | 91 |
| | 12.5 | 258 | 1246 | 938 | 755 | 258 | 1153 | 937 | 759 | 258 | 1153 | 172 | 133 |
| | 15 | 355 | 747 | 1055 | 433 | 355 | 1174 | 1085 | 899 | 355 | 1174 | 234 | 184 |
| | 17.5 | 496 | 575 | 592 | 306 | 496 | 1192 | 1117 | 915 | 496 | 1189 | 296 | 239 |
| | 20 | 652 | 484 | 434 | 238 | 652 | 1220 | 1138 | 934 | 652 | 1202 | 400 | 296 |
| | 22.5 | 868 | 419 | 344 | 196 | 868 | 1026 | 864 | 669 | 868 | 1212 | 498 | 383 |
| | 25 | 975 | 369 | 284 | 168 | 978 | 837 | 646 | 507 | 978 | 1217 | 611 | 465 |
| | 27.5 | 1057 | 330 | 241 | 148 | 1058 | 686 | 530 | 411 | 1058 | 1200 | 759 | 555 |
| 30 | 1058 | 297 | 210 | 132 | 1094 | 595 | 459 | 344 | 1094 | 1110 | 854 | 657 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|------|------|
| 32.5 | 786 | 270 | 186 | 120 | 1120 | 539 | 405 | 296 | 1120 | 982 | 940 | 775 |
| 35 | 659 | 247 | 167 | 111 | 1141 | 497 | 363 | 259 | 1140 | 864 | 1030 | 842 |
| 37.5 | 568 | 227 | 151 | 103 | 1160 | 461 | 328 | 230 | 1157 | 759 | 1118 | 915 |
| 40 | 503 | 210 | 139 | 97 | 1185 | 431 | 299 | 208 | 1171 | 661 | 1210 | 995 |
| 42.5 | 451 | 196 | 128 | 92 | 1007 | 404 | 275 | 189 | 1183 | 606 | 1295 | 1062 |
| 45 | 408 | 183 | 119 | 87 | 884 | 380 | 254 | 173 | 1194 | 564 | 924 | 713 |
| 47.5 | 373 | 171 | 112 | 83 | 787 | 359 | 236 | 160 | 1200 | 531 | 734 | 565 |
| 50 | 342 | 161 | 106 | 79 | 699 | 340 | 220 | 149 | 1222 | 504 | 612 | 473 |
| 52.5 | 316 | 152 | 101 | 76 | 636 | 323 | 206 | 140 | 1102 | 480 | 535 | 409 |
| 55 | 293 | 143 | 96 | 73 | 589 | 307 | 194 | 131 | 997 | 457 | 481 | 361 |
| 57.5 | 273 | 136 | 92 | 71 | 554 | 293 | 183 | 124 | 915 | 437 | 439 | 322 |
| 60 | 255 | 130 | 89 | 69 | 523 | 280 | 173 | 118 | 848 | 419 | 403 | 291 |
| 62.5 | 240 | 124 | 86 | 66 | 496 | 268 | 164 | 113 | 784 | 402 | 373 | 265 |
| 65 | 226 | 119 | 83 | 65 | 472 | 257 | 156 | 108 | 710 | 386 | 347 | 243 |
| 67.5 | 214 | 114 | 80 | 63 | 450 | 247 | 149 | 103 | 659 | 372 | 324 | 224 |
| 70 | 202 | 110 | 78 | 61 | 429 | 237 | 142 | 100 | 624 | 359 | 304 | 209 |
| 72.5 | 192 | 106 | 75 | 60 | 411 | 228 | 136 | 96 | 594 | 346 | 287 | 195 |
| 75 | 183 | 103 | 73 | 58 | 394 | 220 | 131 | 93 | 569 | 335 | 271 | 183 |
| 77.5 | 174 | 99 | 72 | 57 | 378 | 212 | 126 | 90 | 547 | 324 | 257 | 172 |
| 80 | 167 | 97 | 70 | 56 | 363 | 205 | 121 | 87 | 528 | 313 | 244 | 163 |
| 82.5 | 159 | 94 | 68 | 55 | 349 | 198 | 117 | 85 | 509 | 304 | 232 | 154 |
| 85 | 153 | 91 | 67 | 54 | 336 | 191 | 113 | 82 | 492 | 295 | 222 | 147 |
| 87.5 | 147 | 89 | 65 | 53 | 324 | 185 | 109 | 80 | 476 | 286 | 212 | 140 |
| 90 | 141 | 87 | 64 | 52 | 313 | 179 | 106 | 78 | 461 | 278 | 203 | 134 |
| 92.5 | 136 | 85 | 63 | 51 | 302 | 174 | 103 | 77 | 447 | 270 | 195 | 128 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 95 | 132 | 83 | 62 | 50 | 292 | 169 | 100 | 75 | 434 | 263 | 187 | 123 |
| 97.5 | 128 | 81 | 60 | 49 | 283 | 164 | 97 | 73 | 421 | 256 | 180 | 118 |
| 100 | 124 | 79 | 59 | 48 | 274 | 159 | 95 | 72 | 410 | 249 | 173 | 114 |
| 102.5 | 120 | 78 | 58 | 48 | 265 | 154 | 93 | 70 | 398 | 243 | 167 | 110 |
| 105 | 117 | 76 | 57 | 47 | 257 | 150 | 91 | 69 | 388 | 237 | 161 | 107 |
| 107.5 | 114 | 75 | 57 | 46 | 250 | 146 | 88 | 68 | 378 | 231 | 156 | 104 |
| 110 | 111 | 74 | 56 | 46 | 242 | 142 | 87 | 66 | 368 | 225 | 151 | 101 |
| 112.5 | 109 | 72 | 55 | 45 | 236 | 139 | 85 | 65 | 359 | 220 | 146 | 98 |
| 115 | 106 | 71 | 54 | 45 | 229 | 135 | 83 | 64 | 350 | 215 | 141 | 96 |
| 117.5 | 104 | 70 | 53 | 44 | 223 | 132 | 81 | 63 | 341 | 210 | 137 | 93 |
| 120 | 102 | 69 | 53 | 44 | 216 | 128 | 80 | 62 | 332 | 205 | 133 | 91 |

| % ETrä | | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BB | | 240 | 240 | 240 | 240 | 300 | 300 | 300 | 300 | 360 | 360 | 360 |
| ÖF | | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 |
| Tid (min) | 0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 2.5 | 186 | 165 | 25 | 24 | 28 | 165 | 25 | 24 | 28 | 165 | 25 |
| | 5 | 647 | 596 | 43 | 37 | 58 | 596 | 43 | 37 | 58 | 596 | 42 |
| | 7.5 | 901 | 1023 | 73 | 59 | 109 | 1023 | 73 | 59 | 109 | 1023 | 73 |
| | 10 | 1007 | 1118 | 116 | 91 | 181 | 1118 | 116 | 91 | 181 | 1118 | 116 |
| | 12.5 | 1064 | 1153 | 172 | 133 | 258 | 1153 | 172 | 133 | 258 | 1153 | 172 |
| | 15 | 1098 | 1174 | 234 | 184 | 355 | 1174 | 234 | 184 | 355 | 1174 | 233 |
| | 17.5 | 1124 | 1189 | 296 | 239 | 497 | 1189 | 296 | 239 | 497 | 1189 | 296 |
| | 20 | 1143 | 1202 | 400 | 296 | 654 | 1202 | 400 | 296 | 654 | 1202 | 399 |
| | 22.5 | 1158 | 1212 | 498 | 383 | 867 | 1212 | 498 | 383 | 867 | 1212 | 497 |
| | 25 | 1172 | 1220 | 611 | 465 | 977 | 1220 | 611 | 465 | 977 | 1220 | 609 |
| | 27.5 | 1184 | 1228 | 759 | 555 | 1056 | 1228 | 759 | 555 | 1056 | 1228 | 754 |
| | 30 | 1195 | 1234 | 854 | 657 | 1092 | 1234 | 854 | 657 | 1092 | 1234 | 854 |
| | 32.5 | 1205 | 1239 | 940 | 775 | 1119 | 1240 | 940 | 775 | 1119 | 1240 | 940 |
| | 35 | 1214 | 1231 | 1030 | 842 | 1141 | 1246 | 1030 | 842 | 1141 | 1246 | 1030 |
| | 37.5 | 1221 | 1182 | 1117 | 915 | 1158 | 1251 | 1117 | 915 | 1158 | 1251 | 1117 |
| | 40 | 1228 | 1070 | 1194 | 994 | 1172 | 1256 | 1194 | 994 | 1172 | 1256 | 1194 |
| | 42.5 | 1233 | 965 | 1270 | 1073 | 1184 | 1268 | 1271 | 1073 | 1184 | 1260 | 1271 |
| | 45 | 1249 | 874 | 1285 | 1092 | 1195 | 1289 | 1307 | 1101 | 1195 | 1264 | 1307 |
| 47.5 | 1157 | 796 | 1174 | 973 | 1205 | 1153 | 1318 | 1107 | 1205 | 1268 | 1321 | |
| 50 | 1078 | 718 | 969 | 748 | 1214 | 1048 | 1306 | 1104 | 1214 | 1275 | 1331 | |
| 52.5 | 1000 | 649 | 815 | 612 | 1222 | 961 | 1174 | 955 | 1222 | 1303 | 1340 | |
| 55 | 930 | 612 | 689 | 526 | 1229 | 885 | 1008 | 775 | 1229 | 1206 | 1359 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|
| 57.5 | 871 | 579 | 602 | 466 | 1237 | 820 | 870 | 646 | 1237 | 1107 | 1199 | 955 |
| 60 | 820 | 551 | 544 | 419 | 1244 | 761 | 761 | 566 | 1244 | 1025 | 1034 | 793 |
| 62.5 | 776 | 529 | 500 | 380 | 1249 | 689 | 660 | 507 | 1250 | 953 | 907 | 672 |
| 65 | 727 | 508 | 465 | 348 | 1256 | 643 | 597 | 461 | 1256 | 891 | 806 | 596 |
| 67.5 | 673 | 490 | 435 | 321 | 1264 | 614 | 550 | 423 | 1262 | 836 | 713 | 539 |
| 70 | 646 | 473 | 409 | 297 | 1283 | 587 | 513 | 391 | 1267 | 788 | 636 | 494 |
| 72.5 | 621 | 457 | 386 | 277 | 1207 | 562 | 483 | 364 | 1272 | 732 | 592 | 458 |
| 75 | 599 | 442 | 365 | 259 | 1138 | 541 | 457 | 340 | 1278 | 668 | 553 | 426 |
| 77.5 | 579 | 428 | 347 | 244 | 1070 | 523 | 433 | 319 | 1284 | 640 | 520 | 399 |
