



Høgskulen på Vestlandet

Master Thesis

ING5002D

Predefinert informasjon

Startdato:	09-05-2020 09:00	Termin:	2020 VÅR
Sluttdato:	02-06-2020 14:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Masteroppgave		
SIS-kode:	203 ING5002D 1 MOPPG 2020 VÅR HAUGESUND		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Kandidatnr.: 305

Informasjon fra deltaker

Tittel *: Utvendig brannspredning mellom bygguerk

Engelsk tittel *: Exterior fire spread between adjacent buildings

Egenerklæring *: Ja **Inneholder besvarelsen** Nei
konfidensielt
materiale?:

Jeg bekrefter at jeg har Ja
registrert
oppgavetittelen på
norsk og engelsk i
StudentWeb og vet at
denne vil stå på
vitnemålet mitt *:

Jeg godkjenner avtalen om publisering av masteroppgaven min *

Ja

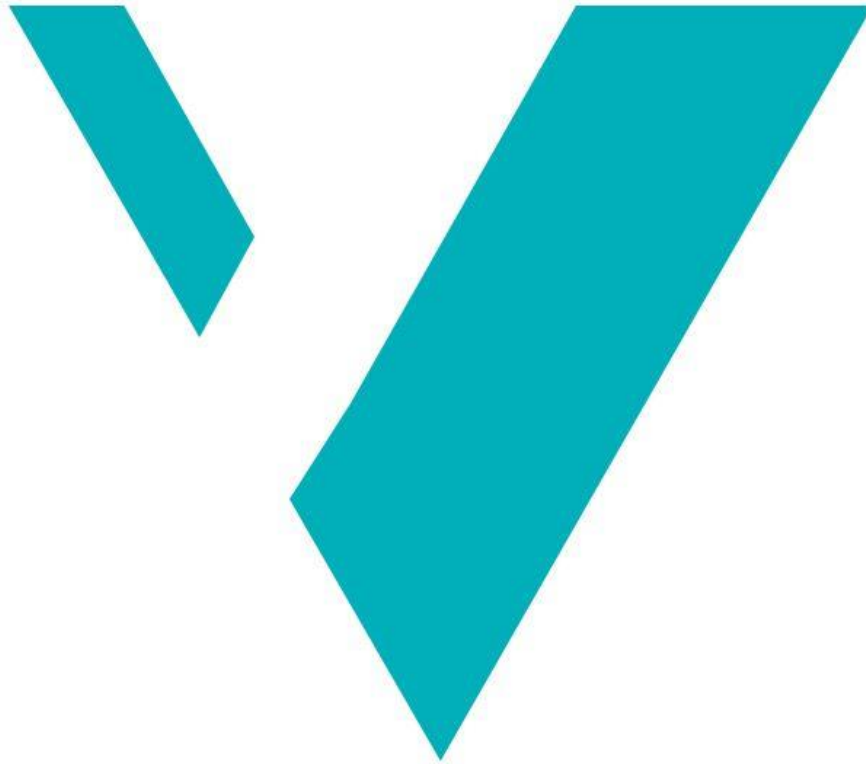
Er masteroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? *

Nei

Er masteroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? *

Nei

Utvendig brannspredning mellom byggverk



Håkon Nordvoll

Høgskulen på Vestlandet

Masteroppgave i Brannsikkerhet

Steinkjer


Juni 2020



Høgskulen
på Vestlandet

Utvendig brannspredning mellom byggverk

Masteroppgave i Brannsikkerhet

Forfatter: Håkon Nordvoll	Forfatter sign. 
Oppgaven uttatt: Høst 2018	Åpen oppgave
Veileder: Stefan Andersson	
Ekstern veileder: Ole Jørgen Bragstad, Norconsult AS	
Stikkord: Brannspredning Stråling Flyvebrann	Antall sider: 121 Steinkjer, 2. juni, 2020 Sted/Dato/År
Dette arbeidet er gjennomført som ledd i masterprogrammet i brannsikkerhet ved Høgskulen på Vestlandet. Studenten står selv ansvarlig for metodene som er anvendt, resultatene som er fremkommet og konklusjoner og vurderinger i arbeidet.	

Til min sønn,
Jonas

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på masterstudiet Brannsikkerhet ved HVL, som for mitt vedkommende er gjennomført over tre år som deltidsstudent. Jeg startet på studiet høsten 2017, samtidig som jeg startet i min første jobb som brannrådgiver for Norconsult i Steinkjer. Studiet har bestått av seks individuelle fag á 10 studiepoeng, i tillegg til selve masteroppgaven som utgjør 60 studiepoeng. Det å kombinere masterstudier med fulltidsjobb og familieliv har vært slitsomt, og det er godt å kunne levere inn det endelige resultatet etter tre strevsomme år.

Valg av tema og metode for oppgaven er gjort i samråd med min interne veileder ved HVL. Jobb-, bosteds- og familiesituasjon spilte en stor rolle for valget om å gjennomføre et litteraturstudium, slik at reising kunne holdes til et minimum. Valget om å skrive om brannspredning mellom byggverk ble gjort av ønske om å kunne vurdere, om det generelle kravet til 8 m mellom byggverk er tilstrekkelig for å ivareta sikkerhet mot brannspredning mellom byggverk.

Takk til min interne veileder og kollega Stefan Andersson, samt min eksterne veileder og kollega Ole Jørgen Bragstad, som har bidratt med gode idéer, nyttige innspill og faglige diskusjoner.

Til slutt en takk til venner og familie, som har holdt ut med stresset mitt og mitt fraværende vesen de siste årene – jeg ser fram til å endelig kunne prioritere andre aktiviteter enn skolearbeid på fritiden, og å være mer tilstedeværende.

Steinkjer, 2. juni 2020



Håkon Nordvoll

Sammendrag

Iht. norske byggeregler kan tilstrekkelig avstand mellom byggverk, for å ivareta tilfredsstillende sikkerhet mot brannspredning, generelt antas å være ivaretatt når avstanden er minst 8 m.

Hensikten med denne masteroppgaven har vært å se nærmere på kravet om tilstrekkelig avstand, og om det er andre faktorer, som ikke er omtalt i dagens regelverk, som kan ha en betydning for brannspredning mellom byggverk.

Oppgaven er utarbeidet i form av et litteraturstudium, som hovedsakelig tar for seg forskning innenfor varmestråling og flyvebrann som brannspredningsmekanisme mellom byggverk, med søkelys på både bygningskomponenter og utomhusareal.

Et byggverk som brenner vil kunne eksponere nabobygg for varmestråling fra f.eks. vinduer. Brannsmitte er da avhengig av den kritiske strålingsintensiteten hos de eksponerte materialene på nabobygget. Et brennende byggverk vil også kunne produsere flyvebrann, som kan transporteres over store avstander og antenne materialer som det lander på.

Det generelle kravet til 8 m avstand er isolert sett vurdert å være tilstrekkelig for å beskytte mot brannspredning via varmestråling, men kan kanskje være noe konservativt i enkelte tilfeller. Pga. at flyvebrann kan spres over store avstander, er det ikke mulig å fastsette en tilsvarende tilstrekkelig avstand for denne brannspredningsmekanismen. Sikring mot flyvebrann kan imidlertid ivaretas gjennom bygningsmessige tiltak.

Igjennom arbeidet med rapporten er det også funnet at utomhusareal kan være av stor betydning for brannspredning mellom byggverk, der vegetasjon o.l. utgjør en potensiell brannspredningsvei mellom byggverk. Branntekniske ytelser for slike areal bør utarbeides og inkluderes i regelverket.

Abstract

In accordance with the Norwegian building codes, a spatial distance of 8 m between buildings are considered to be sufficient in order to ensure satisfactory safety against exterior fire spread between adjacent buildings.

The purpose of this master's thesis has been to look into the requirement for sufficient spatial distance between buildings, and to see if the building codes are lacking elements for consideration of fire spread between buildings.

The thesis has been prepared in the form of a literature study which mainly focuses on research in radiative heat transfer and firebrands as fire spread mechanisms between buildings, with a spotlight on both building components and the areas surrounding buildings.

A burning building can expose neighboring buildings to radiation from e.g. window. With regards to radiation, fire spread depends on the critical radiation intensity of the exposed materials on the neighboring building. A burning building can also produce firebrands which are able to be transported over great distances through the air, igniting materials where they land.

Isolated, a spatial distance of 8 m is found to be sufficient to protect against exterior fire spread due to radiative heat transfer but may be somewhat conservative for certain types of buildings. For firebrands it is not possible to specify a sufficient spatial distance in the same way as for radiation, because the firebrands can be transported over great distances. However, it is possible to protect against firebrands through structural measures.

Through the work on this thesis, it has also been found that outdoor areas surrounding buildings could be of great importance in the means of fire spread between buildings, because vegetation and other objects represents a possible fire spread path. Measures to minimize fire spread risk in outdoor areas surrounding buildings should be developed and integrated in the building codes.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Figurliste.....	viii
Ord- og begrepsforklaring	xii
1 Innledning.....	1
1.1 Historikk og bakgrunn	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Formål.....	2
1.4 Avgrensninger	2
1.5 Brukerveiledning	3
2 Metode.....	4
2.1 Valg av metode	4
2.2 Vurdering av gyldighet.....	5
2.3 Vurdering av pålitelighet	6
2.4 Innhenting av litteratur	6
2.4.1 Innledende fase.....	6
2.4.2 Kilders kilder og annen relevant litteratur.....	6
2.4.3 «Uavhengig» litteratursøk	6
2.4.4 Sortering av ulest litteratur	7
2.5 Gjennomgang av litteratur	7
2.6 Svakheter ved metoden.....	8
3 Teori	9
3.1 Brannspredning mellom fysisk adskilte bygg	9

3.2	Varmestråling	10
3.2.1	Emissivitet.....	10
3.2.2	Synsfaktor.....	10
3.2.3	Antennelse av faste materialer ved stråling.....	11
3.3	Rombrann	12
3.4	Flyvebrann.....	13
3.4.1	Antennelse av bygningskomponenter ved flyvebrann	14
3.5	Brannskall og brannskallsikring	15
3.6	Brannmotstandsdyktige samfunn	16
4	Litteraturstudium.....	18
4.1	Varmestråling	18
4.1.1	Kritisk strålingsintensitet: Tre	18
4.1.2	Kritisk strålingsintensitet: Andre aktuelle materialer.....	18
4.1.3	Kritisk strålingsintensitet: Glass.....	19
4.1.4	Faktorer som påvirker avgitt varmemestråling	20
4.1.5	Registrert varmemestråling fra fullskalaforsøk og simuleringer	23
4.1.6	Faktorer som påvirker mottatt stråling og antennelse av treverk	29
4.1.7	Vurdering av avstand mellom bygg med grunnlag i stråling.....	30
4.2	Flyvebrann	31
4.2.1	Produksjon av flyvebrann: Små trebygninger	32
4.2.2	Produksjon av flyvebrann: Veggkonstruksjoner	33
4.2.3	Produksjon av flyvebrann: Takkonstruksjoner	38
4.2.4	Produksjon av flyvebrann: Gjerder	39
4.2.5	Produksjon av flyvebrann: Virkelige branner	41
4.2.6	Transport og spredning av flyvebrann fra bygningsbranner	44
4.2.7	Effekt av vind på flyvebrann	48

4.2.8	Antennelse ved flyvebrann.....	49
4.2.9	Flyvebrann og bygningsdeler: Vegger	52
4.2.10	Flyvebrann og bygningsdeler: Vinduer.....	55
4.2.11	Flyvebrann og bygningsdeler: Tak.....	56
4.2.12	Flyvebrann og bygningsdeler: Ventilert.....	59
4.2.13	Flyvebrann og bygningsdeler: Plattinger	60
4.2.14	Flyvebrann og bygningsdeler: Isolasjonsmaterialer.....	62
4.2.15	Flyvebrann og utomhusareal: Gjerder.....	62
4.2.16	Flyvebrann og utomhusareal: Hager og blomsterbed.....	64
4.3	Andre relevante emner.....	66
4.3.1	Vegetasjon.....	66
4.3.2	Kjøretøy.....	66
4.3.3	Vær og vind.....	66
4.3.4	Simuleringsmodeller	67
4.3.5	Sikkerhetstiltak.....	68
5	Diskusjon.....	72
5.1	Varmestråling	72
5.1.1	Kritisk strålingsintensitet.....	72
5.1.2	Faktorer som påvirker strålingsintensitet	75
5.1.3	Målte verdier	77
5.1.4	Funksjonsbasert design	78
5.2	Flyvebrann	79
5.2.1	Produksjon og karakteristikk av flyvebrann.....	79
5.2.2	Transport og spredning av flyvebrann	80
5.2.3	Antennelse ved flyvebrann.....	81
5.2.4	Bygningsdeler og utomhusareal	82

5.3	Urban brannspredning	86
6	Konklusjon	89
7	Forslag til videre arbeid.....	90
	Referanser.....	91

Figurliste

Figur 3.1 Metoder for varmetransport – konveksjon (varmestrøm), konduksjon (varmeledning) og stråling. Hentet fra [14].	9
Figur 3.2 Geometrisk forhold mellom to flater. Hentet fra [24].	10
Figur 3.3 Stråling fra flammer (forenklet som en punktkilde), som slår ut fra et brannrom, på vinduer i nabobygg og vindu i overliggende etasje. Hentet fra [25].	11
Figur 3.4 Skjematisk framstilling av prosesser ved oppvarming av et materiale før antennelse. Hentet fra [26].	12
Figur 3.5 Fasene i en rombrannbrann. Hentet fra [27].	12
Figur 3.6 Fare for brannspredning mellom vinduer i motstående parallelle yttervegger. Hentet fra [28].	13
Figur 3.7 Transport av flyvebrann. Hentet fra [30].	14
Figur 3.8 Varmeoverføring mellom flyvebrann og materialet det lander på. Hentet fra [32].	14
Figur 3.9 Illustrasjon av ulike komponenter i brannskallet. Hentet fra [36].	15
Figur 3.10 Illustrativ forklaring av bygningsskall med brannmotstand. Hentet fra [36].	16
Figur 3.11 Kaldras fra dal/fjellside som bidrar til brannspredning. Hentet fra [38].	17
Figur 4.1 Resultater fra testing av glass. Hentet fra [48].	19
Figur 4.2 Sammenligning av stråling på motstående vegg fra et vindu i et brannrom. Vindu med liten bredde ift. høyde (venstre – dimensjoner 1,10m x 1,45m), vindu med samme bredde og høyde (midten – dimensjoner 1,45 x 1,45 m) og vindu med stor bredde ift. høyde (høyre – dimensjoner 2,44m x 1,45m). Hentet fra [53].	21
Figur 4.3 Oversiktsbilde av modellhusene. Hentet fra [56].	22
Figur 4.4 Situasjonsplan, modellhus. Hentet fra [56].	22
Figur 4.5 Plassering av måleinstrumenter ift. bygg 1-4 i «St. Lawrence»-prosjektet. Hentet fra [51].	23
Figur 4.6 Sør- og østvendt fasade. Hentet fra [59].	25
Figur 4.7 Situasjonsplan. Hentet fra [59].	25
Figur 4.8 Vest- og sørvendt fasade, samt instrumentering. Hentet fra [52].	26
Figur 4.9 Plassering av måleinstrumenter. Hentet fra [60].	27
Figur 4.10 Brannenergi/Treverk på gulvet i brannrommet. Hentet fra [54], © Building Research Establishment Ltd 2015	27

Figur 4.11 Simulering av brannspredning mellom hus med avstand 3,5 m. Hentet fra [61]. ..	28
Figur 4.12 Orientering av årringer ift. strålingskilde. Hentet fra [64].	29
Figur 4.13 Resultater fra testing av kritisk strålingsintensitet ved ulik orientering av årringer ift. strålingskilde. Hentet fra [64].	30
Figur 4.14 Plantegning med inventar. Hentet fra [72].	32
Figur 4.15 3D-visning av bygget. Hentet fra [73].	33
Figur 4.16 Oversiktsfigur forsøksoppsett, rett vegg (a) og innvendig hjørne (b). Hentet fra [74].	33
Figur 4.17 Størrelses- og massefordeling av flyvebrannpartikler. Hentet fra [74].	34
Figur 4.18 Forsøk med innvendig hjørne av kryssfinér på trestendere. Oppsamlingspanner for flyvebrannpartikler bak konstruksjonen. Hentet fra [75].	35
Figur 4.19 Sammenligning av størrelsesfordelingen av flyvebrannpartikler fra brannforsøk med innvendig hjørne av kryssfiner vs. OSB ved ulike vindhastigheter. Hentet fra [75].	36
Figur 4.20 Forsøk med innvendig hjørne av trestendere, OSB-plater, tjærepapp og kledning av treplater. Hentet fra [76].	36
Figur 4.21 Størrelses- og massefordeling av flyvebrannpartikler. Hentet fra [76].	37
Figur 4.22 Forsøk med takkonstruksjon. Hentet fra [77].	38
Figur 4.23 Størrelses- og massefordeling av flyvebrannpartikler. Hentet fra [77].	38
Figur 4.24 Typiske flyvebrannpartikler. Hentet fra [77].	39
Figur 4.25 Forsøk med "lukket" gjerde med vertikale bord. Hentet fra [78].	40
Figur 4.26 Flyvebrann fra brennende gjerde. Hentet fra [80].	40
Figur 4.27 Flyvebrann fra brennende gjerde. Hentet fra [81].	41
Figur 4.28 Plassering av vannkar ift. bygget og vindretningen. Hentet fra [82].	41
Figur 4.29 Oversikt over punktbranner i Itoigawa. Hentet fra [83].	42
Figur 4.30 Funnsted av flyvebrannpartikler (venstre) sett i sammenheng med størrelses- og massefordeling (høyre). Hentet fra [83].	43
Figur 4.31 «Normale» flyvebrannpartikler sammenlignet med den største flyvebrannpartikkelen funnet etter brannen i Itoigawa. Hentet fra [83].	43
Figur 4.32 Inndeling av grader rundt brannbygget. Hentet fra [84].	44
Figur 4.33 Situasjonsskart, Shirahama. Hentet fra [84].	45
Figur 4.34 Simuleringsdomenet. Hentet fra [85].	46

Figur 4.35 Vertikal temperaturfordeling ved vind 5 m/s (venstre) og 10 m/s (høyre). Hentet fra [85].	46
Figur 4.36 Sammenligning av spredningsavstand ved vind 5 m/s, for partikler med tetthet 30 kg/m ³ (øverst) og 40 kg/m ³ (nederst). Hentet fra [85].	47
Figur 4.37 Sammenligning av det distribusjonssone ved vind 5 m/s (øverst) og 10 m/s (nederst). Hentet fra [85].	47
Figur 4.38 Sammenligning av størrelses- og massefordelingen av flyvebrannpartikler ved ulike vindhastigheter, og trenden for disse. Hentet fra [86].	48
Figur 4.39 Forsøksresultat. Hentet fra [87].	50
Figur 4.40 Vindens påvirkning på varmeavgivelse. Her ved vindhastighet 1,84 m/s. Hentet fra [89].	50
Figur 4.41 Sammenligning av testede isolasjonsmaterialer ved ulike vindhastigheter og ulike flyvebrannkonfigurasjoner. Hentet fra [90].	51
Figur 4.42 Antennelse av vegetativt rusk i grensesnitt mellom tak og vegg på saltaksark, samt i blomsterbeddekke ved grunnmur. Hentet fra [93].	52
Figur 4.43 Sammenligning av akkumulert flyvebrann foran vertikale hindringer ved ulike vindhastigheter - 6 m/s (øverst) og 10 m/s (nederst). Hentet fra [95].	53
Figur 4.44 Flyvebrann i grensesnittet mellom vegg og plattning. Hentet fra [32].	54
Figur 4.45 Brannsmitte til vegg fra brennende gjerde montert til veggen. Hentet fra [81].	54
Figur 4.46 Blomsterbed/Barkbed i innvendig hjørne, antent av flyvebrann. Hentet fra [96].	55
Figur 4.47 Veggsegment med vindu eksponert for flyvebrann. Hentet fra [97].	56
Figur 4.48 Taksegment eksponert for flyvebrann. Hentet fra [98].	57
Figur 4.49 Taksegment med profilerte betongtakstein (øverst venstre), flate betongtakstein (øverst høyre), profilerte terrakottatakstein (nederst venstre) og flate terrakottatakstein (nederst høyre). Hentet fra [99].	58
Figur 4.50 Akkumulering av flyvebrann i sprekker på profilerte betongtakstein. Hentet fra [100].	59
Figur 4.51 Tilluftsventiler: Åpen ventil i vegg (venstre) og takfotventil (høyre). Hentet fra [101], © IBHS	60
Figur 4.52 Akkumulering av flyvebrann i innvendig hjørne ved vindhastighet 6 m/s (1) og 8 m/s (2). Hentet fra [32].	61
Figur 4.53 Brannspredning i barkbed og gjerdeselement. Hentet fra [79].	63

Figur 4.54 Gjerdekonfigurasjoner med ulik orientering mht. vindretning. Hentet fra [80].	63
Figur 4.55 Antennelse i sprekker i gjerdet. Hentet fra [80].	64
Figur 4.56 Brann i gummidekke. Hentet fra [106].....	65
Figur 4.57 Skjematisk framstilling av brannspredningsmodell i urbant miljø. Hentet fra [25].	67
Figur 4.58 Estimert brannspredningsrisiko før (venstre) og etter (høyre) brannverntiltak. Hentet fra [25].	68
Figur 4.59 Home ignition zone. Hentet fra NFPA [119], © NFPA 2020	69

Ord- og begrepsforklaring

Ord / Begrep

Betydning / Definisjon

CFD-modell	Beregningsmodell hvor rommet som simuleres, deles inn i en rekke mindre volum for å beregne røyk- eller flammespredning. ¹
Emissivitet	Angir grad av stråling fra et materiale. ¹
Flammebrann	Forbrenningsprosess med åpen flamme, der brenselet er i gassfase. ¹
Flyvebrann	Brennende partikler eller gjenstander fra en brann som transporteres i luften eller faller ned og kan antenne brennbare materialer. ¹
Høye byggverk	Byggverk med gesims- eller mønehøyde over 9,0 m. ²
Konduksjon (Varmeledning)	Transport av varmeenergi i stoffer. ¹
Konflagrasjon	Meget stor brann som har en flammefront bestående av flere bygninger eller bredt skogsområde, og som beveger seg fort og går over naturlige eller skapte branngater som veier o.l. ¹
Konveksjon (Varmestrømning)	Transport av varmeenergi når væsker eller gasser strømmer. ²
Kritisk strålingsintensitet	Varmestråling som overstiger en gitt tålegrense ¹
Kryssfinér	Treplate limt sammen av tynne treskiver. ³
Lave byggverk	Byggverk med gesims- eller mønehøyde inntil 9,0 m. ²
OSB-plater	Sponplater produsert av relativt store og langstrakte trespon som er orientert i samme retning. ³
Overtenning	Overgang til en tilstand der alle overflater på brennbare materialer i et rom deltar i en brann. ¹
Pilotantennelse	Antennelse av brennbare gasser eller damper ved en sekundær energikilde, slik som en flamme, gnist, elektrisk lysbue eller glødende metalltråd. ¹
Punktbrann	Ny brann startet ved flyvebrann utenfor området til den opprinnelige brannen. ¹
Pyrolyse	Irreversibel kjemisk spalting av et stoff under påvirkning av varme. ¹
Småhus	Enebolig, to- til firemannsbolig, rekkehus, kjedehus og terrassehus til og med tre etasjer. ⁴
Sonemodell	Brannteknisk beregningsmodell hvor rommet som modelleres, deles inn i to eller tre soner for å simulere røykspredning. ¹
Spontanantennelse	Antennelse av et stoff med tilførsel av varme utenfra, men uten tennkilde. ¹
Tennkilde	Energikilde som starter forbrenning. ¹
Ulmebrann	Forbrenning i et fast materiale uten flamme og uten utsendelse av lys fra forbrenningssonen. ¹

Ord / Begrep

Wildland-Urban Interface (WUI)

Betydning / DefinisjonBrann i grenseområdet mellom by eller tettbygd strøk og skog eller utmark.¹

¹ Kollegiet for brannfaglig terminologi (KBT) [1]

² Veiledning til byggteknisk forskrift § 11-6 [2]

³ Store Norske Leksikon (SNL) [3]

⁴ Veiledning til byggteknisk forskrift § 1-3 [4]

1 Innledning

I Norge skal byggverk generelt prosjekteres og oppføres med tilfredsstillende sikkerhet ved brann. Dette ivaretas gjennom funksjonskrav og preaksepterte løsninger gitt i kapittel 11 i Byggteknisk forskrift (TEK17) [5] med veiledning (VTEK17) [6].

§ 11-6 i VTEK17 gir krav til, og løsninger for, forebyggende tiltak mot brannspredning mellom fysisk adskilte byggverk i ulike bruksenheter. Veiledningen beskriver at dette, som ett av to punkter, kan gjøres ved å «etablere tilstrekkelig avstand mellom byggverkene, slik at varmestråling, flammepåkjønning og nedfall av brennende bygningsdeler ikke antenner nabobyggverk» [2]. Normalt vil en avstand på minimum 8 m kunne anses for å være tilstrekkelig avstand.

1.1 Historikk og bakgrunn

Den bygningsrettslige utviklingen i Norge har til dels vært et resultat av erfaringer fra bybranner. Bygningslovgivning fram til og med 1800-tallet var begrenset til lokale bestemmelser og lovverk for de enkelte byer [7]. I 1929 ble *Lov om bygningsvesenet av 1924* gjort gjeldende [8], og var nyskapende i den grad at den var felles for byer og tettbygde strøk.

I de lokale bestemmelsene fra 1800-tallet hadde man sett behovet for å fastsette krav til avstand mellom trebygninger. Man var imidlertid usikker på hvor stor avstand som var tilstrekkelig. De forskjellige bestemmelsene hadde derfor ulike krav til avstand fra trebygg til tomtegrense. Kravene varierte fra 1 til 8 m [7].

Lov om bygningsvesenet av 1924 satte krav til avstand både fra bygg til nabotomt, og mellom bygg:

Bortsett fra at bygninger i sluttet rekke langs regulert byggelinje skal oppløres umiddelbart mot nabogrunn (§ 65), gjelder som almindelig regel at enhver bygning skal anbringes i en avstand fra nabogrense svarende til bygningens halve høide, regnet til høieste punkt av den mot nabo vendende vegg, dog minst 4 m. Selvstendige bygninger eller fløibygninger på samme tomt skal ha en avstand fra annen bygning svarende til halvdelen av bygningens sammenlagte høide, med 8 m. som minste mål.

[9]

Kravet om 4 m avstand til nabotomt og 8 m avstand mellom byggverk har fulgt med videre inn dagens lovverk – Plan- og bygningsloven § 29-4 [10] og Byggteknisk forskrift § 11-6 [11].

Behovet for en felles lovgivning på starten av 1900-tallet kom som en følge av industrialisering, urbanisering, nye byggematerialer, nye byggemåter og et nytt syn på byplanlegging [7]. Nå, snart 100 år etter at Norge fikk sin første «offentlige» bygningslov, ser man at det fremdeles at foregår en utvikling og modernisering innen byggematerialer, byggemåter og byplanlegging. Kunnskap og forskning innenfor brannfaget har i det samme tidsrommet økt betydelig. Denne oppgaven er valgt for å undersøke om dagens krav til avstand er forenelig med forskning og kunnskap innenfor temaet.

1.2 Problemstilling

Oppgaven skal se nærmere på kravet om tilstrekkelig avstand for å ivareta sikkerhet mot brannspredning, med et skråblikk på dagens generelle krav om 8 m. I tillegg vil oppgaven vurdere om det er behov for å utvide regelverket mht. andre aktuelle brannspredningsmekanismer, og om det er behov for å vurdere betydningen av utomhusareal mht. brannspredning mellom bygg.

1.3 Formål

Formålet med oppgaven er å undersøke relevante faktorer for, og erfaringer med, brannspredning mellom fysisk adskilte byggverk. Det er i tillegg aktuelt å vurdere forhold som indirekte kan bidra til brannsmitte, som f.eks. utomhusareal.

1.4 Avgrensninger

Oppgaven er avgrenset til en vurdering av brannspredning mellom fysisk adskilte bygg, der avstanden er tilstrekkelig stor til at kun stråling eller flyvebrann er de aktuelle, eller de mest sannsynlige, brannspredningsmekanismene. Det betyr at brannspredning via direkte flammekontakt eller andre former for varmestrømning/konveksjon, varmeledning/konduksjon, eller nedfall av brennende bygningsdeler, ikke er vurdert i oppgaven.

Med tilstrekkelig avstand er det underforstått at det ikke er behov for branncellebegrensende bygningsdeler, og brannspredning er derfor kun vurdert mht. dette.

Videre er oppgaven begrenset til gjennomgang av litteratur, og det er derfor ikke gjennomført brannforsøk, beregninger eller simuleringer.

Litteraturen som er benyttet i oppgaven har i stor grad fokus lave byggverk/småhus og bygningskomponenter i treverk. Dette har ikke vært et bevisst valg, men det har likevel ført til at oppgaven til dels avgrenses til småhusbebyggelse i treverk. Oppgaven har likevel innslag av andre materialer enn tre, og går også litt inn på brannspredning i urbane miljøer.

1.5 Brukerveiledning

Oppgaven er bygget opp med beskrivelse av metode (kapittel 2) etterfulgt av en kort teoridel (kapittel 3). Deretter følger litteraturstudiet (kapittel 4) med en påfølgende diskusjon (kapittel 5). Videre rundes oppgaven av med en konklusjon (kapittel 6) og forslag til videre arbeid (kapittel 7).

2 Metode

Denne masteroppgaven er basert på gjennomgang av relevant litteratur og forskning som gjelder temaet for oppgaven – utvendig brannspredning mellom byggverk – mht. de avgrensningene som er beskrevet.

Den største delen av litteraturen som er benyttet er funnet gjennom internettsøk, med unntak av enkelte bøker. Litteratursøket ble startet ved å lese aktuelle rapporter. Deretter ble kilder i disse rapportene undersøkt, og på denne måten utvidet søket seg. Etter hvert ble også litteratursøket utvidet med målrettede internettsøk for å utvide litteraturunderlaget med forskning av nyere dato.

Det er stort sett benyttet engelskspråklig litteratur, med unntak av noen norske og svenske kilder.

2.1 Valg av metode

Mange brannrådgivere, som driver med brannteknisk prosjektering, vil trolig kjenne seg igjen i at 8 m avstand mellom byggverk anerkjennes som et gyldig argument for at sikkerhet mot utvendig brannspredning er ivaretatt. Denne avstanden sier ingen ting om forebygging av brannspredning via dekorativ eller viltvoksende vegetasjon, blomsterbed, plattinger, gjerder etc., og sier heller ingen ting om valg av utvendig kledning eller hvordan dette valget kan påvirke brannspredning. I regelverket er det i tillegg en preakseptert løsning at enkelte typer byggverk kan oppføres inntil 2 m fra nabobygg uten at det gjøres særskilte forebyggende tiltak mot brannspredning.

I en avstand av 8 m antas det at effekten av konvektiv varmeoverføring (røyk og flammer) fra et brennende bygg til et nabobygg, vil være liten sammenlignet med stråling. Direkte brannspredning mellom bygg som følge av konveksjon ble derfor utelukket fra oppgaven.

Stråling er en bredt studert brannspredningsmekanisme, og som er relativt enkel å beregne ut fra empiriske likninger. Denne brannspredningsmekanismen er derfor grunnlaget i flere metoder som benyttes for vurdering av nødvendig avstand mellom bygg. Det var derfor selvsagt at stråling ble en del av oppgaven.

I løpet av de siste 20-30 årene kan man se tendenser til et økt fokus på skogbranner og brannspredning til bygninger i forbindelse med skogbranner. Selv om stråling også er en

faktor i en skogbranner, kan det se ut som at flyvebrann er den største trusselen og årsaken til brannspredning. Dersom flyvebrann kan antenne hus i forbindelse med skogbrann, kan også hus antenne andre hus dersom det produseres flyvebrann i forbindelse med en bygningsbrann. I forskning på flyvebrannens rolle i brannspredning er det også et fokus på utomhusareal. Verken flyvebrann eller utomhusareal er noe som er nevnt i det norske regelverket mht. brannspredning. Flyvebrannens rolle i brannspredning mellom bygninger ble derfor en del av oppgaven.

Graden av, og sårbarheten for, eksponering fra stråling og flyvebrann kan til dels vurderes isolert hos ett, eller mellom to, byggverk. Brannspredning mellom bygninger kan også påvirkes av andre faktorer, og det ble derfor vurdert nødvendig å gjøre et søk etter litteratur vedrørende urban brannspredning og hva som påvirker dette.

Ønsket med oppgaven har vært å gi et bredt overblikk over hva som påvirker brannspredning mellom byggverk, slik at det kan gis forslag til områder innen emnet hvor det er behov for økt fokus i Norge. For å gjøre dette ble det vurdert hensiktsmessig å gjennomføre en kvalitativ litteraturstudie heller enn ulike kvantitative metoder.

2.2 Vurdering av gyldighet

En intensjon med dette litteraturstudiet er å presentere mest mulig relevant litteratur, både for å gi et overblikk over hvilken litteratur som eksisterer innenfor emnet, og for å se om det er samsvar mellom forskjellige kilder. Gyldighet i oppgaven kan derfor vurderes ut fra graden av overensstemmelse mellom ulike kilder innenfor samme emne, der hvor flere kilder med likende resultater vurderes å gi en indikasjon på en sannhet.

Gyldigheten av forskningsresultatene i seg selv, basert på de metodene og framgangsmåtene som er benyttet for å komme fram til disse, har ikke vært et aktuelt tema for denne oppgaven pga. omfanget dette ville ha medført. Dette kan til dels vurderes å være en svakhet ved gyldigheten av resultatet i denne oppgaven, men antas likevel å ikke ha stor påvirkning på dette da det meste av litteratur – der det eksisterer flere kilder innenfor samme emne – ofte er produsert eller benyttet av anerkjente institusjoner eller fagpersoner.

2.3 Vurdering av pålitelighet

I oppgaven produseres det ikke egne kvantitative resultater, og påliteligheten må derfor vurderes i sammenheng med, eller på samme måte som, gyldigheten: Jo flere kilder som presenterer liknende resultater, jo mer pålitelig er resultatet. Påliteligheten av forskningsresultatene i seg selv, kan delvis ses i sammenheng med hvem som har produsert dem. Der hvor det er anerkjente institusjoner eller fagpersoner som presenterer forskningsresultater, vurderes påliteligheten å være høyere enn i tilfeller med enkeltpersoner uten tilhørighet til en institusjon.

2.4 Innhenting av litteratur

Som nevnt innledningsvis i kapitlet, så startet innhenting av litteratur gjennom å lese noen rapporter, for deretter å se videre på kildene som ble benyttet i disse rapportene. Dette ledet da til undersøkelser av kilders kilder. Ved å gjøre dette ble det derfor stadig funnet mer og eldre litteratur. For å innlemme nyere forskningsresultater i oppgaven var det derfor nødvendig med målrettede søk på internett.

2.4.1 Innledende fase

De innledende rapportene som ble benyttet til å finne relevant litteratur, var:

- *Hva kan vi lære av brannen i Lærdal i januar 2014? Vurdering av brannspredningen.* av Steen-Hansen m.fl. [12].
- *Pathways for Building Fire Spread at the Wildland Urban Interface* av Gollner m.fl. [13].

