



Mats Fuglesang Sæther

Brannsikkerhet i trefasader - muligheter og utfordringer i høye bygninger

Juni 2020



Kunnskap for en bedre verden

Brannsikkerhet i trefasader - muligheter og utfordringer i høye bygninger

Mats Fuglesang Sæther

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2020

Hovedveileder: Anne Elise Steen-Hansen

Medveileder: Kathinka Leikanger Friquin

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg - og miljøteknikk

Sammendrag

Bruk av tre som bygningsmateriale har fått en økende interesse blant arkitekter og ingeniører på grunn av sine fordelsmessige egenskaper hva gjelder miljø og bærekraft. Funksjonsbaserte forskrifter gir større muligheter for bruk av tre i høyere byggverk, også i fasader. Denne oppgaven tar sikte på å gi svar på hvordan man kommer fram til en brannsikker fasadekonstruksjon med bruk av tre, hva som skal til for at dette er mulig og hvor det eventuelt er behov for mer kunnskap.

Opgaven tar for seg hvordan regelverket i Norge forholder seg til bruk av brennbare materialer og hvilken rolle branntesting har i prosessen for vurdering, evaluering, dokumentering og verifisering av brannsikkerheten til brennbare fasadekonstruksjoner. Videre gjennomgås områder og tiltak for å forbedre brannsikkerheten til trefasader, ved blant annet å se på to eksisterende byggverk med massivtre og utvendig trekledning. Standardisert brannteknisk prøving i liten skala i konkalorimeteret ble gjennomført i laboratorium for å undersøke ulike tresorters bidrag til brannutvikling ved bruk som utvendig kledning.

Branneksposering til fasaden er på generell basis alvorligst og mest kritisk for en fullt utviklet rombrann med flammer stikkende ut av vinduer, men utvendig brannstart kan også være kritisk og må tas hensyn til. Prosjektering og oppgradering av automatisk sprinkleranlegg etter NS-EN 12845 med Tillegg F, som gir høyere pålitelighet og effekt, bør gjøres for

- byggverk som er høyere enn brannvesenets høyderedskaper kan nå, eller
- byggverk som har økt innvendig brannenergi, for eksempel byggverk med eksponert massivtre

fordi konsekvensene ved sprinklersvikt kan bli spesielt store i disse tilfellene.

Brannsikring av luftespalten bak ytterkledningen med brannstopp anses som helt nødvendig. I deler av bygninger som er utenfor rekkevidden til brannvesenets høyderedskaper bør horisontale brannstopp monteres i hver etasje og den preaksepterte ytelsen om kjølesoner bør opprettholdes selv om bygningen er sprinklet. Valg av kledning (brannhemmet eller ubehandlet) kan baseres på testing i storskala i henhold til SP Fire 105 og gir viktig kunnskap om oppførselen til fasadesystemet som en helhet. Underklasser av EXT-klassifiseringen for brannhemmet tre bør innføres for å tydeliggjøre forskjellen på produkter som må overflatebehandles for å innfri bestandighetskravet.

Euroklassene vil ikke alltid være representative for hvordan brennbare produkter i en fasadekonstruksjon oppfører seg ved brannpåvirkning. Testing i fullskala gir den sikreste verifiseringen av brannsikkerheten til brennbare fasadekonstruksjoner, men kan være ressurskrevende og kostbart. En ny harmonisert fullskala testmetode for Europa med et nytt klassifiseringssystem skal ferdigstilles i 2022. Hovedfokuset bør fram til da ligge på å beskrive ulike tiltak som begrenser brannspredningen i trefasader fremfor å gjøre endringer i gjeldende regelverk.

Det er mulig å bygge høyt med trefasader samtidig som brannsikkerheten er ivaretatt. Det fordrer imidlertid at riktige og tilstrekkelige tiltak gjennomføres for å forhindre og redusere risikoen for brannspredning til og i fasaden.

Abstract

The use of wood as a building material has gained an increasing interest among architects and engineers due to its advantageous properties in terms of the environment and sustainability. Performance-based regulations provide greater opportunities for the use of wood in higher buildings, including façades. This thesis aims to provide answers in how to arrive at a fireproof façade construction with the use of wood, what it takes to make this possible and where there is a need for more knowledge.

This thesis addresses how the regulations in Norway relate to the use of combustible materials and what role fire testing has in the process of assessing, evaluating, documenting and verifying the fire safety of combustible façade structures. Areas and measures to improve the fire safety of wooden façades are also reviewed, including by looking at two existing buildings with cross laminated timber (CLT) and exterior wooden cladding. Standardized small scale fire testing in the cone calorimeter was conducted in the laboratory to examine the contribution of different types of wood to fire development when used as exterior cladding.

Fire exposure to the façade is generally most severe and critical for a fully developed room fire with flames out of windows, but external fires next to the façade can also be critical and must be considered. Designing and upgrading the automatic sprinkler system according to EN 12845 with Appendix F, which provides higher reliability and effect, should be done for

- buildings that are beyond the reach of the fire brigade's tools, or
- buildings that have increased internal fire load, such as building with exposed CLT

because the consequences of sprinkler failure can be particularly severe in these cases.

Fire protection of the air cavity behind the external cladding with fire stops is considered necessary. In parts of buildings that are beyond the reach of the fire brigade's tools, horizontal fire stops should be installed on each floor and the pre-accepted solution regarding separation distance between openings should be maintained even if the building has a sprinkler system. The choice of cladding (fire-retardant or untreated) can be based on full-scale testing according to SP Fire 105 and provides important knowledge about the behaviour of the façade system as a whole. Subclasses of the EXT-classification for fire-retardant wood should be introduced to clarify the difference between products that must have a surface treatment to meet the requirement of durability.

The Euroclasses will not always be representative of how combustible products in a façade construction behave in the event of fire. Full-scale testing provides the safest verification of the fire safety of combustible façade constructions, but can be resource-demanding and expensive. A new harmonized full-scale test method for Europe with a new classification system will be completed in 2022. The main focus until then should be on describing different measures limiting the spread of fire in wooden façades rather than making changes to the current regulations.

It is possible to build tall with wooden façades while maintaining the fire safety. However, it requires proper and adequate measures to be taken to prevent and reduce the risk of fire spreading to and in the façade.

Forord

Denne oppgaven omfatter 30 studiepoeng i emnet *TBA4905 Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave*. Masteroppgaven utgjør det avsluttende semesteret på det 5-årige sivilingeniørstudiet Bygg- og miljøteknikk, studieretning Bygg og anlegg, hovedprofil Bygnings- og materialteknikk ved NTNU i Trondheim.

Jeg ønsker å takke min veileder Anne Steen-Hansen ved NTNU og medveileder Kathinka Leikanger Friquin ved SINTEF for gode innspill og tilgjengelighet underveis. Det har vært en spesiell tid å skrive oppgave i, med alt som har foregått i Norge og verden ellers. Selv om det i store deler av semesteret ikke har vært mulig å møtes fysisk for diskusjoner og innspill har møter over digitale plattformer vært med på å normalisere hverdagen som masterstudent.

Jeg vil rette en takk til Norges forskningsråd og partnere i Fire Research and Innovation Centre (www.fric.no) for økonomisk støtte til dette arbeidet. En stor takk rettes også til Pasi Aalto i NTNU Wood som har vist interesse for oppgaven og som ved økonomisk støtte har gjort det mulig å utføre brannteknisk prøving i laboratorium.

Trondheim

10. juni 2020

Mats Fuglesang Sæther

Innhold

Figurer	ix
Tabeller	ix
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling og mål	1
1.3 Metode	2
1.4 Omfang og avgrensninger	3
1.4.1 Spesielle forhold	4
2 Teoretisk grunnlag	5
2.1 Grunnleggende brannteori	5
2.1.1 Varmeroverføring	5
2.1.2 Varmeravgivelseshastighet (HRR)	7
2.1.3 Rombrann	8
2.1.4 Flammespredning	9
2.2 Brannteknisk klassifisering	10
2.3 Tre	12
2.3.1 Treets oppbygning	12
2.3.2 Treets oppførsel ved brannpåvirkning	12
2.3.3 Antennelse av tre	14
2.3.4 Forkullingshastighet	15
2.4 Brannhemmet tre	15
2.5 Byggeskikk	16
2.5.1 Kledninger av ulike tresorter	18
3 Brannscenarier og spredningsveier	19
3.1 Fasadebranner i høyhus i perioden 2010-2020	21
3.2 Observasjoner fra fasadebrannene	35
4 Regelverk	39
4.1 Brannprosjektering i henhold til TEK17	40
4.2 Krav vedrørende trefasader i TEK17	43
4.2.1 TEK17 § 11-6 Tiltak mot brannspredning mellom byggverk	43
4.2.2 TEK17 § 11-8 Brannceller	44
4.2.3 TEK17 § 11-9 Materialers og produkters egenskaper ved brann	45
5 Case	47
5.1 Mjøstårnet, Brumunddal	47
5.2 Moholt 50/50, Trondheim	49

6	Tiltak mot brannspredning i trefasader.....	53
6.1	Automatisk sløkkeanlegg	53
6.1.1	Automatisk sprinkleranlegg	53
6.2	Brannsikring av luftespalte	55
6.3	Kjølesoner.....	58
6.4	Utvendige horisontale brannstopp	60
6.5	Bruk av brannhemmet tre i fasader	62
6.5.1	Utfordringer	62
6.5.2	Dokumentasjon og standarder	62
6.5.3	Forskning.....	65
7	Branntesting	67
7.1	Branntesting i liten skala	68
7.1.1	Konkalorimeter	68
7.2	Klassifisering av bygningsprodukter i euroklasser	69
7.2.1	Single Burning Item test (NS-EN 13823)	70
7.2.2	Euroklasser for klassifisering av produkter til bruk i fasader	71
7.3	Branntesting i stor skala	72
7.3.1	SP Fire 105	73
7.3.2	Ny europeisk branntest for fasader.....	73
8	Branntesting i oppgaven	77
8.1	Hensikt.....	77
8.2	Begrensninger	77
8.3	Materialer til testing.....	78
8.4	Forsøksgjennomføring i konkalorimeter	78
8.5	Resultater fra testing i konkalorimeter.....	81
8.5.1	Antennelsestid (t_{ig})	81
8.5.2	Varmeavgivelseshastighet (HRR)	81
8.6	Vurdering av resultater.....	82
8.6.1	Antennelsestid (t_{ig})	82
8.6.2	Varmeavgivelseshastighet (HRR)	83
8.6.3	Estimering av euroklasser.....	85
9	Diskusjon	87
9.1	Regelverk	87
9.2	Tiltak mot brannspredning i trefasader	88
9.3	Problematikk rundt bestandighet, fukt og råte	89
9.4	Branntesting.....	90
9.5	Konklusjon	91

9.6 Forslag til videre arbeid	92
Referanser	93

Figurer

Figur 1: Oppbygning av yttervegg (SINTEF Byggforsk, 2008)	3
Figur 2: Branntrekanten (Teknisk industrivern AS, 2019b).....	6
Figur 3: De ulike fasene i en brann (Drysdale, 2011)	8
Figur 4: Temperatursoner i et tverrsnitt av tre eksponert for brann (Friquin, 2010).....	13
Figur 5: Brannscenarier for spredning til fasade	20
Figur 6: Brann i Wooshin Golden Suites (최광모, 2010).....	22
Figur 7: Brann i Sonacotra Building (Ukjent, 2010).....	23
Figur 8: Brann i Mermoz Tower (Ukjent, 2012)	25
Figur 9: Brann i Luoyang (Ukjent, 2019)	34
Figur 10: Utforming som kan gi lengre flammer og økt risiko for vertikal spredning.....	37
Figur 11: Hierarki av regelverket i Norge	40
Figur 12: Brannklasser (BKL) for byggverk – VTEK § 11-3 Tabell 1.....	43
Figur 13: Mjøstårnet (<i>Mjøstårnet</i> , 2019).....	48
Figur 14: Moholt 50/50 (Myhre, 2018)	50
Figur 15: Brannforløp med aktivering av sprinkleranlegg (basert på Drysdale, 2011)....	54
Figur 16: Plassering av horisontale brannstopp (SINTEF Byggforsk, 2010).....	57
Figur 17: Krav til horisontale brannstopp i sveitsisk veileder	61
Figur 18: Brannspredning oppover fasaden i prøvestykker av ubehandlet og brannimpregnert trevirke etter fasadetest.....	66
Figur 19: Oppbygning av konkalorimeterapparat (Stensaas, 1996).....	69
Figur 20: Konkalorimeter under test	80
Figur 21: Prøvestykker før og etter testing i konkalorimeter (fra venstre: hegg, lønn, rogn, ubehandlet gran og bjørk)	80
Figur 22: Kurver for varmeavgivelseshastigheten ved 50 kW/m ² i hele testens varighet	82
Figur 23: Sammenheng mellom densitet og antennelsestid	83
Figur 24: Kurver for varmeavgivelseshastigheten ved 50 kW/m ² frem til 300 s.....	84
Figur 25: Varmeavgivelseshastighet for ubehandlet og brannimpregnert gran ved 50 kW/m ²	85

Tabeller

Tabell 1: Faktorer som påvirker flammespredningshastigheten over faste brennbare stoffer	10
Tabell 2: Euroklassene	11
Tabell 3: Oversikt over fasadebranner i høyhus i perioden 2010-2020	21
Tabell 4: Forslag til klassifiseringssystem i den nye fasadetesten	74
Tabell 5: Antennelsestiden for de ulike tresortene	81

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Tre som bygningsmateriale har historisk sett hatt en viktig rolle i norsk byggeskikk. I et samfunn der klimapåvirkning og bærekraft stadig blir viktigere blir bygningsprodukter av tre verdsatt høyere og høyere på grunn av sine fordelmessige egenskaper når det gjelder fornybarhet og evne til å binde opp CO₂. Befolkningsvekst i verden, spesielt i byer, sammen med ønsker om en bærekraftig byutvikling har ført til at det bygges flere høyere byggverk. Tidligere har tre ofte vært forbeholdt småhus, men det blir stadig mer utbredt å bruke tre også i høyere byggverk, mye på grunn av innføringen av funksjonsbaserte forskrifter og ønsket om bærekraftige bygninger med små karbonfotavtrykk. I de senere årene har bruk av tre fått en økende interesse blant arkitekter og ingeniører, både som bærende konstruksjoner og som utvendig kledning i fasader. Fasaden til et byggverk er ofte det første en ser, og kledningen vil i veldig mange tilfeller være den detaljen som påvirker byggverkets utseende i størst grad. I et samfunn med økt fokus på bærekraft og klima vil en kledning av tre gjøre at bygningen fremstår som nettopp bærekraftig og klimavennlig. Flere høyhus er bygget de senere årene med bærende konstruksjoner av massivtre og kledning av tre, med dokumentasjon om at de skal stå gjennom et fullstendig brannforløp.

Bruk av brennbare fasadematerialer som tre medfører en økt risiko for brannspredning fra etasje til etasje via fasaden. Flere brannhendelser internasjonalt de senere årene har forekommet i høye byggverk som har hatt brennbare materialer i fasadekonstruksjonen. Mange av disse har ført til store materielle ødeleggelser og dessverre også tap av menneskeliv der utvendig brannspredning i fasaden i forskjellig grad var en medvirkende faktor. Dette har ført til diskusjoner vedrørende om brannsikkerheten er god nok og har også ført til endringer og forslag til endringer i regelverk rundt omkring i verden for bruk av brennbare materialer i fasadekonstruksjoner i høyere byggverk.

1.2 Problemstilling og mål

Det er en stadig voksende trend og interesse for å bygge høye hus. Bruk av brennbare materialer som tre kan imidlertid øke risikoen og konsekvensene en brann kan få for tap av liv og helse og for materielle verdier og miljø- og samfunnsmessige forhold. Når det bygges høyere øker også konsekvensene. Dagens funksjonsbaserte forskrift tillater bruk av brennbare materialer i ulik grad. I høye byggverk kan brennbare materialer benyttes hvis det dokumenteres ved analyse at brannsikkerheten er minst likeverdig de preaksepterte ytelsene gitt i veiledningen til forskriften. Denne oppgaven vil undersøke

hvordan man kommer fram til en brannsikker fasadekonstruksjon med tre, hva som skal til for at dette er mulig og hvor det eventuelt er behov for mer kunnskap.

For å komme fram til det er det mange områder som må undersøkes. Regelverket i Norge vil bli gjennomgått for å få et overblikk og en forståelse over hvilke relevante krav og ytelser som er nødvendige og om det legger godt nok til rette for bruk av tre. Det er regelverket som på mange måter definerer hvordan en brannsikker fasade i tre skal være. Er det godt nok rustet til å evaluere om brannsikkerheten i fasader med tre er god nok?

Brannhemmet tre kan tilfredsstillende det strengeste kravet som stilles i regelverket i Norge for utvendig kledning, men det er ukjent om det klarer å opprettholde de forbedrede branntekniske egenskapene over tid ved eksponering for norske klimatiske forhold. Har utvendig brannhemmet kledning som er naturlig aldret fremdeles gode nok branntekniske egenskaper etter noen års eksponering for vær og vind?

To eksisterende byggverk med bærende konstruksjoner av massivtre og utvendig trekledning vil bli undersøkt for å se på hvordan slike byggverk kan oppføres og hvilke tiltak som er ansett som gode nok til å sikre en trefasade som opprettholder nødvendig brannsikkerhetsnivå.

Branntesting er et viktig og nødvendig verktøy for å beskrive oppførselen og egenskapene til produkter og konstruksjoner ved brannpåvirkning. Oppgaven fokuserer derfor også på hvilken rolle branntesting har i prosessen som omhandler vurdering, evaluering, dokumentering og verifisering av brannsikkerheten til brennbare fasadekonstruksjoner.

1.3 Metode

Denne oppgaven er et resultat av kartlegging, gjennomgang og vurdering av litteratur, regelverk og standarder som er relevante for brannsikkerheten til fasader av brennbare materialer. Standardisert brannteknisk prøving i liten skala i konkalorimeteret ble også gjennomført i laboratorium.

I teoridelen av oppgaven ble det lagt vekt på å danne et godt grunnlag som resten av oppgaven kunne bygge videre på. Den grunnleggende brannteorien og treets oppførsel ved brannpåvirkning er i all hovedsak hentet fra anerkjent litteratur og publiserte vitenskapelige artikler og rapporter. Litteratursøk i databaser som Research Gate, Springer Link og Google førte til mange interessante artikler og rapporter, både for teoridelen og resten av oppgaven. Veiledere har bistått med mange gode kilder og mye relevant litteratur som omfatter vitenskapelige artikler, rapporter, artikler fra internasjonale brannkonferanser og annen faglig litteratur.

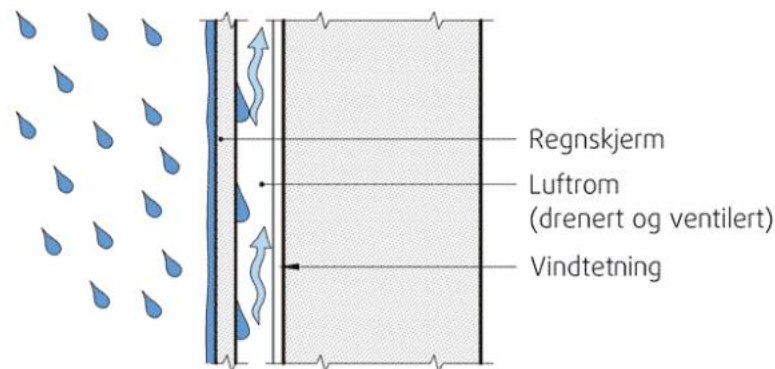
En gjennomgang av regelverket i Norge er gjort for å belyse og trekke ut de kravene og ytelsene som er relevante for oppgaven. Selve prosjekteringsprosessen er også beskrevet for å vise hvordan det går fram for å dokumentere brannsikre løsninger.

Nasjonale og internasjonale standarder har vært en viktig del av oppgaven. Det er henvist til en rekke ulike standarder for dokumentasjon, prosedyrer og testmetoder i

regelverk, for branntesting og for brannhemmende behandling av tre. Gjennomgang av relevante standarder har derfor vært en nødvendig basis for mange vurderinger gjort i oppgaven.

1.4 Omfang og avgrensninger

En ytterveggkonstruksjon med kledning av tre er i de aller fleste tilfeller avhengig av en luftspalte bak kledningen for å gi konstruksjonen gode nok egenskaper mot fukt og råte. Luftet kledning og totrinnstetning er en innarbeidet praksis i trehusbygging i Norge og har blitt anbefalt av SINTEF Byggforsk i over 50 år (Skogstad, 2012). Fasader med kledning av tre er i denne oppgaven derfor avgrenset til utvendig lufttet kledning med oppbygning som vist i Figur 1.



Figur 1: Oppbygning av yttervegg (SINTEF Byggforsk, 2008)

I denne oppgaven brukes «brannhemmet tre» om tre som har blitt behandlet for å oppnå forbedrede branntekniske egenskaper. «ubehandlet tre» brukes i hovedsak om tre som ikke har blitt behandlet for å oppnå forbedrede branntekniske egenskaper, men kan være behandlet for å oppnå forbedrede egenskaper mot fukt og råte.

Innhenting av informasjon om tidligere internasjonale fasadebranner de siste ti årene baserer seg i all hovedsak på søk i søkemotoren Google. I mange av brannhendelsene var det vanskelig å finne tekniske rapporter. En stor andel av informasjonen som er tatt med er derfor basert på nyhetsartikler med blant annet intervjuer, observasjoner og uttalelser. I noen tilfeller var informasjon om brannhendelsene kun tilgjengelig på andre språk enn engelsk. I disse tilfellene ble oversettelser i Google Translate tolket og benyttet. Det er forsøkt så godt det lar seg gjøre å være kildekritisk, men det kan ikke garanteres at all innhentet informasjon er korrekt. Hensikten med søket var å danne et oversiktsbilde og peke på faktorer og områder som gikk igjen, heller enn å vektlegge det branntekniske. Vitenskapelig bruk av denne informasjonen bør dermed begrenses.

1.4.1 Spesielle forhold

Samtidig som denne oppgaven har blitt utarbeidet har det skjedd mye i samfunnet i Norge og i verden. Den raske, verdensomspennende spredningen av sykdommen Covid-19 førte til koronaviruspandemien fra mars 2020. Nasjonale tiltak ble innført av norske myndigheter for å håndtere koronasituasjonen og den 12. mars kom den sentrale beredskapsledelsen på NTNU med vedtak som blant annet omfattet at studenter ikke fikk lov til å oppholde seg på campus, samt at all undervisning og veiledning skulle foregå via digitale verktøy. Disse vedtakene ble opprettholdt frem til oppgavens innleveringsfrist. Hjemmekontor ble den nye hverdagen for en veldig stor andel av Norges befolkning, noe som også har hatt påvirkning på denne oppgaven. Hjemmekontor og midlertidig stenging av flere institusjoner vanskeliggjorde det å skaffe materialer til brannteknisk prøving. Grunnet omstendighetene kunne ikke brannteknisk prøving gjennomføres før i slutten av mai, noe som påvirket gjennomføringen og vurdering av resultater til en viss grad. Selv om arbeidet under disse omstendighetene til tider har vært frustrerende bør det nevnes at hverdagen til undertegnede har blitt minimalt påvirket sammenlignet med hverdagen til andre deler av Norges befolkning.

2 Teoretisk grunnlag

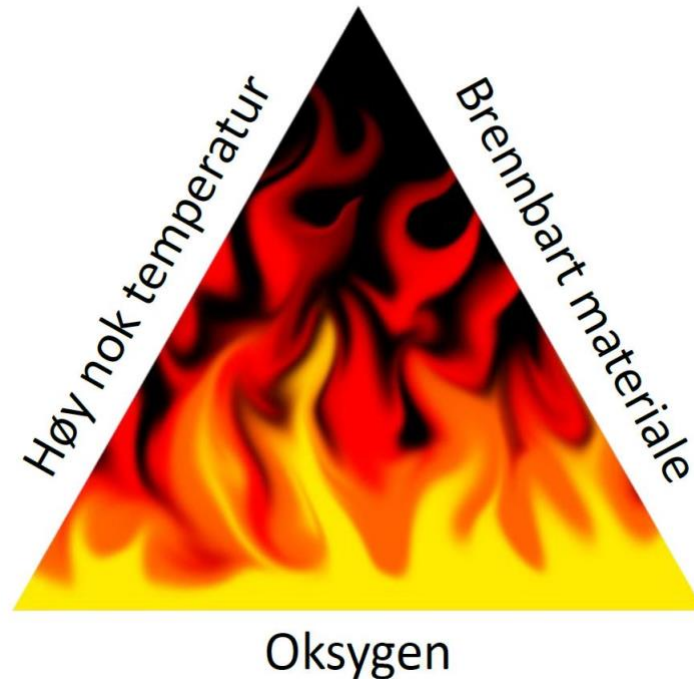
Teorikapittelet er ment å danne et grunnlag for å bedre kunne forstå de senere delene av oppgaven. Grunnleggende teori om brann, treets oppbygning og egenskaper som bygningsmateriale og ved brannpåvirkning vil gjøres rede for.

2.1 Grunnleggende brannteori

Kunnskaper om fysiske fenomener som fluiddynamikk og masse- og varmeoverføring er nødvendig for å kunne forstå hvordan en brann kan oppstå, utvikle og spre seg. Grunnleggende teori, viktige begreper og definisjoner vil i det følgende presenteres og defineres på en kortfattet måte.

2.1.1 Varmeoverføring

En brann defineres som en uønsket eller ukontrollert forbrenningsprosess som kjennetegnes av varmeavgivelse ledsaget av røyk, flamme eller gløding (Kollegiet for brannfaglig terminologi, 2019). For at en brann skal kunne oppstå og utvikle seg må tre faktorer være tilstede. Disse tre faktorene er vist i branntrekanten i Figur 2. Temperaturen må være høy nok til at materialet kan brenne, tilgangen på oksygen må være tilstrekkelig og materialet må være brennbar. Et brennbar materiale er et stoff som, når det forbinder seg til oksygenet i omgivelsesluft, utvikler et større varmeoverskudd enn det som kreves til den kjemiske reaksjonen (Teknisk industriverk AS, 2019a).



Figur 2: Branntrekanten (Teknisk industrivern AS, 2019b)

Det er basisprinsippet vist i Figur 2 som blir brukt i arbeidet med å forhindre eller slokke branner. Fjerner man en av sidene i branntrekanten så vil brannen begrenses eller slukkes helt.

En brann kan oppstå eller spres ved tre grunnleggende mekanismer for varmeoverføring:

- Konduksjon
- Konveksjon
- Varmestråling

Alle de tre mekanismene opptrer og bidrar som regel samtidig i en brann, men det er ofte slik at en av mekanismene dominerer eller er spesielt fremtredende på et gitt stadium, eller på et gitt sted i utviklingen til en brann. Forklaring av de tre mekanismene er gitt nedenfor, basert på Drysdale (2011).

Konduksjon

Konduksjon beskriver varmeoverføringen mellom eller gjennom faste stoffer. Varmen blir overført fra molekyl til molekyl i det faste stoffet, fra områder med høyere temperatur til områder med lavere temperatur. Høyere molekyltetthet i et stoff fører dermed til større varmeledningsevne. Konduksjon bestemmer hastigheten på varmestrømmen i og gjennom faste stoffer. I problemer knyttet til antennelse og spredning av flammer over brennbare faste stoffer er dette viktig, samt for brannmotstand, der det er nødvendig med kunnskap om varmeoverføring i og gjennom elementer.

Konveksjon

Konveksjon er varmeoverføring til eller fra et fast stoff som involverer bevegelse av et omgivende fluid. I motsetning til varmeoverføring ved konduksjon, der ulike materialer har ulike konstanter, må konvektiv varmeoverføring ta hensyn til systemets egenskaper, geometri og orientering av det faste stoffet samt egenskapene til fluidet, inkludert strømningsparameterne. I en brann vil den oppvarmede luften stige og overføre varme til for eksempel vegger og tak. Sett fra den andre siden kan også kalde luftstrømmer virke avkjølede på varme overflater og varmen vil overføres fra det faste stoffet til den omgivende luftstrømmen. Konveksjon opptrer i alle faser av en brann, men er spesielt viktig i den tidlige fasen når den termiske strålingen er lav.

Varmestråling

Varmeoverføring ved stråling skiller seg fra de ovennevnte ved at den ikke krever noe mellomliggende medium mellom varmekilden og mottakeren. Overføringen av varme skjer ved utsending av elektromagnetiske bølger. Stråling i alle deler av det elektromagnetiske spekteret kan tas opp, overføres eller reflekteres på en overflate. Ved temperaturer over ca. 400°C er varmeoverføring ved stråling dominerende.

2.1.2 Varmeavgivelseshastighet (HRR)

Varmeavgivelseshastigheten (engelsk: heat release rate – HRR) defineres av Kollegiet for brannfaglig terminologi (2019) som varmemengden som avgis per tidsenhet ved forbrenning av et materiale under angitte prøvebetingelser. Varmeavgivelseshastigheten blir av Babrauskas og Peacock (1992) pekt på som den viktigste variabelen i karakteriseringen av brennbarheten til produkter og deres brannfare. Forbrenningsvarmen er viktig, men hastigheten som denne energien blir frigjort med er enda viktigere. Forbrenningsvarmen (engelsk: heat of combustion) - ΔH_c , er forøvrig total mengde varme som blir avgitt når en enhet av et brensel (ved 25 °C og atmosfærisk trykk) blir fullstendig oksidert (Drysdale, 2011).

En rekke ulike metoder for måling av varmeavgivelseshastigheten til ulike materialer har blitt utviklet. Et apparat brukt til måling av varmeavgivelseshastigheten kalles et *kalorimeter* og selve målingen av varmeavgivelseshastigheten kalles *kalorimetri* (Janssens, 2016). De vanligste og mest brukte metodene for bestemmelse av varmeavgivelseshastigheten i brannforsøk og -tester på baserer seg på måling av oksygenforbruket ved å analysere røyken fra brannen.

Thornton (1917) viste at for et stort antall organiske væsker og gasser så frigjøres en nesten konstant netto mengde varme per enhet oksygen forbrukt for fullstendig forbrenning. Huggett (1980) fant ut at dette i all hovedsak også gjelder for organiske faste stoffer. Generaliseringen er at forbrenningsvarmen per enhet oksygen er tilnærmet lik for de fleste typer brensel som inngår i branner. Ved å måle strømmen av luft gjennom systemet og konsentrasjonen av oksygen i eksosstrømmen kan varmeavgivelseshastigheten estimeres med god nøyaktighet. Huggett kom fram til at den gjennomsnittlige varmeavgivelsen fra en brann med konvensjonelle organiske brensel er 13,1 MJ per kilogram oksygen brukt, med en nøyaktighet på $\pm 5\%$ eller bedre.

Ufullstendig forbrenning og variasjon i brensel utgjør kun en liten forskjell i resultat. Ved behov for større nøyaktighet kan passende korreksjoner for ufullstendig forbrenning og type brensel utføres.

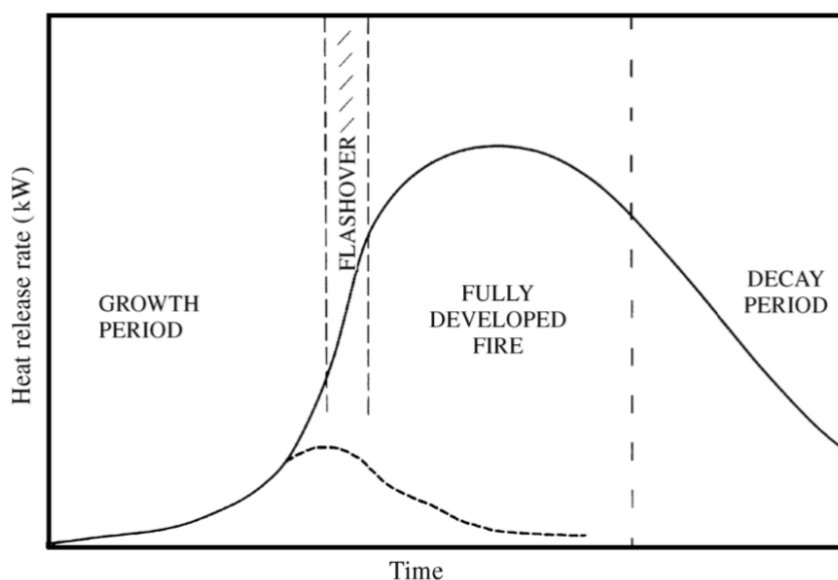
2.1.3 Rombrann

Flammer ut av åpninger er en av de vanligste årsakene til utvendig brannspredning via fasader (Direktoratet for byggkvalitet, 2017; Östman og Mikkola, 2018). I det følgende vil derfor fenomenet rombrann beskrives kort.

Kollegiet for brannfaglig terminologi (2019) definerer en rombrann som en fullt utviklet brann i et rom, og Drysdale (2011) bruker begrepet for å beskrive en brann som er begrenset eller innesperret i et rom. En rombrann deles gjerne inn i fire faser:

- Antennelse
- Vekstfase
- Fullt utviklet brann
- Avkjølingsfase

Overgangen mellom vekstfasen og fullt utviklet brann kalles overtenning. Fasene er vist i Figur 3. Overtenning og fullt utviklet brann er de kritiske fasene når det gjelder fare for spredning til fasaden.



Figur 3: De ulike fasene i en brann (Drysdale, 2011)

Vekstfase

Etter antennelse, mens brannen fortsatt er liten, vil den brenne fritt og påvirkes bare av forbrenningen av selve brenselet og ikke av tilstedeværelsen av grensesjiktene i rommet.

Den er altså avhengig av tilgjengelig brensel for å utvikle seg. Den stiplede linjen i Figur 3 viser utviklingen hvis tilgangen på brensel i vekstfasen er for liten, eller hvis det er veldig dårlig ventilerte forhold.

Overtenning

Overtenning er et vendepunkt der brannen går fra å være brenselskontrollert til å være ventilasjonskontrollert. Der en brenselskontrollert brann er avhengig av tilgjengelig brensel for å være bærekraftig, vil en ventilasjonskontrollert brann være mer avhengig av tilgang på oksygen enn brennbare materialer. ISO 13943 (International Organization for Standardization, 2017) definerer overtenning som «overgangen til en tilstand der alle overflater på brennbare materialer i et rom deltar i en brann». Andre viktige aspekter for å karakterisere overtenning er at flammer stikker ut av åpninger i rommet (kvalitativt) og at røyksjiktets temperatur overstiger 600 °C (kvantitativt) (Drysdale, 2011).

