

Hva kan vi lære av brannen i Lærdal i januar 2014? Vurdering av brannspredningen.

Anne Steen-Hansen, Andreas G. Bøe, Kristian Hox, Ragni F. Mikalsen, Jan P. Stensaas, Karolina Storesund

SP Fire Research AS



Foto: Morten Sortland, Sogn Avis.

Hva kan vi lære av brannen i Lærdal i januar 2014? Vurdering av brannspredningen.

VERSJON 2		DATO 2020-10-15		NØKKELOORD: Brann Sikkerhet Områdebrann Brannspredning Flyvebrann Lærdal
FORFATTERE Anne Steen-Hansen, Andreas G. Bøe, Kristian Hox, Ragni F. Mikalsen, Jan P. Stensaas, Karolina Storesund				
OPPDRAGSGIVER Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap		OPPGRADSGIVERS REF. Morten Støldal		
PROSJEKTNR. 10754720		ANTALLSIDER OG VEDLEGG: 87 sider + 2 vedlegg		
SAMMENDRAG Om kvelden 18. januar 2014 oppsto det en brann i et bolighus Lærdal. Det var kraftig vind, bakken var snøfri, og det hadde vært svært lite nedbør i løpet av januar. Brannen spredte seg i løpet av natten og morgenen til større deler av bebyggelsen i området, og resulterte i et svært stort skadeomfang. Denne rapporten beskriver hvordan og hvorfor brannen spredte seg fra det første huset og videre i bebyggelsen og området omkring. Vi har spesielt forsøkt å identifisere forhold som begrenset brannen, eller som bidro til at den ikke antente hus i "faresonen", enten av forebyggende eller innsatsmessig art. Rapporten gir en rekke anbefalinger om brannbegrensende tiltak i områdebranner basert på analysen av brannen i Lærdal.				
UTARBEIDET AV Anne Steen-Hansen		SIGNATUR		
KONTROLLERT AV Christian Sesseng		SIGNATUR		
GODKJENT AV Nina K. Reitan		SIGNATUR		
RAPPORTNR. SPFR A14109	ISBN 978-82-14-00128-0	GRADERING Åpen	GRADERING DENNE SIDE Åpen	

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
0.1	26.05.2014	Rapport sendt til oppdragsgiver for kommentar
1	20.06.2014	Endelig rapport
2	15.10.2020	Feil i beregning av varmestråling presentert i kapittel 2.3.9 er korrigert.

Innholdsfortegnelse

Forord	5
Sammendrag og anbefalinger	7
Definisjoner	11
1 Innledning	13
1.1 Bakgrunn	13
1.2 Målsetting	13
1.3 Metoder	13
1.3.1 Litteraturstudium	13
1.3.2 Befaring Lærdal	13
1.3.3 Intervjuer	13
1.3.4 Innsamling og gjennomgang av dokumentasjon	13
1.4 Begrensninger	14
1.4.1 Begrensninger i oppgavens innhold	14
1.4.2 Forbehold om begrensninger i resultatene	14
2 Brannspredningsmekanismer	15
2.1 Generelt	15
2.2 Flyvebrann som tennkilde for bygningsbranner	17
2.2.1 Eksperimentelle forsøk med flyvebranner	18
2.2.1.1 Spredning av flyvebranner via en ventil på vegg	18
2.2.1.2 Spredning av flyvebrann via teglsteinstak	19
2.2.1.3 Antennelse av tak med tjærepapp og shingel	21
2.2.1.4 Størrelsesfordeling til flyvebranner	22
2.2.1.5 Betydningen av størrelsen til flyvebranner	24
2.3 Varmestråling	25
2.3.1 Generelt	25
2.3.2 Temperatur i brann	25
2.3.3 Varmestråling fra brann	26
2.3.4 Emissiviteten	27
2.3.5 Flammer fra vindusåpninger	28
2.3.6 Antennelseskriterier	29
2.3.7 Kritisk verdi for synsfaktoren	30
2.3.8 Forskrifter i forskjellige land	31
2.3.9 Beregning av varmemestråling	32
2.4 Brannspredning via vegetasjon	35
2.5 Tilfeldige punktbranner - Spot fires	35
2.6 Virvelbranner	36
2.7 Vindpåvirkning	36
3 Værforhold og fuktighet i trematerialer	38
3.1 Innledning	38
3.2 Luftfuktighet	38
3.3 Fuktighet i trevirke	39
3.4 Vindens påvirkning i tørkeprosessen	39
3.5 Likevektsfuktighet i trevirke	40
3.5.1 Innendørs likevektsfuktighet i trevirke	41
3.5.2 Utendørs likevektsfuktighet i trevirke	41
3.6 Antennelighet til malt trekledning	42
3.7 Fuktighet og brannegenskaper til trevirke	43

