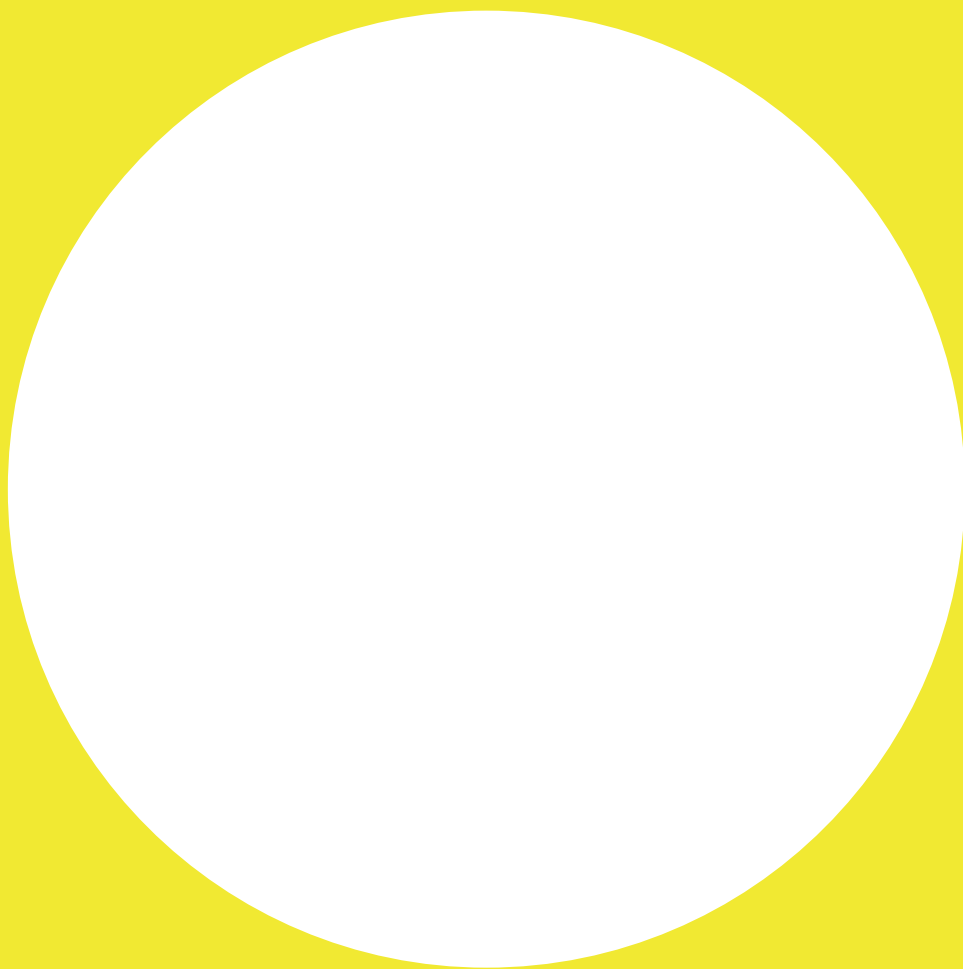


Analytisk brannteknisk prosjektering av trebygninger i brannklasse 3

Veileder for brannrådgivere og konstruktører



Aleksander Gamlemshaug, Multiconsult, Björn Magnusson, Rambøll, Martin Dragland Granum, Asplan Viak, Kathinka Leikanger Friquin, SINTEF, Birgit Risholt, SINTEF, Dag Denstad, Rambøll, Vegard Ervik Olsen, Multiconsult, Eli Bjørhovde Rindal, Treindustrien.



FRIC Rapport D3.2-2023.02

Forfattere: Aleksander Gamlemshaug, Multiconsult, Björn Magnusson, Rambøll, Martin Dragland Granum, Asplan Viak, Kathinka Leikanger Friquin, SINTEF, Birgit Risholt, SINTEF, Dag Denstad, Rambøll, Vegard Ervik Olsen, Multiconsult, Eli Bjørhovde Rindal, Treindustrien. Kvalitetssikring: Anne Steen-Hansen, NTNU og RISE Fire Research.

Tittel: Analytisk brannteknisk prosjektering av trebygninger i brannklasse 3 – veileder for brannrådgivere og konstruktører

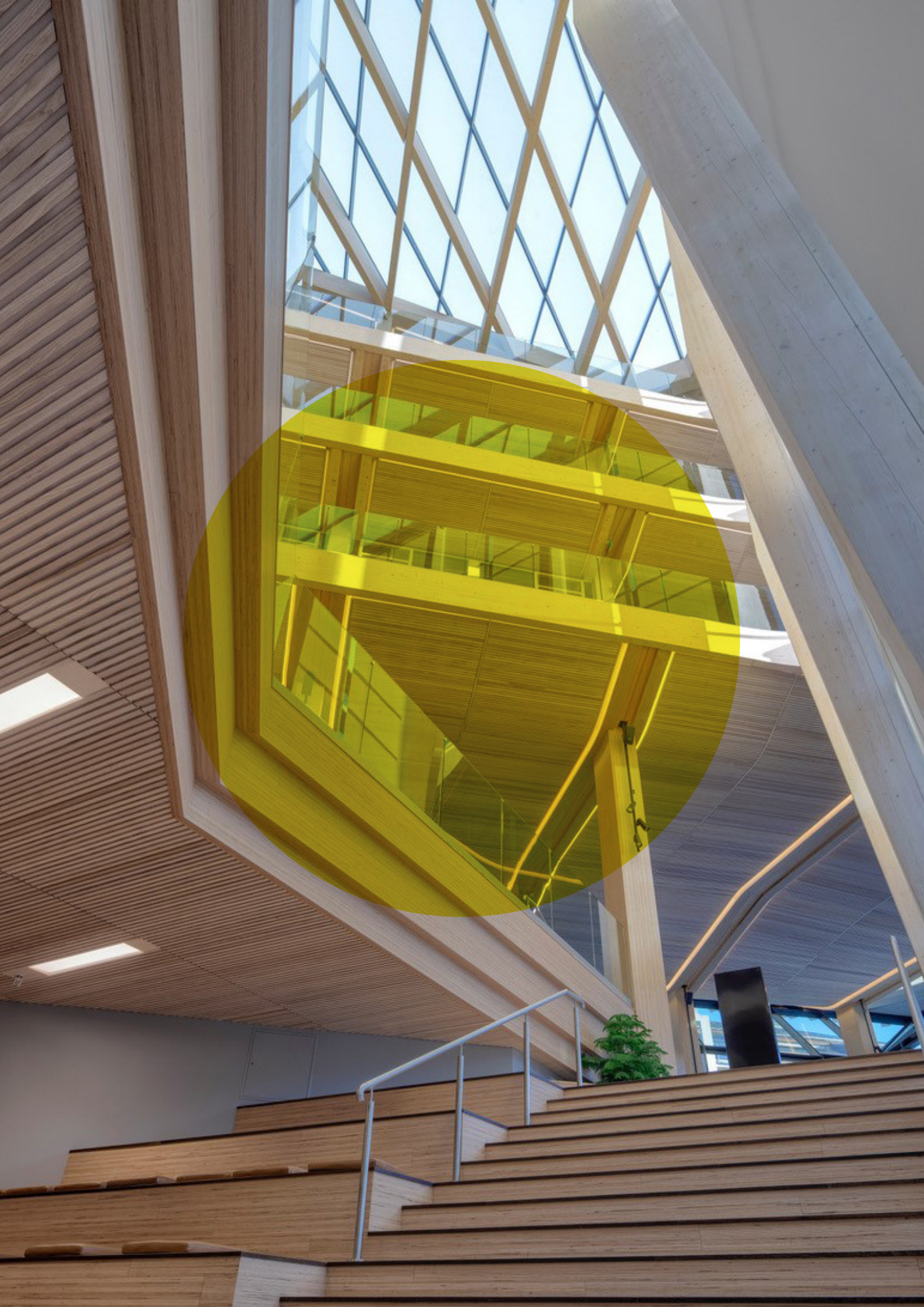
Forsidefoto og foto side 3: Finansparken Bjergsted, SAAHA Arkitekter

Utgiver: FRIC, Fire Research and Innovation Centre

Trondheim, oktober 2023

ISBN 978-91-89821-94-1

www.fric.no



Forord

Forskrift om tekniske krav til byggverk angir funksjonsbaserte krav til brannsikkerheten. Dette åpner for at brennbare konstruksjoner kan benyttes både i små og store bygninger. Bruk av trekonstruksjoner i bygninger i brannklasse 3, hovedsakelig over 4 etasjer, krever imidlertid at brannsikkerheten dokumenteres ved analyser. Dette er i motsetning til ubrennbare konstruksjonsmaterialer som kan prosjekteres forenklet ved å benytte de preaksepterte ytelsene gitt i veiledningen til TEK17. Forbud mot å bygge høye trekonstruksjoner ble fjernet i Norge i 1997, og vi har derfor ikke lang erfaring eller mye kunnskap om hvordan analytisk brannprosjektering bør gjennomføres, ei heller mye data vi kan benytte. Det finnes ingen retningslinjer for hvordan analyser for bygninger med trekonstruksjoner bør gjennomføres, og heller ingen råd om hvilke metoder og verktøy som er egnet. Brannteknisk gode og kostnadseffektive løsninger forutsetter også at brannrådgiveren involveres tidlig i prosessen og kan sette premisser for prosjekteringen.

Arbeidet med veilederen ble derfor utført som et felles arbeid mellom FRIC-partnerne Multiconsult, Rambøll, Asplan Viak, RISE Fire Research AS, NTNU og SINTEF. Veilederen er basert på forfatterens kunnskap og erfaringer, innsamling og gjennomgang av brannkonsept for 12 ulike byggeprosjekter med trekonstruksjoner i Norge fra 6 ulike rådgivende ingeniørfirma, samt et litteraturstudium. Forskning og utvikling pågår i mange land, med utvikling av nye metoder og løsninger – veilederen gir et bilde av dagens status. Brannkonseptene er studert for å kartlegge valg av analysemetoder, verktøy, kompenserende tiltak og referanser som er benyttet. Ettersom bare et fåtall byggeprosjekt er undersøkt er ikke dette et grunnlag som er statistisk relevant for alle tilsvarende bygninger, men eksempler på bygninger. Brannkonseptene for bygningene ble studert med fokus på branntekniske krav, analysemodell, analysemetoder og datagrunnlag for analysen, og dette er benyttet som kunnskapsgrunnlag for denne veilederen. I tillegg til forfatterne av veilederen har Hans Christian Jacobsen og Daniel Kinden fra Asplan Viak, og Erik Westby Jacobsen ved RISE Fire Research AS, bidratt. Vi vil takke COWI, Roar Jørgensen AS og Sweco for deling av brannkonsepter.

Fire Research and Innovation Centre (FRIC) startet opp våren 2019 (www.fric.no). Hovedmålet er å øke kunnskapen om brannsikkerhet for å muliggjøre kunnskapsbaserte beslutninger og utvikle bedre løsninger som gir økt brannsikkerhet i bygninger. FRIC ledes av RISE Fire Research i Trondheim, med NTNU og SINTEF som forskningspartnere. FRIC har partnere fra offentlige organisasjoner, rådgivende ingeniører, produsenter og leverandører av byggevarer og tekniske installasjoner og eiendomsforvaltere. Forskningscenteret er finansiert av alle partnerne og Norges forskningsråd, program BRANNSIKKERHET, prosjektnummer 294649.

Trondheim, oktober 2023



Kathinka Leikanger Friquin
Seniorforsker
SINTEF Community

Summary

Increasing the use of timber as load-bearing structures in buildings is an important contribution in the efforts towards a more sustainable building industry. Fire safety requirements for buildings in Norway are given in the Building Regulations from 2017. The authorities have also developed a prescriptive guideline, with pre-accepted solutions that can be chosen to ensure that the building meets the requirements. However, there are no pre-accepted solutions for buildings taller than 3-4 floors. The fire safety for these buildings must be documented through an analytical approach. This can be challenging as the methods usually require documented or verified data as input. Such data are often hard to find, and their applicability to the building must be assessed. Data from other countries or for other types of structures might not be relevant or applicable.

This guideline is therefore developed to collect and share knowledge on analytical fire safety engineering of timber structures for buildings where pre-accepted solutions are not given. The guideline aims to increase the fire safety engineers' knowledge and expertise, as well as improve the quality of the analyses. It can also contribute to a more harmonised approach amongst the fire safety engineers.

The guideline describes methodologies for analytical fire safety engineering and refers to publications that can be relevant and useful. The methods described are given in the Norwegian standard NS 3901 *Krav til risikovurdering av brann i byggverk* (Requirements for risk analysis of fire in buildings), and SN-INSTA/TS 950 *Fire Safety Engineering - Comparative method to verify fire safety design in buildings*. The target group is consultants performing analytical fire safety engineering of buildings with timber structures, in Fire class 3 according to the Norwegian Building Regulations from 2017, including amendments dated earlier than 2023. The guideline is not a handbook with detailed descriptions, but gives recommendations on which methods, tools and data that should be used. References to publications with detailed descriptions are given. Analyses of buildings in the lower Fire classes 1 and 2 with deviations from the pre-accepted solutions can also be performed according to the recommendations given here. Extensive knowledge on the methods and experience in analytical fire safety engineering is a prerequisite for the use of the guideline.

The main focus is the load-bearing timber structure, but conditions regarding safe egress and rescue, as well as fire spread, are also discussed. The main chapters describe methodologies for analyses, relevant analytical methods, fire scenarios and calculations of the energy from the fire load.

Sammendrag

Økt bruk av tre som konstruksjonsmateriale for bygninger er et viktig bidrag for å redusere klimagassutslipp og oppnå mer bærekraftige løsninger i byggebransjen. Kravene til brannsikkerhet i bygninger er gitt i forskrift om tekniske krav til byggverk fra 2017. Veiledningen til forskriften oppgir preaksepterte ytelser som kan benyttes for å tilfredsstille kravene. Preaksepterte ytelser for bygninger med trekonstruksjoner som er høyere enn 3-4 etasjer er imidlertid ikke utarbeidet i veiledningen. Brannsikkerheten i disse bygningene må derfor dokumenteres ved analytisk brannteknisk prosjektering. Slike analyser kan være krevende fordi de ofte forutsetter at det foreligger dokumentasjon eller verifiserte data som kan benyttes som input. Slike data er ikke nødvendigvis enkle å finne, og man må vurdere om de kan benyttes for det aktuelle bygget. Data fra andre land eller for andre typer konstruksjoner er ikke bestandig relevante for bygningene man skal prosjektere.

