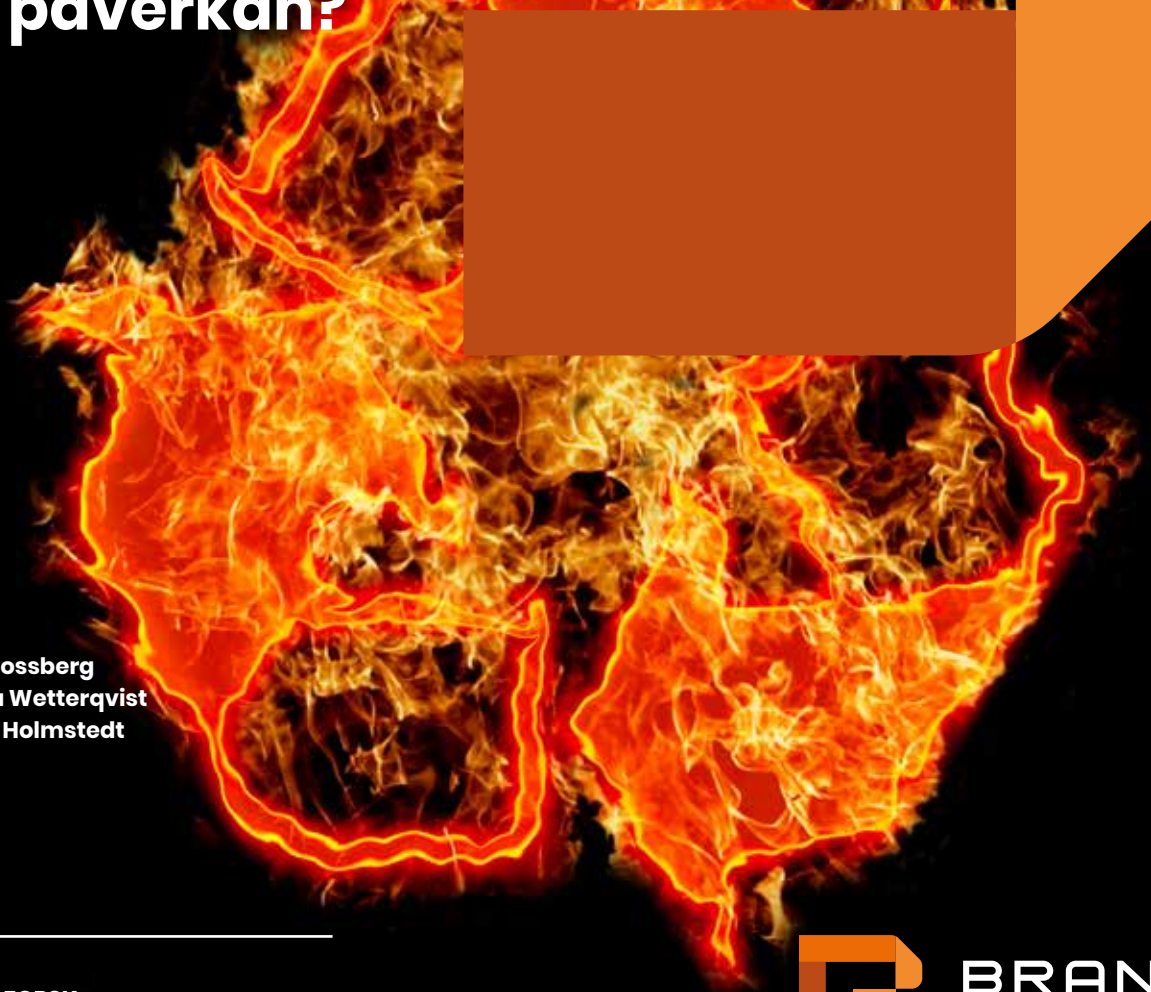
# Brand som faktor i livscykel-analys- Hur påverkar risken för brand byggnaders klimat-påverkan?



**Axel Mossberg**
**Cecilia Wetterqvist**
**Louise Holmstedt**

**BRANDFORSK**
2023:5

BRAND FORSK

# Referensgrupp

**Alexander Elias, Brandskyddslaget**
**Anders Berqvist, Stora Bjurum**
**Anders Johansson, Boverket**
**Carl Pettersson, RED Fire Engineers**
**Caroline Bernelius Cronsioe, Briab**
**David Albinsson, Owens Consulting**
**Grunde Jomaas, Slovenian National Building and Civil Engineering Institute (ZAG)**
**Johanna Andersson, IVL Svenska Miljöinstitutet**
**Leif Andersson, Protega**
**Ludvig Dahlqvist, NCC**
**Malin Niklasson, Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB)**
**Martin Johansson, RED Fire Engineers**
**Margaret McNamee, Lunds Tekniska Högskola (LTH)**
**Mattias Delin, Brandforsk**
**Pierre Palmberg, Langebaek**

Denna rapport utgör ett slutligt arbetsmanuskript för det rubricerade projektet. Den officiella projektrapporten, till vilken referens bör ske återfinns på Bengt Dahlgrens hemsida:

**"Brand som faktor i livscykelanalys**
**- Hur påverkar risken för brand byggnaders klimatpåverkan?"**

www.bengtdahlgren.se

**BRANDFORSK**
2023:5

BRAND FORSK

# Sammanfattning

I och med införandet av klimatdeklarationer har byggnaders klimatpåverkan och LCA-beräkningar av denna aktualiserats på senare år. I dagsläget är dessa beräkningar begränsade till att endast omfatta grundläggning, bärande konstruktionsdelar, klimatskärm och innerväggar men på sikt kommer omfattning utvidgas till även installationer i byggnaden. Detta innebär i sin tur att brandtekniska installationer, som skulle kunna ha en begränsande påverkan på klimatpåverkan från bränder, endast kommer bedömas utifrån den klimatpåverkan som genereras av själva installationen.

Genom att utföra ett antal LCA beräkningar för olika typbyggnader har det inom aktuellt projekt utforskats om, och i vilka fall, som risken för brand, det vill säga sannolikheter för, och konsekvensen av en brand, bör vara en faktor att beakta i en byggnads LCA. Inom projektet har det studerats vilka effekter som det har på byggnaders klimatpåverkan om brandrisk räknas in. De byggnadstyper som studerats är småhus, flerbostadshus, skolor, kontor, handelsbyggnader och förskolor.

Resultaten från den genomförda studien visar att brandrisken kan ge ett betydande tillskott till en byggnads beräknade klimatpåverkan vid en LCA-beräkning i enlighet med metoden för klimatdeklarationer. Brandriskens tillskott till byggnadens klimatpåverkan varierar för olika byggnadstyper men är i grundfallet mellan 1,5–44,2 % (6–163 $kgCO_2e/m^2$) av det referensvärde som byggnadstyperna har enligt Boverkets rapport för underlag till klimatdeklarationerna. Det kan alltså konstateras att brandrisk är en faktor som bör beaktas och inarbetas i en byggnads klimatberäkning.

I den aktuella rapporten studeras även effekterna av sprinklersystem, där det konstateras att sprinklerinstallation för flera av byggnadstyperna är en åtgärd som minskar byggnadens klimatpåverkan över en livscykel. För skolor och handelsbyggnader reduceras brandriskens klimatpåverkan med 77–88 % av en sprinklerinstallation och det har även stor effekt på den totala klimatpåverkan som byggnaden får om brandrisken inkluderas i beräkningen. Dessa reducerande effekter riskerar alltså att ”missas” om sprinklerinstallationer endast tillskrivs den klimatpåverkan som tillförs i och med installationen av systemet. Motsvarande situation skulle även kunna vara aktuell för andra skyddssystem, även om sprinkler är det enda system som explicit studerats i rapporten. Situationen kan jämföras med den som diskuteras gällande solceller i rapporten som ger underlag till Boverkets referensvärden för klimatdeklarationerna, i och med att det även där handlar om en initial klimatpåverkan för att installera system som sedan skulle kunna innebära minskad klimatpåverkan under byggnadens driftsskede.

Utöver ovanstående har även effekterna av olika produkt- och stomval studerats i rapporten, där det kan konstateras att ju lägre klimatpåverkan byggnadens konstruktion har, desto lägre klimatpåverkan fås också av brandrisken. Dock minskar inte klimatpåverkan av brandrisken i samma omfattning som byggnadens totala klimatpåverkan gör vid mer klimatsmarta val, vilket innebär att den procentuella andelen av byggnadens totala klimatpåverkan som kommer av brandrisken ökar när klimatpåverkan från byggnadsmaterialen minskar. Ju bättre branschen blir

på att producera byggnader med låg klimatpåverkan, desto viktigare blir alltså brandrisken att beakta som del av byggnadens totala klimatpåverkan i livscykeln.

Vidare studeras även effekterna av utökad livslängd på LCA-beräkningarna och där konstateras det att ju längre livslängd som beaktas i beräkningen, desto större blir den klimatpåverkan som kommer av brandrisken. I och med att byggnadens klimatpåverkan i övrigt antas minska med längre livslängder så innebär även denna faktor att brandriskens procentuella andel av den totala klimatpåverkan som ges av byggnaden avsevärt ökar med utökade livslängder.

Studiens resultat bedöms kunna ligga till grund för att föra dialog kring, och utveckla, de ramverk som Boverket, och andra miljöcertifieringssystem, har som kravställning kopplade till byggnaders totala klimatpåverkan under sin livscykel.

# Förord

Den här rapporten utgör slutrapport i forskningsprojektet Brand som faktor i livscykelanalys – En studie för att undersöka livscykeleffekter av brand och brandskydd i olika byggnadstyper. Projektet är finansierat av Brandforsk under projektnummer 323-004. Projektet har även finansierats av egna insatser från Bengt Dahlgren. Rapporten är upprättad av Axel Mossberg, Cecilia Wetterqvist och Louise Holmstedt. Samtliga vid Bengt Dahlgren.

Med projektet är författarnas förhoppning att risken för brand, och skydd för att minska skadorna vid brand, ska få en större plats i diskussionen om byggnaders klimatpåverkan. Idag diskuteras brand och dess påverkan som en separat faktor, skilt från en byggnads klimatpåverkan. Brand- och brandskyddseffekter ingår i dagsläget inte i några miljöcertifieringssystem eller i de lagstadgade klimatberäkningarna som ska göras för nya byggnader. Förhoppningen är att denna rapport kan bidra till att brandskydd ges en mer korrekt bild i sådana beräkningar och system.

Utöver arbetsgruppen var även projektets referensgrupp en viktig del av projektets framgång. I referensgruppen ingick:

- Alexander Elias, Brandskyddslaget
- Anders Berqvist, Stora Bjurum
- Anders Johansson, Boverket
- Carl Pettersson, RED Fire Engineers
- Caroline Bernelius Cronsioe, Briab
- David Albinsson, Owens Consulting
- Grunde Jomaas, Slovenian National Building and Civil Engineering Institute (ZAG)
- Johanna Andersson, IVL Svenska Miljöinstitutet
- Leif Andersson, Protega
- Ludvig Dahlqvist, NCC
- Malin Niklasson, Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB)
- Martin Johansson, RED Fire Engineers
- Margaret McNamee, Lunds Tekniska Högskola (LTH)
- Mattias Delin, Brandforsk
- Pierre Palmberg, Langebaek

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

BENGT DAHLGREN

# Innehållsförteckning


1 INLEDNING ..... 8

1.1 Syfte och mål ..... 10
1.2 Begränsningar och avgränsningar ..... 10

2 METOD ..... 12

2.1 Genomförande ..... 12
2.2 Litteraturstudie ..... 12
2.3 Metod för att inarbeta brandrisk i LCA ..... 12

3 LITTERATURSTUDIE ..... 14

3.1 Livscykelanalys i en internationell och nationell kontext ..... 14
3.2 Brand som faktor i livscykelanalys ..... 18
3.3 Statistiska underlag för att kvantifiera brandrisk i Sverige ..... 20
3.4 Sprinkler – effektivitet, klimatpåverkan och livslängd ..... 20
3.5 Brandrisk för byggnader med trästomme ..... 23
3.6 Sammanfattande diskussion ..... 25

4 METOD FÖR ATT INARBETA BRANDRISK I LCA ..... 27

4.1 Sannolikhet för brand ..... 28
4.2 Konsekvens av brand ..... 30
4.3 Brandriskens klimatpåverkan ..... 36

5 ANALYS AV BRANDRISK FÖR BYGGNADERS KLIMATPÅVERKAN ..... 37

5.1 Generella resultat ..... 37
5.2 Påverkan av skyddssystem ..... 39
5.3 Påverkan av olika konstruktionsmaterial ..... 42
5.4 Påverkan av byggnadens livslängd ..... 47

6 KÄNSLIGHETSANALYS ..... 51

6.1 Brandfrekvens ..... 51
6.2 Storlek på olika byggnadstyper ..... 52
6.3 Storlek på brandskada för olika byggnadstyper ..... 52

7 DISKUSSION ..... 55

8 SLUTSATS ..... 58

9 REKOMMENDATIONER TILL LAGSTIFTARE OCH MILJÖCERTIFIERINGSSYSTEM ..... 59

10 FÖRSLAG PÅ FRAMTIDA FORSKNING ..... 60

11 REFERENSER ..... 61

# 1 INLEDNING

Brandskydd och dess påverkan på klimatet är en fråga som blivit mer aktuell på senare år. Trots ökad aktualitet har dock olika typer av hållbarhetsaspekter kopplat till brandskydd inte fått genomslag i vare sig lagstiftning eller miljöcertifieringssystem för byggnader. Ett exempel på detta är att de flesta nya byggnader som uppförs sedan den 1/1 2022 har krav på sig att redovisa en klimatdeklaration. I Boverkets klimatdeklarationer ska klimatpåverkan från byggskedet, det vill säga inom modul A1-A5 enligt SS-EN 15978 [1], redovisas. Detta görs normalt genom så kallad Livscykelanalys, LCA.

LCA är en metod för att beräkna en produkts miljöpåverkan under en hel livscykel, det vill säga från det att en naturresurs utvinns, genom förädling till dess att produkten inte längre är i användning och då behöver hanteras som avfall eller på annat sätt. För en byggnad innebär detta att alla ingående material, transporter och liknande ska beräknas i samtliga faser av byggnadens livscykel, det vill säga från byggskede, genom driftskedet till ett rivningsskede. Syftet med LCA-beräkningar av byggnaders klimatpåverkan är att skapa medvetenhet hos byggherren och även möjliggöra medvetna val under projektering, byggande och brukande för att minska detta avtryck [2].

I dagsläget är kraven på vad som ska ingå i en klimatdeklaration relativt begränsade och innefattar endast klimatpåverkan från byggnadens klimatskal och samtliga bärande konstruktionsdelar, exempelvis innerväggar och bjälklag [3]. Byggdelar som ska ingå i klimatdeklarationen kommer dock utökas med tiden och enligt Boverkets färdplan kommer installationer och liknande ingå från år 2027, när även ett gränsvärde för byggnaders klimatpåverkan ska införas [4].

Brand är en faktor som kan ha stor klimatpåverkan både genom direkt påverkan i form av utsläpp under, och efter, branden samt genom behov av att ersätta delar av, eller hela, byggnaden som brunnit [5]. Brandskyddskomponenter som exempelvis sprinklersystem och brandcellsgränser kan även ge en förhållandevis stor klimatpåverkan vid uppförandet av en byggnad, vilket alltså ger negativ påverkan på en byggnads klimatdeklaration, speciellt då omfattningen utvidgas efter 2027. Detta utan att de positiva aspekterna, det vill säga komponenternas påverkan på omfattningen av en eventuell brand beaktas i den LCA-beräkning som görs. Trots att brand alltså är en faktor som i vissa fall kan antas ha en betydande påverkan på klimatet så är det inte en faktor som i nuläget behöver beaktas i de LCA som genomförs.

Att brand inte är en faktor som beaktas i de LCA som genomförs för byggnaders klimatberäkningar idag kan bero på flera faktorer. En viktig faktor är givetvis att kravställningar från både Boverket och andra miljöcertifieringssystem kopplat till att beakta brand saknas. Att

sådana kravställningar saknas kan bero på att brand av sin natur är en händelse med låg sannolikhet, vilket innebär att den ofta förbises. Trots att brand har relativt låg sannolikhet, och därmed inte kommer inträffa många av de byggnader som uppförs, så är det en händelse som kan ge hög konsekvens och i värsta fall kan delar av, eller hela, byggnaden behöva byggas upp igen efter en brand. Detta kan i sin tur innebära att den klimatpåverkan som brandrisken bidrar med till byggnaden fortfarande kan bli betydande, speciellt ur ett samhällsperspektiv. En annan möjlig anledning till att brand förbisetts i de aktuella ramverken/kravställningarna kan vara för att relativt få LCA genomförts där brand beaktats och metodiken för att beakta brandpåverkan inom en LCA för en byggnads klimatpåverkan är därmed inte är etablerad.

Det finns dock utvecklade metoder för att hantera denna typ av beräkning inom en LCA [5]–[7], men tillämpningsexemplen är ofta relativt begränsade och behandlar ofta delar av en byggnad snarare än en byggnad som helhet. I handboken Hållbart Brandskydd [6] finns dock en exempelberäkning för olika brandskyddslösningar i en skola där det konstaterades att en sprinklerinstallation har stor påverkan på den klimatpåverkan som orsakas av branden, samtidigt som systemet i sig innebär en ökad belastning i installationen. Totalt sett minskades dock klimatpåverkan av skolan med ca 36 % om sprinkler installeras enligt beräkningen. Denna reduktion förutsätter dock att risken för brands uppkomst beaktas i beräkningen. Bortses det från risken för brand kommer sprinklersystemet endast öka den klimatpåverkan som byggnaden antas producera i byggskedet, vilket alltså kan ge en missvisande bild. Motsvarande situation skulle kunna vara fallet även för byggnader med olika stommaterial, där brandskyddet kan ge negativ effekt på beräkningen, om risken för brand inte beaktas. Ett exempel skulle kunna vara en byggnad med trästomme, där skydd i form av gips eller sprinkler skulle innebära en oönskad klimatpåverkan vid installation samtidigt som skyddsåtgärderna potentiellt skulle kunna minska byggnadens klimatpåverkan över livscykeln i form av minskade konsekvenser om en brand inträffar.

Liknande beräkningar för just skolor har genomförts inom ett tidigare forskningsprojekt, där möjlig klimatbesparing vid installation av sprinkler i alla skolor i Sverige studerats [8]. Slutsatsen där var att en sprinklerinstallation är klimatmässigt gynnsam så länge som systemet kan antas ha en livstid på ca 8-15 år, beroende på vilken omfattning olika brandskador antogs ge. I beräkningarna beaktades dock inte hur variation av olika stommaterial i skolor påverkar den generella slutsatsen. Det kan alltså finnas skillnad i klimatpåverkan för olika val av byggnadsstomme som inte beaktats i den aktuella beräkningen.

Det bedöms alltså finnas ett behov av att studera brands påverkan på ett antal typbyggnader för att undersöka huruvida denna händelse/faktor kan ha en betydande påverkan på byggnadens totala beräknade klimatpåverkan.

## 1.1 Syfte och mål

Syftet med projektet är att genomföra ett antal klimatberäkningar för olika typbyggnader där brandrisken inkluderas för att se vilken klimatpåverkan som detta kan ge. Vidare är syftet att studera hur olika typer av stomval och brandskyddssystem påverkar typbyggnadernas klimatpåverkan när även brandrisken vägs in i beräkningen. Målet är att genom sådana beräkningar kunna redogöra för huruvida, och i vilka fall, som brandrisk bör vara en faktor att beakta vid beräkning av en byggnads klimatpåverkan.

Målet är att resultatet av projektet kan användas som grund för att utveckla ramverken som Boverket, och andra miljöcertifieringssystem, kravställer kopplade till byggnaders totala klimatpåverkan under sin livscykel. Detta kan potentiellt leda till mer rättvisande beräkningar av byggnaders klimatpåverkan när LCA genomförs.

## 1.2 Begränsningar och avgränsningar

I denna rapport fokuseras på hur sannolikhet för händelsen ”brand” påverkar klimatpåverkan av en byggnad, och huruvida den faktorn bör beaktas avseende vissa verksamheter vid val av brandteknisk strategi för byggnaden. Klimatpåverkan av en brand påverkas av sannolikhet för en brand inom byggnaden samt dess konsekvensområde, återuppbyggnadsbehov och släckinsatsen.

Avseende olika stomval har trä och klimatförbättrade produkter studerats i rapporten. För trä som stomval har även konsekvensen av en brand i en träkonstruktion studerats, då en brännbar stomme skulle kunna förväntas påverka konsekvensområdet av en brand. För klimatförbättrade produktval antas dock konsekvensområdet opåverkat av materialvalet. Sannolikheten för brand har inte antagits påverkas av byggnadens stommaterial.

Klimatpåverkan av en brand omfattar flera olika aspekter, varav vissa är svårare att kvantifiera än andra och har därför bortsetts från inom ramen för denna rapport. Detta innebär att exempelvis klimatpåverkan av räddningstjänstens släckinsats inte har beaktats, vilket innebär att klimatpåverkan från exempelvis ersättning av släckmedel, destruktion av släckmedel, transporter till och från branden samt bearbetning av kontaminerat vatten och jord inte inkluderats i beräkningarna. Inte heller klimatpåverkan av sanering, rivning, destruktion eller liknande efter att en brand har tagits med i beräkningarna. Inte heller klimatpåverkan av rivning, återvinning och deponi av brand-/rökskadade material ingår i beräkningar utförda i denna studie. Samtliga av dessa antaganden innebär en ökning av klimatpåverkan av brandrisk i förhållande till det som beräknats i denna rapport.

