

Utvärdering av ytskiktskrav i Br1-byggnader

André Tajti & David Schön | Brandteknik | LTH |
LUNDS UNIVERSITET



Utvärdering av ytskiktskrav i Br1-byggnader

**André Tajti
David Schön**

Lund 2022

Titel

Utvärdering av ytskiktskrav i Br1-byggnader

Title

Evaluation of surface and lining requirements in Br1 buildings

Författare/Author: André Tajti och David Schön

Report: 5683

ISRN: LUTVDG/TVBB--5683--SE

Antal sidor/Number of pages: 37

Illustrationer/Illustrations: Av författarna om inget annat anges. By the authors unless otherwise stated.

Sökord

Boverkets byggregler, Br1, Ecophon, Ytskikt, beklädnad, väggmaterial, takmaterial, ljudabsorbent

Keywords

Surface layer, cladding, wall material, roof material, sound absorber

Abstract

Advice and regulations regarding surface layers in Boverkets byggregler have largely remained unchanged over the past 40–50 years. What are these requirements based on and are they still relevant today? The question has been initiated by the company Ecophon. We found that the regulations are an engineering assessment and is not based on trials or research. The assessment that was made turns out to be well made compared to calculations that we performed. Our conclusion is therefore that the requirements should not be eased.

© Copyright: Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2022

Avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2022.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.brand.lth.se
Telefon: 046 - 222 73 60

Division of Fire Safety Engineering
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

www.brand.lth.se
Telephone: +46 46 222 73 60

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till alla som på något sätt har varit delaktiga och hjälpt oss med vårt examensarbete.

Ett stort tack till vår handledare Patrick Van Hees, professor på avdelningen för brandteknik, som hela tiden har bidragit med kloka tankar och delgett sig av sin breda brandkunskap.

Vi vill också rikta ett stort tack till Torbjörn Persson på företaget Ecophon som delat med sig av både sin kunskap och resultat av olika brandförsök som gjorts av företagets produkter.

Förkortningar

BBR	Boverkets Byggregler
Br	Byggnadsklass En byggnad delas in i byggnadsklasser efter skyddsbehov (Br0-3)
CFD	Computational fluid dynamics
FIGRA	Fire Growth Rate. Beskriver tillväxthastigheten av brandens HRR. [W/s]
FR	Fire/Flame retardant. Flamskyddsbehandlad
HRR	Heat release rate. Effektutveckling [kW]
HRRPUA	Heat release rate per unit area. Effektutveckling per kvadratmeter [kW/m ²]
LTH	Lunds Tekniska Högskola
RHR	Rate of heat release [kW]
RISE	Research Institutes of Sweden AB, tidigare SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
THR	Total Heat Release [kW]
Vk	Verksamhetsklass

NOMEKLATUR

Brandeffekt	Mått på hur stor energi som frigörs per tidsenhet. Som referens kan nämnas att en tändsticka utvecklar 80 W, en papperskorg mellan 50–100 kW, en soffa 1–2 MW och en lägenhetsbrand kan utveckla runt 2–5 MW.
Brandgas	Benämns dagligdags för rök och syftar till gaser, partiklar och vätskedroppar som bildas vid förbränning eller pyrolys.
Brandklasser	Material och ytskikt delas in i brandklasser för brandmotstånd och reaktion vid brandpåverkan. Brandklasserna för ytskikt på väggar och tak består av en huvudklass (A1-F) med tilläggsklasser för om materialet eller ytskiktet producerar brinnande droppar och brandgaser.
Bränslekontrollerad brand	Branden begränsas i omfattning av tillgången på bränsle.
Ceiling jet	Flamutbredning under ett tak som beter sig mer som en jetflamma.
Plym	Den rökelare som bildas över en brand.
Pyrolys	Material avger en brännbar gas vid upphettning.
Rök, rökgas	Samma som brandgas.
Syrekontrollerad brand	Branden begränsas i omfattning av tillgången på syre.
Ventilationskontrollerad	Brand som begränsas i tillväxtfasen på grund av ventilationsförhållandet.
Övertändning	Vid övertändning ökar brandens effektutveckling drastiskt och branden kan bli mycket svårsläckt.

Sammanfattning

I Boverkets byggregler, BBR, ställs det krav på hur byggnaders brandskydd bör utformas. Krav ställs bland annat på hur byggnaders ytskikt i tak och på väggar får utformas. När det gäller byggnader med ett stort skyddsbehov, i BBR benämnda som Br1-byggnader, ges rådet att takytor bör utföras med lägst klass B-s1, d0 och väggar med lägst klass C-s2,d0. Undantag tillåts för upp till 20% av ytan som får utgöras av lägst klass D-s2,d0.

Dessa föreskrifter och råd går att spåra till tidigare generationer av byggregler och ingen större förändring av dessa har skett de senaste 40–50 åren trots att materialen som används för husbyggnad har varit under en ständig utveckling.

Var kommer kraven ifrån och är dessa fortfarande relevanta idag? Detta är något som företaget Ecophon vill undersöka och har initierat frågan till Brandteknik vid Lunds tekniska högskola.

Den första delen av denna rapport syftar till att undersöka vad dessa föreskrifter och allmänna råd grundas i och hur de förändrats över tid. En undersökning av tidigare regelverk görs för att identifiera vilka krav som tidigare ställts med fokus på var undantaget om 20 % av ytan först dök upp samt vad den baserades på.

I den andra delen av rapporten utförs beräkningar samt datorsimuleringar för att undersöka hur en brand i ett normalstort kontor påverkas om väggar och tak utförs i ytskikt med varierande brandegenskaper. Bränder av olika storlekar med olika placeringar har undersökts. Påverkan av en flamma som når upp till taket beräknas liksom effekten om 20 % av väggens ytskikt tillåts utföras i lägre klass.

Resultaten från de utförda handberäkningarna och datorsimuleringarna överensstämmer generellt trots att båda medför en mängd osäkerheter då förenklingar och antaganden gjorts. Därför bör slutsatser och resultat ses som en indikering snarare än absoluta. Resultaten påvisar att ytskiktet i taket kan leda till en stor inverkan på brandförloppet och storleken på branden som krävs för att branden i rummet ska gå till övertändning. Om rummets väggar kläs till

20 % i trä visar beräkningar att en brand kan gå till övertändning enbart med energin som finns i träet på väggarna.

Dessa resultat ska dock som ovan diskuterat ej ses som absolut då antagande och förenklingar gjorts. Vidare beräkningar och fullskaleförsök anses behövas för att kunna påvisa att alternativa utformningar av ytskikt som till exempel en blandning av ytskikt i olika brandklasser leder till brandskydd motsvarande det som idag föreskrivs i BBR.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål.....	2
1.3	Frågeställningar	2
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Metodik	2
2	Förkunskap – Rumsbrand.....	3
3	Litteraturstudie	5
3.1	Föreskrifter och regelverk	5
3.1.1	Utvecklingen av föreskrifter.....	5
3.1.2	Bakgrunden till 20 % av den sammanlagda omslutningsarean	6
3.1.3	Dagens regelverk.....	7
3.2	Tester för brandegenskaper	10
3.2.1	Room Corner Test (ISO 9705)	10
3.2.2	Obrännbarhetstest (ISO 1182).....	10
3.2.3	Single burning item, SBI (EN 13823)	10
3.2.4	Brandprovning (ISO 11925).....	11
3.3	Gränsvärde för huvudklass	11
3.4	Formler för handberäkning.....	12
3.4.1	Ceiling jet	12
3.4.2	Flamhöjd och flamutbredning	12
3.4.3	Maximal effektutveckling (Bränsle- eller syrekontrollerad brand)	13
3.4.4	Strålning	13
3.4.5	Övertändning	13
3.5	Simuleringsmodeller	14
3.5.1	CFD	14
3.5.2	FDS.....	14
3.5.3	Pyrosim.....	14
4	Material för tak och väggbeklädnad	15
4.1	Vanliga material i byggnader	15
4.2	Ecophon.....	16
4.2.1	Brandegenskaper för nytillverkade akustiska plattor.	16
4.2.2	Brandegenskaper för återvunna produkter	17
5	Beräkning och simulering.....	18
5.1	Utfall handberäkning	18
5.2	Utfall datorsimulering	21

5.3	Känslighetsanalys av brandens placering samt ventilationsöppningar.....	23
6	Resultat.....	26
7	Diskussion.....	29
8	Slutsats.....	31
9	Framtida studier.....	31
10	Referenser.....	32
	Bilaga A.....	34

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Sveriges byggregler styrs sedan 1990-talet av Boverkets Byggregler (BBR) som är uppbyggt av funktionsbaserade krav som byggnader ska uppfylla. För brandskydd i byggnader uttrycks dessa funktionsbaserade krav i föreskrifter med tillhörande allmänna råd för att uppfylla dessa. Genom att uppfylla föreskrifterna med hjälp av de allmänna råden följer man det som kallas förenklad dimensionering. Det är ett av två sätt att dimensionera ett brandskydd för en byggnad. Det andra sättet att dimensionera brandskyddet för en byggnad är genom att utföra beräkningar för att visa att det aktuella brandskyddet uppfyller kraven som ställs, så kallad analytisk dimensionering.

I BBR delas byggnader in i olika byggnadsklasser (Br) utifrån byggnadens skyddsbehov. Byggnadsklasserna delas in Br0 – 3 där Br0 är byggnader med mycket stort skyddsbehov och Br3 är byggnader med litet skyddsbehov.

I avsnitt 5:5 av BBR ställs krav på tak och väggars brandtekniska egenskaper vad gäller skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgaser inom en byggnad. Materialen delas in i huvudklasser beroende på hur mycket de bidrar till brandens utveckling i ett rum samt två underklasser beroende på hur mycket brandgaser samt hur mycket droppar som avges från materialet vid brand. Brandtekniska egenskaper och hur indelningen sker går att läsa under avsnitt 3.1 Föreskrifter och regelverk.

När det gäller byggnader med ett stort skyddsbehov, Br1-byggnader, ges rådet att takytor bör ha något högre brandteknisk klass (B-s1,d0) än väggar som tillåts ha något lägre brandteknisk klass (C-s2,d0). Material klassas utifrån standardiserade brandtester. Egenskaper som testas är materials bidrag till brand och om materialet avger brandrök samt om materialet avger brinnande droppar eller partiklar. Dessa tester och hur det utförs presenteras i rapporten.

Till dessa krav tillåts undantag för upp till 20 % av omslutningsarean av tak och väggar som får utgöras av lägre klass. Det möjliggör att det går att använda material som har sämre brandegenskaper exempelvis obehandlad träpanel för dörrfoder eller golvlister.

Dessa föreskrifter och råd går att spåra till tidigare generationer av byggregler och ingen större förändring av dessa har skett de senaste 40 - 50 åren. Vad grundar sig dessa kvar i och är dessa fortfarande aktuella idag? Frågeställningen har initierats av företaget Ecophon. Företaget Ecophon är tillverkare av akustiska lösningar för väggar och tak kallat absorbenter. Ecophon jobbar som många andra företag med hållbarhet och miljö. Som ett led i detta ska Ecophon återvinna gamla absorbenter. *Vi siktar på att senast år 2025 ha i genomsnitt 55 % återvunnet innehåll i våra absorbenter* går det att läsa på Ecophons hemsida.

Vid tillverkning av produkter med hög andel återvunnet material i form av gamla absorbenter kan de brandtekniska egenskaperna försämrats jämfört med dagens produkter visar tester gjorda vid LTH. På grund av företagshemligheter kan endast en sammanfattning presenteras i avsnitt 4.2.2

1.2 Syfte och mål

Syftet är att utvärdera aktuella föreskrifter och allmänna råd gällande ytskikt i Br1-byggnader som ställs i BBR med fokus på varför just 20 % av ytskiktet får utformas i en lägre brandteknisk klass.

Målet är att identifiera vad de aktuella föreskrifterna och allmänna råd grundas i samt identifiera potentiella utvecklings- och förändringsmöjligheter.

1.3 Frågeställningar

- Var har de aktuella föreskrifter och allmänna råd i BBR sitt ursprung?
- Finns det kritiska parametrarna som ligger till grund för de aktuella kraven?
- Hur kan eventuellt dessa kritiska parametrar i kravställningar jämföras med handberäkningar av en brand?

1.4 Avgränsningar

Denna rapport avgränsas i den mån att ytskiktskraven som undersöks endast gäller väggar och tak i Br1-byggnader. Rapporten behandlar inte kraven som ställs på utrymningsvägar eller i Br2- och Br3-byggnader. Rapporten kommer i huvudsak behandla effektutveckling, inte rökgasproduktion eller droppbenägenhet. Vidare görs avgränsningen att titta på ett mindre rum som kan motsvara ett kontor.

1.5 Metodik

Den första delen av arbetet utgörs av en litteraturstudie som syftar till att undersöka de aktuella föreskrifterna och allmänna råden för att skapa en förståelse för vad dessa grundas i. Under litteraturstudie presenteras hur föreskrifter och regelverk kommit till och hur de ser ut idag. Vidare presenteras olika brandtester och deras syfte, formler för handberäkning och de simuleringsmodeller och datorprogram som används.

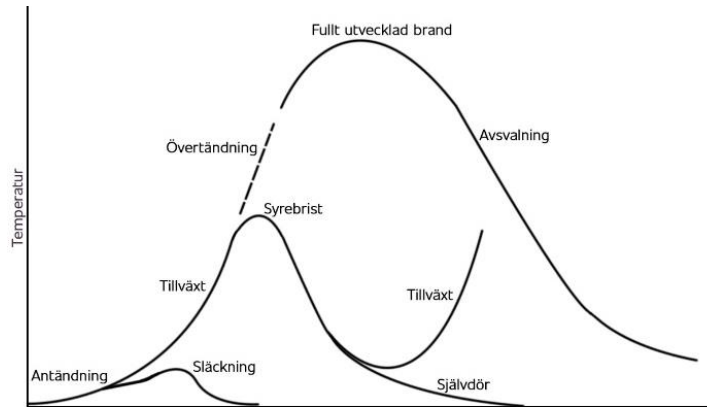
Den andra delen av arbetet utgörs av beräkningar av brandpåverkan av olika material, bland annat med data som Ecophon tillhandahållit samt eventuella simuleringar för att undersöka huruvida samma skyddsnivå som föreskrivs gällande ytskikt i byggnader i BBR kan uppnås genom alternativa lösningar samt kombinationer av olika klasser på ytskiktmaterial.

2 Förkunskap – Rumsbrand

För att få en förståelse över hur brand beter sig och kan utveckla sig i ett rum ges här grundläggande kunskap om brandens olika stadier.

Rumsbrand delas ofta in i olika faser och kan presenteras med en brandkurva, Figur 1.

- Antändning
- Tillväxtfasen
- Övertändning eller syrebrist
- Fullt utvecklad
- Avsvlningsfas



Figur 1: Brandkurva för en rumsbrand som presenteras i boken *Inomhusbrand* (Bengtsson, 2013)

Förloppet startar med att antändning sker och brandgaser börjar produceras. Brandgaserna rör sig uppåt på grund av de termiska stigningarna och i ett begränsat utrymme når de oftast taket där de sedan sprider sig vidare i rummet och bildar ett brandgaslager. Den varma flamman sprider sig genom att strålningen från flamman värmer upp bränslet i sin närhet som antänds och deltar i förbränningen. När mer bränsle brinner så ökar förbränningshastigheten, mer brandgaser produceras och temperaturen i brandgaslaget ökar.