Denne veilederen er derfor utarbeidet for å samle og dele kunnskap om analytisk brannteknisk prosjektering av trekonstruksjoner i bygninger der de preaksepterte ytelsene i veiledningen til forskriften ikke kan benyttes. Veilederen vil bidra til å heve kunnskapen og kompetansen hos brannrådgivere, og øke kvaliteten på de branntekniske analysene. Den kan også gi en mer enhetlig praksis blant rådgiverne.

Veilederen beskriver metodikk som kan benyttes i brannprosjektering, og gir oversikt over datagrunnlag som kan være relevant og nyttig. Metodene som beskrives er gitt i NS 3901 *Krav til risikovurdering av brann i byggverk* og SN-INSTA/TS 950 *Analytisk brannteknisk prosjektering. Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk*. Målgruppen for veilederen er rådgivende ingeniører som utfører analytisk brannteknisk prosjektering av bygninger med trekonstruksjoner som plasseres i brannklasse 3 i henhold til veiledningen til forskrift om tekniske krav til byggverk fra 2017 (inkludert endringer datert før oktober 2023). Veilederen er ikke ment å være en lærebok, men gir anbefalinger om hvilke metoder, verktøy og data som bør benyttes, med referanser til litteratur som beskriver disse detaljert. Veilederen kan også være nyttig ved analytisk brannprosjektering av bygninger i brannklasse 1 og 2 med fravik fra preaksepterte ytelser. Veilederen forutsetter at brukerne har inngående kunnskap om metodene og erfaring med analytisk brannprosjektering.

Hovedfokus er knyttet til bærekonstruksjonen, men forhold knyttet til rømning, redning og brannspredning er også nevnt. Hovedkapitlene beskriver valg av analysemodell, aktuelle analysemetoder, brannscenario og beregninger av brannenergi.

Veilederen gir også viktig informasjon til konstruktørene (RIB) som dimensjonerer konstruksjoner for ulykkessituasjon brann.

Innhold

Forord	i
Summary	ii
Sammendrag	iii
Innhold	1
1 Innledning	2
1.1 Bakgrunn	2
1.2 Veilederens omfang og begrensninger	3
2 Regelverk	4
3 Praksis og forskning	7
3.1 Trekonstruksjoner og brannsikkerhet	7
3.2 Parametrisk brannkurve	8
3.3 Dokumentasjon av brannmotstand	8
3.4 Selvslokking	10
3.5 Kunnskapsstatus.....	10
4 Brannsikkerhetsstrategi	13
4.1 Spesielle forhold for trekonstruksjoner	13
4.2 Automatiske slokkeanlegg	13
4.3 Bæresystem.....	16
4.4 Eksponerte treoverflater og delaminering.....	16
4.5 Hulrom og utettheter	18
4.6 Brannceller	19
4.7 Dokumentasjon av fravik.....	19
4.7.1 Valg av analysemodell og -metoder	19
4.7.2 Komparativ analyse	21
4.7.3 Brannscenario	21
4.7.4 Beregning av brannenergi	22
4.7.5 Parametrisk brannkurve.....	23
5 Fremgangsmåte	25
5.1 Viktige forutsetninger, vurderinger og avklaringer i de ulike prosjektfasene	25
5.2 Viktige forhold for risikovurdering av trekonstruksjoner i BKL 3	31
Referanser	34

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Forskrift om tekniske krav til byggverk TEK17 (KMD, 2017) er funksjonsbasert og åpner dermed for at brennbare trekonstruksjoner kan benyttes både i små og store bygninger. Trebygninger i brannklasse 1 og 2 kan prosjekteres forenklet ved å benytte preaksepterte ytelser gitt i veiledningen til TEK17 (VTEK17) (DiBK, 2017). Brannsikkerheten for trekonstruksjoner i brannklasse 3, hovedsakelig bygninger med 5-16 etasjer, må imidlertid dokumenteres ved analytisk brannteknisk prosjektering da det ikke finnes preaksepterte ytelser for denne typen bygninger. VTEK17 åpner opp for ulike metoder for dokumentasjon og analyse av brannsikkerhet i bygninger. Analysene krever dokumenterte og verifiserte data for å muliggjøre kvalifiserte vurderinger av brannsikkerheten. Mangel på dokumentasjon eller verifiserte data som input til analysene, for eksempel statistikk over effekt og pålitelighet for sprinkleranlegg og andre brannsikkerhetstiltak, gjør analysene krevende.



Bilde: Finansparken Bjergsted, Stavanger, SAAHA Arkitekter

Målet med veilederen er å bidra til å samle og dele kunnskap om analytisk brannteknisk prosjektering av trekonstruksjoner i høye bygninger, heve kunnskapen og kompetansen hos brannrådgivere, samt forbedre kvaliteten på den branntekniske analysen. Veilederen vil også bidra til en mer ensartet praksis blant rådgiverne. Brannteknisk gode og kostnadseffektive løsninger forutsetter at brannrådgiveren er tidlig involvert og kan sette premisser for prosjekteringen. I enkelte byggeprosjekter overføres prosjekt mellom rådgivere i de ulike fasene av byggeprosjektet. Da er det en fordel at brannrådgiverne benytter like analysemetoder og verktøy i prosjekteringen slik at sluttresultatet blir best mulig. Forutsetninger og innledende risikovurderinger bør videreføres fra skissefase og forprosjekt og inn i detaljprosjekteringen.

Veilederen inneholder metodikk for å gjennomføre brannprosjekteringen, samt en oversikt over datagrunnlag som kan benyttes. Målgruppen for veilederen er rådgivende ingeniører som er ansvarlig for brannprosjektering av bygninger med trekonstruksjoner i brannklasse 3.

Kunnskapshevingen vil også øke mulighetene for å benytte trekonstruksjoner i flere bygninger, og dermed øke konkurranseevnen til trekonstruksjoner. Tre er et fornybart materiale som lagrer karbon i byggets levetid. Produksjon av trelast har relativt lave klimagassutslipp (IRP, 2020), og norske byggeprosjekter har god tilgang på kortreiste trebaserte byggeprodukter. Økt bruk av tre i bygg er derfor et viktig bidrag til å nå nasjonale og internasjonale klimamål. Mer kunnskap og kompetanse om brannsikkerhet i trebygninger kan også bidra til å redusere kostnadene i byggeprosjektene fordi brannsikringstiltakene da kan tilpasses bedre.

1.2 Veilederens omfang og begrensninger

Veilederen er utarbeidet for gjennomføring av brannteknisk analyse av bærende trekonstruksjoner i bygninger i brannklasse 3, men kan også være relevant for analyser av bygninger i brannklasse 1 og 2 med fravik fra VTEK17 (DiBK, 2017). Veilederen fokuserer på fravik knyttet til bærekonstruksjon, men nevner også forhold knyttet til rømning, redning og brannspredning. Valg av analysemodell, aktuelle analysemetoder, brannscenario og beregninger av brannenergi, samt sprinkleranlegg, er tema som anses å være meget relevante knyttet til analyse av trebygninger i brannklasse 3, og er derfor hovedfokus i veilederen.

Temaet for veilederen er knyttet til bruk av trekonstruksjoner i bærende hovedsystem og sekundære, bærende bygningsdeler for byggverk i brannklasse 3. Det finnes andre krav i regelverket som knytter seg til bruken av tre som ikke er behandlet her. For eksempel vil det ved bruk av eksponerte krysslaminerte treelementer (KLT-elementer) også ofte være aktuelt å vurdere krav til overflatenes egenskaper ved brannpåvirkning.

Veilederen er utarbeidet med bakgrunn i forfatternes kunnskap og erfaringer, en studie av utførte brannkonsepter for 12 ulike bygninger i Norge, samt et litteraturstudium. Følgende bygningskonstruksjoner er dekket av veilederen:

- Lett bindingsverk, både plassbygde og fabrikkframstilte elementer
- Moduler med lett bindingsverk
- Limtre
- Massivtrekonstruksjoner, for eksempel av krysslaminerte treelementer (KLT)
- Kombinasjoner av disse, og i kombinasjon med andre bygningskonstruksjoner

Det er ikke gjort vurderinger av andre konstruksjoner, tekniske installasjoner, teknologi for energiproduksjon og lagring, særskilte krav knyttet til bygningskategori eller bruk av bygget. Veilederen viser eksempler på brannprosjektering og metoder, og en sjekkliste for prosjektering. Innholdet er ikke utfyllende, og andre forhold enn de som er omtalt i veilederen må vurderes ved en komplett brannteknisk analyse av et bygg. Ansvarlig prosjekterende er ansvarlig for løsningene som velges, og at dokumentasjonen tilfredsstiller forskriftens krav.

Veilederen er ikke ment å være en lærebok, men gir anbefalinger om hvilke metoder, verktøy og data som bør benyttes, med referanser til litteratur som beskriver disse detaljert.

2 Regelverk

Kravene til brannsikkerhet i forbindelse med prosjektering av nye byggverk i Norge er angitt i forskrift for tekniske krav til byggverk, også kalt Byggteknisk forskrift (TEK17) (KMD, 2017). Forskriften er hovedsakelig funksjonsbasert, det vil si at den ikke angir spesifikke ytelser, for eksempel hvilken brannmotstand konstruksjonen må ha, men angir en funksjon, kvalitet eller overordnet målsetning som skal oppfylles. I tillegg til forskriften har myndighetene utarbeidet en veiledning (VTEK17) (DiBK, 2017) som angir preaksepterte ytelser, som oppfyller forskriftens funksjonskrav. Dersom man benytter preaksepterte ytelser uten fravik vil bygningen tilfredsstillere kravene i TEK17. Dette kapittelet fokuserer på branntekniske krav knyttet til bæresystemet for bygninger i brannklasse 3.



Bilde: Spor X, Drammen, DARK Arkitekter

TEK17 § 11-1 (1) angir følgende generelle funksjonskrav til sikkerheten ved brann:

Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet ved brann for personer som oppholder seg i eller på byggverket, for materielle verdier og for miljø- og samfunnsmessige forhold.

TEK17 § 11-4 (4) angir følgende funksjonskrav til bæreevne og stabilitet:

Det bærende hovedsystemet i byggverk i brannklasse 3 og 4 skal dimensjoneres for å kunne opprettholde tilfredsstillende bæreevne og stabilitet gjennom et fullstendig brannforløp, slik dette kan modelleres.

VTEK17 § 11-4 til 4. ledd angir følgende preaksepterte ytelser for bæreevne og stabilitet for konstruksjoner i brannklasse 3 - merk at bare ubrennbare eller begrenset brennbare materialer er preakseptert for bruk i bærende konstruksjoner med brannmotstand:

- *Bærende hovedsystem - R 90 A2-s1,d0*
 - *Byggverk i brannklasse 3 med høyst 8 etasjer kan ha etasjeskiller med brannmotstand R 60 A2-s1,d0*
- *Sekundære, bærende bygningsdeler, etasjeskiller og takkonstruksjoner som ikke er del av hovedbæresystem eller stabiliserende - R 60 A2-s1,d0*

I hovedsak finnes det tre ulike løsninger for å beskytte bygningskonstruksjoner mot eksponering for de høye temperaturene i brann:

- Passiv brannbeskyttelse
- Aktiv brannbeskyttelse
- Kombinasjon av passiv og aktiv brannbeskyttelse.

Begrepet *et fullstendig brannforløp, slik det kan modelleres* åpner opp for flere måter å dokumentere at et bygg vil stå gjennom et fullstendig brannforløp. Brannforløpet som bæresystemet er dimensjonert for må beskrives, men ikke nødvendigvis kvantifiseres. De preaksepterte ytelsene er ikke knyttet til et bestemt brannscenario eller en tallfestet brannenergi, men vil gi et bestemt sikkerhetsnivå. Ved analytisk prosjektering av bygninger må man ta hensyn til de faktiske forhold i bygget ved valg av brannscenario og vurdering av risiko. Preaksepterte ytelser for brannmotstanden for bygninger i brannklasse 3 i VTEK17 kan ikke automatisk forutsettes å representere nødvendig brannmotstand i analyser der fullstendig brannforløp må legges til grunn.

Veiledningsteksten til 4. ledd i VTEK17 § 11-4 angir at fullstendig brannforløp kan modelleres i samsvar med *NS-EN 1991-1-2 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-2: Allmenne laster - laster på konstruksjoner ved brann* (Standard Norge, 2008). Tillegg A i standarden beskriver en metode for å bestemme naturlig brannforløp, også kalt parametrisk brannkurve, for å dimensjonere de innvendige konstruksjonsdelene i en branncelle. Metodens bruk og begrensninger er diskutert i kapittel 3.2 og 4.7.5.

VTEK17 § 11-4 henviser til NS-EN 1991-1-2 for bestemmelse av dimensjonerende brannenergi i bygget, og det vises til at denne kan fastsettes enten ved beregninger eller med bakgrunn i relevant anerkjent statistikk. Veiledningen beskriver følgende preaksepterte ytelser:

For konstruksjonsdeler som etter § 11-4 Tabell 1 (red: i VTEK17) må ha brannmotstand R 90 eller høyere, må det brukes en dimensjonerende brannenergi der karakteristisk brannenergi multipliseres med faktoren 1,5. Faktoren på 1,5 samsvarer med overgangen fra brannmotstand R 60 til R 90 ved bruk av preaksepterte ytelser.

VTEK17 oppgir en egen faktor knyttet til beregning av dimensjonerende brannenergi utover NS-EN 1991-1-2. Faktoren 1,5 har vært i veiledningen til forskriften fra før NS-EN 1991-1-2 ble publisert. Den utgåtte anvisningen i Byggforskserien 520.333 *Brannenergi i bygninger Beregninger og statistiske verdier* (SINTEF, 2009) beskriver at sikkerhetsfaktoren 1,5 er knyttet

til faktoren γ_q i metoden som var gjeldende i ENV 1991-2-2 og NS 3491-2 (Standard Norge, 2002). Dimensjonerende brannenergi, $q_{f,d}$, beregnes på følgende måter i standardene og veiledningen til TEK17:

$$\text{NS-EN 1991-1-2} \quad q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_{n1}$$

$$\text{VTEK17} \quad q_{f,d} = q_{f,k} \cdot 1,5$$

$$\text{NS 3491-2 og ENV 1991-1-2} \quad q_{fi,d} = q_{fi,k} \cdot \gamma_q \cdot \gamma_n$$

Karakteristisk brannenergi, $q_{f,k}$ eller $q_{fi,k}$, i branncellen multipliseres med flere faktorer. Faktorene δ_{q1} , δ_{q2} , δ_{n1} tar hensyn til risiko for at brann oppstår i bygget, virksomhetene i bygget, og hvilke brannsikringstiltak som planlegges. Faktoren m gir informasjon om forbrenningshastigheten for materialene i bygget. γ_q var en sikkerhetsfaktor som avhenger av konsekvensene ved brann i bygget, mens γ_n var en faktor som tok hensyn til aktive sikkerhetstiltak i bygget.