| 80 | 562 | 415 | 330 | 230 | 1005 | 507 | 412 | 300 | 1300 | 615 | 493 | 374 |
| 82.5 | 547 | 403 | 315 | 217 | 948 | 492 | 393 | 283 | 1238 | 592 | 469 | 353 |
| 85 | 532 | 391 | 301 | 206 | 900 | 477 | 376 | 268 | 1180 | 570 | 448 | 334 |
| 87.5 | 519 | 380 | 288 | 196 | 859 | 464 | 361 | 255 | 1122 | 551 | 428 | 317 |
| 90 | 506 | 370 | 277 | 187 | 821 | 451 | 346 | 243 | 1066 | 534 | 411 | 301 |
| 92.5 | 494 | 360 | 266 | 178 | 788 | 439 | 333 | 231 | 1014 | 518 | 395 | 287 |
| 95 | 482 | 351 | 256 | 171 | 753 | 428 | 321 | 221 | 972 | 504 | 380 | 274 |
| 97.5 | 471 | 342 | 247 | 164 | 692 | 417 | 310 | 212 | 933 | 491 | 366 | 262 |
| 100 | 461 | 334 | 238 | 157 | 663 | 407 | 299 | 203 | 898 | 478 | 353 | 251 |
| 102.5 | 451 | 326 | 230 | 151 | 642 | 397 | 289 | 195 | 866 | 466 | 341 | 241 |
| 105 | 441 | 319 | 222 | 146 | 623 | 388 | 280 | 188 | 834 | 454 | 330 | 232 |
| 107.5 | 432 | 311 | 215 | 141 | 605 | 380 | 271 | 181 | 806 | 443 | 320 | 224 |
| 110 | 423 | 305 | 209 | 136 | 588 | 371 | 263 | 175 | 777 | 433 | 310 | 216 |
| 112.5 | 415 | 298 | 202 | 132 | 573 | 363 | 255 | 169 | 711 | 423 | 301 | 208 |
| 115 | 407 | 292 | 196 | 128 | 559 | 356 | 248 | 163 | 673 | 413 | 292 | 201 |
| 117.5 | 399 | 285 | 191 | 124 | 546 | 348 | 241 | 158 | 655 | 404 | 284 | 195 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 120 | 391 | 279 | 185 | 120 | 533 | 340 | 234 | 153 | 624 | 394 | 276 | 188 |
| <i>% ETrä</i> | | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| BB | | 60 | 60 | 60 | 60 | 120 | 120 | 120 | 120 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| ÖF | | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 |
| | 0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 2.5 | 28 | 27 | 59 | 50 | 28 | 27 | 59 | 50 | 28 | 158 | 59 | 50 |
| | 5 | 58 | 51 | 192 | 151 | 58 | 51 | 192 | 151 | 58 | 636 | 192 | 151 |
| | 7.5 | 110 | 93 | 413 | 311 | 110 | 93 | 412 | 311 | 110 | 1046 | 412 | 311 |
| | 10 | 181 | 153 | 707 | 554 | 181 | 153 | 707 | 554 | 181 | 1136 | 707 | 554 |
| | 12.5 | 260 | 223 | 1049 | 791 | 260 | 223 | 1048 | 794 | 259 | 1183 | 1048 | 794 |
| | 15 | 400 | 286 | 1174 | 923 | 400 | 287 | 1183 | 985 | 400 | 1212 | 1183 | 985 |
| | 17.5 | 548 | 461 | 603 | 453 | 548 | 460 | 1206 | 978 | 549 | 1234 | 1206 | 978 |
| | 20 | 690 | 584 | 446 | 319 | 690 | 583 | 1216 | 990 | 713 | 1252 | 1211 | 978 |
| | 22.5 | 973 | 788 | 364 | 245 | 974 | 787 | 953 | 700 | 982 | 1267 | 1214 | 978 |
| | 25 | 1064 | 1017 | 306 | 201 | 1062 | 1010 | 696 | 513 | 1064 | 1276 | 1209 | 975 |
| | 27.5 | 1110 | 1151 | 264 | 171 | 1101 | 1100 | 546 | 420 | 1101 | 1263 | 1128 | 889 |
| | 30 | 1168 | 1219 | 231 | 149 | 1124 | 1196 | 474 | 355 | 1124 | 1190 | 906 | 661 |
| | 32.5 | 949 | 796 | 206 | 132 | 1147 | 1220 | 425 | 308 | 1148 | 1062 | 730 | 533 |
| | 35 | 772 | 596 | 186 | 120 | 1168 | 1255 | 385 | 271 | 1167 | 938 | 602 | 458 |
| | 37.5 | 631 | 494 | 169 | 110 | 1185 | 1324 | 353 | 242 | 1182 | 833 | 528 | 405 |
| | 40 | 540 | 437 | 155 | 102 | 1194 | 1065 | 325 | 219 | 1195 | 730 | 481 | 362 |
| | 42.5 | 495 | 392 | 143 | 96 | 1107 | 881 | 301 | 200 | 1206 | 638 | 445 | 328 |
| | 45 | 457 | 355 | 132 | 90 | 991 | 743 | 281 | 184 | 1216 | 588 | 414 | 299 |
| | 47.5 | 424 | 324 | 124 | 86 | 884 | 622 | 263 | 170 | 1221 | 546 | 387 | 275 |
| | 50 | 395 | 298 | 116 | 82 | 794 | 550 | 247 | 158 | 1219 | 517 | 364 | 254 |

Tid (min)

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 52.5 | 370 | 276 | 110 | 78 | 707 | 505 | 233 | 148 | 1172 | 494 | 343 | 236 |
| 55 | 347 | 256 | 104 | 75 | 634 | 474 | 221 | 139 | 1091 | 474 | 325 | 221 |
| 57.5 | 327 | 239 | 100 | 72 | 583 | 447 | 210 | 131 | 1001 | 455 | 308 | 208 |
| 60 | 309 | 224 | 96 | 70 | 547 | 422 | 199 | 124 | 925 | 437 | 294 | 196 |
| 62.5 | 293 | 211 | 92 | 67 | 523 | 401 | 190 | 118 | 861 | 421 | 280 | 185 |
| 65 | 278 | 199 | 89 | 65 | 501 | 381 | 182 | 113 | 802 | 406 | 268 | 175 |
| 67.5 | 264 | 188 | 86 | 63 | 481 | 363 | 174 | 108 | 728 | 392 | 256 | 167 |
| 70 | 252 | 178 | 83 | 62 | 462 | 347 | 166 | 104 | 663 | 379 | 246 | 159 |
| 72.5 | 241 | 169 | 80 | 60 | 445 | 332 | 160 | 100 | 625 | 367 | 236 | 152 |
| 75 | 230 | 161 | 78 | 59 | 429 | 319 | 153 | 97 | 591 | 356 | 228 | 145 |
| 77.5 | 221 | 154 | 76 | 57 | 414 | 306 | 147 | 94 | 564 | 345 | 219 | 139 |
| 80 | 212 | 146 | 74 | 56 | 400 | 294 | 142 | 91 | 544 | 335 | 212 | 134 |
| 82.5 | 204 | 140 | 72 | 55 | 387 | 283 | 137 | 88 | 527 | 325 | 205 | 129 |
| 85 | 196 | 134 | 71 | 54 | 375 | 273 | 132 | 86 | 512 | 316 | 198 | 124 |
| 87.5 | 189 | 129 | 69 | 53 | 363 | 264 | 128 | 84 | 497 | 308 | 191 | 120 |
| 90 | 182 | 124 | 68 | 52 | 352 | 255 | 124 | 82 | 483 | 299 | 185 | 116 |
| 92.5 | 175 | 119 | 66 | 51 | 342 | 247 | 120 | 80 | 470 | 292 | 180 | 112 |
| 95 | 169 | 115 | 65 | 50 | 332 | 239 | 116 | 78 | 457 | 284 | 174 | 109 |
| 97.5 | 163 | 112 | 64 | 49 | 322 | 232 | 113 | 76 | 446 | 277 | 169 | 106 |
| 100 | 158 | 109 | 62 | 48 | 313 | 225 | 110 | 74 | 434 | 271 | 165 | 103 |
| 102.5 | 153 | 106 | 61 | 48 | 305 | 218 | 107 | 73 | 424 | 264 | 160 | 101 |
| 105 | 148 | 103 | 60 | 47 | 297 | 212 | 105 | 71 | 413 | 258 | 156 | 98 |
| 107.5 | 143 | 100 | 59 | 46 | 289 | 206 | 102 | 70 | 404 | 252 | 152 | 96 |
| 110 | 139 | 98 | 58 | 46 | 282 | 200 | 100 | 69 | 394 | 247 | 148 | 94 |
| 112.5 | 135 | 95 | 58 | 45 | 275 | 195 | 97 | 68 | 385 | 242 | 144 | 92 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|----|----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|----|
| 115 | 132 | 93 | 57 | 44 | 268 | 190 | 95 | 66 | 377 | 237 | 140 | 90 |
| 117.5 | 128 | 91 | 56 | 44 | 261 | 185 | 93 | 65 | 368 | 232 | 137 | 88 |
| 120 | 125 | 89 | 55 | 43 | 255 | 179 | 91 | 64 | 360 | 227 | 133 | 86 |

| % ETrä | | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BB | | 240 | 240 | 240 | 240 | 300 | 300 | 300 | 300 | 360 | 360 | 360 |
| ÖF | | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 |
| Tid (min) | 0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 2.5 | 28 | 158 | 25 | 24 | 28 | 158 | 25 | 24 | 28 | 158 | 25 |
| | 5 | 58 | 636 | 43 | 37 | 58 | 636 | 43 | 37 | 58 | 635 | 43 |
| | 7.5 | 110 | 1046 | 73 | 59 | 110 | 1046 | 73 | 59 | 110 | 1043 | 73 |
| | 10 | 181 | 1136 | 116 | 92 | 181 | 1136 | 116 | 92 | 181 | 1133 | 116 |
| | 12.5 | 259 | 1183 | 172 | 133 | 260 | 1183 | 172 | 133 | 260 | 1182 | 172 |
| | 15 | 400 | 1212 | 235 | 184 | 400 | 1212 | 235 | 184 | 400 | 1212 | 235 |