Ett omfattande material har studerats inom ramen för utförd litteraturstudie, dock redogörs inte för all litteratur som identifierats på ämnet. I rapporten hänvisas löpande till de rapporter och

utredningar som bedömts ge väsentlig input avseende hur brandrisk kan anses påverka i en LCA, samt hur brand kan hanteras avseende klimatberäkningar.

Då valda indata i möjligaste mån utgår från boverkets referensvärden ska noteras att beräknad klimatpåverkan för olika brandscenarier i denna rapport inte ska ses som explicita för en viss händelse. Ska klimatpåverkan av en brand i en specifik byggnad påvisas erfordras beräkningar som baseras på utformning och brandtekniska installationer i just den specifika byggnaden. Även räddningstjänstens klimatpåverkan vid släckinsats bör beaktas, som nämns ovan. Resultaten i denna rapport ger dock en uppskattning om vilka byggnadstyper där händelsen brand ger signifikant utslag i en LCA och, på något sätt, bör beaktas vid utförandet av LCA.

Beräkningarna begränsas också av tillgänglig statistik och andra underlag, vilket är en begränsade faktors som identifierats i tidigare rapporter och studier som berör ämnet. I stora delar tillämpas medelvärdesbildade data, som exempelvis för klimatpåverkan för att ersätta material i byggnader. Detta är dock en liknande hantering som tillämpas i rapporterna där referensvärden för byggnaders klimatpåverkan tagits fram som underlag för Boverkets kravställningar om klimatdeklaration [9], [10].

# 2 METOD

Nedan redovisas metoden för projektet.

## 2.1 Genomförande

Projektet inleddes med en litteraturstudie. I litteraturstudien studerades olika sätt att genomföra klimatberäkningar för byggnader, hur brand hanterats i olika typer av klimat- och livscykelanalyser tidigare samt vilka statistiska underlag som finns för brandskador och skyddssystem kopplat till brand. Litteraturstudien beskrivs vidare i avsnitt 2.2 och resultatet av litteraturstudien redovisas i avsnitt 3.

Med grund i litteraturstudien diskuterades sedan inom projektgruppen olika sätt att inkludera brand som en del av den LCA som görs för en byggnads klimatpåverkan. Resonemanget kring metodvalet redogörs för vidare i avsnitt 2.3 och metoden redovisas i mer detalj i avsnitt 4.

## 2.2 Litteraturstudie

Litteraturstudien som genomfördes fokuserade på flera områden. Först studerades hur livscykelanalyser har genomförts och genomförs i både svensk och internationell kontext. Sedan undersöktes tidigare forskning där brand inkluderats som faktor på olika sätt i olika typer av livscykelanalyser. Vidare så studerades det statistiska underlaget för brand och brandskador i Sverige och även vilken data som finns tillgänglig för att kvantifiera effekten av olika skyddssystem och byggnadsmaterial kopplat till brandskador och klimatpåverkan.

Litteraturstudien genomfördes delvis genom sökningar på vetenskapliga databaser som Scopus, Web of Science, Google Scholar och liknande. Utöver detta användes även författarnas egna referensbibliotek och input från projektets referensgrupp. Svensk statistik erhölls både via öppna databaser och rapporter från Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB), Statistiska Centralbyrån (SCB), Skolverket, Energimyndigheten med flera. Detaljerad statistik erhölls även via MSB:s statistikdatabas via mailkonversationer med myndigheten. Internationell statistik erhölls via öppna rapporter från bland annat National Fire Protection Association (NFPA) i USA.

## 2.3 Metod för att inarbeta brandrisk i LCA

Med grund i litteraturstudien diskuterades sedan olika sätt att inkludera brandrisk som del av en livscykelanalys för en byggnads klimatpåverkan. Diskussioner fördes både inom projektgruppen och med referensgrupper. Olika metoder/delmetoder testades även i mindre pilotstudier för att se hur brandrisk kunde inkluderas på olika sätt.

Det konstaterades här att metoden bedömdes kunna ge störst nytta om den knöts till den metod för klimatdeklarationer som Boverket infört på nationell nivå. För att kunna införa både sannolikhet och konsekvens av bränder bedömdes uttryck per golvarea för respektive byggnadstyp vara en möjlig tillämpning. Vidare konstaterades det dock att statistiken för både brandskador och omfattning av vissa verksamheter är grov, och för att kunna översätta det in i en beräkning bedömdes ett antal antaganden behöva göras. Dessa antaganden beskrivs vidare i avsnitt 4. Vilken påverkan av skyddssystem och olika byggnadsmaterial medför redovisas även i avsnitt 5.

För att studera effekterna av olika antaganden genomfördes en känslighetsanalys. Denna känslighetsanalys redovisas i avsnitt 6.

# 3 LITTERATURSTUDIE

Nedan redovisas den litteratur som övergripande studerats i projektet. 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 Livscykelanalys i en internationell och nationell kontext

Livscykelanalys (LCA) är ett verktyg för att systematiskt kartlägga vilken påverkan en produkt, vara eller tjänst har utifrån ett antal olika miljöpåverkanskategorier. Metodiken har sitt ursprung i 1960-talets miljörörelse där man identifierade ett behov av att inte bara beskriva vilken miljöpåverkan som uppstår vid tillverkning av en produkt utan möjligheten att beskriva och inkludera påverkan utifrån ett helhetsperspektiv. Initialt utvecklades metodiken inom olika bolag i USA och norra Europa och där det huvudsakliga fokuset var på energianvändning och förpackningsmaterial.

Under 1980- och 90-talet utvecklades och harmoniserades LCA alltmer, mycket på grund av arbetet i allt större omfattning nu sker inom den akademiska världen. Med en mer standardiserad metodik börjar LCA även att sprida sig och appliceras på fler områden och produkter [11]. Utvecklingen ledde också till att under sent 1990-tal lanserades ISO 14040-serien som behandlar LCA för produkter generellt. Standardiseringen var en viktig milstolpe då det möjliggör för bättre jämförelse och transparens då den tydligare beskriver de principer och strukturer som ska appliceras inom metodiken [12], [13].

LCA har trots detta fram till för några år sedan främst använts som ett verktyg inom akademin då metodiken har varit tidskrävande och tillgång till tillförlitliga underlag och data har varit begränsad. I och med den alltmer intensiva hållbarhetsdebatten runt om i välden blev intresset för att nyttja LCA för att ta bättre och mer välinformerade beslut mer relevant och fler initiativ för att föra ut metodiken i praktiken initierades. Ett av dessa projekt var framtagandet av EU Level(s), ett EU initiativ för att ta fram ett ramverk för att rapportera hållbarhetsprestanda för byggnader. EU Level(s) bygger på sex övergripande indikatorer varav klimatutsläpp är en av dem. Ramverket uppmuntrar till ett livscykeltänk och ger konkret vägledning kring hur LCA kan appliceras i praktiken [14], [15]. LCA enligt EU Level(s) är även inkluderat i EU Taxonomin, vars syfte är att kunna identifiera och jämföra miljömässigt hållbara investeringar genom ett gemensamt klassificeringssystem för miljömässigt hållbara ekonomiska verksamheter. LCA ingår där som ett av kraven för att väsentligt bidra till mål 1, vilket innefattar begränsning av klimatförändringar [16].

I Sverige har vi sedan 1 januari 2022 tagit det ett steg längre med införandet av Lagen om Klimatdeklaration (Lag 2021:787). Lagen innebär att i princip alla nya byggnader som uppförs i Sverige som är bygglovspliktiga ska redovisa vilken klimatpåverkan byggnaden ger upphov till

[17]. I ett första skede så omfattar lagen en begränsad LCA som omfattar klimatpåverkan som uppkommer under byggskedet och av ett begränsat antal byggdelar (grundläggning, bärande konstruktionsdelar, klimatskärm och innerväggar). Anledningen till begränsningen är att ge branschen en chans att lära sig utföra LCA på byggnader. Lagen kommer dock succesivt att utvidgas till att innehålla ett gränsvärde, det vill säga en maximal nivå, på hur mycket klimatpåverkan i form av koldioxidekvivalenter ($kgCO_2e$) som en byggnad får ge. Lagen kommer även expandera klimatdeklarationerna till att omfatta fler byggdelar i LCA-beräkningen [18].

I samband med att Lagen om Klimatdeklaration infördes har Boverket också lanserat en klimatdatabas med samlade klimatdata relevant för svenska förhållanden. Detta är ett sätt att ytterligare främja att LCA blir jämförbara samt för att säkra tillgång till klimatinformation som till viss del fortfarande är en utmaning att hitta.

I och med de införda kraven har arbetet med LCA utvecklats inom samhällsbyggnadssektorn under senare tid. På uppdrag av Boverket har det tagits fram referensvärden [9], [10] för modul A (se avsnitt 3.1.1 för vad som ingår i respektive modul) avseende klimatpåverkan vid uppförande av byggnader i syfte att kunna utveckla olika typer av gränsvärden i till exempel upphandling eller utveckling av regelverket för klimatdeklarationer. I det arbetet har referensvärden för klimatpåverkan tagits fram för flerbostadshus, kontor, förskolor, skolor och småhus. Syftet med referensvärdena är, som nämnt ovan, att ge en överblick i vilken klimatpåverkan som byggnader har inom modul A. Det bör dock noteras att det vid framtagandet av dessa referensvärden konstaterades stora spridningar mellan olika byggnader inom samma byggnadstyp. Dataunderlaget för referensvärdena är alltså förknippat med relativt stora osäkerheter.

Även ur ett certifieringsperspektiv ligger Sverige i framkant vad det gäller LCA och att beräkna klimatpåverkan som uppstår vid uppförande av byggnader. År 2020 laserades Sweden Green Building Counsil certifieringssystemet NollCO2 som syftar till att uppnå nettonoll klimatpåverkan under en byggnads livscykel [19]. Systemgränserna för vilka byggdelar som ska ingå samt vilka livscykelskeden som ska beräknas är mer omfattande i NollCO2 än i klimatdeklarationslagen vilket innebär att systemet också bidrar till att driva kunskapsbyggande om LCA i den svenska byggbranschen.

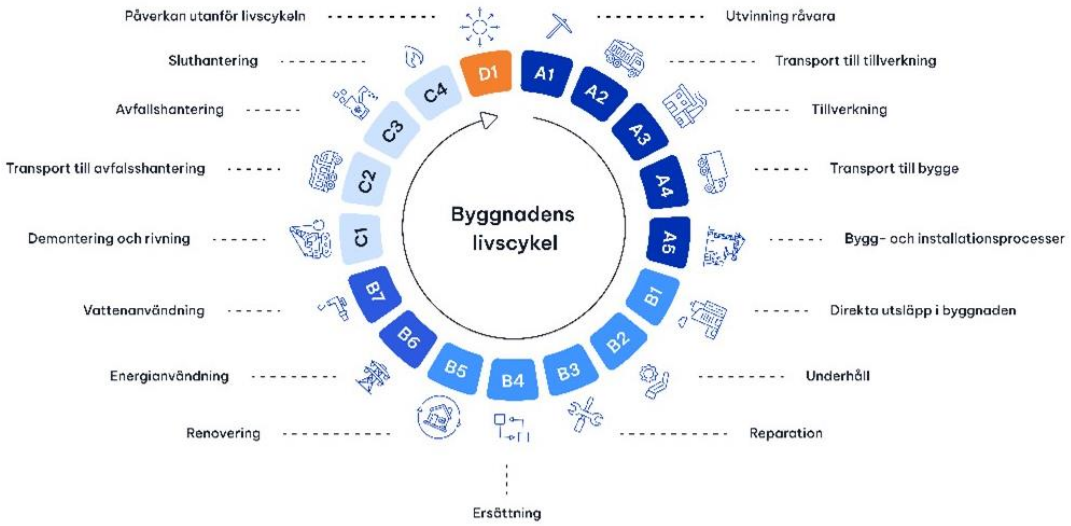
### 3.1.1 LCA av byggnader enligt standard SS-EN 15978

LCA metodiken kan appliceras på vilka system och produkter som helst men generellt kan sägas att ju mer komplexa system desto mer komplex blir processen att genomföra en LCA. Olika system kräver olika antaganden och för byggnader har det därför tagits fram en egen standard, Hållbarhet hos byggnadsverk [1]. Den europeiska standarden beskriver och specificerar beräkningsmetodiken för att kvantifiera miljöprestanda på byggnader och är applicerbar på nya

och befintliga byggnader samt ombyggnationer. Det är också denna standard som Lagen om Klimatdeklaration utgår ifrån. Standarden inkluderar sju miljöpåverkanskategorier, men fokus i denna rapport är klimatpåverkan från växthusgaser[1].

Standarden delar in klimatpåverkan i fyra olika moduler A-D, se Figur 1. I A-modulen redovisas klimatpåverkan som uppstår i produktionsskedet av byggprodukterna, det vill säga utvinning av råvara (A1) och produktion av själva byggprodukten (A3) samt tillhörande transporter (A2 och A4). A-modulen redovisar även klimatpåverkan som uppstår i byggproduktionen, alltså vid uppförandet av byggnaden (A5). Traditionellt har LCA-beräkningar fokuserat på A-modulen. Det beror dels på att en stor del av en byggnads klimatpåverkan uppstår under dessa skeden, dels på att resultaten ses som mest robusta. Att resultaten från A-modulen kan ses som mest robusta beror på att beräkningen omfattar färre osäkerheter kring antaganden och framtida scenarion än övriga moduler.

B-modulen omfattar klimatpåverkan som uppstår i byggnadens driftsskede fördelat på sju underkategorier; B1: direkta utsläpp i byggnaden, B2-B5: utsläpp från underhåll, reparationer, ersättning och renoverings samt B6-B7: klimatpåverkan från energi- och vattenanvändning. Klimatpåverkan som uppstår i sluthanteringen av byggnaden, det vill säga när byggnadens rivs redovisas i Modul C. I C-modulen fördelas klimatpåverkan i de fyra underkategorierna bestående av C1: demontering och rivning, C2: transport till avfallshantering, C3: avfallshantering och C4: sluthantering.




*Figur 1. Inkluderade skeden i en byggnads livscykel enligt standard SS-EN 15978.*

[1] Övriga miljöpåverkanskategorier är förtunning av ozonskiktet, försurning, övergödning, marknära ozon, utarmning av icke-fossila resurser och utarmning av fossila resurser.

LCA-metoden som används i moduler A-C kallas för bokförings-LCA. I bokförings-LCA härleds klimatpåverkan till ett väl avgränsat system genom att fördela (allokera) klimatpåverkan mellan olika system och processer. Det betyder att resultatet från olika bokförings-LCA kan läggas ihop för att på så sätt få fram en enhetlig bild av för det avgränsade systemet, exempelvis klimatpåverkan från livscykelsskeden A-C i en byggnad.

Däremot finns det en risk när man tillämpar bokförings-LCA att alla relevanta aspekter inte inkluderas. För att bemöta detta ingår även en fjärde modul i standarden för LCA av byggnader. Utöver modul A-C som omfattar klimatpåverkan som uppstår inom byggnadens olika livscykelskeden ingår också en modul som behandlar påverkan som sker utanför byggnadens livscykel, Modul D. D-modulen är viktig då den är tidsoberoende utifrån byggnaden och på så sätt även kan hantera *klimatbesparing* som sker utanför byggnaden. Den ger med andra ord möjlighet att beakta klimatnyttan ur ett större samhällsperspektiv och inte enbart utifrån den enskilda studerade livscykeln.

I modul D tillämpas en annan metodik än i övriga moduler, konsekvens-LCA. Konsekvens-LCA betyder att i stället för att bokföra var och hur mycket klimatpåverkan som uppstår i ett visst system så utvärderas konsekvensen av ett beslut. Konsekvens-LCA vidgar på så sätt systemgränsen för att inkludera all relevant klimatpåverkan/klimatnytta i analysen. Resultat från konsekvens-LCA kan däremot inte läggas samman på samma sätt som är möjligt i bokförings-LCA då det finns en risk för dubbelräkning [1].

### 3.1.2 Livslängd vid LCA

Byggnadens beräknade livslängd är en faktor som får konsekvenser i en LCA av flera olika orsaker. I enlighet med riktlinjer från Boverkets så har livslängden för byggnader normerats till 50 år [3]. Konsekvenserna av detta val är något som diskuteras [20], och man kan anse att ett längre livscykelperspektiv i vissa fall skulle generera bättre utformningar utifrån ett klimatperspektiv.

Avseende brandtekniska utformningar och installationer innebär byggnadens livslängd en påverkan på hur ofta en installation antas behöva renoveras eller ersättas. Vad som anges som teknisk livslängd avseende olika material, produkter och utformningar varierar. Teknisk livslängd kan hänvisas till som den livslängd som faktiskt är möjlig, under normala omständigheter, men också till hur ofta man i praktiken byter ut materialet, vilket kan ha andra orsaker än att materialet inte längre är funktionsdugligt. De olika synsätten kan medföra stora skillnader varpå olika källor kan ange olika hållbarhet för samma produkter eller material [21].

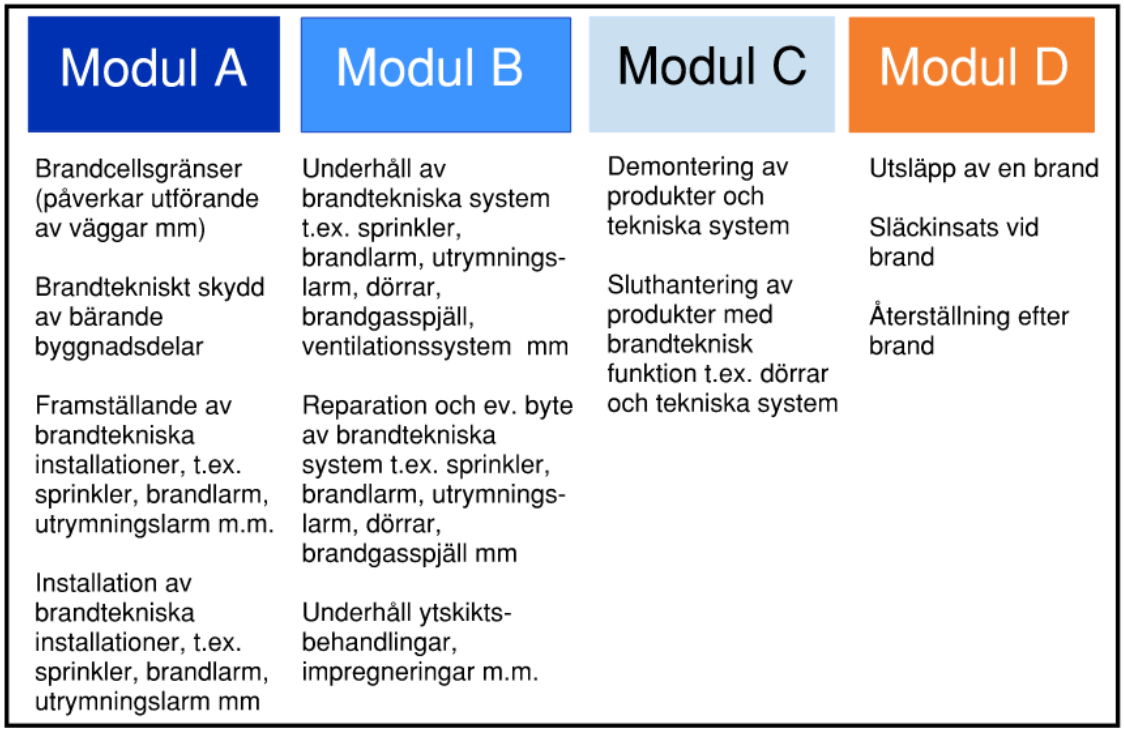
IVL Svenska Miljöinstitutet har tagit fram en metod där alla utbytesintervall periodiseras upp till och med 100 år. Dessa uppgifter används sedan för att beräkna miljöpåverkan under

referenslivslängden, som alltså normerats till 50 år [22]. På så sätt beskrivs en metod för att hantera drift- och underhåll utan de trappstegseffekter som är vanligt förekommande för många material och byggdelar med ett utbyte runt 50 år.

Hur val av teknisk livslängd påverkar klimatpåverkan vid installation av sprinkler berörs i avsnitt 3.4. Hur byggnadens beräknade livslängd påverkar klimatpåverkan av brandrisk beskrivs vidare i avsnitt 5.4.

## 3.2 Brand som faktor i livscykelanalys

Brand som faktor i en livscykelanalys kan vägas in på flera olika sätt. I figuren nedan illustreras en förenklad bild av hur några brandtekniska installationer samt händelsen brand kan ingå i olika skeden av LCA utifrån hur händelsen betraktas idag.




*Figur 2. Förenklad redovisning av hur olika tekniska system och brandfaktorer kan påverka i olika moduler av LCA ser hur de generellt är uppbyggda idag.*

Olika projekteringsstrategier som finns att välja mellan vid brandteknisk projektering av en byggnad ge olika klimatpåverkan i utförandeskedet. Vid uppförande av en byggnad finns generellt flera olika sätt att utforma brandskyddet på för att uppnå den kravnivå som föreligger enligt Boverkets Byggregler (BBR). Genom att jämföra olika tekniska val utifrån ett

klimatperspektiv kan detta beaktas vid val av strategi för byggnadens brandtekniska utformning och således ge avtryck i modul A. Några sådana exempel finns redovisade i handboken ”Hållbart brandskydd” [6]. Där har exempelvis klimatnyttan av en tät takfot utvärderats, samt införandet av fler brandcellsgränser än vad som krävs enligt lägstanivå enligt BBR. När en förbättrande brandteknisk åtgärd införs minskas de förväntade konsekvenserna av en brand, vilket medför att klimatpåverkan av själva branden, och eventuella ersättningsåtgärder efter denna, också minskar. Dessa aspekter kan ställas mot varandra för att hitta den utformning som utifrån berörd verksamhet- och byggnadstyp, bedöms ge minst klimatpåverkan i händelse av brand.