2.4.2 Kilders kilder og annen relevant litteratur

Kilder som ble funnet å være av interesse fra den innledende fasen, ble videre søkt opp gjennom Google Scholar. Det ble i tillegg gjort målrettede søk gjennom andre databaser for ingeniørfaglig litteratur, som f.eks. SpringerLink, Scopus, ScienceDirect, etc.

Gjennom letingen etter kilder ble det også funnet andre kilder av interesse.

2.4.3 «Uavhengig» litteratursøk

For at nyere forskning skulle innlemmes i oppgaven, var det nødvendig å søke etter litteratur av nyere dato. Dette ble gjennomført ved å søke på spesifikke nøkkelord, som f.eks. «firebrands», «urban fire spread», etc. Det ble også søkt etter spesifikke forfattere som viste

seg å ha flere artikler innen aktuelle emner, som f.eks. «Manzello», «Quarles», etc. Søkene ble også avgrenset med årstall.

2.4.4 Sortering av ulest litteratur

Etter hvert som litteratur ble funnet, ble den lastet ned og lagret. For å ha kontroll på kildene var det nødvendig med sortering. Med en tanke om at litteraturen skulle studeres kronologisk, ble alle filnavn endret til «Årstall + Tittel». Etter hvert ble det også forsøkt å sortere kildene ut fra hvilket tema de omfattet. Hovedbolkene med litteratur ble sortert under «Flyvebrann», «Stråling» og «Urban brannspredning». Herunder ble kildene ytterligere sortert i mapper som «Forsøk/Forskning», «Hendelser/Caser» o.l.

2.5 Gjennomgang av litteratur

Litteraturen ble gjennomgått tematisk innenfor de definerte hovedbolkene. Sorteringen ble etter hvert noe dynamisk, da nye idéer kom og gikk, og det ble stadig endringer i sorteringssystemet med nye undermapper/emner.

For hver kilde som ble studert, ble det utført en innledende vurdering som plasserte kilden i én av tre kategorier:

1. Ikke relevant
2. Mulig relevant
3. Relevant

Dersom kilden ble funnet å være innenfor en av de to første kategoriene, ble de flyttet fra den etablerte mappestrukturen og inn i egne mapper: «Ikke relevant» og «Mulig relevant». Kilder definert som «Mulig relevant» ble gjennomgått ved senere tidspunkt, mens kilder definert som «Ikke relevant» ble kun lagret som en huskeliste mht. framtidige litteratursøk. Kilder definert som «Relevant» ble beholdt i den allerede etablerte mappestrukturen.

Under gjennomlesing av litteratur ble det skrevet notater. Notatene ble organisert ved at det ble laget egne overskrifter for hver kilde i masteroppgavedokumentet med årstall og tittel, der notatene til den aktuelle litteraturen/kilden kunne skrives under. Kildereferansene ble samtidig etablert i denne prosessen. Disse overskriftene/notatene ble også sortert tematisk, slik som sorteringen av kildene i mappestrukturen. Når kilden var lest ferdig, ble den flyttet fra den

etablerte mappestrukturen, og over til en egen mappe for ferdigleste kilder med en tilsvarende mappestruktur.

2.6 Svakheter ved metoden

Ved innhenting av kilder er det vanskelig å få en total oversikt over all relevant litteratur, og det er tidkrevende å lese grundig igjennom det man finner for å vurdere hvorvidt materialet kan brukes eller ikke. En grov gjennomgang kan dermed føre til at enkelte relevante artikler blir valgt bort.

Under innhenting av litteratur ble det også søkt opp flere kilder, som var gjemt bak en betalingsmur. Da relevansen av slik litteratur var usikker, ble det valgt å ikke betale for tilgang til artikler o.l. I tilfeller der slike kilder var referert til i andre kilder, var dette kun en svakhet i form av at resultatene i de utilgjengelige artiklene ble presentert som andrehåndsinformasjon. I tilfeller der de utilgjengelige artiklene ble funnet uavhengig av andre artikler, var dette en svakhet i form av potensielt uoppdagede forskningsresultater.

En annen svakhet ved metoden er at enkelte artikler/kilder var utilgjengelig i form av en språklig barriere. I mange tilfeller gjaldt dette artikler som var skrevet på japansk, og hvor det ble referert til disse artiklene i engelske artikler der en eller flere av forfatterne var japansktalende. Resultater fra disse artiklene ble derfor kun tilgjengelig som andrehåndsinformasjon.

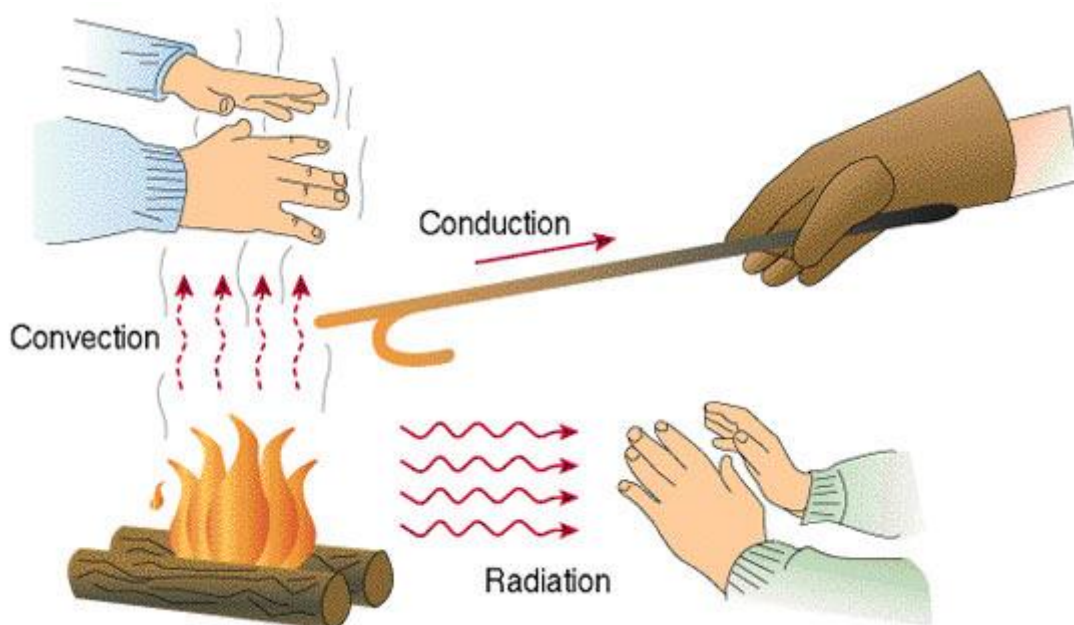
Selv om enkelte artikler var utilgjengelig bak en betalingsmur eller en språklig barriere, så blir svakhetene i metoden utjevnet etter hvert som antall kilder innenfor samme emne øker.

3 Teori

I dette kapitlet presenteres relevant teori mht. utvendig brannspredning mellom byggverk. Teorien er beskrevet på overfladisk nivå, og begrenses til emner som er aktuelle i forbindelse med litteraturstudiet.

3.1 Brannspredning mellom fysisk adskilte bygg

I brannodynamikken er det generelt tre metoder for varmetransport: Varmeledning (konduksjon), varmestråling og varmestrømning (konveksjon), se figur 3.1.



Figur 3.1 Metoder for varmetransport – konveksjon (varmestrøm), konduksjon (varmeledning) og stråling. Hentet fra [14].

Konduksjon og stråling inntreffer som følge av grunnleggende fysiske prinsipper for energioverføring, henholdsvis diffusjon og elektromagnetiske bølger, mens konveksjon oppstår ved en kombinert effekt av konduksjon og/eller stråling sammen med et medium i bevegelse (f.eks. flammer og røyk) [15] [16]. Mellom fysisk adskilte bygg vil brannspredning hovedsakelig forårsakes av en eller flere av følgende mekanismer: Stråling, direkte flammekontakt/konvektiv varmeoverføring og flyvebrann (luftbårne brennende partikler/objekter og glør) [17] [18] [19].

3.2 Varmestråling

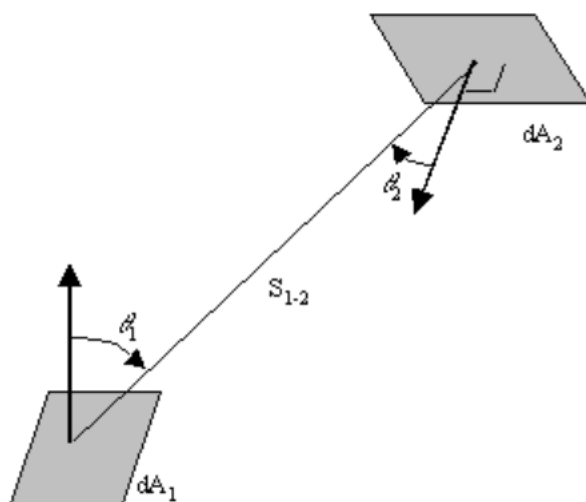
Varmestråling er ikke avhengig av direkte kontakt for å overføre termisk energi mellom objekter. Alle objekter med temperatur høyere enn det absolutte nullpunkt utstråler en viss mengde energi, men jo høyere temperatur, jo høyere utstråling/energinivå. Mengden av stråling som utveksles mellom objekter er bl.a. avhengig av temperatur, emissivitet og synsfaktor [20].

3.2.1 Emissivitet

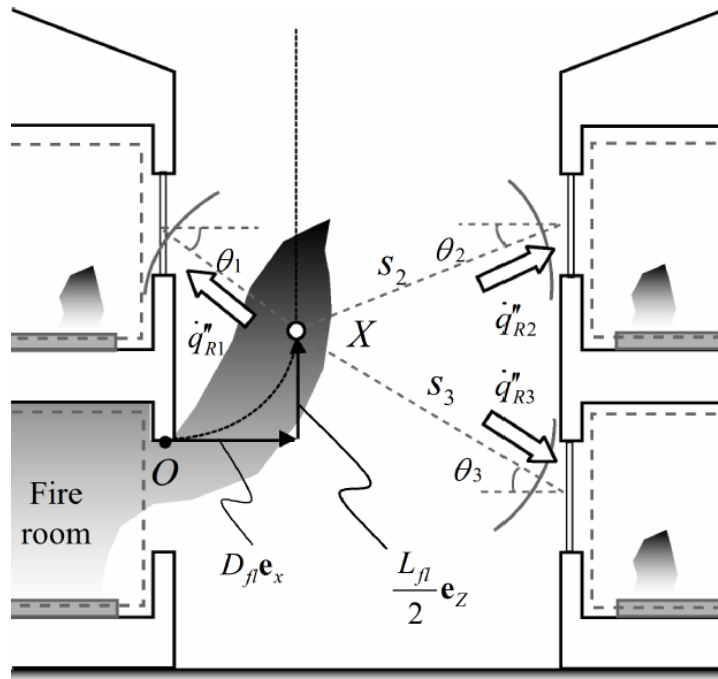
Emissivitet beskriver hvor stor andel stråling et objekt utstråler, ift. en teoretisk maksimal verdi [21]. Emissivitet er en benevningsløs enhet mellom 0 og 1, der 1 angir at all teoretisk stråling blir utstrålt. Flater med emissivitet lik 1 blir kalt «svarte legemer» [22].

3.2.2 Synsfaktor

Synsfaktor, også kalt konfigurasjonsfaktor, beskriver det geometriske forholdet mellom to flater/punkter [22], og benyttes som en faktor i beregning av strålingsintensiteten fra en flate/et punkt til en annen flate/et annet punkt [21]. Synsfaktoren er en benevningsløs enhet mellom 0 og 1, der 1 er ekvivalent med at det utstrålende objektet utgjør hele «synsfeltet/verdensbildet» til mottakeren – dette er avhengig av objektene dimensjoner og avstand og vinkel mellom dem [22] [23], se figur 3.2 og 3.3.



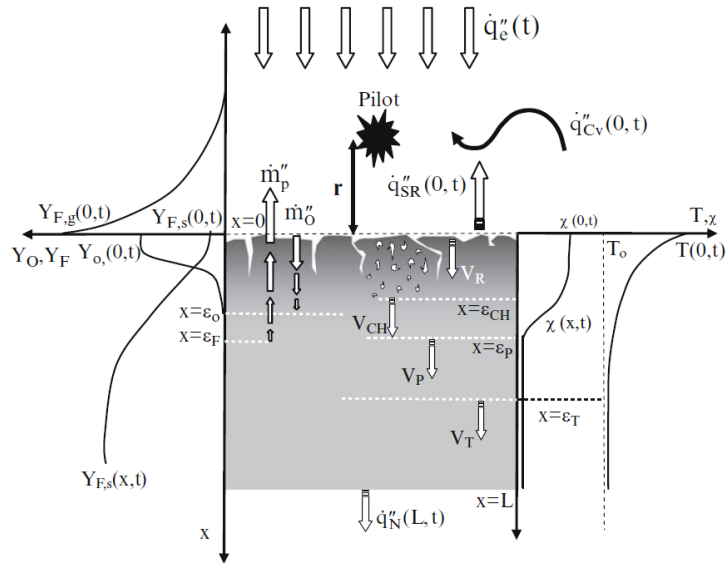
Figur 3.2 Geometrisk forhold mellom to flater. Hentet fra [24].



Figur 3.3 Stråling fra flammer (forenklet som en punktkilde), som slår ut fra et brannrom, på vinduer i nabobygg og vindu i overliggende etasje. Hentet fra [25].

3.2.3 Antennelse av faste materialer ved stråling

Når et materiale eksponeres for en ekstern varmekilde (f.eks. stråling på yttervegg fra et vindu i et brennende nabobygg eller stråling på terrassebord fra flyvebrann/glør som har landet der) vil innledningsvis overflatetemperaturen på det eksponerte materialet øke. Deretter vil varmen spre seg innover i materialet. Når temperaturen i materialet blir høy nok, initieres en prosess kalt «pyrolyse». Denne prosessen innebærer generelt at molekyler i det faste materialet brytes ned slik at de danner gasser. Gassene vil etter hvert sive ut fra materialet. Når gassene blandes med luft, kan det dannes en antenneleg blanding av gass og luft [26]. Figur 3.4 viser en skjematisk framstilling av prosessen.

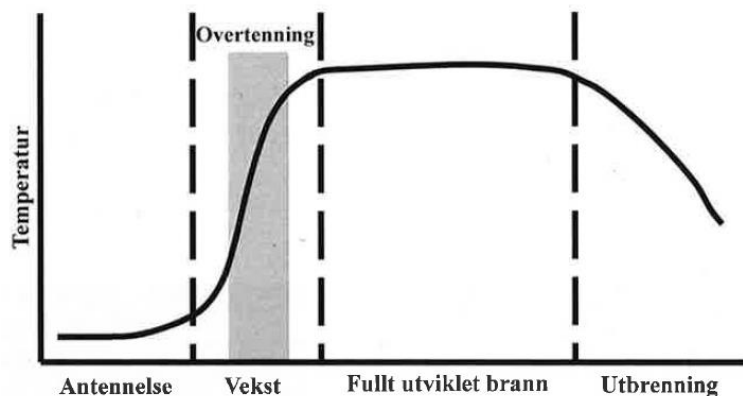


Figur 3.4 Skjematisk framstilling av prosesser ved oppvarming av et materiale før antennelse. Hentet fra [26].

Gassblandingen som strømmer ut av det faste materialet kan antennes enten ved spontanantennelse eller pilotantennelse. Ved spontanantennelse menes det at gassblandingen antennes uten tennkilde, noe som betyr at gassene må absorbere nok energi fra den eksterne varmekilden til at blandingen antenner. Ved pilotantennelse eksponeres gassblandingen for en tennkilde (f.eks. flyvebrann, gnister eller flammer), noe som medfører at blandingen krever mindre energi enn ved spontanantennelse for å antenne [26].

3.3 Rombrann

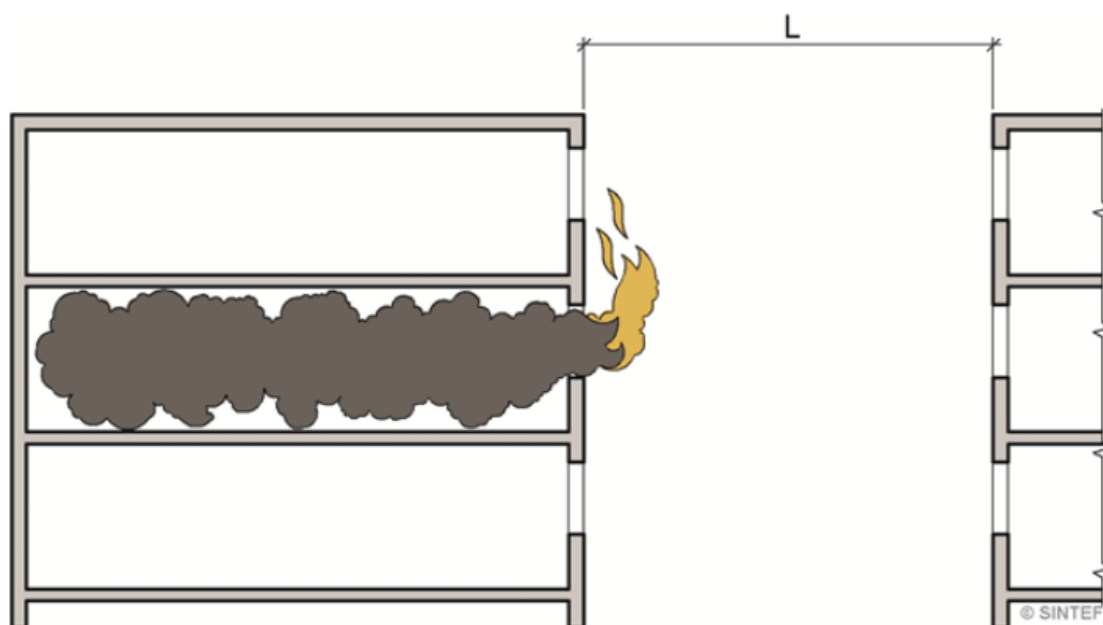
Når det brenner i et rom, vil brannen typisk utvikle seg i fire faser som kategoriseres ut fra temperaturutviklingen. Disse fasene er: antennelse, vekst, fullt utviklet brann, utbrenning – se figur 3.5.



Figur 3.5 Fasene i en rombrannbrann. Hentet fra [27].

I overgangen fra vekstfase til fullt utviklet brann, kan det forekomme et fenomen kalt «overtenning». Dette fenomenet kan bl.a. kjennetegnes ved at temperaturen i røyklaget overstiger 600 °C og at alle overflater i rommet antenner. Når brannen er kommet over i fullt utviklet brann, vil brannen bli mer og mer avhengig av oksygen enn av brensel for å opprettholde størrelsen. Temperaturer i et brannrom under fullt utviklet brann kan variere i intervallet 700-1200 °C [21].

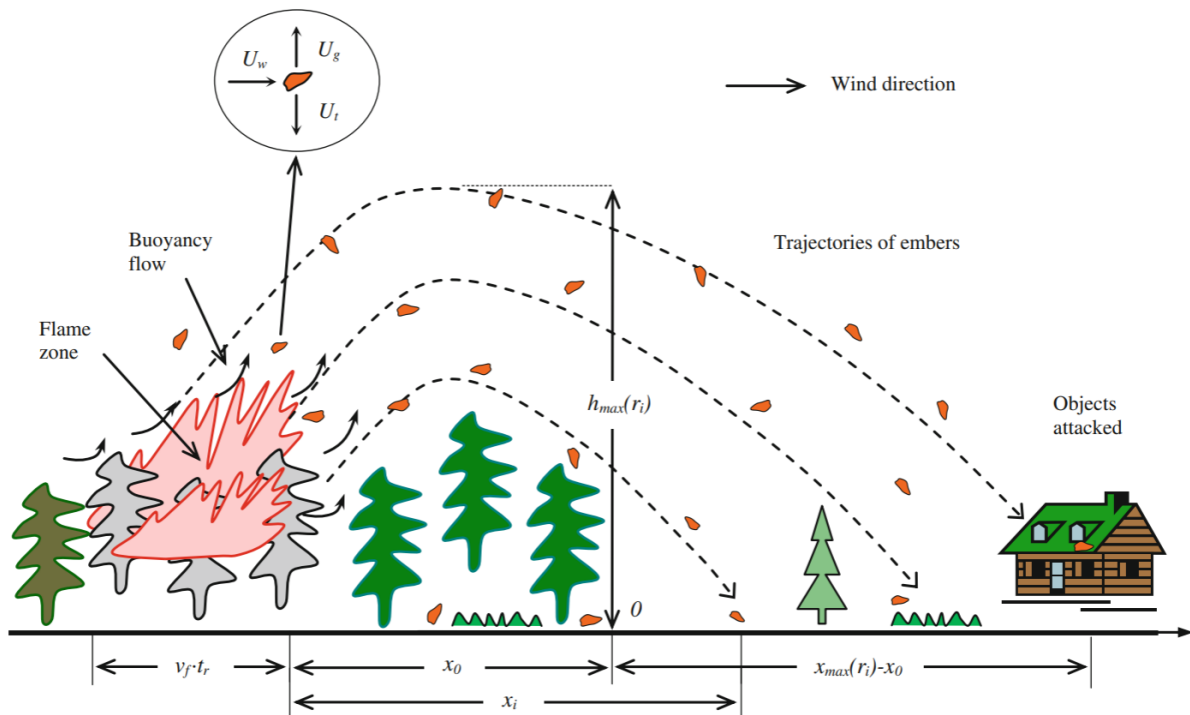
Pga. den høye temperaturen i brannrommet vil normalt vanlig vindusglass ødelegges og falle ut. Dette vil gi mer oksygen til brannen. Uforbrente røykgasser som velter ut av vinduet vil ofte ha høy temperatur og antenne i kontakt med luft. Flammer på utsiden av vinduet kan bidra til økt stråling mot nabobygg [21] [28], se figur 3.6.



Figur 3.6 Fare for brannspredning mellom vinduer i motstående parallelle yttervegger. Hentet fra [28].

3.4 Flyvebrann

Flyvebrann består av brennende partikler og gjenstander, og kan bl.a. genereres fra brennende bygningsdeler og vegetasjon. Flyvebrann kjennetegnes ved at de brennende partiklene/gjenstandene transporteres gjennom luften, og evner å starte punktbranner der de lander [29], se figur 3.7.

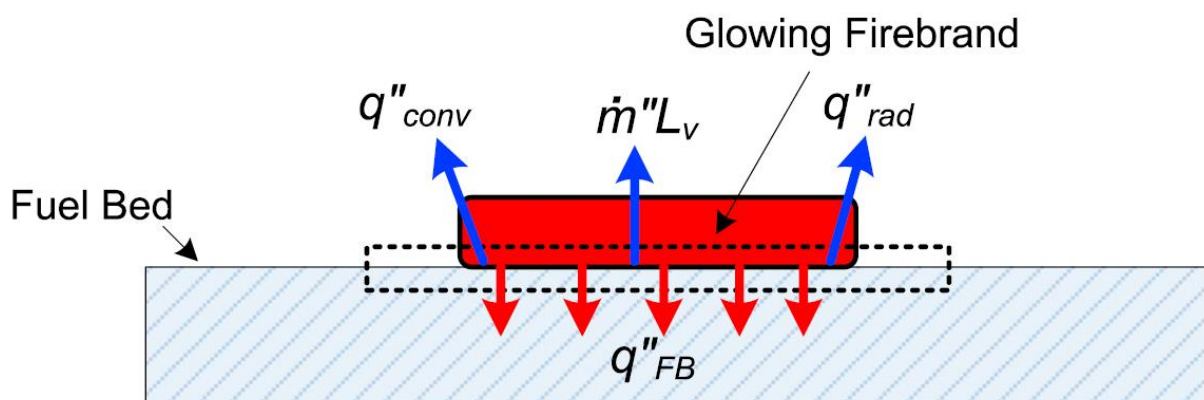


Figur 3.7 Transport av flyvebrann. Hentet fra [30].

3.4.1 Antennelse av bygningskomponenter ved flyvebrann

Flyvebrannpartikler kan transporteres med vinden, og vil lande enten som brennende eller glødende partikler. Dette, i kombinasjon med størrelse og masse, vil ha en påvirkning på antennelse av materialet/brenselet flyvebrannen lander på [31].

Når flyvebrannpartikler lander, vil de overføre energi til materialet de lander på, se figur 3.8.



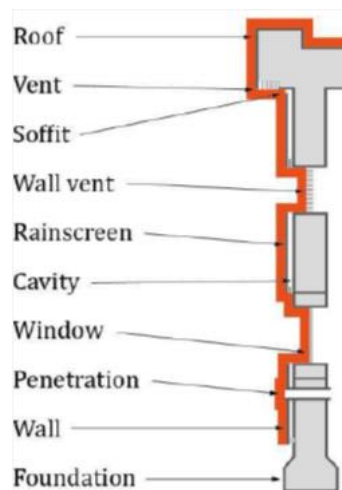
Figur 3.8 Varmeoverføring mellom flyvebrann og materialet det lander på. Hentet fra [32].

Dersom nok energi overføres, vil det innledningsvis oppstå en ulmebrann. Ulmebrannen kan i enkelte tilfeller utvikle seg til flammebrann. Varmeenergien som avgis fra en flyvebrannpartikkel er en kombinasjon av konveksjon og stråling [33].

Antennelse av bygningskomponenter krever gjerne mer energi for å antennes enn vegetativt brensel. Vegetativt brensel kan i visse tilfeller antennes av så lite som én flyvebrannpartikkel, mens for bygningskomponenter er det nødvendig med ansamlinger av flere partikler [34]. Ved ansamlinger av vegetativt brensel i tilknytning til bygningskomponenter, kan disse bli utsatt for indirekte antennelse av flyvebrann gjennom antennelse av det vegetative brenselet.

3.5 Brannskall og brannskallsikring

Et brannskall er en bygning sitt vern mot ekstern brannpåkjenning. Brannskallet består av alle de ytterste/utvendige bygningskomponentene og materialene, som f.eks. yttervegger, tak, dører, vinduer og ventiler [35], se figur 3.9.



Figur 3.9 Illustrasjon av ulike komponenter i brannskallet. Hentet fra [36].

Det er ikke normalt at bygninger, f.eks. eneboliger, prosjekteres og bygges med et helhetlig brannskall med brannklassifiserte bygningsdeler.

Brannskallsikring av bygninger vil medføre at alle utvendige bygningsdeler prosjekteres og bygges, eller ev. oppgraderes, med en form for brannteknisk klassifisering – se figur 3.10 – dette for å gi bygningsskallet en helhetlig brannmotstand mot ekstern brannpåkjenning i en gitt tid, også kalt gjennombrenningstid [36].



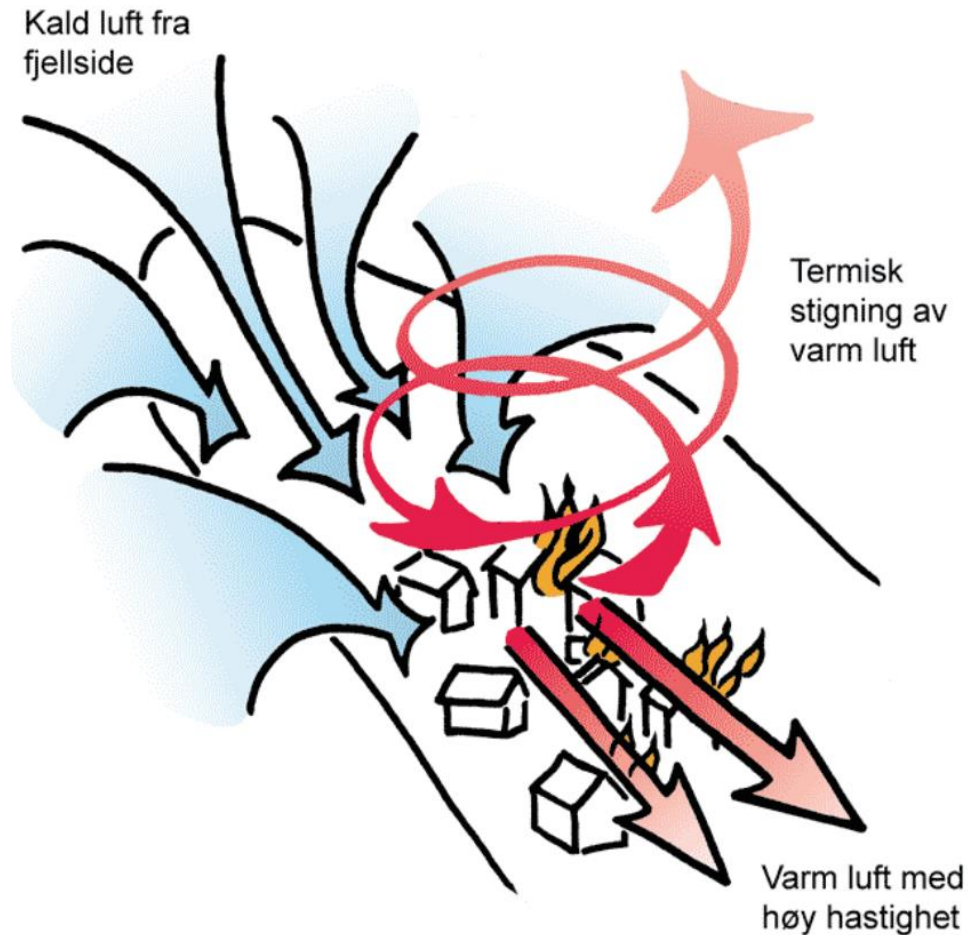
Figur 3.10 Illustrativ forklaring av bygningsskall med brannmotstand. Hentet fra [36].

3.6 Brannmotstandsdyktige samfunn

I en vurdering av brannmotstandsdyktigheten hos bygninger, eller i et samfunn/en samling av bygninger, må sårbarheter og forebyggende tiltak identifiseres. Et av de viktigste tiltakene for å redusere risikoen for antennelse er å øke avstanden til potensielle brannkilder, som f.eks. nabobygninger og vegetasjon [37].

Begrepet «forsvarssone» i forbindelse med brannsikring av bygninger bygger på et konsept der området rundt et bygg, i en viss avstand, sikres ved at brannkilder reduseres eller elimineres [37].

I Norge stilles det krav til arealplanlegging i Plan- og bygningsloven, og krav til plassering av byggverk ift. hverandre i Teknisk forskrift. Ved planlegging av arealbruk skal det bl.a. tas hensyn til forhold som topografi og vind – f.eks. kan kald luft i høyden i et dalføre/en fjellside føre til at varm luft blir presset nedover i høy hastighet, se figur 3.11.



Figur 3.11 Kaldras fra dal/fjellside som bidrar til brannspredning. Hentet fra [38].

Planlegging av arealbruk skal ses i sammenheng med risiko for brannspredning og i sammenheng med brannvesenets forutsetninger for innsats [38].

I tillegg til planlegging av ny arealbruk er det også mulig å gjennomføre brannsikkerhetstiltak i eksisterende bebyggelse, der brannsikkerheten ikke møter dagens krav. Tiltak for å øke brannsikkerheten i slik bebyggelse kan være både brannforebyggende og/eller brannbegrensende. Eksempelvis kan dette være organisatoriske tiltak som brannøvelser eller restriksjoner mht. utomhusareal, eller det kan være bygningsmessige utbedringer som f.eks. oppgradering av brannskiller eller installering av sprinkleranlegg [39].

4 Litteraturstudium

I dette kapittelet presenteres litteratur som er funnet relevant for utvendig brannspredning mellom byggverk.

4.1 Varmestråling

Varmestråling fra en brann kan medføre en termisk belastning på eksponerte materialer, og videre føre til antennelse eller brudd på integritet hos bygningsdeler. Hvor mye stråling en brann gir fra seg, og hvor mye stråling et materiale tåler, er avhengig av flere faktorer.

4.1.1 Kritisk strålingsintensitet: Tre

Enkelte lærebøker angir 12 kW/m^2 som generell kritisk strålingsintensitet for treverk [22, p. 260], mens enkelte branntekniske standarder og analysemetoder benytter seg av verdier fra $12,5 \text{ kW/m}^2$ [40, pp. 80A-11] til 15 kW/m^2 [41, p. 24].

I forbindelse med testing av ulike tresorter på 50- og 60-tallet, ble det funnet en gjennomsnittlig kritisk stråleintensitet for pilotantennelse på omtrent $12,56 \text{ kW/m}^2$ [42] [43]. Det ble videre undersøkt hvordan varierende fuktinnhold i forskjellige tresorter påvirket pilotantennelse, ved ulike strålingsintensiteter, og her ble det vurdert at $12,56 \text{ kW/m}^2$ gir en rikelig sikkerhetsmargin ved bestemmelse av nødvendig avstand mellom byggverk [44]. Andre kilder gir imidlertid mindre konservative anbefalinger, bl.a. angis $14,65 \text{ kW/m}^2$ å være kritisk strålingsintensitet for umalt trelast og kryssfinér [45].

I 1975 ble det utgitt en rapport med resultater fra fullskala- og laboratorietester [23, p. 15] [46, pp. 20-21] [12, p. 30], der kritisk strålingsverdi ved pilotantennelse for malte og umalte treoverflater ble angitt:

- Fullskalatester, umalt / malt: $18\text{-}19 \text{ kW/m}^2$ / $26\text{-}30 \text{ kW/m}^2$
- Laboratorietester, umalt / malt: 10 kW/m^2 / 15 kW/m^2

4.1.2 Kritisk strålingsintensitet: Andre aktuelle materialer

For asfaltshingel på tak er det blitt anbefalt en kritisk strålingsintensitet på $12,56 \text{ kW/m}^2$ [45].

For bomull, polyester, silke og ull er det funnet en kritisk strålingsintensitet i området $10\text{-}20 \text{ kW/m}^2$. Dette er laboratorietester utført i et konkalorimeter, hvor laveste intensitet ble målt for «tung bomull» på ca. 10 kW/m^2 og ull på ca. 11 kW/m^2 [47].

4.1.3 Kritisk strålingsintensitet: Glass

Når glass blir eksponert for varme kan det sprekke, og deretter falle ut av rammen det er montert i. I en serie med tester ble glass, vanlig og herdet, enkelt og dobbelt, eksponert i 5 minutter ved strålingsintensitetene 9,3 kW/m², 13,6 kW/m² og 17,7 kW/m². Glassene hadde 4,8 mm tykkelse og kvadratisk form med sidekanter på 610 mm. Det ble totalt utført fire eksperimenter for hver konfigurasjon. Resultater er vist i figur 4.1.

Glass type and arrangement	<i>Heat flux (kW/m²)</i>		
	9.3	13.6	17.7
Plate glass:			
Single pane	4/4 ¹	4/4	4/4
Double pane			
Outer pane	4/4	4/4	4/4
Inner pane	0/4	3/4	3/4
Tempered glass:			
Single pane	0/4	0/4	0/4
Double pane			
Outer pane	0/4	0/4	0/4
Inner pane	0/4	0/4	0/4

¹ Number of tests in which window pane broke per number of tests.

Figur 4.1 Resultater fra testing av glass. Hentet fra [48].

For herdet glass oppstod det ikke sprekker i noen av testene. For vanlig enkeltglass oppstod det sprekker i glasset i hver eneste test. For vanlig dobbeltglass oppstod det sprekker i det ytterste glasset i hvert forsøk, men ved den laveste strålingsintensiteten (9,3 kW/m²) oppstod det ikke sprekker i det innerste glasset. Det oppstod imidlertid sprekker i det innerste glasset ved de to andre strålingsintensiteten (13,6 kW/m², 17,7 kW/m²) i tre av fire tester. Selv om glasset fikk sprekker i noen av testene, så beholdt likevel glasset integriteten i hver test i den grad at glasset, eller deler av glasset, ikke kollapset og falt ut [48].