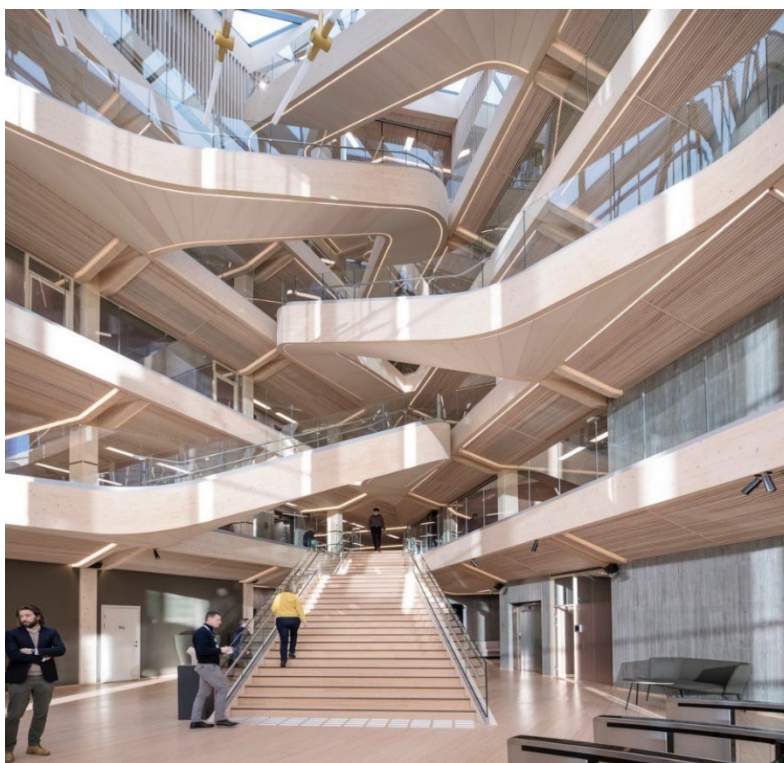
Ansvarlig prosjekterende må ta stilling til hvordan dimensjonerende brannenergi skal beregnes i det enkelte prosjekt. Vurdering av byggverkets dimensjonerende brannenergi er diskutert i kapittel 4.7.4.

For dokumentasjon av fravik fra preaksepterte ytelser angir VTEK17 § 2-2 at risikoanalyser og komparative analyser av sikkerheten ved brann kan gjennomføres i samsvar med *NS 3901:2012 Krav til risikovurdering av brann i byggverk* (Standard Norge, 2012) og *SN-INSTA/TS 950:2014 Analytisk brannteknisk prosjektering. Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk* (Standard Norge, 2014). Metodene er nærmere omtalt i kapittel 4.7.

3 Praksis og forskning

3.1 Trekonstruksjoner og brannsikkerhet

Trekonstruksjoner som bæresystem i bygninger over 4 etasjer planlegges og bygges i et større omfang enn tidligere. Som del av utarbeidelsen av denne veilederen er 12 prosjekterte brannkonsepter gjennomgått for å kartlegge hvilke metoder, verktøy og løsninger som er benyttet for å dokumentere brannsikkerheten, og hvilke tiltak som benyttes for å oppnå akseptabel brannsikkerhet. I tillegg er aktuell litteratur undersøkt for å finne kilder til nyttig informasjon og verktøy.



Bilde: Finansparken Bjergsted, Stavanger, SAAHA Arkitekter

Valg av byggemetode avgjør hvilket beskyttelsesprinsipp som skal anvendes. Bæresystem av lette trekonstruksjoner med små tverrsnitt tillater liten grad av forkulling og må derfor tildekkes med passiv brannbeskyttelse. Bruk av søyler og bjelker i limtre, eller bærende og/eller branncellebegrensende vegger og dekker i KLT har større tverrsnitt og større bæreevne enn lette trekonstruksjoner, og ønskes ofte bygget med helt eller delvis eksponerte overflater. Eksponerte treoverflater kan påvirke brannforløpet og må hensyntas i brannsikkerhetsstrategien. Det kan for eksempel være ønske om bruk av mindre tildekking blant annet på grunn av kostnadsbesparelser, miljøtiltak og estetiske hensyn. Slike hensyn kan delvis ivaretas ved implementering av aktive brannbeskyttelsestiltak som automatisk slokkeanlegg. Det må også gjennomføres analyse av potensielle brannscenarier som definerer den termiske eksponeringen bygningsdeler kan bli utsatt for, og dette brukes deretter som utgangspunkt for videre prosjektering.

Eksisterende metoder for å estimere brann-dynamiske karakteristikk, som for eksempel temperatur, lengde på brannforløp, branneffekt, forkullingsdybde, er hovedsakelig utviklet for rombranner med ubrennbare overflater og bæresystem som ikke bidrar med energi i brannen. Metodene er derfor ikke egnet til å vurdere branner i bygninger med betydelige mengder brennbare treoverflater i rommet, og med store faste trelementer som gir et vesentlig tillegg til brannenergien. Parallelt med at flere store bygninger med konstruksjoner av for eksempel limtre og KLT oppføres, har noen forskningsinstitutter bidratt til videreutvikling av eksisterende metoder og utvikling av nye, for å kunne estimere de ulike parameterne som påvirker utviklingen av brann i rom med brennbare overflater, se kap. 3.5.

3.2 Parametrisk brannkurve

Parametriske brannkurver er temperatur-tid kurver som fremstiller en teoretisk brannutvikling i en branncelle. Metodene for bestemmelse av kurvene tar hensyn til branncellens geometri, brannenergi og termiske egenskaper, og beskriver forventet brannromstemperatur og varighet av brannforløpet. Brannkonseptene for bygninger med lette trekonstruksjoner som er gjennomgått i forbindelse med denne veilederen, har benyttet parametrisk brannkurve i henhold til NS-EN 1991-1-2 (Standard Norge, 2008). Metoden forutsetter at alt brennbart inventar bidrar under brannutvikling og brenner opp. En parametrisk brannkurve bestemt etter denne metoden vil derfor kun være gyldig når brennbart bæresystem er fullstendig tildekket og ikke bidrar til brannutviklingen (Buchanan & Östman, 2022). Brannen forventes å slokke når alt inventar er brent opp. Metoden er begrenset til brannceller inntil 500 m², uten åpninger i tak og maksimal takhøyde 4,0 m.

Dersom brannceller inneholder eksponerte treoverflater må bidraget av brannenergi og varmeavgivelse fra de faste overflatene medregnes i den parametriske kurven. Buchanan og Östman beskriver tre metoder som er utviklet for å adressere den ytterligere brannenergien (Buchanan & Östman, 2022), originalkilder til metodene er (Barber et al., 2016; Brandon, 2018; Schmid & Frangi, 2021). Metodene er basert på den parametriske brannkurven angitt i NS-EN 1991-1-2 tillegg A, men hensyntar brennbare treoverflater. Metodene kan benyttes for å estimere brannenergien de eksponerte treoverflatene bidrar med, og den tilhørende forkullingsdybden. Estimert forkullingsdybde kan benyttes i dimensjoneringen av trekonstruksjonen ved brann.

Det bemerkes at beregningsmetodene forutsetter at integriteten til limet mellom lameller i KLT-elementer holdes intakt, altså at delaminering er forhindret, og at nedfall av eventuell tildekking, for eksempel gipsplater, ikke forekommer. Innvendige hjørner mellom vegger eller mellom vegg og tak, eller gulv med brennbare overflater på to sider, er ikke dekket av metodene fordi en lokal brann da vil kunne vare lenger på grunn av gjensidig oppvarming av konstruksjonsdelene. Det foreligger eksempel på bruk av metodene i *Fire safe use of wood in buildings - Global design guide* (Buchanan & Östman, 2022). Kapittel 4.7.5 utdyper metodene videre.

3.3 Dokumentasjon av brannmotstand

Ved beregning av parametrisk brannkurve for bygg med lette konstruksjoner (gips og tre) er det vanlig at resultatet gir en maksimal temperatur i branncellen som overstiger standard tid-

temperaturkurven gitt i NS-EN 1991-1-2 (Standard Norge, 2008) og ISO 834-1 (ISO, 1999) med flere hundre grader. Varigheten av brannforløpet er avhengig av brannenergien, og vil direkte påvirke hvor mye passiv brannbeskyttelse som må benyttes. Selv om varigheten av et brannforløp kan beregnes ved en parametrisk brannkurve, så kan resultatet ikke direkte «oversettes» til et standardisert brannforløp da den termiske eksponeringen inne i branncellen avviker mye fra dette. Tilgjengelige beregningsmetoder for passiv brannmotstand med gips og andre plateprodukt som beskrevet i *Brandsäkra trähus v3* (Östman, 2012), *Fire safety in timber buildings* (Östman, 2010) og NS-EN 1995-1-2 (Standard Norge, 2010) er basert på en standard brannkurve, og kan ikke benyttes uten særskilt vurdering og sammenligning mot parametrisk brannkurve.

Equal area concept er en metode for å relatere forventet branneksposering (parametrisk brannkurve) på en bygningsdel til en standard temperatur-tid kurve brukt ved brannmotstandstesting. Dette gjøres ved å sammenligne arealene under temperatur-tid kurvene. For at en virkelig brann skal anses å ha samme eksponeringsgrad som en standardbrann, må arealet under temperatur-tid kurvene være like store for begge branner. Metoden er uegnet der temperaturforskjellene mellom kurvene er store, siden varmeoverføringen fra fullt utviklede branner hovedsakelig skjer via stråling, med en mindre andel ved konveksjon (Thomas et al., 1997). Strålevarme er proporsjonal med fjerde potens av absolutt temperatur, så varmeoverføringen i en kortvarig, varm brann kan være mye større enn i en langvarig, mindre varm brann, selv om arealene av området under tid-temperaturkurvene er like store.

Metoden *ekvivalent branneksposeringstid* er en annen metode for å relatere den forventede branneksposeringen til eksponeringen under en standard branntest. Beregningsmodellen gitt i Eurokode 1 (Standard Norge, 2008) kan eksempelvis benyttes. For stål og betongkonstruksjoner kan metoden benyttes for å relatere den definerte parametriske brannkurven til nominelle brannkurver, for eksempel standard temperatur-tid kurve (Standard Norge, 2008). Da kan man ved valg av konstruksjonsoppbygning benytte dokumentasjon av brannmotstand som er basert på standard brannmotstandsprøving eller -beregninger. Dette kan man finne i håndbøker og annen litteratur, eller i dokumentasjon fra leverandører. Det er viktig å være klar over at ekvivalenslikninger som er utviklet for stål- eller betongkonstruksjoner, som den gitt i NS-EN 1991-1-2 Tillegg F (Standard Norge, 2008), ikke er egnet for brannceller med eksponerte treoverflater, med mindre mengden og effekten av den ekstra brannbelastningen tas hensyn til (Pettersson, 2020).

Nødvendig brannmotstandstid for eksponerte trekonstruksjoner er relatert til forkulling fremfor temperatur, som benyttes for stål. Bruk av ekvivalent branneksposeringstid er derfor i uoverensstemmelse med den tradisjonelle tilnærmingen. For bæresystem av ubeskyttet limtre med bjelker og søyler, kan forkulling ved et parametrisk brannforløp beregnes i henhold til metoden i NS-EN 1995-1-2 tillegg A (Standard Norge, 2010). Metoden forutsetter selvslukking og er ikke gyldig for KLT-konstruksjoner. Forkullingsdybden i KLT-konstruksjoner eksponert for parametriske brannkurver kan for eksempel beregnes etter metoden beskrevet av Brandon i *Fire safety challenges of tall wood buildings - Phase 2: Task 4 - Engineering methods* (Brandon, 2018). Metoden gir konservative verdier for forkullingsdybden, altså på sikker side, forutsatt at delaminering unngås.

3.4 Selvslokking

Dersom en brann ikke avgir tilstrekkelig mengde varme til materialet som brenner eller det ikke er tilstrekkelig tilgang på oksygen, kan ikke forbrenningen opprettholdes, og brannen vil *selvslokke*. Uttrykket *selvslokking* benyttes typisk når branner endres fra flammebrann til ulmebrann, eller når ulmebrann slokner. Pågående forskning viser at det under visse forutsetninger vil være mulig å oppnå selvslokking for rombrann selv med eksponerte KLT-overflater (Crielaard et al., 2019; Pettersson, 2020; Xu et al., 2022; Brandon et al., 2021; Hopkin et al., 2022; Bøe et al., 2023a, 2023b).

Det er mulig å kvantifisere når en rombrann vil selvslokke dersom variabel brannenergi er utbrent, alle eksponerte treoverflater brenner uten delaminering, og det ikke er mer enn en brennbar overflate i innvendige hjørner (vegg-vegg, vegg-tak). En ny metode for dette er gitt i (Brandon, 2018), men den har noen vesentlige usikkerheter. Metoden diskuteres i kapittel 4.7. Metoden er ikke benyttet i noen av de 12 brannkonseptene som er gjennomgått i forbindelse med veilederen.

Det er flere viktige faktorer som påvirker om det er mulig å oppnå selvslokking. Disse innebærer blant annet:

- Romkonfigurasjon
- Type og mengde variabel brannenergi (fast og løs innredning)
- Romstørrelse
- Ventilasjon
- Arealstørrelse, antall og orientering av treoverflater
- Om delaminering eller nedfall av passiv brannbeskyttelse oppstår

Selv om flammebrannen selvslokker kan ulmebrann fortsatt pågå i materialet i lang tid. Ulmebrann defineres av Kollegiet for brannfaglig terminologi som "forbrenning i et fast materiale uten flamme og uten utsendelse av lys fra forbrenningssonen"(KBT, u.å.). Det kan derfor være vanskelig å oppdage ulmebrann. Forskning viser at ulmebrann kan føre til brudd i trekonstruksjoner, så det er viktig at man undersøker om ulmebrann fortsatt pågår etter slokking av flammebrannen (Gernay et al., 2022; Mitchell et al., 2023).

3.5 Kunnskapsstatus

Boken *Fire safe use of wood in buildings* (Buchanan & Östman, 2022) gir en god oppsummering av tilgjengelig kunnskap innenfor flere relevante temaer knyttet til hvordan man kan oppnå god brannsikkerhet i trebygninger. Den gir et øyeblikksbilde fra pågående og publisert forskning frem til juli 2022.