Det finns fler beräkningsmetoder som genom olika forskningsprojekt tagits fram för att beräkna klimatpåverkan av en brand. Amon, et al., har exempelvis genomfört förstudier för att ta fram beräkningsverktyg för att fastställa klimatpåverkan av bränder ur ett räddningstjänstperspektiv [8], [23]. Beräkningsverktyget är inte färdigutvecklat utan studien utvärderar primärt huruvida beräkningar är möjliga och om resultaten ger tillräcklig trolighet med hänsyn till de osäkerheter som indata är förenade med. Verktyget är primärt framtaget för att understödja räddningstjänstens beslut och har inte utvärderats vidare inom ramarna för denna rapport.

Riktlinjer för att beakta brand i en LCA har också tagits fram [7]. Riktlinjerna är inriktade på enskilda produkter och ger en utförlig beskrivning av hur klimatpåverkan av en brand avseende en produkt kan estimeras, och hur denna faktor kan läggas till redan utförda LCA:er för en given produkt. Riktlinjerna för de enskilda produkter innehåller exempelvis experimentella delar som förslag på hur brandens klimatpåverkan ska kunna mätas. På sikt skulle resultaten exempelvis kunna implementeras i produkters miljödeklarationer, EPD:er. I likhet med arbetet som Amon, et al., utfört fastställs dock att beräkningarna är förenade med flera osäkerheter, och att viss statistik som hade behövts för att minska osäkerheterna saknas eller är svåra att erhålla.

Klimatpåverkan av en brand utifrån ett nordiskt perspektiv (exkluderat Island) har också utförts inom ramen för ett forskningsprojekt där klimatberäkningar av brand i bostäder, skolor och bilar utförts [24]. Beräkningarna baseras på statistik från MSB, som inhämtats mellan åren 1994–2007. I rapporten finns bland annat en metod för att uppskatta storleken av en brand och en metod för att fastställa brandbelastningen i en bostad. Resultaten i rapporten jämfördes med utsläpp från andra utsläpp, och jämförelse mellan utsläppen av $CO_2$ från bränder och från andra källor visar att utsläppen av $CO_2$ från bränder är små jämfört med de flesta andra källor. Dock utgör de relativt stor källa till utsläpp av exempelvis partiklar, flyktiga organiska ämnen (VOC), polycykliska organiska ämnen (PAH) och andra större organiska ämnen. Det ska poängteras att i denna rapport har ingen hänsyn tagits avseende behov av att återställa en byggnad som har brunnit, endast $CO_2$-påverkan av branden har studerats. Likt övriga rapporter och studier konstateras att beräkningarna är förenade med en rad osäkerheter.

## 3.3 Statistiska underlag för att kvantifiera brandrisk i Sverige

För att kvantifiera brandrisk behöver sannolikheten för en brand och dess konsekvens uppskattas. Båda dessa uppskattningar baseras på statistik, och i Sverige utgör de händelserapporter som räddningstjänsterna upprättar en viktig källa. Den kommunala räddningstjänsten dokumenterar sina insatser och uppdrag, cirka 100 000 per år, i händelserapporter vilka MSB samlar sedan 1996. Händelserapporterna används för statistik och analyser, som publiceras i MSB:s statistik- och analysverktyg IDA. Detta verktyg håller på att ersättas varpå statistik hämtats ut genom begäran hos myndigheten. På grund av ändringar i insatsrapportering samt begränsningar i det statistiska underlaget har dock endast inträffade bränder under åren 2018–2021 legat till grund för denna rapport.

Statistik för olika byggnadstyper, och omfattningen av dessa sett till yta, sammanställs av olika nationella aktörer i olika syften. I denna rapport har statistik från SCB, Skolverket, Boverket och Energimyndigheten använts.

Där statistiska underlag saknas eller bedömts erfordra justering har resultat och statistik som återfunnits i litteraturstudien används som kompletterande underlag.

Se vidare i avsnitt 4 hur brandrisk kvantifierats för olika byggnadstyper i denna rapport.

## 3.4 Sprinkler – effektivitet, klimatpåverkan och livslängd

Lagen om klimatdekarationer ställer i dagsläget krav på beräkningar avseende en byggnads grund, stomme, klimatskal och innerväggar. På sikt kommer dock även installationer att innefattas. En installation som har betydande effekt på en brands konsekvensområde, och därmed klimatpåverkan av en brand, är sprinkler. Nedan sammanställs resultat från litteraturen som studerats gällande sprinklers effekt på en brand, klimatpåverkan vid installation av ett sprinklersystem samt vilken livslängd som kan förväntas.

### 3.4.1 Effektivitet och risk för oönskad aktivering

Det finns flera olika typer av sprinklersystem men våtrörssystem, vilka är fyllda med vatten, är det vanligast förekommande sprinklersystemet. Aktivering av sprinkler tillskrivs hög tillförlitlighet enligt svensk statistik, vilket innebär att sprinklersystemet generellt uppfyller den avsedda funktionen, det vill säga att begränsa konsekvensområdet av en brand [25], [26]. Detta stöds även av statistik från NFPA, där anges det att i ca 88 % av fallen under 2015-2019 fungerade sprinkler som önskvärt, oavsett inom vilken verksamhet de var installerade i [27]. Enligt statistiken utgör bränder där endast ett sprinklerhuvud aktiverat cirka 80 % av fallen och bränder där under fem sprinklerhuvuden aktiverat täcker in 97 % av bränderna. Detta indikerar att en brand i ett sprinklat utrymme i de allra flesta fall begränsas till startföremålet/-området och dess närhet, något som även bekräftas av att 97 % av bränderna i sprinklade byggnader begränsats till startutrymmet [27].

Vid oönskad aktivering riskeras en vattenskada i fastigheten som uppstår i onödan, vilket kan vara en faktor att beakta utifrån ett livscykelperspektiv vid installation av sprinkler. En vattenskada i en byggnad kan generera ett stort återställningsbehov, utifrån andra aspekter än brand. Denna faktor har berörts inom ramen för en forskningsstudie om konsekvenser av vattenskador från brandsläckningsutrustning i konstruktioner av massivträ. Där ansågs dock statistik saknas för att kunna dra några entydiga slutsatser om riskerna för vattenskada relaterat till felaktiverade sprinklerhuvuden. Det konstaterades dock att inträffade fall där aktiverad sprinkler bidragit till vattenskador utan att någon brand inträffat är få [28].

Vattenskada i en byggnad uppstår också vid en släckinsats, och en sådan vattenskada jämförs ibland med en vattenskada orsakad av sprinkleraktivering. Ingen skillnad avseende vattenskada i träkonstruktionen konstaterades avseende sprinkleraktivering och släckinsats i en studie utförd av RISE [29].

### 3.4.2 Klimatpåverkan av sprinklerinstallation

Gällande klimatpåverkan vid installation av sprinklersystem har det inom ramen för detta arbete inte funnits några EPD:er från de större sprinklerleverantörerna som verkar på den svenska marknaden idag att studera. Dock har klimatpåverkan av sprinkler studerats inom ett tidigare forskningsprojekt, där införandet av sprinkler i alla skolor i Sverige utvärderades genom att jämföra miljökostnaderna av alla bränder i skolor med miljökostnaderna för att installera sprinkler i alla skolor [8]. Utförda beräkningar inom projektet visade på att en installation av sprinkler antogs ge en klimatpåverkan om 2,12 $kgCO_2e/kg$, avseende åtgång av material och det uppskattades finnas cirka 2,13 kg material per kvadratmeter yta. Detta innebär alltså en total klimatpåverkan om cirka 4,52 $kgCO_2e/m^2$ för installationen av sprinklersystem. Det bör observeras här att det inte är tydligt huruvida samtliga delar av byggskedet innefattas i denna beräkning. Sannolikt innefattar denna siffra skedena A1-A3 enligt Boverkets klimatdeklarationer.

Vid framtagande av Boverkets första referensvärden för klimatpåverkan har installation av sprinkler till viss del berörts, och schablonvärden inkluderades i referensvärden för byggnader med trästomme. Referensvärdet baseras på ett referensfall, där beräkningar avseende ett sprinklersystem i ett nybyggt flerbostadshus med trästomme utförts. Klimatpåverkan baserades enbart på rörsystemet och sprinklern. Andra tillhörande delar av installationen, såsom trycktank, vattentank och dyl. ingick inte i beräkningen. Som referensvärde i Boverkets första referensvärden ansattes då 2,8 $kgCO_2e/m^2$ $A_{temp}$ för byggnader med trästomme [9]. Dessa har dock uppdaterats under 2023 och schablonvärden för sprinkler anges då till att vara 7,6-11 $kgCO_2e/m^2$ $A_{temp}$, beroende på byggnadstyp [10]. Dessa siffror innefattar då skede A1-A5.1 av Boverkets klimatdeklarationer.

I Handboken hållbart brandskydd [6] redovisas också exempelberäkningar avseende klimatpåverkan av en sprinklerinstallation. För produktskedet redovisas där ett medelvärde om 2,47 $kgCO_2e/kg$. Vikt för sprinkleranläggningar uppskattas även till 1,34–3,22 $kg/m^2$ för olika byggnadstyper. Detta ger alltså en total klimatpåverkan på 3,3–8,0 $kgCO_2e/m^2$ för installationen av sprinklersystem. Dessa siffror innefattar då skede A1-A3 av Boverkets klimatdeklarationer.

Sammantaget kan det konstateras att siffrorna varierar och att klimatpåverkan sannolikt varierar beroende på vilken verksamhet som studeras samt vilka antaganden som görs. En sammanställning av olika klimatpåverkan från sprinklersystem som föreslagits i litteraturen redovisas i Tabell 1.

*Tabell 1. Sammanställning av klimatpåverkan i $kgCO_2e/m^2$ för sprinklersystem i olika verksamheter för olika referenser.*

| Referens | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [6] | - | 3,3 | 4,3 | 4,2 | 8,0 | - |
| [8] | - | - | 4,5 | - | - | - |
| [9] | - | - | - | 2,8 | - | - |
| [10] | - | - | 11 | 11 | - | 11 |
| Medelvärde | - | 3,3 | 6,6 | 6,0 | 8,0 | 11 |

### 3.4.3 Teknisk livslängd

Även teknisk livslängd och behov av underhåll är faktorer som påverkar den klimatpåverkan som en sprinklerinstallation har under en livscykel. Avseende teknisk livslängd har MSB i sitt arbete med kostnadnyttoanalys för installation av sprinkler i äldreboende ansatt en teknisk livslängd om 25 år för sprinklersystem [30]. Denna livslängd har också fastställts i den kostnad-nytta analys som RISE utfört för sprinklersystem i Fortifikationsverkets undermarksanläggningar [31]. Där konstateras dock att den tekniska livslängden torde vara upp till 50 år om anläggningen underhålls korrekt.

I tidigare nämnd rapport som redovisar beräkningsverktyget ”Fire Impact Tool”, där effekten av sprinklerinstallation i skolor studerats, så anses teknisk livslängd för sprinklersystem svår att uppskatta varpå ett intervall anges i stället [8]. I rapporten redovisas uppskattningar av hur mycket en sprinklerinstallation sparar avseende $CO_2e$ under sin förväntade livslängd som en

funktion av hur mycket brand- och vattenskador som uppkommer under sprinklersystemets förväntade livslängd. Resultaten i den rapporten, som baseras på installation av sprinkler i skolor, visar på att sprinklerinstallation avseende klimatpåverkan utifrån ett kostnad nyttoperspektiv (i $CO_2$e/livstid) kan anses ha återbetalat sig efter ca 8–10 år, och klimatnyttan ökar därefter, och ger då positiva effekter avseende klimatbesparingar. Med en livslängd om ca 25 år har klimatnyttan vid installation av sprinkler i skolor beräknats till ca 3 000–10 000 ton $CO_2$e/livstid, där skillnaden beror på om byggnaden utsatts för en mindre brand eller vattenskada till följd av aktiverad sprinkler under det tidsspannet. Med en livslängd om 50 år blir motsvarande besparing ca 5 000–13 000 $CO_2$e/livstid. Det bör poängteras här att studien presenteras som en beskrivning av ett koncept, snarade än ett givet beräkningsresultat. Den ger dock ändå indikationer på hur en sprinklerinstallation påverkar klimatpåverkan av en brand och resultaten visar att förväntad livslängd av anläggningen kan ge stor inverkan på resultaten. För ytterligare detaljer kring hur beräkningen är utförd hänvisas läsaren till rapporten i referensen.

## 3.5 Brandrisk för byggnader med trästomme

Avseende byggnadstyper med stomme av trä, är det en konstruktionstyp som blir mer vanligt förekommande ofta motiverat av klimat- och miljömässiga fördelar. En byggnad med trästomme har, i många fall men inte alltid, en lägre klimatpåverkan än en stomme i till exempel stål eller betong. Rent byggtekniskt finns det både för- och nackdelar med träbyggnader, som exempelvis möjlighet till påbyggnader i och med att vikten är lägre, snabbare montagetider respektive större känslighet mot fukt och brand.

Byggnader med trästomme kan uppföras på olika sätt, och även om den gemensamma nämnaren är att de består av brännbart material, så kan de konstruktionsmässigt och byggnadstekniskt vara väldigt olika. En trästomme kan till exempel förekomma i en regelkonstruktion med obrännbar isolering, ofta även i kombination med andra bärande element i stål eller betong. Trästommar uppförs också som modulbyggnader, där färdiga moduler byggs ihop till en hel byggnad. Konstruktioner med KL-trä, vilket är korslimmat trä som bildar massiva element, är ytterligare ett sätt att uppföra en trästomme på. De olika konstruktionstyperna kan förväntas uppträda olika vid brand, och innebär olika utmaningar avseende brandtekniskt utförande avseende till exempel tätningar av installationer som passerar brandcellsgränser samt dolda utrymmen i konstruktionen. I dagsläget görs ingen skillnad på vilken typ av konstruktion en byggnad med trästomme är utförd i, men på sikt kan det bli aktuellt att särskilja olika konstruktionstyper ur ett brandriskperspektiv.

Att bygga med brännbara stommaterial skulle alltså kunna ha påverkan på den brandrisk som en byggnad har. Om en brännbar stomme skulle innebära att det finns en högre sannolikhet för omfattande bränder än i motsvarande byggnad med obrännbar stomme så påverkas brandrisken genom en högre konsekvens i det tidigare fallet. Även omfattning av vattenskada på grund av

aktiverad sprinkler eller släckinsats kan påverka konsekvensområdet vid brand, i och med att det påverkar behovet av återställning, vilket i sin tur skulle kunna skilja sig mellan olika byggnadsmaterial.

Att bränder i träbyggnader blir mer omfattande är en slutsats som konstateras i en studie om brand i flerbostadshus, där sannolikheten för ”storbrand” jämförs mellan trähus och stenhus [32]. Studien baseras på statistik avseende storbränder från åren 1995–2004, erhållen från Försäkringsförbundet. En storbrand definierades som en brand där det totala värdet av de skador som orsakats av branden överstigit 1,5 miljoner kronor, och totalt ingick 125 bränder i underlaget för slutsatser redovisade i den studien. I studien fastställdes att risk för att en brand ska utveckla en omfattande storbrand är 11,5 gånger högre för trähus än stenhus, men det konstateras också i studien att utförd jämförelse baseras på fler osäkerheter och att undersökningen inte ger något direkt svar på hur nyproducerade flerbostadshus med trästommar står sig i jämförelse med motsvarande hus byggda i betong avseende brand. Studien utfördes på uppdrag av betongindustrierna under 2005.

År 2016 publicerades en mer omfattande nationell kartläggning av brandincidenter i flervåningshus med trästomme under en 20-års period [33]. Incidentrapporteringen baserades på statistik från MSB och totalt fastställdes det att 188 flerbostadshus med fler än två våningar, vilket omfattade totalt cirka 10 000 bostäder, hade upprättats under aktuell period. Under perioden 1998–2014 identifierades en incident i undersökt bestånd där en brand utvecklats och spridit sig i hela startbyggnaden, och det var också den enda incident där stommaterialet trä identifierades som att ha haft någon påverkan på brandförloppet. I övrigt konstaterades det att brandrisken för byggnaderna med trästomme generellt var lägre än för byggnadsbeståndet som helhet, både gällande sannolikhet för uppkomst av brand och för konsekvenserna av en brand. Dock fastslås också att det byggnadsbestånd av träbyggnader som jämfördes med byggnadsbeståndet som helhet var ett relativt nytt byggnadsbestånd, vilket därför sannolikt inte gav en helt rättvis jämförelse. Det kan alltså konstateras att studien sannolikt inte har korrekt jämförelseunderlag och giltigheten i slutsatserna kan därför diskuteras.

I en senare studie har skillnader i byggnadsår och område som byggnaderna befinner sig i kompenserats för, med avsikten att ge en mer rättvis jämförelse [29]. I denna studie studerades konsekvenserna av en brand i trästomme med underlag från USA, Kanada, Sverige och Nya Zeeland. Utifrån statistiskt underlag går det inte att fastställa att en trästomme i en modernare byggnad medför större skada vid brand jämfört med en byggnad med obrännbar stomme för något av länderna. Dock noterades statistisk skillnad för äldre och låga byggnader i några av de undersökta länderna. Dessa skillnader tillskrivs den faktor att byggnadstyperna just är äldre, och utförda med en läge kravnivå avseende brandtekniskt utförande än nyare och högre byggnader.

I Kanada har en ny studie, baserat på deras motsvarighet till insatsrapporter från räddningstjänster, utförts för att utröna huruvida bränder i byggnader uppförda med brännbar konstruktion fick allvarligare konsekvenser än i byggnader uppförda i obrännbar konstruktion [34]. Konsekvenser som undersökts är sannolikhet för att personer i byggnaden omkommer eller skadas samt om bränder har spridit sig utanför startutrymmet samt hur väl räddningstjänstens släckinsats lyckats. Byggnader som ingått i studien är uppförda i 1–6 våningsplan. Det konstaterades att byggnader i brännbart material inte hade någon statistiskt säkerställd ökad risk för någon av de faktorer som studerades. Däremot visade resultaten att installation av sprinkler hade stor inverkan på utfallet, och även installation av brand- och utrymningslarm minskade omfattningen av bränderna. I studien identifieras flera begränsningar, varav en var att endast incidenter som erfordras räddningstjänstens insats finns med i det statistiska underlaget.

## 3.6 Sammanfattande diskussion

Litteraturstudien visar att brand inom olika typer av LCA inte är ett helt okänt ämne och det finns olika modeller för att fastställa en brands klimatpåverkan. Dessa har dock inte implementerats i de metoder som finns idag när LCA utförs för olika byggnader. Bidragande faktorer till detta är delvis att beräkningsverktygen är utvecklade med andra syften än att ge en övergripande och generell bild av byggnaders klimatpåverkan, men även att beräkningarna är förenade med relativt stora osäkerheter. Med hänsyn till hårdare ställda krav i lagstiftningen avseende klimatpåverkan bedöms dock frågan aktualiserats igen, detta då installationer och utformningar som reducerar konsekvensen av en brand kan ge betydande klimatposter i en beräkning, utan att dess positiva effekt tillgodoses. Dessutom ser vi ett ökat bestånd av byggnader i trä, varifrån en brand kan genererar en större klimatpåverkan än byggnader uppförda i obrännbara material om till exempel konstruktionen ingår i branden.

Avseende tekniska installationer, och olika val av brandskyddsstrategi, finns det möjliga metoder för att utföra klimatberäkningar. Installationer och brandtekniska utformningar, som exempelvis väggar med brandfunktion, kan uppskattas avseende mängd och omfattning i en byggnad, och utifrån miljödeklarationer (EPD:er) eller generiska data kan installationerna eller byggnadsdelarna uppskattas avseende klimatpåverkan. Som nämnts tidigare saknas dock fortsatt EPD:er för flera olika typer av installationer, men på sikt bedöms möjligt att göra mer exakta beräkningar avseende dessa delar. Sådana beräkningar kan framför allt ge beslutsunderlag i vilken brandskyddstrategi som ska väljas i en byggnad, där olika utformningar kan jämföras utifrån $kgCO_2e$. Teknisk livslängd ger konsekvenser för vilket utslag en installation får i en klimatpåverkan, varpå den faktorn bör beaktas vid val i modul A.

Gällande träbyggnader indikerar litteraturstudien att olika studier gett olika resultat i frågan om brandrisken för träbyggnader är högre än för andra byggnadsmaterial. Dock har de flesta och senast utförda studierna konstaterat brandrisken i träbyggnader inte är statistiskt högre än för

övriga byggnadsmaterial. I litteraturen berörs även vattenskada vid släckinsats kopplat till olika byggnadsmaterial. Avseende omfattning av vattenskada är det med det statistiska underlag som finns i dagsläget svårt att avgöra i vilken omfattning det påverkar konsekvensområdet av en brand. Indikationer finns dock på att det även här är små skillnader mellan träbyggnader och andra byggnadsmaterial.

Brand som händelse är något som kan betraktas ske utanför livscykeln utifrån den moduluppdelning som sker idag, men det påverkar utformningen av modul A. Detta kan illustreras likt figur nedan, som baseras på Boverkets illustration av en livscykel.