Fullt utviklet brann

En fullt utviklet brann er tilstanden etter at overtenning har inntruffet der alle brennbare materialer bidrar i brannen. Det er lufttilgangen i rommet som bestemmer utviklingen, uavhengig av hvor mye brennbare materialer som finnes (så lenge det er nok brensel til at brannen holdes ventilasjonskontrollert). I veldig store brannceller så er det heller ikke uvanlig at en fullt utviklet brann kan være brenselskontrollert, da tilgangen til luft er stor.

Hvis tilgangen på luft er mindre enn tilgangen på brensel vil det bli et overskudd av uforbrente gasser i rommet. Temperaturene i et rom under en fullt utviklet brann er høye, typisk 900-1100 °C (Drysdale, 2011). Dette er over antennestemperaturene til de uforbrente gassene, som vil selvantennes så snart de kommer i kontakt med oksygen. I ventilasjonsåpninger som for eksempel et knust vindu vil de varme, uforbrente gassene strømme ut og antennes. Flammene kan utgjøre en risiko for spredning oppover langs fasaden, til et annet vindu, eller til nærliggende bygninger.

Etterhvert som brenselet blir brukt opp og temperaturen og varmeavgivelseshastigheten avtar går brannen over i avkjølingsfasen.

2.1.4 Flammespredning

For at flammespredning skal være mulig må flammefronten på materialet varme opp det uforbrente materialet foran til et kritisk nivå slik at flammefronten kan propagere videre langs overflaten. Flammespredningen kan betraktes som en avanserende antennelsesfront der flammefronten opptrer både som varmekilde og som kilde for pilotantennelse. Flammefronten representerer et formelt skille, referert til som området mellom det forbrente og det uforbrente materialet (Drysdale, 2011). Det er det økende arealet av brannen som følge av flammespredning som har den største virkningen på flammestørrelse og brennhastighet (Drysdale, 2011). Dermed må karakteristikene til flammespredning over brennbare materialer sees på som en grunnleggende komponent i et brannforløp, spesielt ved branneksplosjon i fasader.

Hastigheten til flammespredning over faste brennbare materialer kan ha mye å si for utviklingen i et brannforløp. Både fysiske materialeegenskaper, kjemisk oppbygning og omgivelser er faktorer som har vist seg å være signifikante når det gjelder å bestemme flammespredningshastigheten over faste brennbare materialer. Disse er listet i Tabell 1, oversatt fra Drysdale (2011).

Tabell 1: Faktorer som påvirker flammespredningshastigheten over faste brennbare stoffer

Materialfaktorer		Omgivelsesfaktorer
Kjemiske	Fysiske	
Sammensetning av brensel Tilstedeværelse av flammehemmere	Starttemperatur Overflateorientering Propagasjonsretning Tykkelse Varmekapasitet Termisk konduktivitet Densitet Geometri Kontinuitet	Sammensetning av atmosfæren Atmosfæretrykket Temperatur Påført varmestrålingsfluks Vind

Materialets overflateorientering har mye å si for spredningshastigheten. Flammespredning langs en horisontalt orientert overflate er mye langsommere enn langs en vertikalt orientert overflate, som for eksempel en fasade. Dette skyldes at luftstrøm og oppdriftskrefter virker sammen for å skyve flammefronten oppover langs overflaten. Flammene vil ligge tettere mot overflaten i en vertikalt orientert overflate og på den måten sørge for raskere oppvarming av materialet i forkant av flammefronten.

2.2 Brannteknisk klassifisering

Brannteknisk klassifisering av materialer, produkter og bygningsdeler er standardisert i form av felles prøvingsmetoder og klassifiseringsmetoder for Europa. Dette skal sørge for en enhetlig europeisk måte å dokumentere produkters branntekniske egenskaper på. De to kategoriene for branntekniske egenskaper som er vesentlige i prosjektering er *byggningsdelers brannmotstand* og *materialers og produkters egenskaper ved brannpåvirkning*. Klassifiseringene benyttes i veiledningen til TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) til å angi forskjellige ytelser.

Begrepet brannmotstand gir uttrykk for hvor lang tid en bygningsdel kan opprettholde sine vesentlige ytelser som bæreevne, integritet (tetthet) og isolasjonsevne. NS-EN 13501-2 (Standard Norge, 2016) legges til grunn for klassifiseringen av brannmotstanden til konstruksjonsprodukter og bygningselementer.

For å beskrive hvilken påvirkning og innflytelse et produkt har på brannforløpet må man vite hvor raskt og i hvilken grad produktet bidrar i en brann og hvilken røykproduksjon

de gir. Klassene for bygningsprodukters egenskaper ved brannpåvirkning blir populært kalt for *euroklasser*. Disse klassene, gitt i NS-EN 13501-1 (Standard Norge, 2019b), brukes for å klassifisere overflater og materialer basert på bidrag til brannutvikling. Hovedklassene er gitt i Tabell 2. For å klassifisere ulike materialer og produkter i euroklassene brukes en indeks som kalles *FIGRA* (= FIRE Growth RATE). FIGRA-indeksen er hastigheten som varme avgis med fra et produkt når det forbrennes ved testing under kontrollerte forhold. Den beregnes som maksimalverdien av varmeavgivelseshastigheten delt på den forløpte tiden til maksimalverdien. FIGRA er altså et midlet stigningstall med benevnning kW/s. En lavere FIGRA-verdi betyr mindre bidrag til brannen.

Tabell 2: Euroklassene

Klassifisering	Beskrivelse
A1	Intet bidrag til brannutvikling
A2	Intet bidrag til brannutvikling
B	Svært begrenset bidrag til brannutvikling
C	Begrenset bidrag til brannutvikling
D	Akseptabelt bidrag til brannutvikling
E	Akseptabel oppførsel ved branneksplosjon
F	Oppnår ingen av de øvrige klassifiseringene

I tillegg til hovedklassene beskriver underklassene s1, s2 og s3 samt d0, d1 og d2 henholdsvis røykproduksjon og brennende dråper. Klasse s1 betyr at produktet gir liten røykproduksjon og klasse d0 betyr at det ikke oppstår flammende dråper eller partikler. For klassene s3 og d2 er det ingen begrensninger på røykproduksjon eller brennende dråper.

Ved prøving i henhold til gjeldende standarder måles varmeavgivelse, røykproduksjon, flammespredning og brennende dråper eller deler. Overflater må ses i sammenheng med underlaget som overflaten er på og må prøves deretter. Klassifiseringen gjelder dermed det endelige produktet, det vil si overflate på aktuelt underlag.

Hovedklassene kombineres med underklassene og gir en fullstendig klassifisering av et produkts bidrag og innflytelse på brannforløpet. Eksempelvis vil en typisk klassifisering av ubehandlet trevirke være D-s2,d0, det vil si akseptabelt bidrag til brannutvikling, noe røykproduksjon og ingen flammende dråper eller partikler. Brannimpregnert tre kan oppnå klassifiseringen B-s1,d0, som vil si at det har svært begrenset bidrag til brannutvikling, liten røykproduksjon og ingen flammende dråper eller partikler.

2.3 Tre

2.3.1 Treets oppbygning

Rowell (1984) har gitt en grundig beskrivelse av treets kjemi, struktur og oppbygning. Påfølgende beskrivelser av tre er i all hovedsak hentet fra denne litteraturen.

Tre er et naturlig og cellulært komposittmateriale av botanisk opprinnelse. Dets fornybarhet, bærekraftighet og formbarhet har gjort og gjør det til et ettertraktet bygningsmateriale med mange bruksområder. Tre består av langstrakte celler som i hovedsak er orientert i lengderetning. Disse har som hensikt å gi treet sin mekaniske styrke, sørge for væsketransport og lagre energi. Alle tresorter består av hovedkomponentene cellulose, hemicellulose og lignin, som til sammen utgjør cellene i treet. Cellulose utgjør celleveggene og gir strekkfastheten til treet, hemicellulose vokser rundt cellulosefibrene, mens lignin fungerer som et slags lim og gir treet trykkfasthet og skjærstyrke.

Det er stor variasjon i oppbygning og struktur hos tresorter og man deler gjerne tresortene inn i to kategorier: løvtrær (engelsk: hardwoods) og bartrær (engelsk: softwoods). Dette kan imidlertid ikke brukes generisk til å karakterisere de fysiske egenskapene. Noen løvtrær er relativt myke, og andre bartrær er relativt harde. Gran og furu går under kategorien bartrær og er de tresortene som benyttes mest som bygningsmaterialer i Norge.

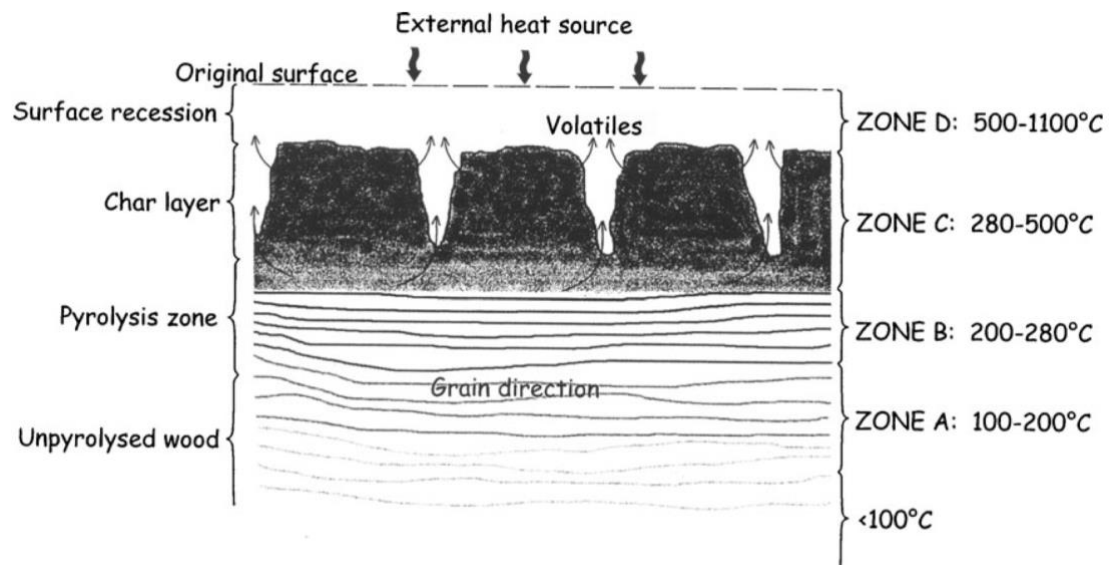
Felles for både løvtrær og bartrær er at stammen deles inn i to soner: kjerneved og yteved. Kjerneveden er det innerste og mørkere laget i stammen og består av døde celler. Disse cellene tjener ikke lenger noe formål annet enn å støtte og stive av treet. Dannelse av kjerneved begynner så snart de ytterste årringene er brede nok til å frakte næringsstoffer. Utenfor kjerneveden er den lysere yteveden, som frakter vann, mineraler og næring mellom røttene og bladene. Mange tresorter av løvtrær har større soner av kjerneved, noe som påvirker holdbarhetsegenskapene positivt. Kjerneveden er tørrere, tyngre, hardere og mer varig enn yteveden. På grunn av raskere vekst og tilgjengelighet er bygningsprodukter av bartresortene gran og furu billigere og følgelig mer utbredt og brukt av byggebransjen. Yteveden til furu er svært åpen og permeabel, noe som gjør den lite egnet som kledning hvis den er ubehandlet. Gran har liten synlig forskjell mellom kjerne- og yteved.

De fysiske egenskapene til trevirke, sammen med oppførselen ved værpåkjennning, kjemisk behandling, brannpåvirkning eller mikrobielle organismer påvirkes sterkt av treets vanninnhold og densitet (Skaug, u.å.).

2.3.2 Treets oppførsel ved brannpåvirkning

Tre er et organisk materiale og defineres som brennbart. Som andre faste organiske materialer brenner ikke treet direkte, men det går gjennom en nedbrytningsprosess ved eksponering mot høye varmestrømmer kalt *pyrolyse* (Friquin, 2010). I pyrolysen dekomponeres komponentene i trevirket til en blanding bestående av flyktige stoffer,

tjære og sot. Når denne blandingen av brennbare gasser transporteres til treet's overflate og reagerer med oksygen vil det oppstå en forbrenning med synlige flammer.



Figur 4: Temperatursoner i et tverrsnitt av tre eksponert for brann (Friquin, 2010)

Under forbrenningen av tre kan man skille mellom fire karakteristiske soner, som vist i Figur 4 (Friquin, 2010). For at tre skal kunne brenne må fuktigheten reduseres. Når temperaturen i treet overstiger 100 °C vil vannet fordampe og vandre mot overflaten eller innover i treet. Ved 160-180 °C begynner nedbrytningen av treet's hovedkomponenter: lignin, cellulose, og hemicellulose. Ved disse temperaturene foregår det en veldig saktegående pyrolyse og gassene som produseres er ubrennbare, bestående primært av vanndamp. Ved langvarig eksponering for disse temperaturene kan treet bli forkullet, og hvis luft tillates å diffundere innover og reagere med forkullingslaget som dannes kan eksoterme oksidasjonsreaksjoner oppstå.

Ved temperaturer mellom 200-280 °C er pyrolysen fremdeles treg og mesteparten av gassene som produseres er ubrennbare. Likevel kan de flyktige gassene antennes ved en pilotflamme og brenne med en synlig flamme ved temperaturer rundt 225-275 °C. I følge Buchanan og Abu (2017) starter pyrolysen av trevirket ved 200 °C og det dannes et forkullende lag ved 300 °C. Det oppvarmede området under forkullingslaget er omtrentlig 35 mm tykt på dette stadiet.

Når temperaturen overstiger 300 °C øker dekomponeringen og fører til raskere dannelse av det forkullende laget. Forkullingslaget har lavere konduktivitet enn det uberørte trevirket og vil fungere som et ytre isolerende lag. For at forbrenningen av treet skal opprettholdes må de flyktige stoffene nå ut og blandes med oksygenet som befinner seg utenfor forkullingslaget. Det er på utsiden av forkullingslaget at forbrenningen finner sted. Massetap og reduksjon av densiteten til treet under den fysiske nedbrytningen fører til overflatisk sprekkdannelse vinkelrett på fiberretningen. Disse sprekkenes sørger for at flyktige stoffer lettere kan slippe gjennom til overflaten og blandes med oksygen.

Ved temperaturer over 450-500 °C dannes det ikke lenger flyktige stoffer, men trekullet blir kontinuerlig brutt ned til CO₂, CO og H₂O ved ulming og oksidasjon og forårsaker ytterligere massetap. Hvis overflatetemperaturen ligger over 1100 °C vil dette skje med samme hastighet som pyrolysesonen avanserer innover i trevirket.

2.3.3 Antennelse av tre

En gjennomgang av tilgjengelige praktiske og eksperimentelle data om antennelse av trevirke har blitt gjort av Babrauskas (2002). På generell basis antas det at antennelse av tre korresponderer til en kjent, konstant overflatetemperatur, T_{ig} . Imidlertid skiller man gjerne mellom *selvantennelse* og *pilotantennelse*. Ved pilotantennelse involveres antennelseskilder som gnister eller eksponering mot direkte flammer som antenner de flyktige stoffene som har blitt generert. Selvantennelse forekommer når treet eksponeres mot en varmestrøm som alene er tilstrekkelig til å øke materialets overflatetemperatur til antennespunktet. I de fleste brannsituasjoner som kan oppstå vil gnister eller direkte flammer være involvert under antannelsen av tre, men selvantennelse kan oppstå under for eksempel varmestråling fra en motstående bygningsfasade i brann. I noen tilfeller kan til og med trevirke antennes ved temperaturer så lave som 100 °C (Babrauskas, 2002). Dette forutsetter eksponering over lang tid mot høye temperaturer som ikke overskrider antennelsestemperaturen for treet. Slikt tre kalles *pyrofort* trevirke. Lang tid kan i dette tilfellet være måneder eller til og med år.

Trevirke kan enten antennes ved at det oppstår en flamme momentant, eller ved to-stepsantennelse. To-stepsantennelse betyr at trevirke først går inn i en glødende tilstand som deretter kan resultere i synlige flammer. Glødingen forutsetter at trevirket utsettes for en ekstern varmekilde. For at trevirke skal kunne antennes uten den glødende tilstanden kreves det normalt svært høye varmefluksnivåer.

En rekke faktorer påvirker antennelsestemperaturen til trevirke. Densitet, fiberretning, termisk konduktivitet, fuktinnhold, geometri, prøvestykkets tidligere eksponering for høye temperaturer og intensitet av varmestrøm pekes på som noen av de viktigste faktorene (Babrauskas, 2002). Trevirke med høy densitet er vanskeligere å antenne enn trevirke med lav densitet. Hvis branneksporingen er normalt på fiberretningen til trevirket, antennes det hurtigere enn hvis branneksporingen er parallelt med fiberretningen. Dette skyldes at varmeledningsevnen er høyere parallelt med fibrene. Hvilken tresort det er snakk om vil ha innvirkning på antennelsestemperaturen, ettersom ulike tresorter har ulik densitet og oppbygning. Av treets hovedbestanddeler er antennelsestemperaturen høyest for cellulose og lavest for hemicellulose. Bartrær har en lavere andel hemicellulose og en høyere andel lignin sammenlignet med løvtrær. På generell basis har dermed bartrær en høyere antennelsestemperatur enn løvtrær.

Pilotantennelse for trevirke utsatt for høyere varmefluks forekommer normalt ved overflatetemperaturer i området 300-365 °C (Babrauskas, 2002). Videre er antennelsestemperaturen for løvtrær og bartrær henholdsvis 300-310 °C og 350-365 °C.

2.3.4 Forkullingshastighet

Forkullingshastigheten eller forkullingsraten er et mål på hvor fort forkullingen beveger seg innover i treverket (Kollegiet for brannfaglig teminologi, 2019). Den beskriver hastigheten som trevirke omdannes til kull på og er en veldig viktig egenskap når det gjelder bestemmelse av brannmotstanden til konstruksjoner bestående av trevirke. Forkullet tre anses å ha praktisk talt null styrke. Ved å vite hastigheten på forkullingen kan tykkelsen på forkullingslaget beregnes. Gjenværende tverrsnitt i konstruksjoner som må være lastbærende kan deretter beregnes. Forkullingshastigheten er også viktig for å bestemme gjennombrenningstiden. Med gjennombrenningstiden menes tiden det tar fra et element er eksponert for flammer på én side til flammer er synlige på den andre siden. Hastigheten på forkullingen vil også ha mye å si for flammeutviklingen og evnen til brannspredning i fasader.

I startfasen av en brann vil forkullingshastigheten normalt være høyere ettersom det «ferske» trevirke eksponeres for flammer. Etterhvert som de første millimeterne av forkullingslaget blir dannet vil også forkullingshastigheten avta og stabilisere seg på et empirisk bestemt nivå. Dette skyldes den isolerende effekten som forkullingslaget har. Forkullingshastigheten holder seg tilnærmet konstant frem til temperaturen innover i treet begynner å stige. Da vil også forkullingshastigheten øke. Typiske verdier for forkullingshastigheten til ulike materialer og produkter er 0.5 – 1.0 mm/min, avhengig av materialeegenskaper og eksterne faktorer. Verdier for forkullingshastigheten kan finnes i NS-EN 1995-1-2 (Standard Norge, 2010a).

Materialeegenskapene som har vist seg å ha størst innvirkning på forkullingshastigheten er densitet, permeabilitet langs kornene, fuktforholdet og tykkelsen på forkullingslaget (Friquin, 2010). Dekomponeringsproduktene er funksjoner av temperatur, tresort og densitet. De termiske egenskapene som påvirker disse prosessene er stadig i endring, på samme måte som temperaturen selv endres. I tillegg til materialeegenskapene vil eksterne faktorer som omgivelsestemperatur og type varmekilde også ha innvirkning.

2.4 Brannhemmet tre

Med brannhemmet tre menes trevirke som er behandlet slik at det får forbedrede egenskaper under brannpåvirkning. Hovedhensikten er i følge Buchanan og Abu (2017) å hemme/reducere flammespredningen over overflaten til treverket. Faktorene som ønskes forbedret er blant annet tid til antennelse, redusert evne til flammespredning langs overflaten på treverket, redusert varmeavgivelseshastighet og røykproduksjon. Brannhemmet trevirke kan oppfylle euroklasse B-s1,d0, som er den høyeste klassen et brennbart bygningsprodukt kan oppnå. Dette åpner opp for at man i flere tilfeller kan benytte produkter av tre, der ubehandlet tre ellers ikke ville oppfylt de nødvendige brannkravene.

Det er i hovedsak to former for brannhemmende kjemisk beskyttelse av tre for utendørs bruk: brannimpregnering og brannhemmende overflatebehandling. Ved brannimpregnering tilsettes treverket en væske med brannhemmere i

tilvirkningsprosessen, ofte ved vakuum-trykkimpregnering. Væsken sprøytes inn i selve strukturen til trevirket. Brannhemmende overflatebehandling er et belegg som påføres utenpå trevirket, og kan være filmdannende, ikke-filmdannende eller intumescent (sveller ved varmpåvirkning). Noen brannhemmende overflatebehandlinger er også avhengige av et beskyttende overflatesjikt/maling i tillegg til det brannhemmende sjiktet for å oppnå ønsket funksjon.

I begge formene for behandling brukes organiske og uorganiske komponenter, kjemikalier og bindemidler. Avhengig av hvilke kjemikalier som tilsettes, forbedres de branntekniske egenskapene på forskjellige måter. Brannimpregnering kan blant annet forandre de termiske egenskapene til treet, fortynne de brennbare gassene som dannes ved brannpåvirkning ved å produsere ikke-brennbare gasser, eller terminere frie radikaler i gassfasen. Alt med hensikt å redusere brennbarheten og hemme brannspredningen over overflaten til trevirket. Når tre som er brannimpregnert blir utsatt for høye temperaturer vil de brannhemmende komponentene som er tilsatt reagere med og omdanne de brennbare gassene til ikke-brennbare gasser som for eksempel karbondioksid, ammoniakk og vann. I tillegg vil risikoen for videre flammespredning hindres ved at overflaten forkulles raskere og det blir mindre flammer. På den måten unngår man til en viss grad en flammefront som kan propagere og virke som en varmekilde og som en kilde for pilotantennelse. Virkemåten til et brannhemmende belegg kan bestå av å danne en dekkende barriere som begrenser tilgangen til oksygen og hindrer avgivelse av brennbare gasser, eller ved å danne et isolerende lag på trets overflate som forsinker temperaturøkning, reduserer varme tilgjengelig for pyrolyse og varmestråling til treet. Et isolerende lag kan være intumescente (svellende) belegg eller akselerert karbonisering og tidligere dannelse av forkullingslag. Intumescente brannmalinger sveller ved temperaturøkning for å danne et beskyttende skumlag med lav termisk konduktivitet, som delvis bruker energi under skumdannelsen og delvis isolerer det underliggende trevirket.

2.5 Byggeskikk

Norge har rike tradisjoner når det kommer til bruk av tre i husbygging. Trevirke som bygningsmateriale har alltid vært lett tilgjengelig. Det har ført til at kunnskap om bearbeiding kom tidlig til anvendelse i husbygging. Gjennom flere hundre år har konstruksjons- og byggeteknikk utviklet og tilpasset seg ulike bruksbetingelser og klimaforhold, samtidig som skiftende stilarter og moteretninger i høy grad har påvirket byggeskikken (Edvardsen og Ramstad, 2014). Trehusbyggingen er en viktig del av den norske kulturen og bidrar i sterk grad til å prege det bygde miljøet.

Dagens trehus i Norge består i all hovedsak av laftehus, reisverkshus og bindingsverkshus, med bindingsverkshus som mest utbredt. I tillegg bygges det stadig flere bygninger hvor hele bæresystemet er i massivtre eller hvor elementer av massivtre supplerer en bindingsverkskonstruksjon eller en betongkonstruksjon, for eksempel som etasjeskillere. Massivtre (engelsk: cross-laminated timber, CLT) er lameller av heltre som bindes sammen (normalt med lim) i ulike fiberretninger til større elementer (Aarstad og Glasø, 2011).

På 1600-tallet ble det innført murtvang i Christiania (Oslo) som følge av store bybranner med totalødeleggelse av bygninger. Generell murtvang i resten av Norge ble ikke innført før etter at norgeshistoriens største brannkatastrofe, brannen i Ålesund i 1904, ødela 850 bygninger og gjorde 10 000 mennesker husløse (Kristoffersen, 2019). Til tross for påbudet om å bygge med mur ble det fremdeles bygget med tre i mange av de større byene. Tilgangen på stein som byggemateriale, tradisjonene knyttet til husbygging i tre, samt at det var dyrere å bygge i mur var noen av årsakene til at påbudet om mur ble neglisjert.

Laftehus eller tømmerhus består av liggende tømmerstokker som er felt sammen i hjørnene. Byggemåten var utbredt i Norge fra så tidlig som middelalderen og frem til slutten av 1800-tallet. Det ble etterhvert vanlig, spesielt i kyststrøkene, å kle lafteveggene med trepanel for å skjerme dem mot slagregn og på den måten bedre holdbarheten. Med innføring av panel og flere lister, vannbord og vindusrammer fikk brann og gnister også flere steder å feste seg (Kristoffersen, 2019).

Reisverk var vanlig i perioden 1800-1950 og består av en bærende rammekonstruksjon av stolper og sviller, der hulrommet er fylt med loddrette veggplanker eller grove stokker. Det ble gjerne montert papp på utsiden av reisverket som vindspærre, og som regel var veggen kledd med ett lag panel på hver side. Den utvendige kledningen var ofte ikke utlektet, men montert rett på rammeverket.

Bindingsverk er en rammekonstruksjon av sviller, stolper (stendere), losholter, spikerslag og skråbånd (Edvardsen og Ramstad, 2014). For å danne en tett vegg kreves det utfylling og/eller kledning på én eller begge sider. Etter at murtvengen i Christiania ble innført på 1600-tallet ble det gitt tillatelse til å fylle hulrommene i bindingsverket med murverk. Byggemåten ble brukt helt til slutten av 1800-tallet, men var ikke særlig utbredt andre steder. Introduksjonen av mineralull som varmeisolasjonsmateriale førte til sterk reduksjon av varmetap utover 1950-tallet. Bedre varmeisolasjon og tettere konstruksjoner gjorde også konstruksjonene mer følsomme for fuktskader og kondensproblemer ved feil utførelse.

Den utvendige kledningen er bygningens ytterste sjikt og har som hovedoppgave å beskytte konstruksjonen innenfor mot regn og mekaniske skader. Tidligere ble kledningen som oftest montert rett på veggkonstruksjonen og var i mange tilfeller også den viktigste vindspærren i trehus. Luftet og drenert kledning har blitt anbefalt i Norge i over 50 år (Skogstad, 2012) og gir en totrinnstetting av ytterveggen. Med begrepet totrinnstetting menes det at regn og vind stoppes hver for seg. Den utvendige kledningen fungerer som en regnskjerm mot slagregn og vann, mens hulrommet bak kledningen skal sørge for lufting og drenering slik at man reduserer risikoen for fuktproblemer i konstruksjonen. En gjennomgående luftespalte med kontinuerlig åpning i topp og bunn er nødvendig for å gi gode nok forhold for uttørring, både for slagregn som trenger gjennom kledningen fra utsiden, og byggfukt som kommer fra innsiden. En lufttett vindspærre monteres normalt på motsatt overflate av kledningen i hulrommet.

Trevirke har i Norge blitt brukt som kledning siden begynnelsen av 1600-tallet og i moderne tid har tre vært det desidert mest brukte kledningsmaterialet på småhus (Øvrum, 2011). Utførelse og montering har variert med tiden og har også vært preget av geografiske variasjoner. Blant annet har det vært vanligere å bruke liggende trekledning i kystnære områder med mye slagregn, mens stående trekledning har vært vanligere i de tørrere innlandsstrøkene. Kjerneved av furu ble i en lang periode før 2. verdenskrig regnet som det beste kledningsmaterialet i Norge. Der tilgangen ikke var tilstrekkelig ble

gran og til dels osp brukt. Etter krigen så ble det mer utbredt å bruke gran, som i dag er det klart vanligste treslaget brukt til kledning (Øvrum, 2011).

Kledningen til en bygning har også en viktig oppgave når det gjelder husets estetiske uttrykk. Kledningen er som regel det første inntrykket man får av en bygning og er den detaljen som påvirker bygningens utseende i størst grad. I et samfunn med økt fokus på bærekraft og klima er det ønskelig at bygninger fremstår som nettopp bærekraftige og klimavennlige. Kledning av tre er derfor populært og ønskelig, ikke bare i småhus og boliger, men også i større og høyere bygninger.

2.5.1 Kledninger av ulike tresorter

Det stilles visse krav til materialer som kan brukes som kledning. Det viktigste kriteriet for at en tresort er egnet til bruk som kledning er at det er bestandig mot råte. For at en kledning av tre kan gi beskyttelse mot råte og soppangrep må den ha gode fuktavvisende egenskaper. Ved værpåkjenninger kan ikke treet ta opp mye fuktighet og det vil også være svært fordelaktig at treet tørker hurtig. Noen tresorter er følgelig bedre egnet enn andre, men det er mulig å behandle trevirke kjemisk eller fysisk slik at noen tresorter oppnår gode nok egenskaper til å kunne brukes som bygningers ytterste sjikt.

Noen tresorter er egnet som kledning uten noen form for behandling. På generell basis er kjerneveden mye bedre egnet enn yteveden. Dette skyldes at kjerneveden er mindre permeabel. Yteveden derimot er mer åpen og permeabel slik at den er lettere å impregnere. De norske tresortene gran, furu og osp innehar gode nok egenskaper til å kunne benyttes ubehandlet som kledning. Gran har gode fuktavvisende egenskaper både i kjerne- og yteved. Når det gjelder furu, bør det fortrinnsvis benyttes ren kjerneved. Kjerneved av furu har svært god evne til å motstå oppfukting, mens yteveden tar opp for mye fuktighet. Osp er meget sårbar for omleggsråte og kledningen må derfor utformes slik at den raskt får tørke etter regn. Ren kjerneved av eik, lerk og kjempetuja eller Western red cedar (alle vanligvis importert) kan også brukes ubehandlet som utvendig kledning (TreFokus AS, u.å.).

Utviklingen og mulighetene for å behandle trevirke kjemisk eller fysisk slik at det oppnår andre egenskaper har ført til at det tilbys et mye større spekter av tresorter til bruk som utvendig kledning. Forskjellige tresorter kan være med på å gi en bygning et helt annet estetisk uttrykk enn ved bruk av de vanlige og mest utbredte tresortene i Norge som gran og furu. Plassering av bygningen med tanke på klima og væreksponeering har også mye å si for valg av kledning. I Norge kreves det normalt at kledningen innehar svært gode fuktavvisende egenskaper.

3 Brannscenarioer og spredningsveier

Brann som sprer seg i fasader kan få store konsekvenser for rømning og redning og materielle verdier. Det finnes ulike måter for hvordan en brann kan spre seg på i fasaden (SINTEF Byggforsk, 2017):

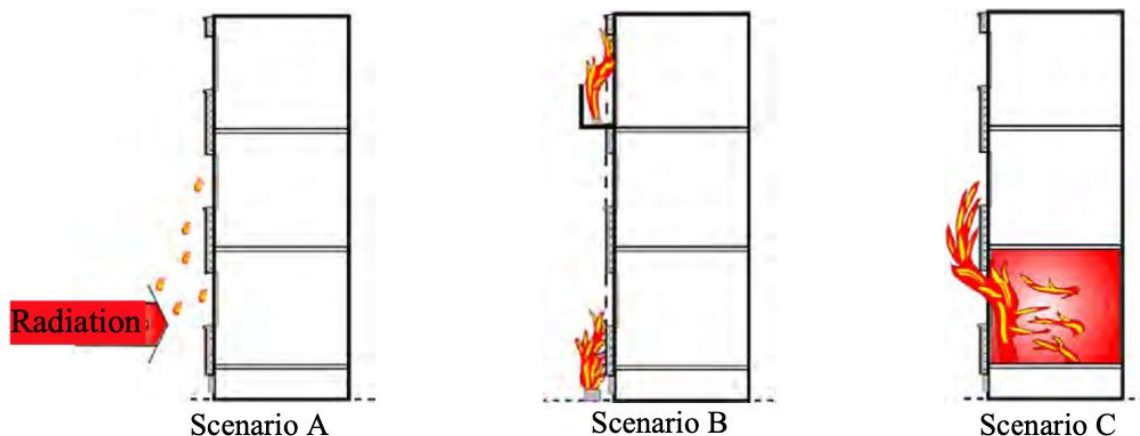
- Vertikal brannspredning i selve fasaden
- Vertikal brannspredning fra et vindu til vinduer i etasjen over
- Horisontal brannspredning mellom fasader og vinduer
- Horisontal brannspredning via undersiden av balkonger og svalganger
- Vertikal brannspredning via balkonger
- Brannspredning til kaldt loft via fasaden

Det er nyttig å vurdere og evaluere mulige kilder til antenning. Dette bør legges til grunn for de brannsikkerhetstiltakene man velger ved prosjekteringen av bygningen, og det brannforebyggende arbeidet i bygningens driftsfase. Statistikk er et viktig hjelpemiddel for å kunne vurdere typiske kilder til antenning og sannsynlighet for brannstart ut fra type bygning og type virksomhet. Man kan i større grad planlegge hvor de branntekniske tiltakene bør etableres.

Tre nøkkelbrannscenarioer eller hendelser for at en brann kan spres til fasaden har blitt pekt på (Östman og Mikkola, 2019). Disse er gjengitt under og vist i Figur 5.