I det fall då branden har tillgång till bränsle finns det två vägar som brandförloppet kan ta. Antingen blir det en övertändning eller så begränsas brandens intensitet på grund av syretillgången, så kallad ventilationskontrollerad brand. I utrymmen som är väldigt täta kommer syrgaskoncentrationen bli för låg. Branden kommer att slockna på grund av att syret trängs undan genom intertering av vattenånga och koldioxid. Om det finns mindre öppningar som ej är tillräckliga för att branden ska gå till övertändning fås en ventilationskontrollerad brand där storleken på ventilationsöppningarna avgör brandens tillväxt. En brand kan då pendla i faserna tillväxt och avsvlning.

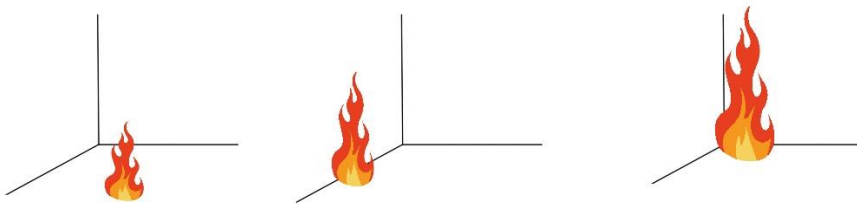
I fallet då det finns tillräckligt stora öppningar i utrymmet för att branden ska gå till övertändning så kommer de varma brandgaserna strömma ut genom öppningarna och luft kommer samtidigt strömma in genom öppningen. Brandgaslaget kommer sjunka till den nivån då jämvikt uppnås med den inströmmande luften. Det kontinuerliga tillflödet av syre leder till att branden kan fortsätta växa och temperaturen i de varma brandgaserna ökar till strålningsvärmerna från brandgaslaget blir så hög att allt bränsle i rummet kan antända och övertändning sker. Övertändning kan kännetecknas av både temperatur och återstrålning från brandgaslaget i taket. (D.Drysdale, 1985) Gränsvärdena för övertändning är en temperatur på 600 °C och återstrålning på 20 kW/m². Det är även dessa gränsvärden som senare i rapporten kommer användas som antagningskriterier vid spridning av brand.

Stadiet efter övertändning kallas för fullt utvecklad brand. När en fullt utvecklad brand uppstått kan branden utveckla sig på olika sätt beroende på förutsättningarna till syrekontrollerad eller bränslekontrollerad.

En syrekontrollerad brand uppstår när öppningarna i utrymmet är små i förhållande till rummets volym vilket leder till att mängden syre som kan transporteras in i rummet är mindre än vad branden kräver för

att kunna växa. I ett utrymme med större öppningsarea kommer större inflöde av luft ske och branden kommer ha tillgång till tillräcklig mängd syre för att kunna växa och förbränningen fortlöpa. Det kommer då i stället vara mängden bränsle som avgör brandens storlek och förlopp, branden blir då bränslekontrollerad. (Walton, 2016)

Brandens placering är av stor vikt för flamspridningen, Figur 2. En brand i ett hörn kommer växa snabbare och större än en brand med placering fritt i mitten av ett rum. En brand som brinner fritt har möjlighet att dra in luft från alla håll och växer därför inte på samma sätt. En brand längst en vägg eller i ett hörn begränsas i möjligheten att dra in luft och tvingas därför växa på höjden. Samtidigt får branden återstrålning från väggarna som värmts upp vilket ytterligare bidrar till en snabbare flamspridning. (Bengtsson, 2013)



Figur 2: Illustration hur flamspridningen kan skilja sig beroende på placering. Ska inte betraktas som exakta.

Brandens storlek kan beskrivas och mätas i dess effektutveckling. En papperskorg utvecklar mellan 50 – 300 kW beroende på innehåll. En soffa utvecklar en effekt på 1000 – 2000 kW. En lägenhet kan utveckla upp till 5000 kW. (Bengtsson, 2013)

3 Litteraturstudie

Under litteraturstudie presenteras hur föreskrifter och regelverk kommit till och hur de ser ut idag. Vidare presenteras olika brandtester och deras syfte, formler för handberäkning och de simuleringsmodeller och datorprogram som används.

3.1 Föreskrifter och regelverk

Föreskrifter och regelverk har delats upp i tre delar, utveckling av föreskrifter, bakgrund till 20 %-regeln och dagens regelverk.

3.1.1 Utvecklingen av föreskrifter

Kravnivå på ytskikt i byggnader i Sverige kan hittas så tidigt som i Svensk Byggnorm från 1967. (Statens Planverk, 1967) Under åren har kraven formulerats på lite olika sätt och det blir lätt rörigt i textform med alla nivåer och klassindelningar. Utvecklingen sammanfattas i Tabell 1 för byggnader i Br1 eller motsvarande.

I den första byggnormen från 1967 ställdes krav på ytskikt från Klass I – III där klass I var bäst. För en brandsäker byggnad, vilket motsvarar dagens Br1-byggnader, var kraven för takytor att ha ett ytskikt av lägst klass I och väggyta av lägst klass II. Dessa krav gäller dock inte för små avskilda utrymmen såsom badrum och dylikt, eller för begränsade väggytor av inredningskaraktär, såsom garderobs- och andra skåpsidor samt överstycken och bröstningar vid dörrar och fönster. Undantaget för mindre delar av väggytan som fick utformas med ytskikt av lägre klass fanns med i detta råd men en specifik siffra på hur stor del av ytan undantaget gällde saknas. Kravnivå på den undantagna mindre ytan saknas, alltså tilläts den utformas utan brandteknisk klassificering.

I slutet på 1980-talet trädde plan- och bygglagen i kraft och 1988 släpptes Boverkets Nybyggnadsregler som började gälla ett år senare. (Boverket, 1988) Här introducerades de byggnadsklasser vi använder idag med benämningen Br1 - Br3. För Br1-byggnader ställs liknande krav som för de tidigare benämnda brandsäkra byggnaderna där takytor ska utformas med ytskikt av lägst klass I och väggytor med ytskikt av lägst klass II. Skillnaden är nu att ytskiktet på takytor ska anbringas på obrännbart material eller på tändskyddande beklädnad. Till denna föreskrift följde fyra undantag, det fjärde av dessa undantag säger att upp till 20 % av den exponerade omslutningsarean i taket får utföras utan tändskyddande beklädnad och av lägst klass III. Om ytskiktet i taket utgörs av klass I tilläts upp till 50% av den omnämnda takarean utföras i klass III. Detta undantag gäller bland annat plattor, undertak samt rör- och kanalinstallationer. Till skillnad från tidigare regelverk definierades här de mindre byggnadsdelarna som undantaget syftar till att vara maximalt 20 % av omslutningsarean i taket.

När Boverkets Byggregler, BBR, trädde i kraft 1994 ändrades återigen undantaget för mindre byggnadsdelar. I stället för 20 % av omslutningsarean som tidigare gällde är det nu undantaget för mindre byggnadsdelar där ytskiktet saknade betydelse för brandförloppet. Dessa ytskikt tilläts utföras i lägst klass III. (Boverket, 1993)

Denna regel stod sig med endast små förändringar fram till BBR 19 från 2011 då formuleringen ändrades till att tillåta lägre klassat material på mindre än 20 % av den sammanlagda omslutningsarean på tak och väggar i stället för den gamla formuleringen att tillåta lägre klassat material där ytskiktet saknade betydelse för brandförloppet. (Byggnadsklass och verksamhetsklasser, 2020) Klassindelningen ändras från klass I – III till att benämnas A – E. Översiktlig indelning kan ses i Tabell 3 på sida 8.

Tabell 1: Sammanfattning av utvecklingen av brandskyddsföreskrifter för byggnader i byggnadsklass Br1 eller motsvarande

År	Klassindelning	Krav	Undantag
1967	Klass I – III	Tak: Klass I Vägg: Klass II	- Mindre delar av väggytan i lägre klass. - Små avskilda rum helt undantaget krav.
Slutet 80-tal		Ska anbringas på obrännbart material eller på tändskyddande beklädnad	- Upp till 20 % av takarean får utföras av lägst klass III - Upp till 50 % av takarean får utföras i klass III om hela taket är i klass I
1994			- Procentsatsen slopas och undantaget gäller för mindre byggnadsdelar där ytskiktet saknar betydelse för brandförloppet. Får uppföras i klass III.
2011	A – E	Tak: Klass B Vägg: Klass C	- Lägre klassat material tillåts på upp till 20 % av den sammanlagda omslutningsarean på tak och väggar

3.1.2 Bakgrunden till 20 % av den sammanlagda omslutningsarean

Det finns mycket starka anledningar att tro att procentsatsen på 20 % är en ingenjörsmässig bedömning som gjorts av en yrkesman inom brandskydd. Det ska inte heller finnas någon forskning bakom som ger stöd åt bedömningen. Dessa påstående har inte gått att stryka utan bygger på samtal med brandingenjörer med stor insyn i branschen. Det bör tilläggas att det vid tiden skedde fler liknande ingenjörsmässiga bedömningar och att det inom brandskyddsbranschen finns en allmän uppfattning bland brandingenjörer att det är så här det har gått till.

Frågan om bakgrunden har ställts till Boverket som har gett följande svar.

Vi har ingen exakt vetenskap om hur 20 % har valts men en rimlig teori är att man uppskattat vad som tidigare varit praxis och normalt accepterat i form av trä på dörrar, fönster, golv och taklister samt eventuellt även en lägre bröstpanel på väggar. För att få en verifierbar nivå valdes då 20 % i stället för att exemplifiera med olika typer av detaljer. I praktiken är det fler aspekter än bara andelen av ytan som är relevant för brandförloppet och bidraget till snabb övertändning. Det beror på såväl placeringen av det lägre klassade materialet som den totala andelen i rummet. Det kan exempelvis vara olämpligt med träpaneler från golv till tak i exempelvis ett hörn av en samlingslokal även om de inte utgör 20 % av den totala ytan. Så det finns nackdelar med att reglera det utifrån andelen av ytan.

3.1.3 Dagens regelverk

För att ha möjlighet att utforma brandskyddet i en byggnad delas en byggnad in i en byggnadsklass (Br) och verksamhetsklasser (Vk). Utifrån detta går det att få reda på vilka krav som ställs på bland annat brandteknisk klass för ytskikt i kapitel 5 i Boverkets byggregler.

Byggnadsklass

Utifrån byggnadens skyddsbehov delas byggnader in i byggnadsklasser (Br0-3) där Br0 är byggnader med mycket stort skyddsbehov och Br3 är byggnader med litet skyddsbehov. Byggnadens komplexitet, möjliga konsekvenser och troliga brandförlopp tas med vid bedömningen av skyddsbehovet. Det kan vara byggnadens våningsantal och vilken eller vilka verksamhetsklasser som byggnaden har. En byggnad kan endast ha en byggnadsklass.

Rapporten är begränsad till att endast omfatta Br1-byggnader. I BBR går att få en uppfattning om vilka byggnader som bör klassas som Br1-byggnader. Det går att läsa följande i avsnitt 5:22 i BBR: *Byggnader med tre eller fler våningsplan bör utformas i byggnadsklass Br1. Följande byggnader med två våningsplan bör utformas i byggnadsklass Br1:*

- Byggnader avsedda för verksamhetsklasserna 4, 5A, 5B eller 5C.
- Byggnader med samlingslokaler i verksamhetsklasserna 2B eller 2C på andra våningsplanet.

Verksamhetsklass

I en byggnad kan det finnas en eller flera olika verksamheter. Verksamheterna delas in i olika klasser, verksamhetsklasser (Vk1-6). Dessa presenteras överskådligt i Tabell 2. En byggnad kan ha flera verksamhetsklasser. Faktorer som påverkar indelningen är

- Om personer kan förväntas ha kännedom om byggnaden
- Om personer kan förväntas vara vakna
- Om personer kan förväntas utrymma på egen hand
- Om det finns stor risk för brand

Tabell 2: Verksamheterna delas in Vk1-6, med underklasser.

Vk	Exempel
1	Industri, Kontor
2	A Lokal för allmänhet
	B Större samlingslokal (>150 pers)
	C Större samlingslokal (>150 pers) med alkoholservering
3	A Vanliga bostadslägenheter
	B Gemensamhetsboende t.ex. HVB.hem
4	Hotell eller korttidsboende
5	A Dagtidsverksamhet t.ex. skola
	B Behovsprövande boende t.ex. LSS
	C Sjukhus
	D Lokaler där personer hålls inlåsta t.ex. fängelse.
6	Pappersindustri

Brandteknisk klass

Material och ytskikt delas in i brandklasser för brandmotstånd och reaktion vid brandpåverkan enligt ett EU-gemensamt klassificeringssystem, EN 13501. Brandklasserna benämns som huvudklasser. För ytskikt på väggar och tak består de av en huvudklass (A-F) med tilläggsklasser för om materialet eller ytskiktet producerar brinnande droppar och brandgaser. Indelningen av material i de olika klasserna enligt huvudklass-systemet görs till stor del enligt parametern Fire Growth Rate, *Figra*. *Figra* är en parameter som beskriver tillväxthastigheten av brandens Heat Release Rate, HRR. I tabell 3 presenteras en översiktlig sammanställning av de olika klasserna och deras brandegenskaper. (Svenska Institutet för Standarder, 2022)

Tabell 3: Översikt av klassindelning och klassernas brandegenskaper

Huvudklass	Brandegenskaper (room corner test)	Exempel på material	Gammal klass
A1	Ingen övertändning med 300 kW källa	Sten, betong, viss mineralull	Obrännbar
A2	Ingen övertändning med 300 kW källa	Mineralull, obehandlad gipsskiva med tunt ytskikt	Obrännbar
B	Ingen övertändning med 300 kW källa	Målad gipsskiva	I
C	Ingen övertändning med 100 kW källa	Gipsskiva med papperstapet	II
D	Övertändning efter 2 minuter med 100 kW källa	Obehandlad träpanel	III
E	Övertändning inom 2 minuter med 100 kW källa	Vissa typer av cellplast	Svårantändligt
F	-	-	-

Till huvudklasserna kopplas tilläggsbrandklass för rökgasproduktion, *s*, och brinnande droppar och partiklar, *d*. (Boverket, 2019) Brandklass A2-D ska alltid kombineras med tilläggsbrandklass *s* och *d*. För Br1-byggnade ges rådet att takytor bör utföras med lägst klass B-s1,d0 och väggar med lägst klass C-s2,d0. Nivåerna för brandgasproduktion och droppbenägenhet presenteras i tabell 4 och tabell 5 för att ge en översikt av kraven.

Tabell 4: Nivåer för brandgasproduktion

s, brandgasproduktion
s1 – byggnadsdelen får avge mycket begränsad mängd med brandgaser.
s2 – byggnadsdelen får avge begränsad mängd med brandgaser
s3 – inget krav på begränsad produktion av brandgaser.