*Figur 3. Illustration av en livscykel från Boverkets hemsida, men brand tillagd som faktor*

# 4 METOD FÖR ATT INARBETA BRANDRISK I LCA

För att inarbeta brandrisken som en del av en byggnads klimatpåverkan/LCA har en metod för att beskriva klimatpåverkan av brand på samhällsnivå av olika byggnadstyper tagits fram. Det generella uttrycket som använts är:

$$R_{Brand} = S_{Brand} * K_{Brand}$$

Där $R_{Brand}$ beskriver brandrisken, i det här fallet den totala klimatpåverkan per kvadratmeter för byggnadstypen kopplat till brand, $S_{Brand}$ beskriver sannolikheten för att en brand ska uppkomma i byggnadstypen och $K_{Brand}$ beskriver konsekvensen av brand i form av klimatpåverkan. För $S_{Brand}$ uttrycks sannolikheten för brand per kvadratmeter och år och $K_{Brand}$ uttrycks i $kgCO_2e$ per brand, vilket innebär att $R_{Brand}$ uttrycks i $kgCO_2e$ per kvadratmeter och år.

För att kunna relatera klimatpåverkan av brand i olika byggnadstyper till den klimatpåverkan som byggnaderna har generellt enligt Boverkets klimatdeklarationer så har livslängden för byggnader normerats till 50 år. Det har dock argumenterats för att byggnader borde utformas för längre livslängder för att minska den påverkan som byggnaden har ur ett klimatperspektiv [20]. Med längre livslängder minskar generellt byggnadens klimatpåverkan, men för brand som faktor i analysen innebär dock en utökad livslängd även att brandrisken för byggnaden ökar. För att studera effekterna av detta har även längre livslängder för byggnader studerats inom ramarna för denna rapport.

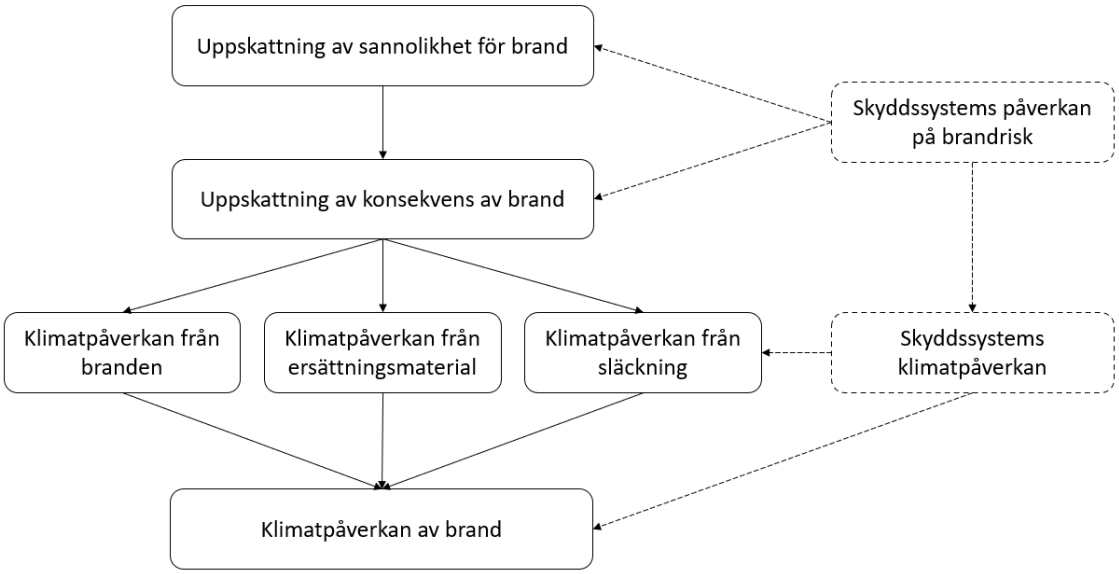
Konsekvensen av en brand sett ur klimatpåverkansperspektiv uttrycks enligt nedan:

$$K_{Brand} = K_{Utsläpp} + K_{Släckning} + K_{Ersättning}$$

Där $K_{Utsläpp}$ beskriver klimatpåverkan av direkta utsläpp från branden, $K_{Släckning}$ beskriver klimatpåverkan från brandsläckningsarbetet och $K_{Ersättning}$ beskriver den klimatpåverkan som uppstår för att ersätta material som förvanskats i branden. Detta inkluderar både det material som brunnit upp och/eller det material som blivit vattenskadat under insatsen som branden gett upphov till. Samtliga dessa tre termer uttrycks i $kgCO_2e$ per brand. I enlighet med litteraturstudien är faktorn $K_{Släckning}$ primärt aktuell i andra typer av miljösammanhang och utsläppen från denna faktor i $kgCO_2e$ bedöms vara försumbar i förhållande till de övriga två faktorerna. Denna faktor bortses därför ifrån i den vidare analysen.

När ett skyddssystems effekt på byggnadens klimatpåverkan ska tas i beaktan i beräkningsmetoden så påverkar detta konsekvensen av branden genom att klimatpåverkan minskar i linje med hur skyddssystemet påverkar branden. I den aktuella rapporten har fokus legat på sprinklersystem som antagits minska brandens omfattning, i de fall som sprinklersystemet fungerar som avsett.

Metodens principiella uppbyggnad redovisas i Figur 4. Sannolikheten för brand diskuteras vidare i avsnitt 4.1 och konsekvensen av brand diskuteras vidare i avsnitt 4.2. Påverkan av skyddssystem diskuteras i avsnitt 5.2.




*Figur 4. Illustration av metoden som använts i projektet.*

När effekten av olika konstruktionsmaterial ska värderas har detta antagits primärt påverka konsekvensen av en brand i form av eventuellt ökad omfattning om sådan kan påvisas, och/eller genom annan klimatpåverkan i ersättningsmaterialen. Materialet i konstruktionen har således inte bedömts påverka sannolikheten för brand.

Statistiska data har till viss del varit svåra att hitta för olika delar av beräkningen. I vissa fall har då olika standarder/vetenskapliga källor använts för uppskattningar och i andra fall har uppskattningar gjorts av projektgruppen. Där statistik varit bristfällig eller uppskattningar bedömts osäkra har värden varierats för att på så vis redovisa hur utfallet blir när olika antaganden gjorts. Detta redovisas vidare i känslighetsanalysen i avsnitt 6.

## 4.1 Sannolikhet för brand

Sannolikheten för brands uppkomst utgår ifrån Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskaps (MSB) statistik[2]. Statistiken samlar de insatser där räddningstjänsten bedömt att skada

[2] Statistik för slutlig omfattning av bränder i Sverige har erhållits via mail från MSB.

uppkommit av en brand och i vilken omfattning, vilket diskuteras vidare under avsnitt 4.2 om konsekvens av bränder. För att bedöma sannolikheten för brand har dock samtliga insatser där skada uppkommit av branden ingått i analysen. Det bör alltså noteras att brandtillbud som inträffat men som inte lett till en skada på grund av branden har exkluderats ur denna beräkning. På motsvarande sätt bör det även poängteras att brandtillbud som eventuellt lett till skada men där räddningstjänsten inte tillkallats inte heller ingår då sådana tillbud alltså saknas i dataunderlaget.

För att kunna bedöma sannolikheten per kvadratmeter inom respektive byggnadstyp så behövs även den totala area som finns inom byggnadstypen i Sverige. Denna är i vissa fall relativt enkel att ta fram men i vissa fall betydligt svårare.

För bostäder och småhus finns uppgifter om antal enheter och genomsnittsareor hos Statistiska Centralbyrån (SCB) [35]. I slutet av år 2022 fanns det enligt SCB totalt 2 675 269 lägenheter i flerbostadshus och 2 125 269 lägenheter i småhus. Genomsnittlig storlek på lägenheter var 67 $m^2$ i flerbostadshus och 122 $m^2$ i småhus. Detta summerar till totalt 259 282 818 $m^2$ småhus respektive 179 243 023 $m^2$ lägenhetsyta i flerbostadshus. Under åren 2018–2021 inträffade 8 140 bränder i småhus och 8 265 bränder i flerbostadshus enligt den erhållna statistiken från MSB. Det innebär ett sammanlagt antal bränder per kvadratmeter och år om $7{,}8*10^{-6}$ för småhus och $1{,}4*10^{-5}$ för lägenheter.

För skolor (här ingår grundskolor och gymnasieskolor) och förskolor finns statistik om antalet enheter hos Skolverket och totalt fanns det vid utgången av 6 028 enheter grund- och gymnasieskola och ca 9 452 enheter förskola vid utgången av år 2021 [36]. För storleken per enhet finns ingen statistik hos Skolverket eller SCB men det finns dock en inventering utförd av Boverket och Energimyndigheten under 2007, där medelarean för de inventerade skolorna (92 st) är 4 781 $m^2$ och medelarean för de inventerade förskolorna (37 st) är 800 $m^2$. Dessa storlekar antas därför utgöra medelstorleken per enhet även för beståndet som helhet. Det innebär att det i beräkningarna antagits finnas 29 164 100 $m^2$ skola och 7 800 000 $m^2$ förskola. Under åren 2018-2021 inträffade 870 bränder i skolor och 215 bränder i förskolor enligt MSB. Det innebär ett sammanlagt antal bränder per kvadratmeter och år om $7{,}5*10^{-6}$ för skolor och $6{,}9*10^{-6}$ för förskolor.

För handel och kontor har data från Energimyndigheten använts [37]. Här anges att det under 2021 i Sverige fanns totalt 16 504 200 $m^2$ inom handel och totalt 29 164 100 $m^2$ kontor. Under åren 2018–2021 inträffade 489 bränder i kategorin handel och 263 bränder i kontor enligt MSB. Det innebär ett sammanlagt antal bränder per kvadratmeter och år om $7{,}4*10^{-6}$ för handel och $2{,}0*10^{-6}$ för kontor.

Ovanstående sammanfattas i Tabell 2 där även sannolikheten för en brand på 50 år redovisas för respektive byggnadstyp.

*Tabell 2. Antal bränder under 2018–2021, antal m² samt bränder per m² och år för respektive byggnadskategori som ingår i studien.*

| | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Antal bränder 2018-2021 | 8 140 | 8 265 | 870 | 263 | 489 | 215 |
| Antal m² | 259 282 818 | 179 243 023 | 29 164 100 | 33 475 500 | 16 504 200 | 7 800 000 |
| Bränder/m² per år | $7{,}8 \times 10^{-6}$ | $1{,}2 \times 10^{-5}$ | $7{,}5 \times 10^{-6}$ | $2{,}0 \times 10^{-6}$ | $7{,}4 \times 10^{-6}$ | $6{,}9 \times 10^{-6}$ |
| Bränder/m² på 50 år | 0,00039 | 0,00058 | 0,00037 | $9{,}8 \times 10^{-5}$ | 0,00037 | 0,00035 |

Det kan konstateras att det finns olika grad av osäkerhet i ovanstående sammanställning. Detta diskuteras vidare i känslighetsanalysen i avsnitt 6.

## 4.2 Konsekvens av brand

Konsekvensen av en brand kan enligt ovan delas in i (1) utsläpp från branden, (2) utsläpp från ersättningsmaterial och (3) utsläpp från släckning. I enlighet med diskussionen ovan bortses det från utsläpp från släckningsarbetet och nedan redovisas därför beräkningar av utsläpp från branden respektive utsläpp från ersättningsmaterial.

### 4.2.1 Utsläpp från branden

För konsekvensen av en brand har återigen MSB:s statistik använts som bas. Denna statistik ger dock inte ett skadeområde uttryckt i area utan delar in de inträffade bränderna i följande kategorier:

- Brandtillbud utan skada
- Brand begränsad till det objekt som först antändes
- Brand begränsad till det utrymme där branden startade
- Brand begränsad till den brandcell där branden startade

- Brand som spridit sig till flera brandceller i byggnaden
- Brand som spridit sig till flera byggnader

Av denna stegvisa indelning av bränder kan det konstateras att en brand som kategoriseras som till exempel en ”brand som spridit sig till flera brandceller i byggnaden” har spridit sig utanför startbrandcellen men inte till intilliggande byggnader. På samma sätt har en brand ”begränsad till den brandcell där branden startade” sannolikt spridit sig till flera utrymmen, men inte förbi byggnadens brandcellsgränser.

För att kunna införa konsekvensen av ovanstående behöver alltså en uppskattning av skadearea i förhållande till respektive punkt ovan utföras. En sådan uppskattning har tidigare genomförts för hus, lägenheter och skolor i förhållande till en tidigare mer grov indelning av statistiken som då bestod av ”medelstor brand” och ”stor brand” [38]. Det antogs då ”baserat på erfarenhet” att en ”medelstor brand” motsvarade att 30 % av det brännbara materialet i en villa (småhus) eller en skola hade konsumerats i branden. Motsvarande siffra för en lägenhet var 50 %. I en senare publikation, där motsvarande bedömning görs, har siffrorna uppdaterats i förhållande till en senare indelning mer lik den som används idag [24]. Här anges för småhus att det antas vara försumbara mängder material som brinner upp om branden begränsats till startföremålet, att 5 % av huset antas påverkat om branden begränsats till startutrymmet samt att 80 % av huset antas påverkat om branden blivit större än så. För lägenheter anges motsvarande siffror för startföremål och startutrymme, men för bränder begränsade till startbyggnaden har det antagits att 80 % av två lägenheter har brandpåverkats. Detta baseras på uppskattningar av författarna. I den senare publikationen har ingen uppskattning av skadearea för skolor gjorts i förhållande till skadeindelningen i insatsrapporterna.

I en senare studie har även motsvarande bedömning gjorts av skadearea för skolor [8]. Här antogs likt tidigare ingen påverkan vid brand i startföremålet. Påverkan antogs sedan vara 5 % av ytan vid brand begränsad till startutrymmet, 35 % av ytan vid brand begränsad till startbrandcellen, 80 % av ytan vid brand begränsad till startbyggnad och 100 % av ytan vid brand som spridit sig till flera byggnader. Dessa ytor relaterades sedan till en normerad area på skolor om 1 000 $m^2$.

Vid konsekvensbedömningen i denna studie användes de tidigare studierna som underlag men siffrorna justerades med hänsyn till andra indelningar av omfattning i insatsrapporterna men även baserat på rimlighetsbedömningar. De tidigare uppskattningarna bedömdes relativt låga för bränder begränsade till startföremålet och även för bränder som spridit sig till flera byggnader. De justerade siffrorna redovisas i Tabell 3.

*Tabell 3. Antagen skadeomfattning i relation till genomsnittsarean per verksamhet.*

| Omfattning av skada (i % av area) | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Brandtillbud utan skada | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % | 0 % |
| Objekt som först antändes | 1 % | 1 % | 1 % | 1 % | 0,5 % | 1 % |
| Utrymmet där brand startade | 30 % | 30 % | 5 % | 5 % | 5 % | 5 % |
| Brandcell där brand startade | 100 % | 100 % | 25 % | 20 % | 25 % | 50 % |
| Flera brandceller i byggnaden | 100 % | 150 % | 75 % | 60 % | 75 % | 100 % |
| Flera byggnader | 200 % | 500 % | 150 % | 120 % | 150 % | 150 % |

Vid bedömning av konsekvensområden ovan har omfattningen relaterats till en antagen storlek per brandcell för respektive byggnadstyp. För bostäder och småhus har det antagits att enheterna är utformade som enskilda brandceller. För övriga verksamheter är dock brandcellsindelning inom enheter/verksamheter vanligare, vilket gör att antaganden om storlek på brandceller i byggnaden behöver göras. I tidigare arbeten har storlekar på skolor och förskolor antagits till 500–1000 $m^2$ [8], [24], baserat på mindre urval. För den aktuella rapporten har det antagits att en brandcellsstorlek om cirka 1 250 $m^2$ kan betraktas som ett vanligt utförande för skolor och kontor. För förskolor har brandcellsstorleken antagits vara cirka 400 $m^2$ och för handel har en vanlig brandcellsstorlek uppskattats till 2 500 $m^2$. Samtliga av dessa antaganden baseras på erfarenhet från utförda byggprojekt samt nu gällande regler för lokaler utan sprinklerskydd [39].

Observera att dessa antaganden är avgörande för resultatet och samtidigt förknippade med stora osäkerheter. Effekterna av olika antaganden har därför även studerats i känslighetsanalysen i avsnitt 6.

När omfattningen på brandskadan definierats behöver klimatpåverkan från branden och från ersättningsmaterial beräknas. Enligt tidigare resonemang beräknas inte klimatpåverkan från själva släckinsatsen, då denna primärt bedöms påverka andra miljöfaktorer än just klimatpåverkan uttryckt i $CO_2$e. Således diskuteras endast klimatpåverkan från branden i sig och från ersättningsmaterial nedan.

För utsläpp från branden i sig har utgångspunkt tagits från den brandbelastning som verksamheterna dimensioneras för enligt Boverkets allmänna råd om brandbelastning [40]. Här har variabel och permanent brandbelastning summerats för respektive byggnadstyp och sedan har en mängd brännbart material beräknats utifrån att materialsammansättningen antagits vara 40 % plast och 60 % trä. Detta är en sammansättning som tidigare föreslagits vid dimensionering av bränder i byggnader [41]. Med grund i denna sammansättning har en genomsnittlig massa brännbart material kunnat beräknas för respektive verksamhet. På motsvarande sätt kan även klimatpåverkan per kvadratmeter beräknas genom att anta att det frigörs 1,45 kg $CO_2$e per kg trä som förbränns och 2,8 kg $CO_2$e per kg plast som förbränns [24]. Det bör noteras att andra värden för både sammansättning och $CO_2$e-produktion använts i tidigare beräkningar av utsläpp från skolor och bostäder [24]. Detta motiveras dels av uppdaterade emissionsuppskattningar som finns inom samma arbete som de tidigare beräkningarna, där relativt höga faktorer anges i förhållande till de som sedan tillämpas. Dessutom bedöms tidigare materialsammansättningar som rimliga för byggnadsbeståndet som helhet och de tidigare beräkningarna har baserats på mindre stickprov, som ändå gett relativt lika sammansättningar som de som används här.

Resultatet av ovanstående redovisas i Tabell 4.

*Tabell 4. Egenskaper för beräkning av utsläpp från brand för respektive byggnadstyp.*

| | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Variabel brandbelastning [MJ/m$^2$] | 750 | 750 | 450 | 520 | 1000* | 450 |
| Kg material per m$^2$ | 35 | 35 | 21 | 24 | 47 | 21 |
| Utsläpp av variabel brandbelastning vid brand [kg$CO_2$e/m$^2$] | 70 | 70 | 42 | 48 | 93 | 42 |

* För handel är variabel brandbelastning delvis specificerad som 750 MJ/m$^2$ om lager exkluderas men även som över 1600 MJ/m$^2$ för shoppingcentrum. 1000 MJ/m$^2$ har därför valts för att justera för att vissa shoppingcentrum förekommer inom denna kategori.

Utöver det utsläpp som kommer från brandbelastningen i utrymmet tillkommer även utsläpp från det konstruktionsmaterial som förbränns. Detta har tidigare uppskattats till 136 kg$CO_2$e/m$^2$ baserat på fallstudier av tre totalförstörda skolor [24]. Denna uppskattning baseras primärt på mängden trä som antagits ha konsumerats av branden i respektive fall. Underlaget till denna uppskattning har studerats och byggnaderna som ingår bedöms bestå av både trä- och obrännbara konstruktioner. Därmed bedöms denna uppskattning rimlig för samtliga

byggnadstyper som ingår i denna studie, även om det är ett grovt antagande. Det bör dock noteras att även i betongkonstruktioner är stora delar av byggnadsmaterialet vanligtvis träbaserat, vilket antagligen även tagits i beaktan vid uppskattningen som gjorts ovan. Summerat kan det konstateras att de uppskattade utsläppen från bränder ligger i liknande omfattning som i tidigare studier [8], [24].

För att beräkna utsläppen för ersättningsmaterial som krävs för att reparera/ersätta byggnaden efter att en brand har inträffat så har den genomsnittliga brandskadan för respektive byggnadstyp först beräknats. Genomsnittlig brandskada har beräknats genom att multiplicera skadeomfattningen enligt Tabell 3 med antalet bränder i respektive skadekategori och sedan dela med det totala antalet bränder. För att ge klimatpåverkan av en brand har brandskadan multiplicerats med den klimatpåverkan som ges av de referensvärden som används av Boverket för klimatberäkningar av byggnader [10]. Det bör noteras att detta ger en förhållandevis grov uppskattning av konsekvensen vid brand och detta antagande studeras vidare i känslighetsanalysen i avsnitt 6. Det bör även noteras att klimatpåverkan av rivning, återvinning och deponi av brand-/rökskadade material inte ingår i denna beräkning.

### 4.2.2 klimatpåverkan från ersättningsmaterial

Utöver ovanstående tillkommer även utsläpp från ersättningsmaterial för den variabla brandbelastning som behöver ersättas, det vill säga saker som möbler, inventarier och annat som finns inom byggnaden som branddrabbats. Detta har i tidigare arbeten beräknats till cirka 65 $kgCO_2e/m^2$ för skolor [8]. I den aktuella beräkningen har denna siffra justerats i förhållande till den variabla brandbelastningen för respektive byggnadstyp.

Beräkningen av klimatpåverkan av byggmaterial och material inom byggnaden redovisas i Tabell 5.

*Tabell 5. Genomsnittlig brandskada och utsläpp för ersättningsmaterial per byggnadstyp.*

| | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel* | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Genomsnittlig brandskada [$m^2$] | 44 | 15 | 280 | 443 | 677 | 79 |
| Utsläpp för att ersätta byggnadsmaterial [$kgCO_2e/m^2$] | 208 | 414 | 414 | 412 | 369 | 381 |
| Utsläpp för att ersätta möbler och dylikt [$kgCO_2e/m^2$] | 108 | 108 | 65 | 75 | 144 | 65 |

*För kategorin ”Handel” är urvalet i underlaget så litet att det inte särredovisas i rapporten om referensvärden [10]. Därför används här medelvärdet för ”Alla byggnader” istället.