- A. Utvendig brann som er fysisk atskilt fra fasaden og som kun resulterer i varmestråling (for eksempel en brann i et tilstøtende byggverk) eller en skog-/gressbrann.
- B. Utvendig brann direkte inntil fasaden som antenner fasaden ved varmestråling og/eller ved pilotantenning. Dette kan for eksempel være en brann i en container, i avfallsdunker, på en balkong, i midlertidig lagret avfall/materialer, en påsatt brann eller i biler.
- C. Innvendig brann (før eller etter overtenning) som sprer seg til fasaden gjennom åpninger som vinduer og/eller skjulte hulrom. Dette kan for eksempel være en fullt utviklet rombrann med flammer stikkende ut av et knust vindu. Det reelle brannscenarioet vil avhenge av blant annet bygningskategori, brannenergi, utførelsen av prosjekteringen av branncellen og utformingen av fasaden.

Av de tre ovennevnte scenarioene peker Östman og Mikkola (2018) (basert på eksisterende forskning) på at branneksposeringen til fasaden på generell basis er alvorligst og mest kritisk for en fullt utviklet rombrann med flammer stikkende ut av vinduer (scenario C).



Figur 5: Brannscenarier for spredning til fasade

En flyvebrann og/eller mottagelse av gnister kan også føre til at fasaden antennes (scenario A). En flyvebrann defineres av Kollegiet for brannfaglig terminologi (2019) som «brennende partikler eller gjenstander fra en brann som transporteres i luften eller faller ned og kan antenne brennbare materialer. Kreftene bak transporteringen av partiklene kan være brannens termiske krefter, vind, annen strømning av røyk eller gasser eller tyngdekraften». Spredningen kan komme fra skogbranner eller andre bygninger i brann. Spesielt har vinden vist seg å være en viktig faktor og ved «riktige» vindforhold kan branner spres over store distanser. Svake punkter i fasadekonstruksjonen som tilslutninger, gjennomføringer, detaljer eller åpninger kan motta gnister fra en flyvebrann og brennbare materialer i konstruksjonen kan antennes.

Brannutviklingen og brannspredningen i fasaden vil være påvirket av oppbygningen av fasaden, hvilke materialer som er brukt i utvendig kledning, om det er hulrom bak kledningen, og hvilke brannegenskaper vindspærre og andre overflater i eventuelle hulrom har (SINTEF Byggforsk, 2017). Dersom den utvendige kledningen er brennbar kan brannen spre seg i kledningen, og hulrommet kan fungere som en skorstein som fører varme branngasser opp til åpninger der de får tilgang til oksygen og antenner. Brann i vertikal kledning spres på generell basis raskere og mer intenst enn i horisontal kledning (SINTEF Byggforsk, 2017). Horisontal spredning i fasaden kan forekomme, men normalt med en mye lavere hastighet enn vertikal spredning. Brannspredning via luftespalten bak kledningen er en spredningsmekanisme som kan være problematisk fordi den ofte ikke er lett å oppdage eller lett å komme til med slokkeredskaper. Kombinasjonen av oppbygning og materialbruk er vel så viktig som kun å se på hvilke egenskaper materialene har hver for seg. Man er nødt til å ha et helhetlig syn. Vertikal brannspredning i fasaden kan medføre samtidig spredning til flere brannceller hvis brannen tillates å bryte inn i bygningen igjen, og må sees på som den spredningsmekanismen som kan gi de alvorligste konsekvensene. Ved samtidig spredning til flere brannceller påvirkes tilgjengelig tid til rømning, redning, slokking og sikring av verdier i negativ grad.

3.1 Fasadebranner i høyhus i perioden 2010-2020

Bonner og Rein (2020) har laget en liste over branner i høyhus i perioden 1990-2020 som på en eller annen måte spredte seg til og i fasaden. Innholdet ble funnet gjennom søk i Google på nyhetsrapporter og litteratur om brannsikkerhet. Det er derfor sannsynlig at listen heller mot de mest høyprofilerte hendelsene, og at mindre branner kan ha blitt oversett. Listen til Bonner og Rein (2020) består av navn på byggverkene og sted, samt lenker til nyhetsartikler som omtaler brannhendelsen. Tabell 3 er basert på Bonner og Rein (2020) og det er tatt utgangspunkt i listen som inneholder fasadebranner i høyhus de siste 10 årene. Ytterligere søk i Google er gjennomført for å forsøke og danne et bilde over hva som førte til at brannene spredte seg via fasaden. Det er forsøkt å ta med så mye informasjon som mulig hva gjelder fasadeoppbygning og andre faktorer som kan være relevante og av betydning for brannutviklingen, men i mange tilfeller var ikke den tilgjengelige informasjonen så detaljert. Tabellen er laget for å vise hvilke problemstillinger som har vært og er relevante for fasadebranner i høyere byggverk med brennbare materialer.

Tabell 3: Oversikt over fasadebranner i høyhus i perioden 2010-2020

Byggverk	Sted	Dato
Wooshin Golden Suites Kombinert kommersielt og leiligheter	Busan, Sør-Korea	01.09.2010
Beskrivelse <u>Antall etasjer:</u> 38 (pluss 4 under bakkenivå) <u>Kledning:</u> Metallkomposittpaneler av aluminium med polyetylen-kjerne (ventilert med luftespalte) <u>Isolasjon:</u> Enten glassull eller EPS, usikkert hvilken <u>Sprinklersystem:</u> Ja, men ikke i rommet der brannen startet. <u>Antall omkomne/skadde:</u> 5 skadde Brannen startet i 4. etasje, mest sannsynlig på grunn av en elektrisk kortslutning i en stikkontakt. Brannen spredte seg ut av vinduet og til fasaden og vertikalt oppover til toppen av bygningen i løpet av 20 minutter. Den vertikale spredningen var sentrert i en nisje i bygningens fasade på utsiden av et trapperom, se Figur 6. Kraftig vind pekes på som en påvirkende faktor til den hurtige spredningen oppover. Brannen ble sløkket etter 2,5 timer.		



Figur 6: Brann i Wooshin Golden Suites (최광모, 2010)

Byggverk	Sted	Dato
Sonacotra Building Hostel	Dijon, Frankrike	14.11.2010
<p>Beskrivelse</p> <p><u>Antall etasjer:</u> 10</p> <p><u>Isolasjon:</u> Utvendig isolert med EPS</p> <p><u>Antall omkomne/skadde:</u> 7 omkomne og 11 skadde</p> <p>Brannen startet i en søppelcontainer som stod inntil bygningen på bakkenivå og spredte seg raskt vertikalt oppover langs fasaden til toppen av bygningen. Det rapporteres at brannspredningen ble påvirket av en nisje i fasadeutformingen og vind som blåste flammene oppover fasaden, se Figur 7. Flammene knuste mange vinduer og røyk brøt inn i bygningen.</p>		



Figur 7: Brann i Sonacotra Building (Ukjent, 2010)

<p>Byggverk</p> <p>Navn på bygning ikke funnet</p> <p>Leiligheter</p>	<p>Sted</p> <p>Shanghai, Kina</p>	<p>Dato</p> <p>15.11.2010</p>
<p>Beskrivelse</p> <p>Antall etasjer: 28</p> <p>Kledning: Skal ha inneholdt polyetylen (mest sannsynlig metallkomposittpaneler)</p> <p>Antall omkomne/skadde: 58 omkomne og minst 70 skadde</p> <p>Brannen startet mest sannsynlig på grunn av sveising under renovering som resulterte i antennelse og spredning i fasadematerialer. Det var hurtig spredning i fasaden fra bakkenivå og til toppen av bygningen. Den øvre halvdel av bygningen var utenfor rekkevidden til brannvesenets slukkeutstyr og ble oppslukt av flammer. Brannen ble til slutt slokket etter at det ble etablert brannslanger på nabobyggets tak.</p>		
<p>Byggverk</p> <p>Royal Wanxin Hotel</p> <p>Leiligheter</p>	<p>Sted</p> <p>Shenyang, Kina</p>	<p>Dato</p> <p>03.02.2011</p>
<p>Beskrivelse</p> <p>Antall etasjer: 38</p>		

Kledning: Metallkomposittpaneler av aluminium med polyetylen-kjerne

Isolasjon: EPS eller XPS

Antall omkomne/skadde: Ingen skadde

Brannen startet i 11. etasje på grunn av fyrverkeri som antente brennbare materialer i selve fasaden. Brannen spredte seg via fasaden og vertikalt oppover til toppen av bygningen. Brannvesenets slanger nådde kun opp en fjerdedel av bygningens totale høyde. Brannen ble slokket etter 4 timer.

Byggverk

Al Baker Tower

Leiligheter

Sted

Sharjah, De forente arabiske emirater

Dato

18.01.2012

Beskrivelse

Antall etasjer: 29

Sprinklersystem: Ikke sprinklet

Antall omkomne/skadde: Ingen skadde

Brannen startet på en balkong i 1. etasje, mest sannsynlig på grunn av en sigarettstump som ble kastet fra en overliggende balkong. Brannen spredte seg raskt til fasaden og kledningen og vertikalt til toppen av bygningen. Det rapporteres at brennbare materialer i fasaden sammen med kraftig vind var viktige faktorer for den hurtige vertikale spredningen.

Byggverk

Al Tayer Tower

Leiligheter

Sted

Sharjah, De forente arabiske emirater

Dato

28.04.2012

Beskrivelse

Antall etasjer: 41

Kledning: Metallkomposittpaneler av aluminium med polyetylen-kjerne

Antall omkomne/skadde: Ingen skadde

Brannen startet på en balkong i 1. etasje, mest sannsynlig på grunn av en sigarettstump som antente pappesker og plast. Den spredte seg raskt til fasaden og kledningen, og vertikalt til toppen av bygningen. Brennende deler av fasaden løsnet og falt i bakken og førte til at totalt 45 biler ble ødelagt. Kraftig vind pekes på som en viktig faktor for den hurtige vertikale brannspredningen.

Byggverk

Mermoz Tower

Leiligheter

Sted

Roubaix, Frankrike

Dato

14.05.2012

Beskrivelse

Antall etasjer: 18

Kledning: Metallkomposittdeler av 0.5 mm aluminium med 3 mm polyetylen-kjerne i midtdelen av fasaden

Antall omkomne/skadde: 1 omkommen og 5 skadde

Brannen startet på en balkong tilhørende en leilighet i 2. etasje. Brannen spredte seg raskt til kledningen og videre opp til toppen av bygningen i løpet av få minutter. Spredningen ser ut til å ha fått økt hastighet i nisjen ved siden av balkongene, se Figur 8. Vinduer ble knust og røyk nådde inn i bygningen. Deler av fasaden løsnet og falt i bakken og på lavereliggende balkonger.



Figur 8: Brann i Mermoz Tower (Ukjent, 2012)

Byggverk	Sted	Dato
Polat Towers Kombinert leiligheter, butikker og kontorer	Istanbul, Tyrkia	17.07.2012

Beskrivelse

Antall etasjer: 42

Sprinklersystem: Ja, ble aktivert og bidro til å begrense brannen

Antall omkomne/skadde: Ingen skadde

Brannen startet i 1. etasje og spredte seg til fasaden der den raskt oppslukte en del av fasaden fra bunn til topp. Flammene brant seg gjennom kledningen og den ytre veggisolasjonen. Deler av fasaden løsnet og falt i bakken. Kraftig vind pekes på som en faktor for den hurtige spredningen.

Byggverk Saif Belhasa Building Leiligheter	Sted Dubai, De forente arabiske emirater	Dato 06.10.2012
Beskrivelse Antall etasjer: 13 Kledning: Metallkomposittpaneler med polyetylen-kjerne. Antall omkomne/skadde: 2 skadde Brannen startet i 4. etasje og spredte seg raskt til fasaden og videre helt opp til toppen av bygningen via kledningen i kanalen mellom balkongene. Store deler av fasadekledningen løsnet og falt i bakken. Brannen ble sløkket etter 1,5 timer.		
Byggverk Tamweel Tower Kombinert leiligheter og kontorer	Sted Dubai, De forente arabiske emirater	Dato 18.11.2012
Beskrivelse Antall etasjer: 34 Kledning: Metallkomposittpaneler av aluminium med polyetylen-kjerne Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Brannen startet i toppetasjen, mest sannsynlig i nærheten av et klimaanlegg. Den spredte seg til fasaden og nedover i den brennbare kledningen. Det rapporteres om at den vertikale spredningen nedover skyldtes smeltede deler av kledningen som falt ned og antente fasade og balkonger i lavereliggende etasjer. Brannen ble sløkket etter over 5 timer.		
Byggverk Grozny City Towers Leiligheter	Sted Tsjetsjenia, Russland	Dato 03.04.2013
Beskrivelse Antall etasjer: 40 (145 meter høyt) Kledning: Metallkomposittpaneler, uvisst hva kjernen bestod av Sprinklersystem: Sprinklet innvendig, men hadde ikke vanntilgang enda Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Brannen startet i en av de øverste etasjene, mest sannsynlig på grunn av en kortslutning i et klimaanlegg. Bygningen var akkurat ferdig bygget, men ingen hadde flyttet inn enda. Brannen spredte seg til fasaden og oppslukte til slutt 18 000 m ² av fasaden fra bakkenivå til tak. Brannen ble sløkket etter 8 timer.		

Byggverk Al Hafeet Tower 2 Leiligheter	Sted Sharjah, De forente arabiske emirater	Dato 22.04.2013
Beskrivelse Antall etasjer: 20 Kledning: Metallkomposittpaneler av aluminium med polyetylen-kjerne Antall omkomne/skadde: 1 person sendt til sykehus med røykskader Brannen startet etter at gnister fra en pipe antente aluminiumsfolien på kledningen. Brannen spredte seg raskt langs fasaden 10 etasjer opp. Deler av fasaden løsnet og falt i bakken. Brannen ble slokket etter 2 timer.		
Byggverk Krasnoyarsk Leiligheter	Sted Krasnoyarsk, Russland	Dato 21.09.2014
Beskrivelse Antall etasjer: 25 (86 meter høyt) Kledning: Paneler av vinyl (ventilert med luftespalte) Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Brannen startet i en av de lavereliggende etasjene og spredte seg raskt til fasaden og videre vertikalt oppover. To sider av bygningen sto i flammer helt opp til toppetasjen. 14 leiligheter ble helt utbrent. Balkongene var plastrmøblerte og bidro til brannspredningen.		
Byggverk Lacrosse Building Leiligheter med butikk og parkeringshus i nedre etasjer	Sted Melbourne, Australia	Dato 25.11.2014
Beskrivelse Antall etasjer: 23 (58.7 meter høyt) Kledning: Metallkomposittpaneler av aluminium med polyetylen-kjerne, i strid med krav i forskriften Sprinklersystem: Sprinklet innvendig, og pekes på som en faktor for at brannen ikke gjorde mer skade innvendig Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Brannen startet på en balkong i 8. etasje etter at en sigarettstump antente brennbart materiale der. Den spredte seg hurtig vertikalt via fasaden opp til 21. etasje.		

Byggverk Torch Tower Leiligheter	Sted Dubai, De forente arabiske emirater	Dato 21.02.2015
Beskrivelse Antall etasjer: 79 (352 meter høyt) Fasadesystem: Kledning: Metallkomposittpaneler av aluminium med polyetylen-kjerne Antall omkomne/skadde: 4 skadde Brannen startet i 51. etasje på en balkong og spredte seg til fasaden og videre opp til 70. etasje. Brennende deler av fasaden løsnet og antente lavereliggende deler av bygningens fasade. Kraftig vind bidro til den hurtige spredningen.		
Byggverk Navn på bygning ikke funnet Boligblokk	Sted Baku, Aserbajdsjan	Dato 19.05.2015
Beskrivelse Antall etasjer: 16 Kledning: Metallkomposittpaneler av aluminium med polyetylen-kjerne Antall omkomne/skadde: 16 omkomne og minst 50 skadde Det er usikkert hvordan brannen startet, men den resulterte i rask spredning langs fasaden med sterk vind som økte spredningen oppover. Brannen ble slokket etter over 4 timer.		
Byggverk Al Nasser Tower Kombinert leiligheter og parkeringshus	Sted Sharjah, De forente arabiske emirater	Dato 01.10.2015
Beskrivelse Antall etasjer: 36 Sprinklersystem: Ikke sprinklet innvendig Antall omkomne/skadde: 10 skadde Brannen startet i 3. etasje og førte til at flammer stakk ut av vinduet og antente fasaden. Kledningen var brennbar og hele fasaden ble oppbrent. Brannen ble slokket etter 2 timer.		

Byggverk Adress Hotel Hotell	Sted Dubai, De forente arabiske emirater	Dato 31.12.2015
Beskrivelse Antall etasjer: 63 (302 meter høyt) Antall omkomne/skadde: 15 skadde Brannen startet på utsiden av 14. etasje på grunn av en elektrisk kortslutning i et lys og spredte seg meget hurtig oppover fasaden. Kledningen ble rapportert å ikke møte brannkrav. Deler av fasaden løsnet og falt i bakken.		
Byggverk Ajman One Complex Boligblokk	Sted Ajman, De forente arabiske emirater	Dato 28.03.2016
Beskrivelse Antall etasjer: 36 (130 meter høyt) Kledning: Metallkomposittpaneler av aluminium Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Brannen startet mest sannsynlig i midlertidig oppbevart søppel inntil fasaden. Den spredte seg til naboblokken ved at brennende deler av fasaden ble fraktet over med den kraftige vinden.		
Byggverk Longsheng Building Kontorbygg	Sted Nanjing, Kina	Dato 03.05.2016
Beskrivelse Antall etasjer: Ukjent Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Brannen startet mest sannsynlig i et klimaanlegg i 6. etasje og spredte seg ut til fasaden, med store flammer og tykk svart røyk som nådde helt til toppen av bygningen. Brannen ble slokket, men med store skader på fasaden på den ene siden av bygningen.		
Byggverk Al Sulafa Tower Boligblokk	Sted Dubai, De forente arabiske emirater	Dato 20.07.2016
Beskrivelse Antall etasjer: 76 (288 meter høyt)		

<p><u>Kledning</u>: Metallkomposittpaneler av aluminium med brennbar kjerne</p> <p><u>Antall omkomne/skadde</u>: Ingen skadde</p> <p>Brannen startet i 36. etasje og spredte seg raskt til overliggende etasjer via fasaden og kledningen. Deler av fasaden løsnet og falt i bakken og på laveliggende balkonger. Brannen ble slokket etter 3 timer.</p>		
<p>Byggverk</p> <p>Shepherd's Court</p> <p>Boligblokk</p>	<p>Sted</p> <p>London, England</p>	<p>Dato</p> <p>19.08.2016</p>
<p>Beskrivelse</p> <p><u>Antall etasjer</u>: 18 (58 meter høyt)</p> <p><u>Kledning</u>: 17-23 mm kryssfinérpanel dekket av 1 mm polystyrenskum med et tynt beskyttende lag av metall og dekorativ hvitmaling</p> <p><u>Isolasjon</u>: EPS/XPS</p> <p><u>Antall omkomne/skadde</u>: Ingen skadde</p> <p>Brannen startet i et kjøkken i 7. etasje. Flammer stakk ut av vindu og spredte seg oppover langs fasaden.</p>		
<p>Byggverk</p> <p>Neo-Soho</p> <p>Kombinert kjøpesenter, parkeringshus og boligblokk</p>	<p>Sted</p> <p>Jakarta, Indonesia</p>	<p>Dato</p> <p>09.11.2016</p>
<p>Beskrivelse</p> <p><u>Antall etasjer</u>: 38</p> <p><u>Antall omkomne/skadde</u>: 1 skadet</p> <p>Brannen startet i en leilighet i 6. etasje og spredte seg raskt til 12. etasje via den brennbare kledningen i fasaden. Bygningen var fremdeles under konstruksjon. Brannen ble slokket etter 3 timer. Store deler av fasaden løsnet og falt i bakken.</p>		
<p>Byggverk</p> <p>Al Bandy Tower B</p> <p>Boligblokk</p>	<p>Sted</p> <p>Sharjah, De forente arabiske emirater</p>	<p>Dato</p> <p>01.12.2016</p>
<p>Beskrivelse</p> <p><u>Antall etasjer</u>: 23</p> <p><u>Antall omkomne/skadde</u>: Ingen skadde</p>		

Brannen startet i 13. etasje og spredte seg raskt til toppen av bygningen via den brennbare kledningen i fasaden. Deler av fasaden løsnet og falt i bakken. Brannen ble slokket etter 75 minutter.

Byggverk**Oceana Adriatic Building**

Boligblokk

Sted

Dubai, De forente arabiske emirater

Dato

13.12.2016

BeskrivelseAntall etasjer: 15Antall omkomne/skadde: Ingen skadde

Brannen startet i toppleiligheten og spredte seg ut og nedover langs den brennbare fasaden. Kraftig vind blir pekt på som en avgjørende faktor til at brannen spredte seg så raskt nedover fasaden. Brannen ble slokket etter 3 timer. Også verdt å merke at brannen aldri brøt inn i selve bygningen.

Byggverk**Address Residences
Fountain Views**

Boligblokk

Sted

Dubai, De forente arabiske emirater

Dato

02.03.2017

BeskrivelseAntall etasjer: 72Antall omkomne/skadde: Ingen skadde

Brannen startet i et parkeringshus i en av de nederste etasjene, mens bygningen fremdeles var under konstruksjon. Den spredte seg til fasaden som hadde brennbar kledning, men spredningen ble begrenset grunnet rask innsats fra brannvesenet.

Byggverk**Grenfell Tower**

Boligblokk

Sted

London, England

Dato

14.06.2017

BeskrivelseAntall etasjer: 24 (67 meter høyt)Kledning: Metallkomposittpaneller av 0.5 mm aluminium med 3 mm polyetylen-kjerne (ventilert med luftespalte på 50 mm), 250 mm betongveggIsolasjon: PIR (150 mm)Sprinklersystem: Ikke sprinklet innvendigAntall omkomne/skadde: 71 omkomne og 74 skadde

Brannen startet i 4. etasje i et kjøleskap og spredte seg raskt via fasaden, videre oppover og førte til flammer og røyk i alle etasjer. Brannen ble slokket etter 60 timer.

Byggverk Torch Tower Boligblokk	Sted Dubai, De forente arabiske emirater	Dato 04.08.2017
Beskrivelse Antall etasjer: 86 (337 meter høyt) Kledning: Metallkomposittpaneler av aluminium med polyetylen-kjerne Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Brannen startet på en balkong i 9. etasje og spredte seg helt opp til 85. etasje. Mest sannsynlig var det en sigarettstump kastet fra en høyereliggende etasje som antente planter på balkongen. Sterk vind og den brennbare fasadekledningen pekes på som viktige faktorer til at brannen spredte seg så hurtig oppover fasaden. Deler av fasaden løsnet og falt i bakken. Brannen ble slokket i løpet av 2 timer.		
Byggverk Yuansheng International Kontorbygg	Sted Zhengzhou, Kina	Dato 01.02.2018
Beskrivelse Antall etasjer: 20 Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Brannen startet i 20. etasje i den brennbare ytterveggisolasjonen. Et område på 2000 m ² av fasaden ble oppslukt av flammer. Brennende vindusrammer løsnet fra fasaden og falt i bakken.		
Byggverk Taksim First Aid and Research Hospital Sykehus	Sted Istanbul, Tyrkia	Dato 05.04.2018
Beskrivelse Antall etasjer: 14 Kledning: Metallkomposittpaneler av aluminium med brennbar kjerne Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Det kan se ut som brannen startet i en søppelcontainer på utsiden av bygningen under konstruksjon. Brennbar utvendig kledning er årsaken til at brannen spredte seg så raskt oppover fasaden. Kledningen ble valgt av entreprenør fordi den var tre ganger så billig som neste alternativ. Brannen knuste mange vinduer, men nådde aldri inn i selve bygningen (bortsett fra røyk).		

Byggverk Zen Tower Leiligheter	Sted Dubai, De forente arabiske emirater	Dato 15.05.2018
Beskrivelse Antall etasjer: 15 Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Brannen startet på en balkong i 1. etasje etter antennelse av brennbare møbler. Brannen spredte seg til fasaden og videre oppover helt til toppetasjen. Sterk vind pekes på som en viktig faktor for at flammene spredte seg så raskt oppover fasaden. Deler av fasaden løsnet og falt i bakken. Brannen var under kontroll etter slokningsarbeid fra brannvesenet etter 45 minutter.		
Byggverk Kaifeng Apartments Leiligheter	Sted Kaifeng, Kina	Dato 14.03.2019
Beskrivelse Antall etasjer: Ukjent Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Brannen startet i en terrasse tilhørende en leilighet 2. etasje der det var lagret brennbare materialer. Flammene brant seg igjennom den brennbare ytterveggisolasjonen mellom 2. og 17. etasje. Kraftig vind gjorde at flammene klatret oppover fasaden og helt opp til 17. etasje på under 2 minutter.		
Byggverk Nanjing Golden Eagle Kjøpesenter	Sted Nanjing, Kina	Dato 24.05.2019
Beskrivelse Antall etasjer: 44 Antall omkomne/skadde: Ingen skadde Brannen startet i 9. etasje der et hotell ble renovert. Brannen oppsto på grunn av uansvarlig bruk av verktøy til å kutte rørledninger og følgende antennelse av brennbare materialer. Det ble gitt ut en uttalelse om at hovedbidraget til den voldsomme brannen var brennbar isolasjon i fasadesystemet, men denne ble senere benektet av granskingsgruppen. Hovedbidraget skal ha vært fra aluminiumprodukter.		
Byggverk Navn på byggverk ikke funnet Kontorbygg	Sted Luoyang, Kina	Dato 29.05.2019

Beskrivelse

Antall etasjer: Ukjent

Sprinklersystem: Sprinklet innvendig, men brannen spredte seg allikevel ut til fasaden

Antall omkomne/skadde: Ingen skadde

Brann i et kontorbygg med brennbar utvendig kledning med spredning via fasaden fra 3. etasje og helt til toppen av bygningen. Øyenvitner forteller om sterk vind og voldsomme flammer oppover ytterkledningen. Den spesielle utformingen på fasaden kan ha hatt påvirkning på brannspredningen, se Figur 9.



Figur 9: Brann i Luoyang (Ukjent, 2019)

Byggverk	Sted	Dato
Navn på byggverk ikke funnet Boligblokk	Bródno, Warszawa, Polen	14.08.2019

Beskrivelse

Antall etasjer: 10

Antall omkomne/skadde: Ingen skadde

Brannen startet i akkumulert søppel og møbelrester som var lagret inntil fasaden i et innvendig hjørne på bakkenivå. Mest sannsynlig var antennelseskilden en sigarettstump. Hurtig brannspredning i fasade fra bakkenivå og helt opp til tak. Flere øyevitner sier at det ikke så dramatisk ut ved første øyekast, men at det fort ble

dramatisk da brannen klatret oppover fasaden, knuste vinduer både inn til leiligheter og trapperom, og røykla rom i flere av etasjene.

Byggverk	Sted	Dato
The Cube Student Housing Leiligheter	Bolton, England	16.11.2019
Beskrivelse <u>Antall etasjer:</u> 6 (17.84 meter høyt) <u>Kledning:</u> HPL (High Pressure Laminate) <u>Antall omkomne/skadde:</u> 2 skadde Kledningen var tydelig brennbar og bidro til hurtig spredning oppover langs fasaden. En 5-ukers etterforskning konkluderte med at brannen mest sannsynlig skyldtes en sigarettstump i et rom som førte til overtenning og spredning til fasaden ved flammer ut av vindu i 4. etasje. Brannen spredte seg meget raskt til takfot i 6. etasje. Byggverket hadde ikke brannsikker kledning fordi det var 16 cm under kravet i henhold til regelverket.		

3.2 Observasjoner fra fasadebrannene

Fasadebranner forekommer relativt sjeldent (Bonner og Rein, 2020). Når det er sagt så kommer det fram av hendelsene som er gjennomgått at konsekvensene potensielt kan bli store. Omfanget av brannspredningen har i mange av hendelsene vært svært stort, med brannspredning fra bakkenivå til toppen av byggverkene. Dette har ført til store materielle skader, tap av eiendom og økonomiske tap.

Antall omkomne og skadde viser at sikkerheten for liv og helse ikke nødvendigvis har vært lav i mange av byggverkene. Grunnen til at mange av brannhendelsene ikke førte til tap av menneskeliv skyldes blant annet at brannene ikke gjorde store skader innvendig. Der personer har omkommet eller blitt skadet har det i hovedsak vært røyken som har trengt inn i bygningen som har vært hovedårsaken, og ikke direkte flamme- eller varmeeksponering. Også «stay put»-prinsippet under Grenfell-brannen førte til at mange menneskeliv gikk tapt. «Stay put» vil si at beboerne rådes å bli i leiligheten sin hvis en brann oppstår i en annen branncelle i bygningen. De store materielle skadene fører imidlertid til at mennesker blir boligløse, de går på store verditap og byggverkene blir ubeboelige i en tid etter brannen.

Brannvesenets slokkeinnsats klarte i mange tilfeller å forhindre spredning inn i bygningene, men i noen branner nådde ikke slokkeredskapene opp til flammene. Dette skyldtes enten fordi brannene startet utenfor rekkevidden til slokkeredskapene, eller fordi brannspredningen vertikalt oppover var så rask og omfattende at de ikke rakk eller

klarte å begrense den. Innvendig sprinkleranlegg var også effektivt i å forhindre eller forsinke spredning fra fasaden og inn, men hadde liten effekt i å forhindre store materielle skader på utsiden hvis den brennbare fasaden først hadde blitt antent. Ved innvendig sprinkling av byggverk reduseres risikoen betraktelig for overtenning inne i startcellen for brannen, slik at flammer stikkende ut av vinduer i prinsippet ikke skal forekomme. I noen av hendelsene hendte det allikevel, enten på grunn av manglende eller ikke god nok vanntilførsel, for sen aktivering, eller at det rett og slett ikke var sprinklet i akkurat det rommet der brannen startet. I det norske regelverket (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017) så kan utvendige tiltak mot brannspredning reduseres hvis byggverket fullsprinkles innvendig, fordi en ser for seg at det er mindre sannsynlig at brannen skal gå til overtenning inne og spre seg ut til fasaden.

I svært mange av tilfellene skyldes den hurtige vertikale brannspredningen bruk av brennbare materialer og komponenter i fasadesystemet. Spesielt har bruken av metallkomposittpaneller av aluminium med polyetylen-kjerne eller annen plast, ofte i kombinasjon med brennbar isolasjon, bidratt til den voldsomme brannutviklingen. Mange av byggverkene som hadde denne typen kledning er oppført i land som ikke hadde forskrifter eller myndigheter som la reguleringer for bruk av brennbare materialer i ytterveggkonstruksjonene, eller hvor konstruksjonen ikke samsvarte med myndighetskrav. Eksempelvis så ga ikke regelverket i De forente arabiske emirater noen restriksjoner for bruk av brennbare materialer i fasadekonstruksjoner før det i 2012 ble strammet inn. Den oppdaterte «UAE Fire and Life Safety Code» (Dubai Civil Defense, 2018) krever nå at branntesting i fullskala må gjennomføres for å dokumentere brannsikkerheten til fasadekonstruksjoner i alle nye bygninger med høyde over 15 meter. Det ble også startet et omfattende arbeid med å bytte ut tilsvarende kledning av metallkomposittpaneller med brennbar kjerne av plast som kledde eldre høye bygninger. Noen av bygningene hadde også blitt renovert ikke så lenge før brannhendelsen inntraff, med ny kledning som bidro til hurtig brannspredning. Dette understreker et viktig poeng. Selv om man strammer inn kravene i regelverk og forskrifter for nybygg så vil ikke disse nødvendigvis være gjeldende for renovering av eldre byggverk. I Norge stilles det krav i forskrift om brannforebygging (Forskrift om brannforebygging, 2016) at eier av byggverk skal sørge for å oppgradere sikkerhetsnivået i byggverket slik at det minst tilsvarende nivået som fremkommer av de samlede kravene gitt i byggeforskrift 1985 (Byggeforskrift 1985, 1985) eller senere byggegrer.

Branner som startet innvendig og spredte seg ut til fasaden gjennom åpne eller knuste vinduer var den vanligste årsaken til at brannen fikk lov til å spre seg til fasaden. I mange tilfeller hadde også brannstart på balkonger skylden. I noen tilfeller var det lagret søppel eller materialer inntil bygningen som antente fasaden, eller brannen startet på grunn av uansvarlig konstruksjons- eller renoveringsarbeider både på innsiden og utsiden av byggverket. I flere tilfeller der brannen startet i de øvre etasjene ble også deler av fasaden i lavereliggende etasjer antent som følge av at smeltede eller brennende deler av fasaden løsnet og falt ned, for deretter å antenne fasaden nedenfor eller balkonger.

Innvendige hjørner, nisjer mellom balkonger eller kanaler i selve fasadeutformingen blir pekt på i flere av brannhendelsene som en viktig faktor for at brannspredningen vertikalt oppover var så rask. Det kan skyldes at flammene får økte oppdriftskrefter i disse utformingene på samme måte som i en skorstein, at flammene har lettere for å ligge inntil fasaden, og at varmestrålingen øker og gir noe høyere lokale temperaturer. I Byggforskserien 520.310 (SINTEF Byggforsk, 2017) pekes det også på at flammene kan spres lengre opp på fasaden i et innvendig hjørne eller i en nisje, se Figur 10.