| | 17.5 | 549 | 1234 | 298 | 240 | 548 | 1234 | 298 | 240 | 548 | 1234 | 298 |
| | 20 | 713 | 1252 | 433 | 298 | 690 | 1252 | 431 | 298 | 690 | 1252 | 431 |
| | 22.5 | 982 | 1267 | 528 | 403 | 974 | 1267 | 527 | 403 | 974 | 1267 | 527 |
| | 25 | 1064 | 1280 | 649 | 485 | 1062 | 1280 | 648 | 485 | 1062 | 1280 | 648 |
| | 27.5 | 1101 | 1292 | 871 | 579 | 1101 | 1292 | 864 | 579 | 1101 | 1292 | 864 |
| | 30 | 1124 | 1303 | 943 | 712 | 1124 | 1303 | 943 | 712 | 1124 | 1303 | 943 |
| | 32.5 | 1148 | 1311 | 1028 | 839 | 1147 | 1312 | 1028 | 839 | 1147 | 1312 | 1028 |
| | 35 | 1167 | 1308 | 1115 | 900 | 1166 | 1321 | 1115 | 900 | 1166 | 1321 | 1115 |
| | 37.5 | 1182 | 1262 | 1193 | 973 | 1181 | 1327 | 1193 | 973 | 1181 | 1327 | 1193 |
| | 40 | 1195 | 1148 | 1267 | 1051 | 1195 | 1331 | 1267 | 1051 | 1195 | 1331 | 1267 |
| | 42.5 | 1206 | 1039 | 1333 | 1127 | 1206 | 1341 | 1334 | 1128 | 1206 | 1334 | 1334 |
| | 45 | 1216 | 943 | 1342 | 1144 | 1217 | 1360 | 1355 | 1153 | 1217 | 1337 | 1355 |
| | 47.5 | 1226 | 859 | 1260 | 1026 | 1226 | 1226 | 1367 | 1155 | 1226 | 1340 | 1370 |
| 50 | 1234 | 785 | 1037 | 790 | 1234 | 1119 | 1359 | 1148 | 1234 | 1346 | 1382 | |
| 52.5 | 1241 | 697 | 874 | 630 | 1242 | 1029 | 1239 | 1001 | 1242 | 1373 | 1392 | |
| 55 | 1249 | 637 | 743 | 533 | 1250 | 950 | 1068 | 814 | 1250 | 1276 | 1411 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|
| 57.5 | 1252 | 599 | 629 | 471 | 1256 | 881 | 923 | 668 | 1256 | 1178 | 1257 | 997 |
| 60 | 1244 | 565 | 564 | 425 | 1263 | 820 | 806 | 576 | 1263 | 1096 | 1088 | 830 |
| 62.5 | 1216 | 536 | 511 | 388 | 1269 | 761 | 699 | 511 | 1269 | 1025 | 956 | 696 |
| 65 | 1158 | 515 | 476 | 356 | 1275 | 680 | 617 | 466 | 1275 | 963 | 850 | 609 |
| 67.5 | 1084 | 496 | 447 | 329 | 1276 | 639 | 567 | 430 | 1281 | 907 | 762 | 547 |
| 70 | 1013 | 480 | 422 | 306 | 1266 | 608 | 523 | 398 | 1286 | 855 | 669 | 499 |
| 72.5 | 952 | 464 | 400 | 286 | 1246 | 579 | 490 | 372 | 1291 | 807 | 612 | 463 |
| 75 | 900 | 449 | 380 | 268 | 1200 | 552 | 464 | 348 | 1296 | 758 | 569 | 433 |
| 77.5 | 850 | 436 | 362 | 253 | 1144 | 529 | 441 | 327 | 1297 | 679 | 532 | 406 |
| 80 | 805 | 423 | 346 | 239 | 1084 | 510 | 420 | 309 | 1290 | 642 | 500 | 382 |
| 82.5 | 750 | 411 | 331 | 226 | 1027 | 494 | 402 | 292 | 1277 | 615 | 476 | 361 |
| 85 | 684 | 399 | 317 | 215 | 976 | 479 | 385 | 277 | 1238 | 590 | 455 | 343 |
| 87.5 | 651 | 388 | 305 | 205 | 930 | 465 | 369 | 264 | 1192 | 566 | 436 | 326 |
| 90 | 624 | 378 | 293 | 196 | 889 | 452 | 355 | 252 | 1145 | 543 | 419 | 310 |
| 92.5 | 599 | 369 | 283 | 187 | 849 | 439 | 341 | 241 | 1100 | 521 | 402 | 296 |
| 95 | 577 | 359 | 273 | 179 | 813 | 427 | 329 | 230 | 1058 | 504 | 388 | 284 |
| 97.5 | 557 | 351 | 264 | 172 | 785 | 416 | 318 | 221 | 1018 | 489 | 374 | 272 |
| 100 | 543 | 342 | 255 | 166 | 736 | 405 | 307 | 213 | 979 | 475 | 361 | 261 |
| 102.5 | 530 | 334 | 247 | 159 | 676 | 395 | 297 | 205 | 943 | 462 | 349 | 251 |
| 105 | 518 | 327 | 239 | 154 | 653 | 385 | 288 | 197 | 909 | 449 | 338 | 242 |
| 107.5 | 506 | 320 | 232 | 148 | 632 | 376 | 279 | 190 | 877 | 437 | 328 | 233 |
| 110 | 495 | 313 | 226 | 143 | 611 | 367 | 271 | 184 | 846 | 426 | 318 | 225 |
| 112.5 | 485 | 306 | 219 | 139 | 592 | 358 | 263 | 178 | 818 | 415 | 309 | 218 |
| 115 | 475 | 300 | 213 | 134 | 574 | 350 | 256 | 172 | 786 | 405 | 300 | 211 |
| 117.5 | 464 | 294 | 208 | 130 | 557 | 342 | 249 | 167 | 718 | 395 | 292 | 204 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 120 | 454 | 287 | 202 | 126 | 539 | 334 | 242 | 161 | 674 | 385 | 283 | 197 |
| <i>% ETrä</i> | | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| BB | | 60 | 60 | 60 | 60 | 120 | 120 | 120 | 120 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| ÖF | | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 |
| | 0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 2.5 | 28 | 27 | 130 | 50 | 28 | 27 | 60 | 50 | 28 | 27 | 60 | 24 |
| | 5 | 58 | 51 | 560 | 152 | 58 | 51 | 191 | 152 | 58 | 51 | 191 | 37 |
| | 7.5 | 110 | 93 | 982 | 326 | 110 | 93 | 450 | 324 | 110 | 93 | 449 | 60 |
| | 10 | 181 | 153 | 1200 | 587 | 181 | 153 | 737 | 587 | 181 | 153 | 739 | 92 |
| | 12.5 | 241 | 225 | 1192 | 855 | 242 | 225 | 1271 | 859 | 242 | 225 | 1267 | 134 |
| | 15 | 477 | 330 | 651 | 1044 | 478 | 328 | 1289 | 1097 | 478 | 326 | 1286 | 185 |
| | 17.5 | 647 | 496 | 454 | 476 | 645 | 498 | 1307 | 1051 | 645 | 500 | 1306 | 241 |
| | 20 | 1062 | 657 | 384 | 347 | 1058 | 656 | 1304 | 1048 | 1058 | 655 | 1300 | 301 |
| | 22.5 | 1072 | 1121 | 332 | 274 | 1068 | 1105 | 1043 | 750 | 1068 | 1086 | 1295 | 431 |
| | 25 | 1107 | 1174 | 292 | 227 | 1102 | 1159 | 784 | 523 | 1102 | 1153 | 1285 | 508 |
| | 27.5 | 1125 | 1240 | 261 | 194 | 1132 | 1199 | 587 | 427 | 1132 | 1198 | 1203 | 606 |
| | 30 | 1105 | 1318 | 236 | 170 | 1151 | 1229 | 484 | 367 | 1151 | 1229 | 979 | 817 |
| | 32.5 | 1057 | 966 | 215 | 151 | 1172 | 1254 | 437 | 321 | 1172 | 1251 | 805 | 910 |
| | 35 | 919 | 726 | 198 | 135 | 1192 | 1276 | 401 | 286 | 1190 | 1270 | 650 | 964 |
| | 37.5 | 780 | 539 | 183 | 123 | 1204 | 1299 | 371 | 257 | 1204 | 1286 | 554 | 1037 |
| | 40 | 632 | 461 | 170 | 113 | 1191 | 1158 | 345 | 234 | 1216 | 1296 | 490 | 1117 |
| | 42.5 | 524 | 423 | 158 | 105 | 1166 | 986 | 323 | 214 | 1227 | 1310 | 453 | 1185 |
| | 45 | 482 | 391 | 148 | 99 | 1093 | 843 | 303 | 198 | 1237 | 1351 | 423 | 814 |
| | 47.5 | 453 | 364 | 139 | 93 | 999 | 715 | 286 | 184 | 1241 | 1185 | 398 | 603 |
| | 50 | 428 | 340 | 131 | 89 | 904 | 601 | 271 | 172 | 1240 | 1046 | 376 | 484 |

Tid (min)

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 52.5 | 405 | 320 | 123 | 85 | 823 | 531 | 257 | 161 | 1239 | 931 | 356 | 423 |
| 55 | 385 | 301 | 117 | 81 | 742 | 485 | 245 | 152 | 1175 | 833 | 338 | 378 |
| 57.5 | 366 | 284 | 112 | 78 | 647 | 459 | 234 | 143 | 1103 | 747 | 322 | 342 |
| 60 | 349 | 269 | 107 | 75 | 587 | 437 | 223 | 135 | 1028 | 646 | 307 | 311 |
| 62.5 | 333 | 256 | 103 | 72 | 539 | 418 | 214 | 128 | 954 | 590 | 293 | 286 |
| 65 | 319 | 244 | 100 | 70 | 512 | 400 | 206 | 122 | 887 | 542 | 281 | 265 |
| 67.5 | 305 | 233 | 96 | 68 | 494 | 383 | 198 | 117 | 828 | 504 | 270 | 246 |
| 70 | 293 | 223 | 93 | 66 | 477 | 368 | 191 | 112 | 774 | 482 | 259 | 230 |
| 72.5 | 281 | 214 | 90 | 64 | 461 | 354 | 184 | 108 | 704 | 464 | 250 | 216 |
| 75 | 270 | 205 | 88 | 63 | 447 | 341 | 177 | 104 | 646 | 447 | 241 | 204 |
| 77.5 | 261 | 197 | 85 | 61 | 433 | 329 | 171 | 100 | 608 | 431 | 233 | 192 |