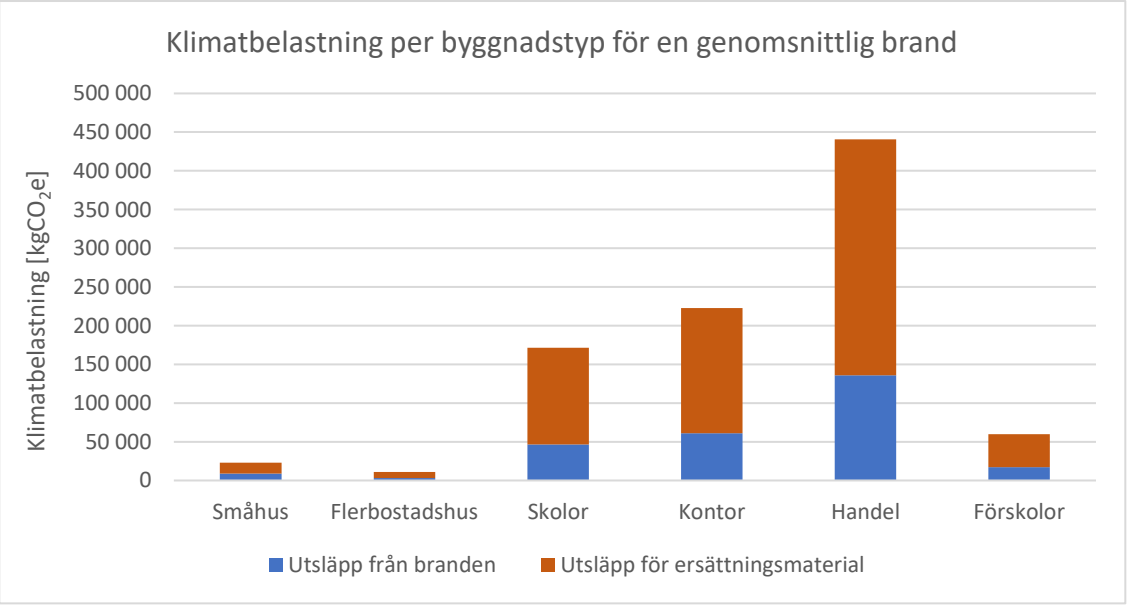
### 4.2.3 Sammanställning av utsläpp

Totala utsläpp från brand och ersättningsmaterial kan summeras enligt tabellen nedan. Observera att dessa resultat baseras på den genomsnittliga brandskadan för respektive byggnadstyp som beräknats i föregående avsnitt.

*Tabell 6. Sammanställning av utsläpp från genomsnittliga bränder i respektive byggnadstyp.*

| | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Utsläpp från branden ($K_{Utsäpp}$) [$kgCO_2e$] | 9 103 | 3 144 | 46 409 | 61 139 | 135 846 | 16 988 |
| Utsläpp för ersättningsmaterial ($K_{Ersättning}$) [$kgCO_2e$] | 14 002 | 7 986 | 125 034 | 161 601 | 304 759 | 36 406 |
| Totala utsläpp ($K_{Brand}$) [$kgCO_2e$] | 23 105 | 11 130 | 171 443 | 222 740 | 440 605 | 59 605 |
| Totala utsläpp per år och $m^2$ [$kgCO_2e/(år*m^2)$] | 0,18 | 0,13 | 1,28 | 0,44 | 3,26 | 0,42 |

Ovanstående illustreras även i Figur 5.




*Figur 5. Genomsnittliga utsläpp från en brand för respektive typbyggnad.*

Av ovanstående kan det även konstateras att andelen av klimatpåverkan som kommer från själva branden respektive från ersättningsmaterial skiljer sig mellan byggnadstyperna. För

samtliga byggnadstyper kommer majoriteten av klimatpåverkan av ersättningsmaterial efter branden. Andelen klimatpåverkan som själva brandens utsläpp utgör varierar från cirka 27 % för skolor och kontor till 39 % för småhus.

## 4.3 Brandriskens klimatpåverkan

I Tabell 7 nedan presenteras den sammantagna brandriskens påverkan på byggnadstypernas klimatpåverkan, redovisat som $kgCO_2e$ per kvadratmeter av den aktuella byggnadstypen som finns i byggnadsbeståndet. Beräkningen är gjord på en livslängd om 50 år. Om brandrisken beaktas i beräkningen av klimatpåverkan är det alltså detta värde som blir tillskottet till det referensvärde som respektive byggnadstyp har. I tabellen presenteras även hur många procent referensvärdet utökas med om brandrisken beaktas i beräkningen.

*Tabell 7. Brandriskens tillskott på byggnadstypernas klimatpåverkan över 50 år.*

| | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Brandriskens tillskott i $kgCO_2e/m^2$ | 9,1 | 6,4 | 63,9 | 21,9 | 163,2 | 21,2 |
| Andel av referensvärde som brandrisken motsvarar [%] | 4,4 | 1,5 | 15,4 | 5,3 | 44,2 | 5,6 |

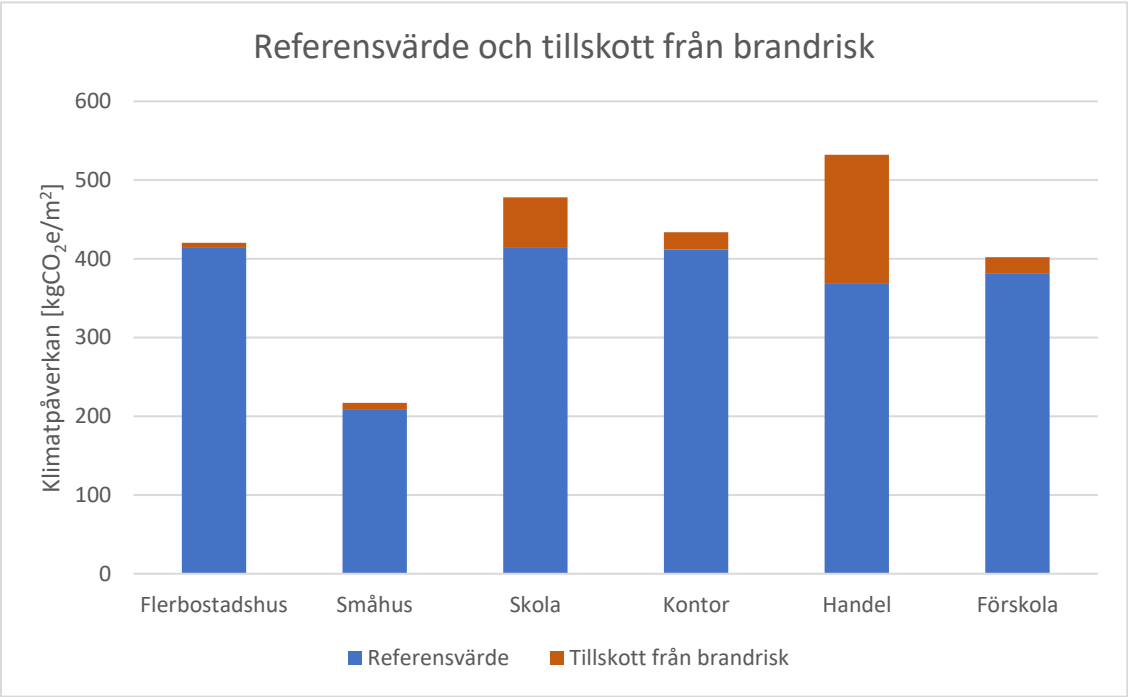
Det kan alltså konstateras att brandrisken tillför minst klimatpåverkan i flerbostadshus medan mest klimatpåverkan tillförs i handelsbyggnader. Detta beror till stor del på den förväntade omfattningen av brandskadan i respektive brand, även om sannolikheten också har viss påverkan (men är relativt likvärdig för de flesta av byggnadstyperna).

# 5 ANALYS AV BRANDRISK FÖR BYGGNADERS KLIMATPÅVERKAN

Med grund i den metod och de beräkningar som genomförts ovan görs nedan ett antal analyser av hur olika skyddssystem, konstruktionsval och livslängd påverkar utfallet av brandriskens klimatpåverkan.

## 5.1 Generella resultat

Det generella resultatet av beräkningen redovisas i avsnitt 4.3. Nedan ges en illustration av hur byggnaders referensvärden påverkas av brandrisk som faktor redovisas i Figur 6. Referensvärden som avses här är de referensvärden för klimatpåverkan som tagits fram på uppdrag av Boverket [10].




*Figur 6. Illustration över brandriskens påverkan på olika byggnadstypers referensvärden för klimatpåverkan.*

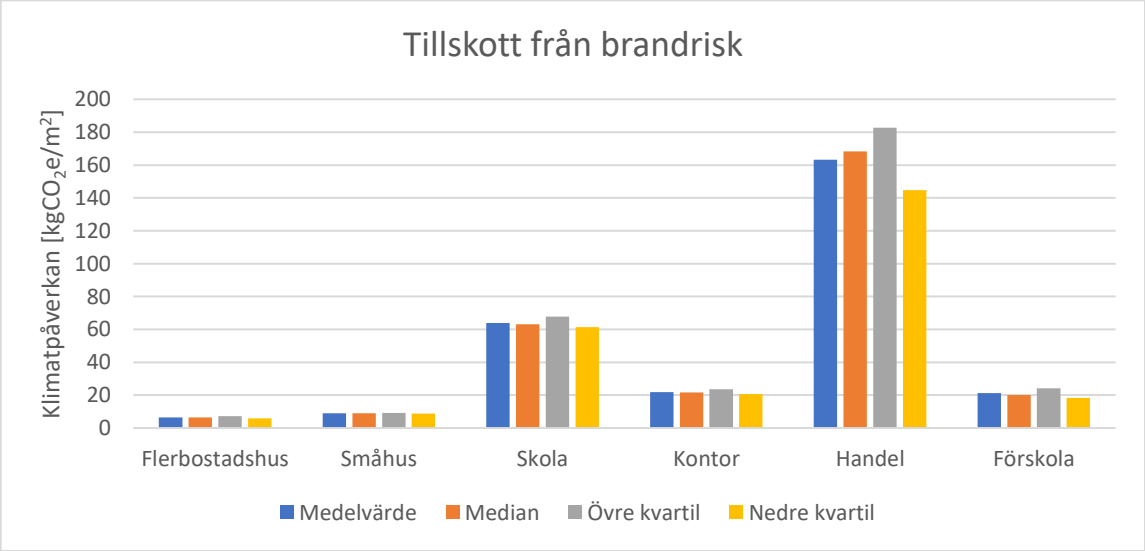
Som tidigare nämnt är ovanstående figur, och även resultaten i Tabell 7, baserade på medelvärden för de referensvärden som tagits fram som underlag till Boverket [10]. I samma rapport som ger data för medelvärden anges dock även median, övre- och nedre kvartil av det

bestånd som undersökts. Motsvarande beräkning för dessa olika delar av byggnadsbeståndet redovisas i Tabell 8.

*Tabell 8. Klimatpåverkan från brandrisken för olika delar av byggnadsbeståndet som ingått i framtagandet av referensvärden.*

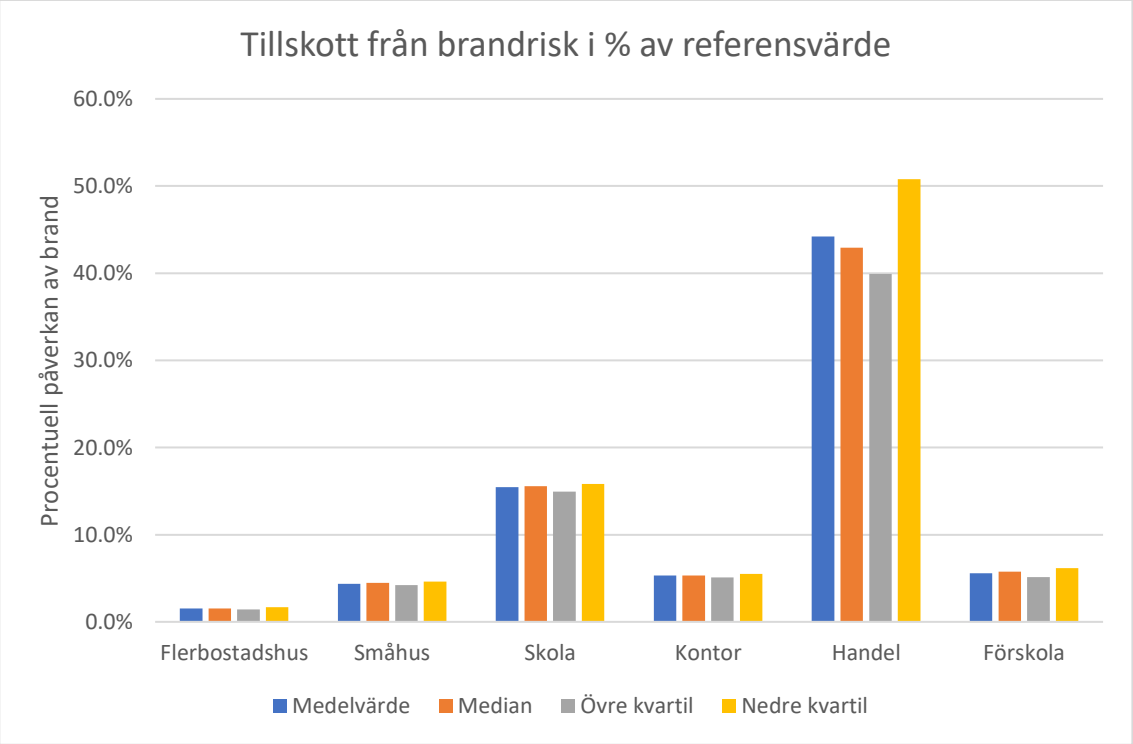
| Klimatpåverkan från brandrisk [$kgCO_2e/m^2$] | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Medel | 9,1 | 6,4 | 63,9 | 21,9 | 163,2 | 21,2 |
| Median | 8,9 | 6,6 | 63,1 | 21,7 | 168,2 | 20,2 |
| Övre kvartil | 9,3 | 7,2 | 67,8 | 23,5 | 182,7 | 24,3 |
| Nedre kvartil | 8,8 | 5,8 | 61,3 | 20,7 | 144,7 | 18,3 |

Tillskottet illustreras även i Figur 7. Av resultaten ses att det är relativt små skillnader i klimatpåverkan oavsett vilket lägesmått som tillämpas på datamängden för klimatpåverkan av byggmaterial.




*Figur 7. Tillskott från brandrisk på olika byggnadstypers klimatpåverkan.*

Tillskottet från brandrisken kan även studeras som procentuell andel av det referensvärde som används, vilket redovisas i Figur 8. Här kan ses att förhållandet är motsatt det som ses i Figur 7 och de lägesmått i datamängden som ger lägst klimatpåverkan resulterar i stället i störst påverkan av brandrisken. Detta beror på att brandens klimatpåverkan från utsläpp direkt från branden inte förändras av ersättningsmaterialens klimatpåverkan, vilket alltså innebär att cirka 27–39 % av brandriskens totala klimatpåverkan hålls konstant samtidigt som referensvärdet som procentandelen beräknas mot sänks. Det kan alltså konstateras att desto lägre klimatpåverkan en byggnad har i byggskedet, desto större inverkan har brandrisken på den summerade klimatpåverkan som fås av både byggskede och brandrisk.




*Figur 8. Tillskott från brandrisk i % av referensvärde för olika byggnadstyper.*

## 5.2 Påverkan av skyddssystem

Olika skyddssystem har olika påverkan på konsekvensen av en brand och belastar även klimatet på olika nivå för installationen av systemet.

### 5.2.1 Sprinklersystem

Som nämnt i avsnitt 3.4.1 kan ett sprinklersystem förväntas begränsa en brand till startobjektet i cirka 88 % av fallen där det finns installerat. Förenklat antas detta innebära att även brandriskens klimatpåverkan reduceras i motsvarande grad. Det innebär alltså att eventuella utökade vattenskador som skulle kunna uppstå när sprinklersystemet släcker mindre bränder, och som annars inte hade gett några skador, bortses från. Beräkningen förutsätter även att grundutförandet representerar ett bestånd helt utan sprinkler. Detta är sannolikt ett rimligt antagande för exempelvis småhus, flerbostadshus, skolor och förskolor men förknippat med större osäkerhet för kontor och handel. Antagandet bedöms dock endast innebära att reduktionen av klimatpåverkan vid installerad sprinkler underskattas, vilket diskuteras vidare i avsnitt 7.

Vid beräkning av klimatpåverkan från sprinklersystemet har medelvärden enligt avsnitt 3.4.2 använts. Här har även en livslängd om 25 år använts i enlighet med litteraturen i avsnitt 3.4.3.

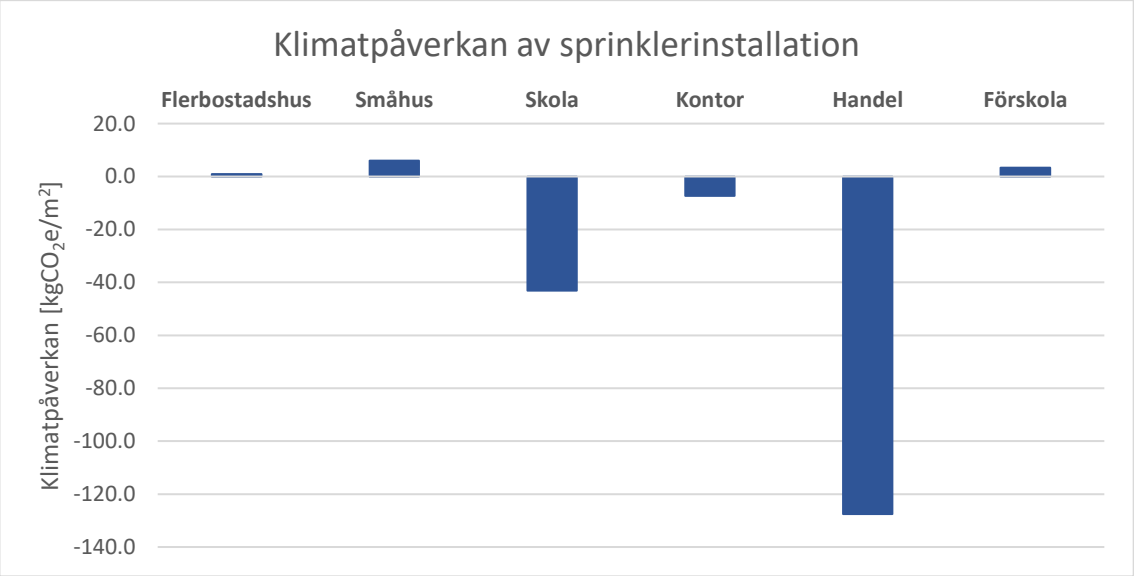
Resultatet av beräkningen redovisas i Tabell 9.

*Tabell 9. Klimatpåverkan av sprinklerinstallation för de olika byggnadstyperna.*

| | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Klimatpåverkan av brandrisk [$kgCO_2e/m^2$] | 9,1 | 6,4 | 63,9 | 21,9 | 163,2 | 21,2 |
| Minskad klimatpåverkan av brandrisk med sprinkler [$kgCO_2e/m^2$] | 8,0 | 5,6 | 56,3 | 19,2 | 143,6 | 18,6 |
| Klimatpåverkan för installation av sprinkler [$kgCO_2e/m^2$] | 14,0 | 6,6 | 13,2 | 12,0 | 16,0 | 22,0 |
| Sammanlagt minskad klimatpåverkan av brandrisk med sprinkler [$kgCO_2e/m^2$] | -6,0 | -1,0 | 43,1 | 7,2 | 127,6 | -3,4 |
| Procentuell klimatpåverkan av brandrisk med sprinkler jämfört med utan sprinkler | 166 % | 115 % | 33 % | 67 % | 22 % | 116 % |

Av resultaten ovan kan det konstateras att en sprinklerinstallation innebär en ökad klimatpåverkan för småhus, flerbostadshus och förskolor. För skolor, kontor och handel innebär dock sprinklerskydd en minskad klimatbelastning sett till byggnadens livscykel, under de

antaganden som beräkningen genomförts. Reduktionen av klimatpåverkan för skolor och handel är speciellt påtaglig och brandriskens tillskott till byggnadens klimatpåverkan minskar alltså med 77–88 %. Den klimatpåverkan som en sprinklerinstallation ger illustreras även i Figur 9.




*Figur 9. Klimatpåverkan av sprinklerinstallation i respektive byggnadstyp. Positiva värden innebär en ökad klimatbelastning av installationen och negativa värden innebär en minskad klimatbelastning av installation.*

Sett till hur en sprinklerinstallation påverkar total klimatpåverkan från både referensvärde och brandrisk ska det dock poängteras att påverkan av installationen av sprinkler är mindre. Klimatpåverkan för en sprinklerinstallation varierar då mellan en reducerad klimatpåverkan på 24 % till en ökning av klimatpåverkan på 2,8 %. Detta redovisas i Tabell 10.