Mye forskning og utvikling knyttet til brannegenskapene til trekonstruksjoner er utført eller pågår, også i forbindelse med hvordan man kan prosjektere høye trebygninger som tilfredsstiller samfunnets krav til brannsikkerhet. Internasjonal forskning som kan være relevant og nyttig er samlet nedenfor. Blant annet er brannforsøk med mål om å studere selvslokking og kapasitet av bæresystemer etter brann rapportert i denne litteraturen.

Trekonstruksjoner kan oppnå lang brannmotstandstid både for stabilitet og lastkapasitet (R), samt som branncellebegrensende bygningsdeler (EI). Brannmotstanden bestemmes for komplette bygningsdeler ved standardisert prøving, eller ved beregning i henhold til aktuelle standarder og håndbøker. Metoder for beregning er blant annet gitt i:

- Fire design methods for timber frame assemblies - an improved model for the separating function method (Rauch et al., 2022)
- Improved fire design models for timber frame assemblies - Guidance document, rapport fra COST Action FP1404 (Just & Schmid, 2018)
- Brandsäkra trähus versjon 3 (Östman, 2012)
- NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010 Eurokode 5 – Prosjektering av trekonstruksjoner – Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering (Standard Norge, 2010). NB! Standarden inneholder ikke metode for beregning av brannmotstanden til konstruksjoner av KLT-elementer.
- Guidance on fire design of CLT including best practice, rapport fra COST Action FP1404 (Klippel & Just, 2018)

Forskning, brannforsøk og empiriske studier som kan være gode kilder til bakgrunnsinformasjon ved modellering av et fullstendig brannforløp er gitt nedenfor. De to første dokumentene er fra de to storskala brannforsøkene med eksponert KLT i store rom som er utført i FRIC. Hensikten var å studere utviklingen av branner i store, smale rom med store vindusåpninger.

- Fire spread in a large compartment with exposed cross-laminated timber and open ventilation conditions: #FRIC-01 - exposed ceiling (Bøe et al., 2023a).
- Fire spread in a large compartment with exposed cross-laminated timber and open ventilation conditions: #FRIC-02 - exposed wall and ceiling (Bøe et al., 2023b).
- Fire dynamics inside a large and open-plan compartment with exposed timber ceiling and columns: CodeRed #01 (Kotsovinos, Rackauskaite, et al., 2023)
- Impact of ventilation on the fire dynamics of an open-plan compartment with exposed timber ceiling and columns: CodeRed #02 (Kotsovinos, Christensen, et al., 2023)
- Review of fire experiments in mass timber compartments: Current understanding, limitations, and research gaps (Mitchell et al., 2022)
- Large-Scale Enclosure Fire Experiments Adopting CLT Slabs with Different Types of Polyurethane Adhesives: Genesis and Preliminary Findings (Hopkin et al., 2022)
- Review of large-scale CLT compartment fire tests (Liu & Fischer, 2022)
- Review of large-scale fire tests on cross-laminated timber (Ronquillo et al., 2021)
- Fire safe implementation of visible mass timber in tall buildings – compartment fire testing, RISE Report 2021:40 (Brandon et al., 2021)
- Fire Safety in Timber Buildings – A review of existing knowledge, Brandforsk-rapport 2020:10 (Pettersson, 2020)
- Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings Phase 2: Task 4 Engineering methods, NFPA Fire Protection Research Foundation, USA (Brandon, 2018)
- Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminerte treelementer i bygninger – en litteraturstudie, RISE-rapport 2019:09 (Reitan et al., 2019)

Eksponerte trekonstruksjoner inne i bygget kan påvirke brannspredningen til fasaden. Relevant forskning på dette er for eksempel:

- Impact of mass timber compartment fires on façade fire exposure (Engel & Werther, 2022)
- External fire plumes from mass timber compartment fires - Comparison to test methods for regulatory compliance of façades (Sjöström et al., 2023)
- Exposure from mass timber compartment fires to facades, RISE-rapport 2021:39 (Sjöström et al., 2021)
- Fire Safety in Timber Buildings - A review of existing knowledge, Brandforsk-rapport 2020:10 (Pettersson, 2020)

Kunnskap som er nødvendig for brannprosjekteringen av spesifikke bygninger kan også innhentes ved å gjennomføre tilpassede forsøk, se for eksempel disse forsøkene som er utført i sammenheng med prosjekteringen av byggeprosjektene Moholt 50|50, Mjøstårnet og nyere forsøk:

- Experimental investigation of structural failure during the cooling phase of a fire: Timber columns (Gernay et al., 2022)
- Fullstendig brannforløp i limtrekonstruksjoner. Vurdering av resultater fra branntest (Andersen, 2017)
- Branntest av massivtre , Moholt 50|50 (Hox, 2015)

Anvisninger i SINTEF Byggforskserien som gir veiledning om utarbeidelse av brannkonsept og prosjektering:

321.025 Brannsikkerhet. Prosjektering, utførelse og kontroll (SINTEF, 2021a)

321.026 Brannsikkerhet. Brannsikkerhetsstrategi og brannkonsept (SINTEF, 2021b)

321.027 Brannsikkerhet. Detaljprosjektering (SINTEF, 2021d)

520.205 Planlegging av bygninger med KLT-elementer (SINTEF, 2023)

4 Brannsikkerhetsstrategi

4.1 Spesielle forhold for trekonstruksjoner

Ved utarbeiding av brannkonsept for byggverk i brannklasse 3 med trekonstruksjoner, er det noen spesielle forhold som må vurderes og inkluderes i analysene. Dette gjelder blant annet konstruksjonens bidrag til brannutviklingen, effekt og pålitelighet av slokkesystemer, og betydningen av hulrom og utettheter i bygningsdelene. Brannstrategien for bygget vil blant annet være basert på om trekonstruksjonen er eksponert og gir bidrag til brannutviklingen, senere ombygginger kan derfor begrenses av dette. Flere slike forhold er behandlet i dette kapittelet, men det kan også finnes andre spesielle forhold som bør vurderes for et spesifikt byggverk.



Bilde: Trøndelag Brann- og Redningstjeneste TBRT

4.2 Automatiske slokkeanlegg

De fleste bygninger i brannklasse 3 må ha et automatisk slokkeanlegg (DiBK, 2017). Det finnes mange typer automatiske slokkeanlegg, som er utviklet for ulike typer bruksområder. I bygninger er vannbaserte automatiske slokkeanlegg som sprinkleranlegg og vanntåkeanlegg mest benyttet. Slokkeanlegg med gass som slokkesmedium benyttes ofte i industribygg, men er ikke vurdert som kompenserende tiltak i denne veilederen. Sprinkleranlegg har størst utbredelse av de vannbaserte anleggene. Dette skyldes at det finnes mer data og kunnskap tilgjengelig om sikkerhet i drift, effekt og pålitelighet for slike anlegg enn for vanntåkeanlegg. Sprinkleranlegg er også den eneste typen automatisk slokkesystem som er preakseptert i VTEK17.

Automatisk vanntåkesystem i henhold til NS-EN 14972-serien *Faste brannslukkesystemer - Vanntåkesystemer* (Standard Norge, 2020) kan vurderes som et alternativ til automatisk sprinkleranlegg. Vanntåkesystemer skal dokumenteres og prosjekteres for bestemte bruksområder og virkninger som dekkes av ulike branntestprotokoller i NS-EN 14972-serien, og i overensstemmelse med opplysninger og begrensninger fra disse branntestprotokollene og produsentens DIOM-manual¹. Erfaring, kunnskap og data om effekt og pålitelighet for vanntåkeanlegg er under utvikling, slik at det etter hvert vil bli enklere å velge slike anlegg.

I brannkonsept som er gjennomgått for denne veilederen er preakseptert ytelse for automatiske sprinkleranlegg benyttet. Brannkonseptene beskriver NS-EN 12845 *Faste brannslukkesystemer - Automatiske sprinklersystemer* med tillegg F (Standard Norge, 2015) både for kontor, leilighetsbygg og studentboliger. Tillegg F beskriver tiltak for å forbedre systemets pålitelighet og tilgjengelighet. I enkelte brannkonsept for leilighetsbygg av prefabrikkerte tremoduler beskrives NS-EN 12845 for parkeringskjeller, mens boligsprinkler i henhold til NS-EN 16925 *Faste brannslukkesystemer - Automatiske boligsprinklersystemer* (Standard Norge, 2018b) benyttes for etasjer med boligareal.

Veilederens anbefalinger ved valg av systemer for bygninger med ulike typer trekonstruksjoner er gitt i Tabell 1.

Tabell 1. Anbefalinger ved valg av automatiske sprinkleranlegg for bygninger med ulike typer trekonstruksjoner

Bæresystem (metode)	Sprinkleranlegg	Kommentar
Lett bindingsverk, både plassbygd og fabrikkfremstilte elementer	NS-EN 12845 benyttes NS-EN 16925 kan vurderes	Boligsprinkler kan benyttes dersom brannkonsept og brannmotstand er ivarettatt uavhengig av sprinkleranlegg
Moduler med lett bindingsverk	NS-EN 12845 benyttes NS-EN 16925 kan vurderes	Boligsprinkler kan benyttes dersom brannkonsept og brannmotstand er ivarettatt uavhengig av sprinkleranlegg
Limtre søyler og bjelker	NS-EN 12845 benyttes	Tillegg F inkluderes dersom deler av trekonstruksjonen er eksponert
Massivtrekonstruksjoner, som for eksempel krysslaminerte treelementer	NS-EN 12845 benyttes	Tillegg F inkluderes dersom deler av trekonstruksjonen er eksponert
Kombinasjoner av ovenstående konstruksjoner, og i kombinasjon med andre bygningskonstruksjoner	NS-EN 12845 benyttes	Tillegg F inkluderes dersom deler av trekonstruksjonen er eksponert

¹ DIOM = prosjektering, installasjon, drift og vedlikehold

Der trekonstruksjonen er helt eller delvis direkte eksponert for en eventuell brann anbefaler veilederen at NS-EN 12845 inkludert tillegg F benyttes for å kompensere for trekonstruksjonens påvirkning på brannutviklingen. Dette er et viktig tiltak for å tilfredsstille kravene til personsikkerhet og pålitelighet. Dersom bæresystemet tildekkes av passiv brannbeskyttelse, kan man eventuelt benytte boligsprinkler der dette er aktuelt.

Installasjon av sprinkleranlegg er et effektivt og pålitelig brannsikringstiltak. Installasjonen vil i de aller fleste tilfeller redusere risikoen brann representerer. I henhold til VTEK17 så vil det å installere sprinkleranlegg gi en del lempelser når det kommer til de preaksepterte ytelsene. For eksempel tillattes det da å øke størrelsen på brannseksjoner fra for eksempel 1 800 m² til 10 000 m². Det åpnes også for å utelukke kjølesoner i fasaden, og man kan redusere brannmotstanden på branncellebegrensende bygningsdeler mot utvendige rømningsveier.

I forbindelse med bruk av trekonstruksjoner og synlige overflater i tre, så gis det ikke lempelser på de preaksepterte ytelsene ved bruk av sprinkleranlegg. Sprinkleranlegg i byggverket kan likevel vektlegges når bruken av eksponert tre skal vurderes. Sprinkleranlegget vil påvirke tilgjengelig rømningstid ved at tiden forlenges, noe som potensielt gir økt sikkerhetsmargin. Statistikken viser også at omfanget av en brann blir vesentlig mindre med sprinkleranlegg, og dermed påvirkes verdisikkerheten, samt sikkerheten for slökkemannskaper ved at innsatsen forenkles. Påliteligheten til sprinkleranlegget må vurderes, og man må velge en type sprinkleranlegg som er egnet for det aktuelle bygget. Det finnes sprinkleranlegg med ulike egenskaper når det kommer til hvor raskt de løser ut og hvordan de begrenser en brann. Begrensing av en brann i det tidlige forløpet avhenger av hvordan anlegget dimensjoneres. Tillegg F i NS-EN 12845 har tilleggskrav for økt personsikkerhet som bør vurderes i det enkelte prosjekt:

- Mindre areal per slokkesone
- Krav til forbedret enkel vannforsyning
- QR-hoder (Quick Response) skal benyttes generelt, med noen unntak
- Ekstra tiltak for vedlikehold, for eksempel mindre nedetid for å gjennomføre service

Andre tiltak kan også implementeres for å ytterligere forbedre effekten og påliteligheten til anlegget. En risikovurdering må avklare om tiltakene er tilstrekkelige.

Rapporten *Verifying fire safety design in sprinklered buildings* fra Lunds Universitet i Sverige gir anbefalinger for hvordan man bør dokumentere design av sprinkleranlegg (Nystedt, 2011).

Pålitelighet for sprinkleranlegget under drift skal analyseres som en del av den branntekniske prosjekteringen. Det finnes få erfaringstall fra Norge på pålitelighet. Analysen må derfor baseres på internasjonale data. Støttelitteratur kan benyttes ved vurdering av pålitelighet, og ved vurdering av sprinkling som tiltak for å håndtere brann i en tidlig fase. Dersom det er usikkerhet knyttet til relevans av tilgjengelige pålitelighetsdata, må dette tas høyde for ved å bruke sikkerhetsfaktorer i analysen.

Vedlikehold av sprinkleranlegget etter at bygget er tatt i bruk, inklusive funksjonskontroller, er avgjørende for at anlegget skal fungere som forutsatt i brannkonseptet ved en eventuell brann.

4.3 Bæresystem

Den branntekniske analysen skal gjennomføres for et utvalg brannscenarier, se kapittel 4.7. Dette kan medføre behov for mer enn 90 minutters brannmotstand for bæresystemet. Dette må vurderes av den enkelte ansvarlig prosjekterende for brannkonseptet (RIBr) basert på:

- Valg av brannmotstand: Ytelse i brannkonsept basert på analyse. Avhengig av geometri, åpenhet, valg av konstruksjoner, variabel og permanent brannenergi, eksponert treoverflate og andre faktorer.
- Valg av bæresystem og strategi for beskyttelse av dette: Byggets redundans ved global stabilitet kan vurderes.
- Forkulling: Limtyper og problemstilling knyttet til delaminering må vurderes. Dimensjonering i ulykkestilfelle brann og beregning av resttvernsnitt er RIB-oppgave – med støtte fra RIBr og leverandør av bærekonstruksjonen.