| 80 | 252 | 190 | 83 | 60 | 420 | 317 | 166 | 97 | 573 | 417 | 225 | 183 |
| 82.5 | 243 | 183 | 81 | 58 | 408 | 307 | 160 | 94 | 543 | 403 | 218 | 174 |
| 85 | 235 | 176 | 79 | 57 | 396 | 297 | 155 | 92 | 522 | 391 | 211 | 165 |
| 87.5 | 228 | 170 | 77 | 56 | 385 | 288 | 150 | 89 | 509 | 379 | 205 | 158 |
| 90 | 221 | 164 | 75 | 55 | 375 | 279 | 146 | 87 | 496 | 368 | 199 | 151 |
| 92.5 | 214 | 158 | 74 | 54 | 365 | 271 | 141 | 85 | 484 | 357 | 193 | 145 |
| 95 | 208 | 152 | 72 | 53 | 356 | 263 | 137 | 82 | 473 | 347 | 188 | 139 |
| 97.5 | 201 | 147 | 71 | 52 | 347 | 256 | 133 | 81 | 462 | 338 | 182 | 134 |
| 100 | 196 | 142 | 69 | 51 | 338 | 249 | 130 | 79 | 451 | 329 | 178 | 129 |
| 102.5 | 190 | 138 | 68 | 50 | 330 | 242 | 126 | 77 | 441 | 320 | 173 | 124 |
| 105 | 185 | 134 | 67 | 49 | 322 | 236 | 123 | 75 | 432 | 312 | 169 | 120 |
| 107.5 | 179 | 130 | 66 | 49 | 314 | 230 | 120 | 74 | 423 | 305 | 164 | 116 |
| 110 | 174 | 126 | 65 | 48 | 307 | 225 | 117 | 73 | 414 | 297 | 160 | 112 |
| 112.5 | 170 | 122 | 64 | 47 | 300 | 219 | 114 | 71 | 406 | 290 | 156 | 109 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 115 | 165 | 119 | 63 | 47 | 294 | 214 | 112 | 70 | 398 | 284 | 153 | 106 |
| 117.5 | 160 | 116 | 62 | 46 | 287 | 209 | 109 | 69 | 390 | 277 | 149 | 103 |
| 120 | 156 | 113 | 61 | 45 | 280 | 204 | 107 | 67 | 382 | 271 | 146 | 101 |

| % ETrä | | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BB | | 240 | 240 | 240 | 240 | 300 | 300 | 300 | 300 | 360 | 360 | 360 | 360 |
| ÖF | | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 |
| Tid (min) | 0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 2.5 | 28 | 156 | 60 | 24 | 28 | 156 | 60 | 24 | 28 | 156 | 25 | 24 |
| | 5 | 58 | 681 | 191 | 37 | 58 | 681 | 191 | 37 | 58 | 673 | 43 | 37 |
| | 7.5 | 110 | 1039 | 449 | 59 | 110 | 1039 | 449 | 59 | 110 | 1032 | 73 | 59 |
| | 10 | 181 | 1156 | 739 | 92 | 181 | 1156 | 739 | 92 | 181 | 1154 | 117 | 92 |
| | 12.5 | 242 | 1203 | 1267 | 134 | 241 | 1203 | 1267 | 134 | 242 | 1203 | 173 | 134 |
| | 15 | 478 | 1232 | 1286 | 184 | 477 | 1232 | 1286 | 184 | 478 | 1232 | 236 | 184 |
| | 17.5 | 645 | 1253 | 1306 | 241 | 647 | 1253 | 1306 | 241 | 645 | 1253 | 309 | 241 |
| | 20 | 1058 | 1270 | 1300 | 301 | 1062 | 1270 | 1300 | 301 | 1058 | 1270 | 468 | 301 |
| | 22.5 | 1068 | 1285 | 1296 | 428 | 1072 | 1285 | 1296 | 428 | 1068 | 1285 | 565 | 428 |
| | 25 | 1102 | 1298 | 1292 | 506 | 1104 | 1298 | 1292 | 506 | 1102 | 1298 | 727 | 506 |
| | 27.5 | 1132 | 1310 | 1290 | 604 | 1132 | 1310 | 1290 | 604 | 1132 | 1310 | 1012 | 604 |
| | 30 | 1151 | 1320 | 1292 | 798 | 1151 | 1320 | 1288 | 798 | 1151 | 1320 | 1062 | 798 |
| | 32.5 | 1172 | 1329 | 1329 | 910 | 1172 | 1329 | 1286 | 910 | 1172 | 1329 | 1130 | 910 |
| | 35 | 1190 | 1338 | 1109 | 965 | 1190 | 1338 | 1283 | 965 | 1190 | 1338 | 1202 | 965 |
| | 37.5 | 1204 | 1353 | 936 | 1037 | 1204 | 1345 | 1272 | 1037 | 1204 | 1345 | 1276 | 1037 |
| | 40 | 1216 | 1221 | 802 | 1113 | 1216 | 1353 | 1176 | 1113 | 1216 | 1352 | 1351 | 1113 |
| | 42.5 | 1227 | 1110 | 676 | 1185 | 1227 | 1365 | 1039 | 1185 | 1227 | 1358 | 1368 | 1185 |
| | 45 | 1237 | 1011 | 593 | 1200 | 1237 | 1391 | 912 | 1210 | 1237 | 1364 | 1383 | 1210 |
| | 47.5 | 1246 | 924 | 536 | 1083 | 1246 | 1288 | 804 | 1207 | 1246 | 1370 | 1394 | 1207 |
| 50 | 1254 | 845 | 489 | 840 | 1254 | 1184 | 699 | 1194 | 1254 | 1376 | 1404 | 1203 | |
| 52.5 | 1262 | 775 | 460 | 657 | 1263 | 1093 | 619 | 1049 | 1262 | 1386 | 1411 | 1200 | |
| 55 | 1270 | 686 | 435 | 546 | 1270 | 1015 | 571 | 857 | 1270 | 1328 | 1411 | 1207 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 57.5 | 1273 | 630 | 413 | 474 | 1277 | 943 | 526 | 696 | 1277 | 1241 | 1296 | 1040 |
| 60 | 1277 | 590 | 394 | 431 | 1283 | 877 | 489 | 592 | 1283 | 1163 | 1139 | 869 |
| 62.5 | 1298 | 554 | 376 | 394 | 1289 | 818 | 464 | 519 | 1289 | 1092 | 1006 | 729 |
| 65 | 1234 | 523 | 359 | 364 | 1295 | 760 | 443 | 470 | 1295 | 1029 | 896 | 626 |
| 67.5 | 1171 | 501 | 344 | 338 | 1298 | 681 | 424 | 434 | 1300 | 971 | 804 | 559 |
| 70 | 1107 | 485 | 330 | 315 | 1301 | 637 | 406 | 404 | 1305 | 917 | 716 | 504 |
| 72.5 | 1044 | 470 | 317 | 295 | 1325 | 605 | 390 | 378 | 1310 | 867 | 635 | 467 |
| 75 | 983 | 455 | 306 | 278 | 1275 | 574 | 375 | 355 | 1315 | 821 | 591 | 437 |
| 77.5 | 930 | 442 | 295 | 262 | 1219 | 545 | 361 | 335 | 1319 | 774 | 550 | 411 |
| 80 | 882 | 430 | 284 | 249 | 1164 | 519 | 348 | 317 | 1321 | 696 | 513 | 388 |
| 82.5 | 839 | 418 | 275 | 236 | 1111 | 499 | 336 | 300 | 1335 | 646 | 482 | 368 |
| 85 | 798 | 407 | 266 | 225 | 1064 | 483 | 325 | 286 | 1309 | 618 | 460 | 349 |
| 87.5 | 754 | 396 | 258 | 215 | 1019 | 469 | 315 | 272 | 1267 | 591 | 441 | 333 |
| 90 | 684 | 386 | 250 | 206 | 976 | 456 | 305 | 260 | 1224 | 565 | 423 | 317 |
| 92.5 | 647 | 376 | 242 | 197 | 937 | 443 | 296 | 249 | 1182 | 540 | 407 | 304 |
| 95 | 619 | 367 | 235 | 189 | 899 | 431 | 287 | 239 | 1140 | 517 | 392 | 291 |
| 97.5 | 592 | 359 | 229 | 182 | 860 | 420 | 279 | 230 | 1101 | 495 | 378 | 279 |
| 100 | 567 | 350 | 223 | 175 | 826 | 409 | 272 | 221 | 1062 | 478 | 365 | 269 |
| 102.5 | 544 | 343 | 217 | 169 | 794 | 399 | 264 | 213 | 1025 | 465 | 353 | 259 |
| 105 | 527 | 335 | 212 | 163 | 763 | 389 | 257 | 206 | 989 | 452 | 342 | 250 |
| 107.5 | 515 | 328 | 206 | 158 | 693 | 380 | 251 | 199 | 955 | 441 | 331 | 241 |
| 110 | 505 | 321 | 201 | 152 | 656 | 371 | 245 | 193 | 922 | 429 | 321 | 233 |
| 112.5 | 494 | 314 | 197 | 148 | 633 | 363 | 239 | 187 | 890 | 419 | 312 | 226 |
| 115 | 485 | 308 | 192 | 143 | 611 | 355 | 233 | 181 | 858 | 409 | 303 | 219 |
| 117.5 | 475 | 301 | 188 | 139 | 589 | 347 | 228 | 175 | 831 | 399 | 294 | 212 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 120 | 465 | 295 | 183 | 134 | 567 | 338 | 222 | 170 | 801 | 388 | 286 | 205 |
| <i>% ETrä</i> | | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| BB | | 60 | 60 | 60 | 60 | 120 | 120 | 120 | 120 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| ÖF | | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 |
| Tid (min) | 0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 2.5 | 28 | 27 | 125 | 50 | 28 | 27 | 25 | 50 | 28 | 27 | 25 | 24 |
| | 5 | 58 | 51 | 623 | 152 | 58 | 51 | 43 | 152 | 58 | 51 | 43 | 37 |
| | 7.5 | 110 | 94 | 1232 | 347 | 110 | 94 | 73 | 343 | 110 | 94 | 73 | 60 |
| | 10 | 181 | 153 | 1299 | 623 | 181 | 153 | 117 | 623 | 181 | 153 | 117 | 92 |