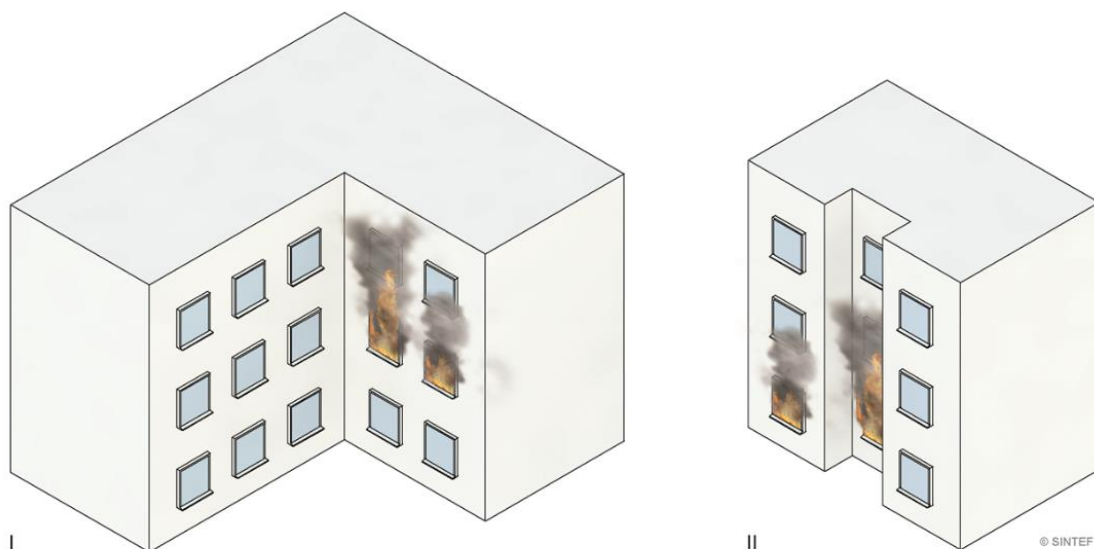


Fig. 414

Brannspredning fra vindu til etasjen over

I. Brann i innvendig hjørne kan gi lengre flammer.

II. Brann i en tilbaketrukket sammenhengende nisje kan gi lengre flammer.

Figur 10: Utforming som kan gi lengre flammer og økt risiko for vertikal spredning

Det ser også ut til at vinden i mange av tilfellene har hatt stor påvirkning på brannspredningen i fasaden. Observasjoner av vindkast som førte flammene tettere inntil fasaden ble gjort i flere av hendelsene, og det ble observert hurtigere vertikal spredning som følge av dette. Spesielt vind i kombinasjon med utforminger som dannet nisjer eller kanaler ble observert å gi økt brannspredning. Vind som fraktet løsnede, brennende deler av fasaden til andre områder av fasaden eller i noen tilfeller til nabobygninger ble også observert. Kraftig vind kan gjøre en brann i fasaden svært uforutsigbar og krevende å slokke da den kan føre til økt lufttilførsel og uforutsette bevegelser. Vinden vil også kunne antas å øke med høyden på byggverket.

Kun en av hendelsene som er gjennomgått har forekommet i byggverk som har et fasadesystem med trevirke (Shepherd's Court). Kledningen var kryssfinérpanel dekket med 1 mm polystyrenskum med et tynt beskyttende lag av metall og dekorativ hvitmaling, montert utenpå EPS/XPS-isolasjon. I en rapport i etterkant av hendelsen ble panelene branntestet (Hosken, 2017). Det viste seg at polystyrenskummet smeltet ved branneksponeering, slik at de tynne metallplatene falt bort og eksponerte både polystyrenskummet og platene av kryssfinér for flammene og oksygen.

Metallkomposittpaneler med brennbar kjerne av plast, spesielt kombinasjonen aluminium og polyetylen-kjerne, har vært en gjenganger i mange av de større brannhendelsene. Denne typen kledning er billig og lett å montere og har derfor blitt brukt i mange byggverk. For å gi en idé om hvor brennbart et materiale er kan en konstant som kalles «brennbarhetsforhold» (engelsk: combustibility ratio) benyttes (Smith, 2019). Forenklet beregnes forholdet ved å dele mengden varme som frigjøres fra forbrenningen av materialet på mengden varme som er nødvendig for å antenne det. Jo høyere tall, jo mer brennbart er materialet. For eksempel har en tresort som rødeik et ganske lavt

brennbarhetsforhold på 3. Brennbarhetsforholdet til typen polyetylen som brukes i fasader ligger på 25 ifølge Dr. Nguyen, leder for en brannteknisk gruppe ved RMIT University i Melbourne (Smith, 2019). Det er over 8 ganger så høyt. Dette er en av faktorene som gjør at disse brannene har spredd seg så raskt. Brennende polyetylen gir mer enn nok varme til å antenne nærliggende polyetylen, slik at spredningen propagerer hurtig. En annen viktig faktor er at polyetylen smelter når det utsettes for høye temperaturer slik at brennende dråper faller nedover og kan antenne lavereliggende materialer. Aluminium leder varme svært godt, og ved høye temperaturer kan det tynne aluminiumslaget lede varmen gjennom til kjernen av polyetylen. Når laget av aluminium smelter tilføres det forvarmede polyetylenet oksygen, som akselererer forbrenningen. Metallkomposittpaneler som beskrevet ovenfor har altså en helt annerledes oppførsel ved brannpåvirkning enn det produkter av trevirke har, med en varmeavgivelse som kan være veldig mye høyere over et kortere tidsrom. Dette øker risikoen for hurtig brannspredning, som igjen går ut over blant annet tilgjengelig rømningstid og tid til å starte slokningsarbeid.

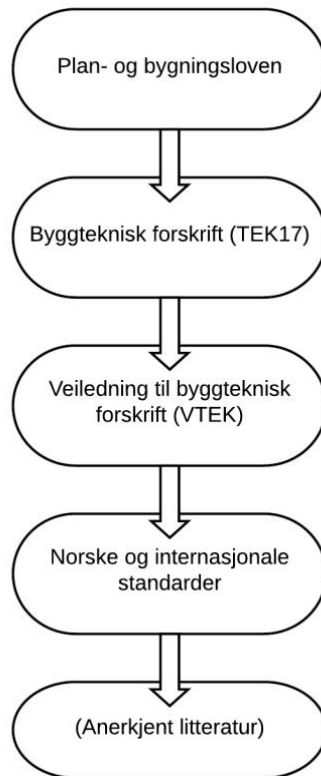
Flere høyprofilerte hendelser (som for eksempel brannen i Grenfell) har ført til diskusjoner, granskninger, endringer og forslag til endringer omhandlende hvor høyt man skal tillate å bygge med brennbare materialer i fasaden. Et viktig spørsmål som bør stilles i denne diskusjonen er om trevirke skal stille på lik linje med for eksempel komposittprodukter som inneholder en kjerne av svært brennbar plast. Brannscenarioene og problemer tilknyttet utforming av fasaden kan imidlertid antas overførbare også til fasadesystemer bestående av trevirke. Det bør også nevnes at der konsekvensene har vært fatale og mange menneskeliv har gått tapt, så har det vært flere andre faktorer og mangler ved byggverkene. Eksempelvis så hadde ikke Grenfell Tower brannalarm- eller sløkkanlegg, det hadde kun én rømningstid og ordre om full evakuering kom ikke før ca. 2 timer etter første alarm om brann.

4 Regelverk

Hierarkiet av lover, forskrifter og veiledninger som er gjeldene i Norge er vist i Figur 11. Sentral for all arealforvaltning og byggevirksomhet i Norge er Lov om planlegging og byggesaksbehandling (Plan- og bygningsloven - pbl, 2008). Loven gir hjemmel til byggt teknisk forskrift (Byggt teknisk forskrift (TEK17), 2017) som inneholder mer spesifikke krav til bygningsutforming, byggesaksforskriften (Byggesaksforskriften (SAK10), 2010) og forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk (Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK), 2013). SAK10 utfyller plan- og bygningslovens regler om byggesaksbehandling, kvalitetssikring og kontroll, om tilsyn, om godkjenning av foretak for ansvarsrett og om reaksjoner der reglene ikke er fulgt.

Den europeiske Byggevareforordningen (CPR) er gjort gjeldende i norsk lovgivning gjennom DOK-forskriften for å fjerne handelshindringer for byggevarer mellom EØS-land og for å sørge for riktig framstilling, omsetning, markedsføring, distribusjon og bruk av produkter. I henhold til DOK skal alle produkter som omfattes av en harmonisert produktstandard være CE-merket. For trekledning gjelder den harmoniserte produktstandard NS-EN 14915 (Standard Norge, 2020a). Det er viktig å presisere at CE-merking ikke er en dokumentasjon på at byggevaren kan brukes i et spesifikt byggverk. Det viser kun at produktet er i overensstemmelse med de grunnleggende kravene i byggevareforordningen, og det må alltid vurderes opp mot nasjonale krav.

Plan- og bygningsloven er overordnet og benyttes i all hovedsak ikke av byggt tekniske rådgivere. I nivået under forskriftene finnes det veiledninger. Veiledning til byggt teknisk forskrift (VTEK) (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) gir mer utfyllende informasjon om hvordan man kan oppnå funksjonskravene gitt i forskriften. I veiledningen blir det også ofte henvist til fremgangsmetoder gitt i standarder for å dokumentere at kravene er oppfylt. Standardene kan være norske standarder (NS), nordiske (INSTA), europeiske (EN) eller verdensomspennende (ISO). For eksempel vil en europeisk standard gjort gjeldende i Norge merkes NS-EN. Anerkjent litteratur som anvisninger fra SINTEF Byggforsk, fagbøker, tekniske rapporter og lignende ligger som et uoffisielt nivå under norske og internasjonale standarder og kan brukes som verktøy eller underlag for å dokumentere eller underbygge at krav er oppfylt.



Figur 11: Hierarki av regelverket i Norge

4.1 Brannprosjektering i henhold til TEK17

Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017) trekker opp grensen for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge. Siden revideringen i 1997 har forskriften vært funksjonsbasert. Kravene var inntil 1997 ytelsesbaserte og gitt i en detaljert form som i stor grad bestemte bygningens utforming og materialbruk uten at kravene definerte et forventet overordnet kvalitets- og sikkerhetsnivå (Direktoratet for byggkvalitet, 2012). Formen som kravene var gitt på ga begrensede muligheter for alternativ utforming av byggverk og ga også begrensninger i valg av tekniske løsninger og materialbruk. Utvikling av nye konsepter, byggemetoder, løsninger, materialer og produkter som ikke samsvarte med de detaljstyrte reglene førte til store prinsipielle endringer i revideringen av forskriften i 1997, da funksjonskrav ble innført. En kan si at den funksjonsbaserte byggeforskriften har endret fokuset til *hva* som skal oppnås, mens den ytelsesbaserte byggeforskriften fokuserte på *hvordan* det skulle oppnås.

Et *funksjonskrav* defineres i veiledningen til byggteknisk forskrift som et overordnet formål eller oppgave som skal oppfylles i det ferdige byggverket. Funksjonskravene er angitt kvalitativt, det vil si at de er beskrevet med ord. På en del områder er det konkretisert hvordan funksjonskravene skal oppfylles ved at det er gitt spesifikke og

målbare krav eller ytelser. De preaksepterte ytelsene er ofte tallfestede (kvantitative) der det er mulig. Samtlige funksjonskrav i byggteknisk forskrift *må* være oppfylt, og kan ikke avvikes av brannrådgiver. Det kan bare gjøres avvik fra funksjonskravene i forskriften dersom det er søkt til kommunen og de har gitt dispensasjon.

Veiledningen til byggteknisk forskrift (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) kommer inn i bildet der funksjonskravene er overordnede. Veiledningen forklarer forskriftens krav og gir preaksepterte ytelser. Disse vil oppfylle eller bidra til å oppfylle ett eller flere funksjonskrav gitt i forskriften. De preaksepterte ytelsene *må* i motsetning til funksjonskravene ikke følges, men ved oppfyllelse av en preakseptert ytelse anses forskriftskravet som oppfylt uten ytterligere dokumentasjon. Det finnes to ulike måter å prosjektere på som kan benyttes for å dokumentere at myndighetenes krav er ivaretatt i byggverket:

- *Forenklet prosjektering*: De preaksepterte ytelsene gitt i VTEK legges til grunn for prosjektering og utførelse uten at det gjøres fravik.
- *Analytisk prosjektering*: Det gjøres fravik fra de preaksepterte ytelsene. Ytelsesnivåene og løsningene bestemmes på bakgrunn av utførlig analyse eller beregninger.

En kombinasjon av de to ovennevnte prosjekteringsmodellene er vanlig, og i mange tilfeller vil hoveddelen av de preaksepterte ytelsene legges til grunn for prosjekteringen. I TEK17 står det at «ved fravik *må* ansvarlig prosjekterende bevise/verifisere at den alternative utformingen er minst like god (gir minst like høy kvalitet og sikkerhet) som den beskrives i veiledningen». Videre angis det at «der et sett av preaksepterte ytelser *må* til for å oppfylle et funksjonskrav, vil reduksjoner i noen av ytelsene vanligvis kreve kompenserende tiltak for å opprettholde det samlede kravsnivået som følger av forskriften». Et kompenserende tiltak defineres av Kollegiet for brannfaglig terminologi (2019) som et «tiltak som iverksettes for å opprettholde brannsikkerhetsnivået ved fravik fra løsninger som er akseptert på forhånd». Tidligere ble uttrykket «teknisk bytte» brukt for å beskrive det samme.

Fravikene som gjøres *må* dokumenteres skriftlig ved analyse. Omfanget av analysen avhenger av hvor omfattende fravik som er gjort fra de preaksepterte ytelsene. Det skal uansett bli foretatt en vurdering av hvilke konsekvenser fraviket eller fravikene får for de berørte kravsområdene. Dokumentasjonen i analysen kan baseres på ulike metoder, gjerne i kombinasjon, og kan bestå av blant annet:

- Risikoanalyse
- Komparativ analyse
- Kvantitativ analyse
- Kvalitativ analyse

Risikoanalyse og komparativ analyse kan gjennomføres i samsvar med NS 3901 (Standard Norge, 2012) eller SN-INSTA/TS 950 (Standard Norge, 2014). Systematikken i NS 3901 kan benyttes både i enkle (kvalitative) og mer omfattende analyser og tilrettelegger for både risikoanalyse og komparativ analyse. Risikoanalyse vil si å systematisk beskrive eller beregne risiko, og utføres ved å kartlegge uønskede hendelser, og årsaker til og konsekvenser av disse (Kollegiet for brannfaglig terminologi, 2019). Komparativ analyse går ut på at man sammenligner det aktuelle byggverket med et

referansebyggverk bestående av preaksepterte ytelser. Verifikasjon av at det aktuelle byggverket har minst like høyt sikkerhetsnivå må oppnås. SN-INSTA/TS 950 gir underlag for kvantitative komparative analyser, det vil si beregninger og simuleringer mot et referansebygg. I begge tilfeller skal analysene utføres som scenarioanalyser, altså analyser av ulike relevante brannforløp.

I et brannsikkerhetsperspektiv er forskriftens overordnede formål å redusere sannsynligheten for tap av liv og helse ved brann til et akseptabelt nivå. Kravene skal også bidra til å ivareta materielle verdier og miljø- og samfunnsmessige forhold ved brann. TEK17 § 11-1 stiller følgende overordnede funksjonskrav til sikkerhet ved brann:

- (1) 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.
- (2) Det skal være tilfredsstillende mulighet for å redde personer og husdyr og for effektiv slukkeinnsats.
- (3) Byggverk skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at sannsynligheten for brannspredning til andre byggverk blir liten.
- (4) Byggverk der brann kan utgjøre stor fare for miljøet eller berøre andre vesentlige samfunnsinteresser, skal prosjekteres og utføres slik at sannsynligheten for skade på miljøet eller andre vesentlige samfunnsinteresser blir liten.

Problemområdet med brannspredning i fasaden er veldig sentralt og vil på mange måter berøre de fleste av de overordnede funksjonskravene til sikkerhet ved brann. Brannspredning via fasaden kan medføre nye spredningsveier og spredning forbi branncellebegrensende bygningsdeler som kan påvirke tilgjengelig rømningstid og sløkkemuligheter og økt risiko for store skader av byggverket hvis det ikke blir vektlagt nok i prosjekteringen.

Byggverk eller ulike bruksområder i et byggverk kategoriseres og plasseres i ulike *risikoklasser* (1-6) basert på trusselen en brann kan innebære for skade på liv og helse. Klassene gir grunnlag for å bestemme hvilke tiltak og ytelser som må til for å sikre rømning og tilrettelegge for redning ved brann. Videre plasseres byggverk eller ulike deler av et byggverk i *brannklasser* ut fra den konsekvensen en brann kan innebære for skade på liv, helse, samfunnsmessige interesser og miljøet. Brannklassene inndeles fra 1-4, der 1 angir liten konsekvens og 4 angir særlig stor konsekvens. Risikoklasse og antall etasjer for byggverket legges til grunn for plasseringen i brannklasse, som vist i Figur 12.

For byggverk i brannklassene 1-3 er det gitt preaksepterte ytelser i veiledningen (Direktoratet for byggkvalitet, 2017), og forenklet prosjektering kan brukes i sin helhet. For byggverk som plasseres i brannklasse 4 har derimot ikke Direktoratet for byggkvalitet gitt preaksepterte ytelser, og brannsikkerheten må alltid dokumenteres ved analytisk prosjektering. Brannklasse 4 omfavner byggverk med mer enn 16 etasjer og/eller byggverk hvor konsekvensen ved brann kan bli meget stor for liv og helse, miljøet eller samfunnet generelt.

Risikoklasse	Antall etasjer			
	1	2	3 og 4	5 eller flere
1	-	BKL 1	BKL 2	BKL 2
2	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
3	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
4	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
5	BKL 1	BKL 2	BKL 3	BKL 3
6	BKL 1	BKL 2	BKL 2	BKL 3

Figur 12: Brannklasser (BKL) for byggverk – VTEK § 11-3 Tabell 1

4.2 Krav vedrørende trefasader i TEK17

Nedenfor vil relevante og aktuelle funksjonskrav og tilhørende veiledning med preaksepterte ytelser bli presentert. Dette gjøres for å få en oversikt over hva forskriften tillater når det gjelder bruk av brennbare materialer i ytterveggkonstruksjoner, hvilke ytelser og tiltak som blir ansett som nødvendige og i hvilke tilfeller det er nødvendig med kompenserende tiltak for å holde brannsikkerheten på et minst likeverdig nivå.

4.2.1 TEK17 § 11-6 Tiltak mot brannspredning mellom byggverk

Følgende funksjonskrav er relevant:

- (1) Brannspredning mellom byggverk skal forebygges slik at
 - a) sikkerheten for personer og husdyr ivaretas
 - b) brann ikke kan føre til urimelige store økonomiske tap eller samfunnsmessige konsekvenser.

Veiledning til første ledd:

Første ledd beskriver hensikten med bestemmelsene i § 11-6.
 Brannspredning mellom byggverk kan forebygges ved å

- a. etablere tilstrekkelig avstand mellom byggverkene, slik at varmestråling, flammepåkjønning og nedfall av brennende bygningsdeler ikke antenner nabobyggverk, eller
- b. benytte brannskillende bygningsdeler med tilstrekkelig brannmotstand, bæreevne og stabilitet.

I all hovedsak skal det være en avstand på minimum 8,0 m til annet byggverk. Hvis dette ikke er tilfelle så må det benyttes branncellebegrensende bygningsdel eller brannvegg (for byggverk med mønehøyde over 9,0 m) for å hindre spredning til og inn i nabobyggverk, eller dokumenteres ved analyse at brannspredning er forebygget. Brannvegg skal være ubrennbar, men kan fravikes med trekledning hvis det dokumenteres analytisk.

Avstanden på 8,0 m er viktig med tanke på brannspredning ved varmestråling og gnister og strålingsberegninger legges ofte til grunn for å dokumentere opprettholdt sikkerhet der avstanden er mindre enn 8,0 meter (SINTEF Byggforsk, 2017). Strålingsberegninger kan utføres i henhold til SN-INSTA/TS 950 (Standard Norge, 2014), som en del av en komparativ analyse.

4.2.2 TEK17 § 11-8 Brannceller

Hovedhensikten med å dele byggverk opp i brannceller er å forsinke og begrense brann- og røykspredning utenfor den branncellen der brannen starter. Følgende funksjonskrav er relevant:

(2) Brannceller skal være utført slik at de forhindrer spredning av brann og branngasser til andre brannceller i den tiden som er nødvendig for rømning og redning.

Veiledning til annet ledd:

H. Forebygging av utvendig brannspredning mellom brannceller i ulike plan

Spredning av brann fra et vindu eller en annen åpning i ytterveggen til fasaden og videre via takfoten eller gesimsen til et kaldt loft eller brennbart tak, er en vanlig årsak til rask og omfattende brannspredning.

Preaksepterte ytelser til annet ledd:

1. Sannsynligheten for brannspredning mellom brannceller i ulike plan, må reduseres på en av følgende måter:

- a. Kjøllesone (vertikal avstand) mellom vinduer er minst lik høyden til underliggende vindu og utført med brannmotstand minst E 30.
- b. Annenhver etasje er utført med fasade minst E 30.
- c. Inntrukne fasadepartier er på minimum 1,2 meter, eller utkragede bygningsdeler med samme brannmotstand som etasjeskiller er minimum 1,2 meter ut fra fasadelivet.

- d. Byggverket har automatisk sprinkleranlegg.

Der hvor forskriften krever automatisk slokkeanlegg, angir de preaksepterte ytelsene at anlegget må være et automatisk sprinkleranlegg som er prosjektert og utført i samsvar med NS-EN 12845 (Standard Norge, 2020c). I boligbygninger, og deler av byggverk avsatt til boligformål, kan anlegget prosjekteres og utføres etter NS-EN 16925 (Standard Norge, 2019c). I byggverk der det installeres et automatisk sprinkleranlegg i henhold til standard, er det mulig å velge reduserte preaksepterte ytelser uten at dette krever analyse. Det er mulig å benytte andre typer automatiske slokkeanlegg enn sprinkleranlegg, men dette forutsetter at det foreligger dokumentasjon som viser at det alternative anlegget vil gi minst likeverdig beskyttelse og pålitelighet. Automatisk slokkeanlegg er påkrevd for byggverk eller del av byggverk som er i risikoklasse 4 (boligbygninger) og hvor det kreves heis, og for byggverk i risikoklasse 6 (sykehus, hoteller, mv.). Ved oppføring av byggverk som inngår i en av disse risikoklassene vil dermed automatisk sprinkleranlegg være påkrevd, og det vil ikke kunne bli inkludert som et kompensierende tiltak i analyser. I henhold til TEK17 § 12-3 stilles det krav om heis i alle bygninger med tre etasjer eller flere som har boenhet.

Ved å sprinkle byggverket innvendig så er det altså mulig å velge bort andre tiltak som skal begrense den utvendige vertikale brannspredningen i fasaden. Statistikk har vist at sprinkleranlegg er et robust og pålitelig system som i de fleste tilfeller hindrer et rom fra overtenning (Ahrens, 2017; Mostue og Opstad, 2002). Hvis en brann av ulike grunner allikevel har spredt seg til fasaden, for eksempel ved utvendig brannstart så kan det stilles spørsmål ved sprinkleranleggets virkning når det gjelder å begrense den utvendige vertikale brannspredningen i fasaden.

4.2.3 TEK17 § 11-9 Materialers og produkters egenskaper ved brann

Relevante funksjonskrav:

(1) Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at det er liten sannsynlighet for at brann skal oppstå, utvikle og spre seg. Det skal tas hensyn til byggverkets bruk og den nødvendige tiden for rømning og redning.

(2) Materialer og produkter skal ha egenskaper som ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Det skal legges vekt på muligheten for antennelse, hastigheten av varmeavgivelse, røykproduksjon, utvikling av brennende dråper og tid til overtenning.

Veiledning til annet ledd:

E. Utvendige overflater

Utvendige overflater på vegger og tak vil vanligvis ikke ha avgjørende betydning i det tidlige brannforløpet med mindre byggverket antennes utvendig, men kan ha stor betydning for brannspredningen når brannen har blitt mer omfattende (etter overtenning).

Preaksepterte ytelser til annet ledd:

1. Utvendige overflater er tilfredsstillende når det benyttes produkter med egenskaper som angitt i tabell 1A og 1B, med unntak gitt i nr. 2 til 4.
2. Yttervegg i byggverk i brannklasse 2 og 3 kan ha utvendig overflate som tilfredsstillende klasse D-s3,d0 [Ut 2], når enten
 - a. ytterveggen er utformet slik at den hindrer brannspredning i fasaden, eller
 - b. byggverket er i risikoklasse 1, 2 og 4 og har inntil fire etasjer, og det er liten fare for brannspredning til og fra nabobyggverk.
3. Overflater i hulrom i ytterveggkonstruksjoner betraktes på samme måte som utvendig overflate og må ha minst like gode branntekniske egenskaper.

Tabell 1A og 1B angir preakseptert ytelse for utvendig overflate på ytterkledning til D-s3,d0 for byggverk i brannklasse 1 og B-s3,d0 for byggverk i brannklasse 2 og 3. I praksis betyr dette at ubehandlet trekledning kan benyttes i byggverk inntil 4 etasjer, så lenge faren for spredning til og fra nabobyggverk er liten. Normalt oppnås dette med avstand større enn 8 meter mellom byggverk. For byggverk over 4 etasjer så kan brannhemmet trekledning med klassifisering B-s3,d0 benyttes. Bruk av ubehandlet trekledning i byggverk som er høyere enn 4 etasjer regnes som et fravik fra de preaksepterte ytelsene og må vurderes og dokumenteres av ansvarlig prosjekterende i hvert tilfelle.

Preakseptert ytelse 2.a. til annet ledd «når ytterveggen er utformet slik at den hindrer brannspredning i fasaden» er for lite konkret til å være en preakseptert ytelse. Den gir mye rom for tolkning og subjektive vurderinger og må i de aller fleste tilfeller dokumenteres med en form for analyse.

En utredning om branntekniske ytelser for kledninger og overflater har blitt utført av RISE Fire Research på oppdrag fra Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) (Steen-Hansen, 2018). Basert på blant annet denne utredningen har DiBK kommet med forslag til endringer av preaksepterte ytelser for utvendig kledning på yttervegger gitt i veiledning til § 11-9 (Direktoratet for byggkvalitet, 2018). Det har blitt foreslått å endre fra klasse B-s3,d0 til klasse A2-s1,d0 i

- byggverk med flere enn 8 etasjer i risikoklasse 1, 2 og 4 (for eksempel kontorbygg, bolig),
- byggverk med flere enn 4 etasjer i risikoklasse 3, 5 og 6 (for eksempel skole, sykehus).

En endring som dette vil følgelig kunne redusere utbredelsen og bruken av trekledning i fasader. Skillet ved 8 etasjer for bygninger i risikoklasse 1, 2 og 4 settes med bakgrunn i at brannvesenets innsatsmuligheter reduseres i byggverk høyere enn dette. Skillet ved 4 etasjer for byggverk i risikoklasse 3, 5 og 6 settes fordi byggverk i disse risikoklassene vil ha større personantall. Nødvendig rømningstid vil da være lengre, og det kan i større grad være behov for assistert rømning. Dette kan forsinke slukkeinnsatsen. Som alternativ foreslås det at ytterveggkonstruksjoner som inneholder produkter med lavere klasse enn det som er preakseptert kan dokumenteres ved storskalatesting etter SP Fire 105, men kun ved bruk av isolasjon som tilfredsstillende klasse A2-s1,d0.

5 Case

Nedenfor følger to eksempler på bygninger som i de senere årene har blitt oppført i Norge. Begge bygningene er konstruert i massivtre og har utvendig kledning av tre. Hvilke løsninger og tiltak som er gjort for å sikre en brannsikker fasade i begge bygningene er undersøkt nærmere i dette kapitlet.

5.1 Mjøstårnet, Brumunddal

Mjøstårnet i Brumunddal er rangert som verdens høyeste trehus med sine 85,4 meter (Guinness World Records Limited, 2020). Bygningen består av 18 etasjer og omfatter hotell, leiligheter, kontorlokaler, restaurant og et tilknyttet svømmeanlegg. Bæresystemet består i all hovedsak av limtrekonstruksjoner, med trappe- og heissjakter i massivtre. Mjøstårnet ble ferdigstilt i mars 2019. Bygget er vist i Figur 13.

Mjøstårnet er plassert i brannklasse 4 og derfor prosjektert analytisk. Med sine 18 etasjer og bæresystem i tre er det av interesse for denne oppgaven å se på hvilke tiltak og vurderinger som er blitt gjort med tanke på brannsikkerheten i fasaden til dette signalbygget, som måtte dokumenteres at står gjennom et fullstendig brannforløp.

Fasaden til Mjøstårnet er ytterveggelementer utført i isolert stål/tre bindingsverk med mineralull med utvendig luftet trekledning i stående panel. Ytterveggen er plassert på utsiden av limtrekonstruksjonen. Mjøstårnet har brannimpregnert utvendig kledning av furu som tilfredsstiller klasse B-s1,d0. Den brannimpregnerte utvendige kledningen er av en type som er dokumentert å bevare sine branntekniske egenskaper over tid uten overflatebehandling. Klasse B-s3,d0 er det strengeste kravet til utvendig kledning i regelverket i Norge. Det er derimot definert som brennbart, dog begrenset, og det er ikke mulig å utelukke at vertikal brannspredning kan forekomme i fasaden. I et bygg som er 14 etasjer høyere enn det som er preakseptert å bygge med brennbare konstruksjoner anses tiltak for å redusere denne risikoen som helt nødvendige.

I Mjøstårnet er det krav om automatisk slokkeanlegg i henhold til TEK17. Risikoen for brannspredning ut gjennom vindu som følge av overtent rom ble tatt hensyn til ved blant annet å oppgradere sikkerhets- og pålitelighetsnivået på sprinkleranlegget. Sprinkleranlegg ble prosjektert i henhold til NS-EN 12845 (Tillegg F OH3, dobbel vannforsyning) (Standard Norge, 2020c). I tillegg er synlige brennbare overflater innvendig begrenset til limtrebjelkene for å redusere bidrag til økt brannenergi. Resterende overflater er gips.



Figur 13: Mjøstårnet (Mjøstårnet, 2019)

For å takle brannscenarioet med utvendig brannstart og -påkjenning ved bakkeplan er kledningen på de to nederste etasjene ubrennbar (A2-s1,d0). Fra Figur 13 kan det skimtes smale felter med brannimpregnert kledning også her. Dette er tatt hensyn til ved at det er installert fasadesprinkleranlegg på de to nederste etasjene. Fasadesprinkleranlegget skal utløses automatisk ved branndeteksjon.

Tiltak for å begrense brannspredning på utsiden av kledningen i fasaden og i luftespalten bak kledningen er utført. Vannbord som bryter både kledningen og luftespalten bak kledningen er montert horisontalt i hver etasje for å hindre vertikal brannspredning mellom etasjer. Det er montert horisontale ventilerende brannstopp (hulromsventiler med brannmotstand EI 60) over vinduer fra 7. etasje og oppover for å hindre at flammer ut av vinduer kan spres til hulrommet bak kledningen. Bakgrunnen for denne vurderingen er at brannvesenets høyderedskaper for slokking når opp til 6. etasje. Vertikale tette lekter er montert på siden av alle vinduer. Det er også kjølesoner med høyde lik underliggende vindu i fasaden, bortsett fra mellom de største vinduene ytterst mot høyre og venstre, se Figur 13. I etasjene 12 til 17 er det på byggets framside

balkonger med ubrennbar underside (se Figur 13). Her er det også vurdert at preakseptert ytelse for brannklasse 3 om utkragede bygningsdeler med samme brannmotstand som etasjeskiller som er minimum 1,2 meter ut fra fasadelivet gir nødvendig brannsikkerhet.

5.2 Moholt 50/50, Trondheim

Moholt 50/50 i Trondheim er en samling av 5 studentboligtårn på 9 etasjer hver (høyde 27 meter) med til sammen 632 hybelenheter. 1. etasje i de 5 bygningene er næringsarealer som inneholder blant annet legesenter, treningssenter, fellesvaskeri, frisør, aktivitetsrom og butikk. 2.-9. etasje består av studentboliger. Kjeller og 1. etasje har bærekonstruksjon i betong, mens 2.-9. etasje kun består av massivtrekonstruksjoner. Byggene er definert i brannklasse 3 og risikoklasse 4. Med sine 9 etasjer og bæresystem i tre tilfredsstillende ikke disse byggene de preaksepterte ytelsene som kun tillater opptil 4 etasjer i brennbare konstruksjoner.

Fasaden på studentboligtårnene er et fasadeisolasjonssystem som består av ubrennbare steinullplater og brannimpregnerte lekter (B-s1,d0). Studentboligtårnene har utvendig luftet kledning av furu som tilfredsstillende klasse D-s3,d0. Dette er et fravik av preakseptert ytelse, som krever klasse B-s3,d0. Kompenserende tiltak for å begrense brannspredningen i fasaden måtte derfor gjennomføres. Automatisk sprinkleranlegg er installert for å hindre at et rom går til overtenning, som kan føre til flammer stikkende ut av vinduer og brannspredning til den brennbare utvendige kledningen i fasaden. Automatisk slokkeanlegg er påkrevd for disse byggene, og det kan derfor ikke regnes som et rent kompenserende tiltak. Sprinkleranlegget er derimot prosjektert i henhold til NS-EN 12845 (Tillegg F OH1), der oppgradering etter Tillegg F kom som følge av resultatene av branntestene som ble gjennomført i forbindelse med prosjektet (Hox, 2015). I hyblene er det synlige eksponerte vegger av tre. Dette vil bidra til å gi økt brannenergi i rommet og kortere tid til overtenning, og var en av grunnene til det økte pålitelighetsnivået til sprinkleranlegget. Økt pålitelighet på sprinkleranlegget vil redusere sannsynligheten for brannspredning til fasaden ved flammer ut av vinduer. Sprinkleranlegget er en oppgradering sammenlignet med preakseptert ytelse for byggverk i brannklasse 3 og dermed kompenserende.

Utvendig brannstart og -påkjenning inntil bygningene ved bakkenivå og videre spredning oppover fasaden er tatt hensyn til ved å benytte brannimpregnert utvendig kledning (B-s1,d0) over hele fasadens 1. etasje. Dette er i utgangspunktet preakseptert ytelse for den utvendige kledningen og kan dermed ikke regnes som et kompenserende tiltak utover preakseptert ytelse. Avstanden mellom studentboligtårnene er 13 meter på det minste slik at funksjonskravet om sikkerhet for brannspredning mellom byggverk anses å være ivarettatt.

For å håndtere en estimert krymping på 5-8 cm i hele bygningens høyde og hindre eventuelle sprekker i fasadekledningen ble det utviklet en «teleskopfasade» som ivaretar krymping samtidig som hvert lag beskytter endeveden til nedenforliggende lag (Norske arkitekters landsforbund (NAL), 2017). Overlappene kan sees i Figur 14. Utformingen danner en utstikkende barriere i selve fasaden i overlappene som vil gjøre det

vanskeligere for eventuelle flammer å spre seg forbi og videre oppover fasaden. Samtidig skal tette horisontale lekter mellom kledningene i overlappet hindre brannen i å spre seg inn i luftespalten.