Tabell 5: Nivåer för droppbenägenhet

d, droppbenägenhet
d0 – brinnande droppar eller partiklar får inte avges från byggnadsdelen.
d1 – brinnande droppar eller partiklar får avges i begränsad mängd.
d2 – inget krav på begränsning av brinnande droppar och partiklar.

Brandskydd

Material som brandklassas är en skyddsåtgärd för att begränsa utveckling och spridning av brand och brandgaser inom en byggnad. Ytskikt ska ha brandtekniska egenskaper som

- är svåra att antända,
- inte medverkar till snabb brandspridning,
- inte snabbt utvecklar stora mängder värme eller brandgas,
- inte deformeras vid ringa brandpåverkan så att fara kan uppstå,
- inte faller ned eller på annat sätt förändras så att risken för personskador ökar,
- inte smälter och droppar utanför brandhårdens omedelbara närhet.

I avsnitt 5:521 *Väggar, tak, golv och fast inredning i BBR* går det att läsa vilken brandklass ytskikt bör ha i byggnader i byggnadsklass Br1. För mindre byggnadsdelar kan ytskikt utformas i lägre brandteknisk klass men inte lägre än brandteknisk klass D-s2,d0. I Tabell 6 sammanfattas kraven.

Mindre byggnadsdelar motsvaras av sådana byggnadsdelar vars sammanlagda omslutningsarea understiger 20 % av anslutande tak eller vägg. Exempel på sådana mindre byggnadsdelar kan vara dörrblad, dörr- och fönsterkarmar, tak- och golvlister, och balkar.”

Det finns även krav på byggnader i byggnadsklass Br2 och Br3, dock omfattas rapporten endast av Br1-byggnader och inte av Br2 eller Br3 byggnader.

Tabell 6: *Krav för ytskikt i tak och på väggar för byggnader i byggnadsklass Br1*

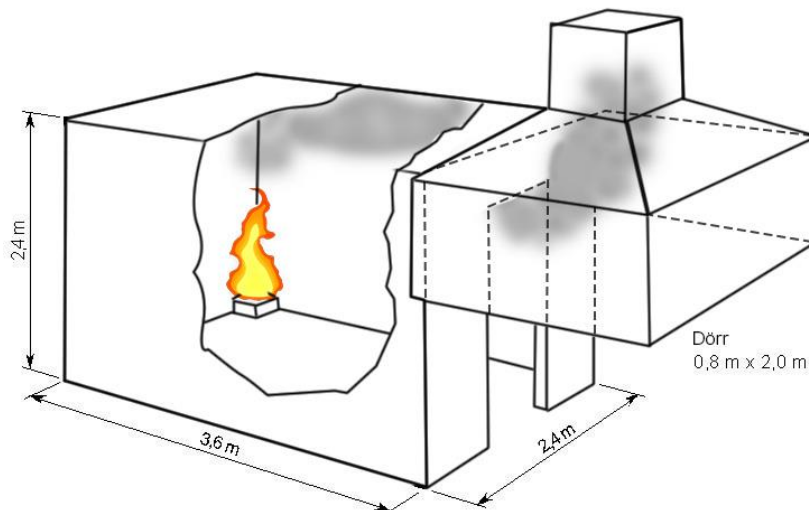
	Bör ha lägst brandteknisk klass	Inte lägre än
Tak	B-s1,d0, fäst på material av A2-s1,d0 eller på beklädnad i K210/B-s1,d0.	D-s2,d0
Vägg	C-s2,d0	

3.2 Tester för brandegenskaper

För att få en uppfattning hur olika material bidrar till en brandutveckling finns olika standardiserade tester att tillgå. (RISE, 2022) I Sverige är det Research Institutes of Sweden, RISE som utför majoriteten av tester. Därför har information om testerna som presenteras hämtas från RISEs hemsida. Dessa tester ligger sedan till grund för huvudklassificeringen av materialet. Storskaliga tester i verklig skala sker sällan då de är dyra och svåra att genomföra, i stället genomförs småskaliga försök. Det kan ske i rumsstor skala så kallat Room Corner Test där väggar och tak kläs med testmaterialet. Försök kan även göras med provkroppar. Större provkroppar genomförs med metoden Single burning item. Det går även att genomföra tester med mindre provkroppar för att få en indikation på vad ett utfall troligen blir av ett större test. En sådan utvärderingsmodell som finns hos RISE kallas för ConeTools.

3.2.1 Room Corner Test (ISO 9705)

Testet används för att se hur ett material på väggar och tak bidrar till ett brandförlopp. Figur 3 visar en skiss över testkammaren. Room Corner Test är ett referensscenario för att se vilken klass en produkt skulle kunna få och kan inte användas som klassificeringsunderlag. För att få en referenshuvudklass ska en byggprodukt eller ytskikt klara av 100 kW under 10 min, 300 kW under följande 10 minuter, vilket ger en total provtid av 20 min.



Figur 3: Skiss över Room Corner Test. På utsidan sitter huven som samlar upp rökgaser.

I en testkammare kläs väggar och tak av en testkammare med provmaterialet. I ena hörnet placeras en brännare. Mätningar görs av rökgaserna i en huv placerad på utsidan samtidigt som visuella observationer görs av flammorna. När flammor når ut genom dörren räknas det som övertändning.

3.2.2 Obrännbarhetstest (ISO 1182)

För material med högst brandteknisk klass, A1 och A2 enligt huvudklasserna, kan ett obrännbarhetstest genomföras för att fastställa produktens klassificering. Vid testet utsätts en provkropp på 4,5 x 5 centimeter för en temperatur av 750 °C i en cylindrisk ugn. Vid testet registreras temperaturstegring och visuella lågor. Beroende på om provkroppen förlorat i massa avgörs om produkten kan anses som brännbar eller obrännbar. Det finns även ett annat obrännbarhetstest kallat ISO 1716 som inte omnämns i denna rapport.

3.2.3 Single burning item, SBI (EN 13823)

En av de vanligaste testerna är Single Burning Item, SBI metoden (EN 13823), som används för att bestämma brandklasserna A2 - D genom att mäta värmeutveckling, rökbildning, brinnande droppar och flamspridning. I metoden sätts fem paneler av materialet ihop så att det bildar ett hörn. I hörnet placeras

en brännare som avger en effekt på 30 kW under 21 minuter. Tre separata försök genomförs och kan göras med stora eller små paneler.

3.2.4 Brandprovning (ISO 11925)

Prov för att bedöma hur ett material påverkas av en flamma. En mindre provkropp, 9 x 2,5 cm, monteras vertikalt och utsätts för en gaslåga. För material i brandklass B – E klassificeras bland annat flamspridning med hjälp av testet.

3.2.5 Cone calorimeter (ISO 5660–1)

Cone calorimeter, eller konkalorimeter, är ett prov där bland annat värmeutveckling, rökproduktion och massförlust mäts. (RISE, 2022) En provkropp hettas upp och pyrolysgaser samlas i en huv där syregashalten i rökgaserna kan mätas. Samtidigt mäts rökgasproduktionen med en laser. Mätdata från provningen kan användas för modellering i större skala av bränder. Det går alltså att förutspå ett brandförlopp för provning enligt ISO 9705 (RCT) och EN 13823 (SBI). Fördelen med detta prov är att det är kostnadseffektivt då det endast krävs små provkroppar på 100 x 100 mm för att genomföra provet. Det är enkelt att analysera en produkt som är under utveckling.

3.3 Gränsvärde för huvudklass

I Tabell 7 sammanfattas olika gränskrav för några olika tester för att få en överblick av vad som ligger till grund för bedömning av den brandtekniska klassen. För obrännbarhetstestet ISO 1182 gäller det att materialet inte får ha en för hög temperaturförändring eller viktförlust. Från SBI fås ett värde som kallas Figra, Fire Growth Rate. Det är en parameter som beskriver tillväxthastigheten av brandens Heat Release Rate, HRR. THR är den totala effektutvecklingen under 600 sekunder. F_s i ISO 11925 är flamspridningshastigheten i materialet.

Tabell 7: Gränsvärden för huvudklasser från test ISO 1182, SBI samt EN ISO 11925–2.

HUVUDKLASS	ISO 1182			SBI		ISO 11925
	ΔT	Δm	t_f	Figra [W/s]	THR ₆₀₀ [MJ]	F_s
A1	$\leq 30^\circ\text{C}$	$\leq 50\%$	0 s			
A2*	$\leq 50^\circ\text{C}$	$\leq 50\%$	≤ 20 s	≤ 120	≤ 7.5	
B				≤ 120	≤ 7.5	≤ 150 mm inom 60 sek
C				≤ 250	≤ 15	≤ 150 mm inom 60 sek
D				≤ 750		≤ 150 mm inom 60 sek
E						≤ 150 mm inom 60 sek
F	Material som ej uppnår kraven för klass E					

*För klassificering av material i huvudklass A2 kan även test EN ISO 1716 användas. Testet är ett obrännbarhetstest.

Teckenförklaring	
ΔT	Temperaturförändring
Δm	Viktförlust
t_f	Flamperiodens varaktighet
Figra	Brandutvecklingshastighet
THR ₆₀₀	Total förbränningsvärme
F_s	Flamspridning

3.4 Formler för handberäkning

För att genomföra handberäkningar och förutspå hur en brand kommer bete sig och sprider sig i ett rum finns olika formler. Samtliga formler är hämtade från boken Enclosure Fire Dynamics. (Karlsson & Quintiere, 2000) Formulerna baseras på olika antagande och förenklingar som presenteras i samma bok. Därför ska resultat inte betraktas som exakta.

3.4.1 Ceiling jet

För att beräkna en så kallad ceiling jet används två olika formler beroende på sambandet mellan takhöjden i rummet och avståndet från där flammen når taket ut till mätpunkten. Ekvation 4.36 och 4.37 på sida 74 i Enclosure Fire Dynamics.

Ekvation 1

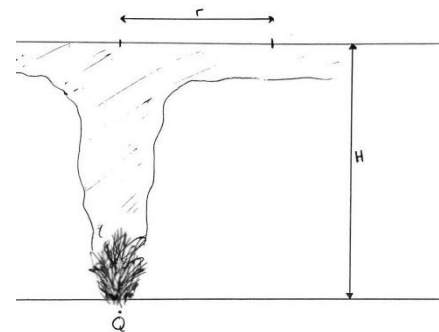
$$T_{max} - T_{omgivning} = \frac{16,9 * \dot{Q}^{2/3}}{H^{5/3}}$$

Gäller för $\frac{r}{h} < 0,18$

Ekvation 2

$$T_{max} - T_{omgivning} = \frac{5,38 * \frac{\dot{Q}^{2/3}}{r}}{H}$$

Gäller för $\frac{r}{h} > 0,18$



Figur 4: Skiss över ceiling jet

T_{max}	Temperaturen vid mätpunkten som valts (r) i taket
$T_{omgivning}$ alt. T_{∞}	Omgivningens temperatur. Inomhus sätts oftast till 20 °C
\dot{Q}	Effekt [kW]
H	Takhöjd i [m]
R	Avstånd från flammans mittpunkt till mätpunkt [m]

3.4.2 Flamhöjd och flamutbredning

Heskestad presenterade ett samband för att bestämma medelflamhöjden av en fritt brinnande brand från bränslets diameter samt bränslets energifrigivning. Ekvation 4.3 på sida 52 i Enclosure Fire Dynamics.

Ekvation 3

$$L = 0,235 * \dot{Q}^{2/5} - 1,02 * D$$

L	Medelflamhöjd [m]
\dot{Q}	Effekt [kW]
D	Bränslets diameter [m]

När en flamma når taket i ett rum kommer ofullständigt förbrända brandgaser sprida sig radiellt och en cirkulär flamma kommer uppstå under taket. Enligt experiment utförda av You och Faeth kan flammans cirkulära utbredning bestämmas enligt följande. Denna formel är menat för en väldigt grov uppskattning eftersom försöken som formeln är baserad på gjordes med små flammor, låg höjd och låg effektutveckling. Ekvation 4.40 på sida 76 i Enclosure Fire Dynamics.

Ekvation 4

$$\frac{r_f}{D} = 0,5 \left(\frac{L - H}{D} \right)^{0,96}$$

r_f	Radiell flamspridning i taket [m]
L	Medelflamhöjd [m]
H	Takhöjd [m]
D	Bränslets diameter [m]

Heskestad och Hamada genomförde experiment med högre effektutveckling (93–760 kW) som gav en formel som kan ge mer realistisk bedömning av flamutbredningen för större flammor. (Karlsson & Quintiere, 2000) Med bakgrund till detta så är det denna formel som kommer användas. Ekvation 4.41 på sida 77 i Enclosure Fire Dynamics.

Ekvation 5

$$r_f = 0,95(L - H)$$

r_f	Radiell flamspridning i taket [m]
L	Medelflamhöjd [m]
H	Takhöjd [m]

3.4.3 Maximal effektutveckling (Bränsle- eller syrekontrollerad brand)

En brand kan inte växa sig oändlig stor. Den teoretiska maximala effektutvecklingen kan uppskattas genom luftflödet in i utrymmet. När det kombineras med andelen syre i luft (23 % massfraktion) och vetskapen om hur mycket syre som behövs för förbränning (13,2 MJ) ges en teoretisk maximal effektutvecklingen för utrymmet. Genom att jämföra resultatet mot den teoretiska möjliga effektutvecklingen från bränslet går det att avgöra om en brand blir bränslekontrollerad eller syrekontrollerad. Gäller för fullt utvecklade brand. Ekvation 5.24 på sida 130 i Enclosure Fire Dynamics.

Ekvation 6

$$Q_{Max} = 0,5 * A_0 * \sqrt{H_0} * 0,23 * 13200$$

\dot{Q}	Maximal effektutveckling [kW]
$A_0\sqrt{H_0}$	Ventilationsfaktor

3.4.4 Strålning

För att få en uppfattning om förhållandena i rummet går det att mäta strålningen från rökgaser. Strålning mäts i kW/m². Oskyddad hud klarar 2 kW/m² i upp till en minut. Vid en strålning på 20 kW/m² självantänder de flesta material. Det är samma nivå då risken finns för övertändning i ett rum och används därför som ett referensvärde.

Ekvation 7

$$q'' = \varepsilon * \delta * T^4$$

q''	Strålning [kW/m ²]
ε	Emissivitet. Antas till 1
δ	Stefan–Boltzmanns konstant. $5,67 * 10^{-8}$ [w/m ² K ⁴]
T	Temperatur [°C]

3.4.5 Övertändning

För att uppskatta när en övertändning sker går det att räkna på vilken värmeeffekt som måste uppnås för att övertändning ska kunna ske. Ekvationen 6.20 på sida 125 i Enclosure Fire Dynamics. H_k räknas fram med formel 6.15 som tar hänsyn till väggmaterialet.