| | 12.5 | 296 | 227 | 1330 | 969 | 296 | 227 | 173 | 971 | 296 | 227 | 173 | 134 |
| | 15 | 536 | 405 | 776 | 1182 | 536 | 405 | 238 | 1221 | 536 | 402 | 238 | 185 |
| | 17.5 | 785 | 543 | 476 | 503 | 785 | 543 | 353 | 1121 | 785 | 545 | 348 | 243 |
| | 20 | 1010 | 782 | 400 | 361 | 1010 | 782 | 494 | 1103 | 1010 | 775 | 497 | 313 |
| | 22.5 | 1092 | 1110 | 355 | 294 | 1092 | 1109 | 615 | 818 | 1092 | 1111 | 613 | 456 |
| | 25 | 1139 | 1208 | 320 | 248 | 1136 | 1201 | 969 | 547 | 1136 | 1203 | 942 | 533 |
| | 27.5 | 1158 | 1256 | 291 | 215 | 1161 | 1237 | 1221 | 433 | 1161 | 1237 | 1219 | 637 |
| | 30 | 1152 | 1281 | 267 | 190 | 1179 | 1262 | 1180 | 377 | 1179 | 1261 | 1185 | 956 |
| | 32.5 | 1188 | 1105 | 247 | 171 | 1199 | 1283 | 1224 | 334 | 1198 | 1280 | 1225 | 1001 |
| | 35 | 1097 | 888 | 230 | 155 | 1218 | 1298 | 1306 | 300 | 1215 | 1297 | 1290 | 1040 |
| | 37.5 | 971 | 684 | 215 | 141 | 1230 | 1286 | 1410 | 272 | 1228 | 1312 | 1373 | 1105 |
| | 40 | 869 | 506 | 202 | 129 | 1229 | 1215 | 1024 | 249 | 1240 | 1320 | 1394 | 1179 |
| 42.5 | 727 | 429 | 191 | 119 | 1246 | 1082 | 786 | 230 | 1250 | 1328 | 1459 | 1250 | |
| 45 | 574 | 401 | 180 | 111 | 1208 | 947 | 596 | 214 | 1260 | 1352 | 1165 | 877 | |
| 47.5 | 477 | 377 | 171 | 104 | 1134 | 824 | 481 | 200 | 1265 | 1263 | 949 | 640 | |
| 50 | 447 | 356 | 162 | 99 | 1050 | 703 | 421 | 187 | 1265 | 1135 | 788 | 499 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|
| 52.5 | 427 | 337 | 154 | 94 | 965 | 593 | 388 | 177 | 1269 | 1019 | 641 | 428 |
| 55 | 409 | 320 | 147 | 90 | 882 | 520 | 361 | 167 | 1251 | 918 | 550 | 385 |
| 57.5 | 392 | 305 | 140 | 86 | 808 | 465 | 338 | 158 | 1201 | 828 | 479 | 350 |
| 60 | 377 | 291 | 134 | 83 | 726 | 440 | 317 | 150 | 1137 | 747 | 435 | 321 |
| 62.5 | 363 | 278 | 128 | 80 | 635 | 422 | 299 | 142 | 1071 | 648 | 408 | 296 |
| 65 | 350 | 266 | 123 | 77 | 574 | 405 | 283 | 136 | 1005 | 589 | 385 | 275 |
| 67.5 | 337 | 255 | 118 | 74 | 520 | 389 | 269 | 130 | 941 | 539 | 364 | 257 |
| 70 | 326 | 245 | 114 | 72 | 484 | 375 | 256 | 124 | 880 | 493 | 346 | 241 |
| 72.5 | 315 | 236 | 110 | 70 | 468 | 362 | 244 | 119 | 827 | 466 | 329 | 227 |
| 75 | 305 | 228 | 107 | 68 | 455 | 349 | 233 | 114 | 777 | 449 | 314 | 215 |
| 77.5 | 295 | 220 | 104 | 66 | 442 | 338 | 224 | 110 | 709 | 434 | 300 | 204 |
| 80 | 286 | 213 | 101 | 65 | 430 | 327 | 215 | 107 | 645 | 420 | 287 | 194 |
| 82.5 | 277 | 206 | 98 | 63 | 419 | 317 | 207 | 103 | 606 | 407 | 275 | 185 |
| 85 | 269 | 200 | 96 | 62 | 408 | 307 | 199 | 100 | 568 | 395 | 265 | 176 |
| 87.5 | 262 | 194 | 93 | 60 | 398 | 298 | 192 | 98 | 532 | 384 | 255 | 169 |
| 90 | 255 | 188 | 91 | 59 | 388 | 289 | 185 | 95 | 503 | 373 | 246 | 162 |
| 92.5 | 248 | 182 | 89 | 58 | 379 | 281 | 179 | 92 | 487 | 363 | 237 | 156 |
| 95 | 242 | 177 | 87 | 57 | 370 | 273 | 173 | 90 | 476 | 353 | 229 | 150 |
| 97.5 | 236 | 172 | 85 | 56 | 362 | 266 | 168 | 88 | 465 | 344 | 222 | 144 |
| 100 | 230 | 167 | 83 | 55 | 354 | 259 | 163 | 86 | 455 | 335 | 215 | 139 |
| 102.5 | 225 | 162 | 81 | 54 | 346 | 253 | 158 | 84 | 446 | 327 | 208 | 134 |
| 105 | 220 | 157 | 79 | 53 | 339 | 247 | 153 | 82 | 437 | 319 | 202 | 129 |
| 107.5 | 215 | 153 | 78 | 52 | 331 | 241 | 149 | 80 | 428 | 312 | 197 | 125 |
| 110 | 210 | 148 | 76 | 51 | 325 | 235 | 145 | 79 | 420 | 305 | 191 | 121 |
| 112.5 | 205 | 144 | 75 | 50 | 318 | 230 | 141 | 77 | 412 | 298 | 186 | 117 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 115 | 200 | 140 | 74 | 50 | 312 | 225 | 137 | 76 | 405 | 291 | 181 | 114 |
| 117.5 | 196 | 136 | 72 | 49 | 305 | 220 | 133 | 74 | 397 | 285 | 176 | 111 |
| 120 | 191 | 133 | 71 | 48 | 299 | 215 | 129 | 73 | 390 | 279 | 171 | 107 |

| % ETrä | | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BB | | 240 | 240 | 240 | 240 | 300 | 300 | 300 | 300 | 360 | 360 | 360 | 360 |
| ÖF | | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 |
| Tid (min) | 0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 2.5 | 28 | 27 | 60 | 24 | 88 | 163 | 60 | 24 | 28 | 163 | 60 | 24 |
| | 5 | 58 | 51 | 189 | 37 | 383 | 770 | 189 | 37 | 58 | 770 | 189 | 37 |
| | 7.5 | 110 | 94 | 501 | 60 | 866 | 1079 | 501 | 60 | 110 | 1079 | 501 | 60 |
| | 10 | 181 | 153 | 765 | 92 | 1027 | 1180 | 765 | 92 | 181 | 1180 | 765 | 92 |
| | 12.5 | 296 | 227 | 1237 | 134 | 1095 | 1225 | 1237 | 134 | 290 | 1225 | 1237 | 134 |
| | 15 | 536 | 402 | 1314 | 185 | 1134 | 1252 | 1314 | 185 | 544 | 1252 | 1314 | 185 |
| | 17.5 | 785 | 545 | 1345 | 242 | 1161 | 1273 | 1345 | 242 | 779 | 1273 | 1345 | 242 |
| | 20 | 1010 | 775 | 1367 | 311 | 1181 | 1290 | 1367 | 311 | 1007 | 1290 | 1367 | 311 |
| | 22.5 | 1092 | 1111 | 1386 | 455 | 1199 | 1305 | 1386 | 455 | 1093 | 1305 | 1386 | 455 |
| | 25 | 1136 | 1203 | 1380 | 531 | 1214 | 1318 | 1380 | 531 | 1136 | 1318 | 1380 | 531 |
| | 27.5 | 1161 | 1237 | 1370 | 636 | 1226 | 1329 | 1370 | 636 | 1161 | 1329 | 1370 | 636 |
| | 30 | 1179 | 1261 | 1366 | 942 | 1238 | 1339 | 1362 | 942 | 1179 | 1339 | 1362 | 942 |
| | 32.5 | 1198 | 1280 | 1397 | 1002 | 1249 | 1347 | 1355 | 1002 | 1198 | 1347 | 1355 | 1002 |
| | 35 | 1215 | 1297 | 1172 | 1043 | 1258 | 1355 | 1348 | 1043 | 1215 | 1355 | 1349 | 1043 |
| | 37.5 | 1228 | 1312 | 996 | 1106 | 1267 | 1362 | 1333 | 1106 | 1228 | 1362 | 1345 | 1106 |
| | 40 | 1240 | 1324 | 857 | 1175 | 1275 | 1369 | 1234 | 1175 | 1240 | 1369 | 1341 | 1175 |
| | 42.5 | 1250 | 1334 | 736 | 1246 | 1283 | 1377 | 1093 | 1246 | 1250 | 1375 | 1339 | 1246 |
| | 45 | 1260 | 1343 | 625 | 1260 | 1290 | 1376 | 963 | 1270 | 1260 | 1380 | 1331 | 1270 |
| | 47.5 | 1269 | 1354 | 563 | 1142 | 1297 | 1334 | 853 | 1262 | 1268 | 1385 | 1174 | 1262 |
| 50 | 1277 | 1370 | 508 | 894 | 1303 | 1250 | 757 | 1244 | 1277 | 1390 | 1050 | 1253 | |
| 52.5 | 1284 | 1398 | 463 | 697 | 1310 | 1163 | 656 | 1099 | 1284 | 1393 | 944 | 1246 | |
| 55 | 1292 | 1278 | 437 | 570 | 1315 | 1084 | 597 | 904 | 1291 | 1375 | 852 | 1250 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|-----|------|
| 57.5 | 1295 | 1166 | 415 | 485 | 1315 | 1013 | 549 | 740 | 1298 | 1303 | 771 | 1083 |
| 60 | 1296 | 1068 | 395 | 436 | 1323 | 947 | 506 | 616 | 1304 | 1228 | 681 | 911 |
| 62.5 | 1300 | 981 | 378 | 402 | 1340 | 888 | 468 | 538 | 1310 | 1158 | 620 | 770 |
| 65 | 1292 | 903 | 361 | 373 | 1296 | 830 | 443 | 476 | 1315 | 1093 | 578 | 652 |
| 67.5 | 1251 | 834 | 346 | 348 | 1250 | 773 | 424 | 439 | 1320 | 1034 | 539 | 578 |
| 70 | 1199 | 772 | 332 | 326 | 1202 | 691 | 406 | 410 | 1325 | 977 | 503 | 518 |