Figur 14: Moholt 50/50 (Myhre, 2018)

For å redusere risikoen for brannspredning i luftespalten bak kledningen er det brukt brannstopp. Det er montert horisontale ventilerende brannstopp (hulromsventiler med brannmotstand EI 60) ved bakkenivå ved inngang til luftespalte, i etasjeskille mellom 1. og 2. etasje og mellom 5. og 6. etasje. På det meste er det altså fire etasjer med kontinuerlig luftespalte før det brytes horisontalt med hulromsventiler. Kombinasjonen med hulromsventiler og brannimpregnert utvendig kledning på bakkenivå skal hindre spredning til fasade fra utvendig brannstart. Vertikale tette lekter av brannimpregnert trevirke (B-s1,d0) er brukt for å dele opp luftespalten og hindre horisontal brannspredning i hulrommet bak kledningen. Det er også montert beslag i overkant av alle vinduer for å hindre en eventuell brannspredning ut fra vindu og inn i luftespalten bak kledningen. Vinduene i fasaden er relativt høye, og det er ikke kjølesoner mellom vinduene i fasaden. Brannvesenet har muligheter for slukke- og redningstjenester i hele bygningens høyde for alle de 5 studentboligtårnene.

Studentskipnaden i Gjøvik, Ålesund og Trondheim (Sit) (som er eier) har opplevd problemer med tagging på de nederste etasjene i studentboligtårnene som består av brannimpregnert kledning (K. L. Friquin, personlig kommunikasjon, 30. april 2020). På grunn av usikkerheten knyttet til varigheten på slik impregnering samt at de er noe usikre på hvordan den reagerer på behandlingen som gjøres for å lettere få vekk tagging ble det søkt etter nye løsninger. Et system bestående av kameradetektorer skal overvåke og varsle om eventuell brannstart i fasadene i 1. etasje av studentboligtårnene. Fasaden vil vaskes ren når dette systemet er montert, og den brannimpregnerte kledningen vil ikke byttes ut. Ved prosjektering ble brannimpregnert trekledning og strategisk plassering av hulromsventiler vurdert som et godt nok tiltak for å forhindre utvendig

brannstart av fasaden. Det er uvisst i hvilken grad den brannimpregnerte kledningen opprettholder sine branntekniske egenskaper etter å ha blitt vasket ren. I utgangspunktet så er brannimpregnert kledning preakseptert ytelse, og innføring av et aktivt brannsikringstiltak bestående av kameradetektorer i tillegg til hulromsventiler synes å være et godt kompenserende tiltak.

6 Tiltak mot brannspredning i trefasader

Egenskapene til materialer ved brannpåvirkning er av stor betydning for om en brann kan spre seg i en fasade. Bruk av brennbare materialer som tre medfører at man er nødt til å innføre tiltak for å sikre en fasade som er brannsikker nok. I dette kapitlet vil ulike områder som erfaringsmessig har vært problematiske bli sett nærmere på og ulike tiltak som er ment å redusere risikoen for brannspredning til og i fasaden vil bli gått igjennom.

6.1 Automatisk slokkeanlegg

Automatiske slokkeanlegg går under betegnelsen aktive brannsikringstiltak og aktiveres ved en brann. Formålet med automatiske slokkeanlegg er å redusere tap av liv, helse og materielle verdier som følge av brann. Hensikten er å slokke eller kontrollere/begrense en brann i vekstfasen inntil den kan slokkes ved bruk av andre midler. Slokkeanleggene aktiveres normalt ved deteksjon uten menneskelig innblanding og kan derfor begrense en brann tidlig i brannforløpet. De aller fleste automatiske slokkeanlegg er vannbaserte.

Sorthe (2015) oppgir følgende viktige barrierefunksjoner for automatiske slokkeanlegg:

- Slokke brannen eller begrense brannutvikling
- Hindre brannspredning
- Redusere termisk påvirkning mot konstruksjoner og installasjoner
- Øke tilgjengelig rømningstid
- Øke tilgjengelig innsatstid for brannvesenet
- Redusere nødvendig slokkeinnsats for brannvesenet

6.1.1 Automatisk sprinkleranlegg

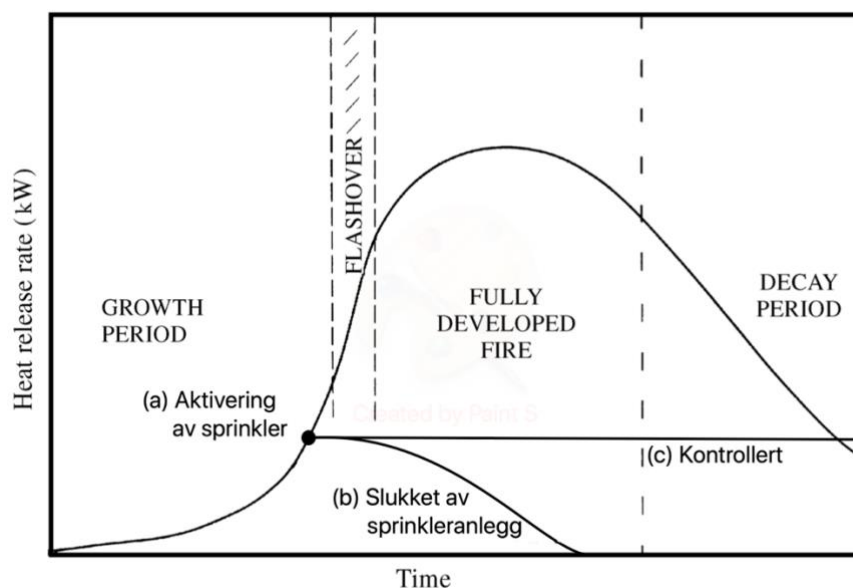
Et automatisk sprinklersystem vil redusere sannsynligheten sterkt for at brannen vil utvikle seg til overtenning. Med et slikt anlegg er risikoen veldig lav for spredning ut av vindu og videre opp til vinduer i overliggende etasjer (SINTEF Byggforsk, 2017). Et sprinkleranlegg består av et nettverk av vannrør med sprinklerhoder montert i en gitt avstand fra hverandre. Inne i hvert sprinklerhode finnes et varmekfølsomt element som vil reagere på en gitt temperatur. Når denne temperaturen nåes vil den aktuelle sprinkleren utløses, vannet treffer en spredeplate og fordeles over sprinklerens dekningsareal. Vannet vil virke avkjølende ved at det absorberer varmen fra brannen til det fordamper.

Sprinkleranlegg utføres gjerne som enten våt- eller tørranlegg. I et våtanlegg inneholder alle rørene vann, ført helt ut til hvert enkelt sprinklerhode til enhver tid. I et tørranlegg er alle rør tørrlagte og trykksatte med luft. Ved deteksjon av nødvendig

temperaturøkning for aktivering vil sprinklerventilen åpnes og rørene fylles med vann som følge av redusert lufttrykk. Tørre anlegg benyttes først og fremst der det er økt frostfare, og trykksettingen med luft kan medføre en ekstra usikkerhet ved utløsning.

Figur 15 viser et typisk brannforløp i et rom og veldig forenklet hvordan aktivering av sprinklere kan påvirke brannforløpet:

- (a) Aktivering av sprinkleranlegget i vekstfasen til brannen ved at et sprinklerhode detekterer en gitt temperatur.
- (b) Brannen slukkes og varmeavgivelsesraten til brannen synker til null i løpet av en viss tid.
- (c) Brannen kontrolleres av utløst(e) sprinkler(e). Økningen av varmeavgivelsesraten stanses og brannen fortsetter å brenne med tilnærmet konstant hastighet.



Figur 15: Brannforløp med aktivering av sprinkleranlegg (basert på Drysdale, 2011)

Automatisk sprinkleranlegg er i veiledningen til TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) angitt som preakseptert ytelse for et automatisk slukkeanlegg. Det forutsettes at det prosjekteres og utføres etter NS-EN 12845 (Standard Norge, 2020c). I boligbygninger, og deler av byggverk avsatt til boligformål, kan anlegget prosjekteres og utføres etter NS-EN 16925 (Standard Norge, 2019c), som har erstattet NS-INSTA 900-1 (Standard Norge, 2013). Automatisk slukkeanlegg er påkrevd for byggverk eller del av byggverk som er i risikoklasse 4 (boligbygninger) og hvor det kreves heis, og for byggverk i risikoklasse 6 (sykehus, hoteller, mv.). I henhold til TEK17 § 12-3 stilles det krav om heis i alle bygninger med tre etasjer eller flere som har boenhet (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017). Det vil si at det normalt kreves automatisk sprinkleranlegg i alle høye boligbygninger med trefasader, og det kan ikke sees på som et kompensierende tiltak i seg selv.

Boligsprinkleranlegg skal ha hurtigutløsende sprinklerhodet med varmefølsomt element som utløser sprinklerhodet ved 57 °C. Typisk utløsningstemperatur for et vanlig

sprinkleranlegg er 68 °C (Brannteknisk forening, 2019). Et vanlig sprinkleranlegg prosjektert etter NS-EN 12845 vil ha et høyere sikkerhetsnivå enn et boligsprinkleranlegg, på grunn av strengere krav til brannmotstand mellom sprinklet og usprinklet areal (EI 60) og høyere dimensjonerende vannmengde.

NS-EN 12845 inneholder ulike fareklasser for prosjektering av sprinkleranlegg basert på virksomhet og brannenergi i byggverket: lav fareklasse (LH), ordinær fareklasse (OH) og høy fareklasse (HH). Lav fareklasse omfatter virksomheter som innebærer liten brannbelastning og lav brennbarhet, der ingen enkeltcelle er større enn 126 m² med en brannmotstand på minst 30 min. Fra Tillegg A i standarden plasseres kontorer og hoteller i OH1 (gitt at de ikke er i LH). Det er også mulig å benytte Tillegg F (gjort i både Mjøstårnet og Moholt 50/50), som inneholder ytterligere tiltak for å forbedre systemets pålitelighet og tilgjengelighet. Dette omfatter blant annet: bruk av hurtigutløsende sprinklere, anleggene skal deles inn i soner etter Tillegg D med høyst 2 400 m² beskyttet gulvareal (og kun én sone skal kunne stenges om gangen) og systemet skal ha minst én forbedret enkel vannforsyning. Oppgradering av sprinkleranlegget i henhold til Tillegg F vil føre til et bedre sikkerhetsnivå enn det som er preakseptert ytelse, og det vil være et kompensierende tiltak som går utover det som er påkrevd.

I en SINTEF-rapport ble det konkludert med at det er 95 % sannsynlighet for at et sprinkleranlegg virker (Mostue og Opstad, 2002). Omfattende statistikk fra 2010-14 i USA (Ahrens, 2017) viser at i bygninger der sprinkleranlegg var installert og brannen var stor nok til å aktivere sprinklerne, ble sprinklerne utløst i 92 % av tilfellene. Når de ble utløst fungerte de effektivt i 96 % av tilfellene. Det gir en pålitelighet på 88 %. I 59 % av tilfellene der sprinklerne ikke fungerte som de skulle skyldtes det at vannforsyningen hadde blitt stengt av. I Tillegg F så er det påkrevd minst én ekstra vannforsyning og påliteligheten kan dermed antas å være noe høyere. Automatisk sprinklersystem er en pålitelig og robust teknologi som vil redusere sannsynligheten for brannspredning til fasaden betraktelig, men det er alltid mulig å stille spørsmål ved om sikkerheten er ivaretatt hvis påliteligheten ikke er 100 %. Når man tar i betraktning at en fullt utviklet rombrann med flammer stikkende ut av vinduet anses som det alvorligste og mest kritiske scenarioet for brannspredning til fasaden (Östman og Mikkola, 2018) vil det for høye bygninger med økt innvendig brannenergi være helt nødvendig med et automatisk sprinkleranlegg prosjektert etter NS-EN 12845 med Tillegg F for å sørge for et sikkerhetsnivå som er godt nok.

6.2 Brannsikring av luftespalte

Et kritisk område for å hindre spredning av brann i fasaden er luftespalten bak den utvendige kledningen. Hulrommet er helt nødvendig for å sikre tilstrekkelig lufting, drenering og uttørkingsmuligheter for ytterveggkonstruksjonen slik at man unngår fuktproblemer. Luftespalten kan også føre til rask og skjult brannspredning til andre deler av bygningen dersom utforming, materialer og løsninger tillater det. I tillegg vil den være vanskeligere å identifisere og slokke for brannvesenet, da den foregår i det skjulte. En ubeskyttet luftespalte uten oppdeling vil gi en enkel vei for flammer, varme gasser og røyk å forplante seg i. Oppdriftskrefter på grunn av de høye temperaturene bidrar til at

disse spres oppover i hulrommet sammen med oppvarmet luft. Undertrykket som skapes gjør at kald luft trekkes inn i nedre del slik at det blir oksygen tilgjengelig til forbrenning, samtidig som materialene i overkant av flammene blir varmet opp. Dette gjør at flammespredningen kan akselerere oppover luftespalten i fasaden, som fungerer som en skorstein. Tidligere forskning på branner i ventilerte kledninger har konkludert med at hvis en brann spres både på utsiden av kledningen og i hulrommet så vil brannen i hulrommet strekke seg så mye som 5-10 ganger høyere på samme tid (Colwell og Baker, 2013). Videre viser det seg at det har liten betydning om overflatene i luftespalten er brennbare eller ikke. Det skyldes nettopp at de uforbrente gassene i røyken i hulrommet antennes etterhvert som de stiger og møter luft med oksygen. Tiltak for å hindre spredning av brann til og i hulrommet må dermed anses å være svært viktig for å bedre brannsikkerheten til fasader.

Nødvendigheten av lufting og nødvendigheten av å forebygge brann i hulrommet er to prinsipper som jobber mot hverandre. Gjennomgående og kontinuerlig luftespalte må til for å få god nok luftgjennomstrømning. På den andre siden så ønsker man å tette deler av luftespalten for å forhindre spredning av flammer.

Byggforskserien 520.308 (SINTEF Byggforsk, 2010) adresserer behovet for brannstopp i hulrommet i ventilerte brennbare kledninger. For at en brann ikke skal spres til andre brannceller eller medføre urimelige brannskadeomfang, anbefales brannfeltoppdeling med brannstopp ved:

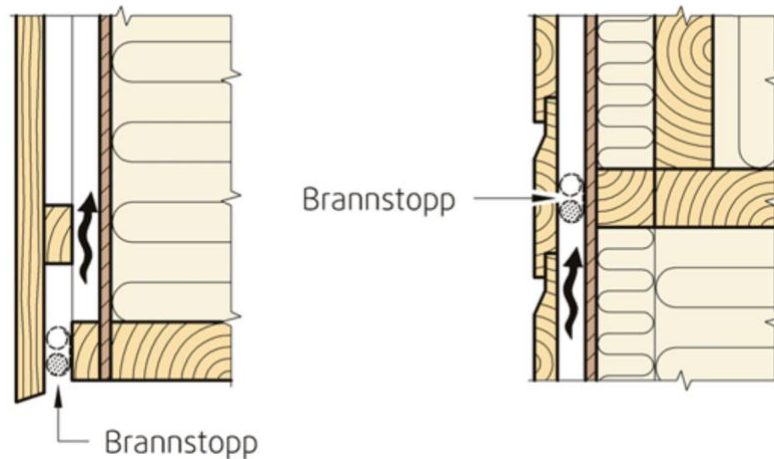
- Alle overganger mellom brannceller
- Hjørner
- Åpningen for innluft i nedkant
- Åpningen for utluft under takfot

Byggforskserien 520.310 (SINTEF Byggforsk, 2017) sier også at «avstanden mellom de horisontale og vertikale brannstoppene må vurderes for hver bygning, men i utgangspunktet bør det monteres brannstopp ved hvert etasjeskille og hvert leilighetsskille». Videre står det også at «ventilerte, horisontale brannstopp kan benyttes som en ekstra sikkerhet mot brannspredning oppover i hulrommet bak utvendig kledning».

Det kan være vanskelig å vurdere hvor store arealer man kan tillate i luftespalten uten oppdeling med brannstopp. Regelverket slik som det er nå er ikke veldig konkret, og i VTEK (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) nevnes ikke brannstopp. Brannstopp blir omtalt som et tiltak som kan hindre vertikal brannspredning i fasaden i blant annet Byggforskserien 520.308 og 520.310. Den preaksepterte ytelsen om at overflater i hulrommet må betraktes på samme måte som utvendig overflate og må ha minst like gode branntekniske egenskaper kan gi rom for å tro at så lenge denne ytelsen er oppfylt så vil også sikkerheten mot spredning i luftespalten være tilstrekkelig. Forskning og tidligere branner har som nevnt vist at en brann kan spres også i luftespalter med ubrennbare overflater. Innføring av preaksepterte ytelser som omhandler brannstopp i hulrom kan være nødvendig for byggverk over et gitt antall etasjer, og ikke kun som anbefalte tiltak i Byggforskserien.

Vertikale brannstopp kan være tette, mens horisontale brannstopp må være ventilerte for å opprettholde vertikal lufting. Gjennomføringer og lufteåpninger må utføres slik at brannmotstanden ikke svekkes, det vil si at brannstopp må utføres med tilsvarende

brannmotstand som konstruksjonen for øvrig. Anbefalt plassering av horisontale brannstopp er vist i Figur 16, montert i nedre del av kledning og i flukt med mellombjelkelag.



Figur 16: Plassering av horisontale brannstopp (SINTEF Byggforsk, 2010)

Et tett brannstopp tillater ikke luftgjennomstrømning og kan være oppbygd av trelekter eller andre materialer med tilstrekkelig klassifisering. I bygninger i brannklasse 2 og 3 må det i utgangspunktet benyttes brannimpregnerte lekter som tilfredsstiller klasse B-s3,d0. Ventilerte brannstopp tillater luftgjennomstrømning i normaltilstand, men har som hensikt å forsinke eller hindre brannspredning ved en eventuell brann. Ventilerte brannstopp kan for eksempel bestå av:

- en intumescentmasse som sveller og tetter hulrommet ved brannpåvirkning,
- lekter av tre eller annet materiale som danner smale passasjer for luftgjennomstrømning,
- gitterstrukturer av metall, eller
- kombinasjoner av de ovennevnte.

Ventilerte brannstopp som kun består av ekspanderende masse vil sørge for god nok lufting i hulrommet, men ved flammepåvirkning fra en raskt utviklet brann kan brannen rekke å spre seg forbi brannstoppet før hulrommet tettes av den ekspanderende massen. Variantene som har smale passasjer for luftgjennomstrømning har kun en kortsiktig virkning og er ment å forsinke brannspredning, ikke forhindre den. Det finnes en hulromsventil på markedet bestående av en svellende intumescentmasse som tetter hulrommet etter en viss tid og en netting som hindrer flammer og gnister fra å trenge inn fra første stund. Generelt så er det stor forskjell på hvor raskt de svellende massene reagerer på varmpåkjenningen og effekten vil derfor variere.

Anbefalingen om brannstopp ved alle overganger mellom brannceller kan være vanskelig å få til i praksis, spesielt for høyere bygninger. Tette vertikale brannstopp av for eksempel trelekter eller andre konstruksjoner vil være overkommelig. Kravet om at horisontale brannstopp må være ventilerte gjør at det er vanskeligere å oppnå tilstrekkelig brannsikkerhet. Man er i de aller fleste tilfeller da nødt til å montere

horisontale ventilerte brannstopp i hvert etasjeskille hvis man skal følge anbefalingen, noe som gir økte kostnader i høye bygninger. Det er færre produkter med god nok brannmotstand, og de fleste produkter kan ikke fullt ut fra første sekund hindre gnister og flammer fra å trenge inn eller forbi hulrommet samtidig som nødvendig lufting opprettholdes. Hvilke produkter og løsninger som er å anbefale til bruk i luftespalten i høyere bygninger er vanskelig å generalisere. Prisnivå på produkter vil alltid være en faktor. En vurdering som må tas er om flere brannstopp av en rimeligere type gir god nok sikkerhet. Eksempelvis kan det være at man ved bruk av intumescenterende brannstopp må tillate spredning forbi en eller flere av barrierene på grunn av for sen svelling eller ved at den brennes bort. Dette er vurderinger som må tas av ansvarlig prosjekterende i hvert enkelttilfelle. Innføring av preaksepterte ytelser som omhandler brannstopp i hulrom kan føre til mindre rom for tolkning og flere dokumenterte uniforme løsninger.

I de to byggene som har blitt sett på (Mjøstårnet og Moholt 50/50) har både vertikale tette brannstopp av brannimpregnerte trelekter og horisontale ventilerende brannstopp (hulromsventiler) blitt benyttet for å redusere faren for brannspredning inn til og i hulrommet bak kledningen. Det har blitt løst litt forskjellig. Den største forskjellen mellom de to byggene er høyden. I Moholt 50/50 har brannvesenet muligheter for rednings- og slokketjenester i hele byggets høyde, mens i Mjøstårnet når brannvesenets høyderedskaper opp til og med 6. etasje. Mjøstårnet har hulromsventiler montert over hvert vindu fra 7. etasje og opp til toppen av bygningen. Moholt 50/50 har hulromsventiler montert ved bakkenivå, mellom 1. og 2. etasje og mellom 5. og 6. etasje. Brannvesenets slokkeinnsats for å forhindre at brannen sprer seg til hulrommet legges til grunn for tiltakene som gjøres i luftespalten.

Trefasader oppfattes av brannvesenet i Oslo og andre større norske byer som uproblematisk på bygninger til og med fire etasjer (Glasø, 2012). Varmetilskuddet fra en trefasade er relativt lite sammenlignet med varmen fra et overtent rom. Brannvesenets høydemateriell for slokking kan enkelt nå opp til disse høydene. Hvis brannen oppdages tidlig vil det veldig ofte ikke by på noen store problemer for slokkeinnsatsen. Hvis brannen tillates å spre seg inne i hulrommet derimot kan det bli vanskeligere å slokke den. Hulromsventiler med brannklassifisering synes å være et veldig godt tiltak for å begrense brannspredning til luftespalten og videre i luftespalten. I høye bygninger med brennbare materialer anses det som helt nødvendig med brannstopp for å sikre en fasade som er tilstrekkelig brannsikker, spesielt der brannvesenet ikke har muligheter for slokkeinnsats. I deler av bygningen som ligger høyere enn brannvesenets slokkeredskaper kan nå bør brannstopp i luftespalten monteres for hver etasje.

6.3 Kjøllesoner

Hensikten med en kjølesone er å redusere risikoen for brannspredning med en vertikal avstand mellom uklassifiserte vinduer i ulike brannceller (SINTEF Byggforsk, 2017). Konsekvensene ved brannspredning via vindu til brannceller over vil være større fordi det kan medføre vanskeligere forhold for slokking og større fare ved rømning og redning. I

tillegg kan skadeomfanget bli større når brannen sprer seg til andre brannceller. I byggteknisk forskrift med veiledning (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) angis kjølesone som en preakseptert ytelse for å redusere sannsynligheten for brannspredning mellom brannceller i ulike plan og det spesifiseres at den skal ha en høyde som er minst lik høyden til underliggende vindu og utført med brannmotstand minst E 30. Geometri og størrelse på vinduene har mye å si. Byggverk som har vinduer med lav høyde vil ifølge preakseptert ytelse kunne ha mindre kjølesoner enn høye vinduer. I Byggforskserien 520.310 anbefales det derimot også en minstehøyde på 1,2 m på kjølesonen uansett vindusgeometri. Dersom vinduer er helt sideforskjøvet i forhold til underliggende vinduer, bør det være diagonal avstand på minst 1,2 m. Det anbefales også at yttervegger i kjølesonen bør ha brannmotstand EI 30, det vil si både tetthet og isolasjonsevne.

Installering av automatisk sprinkleranlegg innvendig er også en av de preaksepterte ytelsene man kan velge for å redusere sannsynligheten for brannspredning mellom brannceller i ulike plan. Det er altså mulig å velge bort ytelsen vedrørende kjølesone hvis byggverket sprinkles innvendig, med bakgrunn i at sannsynligheten for at et rom går til overtenning reduseres kraftig.

Ved fravik av preaksepterte ytelser som kan øke sannsynligheten for brannspredning mellom brannceller i ulike plan, som for eksempel eksponert brennbar kledning innvendig eller utvendig, vil tiltak utover de preaksepterte ytelsene være nødvendig for at sikkerheten mot vertikal brannspredning opprettholdes.

Det kan stilles spørsmål ved om kjølesone med høyde lik underliggende vindu er stor nok i mange tilfeller. Det har blitt forsket på branneksposering til fasaden fra rom med eksponerte overflater av massivtre og funnet ut at flammehøyden oppover fasaden ovenfor vindu øker med økende grad av eksponerte treoverflater innvendig (Friquin, Reitan og Mikalsen, 2019). Dette skyldes at det produseres mer branngasser i rommet som forbrennes på utsiden i møte med oksygen. Brannforsøk i et hybelrom med eksponerte overflater av massivtre ble også utført i sammenheng med oppføringen av Moholt 50/50 i Trondheim (Hox, 2015). Det ble gjennomført to tester, én med automatisk sprinkleranlegg i hybelen og én uten. Uten sprinkleranlegg utviklet rommet seg fort til overtenning og massivtreet representerte et tydelig bidrag til brannenergien i rommet. Det ble stilt spørsmål ved om tid-/temperaturkurven som legges til grunn for prosjekteringen er for lav sammenlignet med et rom med økt brannenergi. Det er ofte ønskelig å ha synlige treoverflater innvendig, både av estetiske og miljømessige årsaker. Naturligvis vil også andre brennbare overflater eller høy brannenergi i rommet generelt kunne føre til at flammene strekker seg lenger oppover fasaden. Også spesielle utforminger av fasaden, som kanalene eller nisjene som ble observert i flere av fasadebrannene listet i kapittel 3, kan føre til lengre flammer med økt strålingsintensitet mellom vinduer i fasaden. I ekstremtilfeller kan det være at kjølesonene er nødt til å ha en høyde som ikke lar seg gjennomføre i praksis på grunn av etasjehøyde og generell utforming av fasaden. Ved fravik av preaksepterte ytelser som kan øke sannsynligheten for brannspredning mellom brannceller i ulike plan, som for eksempel eksponerte brennbare overflater innvendig i en branncelle, er tiltak utover de preaksepterte ytelsene nødvendige for å ivareta sikkerheten.

I Mjøstårnet ble det valgt å ha kjølesoner med lik høyde som underliggende vindu selv om bygget er sprinklet innvendig. Kjølesone er innført som et ekstratiltak for å redusere risiko for vertikal brannspredning mellom brannceller i ulike plan. Hvis sprinkleranlegget fungerer som det skal vil det ikke oppstå overtenning i rommet og flammer vil ikke stikke

ut av vinduet og øke risikoen for brannspredning til overliggende vindu. Kjølesoner vil dermed ikke ha noen virkning. Ved en eventuell sprinklersvikt så vil kjølesonene redusere risikoen og øke tiden det tar for brannen å spre seg. I bygninger av brennbare konstruksjoner og potensielt større brannenergi synes kjølesoner å være et nødvendig tiltak for å ta hensyn til den økte risikoen for økt forbrenning av branngasser på utsiden av branncellen. I Moholt 50/50 er det ikke valgt å ha kjølesoner mellom vinduene i fasaden. Alle studentboligtårnene er sprinklet innvendig og brannvesenet har muligheter for slokkeinnsats i alle byggenes etasjer. Ved en eventuell sprinklersvikt er det en større sannsynlighet for at brannvesenet rekker å begynne slokking og forhindre vertikal spredning på fasadens utside, så lenge brannen ikke tillates å spre seg inn til hulrommet bak den utvendige kledningen.

6.4 Utvendige horisontale brannstopp

Utvendige horisontale brannstopp stikker ut fra fasaden og har som hensikt å hindre flammer fra å spre seg til overliggende etasjer. Utvendige brannstopp er nevnt i Byggforskserien 520.310 som et tiltak for å hindre brannspredning på selve kledningen, med beslag eller bord montert enten utenpå eller gjennom kledningen. Ved montering gjennom kledningen vil løsningen også fungere som brannstopp i luftespalten. Det er da spesielt viktig at lufting tillates i overkant og underkant av brannstoppet for å sikre tilstrekkelige uttørkingsmuligheter. I Mjøstårnet er det montert kontinuerlige vannbord i hver etasje som bryter kledningen horisontalt og fungerer som et brannstopp i selve kledningen og i luftespalten. I Moholt 50/50 fungerer den overlappende kledningen til en viss grad også som et horisontalt brannstopp på utsiden av kledningen ved at den for hver etasje danner en utstikkende barriere og reduserer sannsynligheten for at flammer sprer seg forbi og videre oppover langs den brennbare kledningen.

En sveitsisk veileder for prosjektering av trefasader basert på en større mengde gjennomførte branntester i storskala omtaler og gir konkrete løsninger for utvendige brannstopp for byggverk over fire etasjer (Lignum - Dokumentation Brandschutz, 2009). I veilederen defineres og klassifiseres fasadetyper ut ifra avstand mellom vinduer og kompaktheten til trekledningen. Spilekledning og annen kledning med mye «luft» er i den laveste klassen og platekledninger befinner seg i den høyeste klassen. Bakgrunnen for dette er at en brann har mye vanskeligere for å spre seg og brenne gjennom fasader som er mer kompakte. Spiler har mye større overflateareal per volum og vil bidra mye mer til brannutvikling og -spredning enn et kompakt trepanel med samme tykkelse.

Figur 17 viser et utdrag fra veilederen der fasadeutforming og type kledning legges til grunn for å bestemme hvor langt ut fra selve fasaden det horisontale brannstoppet må stikke for å gi tilstrekkelig sikkerhet mot vertikal brannspredning. Avlesning av tabellen vist i Figur 17 gir for eksempel at det er nødvendig med et horisontalt tett brannstopp i hver etasje som stikker minimum 200 mm ut fra bygningsfasaden og bryter både kledning og hulrom hvis det er spilekledning. Er det derimot vanlig stående kledning eller platekledning trengs det ikke noe utstikkende brannstopp for å ivareta brannsikkerheten, kun brannstopp i hulrommet.

331-1

Variante

- a Lochfassade mit übereinander liegenden Fenstern
- b Lochfassade mit versetzten Fenstern
- c Lochfassade mit kleinen Öffnungen
- d Loggia mit zurückgesetzter Fassade, Loggia und Brüstungsbereich mit Ausführungsbestimmungen gemäss Kap. 4.5.2

Bekleidung ²⁾			Horizontale Brandschutzmassnahme pro Geschoss ¹⁾						
Bezeichnung	Schemakizze	Ausrichtung	Hinterlüftung Tiefe ³⁾	Schürze				Belüftung keine Hinterlüftung	
				≥ 200 mm	≥ 100 mm	≥ 50 mm	≥ 10 mm ⁴⁾ bzw. ≥ 20 mm ⁵⁾	mit Schürze ≥ 100 mm	ohne Schürze
Flächiger Holzwerkstoff Platte		Horizontal oder vertikal	≤ 50 mm ≤ 100 mm						
Formschlüssige Schalung Profil mit Nut und Feder		Horizontal oder vertikal	≤ 50 mm ≤ 100 mm						
Kraftschlüssige Schalung Profil mit Winkelfalz		Horizontal	≤ 50 mm ≤ 100 mm						
		Vertikal	≤ 50 mm ≤ 100 mm						
Offene Schalung Leistenschalung Deckelschalung Stülpeschalung Deckleistenschalung		Horizontal	≤ 50 mm		6)			6)	
		Vertikal	≤ 50 mm ≤ 100 mm						

1) Ausführungsbestimmungen gemäss Kap. 4.1
2) Ausführungsbestimmungen gemäss Kap. 7.2
3) Definition in Kap. 7.3.2
4) nicht brennbare Materialisierung (Abb. 414-1 oder 414-2)
5) brennbare Materialisierung (Abb. 414-3)
6) Fuge zwischen den Brettern ≤ 10 mm
7) Anstelle Werkstoffklasse 1 darf auch Werkstoffklasse 2 eingesetzt werden.

Holzanwendung Werkstoffklasse 1⁷⁾
Definition in Tab. 722-1 z. B.:
Schnittholz (Holzart): Fichte, Tanne, Lärche, Föhre, Douglasie, Esche, Buche, Red Cedar
Holzwerkstoffe: Holzwerkstoffe (inkl. Verleimung) für Aussenanwendung geeignet; brennbare Rückstände aus Herstellungsprozess möglich.

Holzanwendung Werkstoffklasse 2
Definition in Tab. 722-1 z. B.:
Schnittholz (Holzart): Eiche, Edelkastanie, Robinie, Ulme
Holzwerkstoffe: Holzwerkstoffe (inkl. Verleimung) für Aussenanwendung geeignet; ohne brennbare Rückstände aus Herstellungsprozess.

Keine Anwendung von Holz in Kombination mit den tabellierten Brandschutzmassnahmen

Figur 17: Krav til horisontale brannstopp i sveitsisk veileder

Dette er ganske annerledes og veldig mye mer konkret enn det som finnes i for eksempel Norge. Det gir mindre frihet for arkitekter når det gjelder utforming av fasaden, men til gjengjeld klar oppdeling av fasaden og mindre risiko for vertikal spredning. Den sveitsiske veilederen er et godt eksempel på at utformingen av fasaden spiller en viktig rolle. Det blir ikke kun sett på egenskapene til selve materialene som brukes, men også på hvordan de brukes. En spilekledning av tre har større sannsynlighet for å bidra til brannspredning i fasaden enn en platekledning av tre. Man åpner allikevel for at den kan brukes i den samme bygningen, hvis man innfører tiltak som i stor nok grad kompensere for det eventuelle økte bidraget i brannen. Det er på mange måter analytisk prosjektering overført til preaksepterte ytelser gjennom tilstrekkelig branntesting.