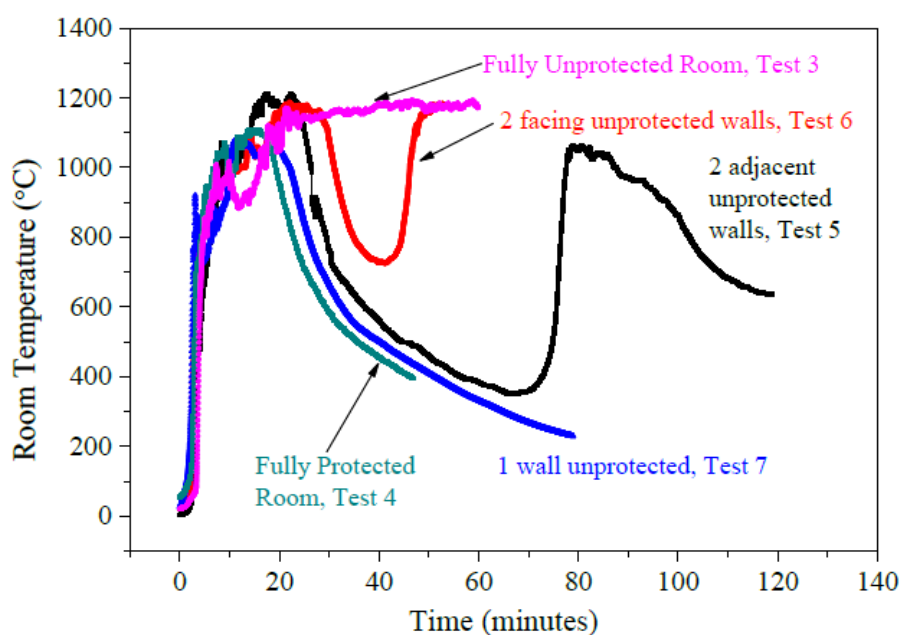
Beskyttelsesmetoden som velges for bæresystemet vil påvirke restverdien etter et branntilløp. Både tre-, stål- og betongbygg kan få store varige skader på bæresystemet dersom en brann får utvikle seg over lang tid. Da kan mulighetene og kostnadene ved å rehabilitere bygget overgå kostnadene ved å rive og bygge nytt. Det er en viss risiko for at et bygg med ubrennbart bæresystem ikke vil stå gjennom et fullstendig brannforløp, siden brannmotstanden ikke er knyttet opp til byggets og virksomhetens brannenergi. Det vil være en restrisiko ved alle brannstrategier uavhengig av metode.

4.4 Eksponerte treoverflater og delaminering

Arkitekter, byggherrer eller tiltakshavere kan ha ønske om at deler av trekonstruksjonen skal være synlig innvendig. Men mye av bærekonstruksjonen må i mange tilfeller likevel være tildekket, for eksempel for å ivareta lyddemping, romakustikk, det visuelle uttrykket og brannsikkerheten. For brannsikkerheten må både overflatenes egenskaper ved brannpåvirkning, forkulling med påfølgende reduksjon av bæreevnen, samt bidrag fra trekonstruksjonen til brannutviklingen, vurderes.

De lette trekonstruksjonene er svært sårbare for branneksposering, og må som regel alltid beskyttes i hele brannforløpet. De massive konstruksjonene av limtre og krysslaminerte trelementer kan imidlertid eksponeres helt eller delvis. Der det er behov for å beskytte trekonstruksjonen benyttes ofte gipsplater, sammen med sprinkling og andre kompenserende tiltak. Hvilke tiltak som er nødvendig må vurderes i den branntekniske analysen. Der er noen viktige forskjeller mellom limtre og KLT som har betydning for hvor mye av konstruksjonen som kan være ubeskyttet. Antall og utforming av eksponerte treoverflater vil kunne påvirke brannutviklingen og brannspredningen. Dette er fordi treet brenner og bidrar derfor med energi til brannen. Limtrekonstruksjoner har et betydelig lavere volum og overflateareal enn KLT-elementer. Det betyr at limtre gir mindre bidrag til brannutviklingen i form av brannenergi, men samtidig kan tverrsnittet være mer sårbart for forkulling, spesielt dersom konstruksjonsdelene er eksponert for brann på flere sider. KLT har store overflater som bidrar til varmestråling mellom vegger, tak og golv. Limtre har mindre overflater og bidrar derfor ikke i like stor grad til varmestråling. Hvor mye av treet som kan eksponeres for brann, og hvor mye forkulling som kan

tillates, må bestemmes basert på antatt brannutvikling og bæreevnen til konstruksjonen. Dette vil være viktig ved modellering av et fullstendig brannforløp for bygget, og kan ha stor betydning for hvor lenge en fullt utviklet brann varer. Det kan også påvirke hvor lang avkjølingsfasen blir, samt ha betydning for maksimal temperatur. Figur 1 viser eksempler på hvordan eksponerte overflater av KLT kan påvirke brannutviklingen avhengig av hvor mange overflater som er eksponert, og hvordan de er plassert i forhold til hverandre. Mer informasjon om dette finnes blant annet i referansene (Li et al., 2016; Reitan et al., 2019). Modellering av et fullstendig brannforløp, eller parametriske brannkurver, for bygninger med eksponert trekonstruksjon, er omtalt i kapittel 4.7.



Figur 1. Eksempel på temperaturutvikling i rom med ulike konfigurasjoner av eksponerte overflater av KLT (Li et al., 2016)

Lim som brukes i produksjon av KLT og limtre kan påvirke hvordan materialet motstår brann. Noen limtyper kan svikte når de utsettes for høy varme, og dette kan føre til delaminering og nedfall av lameller. Dette kan igjen øke varmeavgivelse og innbrenningshastighet. Det er derfor viktig å inkludere risikovurdering av sannsynlighet for delaminering som del av brannprosjekteringen. Metoder for å unngå delaminering kan være å benytte lim som tåler høy varmeeksponering og derav hindrer nedfall av lameller, benytte tykkere lameller, eller å utforme bygninger på en slik måte at limfugene ikke eksponeres for forkulling (Brandon & Dagenais, 2018).

Preaksepterte ytelser for overflater i ulike rom gitt i VTEK17 (DiBK, 2017) vil også kunne ha betydning for hvilke deler av konstruksjonen som kan eksponeres, og må derfor inkluderes i vurderingene. Eksponering av trekonstruksjonen kan påvirke rømningen fra bygget dersom brannspredningen skjer raskere enn for bygninger med preaksepterte ytelser (Bøe et al., 2023a, 2023b; Kotsovinos, Rackauskaite, et al., 2023; Kotsovinos, Christensen, et al., 2023). Nødvendig tid til rømning og redning skal ivaretas, og kan være bestemmende for hvilke deler av konstruksjonen som kan være synlig.

Ved brannprosjektering av bærekonstruksjonen kan man akseptere noe usikkerhet, men det kan man ikke for rømningssikkerheten. Store åpne brannceller med brennbare overflater og gode ventilasjonsforhold har forutsetninger for svært rask brannvekst og spredning av brannen. Slike forhold kan true rømningssikkerheten fordi kritiske forhold som kan hindre rømning kan oppstå raskt, med mindre det gjøres aktive eller passive tiltak. Brannutvikling i store åpne rom utvikler seg som en såkalt "travelling fire", som blant annet er beskrevet i (Buchanan & Östman, 2022) og observert i nyere fullskala forsøk i åpen branncelle (Bøe et al., 2023a, 2023b; Kotsovinos et al., 2021). To storskala brannforsøk utført i FRIC viser også at brann i et stort rom med store åpninger og eksponert massivtre kan spre seg raskt gjennom rommet, men at blant annet takhøyden kan være en viktig faktor for når slik rask spredning kan oppstå (Bøe et al., 2023a, 2023b).

Eksponerte trekonstruksjoner inne i bygget kan også påvirke hvordan brannen sprer seg til fasaden (Friquin et al., 2019). Ved produksjon av mye branngasser innendørs på grunn av store arealer med brennbart materiale, vil mer av gassene kunne forbrenne utenfor bygget fordi det ikke er nok oksygen tilgjengelig inne. Dette kan føre til lengre flammer med høyere varmestråling mot fasaden (Engel & Werther, 2022).

Ved hjelp av ulike brannhemmende behandlinger er det mulig å gjøre treelementer vanskeligere å antenne, og redusere flammespredningsevnen. Brannhemmet tre kan oppnå den høyeste europeiske brannklassifiseringen for brennbare produkter, klasse B (Standard Norge, 2018a). Ved bruk av brannhemmende trevirke utendørs er det avgjørende at brannbehandlingen er robust mot nedbrytning på grunn av vær eller UV-stråling. Bestandigheten til brannhemmende tre for utendørs bruk bør i utgangspunktet testes og dokumenteres i henhold til EN 16755 *Bestandighet av materialers egenskaper ved brannpåvirkning - Klassifisering av brannhemmende behandlede trebaserte produkter for innvendig og utvendig bruk* (Standard Norge, 2017). Metodene i denne standarden er imidlertid omdiskutert, og revisjon er derfor igangsatt. Brannhemmende overflatebehandling kan påføres både KLT-elementer og trebaserte plater som brukes til kledning. Det finnes imidlertid ingen behandling som kan gi verken KLT-elementer eller trebaserte plater en A2-klassifisering (begrenset brennbart eller ubrennbart materiale). Brannhemmet trevirke kan bidra til redusert brannvekst ved å hindre antennelse av overflater i tidlig stadium av et brannforløp. Tross forbedrete brannegenskaper, har behandlingen begrenset effekt på forkullingshastigheten. Det har blitt påvist at selv om slik behandling kan gi trevirket den høyeste brannklassifiseringen for brennbart materiale, vil dette ha en minimal effekt på brannmotstanden under en fullt utviklet brann (Norris, 2020).

4.5 Hulrom og utettheter

Trebygninger har gjerne mange hulrom i vegger og dekker for å ivareta lydkrav, eller som en del av byggemetoden (modulbygg). Slike hulrom kan være kilder til brannspredning, og det må derfor vies ekstra oppmerksomhet til disse detaljene. Svake punkter i bygninger gir muligheter for rask røyk- og brannspredning. Luftspalter og overganger mellom bygningsdeler må vurderes særskilt, se for eksempel Byggforskserien 520.110 *Modulbygninger av tre. Vurdering av egnethet* (SINTEF, 2020).

Ved montering av KLT-elementer vil det kunne bli mindre åpninger mellom elementene. Slike små spalter vil ikke nødvendigvis forringe brannmotstanden med hensyn til integritet (E) isolasjonsevne (I), eller bæreevne (R), men de vil kunne bidra til røykspredning med mindre det er gjennomført tiltak for å forhindre dette. Dagens teststandarder tar ikke hensyn til spredning av røyk mellom elementer ved brannmotstandsprøving, men det er en potensielt stor fare for personer som skal evakuere et bygg, eller som venter på å bli reddet i sin branncelle.

Regelverket i flere land i Europa krever at det monteres en gummitetting mellom KLT-elementene mellom forskjellige brannceller for å forhindre spredning av røyk. Dette er ikke vanlig praksis i Norge, men må vurderes av ansvarlig brannrådgiver. I mange tilfeller vil røykspredning hindres av påføringer på vegger og påstøp på gulv.

4.6 Brannceller

Ett viktig brannsikkerhetstiltak for byggverk er branncelleinndeling. Oppdeling i brannceller vil bidra til å sikre tid til rømning og redning. Det vil forsinke og begrense brann- og røykspredning slik at det ikke oppstår unødige store materielle skader. For brannvesenet vil brannceller bidra til å lette slokkearbeidet. Hensiktsmessig oppdeling av brannceller avgjøres i brannsikkerhetsstrategien til byggverket. Oppdeling av bygninger i flere brannceller enn et sammenlignbart referansebyggverk, kan vurderes særskilt.

Både KLT-konstruksjoner og bygningsdeler med trebindingsverk kan ivareta krav til brannmotstand ved riktig utførelse. KLT kan i noen tilfeller ivareta krav til branncellebegrensende konstruksjon uten ytterligere tildekking av platekledning, isolasjon eller liknende, mens bindingsverk typisk må kles fullstendig. Bygningsdeler med tradisjonelle trebindingsverk har vist seg å kunne ivareta brannmotstand i opptil 120 minutter.

Eksponerte eller tildekkete massivtrekonstruksjoner har begge vist tilfredsstillende ytelse for brannmotstand, men det må tas høyde for at eksponerte elementer også tilfører ekstra brannenergi. I motsetning til trebindingsverk har KLT-konstruksjoner vanligvis få eller ingen fuger eller hulrom og har derfor typisk uniform én-dimensjonal forkulling på hele overflaten (Buchanan & Östman, 2022). Ytelsen kan påvirkes av produktspesifikke egenskaper som sammensetning, orientering og dimensjoner av elementer og lameller, fuger og den termiske ytelsen til limfugene. Ved delaminering øker forkullingen.

Inndeling av bygninger i flere brannceller enn hva preaksepterte ytelser i VTEK17 angir, er et aktuelt tiltak. Dersom dette fordrer rømning via en annen branncelle som ikke er del av rømningsveien strider det mot TEK17 §11-13 1. ledd, og brannsikkerheten må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

4.7 Dokumentasjon av fravik

4.7.1 Valg av analysemodell og -metoder

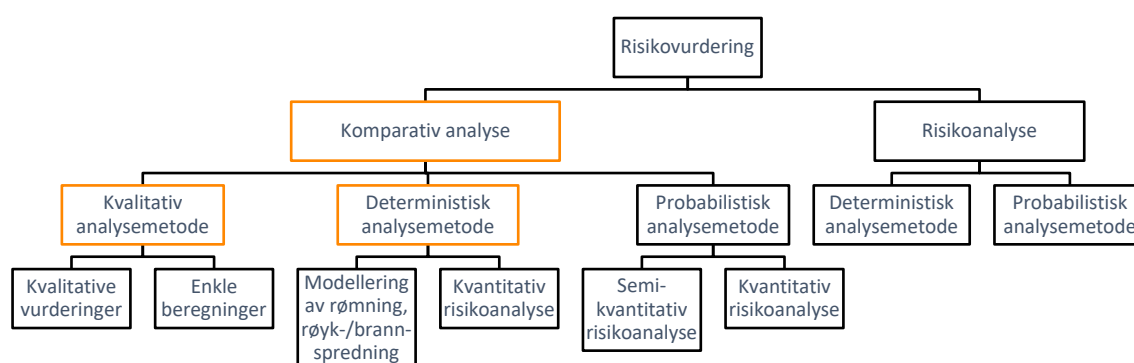
Analytisk brannteknisk prosjektering av brannsikkerheten i byggverk kan gjennomføres etter ulike metoder, se Figur 2. Byggteknisk forskrift TEK17 (KMD, 2017) spesifiserer at risikoanalyser og komparativ analyser som gjennomføres i samsvar med NS 3901 (Standard Norge, 2012) og

SN-INSTA/TS 950 (Standard Norge, 2014), vil tilfredsstille forskriftens krav til analyse av sikkerheten ved brann.