| 72.5 | 1142 | 695 | 320 | 306 | 1158 | 641 | 390 | 385 | 1331 | 924 | 470 | 471 |
| 75 | 1089 | 629 | 308 | 289 | 1115 | 607 | 375 | 363 | 1336 | 873 | 448 | 441 |
| 77.5 | 1036 | 589 | 297 | 274 | 1074 | 573 | 361 | 343 | 1340 | 824 | 430 | 415 |
| 80 | 984 | 551 | 287 | 260 | 1033 | 542 | 348 | 325 | 1345 | 774 | 414 | 393 |
| 82.5 | 935 | 515 | 277 | 248 | 992 | 513 | 336 | 309 | 1357 | 696 | 399 | 373 |
| 85 | 892 | 484 | 268 | 237 | 955 | 487 | 325 | 295 | 1379 | 649 | 385 | 355 |
| 87.5 | 849 | 465 | 260 | 227 | 917 | 469 | 314 | 282 | 1344 | 620 | 372 | 339 |
| 90 | 809 | 451 | 252 | 218 | 882 | 456 | 305 | 270 | 1306 | 592 | 360 | 324 |
| 92.5 | 772 | 438 | 245 | 209 | 848 | 443 | 295 | 259 | 1268 | 565 | 349 | 310 |
| 95 | 710 | 426 | 238 | 201 | 813 | 431 | 287 | 249 | 1229 | 538 | 338 | 298 |
| 97.5 | 655 | 414 | 232 | 194 | 784 | 420 | 279 | 240 | 1190 | 513 | 328 | 286 |
| 100 | 625 | 403 | 226 | 187 | 725 | 409 | 271 | 231 | 1151 | 490 | 319 | 276 |
| 102.5 | 596 | 393 | 220 | 181 | 665 | 399 | 264 | 223 | 1113 | 471 | 310 | 266 |
| 105 | 569 | 383 | 214 | 175 | 640 | 390 | 257 | 216 | 1074 | 457 | 302 | 257 |
| 107.5 | 541 | 374 | 209 | 169 | 615 | 380 | 250 | 209 | 1040 | 445 | 294 | 248 |
| 110 | 516 | 365 | 204 | 164 | 591 | 372 | 244 | 203 | 1006 | 434 | 286 | 240 |
| 112.5 | 495 | 356 | 199 | 159 | 566 | 363 | 238 | 196 | 972 | 424 | 279 | 233 |
| 115 | 484 | 348 | 195 | 155 | 543 | 355 | 233 | 191 | 939 | 414 | 272 | 226 |
| 117.5 | 473 | 340 | 191 | 150 | 520 | 347 | 227 | 185 | 910 | 404 | 266 | 219 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 120 | 462 | 332 | 186 | 146 | 496 | 339 | 222 | 180 | 879 | 395 | 259 | 212 |
| <i>% ETrä</i> | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| BB | | 60 | 60 | 60 | 60 | 120 | 120 | 120 | 120 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| ÖF | | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 |
| | 0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 2.5 | 28 | 27 | 25 | 50 | 28 | 27 | 25 | 50 | 28 | 27 | 25 | 24 |
| | 5 | 58 | 51 | 43 | 152 | 58 | 51 | 43 | 152 | 58 | 51 | 43 | 37 |
| | 7.5 | 110 | 94 | 73 | 374 | 110 | 94 | 73 | 370 | 110 | 94 | 73 | 60 |
| | 10 | 185 | 154 | 117 | 659 | 185 | 154 | 117 | 661 | 185 | 154 | 117 | 92 |
| | 12.5 | 475 | 215 | 173 | 1252 | 475 | 215 | 173 | 1227 | 475 | 218 | 173 | 134 |
| | 15 | 574 | 519 | 238 | 1306 | 574 | 519 | 239 | 1330 | 574 | 516 | 239 | 185 |
| | 17.5 | 1009 | 594 | 420 | 563 | 1009 | 594 | 403 | 1200 | 1009 | 606 | 403 | 244 |
| | 20 | 1101 | 1169 | 519 | 368 | 1101 | 1169 | 529 | 1162 | 1101 | 1181 | 529 | 336 |
| | 22.5 | 1144 | 1220 | 650 | 309 | 1142 | 1220 | 656 | 890 | 1142 | 1217 | 656 | 478 |
| | 25 | 1178 | 1250 | 1276 | 266 | 1174 | 1245 | 1310 | 598 | 1174 | 1243 | 1310 | 560 |
| | 27.5 | 1192 | 1283 | 1320 | 234 | 1194 | 1271 | 1312 | 439 | 1194 | 1270 | 1312 | 724 |
| | 30 | 1189 | 1278 | 1429 | 210 | 1210 | 1292 | 1311 | 382 | 1210 | 1291 | 1311 | 1130 |
| | 32.5 | 1206 | 1207 | 940 | 191 | 1228 | 1311 | 1341 | 342 | 1227 | 1309 | 1339 | 1115 |
| | 35 | 1227 | 1037 | 613 | 175 | 1246 | 1328 | 1405 | 310 | 1242 | 1324 | 1394 | 1121 |
| | 37.5 | 1182 | 868 | 403 | 162 | 1257 | 1337 | 1462 | 284 | 1255 | 1337 | 1408 | 1170 |
| | 40 | 1081 | 682 | 348 | 150 | 1258 | 1325 | 1110 | 261 | 1266 | 1345 | 1422 | 1241 |
| | 42.5 | 975 | 513 | 316 | 139 | 1268 | 1192 | 876 | 242 | 1276 | 1351 | 1457 | 1316 |
| | 45 | 905 | 405 | 290 | 130 | 1293 | 1061 | 677 | 226 | 1286 | 1354 | 1225 | 942 |
| | 47.5 | 790 | 377 | 268 | 121 | 1254 | 939 | 537 | 212 | 1291 | 1320 | 1016 | 690 |
| | 50 | 623 | 357 | 249 | 114 | 1192 | 828 | 441 | 200 | 1293 | 1221 | 855 | 533 |

Tid (min)

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|
| 52.5 | 503 | 339 | 233 | 108 | 1124 | 716 | 389 | 189 | 1302 | 1114 | 709 | 436 |
| 55 | 420 | 323 | 219 | 103 | 1051 | 600 | 362 | 179 | 1311 | 1014 | 594 | 392 |
| 57.5 | 396 | 309 | 207 | 99 | 975 | 528 | 339 | 171 | 1292 | 921 | 520 | 359 |
| 60 | 379 | 296 | 196 | 95 | 904 | 458 | 318 | 163 | 1247 | 837 | 454 | 331 |
| 62.5 | 364 | 284 | 186 | 92 | 841 | 420 | 300 | 155 | 1190 | 761 | 409 | 308 |
| 65 | 351 | 272 | 178 | 88 | 774 | 403 | 283 | 149 | 1135 | 661 | 385 | 287 |
| 67.5 | 338 | 262 | 169 | 85 | 678 | 388 | 269 | 142 | 1076 | 599 | 365 | 270 |
| 70 | 327 | 252 | 162 | 82 | 607 | 374 | 256 | 137 | 1019 | 546 | 346 | 254 |
| 72.5 | 316 | 244 | 155 | 80 | 547 | 361 | 244 | 131 | 963 | 496 | 329 | 240 |
| 75 | 306 | 236 | 149 | 77 | 490 | 349 | 233 | 126 | 912 | 452 | 314 | 228 |
| 77.5 | 297 | 228 | 142 | 75 | 448 | 338 | 223 | 121 | 861 | 432 | 300 | 217 |
| 80 | 288 | 221 | 137 | 73 | 431 | 327 | 214 | 117 | 812 | 418 | 288 | 207 |
| 82.5 | 280 | 215 | 131 | 71 | 419 | 317 | 206 | 113 | 766 | 405 | 276 | 198 |
| 85 | 272 | 208 | 126 | 69 | 408 | 308 | 198 | 110 | 687 | 393 | 265 | 190 |
| 87.5 | 264 | 203 | 121 | 68 | 398 | 299 | 191 | 107 | 633 | 382 | 256 | 182 |
| 90 | 257 | 197 | 117 | 66 | 388 | 291 | 185 | 104 | 593 | 371 | 247 | 175 |
| 92.5 | 251 | 192 | 113 | 65 | 379 | 283 | 178 | 101 | 554 | 361 | 238 | 168 |
| 95 | 245 | 186 | 109 | 63 | 371 | 276 | 173 | 99 | 515 | 352 | 230 | 162 |
| 97.5 | 239 | 181 | 107 | 62 | 363 | 269 | 167 | 96 | 479 | 343 | 223 | 157 |
| 100 | 234 | 177 | 104 | 61 | 355 | 262 | 162 | 94 | 453 | 334 | 216 | 151 |
| 102.5 | 228 | 172 | 101 | 60 | 348 | 256 | 157 | 92 | 441 | 326 | 210 | 147 |
| 105 | 224 | 168 | 99 | 59 | 341 | 250 | 153 | 90 | 431 | 319 | 204 | 142 |
| 107.5 | 219 | 163 | 97 | 58 | 334 | 244 | 148 | 88 | 422 | 311 | 198 | 137 |
| 110 | 214 | 159 | 94 | 57 | 327 | 239 | 144 | 86 | 413 | 304 | 193 | 133 |
| 112.5 | 210 | 155 | 92 | 56 | 321 | 234 | 140 | 84 | 404 | 298 | 188 | 129 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 115 | 206 | 151 | 90 | 55 | 315 | 229 | 137 | 83 | 396 | 291 | 183 | 126 |
| 117.5 | 202 | 148 | 88 | 54 | 310 | 224 | 133 | 81 | 389 | 285 | 179 | 122 |
| 120 | 198 | 144 | 86 | 53 | 304 | 219 | 129 | 80 | 381 | 279 | 174 | 118 |

| % ETrä | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BB | | 240 | 240 | 240 | 240 | 300 | 300 | 300 | 300 | 360 | 360 | 360 | 360 |
| ÖF | | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 |
| Tid (min) | 0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 2.5 | 28 | 27 | 25 | 24 | 28 | 27 | 25 | 24 | 28 | 27 | 60 | 24 |
| | 5 | 58 | 51 | 43 | 37 | 58 | 51 | 43 | 37 | 58 | 51 | 185 | 37 |