Ekvation 8

$$\dot{Q}_{FO} = 610(h_k * A_T * A_0 * \sqrt{H_0})^{\frac{1}{2}}$$

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}}$$

\dot{Q}_{fo}	Värmeeffekt som krävs för övertändning [kW]
$A_0\sqrt{H_0}$	Ventilationsfaktor
h_k	Ytmaterials termiska egenskap
A_T	Total inre ytarea

h_k	Ytmaterials termiska egenskap
$k\rho c$	Termiska egenskaper [W ² s/m ⁴ K ²]
t	Tiden [s]

3.5 Simuleringsmodeller

Det finns en rad olika simuleringsmodeller. För att genomföra simulering med hjälp av den numeriska metoden CFD, Computational Fluid Dynamics, används datorprogrammet FDS, Fire Dynamics Simulator. Pyrosim har använts för att kunna presentera resultaten visuellt.

3.5.1 CFD

Computational Fluid Dynamics, CFD, är ett sätt att analysera strömningsproblem med hjälp av numeriska metoder. CFD-modeller används inom en mängd olika områden bland annat meteorologi och sjöfartsindustrin. Den vanligaste typen CFD-modellering är med finita volymer som delas upp i ett kubiskt kartesiskt nät med en mängd celler och i varje sådan cell tillämpas konserveringslagar för energi och massa. Mellan cellerna tillämpas randvillkor vilket gör att flöde av olika storheter, såsom flödes hastighet, kan modelleras genom att varje cell representerar ett momentärt tillstånd. Flödesberäkningarna görs framför allt med Navier-Stokes ekvationer. (Malalasekera, 2007)

3.5.2 FDS

Fire Dynamics Simulator, FDS, är en CFD-modell speciellt anpassad för att modellera rökutveckling och värmetransport vid brand. Flödesberäkningar utförs genom att volymen delas in i kubiska beräkningsceller och Navier-Stokes ekvationer tillämpas för varje cell. (K. McGrattan R. M., 2022). För simuleringar i denna rapport har cirka 126 000 celler använts.

För simuleringar har FDS version 6.7.9 använts. FDS har verifierats och validerats enligt *Fire Dynamics Verification Guide* (K. McGrattan S. H., Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 2: Verification, 2022) respektive *Fire Dynamics Validation Guide* (K. McGrattan S. H., Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation, 2022)

3.5.3 Pyrosim

Då FDS inte har någon inbyggd funktionalitet för att kunna grafiskt representera objektet har mjukvara tagits fram för att förenkla uppbyggnaden av geometrier med ett grafiskt gränssnitt. Pyrosim är ett kommersiellt verktyg utvecklat av Thunderhead Engineering som används för att skapa geometrier för simulering samt kontrollera att samtliga parametrar för simulering är korrekta. Uppbyggda geometrier samt inställningar kan sedan exporteras som en indata-fil för FDS. Pyrosim har en mängd övriga funktioner såsom import av geometrier från olika ritningsprogram samt ett inbyggt visualiseringsverktyg för att visa resultaten från FDS-simuleringar. För uppbyggnad av modell används Pyrosim version 2022.3.1208 (Thunderhead Engineering Consultants Inc., 2022)

4 Material för tak och väggbeklädnad

Tak och väggar kan kläs med olika material för att uppnå olika mål. Målet kan vara estetiska så som bröstning eller lister. Det kan även vara för att förbättra inomhusmiljön för att få bättre akustiken.

4.1 Vanliga material i byggnader

Materialen som presenteras är inte alla inte lämpade för att klä väggar eller tak men återfinns som vanliga byggmaterial. Presentationen av materialen i Tabell 8 och Tabell 9 är för att ge en uppfattning vilka brandtekniska egenskaper vanliga byggmaterial har. Presentationen görs i Figra och heat release rate per unit arean, HRRPUA. HRRPUA är materialets effektutveckling per area (kW/m^2). Figra är tillväxthastigheten av brandens Heat Release Rate (W/s).

Tabell 8: Figravärden och total heat release för olika byggmaterial. (Patrick Van Hees, 2002)

Material	Huvudklass	Figra _{0,2}	Figra _{0,4}	THR ₆₀₀ [MJ]
Stenull	A1	10	7	0,35
Gipsskiva	A2	28	6	0,5
Målad gipsskiva	≤B	37	24	0,35
Mineralull med ytskikt	B	60	35	0,35
Tapetserad gipsskiva	C	147	114	1,1
MDF	D	421	421	36,7
Plywood	D	430	430	0,6
Tapetserad spånskiva	D	450	450	31
Spånskiva	D	473	473	33,6
Obehandlat massivt trä	D	592	592	23,9
PVC väggmatta på gipsskiva	D	675	658	23,9
Lackerad tall	D	1212	1212	26
Cellplastpanel	E	1554	1554	19
Polyuretanpanel	E	2019	2019	0,6

Tabell 9: Heat release rate per unit area för olika byggmaterial från testmetod: ISO 5660. FR = Fire retardant. (RISE, 2022)

Material	Trolig brandklass	q ₁₈₀ (kW/m^2)	q ₃₀₀ (kW/m^2)
Mineralull	A1/2	4,2	-
Gips (Målad)	B	17,5	-
Gips (PVT-tapet)	C	40,8	29
Gips (Textil-tapet)	C	50,4	-
Spånskiva (12 mm) FR	D	47,5	41,3
Spånskiva (16 mm) FR	D	22,6	16,7
Spånskiva (79 mm) FR	D	128,3	80,2
Plywood	D	144,3	140,6
MDF	D	179	151,8
Gran (obehandlad)	D	97,3	111,3
Tall (Lackad)	D	104	113

4.2 Ecophon

Företaget Ecophon är tillverkare av olika typ av akustiska lösningar för väggar och tak, kallat absorber. Ecophon jobbar precis som många andra företag med hållbarhet och miljö och som ett led i detta ska Ecophon återvinna gamla absorber. *Vi siktar på att senast år 2025 ha i genomsnitt 55 % återvunnet innehåll i våra absorber* går det att läsa på Ecophons hemsida. Nyttillverkade produkter är brandklassade till A2-s1,d0. Vid återanvändning av kärnan, glasull, så måste nytt bindemedel tillsättas. Den nya produkten innehåller då både det gamla bindemedlet från den återvunna ullen samt det nya, vilket har en negativ inverkan på brandegenskaperna som framgår av brandtester som gjorts av återvunna produkter vid LTH. Resultat från brandtest återfinns under Brandegenskaper för återvunna produkter 4.2.2.

På grund av sekretessbelagd information kommer produkterna, både nyttillverkade och återvunna, att presenteras anonymiserat och med en översiktlig förklaring utan figurer.

4.2.1 Brandegenskaper för nyttillverkade akustiska plattor.

Enligt Ecophon är kärnan av ljudabsorbenterna testade enligt EN ISO 1182, den brandtekniska provningen av en produkt som anses vara ej brännbara. Nyttillverkade ljudabsorbenterna uppfyller i dessa tester kravet för brandklass A2.

Ecophon har delat med sig av testresultat som gjorts vid fyra tillfällen vid RISE. Vid testtillfällena utfördes tester av ett flertal olika konfigurationer av absorber med olika typer av ytskikt vilket påverkade provningsresultaten. För att få en uppfattning av resultat presenteras det i Tabell 10 och Tabell 11.

Tabell 10: Presentation av vilket test samt kortfattat om provkroppen och resultatet

Namn	Test	Om testet
Ny 1	EN 13823 (SBI)	Tre tester genomfördes. Provkroppen består av 7,5 % bindemedel. Initialt i testerna är utvecklingen liknande för alla provkroppar. Skillnaden sker vid 800 sekunder där test 1 får en kraftig stegring i HRR. Efter ytterligare 100 sekunder stiger HRR ännu mer.
Ny 2	EN 13823 (SBI)	Ett test genomfördes. Provkroppen består av 7,8 % bindemedel. Under testet första sekunderar nås en HRR-peak. Den dalar snabbt och håller sig låg genom resterande del av testet.
Ny 3	ISO 5660-1	Ett test genomfördes. Provkroppen består av 7,8 % bindemedel. Under testet första sekunderar nås en HRR-peak. Den dalar snabbt och håller sig låg genom resterande del av testet.
Ny 4	ISO 9705 (RCT)	Gav ej relevant data.

Tabell 11: Resultatet av testerna uttryckt i heat release rate och *Figra*

Namn	Indikerad huvudklass	q_{max} (kW/m ²)	q_{180} (kW/m ²) / q_{300} (kW/m ²)	<i>Figra</i> _{0,2}	<i>Figra</i> _{0,4}	THR ₆₀₀
Ny 1.1				100	100	2,8
Ny 1.2				21	20	1,2
Ny 1.3				21	19	1,1
Ny 2.1				84	29	0,6
Ny 3.1	A2/B	50	8 / 5			1,8

Ny 4.1

4.2.2 Brandegenskaper för återvunna produkter

Återvunna ljudabsorbenterna har testats vid både RISE och vid avdelningen för Brandteknik på Lund Tekniska Högskola, LTH. Tester vid LTH med konkalorimeter har genomförts vid två tillfällen, 2019 och 2022. Testerna utfördes Dan Madsen, doktorand vid avdelning för brandteknik på LTH. Rapportskrivarna medverkade inte vid testerna. Resultatet från testerna är en indikator till vad utfallet skulle bli från ett storskaligt test. Här presenterats kortfattat resultatet från testerna.

Testerna som genomfördes 2019 visar att de återvunna produkterna fick en förutspådd klassificering av A2/B eller C där majoriteten, 71 %, av försöken klassificerades som C, se Tabell 12.

Vid testerna som genomfördes 2022 fick de återvunna produkterna en förutspådd klassificering från A2/B till E eller lägre. Resultatet presenteras i Tabell 13.

Testet visade att det totalt var 76 % av testerna som var i huvudklass C eller lägre. Fördelningen blev A2/B 24 %, C 27 %, D 42 % och E eller lägre 7 %.

Tabell 12: Brandklassfördelning från prov 2019 vid LTH. *Figra 02* är likvärdiga med *Figra 04* genom alla tester. *med* är ett medelvärde för att få en uppfattning var medelvärdet är i spridningen av resultatet.

Huvudklass	Fördelning	Figra	Figra _{medel02}	Figra _{medel04}	THR ₆₀₀	THR _{medel600}
A/B	29 %	0–117	67	66	0,6–5,4	3,8
C	71 %	126–235	170	163	1,8–3,1	6,2

Tabell 13: Brandklassfördelning från prov 2022 vid LTH. *med* är ett medelvärde för att få en uppfattning var medelvärdet är i spridningen av resultatet.

Huvudk.	Fördelning	Figra ₀₂	Figra _{med02}	Figra ₀₄	Figra _{med04}	THR ₆₀₀	THR _{med600}
A/B	24 %	37–107	34	23–52	22	1,8–3,1	1,4
C	27 %	127–687	373	52–236	135	1,8–3,1	6,1
D	42 %	545–1348	867	252–736	494	3,4–6,3	3,6
E	7 %	1698– 2016	1872	1075– 1339	1158	5,8–6,3	6,0

5 Beräkning och simulering

Referensrummet är ett mindre utrymme och är tänkt att representera exempelvis ett kontor med bredden 5 meter, längden 6 meter och takhöjden 2,5 meter. Kontoret får en area på 30 m². Dörren till rummet är 2 meter hög och 0,9 meter bred. In till rummet finns ett fönster med måtten 0,85 x 1,35 meter.

Olika fall utvärderas där olika parametrar förändras. Fallen varieras med brandstorlek i effekt och diameter, brandens placering i höjdlid och om dörrar och fönster är öppna. Antagande har gjorts att öppningarna är antingen helt öppna eller helt stängda.

Antagande som gjorts är att branden har en effektutveckling från 100 kW, som kan motsvara en papperskorg som brinner, upp till 2000 kW som är så stor effekt som en soffa kan utveckla. Genomgående antagande som gjorts i handberäkningarna är att brandens placering är i mitten av rummet. Antagandet görs att inga av rummets övriga ytskikt eller inredning tillför någon effekt till branden.

5.1 Utfall handberäkning

För att beräkna hur stor effekt som kan utvecklas från en brand i referensrummet beräknas den teoretiska maximala effektutvecklingen med Ekvation 6. Det som påverkar den maximala effektutvecklingen är hur stora öppningar som finns till rummet där tre fall har undersökts. Första fallet är dörren och fönstret är stängda och ingen luft kan tillföras branden. Det är alltså endast den luft som redan finns i rummet som kan förbrukas. Andra fallet är att dörren till rummet står öppen och kan ge flöde in i rummet av luft som finns utanför rummet. Sista fallet är att både dörren och ett fönster står öppna. Den teoretiskt maximala effektutvecklingen för de olika fallen presenteras i Tabell 14.

För att få en indikation för när övertändning sker måste antagande av material i rummet göras. Material av omslutande area har antagits vara gips och att branden pågår under 600 sekunder, det vill säga tio minuter. Resultatet ger vid vilken brandeffekt som övertändning uppnås. Det finns således ingen initialbrand med i beräkningen.

Tabell 14: Teoretiskt maximal effektutveckling av handberäkning.

Ventilation	Max effekt (Ekv. 6)	Övertändning sker vid (Ekv. 8)
Ingen	N/A	Uteblir
Öppen dörr	3864 kW	1816 kW
Öppen dörr och fönster	5575 kW	2182 kW

För att få en uppfattning av hur mycket branden påverkar taket måste flammans höjd beräknas. Flamhöjden varierar med brandens effektutveckling och brandbasens diameter. Flamman höjd beräknas med ekvationen 3 för flamutbredning. Flamhöjden ska betraktas som ett medelvärde av var flamman befinner sig över tiden. Resultatet med varierande effekt och diameter presenteras i Tabell 15.

Tabell 15: Flamhöjden baserat på brandens diameter och effekt.

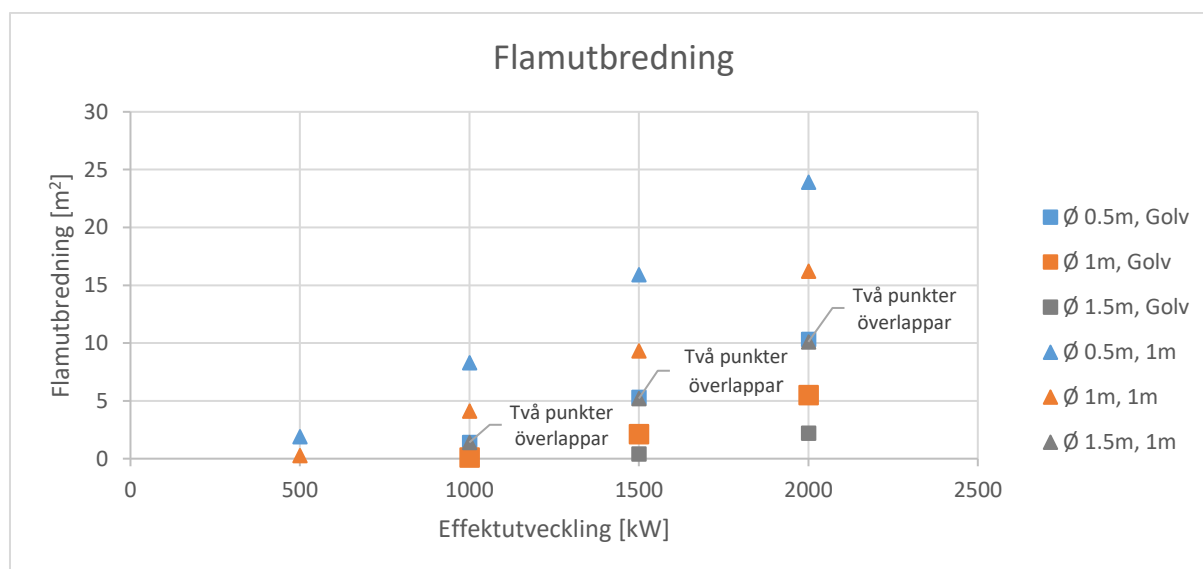
Brandeffekt	Diameter 0,5 meter	Diameter 1 meter	Diameter 1,5 meter
100 kW	0,97 m	0,46 m	-
500 kW	2,3 m	1,8 m	1,3 m
1000 kW	3,2 m	2,7 m	2,2 m
1500 kW	3,9 m	3,4 m	2,9 m
2000 kW	4,4 m	3,9 m	3,4 m

För att få en uppfattning om hur flammans breder ut sig under innertaket och där med påverkan på material som kan vara fäst i taket beräknas flamutbredningen med Ekvation 5. Då brandens placering är i mitten av rummet har antagande gjorts att branden sprider sig i alla riktningar i taket, alltså en cirkulär utbredning. Brandens placering i höjddled sätts till två olika nivåer, golvnivå som kan motsvaras av en brand i en papperskorg och en meter upp från golvet som kan antas vara brand i inredning eller möbel. Resultatet av beräkningarna presenteras med Tabell 16.