6.5 Bruk av brannhemmet tre i fasader

6.5.1 utfordringer

En utfordring med brannhemmede treprodukter er evnen til å bevare de forbedrede branntekniske egenskapene over tid. Bestandigheten må være god nok slik at brannbehandlingen ikke forsvinner fra trevirket. Salter i impregneringen kan gjøre at trevirket trekker til seg fukt. Uorganiske salter er hygroskopiske, det vil si at de trekker til seg fuktighet fra omgivelsene. Saltene i impregneringen binder seg til vannpartiklene og vandrer sammen med vannet når fuktinnholdet endres. De kan vandre til overflaten av kledningen og trelektene, eller til andre materialer og produkter i fasaden. Hvis de vandrer til overflaten kan de bli utfelt som saltkrystaller hvis overflatebehandlingen ikke er av god nok kvalitet og utførelse. Dette påvirker utseende på den utvendige overflaten i negativ forstand. Hvis kjemikalier migrerer innover i treet kan områdene ved overflaten få en mindre andel brannhemmende stoffer og dermed miste noe av sin virkning. En annen utfordring er tap av brannhemmende kjemikalier som følge av utvasking (leaching) eller andre mekanismer som mekaniske skader på overflatebehandling. Utvasking forekommer når overflaten gjentatte ganger og over lang tid blir utsatt for høy fuktighet som for eksempel slagregn. Opprettholdelse av brannytelsen over tid må påvises og verifiseres, se kapittel 6.5.2.

6.5.2 Dokumentasjon og standarder

NS-EN 16755 (Standard Norge, 2018b) er en standard for dokumentasjon av bestandigheten til materialers egenskaper ved brannpåvirkning. Den er gjeldende for produkter av tre som er behandlet med brannhemmende midler, enten ved en penetreringsprosess (som trykkimpregnering), eller ved en overfladisk prosess. Produktene som testes i henhold til standarden kan bli klassifisert i tre forskjellige DRF-klasser (Durability of Reaction to Fire), avhengig av bruksområde og forhold. Klassene er:

- DRF Class INT 1 – for permanent innendørs bruk i tørre omgivelser,
- DRF Class INT 2 – for permanent innendørs bruk i fuktige omgivelser,
- DRF Class EXT – for permanent utendørs bruk.

Utvendig fasadekledning må oppfylle kravene som stilles til DRF Class EXT. For å oppnå denne klassifiseringen må prøvestykker av produktet gjennom et knippe testmetoder. En spesifikk prosedyre for akselerert aldring er gitt i Annex B i NS-EN 16755. For naturlig aldring gjelder NS-EN 927-3 (Standard Norge, 2019a). Naturlig aldring under relevante forhold for produktets spesifikke bruk er ideelt, men slik data er vanligvis ikke tilgjengelig. Testmetodene for aldring skal representere effektene av utvasking, varierende fuktinnhold i treet, temperaturendringer og UV-stråling over tid. De hygroskopiske egenskapene til brannimpregnerte og overflatebehandlede produkter av tre skal testes i henhold til testmetoden gitt i Annex A i NS-EN 16755. Brannimpregnerte

treprodukter kan i mange tilfeller være mer hygroskopiske enn ubehandlet tre, spesielt i omgivelser med høy relativ luftfuktighet. Denne økte hygroskopisiteten kan medføre misfarging, økt nedbrytning, dårlig malingsheft og migrasjon og utvasking av kjemikalier. Testmetoden avdekker uønskede hygroskopiske egenskaper, som ikke kan overstige et gitt nivå avhengig av hvilken DRF-klasse produktet skal oppfylle.

Et viktig spørsmål som bør stilles er om metodene for aldring i tilstrekkelig grad representerer de virkelige værforholdene og klimaet som produktene blir utsatt for. Dette blir også pekt på i en rapport som belyser temaet knyttet til aldring og bestandighet av brannhemmet tre (Storesund, 2019). Norske forhold har stor geografisk variasjon, og forskjellig klima fører til ulik eksponering og aldringshastighet på trevirket. Et røft kystklima i Norge vil gi høyere belastning enn mange andre steder. Metoden for naturlig aldring angir at bestandigheten skal evalueres etter 12 måneder, men NS-EN 16755 anbefaler en forlengelse med ytterligere 12 måneder. Metoder for kunstig aldring er oppgitt med en eksponeringstid på maksimalt 12 uker, men det er ikke undersøkt nærmere hvordan og i hvilken grad dette samsvarer med norske forhold. Det som er sikkert er at ulike væreksponeringer har betydning for frekvensen på vedlikehold av brannhemmet tre i fasader. I verste fall så mister produkter noe av de forbedrede egenskapene ved brannpåvirkning før planlagt vedlikehold i henhold til FDV-dokumenter fra leverandørene.

Klassifiseringstesting for ytelse ved brannpåvirkning skal gjennomføres før og etter aldring. Bygningsprodukter som for eksempel utvendig kledning skal testes og klassifiseres i henhold til standarden NS-EN 13501-1 (Standard Norge, 2019b). Etter at produktet har vært igjennom prosedyrene for aldring skal det på nytt gjennomgå klassifiseringstesting. To forskjellige testmetoder kan benyttes for å dokumentere produktets brannklasse etter aldring:

- Testing i henhold til EN 13823 (Standard Norge, 2015b), den samme testmetoden som i NS-EN 13501-1.
- Testing med småskalametoden konkalorimeter i henhold til ISO 5660-1 (International Organization for Standardization, 2015). Testing før og etter aldring må gjennomføres for å kunne sammenligne resultater.

For at en utvendig kledning skal kunne oppfylle DRF Class EXT må den oppnå den samme brannklassen etter aldring som den hadde før.

Et problem med bestandighetsstandarder NS-EN 16755 har vært at ingen testlaboratorier i Europa har vært akkreditert til å sertifisere i henhold til standarden. Testing er kostbart, og uten akkrediterte testlaboratorier i nærheten er det nok mange leverandører som ikke har sett det som nødvendig å teste bestandigheten til sine brannhemmede produkter. Dette kan ha medført at produkter har vært omsatt på markedet uten å vite om kravene til bestandighet gitt i standarden er oppfylt. Treindustrien ber også bestillerne i større grad etterspørre dokumentasjon på bestandighet ved kjøp av brannhemmet trekledning (Byggeindustrien, 2019). Bakgrunnen for dette er at de har fått opplysninger fra markedet om at enkelte aktører ikke har tilstrekkelig informasjon og dokumentasjon på plass i sin markedsføring. RISE i Sverige ble i 2020 akkreditert til å sertifisere produkter i henhold til NS-EN 16755 som eneste land i Norden (Haram, 2020). RISE Fire Research i Norge har ikke akkreditering av metoden, men tilbyr akkreditert testing i henhold til ISO 5660-1 (International

Organization for Standardization, 2015), som kan benyttes for å påvise euroklasse til produktet før og etter aldring.

I et innlegg i Byggeindustrien påpekes viktigheten av å velge korrekte EXT-godkjente produkter (Bengtsson og Sveningsson, 2019). Det finnes tre typer produkter som kan oppfylle denne klassifiseringen:

1. Ordinært panel som påføres et lag med brannmaling/lakk.
2. Brannimpregnert trepanel med brannhemmende middel som ikke alene klarer bestandighetskravet uten at det i tillegg får en overflatebehandling som må beskytte mot at treverket råtner, samt forhindre at det brannhemmende middelet lekker ut av produktet.
3. Brannimpregnert trepanel med brannhemmende middel som i seg selv oppfyller kravene til bestandighet da det brannhemmende middelet ikke lekker ut av produktet. Det brannhemmende middelet er vannfast eller *Leach Resistant* (LR).

Spesielt de to sistnevnte kan være lette å blande og i så måte misforstå. Begge er brannimpregnerte og EXT-godkjente, men der det ene kan eller bør monteres ubehandlet, må det andre beskyttes med en overflatebehandling. Bengtsson og Sveningsson (2019) har lagt merke til at hvis et produkt er godkjent som EXT er risikoen høy for at det antas at produktet er allment akseptert for utendørs bruk. Det blir glemt å sjekke om det i tillegg må beskyttes med en overflatebehandling for å innfri EXT-kravet. Det påpekes at dette er svært alvorlig siden et ikke-vannfast brannhemmende middel er helt avhengig av et beskyttende lag for å være bestandig mot eksponering som temperaturforskjeller, fukt og UV-lys over tid.

For å redusere risikoen for at produkter monteres under feil forutsetninger, har EXT-LR-klassifisering for trepaneler for utvendig bruk som ikke trenger å beskyttes av en overflatebehandling for å oppfylle de gjeldende kravene til bestandighet blitt lansert. Klassifiseringen er basert på en tredjepartsvurdering av gjeldende brannhemmende middel som utføres av Wood Protection Association, WPA. Den sikrer at produktet er vannfast uten behov for ytterligere overflatebehandling og at det ikke forveksles med et overflatebehandlet EXT-produkt. Det finnes per mai 2020 ingen tilsvarende klassifisering i NS-EN 16755. Denne tilleggsklassifiseringen adresserer likevel ikke problemet med at det antas at produktet er allment akseptert for utendørs bruk hvis det er klassifisert som EXT. Et forslag kan være å dele EXT-klassen i NS-EN 16755 inn i to underklasser, en for produkter som krever overflatebehandling og en for produkter som ikke krever overflatebehandling (leach resistant). Innføring av en underklasse som tydelig spesifiserer at produktet *må* ha en overflatebehandling for å oppnå kravet til bestandighet vil føre til mye mindre rom for feiltolkning og -bruk.

Forskjellen mellom disse klassifiseringene er svært viktige å være klar over. Dersom man har forventning om et bestandig og vannfast brannhemmet produkt vil det føre til svekkelse av dets brannhemmende egenskaper hvis riktige rutiner for montering og vedlikehold ikke følges. Å bruke dokumentasjon sertifisert av en uavhengig tredjepart sikrer i mye større grad riktig anskaffelse og bruk av produktet, men man må også være klar over under hvilke forhold produktet skal brukes. Dokumentasjon og planlegging av periodisk vedlikehold i henhold til leverandørens FDV-dokumenter er helt nødvendig for at produktet skal kunne opprettholde sine egenskaper over tid.

6.5.3 Forskning

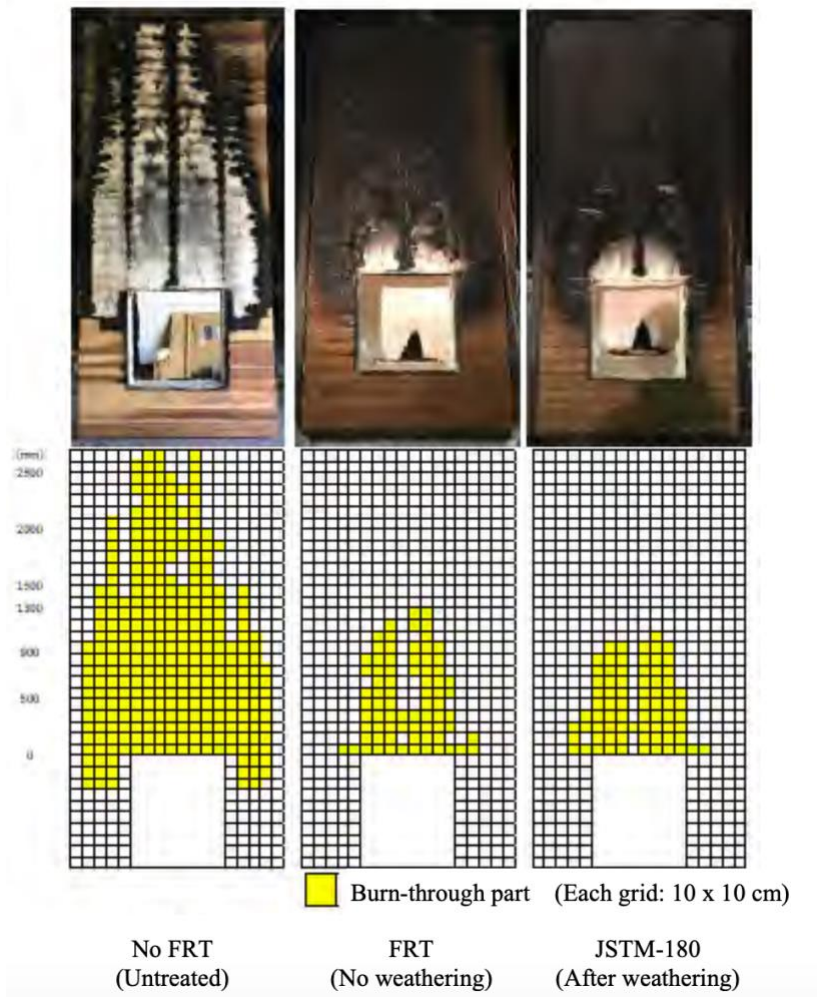
En rapport av Östman og Tsantaridis (2017) samler og presenterer flere langvarige eksperimentelle studier om opprettholdelse av bestandigheten og brannytelsen til brannhemmet trevirke og trekker følgende hovedkonklusjoner:

- De hygroskopiske egenskapene er uforandrede sammenlignet med ubehandlet trevirke for de fleste brannhemmede treproduktene brukt kommersielt.
- Egenskapene ved brannpåvirkning til brannhemmet trevirke kan opprettholdes etter akselerert og naturlig aldring hvis egenskapene for bevaring av de brannhemmende midlene er høye nok, men flere brannhemmede treprodukter mister sine forbedrede egenskaper ved brannpåvirkning under aldring.
- Systemer med maling eller annet belegg bidrar betraktelig til å opprettholde brannytelsen ved utvendig bruk og er ofte også helt nødvendig for å opprettholde brannytelsen etter aldring.

I en studie av Yoshioka *et al.* (2019) ble brannimpregnerte prøvestykker av tre behandlet med vannavstøtende maling utsatt for akselerert aldring og deretter testet i konkalorimeter etter ISO 5660-1 (International Organization for Standardization, 2015) og en storskala fasadetest (Japanese Standards Association (JSA), 2019). For resultatene i konkalorimeter går det igjen at jo hardere påkjenning prøvestykkene fikk i testene for akselerert aldring, jo høyere var de målte toppene for varmeavgivelseshastigheten og total varmeavgivelse. Prøvestykkene som fikk hardest påkjenning klarte ikke engang å møte kriteriene for «fire retardant material» (den tredje klassen i Japan), selv om de før testen opprinnelig var klassifisert som «quasi-noncombustible material» (den andre klassen i Japan).

I fasadetesten fremgår det av resultatene at påkjenningen ikke har like stor innvirkning. Figur 18 viser brannspredningen oppover fasaden. Prøvestykket av ubehandlet tre viste massiv fasadebrann og gjennombrenning helt opp til toppen, mens prøvestykkene av brannimpregnert tre (både aldret og nytt) viste begrenset spredning. Resultatene viser at kjemisk behandling er effektivt til å redusere brannspredningen i fasaden. Etter utlekkingen av de injiserte kjemikalierne i overflaten på treet så økte den målte varmeavgivelseshastigheten, men det kan antas at brannspredningen i fasaden ikke økte nevneverdig da det fremdeles var nok kjemikalier igjen i prøvestykket.

Forskjellen mellom resultatene i konkalorimeter og fasadetesten kan tale for at en test i så liten skala ikke er egnet nok for å evaluere en fasades egenskaper ved brannpåvirkning.



Figur 18: Brannspredning oppover fasaden i prøvestykker av ubehandlet og brannimpregnert trevirke etter fasadetest

7 Branntesting

Branntesting er et viktig og nødvendig verktøy for å beskrive oppførselen og egenskapene til produkter og konstruksjoner ved brannpåvirkning. Testing kan foregå i liten eller større skala og avhenger blant annet av hva som skal testes og hva man ønsker å finne ut av. Branntesting i liten skala brukes som et verktøy for å beskrive de fundamentale egenskapene til brennbare materialer som er helt nødvendige for å predikere materialoppførselen i ekte branner. Tester i småskala er enklere å utføre, krever mindre tid og koster mindre enn testing i større skala. På grunn av dette er det også enklere å gjennomføre flere serier av tester, slik at man kan se på eventuelle forskjeller i resultater og redusere usikkerheter. Et poeng som er viktig å understreke er at branntesting på generell basis er bedre egnet til å gi et grunnlag for sammenligning av ulike materialer og konstruksjoners oppførsel ved brannpåvirkning enn å beskrive selve oppførselen. Testing i større skala inneholder ofte flere komponenter, noe som kan øke kompleksiteten ved at utforming og samhandling mellom komponenter spiller inn. Dette kan også påvirke reproduserbarheten og etterprøvbareheten i negativ grad. Det ideelle for evaluering av en konstruksjon ved brannpåvirkning hadde vært å alltid utføre brannforsøk av den reelle konstruksjonen i sin helhet for et relevant brannscenario. Også her vil resultatene kun vise hvordan konstruksjonen forventes å oppføre seg i en virkelig brann. Omfanget av en brann avhenger av mange forhold, deriblant brannenergi, varmeavgivelseshastigheten til brenselet, oksygentilgang og værforhold (vind, temperatur, nedbør, etc.). Branner vil således aldri utvikle seg helt likt, men ved å inkludere mange nok relevante variabler og forhold i et brannforsøk vil det kunne gi en relativt god tilnærming. Tid, økonomi og ressurser gjør det derimot vanskelig å alltid utføre store brannforsøk.

Kompleksiteten til et fasadesystem med flere komponenter som eksponeres for brann kan demonstreres med et eksempel for å skape et visuelt bilde (Petrus, 2017): et stearinlys. Stearinlyset er satt sammen av en blokk av stearin med en gjennomgående veke i midten. Selve stearinen er vanskelig å antenne med en ekstern antenneskilde. Hvis den eksponeres for varme vil den smelte, men ikke settes fyr på. Hvis stearinen blir direkte eksponert for en brann vil det se ut som den brenner i flammen. Ser man så på veken så brenner heller ikke denne lett. Hvis den eksponeres for flammer vil den brenne i flammen, men tar man bort den eksterne flammen vil flammen i veken slokke, karbonisere og forkulles. Når stearinen og veken settes sammen, som i et stearinlys, vil en liten antenneskilde være tilstrekkelig til å antenne veken og sørge for en bærekraftig flamme. Dette eksempelet demonstrerer viktigheten av å ha et helhetlig syn på brannsikkerheten i fasader og ikke kun på komponentnivå når det gjelder testing og evaluering av branntekniske egenskaper.

7.1 Branntesting i liten skala

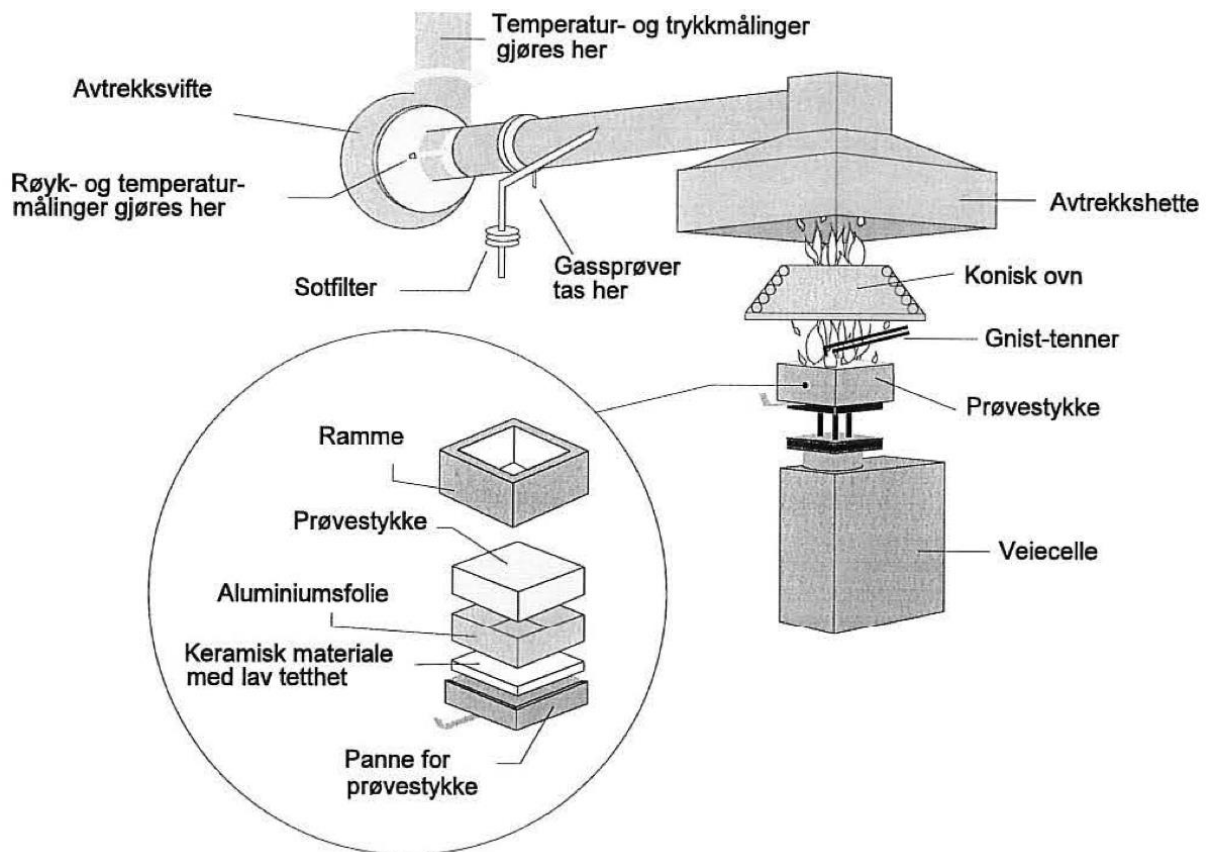
Testing i liten skala er allikevel svært nyttig, og det har lagt grunnlaget for den kunnskapen og forståelsen som finnes om brennbare materialers oppførsel ved brannpåvirkning. Spesielt som en start for å gi en pekepinn på oppførsel i større skala, eller ved sammenligning mot andre materialer som det allerede finnes mer kunnskap om. Under følger beskrivelse av en av de mest benyttede og mest avanserte metodene for evaluering av brennbare materialers fundamentale oppførsel ved brannpåvirkning.

7.1.1 Konkolorimeter

Konkolorimeter er et instrument og en småskala testmetode som ble utviklet av Dr. Vytenis Babrauskas ved *National Bureau of Standards* (NBS) tidlig på 80-tallet. Navnet kommer av den koniske formen på ovnen over prøvestykket. Testmetoden ble internasjonalt standardisert som ISO 5660-1 tilbake i 1993 og har blitt revidert, senest i 2015 (International Organization for Standardization, 2015). Konkolorimeteret benyttes av de fleste brannforskningsgrupper som en kilde til materialegenskaper og som en kilde for inputdata til modeller for å forutsi brannatferd. Konkolorimeteret går for å være det foretrukne instrumentet for måling av varmeavgivelseshastigheten i småskala (Babrauskas, 2015). I tillegg til varmeavgivelseshastighet gir den grunnlag for å evaluere følgende branntekniske egenskaper til brennbare materialer:

- Antennelighet
- Brennbarhet
- Effektiv forbrenningsvarme (effective heat of combustion)
- Massetapsraten eller massetapshastigheten
- Produksjon av røyk og sot
- Dannelse av giftige gasser

ISO 5660-1 (International Organization for Standardization, 2015) spesifiserer en prosedyre for å estimere varmeavgivelseshastigheten og den dynamiske røykproduksjonshastigheten til prøvestykker eksponert for forutbestemte strålingsnivåer. Metoden er basert på resultatene til Huggett (1980) og videreutviklingen av Babrauskas (1984). Varmeavgivelseshastigheten til prøvestykket bestemmes ved målinger av oksygenforbruket avledet fra konsentrasjonen av oksygen og strømningshastigheten i avtrekkskanalen. Prøvestykker blir eksponert i åpne omgivelser med rikelig tilførsel av omgivelsesluft til forbrenning. En skjematisk oversikt over konkolorimeterets oppbygning er vist i Figur 19.



Figur 19: Oppbygning av konkalorimeterapparat (Stensaas, 1996)

Prøvestykket blir plassert i en prøveholder på veiecellen og utsettes for en konstant varmestrålingsintensitet fra den koniske stråleovnen. Veiecellen registrerer vekten til prøvestykket under eksperimentets varighet. Varmestrålingsintensiteten bestemmes på forhånd og ligger i området 0 kW m^{-2} til 75 kW m^{-2} . Den elektriske gnist-tenneren befinner seg mellom prøvestykket og den koniske ovnen. Denne produserer gnister kontinuerlig og antenner de brennbare gassene fra prøvestykket når det er dannet nok brennbare gasser og temperaturen er høy nok. Gnist-tenneren flyttes til side når hele det eksponerte overflatearealet til prøvestykket brenner. Avgassene fra forbrenningen samles i avtrekkshetten og videre gjennom avtrekkskanalen for analyse.

7.2 Klassifisering av bygningsprodukter i euroklasser

Systemet med euroklasser ble introdusert og utviklet for å harmonisere standarder for hele EU. Systemet skal direkte adressere farene i et reelt brannscenario – en brann i et rom (Sundström, 2007). ISO 9705-1:2016 (International Organization for Standardization, 2016) er referansescenarioet, som evaluerer egenskapene ved brannpåvirkning for vegg- og takprodukter som er montert som overflater i et lite rom og eksponert direkte mot en spesifisert antennelseskilde. Referansescenarioet gir data for

tidligfasen i en brann fra antennelse og til overtenning, og er altså spesielt designet for å evaluere oppførselen til innvendige vegg- og takoverflateprodukter.

For å klassifisere bygningsprodukter i euroklasser i henhold til standarden NS-EN 13501-1 (Standard Norge, 2019b) brukes et knippe testmetoder:

NS-EN ISO 1182 – Prøving av ubrennbarhet (Standard Norge, 2010b)

Denne testen identifiserer produkter som ikke vil, eller ikke vesentlig vil bidra til brann, uavhengig av deres sluttbruk. Relevant for klassene A1 og A2.

NS-EN ISO 1716 – Bestemmelse av forbrenningsvarme (brennverdi) (Standard Norge, 2018a)

Denne testen bestemmer den potensielle maksimale varmeavgivelseshastigheten til et produkt når hele produktet brennes., uavhengig av dets sluttbruk. Relevant for klassene A1 og A2.

NS-EN 13823 – Single burning item test (SBI) (Standard Norge, 2015a)

Denne testen evaluerer det potensielle bidraget et produkt har til brannutviklingen under et brannscenario som simulerer en brennende gjenstand i et romhjørne nære produktet. Relevant for klassene A2, B, C og D. Denne mellomskala testmetoden kan på mange måter betraktes som selve ryggraden i euroklassesystemet for byggevarer og vil beskrives nærmere.

EN ISO 11925-2 – Antennelighet ved direkte påvirkning av flamme (Standard Norge, 2020b)

Denne testen evaluerer antenneligheten til et produkt ved eksponering mot en liten flamme. Relevant for klassene B, C, D, E og F.

7.2.1 Single Burning Item test (NS-EN 13823)

Testresultatene fra SBI-testen er helt nødvendige for å klassifisere byggevarer i euroklassene B-D. Testprosedyren går ut på at et prøvestykke av overflatematerialet som skal testes monteres i en rigg som danner et innvendig romhjørne. Produktet eksponeres deretter mot en diffusjonsflamme med varmeavgivelse på 30 kW i 20 minutter. Varme- og røykproduksjon (forbrenningsgassene) samles opp av en avtrekkshette for analyse og målinger i avtrekkskanalen. Denne analysen av avtrekksgassene i eksosstrømmen gjør det mulig å beregne varmeavgivelseshastigheten, som beskrevet i kapittel 2.1.2. Flammespredning og forekomst av brennende dråper og partikler blir observert visuelt gjennom hele testens varighet.

Testkriteriene som brukes for evaluering og klassifisering i euroklassene er:

- Total varmeavgivelse (THR) – den totale varmen avgitt i testens evalueringsperiode
- Sideveis flammespredning (LFS) – et enkelt mål på om flammene sprer seg til enden av prøvestykket
- Fire Growth Rate Index (FIGRA) – hastigheten som varmeavgivelsen øker gjennom hele testens varighet (som beskrevet i kapittel 2.2)
- Total røykproduksjon (TSP) – den totale mengden røyk produsert gjennom testens evalueringsperiode
- Smoke Growth Rate (SMOGRA) – hastigheten som røykproduksjonen øker gjennom hele testens varighet
- Brennende dråper/partikler – Alle dråper/partikler som fortsetter å brenne i mer enn 10 sekunder når de når bakken registreres i løpet av testens evalueringstid

Det er viktig å påpeke at testresultatene ovenfor baseres på en 10-minutters *evalueringstid*. Hele testens eksponeringstid er 20 minutter. Hvis prøvestykket genererer for mye varme i løpet av de siste 10 minuttene av eksponeringen vil ikke testresultatene være gyldige. På denne måten så blir produkter som presterer bra i evalueringstiden, men dårlig i den andre perioden ekskludert for klassifisering. Normalt så baseres klassifiseringen på gjennomsnittet av tre enkelttester.

Videre så skal testresultatene for prøvestykket være representative for sluttbruken av produktet som testes. I motsetning til småskalatestmetoder som kun ser på oppførsel og egenskaper på komponentnivå, så muliggjør den større testtriggen i SBI at man kan nærme seg den faktiske konstruksjonen. Det vil si at produktet skal monteres på det faktiske underlaget, med riktig orientering og med den faktiske innfestningsmåten. Eksempelvis vil forskjellige typer underlag kunne påvirke brannegenskapene til produktet som testes. Brannscenarioet i testen er at det oppstår en relativt liten brann innendørs i et romhjørne på størrelse med en brennende papirkurv.

7.2.2 Euroklasser for klassifisering av produkter til bruk i fasader

Preaksepterte ytelser i VTEK (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) er angitt ved bruk av euroklassene, både for innvendig og utvendig bruk. Brannscenarioet som klassifiseringen baseres på skal simulere en liten brann som starter i et innvendig hjørne inne i et rom. Produkter og materialer som er ment for utvendig bruk vil ofte inngå i et brannscenario som er helt ulikt, en allerede fullt utviklet brann med større brannpåkjennning. Det kan derfor argumenteres for at metoden som brukes for å klassifisere byggevarer og produkter i henhold til NS-EN 13501-1 (Standard Norge, 2019b) ikke er god nok til å evaluere egenskapene ved brannpåvirkning for produkter til utvendig bruk i fasader. Grunner som kan underbygge denne påstanden:

- Branneksponeeringen til en fasade gjennom et vindu fra en fullt utviklet rombrann er mye høyere enn brannkilden i SBI-testen (som simulerer en lokalisert brannkilde før overtenning).
- Mengden materialer er mindre og antall komponenter er færre enn i en fasadekonstruksjon (de brennbare materialene kan selv bidra til å underholde og utvikle brannen).

- Det er færre muligheter for å teste produktet slik det faktisk skal monteres i virkeligheten i en fasadekonstruksjon (med luftespalte, vindusdetaljer, utforming etc.).
- Ytre forhold som vær og vind kan spille en viktig rolle for brannutviklingen og -spredningen.

Produkter og byggevarer som blir klassifisert som ubrennbare i henhold til euroklassene vil følgelig ikke bidra stort til brannutvikling i seg selv. En fasadekonstruksjon som kun består av ubrennbare materialer vil i de aller fleste tilfeller ikke bidra til brannspredning.

I mange europeiske land er det et krav om å utføre branntester i storskala for å evaluere brannytelsen til fasadesystemer, blant annet i VTEK (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Grunnen til dette er at småskalatesting *alene* ikke alltid gir tilstrekkelig god nok informasjon om hva som skjer ved en brann når kompleksiteten, skalaen og brannekspansjonen øker. Euroklassene gir mye informasjon om brennbarheten og egenskapene til produkter og materialer, men testscenarioet er ganske ulikt det som forekommer når en brann spres via utvendig fasade. I veldig mange tilfeller er det nettopp et allerede overtent rom med flammer stikkende ut av et vindu som er spredningsmekanismen til fasaden. Fullskala testmetoder for fasader som kan representere dette scenarioet vil være bedre egnet for å evaluere brannsikkerheten til spesifikke fasadekonstruksjoner.

7.3 Branntesting i stor skala

Det finnes et forholdsvis stort antall forskjellige testmetoder, nasjonale og internasjonale, for verifisering, evaluering, vurdering og dokumentering av brannsikkerheten til fasadesystemer, både i liten og stor skala. En av grunnene til dette er at det ikke finnes noen uniform tilnærming for evaluering. Boström *et al.* (2018) har identifisert totalt 12 ulike testmetoder som skal simulere en fasadebrann som enten er i bruk, eller henvist til i de nasjonale forskriftene eller veiledningsdokumentene, over hele Europa. Dette gjør det vanskeligere å sammenligne resultater fra forsøk gjort med de ulike metodene. Felles for alle landene som er med i EU og EØS er at brannklassifiseringsstandardEN 13501-1 (Standard Norge, 2019b) for individuelle komponenter og produkter er gjeldende. Det kommer fram at 14 av 24 europeiske land har tilleggskrav som stilles for brannsikkerheten til fasader utover klassifiseringsstandardEN (Boström *et al.*, 2018). Klassifiseringen av enkeltkomponenter vil ikke dekke alle brannsikkerhetsaspektene ved en fasadebrann, da hele systemet er komplekst og representerer et ulikt brannscenario. De testmetodene for storskaletesting av fasader som er mest utbredt i bruk er:

- SP Fire 105 (Sveriges Provnings- og Forskningsinstitut (SP), 1994) fra Sverige,
- BS 8414 (The British Standards Institution, 2020) fra England, og
- DIN 4102-20 (Deutsches Institut Fur Normung E.V., 2017) fra Tyskland.

7.3.1 SP Fire 105

SP Fire 105 (Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP), 1994) er en svensk standard for storskalatesting og angir en prosedyre for å bestemme egenskapene ved brannpåvirkning for fasadesystemer. Testmetoden skal simulere brann i et overtent rom med flammer som bryter ut gjennom en vindusåpning i første etasje i et treetasjes byggverk. Testriggeren er ikke L-formet (for å representere et innvendig hjørne), men består av en enkel vertikal veggflate og to åpninger som skal forestille fiktive vinduer i de to overliggende etasjene. Ytelses- og akseptkriteriene går på visuell observasjon av flammespredning, fallende objekter, varmefluksmålinger og temperaturmålinger i overliggende etasjer. Testmetoden brukes i Norden, og i Norge er den angitt i veiledning til TEK17 som metode for å dokumentere systemer med utvendig tilleggisolasjon av yttervegger med brennbar isolasjon. I forslaget til endringer i veiledningen til byggt teknisk forskrift som er til behandling foreslås det at ytterveggkonstruksjoner kan dokumenteres ved storskalatesting etter SP Fire 105, men dette vil kun gjelde for ytterveggkonstruksjoner med ubrennbar eller begrenset brennbar isolasjon (euroklasse A2-s1,d0) (Direktoratet for byggkvalitet, 2018). Dette kommer i tillegg til den preaksepterte ytelsen om at fasadesystemer med brennbar isolasjon skal dokumenteres med SP Fire 105. De preaksepterte ytelsene som begrenser bruken av brennbar isolasjon vil dermed videreføres.