I en annen forsøksserie ble det utført tester på, bl.a., vanlig enkeltglass med tykkelse 3 mm og kvadratisk form med sidekanter på 500 mm. I noen av testene ble glasset påført sideveis strekkspenning. Glassene ble utsatt for stråling i intervallet 3-10 kW/m². Testene viste at de første sprekken i glasset oppstod ved omtrent 5 kW/m², og dette ble videre ansett for å være

kritisk strålingsintensitet for glass. Det forekom noe utfall av glassbiter i omtrent alle testene, selv om dette var i svært liten grad i fleste tilfellene. Betydelig utfall av glassbiter forekom ved omkring 9 kW/m^2 , med opp mot 25 % av glasset. Det ble videre funnet at den påførte strekkspenningen hadde liten innvirkning på tid til første sprekk i glasset, men at det var antydninger til å redusere utfall av glass i begrenset grad [49].

I en senere forsøksserie ble det utført tester på vanlig dobbeltglass med 6 mm tykkelse og 6 mm mellomrom mellom glassene, der glassene hadde kvadratisk form med sidekanter på 600 mm. I løpet av forsøkene ble det ikke registrert utfall av glassbiter. Det ble konkludert med at kritisk strålingsintensitet for ytterste glass var omkring 6 kW/m^2 , og for innerste glass mer enn 25 kW/m^2 [50].

4.1.4 Faktorer som påvirker avgitt varmestråling

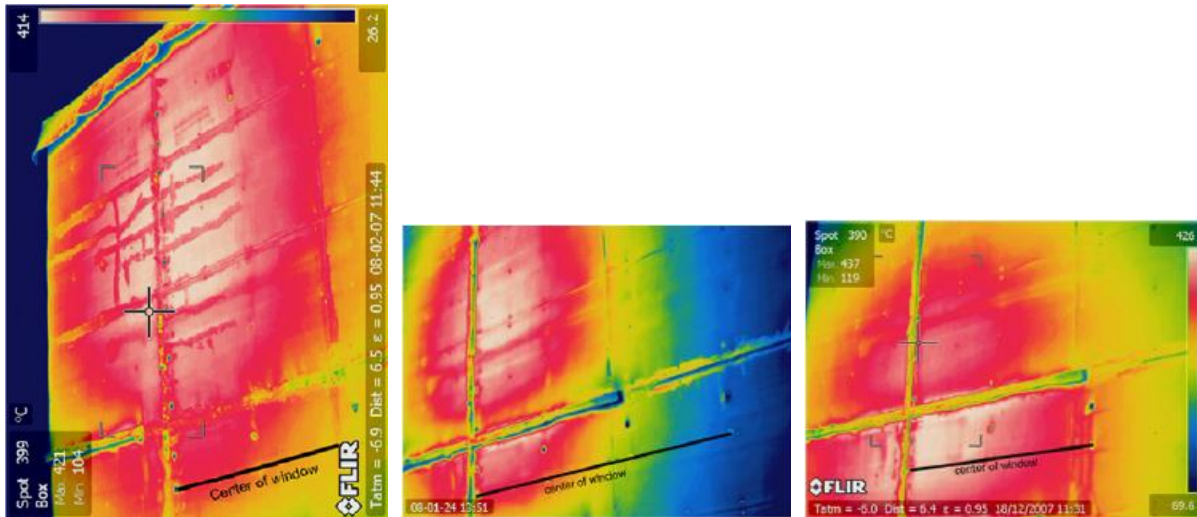
I Canada, i 1958, ble det gjennomført et prosjekt kalt «The St. Lawrence burns». I dette prosjektet ble det gjennomført fullskala brannforsøk i, bl.a., seks toetasjes bolighus, der man bl.a. skulle studere brannspredning ved varmestråling [51]. Et av målene for prosjektet var å vurdere ved hvilke avstander der varmestråling potensielt kunne antenne nabobygg. Noen viktige faktorer som ble vurdert, var hvor vidt bruk av brennbar eller ubrennbar innvendig og utvendig kledning påvirket strålingen. Noen av funnene i prosjektet var:

- Høyeste målte strålingsverdi fra boliger med brennbar innvendig kledning var omtrent dobbelt så stor som fra boliger med ubrennbar innvendig kledning.
- Ulik type utvendig kledning påvirket ikke den maksimale strålingsverdien i stor grad.

I forbindelse med et fullskalaforsøk i Japan ble det, bl.a., sett på effekten av åpne og lukkede dører/vinduer. Det ble gjennomført to forsøk, der det i det første forsøket kun var vinduet til brannrommet som var åpent. I det andre forsøket ble halvparten av vinduer og dører satt til å stå åpen. Det ble registrert at brannen ble mer intens og at det kom større flammer ut av vinduet i brannrommet i det andre forsøket [52].

I en serie med fullskala brannforsøk ble det sett på hvilke faktorer som påvirker stråling fra et vindu i et brannrom, og til et ev. nabobygg. Generelt ble det funnet at redusert avstand mellom bygninger medfører høyere mottatt stråling. Det ble videre funnet at forholdet mellom vinduets høyde og bredde har stor betydning for strålingsdistribusjonen på nabobygg: Der bredden av vinduet var stor sammenlignet med høyden, kom strålingen hovedsakelig fra selve

vindusåpningen, noe som betød at distribusjonssonen lå lavere på motstående vegg enn sammenlignet med der bredden var liten ift. høyden. Der bredden var liten ift. høyden, kom strålingen hovedsakelig fra flammene over vinduet, og distribusjonssonen sentrerte seg noe høyere opp på motstående vegg [53], se figur 4.2.



Figur 4.2 Sammenligning av stråling på motstående vegg fra et vindu i et brannrom. Vindu med liten bredde ift. høyde (venstre – dimensjoner 1,10m x 1,45m), vindu med samme bredde og høyde (midten – dimensjoner 1,45 x 1,45 m) og vindu med stor bredde ift. høyde (høyre – dimensjoner 2,44m x 1,45m). Hentet fra [53].

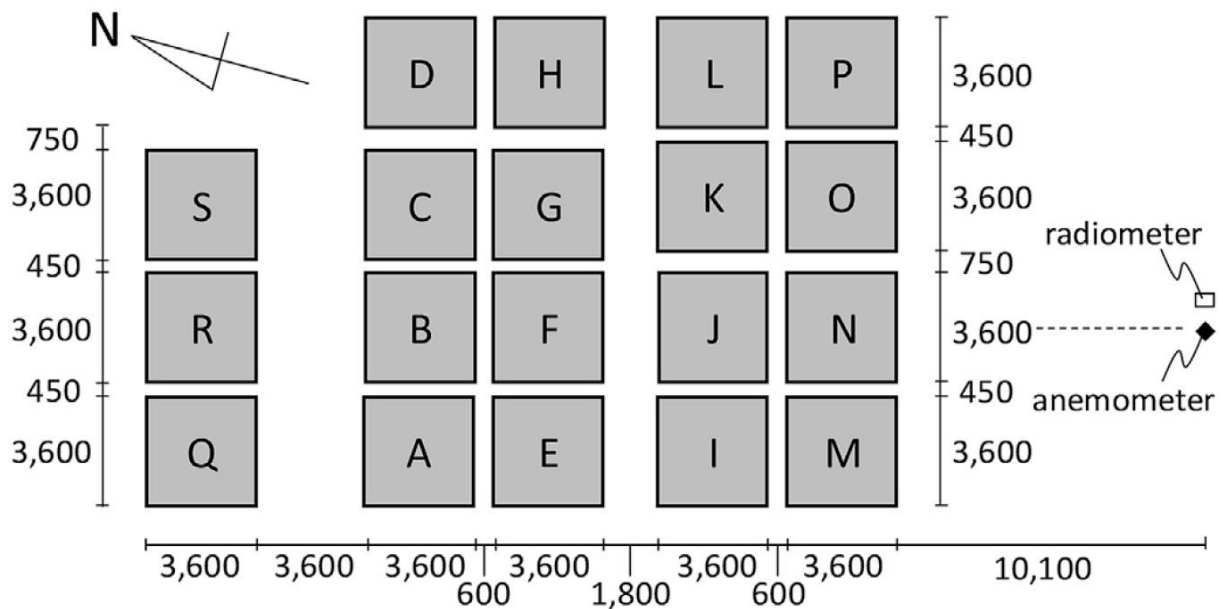
I England ble det gjennomført et forskningsprosjekt, der deler av prosjektet gikk ut på å etablere støtte for modifiserte/alternative beregningsmetoder for avstand mellom bygg. En av faktorene det ble sett på var isolasjon, da nyere bygg har en tendens til å være bedre isolert enn tidligere. Resultatene fra prosjektet peker bl.a. på at bruk av termisk isolasjon kan føre til høyere branntemperaturer, redusert tid til overtenning, økt omfang av utvendige flammer fra vindu, og økt strålingsintensitet. Det blir også konkludert med at det er behov for økt avstand mellom/fra bygg som er bedre isolert, og/eller ev. redusert størrelse på ubeskyttede arealer, for å møte dagens akseptkriterium i England på $12,6 \text{ kW/m}^2$ [54] [55].

Som et ledd i en validering av en simuleringsmodell for urban brannspredning, ble det gjennomført to brannforsøk i et nedskalert urbant område med totalt 19 modellbygg i skala 1:3 [56], se figur 4.3.



Figur 4.3 Oversiktsbilde av modellhusene. Hentet fra [56].

Avstand mellom byggene var 0,45 og 0,6 m. Situasjonsplan for modellhusene er vist i figur 4.4.



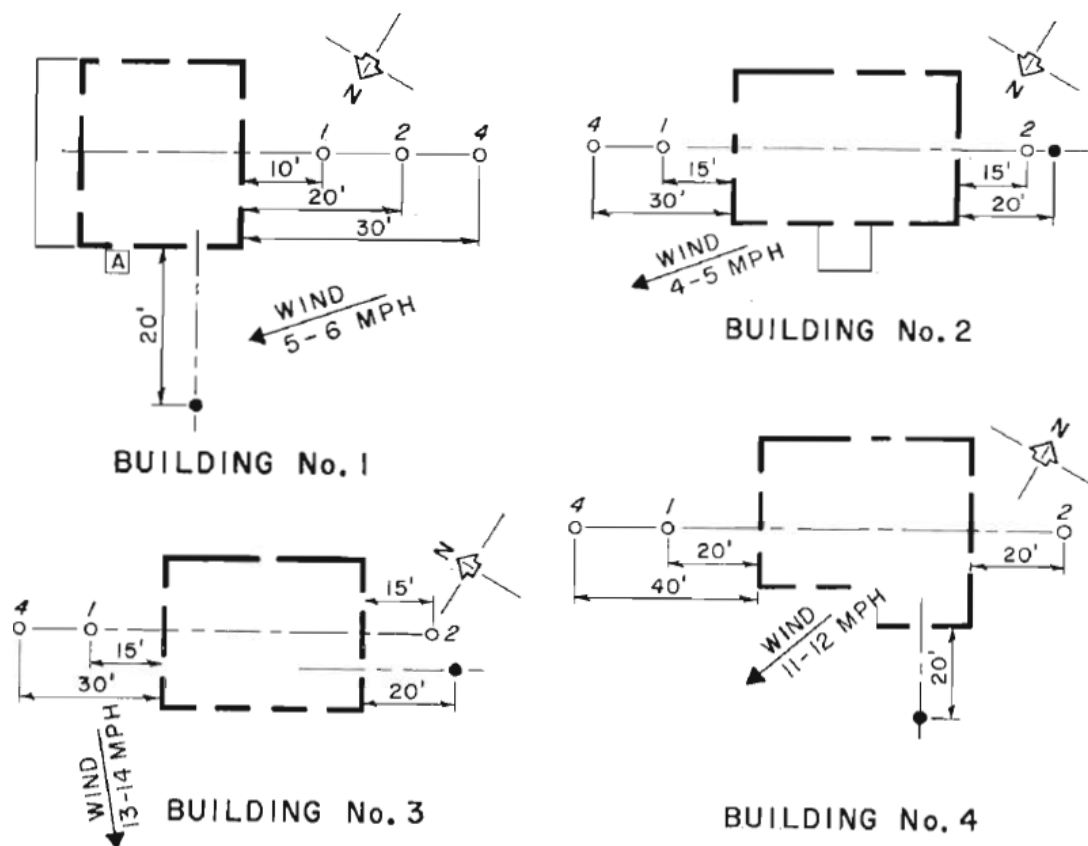
Figur 4.4 Situasjonsplan, modellhus. Hentet fra [56].

Under testene, som ble gjennomført utendørs, var det lite vind (1,1 – 1,6 m/s), og av den grunn ble varmestråling ansett som hovedårsak til brannspredning [56].

- Test 1: Etter antennelse i ett av byggene (B) ble det observert flammer ut fra åpninger. Deretter ble det observert gjennombrenning i taket. Den fullt utviklede brannen varte kun en kort periode, der nabobyggene ble eksponert for høy strålingsintensitet og direkte flammepåkjønning, men dette var ikke nok til å antenne nabobyggene.
- Test 2: Etasjeskiller og takkonstruksjon i modellhusene ble forsterket for å unngå gjennombrenning, og for å tydeliggjøre effekten av rominndeling. Det ble også plassert mer brensel i byggene. I denne testen brant samtlige av modellhusene ned, bortsett fra tre stykker (Q, R, S) som var plassert i større avstand fra resten av modellhusene (3,6 m). Dette indikerer at tettere bygg, sammen med økt brannenergi, øker potensialet for brannsmitte.

4.1.5 Registrert varmestråling fra fullskalaforsøk og simuleringer

I enkelte av forsøkene i «St. Lawrence»-prosjektet ble måleinstrumentene plassert i avstander på enten 4,6 m (15 fot) og 9,1 m (30 fot) eller 6,1 m (20 fot) og 12,2 m (40 fot) [57] [58], se figur 4.5.



Figur 4.5 Plassering av måleinstrumenter ift. bygg 1-4 i «St. Lawrence»-prosjektet. Hentet fra [51].

Testene ble gjennomført i åtte bygninger, hvorav seks toetasjes bolighus – disse ble nummerert 1-5 og 7 (bygg 6 og 8 var ikke bolighus). De høyeste strålingsverdiene ble registrert på lesiden av bygningene. På lesiden ble maksimal strålingsverdi på de ulike avstandene registrert til:

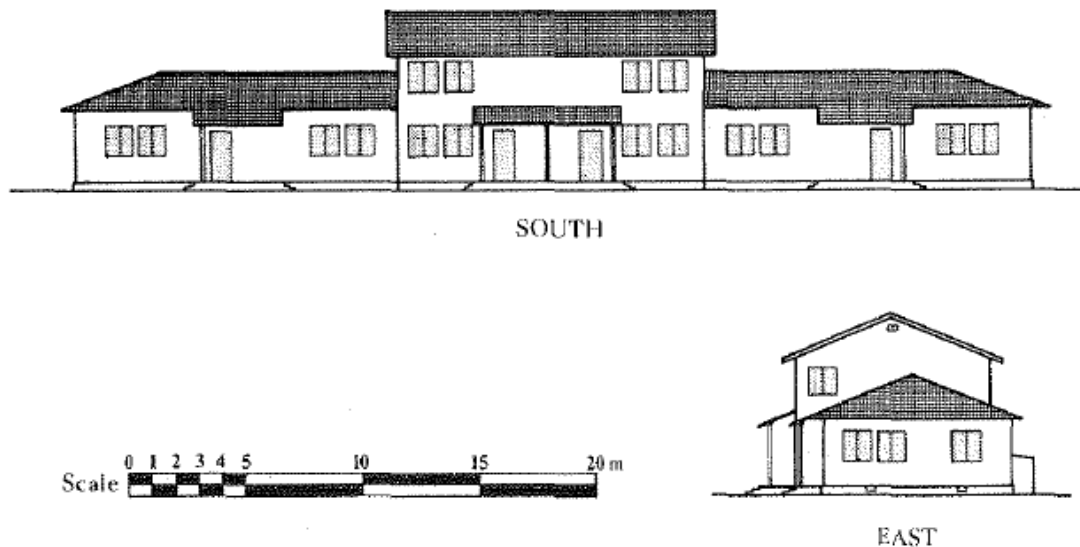
- 4,6 m: Ca. 52,3 kW/m² (Hus 3. Synsfaktor fra åpninger til målepunkt: 0,034. Innvendig kledning: Sponplater. Utvendig kledning: Murstein. Vindhastighet: Ca. 1,8 – 2,2 m/s)
- 6,1 m: Ca. 44,0 kW/m² (Hus 5. Synsfaktor fra åpninger til målepunkt: 0,027. Innvendig kledning: Presset papir. Utvendig kledning: Trebord. Vindhastighet: Ca. 4,5 – 6,3 m/s)
- 9,1 m: Ca. 15,9 kW/m² (Hus 7. Synsfaktor fra åpninger til målepunkt: 0,018. Innvendig kledning: Gipsplater. Utvendig kledning: Murstein. Vindhastighet ca. 5,8 m/s)
- 12,2 m: Ca. 13,4 kW/m² (Hus 5. Synsfaktor fra åpninger til målepunkt: 0,008. Innvendig kledning: Presset papir. Utvendig kledning: Trebord. Vindhastighet: Ca. 4,5 – 6,3 m/s)

Til sammenligning med vindsiden ble maksimal strålingsverdi på de ulike avstandene registrert til (det ble ikke gjort målinger ved 9,1 m eller 12,2 m på vindsiden):

- 4,6 m: 19,2 kW/m² (Hus 3. Synsfaktor fra åpninger til målepunkt: 0,034. Innvendig kledning: Sponplater. Utvendig kledning: Murstein. Vindhastighet: Ca. 1,8 – 2,2 m/s)
- 6,1 m: 19,2 kW/m². (Hus 4. Synsfaktor fra åpninger til målepunkt: 0,028. Innvendig kledning: Gipsplater. Utvendig kledning: Trebord. Vindhastighet: Ca. 4,9 – 5,4 m/s)

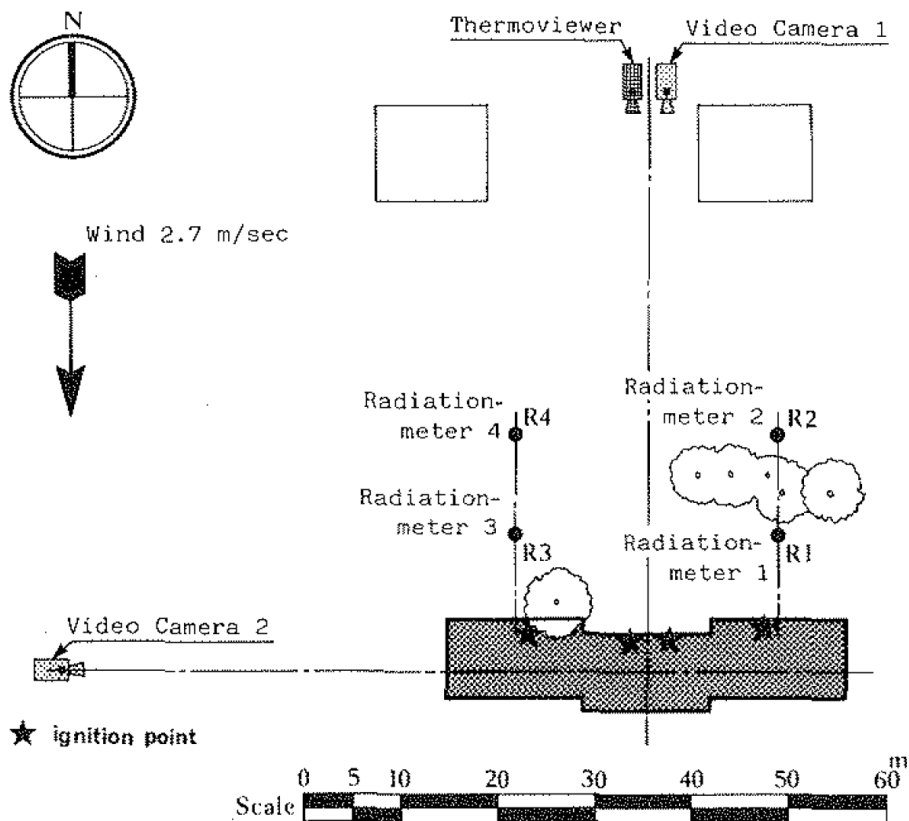
Det ble også registrert at flammemønsteret på lesiden og vindsiden var ulik – flammer ut av vindu på lesiden hadde større volum enn flammene på vindsiden [57].

I et fullskalaforsøk i Japan ble stråling fra døråpninger i et bolighus vurdert. Bolighuset er vist med sørvendt og østvendt fasade i figur 4.6.



Figur 4.6 Sør- og østvendt fasade. Hentet fra [59].

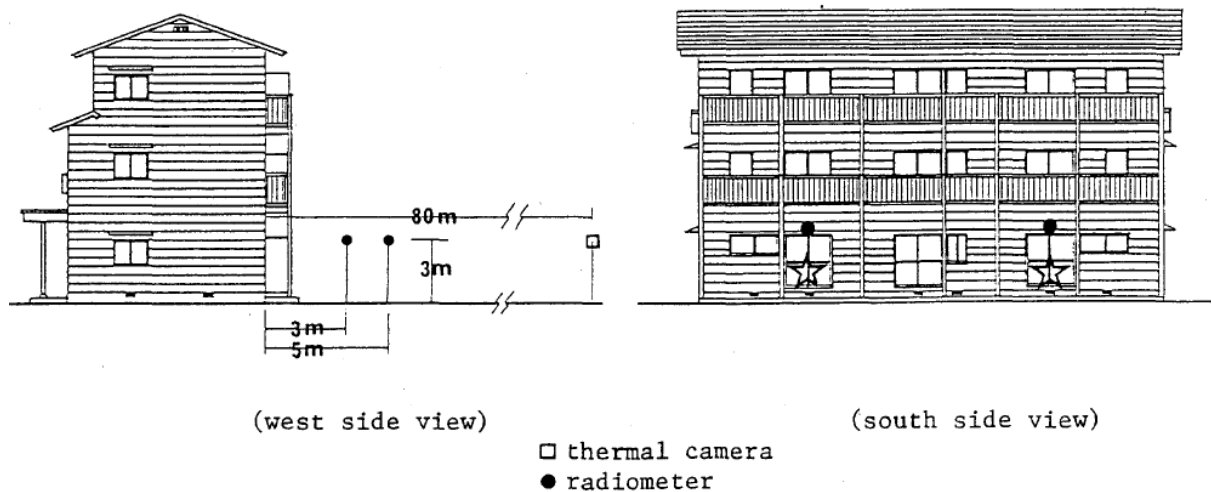
Det ble plassert to radiometer (R1 og R3) på ca. 10 m avstand fra døråpninger, og to radiometer (R2 og R4) på ca. 20 m avstand fra de samme dørene. Se situasjonsplan med oversikt over plassering av utstyr i figur 4.7.



Figur 4.7 Situasjonsplan. Hentet fra [59].

Maksimal strålingsintensitet ble målt til omkring 5 kW/m^2 i et mindre tidsrom ved radiometer 1 (R1), mens det ved radiometer 3 (R3) ble målt en maksimal strålingsintensitet på ca. 3 kW/m^2 [59].

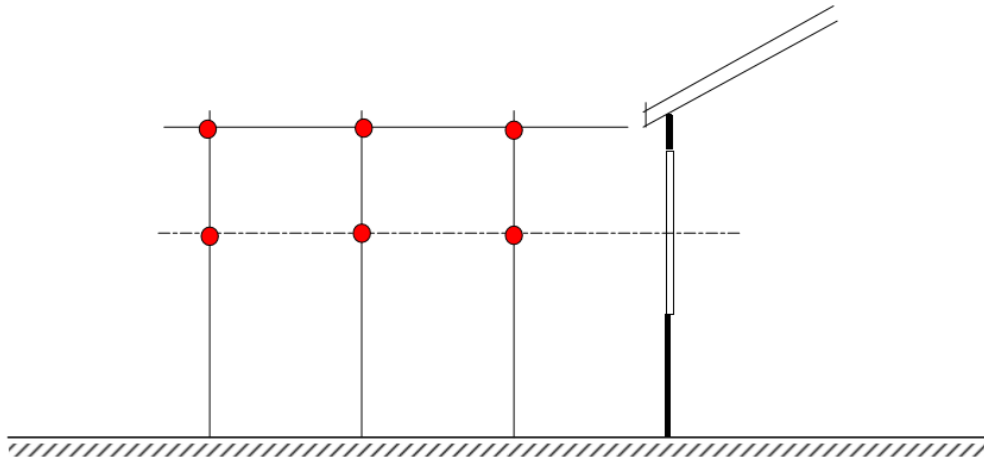
I et annet fullskalaforsøk i Japan ble også varmestråling fra et brennende bolighus undersøkt. Huset er vist med vestvendt og sørvendt fasade, samt instrumentering, i figur 4.8.



Figur 4.8 Vest- og sørvendt fasade, samt instrumentering. Hentet fra [52].

Den utvendige kledningen bestod av ubrennbare plater, og innvendige vegger og tak var kledd med gips. Det ble montert måleinstrumenter i 3 m og 5 m avstand fra vindu i første etasje, i ca. 3 m høyde (ca. på høyde med topp av vindu/dør) – se figur 4.8 over. På 3 m avstand ble strålingsintensiteten målt til å ha et toppunkt på ca. 27 kW/m^2 , og samtidig mer enn ca. $12,5 \text{ kW/m}^2$ i en periode på nesten 15 minutter. På 5 m avstand ble strålingsintensiteten målt til å ha et toppunkt på ca. $12,5 \text{ kW/m}^2$, og samtidig mer enn 5 kW/m^2 i en periode på nesten 15 minutter [52].

Ved en kontrollert nedbrenning av et bygg i Australia, ble det gjennomført målinger av strålingsintensitet. Det ble plassert totalt seks måleinstrumenter – tre stykker i høyde med takfoten (ca. 2,8 m) og tre stykker i høyde med senter av underliggende vindu (ca. 1,7 m) – se figur 4.9.



Figur 4.9 Plassering av måleinstrumenter. Hentet fra [60].

Målerne ble plassert i avstand 2 m, 4 m og 6 m fra vegglivet. Huset var i stor grad tømt for inventar, og inneholdt derfor lite brannbart materiale. Maksimal strålingsintensiteten på avstand 2 m og 4 m ble målt til henholdsvis 70 kW/m^2 og 16 kW/m^2 . På avstand 6 m ble strålingsintensiteten generelt målt til å være lavere enn 10 kW/m^2 [60].

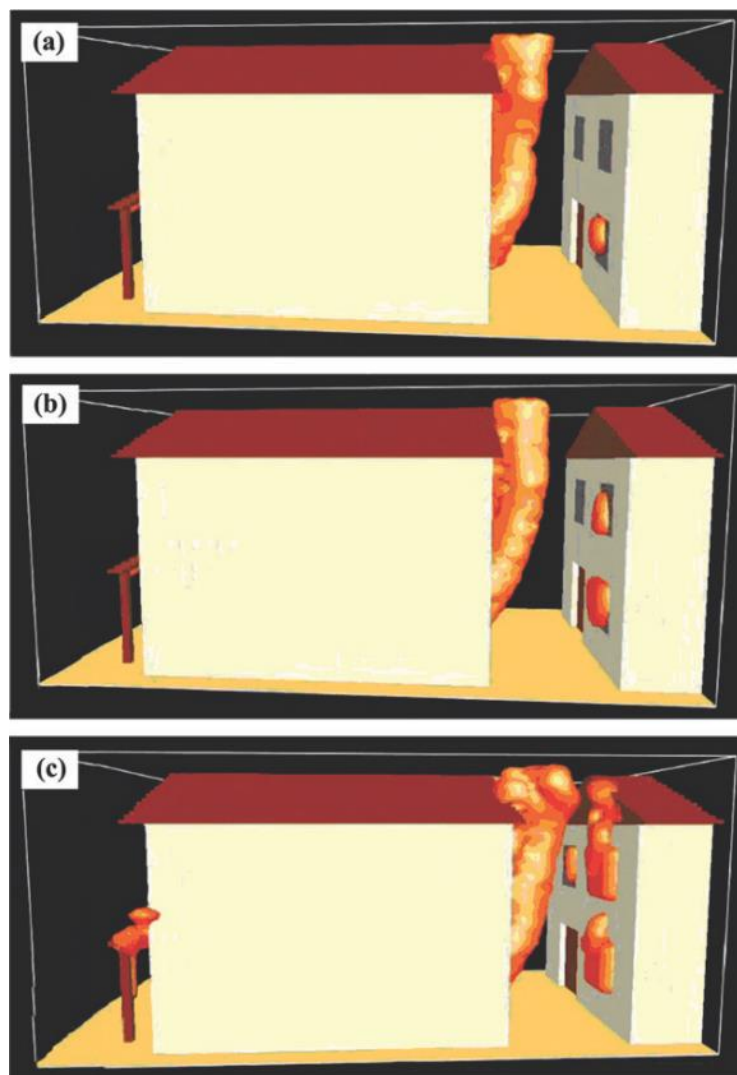
I forbindelse med et forskningsprosjekt i England ble det sett på hvordan isolasjon påvirker brann- og strålingsintensitet. Det ble utført tester i et brannrom med lengde 3,6 m, bredde 3,6 m og høyde 2,4 m. I/Fra rommet var det en åpning som var 1,5 m bred og 1,0 m høy. Rommet var innredet med treverk, med en gjennomsnittlig brannbelastning på 570 MJ/m^2 gulvflate – se figur 4.10.



Figur 4.10 Brannenergi/Treverk på gulvet i brannrommet. Hentet fra [54], © Building Research Establishment Ltd 2015

Strålingsintensiteten ble målt 4 m fra senter av åpningen. Den høyeste målte strålingen ble målt til $11,8 \text{ kW/m}^2$ [54] [55].

Vurdering av strålingsintensitet fra bygninger kan også utføres i simuleringer. Gjennom tre simuleringer ble det sett på stråling og brannspredning fra et bolighus til et annet, der husene lå i avstand 3,5 m, 4,0 m og 4,5 m. Simuleringene viste brannspredning ved avstand 3,5 m og 4,0 m, der maksimal strålingsintensitet ble registrert med toppunkt over 70 kW/m^2 på nabobygg. Figur 4.11 viser brannspredning i simuleringmodellen der bolighusene var plassert med 3,5 m avstand.



Figur 4.11 Simulering av brannspredning mellom hus med avstand 3,5 m. Hentet fra [61].

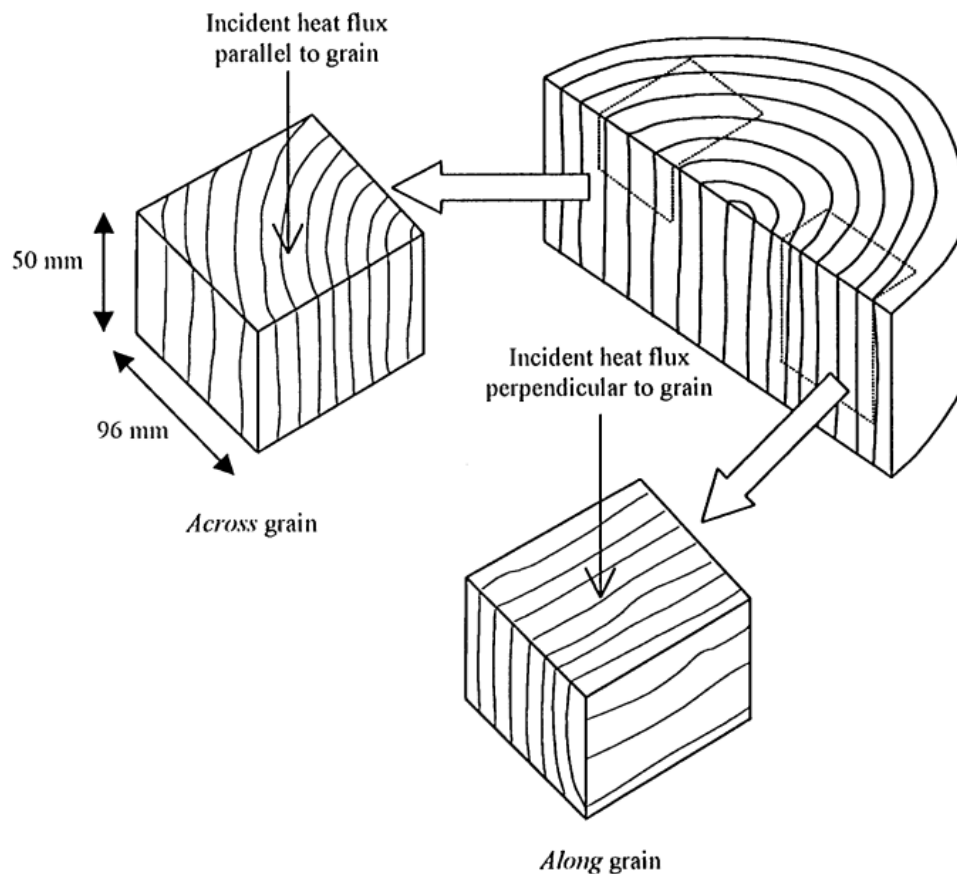
Ved 4,5 m avstand oppstod det ikke brannspredning, men det ble registrert toppunkter i strålingsintensitet på omtrent 14 kW/m^2 [61].

4.1.6 Faktorer som påvirker mottatt stråling og antennelse av treverk

Det kan være store gap i rapporterte verdier for kritisk varmestråling for treprodukter i forskjellige kilder [62], og det er mulig at dette kan tilskrives ulik praksis når det kommer til testmetode, definisjon av antennelse og hvilke tresorter som er benyttet. Det er også vist at fullskalatester og tester i laboratorium gir ulike verdier, ved at det kreves høyere strålingsintensitet i fullskalatester for å oppnå antennelse [23, p. 15].

Antennelse av treverk er et tema det er blitt forsket på i over 100 år, og minste rapporterte kritiske strålingsintensitet for antennelse av treverk er $4,3 \text{ kW/m}^2$ [63].

Det er vist gjennom forskning at orienteringen av treets årringer ift. strålingskilden, kan ha stor betydning for den kritiske strålingsintensiteten, se figur 4.12.



Figur 4.12 Orientering av årringer ift. strålingskilde. Hentet fra [64].

Bl.a. ble det vist at den kritiske strålingsintensiteten, mht. antennelse, var lavere for treverk der årringene var orientert parallelt med strålingen, se resultater i figur 4.13 [64].

Species	Grain orientation	Average moisture content (%)	Measured critical heat flux for ignition (kW/m ²)	Time to ignition (hs:min:s)
Redwood	Along	8.6	13 ^a	0:36:10
	Across	7.4	9	0:23:36
Red oak	Along	5.1	— ^b	—
	Across	5.2	—	—
Douglas fir	Along	7.4	12	1:33:00
	Across	8.5	9	0:39:55
Maple	Along	4.8	12	1:10:00
	Across	4.8	8 ^a	0:44:40

^aNext lowest integer incident heat flux failed to ignite sample.

^bNot measured.

Figur 4.13 Resultater fra testing av kritisk strålingsintensitet ved ulik orientering av årringer ift. strålingskilde. Hentet fra [64].

I forbindelse med «St. Lawrence»-prosjektet ble det vist at vind har betydning for målt stråling [51], da man målte høyere verdier på lesiden enn på den vindeksponerte siden. Det er i tillegg, i forbindelse med senere forskning, vist at økt lufthastighet har betydning for antennelsestiden ved pilotantennelse [65].