Tabell 16: Flamutbredning i m² i taket med avseende på brandens diameter och effekt

Diameter	Brandeffekt	På golvnivå	Andel av takyta	1 meter upp	Andel av takyta
0,5	100 kW				
	500 kW			1,9 m ²	6,3 %
	1000 kW	1,4 m ²	4,7 %	8,3 m ²	27,7 %
	1500 kW	5,3 m ²	17,7 %	15,9 m ²	53 %
	2000 kW	10,3 m ²	34,3 %	23,9 m ²	79,7 %
1,0	100 kW				
	500 kW			0,26 m ²	0,9 %
	1000 kW	0,1 m ²	0,3 %	4,1 m ²	13,7 %
	1500 kW	2,1 m ²	7,0 %	9,3 m ²	31,0 %
	2000 kW	5,5 m ²	18,3 %	16,2 m ²	54,0 %
1,5	100 kW				
	500 kW				
	1000 kW			1,4 m ²	4,7 %
	1500 kW	0,4 m ²	1,3 %	5,2 m ²	17,3 %
	2000 kW	2,2 m ²	7,3 %	10,1 m ²	33,7 %

För att få en uppfattning om hur mycket branden påverkas av placering i höjddled och diametern på branden påverkar flamutbredningen har en enklare analys genomförts där dessa parametrar varieras. Handberäkningar visar på att en brand med liten diameter som brinner vid golvnivå har samma påverkan på flamutbredningen i taket rummet som en brand med stor diameter har på en meters höjd från golvet. Med en effektutveckling på 1000, 1500 och 2000 kW går det i Figur 5 att se att en brand med diameter på 1,5 meter på en meter höjd har samma flamutbredning som en brand med diameter på 0,5 meter som brinner på en meters höjd.



Figur 5: Figuren visar att blå triangel (brand 1 meter upp) och blå kvadrat (brand på golvet) får likvärdig flamutbredning.

Från en brand utvecklas heta brandgaser som ansamlas i taket och breder ut sig över hela takytan. För att få en uppfattning vilken temperatur som uppnåtts i taket används ekvation 2. Kritiskt värde är 600 °C som är kännetecknar en övertändning. Dessa varma brandgaser ger även en återstrålning som påverkar både människor och material i rummet. Med Ekvation 7 kan återstrålningen uppskattas. Kritiskt värde för återstrålning sätts till 20 kW/m² då risk för övertändning är nära.

Temperaturen beror på brandens placering i höjddled samt effektutvecklingen av branden. Beräkningar har gjorts vid två höjdnivåer med varierande effektutveckling, precis som för flamutbredning. Vidare har tre olika mätpunkter i taket använts. Dessa punkter är på avstånd 1, 2 och 3 meter från centrum av plymen. Ingen beräkning har gjorts rakt över branden. Resultatet av beräkningarna presenteras med Tabell 17 och Tabell 18.

Tabell 17: Temperatur och strålningsnivå i taket, på olika avstånd från plymen, vid en brand på golvnivå beräknat med ekv.7

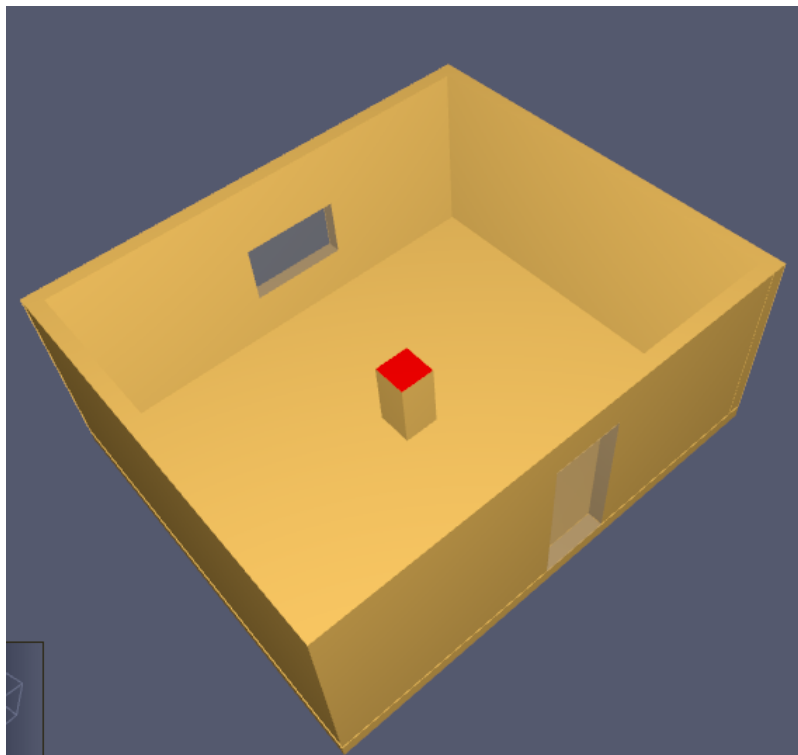
Brand vid golvnivå		
Brandeffekt	Temperatur vid olika avstånd	Återstrålning
100 kW	1m: 66,4 °C	1,1 kW/m ²
	2m: 49,2 °C	0,33 kW/m ²
	3m: 42,3 °C	0,18 kW/m ²
500 kW	1m: 156 °C	>20 kW/m ²
	2m: 105 °C	7 kW/m ²
	3m: 85,2 °C	3 kW/m ²
1000 kW	1m: 235 °C	>20 kW/m ²
	2m: 156 °C	>20 kW/m ²
	3m: 124 °C	13,2kW/m ²
1500 kW	1m: 302 °C	
	2m: 198 °C	>20 kW/m ²
	3m: 156 °C	
2000 kW	1m: 362 °C	
	2m: 235 °C	>20 kW/m ²
	3m: 184 °C	

Tabell 18: Temperatur och strålningsnivå i taket, på olika avstånd från plymen, vid en brand på en meters höjd (Ekv. 7)

Brand 1 meter från golvnivå		
Brandeffekt	Temperatur vid olika avstånd	Återstrålning
100 kW	1m: 97,3 °C	5,1 kW/m ²
	2m: 68,7 °C	1,3 kW/m ²
	3m: 57,1 °C	0,6 kW/m ²
500 kW	1m: 246 °C	>20 kW/m ²
	2m: 162 °C	>20 kW/m ²
	3m: 129 °C	15,5 kW/m ²
1000 kW	1m: 379 °C	
	2m: 246 °C	>20 kW/m ²
	3m: 192 °C	
1500 kW	1m: 490 °C	
	2m: 316 °C	>20 kW/m ²
	3m: 246 °C	
2000 kW	1m: 589 °C	
	2m: 379 °C	>20 kW/m ²
	3m: 294 °C	

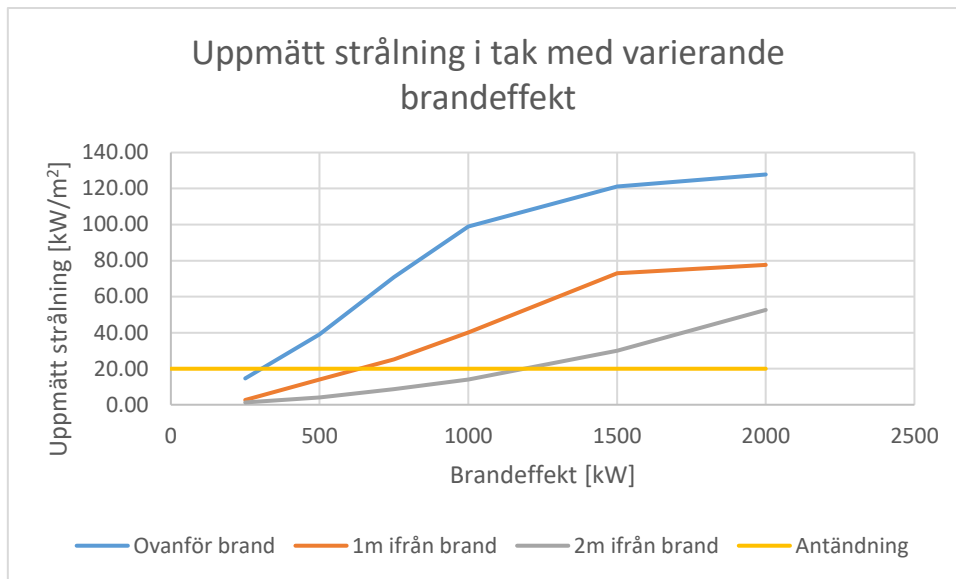
5.2 Utfall datorsimulering

För att utföra simuleringar byggs en modell av rummet upp med samma mått som för handberäkningarna, flera scenario simuleras där öppningarna i rummet varieras. Brandens effektutveckling varieras från 250 kW till 2000 kW och brandens placering varieras mellan utgångsfallet där den placeras mitt i rummet till att vara placerad intill en vägg samt i ett hörn. Brandens placering varieras inte i handberäkningar för ekvationerna är inte giltiga för det. Samtliga av rummets ytskikt modelleras som obrännbara och antas inte tillföra någon effekt till brandförloppet. Mätpunkter för strålning samt temperatur placeras med 1 meters mellanrum i taket samt på 1 meters respektive 2 meters höjd vid samtliga väggar i rummet. Branden placeras på 1 meters höjd med en diameter på 0,5 meter. En cellstorlek om 0,1 meter användes i figuren vilket motsvarar en medium-mesh för det aktuella rummet. Det totala antalet celler uppgår till cirka 126 000. För strålningsberäkningar i modellen användes default-värdena i FDS. I Figur 7 presenteras den uppbyggda modellen av rummet för scenariot där både dörr och fönster är öppna och branden placeras på 1 meters höjd mitt i rummet.



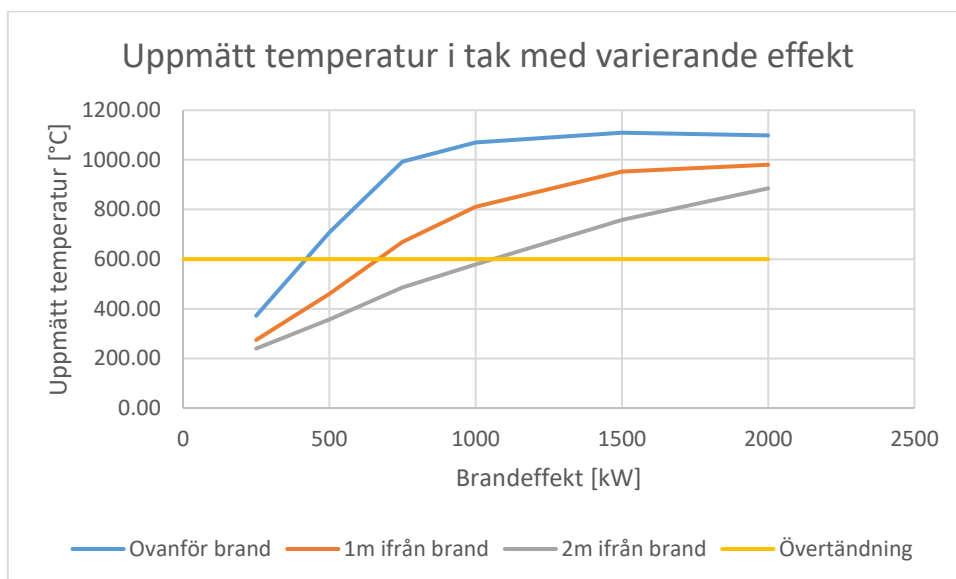
Figur 6. Uppbyggd modell av rummet med dörr och fönster öppna och branden placerad mitt i rummet. Taket har dolts för att visa rummets interiör.

De uppmätta strålningsnivåerna samt temperaturerna i taket jämförs med värdena för antändning och övertändning som presenteras i avsnitt 2.1. I Figur 8 presenteras den uppmätta strålningen mot taket vid olika avstånd från branden då branden placerades mitt i rummet och dörr och fönster var öppna. Det ger en uppfattning var material i taket riskerar att antändas och som senare kan leda till en övertändning.



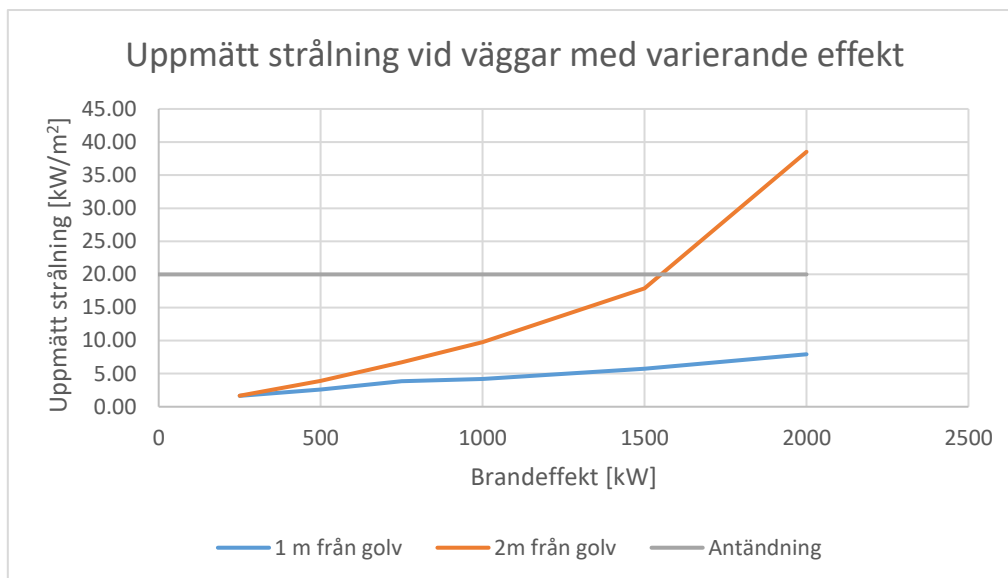
Figur 7. Uppmätt strålning i taket på olika avstånd från branden med varierande brandeffekt.