*Tabell 10. Påverkan av sprinklerinstallation på den totala klimatpåverkan som ges av både referensvärde och brandrisk för respektive byggnadstyp.*

| | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sammanlagd klimatpåverkan av referensvärde och brandrisk [$kgCO_2e/m^2$] | 217 | 420 | 478 | 434 | 532 | 402 |
| Sammanlagd klimatpåverkan av referensvärde och brandrisk med sprinkler [$kgCO_2e/m^2$] | 223 | 421 | 435 | 427 | 405 | 406 |
| Skillnad i % | +2,8 % | +0,2 % | -9,0 % | -1,7 % | -24,0 % | +0,8 % |

## 5.3 Påverkan av olika konstruktionsmaterial

Olika konstruktionsmaterial kan innebära olika klimatpåverkan från brandrisken. Dels påverkar klimatpåverkan från konstruktionsmaterialen själva referensvärdet, och dels påverkas den klimatpåverkan som fås av ersättningsmaterial vid återställning efter branden. Dock skulle vissa konstruktionsmaterial även kunna påverka skadeområdet vid brand. Det skulle exempelvis kunna vara aktuellt om byggnader med trästomme skulle visa sig ge större skadeområden i genomsnitt än det som fås av byggnader med traditionell betongstomme.

### 5.3.1 Klimatförbättrade produktval

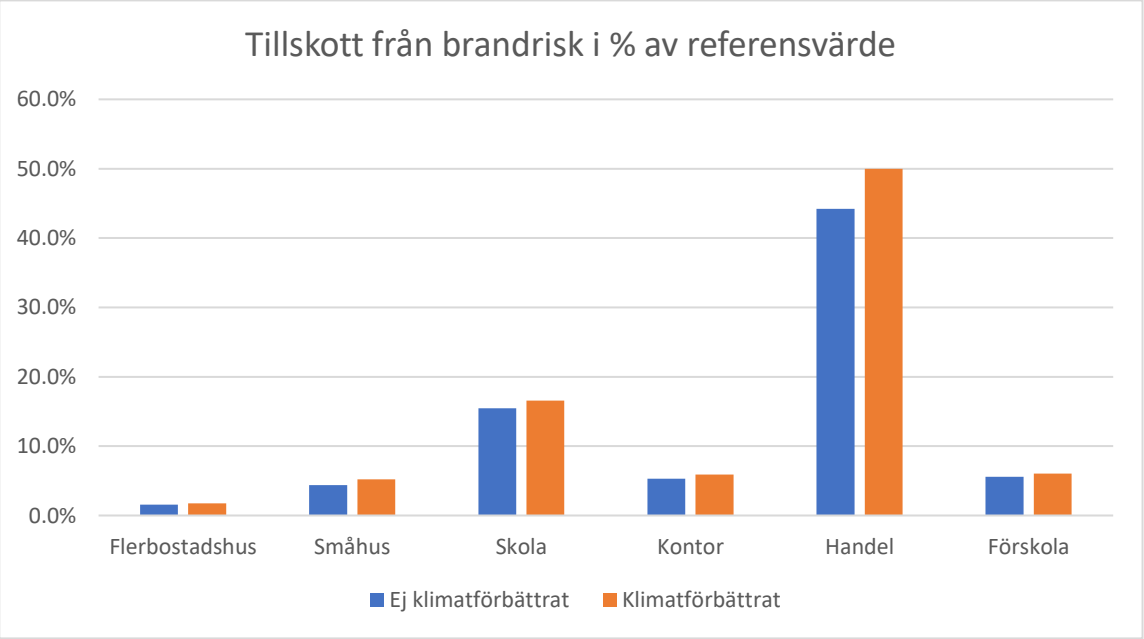
I rapporten med referensvärden för byggnader presenteras även beräkningar för referensvärden med så kallade ”klimatförbättrade produktval” [10]. I dessa beräkningar har förbättrade värden för produkterna betong, konstruktionsstål och aluminium använts för att studera effekterna av sådana val. Dessa förbättrade värden utgår dock från realistiska val som skulle kunna vara möjliga idag. Det innebär alltså att ”vanlig” betong har bytts mot ”klimatförbättrad betong”, vilket ger en lägre klimatpåverkan. Rent brandtekniskt har dessa material bedömts vara likvärdiga, vilket alltså innebär att de klimatförbättrade produkterna inte antas påverka sannolikheten för, eller konsekvensområdet av, en brand. Dock innebär klimatförbättrade produktval en minskad klimatpåverkan även för brandrisken, i och med att ersättningsmaterialen då antas ge lägre klimatpåverkan.

Klimatpåverkan från brandrisk från icke-klimatförbättrade respektive klimatförbättrade produktval redovisas i Tabell 11.

*Tabell 11. Klimatpåverkan från brandrisk med icke-klimatförbättrade och klimatförbättrade produktval.*

| Klimatpåverkan från brandrisk [$kgCO_2e/m^2$] | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Medel, ej klimatförbättrat | 9,1 | 6,4 | 63,9 | 21,9 | 163,2 | 21,2 |
| Medel, klimatförbättrat | 8,2 | 5,6 | 57,2 | 18,8 | 146,5 | 18,9 |
| Procentuell förändring | -13,0 % | -10,0 % | -10,5 % | -14,1 % | -10,2 % | -10,7 % |

Här ses alltså att brandriskens tillskott minskar med cirka 10–14 % vid byggande med förbättrade klimatval. I förhållande till det klimatförbättrade referensvärdet ökar dock andelen som utgörs av brand, vilket illustreras i Figur 10.




*Figur 10. Tillskott från brandrisk i % av referensvärde för icke-klimatförbättrade och klimatförbättrade produktval.*

Resultaten visar alltså att om brandens sannolikhet och skadeområde hålls konstanta så minskar visserligen brandriskens tillskott i faktiska utsläppsenheter med klimatförbättrade produktval. Dock ökar andelen som utgörs av brandrisk i den summerade klimatpåverkan av byggnaden, då

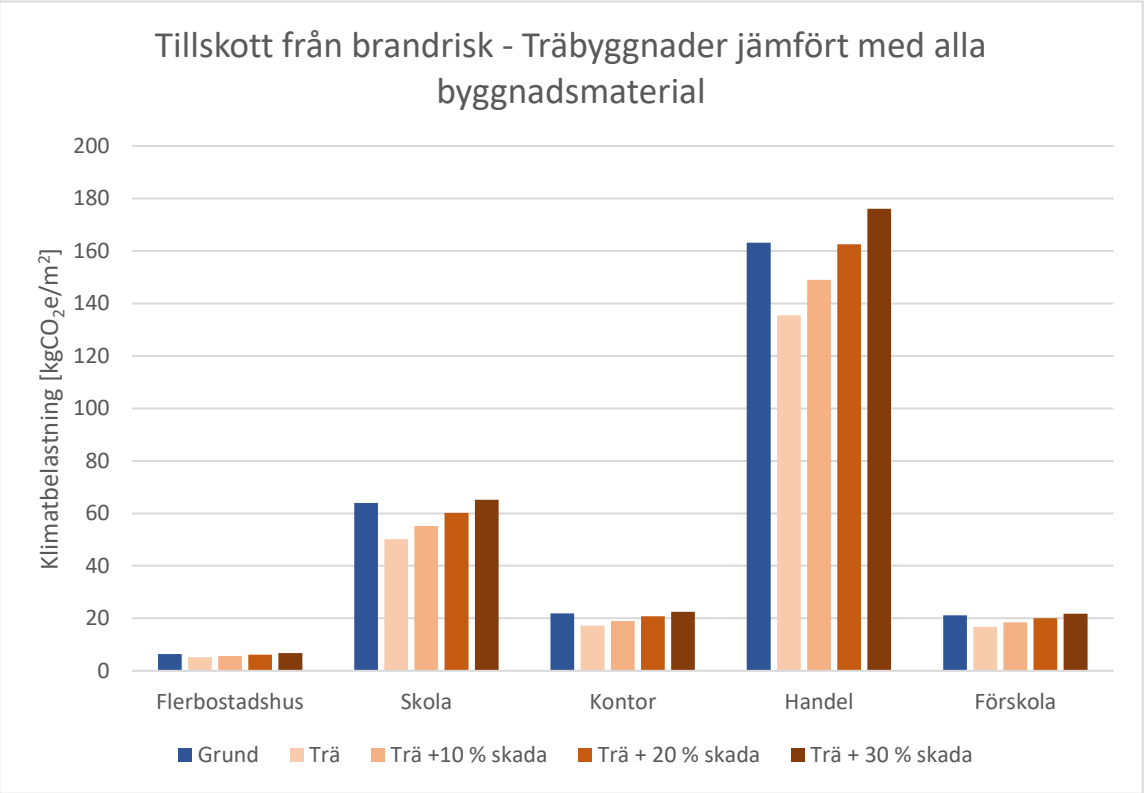
brandrisken i sig inte minskar i samma proportion som referensvärdet. För byggnader med lägre klimatpåverkan från material med motsvarande egenskaper kommer alltså brandrisk utgöra en större andel av den totala klimatpåverkan som byggnaden ger över en livscykel.

### 5.3.2 Trästomme

Byggnader med trästomme har cirka 35 % lägre klimatpåverkan än byggnader med betong-/stålstomme enligt rapporten om referensvärden [10]. I denna beräkning är småhus undantaget, då samtliga småhus i underlaget för referensvärdena redan är utformade med trästomme. Den lägre klimatpåverkan som ges av byggnadsmaterialen innebär, likt tidigare, att klimatpåverkan från brandrisken generellt sänks samtidigt som den andel av en byggnads klimatpåverkan som utgörs av brandrisken ökar. För träbyggnader har dock riskerna med utökade skador vid brand diskuterats och enskilda fall med omfattande skador har fått stort utrymme i media [42], [43]. Av litteraturstudien i avsnitt 3.5 kan det dock utläsas att det finns stora osäkerhet kring huruvida byggnader med trästomme har en annorlunda skadebild vid brand eller inte. Då underlaget är osäkert har en parameteranalys utförts, vilken redovisas i Tabell 12 och i Figur 11.

*Tabell 12. Påverkan av skadeomfattning i byggnader med trästomme på klimatpåverkan från brandrisk.*

| Klimatpåverkan från brandrisk [$kgCO_2e/m^2$] | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|
| Medel, ej trästomme | 6,4 | 63,9 | 21,9 | 163,2 | 21,2 |
| Trästomme - ej utökad skada från brand | 5,2 | 50,1 | 17,3 | 135,4 | 16,8 |
| Trästomme – 10 % utökad skada från brand | 5,7 | 55,2 | 19,0 | 149,0 | 18,4 |
| Trästomme – 20 % utökad skada från brand | 6,2 | 60,2 | 20,7 | 162,5 | 20,1 |
| Trästomme – 30 % utökad skada från brand | 6,7 | 65,2 | 22,5 | 176,1 | 21,8 |



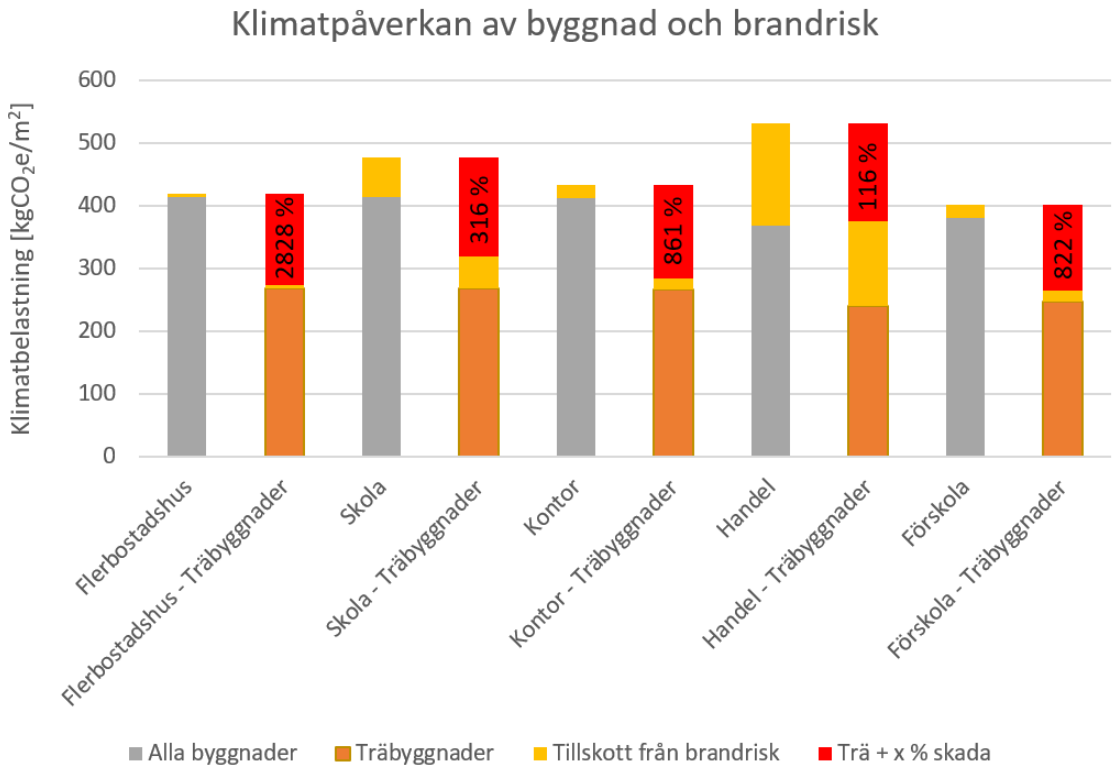

*Figur 11. Illustration över klimatbelastning från brandrisk för träbyggnader jämfört med alla byggnadsmaterial med olika omfattning på brandskada för träbyggnaderna.*

Ovanstående är alltså endast en analys av brandriskens tillskott till byggnadens klimatpåverkan. Tas hänsyn även till att den grundläggande lägre klimatpåverkan som en byggnad med trästomme har jämfört med andra stommaterial så kan det konstateras att den utökade skada som brandrisken skulle behöva ge för att ge motsvarande klimatpåverkan som övriga byggnadsmaterial är cirka 114–2 765 % beroende på byggnadstyp. Detta redovisas även i Tabell 13.

*Tabell 13. Total klimatpåverkan för referensvärde inklusive brandrisk för alla byggnader och träbyggnader samt medelvärden på den procentuella utökade brandskadan som skulle krävas för att träbyggnader ska få motsvarande klimatpåverkan som alla byggnader.*

| Klimatpåverkan från brandrisk [$kgCO_2e/m^2$] | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|
| Medel alla byggnader inkl. brandrisk | 420 | 478 | 434 | 532 | 402 |
| Medel träbyggnader inkl. brandrisk – ej utökad skada från brand | 274 | 319 | 285 | 375 | 264 |
| Procentuellt utökad skada från brand för motsvarande klimatpåverkan | 2 828 % | 316 % | 861 % | 116 % | 822 % |

Detta illustreras i figuren nedan.



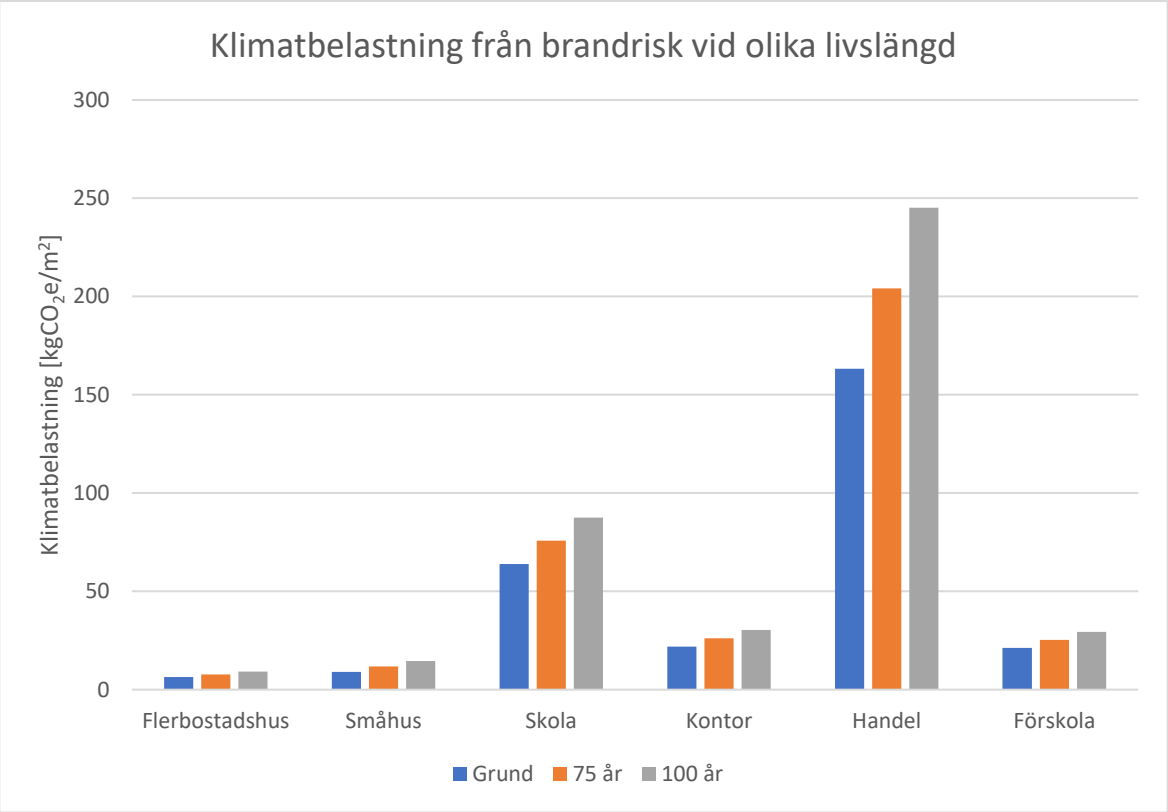

*Figur 12. Klimatpåverkan av byggnad och brandrisk där brandrisken utökats för träbyggnader för att motsvara total klimatbelastning från byggnad och brandrisk för alla byggnadsmaterial.*

## 5.4 Påverkan av byggnadens livslängd

Som nämns i avsnitt 3.1.2 har byggnadens livslängd vid klimatberäkningar betydelse. När brandrisk inkluderas i beräkningen innebär en utökad livslängd att sannolikheten för att en brand kommer inträffa ökar, vilket alltså i sin tur ökar brandrisk. Samtidigt innebär den utökade livslängden att klimatpåverkan från ersättningsmaterial minskar, vilket alltså sänker tillskottet från brandrisken. Hur klimatpåverkan från brandrisken påverkas om byggnadens livslängd skulle utökas till 75 respektive 100 år redovisas i Tabell 14 och i Figur 13. Observera att dessa beräkningar är utförda med antagandet att det grundläggande referensvärdet för klimatpåverkan minskar linjärt med byggnadens livslängd. Detta antagande är inte nödvändigtvis korrekt gällande exempelvis installationer som behöver bytas ut med regelbundna intervall.

*Tabell 14. Klimatpåverkan från brandrisk för olika livslängder av byggnader.*

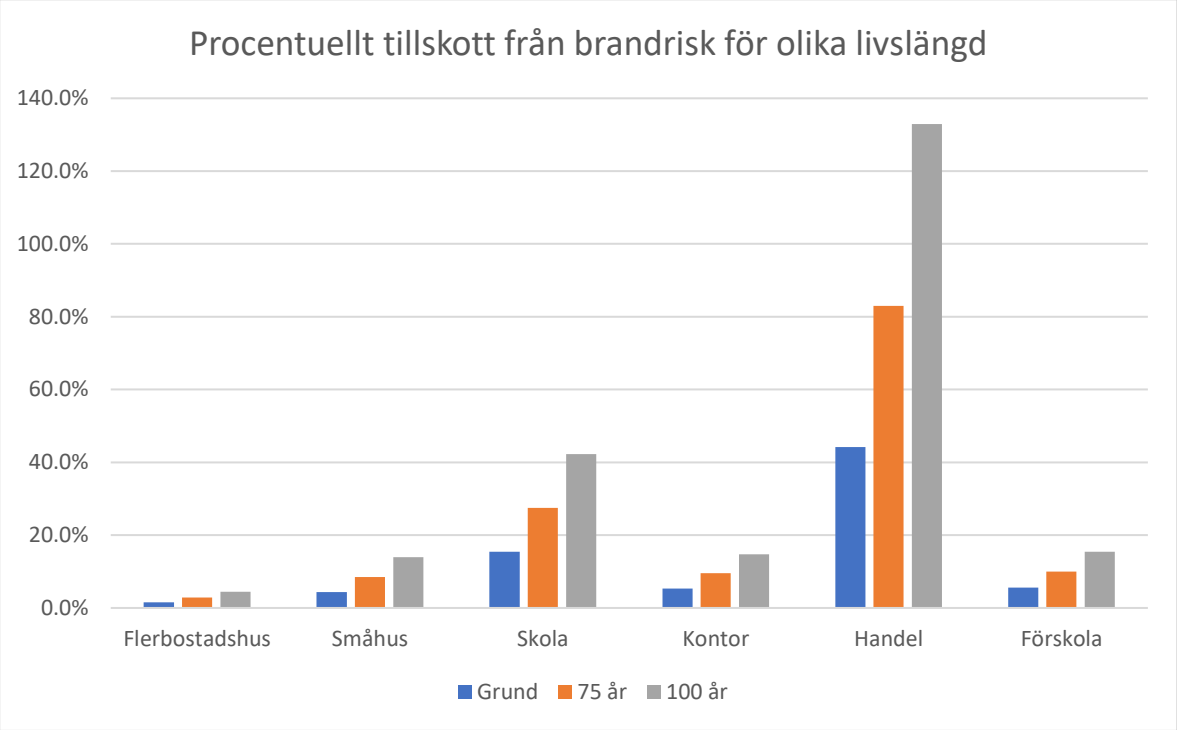
| **Klimatpåverkan från brandrisk [kg$CO_2$e/m$^2$]** | **Småhus** | **Flerbostadshus** | **Skolor** | **Kontor** | **Handel** | **Förskolor** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 50 års livslängd | 9,1 | 6,4 | 63,9 | 21,9 | 163,2 | 21,2 |
| 75 års livslängd | 11,8 | 7,8 | 75,7 | 26,1 | 204,2 | 25,3 |
| 100 års livslängd | 14,5 | 9,2 | 87,6 | 30,3 | 245,2 | 29,4 |




I och med att referensvärdet samtidigt minskar vid utökad livslängd kommer den procentuella andelen av byggnadens klimatpåverkan som utgörs av brandrisken påverkas. Hur den procentuella andelen av den totala klimatpåverkan som utgörs av brandrisk påverkas redovisas i Tabell 15 och Figur 14.