Rent kvalitative scenarioanalyser anbefales ikke for bygninger med trekonstruksjoner i brannklasse 3 i henhold til VTEK17 §2-2 til 3. ledd, se veiledningsteksten nedenfor. Bakgrunnen for dette er at bruk av brennbar konstruksjon i disse byggene må anses som et vesentlig fravik.

VTEK17 §2-2 til 3. ledd, bokstav C:

Rent kvalitative scenarioanalyser kan bare benyttes i ukompliserte byggverk der det er små fravik fra de preaksepterte ytelsene, og der fravikene i liten grad påvirker personrisikoen.



Figur 2. Ulike modeller og metoder for analyser av brannsikkerheten i byggverk. Bokser merket med oransje er omtalt i denne veilederen.

I en risikoanalyse vurderes risikoen for en spesifikk bygning med tanke på brann opp mot forhåndsbestemte evalueringskriterier (risikoakseptkriterier). Utfordringen med denne metoden er beskrivelse av risiko og risikoevaluering. I en komparativ analyse utføres en sammenligning mellom analysebyggverket og et referansebyggverk. Man utfører da en scenariobasert analyse av konsekvenser (effekter) av fravik fra referansebyggverket, som er prosjektert i henhold til veiledningen til TEK17 med kun preaksepterte ytelser.

Ved bruk av komparativ analyse er akseptabelt risikonivå bestemt ved at referansebyggverket, representerer akseptabel risiko. Risikoanalyser krever at man har tilstrekkelig kunnskapsgrunnlag til å bestemme evalueringskriterier. Risikoanalyse krever derfor et større datagrunnlag om blant annet aktuelle brannscenarier, sannsynlighet og konsekvenser for brann i bygget, effekt av og pålitelighet til brannsikkerhetstiltak. Datagrunnlaget må være relevant for norske forhold og det aktuelle bygget. Evalueringskriteriene for bygningen må bestemmes, og de må forankres i regelverket. Slike datagrunnlag og evalueringskriterier kan være vanskelig å finne og å vurdere relevansen til. I denne veilederen anbefales og beskrives derfor bare komparativ analyse, se Figur 2.

Komparativ analyse er stort sett benyttet i alle brannkonseptene som er gjennomgått. I de fleste konseptene inkluderes tiltak utover preaksepterte ytelser gitt i VTEK17 i analysebyggverket, som blant annet sprinkleranlegg etter EN 12845 inkludert tiltak beskrevet i tillegg F, økt

brannmotstand på bærende konstruksjoner sammenlignet med preaksepterte ytelser, og delvis beskyttelse av massivtrekonstruksjonene.

4.7.2 Komparativ analyse

Ved komparativ analyse sammenlikner man eget prosjekt, analysebyggverket, med et realistisk, liknende byggverk, referansebyggverket, som oppfyller yttergrensene for ett samlet sett med preaksepterte ytelser gitt i TEK17 med veiledning (SINTEF, 2021c). Referansebyggverket skal ha samme risikoklasse og ikke lavere brannklasse enn analysebyggverket i henhold til krav i NS 3901 (Standard Norge, 2012). Referansebygget skal ikke varieres underveis i analysen, og det skal gjennomføres en samlet vurdering av fravikene. Referansebyggverket representerer nivået for akseptabel risiko.

En komparativ analyse gjennomføres for et antall brannscenarier for både analysebyggverket og det tenkte referansebyggverket. NS 3901 angir hvilke obligatoriske brannscenarier som minst skal vurderes. I kapittel 4.7.3 er det gitt innspill til definisjon av brannscenarier.

Fremgangsmåten er bare anvendelig der det er mulig å etablere et tenkt referansebyggverk som oppfyller preaksepterte ytelser. For brannscenarier der det kan forventes ulike utfall for referansebyggverket og analysebyggverket, skal scenariet analyseres for både referansebyggverket og analysebyggverket.

Hensikten med en komparativ analyse er å vurdere analysebyggverkets brannsikkerhetsnivå opp mot referansebyggverkets. Analysemetodikken som velges, må derfor kunne brukes til å vurdere forskjellene mellom analysebyggverket og referansebyggverket (SINTEF, 2021c).

4.7.3 Brannscenario

Brannscenariene som skal analyseres for et bygg er gitt i f. eks. NS 3901 (Standard Norge, 2012) og avhenger av byggets utforming og hvilke fravik som er relevante. Brannteknisk rådgiver må vurdere hvilke brannscenarier som skal analyseres. For vurdering av fravik på byggets bæresystem ved bruk av trekonstruksjoner, må som minimum disse to brannscenariene analyseres:

1. Et alvorlig brannscenario med rask utvikling og høy branneffekt som representerer det verste troverdige brannscenariet i byggverket.
4. Representative brannscenarier for det aktuelle byggverket som skal analyseres for å avdekke robustheten i den branntekniske utformingen.

I merknader til scenario 1 og 4 påpeker standarden at det vil være nødvendig å analysere flere forskjellige brannscenarier for å avdekke hva som er det verste troverdige scenariet, og hvilke scenarier som tester robustheten til den branntekniske utformingen. Mange brannscenarier vil være aktuelle for flere typer bygg. Brannscenarier som vil være spesielt relevante for bygninger med trekonstruksjoner, er scenarier med forhold som øker varigheten av brannforløpet, påvirker brannspredningen, eller fører til branner med rask brannvekst. Et brannscenario må være spesifisert med lokalisering i bygget.

Konsekvensanalyse av brannscenarier skal alltid gjennomføres.

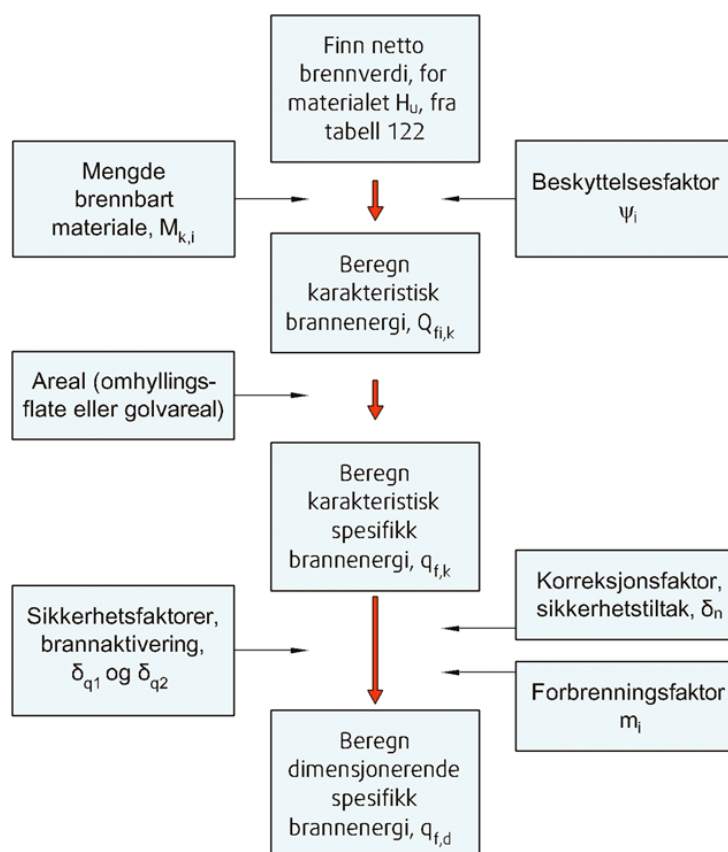
4.7.4 Beregning av brannenergi

En estimering av brannenergien i byggverk er ofte en viktig forutsetning for ethvert brannkonsept. I VTEK17 (DiBK, 2017) vil dimensjonerende brannenergi påvirke preakseptert ytelse til brannvegg og seksjoneringsvegg, mens preaksepterte ytelser til bæresystem er uavhengig av dimensjonerende brannenergi. I veiledningen til TEK10 (DiBK, 2010) var det angitt at byggverk med en spesifikk brannenergi som oversteg 400 MJ/m^2 ville føre til klassifisering som brannklasse 4. Dette er fjernet fra VTEK17, men bygninger med eksponerte trekonstruksjoner vil likevel kreve omfattende analyser selv om de ikke automatisk klassifiseres i brannklasse 4.

Brannenergien i byggverk kan påvirke konsekvensen av en brann, og kan ha en direkte innvirkning på brannvekst og varigheten av brannforløpet. Spesifikk brannenergi er summen av variabel brannenergi (møbler og løse ting) og permanent brannenergi (konstruksjoner, kledninger, fastskrudd inventar). Den permanente brannenergien kan være vanskelig å estimere ettersom det kan endres ved fremtidige ombygginger. I den svenske veilederen BBRBE 1 (Boverket, 2013), fra bygningsmyndighetene i Sverige, er det oppgitt en generell verdi for permanent karakteristisk brannenergi på 200 MJ/m^2 gulvflate når det ikke gjøres egne beregninger. Denne generelle verdien vil ikke være representativ for brannceller med eksponerte massive trekonstruksjoner da dette kan øke brannenergien i branncellen vesentlig. Beregning av permanent brannenergi i bygninger med eksponerte trekonstruksjoner er beskrevet i kapittel 4.7.5.

For bygninger med eksponerte trekonstruksjoner som har en slik utforming at de ikke kan beregnes i henhold til metodene i kapittel 4.7.5, må risikoanalysen ta for seg problemstillingen knyttet til permanent brannenergi. Merk spesielt at sikkerhetsnivået ved vurdering av nødvendig brannmotstand til brannvegger er høyere sammenlignet med et bæresystem siden brannvegger skal forhindre brannspredning uten brannvesenets innsats (TEK17 §11-6 5. ledd).

Generell beregning av brannenergien er beskrevet i Byggforskserien (SINTEF, 2013). Flytdiagram for beregningene er vist i Figur 3. Hvor stor andel av den permanente brannenergien som skal inkluderes, uttrykt ved bruk av beskyttelsesfaktor, må vurderes i hvert enkelt prosjekt og er direkte avhengig av brannscenariene som vurderes i analysen.



Figur 3. Flytskjema for å beregne dimensjonerende spesifikk brannenergi for hvert materiale i et bygg (Ill.: SINTEF/Byggforskserien 321.051)

4.7.5 Parametrisk brannkurve

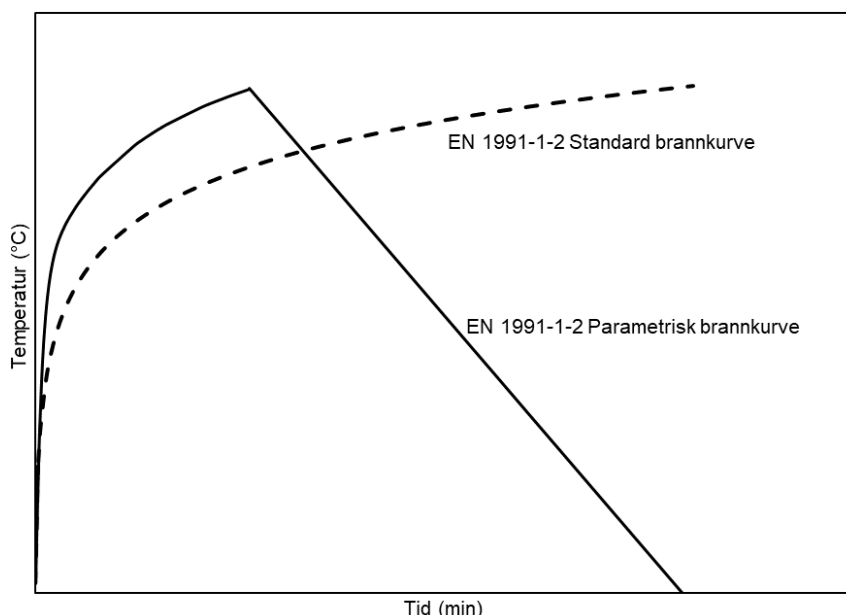
Parametrisk brannkurve i henhold til NS-EN 1991-1-2 tillegg A (Standard Norge, 2008) kan, som beskrevet i kapittel 3, anvendes for å beskrive temperaturutvikling i en branncelle hvor KLT-elementer er tildekket og forutsettes å ikke bidra under et brannforløp. Dersom brannceller inneholder eksponerte treoverflater vil de kunne påvirke temperaturen, varigheten av brannen og nedkjølingsfasen til det parametriske brannforløpet. Bidraget til brannenergien fra treoverflatene må derfor medregnes i den parametriske kurven. Buchanan og Östman (Buchanan & Östman, 2022) beskriver tre metoder som er utviklet for å ta hensyn til den ytterligere brannenergien, se kapittel 3.2.

Blant annet refereres det til en metode utarbeidet av Brandon (Brandon, 2018). Metoden forutsetter at gipsplater som beskytter trekonstruksjoner ikke faller ned i løpet av det fullstendige brannforløpet og at eksponerte trekonstruksjoner ikke delaminerer. Delaminering kan unngås enten ved å velge KLT-elementer med lim som har høy kritisk temperatur eller med tykkere ytterlameller, se kapittel 4.4. Metoden bygger på en iterativ beregning, der mer av tverrsnittet blir involvert for hver beregningsrunde fordi forkullingen gradvis når lenger inn i tverrsnittet. For beregning av forkullingsdybden med hensyn til å unngå delaminering så må det legges til en sikkerhetsmargin. Dette fordi forkullingsdybden lokalt vil være dypere enn den beregnede dybden. Et viktig kriterium for selvslukking i metoden er å forhindre at to flater stråler

mot hverandre. Det vil derfor ikke være akseptabelt med eksponert tre i både vegg og tak. For innvendige hjørner på vegg kreves det at en flate brannbeskyttes fire meter ut fra hjørnet, og at beskyttelsen er intakt gjennom hele brannforløpet. Nyttige eksempler på bruk av metodene er gitt i (Brandon, 2018; Buchanan & Östman, 2022).

Beregningsmetodene for parametriske brannkurver har flere begrensninger og forutsetninger for bruk som man må vite om. Disse er beskrevet i håndboken fra Buchanan og Östman, samt i originalkildene.

Eksempel på et parametrisk brannforløp er vist i Figur 4, sammen med standard temperatur-tid kurve, begge hentet fra NS-EN 1991-1-2 (Standard Norge, 2008). Med et høyere bidrag til brannenergien fra trekonstruksjonen vil maksimaltemperaturen for det parametriske brannforløpet øke og nedkjølingsfasen starte senere.