Den uppmätta temperaturen i taket vid olika avstånd från branden för ovanstående scenario presenteras i Figur 8.



Figur 8. Uppmätt temperatur i taket på olika avstånd från branden med varierande brandeffekt.

Vid de utförda simuleringarna mättes även infallande strålning vid väggarna på 1 meters och 2 meters höjd. De uppmätta värdena presenteras i Figur 9.

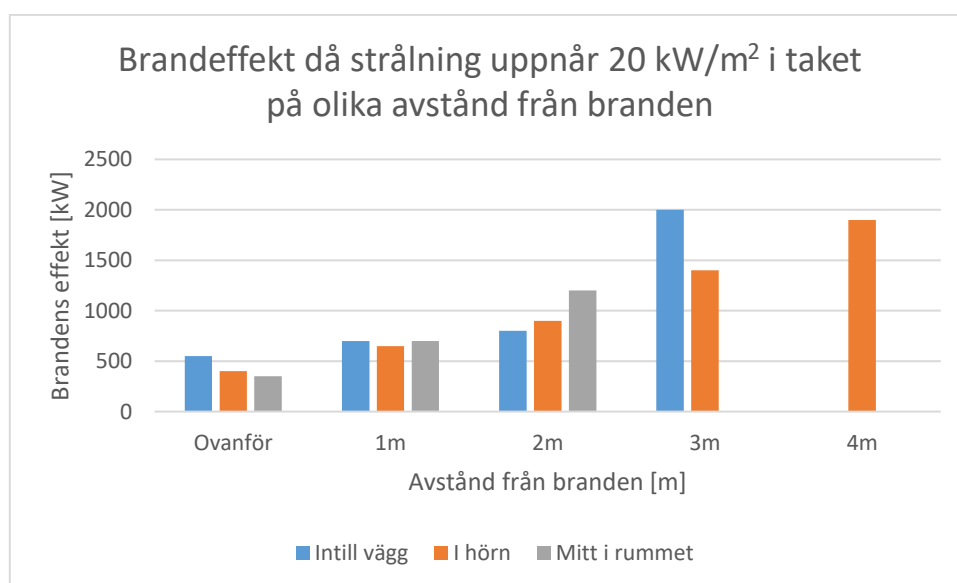


Figur 9. Uppmätt strålning vid väggarna på olika höjder med varierande brandeffekt.

5.3 Känslighetsanalys av brandens placering samt ventilationsöppningar

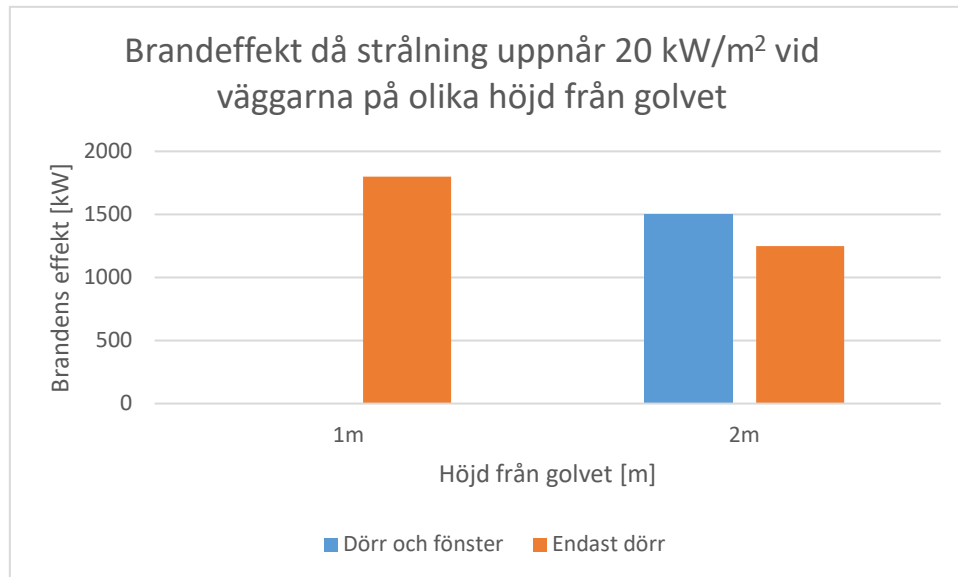
För att undersöka inverkan av brandens placering i rummet samt inverkan av rummets ventilationsöppningar utfördes ytterligare simuleringar där dessa parametrar varierades en i taget. Nedan presenteras en sammanställning av resultaten från dessa simuleringar för att jämföra med tidigare presenterade resultat från simuleringar. För fullständiga resultat från känslighetsanalysen se bilaga A

Brandens placering i rummet varierades från utgångsfallet med branden placerad mitt i rummet till en placering intill en av de öppningsfria väggarna och en placering intill ett hörn i rummet. Den infallande strålningen mättes på olika avstånd från branden i takhöjd samt på två olika höjder vid rummets väggar. Den brandeffekt som krävs för att uppnå en infallande strålning på 20 kW/m² på olika avstånd från branden presenteras i Figur 9. För de avstånd där strålningsnivån inte uppgick till 20 kW/m² presenteras inget värde.



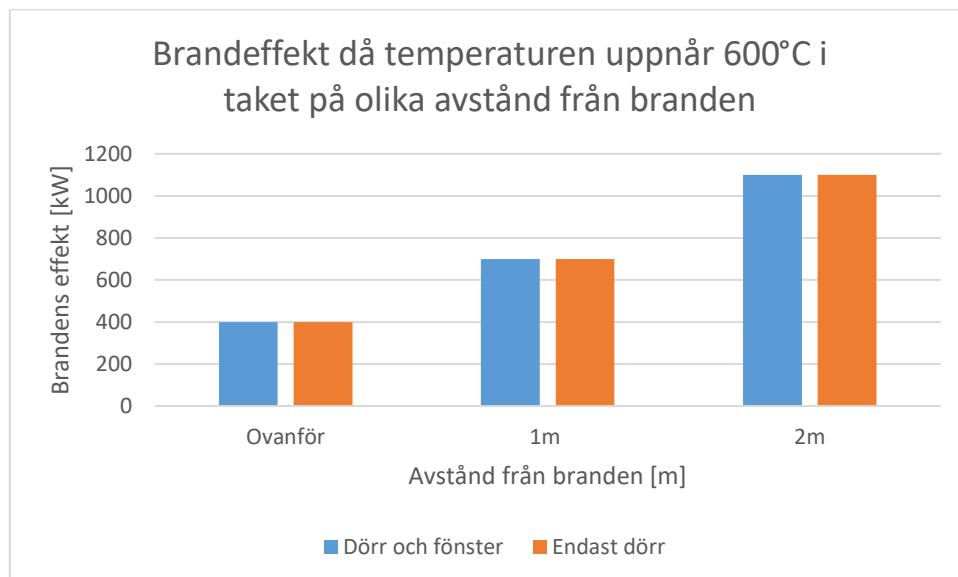
Figur 10. Den simulerade brandeffekten då strålningen uppnår 20 kW/m² i taket på olika avstånd från branden

Rummets ventilationsöppningar undersöktes genom att utföra simuleringar där branden var placerad mitt i rummet och ventilationsöppningarna i rummet varierades från utgångsfallet där både dörr och fönster var öppna till att endast dörren var öppen. Strålning uppmättes vid väggarna på olika avstånd från branden och i Figur 11 presenteras den simulerade brandeffekten som krävdes för att strålningen skulle uppgå till 20 kW/m² vid väggarna på 1m respektive 2m höjd.



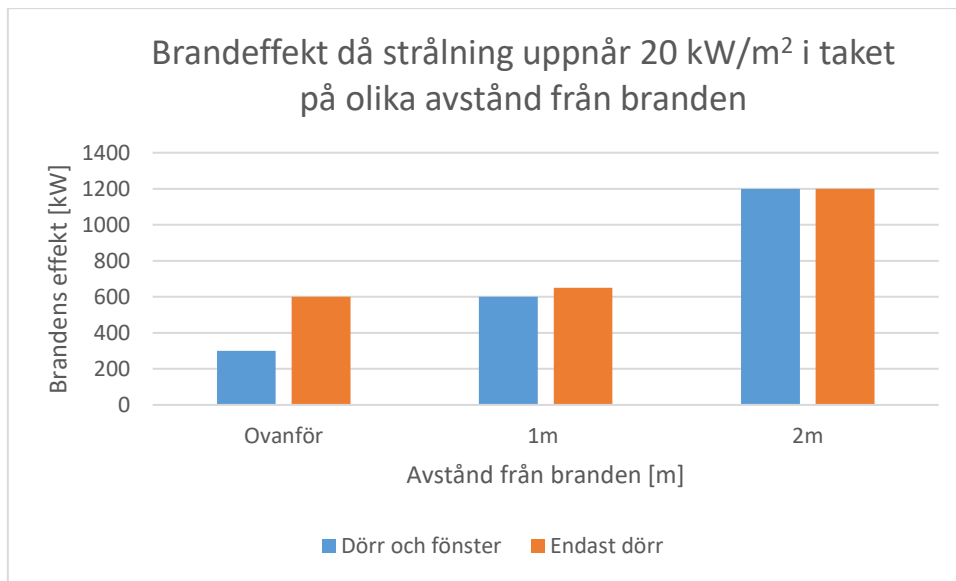
Figur 11. Den simulerade brandeffekten då strålningen uppnår 20 kW/m² vid väggarna på olika höjd från golvet.

I Figur 12 presenteras den simulerade brandeffekt som krävdes för att uppnå 600°C i taknivå på olika avstånd från branden med varierande ventilationsöppningar.



Figur 12. Den simulerade brandeffekten då temperaturen uppnår 600°C i taket på olika avstånd från branden.

Den simulerade brandeffekt som krävdes för att uppnå en strålningsnivå på 20 kW/m^2 i taknivå på olika avstånd från branden presenteras i Figur 13.



Figur 13. Den simulerade brandeffekten då strålningen uppnår 20 kW/m^2 i taket på olika avstånd från branden.

6 Resultat

Tolkning av simulering

I utfallet av simuleringen då branden placeras mitt i rummet och både fönster och dörr antas vara öppna, som presenteras i Figur 7, visar att den infallande strålningen mot taket uppnår 20 kW/m^2 rakt ovanför branden vid en brandeffekt om cirka 300 kW. Vid ett avstånd på 1 meter och 2 meter från branden uppnås värdet på infallande strålning 20 kW/m^2 vid en brandeffekt om cirka 600 kW respektive 1200 kW. Temperaturen i takhöjd för samma scenario presenteras i Figur 8 som visar att temperaturen rakt ovanför branden uppnår $600 \text{ }^\circ\text{C}$ vid en brandeffekt om cirka 400 kW. Temperaturen uppnår $600 \text{ }^\circ\text{C}$ vid ett avstånd om 1 meter och 2 meter från branden vid en brandeffekt om cirka 700 kW respektive 1100 kW.

I Figur 9 presenteras den uppmätta strålningen vid rummets väggar vid 1 meter och 2 meters höjd över golvet. Den infallande strålningen vid väggen på 2 meters höjd uppnår 20 kW/m^2 vid en brandeffekt på cirka 1500 kW medan den infallande strålningen vid 1 meters höjd understiger 10 kW/m^2 vid brandeffekter upp till 2000 kW.

Från resultatet av den utförda känslighetsanalysen för brandens placering som presenteras i figur 11 kan det utläsas att brandeffekten som krävdes för att strålningen skulle uppnå 20 kW/m^2 i taket inte skiljdes nämnvärt för olika brandplaceringar med mätningar gjorda rakt ovanför branden och på 1 meters avstånd från branden. För mätningarna utförda 2 meter från branden krävdes det för en placering intill väggen en brandeffekt om cirka 700 kW, placering i ett hörn en brandeffekt om cirka 800 kW och vid placering mitt i rummet en brandeffekt om cirka 1200 kW. Vid mätningar gjorda 3 meter från branden krävdes vid brandplacering intill vägg en brandeffekt om cirka 2000 kW och vid placering i hörn en brandeffekt om cirka 1400 kW, för brandplacering mitt i rummet uppnåddes inte en strålningsnivå på 20 kW/m^2 på detta avstånd under de utförda simuleringarna, det krävdes alltså en brandeffekt över 2000 kW för att uppnå detta. På 4 meters avstånd var det endast då branden placerades i ett hörn som strålningsnivån uppgick till 20 kW/m^2 och det skedde vid en brandeffekt om 1900 kW.

Det sammanställda resultatet från känslighetsanalysen för rummets ventilationsöppningar presenteras i figur 12–14. I figur 12 visas att den brandeffekt som krävs för att uppnå en infallande strålning om 20 kW/m^2 vid rummets väggar vid 2 meters höjd uppgår till 1500 kW då både dörr och fönster är öppna och 1250 kW då endast dörren är öppen. Vid 1 meters höjd från golvet uppnåddes en strålningsnivå om 20 kW/m^2 bara i det fall då endast dörren var öppen och då vid en brandeffekt om 1800 kW. I taknivå var skillnaden i infallande strålning mellan de båda fallen försumbar.

Resultat från simuleringarna som presenteras i figur 8 visar att en brand med en effekt om cirka 1200 kW skulle leda till antändning av takmaterialet cirka 2 meter från branden. Med en cirkulär utbredning av flaman skulle detta leda till att en area i taket om cirka 12 m^2 antänds. För jämförelse är 20 % av väggarean i det aktuella rummet cirka 11 m^2 , den tillförda effekten av en brand av denna storlek presenteras Figur 15.

De utförda handberäkningarna visar att en brand med en effekt om 1200 kW leda till en cirkulär utbredning om cirka 11 m^2 vilket överensstämmer med det simulerade resultatet.