4	Slokkemidler og slökkemetoder	44
4.1	Vann	44
4.2	Skum	44
4.3	Brannengel	45
4.4	Kastelenge for slökkevann	45
5	Bygningsmessige tiltak for beskyttelse mot områdebrann	48
6	Enkle brannsikringstiltak for huseiere	50
7	Beskrivelse av områdebrannen i Lærdal	52
7.1	Befaring etter brannen	52
7.2	Vitnebeskrivelser, dokumenter, foto og film	54
7.2.1	Innsamlet materiale	54
7.2.2	Analysemetoder	54
7.3	Resultater fra gjennomgangen	56
7.3.1	Værforholdene før og under brannen	56
7.3.2	Brannspredningen i tid og rom	56
7.3.3	Skadeomfang	67
8	Diskusjon	68
8.1	Vurdering av metode	68
8.2	Brannspredning med flyvebranner	68
8.3	Brannspredning via vegetasjon	69
8.4	Brannspredningen gjennom brannforløpet	70
8.5	Forebyggende og brannhindrende tiltak	73
8.6	Hadde værforholdene før brannen betydning?	76
8.7	Hadde bruken av slokkeskum betydning?	78
9	Konklusjoner og anbefalinger	80
9.1	Brannspredningsmekanismer	80
9.2	Forebyggende og brannbegrensende tiltak	80
9.2.1	Kostnader og nytteeffekt	80
9.2.2	Brannbegrensende innsats	80
9.2.3	Anbefalte tiltak for huseiere	81
9.2.4	Aktive tiltak	81
9.3	Slokkemidler og slökketeknikker	82
9.4	Planlegging	82
9.5	Behov for mer forskning	82
9.5.1	Endret brannrisiko?	82
9.5.2	Dagens kunnskapsstatus – nytteverdi for norske forhold?	83
9.5.3	Effekt av ulike brannsikringstiltak	83
	Referanser	84

Vedlegg A: Kart over brannspredningen i Lærdal i tid og rom

Vedlegg B: Kart over mulige brannspredningsmekanismer i Lærdal

Forord

Denne analysen av hvordan og hvorfor den store brannen i Lærdal spredte seg i området er gjennomført i løpet av våren 2014. Vi har lyst til å takke alle dem som har bidratt med nyttig informasjon, dokumenter og med faglig ekspertise til arbeidet vårt. Spesielt vil vi takke ansatte i Lærdal kommune for velvillig bistand og tålmodighet.

Vi vil også rette en takk til journalister og fotografer som har gitt oss tilgang til bilder og video fra brannen, og som har bistått med informasjon om hvor og når bildene er tatt. Dette har vært svært viktige biter i det store puslespillet vårt, og har hjulpet oss til å se hvordan og hvorfor brannen kunne spre seg som den gjorde.

Bilder i rapporten er gjengitt med tillatelse fra de som innehar rettighetene til bildene. Bildematerialet som presenteres skal ikke gjenbrukes uten tillatelse fra de som er merket som fotograf av bildet.

Sammendrag og anbefalinger

Om kvelden 18. januar 2014 oppsto det en brann i et bolighus Lærdal. Det var kraftig vind, bakken var snøfri, og det hadde vært svært lite nedbør i løpet av januar. Brannen spredte seg i løpet av natten og morgenen til større deler av bebyggelsen i området, og resulterte i et svært stort skadeomfang.

Målsetting

Målsettingen med prosjektet har vært å beskrive brannspredningen fra det første huset og videre i bebyggelsen og området omkring. Vi har spesielt forsøkt å identifisere forhold som begrenset brannen, eller som bidro til at den ikke antente hus i ”faresonen”, enten av forebyggende eller innsatsmessig art.