7.3.2 Ny europeisk branntest for fasader

Flere forsøk har blitt gjort på å utvikle en harmonisert testmetode for verifisering og klassifisering av fasader før Europakommisjonen publiserte en anbudsutlysning i 2016. Et prosjektkonsortium fra fem land (Sverige, Storbritannia, Frankrike, Tyskland og Ungarn) søkte på anbudet og ble kontrahert. I 2018 ble forslaget, utarbeidet av Boström *et al.*, publisert av Europakommisjonen. Det ble utarbeidet forslag til to forskjellige testmetoder, der den «alternative metoden» ble favorisert. Den foreslåtte nye testmetoden baseres på de allerede eksisterende storskala testmetodene BS 8414 (Storbritannia) og DIN 4102-20 (Tyskland), men skal tilby forbedringer i form av bedre ytelseskriterier. Blant forbedringene er:

- Inkludering av sekundære åpninger som er nødvendig for å evaluere detaljer rundt åpninger som vinduer for fasader.
- Evaluering av horisontal og vertikal brannspredning ved temperaturmålinger med termoelementer.
- Kun én test er nødvendig for et spesifikt system for å oppnå en klassifisering som kan bli brukt over hele Europa.
- Forbedrede ytelseskriterier som for eksempel temperaturmålinger og fallende objekter.
- Enklere og tydeligere klassifiseringssystem basert på flammespredning og fallende objekter for både medium og stor branneksplosjon.

Prosjektet «New European fire test for facades», som er en fortsettelse av prosjektet oppsummert ovenfor, ble satt i gang i mars 2020 (Boström, 2020) etter anbudsutlysningen «Finalisation of the European approach to assess the fire performance

of facades» utstedt fra European Commission i september 2019. Målet med prosjektet er å ferdigstille metodikken for å evaluere brannytelsen til fasader, inkludert testmetoder og et forslag til klassifisering. Prosjektet vil foregå over en periode på to år, med en teoretisk og eksperimentell «round robin». Robustheten, reproduserbarheten og etterprøvbareheten vil avdekkes og om alt går etter planen vil utfallet bli en felles testmetode for hele Europa.

Tabell 4: Forslag til klassifiseringssystem i den nye fasadetesten

Klassifisering	Beskrivelse
LS1	Test med stor branneksporing som oppfyller ytelsene om brannspredning og fallende objekter under hele testens varighet (60 minutter)
LS2	Test med stor branneksporing som oppfyller ytelsen om brannspredning, men ikke fallende objekter under hele testens varighet (60 minutter)
LS3	Test med medium branneksporing som oppfyller ytelsene om brannspredning og fallende objekter under hele testens varighet (60 minutter)
LS4	Test med medium branneksporing som oppfyller ytelsen om brannspredning, men ikke fallende objekter under hele testens varighet (60 minutter)

Klassifiseringssystemet som er foreslått er vist i Tabell 4, oversatt fra Boström (2019). Klassifiseringen for «begrenset brannspredning» (engelsk: LS – limited fire spread) er basert på to ytelser (brannspredning og fallende objekter) på den ene siden, og på to mulige branneksporinger (medium og stor) på den andre siden. Hvilken sikkerhet og kriterier som er nødvendig for å tilfredsstille de ulike klassifiseringene vil komme fram av den endelige testmetoden. Myndighetene i hvert land vil kunne bestemme hvilke(n) klasse(r) som skal anvendes og krav vedrørende bruksområder. For å oppnå en harmonisering må det definerte klassifiseringssystemet kunne bli akseptert i alle medlemslandene i tillegg til at testmetoden må være i stand til å evaluere alle de ulike fasadesystemene som er tilgjengelige i markedet.

I Norge så kan det innebære at de nye klassene for fasadesystemer implementeres i VTEK (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) i form av preaksepterte ytelser. Det er ikke utenkelig at det for de ulike brannklassene kan tillates å bruke et fasadesystem som er testet og har fått en klassifisering i henhold til den nye testmetoden. Disse ytelsene vil i så måte også kunne bli benyttet i komparative analyser, der man er nødt til å dokumentere ved analyse at brannsikkerheten er ivaretatt.

En stor fordel den nye testmetoden kan medbringe er at en oppnådd klassifisering for et fasadesystem vil gjelde for hele Europa. Forskjellige land vil fremdeles ha egne forskrifter og krav til bruksområder, men selve klassifiseringen av fasadesystemet vil være lik for

alle. På sikt vil det gi en større kunnskapsbank med testresultater som kan benyttes og tolkes. I tillegg vil det da være tilstrekkelig å teste fasadesystemet én gang for å få på plass dokumentasjon som kan benyttes i alle land. Det vil også være viktig at man kan bytte ut enkeltkomponenter med lik ytelse uten å måtte teste på nytt så lenge resten av fasadekonstruksjonen er lik og allerede har blitt verifisert og klassifisert i henhold til testmetoden. Hvis alle nye komponenter må testes i fasadesystemet som en helhet vil det føre til et veldig stort antall tester som ikke er bærekraftig for produsenter og leverandører.

For fasader av tre vil det være viktig å se på hvordan de oppfører seg i den nye testmetoden og ikke minst hvordan de klassifiseres. Gjennom nasjonale testmetoder har det blitt opparbeidet et kunnskapsnivå om hvordan fasader med tre oppfører seg, og mange løsninger har vist god oppførsel ved brannpåkjenning. Det er usikkert om resultater og dokumentasjon fra gjeldende nasjonale testmetoder kan sammenlignes med resultater i den nye metoden, slik at det på kort sikt kan bety økt grad av testing. Med god praksis og forståelse av hvordan man best mulig utformer trefasader for å begrense den utvendige spredningen kan det også for byggverk med strengere krav gi flere bruksmuligheter og økt bruk av tre. Dette avhenger imidlertid av hvordan de klassifiseres i den nye testmetoden. Klassifiseringene basert på testresultatene må være i tråd med hva som er akseptert bruk av trekledning i de nåværende nasjonale forskriftene.

8 Branntesting i oppgaven

8.1 Hensikt

Det har blitt stilt spørsmål vedrørende bestandigheten til brannhemmet tre som brukes som utvendig kledning på eksisterende byggverk. Som et ledd i å forsøke å avdekke om de branntekniske egenskapene til brannhemmet tre opprettholdes over tid under påvirkning fra norske klimatiske forhold ble brannteknisk prøving i liten skala gjennomført.

I utgangspunktet var det ønskelig å få tak i brannhemmet kledning av tre som har stått ute på et byggverk i noen år i tillegg til å få tak i tilsvarende produkt i ubrukt tilstand. Planen var å teste prøvestykker av disse under identiske laboratoriske forhold og deretter sammenligne branntekniske egenskaper som framkom av resultatene. Det viste seg imidlertid at det kom til å bli problematisk å få skaffet brannhemmet kledning som er naturlig aldret. Det krever et fysisk inngrep der man rett og slett fjerner en del av kledningen på en eksisterende bygningsfasade. Dette er i de aller fleste tilfeller ikke ønskelig for eiere av byggverkene da det må erstattes med ny kledning som normalt ikke vil være estetisk lik grunnet tidligere eksponering for vær og vind.

Som et alternativ ble prøvestykker av forskjellige tresorter anskaffet for prøving i småskala. Forskjellige tresorter kan som kledning gi byggverk helt ulike estetiske uttrykk. Ubehandlet trevirke har også en tendens til å endre sitt estetiske uttrykk med tiden, noe som kan gi en utvendig bygningsfasade et helt særegent preg. Også innvendig kan ubehandlet trevirke være med på å skape et bedre inn klima og -miljø. Hensikten ble dermed å vurdere og sammenligne de ulike tresortenes branntekniske egenskaper for bruk som kledning ved prøving i småskala.

Testing i konkalorimeteret i henhold til ISO 5660-1 (International Organization for Standardization, 2015) ble gjennomført for bestemmelse av materialenes branntekniske egenskaper. Testingen fant sted hos RISE Fire Research i Trondheim den 26. mai 2020. Fremgangsmetode og testoppsett var likt som for den opprinnelige hensikten, som var å teste naturlig aldret og ny brannhemmet utvendig kledning av tre.

8.2 Begrensninger

Kun de branntekniske egenskapene til tresortene har blitt vurdert. Gode fuktavvisende egenskaper som kreves for en utvendig kledning av tre, som beskrevet i kapittel 2.5.1 er ikke tatt hensyn til.

I tillegg til testing i konkalorimeteret var det planlagt å gjennomføre testing i henhold til ISO 5658-2 (International Organization for Standardization, 2006). ISO 5658-2 spesifiserer en prosedyre for måling av sideveis flammespredning langs overflaten til et prøvestykke som er orientert vertikalt, og kan være nyttig for å vurdere materialers evne og bidrag til flammespredning. På grunn av omstendighetene under oppgavens gjennomføring ble det dessverre ikke mulig å gjennomføre disse testene.

8.3 Materialer til testing

Prøvestykker av følgende tresorter ble anskaffet gjennom Pasi Aalto i NTNU Wood:

- Hegg
- Lønn
- Rogn
- Gran
- Bjørk

I tillegg ble prøvestykker av brannimpregnert utvendig kledning av gran anskaffet fra Moelven AS. Kledningen var av typen FireGuard, impregnert i en vakuum-trykkprosess og tørket. Dette er en type utvendig kledning som krever overflatebehandling, spesifisert i FDV-dokumentasjonen til produktet, for å bevare sine egenskaper. Prøvestykkene av det brannimpregnerte trepanelet ble *ikke* overflatebehandlet i henhold til dokumentasjon før prøving i konkalorimeteret.

Alle prøvestykker var av dimensjonene 100 x 100 mm. Tykkelsen på prøvestykkene var 20 mm, med unntak av brannimpregnert gran, som hadde tykkelse på 19 mm.

Kondisjonering av prøvestykker

ISO 5660-1 angir kriterier for kondisjonering av prøvestykker før testing. Prøvestykkene skal kondisjoneres til en konstant masse ved en temperatur på (23 ± 2) °C og en relativ fuktighet på (50 ± 5) %, og holdes i denne tilstanden frem til testingen skal gjennomføres. Konstant masse anses å være oppnådd når to suksessive veiinger, utført med et intervall på 24 timer, ikke avviker med mer enn 0,1 % av prøvestykkets masse, eller 0,1 gram, avhengig av hva som er størst. Prøvestykkene ble lagt på klimarom hos RISE Fire Research en måned før testing og hentet ut rett før testingen ble gjennomført.

8.4 Forsøksgjennomføring i konkalorimeter

Av materialers branntekniske egenskaper som kan bestemmes i konkalorimeteret var to målinger av hovedinteresse for forsøkene som ble gjennomført:

- Antennelsestiden (t_{ig})
- Måling av varmeavgivelseshastighet (HRR) (i kW avgitt varmeenergi per m^2 av prøvestykket)

Testene i konkalorimeteret ble gjennomført med varmestrålingsnivå $50 \text{ kW}/m^2$ og en testvarighet på 1200 sekunder. Dette ble valgt på bakgrunn av tre faktorer:

1. $50 \text{ kW}/m^2$ representerer bedre den økte varmestrålingsintensiteten som forekommer ved brann i en fasade enn for eksempel 30 kW som brukes i SBI-testen.
2. $50 \text{ kW}/m^2$ og en varighet på 1200 sekunder er benyttet i bestandighetsstandarden NS-EN 16755 (Standard Norge, 2018b) for testing før og etter aldring i konkalorimeteret i henhold til ISO 5660-1.
3. Det finnes mye data fra andre tester gjennomført med varmestrålingsnivå på $50 \text{ kW}/m^2$.

I henhold til ISO 5660-1 (International Organization for Standardization, 2015) skal en serie av tre prøvestykker testes. For disse tre prøvestykkene skal de gjennomsnittlige varmeavgivelsesmålingene i et intervall på 180 s sammenlignes. Hvis noen av disse målingene avviker med mer enn 10 % fra det aritmetiske gjennomsnittet av de tre målingene, skal et ytterligere sett bestående av tre prøvestykker testes med mindre middelverdien er mindre enn $10 \text{ kW}/m^2$. Grunnet begrenset mengde materialer og tid ble det kun gjennomført en serie av to prøvestykker for hvert materiale.

Alle prøvestykker ble dekket med aluminiumsfolie i henhold til ISO 5660-1 slik at kun oversiden av prøvestykkene var eksponert under testgjennomføringen.

Figur 20 viser forsøkgjennomføring av et prøvestykke av tresorten lønn før antennelse. Gnisttenneren mellom prøvestykket og konusen avgir gnister med jevne mellomrom og antenner røygassene som blir utviklet som følge av varmestrålingen på $50 \text{ kW}/m^2$ som prøvestykket blir utsatt for. Etter antennelse av hele prøvestykkets overflate flyttes gnisttenneren til side. Antennelsestiden ble målt manuelt, og var i dette tilfelle 35 sekunder. Etter en eksponering på 1200 sekunder ble testen avsluttet og prøvestykket fjernet. Figur 21 viser prøvestykker av de ulike tresortene før og etter testing i konkalorimeteret.



Figur 20: Konkallorimeter under test



Figur 21: Prøvestykker før og etter testing i konkallorimeter (fra venstre: hegg, lønn, rogn, ubehandlet gran og bjørk)

8.5 Resultater fra testing i konkalorimeter

8.5.1 Antennelsestid (t_{ig})

Antennelsestiden ble observert under testing av hvert enkelt prøvestykke og ble definert som tiden fra prøvestykket ble eksponert for varmestråling og frem til synlige flammer på prøvestykkets overflate oppsto. Antennelsestiden ble videre benyttet for å sammenligne brennbarheten til prøvestykkene som er testet. Tiden til antennelse for de ulike tresortene er vist i Tabell 5.

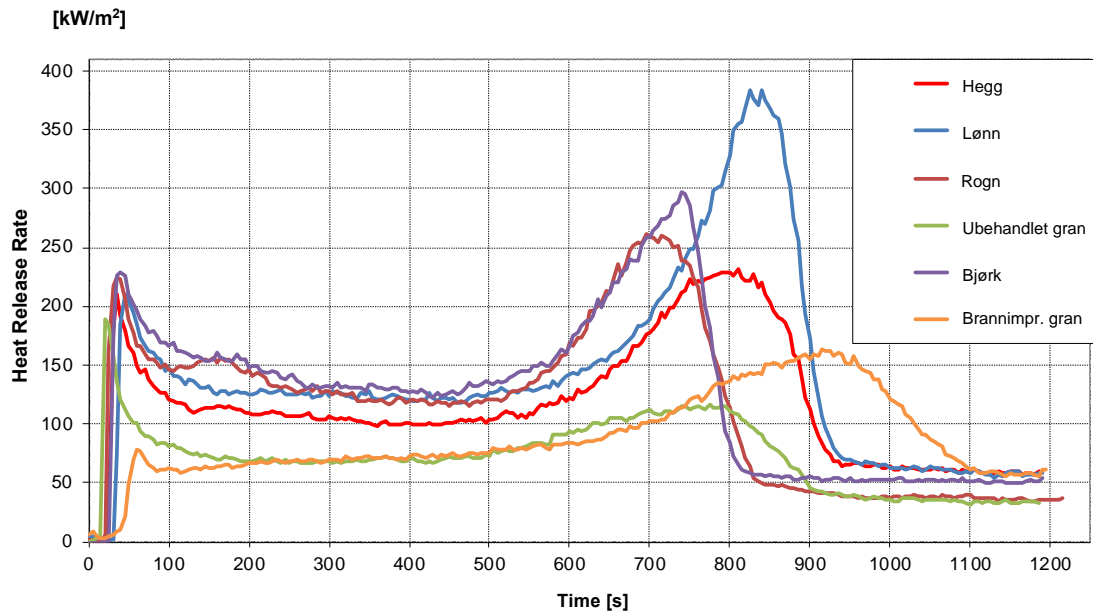
Tabell 5: Antennelsestiden for de ulike tresortene

Tresort	Antennelsestid [s]
Ubehandlet gran	16
Rogn	22
Bjørk	26
Hegg	29
Lønn	35
Brannimpregnert gran	43

8.5.2 Varmeavgivelseshastighet (HRR)

Hovedresultatet av testingen i konkalorimeteret er en kurve av varmeavgivelseshastigheten. Denne kurven viser varmeavgivelsen til prøvestykkene mot testens varighet i sekunder. En typisk kurve for trevirke vil bestå av en økning i varmeavgivelse frem til et toppunkt (HRR_{peak1}) for varmeavgivelseshastigheten før den går ned og legger seg på et stabilt nivå og deretter øker til et toppunkt nummer to (HRR_{peak2}) når siste del av prøvestykket forbrennes. HRR-kurver for hele testens varighet på 1200 sekunder oppnådd for alle prøvestykkene er vist i Figur 22.

For alle prøvestykkene ble antennen etterfulgt av en rask økning i HRR, som vist i Figur 22 og mer nøyaktig i Figur 24. HRR falt deretter og ble tilnærmet konstant før den igjen økte til en ny topp på grunn av forbrenningen av hele prøvestykket (se Figur 22). Det vil være mest interessant å se på resultatene for HRR_{peak1} og de første minuttene av testen. Denne fasen inkluderer antennelse av de termiske nedbrytningsproduktene, flammespredning ved brennbare gasser og en økning i varmeavgivelse- og massetapsrater (Drysdale, 2011). I et brannscenario med brannspredning til fasaden vil man hindre hurtig spredning og det er i dette tidsrommet at de branntekniske egenskapene må evalueres.

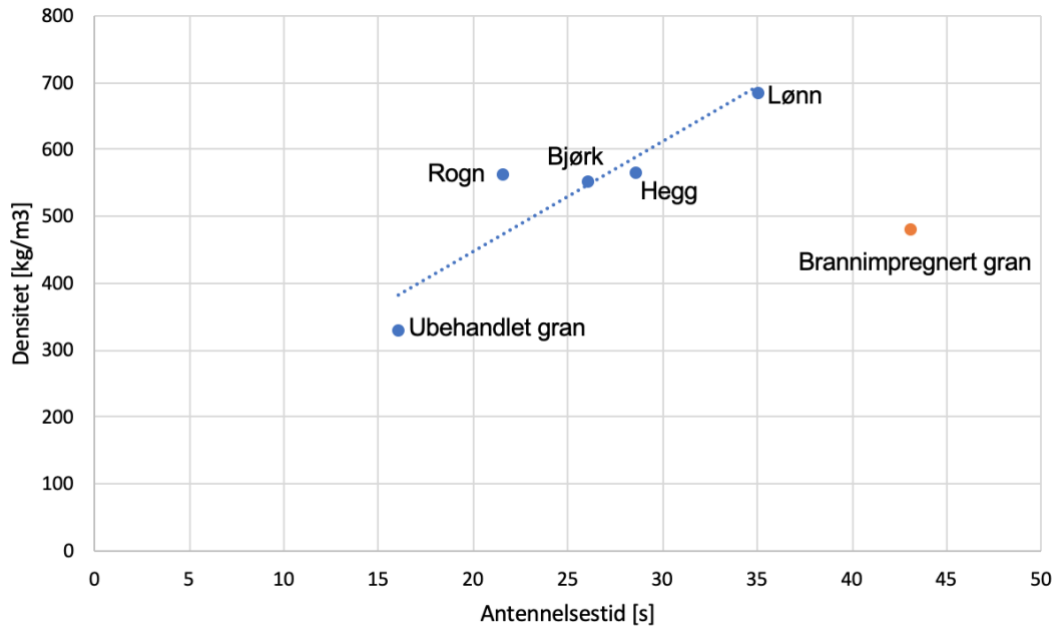


Figur 22: Kurver for varmeavgivelseshastigheten ved 50 kW/m² i hele testens varighet

8.6 Vurdering av resultater

8.6.1 Antennelsestid (t_{ig})

Brannimpregnert gran hadde den lengste antennelsestiden ($t_{ig} = 43$ s), mens ubehandlet gran hadde den korteste antennelsestiden ($t_{ig} = 16$ s). Densitet har blitt pekt på som en av de viktigste faktorene som påvirker antennelsestemperaturen til trevirke (Babrauskas, 2002). Trevirke med høy densitet er på generell basis vanskeligere å antenne enn trevirke med lav densitet. Figur 23 viser trendlinjen der brannimpregnert gran er utelatt. Av treets hovedbestanddeler er antennelsestemperaturen høyest for cellulose og lavest for hemicellulose. Bartrær har en lavere andel hemicellulose og en høyere andel lignin sammenlignet med løvtrær og dermed også på generell basis en høyere antennelsestemperatur. Ved eksponering for samme varmestrålingsnivå vil dermed antennelsestiden være lengre for løvtresortene rogn, bjørk, hegg og lønn, noe trendlinjen underbygger. Det er tydelig at brannimpregneringen av gran forlenger antennelsestiden.



Figur 23: Sammenheng mellom densitet og antennelsestid

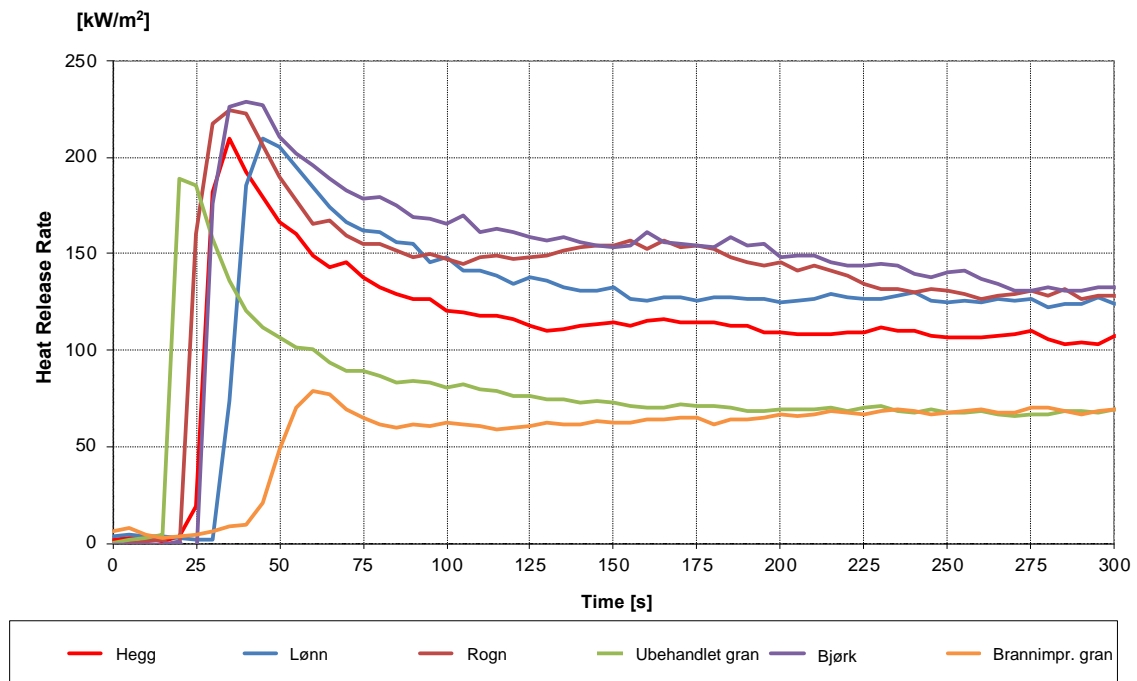
Antennelsestiden er en viktig faktor for trevirke som skal brukes som kledning. Det er selvfølgelig at man ønsker en kledning som ikke antennes hurtig. Egenskapene trevirket viser etter at det har blitt antent er vel så viktige. Hvor mye varme som avgis etter antennelse er helt avgjørende for flammespredningen og bidraget til videre brannutvikling.

8.6.2 Varmeavgivelseshastighet (HRR)

Forskjeller i toppene for HRR er ikke så store, med unntak av brannimpregnert gran. Aller høyest er HRR-verdien til bjørk ($HRR_{peak1} = 230 \text{ kW/m}^2$), mens brannimpregnert gran kommer ut lavest ($HRR_{peak1} = 82 \text{ kW/m}^2$). Resterende løvtresorter hegg, lønn og rogn har alle forholdsvis like verdier (HRR_{peak1} henholdsvis 212, 215 og 222 kW/m^2), mens ubehandlet gran har $HRR_{peak1} = 207 \text{ kW/m}^2$. McKenna *et al.* (2019) har testet ulike aluminiumkomposittpaneler i konkalorimeteret ved en varmestrålingsintensitet på 50 kW/m^2 . For to av prøvestykkene med kjerne av polyetylen ble det registrert $HRR_{peak1} = 1300$ og 1050 kW/m^2 . Dette er over 5 ganger så høyt som den høyeste HRR_{peak1} i denne oppgaven (bjørk) og over 15 ganger så høyt som den laveste (brannimpregnert gran). Det viser tydelig hvordan aluminiumkomposittpaneler med polyetylen-kjerne kan bidra til hurtig brannspredning når det brukes som utvendig kledning i en fasade, og at brannimpregnert utvendig kledning sannsynligvis vil ha et vesentlig mindre bidrag.

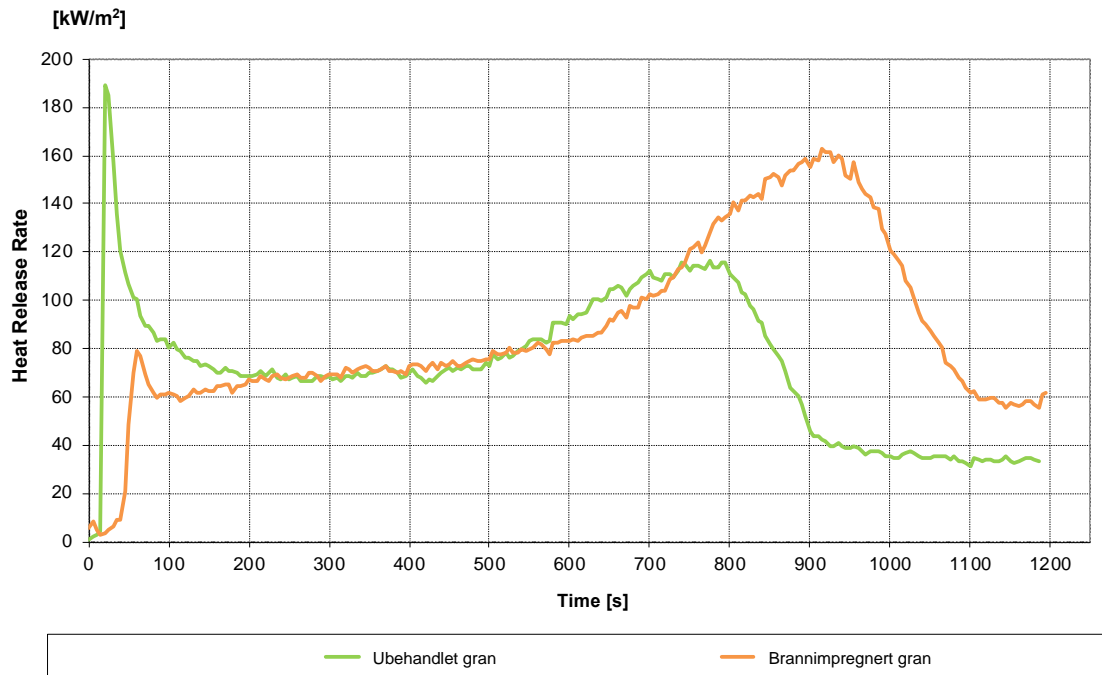
Den gjennomsnittlige varmeavgivelseshastigheten fra prøvestykkene i løpet av de første 300 sekundene av testens varighet beskriver godt hvor stort bidrag materialet har i brannens startfase. Verdiene er her klart høyest for løvtresortene bjørk, rogn, lønn og hegg (henholdsvis $HRR_{300} = 157, 148, 137$ og 120 kW/m^2). For brannimpregnert og ubehandlet gran var HRR_{300} henholdsvis 66 og 81 kW/m^2 . Dette vitner om at gran

(spesielt brannimpregnet) vil gi et mindre bidrag til varmeutvikling og eventuell spredning i fasaden.



Figur 24: Kurver for varmeavgivelseshastigheten ved 50 kW/m² frem til 300 s

Et annet aspekt som er interessant å se på er utviklingen i varmeavgivelseshastigheten over testens varighet på 1200 sekunder for ubehandlet og brannimpregnet gran. Brannimpregnering har som hovedhensikt å hemme/reducere flammespredningen over overflaten til trevirke og faktorene som ønskes forbedret er tid til antennelse, redusert evne til flammespredning, redusert varmeavgivelseshastighet og røykproduksjon (Buchanan og Abu, 2017). Fra Figur 25 kan en se at tiden til antennelse er forlenget og at varmeavgivelseshastigheten er kraftig redusert i de første 200 sekundene av testen. Det er også verdt å merke seg at etterhvert som de kjemiske tilsetningsstoffene som gir forbedrede branntekniske egenskaper blir borte, øker varmeavgivelseshastigheten til prøvestykket av brannimpregnet gran og forbigår den for ubehandlet gran. Det er altså i tidligfasen av en brann at brannhemmet trevirke drar nytte av de forbedrede egenskapene ved brannpåvirkning, og reduserer sannsynligheten for hurtig antennelse og brannspredning i fasaden.



Figur 25: Varmeavgivelseshastighet for ubehandlet og brannimpregnert gran ved 50 kW/m²

8.6.3 Estimering av euroklasser

Resultater fra testing i konkalorimeteret kan benyttes til å beregne den estimerte euroklassen som materialet ville ha oppnådd hvis det var testet i SBI-testen i henhold til NS-EN 13823 (Standard Norge, 2015a). Ulike modeller og beregningsverktøyer finnes, hvorav en modell er utviklet og utarbeidet ved RISE Fire Research (Steen-Hansen, 2002; Steen-Hansen og Kristoffersen, 2007). Denne modellen er basert på multivariat statistisk analyse som bruker resultater fra konkalorimeteret som input. Modellen er, med en presisjon på 80-90 %, i stand til å predikere hvilken euroklasse trematerialer ville ha oppnådd dersom de hadde blitt testet i SBI-testen. Prediksjonene kan ikke benyttes til å klassifisere eller godkjenne materialer, men kan være et nyttig verktøy for sammenligning. Resultatene fra testingen i konkalorimeteret ble brukt som input og samtlige prøvestykker som ble testet ble estimert til euroklasse C-s1 ved bruk av prediksjonsmodellen.

Selv om alle prøvestykkene ble estimert til euroklasse C fremgår det av resultatene fra testingen i konkalorimeteret at tresortene vil bidra ulikt til brannutviklingen hvis de brukes som kledning i en fasade. Av de testede tresortene vil brannimpregnert gran bidra minst med lengst antennelsestid og lavest varmeavgivelseshastighet. Ubehandlet gran har kortest antennelsestid, men påfølgende varmeavgivelseshastighet synker hurtig og stabiliserer seg på et mye lavere nivå enn det for de resterende løvtresortene hegg, lønn, rogn og bjørk. Selv om antennelsestiden for lønn er dobbelt så lang som for ubehandlet gran så er varmeavgivelseshastigheten og bidraget til brannutvikling såpass mye høyere at det ikke veier opp. Også her må det påpekes at utforming og samhandling mellom

komponenter i en fasadekonstruksjon kan ha stor påvirkning på oppførselen til fasaden som en helhet ved brannpåvirkning.

9 Diskusjon

9.1 Regelverk

Hovedformålet med å stille krav til sikkerhet ved brann, er å redusere sannsynligheten for tap av liv og helse ved brann til et akseptabelt nivå (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017). Bygninger skal prosjekteres og utføres slik at det er liten sannsynlighet for at en brann skal oppstå, utvikle seg og spre seg. Bruk av brennbare materialer som tre i fasaden som kledning og i luftespalten øker risikoen for brannspredning fra etasje til etasje via fasaden. Dette påvirker brannvesenets slokke- og redningsmuligheter, det kan gå ut over tilgjengelig rømningstid og kan gi store materielle skader. Økende høyde på bygninger medfører større potensielle konsekvenser ved en brann.

Branneksponeringen til fasaden er på generell basis alvorligst og mest kritisk for en fullt utviklet rombrann med flammer stikkende ut av vinduer, men også en brann som starter på utsiden av fasaden kan være kritisk. Tilfeller av begge scenarier ble observert i de internasjonale brannhendelsene, beskrevet i kapittel 3.1. Flertallet av hendelsene forekom i land med en kultur, et levesett, en byggeskikk og et regelverk som er og har vært annerledes enn i Norge. I flere av hendelsene var det, i tillegg til bruk av brennbare materialer i fasaden, også andre mangler i byggverket og brannsikkerhetsstrategien, som for eksempel manglende sprinkleranlegg. Flere av de høyprofilerte hendelsene, som brannen i Grenfell Tower, har ført til diskusjoner, granskninger, endringer og forslag til endringer omhandlende hvor høyt man skal tillate å bygge med brennbare materialer i fasaden. Det er viktig at også eksisterende byggverk blir tatt hensyn til i denne diskusjonen. Innstramming av krav og ytelser baseres i stor grad på brannhendelser, der hensikten er at tilsvarende hendelser ikke skal forekomme i nybygg. Hva så med alle tilsvarende byggverk som har blitt prosjektert med samme regelverk? Ved renovering av eldre byggverk er det i Norge krav om at eier av byggverk skal sørge for å oppgradere sikkerhetsnivået i byggverket slik at det minst tilsvarer nivået som fremkommer av de samlede kravene gitt i byggeforskrift 1985 (Byggeforskrift 1985, 1985) eller senere byggeregler. Det kan være andre mangler i brannsikkerhetsstrategien til et eldre byggverk som gjør at den totale brannsikkerheten ikke er god nok ved for eksempel renovering og utbygging til en fasade i tre.