*Tabell 15. Del av klimatpåverkan som utgörs av brandrisk vid olika livslängd.*

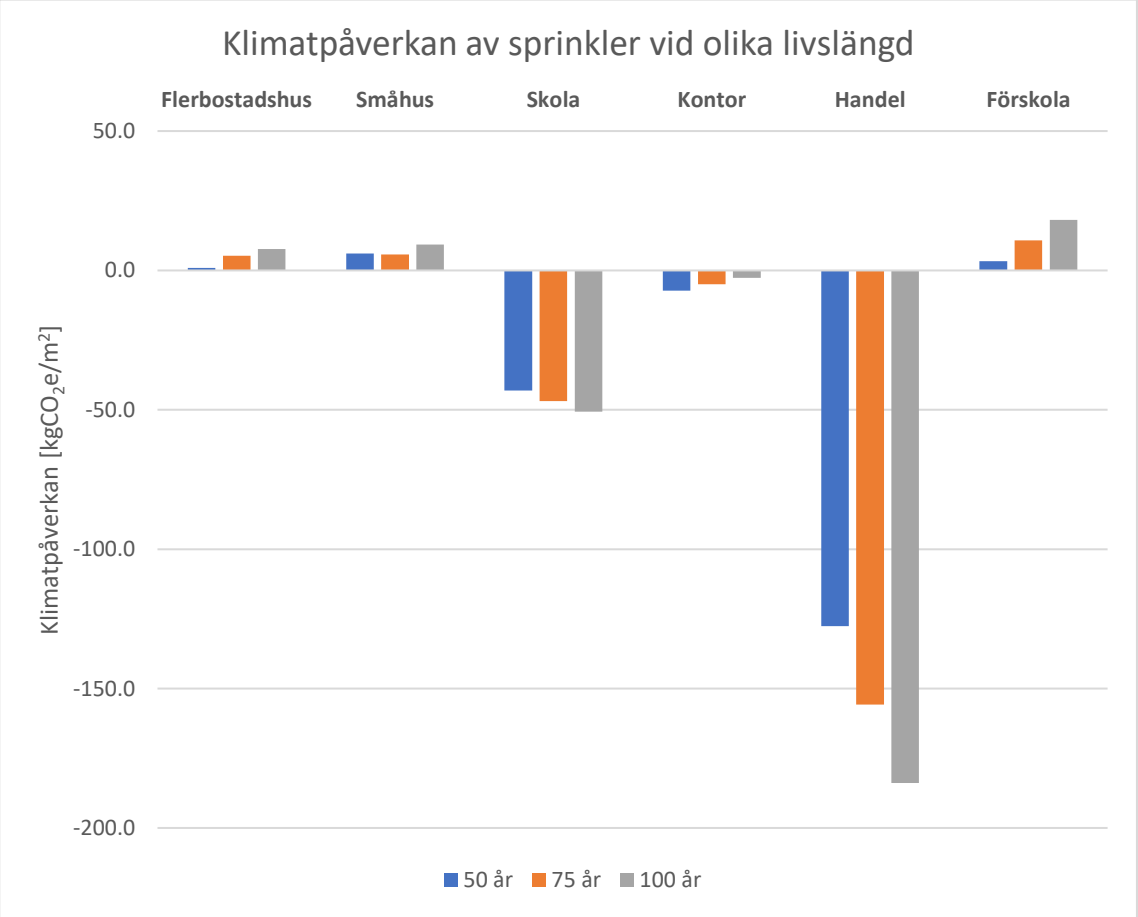
| Del av klimatpåverkan som utgörs av brandrisk | Småhus | Flerbostadshus | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 50 års livslängd | 4,4 % | 1,5 % | 15,4 % | 5,3 % | 44,2 % | 5,6 % |
| 75 års livslängd | 8,5 % | 2,8 % | 27,4 % | 9,5 % | 83,0 % | 10,0 % |
| 100 års livslängd | 14,0 % | 4,4 % | 42,3 % | 14,7 % | 132,9 % | 15,4 % |




*Figur 14. Procentuellt tillskott från brandrisk vid olika livslängd för olika byggnadstyper.*

Av ovanstående kan det konstateras att ju längre livslängd, desto större påverkan kommer brandrisken ge på en byggnads klimatpåverkan.

I och med att tillskottet från brandrisk ökar kan det vara ett naturligt antagande att installationen av ett sprinklersystem är mer gynnsamt ju längre livstid som tillskrivs byggnaden. Dock innebär sprinklersystemets tekniska livslängd och klimatpåverkan för installation och underhåll att så inte nödvändigtvis är fallet. Hur påverkan från sprinklersystemet förändras vid olika livslängd visas i Figur 15. Här kan ses att för flerbostadshus, småhus, kontor och förskolor så minskar nyttan med sprinklersystemet ju mer livslängden för byggnaden utökas. Detta beror på den klimatpåverkan som kommer av att behöva byta sprinklersystem var 25:e år. För skolor och handel ökar dock nyttan med sprinklersystemet ju längre livslängd byggnaden ges.




*Figur 15. Klimatpåverkan av sprinkler vid olika livslängd för byggnaden.*

# 6 KÄNSLIGHETSANALYS

Beräkningarna som är utförda i denna rapport bygger på flera relativt grova antaganden. Dessa antaganden är framtvingade av brister i det statistiska underlaget eller andra brister i den underliggande datamängden.

De antaganden som primärt bedömts osäkra i beräkningen är (1) brandfrekvens, (2) storlek på olika byggnadstyper och (3) storlek på brandskada för olika byggnadstyper. Känsligheten i dessa antaganden studeras vidare nedan.

## 6.1 Brandfrekvens

Brandfrekvensen i rapporten baseras på statistik ifrån MSB och denna bedöms generellt vara av god kvalitet. Dock skulle det kunna vara så att mindre bränder underrapporteras i det statistiska underlaget, då brandincidenter som t.ex. en person i en lägenhet eller på en arbetsplats kunnat släcka kanske aldrig når räddningstjänsten och därmed inte heller kommer in i det statistiska underlaget. Enligt Brandskyddsföreningen är det endast cirka 25 % av de bränder som inträffar i bostäder varje år som når räddningstjänsten och därmed blir del av det underlag som beaktats i denna rapport [44].

Om det antas att ovanstående uppskattning är korrekt och att sådana små bränder kan kategoriseras in i bränder som ”begränsats till startobjektet” så skulle detta innebära 4,2 gånger fler sådana små bränder som inte är med i underlaget. Om detta antagande även är giltigt för samtliga verksamheter, och alltså inte bara bostäder som angett ovan så skulle det innebära en ökning av brandriskens klimatpåverkan med mellan 4–46 %, vilket även visas i Tabell 16.

*Tabell 16. Möjlig påverkan av bränder som är dolda i statistiken.*

| **Klimatpåverkan från brandrisk [$kgCO_2e/m^2$] (förändring i % i parentes)** | **Småhus** | **Flerbostadshus** | **Skolor** | **Kontor** | **Handel** | **Förskolor** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Grundfall | 9,1 | 6,4 | 63,9 | 21,9 | 163,2 | 21,2 |
| Inklusive 4,2 gånger fler små bränder | 9,4 (+4 %) | 7,2 (+12 %) | 89,8 (+40 %) | 32,0 (+46 %) | 190,6 (+17 %) | 24,6 (+16 %) |

Det kan här konstateras att påverkan på brandriskens klimatpåverkan vid denna beräkning är minst i flerbostadshus och småhus, vilket är de kategorier som uppskattningen av

underrapporteringen är utförd för. Om motsvarande underrapportering även gäller för övriga verksamheter så kan det konstateras att det har större påverkan, speciellt för skolor och kontor.

## 6.2 Storlek på olika byggnadstyper

För småhus och flerbostadshus bedöms statistiken på antalet $m^2$ av respektive byggnadstyp som finns relativt säkerställd. För övriga byggnadstyper är dock storlekarna per enhet och antalet enheter relativt osäkra. Om storleken och/eller antalet enheter som finns i dataunderlaget varieras så påverkas sannolikheten för brand, vilket alltså även påverkar slutresultatet.

För att studera effekterna av antaganden om den area som finns i respektive byggnadstyp varierades denna faktor från -30 % till +30 % från ursprungsvärdet. Resultatet visas i Tabell 17. Observera att småhus och flerbostadshus inte ingår i denna beräkning i och med att dataunderlaget där inte bedömts lika osäkert.

*Tabell 17. Påverkan av antagen area för respektive typbyggnad.*

| Klimatpåverkan från brandrisk [$kgCO_2e/m^2$] | Skolor | Kontor | Handel | Förskolor |
|---|---|---|---|---|
| Grundfall | 63,9 | 21,9 | 163,2 | 21,2 |
| -30 % area i dataunderlag | 91,3 | 31,2 | 233,1 | 30,3 |
| -15 % area i dataunderlag | 75,2 | 25,7 | 192,0 | 24,9 |
| +15 % area i dataunderlag | 55,6 | 19,0 | 141,9 | 18,4 |
| +30 % area i dataunderlag | 49,2 | 16,8 | 125,5 | 16,3 |

Skillnaden för samtliga byggnadstyper är procentuellt sett en ökning med 43 % för -30 % area och en minskning med 23 % för +30 % area. Det kan alltså konstateras att brandriskens påverkan ökar mer vid en minskning av arean än den minskar vid en ökning av arean.

## 6.3 Storlek på brandskada för olika byggnadstyper

Den antagna storleken på brandskada redovisas i avsnitt 4.2. Det kan konstateras att storleken på brandskada både beror av antagen storlek på brandcell och antagen skadeomfattning vid olika kategorier av bränder i insatsstatistiken.

### 6.3.1 Storlek på brandcell

Likt storlek på byggnadstyper bedöms underlaget för brandcellsstorlekar för småhus och flerbostadshus som relativt robust. Detta då småhus respektive lägenheter generellt utformas som egna brandceller. För övriga byggnadstyper är dock brandcellsstorlekar mer osäkert. Konsekvensen av branden är direkt beroende av brandcellens storlek, vilket i sin tur innebär att brandriskens klimatpåverkan är linjärt beroende av brandcellsstorleken. Minskas brandcellsstorleken med 50 % minskar alltså även brandriskens klimatpåverkan med 50 %. Detta visas även i Tabell 18.

*Tabell 18. Påverkan av att variera brandcellsstorleken.*

| **Klimatpåverkan från brandrisk [kg$CO_2$e/m$^2$] (brandcellsarea inom parentes)** | **Skolor** | **Kontor** | **Handel** | **Förskolor** |
|---|---|---|---|---|
| Grundfall | 63,9 (1250 m$^2$) | 21,9 (1250 m$^2$) | 163,2 (2500 m$^2$) | 21,2 (400 m$^2$) |
| -50 % area på brandcell | 32,0 (625 m$^2$) | 10,9 (625 m$^2$) | 81,6 (1250 m$^2$) | 10,6 (200 m$^2$) |
| -25 % area på brandcell | 47,9 (938 m$^2$) | 16,4 (938 m$^2$) | 122,4 (1875 m$^2$) | 15,9 (300 m$^2$) |
| +25 % area på brandcell | 79,9 (1563 m$^2$) | 27,3 (1563 m$^2$) | 204,0 (3125 m$^2$) | 26,5 (500 m$^2$) |
| +50 % area på brandcell | 95,9 (1875 m$^2$) | 32,8 (1875 m$^2$) | 244,8 (3750 m$^2$) | 31,8 (600 m$^2$) |

### 6.3.2 Skadeomfattning

Att variera skadeomfattningen ger motsvarande effekt som att variera brandcellsstorleken enligt ovan. Detta då både skadeomfattning och brandcellsstorlek har direkt inverkan på den förväntade skadearean vid brand. Variation av skadeomfattning mellan -50 % till +50 % i förhållande till den omfattning som anges i Tabell 3 i avsnitt 4.2 ger alltså samma svar som anges i Tabell 18.

Det kan dock vara intressant att studera effekterna av att under-/överskatta storleken på små respektive stora bränder i dataunderlaget. Här definieras små bränder som samtliga kategorier av bränder som stannat inom brandcellen och stora bränder är alltså sådana som enligt kategoriseringen spridit sig till flera brandceller och/eller flera byggnader. Resultatet redovisas i Tabell 19.

*Tabell 19. Variation av klimatpåverkan från brandrisk beroende vid olika uppskattning av skadeomfattning för små respektive stora skador.*

| **Klimatpåverkan från brandrisk [$kgCO_2e/m^2$] (förändring i % i parentes)** | **Småhus** | **Flerbostadshus** | **Skolor** | **Kontor** | **Handel** | **Förskolor** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Grundfall | 9,1 | 6,4 | 63,9 | 21,9 | 163,2 | 21,2 |
| Små skador -50 % | 5,9 (-35 %) | 3,9 (-39 %) | 48,1 (-25 %) | 15,0 (-31 %) | 115,3 (-29 %) | 16,0 (-25 %) |
| Små skador +50 % | 12,2 (+35 %) | 8,9 (+39 %) | 79,7 (+25 %) | 28,7 (+31 %) | 211,0 (+29 %) | 26,4 (+25 %) |
| Stora skador -50 % | 7,7 (-15 %) | 5,7 (-11 %) | 47,8 (-25 %) | 17,8 (-19 %) | 129,4 (-21 %) | 15,8 (-25 %) |
| Stora skador +50 % | 10,4 (+15 %) | 7,1 (+11 %) | 80,1 (+25 %) | 26,0 (+19 %) | 196,5 (+21 %) | 26,5 (+25 %) |

I tabellen ovan kan det utläsas att vissa småhus och flerbostadshus är avsevärt känsligare gällande antaganden för skadeomfattning av små bränder. Även kontor och handel är mer känsliga för detta antagande men i något mindre grad. För skolor och förskolor ger dock antaganden gällande skadeomfattning för stora bränder samma påverkan som de gällande små bränder.

# 7 DISKUSSION

Flera projekt har tidigare genomförts där olika modeller för att estimera en brands klimatpåverkan presenteras och även om det finns likheter så har inget tidigare projekt angripit problemställningen på det sätt som görs i den här rapporten. Gemensamt för samtliga tidigare fall är dock att det fastslås att osäkerheterna avseende indata är stor, dels då det statistiska underlaget är begränsat, dels då det är svårt att förutspå hur en brand beter sig och avgöra vilken omfattning den får. Detta är något som även påverkar denna rapport och en av de största svagheterna i resultaten bedöms vara osäkerheten i de indata som tillämpas. För att hantera dessa osäkerheter har känslighetsanalyser genomförts med de variabler som bedömts vara förknippade med störst osäkerhet.

Vidare har metoden som används i denna rapport tagits fram med målet att vara relativt enkel, för att på så vis öka användbarheten. Beräkningarna som genomförts har gjorts på ett generellt plan, vilket påverkar möjligheten att ta hänsyn till vissa byggnadsspecifika faktorer. Exempelvis har klimatpåverkan från räddningstjänstens insats, såsom framkörning och liknande, inte beaktats, då denna bedömts svår att generalisera. Detta innebär alltså att effekterna av brandrisken är något lägre än de som hade varit aktuella om detta beaktats. Dock bedöms dessa effekter vara relativt små sett till övriga delar av brandens klimatpåverkan.

I resultaten från rapporten så är brandriskens klimatpåverkan minst i flerbostadshus och störst i handelsbyggnader. Detta beror till stor del på brandcellsstorlekar, som av naturliga orsaker är begränsade i lägenhetsbyggnader, som i sin tur påverkar skadeomfattningen på bränderna. Dock har även sannolikhet för en brands uppkomst viss påverkan på resultatet.

Resultaten visar även att installationen av sprinkler både kan öka och minska en byggnads förväntade klimatpåverkan. Reduktionen av klimatpåverkan för skolor och handel är speciellt påtaglig och sprinklerinstallationen minskar här brandriskens klimatpåverkan med 77–88 %. Detta belyser det faktum att brandrisk är en viktig faktor att införa i beräkningarna. Utan brandrisk riskerar sprinklersystemet att endast se ut som en klimatbelastning i beräkningen, medan det med hänsyn till brandrisk alltså kan innebära en betydande minskning av byggnadens klimatpåverkan över dess livscykel.

Vid beräkning av effekterna som sprinklerskydd har på klimatpåverkan så har det antagits att byggnadsbeståndet som helhet är osprinklat, vilket inte är ett helt korrekt antagande. För flerbostadshus, småhus, förskolor och skolor bedöms detta antagande som relativt robust men för kontor och handel är antagandet förenat med något större osäkerheter. Dock bedöms effekterna av antagandet snarare innebära att bränder som kontrollerats av sprinklersystemet, och således begränsats i skadeomfattning, inkluderats i det underlag som tillskrivits hela

byggnadsbeståndet. Detta innebär alltså att antagandet innebär en underskattning av effekterna hos sprinklersystemet, snarare än tvärtom.

För beräkningarna av sprinklersystemets klimatpåverkan har det även gjorts antaganden om systemets livslängd på 25 år. Detta antagande bedöms erfarenhetsmässigt lågt och om sprinklersystemets livslängd utökas minskar även klimatpåverkan från installationen. I och med att installationen av sprinkler innebär mindre än en procents utökning av den klimatpåverkan som flerbostadshus och förskolor ger i beräkningarna så skulle en faktor som utökad livslängd sannolikt kunna kompensera för detta.

För träbyggnader och byggnader med klimatförbättrade produktval är referensvärdet för byggnadernas klimatpåverkan lägre än grundvärdet. Detta påverkar även brandrisken som också minskar i och med att ersättningsmaterialen då antas ge mindre klimatpåverkan än i grundfallet. Dock består klimatpåverkan från brandrisken även av utsläpp från branden i sig, vilket inte påverkas av materialvalet på samma sätt. Brandriskens klimatpåverkan minskar därför inte i samma utsträckning som byggnadens totala klimatpåverkan när material med mindre klimatpåverkan väljs. Det kan därför konstateras att brandrisken procentuella tillskott till byggnadens klimatpåverkan över livscykeln blir större, och därför även viktigare att beakta, ju mindre klimatpåverkan en byggnad kan byggas med.

För träbyggnader redovisas beräkningsjämförelser för klimatpåverkan från både brandrisken i sig och för skillnaden mellan träbyggnader och övriga byggnader när brandrisken inkluderas. Resultaten visar att skadeomfattningen i träbyggnader behöver vara relativt mycket större än i byggnader med övriga byggnadsmaterial för att samma totala klimatpåverkan ska uppnås. Här bör det noteras att utifrån tillgänglig statistik i dagsläget inte går att fastställa om skadeområdet blir mer omfattande vid en brand i en byggnad i trä än en byggnad i betong eller stål. I och med att träbyggnader i den typ som byggs idag utgör ett relativt ungt byggnadsbestånd så är detta något som bör studeras och jämföras över tid. Detta för att ge bättre fortsatt underlag till den typ av beräkningar som genomförts i den här rapporten.

Resultaten från rapporten visar även att byggnadens antagna livslängd har stor påverkan på brandriskens tillskott till byggnadens klimatpåverkan. På samma sätt som för träbyggnader och klimatförbättrade produktval så innebär en utökad livslängd på byggnaden att klimatpåverkan från byggnaden i sig, och även ersättningsmaterial vid brand, minskar. Samtidigt innebär en utökad livslängd att sannolikheten för brand ökar, vilket i sin tur ökar brandriskens klimatpåverkan. Sammantaget visar resultaten att klimatpåverkan från brandrisk ökar i faktiska koldioxidekvivalenter per kvadratmeter, samtidigt som byggnadens klimatavtryck i övrigt minskar. Således blir brandriskens tillskott till byggnadens klimatpåverkan procentuellt sett avsevärt högre.

Resultaten från beräkningarna av konstruktionsmaterial och livslängd visar att ju lägre klimatpåverkan som en byggnad kan byggas med, desto större påverkan har brandrisken på byggnadens totala klimatpåverkan över livscykeln. I takt med att utvecklingen innebär att byggnader utförs med mindre klimatpåverkan blir det alltså samtidigt viktigare att beakta brandriskens tillskott till denna påverkan.

I rapporten studeras brand i förhållande till den klimatpåverkan som en byggnad tillför under byggskedet, det vill säga Modul A i en LCA. Detta är inte helt korrekt då brand även kan argumenteras ingå i Modul B (bruksfas) eller Modul C (rivning och demontering). I dagsläget beaktas inte brand i någon modul och påverkar således inte utslaget vid klimatberäkningar. Dock påverkas konsekvensen av en brand av val gjorda inom modul A, vilket är ett argument för att brandrisken skulle behöva beaktas redan i de tidiga klimatberäkningarna av en byggnad. Effekterna av brandskydd ger således endast en negativ påverkan i de klimatberäkningar som görs för byggnader idag. Ett utökat brandskydd i form av fler brandcellsgränser, sprinkler eller liknande ”kostar” alltså endast klimatpåverkan i kalkylen, även om effekterna över byggnadens livstid skulle kunna vara innebära en lägre klimatpåverkan sett till byggnadens totala livscykel.