| | 7.5 | 110 | 94 | 73 | 60 | 110 | 94 | 73 | 60 | 110 | 94 | 571 | 60 |
| | 10 | 185 | 154 | 117 | 92 | 184 | 154 | 117 | 92 | 184 | 154 | 1044 | 92 |
| | 12.5 | 475 | 221 | 173 | 134 | 463 | 221 | 173 | 134 | 448 | 221 | 1258 | 134 |
| | 15 | 574 | 510 | 239 | 185 | 601 | 510 | 239 | 185 | 627 | 510 | 1334 | 185 |
| | 17.5 | 1009 | 617 | 403 | 244 | 1027 | 617 | 403 | 244 | 1042 | 617 | 1366 | 244 |
| | 20 | 1101 | 1190 | 529 | 336 | 1102 | 1190 | 529 | 330 | 1102 | 1190 | 1387 | 330 |
| | 22.5 | 1142 | 1211 | 656 | 478 | 1141 | 1211 | 656 | 480 | 1140 | 1211 | 1402 | 480 |
| | 25 | 1174 | 1240 | 1310 | 560 | 1173 | 1240 | 1310 | 559 | 1172 | 1240 | 1414 | 559 |
| | 27.5 | 1194 | 1269 | 1312 | 724 | 1194 | 1269 | 1312 | 709 | 1193 | 1269 | 1424 | 709 |
| | 30 | 1210 | 1291 | 1311 | 1130 | 1210 | 1291 | 1311 | 1107 | 1209 | 1291 | 1431 | 1107 |
| | 32.5 | 1227 | 1308 | 1339 | 1115 | 1227 | 1308 | 1339 | 1118 | 1226 | 1308 | 1432 | 1118 |
| | 35 | 1242 | 1323 | 1394 | 1121 | 1242 | 1323 | 1394 | 1128 | 1242 | 1323 | 1424 | 1128 |
| | 37.5 | 1255 | 1336 | 1407 | 1170 | 1255 | 1337 | 1407 | 1175 | 1255 | 1337 | 1415 | 1175 |
| | 40 | 1266 | 1347 | 1418 | 1236 | 1266 | 1347 | 1418 | 1240 | 1266 | 1347 | 1407 | 1240 |
| | 42.5 | 1276 | 1356 | 1427 | 1308 | 1276 | 1356 | 1427 | 1311 | 1276 | 1356 | 1401 | 1311 |
| | 45 | 1285 | 1365 | 1438 | 1323 | 1285 | 1364 | 1435 | 1333 | 1285 | 1364 | 1389 | 1333 |
| | 47.5 | 1294 | 1374 | 1476 | 1200 | 1293 | 1372 | 1441 | 1318 | 1293 | 1372 | 1228 | 1319 |
| 50 | 1301 | 1383 | 1238 | 949 | 1301 | 1379 | 1446 | 1296 | 1301 | 1379 | 1101 | 1304 | |
| 52.5 | 1309 | 1381 | 1058 | 750 | 1308 | 1385 | 1439 | 1146 | 1308 | 1385 | 994 | 1293 | |
| 55 | 1316 | 1331 | 917 | 603 | 1315 | 1391 | 1239 | 950 | 1315 | 1390 | 900 | 1293 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|-----|------|
| 57.5 | 1319 | 1243 | 800 | 510 | 1321 | 1395 | 1085 | 784 | 1321 | 1395 | 817 | 1124 |
| 60 | 1321 | 1152 | 684 | 441 | 1327 | 1408 | 962 | 648 | 1327 | 1399 | 735 | 951 |
| 62.5 | 1327 | 1065 | 599 | 406 | 1332 | 1344 | 857 | 561 | 1332 | 1403 | 649 | 808 |
| 65 | 1332 | 987 | 542 | 378 | 1337 | 1261 | 767 | 493 | 1337 | 1412 | 602 | 682 |
| 67.5 | 1321 | 914 | 488 | 353 | 1341 | 1182 | 667 | 442 | 1342 | 1434 | 562 | 599 |
| 70 | 1289 | 847 | 441 | 332 | 1343 | 1111 | 602 | 413 | 1348 | 1358 | 524 | 537 |
| 72.5 | 1245 | 787 | 412 | 313 | 1350 | 1044 | 554 | 388 | 1353 | 1286 | 487 | 483 |
| 75 | 1200 | 710 | 393 | 296 | 1361 | 982 | 509 | 367 | 1360 | 1215 | 455 | 443 |
| 77.5 | 1153 | 637 | 375 | 281 | 1370 | 924 | 467 | 347 | 1367 | 1150 | 431 | 418 |
| 80 | 1110 | 596 | 359 | 268 | 1339 | 868 | 432 | 330 | 1373 | 1089 | 415 | 396 |
| 82.5 | 1066 | 555 | 345 | 256 | 1304 | 814 | 412 | 314 | 1382 | 1033 | 400 | 376 |
| 85 | 1022 | 516 | 331 | 244 | 1265 | 765 | 395 | 300 | 1393 | 979 | 386 | 358 |
| 87.5 | 978 | 479 | 319 | 234 | 1227 | 685 | 380 | 287 | 1402 | 928 | 374 | 342 |
| 90 | 938 | 450 | 307 | 225 | 1187 | 634 | 365 | 275 | 1385 | 880 | 362 | 327 |
| 92.5 | 899 | 435 | 297 | 217 | 1147 | 599 | 352 | 264 | 1355 | 833 | 351 | 314 |
| 95 | 860 | 422 | 287 | 209 | 1108 | 566 | 340 | 254 | 1321 | 789 | 340 | 301 |
| 97.5 | 822 | 410 | 277 | 201 | 1069 | 533 | 329 | 244 | 1286 | 738 | 330 | 290 |
| 100 | 786 | 399 | 269 | 195 | 1033 | 501 | 318 | 236 | 1246 | 663 | 321 | 279 |
| 102.5 | 725 | 388 | 261 | 188 | 996 | 471 | 308 | 228 | 1209 | 630 | 312 | 269 |
| 105 | 658 | 378 | 253 | 182 | 962 | 447 | 299 | 220 | 1171 | 602 | 304 | 260 |
| 107.5 | 630 | 369 | 246 | 177 | 926 | 433 | 290 | 213 | 1135 | 574 | 296 | 251 |
| 110 | 598 | 360 | 239 | 172 | 891 | 421 | 282 | 207 | 1098 | 546 | 289 | 243 |
| 112.5 | 568 | 352 | 233 | 167 | 860 | 410 | 274 | 201 | 1065 | 521 | 281 | 236 |
| 115 | 537 | 344 | 227 | 162 | 827 | 400 | 267 | 195 | 1031 | 494 | 275 | 229 |
| 117.5 | 508 | 336 | 221 | 157 | 792 | 390 | 260 | 190 | 1000 | 469 | 268 | 222 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 120 | 477 | 328 | 215 | 153 | 759 | 380 | 252 | 184 | 967 | 443 | 261 | 216 |
| <i>% ETrä</i> | | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> |
| BB | | 60 | 60 | 60 | 60 | 120 | 120 | 120 | 120 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| ÖF | | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 |
| 0 | | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 2.5 | | 28 | 27 | 25 | 104 | 28 | 27 | 25 | 50 | 28 | 27 | 25 | 24 |
| 5 | | 59 | 51 | 43 | 543 | 59 | 51 | 43 | 152 | 59 | 51 | 43 | 37 |
| 7.5 | | 110 | 94 | 74 | 987 | 110 | 94 | 74 | 407 | 110 | 94 | 74 | 60 |
| 10 | | 199 | 154 | 117 | 1400 | 183 | 154 | 117 | 686 | 176 | 154 | 117 | 92 |
| 12.5 | | 733 | 278 | 173 | 1187 | 761 | 278 | 173 | 1429 | 775 | 253 | 173 | 134 |
| 15 | | 1074 | 622 | 231 | 596 | 1082 | 622 | 229 | 1424 | 1085 | 652 | 231 | 185 |
| 17.5 | | 1125 | 1205 | 480 | 363 | 1123 | 1205 | 494 | 1309 | 1119 | 1120 | 496 | 245 |
| 20 | | 1155 | 1201 | 566 | 311 | 1152 | 1200 | 566 | 1240 | 1150 | 1178 | 566 | 375 |
| 22.5 | | 1189 | 1248 | 1343 | 272 | 1187 | 1248 | 1368 | 959 | 1186 | 1245 | 1346 | 499 |
| 25 | | 1219 | 1287 | 1358 | 242 | 1214 | 1284 | 1341 | 655 | 1213 | 1282 | 1325 | 593 |
| 27.5 | | 1232 | 1316 | 1380 | 219 | 1231 | 1307 | 1368 | 468 | 1230 | 1305 | 1365 | 964 |
| 30 | | 1232 | 1328 | 1458 | 200 | 1245 | 1325 | 1393 | 381 | 1244 | 1323 | 1392 | 1368 |
| 32.5 | | 1246 | 1343 | 1046 | 184 | 1260 | 1340 | 1411 | 343 | 1259 | 1338 | 1410 | 1208 |
| 35 | | 1268 | 1204 | 740 | 171 | 1276 | 1354 | 1427 | 312 | 1273 | 1351 | 1422 | 1185 |
| 37.5 | | 1286 | 1047 | 494 | 160 | 1287 | 1363 | 1483 | 286 | 1285 | 1362 | 1432 | 1225 |
| 40 | | 1271 | 897 | 352 | 149 | 1291 | 1378 | 1183 | 264 | 1295 | 1370 | 1440 | 1294 |
| 42.5 | | 1223 | 746 | 316 | 140 | 1299 | 1300 | 951 | 245 | 1305 | 1376 | 1451 | 1371 |
| 45 | | 1159 | 573 | 292 | 132 | 1309 | 1181 | 771 | 229 | 1313 | 1387 | 1275 | 1004 |
| 47.5 | | 1080 | 443 | 272 | 124 | 1317 | 1065 | 608 | 215 | 1319 | 1410 | 1077 | 754 |
| 50 | | 994 | 355 | 255 | 117 | 1306 | 955 | 503 | 203 | 1322 | 1319 | 916 | 580 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|
| 52.5 | 912 | 332 | 239 | 112 | 1271 | 852 | 414 | 192 | 1330 | 1215 | 784 | 467 |
| 55 | 842 | 315 | 226 | 107 | 1220 | 757 | 363 | 183 | 1340 | 1117 | 653 | 395 |
| 57.5 | 724 | 301 | 215 | 103 | 1163 | 639 | 340 | 174 | 1345 | 1026 | 566 | 363 |
| 60 | 603 | 288 | 204 | 99 | 1101 | 558 | 321 | 166 | 1337 | 941 | 499 | 336 |