Foruten intensiteten av innkommende varmestråling, så er antennelse av treverk også avhengig av fuktinnhold og oksygenkonsentrasjonen [65] [66]. Kritisk strålingsintensitet varierer for ulike tresorter, men også for samme tresort vil kritisk strålingsintensitet avhenge av fuktinnhold [66].

4.1.7 Vurdering av avstand mellom bygg med grunnlag i stråling

Både Carlsson [23] (i 1999) og Thomson m.fl. [67] (i 2016) har sett på, og sammenlignet, ulike metoder for å vurdere avstand mellom bygninger, bl.a. amerikanske NFPA 80A [40] og britiske BR 187 «Enclosing rectangle» [68]. Begge standardene er revidert etter at Carlsson sammenlignet dem, og Thomson gir dermed den mest oppdaterte sammenligningen av disse (NFPA 80A ble revidert i 2017, men kun med små endringer ift. versjonen Thomson benyttet). I begge disse metodene beregnes avstand mellom byggverk med hensikt om ikke å overstige kritisk strålingsintensitet. I Carlsson sin gjennomgang ga NFPA generelt noe mer konservative resultater enn BR 187, noe som også er tilfellet for Thomson. Thomson peker på at kritisk strålingsverdi i NFPA er valgt å være 12,5 kW/m², som er litt lavere enn BR 187 hvor den er valgt til 12,6 kW/m².

Clarke [69] utførte i 1999 en vurdering av designparametre som benyttes for vurdering av avstand mellom bygg i New Zealand. I New Zealand defineres bygg i en av fire brannklasser, såkalt «Fire Hazard Category (FHC) 1-4».

Ifølge Clarke [69] er de fleste strålingsbaserte metoder for vurdering av avstand basert på «speilbilde»-prinsippet. Dette prinsippet tar utgangspunkt i at to nabobygg er speilbilder av hverandre, og skal plasseres med lik avstand til tomtegrensen (også kalt grenseavstand) på hver sin side, slik at avstanden mellom byggene (også kalt separasjonsavstand) blir lang nok mht. kritisk strålingsintensitet. Det pekes videre på en svakhet i dette prinsippet, ved at nabobygg ofte ikke er speilbilder av hverandre, og at det alltid eksisterer en mulighet for at et det oppføres nye nabobygg med annen strålingskarakteristikk.

Clarke [69] argumenter for innføring av «begrensende avstand»-prinsippet. Dette er et prinsipp som går ut på at man skal vurdere strålingsintensiteten fra sitt eget bygg, i en viss avstand inn på nabotomt. Dette gjelder da spesielt for uklassifiserte konstruksjoner, og konstruksjoner med brannklassifisering skal kunne etableres helt inn til den «begrensende avstand» på egen tomt.

Clarke [69] har også gjort en vurdering av forskningsresultater på kritisk strålingsintensitet, og foreslo at akseptkriteriene skulle heves til 16 kW/m^2 og 17 kW/m^2 for henholdsvis FHC 3/4 og 1/2. Clarke argumenterte for at beregning av ekstra avstand som følge av stråling fra flammer ut av vindu er unødvendig, da dette er stråling som i de fleste tilfeller kun gir et mindre bidrag. I stedet mener Clarke at det som standard løsning burde legges til 0,5 m eller 1,0 m ekstra til beregningene, avhengig av brannklasse, for å ta høyde for stråling fra flammer.

I New Zealand i dag, benyttes et akseptkriterium på 16 kW/m^2 . Dette er den maksimale strålingsintensiteten et bygg tillates å avgi i en avstand inntil 1,0 m inn på nabotomt [70].

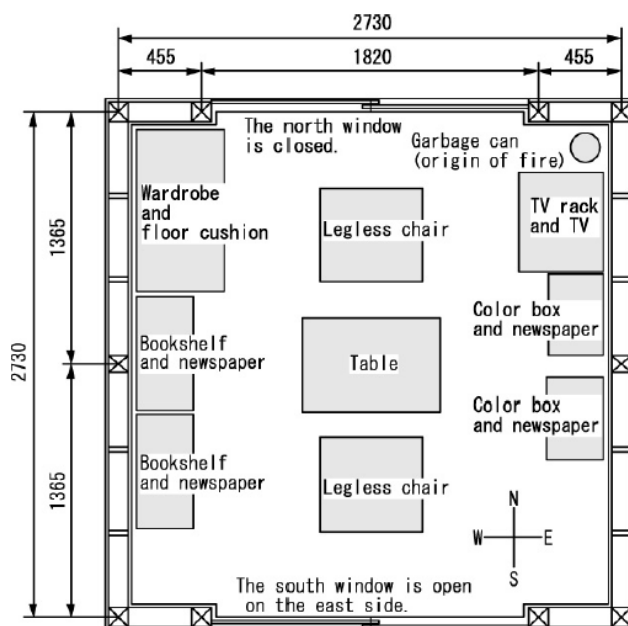
4.2 Flyvebrann

Et av resultatene i rapporten etter Lærdalsbrannen var at flyvebrann var den viktigste brannspredningsmekanismen [12]. Flyvebrann kan potensielt transporteres over store avstander og antenne bygninger direkte, eller indirekte via punktbranner i nærheten [13]. I en studie som tar for seg flyvebrannens rolle i brannspredning, ble det pekt på at

punktbranner/antennelse ved flyvebranner, er avhengig av tre sekvensielle mekanismer: Produksjon av flyvebrann, transport av flyvebrann, og antennelse med flyvebrann [71].

4.2.1 Produksjon av flyvebrann: Små trebygninger

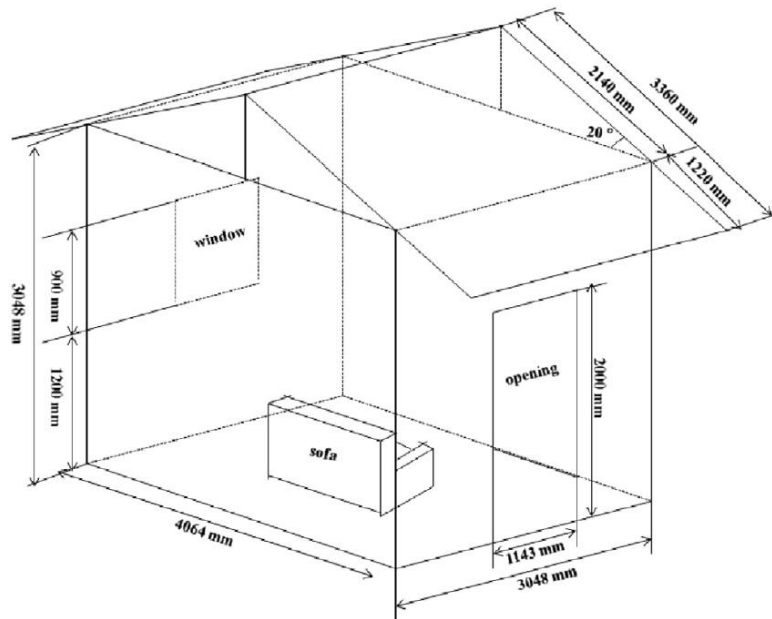
Det er blitt utført et brannforsøk med et mindre ettroms trebygg med en grunnflate på ca. 7,5 m², fylt med normalt inventar (TV, TV-bord, stoler, etc.) på totalt 30 kg/m², se figur 4.14.



Figur 4.14 Plantegning med inventar. Hentet fra [72].

Forsøket ble utført i en vindtunnel med en vindhastighet på 2 – 4 m/s. Flyvebrannpartikler ble samlet opp under forsøket, og deretter målt og veid. Ca. 79 % av de målte partiklene hadde et areal i området 0,25 – 1,0 cm², og av disse veide ingen mer enn 0,061 g [72].

I et lignende eksperiment ble et ettroms trebygg på ca. 12 m², utsatt for vindhastighet på ca. 6 m/s, og antent, se figur 4.15.

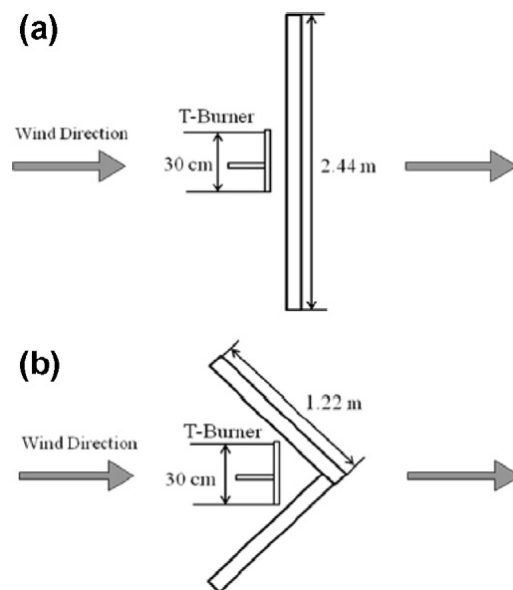


Figur 4.15 3D-visning av bygget. Hentet fra [73].

Av de oppsamlede flyvebrannpartikler veide 90 % under 1 gram, og hadde et areal mindre enn 10 cm². Totalt 56 % av partiklene veide under 0,1 g [73].

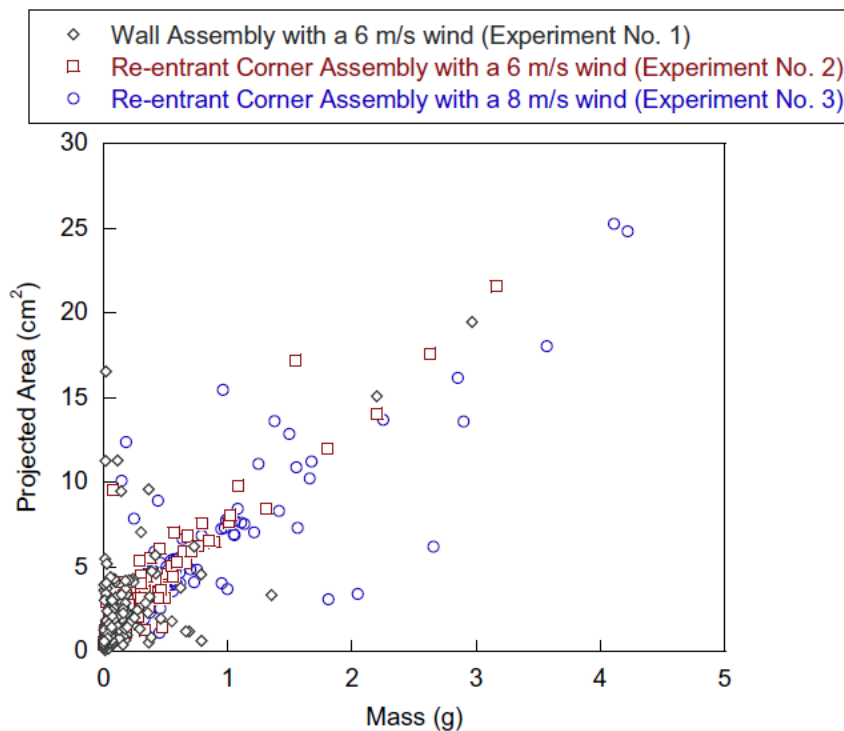
4.2.2 Produksjon av flyvebrann: Veggkonstruksjoner

I en forsøksserie med tre eksperimenter ble ett rett veggparti, og to innvendige hjørner, bygd opp av trestendere og OSB-plater, antent og utsatt for vindhastigheter på 6 og 8 m/s, se figur 4.16.



Figur 4.16 Oversiktsfigur forsøksoppsett, rett vegg (a) og innvendig hjørne (b). Hentet fra [74].

Flyvebrannpartiklene ble samlet opp i vannkar og deretter målt og veid. Størrelses- og massefordeling er vist i figur 4.17.



Figur 4.17 Størrelses- og massefordeling av flyvebrannpartikler. Hentet fra [74].

Følgende observasjoner/konklusjoner ble gjort [74]:

- Areal og masse for innsamlede partikler i forsøket med rett vegg og vindhastighet:
 - 6 m/s: 41 % mindre enn 1 cm², og 97 % mindre enn 10 cm². 65 % under 0,1 g, og 98 % under 1 g.
- Areal og masse for innsamlede partikler i forsøket med innvendig hjørne og vindhastighet:
 - 6 m/s: 17 % mindre enn 1 cm², og 97 % mindre enn 10 cm². 37 % under 0,1 g, og 94 % under 1 g.
 - 8 m/s: 5,2 % mindre enn 1 cm², og 90 % mindre enn 10 cm². 15 % under 0,1 g, og 84 % under 1 g.
- Resultatene indikerer at rette veggparti kan produsere flere partikler med areal mindre enn 1 cm², enn innvendige hjørner.
- Resultatene indikerer at økt vindhastighet kan føre til produksjon av større flyvebrannpartikler.

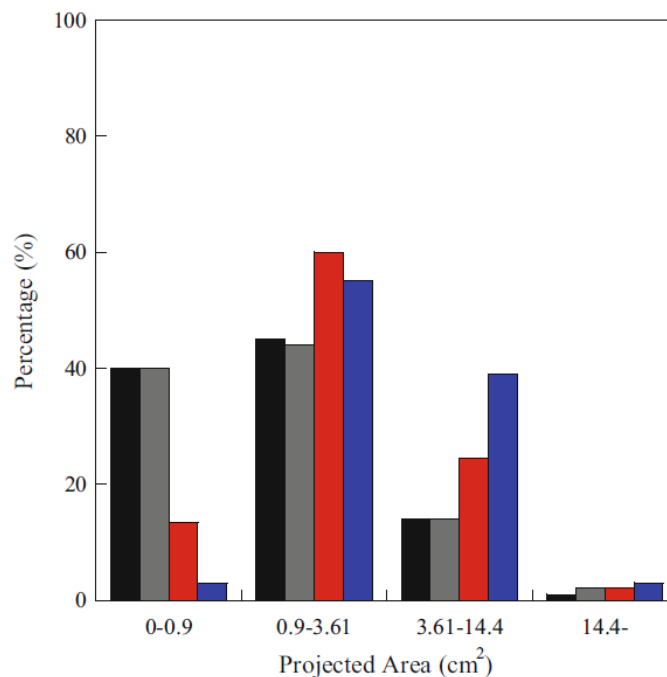
For sammenligning mot tidligere forsøk utført med OSB-plater, ble det gjennomført forsøk med kryssfinér. Forsøket ble utført i form av et innvendig hjørne bygd opp med trestendere og kryssfinér, som deretter ble antent og utsatt for vindhastigheter på 6 og 8 m/s, se figur 4.18.



Figur 4.18 Forsøk med innvendig hjørne av kryssfinér på trestendere. Oppsamlingspanner for flyvebrannpartikler bak konstruksjonen. Hentet fra [75].

Generelt ble det observert at kryssfinér produserte flyvebrannpartikler med mindre areal enn OSB-plater, se figur 4.19 [75].

- Firebrands generated from Re-entrant Corner Plywood Base Sheating (6 m/s)
- Firebrands generated from Re-entrant Corner Plywood Base Sheating (8 m/s)
- Firebrands generated from Re-entrant Corner OSB Base Sheating (6 m/s) [21]
- Firebrands generated from Re-entrant Corner OSB Base Sheating (8 m/s) [21]



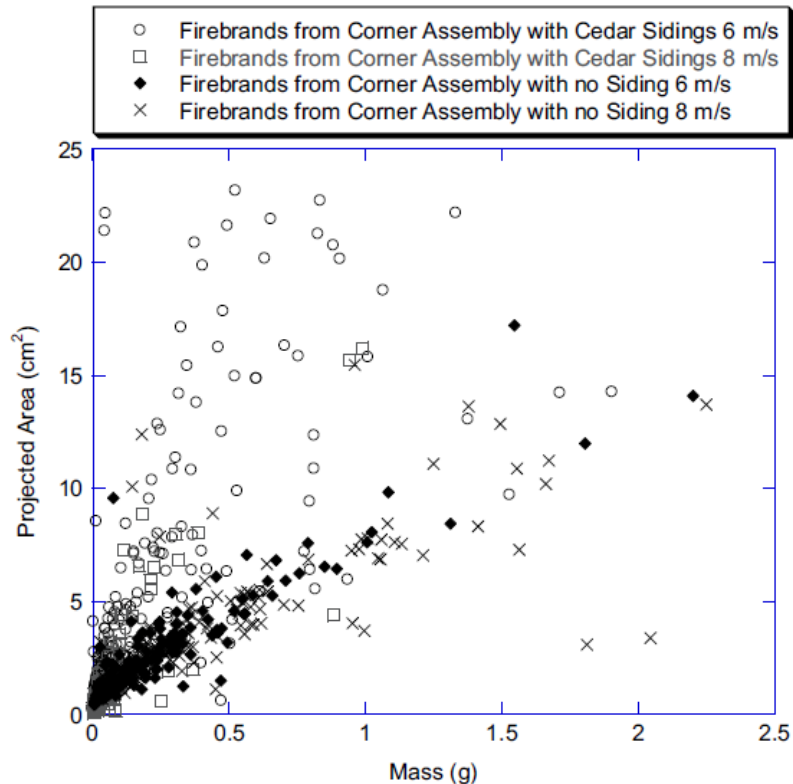
Figur 4.19 Sammenligning av størrelsesfordelingen av flyvebrammpartikler fra brannforsøk med innvendig hjørne av kryssfiner vs. OSB ved ulike vindhastigheter. Hentet fra [75].

Videre er det gjort forsøk med vegger med kledning. I en forsøksserie ble det satt opp innvendige hjørner av trestendere og OSB-plater, som videre ble kledd med tjæreapp og treplater. Disse ble deretter antent og for vindhastigheter på 6 og 8 m/s, se figur 4.20.



Figur 4.20 Forsøk med innvendig hjørne av trestendere, OSB-plater, tjæreapp og kledning av treplater. Hentet fra [76].

Flyvebrannpartiklene ble samlet opp i vannkar og deretter målt og veid. Størrelses- og massefordeling er vist i figur 4.21, sammenlignet mot forsøk uten kledning av tjærepp og treplater.



Figur 4.21 Størrelses- og massefordeling av flyvebrannpartikler. Hentet fra [76].

Følgende observasjoner/konklusjoner ble gjort [76]:

- Areal og masse for innsamlede partikler i forsøket med innvendig hjørne og vindhastighet:
 - 6 m/s: 39 % mindre enn 1 cm², og 75 % mindre enn 10 cm². 67 % under 1 g.
 - 8 m/s: 77 % mindre enn 1 cm², og 97 % mindre enn 10 cm². 90 % under 1 g.(Flere større flyvebrannpartikler ble i dette forsøket tatt av vinden og ført forbi oppsamlingsområdet, som gjør at resultatet kan være noe misvisende.)
- Den største partikkelen som ble funnet hadde et areal på 110 cm² og veide 25 g – det ble antatt at denne ble dannet fra en trestender
- Det ble observert at trekledningen produserte partikler med større areal og mindre masse, som ble transportert over lengre avstand.
- Resultatet indikerer at fasadematerialer påvirker generering av flyvebrannpartikler.

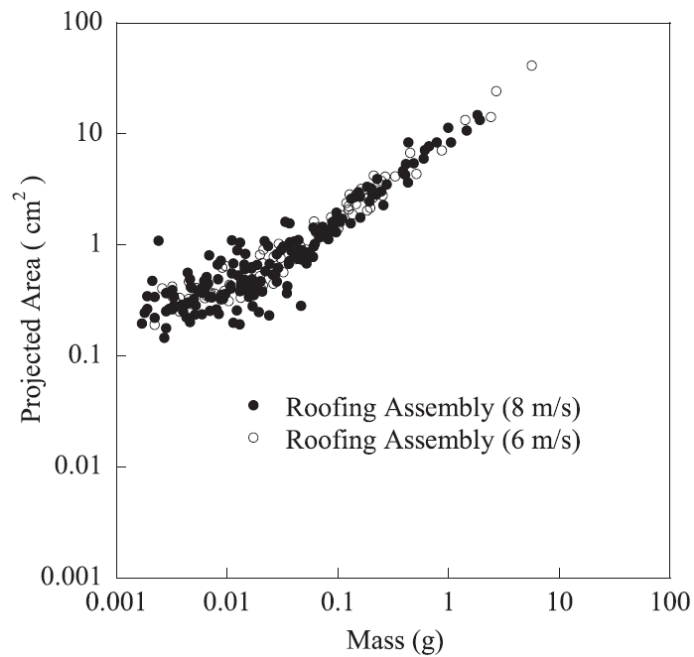
4.2.3 Produksjon av flyvebrann: Takkonstruksjoner

Det er også blitt utført tester for å se på produksjon av flyvebrann fra takkonstruksjoner. I en testserie ble det etablert en takkonstruksjon bestående av OSB-plater på en ramme av trebjelker. Dette ble videre antent og utsatt for vindhastigheter på 6 og 8 m/s, se figur 4.22.



Figur 4.22 Forsøk med takkonstruksjon. Hentet fra [77].

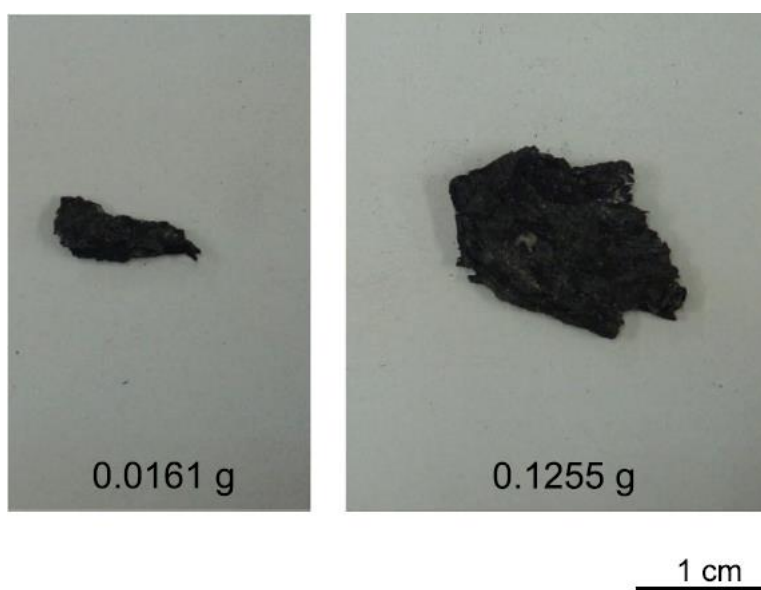
Flyvebrannpartiklene ble samlet opp i vannkar og deretter målt og veid. Størrelses- og massefordeling er vist i figur 4.23.



Figur 4.23 Størrelses- og massefordeling av flyvebrannpartikler. Hentet fra [77].

Følgende observasjoner/konklusjoner ble gjort [77]:

- Areal og masse for innsamlede partikler i forøket med vindhastighet:
 - 6 m/s: Ca. 48 %: 0 – 0,9 cm², ca. 39 %: 0,9 – 3,61 cm², ca. 10 %: 3,61 – 14,4 cm², ca. 3 %: større enn 14,4 cm².
 - 8 m/s: Ca. 62 %: 0 – 0,9 cm², ca. 30 %: 0,9 – 3,61 cm², ca. 7 %: 3,61 – 14,4 cm², ca. 1 %: større enn 14,4 cm².
- Kun to av de innsamlede partiklene hadde masse større enn 2,5 g. De aller fleste partiklene hadde masse under 1 g og areal mindre enn 10 cm². Bilde av typiske flyvebrannpartikler er vist i figur 4.24.



Figur 4.24 Typiske flyvebrannpartikler. Hentet fra [77].

I en annen studie er det rapportert om at takkonstruksjoner produserer større og tyngre flyvebrannpartikler enn innvendige hjørner og gjerder [78].

4.2.4 Produksjon av flyvebrann: Gjerder

Som en del av en større studie ble det bl.a. sett på flyvebrannproduksjon fra tregjerder. Det ble sett på to forskjellige gjerdetyper: «åpent» gjerde med kryssmønster/nettingform, og «lukket» gjerde med vertikale bord, se figur 4.25.



Figur 4.25 Forsøk med "lukket" gjerde med vertikale bord. Hentet fra [78].

Gjerdene ble eksponert for vindhastigheter på 5,36 m/s, 11,17 m/s (med kast opp 14,3 m/s) og 17,88 m/s (med kast opp mot 23,0 m/s). Det ble funnet at de åpne gjerdetypene (kryssform) produserte mindre og lettere flyvebrannpartikler enn det tette gjerdet [78].

Også andre tester på gjerder har vist at de kan være en produksjonskilde til flyvebrannpartikler [79] [80] [81], se figur 4.26 og 4.27.



**Firebrands
Generated
From
Ignited
Fencing**

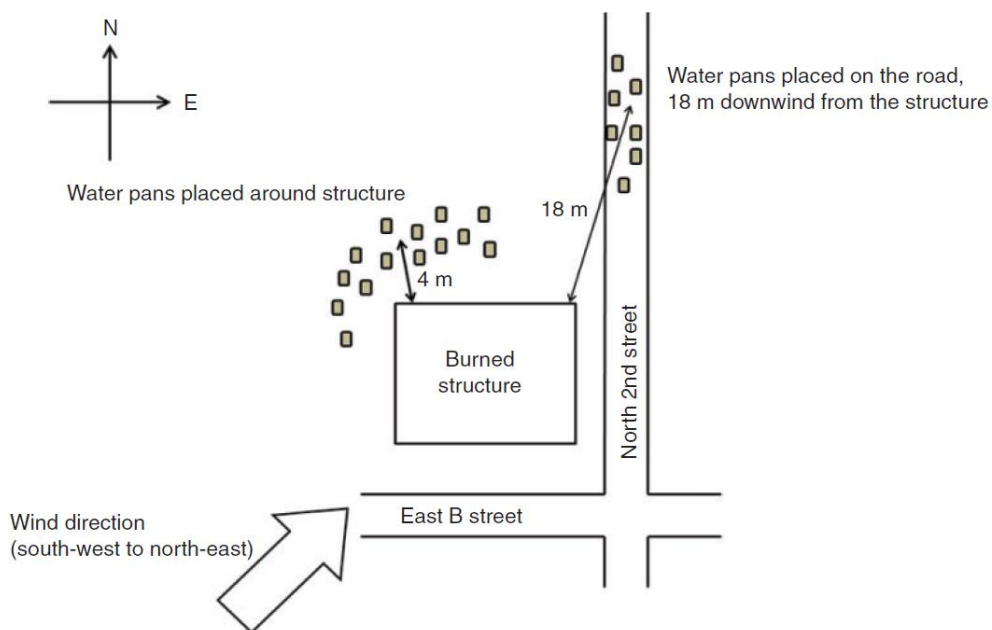
Figur 4.26 Flyvebrann fra brennende gjerde. Hentet fra [80].



Figur 4.27 Flyvebrann fra bremmende gjerde. Hentet fra [81].

4.2.5 Produksjon av flyvebrann: Virkelige branner

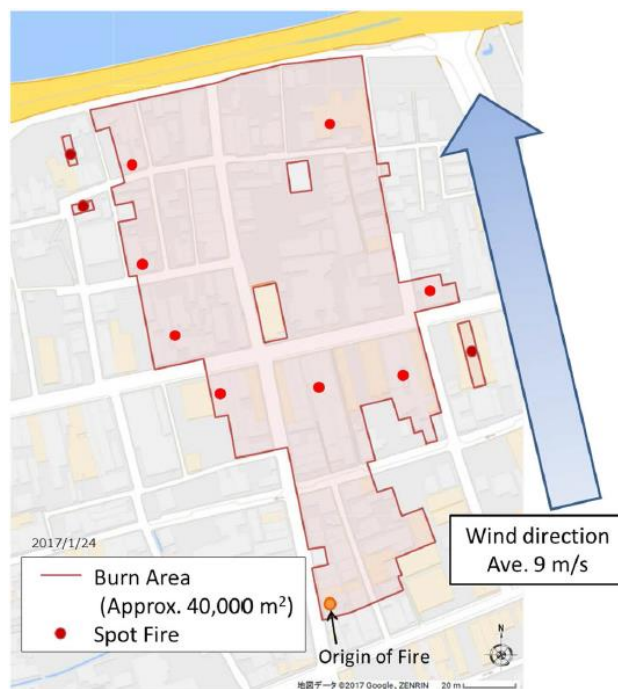
I forbindelse med en kontrollert nedbrenning av et hus, ble det samtidig utført undersøkelser av flyvebrannproduksjon. Det aktuelle huset bestod av to etasjer, og var bygd med både murstein og treverk. Under nedbrenningen var det vind med tilnærmet konstant hastighet på ca. 5,8 m/s. Flyvebrannpartikler ble samlet opp i vannkar i løpet av forsøket. Vannkarene var plassert i avstand 18 m nedstrøms for vindretningen, samt 4 m på siden av bygget (mht. vindretningen), se figur 4.28.



Figur 4.28 Plassering av vannkar ift. bygget og vindretningen. Hentet fra [82].

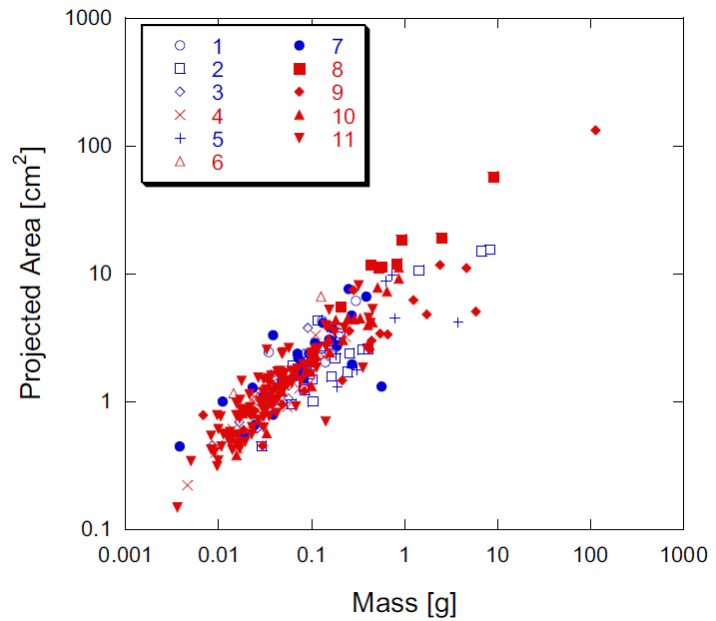
Alle partiklene som ble samlet inn i løpet av brannen, veide mindre enn 1,0 g. Av partiklene som ble samlet inn 18 m fra bygget, veide 85 % mindre enn 0,1 g, og 95 % hadde et areal mindre enn 10 cm². Av partiklene som ble samlet inn 4 m fra bygget, veide 68 % mindre enn 0,1 g, og 96 % hadde et areal mindre enn 10 cm². Partiklenes distribusjon mht. størrelse og vekt hadde et noe bredere spekter ved 4 m enn ved 18 m [82].

Etter en brann i Itoigawa, Japan, ble det gjort undersøkelser av flyvebrannpartikler. I løpet av brannen ble det observert flyvebrann, og det ble rapportert om ti punktbranner, se figur 4.29.



Figur 4.29 Oversikt over punktbranner i Itoigawa. Hentet fra [83].

Under brannen hadde det vært en gjennomsnittlig vindhastighet på ca. 9 m/s, men med vindkast opp mot 27 m/s. Bygningene som ble antent av flyvebrann var trebygninger med takteking av takstein. Etter brannen ble det samlet inn totalt 277 flyvebrannpartikler fra både hustak og fra bakken – se lokasjon og størrelse- og massefordeling i figur 4.30.



Figur 4.30 Funnsted av flyvebrannpartikler (venstre) sett i sammenheng med størrelses- og massefordeling (høyre). Hentet fra [83].

De fleste partiklene hadde et areal under 10 cm^2 og veide mindre enn 1 g . Den største partikkelen hadde et areal på ca. 130 cm^2 og veide 114 g . Se sammenligning av flyvebrannpartikler i figur 4.31.



Figur 4.31 «Normale» flyvebrannpartikler sammenlignet med den største flyvebrannpartikkelen funnet etter brannen i Itoigawa. Hentet fra [83].

For øvrig hadde mer enn 60 % av de innsamlede partiklene en masse på under $0,1 \text{ g}$ og et areal på ca. $2,0 \text{ cm}^2$ [83].

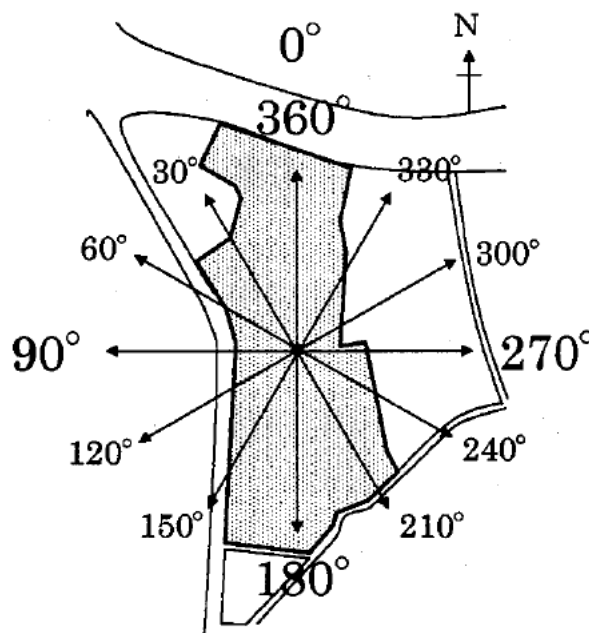
I forbindelse med en hotellbrann i Shirahama, Japan, ble flere lokale innbyggere intervjuet i etterkant. Den største andelen av de som ble intervjuet mente at de fleste partiklene, som de hadde observert, hadde en størrelse på ca. 5 cm eller mindre. Etter hvert som avstanden til brannen økte, ble rapportert størrelse av flyvebrannpartikler mindre. På avstand opp til 200 m

ble «større» partikler observert. På avstand inntil 300 m ble partikler i «alle» størrelser observert. Fra 500 m ble flyvebrannen beskrevet som «pulveraktig» [84].