Tolkning av resultat från handberäkning

Handberäkningarna visar att det syre som finns i rummet, utan att någon ventilation är öppen, räcker till att utveckla en brand på maximalt 1500 kW. Är dörren öppen till rummet kan en brand utveckla nästan 4000 kW och når en övertändning vid 1800 kW. Står även fönstret öppet så kan branden teoretiskt växa

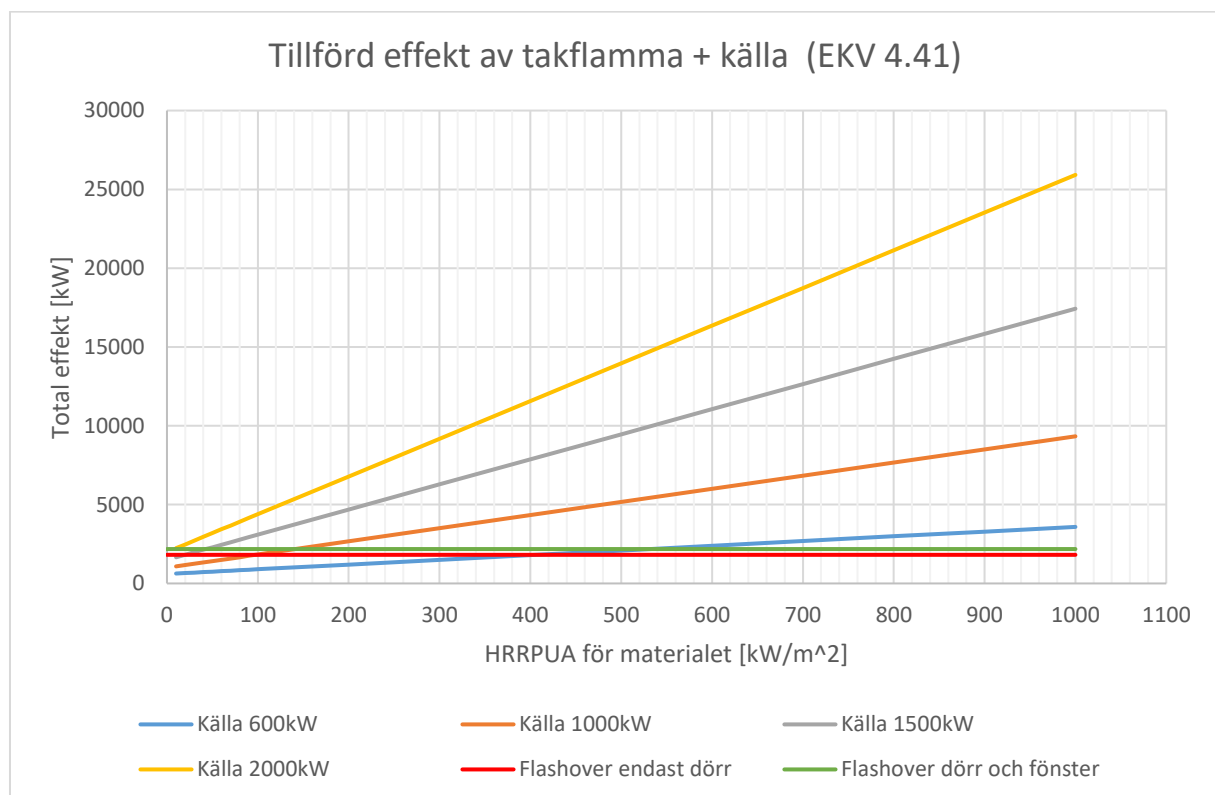
sig väldigt stor på drygt 5500 kW och övertändning sker vid en effektutveckling 2200 kW. Anledningen till att övertändning sker senare beror på att varma rökgaser kan försvinna ut ur rummet samtidigt som kall luft sugas in. Beräkningarna visar att valet på 2000 kW som högsta effektutveckling var passande för att visa det tidiga brandförloppet innan övertändning sker i rummet.

Flammans höjd blir som störst med hög effektutveckling och liten diameter. Det har antagits att branden brinner fritt och inte påverkas av väggar eller möblering som kan tänkas finnas i ett rum. En brand som brinner tätt intill exempelvis en vägg växer sig ännu högre, se avsnitt 2.1 Rumsbrand.

Flammans utbredning i taket påverkas både av flamhöjden och av brandens placering i höjded. Utbredningen varierar från 0 – 5,6 m², alltså kan upp till en sjättedel av takytan kan täckas av flammor.

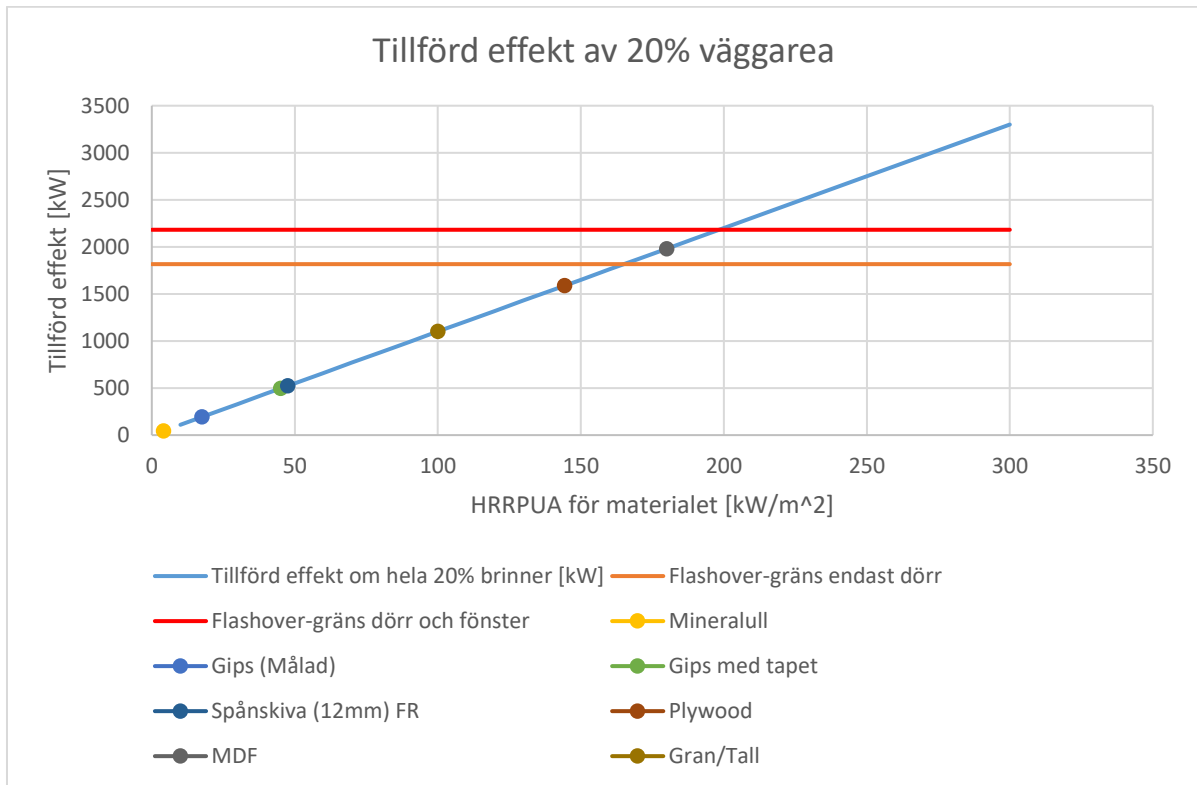
Även om kritiska strålningsnivåer uppnås redan vid små bränder tar handberäkningarna inte hänsyn till när dessa strålningsnivåer inträffar. Värdena ska därför användas varsamt. För bränder i golvnivå varierar temperaturen i taket från 66 °C upp till 362 °C. När brandbasen är en meter ovanför marken är temperaturspannet mellan 57 – 589 °C vilket är strax under det kritiska värdet på 600 °C.

För att få en uppfattning av vad takytskiktet kan tillföra ett brandförlopp antas att materialet som täcks av flammen avger full effektutveckling. Figur 14 visar vad den totala effektutvecklingen blir om branden tillförs effektutveckling från ett fiktivt material med en varierande effektutveckling. I figuren finns även de kritiska nivåerna för övertändning. Antagande om branden är att den brinner på 1 meters höjd och har en basdiameter på 0,5 meter. Det går att avläsa att en brand på 1000 kW når kritisk gräns om ytskiktet i taket består av ett material med en HRRPUA på 100 kW/m² medan en brand på 600 kW inte når en kritisk nivå förrän om ytskiktet består av ett material en HRRPUA på 400 kW/m². Observera att detta gäller material i taket som omfattas av flammen, inte övrigt material som kan tänkas finnas i rummet.



Figur 14: Visar vad den totala effektutvecklingen blir med tillförd effekt från takflammen inklusive effektutveckling från källbranden

Liknande resonemang går att föra kring material på väggar. Då nås en kritisk nivå om ytskiktet har en HRRPUA mellan 150 – 200 kW/m². Material med dessa värden på HRRPUA är olika typer av träskivor som Plywood och MDF.



Figur 15: Blå linje visar tillförd effekt av ett material på 20 % av väggarean. Punkterna visar var olika material hamnar.

Var absorber från Ecophon placeras sig på linjen är inte helt lätt att säga eftersom absorberna inte har testat för HRRPAU. Ett sätt skulle kunna vara att titta på Figra för absorber och olika byggmaterial för att på så sätt koppla samman nivåerna. Under avsnitt 4.1 finns värden för vanliga byggmaterial. I avsnitt 4.2.1 och 4.2.2 finns värden för nytillverkade och återvunna absorber.

Nyttillverkade absorber har ungefär samma Figravärden som mineralull. Återvunna absorber återfinns i alla huvudklasser. Den största delen på drygt 40 % av återvunna absorber har ett medelfigra som motsvaras av träfiberskivor som plywood, MDF och spånskiva. För det bättre återvunna absorberna, runt 25 % av de som testades vid LTH har liknande Figravärden som mineralull. Nästan 30 % av återvunna absorber har ett medelfigra som motsvarar målad gippskiva. Av de sämst presterande återvunna absorberna har ungefär samma Figravärde som cellplast.

7 Diskussion

Det finns en rad faktorer som påverkar hur omfattande en brand kommer att utvecklas till. Rummets storlek och geometri, tillgång till luft och tillförsel av syre till rummet, brandens placering och material som finns i rummet är några faktorer som har stor inverkan. Det är därför inte helt lätt att förutse hur brand beter sig. Det ska poängteras att både handberäkningar och simuleringar omfattas av förenklingar och antagande. Resultat ska därför inte ses som absoluta snarare som en indikering.

En snabb återblick till de brandtekniska klasserna. Material kan klassas från A – F, där A är bäst och E är sämst. F är material som inte når upp till kraven för E. Kravet för Br1-byggnader är att ytskiktet i tak ska ha minst brandteknisk klass B och på väggar är kravet minst C. Undantag får göras av upp till totalt 20 % av ytan av tak och väggar tillsammans som får kläs i som lägst D.

Från resultatet av handberäkningarna som presenteras i figur 15 gick det att se att väggar klädda i träskivor når en kritisk nivå om det sätts på 20 % av väggarean i referensrummet. Detta ger stöd åt den bedömningen av procentsatsen som återfinns i BBR. Det kan tänka sig att på den tiden tänkte man sig en väggbeklädnad av träpanel så kallad bröstning. Trä sätts till brandklass D och det är också minimumkravet som måste uppfyllas av väggar. Att ha ett sämre klassat eller helt oklassat material på väggarna hade sannolikt medfört en ökad risk för personer som kan tänkas vistas i lokalen i händelse av brand. Detta gäller även om procentsatsen hade höjts eller plockats bort helt. Simulering av brand visar att antändning av vägg är svårt genom endast infallande strålning som i ett fall där en brand brinner mitt i rummet. För att väggytan ska antändas måste branden vara intill väggen eller ha en hög effekt enligt simuleringarna. Vidare visar den utförda känslighetsanalysen för brandens placering att en brand placerad intill en vägg eller i ett hörn, vilket gör att antändning av väggmaterialet sker tidigare, även leder till en ökad utbredning av flamman i taket.

Resultat från både handberäkningar och simuleringar visar att en brand snabbt får stor utbredning i taket. Handberäkningar visar att brand med en effekt på 1200 kW ger en utbredning i taket som täcker 12 kvadratmeter. Resultatet från handberäkningar liknar resultatet från simuleringar som visar att en brand mitt i rummet måste ha en effekt på minst 1500 kW för att antända väggens ytskikt, presenteras i figur 11. Den stora utbredningen i taket gör att rummet som helhet snabbt omfattas av branden. Det är därför av största vikt att material i taket inte ytterligare bidrar till en snabb brandspridning. Det går att koppla till att det är hårdare krav för tak i Boverkets byggregler.

Var branden är placerad i rummet kommer ha en stor påverkan på brandförloppet och samtidigt hur mycket ytskiktet bidrar. Brandens diameter påverkar rummets ytskikt på olika sätt. En brand som brinner med en liten diameter kommer ge en högre flamhöjd och större spridning i taket jämfört med en brand med samma effektutveckling med en större diameter. Branden med större diameter kommer påverka större del av väggytan i fallet då branden placeras nära väggen men den större diametern leder till en lägre flamhöjd.

Rummets ventilationsöppningar kommer påverka brandförloppet på flera sätt. Dels genom den tidigare storleken av öppningarna vilken påverkar hur mycket syre som kan tillföras branden, dels placeringen av ventilationsöppningarna. Exempelvis kommer en ventilationsöppning placerad högt upp på väggen eller i taket ge tidigare utströmning av varma brandgaser än en ventilationsöppning placerad långt ner på väggen.

En tanke är att material av sämre brandteknisk klass med avseende på effektutveckling ska kunna varieras med högt brandtekniskt klassat material och på så sätt nå en nivå som uppfyller brandskyddskraven. Då ska inte den topp av effektutveckling som initialt nås vara så hög att branden snabbt sprider sig och får en kedjeffekt över hela takytan. Hur utfallet blir av att variera material är

svårt att bedöma med hjälp av handberäkningar och simuleringar. Ett möjligt sätt skulle kunna vara att genomföra brandtester i room corner test för att sedan eventuellt göra större tester i verklig skala, exempelvis brandbodarna i Revinge. Dock är detta både dyrt och tar mycket tid men skulle kunna vara intressant för att se hur en brand verkligen beter sig. skala upp och göra fullskaletest.

En viktig aspekt kring ytskikt är materialets rökgasproduktion och droppbenägenhet. Rapporten har endast tittat på brandutvecklingen för olika material. Ett material som bidrar mycket till rökgasproduktion kan försvåra på flera sätt bland annat en utrymning. Ett material som har hög droppbenägenhet kan orsaka en snabb brandspridning, speciellt om materialet sitter i taket. Det är av största vikt att dessa är med i en bedömning av lämplighet till att klä väggar och tak. En framtida studie borde inkludera rökgasproduktion och droppbenägenhet.

Vad det gäller Ecophons återvunna produkter går att utifrån tester från LTH att se att produkterna just nu skiljer sig brett i vad det gäller brandtekniska egenskaper, se Tabell 12 och Tabell 13 på sida 17. Resultatet från testerna visar att återvunna produkter är möjliga att använda. Dock begränsas användandet då resultatet av testerna visar att ungefär hälften klassas som D eller lägre och därmed omfattas av regeln om 20 %. Vidare går det att se att vissa återvunna produkter i det tidiga brandförloppet har dåliga egenskaper men som strax efter i förloppet stabiliserar sig och får värden som kännetecknar goda brandegenskaper. Detta skiljer sig exempelvis från trä och träprodukter som under en längre tid har en hög effektutveckling.

8 Slutsats

Utifrån handberäkning och simuleringar görs bedömningen att dagens föreskrifter inte bör ändras till att tillåta en lägre brandteknisk klass på ytskiktet, eller att en större yta ska tillåtas täckas i en lägre brandteknisk klass. Ytskikt i tak har en större inverkan på brandförloppet än ytskikt på en vägg och bör därför ha högre klass.