För att hantera denna problematik och dessutom kunna relatera brandriskens klimatpåverkan till de regelmässiga ramverk som klimatdeklarationer innebär har brandens klimatpåverkan alltså relaterats till Modul A och de referensvärden som anges där. I andra applikationer och i byggnadsspecifika beräkningar kan det finnas anledning att avvika från denna metodik och då kan det vara relevant att även reflektera över vilka delar av brand och brandskydd som infaller inom de olika modulerna.

Det bör noteras att olika tekniska val generellt kan ge olika utslag i en klimatkalkyl och det kan i vissa fall vara svårt att belysa den faktiska klimatpåverkan som olika val ger sett ur just ett livscykelperspektiv. Detta beror också på att de beräkningar som utförs idag generellt innefattar modul A, men brandteknisk strategi för en byggnad kan ge fler konsekvenser om även modul B-D beaktas. Faktorer som exempelvis teknisk livslängd och behov avseende drift- och underhåll kan ge stort utslag avseende klimatpåverkan under en byggnads livscykel och är inget som inkluderas i de klimatberäkningar som erfordras enligt dagens lagstiftning. Om kraven i klimatdeklarationerna utökas till att innefatta sådana delar blir det dock än viktigare att även beakta brandrisken. Detta för att inte göra val som innebär mindre klimatpåverkan sett till beräkningen, men som faktiskt ökar byggnadens klimatpåverkan sett till hela livscykeln när brandrisken är inkluderad.

# 8 SLUTSATS

Resultaten från den genomförda studien visar att brandrisken kan ge ett betydande tillskott till en byggnads beräknade klimatpåverkan. Brandriskens tillskott varierar för olika byggnadstyper men är i grundfallet mellan 1,5–44,2 % av det referensvärde som byggnadstyperna har enligt Boverkets rapport för underlag till klimatdeklarationerna. Det kan alltså konstateras att brandrisk är en faktor som bör beaktas och inarbetas i en byggnads klimatberäkning.

Av resultaten kan det även konstateras att en sprinklerinstallation på ett generellt plan utökar klimatpåverkan för småhus, flerbostadshus och förskolor. För byggnadstyperna skolor, kontor och handel innebär dock sprinklerskydd en minskad klimatpåverkan sett till byggnadens livscykel. Observera att installation av sprinkler endast utvärderas med grova antaganden och utifrån klimatpåverkan i denna rapport. Det kan finnas andra fördelar med sprinkler, så som de livräddande egenskaperna, som bör vägas in i utvärderingen av installationens lämplighet.

Resultaten visar även att det faktiska tillskottet i klimatpåverkan från brandrisk minskar vid klimatförbättrade produktval och i byggnader med trästomme. Dock minskar endast delar av brandriskens tillskott, vilket gör att brandriskens klimatpåverkan inte minskar i samma omfattning som referensvärdet för dessa faktorer. Det innebär att den procentuella andelen av byggnadens totala klimatpåverkan som utgörs av brandrisken ökar.

Även byggnadens antagna livslängd har studerats. Här konstateras att en utökad livslängd innebär att brandriskens klimatpåverkan ökar för samtliga byggnadstyper. I och med att byggnadens klimatpåverkan i sig samtidigt antas minska med en utökad livslängd, så ökar den procentuella andelen av den klimatpåverkan som brandrisken utgör avsevärt i samtliga fall. I fallet med mest påverkan av brandrisk är denna faktor större än den klimatpåverkan som byggnadens uppförande innebär. Detta medför att om livslängden för byggnader framgent förlängs så kommer också den del som brandrisken tillför bli mer betydelsefull.

Resultaten i denna rapport visar också att när byggnader utförs med lägre klimatpåverkan och beräknas med längre livslängd så ökar den påverkan som brandrisk har på byggnadens totala klimatpåverkan. Ju lägre klimatpåverkan som byggnader kan utföras med i framtiden, desto viktigare blir det att beakta brandrisken tillskott till beräkningen.

Avslutningsvis bör det poängteras att statistiska underlag är bristfälliga avseende flera faktorer så som sannolikheter, storlek på brandceller och konsekvensområden vid brand. Dock har effekterna av dessa osäkerheter studerats i känslighetsanalysen och slutsatsen att brandrisken kan ha en betydande påverkan på byggnadens klimatpåverkan bedöms kvarstå även i de fall som indata avsevärt ändrats i icke-konservativ riktning.

# 9 REKOMMENDATIONER TILL LAGSTIFTARE OCH MILJÖCERTIFIERINGSSYSTEM

Boverket har under arbetes gång med detta projekt redovisat en rapport avseende hur införandet av gränsvärden för byggnader kan påskyndas [18]. I rapporten föreslås explicita gränsvärden för specifika byggnadstyper, i likhet med vad som finns i t.ex. Danmark, och det rekommenderas också att fler delar av en byggnad ska ingå i beräkningarna. Föreslagna gränsvärden gäller för modul A, men Boverket rekommenderar att från 2027 utöka klimatdeklarationerna till att innefatta även modul B2, B4, B6 och C1-C4.

Gränsvärdet föreslås att omfatta samtliga byggdelar av en byggnad från grunden och dess isolering, dock exkluderas solceller och fast utrustning. En anledning till att solceller föreslås exkluderas är att klimatpåverkan från materialproduktionen av solceller riskerar att styra bort från att solceller installeras på nya byggnader, då detta skulle belasta klimatberäkningar för modul A1–A5 och klimatbesparingen i driftskedet av solceller inte tillgodoräknas i beräkningen. Resonemanget för att exkludera solceller är alltså det samma som förs gällande brandskydd i denna rapport. Exkluderas brandrisk från beräkningarna riskerar utformningar och installationer som påverkar brandrisken endast blir belastande i modul A, vilket innebär att sådana utformningar potentiellt kan prioriteras bort för att uppnå föreskrivna gränsvärden. Detta riskerar att skapa ineffektiva lösningar som på sikt ökar byggnadernas klimatpåverkan sett till hela livscykeln. I och med att gränsvärden dessutom planeras att skärpas successivt medför detta att brandrisken dessutom får större inverkan avseende klimatpåverkan, varpå problematiken ökar med tiden och därför bör adresseras.

Det poängteras också i Boverkets rapport att en utvärdering behöver göras innan en skärpning av gränsvärden för att följa upp kostnader och andra konsekvenser, och risken för att oönskade effekter uppstår när det gäller tekniska egenskaper som till exempel brand nämns. Vi anser att denna rapport kan utgöra grund för en sådan utvärdering, och att metoden i aktuell rapport kan utvecklas så att faktorn brand kan inkluderas för att utvärdera konsekvenser för klimatpåverkan.

En annan möjlig lösning för att motverka problematiken som diskuteras ovan skulle kunna vara att exkludera även sprinklersystem ur klimatdeklarationen. Dock finns det flera andra brandtekniska åtgärder som sannolikt har liknande problematik men som inte studerats explicit i denna rapport. Det rekommenderas därför att inkludera brandrisken som en faktor i beräkningen. På så vis kan även eventuella åtgärder för reduktion av denna inkluderas och utvärderas.

Som nämnts tidigare ska det dock förtydligas att en brand medför fler konsekvenser utifrån ett hållbarhetsperspektiv än klimatpåverkan, varpå scenariot bör utvärderas utifrån fler olika aspekter.

# 10 FÖRSLAG PÅ FRAMTIDA FORSKNING

I projektet har det identifierats ett antal förslag på områden för vidare utveckling och forskning för att kunna utöka användandet, precisionen, nyttan och/eller tillämpbarheten för LCA beräkningar där brandriskens klimatpåverkan inkluderas.

### *STUDERA EFFEKTERNA AV FLERA BRANDSKYDDSSYSTEM*

I den aktuella rapporten har sprinklers påverkan på brandrisken studerats. Dock finns andra system som skulle kunna påverka sannolikheten för, eller konsekvensen av, en brand. Detta är exempelvis spisvakt, brandlarmsystem och/eller brandcellsindelning. Dessa system har inte inkluderats i det aktuella arbetet då det funnits brister i dataunderlag gällande både klimatpåverkan vid installation samt i skattningen av effekterna av sådana system på brandrisken.

### *STUDIER FÖR ATT AVGÖRA SKADEOMFATTNING AV BRÄNDER*

I de utförda beräkningarna har grova antaganden kopplade till omfattningen av brandskador i förhållande till inkodade värden i insatsrapporterna gjorts. Känsligheten i dessa antaganden har visserligen studerats i känslighetsanalysen men det skulle vara positivt för denna typ av beräkningar, och i flera andra sammanhang, om mer precisa skadeområden av bränder kunde definieras. Studier på detta område bör då inkludera mer precis omfattning på brandskador samt omfattning på ersättningsmaterial efter brand.

### *FALLSTUDIER DÄR KLIMATPÅVERKAN AV OLIKA BRANDSKYDDSUTFORMNINGAR JÄMFÖRS*

I litteraturstudien redogörs för vissa studier där olika brandskyddsutformningars klimatpåverkan studerats för enskilda byggnader/byggnadstyper. Ytterligare sådana beräkningar bör göras inom flera olika fallstudier för att studera effekterna av olika skyddssystem för enskilda byggnader.

### *STATISTISKA JÄMFÖRELSER AV BRANDPÅVERKAN I OLIKA STOMTYPER*

I rapporten har det konstaterats att det vetenskapliga underlaget för att bedöma/jämföra skadeomfattning av bränder i byggnader med trästomme med andra stommaterial är svagt. Det rekommenderas att sådana jämförelser görs kontinuerligt för att öka denna kunskap och på så vis kunna uppdatera denna typ av modeller i takt med att byggnadsbeståndet ökar och blir äldre. Det rekommenderas även att skadeomfattning jämförs även kopplat till andra byggnadsmaterial t.ex. betong/stål eller liknande för att kunna utröna om det finns skillnader som bör beaktas vid denna typ av beräkningar.

# 11 REFERENSER

[1] SIS, ”Svensk Standard SS-EN 15978:2011 Hållbarhet hos byggnadsverk - Värdering av byggnaders miljöprestanda - Beräkningsmetod”, Swedish Standards Institute, Stockholm, 2011.

[2] ”Introduktion till livscykelanalys (LCA)”, Boverket. Åtkomstdatum: 16 september 2022. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/

[3] ”Klimatdeklaration – en handbok”, Boverket. Åtkomstdatum: 28 augusti 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/

[4] Boverket, ”Utveckling av regler om klimatdeklaration av byggnader - Förslag på färdplan och gränsvärden”, Boverket, Karlskrona, 2020. Åtkomstdatum: 15 juli 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2020/utveckling-av-regler-om-klimatdeklaration-av-byggnader/

[5] B. Meacham och M. McNamee, SFPE Handbook of Fire and the Environment - Impacts and Mitigation. Cham: Springer, 2022.

[6] N. Olsson och T. Göras, Hållbart Brandskydd - En bok om hållbara brandskyddsutformningar. Göteborg: Bengt Dahlgren, 2018.

[7] P. Andersson, M. Simonson, C. Tullin, H. Stripple, J. O. Sundqvist, och T. Paloposki, ”FIRE-LCA Guidelines”, SP Technical Research Institute of Sweden, Borås, SP Report 2004:43, 2004.

[8] F. Amon, J. Gehandler, R. McNamee, M. McNamee, och A. Vilic, ”Measuring the impact of fire on the environment (Fire Impact Tool, version 1)”, Brandforsk, Borås, RISE Report 2019:60, 2019.

[9] T. Malmqvist, S. Borgström, J. Brismark, och M. Erlandsson, Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader. KTH Royal Institute of Technology, 2021. Åtkomstdatum: 28 augusti 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-307065

[10] T. Malmqvist, S. Borgström, J. Brismark, och M. Erlandsson, Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader, Version 2, 2023. KTH Royal Institute of Technology, 2023.

[11] A. Bjørn, M. Owsianiak, C. Molin, och M. Z. Hauschild, ”LCA History”, i Life Cycle Assessment: Theory and Practice, M. Z. Hauschild, R. K. Rosenbaum, och S. I. Olsen, Red., Cham: Springer International Publishing, 2018, s. 17–30. doi: 10.1007/978-3-319-56475-3_3.

[12] ISO, ISO 14040:97 Environmental management - Life cycle assessment - Principals and framework. 1997. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.iso.org/standard/23151.html

[13] ISO, ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principals and framework. 2006. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.iso.org/standard/23151.html

[14] N. Dodd, S. Donatello, och M. Cordella, ”Levels(s) indicator 1.2: Life cycle Global Warming Potential (GWP) User manual: overview, instructions and guidance (publication version 1.0)”, European Commission, 2020.

[15] N. Dodd, S. Donatello, och M. Cordella, ”Level(s) - A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings, Part 1: Introduction to the Level(s) common framework (publication version 1.0)”, European Commission, 2021.

[16] Regeringskansliet, ”En taxonomi för hållbara investeringar”, Regeringskansliet. Åtkomstdatum: 09 november 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.regeringen.se/regeringens-politik/finansmarknad/taxonomi-ska-gora-det-enklare-att-identifiera-och-jamfora-miljomassigt-hallbara-investeringar/

[17] Sveriges Riksdag, ”Lag (2021:787) om klimatdeklaration för byggnade”, Regeringskansliet, Stockholm, 2021.

[18] Boverket, ”Gränsvärde för byggnaders klimatpåverkan och en utökad klimatdeklaration”, Boverket, Karlskrona, 2023.

[19] Sweden Green Building Council, ”NollCO2 Nettonoll klimatpåverkan Manual 1.1”, 2022.

[20] Hannes, ”Husens korta livslinje – 50 år ett hån mot hållbarheten”, Svenska Byggnadsvårdsföreningen. Åtkomstdatum: 28 augusti 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://byggnadsvard.se/husens-korta-livslinje-50-ar-ett-han-mot-hallbarheten/

[21] M. K. Dixit, ”Life cycle recurrent embodied energy calculation of buildings: A review”, J. Clean. Prod., vol. 209, s. 731–754, feb. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.230.

[22] M. Erlandsson och D. Holm, Livslängdsdata samt återvinningsscenarion för mer transparenta och jämförbara livscykelberäkningar för byggnader. IVL Svenska Miljöinstitutet, 2015. Åtkomstdatum: 17 september 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ivl:diva-2957

[23] F. Amon, J. Gehandler, S. Stahl, M. Tomida, och B. Meacham, Development of an Environmental and Economic Assessment Tool (Enveco Tool) for Fire Events. i SpringerBriefs in Fire. New York, NY: Springer, 2016. doi: 10.1007/978-1-4939-6559-5.

[24] P. Blomqvist och M. Simonson, ”Estimation of CO2-emissions from fires in dwellings, schools and cars in the Nordic countries”, SP, Borås, 2009.

[25] D. Malm och A.-I. Pettersson, ”Tillförlitlighet för automatiska sprinkleranläggningar - en analys av befintlig statistik”, Lunds Universitet, Lund, Rapport 5720, 2008.

[26] M. Melin, ”Tillförlitlighet för automatiska vattensprinkleranläggningar - Djupstudie av MSB:s insatsrapporter avseende bränder i byggnader som är försedda med automatiska vattensprinklersystem”, Brandkonsulten AB, Stockholm, 2017.

[27] M. Ahrens, ”U.S. Experience with Sprinklers”, NFPA, Quincy, 2021.

[28] Z. Baghdasarian Setragian och S. Burke, ”Konsekvenser av vattenskador i konstruktioner av massivträ”, SBUF, Malmö, 14046, 2023. Åtkomstdatum: 11 september 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.sbuf.se/projektresultat/projekt?id=f3e84dbd-b68a-484c-aded-c411572e7d11

[29] D. Brandon, F. Vermina Lundström, och E. Mikkola, SAFITS - Statistical Analysis of Fires in Timber Structures. 2021. Åtkomstdatum: 17 september 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-58976

[30] Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, ”Kostnadsnyttoanalyser - Sprinkler i särskilda boenden för äldre”, MSB, Karlstad, MSB 477-12, 2010.

[31] M. Arvidson och H. Frantzich, Sprinklersystem i fortifikationsläggningar under mark: Kostnad och nytta. 2020. Åtkomstdatum: 12 september 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-43536

[32] O. Lundberg, ”Brand i flerbostadshus – En rapport om skadekostnader vid brand relaterade till de branddrabbade husens byggnadsmaterial”, Betongindustrierna, 2005.

[33] P.-E. Eriksson, T. Nord, och B. Östman, ”Kartläggning av brandincidenter i flervåningshus med trästomme – Erfarenheter från 20 års brukande”, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Linköpings Universitet, SP Rapport 2016:12, 2016.

[34] A. Zheng, L. Garis, och I. Pike, ”Fire Severity Outcome Comparison of Apartment Buildings Constructed from Combustible and Non-Combustible Construction Materials”, Fire Technol., vol. 58, nr 4, s. 1815–1825, juli 2022, doi: 10.1007/s10694-022-01223-4.

[35] ”Nästan 5,2 miljoner bostäder i landet”, Statistiska Centralbyrån. Åtkomstdatum: 28 augusti 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/boende-byggande-och-bebyggelse/bostadsbyggande-och-ombyggnad/bostadsbestand/pong/statistiknyhet/bostadsbestandet-31-december-2022/

[36] ”Sök statistik om förskola, skola och vuxenutbildning”. Åtkomstdatum: 28 augusti 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.skolverket.se/skolutveckling/statistik/sok-statistik-om-forskola-skola-och-vuxenutbildning

[37] ”Energistatistik för lokaler”. Åtkomstdatum: 28 augusti 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/energistatistik-for-lokaler/

[38] B. Persson, M. Simonson, och M. Månsson, Utsläpp från bränder till atmosfären. 1995. Åtkomstdatum: 28 augusti 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-4307

[39] Boverket, Boverkets byggregler - BBR 29 (BFS 2011:6 med ändringar t.o.m. BFS 2020:4). Karlskrona, 2020.

[40] Boverket, Boverkets allmänna råd om brandbelastning, BBRBE. 2013.

[41] F. för brandteknisk ingenjörsvetenskap, ”BIV:s tillämpningsdokument 2/2013 – Utgåva 1, CFD-beräkningar med FDS”, 2013.

[42] E. Oldberg, I. Hamdan, och B. Arvidson, ”Expert efter branden på Lindängen: Trähus är ”engångshus””, Sydsvenskan, Malmö, 12 augusti 2023. Åtkomstdatum: 16 september 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.sydsvenskan.se/2023-08-12/expert-efter-branden-pa-lindangen-trahus-ar-engangshus

[43] S. V. T. Nyheter, J. Jonsson, och E. Lång, ”Det snabba brandförloppet ska utredas”, SVT Nyheter, 03 september 2013. Åtkomstdatum: 16 september 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.svt.se/nyheter/lokalt/norrbotten/det-snabba-brandforloppet-ska-utredas

[44] Brandskyddsföreningen, ”Så här förebygger du en brand i din bostad”. Åtkomstdatum: 09 november 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.brandskyddsforeningen.se/brandsakerhet-i-hemmet/sa-har-forebygger-du-en-brand-i-din-bostad/

# Stödorganisationer

**under 2023 då detta projekt beviljades**

Akademiska hus • Bengt Dahlgren Brand & Risk • Brand och Bygg Sverige AB
Brandkåren Attunda • Brandskyddsföreningen • Brandskyddsföreningen Gävleborg • Brandskyddsföreningen Skaraborg • Brandskyddsföreningen Södermanland • Brandskyddsföreningen Värmland • Brandskyddsföreningen Väst
Brandskyddsföreningen Västernorrland • Brandskyddslaget • Brandutredarna
Dina Gruppen • Eld & Vatten • Folksam • Försäkrings AB Göta Lejon • GellCon
Höglandets räddningstjänstförbund • If Försäkring • Kristianstads Räddningstjänst • Kommunassurans Syd Försäkrings AB • Kyrkans Försäkring • Lantmännen • MSB, myndigheten för samhällsskydd och beredskap • NBSG, Nationella Brandsäkerhetsgruppen • Nerikes Brandkår • Q-Fog i Nora AB • Region Stockholm, Trafikförvalningen • RISE, Research Instiutes of Sweden Riksantikvarieämbetet • Räddningstjänsten Boden • Räddningstjänsten Karlstadsregionen
Räddningstjänsten Kalix • Räddningstjänsten Luleå • Räddningstjänsten Storgöteborg • Räddningstjänsten Syd • Räddningstjänsten Östra Götaland
Räddningstjänsten Mitt Bohuslän • Skinnskattebergs Räddningstjänst
Statens fastighetsverk • Stockholms Stads Brandförsäkringskontor
Storstockholms Brandförsvar • Södertörns brandförsvarsförbund
Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund

Insamlingsstiftelsen Brandforsk verkar för ett brandsäkert samhälle byggt på kunskap. Det gör vi genom att initiera och finansiera kunskapsutveckling inom området brandsäkerhet, och vi arbetar för att sprida den kunskapen så att den ska göra nytta.

Vi finansierar detta med insamlade medel från våra stödorganisationer som på så sätt bidrar till vår vision om
**“Ett brandsäkert och hållbart samhälle byggt på kunskap”**

**Brandforsk**
info@brandforsk.se, www.brandforsk.se

BRAND FORSK

## Projektgrupp

BENGT DAHLGREN

**Finansierad av**
Brandforsks verksamhet möjliggörs av stöd från olika organisationer i samhället. Läs mer om våra stödorganisationer på www.brandforsk.se