4.2.6 Transport og spredning av flyvebrann fra bygningsbranner

Etter en hotellbrann i Shirahama, Japan, ble det gjennomført feltundersøkelser og intervjuer for å vurdere hvordan flyvebrannpartikler hadde spredt seg. Hotellet var etablert nær kystlinjen, og på den aktuelle dagen hadde vinden retning inn mot land. Vindhastigheten var omtrent 7 m/s, men kan ha blitt forsterket enkelte steder pga. lokal topografi og bebyggelse. Terrenget var skrående opp fra kystlinjen, med terrassert bebyggelse blant vegetasjon. Følgende ble funnet om spredning av flyvebrann [84]:

- Sone: Spredning foregikk hovedsakelig i vindretning, men innenfor 0-100 m fra hotellet var det spredning i nesten alle retninger. Vinkelen på distribusjonssonen ble mindre med økt avstand fra brannen. Sonen hadde en vinkel på ca. 85 grader fra losiden/vindsiden av hotellet – mellom 180° og 240° iht. figur 4.32 – og oppnådde en bredde på ca. 500 m

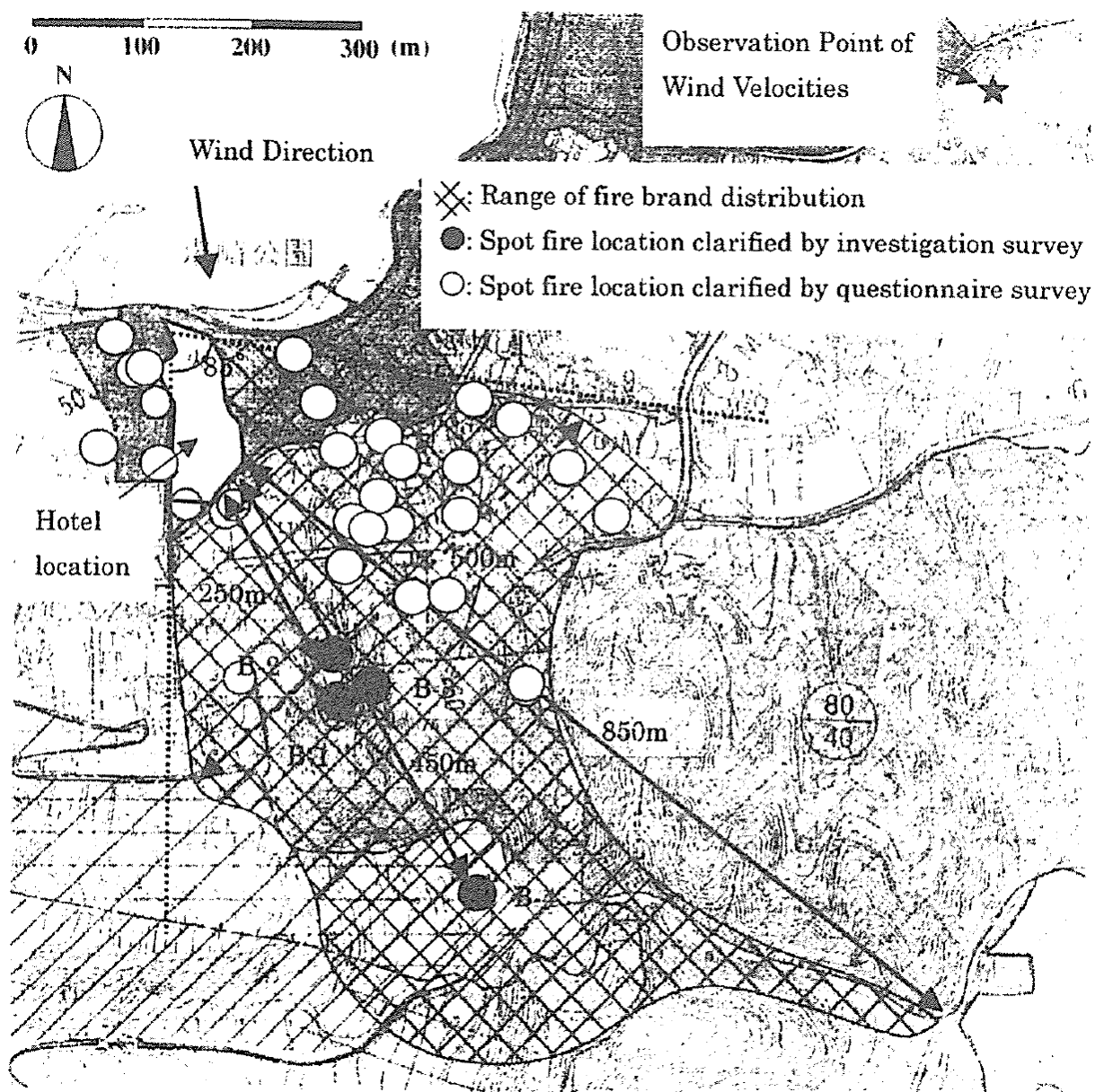


Figur 4.32 Inndeling av grader rundt brannbygget. Hentet fra [84].

- Høyde: Av de som ble intervjuet ble det anslått at partiklene nådde en høyde på ca. 15-20 m over brannen.

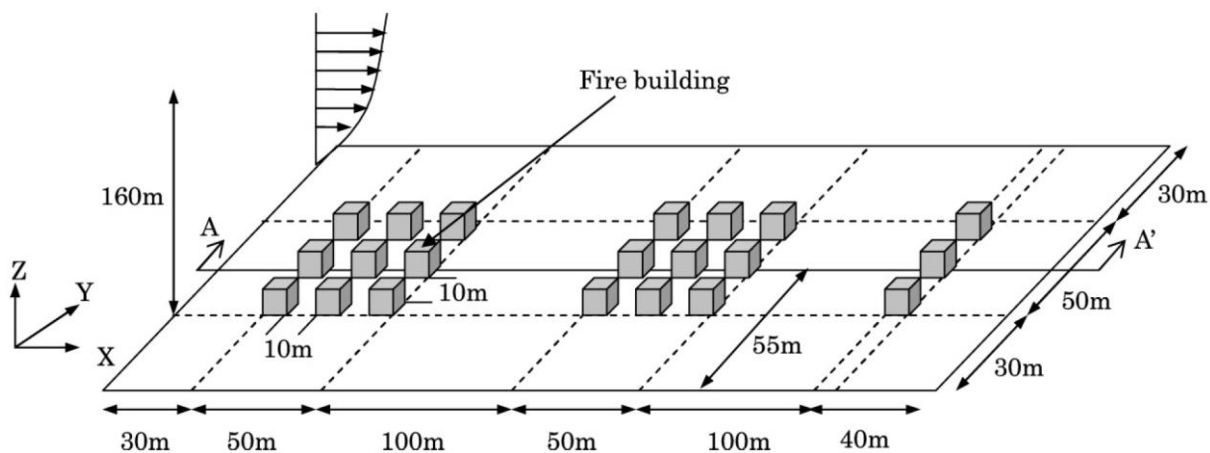
- Avstand: Angivelig skal det ha blitt observert flyvebrannpartikler i en avstand på opptil 850 m unna hotellet, i et område som lå 100 m høyere enn hotellet. Punktbrann i vegetasjon ble funnet 450 m unna hotellet.

Se for øvrig situasjonskart i figur 4.33.



Figur 4.33 Situasjonsskart, Shirahama. Hentet fra [84].

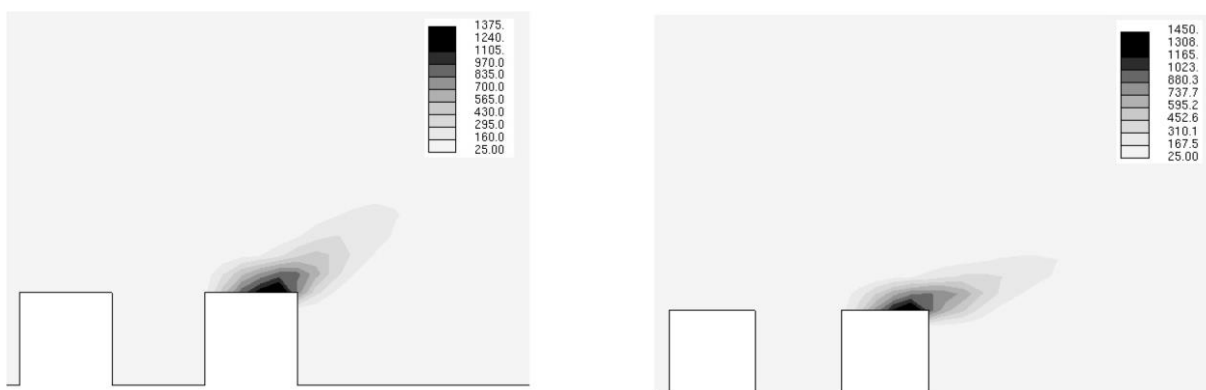
En studie av faktorer som påvirker spredning av flyvebrann fra bygningsbrann ble utført med simuleringer i en CFD-modell, se figur 4.34.



Figur 4.34 Simuleringsdomenet. Hentet fra [85].

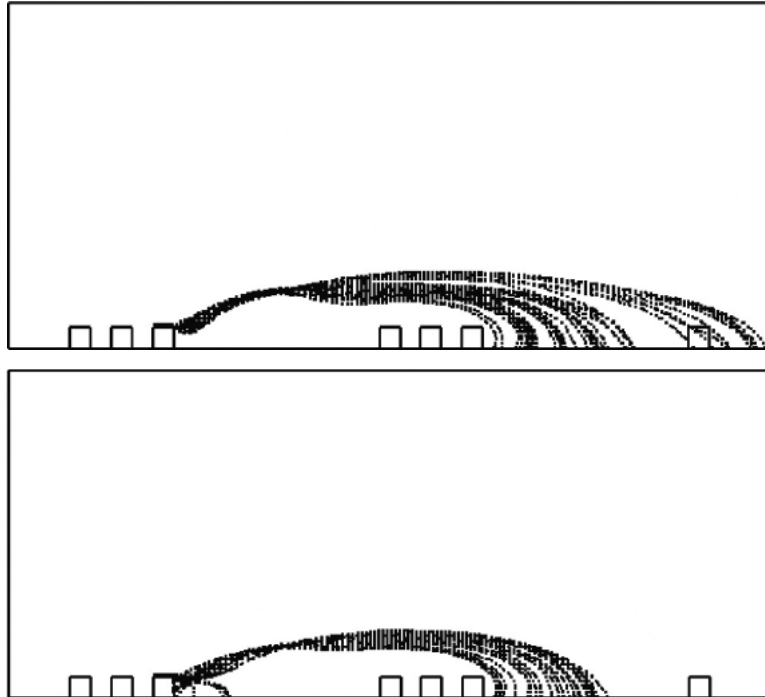
Studien indikerer bl.a. [85]:

- Spredning av flyvebrann er avhengig av hvor høyt partiklene føres opp i luften av den termiske søylen fra brannen, og hvor sterk vinden er, se figur 4.35.



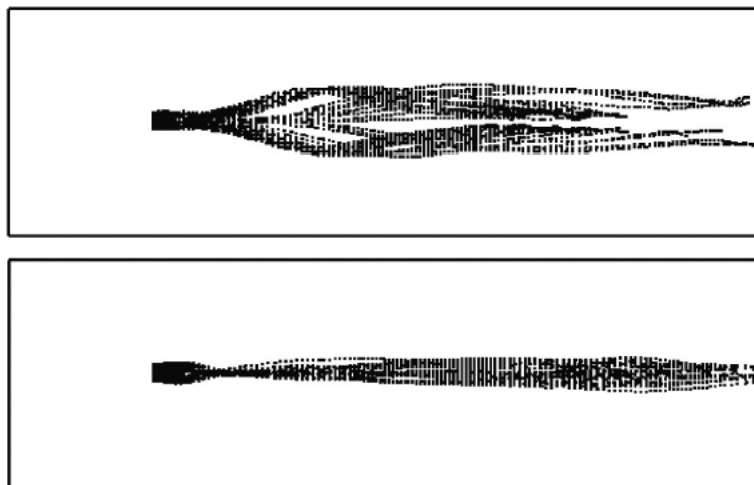
Figur 4.35 Vertikal temperaturfordeling ved vind 5 m/s (venstre) og 10 m/s (høyre). Hentet fra [85].

- Ved vindhastighet 5,0 m/s er den termiske søylen sterk og strekker seg 30 m opp. Når vindhastigheten er 10 m/s blir den termiske søylen undertrykt og skråstilt mot lesiden, noe som øker risiko for spredning til nabobygg.
- Lettere partikler gir lengre spredningsavstand, se figur 4.36.



Figur 4.36 Sammenligning av spredningsavstand ved vind 5 m/s, for partikler med tetthet 30 kg/m^3 (øverst) og 40 kg/m^3 (nederst). Hentet fra [85].

- Distribusjonssonen blir smalere/mer samlet ved økt vindhastighet, se figur 4.37.



Figur 4.37 Sammenligning av det distribusjonssone ved vind 5 m/s (øverst) og 10 m/s (nederst). Hentet fra [85].

- En stor andel flyvebrann blir fanget i turbulens på lesiden av brannbygget, og transportdistansen er derfor konsentrert rundt 0-10 m.
- Ved vindhastighet 5,0 m/s er transportdistansen (foruten 0-10 m) konsentrert i området 100-200 m.

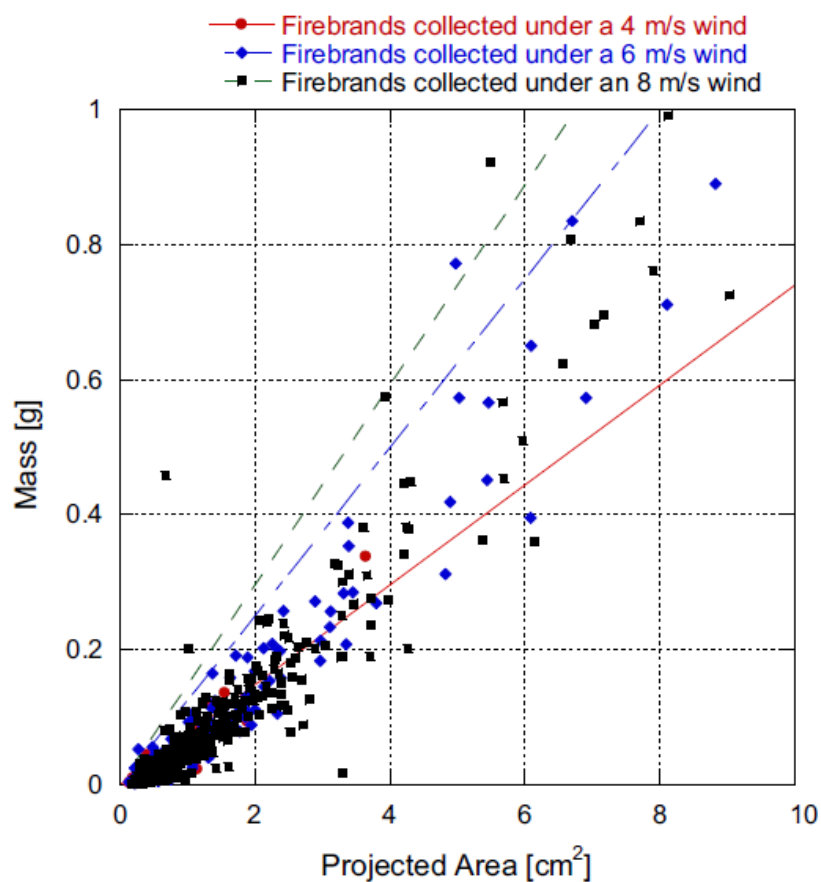
- Ved vindhastighet 10 m/s er transportdistansen (foruten 0-10 m) konsentrert i området 200-300 m.

Etter Lærdalsbrannen i januar 2014 ble det rapportert om brannspredning over en 190 m lang idrettsbane. Det ble også rapportert om branntilløp i en avstand på 240-400 m fra nærmeste branntomt. Det var sterk vind under brannen [12].

Andre forskningsresultater indikerer og understøtter at økt vindhastighet øker transportavstanden for flyvebrann [78].

4.2.7 Effekt av vind på flyvebrann

I en forsøksserie med nedskalerte innvendige hjørner bygd opp av trestendere og OSB-plater indikerte resultatene at økt vindhastighet kan medføre større areal og masse hos produserte flyvebrannpartikler, se figur 4.38. Det ble benyttet vindhastigheter på 4, 6 og 8 m/s [86].



Figur 4.38 Sammenligning av størrelses- og massefordelingen av flyvebrannpartikler ved ulike vindhastigheter, og trenden for disse. Hentet fra [86].

Som et ledd i en større studie av ulike bygningskomponenter, ble også effekten av vind vurdert. I studien ble det benyttet vindhastigheter på 5,36 m/s, 11,17 m/s (med kast opp 14,3 m/s) og 17,88 m/s (med kast opp mot 23,0 m/s). Resultatene indikerer at areal og masse hos produserte flyvebrannpartikler øker med vindhastigheten [78].

Det er også funnet at vind har stor effekt på varighet og forbrenning av flyvebrann. Resultater viser at glødende partikler kan ha en emissivitet i intervallet 0,91-1,0, og en overflatetemperatur mellom 300-1000 °C, avhengig av vind [78].

Under testing av plattinger ble det observert at høyere vindhastighet medførte lavere nødvendig masse flyvebrann for å få antennelse [32].

Transportavstand vil også øke med vindhastigheten, men samtidig kan forbrenningsraten øke. Dette kan føre til at partiklene brenner ut raskere [78].

4.2.8 Antennelse ved flyvebrann

En studie av flyvebrannpartiklers evne til å antenne vanlige bygningsmaterialer ble gjennomført ved å legge flyvebrannpartikler i en sprekk mellom kryssfinérplater/OSB-plater ved ulike vinkler (60°, 90° og 135°). Flyvebrannpartiklene som ble benyttet var sylinderformet med en diam på 10 mm og lengde på 76 mm. Vinkelen mellom platene ble variert for å se hvordan dette påvirket antennelse. Det ble også prøvd forskjellig antall partikler, 1 – 4 stk., med vindhastigheter på 1,3 og 2,4 m/s. I testene med vindhastighet på 1,3 m/s ble det ikke observert antennelse i noen av forsøkene, og man fant også ut at én flyvebrannpartikkel ikke var tilstrekkelig for å oppnå antennelse i forsøkene med vindhastighet 2,4 m/s. I en del av forsøkene med 2,4 m/s forekom det ulmebrann, men det var kun i forsøket med 60° og 4 stk. partikler at det ble oppnådd flammebrann. Forsøksresultatene er vist i figur 4.39 [87].

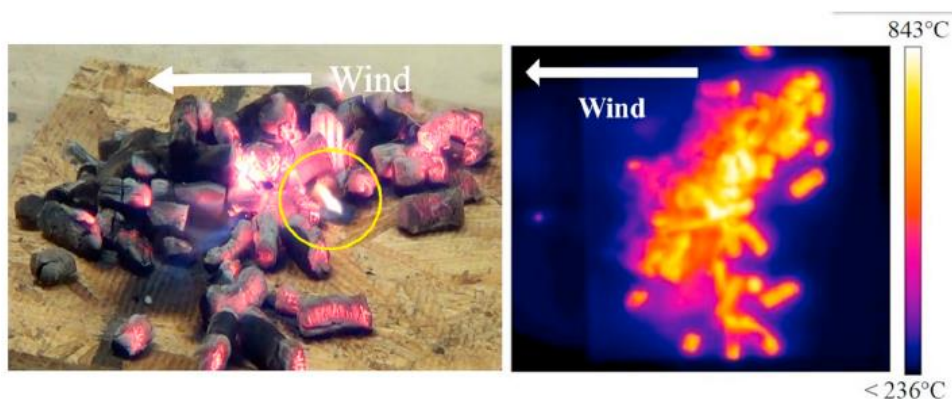
Air flow (m/s)	Number of firebrands	Fuel bed angle (°)	Fuel bed material	Ignition type
1.3	4	60	Ply wood	NI
2.4	4	60	Ply wood	SI to FI
2.4	4	60	OSB	SI or SI to FI
2.4	3	60	Ply wood	NI or SI
2.4	3	60	OSB	NI or SI
2.4	2	60	Ply wood	NI
2.4	2	60	OSB	NI
2.4	4	90	Ply wood	NI or SI
2.4	4	90	OSB	NI or SI
2.4	4	135	Ply wood	NI
2.4	4	135	OSB	NI

NI: No ignition; SI: smoldering ignition; FI: flaming ignition; SI to FI: transition from SI to FI.

Figur 4.39 Forsøksresultat. Hentet fra [87].

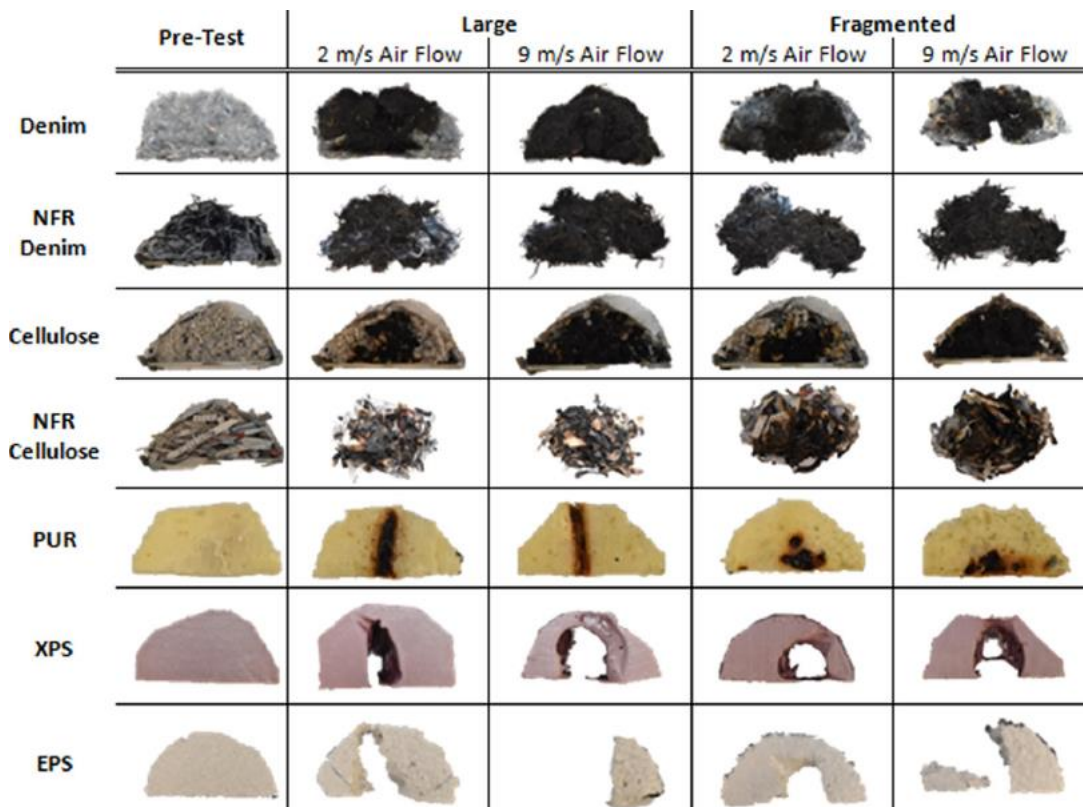
I en studie av flyvebrannpartiklers evne til å antenne strimlet trevirke (alternativ til bark i blomsterbed) ble det benyttet vindhastigheter på 6 og 8 m/s. Brenselet hadde et fuktinnhold på 0 – 83 %. Det ble registrert antennelse i alle forsøkene, men ved det høyeste fuktinnholdet og 6 m/s var ikke flammene vedvarende. Resultatene indikerer at akkumulering av flyvebrann er viktig for å oppnå antennelse. Antall glør, og massen av disse, som kreves for å få antennelse, reduseres ved lavere fuktinnhold og økt vindhastighet [88].

Ansamlinger av flyvebrannpartikler har en større total varmeavgivelse enn enkeltpartikler. I en studie av faktorer som påvirker varmeavgivelse fra slike ansamlinger ble det funnet at diam på gnister har liten betydning, men at den totale massen har noe innvirkning inntil en viss masse der det ikke lenger er økning i varmeavgivelsen. Vindhastighet har betydelig innvirkning på varmeavgivelsen, se figur 4.40 [89].



Figur 4.40 Vindens påvirkning på varmeavgivelse. Her ved vindhastighet 1,84 m/s. Hentet fra [89].

Under en testserie med eksponering av isolasjonsmaterialer for flyvebrann, ble det funnet at en samling av flere mindre flyvebrannpartikler produserte høyere temperaturer enn én større flyvebrannpartikkel samme totale masse. Det ble også funnet at temperaturen øker med vindhastigheten. Figur 4.41 viser de testede isolasjonsmaterialene før og etter antennelse, ved ulike vindhastigheter (2 og 9 m/s) og ulik konfigurasjon av flyvebrannpartikler (én stor (large) og samling av flere små (fragmented)) [90]. Se også kapittel 4.2.14.



Figur 4.41 Sammenligning av testede isolasjonsmaterialer ved ulike vindhastigheter og ulike flyvebrannkonfigurasjoner. Hentet fra [90].

I forbindelse med en studie av plattinger ble det pekt på at ansamling av flyvebrann i sprekker og mellomrom mellom planker var det som utgjorde risikoen for antennelse, da dette kan gi en intens varmekraft på treverket slik at det utvikler seg en bærekraftig ulmebrann, som videre kan utvikle seg til flammer. Man fant også ut at tettheten av treverket er av betydning, da man observerte høyere gjennomsnittstid til antennelse hos treverk med høyere tetthet [91].

I en begrenset eksperimentell studie er det vist at flyvebrann av en viss størrelse kan antenne brensel med inntil 40 % fuktighet, og at enkeltpartikler med diam ned til 3,17 mm kan antenne enkelte tørre materialer [92].

4.2.9 Flyvebrann og bygningsdeler: Vegger

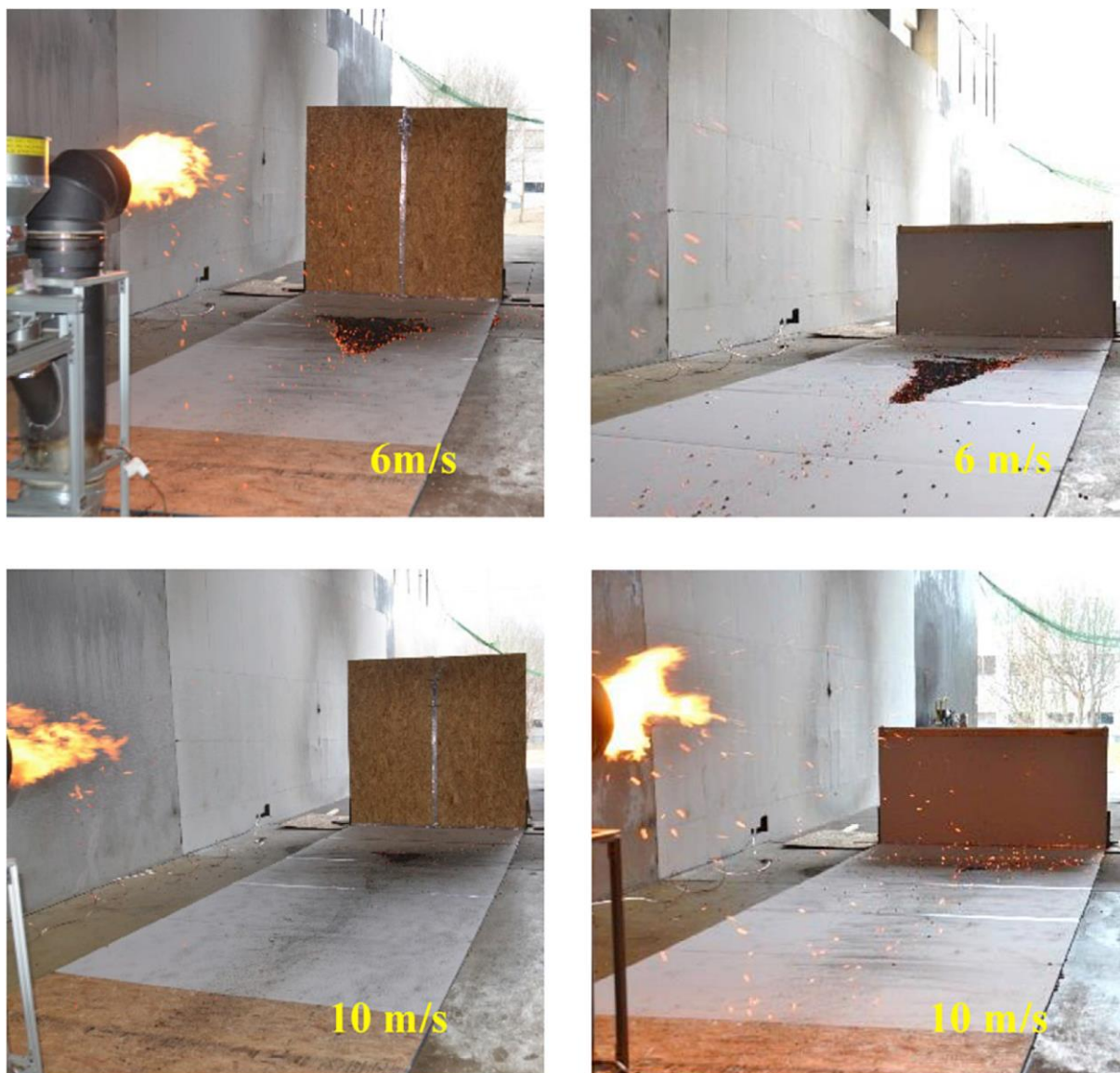
Ytterveggers sårbarhet for flyvebrann er vurdert i flere tilfeller. Tester indikerer at vegger har svakheter i grensesnitt mot tak, f.eks. ved takopplett, takark eller nedsenket valm. I disse områdene kan vegetativt rusk som f.eks. løv og barnåler samle seg, og ev. antennes i tilfellet flyvebrann [93], se figur 4.42.



Figur 4.42 Antennelse av vegetativt rusk i grensesnitt mellom tak og vegg på saltaksark, samt i blomsterbeddekkede ved grunnmur. Hentet fra [93].

I forbindelse med tester av ventiler på en veggflate ble det observert at flyvebrannpartikler akkumulerte foran veggkonstruksjonen ventilen var montert på [94].

Det er vist gjennom ytterligere forsøk at flyvebrann kan akkumulere foran vertikale hindringer, og at vindhastigheten er en viktig faktor for hvor, og hvordan, flyvebrannpartikler samler seg. I en forsøksserie ble «rette» veggpartier eksponert for vinddreven flyvebranneksponering ved hastighetene 2, 4, 6, 8 og 10 m/s. Den mest kompakte samlingen av flyvebrann ble funnet ved vindhastighet på 6 m/s, se figur 4.43 [95].



Figur 4.43 Sammenligning av akkumulert flyvebrann foran vertikale hindringer ved ulike vindhastigheter - 6 m/s (øverst) og 10 m/s (nederst). Hentet fra [95].

I forbindelse med testing av plattinger i innvendige hjørner så man at flyvebrann akkumulerte nærmere veggen i det innvendige hjørnet ved vind på 8 m/s enn ved 6 m/s. Testene viste at grensesnittet mellom plating og vegg kan være en akkumuleringszone for flyvebrann, og at antennelse av vegg og plating kan inntreffe, se figur 4.44 [32].



Figur 4.44 Flyvebrann i grensesnittet mellom vegg og plating. Hentet fra [32].

I en serie med tester der gjerder ble montert inntil veggkonstruksjoner, så man at veggen antente i tilfeller der gjerdet brant, se figur 4.45 [81].



Figur 4.45 Brannsmitte til vegg fra brennende gjerde montert til veggen. Hentet fra [81].

Det er også vist at yttervegger kan være sårbare for indirekte antennelse av flyvebrann via inntilliggende blomsterbed, se figur 4.46.



Figur 4.46 Blomsterbed/Barkbed i innvendig hjørne, antent av flyvebrann. Hentet fra [96].

En vertikal ubrennbar sone mellom bed og brennbar fasade kan fungere som et passivt brannsikkerhetstiltak dersom avstanden er stor nok [96].

4.2.10 Flyvebrann og bygningsdeler: Vinduer

Ved brannforsøk med flyvebrann og vinduer ble det foretatt vurderinger av bl.a. vertikale og horisontale sprosser, se figur 4.47.



Figur 4.47 Veggsegment med vindu eksponert for flyvebrann. Hentet fra [97].

Under forsøkene ble det observert akkumulering av flyvebrann i rammeverket i begge tilfeller, men det oppstod ikke tilstrekkelig skade til at vinduet ble ødelagt [97].

4.2.11 Flyvebrann og bygningsdeler: Tak

Takkonstruksjoner kan være utsatt for ansamling av vegetativt rusk i f.eks. vinkler på vinkeltak, i sprekker i taktekingen, eller i takrenner, som potensielt kan antennes dersom det blir eksponert for flyvebrann. Disse områdene på taket kan også være gjenstand for ansamlinger av flyvebrannpartikler.

I tester med vinyltakrenner og metalltakrenner ble det vist at takrenner fri for rusk ikke tok fyr, og holdt seg på plass gjennom testforløpet. I tester der takrennene ble fylt med barnåler, ble disse antent av flyvebrann, og det var to ulike utfall avhengig av hvilket materiale takrennen bestod av. Vinyltakrenner løsnet og falt til bakken, noe som potensielt kan bidra til antennelse av underliggende konstruksjoner eller vegetasjon. Metalltakrennene holdt seg på plass, men dette eksponerte takkonstruksjonen for flammer [93].

Det er også utført eksperimenter på ulike typer takteking. I en serie av tester ble det sett på sårbarhet hos profilerte keramiske flis (takstein) for flyvebrann, se figur 4.48.



Figur 4.48 Taksegment eksponert for flyvebrann. Hentet fra [98].

Taktekkingen ble i disse forsøkene montert på et underlag av OSB-plater med og uten tjærepapp, og i noen av testene ble det montert fuglestopp. Det ble også utført tester der man plasserte vegetativt rusk under taksteinene, og for å simulere slitasje ble det i noen av testene laget sprekker mellom taksteinene. De ulike konfigurasjonene ble deretter eksponert for flyvebrann ved vindhastigheter på 7 og 9 m/s. Den eneste testen hvor det ikke ble observert antennelse var i testen der det var montert tjærepapp og fuglestopp, og uten vegetativt rusk eller slitasje. I alle andre tester forekom det en eller annen form for antennelse, enten ved ulming eller flammebrann [98].

Senere er det utført eksperimenter på flere typer takstein, både flate og profilerte, i ulike materialer – betong og terrakotta – se figur 4.49.



Figur 4.49 Taksegment med profilerte betongtakstein (øverst venstre), flate betongtakstein (øverst høyre), profilerte terrakottatakstein (nederst venstre) og flate terrakottatakstein (nederst høyre). Hentet fra [99].

Takkonstruksjonen ble montert på lekter på OSB-plater kledd med en spesiell type vindsperre, og satt opp med vinkel 25°. Det ble også montert en takrenne. Deretter ble konstruksjonen eksponert for flyvebrann ved vindhastighet på 9 m/s i 6 minutter. Hos flate og profilerte betongtakstein, og profilerte terrakottatakstein, observerte man at flyvebrannpartikler samlet seg i sprekker og trengte igjennom sprekkene ved å brenne seg små nok. Flyvebrannpartiklene som trengte igjennom ramlet da ned på den spesielle vindsperren, som smeltet. Hos flate terrakottataksteiner observerte man en større motstandsevne mot flyvebrann, fordi disse taksteinene hadde et låsesystem lignende not og fjær, som gjorde at ev. flyvebrannpartikler ble forhindret fra å trengte igjennom ved at de ble fanget i låsesystemet [99].

Det er gjennomført ytterligere eksperimenter på takteking av betong (profilerte og flate) og terrakotta (flate) med vinkel 25°. I disse forsøkene ble det benyttet vindhastighet på 6 og 9 m/s i 20 minutter. I alle eksperimentene ble det observert at flyvebrann samlet seg i sprekker og brant seg små nok til å trenge igjennom, se figur 4.50.



Figur 4.50 Akkumulering av flyvebrann i sprekker på profilerte betongtakstein. Hentet fra [100].

Den alvorligste gjennomtrengingen ble observert midt på takfeltet – ikke i forkant/nederst på takkonstruksjonen. Tykkelsen av flyvebrannpartiklene som trengte igjennom var i størrelsesorden 1 mm. I dette forsøket, i motsetning til tidligere, var det de flate terrakottaflisene som hadde den mest betydelige gjennomtrengningen av flyvebrann. De profilerte betongtaksteinene ble observert å være mest sensitiv mht. vindhastighet – det ble observert færre gjennomtrengende flyvebrannpartikler ved høyere vindhastighet [100].