Det talar starkt för att värdet på 20 % som återfinns i Boverkets byggregler har gissats fram genom ingenjörsmässig bedömning. Det finns enligt Boverket ingen forskning bakom kraven. Alltså finns inte heller några kritiska nivåer för kraven i BBR, som var en del av frågeställningen. Det bör lyftas att resultat från handberäkning pekar på att ett ytskikt av träskivor på 20 % av väggarean korrelera till att kritiska nivåer uppnås.

Det ska poängteras att avgränsningarna i rapporten innebär att hänsyn endast tagits till brandens spridning på ytan samt effektutveckling för de olika ytskiktmaterialen, ingen hänsyn har tagits till materialets benägenhet att droppa, rökbildning eller flamspridning från avfallande delar. Dessa parametrar påverkar även materialets klassificering och kan påverka brandförloppet. Beräkningarna i rapporten har även begränsats till en bestämd rumsstorlek vilket leder till att resultat endast kan påvisas gälla för den aktuella rumsstorleken. I vidare studier kan en analys av variation i rummets storlek och geometri utföras.

9 Framtida studier

Förslag på framtida studier och försök.

- **Nya tester med konkalorimeter för att få värde på heat release rate.**
Få tester har gjorts för att få ut heat release rate och testerna som gjorts är snart tjugo år gamla. Nya tester med ett brett urval av dagens byggmaterial bör göras.
- **Tester där nytillverkade och återvunna produkter från Ecophon blandas**
Genomföra tester, tex room corner test för att sedan skala upp till fullskaleförsök där produkterna testas var för sig och där de blandas för att få en uppfattning av hur detta påverkar materialens brandegenskaper.
- **Titta på brandgasproduktion och droppbenägenhet.**
Kan ett sämre brandtekniskt klassat material även tillåtas ha sämre klassning med avseende på rökgasproduktion och droppbenägenhet?
- **Förändra rummets storlek och geometri**
Storlek på rum och dess geometri har stor inverkan på brandförlopp. Hur blir resultatet i korridorer eller stora rum som exempelvis kontorslandskap, klassrum eller aula?
- **Hur ser svenska brandskyddsregler ut jämfört med internationella?**
En vidare studie skulle kunna titta på om Sverige har hårdare eller lättare krav än andra länder.

10 Referenser

- Bengtsson, L.-G. (2013). *Inomhusbrand*. Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB).
- Boverket. (1988). *Boverkets Nybyggnadsregler (Föreskrifter och Allmänna Råd)*.
- Boverket. (1993). *Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd)*.
- Boverket. (2011). *Boverkets Byggregler, BBR 19 - BFS 2011:26*.
- Boverket. (2019). Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/brandklasserd-for-ytskikt/>
- Brandprovning enligt EN ISO 1182. (2022). Hämtat från RISE: <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/tjanster/brandprovning-enligt-en-iso-1182>
- Byggnadsklass och verksamhetsklasser. (2020). Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/byggnadsklass-och-verksamhetsklasser/>
- Canadian Commission on Building and Fire Codes. (2020). *National Building Code of Canada*.
- D.Drysdale. (1985). *An Introduction to Fire Dynamics*.
- Europeisk brandklassning av byggprodukter och konstruktioner enligt EN 13501. (2022). Hämtat från Rise: <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/europeisk-brandklassning-av-byggprodukter-och-konstruktioner-enligt-en-13501>
- Hurley, M. J. (2016). *SFPE Handbook of Fire protection engineering (Vol. fifth)*. .
- K. McGrattan, R. M. (2022). *Fire Dynamics Simulator User's Guide*. National Institute of Standards and Technology.
- K. McGrattan, S. H. (2022). *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 2: Verification*.
- K. McGrattan, S. H. (2022). *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation*.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure fire dynamics*.
- KIM, H.-J., & LILLEY, D. (2000). HEAT RELEASE RATES OF. *38th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit* (s. 26). Reno, NV: Lilley & Associates.
- Malalasekera, H. K. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*.
- Patrick Van Hees, T. H. (2002). *Development of a Screening Method for the SBI and Room Corner using cone calorimeter*. Borås: Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.
- RISE. (2022). Hämtat från Brandprovning enligt EN ISO 1182: <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/tjanster/brandprovning-enligt-en-iso-1182>
- Statens Planverk. (1967). *Svensk Byggnorm 67*.
- Sundström, B. (2001). *Euroclass i svensk byggnorm*. Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.
- Svenska Institutet för Standarder. (2022). *Svensk Standard SS-EN 13823:2020+A1:2022*.
- Särdqvist, S. (1993). *Initial Fires*. Lund: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety,.

Thunderhead Engineering Consultants Inc. (2022). *PyroSim User Manual (Version 2022.2)*.

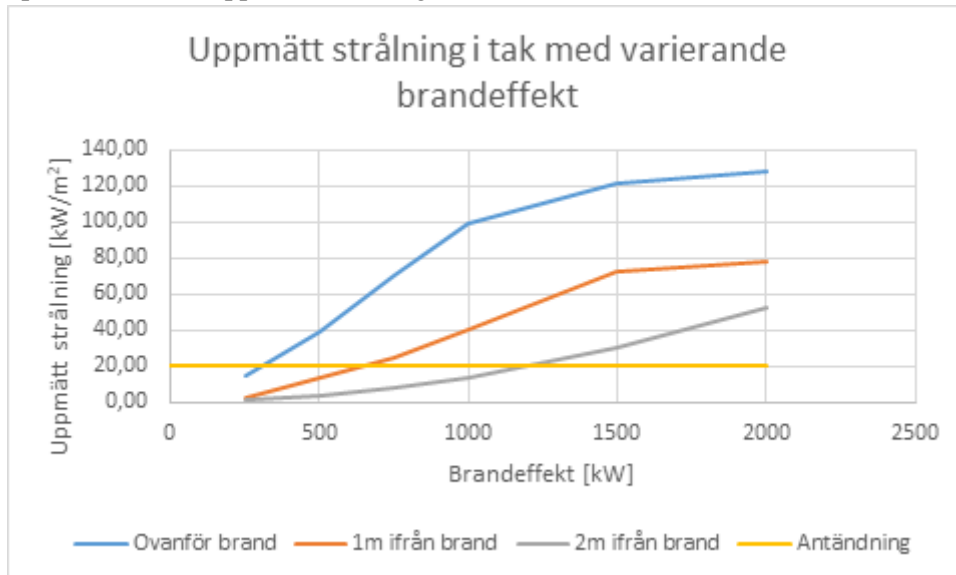
Walton, W. T. (2016). *Estimating Temperatures in Compartment Fires*. In: , et al. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*.

Bilaga A

Känslighetsanalys datorsimuleringar

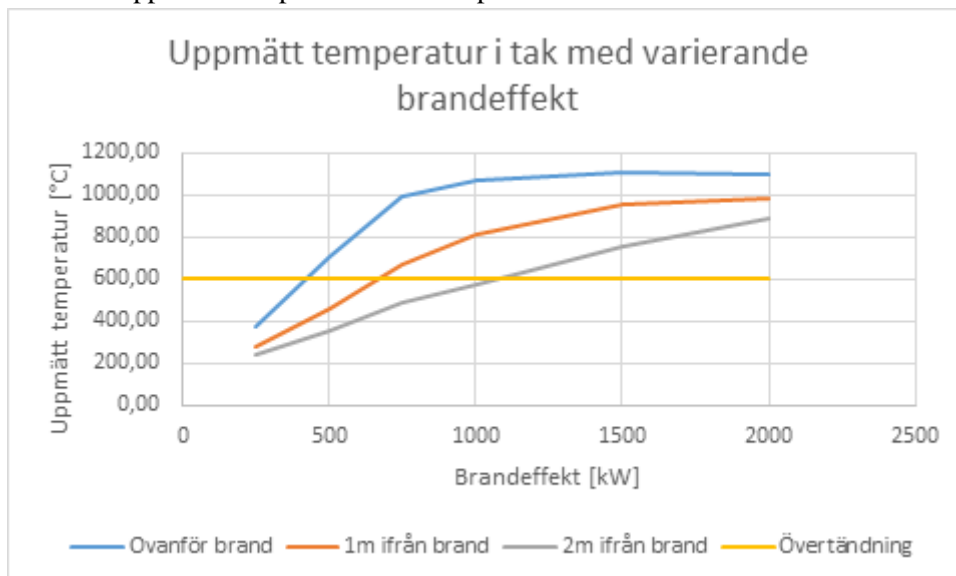
För att undersöka inverkan av ventilationsöppningarna på branden utfördes simuleringar där fönstret stängdes och endast dörren var öppen. Resultat för detta scenario presenteras nedan

I Figur A 1 presenteras den uppmätta strålningen i taket vid olika avstånd från branden



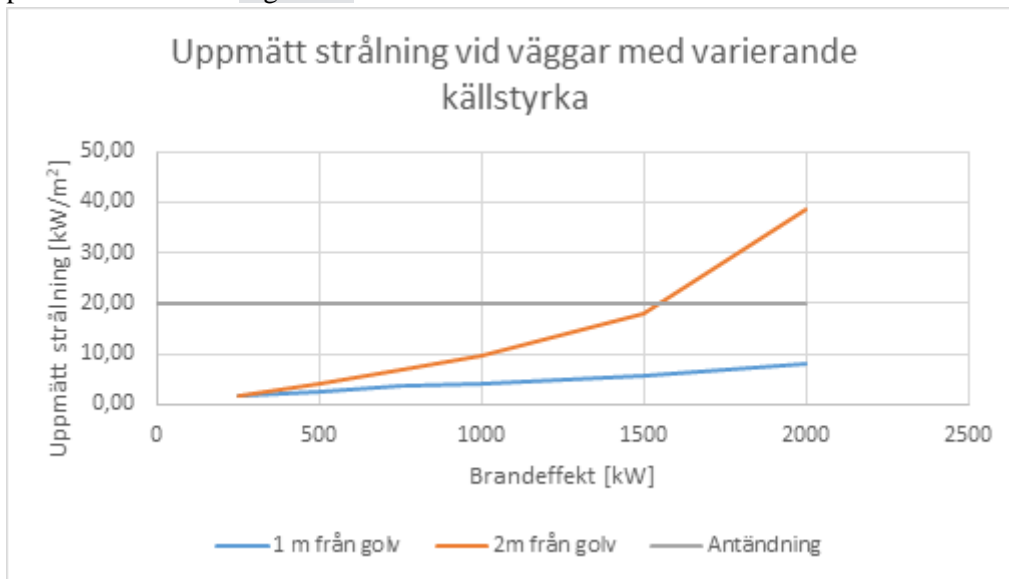
Figur A 1. Uppmätt strålning i taket på olika avstånd från branden med varierande brandeffekt.

Figur A 2 visar den uppmätta temperaturen i taket på olika avstånd från branden



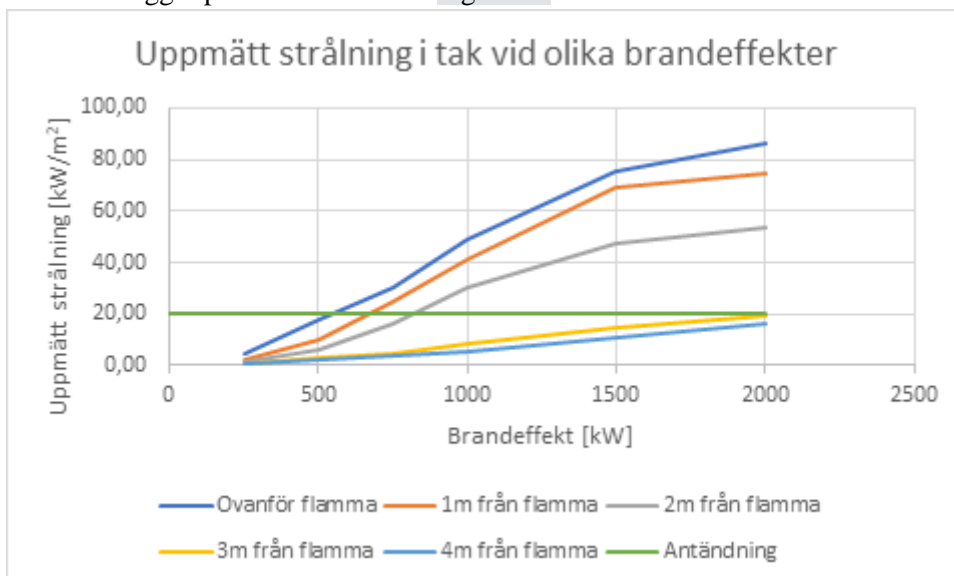
Figur A 2. Uppmätt temperatur i taket på olika avstånd från branden med varierande brandeffekt.

Strålning mättes även för detta scenario vid väggarna på 1m och 2m höjd. De uppmätta värden presenteras nedan i **Figur A 3**.



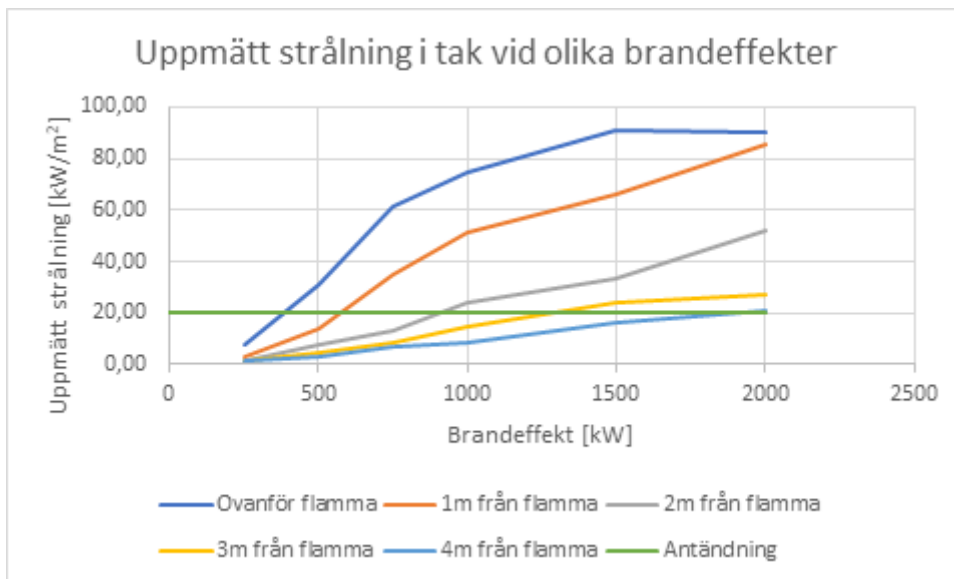
Figur A 3. Uppmätt strålning vid väggarna på olika höjder med varierande brandeffekt.

Simuleringar utfördes för att undersöka inverkan av brandens placering i rummet. Branden placerades intill en öppningsfri vägg respektive i ett hörn. Resultat från dessa simuleringar presenteras nedan. Den uppmätta strålningen i taket vid olika avstånd från branden då branden placerades intill en av rummets väggar presenteras nedan i **Figur A 4**.



Figur A 4. Uppmätt strålning i tak vid varierande brandeffekt då branden placerades intill en vägg

I figur A 5 nedan presenteras den uppmätta strålningen i taket då branden placerades i ett hörn.



Figur A 5. Uppmätt strålning i tak vid varierande brandeffekt då branden placerades i ett hörn.