Figur 4. Standard temperatur-tid kurve og eksempel på et parametrisk brannforløp, basert på NS-EN 1991-1-2 (Standard Norge, 2008)

5 Fremgangsmåte

5.1 Viktige forutsetninger, vurderinger og avklaringer i de ulike prosjektfasene

Prosjektering av høye trebygninger krever tett samarbeid mellom rådgivende ingeniør brann (RIBr), rådgivende ingeniør bygg (RIB), rådgivende ingeniør akustikk (RIAku) og arkitektene (ARK). Brannteknisk gode og kostnadseffektive løsninger forutsetter at brannrådgiveren er tidlig involvert og kan sette premisser for prosjekteringen. Byggets plassering og andre eksterne faktorer vil være avgjørende for hvilke sikringstiltak som er nødvendige, og hvilken byggemetode som bør benyttes.



Bilde: Finansparken Bjergsted, Stavanger, SAAHA Arkitekter

Skissefasen må inneholde kartlegging av forutsetninger, definert av bygget og byggets beliggenhet. Materialbruk og prinsipp-løsninger vurderes, og en innledende risikovurdering gjennomføres. For KLT-konstruksjoner vil tidlig valg av leverandør kunne sette premisser for brannkonseptet blant annet på grunn av limtypen som benyttes. Forprosjektfasen er avhengig av godt samarbeid mellom rådgiverne innen fagene bygg, akustikk og brann for å komme frem til gode prinsipper for dekkekonstruksjoner. Tverrfaglig samarbeid er også nødvendig for avklaringer knyttet til høyder og bredder på himling og sjakter. Risikovurderingen videreføres.

I detaljprosjekteringen videreføres arbeidet med løsninger for vegg og dekkeoppbygging, materialbruk og ulike tekniske løsninger herunder også tetting der det er nødvendig. Hulrom må håndteres spesielt. Tiltak i byggefase og bruksfase som påvirker brannsikkerheten må også inngå i den branntekniske analysen.

Viktige forutsetninger, vurderinger og avklaringer i de ulike prosjektfasene er gitt i Tabell 2 til Tabell 6 nedenfor.

Tabell 2. Skissefase - Viktige forutsetninger, vurderinger og avklaringer

Skissefase	
Strategi for dokumentasjon av brannsikkerhet	Foreslå strategi for hvordan brannkonseptet skal ivareta forskriftskrav om fullstendig brannforløp, inkludert strategi for omfanget av eksponerte treoverflater. Benyttes parametrisk brannkurve så vil alle bygningsmessige endringer (materialer eller geometri) måtte verifiseres med nye beregninger. Forankre dette valget med byggherre/tiltakshaver, siden det vil påvirke mulighet for ombygging eller endring av virksomhet i fremtiden. Spesielt for KLT: Er leverandør av KLT bestemt? Gir dette noen muligheter eller begrensninger for strategien? Benytter leverandøren en limtype som fører til delaminering?
Beliggenhet	Avklare avstand til nabobygg og nabogrense. Vurdere lokalt brannvesen – utstyr, kapasitet, adkomst og oppstillingsplasser. Undersøke kapasitet på sløkkevann og sprinklertrykk. Vannsikkerhet (forsyningssikkerhet og vanntrykk). Tilfredsstiller den kommunale vannforsyningen kravet til forbedret, enkel vannforsyning? Reguleringsplan – muligheter eller begrensninger? Nåværende og fremtidig virksomhet, naboforhold, etc.
Prinsipp-løsninger	Tidligfasevurderinger på bæresystemet (samvirke tre-betong-stål, risiko for brannspredning, vindavstivning og global stabilitet). Vurdere materialbruk, rømningsveier, virksomhetene i bygget. Hva er arkitektens visjon? Gjennomføre innledende risikovurdering / screening.

Tabell 3. Forprosjekt - Viktige forutsetninger, vurderinger og avklaringer

Forprosjekt	
Forutsetninger (kap. 4)	Etterstrebe godt samarbeid mellom RIB, RIAku og RIBr. Bestemme prinsipp for vegg- og dekkekonstruksjoner. Vurdere materialbruk mer inngående; muligheter og begrensninger. Begrensninger på omfang av synlig tre? Plassavklaring tekniske fag: Høyder og bredder på himling og sjakter. Kontrollere at det er tatt høyde for påføringer og brannbeskyttelse der det kreves. Passe på at risikovurderingen blir videreført. Utarbeide overordnet brannkonsept.
Arkitektonisk uttrykk (kap. 4.4)	Er det åpent mellom etasjer? Ved ønske om eksponert tre må man vurdere hva som kan tillattes i brannkonseptet. Ønskes tre i trapperom? Fasadematerialer og fasadeutforming - mye glass og åpent, eller mer tradisjonelt med isolerte yttervegger?
Oppfølging mot øvrige fag	Forankre strategi og valg med prosjekteringsgruppen. Undersøke om det finnes kompensierende tiltak som automatisk tilfredsstiller forskriftskrav.

Tabell 4. Detaljprosjekt - Viktige forutsetninger, vurderinger og avklaringer

Detaljprosjekt	
Generelt (kap. 4)	Utarbeide brannkonsept. Tett samarbeid med andre fag: • Samarbeid med arkitekt for oppdeling av arealer, skillekonstruksjoner, rømningsveier • Samarbeid med prosjekterende for trekonstruksjoner • Tverrfaglig tegningskontroll Videre detaljering av vegg og dekkeoppbygning, materialbruk, fasader, sjakter, prefabrikkerte bad, balkonger, svalganger. Fullstendig risikovurdering (se kapittel 4.7.1). Avklare forutsetninger som er forankret i byggherrens/tiltakshavers organisasjon.

Detaljprosjekt	
Strukturelt (kap. 4.3)	Skal trappesjakter og heissjakter være i tre eller betong? Skal det være tett med bærevegger eller åpen løsning med bjelke/søyle? Hvilke konstruksjonsdeler er hovedbæring (viktig for bæring og stabilitet også i brann), og hvilke er sekundærbæring (ikke viktig for stabilitet)? Bærende yttervegger eller lette vegger som er påhengt. Tosidig brannpåkjenning på elementer. Forkullingshastighet kan være produktavhengig – sjekk at riktig hastighet benyttes. Forkullingshastigheten kan også være temperaturavhengig, det må man ta hensyn til ved dimensjonering av konstruksjonen. Utfordringer med kombinasjon av betong/stål og tre på grunn av ulike materialegenskaper. Kartlegge hulrom (bindingsverksvegger, takkonstruksjon, moduler, doble vegger).
Slokkeanlegg (kap. 4.2)	Boligsprinkling eller tradisjonell sprinkling? Sprinkleranlegg: NS-EN 12845 (Standard Norge, 2015) og Tillegg F anbefales (Quick respons-dyser og forbedret enkel vannforsyning) der byggets brannstrategi avhenger mye på sprinkleranlegget. Vurdere spesifikasjoner for spredemønster og vannmengder. Bør det være overvåkning på alle ventiler som kan stenge vannet? Bør det stilles krav til trykkøkingspumper? Har vi sikker strømforsyning og dieselaggregat? Er forbedret enkel vannforsyning nødvendig? Er det aktuelt å velge vanntåkeanlegg? Merk at man ved vanntåkeanlegg må følge produsentens DIOM i hele anleggets levetid. (DIOM = prosjektering, installasjon, drift og vedlikehold)
Limtre/KLT (kap. 4.4)	Innhente dimensjoneringsgrunnlag som f.eks. forkullingshastighet fra leverandøren av valgt konstruksjonssystem. Type lim som er benyttet - om den delaminerer eller ikke er viktig spesielt for KLT-konstruksjoner. Behov for tettelister mellom KLT-konstruksjoner for å forhindre røykspredning eller ivaretas dette av andre tiltak? Kartlegge ønsket antall, størrelse og plassering av eksponerte treoverflater. KLT: Forkullingshastighet og dimensjoneringsmetode – NS-EN 1995-1-2 (Standard Norge, 2010) dekker ikke KLT-konstruksjoner. Her må man benytte andre metoder, se kap. 3.5, eller andre dokumenterte metoder gitt av produsent. NB! NS-EN 1995-1-2 er i noen tilfeller ikke-konservativ i

Detaljprosjekt	
	forhold til dagens kunnskap og resultatene bør derfor kontrolleres mot nyere beregningsmetoder. Limtre: Kan dimensjoneres etter NS-EN 1995-1-2, og parametrisk kurve i NS-EN 1991-1-2 (Standard Norge, 2008) kan benyttes.
Akustikk	Hvordan håndteres trinnlyd (påstøp, datagulv, annet)? Dette kan ha effekt på vurdering av røykspredning via skjøter i dekke. Hvor er det behov for påføring?
Ventilasjon	Ventilasjonsprinsipp - steng inne eller trekk ut? Felles sentralt avtrekk eller desentralisert? Hybridventilasjon?
Energisystem og teknologi	Solceller på vegg eller tak? Litium-ion batterier i eller ved bygget? Viktig med helhetlig brannstrategi der også slike energisystem er tatt med.
Forankre brannkonsept	Presenter brannkonsept for prosjekteringsgruppen og entreprenør slik at viktige forutsetninger og løsninger blir ivaretatt.

Tabell 5. Byggefase - Viktige forutsetninger, vurderinger og avklaringer

Byggefase	
Brannsikkerhet	Delvis ombygging med fortsatt drift i deler av bygget? Behovet for midlertidig brannsikring i byggefase i tillegg til standard HMS-tiltak må vurderes. Høyt bygg med eksponert tre, uten at sprinkleranlegg er satt i drift? Se for eksempel (Buchanan & Östman, 2022). Avklare adkomst og oppstilling for brannvesenet. Rådgiver på brann bør bidra til utforming av detaljløsninger.
Oppfølging brannkonsept	Det er en stor fordel at det gjennomføres kontroll av utførelse (KUT) for å kontrollere at tekniske løsninger ivaretas i henhold til brannkonsept ved montasje/installasjon av konstruksjonsdeler eller byggevarer.

Tabell 6. Bruksfase - Viktige forutsetninger, vurderinger og avklaringer

Bruksfase	
Brannsikkerhet	Vil materialbruken kunne sette begrensninger på bruksfasen og type virksomhet som tillates? Tilpasningsdyktighet - Er brannkonseptet robust for fremtidige ombygginger eller "feil bruk av bygget"? Beskrive krav til forvaltning, drift og vedlikehold. Dersom brannstrategien er basert på parametrisk brannkurve så vil det kreves nye beregninger ved endring av virksomhet, branncelleinndeling, materialeegenskaper til eksponerte overflater eller størrelse på vinduer.
Oppfølging brannkonsept	Byggeier: Kontrollere at tekniske løsninger ivaretas i henhold til brannkonsept ved eventuell utskifting av konstruksjonsdeler eller byggevarer, og ved bruksendringer eller mindre ombygginger.

5.2 Viktige forhold for risikovurdering av trekonstruksjoner i BKL 3

I Tabell 7 nedenfor oppsummeres viktige forhold som må tas med i risikovurderingen, og i Figur 5 vises flytdiagram for valg av analysemetode basert på bygningens forutsetninger. For komplett gjennomføring av risikovurdering, se NS 3901 (Standard Norge, 2012).

Tabell 7. Risikovurdering - Viktige forhold (Standard Norge, 2012)

Risikovurdering ved brann	
Valg av analysemodell (kap. 4.7.1)	Målene med analysen, problemstillingene og omfang påvirker valg av modell. Vurderingen bør gjøres allerede i skissefase/forprosjekt. Overordnet valg: Risikoanalyse eller komparativ analyse. Valget er avhengig av: - Tilgang på data og erfaring - Definere akseptkriterier og andre krav (forskrift, byggherre/tiltakshaver, forsikring o.l.) - Analysebyggverkets kompleksitet
Analysemetoder (kap. 4.7.1)	Denne veilederen beskriver kun komparativ analysemodell. Start alltid med kvalitativ analysemetode for vurdering av fravikets kompleksitet og omfang, samt fravikets konsekvenser. Utfør konsekvensanalyse av brannscenario. Utfør komparativ analyse. Flytdiagram i Figur 5 kan benyttes som støtte ved valg av analysemetode basert på bygningens forutsetninger.
Referansebygg ved komparativ analyse (kap. 4.7.2)	Samme bruk og virksomhet. Ikke lavere brannklasse. Realistisk og mulig å bygge. Et samlet sett med preaksepterte ytelser for referansebygget vurderes mot analysebygget. Kjent og akseptabel risiko.
Brannscenario (kap. 4.7.3)	Vurder kompenserende tiltak – aktive og passive.
Brannenergi (kap. 4.7.4)	Parametrisk brann i henhold til NS-EN 1991-1-2 tillegg A (Standard Norge, 2008), eller tilpassede metoder som tillater eksponert massivtre, se kap. 4.7.5.

Risikovurdering ved brann	
	Bestem brannenergi fra bygningskonstruksjon, kledninger og fast innredning. Bestem variabel brannenergi ved bruk av bygget. Nødvendig med sikkerhetsfaktor på 1,5 i henhold til VTEK17? (DiBK, 2010)
Konsekvens-analyse	Utfør konsekvensanalyse av brannscenarier, se kap. 4.7.3. Analytisk prosjektering starter alltid med en kvalitativ analyse. Dersom fravik er tilstrekkelig oversiktlig og håndterbart, og hvis anerkjent litteratur gir allment aksepterte svar på de spørsmålene som skal besvares, er det tilstrekkelig å gjennomføre den kvalitative analysen. Eksempel 1: Analysebyggverket utformes med passiv beskyttelse av bæresystem av tre i et fullstendig brannforløp. Hele eller deler av konstruksjonen må være brannbeskyttet. Omfanget av eventuelt eksponert bæresystem må baseres på analyse. En egnet parametrisk brannkurve som tar hensyn til eventuelle eksponerte brennbare omhyllingsflater må defineres, se kapittel 4.7.5. Eksempel 2: Analysebyggverket utformes med aktive brannsikkerhetssystem som vil beskytte bygget og kan gi et redusert brannforløp. Komparativ analyse kan gjennomføres opp mot usprinklet eller sprinklet referansebyggverk. Ved sprinklet referansebygg må forskjell i pålitelighet mellom tiltak i de to byggene kvantifiseres. Dette forutsetter tilgang til relevante og pålitelige data for sprinklersystem i analysebyggverk og referansebyggverk.
Usikkerhet- og sensitivitet	Vurdere hvilke usikkerheter som gjelder for risikovurderingen. Hvordan påvirker endringer av parametere resultatene? Se NS 3901 (Standard Norge, 2012).
Beskrivelse av risiko	Etter konsekvensanalysen skal risiko beskrives. Sammenstillingen kan gjøres for hvert enkelt brannscenario eller for alle brannscenariene samlet.
Risiko-evaluering	Kontrollere at analysebyggverket ivaretar evalueringskriterier (risikoanalyse) eller beslutningskriterier (komparativ analyse). Behov for ytterligere risikoreduserende tiltak?