4.2.12 Flyvebrann og bygningsdeler: Ventilert

Ventiler kan fungere som en åpning for flyvebrann inn til et bygg. Metallnettinger med ulike maskestørrelser er blitt testet ved eksponering for flyvebrann for å vurdere penetrasjonsevnen til flyvebrann gjennom slike. Det ble observert at i tilfeller der flyvebrannpartiklene var for store til å trenge igjennom nettingen, så ble partiklene sittende fast på nettingen pga. vinden, til de brant seg små nok til å trenge igjennom. Den minste gitterstørrelsen som ble testet var 1,04 mm [94].

I tester av flere typer ventiler, både gavlventiler og takfotventiler, ble det funnet at ventiler som var montert vinkelrett på vindretningen var sårbar for inntrengning av flyvebrann [93].

Senere tester understøtter resultatet om at ventiler vinkelrett på vindretningen er utsatt for flyvebranninntrenging. I en større studie av ventiler, og deres sårbarhet for flyvebrann, ble det sett på faktorer som type, plassering og vindhastighet. Det ble gjort tester av takventiler, takfotventiler og gavlventiler. Det ble benyttet tre ulike vindhastighetsintervaller – lav (7-9 m/s), middels (11-14 m/s) og høy (20-27 m/s). Ventilene som ble testet var [101]:

- Tilluftsventiler: Det ble testet to ulike tilluftsventiler i takfot/raft – en horisontalt montert ventil i takfot/raftekasse, og en åpen ventil i vegg under takutstikk – se figur 4.51.



Figur 4.51 Tilluftsventiler: Åpen ventil i vegg (venstre) og takfotventil (høyre). Hentet fra [101], © IBHS

- Utluftingsventiler: Gavlventiler og takventiler (både på selve takflaten og på mønet).

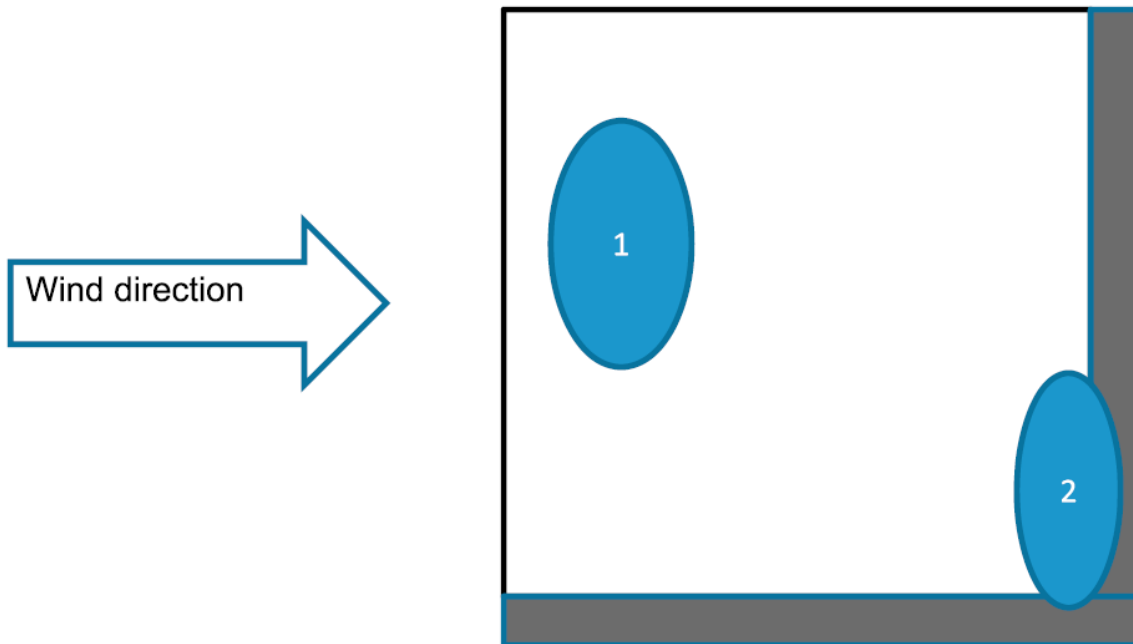
Ventiler vinkelrett på vinden/med vertikal flate mot vindretningen, var mest utsatt for flyvebrann. Ventiler horisontalt i takfot ga den beste tilluftsløsningen, med begrenset flyvebranninntrenging. Noen av ventilene som ble testet hadde en form for godkjent brannmotstand [101].

4.2.13 Flyvebrann og bygningsdeler: Plattinger

Treplattinger inntil bygg kan være en sårbar konstruksjon mht. flyvebrann. I en forsøksserie ble plattinger montert i innvendige hjørner, og eksponert for flyvebrann ved vindhastighet på 6 m/s. Terrassebordene i plattingen ble montert med 5 mm avstand fra hverandre. I testene ble det benyttet tre ulike tresorter med forskjellig tetthet, men med tilnærmet samme fuktinnhold. Plattingene ble antent i alle forsøkene, og man så indikasjoner på at tettheten av treverket påvirket antennelsestiden – høyere tetthet ga lengre gjennomsnittlig tid til flammer. I rapporten ble det konkludert med at det var akkumuleringen av flyvebrann som utgjorde en

risiko for antennelse, spesielt der hvor flyvebrann samlet seg i sprekker og mellomrom mellom plankene [91].

I ytterligere tester av terrassebord, utført med vindhastighet på 8 m/s for sammenligning mot tidligere tester ved 6 m/s, ble det i tillegg sett på muligheten for antennelse av tilliggende fasade/yttervegg. Det ble observert at flyvebrannpartiklene samlet seg nærmere veggen/hjørne ved 8 m/s enn ved 6 m/s, se figur 4.49.



Figur 4.52 Akkumulering av flyvebrann i innvendig hjørne ved vindhastighet 6 m/s (1) og 8 m/s (2). Hentet fra [32].

I de fleste testene forekom antennelse i hjørnet. Det ble observert at flyvebrann som samlet seg i sprekker forårsaket antennelse. Det ble også observert at nødvendig masse av flyvebrann for å få antennelse var lavere ved 8 m/s enn ved 6 m/s [32].

Som et mulig forebyggende tiltak mot antennelse av plattinger ble det sett på om avstanden mellom terrassebordene er av betydning. Plattinger ble etablert i innvendige hjørner, med terrassebord med avstand 0, 5 og 10 mm. Det ble benyttet en vindhastighet 8 m/s. I testene med 0 mm ble kun observert ulmebrann. I testene med 5 og 10 mm oppstod det flammebrann, men man så at 10 mm var mest sårbart [102].

Andre tester viser at flyvebrann har potensiale til å antenne vegetativt rusk, og ev. annet brennbart materiale, som befinner seg på eller under plattinger [93].

4.2.14 Flyvebrann og bygningsdeler: Isolasjonsmaterialer

I en serie av tester med syv ulike typer isolasjonsmaterialer – PUR, XPS, EPS, tekstilfibre (denim, ubehandlet/flammehemmende) og cellulosefibre (ubehandlet/flammehemmende) – ble det sett på sårbarhet for antennelse ved flyvebrann. Materialene ble forsøkt antent med ulike flyvebrannkonfigurasjoner (én enkelt partikkel eller fem mindre partikler, med totalt samme masse), ved forskjellige vindhastigheter (2 og 9 m/s) [90]:

- Syntetiske polymerer (XPS og EPS): Antennelse med flyvebrann er vanskelig, fordi glørne smelter seg inn i materialet og slukker.
- Hos PUR, XPS og EPS oppstod det kun små flammer ved høyeste vindhastighet, men dette vedvarte ikke.
- Tekstilfibre: Antennelse i samtlige forsøk
- Cellulosefibre: Antennelse i samtlige forsøk, men for den flammehemmende versjonen var det ikke vedvarende flammer ved laveste vindhastighet.

Se også kapittel 4.2.8 og figur 4.41.

4.2.15 Flyvebrann og utomhusareal: Gjerder

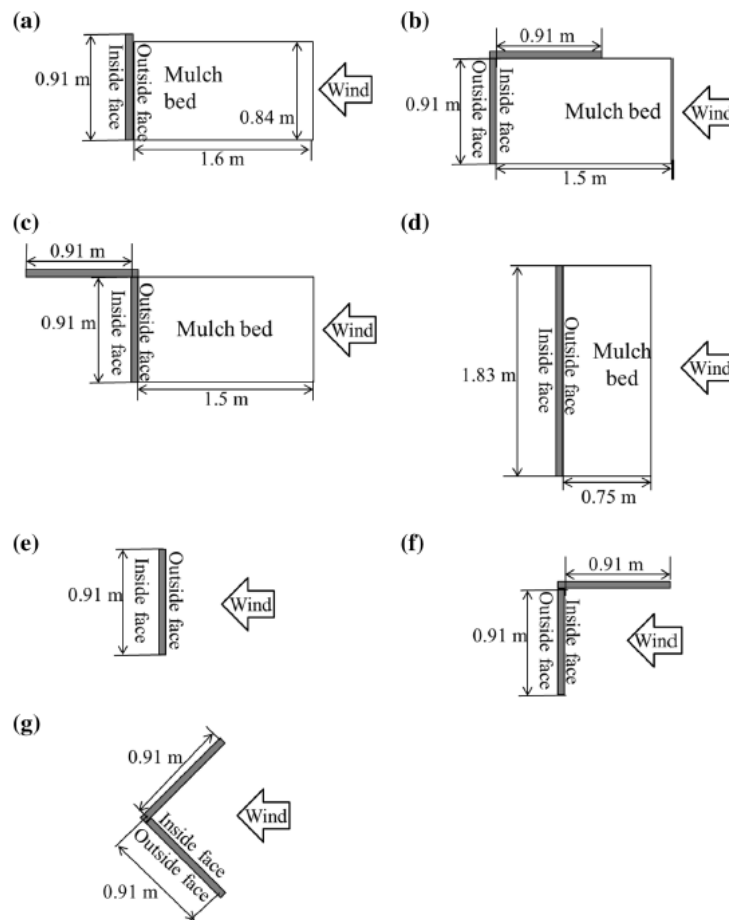
Etter Lærdalsbrannen så man at gjerder hadde vært utsatt for flyvebrannangrep. Gjerdene hadde ikke brent ned, men det var store hull i treplankene. Disse hullene stammet trolig fra flyvebrannpartikler som hadde blitt «festet» til plankene i den sterke vinden, og deretter brent seg igjennom [12].

Under kontrollert utendørs testing ble gjerder antent og utsatt for forskjellige vindhastigheter (9, 13,5 og 18 m/s) i forskjellige vinkler (0°, 45° og 90°). Gjerdene var montert på et bed dekket med tørkede trestrimler. I testene observerte man at den raskeste brannspredningen i gjerdet forekom når gjerdet var orientert parallelt med vindretningen, men samtidig så man at brannspredningen i gjerdet var avhengig av trevirket i bedet som gjerdet var montert på, se figur 4.53 [79].



Figur 4.53 Brannspredning i barkbed og gjerdesegment. Hentet fra [79].

I en annen forsøksserie ble ulike gjerdekonfigurasjoner eksponert for flyvebrann ved vindhastighet på 8 m/s. Gjerdekonfigurasjonene bestod av enten rette eller vinklede gjerdepartier, med ulik orientering mht. vindretningen, se figur 5.54.



Figur 4.54 Gjerdekonfigurasjoner med ulik orientering mht. vindretning. Hentet fra [80].

I noen av forsøkene ble gjerdene plassert på et bed av tørkede trestrimler – i disse forsøkene så man at flyvebrannen antente bedet først, som videre førte til antennelse av gjerdet. I testene der det ikke ble benyttet trestrimler på bakken, så man at flyvebrann samlet seg i sprekker mellom planker/spiler og stolper/lekter, noe som førte videre til antennelse av gjerdet, se figur 4.55 [80].



Figur 4.55 Antennelse i sprekker i gjerdet. Hentet fra [80].

Det er blitt vist flere ganger at gjerdet er sårbare for antennelse dersom de er plassert i bed med brennbare materialer [81].

4.2.16 Flyvebrann og utomhusareal: Hager og blomsterbed

Etter Lærdalsbrannen ble det rapportert om at det hadde brent godt i høyt gress [12].

Rapporter fra ulike branner peker på at bygninger ble antent indirekte av flyvebrann gjennom antennelse av brennbare materialer, f.eks. barnåler og løv, i nærheten av bygget [103] [104] [105].

Det er gjennom flere tester vist at blomsterbed med en eller annen form for bark, eller lignende, er sårbar for flyvebrann [93].

For å vurdere brennbarheten hos ulike blomsterbeddekker (bark o.l.) ble det gjennomført brannforsøk ved eksponering for flyvebrann med åtte ulike konfigurasjoner/typer. De ulike typene brensel var bl.a. bark, barnåler, resirkulert gummi, ubehandlet treflis, brannbehandlet

treflis og kompostert treflis. Alle brenselstypene, med unntak av kompostert treflis, oppnådde flammebrann. I kompostert treflis foregikk forbrenningen i hovedsak i form av ulmebrann, og derfor hadde dette brenselet også den laveste spredningsraten. Gummibrenselet hadde størst flammehøyde og høyest temperatur, se figur 4.56 [106].



Figur 4.56 Brann i gummidekke. Hentet fra [106].

I en senere studie er det utført eksperimenter for å se på muligheten for antennelse av vegger i innvendige hjørner som følge av antennelse i blomsterbeddekker. I forsøkene ble det benyttet tre ulike typer brensel i blomsterbedene, og tre ulike veggkonfigurasjoner. Disse var bygget opp med OSB-plater. I det ene forsøket ble veggen ført helt ned i bedet, og i det andre og tredje forsøket ble platene skilt fra bedet med vertikal avstand på henholdsvis 102 og 203 mm ved hjelp av gipsplater. I det andre og tredje forsøket ble i tillegg OSB-platene kledd med fuktsperre og vinylplatekledning. Konstruksjonen ble deretter eksponert for flyvebrann ved vindhastigheter på 6 og 8 m/s. Resultatet fra eksperimentene var at samtlige veggkonfigurasjoner ble antent, bortsett fra hos ett av brenslene der avstanden til veggen var 203 mm og vindhastigheten 6 m/s [96].

4.3 Andre relevante emner

I dette kapittelet presenteres relevant litteratur mht. urban brannspredning/utvendig brannspredning mellom byggverk, men som faller utenfor kategoriene varmestråling og flyvebrann.

4.3.1 Vegetasjon

Den 18. mai 2008 kunne flere medier melde om en stor brann i en gammel taufabrikk på Helsefyr i Oslo. Brannen spredte seg til balkonger på flere boligblokker i nærheten, via mellomliggende vegetasjon [107] [108] [109]. Brannvesenet uttalte i ettertid at avstanden mellom det brennende bygget og de berørte leilighetene var mye mer 8 m, men at det oppstod flyvebranner som kan ha vært årsaken til brannspredning [110].

I en simuleringsmodell for brannspredning i byer bestående av ubrennbare konstruksjoner, så man at brannspredningen fulgte vegetasjonsmønstret. Man så også at brannspredning mellom bygninger i 60 % av tilfellene kunne tilskrives vegetasjon [111].

4.3.2 Kjøretøy

For å se nærmere på innvirkningen en parkert bil kan ha på brannspredningen mellom to bygninger, ble det gjennomført et fullskala brannforsøk med en bil. Dataene fra forsøket skulle gi underlag for beregninger av brannspredningstid. Når datagrunnlaget var på plass, ble det utført beregninger av brannspredningstid for ulike avstander, både fra fasade til fasade og fra fasade til bil. Resultatet fra beregningene viste at det i mange tilfeller var liten forskjell i brannspredningstid mellom bygg med og uten parkert bil mellom, der avstanden mellom byggene var inntil 4,0 m. Forskjellen i brannspredningstid så man der avstanden mellom byggene var 6,0 m: Der det ikke var bil mellom byggene fikk man ikke brannspredning, men i tilfeller der bilen stod parkert nært det eksponerte bygget, så ble det brannspredning [112].

4.3.3 Vær og vind

I rapporten fra Lærdalsbrannen blir sterk vind og tørt klima utpekt som medvirkende faktorer til rask brannspredning [12]. Vind ble også vist å være en medvirkende faktor i forbindelse med stråling i «St.Lawrence»-prosjektet (se kapittel 4.1.5). I tillegg har vind vist seg gjennom flere forsøk og hendelser å være en viktig faktor for produksjon av flyvebrann fra ulike bygningsdeler, transportavstand for flyvebrannpartikler, samt forutsetninger for antennelse av materialer ved flyvebrann (se kapittel 4.2),

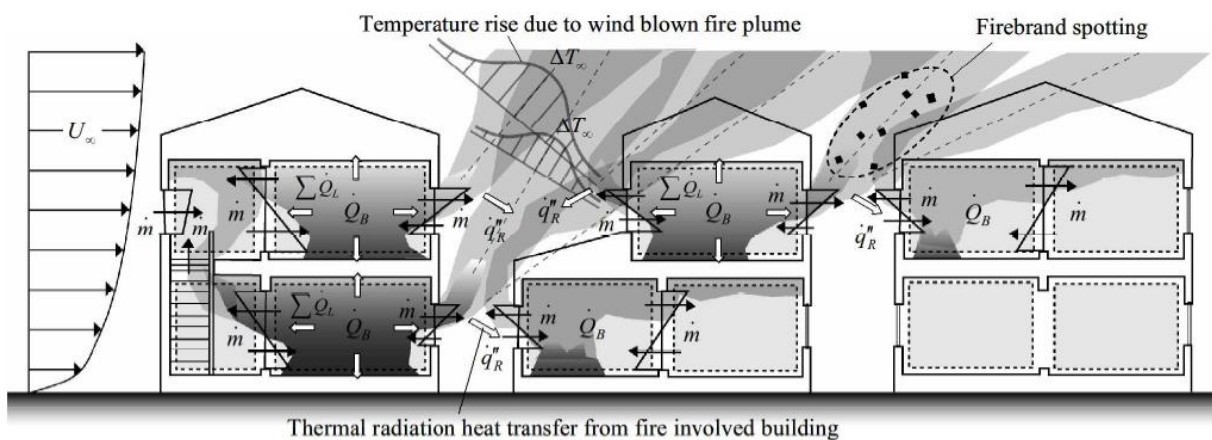
4.3.4 Simuleringsmodeller

I forbindelse med en mindre simuleringsstudie ble det sett på faktorer som åpninger og konstruksjonsmaterialer mht. urban brannspredning. Studien tok for seg to ulike urbane områder, som hadde en sammenlignbar andel bygninger med ubeskyttet tre, brannbeskyttet tre og ubrennbare materialer. Forskjellen mellom de to urbane områdene var hvordan de ulike konstruksjonstypene var distribuert. En av konklusjonene i rapporten var at fordelingen av bygg med ulike konstruksjonsmaterialer hadde betydning for brannspredningen, spesielt mht. bygg med ubeskyttet treverk. Trebygninger vil bidra til brannspredning når de er gruppert sammen, og det er derfor fornuftig at bygg med ulike konstruksjonsmaterialer fordeles i bybildet [113].

Det er utviklet flere simuleringsmodeller for brannspredning i urbane miljøet, og disse kan bidra til å vurdere den overordnede brannfaren i en by og kartlegge ev. svake punkter mht. brannsikkerhet. Faktorer som påvirker brannsikkerheten i en by, og som kan studeres ved hjelp av simuleringsprogrammer, er f.eks. [114]:

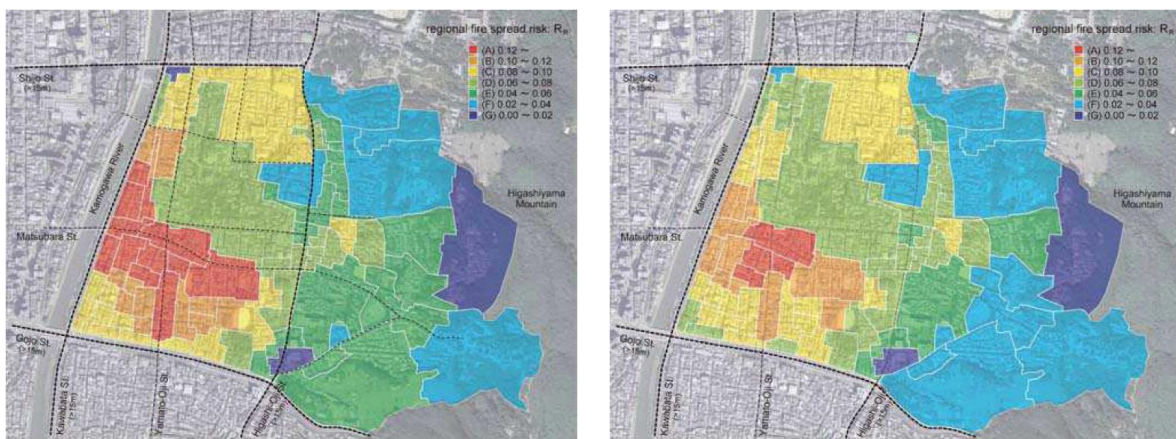
- vegger og tak sin evne til å beskytte mot brann.
- avstand mellom byggverk.
- plassering og størrelse av vinduer og dører.
- påvirkningen av hindringer som gjerder, hekker, trær, etc.

Det er også blitt utviklet modeller for urban brannspredning, som i større grad tar høyde for brann inne i bygg. Utvendig brannspredning blir da ofte basert på stråling, konveksjon og flyvebrann, mens innvendig brannspredning blir basert på sonemodeller, se figur 4.57.



Figur 4.57 Skjematisk framstilling av brannspredningsmodell i urbant miljø. Hentet fra [25].

Slike modeller kan benyttes til å evaluere brannspredningsrisiko i tettbygde urbane områder, og se på effekten av ulike brannsikkerhetstiltak [115] [116] [117] [25]. I forbindelse med en studie ved hjelp av en slik modell, ble effekten av å oppgradere fasaden av halvparten av alle trebygninger vurdert. For disse byggene ble gjennombrenningstiden i yttervegger økt fra 20 til 40 minutter. Man så da at tiltaket reduserte brannspredningstiden, men at brannspredning i seg selv ikke ble forhindret – brannvesenets innsats ble ikke vurdert i modellen/simuleringen. Figur 4.58 viser en estimert brannspredningsrisiko i modellen før og etter tiltakene [25].



Figur 4.58 Estimert brannspredningsrisiko før (venstre) og etter (høyre) brannverntiltak. Hentet fra [25].

Det er også utviklet modeller som ser på brannvesenets innsats, i tillegg til brannspredning. I en studie der man tok for seg brannspredning i etterkant av et jordskjelv, der det har oppstått flere brannkilder, ble det bl.a. sett på faktorer som manglende sløkkevann og blokkerte atkomstveier i tillegg til brannspredning. Studien konkluderte med at det er mange variabler som spiller inn ved urban brannspredning, og at konflagrasjon kan oppstå under visse forhold med flere brannkilder og sterk vind [118].

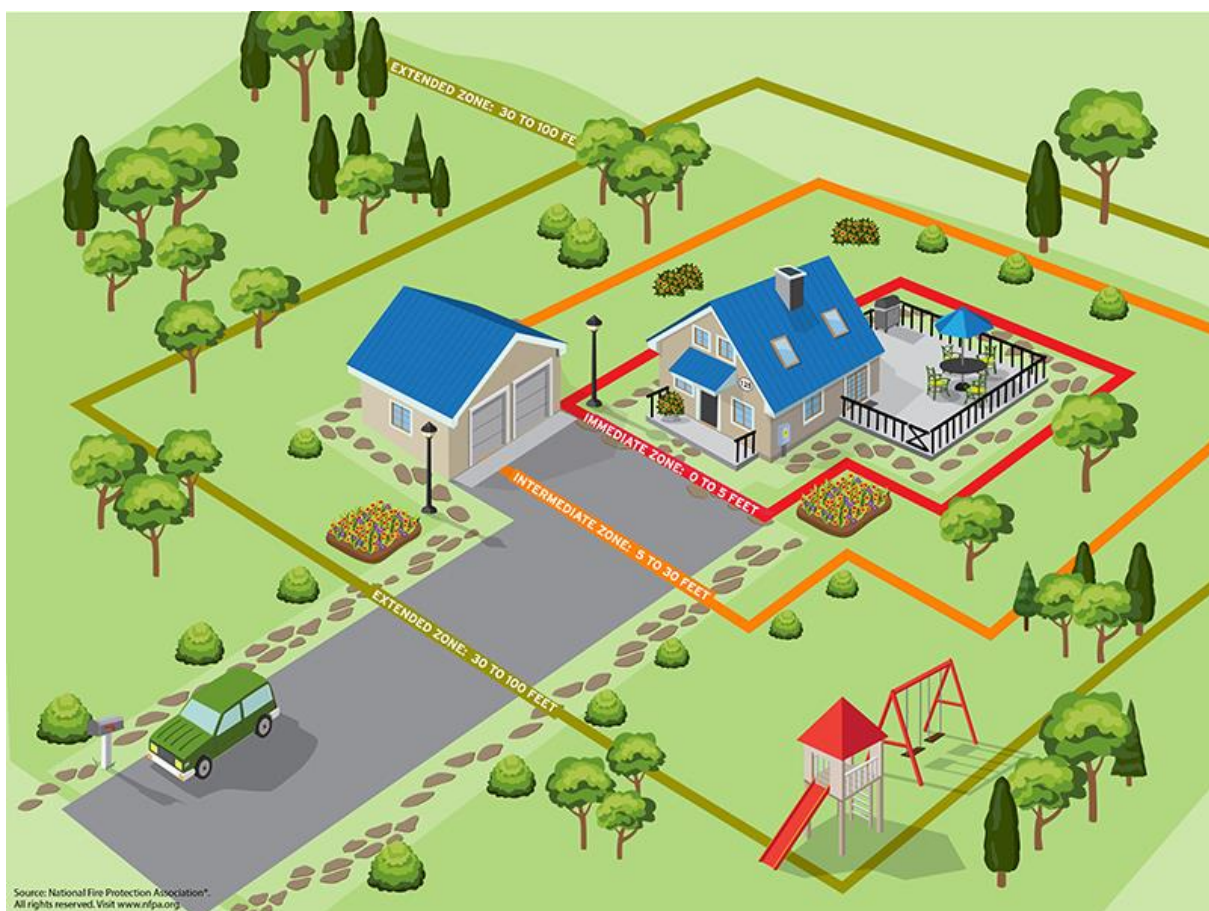
Simuleringsmodeller har også vist at urbane branner kan følge vegetasjonsmønster i byer [111].

4.3.5 Sikkerhetstiltak

Det har etter hvert begynt å komme mange veiledere, bl.a. i USA, for hvordan man kan beskytte hus og eiendom mot antennelse fra flyvebrann(/skogbrann). Formålet med disse veilederne er i stor grad å forebygge mot brannsmitte fra en eventuell skogbrann og til et hus, men kan også være nyttige for å forebygge mot brannsmitte mellom byggverk eller fra byggverk til skog.

NFPA har en internetbasert veileder som beskriver metoder for hvordan huseiere kan forberede seg mot et ev. flyvebrannangrep. Dette skal bl.a. gjøres ved å etablere en sikker sone rundt huset sitt i en avstand opp til 60 m fra huset. Denne sonen benevnes som «forsvarssonen» eller «antennelsessonen» («Defensible space» eller «Home Ignition Zone» (HIZ) på engelsk). Forsvarssonen deles videre inn i tre undersoner – se figur 4.59 – hvor det er ulike retningslinjer for hvordan man skal forebygge mot brannsmitte [119]:

1. Sone 1: Umiddelbar sone, 0-1,5 m (0-5 fot)
2. Sone 2: Mellomsone, 1,5-9 m (5-30 fot)
3. Sone 3; Utvidet sone, 9-30/60 m (30-100/200 fot)



Figur 4.59 Home ignition zone. Hentet fra NFPA [119], © NFPA 2020

I de forskjellige undersonene er det ulike tiltak for hvordan forebygge mot brannsmitte [119]:

-
- Sone 1: Denne sonen omhandler selve huset/bygget og det som er i umiddelbar nærhet. Formålet i denne sonen er å beskytte huset mot brannsmitte. Forebyggende tiltak i denne sonen kan bl.a. være:
 - Rydding av vegetativt rusk, som barnåler og løv, fra tak og takrenner.
 - Opprettholde integriteten av takkonstruksjoner ved å erstatte/repasere slitt/ødelagt takteking.
 - Bytte ut netting i ventiler med netting av mindre maskestørrelse.
 - Montere netting mot hulrom under plattinger o.l. for å hindre at rusk samler seg, og fjern ev. brannbare materialer som er lagret der.
 - Flytt brennbare objekter og materialer bort fra yttervegg.
 - Sone 2: Denne sonen gjelder det nærmeste utomhusområdet rundt huset. Hensikten er å bryte opp potensielle brannspredningsveier. Forebyggende tiltak i denne sonen kan bl.a. være:
 - Etablering av ubrennbare passasjer som innkjørsel, gangstier, etc.
 - Stelle plenen slik at høyden av gresset ikke overstiger 10 cm.
 - Fjerning av potensielt brensel under trær samt beskjæring av trær inntil en viss høyde, for å unngå at en eventuell brann på bakken skal spre seg til trekronen.
 - Inndeling av vegetasjon i mindre og spredte grupper av trær og busker.
 - Avstand mellom trær bør tilpasses slik at trekroner ikke er mindre enn 5,5 m fra hverandre, og avstanden fra trekroner til bygg bør ikke være mindre enn 3 m.
 - Sone 3: Denne sonen ligger utenfor det nærmeste utomhusområdet. Hensikten i denne sonen er å forstyrre brannspredningsveier og holde ev. flammer lavt og på bakken.
 - Fjerne vegetativt rusk og døde planter og trær.
 - Fjerne mindre trær som vokser opp mellom de større.
 - Fjern vegetasjon i nærheten av uthus og eksterne bygninger.
 - Redusere avstand mellom trekroner om mulig.

Det er gjennomført tester for å vurdere effektiviteten av Sone 1 (1,5 m), og om den er bred nok eller om den er bredere enn nødvendig. Etter testene ble det konkludert med at sonen er tilstrekkelig bred [120].

I California, USA, har det siden 2005 vært lovpålagt med 30 m forsvarssone [121].

I tillegg til veiledere er det også kommet standarder og lovverk.

NFPA 1141 [122] er en amerikansk standard som omhandler utvikling/endringer i bruk av landområder i villmark, dyrket mark eller forstadsområder. Standarden henviser også til NFPA 1144 [123] for utvikling/bygging i grensesnitt mot villmark (WUI).

NFPA 1141 [122] gir bl.a. føringer for avstand mellom bygninger, dersom ikke annet lovverk er gjeldende. Hovedregelen er ca. 9,1 m, men det er unntak for mindre bygg, sprinklede bygg og høye bygg. For små bygg og sprinklede bygg kan avstanden halveres, mens for høye bygg må den økes.

NFPA 1144 [123] gir hovedsakelig føringer for å redusere antennelse som følge av skogbrann, men er også relevant for beskyttelse fra f.eks. flyvebrann fra nabobygg. Standarden gir også føringer for avstand mellom hovedbygg og tilleggsbygg og bygg på nabotomt. Vegetasjon skal bli modifisert for å forebygge risikoforhold innenfor 9 m fra grunnmuren før oppstart av bygging. Det gis føringer for takkonstruksjon, vegger, piper, vinduer, dører og ventiler.

I California, USA, har man et eget kapittel i bygningsforskriften som omhandler materialer og konstruksjonsmetoder for beskyttelse mot skogbrann – her under flyvebrann – og gjelder for geografiske områder som er definert som alvorlige brannrisikosoner [124]. Selv om hensikten med kapittelet er å beskytte bygninger mot brannsmitte i forbindelse med skogbranner o.l., så vil en rekke av føringene også være anvendelige for beskyttelse mot stråling.

I Norge utvikles det per i dag en ny standard, NS 3921 *Utvendig brannbeskyttelse av bygninger* [125]. Målet med standarden er bl.a. å komplettere dagens regelverk ved å gi tydeligere føringer for utvendig beskyttelse av bygninger, både ved passive og aktive brannsikkerhetstiltak, som skal gi billigere og mer robuste løsninger [126] [36]. Standarden vil kunne gi en metode for å dimensjonere brannskall mot ulike utvendige brannscenarioer (brannstifting, brann i nabobygg, etc.) for byggverk i ulike miljøer (tett/spredt bebyggelse, lave/høye byggverk, etc.).

5 Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres funnene fra litteraturstudiet.

5.1 Varmestråling

Det er mange faktorer som spiller inn når det kommer til brannspredning via varmemestråling, men i bunn og grunn handler det om hvor høy strålingsintensitet en eksponert bygningskomponent tåler før den termiske påkjenningen bryter ned materialets integritet. For treverk i en fasade anses integriteten å være brutt i det kriteriene for antennelse gjør seg gjeldende, mens for glass i et vindu kan det f.eks. være i det øyeblikket første sprekk inntreffer.

5.1.1 Kritisk strålingsintensitet

Vurdering av sikker avstand mellom bygg, mht. varmemestråling, er basert på kriteriene for pilotantennelse av treverk. Her benyttes verdier fra 12 kW/m^2 til 15 kW/m^2 . Kriteriene som benyttes er basert på forskningsresultater fra laborietester og fullskaletester av pilotantennelse av treverk. Laborietester gir generelt mer konservative resultater (lavere kritisk strålingsintensitet nødvendig for å oppnå antennelse) enn fullskaletester. Dette er naturlig fordi det er enklere å isolere prøvestykker og kontrollere feilkilder ved testing av et lite trestykke, i motsetning til en fullskala branntest av en bygningskomponent eller fasade. Et spørsmål som imidlertid kan stilles, er om laborietester gir alt for konservative verdier, da de ikke representerer en reell situasjon.

Som ytterkledning på hus blir ofte treverk overflatebehandlet med maling. Tester viser at malt treverk har en høyere toleranse for ekstern varmemestråling mht. pilotantennelse. Selv om det er viktig at man benytter konservative verdier ved brannteknisk analyse, kunne det kanskje ha blitt åpnet for større grad av vurdering opp mot den faktiske tilstanden et hus har. Om et hus er malt eller ikke, og ev. andre faktorer som kan påvirke toleranse for ekstern varmemestråling, er selvfølgelig faktorer som kan endre seg i løpet av en bygnings livsløp – dette betyr at forutsetningene for brannsmitte kan endre seg, noe som understøtter behovet for en konservativ inngangsvinkel.

Forskning viser at det er mange faktorer som påvirker antenneligheten av treverk. Tetthet, fuktinnhold og orientering av årringer ift. innkommende stråling, kan ha betydning for hvor

antennelig treverket er. Tetthet og orientering av årringer er faktorer man til en viss grad kan ha kontroll på, men fuktinnhold vil endres hele tiden som følge av luftfuktighet, temperatur og tresort. Etersom dette er faktorer som er vanskelig å ta høyde for, er det naturlig å velge en konservativ innfallsvinkel.

En annen problemstilling som er lite belyst, er hvor lenge treverket tåler å være utsatt for en gitt strålingsintensitet. Dersom pilotantennelse potensielt inntreffer umiddelbart ved 12,5-15 kW/m², burde kanskje dimensjoneringskriteriene legges på lavere verdier. Dette bør da igjen ses i sammenheng med hvor vidt disse verdiene er konservative tilnærminger i utgangspunktet. Hvor lenge tåler et trestykke å være eksponert for en strålingsintensitet på 10 eller 11 kW/m² før pilotantennelse inntreffer – det nevnes at den laveste registrerte kritiske strålingsintensiteten for treverk er rapport til en verdi helt ned på 4,3 kW/m². Tiden det tar før antennelse inntreffer er viktig i forbindelse med vurdering av hvor lenge et bygg kan forventes å motstå brannsmitte fra nabobygg. Kanskje man også kunne ha sett dette i sammenheng med brannvesenets innsatstid, selv om dette ikke er normal praksis i Norge.