| 62.5 | 502 | 276 | 195 | 96 | 1040 | 486 | 304 | 159 | 1306 | 862 | 435 | 313 |
| 65 | 409 | 266 | 186 | 93 | 979 | 417 | 289 | 152 | 1264 | 788 | 388 | 293 |
| 67.5 | 352 | 256 | 179 | 90 | 917 | 384 | 275 | 146 | 1218 | 699 | 366 | 275 |
| 70 | 332 | 247 | 172 | 87 | 858 | 369 | 263 | 140 | 1170 | 620 | 349 | 260 |
| 72.5 | 318 | 239 | 165 | 84 | 801 | 356 | 252 | 135 | 1121 | 567 | 333 | 246 |
| 75 | 306 | 231 | 159 | 82 | 728 | 344 | 242 | 130 | 1072 | 514 | 319 | 233 |
| 77.5 | 295 | 224 | 153 | 80 | 640 | 333 | 232 | 126 | 1025 | 463 | 306 | 222 |
| 80 | 285 | 217 | 148 | 78 | 584 | 323 | 223 | 121 | 980 | 420 | 294 | 212 |
| 82.5 | 276 | 211 | 142 | 76 | 528 | 314 | 216 | 117 | 933 | 399 | 283 | 203 |
| 85 | 268 | 206 | 138 | 74 | 472 | 305 | 208 | 113 | 887 | 386 | 273 | 195 |
| 87.5 | 261 | 200 | 133 | 73 | 420 | 297 | 202 | 110 | 843 | 374 | 264 | 187 |
| 90 | 254 | 195 | 129 | 71 | 389 | 289 | 195 | 107 | 802 | 364 | 255 | 180 |
| 92.5 | 248 | 190 | 125 | 69 | 376 | 282 | 189 | 104 | 739 | 354 | 247 | 174 |
| 95 | 242 | 185 | 121 | 68 | 365 | 275 | 184 | 102 | 662 | 344 | 239 | 168 |
| 97.5 | 236 | 181 | 117 | 67 | 355 | 268 | 178 | 99 | 621 | 336 | 232 | 162 |
| 100 | 231 | 177 | 113 | 65 | 347 | 262 | 174 | 97 | 582 | 327 | 226 | 157 |
| 102.5 | 226 | 173 | 110 | 64 | 339 | 256 | 169 | 95 | 540 | 319 | 220 | 152 |
| 105 | 222 | 169 | 107 | 63 | 331 | 251 | 164 | 93 | 500 | 312 | 214 | 147 |
| 107.5 | 218 | 165 | 104 | 62 | 324 | 245 | 160 | 91 | 460 | 305 | 208 | 143 |
| 110 | 214 | 161 | 102 | 61 | 317 | 240 | 156 | 90 | 424 | 298 | 203 | 139 |
| 112.5 | 210 | 158 | 100 | 60 | 311 | 235 | 152 | 88 | 401 | 292 | 198 | 135 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 115 | 206 | 154 | 98 | 59 | 305 | 231 | 149 | 86 | 389 | 286 | 193 | 131 |
| 117.5 | 203 | 151 | 96 | 58 | 300 | 226 | 145 | 85 | 380 | 280 | 189 | 128 |
| 120 | 200 | 147 | 95 | 57 | 295 | 222 | 142 | 83 | 369 | 274 | 184 | 124 |
| <i>% ETrä</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> | <i>60</i> |
| BB | 240 | 240 | 240 | 240 | 300 | 300 | 300 | 300 | 360 | 360 | 360 | 360 |
| ÖF | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 | 0.04 | 0.06 | 0.1 | 0.15 |
| 0 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 2.5 | 28 | 27 | 25 | 24 | 28 | 27 | 25 | 24 | 28 | 27 | 25 | 24 |
| 5 | 59 | 51 | 43 | 37 | 59 | 51 | 43 | 37 | 59 | 51 | 43 | 37 |
| 7.5 | 110 | 94 | 74 | 60 | 110 | 94 | 74 | 60 | 111 | 94 | 74 | 60 |
| 10 | 176 | 154 | 117 | 92 | 163 | 154 | 117 | 92 | 168 | 154 | 117 | 92 |
| 12.5 | 775 | 253 | 173 | 134 | 770 | 253 | 173 | 134 | 744 | 253 | 173 | 134 |
| 15 | 1085 | 652 | 233 | 185 | 1077 | 652 | 234 | 185 | 1062 | 652 | 234 | 185 |
| 17.5 | 1119 | 1120 | 495 | 245 | 1106 | 1120 | 492 | 245 | 1098 | 1120 | 492 | 245 |
| 20 | 1150 | 1178 | 567 | 375 | 1145 | 1178 | 568 | 368 | 1142 | 1178 | 568 | 368 |
| 22.5 | 1186 | 1245 | 1281 | 499 | 1183 | 1245 | 1224 | 502 | 1182 | 1245 | 1224 | 502 |
| 25 | 1213 | 1282 | 1307 | 593 | 1210 | 1282 | 1300 | 591 | 1209 | 1282 | 1300 | 591 |
| 27.5 | 1230 | 1305 | 1362 | 964 | 1228 | 1305 | 1362 | 915 | 1227 | 1305 | 1362 | 915 |
| 30 | 1244 | 1323 | 1391 | 1368 | 1242 | 1323 | 1390 | 1346 | 1241 | 1323 | 1390 | 1346 |
| 32.5 | 1259 | 1338 | 1408 | 1208 | 1258 | 1338 | 1408 | 1224 | 1257 | 1338 | 1408 | 1224 |
| 35 | 1273 | 1351 | 1421 | 1185 | 1272 | 1351 | 1421 | 1200 | 1271 | 1351 | 1421 | 1200 |
| 37.5 | 1285 | 1362 | 1432 | 1225 | 1284 | 1362 | 1431 | 1236 | 1283 | 1362 | 1431 | 1236 |
| 40 | 1295 | 1372 | 1440 | 1290 | 1294 | 1372 | 1439 | 1297 | 1294 | 1372 | 1439 | 1297 |
| 42.5 | 1304 | 1380 | 1447 | 1365 | 1304 | 1380 | 1446 | 1369 | 1303 | 1380 | 1446 | 1369 |
| 45 | 1313 | 1387 | 1453 | 1380 | 1312 | 1387 | 1452 | 1390 | 1312 | 1387 | 1452 | 1390 |

Tid (min)

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 47.5 | 1321 | 1395 | 1484 | 1253 | 1320 | 1394 | 1457 | 1371 | 1319 | 1394 | 1457 | 1372 |
| 50 | 1328 | 1402 | 1290 | 1001 | 1327 | 1399 | 1463 | 1345 | 1326 | 1399 | 1462 | 1352 |
| 52.5 | 1334 | 1408 | 1113 | 804 | 1333 | 1405 | 1489 | 1190 | 1333 | 1405 | 1465 | 1337 |
| 55 | 1341 | 1414 | 973 | 645 | 1339 | 1410 | 1294 | 993 | 1339 | 1410 | 1470 | 1334 |
| 57.5 | 1345 | 1327 | 854 | 546 | 1345 | 1414 | 1138 | 828 | 1345 | 1414 | 1454 | 1161 |
| 60 | 1347 | 1239 | 752 | 465 | 1350 | 1417 | 1014 | 685 | 1350 | 1419 | 1293 | 990 |
| 62.5 | 1353 | 1156 | 645 | 408 | 1356 | 1402 | 909 | 591 | 1355 | 1424 | 1159 | 846 |
| 65 | 1360 | 1081 | 578 | 380 | 1361 | 1338 | 816 | 522 | 1361 | 1431 | 1049 | 721 |
| 67.5 | 1368 | 1009 | 524 | 356 | 1365 | 1266 | 731 | 460 | 1366 | 1434 | 953 | 625 |
| 70 | 1376 | 943 | 472 | 335 | 1370 | 1195 | 638 | 415 | 1372 | 1411 | 868 | 563 |
| 72.5 | 1348 | 880 | 422 | 316 | 1379 | 1127 | 586 | 390 | 1380 | 1357 | 791 | 507 |
| 75 | 1316 | 817 | 393 | 300 | 1388 | 1063 | 540 | 369 | 1387 | 1291 | 716 | 456 |
| 77.5 | 1280 | 761 | 376 | 285 | 1395 | 1004 | 496 | 350 | 1394 | 1225 | 634 | 420 |
| 80 | 1239 | 675 | 360 | 271 | 1402 | 948 | 453 | 332 | 1399 | 1162 | 592 | 398 |
| 82.5 | 1199 | 621 | 346 | 259 | 1390 | 894 | 416 | 317 | 1407 | 1104 | 553 | 378 |
| 85 | 1158 | 579 | 334 | 248 | 1367 | 842 | 396 | 303 | 1414 | 1049 | 515 | 361 |
| 87.5 | 1116 | 539 | 322 | 238 | 1336 | 791 | 380 | 290 | 1420 | 996 | 478 | 345 |
| 90 | 1078 | 498 | 311 | 228 | 1300 | 739 | 366 | 278 | 1424 | 946 | 443 | 330 |
| 92.5 | 1038 | 459 | 301 | 220 | 1264 | 661 | 354 | 267 | 1422 | 899 | 414 | 317 |
| 95 | 999 | 425 | 291 | 212 | 1225 | 623 | 342 | 257 | 1401 | 853 | 397 | 305 |
| 97.5 | 961 | 406 | 282 | 205 | 1188 | 589 | 331 | 247 | 1374 | 809 | 384 | 293 |
| 100 | 923 | 395 | 274 | 198 | 1149 | 556 | 321 | 239 | 1342 | 769 | 371 | 283 |
| 102.5 | 886 | 384 | 266 | 191 | 1112 | 524 | 311 | 231 | 1307 | 708 | 360 | 273 |
| 105 | 850 | 374 | 258 | 185 | 1076 | 492 | 302 | 223 | 1269 | 650 | 349 | 264 |
| 107.5 | 813 | 365 | 251 | 180 | 1041 | 460 | 294 | 216 | 1233 | 621 | 339 | 255 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 110 | 777 | 356 | 245 | 175 | 1005 | 433 | 286 | 210 | 1198 | 594 | 329 | 247 |
| 112.5 | 710 | 348 | 239 | 170 | 971 | 414 | 278 | 204 | 1162 | 567 | 320 | 240 |
| 115 | 655 | 340 | 233 | 165 | 937 | 403 | 271 | 198 | 1128 | 540 | 312 | 233 |
| 117.5 | 625 | 332 | 227 | 160 | 908 | 393 | 264 | 193 | 1096 | 513 | 304 | 226 |
| 120 | 579 | 325 | 221 | 156 | 876 | 382 | 257 | 187 | 1062 | 486 | 295 | 219 |