Figur 5. Forslag til flytdiagram for valg av analysemetode basert på bygningens forutsetninger

Referanser

- Andersen, E. (2017). *Fullstendig brannforløp i limtrekonstruksjoner. Vurdering av resultater fra branntest* (Prosjektnr. 640670). Sweco Norge AS.
https://www.limtreforeningen.no/images/bilder/Fullstendig_brannforl%C3%B8p_i_limtrekonstruksjoner.pdf
- Barber, D., Crielaard, R., & Li, X. (2016). Towards fire safe design of exposed timber in tall timber buildings. *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering WCTE2016*. World Conference on Timber Engineering, Wien, Østerrike.
- Boverket. (2013). *Boverkets allmänna råd (2013:11) om brandbelastning* (BFS 2013:11-BBRBE 11). Boverket. <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbrbe---bfs-201311/>
- Brandon, D. (2018). *Fire safety challenges of tall wood buildings - Phase 2: Task 4 - Engineering methods* (FRPF-2018-04). Fire Protection Research Foundation. <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/RFTallWoodBuildingsTask4.pdf>
- Brandon, D., & Dagenais, C. (2018). *Fire safety challenges of tall wood buildings - Phase 2: Task 5 - Delamination of CLT in fire* (FRPF-2018-05). SP Technical Research Institute of Sweden.
- Brandon, D., Sjöström, J., Temple, A., Hallberg, E., & Kahl, F. (2021). *Fire safe implementation of visible mass timber in tall buildings - Compartment fire testing* (RISE-rapport 2021:40). RISE Research Institutes of Sweden AB. <https://www.ri.se/sites/default/files/2021-07/Final%20report%2020210630.pdf>
- Buchanan, A., & Östman, B. (2022). *Fire safe use of wood in buildings - Global design guide* (2022. utg.). CRC Press, Taylor & Francis Group.
<https://www.taylorfrancis.com/books/oa-edit/10.1201/9781003190318/fire-safe-use-wood-buildings-andrew-buchanan-birgit-%C3%B6stman>
- Bøe, A. S., Friquin, K. L., Brandon, D., Steen-Hansen, A., & Ertesvåg, I. S. (2023a). Fire spread in a large compartment with exposed cross-laminated timber and open ventilation conditions: #FRIC-01 - Exposed ceiling. *Fire Safety Journal*, 140(103869).
<https://doi.org/doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103869>
- Bøe, A. S., Friquin, K. L., Brandon, D., Steen-Hansen, A., & Ertesvåg, I. S. (2023b). Fire spread in a large compartment with exposed cross-laminated timber and open ventilation conditions: #FRIC-02 - Exposed wall and ceiling. *Fire Safety Journal*, 141(103986).
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103986>
- Crielaard, R., Kuilen, J.-W. van de, Terwel, K., Ravenshorst, G., & Steenbakkens, P. (2019). Self-extinguishment of cross-laminated timber. *Fire Safety Journal*, 105, 244–260.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.01.008>
- DiBK. (2010). *Veiledning til forskrift om tekniske krav til byggverk*. Direktoratet for Byggkvalitet.
- DiBK. (2017). *Veiledning til forskrift om tekniske krav til byggverk*. Direktoratet for Byggkvalitet.
- Engel, T., & Werther, N. (2022). Impact of Mass Timber Compartment Fires on Façade Fire Exposure. *Fire Technology*, 2022(2022). <https://doi.org/doi.org/10.1007/s10694-022-01346-8>
- Friquin, K. L., Reitan, N. K., & Mikalsen, R. F. (2019). *Fire exposure on facades of cross-laminated timber buildings - A Review*. 3rd International Symposium on Fire Safety of Facades, Paris, France.
- Gernay, T., Zehfuß, J., Brunkhorst, S., Robert, F., Bamonte, P., McNamee, R., Mohaine, S., & Franssen, J.-M. (2022). Experimental investigation of structural failure during the cooling

- phase of a fire: Timber columns. *Fire and Materials*, 2022, 1–16.
<https://doi.org/10.1002/fam.3110>
- Hopkin, D., Węgrzyński, W., Spearpoint, M., Fu, I., Krenn, H., Sleik, T., Gorska, C., & Stapf, G. (2022). Large-Scale Enclosure Fire Experiments Adopting CLT Slabs with Different Types of Polyurethane Adhesives: Genesis and Preliminary Findings. *Fire*, 5(2), 39.
- Hox, K. (2015). *Branntest av massivtre* (SPFR A15101; SPFR-rapport). SP Fire Research AS, Trondheim, Norge.
- IRP. (2020). *Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future* (A report of the International Resource Panel). United Nations Environment Programme, Kenya.
- ISO. (1999). *ISO 834-1 Fire-resistance tests. Elements of building construction. Part 1: General requirements*. International Standardisation Organisation.
- Just, A., & Schmid, J. (2018). *Improved fire design models for Timber Frame Assemblies - Guidance document* (COST Action FP1404). ETH, Zürich, Switzerland.
- KBT. (u.å.). *Faguttrykk*. Kollegiet for brannfaglig terminologi. Hentet 27. oktober 2023, fra <https://kbt.no/faguttrykk.asp>
- Klippel, M., & Just, A. (2018). *Guidance on Fire design of CLT including best practise* (COST Action FP1404). ETH Zürich, Zürich, Sveits.
- KMD. (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Kommunal- og moderniseringsdepartementet.
- Kotsovinos, P., Christensen, E. G., Rackauskaite, E., Glew, A., O'Loughlin, E., Mitchell, H., Amin, R., Robert, F., Heidari, M., Barber, D., Rein, G., & Schulz, J. (2023). Impact of ventilation on the fire dynamics of an open-plan compartment with exposed timber ceiling and columns: CodeRed #02. *Fire and Materials*, 47(4), 569–596.
<https://doi.org/10.1002/fam.3082>
- Kotsovinos, P., Rackauskaite, E., Christensen, E., Glew, A., O'Loughlin, E., Mitchell, H., Amin, R., Robert, F., Heidari, M., Barber, D., Rein, G., & Schulz, J. (2021). Fire dynamics inside a large and open-plan compartment with exposed timber ceiling and columns: CodeRed #01. *Fire and Materials*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1002/fam.3049>
- Kotsovinos, P., Rackauskaite, E., Christensen, E., Glew, A., O'Loughlin, E., Mitchell, H., Amin, R., Robert, F., Heidari, M., Barber, D., Rein, G., & Schulz, J. (2023). Fire dynamics inside a large and open-plan compartment with exposed timber ceiling and columns: CodeRed #01. *Fire and Materials*, 47(4), 542–568. <https://doi.org/10.1002/fam.3049>
- Li, X., McGregor, C., Medina, A. R., Sun, X., Barber, D., & Hadjisophocleous, G. (2016). Real-scale fire tests on timber constructions. *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering 2016*. WCTE, Wien, Østerrike.
- Liu, J., & Fischer, E. C. (2022). Review of large-scale CLT compartment fire tests. *Construction and Building Materials*, 318, 126099.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126099>
- Mitchell, H., Amin, R., Heidari, M., Kotsovinos, P., & Rein, G. (2023). Structural hazards of smouldering fires in timber buildings. *Fire Safety Journal*, 140, 103861.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103861>
- Mitchell, H., Kotsovinos, P., Richter, F., Thomson, D., Barber, D., & Rein, G. (2022). Review of fire experiments in mass timber compartments: Current understanding, limitations, and research gaps. *Fire and Materials*, 2022, 1–18. <https://doi.org/10.1002/fam.3121>
- Norris, M. (2020). *Passive fire protection of cross-laminated timber* (BRANZ-report ER68). BRANZ.
https://d39d3mj7qio96p.cloudfront.net/media/documents/ER68_Passive_Fire_Protection_of_Cross_Laminated_Timber_QR01810.pdf

- Nystedt, F. (2011). *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings* (Vol. 3150; LUTVDG/TVBB-3150-SE). Dept of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund Universitet, Lund, Sverige.
- Pettersson, C. (2020). *Fire safety in Timber Buildings - A review of existing knowledge* (Brandforsk 2020:10). Brandforsk (the Swedish Fire Research Foundation), Stockholm, Sverige.
- Rauch, M., Werther, N., Just, A., & Winter, S. (2022). *Fire design methods for timber frame assemblies - An improved model for the separating function method*. INTER - International Network on Timber Engineering Research, Meeting 9 (INTER Meeting 2022), Bad Aibling, Tyskland.
- Reitan, N. K., Friquin, K. L., & Mikalsen, R. F. (2019). *Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger - En litteraturstudie* (RISE Rapport 2019:09). RISE Fire Research AS, Trondheim, Norge.
- Ronquillo, G., Hopkin, D., & Spearpoint, M. (2021). Review of large-scale fire tests on cross-laminated timber. *Journal of Fire Sciences*, 39. <https://doi.org/10.1177/07349041211034460>
- Schmid, J., & Frangi, A. (2021). Structural Timber In Compartment Fires – The Timber Charring and Heat Storage Model. *Open Engineering*, 11, 435–452. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0043>
- SINTEF. (2009). 520.333 *Brannenergi i bygninger. Beregninger og statistiske verdier* (Byggforskserien). SINTEF Community, Oslo, Norge
- SINTEF. (2013). 321.051 *Brannenergi i bygninger. Beregninger og statistiske verdier* (323.051; Byggforskserien). SINTEF Community, Oslo, Norge
- SINTEF. (2020). 520.110 *Modulbygninger av tre. Vurdering av egnethet* (Byggforskserien). SINTEF Community, Oslo, Norge
- SINTEF. (2021a). 321.025 *Brannsikkerhet. Prosjektering, utførelse og kontroll* (Byggforskserien). SINTEF Community, Oslo, Norge
- SINTEF. (2021b). 321.026 *Brannsikkerhet. Brannsikkerhetsstrategi og brannkonsept* (Byggforskserien). SINTEF Community, Oslo, Norge
- SINTEF. (2021c). 321.026 *Brannsikkerhet. Brannsikkerhetsstrategi og brannkonsept* (Byggforskserien). SINTEF Community, Oslo, Norge
- SINTEF. (2021d). 321.027 *Brannsikkerhet. Detaljprosjektering* (Byggforskserien). SINTEF Community, Oslo, Norge
- SINTEF. (2023). 520.205 *Planlegging av bygninger med KLT-elementer* (Byggforskserien). SINTEF Community, Oslo, Norge
- Sjöström, J., Brandon, D., Temple, A., Anderson, J., & McNamee, R. (2023). External fire plumes from mass timber compartment fires - Comparison to test methods for regulatory compliance of façades. *Fire and Materials*, 47(4), 433–444. <https://doi.org/10.1002/fam.3129>
- Sjöström, J., Brandon, D., Temple, A., Hallberg, E., & Kahl, F. (2021). *Exposure from mass timber compartment fires to facades* (RISE-report 2021:39). RISE Research Institutes of Sweden. https://www.brandforsk.se/wp-content/uploads/2021/04/Brandforsk_Exposure-mass-timber_Rapport-1.pdf
- Standard Norge. (2002). *NS 3491-2:2002 Prosjektering av konstruksjoner - Dimensjonerende laster - Del 2: Påvirkninger ved brann*. Standard Norge.
- Standard Norge. (2008). *NS-EN 1991-1-2:2002+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-2: Allmenne laster - Laster på konstruksjoner ved brann*. Standard Norge.
- Standard Norge. (2010). *NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering*. Standard Norge.

- Standard Norge. (2012). *NS 3901:2012 Krav til risikovurdering av brann i byggverk* (NS 3901). Standard Norge.
- Standard Norge. (2014). *SN-INSTA/TS 950:2014 Analytisk brannteknisk prosjektering. Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk*. Standard Norge.
- Standard Norge. (2015). *NS-EN 12845:2015+A1:2019 Faste brannslukkesystemer - Automatiske sprinklersystemer - Dimensjonering, installering og vedlikehold*. Standard Norge.
- Standard Norge. (2017). *NS-EN 16755:2017 Bestandighet av materialers egenskaper ved brannpåvirkning - Klassifisering av trebaserte produkter for innvendig og utvendig bruk behandlet med brannhemmende midler*. Standard Norge.
- Standard Norge. (2018a). *NS-EN 13501-1:2018 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning*. Standard Norge.
- Standard Norge. (2018b). *NS-EN 16925:2018+NA:2019 Faste brannslukkesystemer - Automatiske boligsprinklersystemer - Dimensjonering, installering og vedlikehold*. Standard Norge.
- Standard Norge. (2020). *NS-EN 14972-serien Faste brannslukkesystemer - Vanntåkesystemer*. Standard Norge.
- Thomas, G. C., Buchanan, A. H., & Fleischmann, C. M. (1997, mars 3). Structural fire design: The role of time equivalence. *Fire Safety Science - Proceedings of the 5th International Symposium*. Fire Safety Science, Melbourne, Australia.
- Xu, H., Pope, I., Gupta, V., Cadena, J., Carrascal, J., Lange, D., McLaggan, M. S., Mendez, J., Osorio, A., Solarte, A., Soriguer, D., Torero, J. L., Wiesner, F., Zaben, A., & Hidalgo, J. P. (2022). Large-scale compartment fires to develop a self-extinction design framework for mass timber - Part 1: Literature review and methodology. *Fire Safety Journal*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103523>
- Östman, B. (Red.). (2010). *Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Östman, B. (Red.). (2012). *Brandsäkra trähus v.3*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.



Vi jobber for å øke
brannsikkerheten og gjøre
din hverdag tryggere

PARTNERE



FORSKNINGSPARTNERE:

RISE Fire Research
SINTEF
Norges teknisk-
naturvitenskapelige
universitet (NTNU)

BRUKERPARTNERE:

Trøndelag brann - og
redningstjeneste (TBRT)
Trøndelag Fylkeskommune
Direktoratet for
samfunnssikkerhet og
beredskap (DSB)
Direktoratet for byggkvalitet
(DiBK)
Multiconsult Norge AS
Rambøll Norge AS
Asplan Viak AS
Hunton Fiber AS
Rockwool International AS

CBI Norge AS
Kingspan Holdings (IRL)
Limited
Danfoss Fire Safety A/S
EC Dahls Eiendom AS
NIKU Oslo
Gassco
Treindustrien
Stora Enso Wood Products OY
Ltd.



FRiC

www.fric.no