Glass er ubrennbart, men er likevel en svakhet i en fasade fordi det vil kunne sprekke og falle ut ved eksponering for varme. I denne oppgaven er det vist til kun tre ulike kilder som ser på eksponering av vanlig glass fra ekstern varmekilde. Ingen av kildene har testet de samme glasskonfigurasjonene når det kommer til størrelse og tykkelse, og resultatene er derfor ikke veldig sammenlignbare. Resultatene gir imidlertid indikasjoner på hvordan tykkelse av glass, og antall lag med glass, spiller inn mht. sikkerhet mot utfall når glasset blir eksponert for varme. I testen med det tynneste glasset, der det ble testet med kun ett lag, hadde glasset en tykkelse på 3 mm – i denne testen oppstod sprekker allerede ved 5 kW/m², og utfall av 25 % av glasset ved 9 kW/m². I de to andre testene, hvor det ble benyttet glass med 4,8 mm og 6 mm tykkelse, ble det ikke observert utfall av glass, selv ved eksponering på henholdsvis 17,7 kW/m² og 25 kW/m², men sprekker ble observert i glass med 6 mm tykkelse ved 6 kW/m². Det ble også observert at de innerste glasslagene tålte en høyere verdi av varmestråling før sprekker i glasset oppstod. I testen med 4,8 mm tykt glass, ble det også testet herdet glass – her inntraff ingen sprekker. Forskingen på glass gir en del indikasjoner på at tykkere glass, og flere lag glass – eller ev. bruk av herdet glass – vil ha gode branntekniske egenskaper mht. ekstern varmeeksponering. Ved en konservativ tilnærming til vindu/glass i forbindelse med brannteknisk prosjektering, kunne man ha vurdert første sprekk i glasset som brudd på

integriteten. Dette ville i så fall ha medført at vurdering av avstand mellom bygninger ville være basert på en strålingsintensitet ned mot 5-6 kW/m². I dagens regelverk i Norge, er det tillatt med uklassifiserte vinduer i en avstand på 6 m i motstående fasader [6]. Med en kritisk strålingsintensitet ned mot 5-6 kW/m², vil neppe 6 m avstand være tilfredsstillende for å hindre sprekker i glasset ved ekstern strålingseksponering fra motstående vindu. Det er behov for mer forskning på dette området for å kartlegge hva som kan defineres som kritisk strålingsintensitet for glass, og hva som er sikker avstand mellom uklassifiserte vindu/glass.

Selv om et flerlags vindu, med tykke glass, har gode branntekniske egenskaper mht. brannsmitte fra nabobygg, så finnes det ingen garanti for at ikke åpningsbare vinduer er åpne ved en brann i nabobygg. I tilfeller der et vindu er åpent ved brann i nabobygg, kan gardiner, lameller, og ev. pyntegjenstander, lette bli eksponert for varmestråling. Selv om det er funnet få relevante tester av dette, så indikerer laboratorietester at bomull og ull kan antenne ved en eksponering på 10-11 kW/m². Dette indikerer at vinduer, spesielt åpningsbare, kan være av større brannteknisk betydning ift. brannsmitte, enn bruk av trekledning, da materialer på innsiden av vinduet potensielt kan antenne før trekledningen.

Et spørsmål som bør stilles er om verdiene som benyttes i dag er riktige å bruke i brannteknisk analyse og dimensjonering, eller om disse bør revurderes. Det bør også vurderes om man i stedet for å benytte den samme verdien ved vurdering av brannspredning for alle typer bygg, heller i større grad bør vurdere enkelttilfeller opp mot risikoklasser og brannklasser, herunder krav til materialbruk, oppbygning av fasader, etc. Dette er igjen, som i foregående kapittel, forutsetninger som kan endres i løpet av byggets levetid – noe som understøtter behovet for en konservativ inngangsvinkel, slik at forutsetninger for brannsmitte ikke endres negativt ved ev. endringer i løpet av byggets livsløp. Slike forutsetninger kan nok endre seg i større grad for større bygg der endring i bruk er mer aktuelt, heller enn for eneboliger og tilsvarende.

Det hadde vært interessant om bygningsdeler, spesielt der hvor det blir benyttet prefabrikkerte elementer, kunne bli testet og godkjent for en gitt varmestråling i en gitt periode. F.eks. kunne et veggelement bli godkjent for 15 kW/m² i 30 minutter som en standard løsning.

Ut fra det som er funnet om kritisk strålingsintensitet er det vanskelig å avgjøre, eller konkludere, med hvilke verdier som er hensiktsmessig ved dimensjonering av avstand. Ulike

segmenter av en fasade kan ha ulike innslag av materialer og oppbygning, og de ulike delene av en fasade kan ha ulike forutsetninger for toleranse av stråling. Generelt bør det benyttes konservative verdier for å ta høyde for ev. endringer, men det burde også åpnes for mer detaljerte vurderinger der man kan hensynta detaljer i større grad. Inntil videre synes SN-INSTA/TS 950 å gi en fornuftig verdi (15 kW/m²) til toleransenivå, men denne burde være gjenstand for revurdering gjennom ytterligere forskning på stråling fra bygninger oppført etter nyere byggeskikk. Det burde også vurderes som toleransenivået burde suppleres med flere ulike toleransenivå for ulike typer bygg, virksomheter, risikoklasse etc.

5.1.2 Faktorer som påvirker strålingsintensitet

Det er mange faktorer som påvirker hvor mye stråling som avgis fra et bygg, og hvor mye som mottas hos et nabobygg. Dette er faktorer som i større grad kunne ha vært vurdert ved i forbindelse med prosjektering av sikker avstand mht. stråling, eller faktorer som i det minste kunne ha vært benyttet som et argument for bruk av høyere strålingsverdier som akseptkriterium.

Flere forsøk har vist at bygningstekniske egenskaper har påvirkning på avgitt stråling fra et bygg. Bl.a. har valg av innvendig kledning stor betydning, der det bl.a. er vist at stråling fra bygg med brennbar innvendig kledning kan være dobbelt så høy som fra bygg med ubrennbar innvendig kledning. Som tidligere beskrevet er også dette forutsetninger som kan endre seg i løpet av byggets livsløp i sammenheng med f.eks. bruksendringer eller ombygginger. I en vurdering av brannsmitte i forbindelse med brannteknisk analyse, kunne det imidlertid ha vært aktuelt å vurdere denne faktoren opp mot kravene i VTEK17 – der VTEK17 eksempelvis krever ubrennbar innvendig kledning, kunne valg av strålingsintensitet i større grad være oppe til vurdering. Valg av utvendig kledning er vist å ha liten betydning for utstrålingsintensitet, men vil imidlertid ha mye å si for tilbøyeligheten for brannsmitte.

Åpenhet i et bygg i form av vinduer og dører kan ha en betydning for stråling, da mer åpenhet vil gi et kraftigere brannforløp. Hvor vidt dører og vinduer som åpne vil være en faktor som er vanskelig å ta høyde for, og som også er en forutsetning som kan endre seg i løpet av byggets levetid. Her burde det imidlertid være oppe til diskusjon, hvor vidt dette er forhold som kan vurderes ved brannteknisk prosjektering. Dersom det forutsettes at vinduer utføres som fastvindu, og dører utføres med selvlukker, ville man ha mer kontroll på brannforløp i et bygg. Dersom man skulle analysere risiko for brannspredning til et nabobygg, kunne man

f.eks. kreve at dører til rom med fasade mot nabobygg, og vinduer i disse, ble utført med krav til selvlukker og fastvindu. Dette vil påvirke faktorer som har betydning for hvor mye stråling bygget utstråler, og ikke hvor mye det selv tåler av eksponering fra nabobygg. Hvor stor nytteverdi dette ville ha hatt, mht. ekstra kostnad ved selvlukkere og fastvindu, er usikkert.

Høyde og bredde på vinduer kan ha betydning for utstrålingen. Dette ser imidlertid ikke ut til å påvirke strålingsintensiteten først og fremst, men heller hvordan strålingen fordeler seg på en eventuell motstående fasade. Dette vil derfor være en faktor som ikke nødvendigvis har avgjørende betydning ved dimensjonering av avstand til nabobygg.

En faktor som ser ut til å være av stor betydning, og som burde vurderes, er valg av isolasjon, og hvordan dette påvirker «tettheten» til et bygg. Det er vist gjennom forskning at isolasjon som isolerer godt, og generelt «tette» bygg, gir økt strålingsintensitet. Dette er faktorer som har stor betydning både for eksisterende bygg som etterisolereres og bygges om, og for nye bygg. I eldre bygg som bygges om, burde man kanskje i økt grad se på hvordan ekstra, eller ny, isolering vil påvirke den eksisterende risikoen for brannsmitte. I nye bygg, og/eller i ev. nye byggeregler, bør det i økt grad fokuseres på valg av isolasjonsmaterialer i planleggingsfasen, slik at man kan ta høyde for hvordan dette påvirker stråling. Alternativt burde det legges opp til høyere grad av funksjonsbasert tilnærming i brannteknisk prosjektering, slik at det blir opp til den enkelte brannrådgiver å vurdere forhold som isolering. Dette gjelder ikke bare valg av isolasjon, men også størrelse av vinduer, utforming/planløsning mht. åpninger, ytterkledning, etc.

Når det gjelder innkommende stråling på et bygg, vil naturligvis avstand ha stor betydning. Jo større avstand, jo lavere verdi på innkommende stråling. Vind er en annen faktor som spiller inn, men dette har nok mer å si i form av at vind vil ha en avkjølende effekt på eksponerte bygningsmaterialer/-komponenter. Vind er imidlertid en faktor det er vanskelig å ta høyde for, fordi retning og hastighet vil variere. Her kunne man ha vurdert vind ut fra en kartlegging av vindforholdene og vurdere vindpåvirkning ut fra dette, men det tryggeste, og beste, er nok en konservativ tilnærming uten påvirkning fra vind. Selv om vind kan ha en avkjølende effekt, så er det imidlertid en viktig faktor å vurdere mht. brannspredning fordi vinden kan påvirke intensiteten hos en brann samt utviklingen/retningen av flammer/flammekast og røyk.

En del faktorer, som vind, luftfuktighet, og til dels åpenhet i form av åpne dører og vinduer, er faktorer som er umulig eller vanskelig å kontrollere, og som i større grad spiller inn som feilkilder. Andre faktorer, som plassering og størrelse av vinduer, avstand til nabobygg og valg av isolasjon, kan man i større grad kontrollere gjennom planlegging. Ved analyser av nødvendig avstand burde man kunne ta høyde for de faktorene man kan gjøre noe med, og samtidig ha en konservativ inngangsvinkel mht. de faktorene man ikke kan gjøre noe med.

5.1.3 Målte verdier

I forbindelse med brannforsøk, i både stor i liten skala, er det gjort målinger av strålingsintensitet utenfor åpninger i forskjellige avstander. I «St. Lawrence»-prosjektet ble det f.eks. målt en strålingsintensitet på $15,9 \text{ kW/m}^2$ på 9,1 m avstand. Dette er en strålingsverdi som er høyere enn hva som generelt benyttes som akseptkriterium i Norge (15 kW/m^2 i SN-INSTA/TS 950 [41]), i en avstand som er lengre enn hva som er ansett som tilstrekkelig avstand for å ivareta risiko for brannspredning mellom byggverk, i det norske regelverket (8 m iht. TEK17 § 11-6 [2]). «St. Lawrence»-prosjektet ble gjennomført på 50-tallet, noe som betyr at husene høyst trolig var bygget etter andre standarder, metoder og sammensetning av materialer enn i dag. Som andre forsøk har vist, gir økt tetthet og bedre isolasjon økt utstrålingsintensitet.

Det kan virke som at målingene fra «St. Lawrence» skiller seg ut fra målinger fra andre forsøk, og man kan stille spørsmål til om resultatene er aktuelle i dag mht. endringer i byggeskikk og materialbruk. F.eks. ble det i «St. Lawrence» målt så mye som $13,4 \text{ kW/m}^2$ på 12,2 m avstand, mens det i et forsøk i Japan ble målt 5 kW/m^2 ved 10 m avstand. Dette er store forskjeller, men det er vanskelig å avgjøre hvem som gir det mest realistiske resultatet, eller hvilke forutsetninger som skiller de to forsøkene annet enn at det var forskjellige bygg. I et annet forsøk i Japan ble det til sammenligning målt et toppunkt på $12,5 \text{ kW/m}^2$ på 5 m avstand fra en åpning, og et toppunkt på 27 kW/m^2 på 3 m avstand. Dette viser at strålingsintensiteten kan falle raskt med avstanden, noe som også understøttes av resultater fra et forsøk i Australia, der strålingsintensiteten ble målt til 70 kW/m^2 , 16 kW/m^2 og under 10 kW/m^2 på henholdsvis 2 m, 4 m og 6 m avstand fra vinduet til et brennende bygg. I et forsøk i England ble det gjort målinger på $11,8 \text{ kW/m}^2$ i en avstand på 4 m fra åpningen i testkammeret. Med bakgrunn i de store variasjonene av strålingsintensitet på ulike avstander i

nevnte forsøk, bør det i høyeste grad vurderes å fornye kunnskapen om stråling fra bygninger tilpasset dagens krav til byggemetoder og materialer.

Under en serie av simuleringer mht. brannspredning som følge av stråling, ble det målt 14 kW/m² på 4,5 m avstand. Det stilles imidlertid spørsmål til gyldigheten av dette resultatet, da det på 3,5 m og 4 m avstand ble målt/simulert opp mot 70 kW/m². Fallet i strålingsintensitet fra 70 til 14 kW/m² over en endring i avstand på 0,5 m er svært mye, og ikke i samsvar med målinger fra fullskalaforsøk. Det fullskalaforsøket som gir sammenlignbare resultater, er huset som ble brent ned i Australia. Her ble det målt et fall i strålingsintensitet fra 70 til 16 kW/m² over en endring i avstand på 2 m – fra avstand 2 til 4 m fra vinduet.

Målingene «St. Lawrence»-prosjektet skiller seg fra målinger i andre brannforsøk med spesielt høye verdier. Sett bort i fra «St. Lawrence» og simuleringsresultater, ligger strålingsverdiene godt innenfor det som er akseptert mht. brannteknisk dimensjonering av avstand etter SN-INSTA/TS 950 og mht. TEK17 sitt krav til tilstrekkelig avstand – 8 m. Dette er i og for seg bra, men om det er bra nok sett i sammenheng med nyere/norsk byggeskikk vites ikke. Alt i alt viser dette at det er et stort behov for ytterligere forskning på området, spesielt mht. nyere byggeskikk.

5.1.4 Funksjonsbasert design

I USA, England og New Zealand benyttes større grad av funksjonsbasert tilnærming til brannteknisk dimensjonering, enn i Norge. I USA og England benyttes det et akseptkriterium på henholdsvis 12,5 kW/m² (NFPA) og 12,6 kW/m² (BR 187). I Norge benyttes 15 kW/m². Avstand må da vurderes mht. nabobygg. I New Zealand har man gått en litt annen retning, og vurderer nødvendig avstand ut fra et punkt 1 m inn på nabetomt. Prinsippet i New Zealand er at man skal kunne etablere byggverk med uklassifiserte konstruksjoner inntil 1 m fra tomtegrense, så fremt strålingskarakteristikken for bygget ikke bryter med kravene i regelverket. Byggverk i New Zealand skal dimensjoneres slik ev. stråling fra dem ikke overstiger akseptkriteriet, 16 kW/m², i avstand 1 m inn på nabetomt. Dette er en god løsning fordi man vurderer nødvendig avstand ut fra strålingskarakteristikkene i sitt eget bygg, uten hensyn til nabobygg, og forutsetter at nabobygget har gjort det samme. Slik vil avstanden til tomtegrenser tilpasses hvert enkelt bygg, og kan gi egne føringer for brannklassifiserte ytterveggskonstruksjoner. Dette er en løsning som vil fungere bra for nye bygninger i nye byggefelt, men kan kanskje medføre en utfordring for bygninger som etableres blant

eksisterende bygg der hvor man ikke har tatt høyde for de samme kravene til avstand og stråling. Dette virker som en god løsning som burde ha blitt vurdert som en alternativ, eller supplerende, ordning i Norge. Alternativt kunne en løsning være å utvide veiledningen i VTEK17 med flere preaksepterte ytelseskrav med større hensyn til ulike risikoklasser og/eller brannklasser, eller så kunne man i større grad legge fokus på vurderinger av brannenergi i bygg.

5.2 Flyvebrann

Flyvebrann kan forårsake brannsmitte mellom bygninger både direkte ved at brennende partikler lander på nabobygg, men også indirekte gjennom punktbranner i utomhusarealet ved nabobygg. Per i dag er det ingen spesielle ytelseskrav i det norske regelverket som er rettet mot beskyttelse eller dimensjonering mot trusselen som flyvebrann utgjør.

Når et objekt brenner, vil materialet det består av brytes ned. Under nedbrytningen, kan deler av objektet falle fra hverandre etter hvert som den strukturelle styrken i materialet reduseres. Når disse delene blir lette nok, kan oppdriften i gasser og røyk fra en brann føre delene med seg ut fra et brannrom, bort fra det brennende bygget, og videre med vinden. Disse delene kan være brennende eller glødende, og når de lander kan de potensielt antenne det de lander på.

5.2.1 Produksjon og karakteristikkk av flyvebrann

Det meste av forskning på produksjon av flyvebrann er relatert til brann i trekonstruksjoner/-materialer, ofte under kontrollerte forhold i en vindtunnel. Forsøkene er i stor grad utført på utvendige bygningskomponenter, noe som kan gi et misvisende resultat sammenlignet med en innvendig brann. Det er imidlertid også gjennomført tester der inventar er inkludert, og det er i tillegg utført fullskalatester av brennende bygg, så vel som feltundersøkelser etter virkelige branner. Resultatene fra de ulike forsøkene, testene og undersøkelsene viser til dels samsvar ved at de fleste flyvebrannpartiklene har små dimensjoner (mindre enn 10 cm²) og lav vekt (mindre enn 1 g), men at enkelte større partikler også kan dannes.

Det er bl.a. gjort forsøk med rette veggparti, veggparti formet som innvendige hjørner, veggparti med og uten kledning, samt takkonstruksjoner. Forsøkene består i stor grad av enkle oppsett med kun OSB-plater og trestendere, og ev. ytterkledning. Det kan diskuteres hvor vidt resultatene fra brenning av OSB-plater, og produksjon av flyvebrann fra disse, er relevant for norske bygninger – da mht. oppbygning av yttervegg- og takkonstruksjoner i trebygninger i

Norge. Dette viser at det er et behov for tilsvarende forskning i Norge, rettet mot norsk byggeskikk. Samtidig er det ikke usannsynlig at resultatet ved brenning av bygningssegmenter bygget etter norske standarder blir noe tilsvarende, da partikler er avhengig av å bli små og lette nok til å transporteres. Om behovet for å teste dette egentlig er nødvendig, kan også vurderes. Man vet jo at trusselen allerede er der, og kanskje bør man heller fokusere på å forske på hvordan man på best mulig vis kan forsvare seg mot denne.

Det er også gjort forsøk på flyvebrann produsert av gjerder. I forbindelse med brannsmitte mellom bygninger har kanskje flyvebrann fra et brennende gjerde lite å si for den totale produksjonen av flyvebrannpartikler sammenlignet med et brennende hus, men det er likevel verdt å merke seg at også hageinnredning kan bidra til økt produksjon av flyvebrann.

Resultatene viser at vindhastighet, type bygningsdel, og ytterkledning, har påvirkning på dimensjonene og massen av flyvebrannpartikler. Dette har nok lite å si dersom man skal utvikle retningslinjer for beskyttelse av bygninger mot flyvebrann, da disse faktorene – spesielt vind – er vanskelig å kontrollere. Det er vist gjennom flere forsøk at økt vindhastighet kan medføre økt areal og vekt på flyvebrannpartikler. Likevel må den viktigste lærdommen være at det generelt produseres mange små og lette partikler, og færre større og tyngre partikler. Lette partikler har større mulighet til å trenge seg inn i sprekker og ventiler, men har mindre brannenergi enn de større partiklene, og dermed et lavere potensiale i seg selv for å antenne nabobygg sammenlignet med de større partiklene. Det produseres imidlertid langt flere av de små partiklene, noe som betyr at disse potensielt kan gruppere seg, og oppnå en kollektiv brannenergi på lik linje som en større partikkel. Samlinger av flere små flyvebrannpartikler har vist seg å ha en større total varmeavgivelse, enn enkeltpartikler med tilsvarende masse.

5.2.2 Transport og spredning av flyvebrann

Vind spiller en stor rolle i transport av flyvebrann. I forbindelse med undersøkelser etter en hotellbrann, ble det rapportert om flyvebrannpartikler i avstander på mange hundre m fra opprinnelsesstedet, både i høyde og lengde. Selv om mengden av flyvebrannpartikler sannsynligvis avtar over avstand, noe som også reduserer muligheten for ansamlinger, ble det likevel rapportert om punktbrann i vegetasjon på ca. 450 m avstand fra hotellbrannen – dette er en avstand som understøttes av funn fra Lærdalsbrannen, hvor det ble rapportert om branntilløp i en avstand av 200-400 m fra flammefronten. Dette viser at

dimensjonering/beskyttelse mot brannsmitte i form av avstand mellom bygninger, vil være vanskelig mht. flyvebrann – pga. de store avstandene partiklene kan transporteres. Selv om spredningen i hovedsak skjer i vindretningen, ble det også vist i hotellbrannen at partiklene kan spre seg over et stort område i alle retninger i nærheten av brannen. I det aktuelle tilfellet hadde nok høyden av bygget, lokaliseringen av brannen, og det urbane miljøet generelt, mye å si for turbulens og vindstrømning, som påvirket transporten av partikler.

Simuleringer av flyvebranntransport viser spredning i vindretning, og at den transportdistansen generelt øker med vindhastigheten. Ved høyere vindhastigheter vil det oppstå mer turbulens, samtidig som den termiske oppdriften fra brannen blir undertrykt, noe som øker risikoen for spredning til nabobygg i umiddelbar nærhet. Økt vindhastighet kan også føre til at spredningsvinkelen for flyvebrann blir snevret inn, noe som øker muligheten for at flyvebrann kan gruppere seg i større omfang der de lander. Lettere partikler transporteres lengre, men disse kan også brenne ut raskere ved økt vindhastighet. Alle disse resultatene viser at det er vanskelig å sette en trygg avstand mellom bygninger mht. flyvebrann.

Generelt vil transport av flyvebrann være umulig å kontrollere, da vindhastighet og -retning vil variere, men også oppdrift fra brann, og de aerodynamiske egenskapene til flyvebrannpartikler. Det kunne imidlertid være mulig å analysere vindforhold i et område, for så å kunne forutsi mulige spredningsmønstre av flyvebrann, og på denne måten beskytte utsatte/sårbare bygninger i aktuelle områder.

Pga. uforutsigbarheten med vindhastighet og -retning, oppdriftskrefter fra brann, egenskaper ved flyvebrannpartikler, og transportavstander, vil det være umulig å fastslå en tilstrekkelig avstand mellom byggverk som ikke er urimelig stor. Fokuset på beskyttelse mot flyvebrann burde derfor heller legges til planlegging av utomhusareal, utførelse av bygningskomponenter, materialbruk, og burde også ses i sammenheng med brannforebyggende arbeid og brannskallsikring.

5.2.3 Antennelse ved flyvebrann

Studier viser at flyvebrann kan trenge seg inn i sprekker, og antenne trematerialer. Det har vist seg, i likhet med produksjon og transport av flyvebrann, at vind er en faktor også ved antennelse som følge av flyvebrann. Gjennom eksperimenter er det bl.a. vist at økt vindhastighet og økt antall flyvebrannpartikler, øker muligheten for antennelse. Vinkelen i

sprekker der flyvebrannpartikler lander og samler seg kan også være av betydning for antennelse.

Som beskrevet tidligere vil den største andelen flyvebrannpartikler som produseres fra en bygningsbrann, være små og lette. Forsøk viser at akkumulering av flyvebrannpartikler er en kritisk faktor i forbindelse med antennelse. En samling av mange små flyvebrannpartikler, har vist seg å være mer effektiv mht. antennelse enn én større partikkel med tilsvarende masse som de små partiklene sammenlagt. Den totale mengden partikler/masse som er nødvendig for antennelse, vil reduseres med lavt fuktinnhold og med økt vindhastighet. Fukt og vind er faktorer som er umulig å kontrollere, og dersom man ønsker å forebygge antennelse pga. flyvebrann, må man se på bygningsmessige tiltak for å forhindre akkumulering av flyvebrann i kritisk områder. Slike tiltak kan f.eks. vært utstrakt bruk av ubrennbare materialer i risikoutsatte deler av fasade/bygningsmasse, da spesielt tilslutninger mellom ulike bygningssegmenter som har vist seg å være særlig mottakelig for flyvebrann. Kanskje kan det også utvikles en form for turbulente strømmingssoner ved/på/rundt bygg, hvor luftstrømmer kan lede flyvebrannpartikler vekk fra bygg eller ev. til ubrennbare oppsamlingsområder, men dette er nok vanskelig å få gjennomført pga. usikkerhetene knyttet til vindretning og - hastighet.

5.2.4 Bygningsdeler og utomhusareal

For å kunne utvikle et brannskall som beskytter mot alle typer eksponering, må man se på svakheter hos bygningsdelene. Generelt vil alle grensesnitt/tilslutninger – det vil si overganger mellom ulike bygningsdeler hvor det ofte vil være sprekker og vinkler – være utsatt for akkumulering av flyvebrann. I tillegg til at flyvebrann kan samle seg i disse områdene, er dette også områder hvor det ofte kan samle seg vegetativt rusk som barnåler, blader, o.l., noe som gjør at disse områdene blir ekstra utsatt mht. antennelse av flyvebrann.

Vegger representerer en hindring for luftstrømmer, og kan skape turbulens i forkant av veggen. I tester av flyvebrann mot veggkonstruksjoner er det vist at flyvebrann kan akkumulere foran vegger. Dette kan medføre en risiko for antennelse der man har plattinger, blomsterbed, eller andre brennbare materialer i tilknytning til veggen, pga. risiko for punktbranner og indirekte brannsmitte. Det er vist at grensesnittet mellom vegg og plattinger er utsatt for akkumulering av flyvebrann, og brennende blomsterbed eller gjerder plassert inntil vegger kan føre til brannsmitte til veggen. Dersom man ikke monterer gjerder inntil

vegger, og har et ubrennbart veggparti – kanskje i form av grunnmur – mellom platting/blomsterbed og ytterkledning, kan man unngå brannsmitte fra disse. Det er i så fall nødt til å forskes på hvor høyt et slikt parti må være, og ev. hvor stor avstand som er nødvendig mellom yttervegg og gjerder.

Plattinger er en sårbar konstruksjon for flyvebrann, fordi det er mange sprekker der flyvebrann kan samle seg. Flyvebrann kan også trenge inn på undersiden av plattinger og antenne rusk, eller antenne ev. objekter eller materialer som lagres under plattingen, f.eks. bygningsmaterialer. Plattinger som antennes, og som er montert inntil yttervegg, har stor sannsynlighet for å kunne antenne ytterveggen den er montert til. For å kunne forebygge dette, måtte man i så fall ha sett på grensesnittet mellom platting og yttervegg ift. bruk av ubrennbare felter. I utsatte områder kunne man også ha anbefalt å unngå lagring av materialer under plattinger/terrasser. Dette kunne vært løst etter anbefalinger fra NFPA gitt om «forsvarssoner» rundt bygg, der man anbefaler å stenge av hulrom med netting for å hindre lagring og akkumulering av ulike brannbare objekter og materialer.

Forskning viser at gjerder ikke bør plasseres på et underlag av brennbare materialer som f.eks. bark, og gjerder bør heller ikke monteres inntil yttervegg. Gjerdene produserer kanskje ikke mye flyvebrann i seg selv, men kan bli antent og videre antenne brennbare materialer i nærheten. Gjerdene er utsatt for akkumulering av flyvebrann i sprekker og grensesnitt mellom planker og stolper, noe som er vanskelig å unngå når man setter opp tregjerder. Et alternativ til brennbare gjerder er å benytte ubrennbare materialer i større utstrekning, men om dette vil ha noen særlig nytteverdi sett ift. kostnad, er usikkert – i alle fall på et generelt nivå, men det kunne ha vært et aktuelt tiltak i risikoområder.

I tillegg til plattinger og gjerder spiller andre deler av utomhusareal inn på risikoen for brannsmitte. Antennelse i utomhusareal er i seg selv ikke direkte brannsmitte mellom bygninger, men vil kunne medføre indirekte brannsmitte gjennom punktbranner som sprer seg. Risikoen for indirekte brannsmitte via utomhusareal er svært aktuelt, men er likevel et tema som ikke omhandles i brannsikkerhetskapittelet i VTEK. Problemstillinger knyttet til brannspredning mellom byggverk via utomhusareal er absolutt et tema som burde omfattes av brannprosjektering, slik at landskapsarkitekter kan få føringer for planlegging av utomhusareal med anbefalinger i tråd med «forsvarssoner» rundt bygg – dette forutsetter imidlertid at slike anbefalinger (slik som NFPA sine anbefalinger i USA), eller ev.

regelendringer, innføres i Norge. Per i dag kan man, i tråd med VTEK, si at sikkerhet mot brannspredning mellom to bygninger er ivaretatt med 8 m avstand, men samtidig fylle denne avstanden byggverkene med brennbar vegetasjon, brennbart fallunderlag av bark eller gummi, bark i blomsterbed, treplattinger, etc. Det er spesielt at dette ikke er noe som omfattes av, eller reguleres i forbindelse med, brannteknisk prosjektering – noe det absolutt burde gjøre.

Rundt vinduer og glass er det grensesnitt der flyvebrann kan akkumulere seg, slik som sprekker, listverk og sprosser, men det er ikke vist at slik akkumulering kan medføre en eksponering som kraftig nok til å knuse glass. Dette er da lukkede vinduer – åpne vinduer vil naturligvis medføre en stor risiko da flyvebrann kan føres direkte inn i en bygning. Dette er en faktor som er umulig å kontrollere, da lukking og åpning av vindu baserer seg på organisatoriske tiltak med mindre vinduene er fastvindu. I forbindelse med utvikling av brannskallet til et bygg, kunne man f.eks. i større grad ha vurdert den generelle vindbelastningen i et område, for deretter å avgjøre om hele, eller deler, av byggets fasader burde bli utført med fastvindu. Dette kunne imidlertid skapt et problem ift. ventilasjon av rom hvor det er krav til lufting.

På tak er vinkler på vinkeltak, vinkel mellom takflate og takopplett eller takark, utsatte områder for akkumulering av flyvebrann. Takrenner kan også være en utsatt bygningsdel, spesielt dersom den ikke blir ryddet for rusk. Slitasje på takteking, sprekker mellom takstein, o.l., kan være mulige entringspunkter for flyvebrann.

Takrenner som ikke ryddes for rusk, er en risiko mht. antennelse ved flyvebrann – ved en eventuell vurdering av brannsmittorisiko i utsatte områder, f.eks. i tett trehusbebyggelse, kunne rydding av takrenner vært et pålagt organisatorisk tiltak for brannforebygging. Materialet i takrennen har mye å si for det videre brannforløpet. Takrenner i metall har vist seg å holde seg på plass, mens vinyltakrenner smelter og ramler ned – dette kan føre til antennelse av materialer på bakken og/eller ev. ytterveggen. Der man kartlegger faren/risikoen for brannsmitte ved flyvebrann, er dette et viktig punkt – hvordan skal man sikre et bygg mot takrenner hvor det oppstår brann, enten i scenarioet der takrennen blir værende på plass, eller i scenarioet der takrennen faller på bakken? Helhetsbilde er viktig i en vurdering av hvilken takrenne man bør bruke.

Sprekker i takstein, enten i forbindelse med tilslutninger eller slitasje, samt ventilasjon av taket, er utsatt for inntrenging av flyvebrann. Dersom man skal utføre bygningsmessige tiltak for å forhindre dette, må man velge takstein med montasjesystem som låser steinene sammen slik at flyvebrann ikke trenger inn. Valg av materialer i undertaket, samt lufteløsninger, må også vurderes mht. inntrenging av flyvebrann eller en eventuell sekundær antennelse som følge av brann i rusk som har samlet seg i takrenne. Det bør også utføres flere eksperimenter rettet mot norsk byggeskikk.

Ventiler er direkte åpninger mellom utsiden og innsiden av et bygg, og dermed et åpenbart svakt punkt i et brannskall. Det mange ulike typer ventiler, men de vanligste i Norge er trolig vertikale overstrømsventiler – enten som lufting til loft eller inn i bolig – og horisontale takfotventiler.

Bruk av netting til beskyttelse av ventiler mot flyvebrann, vil være et naturlig tiltak. Imidlertid har det vist seg at flyvebrann, som blir presset mot en netting og som er for stor til å komme igjennom, vil kunne brenne seg mindre og mindre, helt til den er liten nok til at den kommer igjennom nettingen. Små flyvebrannpartikler vil selvfølgelig ha redusert kapasitet mht. antennelse, men de vil likevel representere en risiko for antennelse av bakenforliggende materialer. Jo mindre maskestørrelse i nettingen, jo mindre vil ev. flyvebrannpartikler som trenger igjennom være. Nettinger har imidlertid en tendens til å samle rusk som er for stort til å trenge igjennom, og jo mindre maskestørrelse, jo finere rusk vil samle seg foran ventilen. Finere rusk vil trolig være lettere å antenne for flyvebrann. Dette vil skape et økt behov for vedlikehold av ventiler. Vertikale ventiler er de mest utsatte i sammenheng med flyvebrann, ettersom de ofte blir stående vertikalt på vindretningen. Det skal finnes ventiler som utvikles med brannmotstand mot flyvebrann, som kunne vært vurdert å innføre på det norske markedet.

Takfotventiler har vist seg å være litt mindre utsatt enn vertikale overstrømsventiler. Disse blir stående parallelt med vindretningen, og det kan være at det dannes en turbulent strømning under takfoten som gjør at de fleste flyvebrannpartiklene ledes ned langs vegg i stedet for opp i takfot. Det burde likevel forskes mere på dette for å finne egnede sikringstiltak.

Risikoen med ventiler er, som nevnt tidligere, at flyvebrann kan trenge direkte inn i et byggverk. I Norge er det vanlig med kalde og luftede tak/loft, som ofte brukes til lagring.

Lagrede materialer/objekter kan være tørre og relativt lett antennelege. Forskning har vist at én enkelt flyvebrannpartikkel kan være nok til å antenne tørre materialer. På en annen side er det også vist at antennelse ved flyvebrann er delvis avhengig av vind for å utnytte antennelsespotensialet sitt – så det er ikke sikkert at små, individuelle partikler isolert sett er nok til å antenne materialer på loft dersom det ikke er tilstrekkelig trekk/luftstrømning på loftet.

I tillegg til lagrende objekter/materialer på et loft, kan det også være eksponert isolasjonsmateriale. Det er flere typer isolasjonsmaterialer som er testet, men tekstilfiber og cellulosefiber viste seg å være mest sårbar for antennelse ved flyvebrann. Det er verdt å merke seg at VTEK17 åpner for bruk av cellulose- og tekstilfiberbasert isolasjon i byggverk i brannklasse 1 og boliger inntil tre etasjer [127]. Slik isolasjon kan innebære en risiko for brannsmitte ved flyvebrann dersom den er utildekket. Mht. risiko for at flyvebrann kan trenge inn gjennom gavlventiler til loft, kunne det med fordel regelverket suppleres med krav om beskyttelse av brennbar isolasjon.