Et annet viktig spørsmål som bør stilles i diskusjonen om bruk av brennbare fasadematerialer er om trevirke skal stilles på lik linje med for eksempel komposittprodukter som inneholder en kjerne av svært brennbar plast. DiBKs forslag til endringer i veiledning til byggteknisk forskrift (Direktoratet for byggkvalitet, 2018) fra begrenset brennbar til ubrennbar utvendig kledning i høyere byggverk kommer i kjølvannet av flere høyprofilerte brannhendelser der metallkomposittpaneler har bidratt til hurtig brannspredning i fasader i høyhus. Istedenfor å skjerpe ytelseskravet på generell basis så kunne et alternativ vært å skjerpe kravene for bruk av komposittmaterialer med brennbar kjerne som kun er testet i småskala og andre

materialer som erfaringsmessig har bidratt betraktelig til brannspredning. Metallkomposittpanener har en helt annerledes oppførsel ved brannpåvirkning enn det produkter av trevirke har, med en varmeavgivelse som kan være veldig mye høyere over et kortere tidsrom. Dette øker risikoen for hurtig brannspredning, som igjen går ut over blant annet tilgjengelig rømningstid og tid til å starte slokningsarbeid. Slik forslaget fremstilles vil bruken av utvendig kledning av tre kraftig reduseres.

Det blir også foreslått av DiBK at ytterveggkonstruksjoner alternativt kan dokumenteres ved storskalatesting etter SP Fire 105 (Sveriges Provnings- og Forskningsinstitut (SP), 1994). Branntesting i fullskala gir den sikreste verifiseringen av brannsikkerheten til brennbare fasader, men kan være ressurskrevende og kostbart. Samtidig skal en ny harmonisert fullskala testmetode for Europa med et nytt klassifiseringssystem ferdigstilles i 2022. Hovedfokuset bør være på å beskrive ulike tiltak som begrenser brannspredningen i trefasader frem til den nye testmetoden er ferdigstilt. Da vil det være viktig å se på hvordan trefasader oppfører seg og ikke minst hvordan de klassifiseres i den nye metoden. Testing av fasadesystemer med brennbare materialer i henhold til SP Fire 105 bør allikevel gjennomføres fram til den nye fullskala testmetoden er ferdigstilt.

9.2 Tiltak mot brannspredning i trefasader

Egenskapene til materialer ved brannpåvirkning er av stor betydning for om en brann kan spre seg i en fasade. Ulike tiltak er helt nødvendige for å redusere sannsynligheten for brannspredning. Så godt som ingen bygninger er like, og to branner vil aldri utvikle seg helt likt. Det er opp til ansvarlig brannprosjekterende å vurdere hvilke tiltak som anses som nødvendige der det ikke er spesifisert i regelverket.

Installering av innvendig automatisk sprinkleranlegg vil redusere sannsynligheten betraktelig for overtenning og spredning ut til fasaden. Det er et pålitelig tiltak (Ahrens, 2017; Mostue og Opstad, 2002), men i motsetning til et passivt tiltak vil det alltid være en viss sannsynlighet for at det ikke fungerer. Sprinkling gjør også at det er mulig å redusere andre ytelser, og konsekvensene av at sprinkleranlegget ikke fungerer kan da potensielt bli meget store. En kan si at byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) er velutviklet for branner som starter innvendig, men utvendig brannstart er også et reelt scenario som må tas hensyn til i prosjekteringen. Det er veldig viktig å være klar over at innvendig sprinkling alene ikke er tilstrekkelig for å hindre at en brann kan spre seg i fasaden. Supplerende tiltak som hindrer eller reduserer brannspredning i fasaden må innføres for å ta hensyn til eventuell sprinklersvikt og andre brannscenarioer. En brann på utsiden av selve kledningen i en trefasade er ikke like kritisk som det å forhindre brannspredning ut av vindu og inn i luftespalten eller til overliggende vindu, men slike scenarioer må også vurderes i brannprosjekteringen, og nødvendige tiltak for å hindre brannspredning må inkluderes.

Gjennom arbeidet med denne oppgaven anbefales følgende tiltak ved prosjektering av byggverk med trefasader for å bedre brannsikkerheten:

- Prosjektering av automatisk sprinkleranlegg i henhold til NS-EN 12845 (Standard Norge, 2020c) og oppgradering etter Tillegg F, som gir høyere pålitelighet og effekt, bør gjøres for
 - byggverk som er høyere enn brannvesenets høyderedskaper kan nå, eller
 - byggverk som har økt innvendig brannenergi, for eksempel byggverk med eksponert massivtre
 fordi konsekvensene ved sprinklersvikt kan bli spesielt store i disse tilfellene.
- Brannsikring av luftespalten anses som helt nødvendig da en brann kan spres oppover i luftespalten uavhengig av brennbarheten til materialene, og en brann i hulrom er vanskeligere å oppdage og slokke. Vertikale tette lekter bør monteres ved alle vertikale branncellebegrensende vegger. Hulromsventiler med brannklassifisering vil være et veldig godt tiltak for å begrense brannspredning til og i luftespalten. I bygninger eller deler av bygninger som er utenfor rekkevidden til brannvesenets høyderedskaper bør horisontale brannstopp monteres for hver etasje og i luftespalten i overkant av vinduer. Beslag eller bord som bryter luftespalten og kledning kan også benyttes for hver etasje.
- I bygninger eller deler av bygninger som er utenfor rekkevidden til brannvesenets høyderedskaper bør den preaksepterte ytelsen om kjølesoner opprettholdes selv om bygningen er sprinklet, fordi konsekvensene ved sprinklersvikt potensielt kan bli veldig store.
- Man bør i så stor grad som mulig unngå nisjer og kanaler i fasadens utforming, da det har vist seg at dette kan gi lengre flammer og hurtigere vertikal spredning oppover en brennbar fasade.
- Valg av kledning (brannhemmet eller ubehandlet) kan baseres på analyse og bruk av SP Fire 105 gir viktig kunnskap om oppførselen til fasadesystemet som en helhet.

9.3 Problematikk rundt bestandighet, fukt og råte

Bruk av brannstopp i luftespalten ved hvert branncellebegrensende skille vil utvilsomt bedre brannsikkerheten, men det kan også forårsake for dårlig lufting i hulrommet og i verste fall problemer med råte (Skogstad, 2012). I kombinasjon med brannimpregnert trekledning og brannimpregnerte trelekter kan det gi store råteproblemer fordi salter i impregneringen er hygroskopiske og gjør at treet tiltrekker seg mer fukt fra omgivelsene. Evnen som hulromsventiler eller brannstopp med gitterstruktur har til å opprettholde sine egenskaper over tid er også noe en kan stille spørsmål ved. Støv og annen skitt kan samles og sette seg fast i gitterstrukturen. Etter lang tids påkjenning fra vær og vind kan dette svekke og i verste fall hindre den nødvendige luftingen i luftespalten. Vedlikehold kan være vanskelig å gjennomføre da store deler av kledningen må tas bort for å nå fram til brannstoppene.

Det har blitt reist spørsmål om brannhemmet trekledning opprettholder sine forbedrede egenskaper ved brannpåvirkning over tid. Hvis et produkt av brannhemmet tre er EXT-klassifisert er risikoen høy for at det antas at produktet er allment akseptert for utvendig bruk. Det blir ofte ikke sjekket om det i tillegg krever en overflatebehandling for å innfri EXT-kravet. For å adressere dette problemet bør EXT-klassifiseringen deles inn i to

underklasser: én for produkter som krever overflatebehandling for å oppnå kravet til bestandighet og én for produkter som ikke krever overflatebehandling for å oppnå kravet til bestandighet. Innføring av en underklasse som tydeliggjør at produktet *må* overflatebehandles vil føre til mindre rom for feiltolkning og -bruk.

9.4 Branntesting

Det er ingen tvil om at branntesting er et nødvendig og viktig verktøy for å beskrive oppførselen og egenskapene til produkter og konstruksjoner ved brannpåvirkning. Branntesting i liten skala ved for eksempel bruk av konkalorimeteret er best egnet for å sammenligne materialer og produkter, men gir ikke alene tilstrekkelig informasjon om oppførselen i et brannscenario som involverer flere komponenter, samhandling mellom komponenter og økt påkjenning, som i en fasadebrann.

Er euroklassene representative for produkter som brukes i fasader?

Euroklassene brukes til å angi preaksepterte ytelser for overflater i veiledningen til byggt teknisk forskrift (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Selv om mange produkter og komponenter som brukes i fasadesystemer kan ha oppnådd tilfredsstillende klassifisering i henhold til euroklassesystemet, kan det være at kombinasjonen av komponentene i et fasadesystem ikke gir tilfredsstillende brannsikkerhet. Forskjell i skalaen på testingen i euroklassesystemet og en faktisk fasadebrann er for stor, og oppbygning med hulrom som kan gi økt stråling og skorsteinseffekt er ikke nødvendigvis tatt i betraktning.

Metallkomposittpaneler kan bli klassifisert i euroklasse B etter testing i henhold til NS-EN 13501-1 (Standard Norge, 2019b). Som i mange av de internasjonale brannhendelsene omtalt i kapittel 3.1 kan kjernen i panelene bestå av polyetylen. Polyetylen er brennbar og ville alene ha havnet i euroklasse E eller F, det vil si at det bidrar i stor grad til brannutvikling. I metallkomposittpanelene pakkes kjernen inn med et tynt beskyttende overflatesjikt av metall. Produktet testes så i SBI-testen (Standard Norge, 2015a) og hvis overflatebeskyttelsen klarer å beskytte mot brannpåkjenningen i eksponeringstiden på 20 minutter kan altså produktet oppnå klasse B. Produktet har kun blitt testet i et scenario som simulerer en brennende papirkurv i et innvendig hjørne inne i et rom, ikke i et scenario som simulerer en fullt utviklet brann. Det er kun inhomogene produkter som skal klassifiseres som ubrennbare (euroklasse A1 og A2) som krever testing av hver enkeltkomponent for å sikre at produktet i prinsippet er ubrennbar. Satt på spissen så kan enkelte produkter med samme klassifisering som brannhemmet tre (euroklasse B) som blir involvert i en fasadebrann oppføre seg som produkter i euroklasse E, fordi de kun har blitt testet ved en lavere brannpåkjenning.

Euroklassene gir altså ikke et riktig bilde av hvordan produkter oppfører seg i en stor brann, som for eksempel flammer ut av vinduet fra en fullt utviklet rombrann. Det er viktig å huske på at euroklassene i hovedsak er ment for å kunne sammenligne brannegenskapene til ulike produkter. Komposittmaterialer kan oppnå samme klassifisering som brannhemmet tre, men allikevel være svært brennbare og bidra betydelig til brannspredning i fasaden hvis brannpåkjenningen er stor nok til at den

brennbare kjernen involveres. Trevirke er et homogent materiale og vil på generell basis ha en oppførsel ved brannpåkjenning som er mer forutsigbar. Testing i liten skala representerer ikke en brann i en fasade, men er egnet for å sammenligne produkter. Tre er brennbart, men brannenergien blir frigjort saktere enn for aluminiumkomposittpaneler og faren for brannspredning nedover på grunn av brennende dråper er ikke tilstede.

Branntesting i oppgaven

Brannimpregnert gran og fem forskjellige tresorter ble testet ved prøving i småskala i konkalorimeteret i henhold til ISO 5660-1 (International Organization for Standardization, 2015) med et varmestralingsnivå på 50 kW/m². Antennelsestiden i forsøkene er sterkt koblet til densiteten til treet, der høyere densitet ga lengre antennelsestid. Unntaket var brannimpregnert gran, der brannimpregneringen tydelig forlenget antennelsestiden. Forskjellene i toppene for varmeavgivelseshastighet (HRR_{peak1}) var ikke så store, med unntak av brannimpregnert gran som hadde en vesentlig lavere HRR_{peak1} . Løvtresortene skilte seg imidlertid ut ved at varmeavgivelseshastigheten holdt seg på et jevnt høyere nivå etter HRR_{peak1} . Dette viser at de sannsynligvis vil gi et større bidrag i brannens startfase, og selv om antennelsestiden var noe lengre enn for bartresorten gran så vil ikke dette være nok til å veie opp for den høye varmeavgivelsen. Den økte antennelsestiden vil dog være en faktor som spiller inn på flammespredningsevnen, som kan sees på som suksessiv antennelse på overflaten til treet.

Prøvestykker av aluminiumkomposittpaneler med polyetylen-kjerne som har blitt testet i konkalorimeteret ved samme varmestralingsnivå (McKenna *et al.*, 2019) viser en HRR_{peak} som er over 5 ganger så høyt som den høyeste målingen (bjørk) og over 15 ganger så høyt som den laveste målingen (brannimpregnert gran) i dette forsøket. Det viser tydelig hvordan aluminiumkomposittpaneler med polyetylen-kjerne kan bidra til hurtig brannspredning når det brukes som utvendig kledning i en fasade, og at brannimpregnert utvendig kledning sannsynligvis vil ha et vesentlig mindre bidrag.

9.5 Konklusjon

Det er mulig å bygge høyt med trefasader samtidig som brannsikkerheten er ivaretatt. Det fordrer imidlertid at riktige og tilstrekkelige tiltak gjennomføres for å forhindre og redusere risikoen for brannspredning til og i fasaden. En rekke av de nødvendige tiltakene er tiltak som ikke vil ha noen effekt dersom andre tiltak fungerer som de skal. En god brannstrategi bør inneholde flere barrierer, slik at dersom en barriere feiler er det andre som fungerer. Brannsikring av luftespalten bak ytterkledningen anses som helt nødvendig. I deler av bygninger som er utenfor rekkevidden til brannvesenets høyderedskaper bør horisontale brannstopp monteres i hver etasje og den preaksepterte ytelsen om kjølesoner bør opprettholdes selv om bygningen er sprinklet. Testing av fasadesystemer med brennbare materialer kan gjennomføres i henhold til SP Fire 105 fram til den nye europeiske testmetoden er ferdigstilt. Flere av de større brannhendelsene internasjonalt som dessverre har ført til tap av menneskeliv skyldes

ikke kun dårlig prosjektering og løsninger i fasadekonstruksjonen. Det var også andre mangler i byggverkene på andre brannsikkerhetsområder. Det handler som mye annet om å ha et helhetlig syn slik at brannsikkerheten som en totalitet blir ivaretatt.

9.6 Forslag til videre arbeid

Videre undersøkelser vedrørende de branntekniske egenskapene til brannhemmet tre som er naturlig aldret bør gjennomføres. Norge har et svært varierende klima med store geografiske variasjoner. Et røft kystklima med mye nedbør, vind og salter fra havet kan føre til en helt annen eksponering for brannhemmet utvendig trekledning. Prøving i småskala av naturlig aldret brannhemmet utvendig trekledning for sammenligning av branntekniske egenskaper vil være nyttig for å avdekke om aldringsprosedyrene angitt i standarder er representative for norske klimatiske forhold. Spesielt nyttig og interessant er det å sammenligne brannhemmet trekledning som har stått ute i ulik tid og under ulike klimatiske forhold.

Det kan være interessant å teste flere ulike tresorter for å evaluere deres branntekniske egenskaper til bruk i fasader. Antennelsestiden er koblet til densiteten til treet, og lengre antennelsestid kan påvirke flammespredningsevnen. Videre arbeid bør inkludere og evaluere flammespredningsevnen i større grad. Mange tresorter er også avhengige av å bli behandlet for å oppnå gode nok fuktavvisende egenskaper. Hvordan dette påvirker de branntekniske egenskapene bør også undersøkes nærmere.

Det bør sees nærmere på om bruk av hulromsventiler eller brannstopp med gitterstruktur gir god nok lufting i hulrommet bak utvendig kledning. Det bør undersøkes om støv og annen skitt kan samle seg i gitterstrukturen og redusere luftgjennomstrømningen over tid. Kombinasjonen av brannimpregnert tre med økt hygroskopisitet, utbredt bruk av brannstopp i luftespalten og redusert lufting over tid kan være et reelt problem og bør undersøkes nærmere.

Den nye harmoniserte europeiske fullskala testmetoden for fasadesystemer blir ferdigstilt i 2022. Videre arbeid for å undersøke hvordan fasader med trekledning oppfører seg og kan klassifiseres i denne metoden er nødvendig.

Referanser

- Ahrens, M. (2017) *U.S. Experience with Sprinklers*. Tilgjengelig fra: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Suppression/ossprinklers.pdf> (Hentet: 18. november 2019).
- Babrauskas, V. (1984) Development of the cone calorimeter—A bench-scale heat release rate apparatus based on oxygen consumption, *Fire and Materials*, 8(2), s. 81-95. doi: 10.1002/fam.810080206.
- Babrauskas, V. og Peacock, R. D. (1992) Heat release rate: The single most important variable in fire hazard, *Fire Safety Journal*, 18(3), s. 255-272. doi: [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(92\)90019-9](https://doi.org/10.1016/0379-7112(92)90019-9).
- Babrauskas, V. (2002) Ignition of Wood: A Review of the State of the Art, *Journal of Fire Protection Engineering - J FIRE PROT ENG*, 12, s. 163-189. doi: 10.1177/10423910260620482.
- Babrauskas, V. (2015) The Cone Calorimeter *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, fifth edition*. s. 952-980.
- Bengtsson, T. og Sveningsson, A. (2019) Innlegg: Viktig å velge korrekt EXT-godkjente produkter, *Byggeindustrien*, 14. oktober. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1410734> (Hentet: 21. oktober 2019).
- Bonner, M. og Rein, G. (2020) *List of Facade Fires 1990-2020 (Version March 2020) [Data set]*. Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3743863> (Hentet: 15. mai 2020).
- Boström, L. et al. (2018) *Development of a European approach to assess the fire performance of facades*. Luxembourg: European Commission. Tilgjengelig fra: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1250881/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 9. desember 2019).
- Boström, L. (2019) *Nya riktlinjer vid fasadprovning i Europa*. Tilgjengelig fra: http://www2.informationsbolaget.se/nbt2019/pdf/06_lars_bostrom.pdf.
- Boström, L. (2020) *Finalisation of the European approach to assess the fire performance of facades*. Tilgjengelig fra: <https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/finalisation-european-approach-assess-fire-performance-facades>.
- Brannteknisk forening (2019) *Hva gjør et sprinkleranlegg?* Tilgjengelig fra: <https://www.branntekniskforening.no/index.php/hva-gjor-et-sprinkleranlegg> (Hentet: 18. november 2019).
- Buchanan, A. H. og Abu, A. K. (2017) *Structural Design for Fire Safety, Second Edition*. Chichester, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Byggeforskrift 1985 (1985) *Byggeforskrift 1985*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/9dcd44af30c744ea999f0d122fdc1c3c/ti-forskrift-1984-11-15-1892.pdf>.
- Byggeindustrien (2019) Treindustrien ber bestillerne etterspørre dokumentasjon på bestandighet ved kjøp av brannbehandlet trekledning, *Byggeindustrien*, 27. september. Tilgjengelig fra: <https://www.bygg.no/article/1408854> (Hentet: 21. oktober 2019).
- Byggesaksforskriften (SAK10) (2010) *Forskrift om byggesak (byggesaksforskriften)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-488>.
- Byggteknisk forskrift (TEK17) (2017) *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840>.
- Colwell, S. og Baker, T. (2013) *Fire performance og external thermal insulation for walls of multistorey buildings: Third edition (BR 135)*. BREPress.

- Deutsches Institut Fur Normung E.V. (2017) *DIN 4102-20 Fire behaviour of building materials and building components - Part 20: Complementary verification for the assessment of the fire behaviour of external wall claddings*.
- Direktoratet for byggkvalitet (2012) *Veiledningen til Tilsyn*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/saksbehandling/kommunalt-tilsyn/temaveiledninger/tilsyn/>.
- Direktoratet for byggkvalitet (2017) *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Oslo: Direktoratet for Byggkvalitet.
- Direktoratet for byggkvalitet (2018) *Forslag til endringer i veiledningen til TEK17*. Tilgjengelig fra: https://dibk.no/globalassets/horinger/horing-tek/110418_forslag-til-endringer-i-veiledningen-til-tek17--11-9-m.fl/horingsnotat-tek17-11-9.pdf.
- Drysdale, D. (2011) *An Introduction to Fire Dynamics*. 3. utg. Wiley.
- Dubai Civil Defense (2018) *UAE Fire and Life Safety Code of Practice*. Tilgjengelig fra: <https://www.dcd.gov.ae/portal/en/preventive-safety/rules-regulations/uae-fire-and-life-safety-code-of-practice.jsp> (Hentet: 21. mai 2020).
- Edvardsen, K. I. og Ramstad, T. Ø. (2014) *Håndbok 5 Trehus*. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Forskrift om brannforebygging (2016) *Forskrift om brannforebygging*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-12-17-1710>.
- Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK) (2013) *Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-12-17-1579>.
- Friquin, K. L. (2010) *Material properties and external factors influencing the charring rate of solid wood and glue-laminated timber*. Trondheim, Norway: Norwegian University of Science and Technology (Hentet: 29. januar 2020).
- Friquin, K. L., Reitan, N. K. og Mikalsen, R. F. (2019) *Fire exposure on facades of cross-laminated timber buildings - A review*. Upublisert paper presentert på Fire Safety of Facades 2019. Paris, France.
- Glasø, G. (2012) *Fokus 37 Tre og brann*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/37-Tre-og-brann.pdf>.
- Guinness World Records Limited (2020) *Tallest wooden building*. Tilgjengelig fra: <https://guinnessworldrecords.com/world-records/79569-tallest-wooden-building/> (Hentet: 25. mai 2020).
- Haram, S. (2020) *Teststandard for bestandigheten av brannbeskyttende treoverflater: RISE akkreditert til å sertifisere*. Tilgjengelig fra: <https://brennaktuelt.no/brannforebygging-brannsikkerhet-massivtre/teststandard-for-bestandigheten-av-brannbeskyttede-treoverflater-rise-akkreditert-til-a-sertifisere/102141> (Hentet: 24. mai 2020).
- Hosken, A. (2017) *Fire brigade raised fears about cladding with councils*. Tilgjengelig fra: <https://www.bbc.com/news/uk-40422922> (Hentet: 21. mai 2020).
- Hox, K. (2015) *Branntest av massivtre*. (SPFR A15101): SP Fire Research AS. Tilgjengelig fra: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2015/spfr-a15101-branntest-av-massivtre.pdf>.
- Huggett, C. (1980) Estimation of rate of heat release by means of oxygen consumption measurements, *Fire and Materials*, 4(2), s. 61-65. doi: 10.1002/fam.810040202.
- International Organization for Standardization (2006) *ISO 5658-2:2006 Reaction to fire tests - Spread of flame - Part 2: Lateral spread on building and transport products in vertical configuration*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=198820>.
- International Organization for Standardization (2015) *ISO 5660-1:2015 Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement)*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=750498>.
- International Organization for Standardization (2016) *ISO 9705-1:2016 Reaction to fire tests - Room corner test for wall and ceiling lining products - Part 1: Test method*

- for a small room configuration. Tilgjengelig fra:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=804555>.
- International Organization for Standardization (2017) *ISO 13943:2017 Fire Safety - Vocabulary*. Tilgjengelig fra:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=928619>.
- Janssens, M. (2016) *Calorimetry SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, fifth edition*. s. 905-951.
- Japanese Standards Association (JSA) (2019) *JIS A 1310*. Tilgjengelig fra:
https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=JIS%20A%201310&item_s_key=00642825.
- Kollegiet for brannfaglig terminologi (2019) *Faguttrykk*. Tilgjengelig fra:
<http://www.kbt.no/faguttrykk.asp> (Hentet: 29. januar 2020).
- Kristoffersen, M. (2019) *Norske trehusmiljøer og murtvang*. Tilgjengelig fra:
<https://www.byggogbevar.no/pusse-opp/brann/artikler/norske-trehus-og-murtvang> (Hentet: 26. mars 2020).
- Lignum - Dokumentation Brandschutz (2009) *7.1 Aussenwände - Konstruktion und Bekleidungen*. Tilgjengelig fra: <https://issuu.com/lignum/docs/bs7.1>.
- McKenna, S. T. et al. (2019) Fire behaviour of modern façade materials – Understanding the Grenfell Tower fire, *Journal of Hazardous Materials*, 368, s. 115-123. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.077>.
- Mjøstårnet* (2019). Tilgjengelig fra: <https://www.moelven.com/mjostarnet/> (Hentet: 25. mai 2020).
- Mostue, B. A. og Opstad, K. (2002) *Effekt av brannverntiltak - Vegger og sprinkler*. (NBL A01118). Trondheim: SINTEF - Norges branntekniske laboratorium AS.
Tilgjengelig fra: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/nbl10-a01118.pdf>.
- Myhre, F. (2018) *Moholt 50/50*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/statens-pris-for-byggkvalitet/nominerte-2018/nominerte-nummer-1/> (Hentet: 25. mai 2020).
- Norske arkitekters landsforbund (NAL) (2017) *Moholt 50/50 - Tårnene på Moholt*. Tilgjengelig fra: <https://arkitektur-n.no/prosjekter/moholt-50-50> (Hentet: 25. mai 2020).
- Petrus, P. P. (2017) *A perspective on high rise building fires involving the facade*. Tilgjengelig fra: <https://apfmag.mdmpublishing.com/a-perspective-on-high-rise-building-fires-involving-the-facade/> (Hentet: 20. mai 2020).
- Plan- og bygningsloven - pbl (2008) *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>.
- Rowell, R. M. (1984) *The Chemistry of solid wood*. Washington, D.C.: American Chemical Society.
- SINTEF Byggforsk (2008) *523.002 Yttervegger over terreng. Egenskaper og konstruksjonsprinsipper. Krav og anbefalinger*. Tilgjengelig fra:
https://www.byggforsk.no/dokument/348/yttervegger_over_terreng_egenskaper_og_konstruksjonsprinsipper_krav_og_anbefalinger (Hentet: 7. juni 2020).
- SINTEF Byggforsk (2010) *520.308 Yttervegger og tak i trehus med 30 minutters brannmotstand*. Tilgjengelig fra:
https://www.byggforsk.no/dokument/313/yttervegger_og_tak_i_trehus_med_30_minutters_brannmotstand (Hentet: 7. desember 2019).
- SINTEF Byggforsk (2017) *520.310 Brannspredning via fasader*. Tilgjengelig fra:
https://www.byggforsk.no/dokument/3256/brannspredning_via_fasader (Hentet: 2. oktober 2019).
- Skaug, E. (u.å.) *Fokus 40 - Trevirkets oppbygging og egenskaper*. Tilgjengelig fra:
<http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-40.pdf>.
- Skogstad, H. B. (2012) *Unngå byggskader med luftet kledning og totrinnstetning*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/file/index/544> (Hentet: 22. november 2019).

- Smith, B. (2019) *Why aluminium composite cladding is flammable and how buildings can be made safe*. Tilgjengelig fra: <https://www.abc.net.au/news/science/2019-03-12/aluminium-composite-cladding-polyethene-flammable-grenfell/10882316> (Hentet: 21. mai 2020).
- Sorthe, L. E. (2015) *Utredning: Muligheter for reduserte branntekniske ytelser ved installasjon av automatiske slokkeanlegg*. Tilgjengelig fra: https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tek10-til-tek17/rapporter/utredning-om-muligheter-for-reduuerte-branntekniske-ytelser-ved-installasjon-av-automatisk-slokkeanlegg_multiconsult_mars-2015.pdf (Hentet: 18. november 2019).
- Standard Norge (2010a) *NS-EN 1995-1-2 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=418958>.
- Standard Norge (2010b) *NS-EN ISO 1182:2010 Prøving av produkters egenskaper ved brannpåvirkning - Prøving av ubrennbarhet*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=438645>.
- Standard Norge (2012) *NS 3901:2012 Krav til risikovurdering av brann i byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=532801>.
- Standard Norge (2013) *NS-INSTA 900-1:2013 Boligsprinkler - Del 1: Dimensjonering, installering og vedlikehold*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=648794>.
- Standard Norge (2014) *SN-INSTA/TS 950:2014 Analytisk brannteknisk prosjektering - Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=692000>.
- Standard Norge (2015a) *NS-EN 13823:2010+A1:2014 Prøving av byggevarers egenskaper ved brannpåvirkning - Byggeprodukter (unntatt gulvbelegg) som utsettes for termisk påkjenning fra en brennende gjenstand*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=732314>.
- Standard Norge (2015b) *NS-EN 13823:2010 Prøving av byggevarers egenskaper ved brannpåvirkning - Byggeprodukter (unntatt gulvbelegg) som utsettes for termisk påkjenning fra en brennende gjenstand*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=732314>.
- Standard Norge (2016) *NS-EN 13501-2:2016 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 2: Klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving, unntatt ventilasjonssystemer*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=832925>.
- Standard Norge (2018a) *NS-EN ISO 1716:2018 Prøving av byggeprodukters egenskaper ved brannpåvirkning - Bestemmelse av forbrenningsvarme (brennverdi)*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=997236>.
- Standard Norge (2018b) *NS-EN 16755:2017 Bestandighet av materialers egenskaper ved brannpåvirkning - Klassifisering av brannhemmende behandlede trebaserte produkter for innvendig og utvendig bruk*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=956412>.
- Standard Norge (2019a) *NS-EN 927-3:2019 Maling og lakk - Belegg og beleggsystemer for utvendig behandling av tre - Del 3: Utendørsprøving*. Tilgjengelig fra:

- <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1105149>.
- Standard Norge (2019b) *NS-EN 13501-1:2018 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1026484>.
- Standard Norge (2019c) *NS-EN 16925:2018+NA:2019 Faste brannslukkesystemer - Automatiske boligsprinklersystemer - Dimensjonering, installering og vedlikehold*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1029914>.
- Standard Norge (2020a) *NS-EN 14915:2013+A2:2020 Panelbord og kledningsbord av heltre - Egenskaper, evaluering av samsvar og merking*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1128715>.
- Standard Norge (2020b) *NS-EN ISO 11925-2:2020 Prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning - Antennelighet av byggeprodukter ved direkte påvirkning av flamme - Del 2: Prøving med én enkelt flamme*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1131209>.
- Standard Norge (2020c) *NS-EN 12845:2015+A1 Faste brannslukkesystemer - Automatiske sprinklersystemer - Dimensjonering, installering og vedlikehold*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1122750>.
- Steen-Hansen, A. (2002) *No fire without smoke: prediction models for heat release and smoke production in the SBI test and the Room Corner test based on Cone Calorimeter test results*, Norwegian University of Science and Technology.
- Steen-Hansen, A. og Kristoffersen, B. (2007) Prediction of fire classification for wood based products. A multivariate statistical approach based on the cone calorimeter, *Fire and Materials*, 31(3), s. 207-223. doi: 10.1002/fam.934.
- Steen-Hansen, A. (2018) *Utredning - branntekniske ytelser for kledninger og overflater*. (A18 20354:1). Trondheim: RISE Fire Research. Tilgjengelig fra: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2018/rise-fire-research-rapport-a18-20354-1-utredning-kledninger-og-overflater.pdf> (Hentet: 8. desember 2019).
- Stensaas, J. P. (1996) *En eksperimentell undersøkelse av om sot- og tjæreansamlinger i isolasjonen i elementskorsteiner utgjør en brannfare*. (STF84 A96601). Trondheim: SINTEF NBL. Tilgjengelig fra: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/1996/stf84-a96601-2.pdf> (Hentet: 9. mars 2020).
- Storesund, K. (2019) *Brannhemmet tre i fasader - aldring og bestandighet*. (RISE-rapport 2019:125): RISE Research Institutes of Sweden.
- Sundström, B. (2007) *The FIGRA-index : European classification of ordinary building products, cables and pipe insulation. The technical background and the relation to product burning behaviour*. Upublisert paper presentert på Eleventh International Interflam Conference.
- Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) (1994) *SP FIRE 105. External wall assemblies and facade claddings. Reaction to fire*. Borås, Sweden.
- Teknisk industrivern AS (2019a) *Grunnleggende brannteori*. Tilgjengelig fra: <https://www.teknisk-industrivern.no/documents/57.html> (Hentet: 24. oktober 2019).
- Teknisk industrivern AS (2019b) *Branntrekanten* (s. CC-BY-SA-4.0). Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subjects/subject:36/topic:1:101543/resource:1:101547> (Hentet: 24. oktober 2019).

- The British Standards Institution (2020) *BS 8414-1:2020 Fire performance of external cladding systems. Testmethod for non-loadbearing external cladding systems fixed to, and supported by, a masonry substrate.*
- Thornton, W. (1917) The Relation of Oxygen to the Heat of Combustion of Organic Compounds, *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 33.
- TreFokus AS (u.å.) *Trevirkets holdbarhet*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/tre-utendors/artikkel-2> (Hentet: 2. juni 2020).
- Ukjent (2010) *Sonacotra Building* [Digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://www.bbc.com/news/world-europe-11752303> (Hentet: 30. mai 2020).
- Ukjent (2012) *Mermoz Tower* [Digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://www.insidehousing.co.uk/insight/insight/grenfell-the-french-connection-53571> (Hentet: 30. mai 2020).
- Ukjent (2019) [Digital video]. Tilgjengelig fra: https://twitter.com/xinyan_huang/status/1133681710963363840 (Hentet: 30. mai 2020).
- Yoshioka, H. et al. (2019) *Experimental study combining accelerated weathering test with fire test regarding fire-retardant-treated wooden facades in Japan*. Upublisert paper presentert på Fire Safety of Facades 2019. Paris, France.
- Östman, B. og Mikkola, E. (2018) *Guidance on Fire Safety of Bio-Based Facades*. (N230-07). Zürich: COST Action FP1404 (Hentet: 24. november 2019).
- Östman, B. og Mikkola, E. (2019) *Fire safety of bio-based facades*. Upublisert paper presentert på Fire Safety of Facades 2019. Paris, France.
- Östman, B. A. L. og Tsantaridis, L. D. (2017) Durability of the reaction to fire performance of fire-retardant-treated wood products in exterior applications – a 10-year report, *International Wood Products Journal*, 8(2), s. 94-100. doi: 10.1080/20426445.2017.1330229.
- Øvrum, A. (2011) *Fokus 22 Utvendig kledning*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/publikasjoner/fokus-pa-tre/22--utvendig-kledning>.
- Aarstad, J. og Glasø, G. (2011) *FOKUS på tre - Massivtre*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf>.
- 최광모 (2010) [Digitalt fotografi]. Finnes ved 한국어: 우신골든스위트 화재 사고. Tilgjengelig fra: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wushinfire22.jpg> (Hentet: 30. mai 2020).