5.3 Urban brannspredning

Brannspredning mellom byggverk i en større skala, vil være avhengig av sammensetningen i det urbane miljøet – er det en bykjerne med høyhusbebyggelse av hovedsakelig ubrennbare materialer og asfalterte/steinbelagte utomhusområder, eller er det småhusbebyggelse med trehus med høy grad av beplantning?

Selv om byer ofte kan forbindes med høye bygninger i ubrennbare materialer, så vil det ofte være innslag av vegetasjon og grøntområder. Man ser også en tendens til at det ønskes mer vegetasjon inn i byer i dagens samfunn, som f.eks. i Oslo [128]. Høye bygninger kan også ha innslag av brennbare materialer. Kombinasjonen av vegetasjon og brennbare materialer i balkonger, kan ha vært en årsak til brannsmitte fra en gammel taufabrikk til en boligblokk i Oslo i mai 2008, der avstanden mellom byggene var mye mer enn 8 m. Dette indikerer at vegetasjon kan ha en avgjørende rolle i urban brannspredning.

Det er utført simuleringer av brannspredning i byer med ubrennbare konstruksjoner, som viser at brannsmitte i byer med ubrennbare konstruksjoner følger vegetasjonsmønsteret. Dette viser at det kan være et behov for å i større grad legge føringer for planlegging og utførelse av vegetasjon i urbane miljøer.

I byer, eller i bebyggelse generelt, kan andre objekter, som f.eks. kjøretøy, bidra til brannspredning mellom byggverk. Dette er heller ikke noe det legges vekt på ved brannteknisk prosjektering, og det er generelt lite forskning på området.

I urbane miljøer vil også vær og vind påvirke risiko for brannspredning, mht. faktorer som vindretning, vindstyrke, temperatur og luftfuktighet. Isolert sett er dette faktorer som er vanskelig å kontrollere, men det finnes verktøy for å analysere vind i bymiljø. Dette kan være nyttig å bruke for å se hvordan en brann kan oppføre seg i et bymiljø mht. kanalisering og turbulens. Dette er nok et altfor stort emne å ta inn ved brannprosjektering, men kan f.eks. være nyttig på et overordnet nivå i forbindelse ved by- og arealplanlegging for å utvikle mer brannmotstandsdyktige samfunn, men kanskje aller mest ved forebyggende arbeid for å identifisere risikoutsatte områder mht. brannspredning.

Det er også utviklet brannmodeller som ser på bymiljøer med en blanding av brennbare og ubrennbare konstruksjoner. Slike modeller kunne man i større grad ha dratt nytte av i forebyggende arbeid, ved f.eks. risikoanalyser av sårbare områder (tett trehusbebyggelse), i Norge. Dette er verktøy som kan gi nyttige indikasjoner på svakheter i et urbant miljø mht. brannspredningsrisiko, og kanskje risiko for konflagrasjon. Med slike verktøy vil det være enklere å vurdere hvor man kan eller bør innføre brannsikringstiltak, som f.eks. oppgradering av fasader og tak, for å minimere risiko for brannspredning i ett, eller grupperinger, av byggverk.

Brannskallsikring er et begrep som benyttes med økende omfang i Norge. Prinsippet med brannskall er at bygninger skal kunne motstå en ekstern brannpåkjenning i en gitt tid. I brannmotstandsdyktige samfunn vil det ikke være nok å se på individuelle hus, men man må se på alle husene i en helhet sammen med utomhusareal, og hvordan disse henger sammen. Brannskallsikring er ofte forbundet med oppgradering av eksisterende bygg, men kanskje kunne man benytte seg av prinsippet også ved areal- og byplanlegging der hvor man ønsker tettere bebyggelse.

I enkelte land, som f.eks. USA, er det flere retningslinjer/standarder og lover for hvordan man kan ivareta sikkerhet mot brannspredning fra nabobygninger og flyvebranner. Disse retningslinjene gir bl.a. føringer om tilstrekkelig avstand mellom bygninger, men også føringer for utomhusareal. I California gir lovverket føringer for materialer og

konstruksjonsmetoder i spesielle geografiske områder, som er definert som brannrisikosoner. California har i løpet av det siste århundret vært rammet av omfattende og dødelige skogbranner [129] [130] [131], noe som gjør at behovet for sikringstiltak generelt har hatt et større fokus enn hva det har i Norge. I Norge kunne man imidlertid hatt nytte av mer generelle føringer for å øke sikkerhetsnivået i samfunnet, for å få en generelt økt brannmotstandsdyktighet. Dette er kanskje mest aktuelt i småhusbebyggelse med trebygninger, men her kunne man også gjennomført flere analyser for å se om det er spesielle risikoområder som burde ha økt grad av beskyttelse. Slike føringer er aktuelle både for prosjektering og planlegging av ny bebyggelse, men også for forebyggende arbeid i eksisterende bebyggelse.

Prinsippet som benyttes for utomhusareal i USA er at disse skal deles inn i soner, der hver sone har ulike egenskaper mht. motstand mot brannsmitte, sett i sammenheng med avstand fra bygget. Dette er prinsipper man kunne tatt erfaringer av i Norge, som nevnt over, og som man kunne gitt føringer for ved prosjektering. Det kunne ha vært større grad av føringer for etablering av plattinger, boder, dokkestuer, vegetasjon etc. Nå som en ny standard for utvendig brannbeskyttelse er under utvikling i Norge, blir det spennende å se om, og ev. hvilke, føringer denne gir for utomhusareal, og hvor stor plass denne standarden får innen brannrådgivning.

6 Konklusjon

Det generelle kravet om 8 m avstand vurderes isolert sett å være tilstrekkelig for å ivareta sikkerheten mot brannspredning mellom bygg mht. varmestråling. Kravet kan imidlertid oppleves å være noe konservativt i enkelte tilfeller, og kunne i større grad vært tilpasset ulike typer bygg og virksomheter.

Toleransenivået for strålingsintensitet som benyttes i branntekniske analyseverktøy (SN-INSTA/TS 950) for vurdering av tilstrekkelig avstand, synes å være fornuftig per i dag, men bør være gjenstand for revurdering ved ytterligere forskning på emnet. Verktøyet kunne med fordel ha vært utvidet og supplert for å ta hensyn til flere detaljer, som f.eks. bygningskomponenter i fasade og brannenergi i aktuelle bygg.

Flyvebrann er en brannspredningsmekanisme som ikke er omtalt i VTEK17. Transport og spredning av flyvebrann er avhengig av vind, og er derfor en brannspredningsmekanisme som det er vanskelig å sikre tilstrekkelig avstand mot pga. de store avstandene flyvebrann kan transporteres over. Dette er likevel en brannspredningsmekanisme som burde vært hensyntatt. Sikkerhet mot flyvebrann burde i stedet for avstand, sikres gjennom krav til materialbruk, utførelse av bygningskomponenter og tilslutninger mellom disse, og planlegging av utomhusareal.

I VTEK17 gis det ingen føringer for brannsikkerhet i utomhusareal mht. brannspredning mellom byggverk. Vegetasjon, beplantning, uthus, plattinger etc. er potensielle brannspredningsveier mellom byggverk, både i småhusbebyggelse og i bymiljø. Forutsetninger for et tilstrekkelig brannsikkert utomhusareal burde beskrives som en del av et brannteknisk konsept for et byggverk, for å sikre en mer brannmotstandsdyktig helhetsløsning.

7 Forslag til videre arbeid

Følgende er forslag til videre arbeid:

- Det er behov for mer forskning knyttet til kritisk strålingsintensitet for ulike bygningsmaterialer.
- Det er behov for mer forskning knyttet til avgitt/mottatt stråling i forbindelse med brann i byggverk.
- Det er behov for forskning på flyvebrann rettet mot norsk byggeskikk.
- Det er behov for utvikling av retningslinjer for brannsikker prosjektering av utomhusareal.
- Det er behov for å se nærmere på effekten av vegetasjon, biler og ev. andre aktuelle objekter mht. brannspredning i urbane miljøer.

Referanser

- [1] Kollegiet for brannfaglig terminologi (KBT), «Faguttrykk,» Datamann AS, [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp>. [Funnet 2019].
- [2] Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), «§ 11-6. Tiltak mot brannspredning mellom byggverk,» i *Veiledning til Byggteknisk forskrift (VTEK17)*, Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), 2017.
- [3] Store norske leksikon (SNL), «Store norske leksikon,» [Internett]. Available: <https://snl.no>. [Funnet 2019].
- [4] Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), «§ 1-3. Definisjoner,» i *Veiledning til Byggteknisk forskrift (VTEK17)*, Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), 2017.
- [5] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, «Kapittel 11. Sikkerhet ved brann (§§ 11-1 - 11-17),» i *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift / TEK17)*, Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2017.
- [6] Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), «Kapittel 11. Sikkerhet ved brann (§§ 11-1 - 11-17),» i *Veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK17)*, Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), 2017.
- [7] K. E. Larsen og H. Arnesen, «614.014 - Bygningslovgivning og byggebestemmelser fra første halvdel av 1800-tallet til 1930,» i *Byggforskserien*, SINTEF Byggforsk, 2017.
- [8] H. Fiskaa, «Med lov skal land byggast - Bygningsloven av 1965 - planleggingas "grunnlov" i Norge,» *Kart og Plan*, vol. 74, nr. 1, pp. 32-45, 2014.
- [9] «§ 75,» i *Lov om bygningsvesenet*, LOV-1924-02-22 nr 0000 red., Kristiania, 1924.

-
- [10] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, «§ 29-4. Byggverkets plassering, høyde og avstand fra nabogrense,» i *Lov om planlegging og byggesaksbehandling (Plan- og bygningsloven - PBL)*, Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2008.
- [11] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, «§ 11-6. Tiltak mot brannspredning mellom byggverk,» i *Byggteknisk forskrift (TEK17)*, Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2017.
- [12] A. Steen-Hansen, A. G. Bøe, K. Hox, J. P. S. Mikalsen og K. Storesund, «Hva kan vi lære av brannen i Lærdal i januar 2014? Vurdering av brannspredningen,» SP Fire Research AS, Trondheim, 2014.
- [13] M. J. Gollner, R. Hakes, S. Caton og K. Kohler, «Pathways for Building Fire Spread at the Wildland Urban Interface, Final report,» Fire Protection Research Foundation, Quincy, Massachusetts, 2015.
- [14] J. Johnston, «Heat Transfer - The Basics,» Roaster Projects, 8 Januar 2010. [Internett]. Available: <http://www.roasterproject.com/2010/01/heat-transfer-the-basics/>. [Funnet 24 Mai 2020].
- [15] O. A. Ezekoye, «Conduction of Heat in Solids,» i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*, New York, Springer, 2016, pp. 25-52. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_2.
- [16] A. Atreya, «Convection Heat Transfer,» i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*, New York, Springer, 2016, pp. 53-101. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_3.
- [17] B. Y. Lattimer, «Heat Transfer from Fires to Surfaces,» i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*, New York, Springer, 2016, pp. 745-798. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_25.
- [18] D. J. O'Connor, «The Building Envelope: Fire Spread, Construction Features and Loss Examples,» i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*, New York, Springer, 2016, pp. 3242-3282. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_86.
-

-
- [19] A. Simeoni, «Wildland Fires,» i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*, New York, Springer, 2016, pp. 3283-3302. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_87.
- [20] C. Lautenberger, «Radiation Heat Transfer,» i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*, New York, Springer, 2016, pp. 102-137. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_4.
- [21] B. Karlsson og J. G. Quintiere, *Enclosure Fire Dynamics*, Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 2000. ISBN 0-8493-1300-7.
- [22] D. Drysdale, *An Introduction to Fire Dynamics*, Chichester: John Wiley & Sons Ltd, Third Edition - 2011. ISBN 978-0-470-31903-1.
- [23] E. Carlsson, *External fire spread to adjoining buildings - A review of fire safety design guidance and related research*, Lund: Lund University - Department of Fire Safety Engineering, 1999.
- [24] J. R. Howell, «A catalog of radiation heat transfer configuration factors,» [Internett]. Available: <http://www.thermalradiation.net/intro.html>. [Funnet 25 Mai 2020].
- [25] K. Himoto og T. Tanaka, «Physics-based Modeling of Fire Spread in Densely-built Urban Area and its Application to Risk Assessment,» *Monografías de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza*, vol. 34, pp. 87-104, 2010.
- [26] J. Torero, «Flaming Ignition of Solid Fuels,» i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*, New York, Springer, 2016, pp. 633-661. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_21.
- [27] B. C. Hagen, *Grunnleggende brannteknikk*, 2014.
- [28] B. G. Olsø og K. L. Friquin, «520.310 - Brannspredning via fasader,» i *Byggforskserien*, SINTEF Byggforsk, 2019.
-

-
- [29] V. Babrauskas, «Firebrands and Embers,» i *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*, Springer International Publishing AG 2018, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_3-1.
- [30] H.-H. Wang, «Analysis on Downwind Distribution of Firebrands Sourced from A Wildland Fire,» *Fire Technology*, vol. 47, pp. 321-340, 2011. DOI: 10.1007/s10694-009-0134-4.
- [31] S. Suzuki, «Structure Firebrand Attack,» i *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*, Springer Nature Switzerland AG 2018, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_5-1.
- [32] S. L. Manzello og S. Suzuki, «Experimental investigation of wood decking assemblies exposed to firebrand showers,» *Fire Safety Journal*, vol. 92, pp. 122-131, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.019>.
- [33] S. L. Manzello, «Firebrand Processes in Wildland Fires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires,» i *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*, Springer Nature Switzerland AG 2019, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_261-1.
- [34] J. L. Urban og A. C. Fernandez-Pello, «Ignition,» i *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_61-1.
- [35] Securo, «Brannskallsikring,» Securo, [Internett]. Available: <https://seculo.no/brannskallsikring/>. [Funnet 18 Februar 2020].
- [36] G. Jensen, *prNS 3912 Utvendig brannbeskyttelse av bygninger - Planlegging og verifikasjon (Presentasjon)*, FBB Forum for bygningsmessige brannvern, 7. november 2019.
- [37] M. J. Gollner, «Ignition-Resistant Communities,» i *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*, Springer Nature Switzerland AG 2020, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_227-1.
-

-
- [38] A. Spets, «321.077 - Brannteknisk prosjektering. Områdeplanlegging,» i *Byggforskserien*, SINTEF Byggforsk, 2005.
- [39] A. Steen-Hansen, «700.620 - Brannsikring av eldre, tett trehusbebyggelse,» i *Byggforskserien*, SINTEF Byggforsk, 2007.
- [40] National Fire Protection Association (NFPA), NFPA 80A Recommended Practice for Protection of Buildings from Exterior Fire Exposures, Quincy, Massachusetts, USA: NFPA, 2017 Edition.
- [41] Standard Norge, SN-INSTA/TS 950:2014 Analytisk brannteknisk prosjektering - Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk., Standard Norge, 2014.
- [42] D. L. Simms og D. Hird, «On the pilot ignition of materials by radiation,» Joint fire research organization F.R. Note No. 365/1958, Boreham Wood, England, 1958.
- [43] D. L. Simms, «On the pilot ignition of wood by radiation,» Joint fire research organization F.R. Note No. 496/1962, Boreham Wood, England, 1962.
- [44] D. L. Simms og M. Law, «The ignition of wet and dry wood by radiation,» Joint fire research organization F.R. Note No. 586, Boreham Wood, England, 1965.
- [45] W. E. Muir, E. B. Moysey og W. A. Scott, «Ignition of some building materials by radiation,» *Canadian Agricultural Engineering*, pp. 74-76, 1967.
- [46] J. Björnfot, «Skydd mot brannspridning mellan småhus,» Boverket, Karlskrona, 2008.
- [47] S. Nazaré, B. Kandola og A. R. Horrocks, «Use of Cone Calorimetry to Quantify the Burning of Hazard of Apparel Fabrics,» *Fire and Materials*, vol. 26, pp. 191-199, 2002. DOI: 10.1002/fam.796.
- [48] J. D. Cohen, «Structure Ignition Assessment Model (SIAM),» *The Biswell Symposium: Fire Issues and Solutions in Urban Interface and Wildland Ecosystems. Concurrent session II*, pp. 85-92, USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-158. 1995.
-

-
- [49] K. Harada, A. Enomoto, K. Uede og T. Wakamatsu, «An Experimental Study on Glass Cracking and Fallout by Radiant Heat Exposure,» *Fire Safety Science* 6, pp. 1063-1074, 2000. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.6-1063.
- [50] Y. Wang, K. Li, Y. Su, W. Lu, Q. Wang, J. Sun, L. He og K. M. Liew, «Determination of critical breakage conditions for double glazing in fire,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 111, pp. 20-29, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.079>.
- [51] G. W. Shorter, J. H. McGuire, N. B. Hutcheon og R. F. Legget, «The St. Lawrence burns,» National Research Council of Canada, Division of Building Research, Research Paper No. 98 (Reprinted from Quarterly of the National Fire Protection Association, Vol. 53, No. 4, April 1960), Ottawa, Canada, 1960.
- [52] I. Tsukagoshi, «Measurement of radiative heat emission from wood frame building in fire,» *Fire Science & Technology*, vol. 8, nr. 1, pp. 9-13, 1988.
- [53] H. Cheng og G. V. Hadjisophocleous, «Experimental study and modeling of radiation from compartment fires to adjacent buildings,» *Fire Safety Journal*, vol. 53, pp. 43-62, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.06.005>.
- [54] R. Chitty og T. Lennon, «Work stream 6 - Space separation,» i *Compartment sizes, resistance to fire and fire safety project*, Department for Communities and Local Government Final Work Stream Report: BD 2887, BRE (Building Research Establishment), 2015.
- [55] R. Chitty, *External fire spread and building separation distances*, BRE - BRE Fire Conference 2015, 11. jun. 2015.
- [56] K. Himoto, M. Shinohara, A. Sekizawa, K.-i. Takanashi og H. Saiki, «A field experiment on fire spread within a group of model houses,» *Fire Safety Journal*, vol. 96, pp. 105-114, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.01.003>.
-

-
- [57] J. H. McGuire, «Spatial separation of buildings,» National Research Council of Canada, Division of Building Research, Internal Report No. 187, Ottawa, Canada, 1959.
- [58] G. W. Shorther og J. H. McGuire, «St. Lawrence burns: Summary report,» National Research Council of Canada, Division of Building Research, Report No. 158, Ottawa, Canada, 1959. DOI: <https://doi.org/10.4224/20338053>.
- [59] I. Tsukagoshi og E. Itoigawa, «External Radiation at a Full Scale Fire Experiment,» *Fire Safety Science 1*, pp. 901-909, 1986. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.1-901.
- [60] P. A. Bowditch, «House fire spread, an investigation - Gulgong NSW,» CSIRO Manufacturing and Infrastructure Technology, Highett, Victoria, Australia, Mars 2006.
- [61] D. Pesic, D. Zigar, M. Raos og I. Anghel, «Simulation of fire spread between residential buildings regarding safe separation distance,» *Tehnicki Vjesnik*, vol. 24, nr. 4, pp. 1137-1145, 2017.
- [62] J. P. Stensaas, «Varmgang i elektrisk materiell og utstyr som tennkilde i bygninger,» SINTEF NBL AS, Trondheim, 2007.
- [63] V. Babrauskas, «Ignition of Wood: A Review of the State of the Art,» *Journal of Fire Protection Engineering*, vol. 12, pp. 163-189, 2002. DOI: 10.1106/104239102028711.
- [64] M. J. Spearpoint og J. G. Quintiere, «Predicting the piloted ignition of wood in the cone calorimeter using an integral model - effect of species, grain orientation and heat flux,» *Fire Safety Journal*, vol. 36, pp. 391-415, 2001.
- [65] A. Atreya og M. Abu-Zaid, «Effect of Environmental Variables on Piloted Ignition,» *Fire Safety Science 3*, pp. 177-186, 1991. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.3-177.
- [66] B. Moghtaderi, V. Novozhilov, D. F. Fletcher og J. H. Kent, «A New Correlation for Bench-scale Piloted Ignition Data of Wood,» *Fire Safety Journal*, vol. 29, nr. 1, pp. 41-59, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(97\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(97)00004-0).
-

-
- [67] D. Thomson, P. Currie og J. Mai, «A Comparative Analysis of the Use of Different External Fire Spread Calculation Methods,» i *11th conference on performance-based codes and fire safety design methods*, Warsaw, Poland, 2016.
- [68] R. Chitty, *External fire spread: Building separation and boundry distances*, Bracknell: IHS BRE Press, BR 187 Second edition - 2014. ISBN 978-1-84806-319-8.
- [69] J. M. W. Clarke, «A review of the building separation requirements of the New Zealand building code acceptable solutions,» University of Canterbury. Fire Engineering Research Report 99/2, Christchurch, New Zealand, 1999.
- [70] Ministry of Business, Innovation & Employment, «C/VM2 - Verification Method: Framework for Fire Safety Design - For New Zealand Building Code Clauses C1-C6 Protection from Fire,» Ministry of Business, Innovation & Employment, Wellington, New Zealand, 2014.
- [71] E. Koo, P. J. Pagni, D. R. Weise og J. P. Woycheese, «Firebrands and spotting ignition in large-scale fires,» *International Journal of Wildland Fire*, vol. 19, pp. 818-843, 2010.
- [72] H. Yoshioka, Y. Hayashi, H. Masuda og T. Noguchi, «Real-Scale Fire Wind Tunnel Experiment on Generation of Firebrands from a House on Fire,» *Fire Science and Technology*, vol. 23, nr. 2, pp. 142-150, 2004.
- [73] S. Suzuki, A. Brown, S. L. Manzello, J. Suzuki og Y. Hayashi, «Firebrands generated from av full-scale structure burning under well-controlled laboratory conditions,» *Fire Safety Journal*, vol. 63, pp. 43-51, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.11.008>.
- [74] S. Suzuki, S. L. Manzello og Y. Hayashi, «The size and mass distribution of firebrands collected from ignited components exposed to wind,» *Proceedings of the Combustion Institute*, vol. 34, nr. 2, pp. 2479-2485, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.proci.2012.06.061>.
-

-
- [75] S. L. Manzello, S. Suzuki og T. Naruse, «Influence of Base Sheating Material on Wind-Driven Firebrand Production During Real-Scale Building Component Combustion,» i *In: G-Y Wu, K-C Tsai, W.K. Chow (eds.) The Proceedings of 11th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology*, AOSFST 2018, Springer, Singapore, 2020, pp. 689-699. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-32-9139-3_50.
- [76] S. Suzuki og S. L. Manzello, «Firebrand production from building components fitted with siding treatments,» *Fire Safety Journal*, vol. 80, pp. 64-70, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2016.01.004>.
- [77] S. L. Manzello, S. Suzuki og T. Naruse, «Quantifying wind-driven firebrand production from roofing assembly combustion,» *Fire and Materials*, vol. 43, pp. 3-7, 2019. DOI: 10.1002/fam.2661.
- [78] A. Zhou, S. L. Quarles og D. R. Weise, «Fire Ember Production from Wildland and Structural Fuels,» Joint Fire Science Program, 2019.
- [79] E. L. Johnsson og A. Maranghides, «Effects of Wind Speed and Angle on Fire Spread along Privacy Fences,» National Institute of Standards and Technology, NIST Technical Note 1894, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.TN.1894>.
- [80] S. Suzuki, E. Johnsson, A. Maranghides og S. L. Manzello, «Ignition of Wood Fencing Assemblies Exposed to Continuous Wind-Driven Firebrand Showers,» *Fire Technology*, vol. 52, pp. 1051-1067, 2016. DOI: 10.1007/s10694-015-0520-z.
- [81] S. Suzuki og S. L. Manzello, «Understanding structure ignition vulnerabilities using mock-up sections of attached wood fencing assemblies,» *Fire and Materials*, vol. 43, pp. 675-684, 2019. DOI: 10.1002/fam.2716.
- [82] S. Suzuki, S. L. Manzello, M. Lage og G. Laing, «Firebrand generation data obtained from a full-scale structure burn,» *International Journal of Wildland Fire*, vol. 21, pp. 961-968, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1071/WF11133>.
-

-
- [83] S. Suzuki og S. L. Manzello, «Characteristics of Firebrands Collected from Actual Urban Fires,» *Fire Technology*, vol. 54, pp. 1533-1546, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0751-x>.
- [84] Y. Ohmiya og T. Iwami, «An investigation on the distribution of fire brands and spot fires due to a hotel fire,» *Fire Science & Technology*, vol. 20, nr. 1, pp. 27-35, 2000.
- [85] H. Huang, R. Ooka, S. Kato, H. Otake og Y. Hayashi, «CFD Simulation of Thermal Plume and Firebrands Scattering in Urban Fire,» *Fire Science and Technology*, vol. 23, nr. 2, pp. 152-163, 2004.
- [86] S. Suzuki og S. L. Manzello, «Investigating effect of wind speeds on structural firebrand generation in laboratory scale experiments,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 130, pp. 135-140, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.10.045>.
- [87] S. L. Manzello, S.-H. Park og T. G. Cleary, «Investigation on the ability of glowing firebrands deposited within crevices to ignite common building materials,» *Fire Safety Journal*, vol. 44, pp. 894-900, 2009. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.05.00.
- [88] S. Suzuki, S. L. Manzello, K. Kagiya, J. Suzuki og Y. Hayashi, «Ignition of Mulch Beds Exposed to Continous Wind-Driven Firebrand Showers,» *Fire Technology*, vol. 51, pp. 905-922, 2015. DOI: 10.1007/s10694-014-0425-2.
- [89] R. S. P. Hakes, H. Salehizadeh, M. J. Weston-Dawkes og M. J. Gollner, «Thermal characterization of firebrand piles,» *Fire Safety Journal*, vol. 104, pp. 34-42, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.10.002>.
- [90] S. S. Wessies, M. K. Chang, K. C. Marr og O. A. Ezekoye, «Experimental and Analytical Characterization of Firebrand Ignition of Home Insulation Materials,» *Fire Technology*, vol. 55, pp. 1027-1056, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00818-8>.
-

-
- [91] S. L. Manzello og S. Suzuki, «Exposing Decking Assemblies to Continuous Wind-Driven Firebrand Showers,» *Fire Safety Science 11*, pp. 1339-1352, 2014. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.11-1339.
- [92] J. L. Urban, J. Song, S. Santamaria og C. Fernandez-Pello, «Ignition of a spot smolder in a moist fuel bed by a firebrand,» *Fire Safety Journal*, vol. 108, pp. 1-10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.102833>.
- [93] S. L. Quarles og M. Sindelar, «Wildfire Ignition Resistant Home Design (WIRHD) Program: Full-scale Testing and Demonstration Final Report,» U.S. Department of Energy (DOE), Office of Scientific and Technical Information (OSTI), 2011. DOI: 10.2172/1032503.
- [94] S. L. Manzello, S.-H. Park, S. Suzuki, J. R. Shields og Y. Hayashi, «Experimental investigation of structure vulnerabilities to firebrand showers,» *Fire Safety Journal*, vol. 46, pp. 568-578, 2011. DOI: 10.1016/j.firesaf.2011.09.003.
- [95] S. Suzuki og S. L. Manzello, «Experimental investigation of firebrand accumulation zones in front of obstacles,» *Fire Safety Journal*, vol. 94, pp. 1-7, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.08.007>.
- [96] S. L. Manzello, S. Suzuki og D. Nii, «Full-Scale Experimental Investigation to Quantify Building Component Ignition Vulnerability from Mulch Beds Attacked by Firebrand Showers,» *Fire Technology*, vol. 53, pp. 535-551, 2017. DOI: 10.1007/s10694-015-0537-3.
- [97] S. L. Manzello, S. Suzuki og Y. Hayashi, «Exposing siding treatments, walls fitted with eaves, and glazing assemblies to firebrand showers,» *Fire Safety Journal*, vol. 50, pp. 25-34, 2012. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.01.006.
- [98] S. L. Manzello, Y. Hayashi, T. Yoneki og Y. Yamamoto, «Quantifying the vulnerabilities of ceramic tile roofing assemblies to ignition during a firebrand attack,» *Fire Safety Journal*, vol. 45, pp. 35-43, 2010. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.09.002.
-

-
- [99] S. L. Manzello, «NIST TN 1794 - The Performance of Concrete Tile and Terracotta Tile Roofing Assemblies Exposed to Wind-Driven Firebrand Showers,» National Institute of Standards and Technology, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.6028/NIST.TN.1794>.
- [100] S. Suzuki, D. Nii og S. L. Manzello, «The performance of wood and tile roofing assemblies exposed to continuous firebrand assault,» *Fire and materials*, vol. 41, pp. 84-96, 2017. DOI: 10.1002/fam.2372.
- [101] S. L. Quarles, «Vulnerability of Vents to Wind-Blown Embers,» Insurance Institute for Business & Home Safety, 2017.
- [102] S. L. Manzello og S. Suzuki, «Influence of board spacing on mitigating wood decking assembly ignition,» *Fire Safety Journal*, vol. 110, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.102913>.
- [103] J. D. Cohen, «Examination of the Home Destruction in Los Alamos Associated with the Cerro Grande Fire July 10, 2000,» USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory, Missoula, Montana, USA, 2000.
- [104] J. D. Cohen og R. D. Stratton, «Home Destruction Examination: Grass Valley Fire,» U.S. Department of Agriculture (USDA), Forest Service, 2008.
- [105] S. Quarles, P. Leschak, R. Cowger, K. Worley, R. Brown og C. Iskovitz, «Lessons Learned from Waldo Canyon,» Fire Adapted Communities Coalition, 2012.
- [106] S. Quarles og E. Smith, «The Combustibility of Landscape Mulches,» University of Nevada Cooperative Extension, 2004.
- [107] iTromsø, «Storbrann i Oslo har spredd seg til leiligheter,» iTromsø, 18 Mai 2008. [Internett]. Available: <https://www.itromso.no/nyhet/article156030.ece>. [Funnet 30 Januar 2020].
-

-
- [108] Aftenposten, «- Plutselig ble det helt mørkt,» Aftenposten, 18 Mai 2008. [Internett]. Available: <https://www.aftenposten.no/osloby/i/JELQj/plutselig-ble-det-helt-moerkt>. [Funnet 30 Januar 2020].
- [109] NRK, «Flere leiligheter totalt utbrente,» NRK, 18 Mai 2008. [Internett]. Available: <https://www.nrk.no/norge/flere-leiligheter-totalt-utbrente-1.5708783>. [Funnet 30 Januar 2020].
- [110] I. H. Kemp, «Burde vært skjermet bedre,» Aftenposten, 19 Mai 2008. [Internett]. Available: <https://www.aftenposten.no/osloby/i/ppx2W/burde-vaert-skjermet-bedre>. [Funnet 29 Mars 2020].
- [111] Y. Shaham og I. Benenson, «Modeling fire spread in cities with non-flammable construction,» *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 31, pp. 1337-1353, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.03.010>.
- [112] H. Yoshioka, T. Iwami og S. Takeya, «Experimental Study on Car Fire with Respect to Urban Fire Spreading,» *Fire Science and Technology*, vol. 37, nr. 1, pp. 17-30, 2018.
- [113] H. Yoshioka, S. Sugahara og M. Tamura, «A study on urban fire spread considering openings,» *AOFST* 5, 2001.
- [114] T. Iwami, Y. Ohmiya, Y. Hayashi, K. Kagiya, W. Takahashi og T. Naruse, «Simulation of City Fire,» *Fire Science and Technology*, vol. 23, nr. 2, pp. 132-140, 2004.
- [115] K. Himoto og T. Tanaka, «A Physically-Based Model for Urban Fire Spread,» *Fire Safety Science* 7, pp. 129-140, 2003. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.7-129.
- [116] K. Himoto og T. Tanaka, «Development and validation of a physics-based urban fire spread model,» *Fire Safety Journal*, vol. 43, pp. 477-494, 2008.
- [117] K. Himoto, Y. Akimoto, A. Hokugo og T. Tanaka, «Risk and Behavior of Fire Spread in a Densely-built Urban Area,» *Fire Safety Science* 9, pp. 267-278, 2008. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.9-267.
-

-
- [118] S. Li og R. A. Davidson, «Parametric study of urban fire spread using an urban fire simulation model with fire department suppression,» *Fire Safety Journal*, vol. 61, pp. 217-225, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.09.017>.
- [119] NFPA, «Preparing homes for wildfire,» NFPA, [Internett]. Available: <https://www.nfpa.org/Public-Education/Fire-causes-and-risks/Wildfire/Preparing-homes-for-wildfire>. [Funnet 23 Mai 2020].
- [120] F. Hedayati, C. Stansell, D. Gorham og S. L. Quarles, «Near-Building Noncombustible Zone,» Insurance Institute for Business & Home Safety, 2018.
- [121] CAL FIRE, «Defensible Space / PRC 4291,» California Department of Forestry and Fire Protection (CAL FIRE), [Internett]. Available: <https://www.fire.ca.gov/programs/communications/defensible-space-prc-4291/>. [Funnet 6 Februar 2020].
- [122] National Fire Protection Association (NFPA), NFPA 1141 Standard for Fire Protection Infrastructure for Land Development in Wildland, Rural, and Suburban Areas, Quincy, Massachusetts, USA: NFPA, 2017 Edition.
- [123] National Fire Protection Association (NFPA), NFPA 1144 Standard for Reducing Structure Ignition Hazards from Wildland Fire, Quincy, Massachusetts, USA: NFPA, 2018 Edition.
- [124] CBSC, «Chapter 7a [SFM]: Materials and construction methods for exterior wildfire exposure,» i *2010 California Building Code, California Code of Regulations, Title 24, Part 2, Volume 1 of 2*, Sacramento, CA, USA, California Building Standards Commission (CBSC), 2010. ISBN 978-1-58001-974-3, pp. 255-261.
- [125] Standard Norge, «SN/K 369 Utvendig brannbeskyttelse av bygninger,» Standard Norge, [Internett]. Available: <https://www.standard.no/standardisering/komiteer/sn/snk-369/>. [Funnet 6 Februar 2020].
-

-
- [126] S. Haram, «Ny standard for utvendig brannsikring av trebygninger,» *Brennaktuelt*, 31 Oktober 2019. [Internett]. Available: <https://brennaktuelt.no/brannbeskyttelse-brannforebyggende-arbeid-brannforebygging/ny-standard-for-utvendig-brannsikring-av-trebygninger/100422>. [Funnet 6 Februar 2020].
- [127] Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), «§ 11-9. Materialer og produkters egenskaper ved brann.» i *Veiledning til Byggeteknisk forskrift (VTEK17)*, Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), 2017.
- [128] A. A. Kristiansen, «Vil plante 100 000 trær i Oslo,» *Dagbladet*, 29 August 2019. [Internett]. Available: <https://www.dagbladet.no/nyheter/vil-plante-100-000-traer-i-oslo/71535613>. [Funnet 29 Mars 2020].
- [129] California Department of Forestry and Fire Protection (CAL FIRE), «Top 20 Largest California Wildfires,» CAL FIRE, [Internett]. Available: https://www.fire.ca.gov/media/5510/top20_acres.pdf. [Funnet 3 Mars 2020].
- [130] California Department of Forestry and Fire Protection (CAL FIRE), «Top 20 Most Destructive California Wildfires,» [Internett]. Available: https://www.fire.ca.gov/media/5511/top20_destruction.pdf. [Funnet 3 Mars 2020].
- [131] California Department of Forestry and Fire Protection (CAL FIRE), «Top 20 Deadliest California Wildfires,» [Internett]. Available: https://www.fire.ca.gov/media/5512/top20_deadliest.pdf. [Funnet 3 Mars 2020].