Metoder

Flere metoder er anvendt i prosjektet:

- **Litteraturstudie.** Det er gjennomført en begrenset gjennomgang av relevant faglitteratur som gir en oversikt over kunnskapsstatus innenfor brannspredning i trehusbebyggelse.
- **Befaring** på brannstedet ga oss et inntrykk av området, og hendelsen ble beskrevet av personer som var sentrale i forbindelse med innsatsen.
- **Intervjuer.** Det er gjennomført et begrenset antall av samtaler og intervjuer med vitner som opplevde brannen på nært hold.
- **Analyse av film- og bildemateriale** for å identifisere hvor og når det brant.

Resultater

Det er utarbeidet følgende kart som viser brannspredningen i Lærdal:

- Kart over brannspredningen i Lærdal i tid og rom (se Vedlegg A).
- Kart over mulige brannspredningsmekanismer i Lærdal (se Vedlegg B).

Det er mye å lære ved analyse av en slik hendelse som dette. Nedenfor har vi kort beskrevet funnene innenfor ulike tema.

Brannspredningsmekanismer

Flere forhold førte til at brannen i Lærdal spredte seg så raskt:

- Sterk vind
- Tørt vær
- Tørre materialer
- Tørr vegetasjon

Den viktigste brannspredningsmekanismen var via flyvebranner, men stråling og direkte flammepåvirkning har også medvirket til brannspredningen. Det var flere tilfeller av tilfeldige punktbranner, der branner startet langt unna stedet der hovedbrannen pågikk.

Effekten av brannbegrensende tiltak

Brannvesenets innsats var avgjørende, sammen med innsatsen fra alle de andre organisasjonene og frivillige som deltok i slokkearbeidet. Eksempler på innsats som var med på å begrense brannspredningen er:

- Brannvesenets generelle slokking og brannbegrensing med vann.
- Brannvesenets bruk av slokkespyd i ett av husene.
- Avinors påføring av slokkeskum på uskadete bygninger.
- Bøndenes bruk av gyllevogner for å fukte marken.
- Frivilliges innsats med å rake vekk glør, slokke småbranner, fukte hus og hage etc.

Det er ikke mulig å peke ut ett enkelttiltak blant disse som hadde større effekt enn de andre, alle var sannsynligvis viktige faktorer som var med på å begrense brannspredningen. Det er registrert tilfeller der brannen har hoppet over bygninger der man har brukt ett eller flere brannbegrensende tiltak, og startet brann i hus lenger unna hovedbrannen.

Anbefalinger

Tiltak for huseiere

For å sikre huset sitt mot brann utenfra, er det flere tiltak som huseiere kan gjennomføre. Enkle tiltak kan begrense mulighetene for at flyvebranner og glør kan få feste i konstruksjonen, eller at de trenger inn i bygningen. Eksempler er jevnlig vedlikehold av kledning for å unngå sprekker, og å dekke ventiler og andre lufteåpninger med småmasket netting.

Et annet tiltak er å holde det ryddig rundt huset, og unngå vegetasjon inntil veggen. Dermed begrenser man mulighetene for at en brann kan spre seg til huset langs bakken.

Andre tiltak er mer omfattende, som for eksempel oppgradering av takkonstruksjon og kledning, og kan vurderes ved nybygging og ombygging av hus.

Aktive tiltak

Beskyttelse av uskadete hus mot mulig brannpåvirkning ved fukting med vann, påføring av slokkeskum eller brannhemmende gel vil i mange tilfeller være et godt brannbegrensende tiltak.

Privatpersoner og frivillige kan gjøre en viktig brannbegrensende innsats i en områdebrann, men det er viktig at en slik innsats er planlagt, og at de involverte har fått nødvendig opplæring og instruks. Planer for involvering av privatpersoner må beskrive hvem som skal delta, hva de skal bidra med, og når det skal skje. Ansvarsforhold må være avklart.

Slokkemidler og slokketeknikker

Eksempler på slokkemidler og slokketeknikker som trolig har begrenset brannen i Lærdal:

- **Tungt skum.** I denne brannen er det registrert at brannbeskyttelse av uskadde hus med tungt slokkeskum var et vellykket tiltak som berget bebyggelse. De skumlagte husene ble beskyttet både mot direkte branneksposering fra nabohus, og mot antennelse ved flyvebranner.
- **En vannvegg** ble anvendt for å beskytte hus mot branneksposering. I de to rapporterte tilfellene der dette ble brukt, ble hus berget fra brannen.
- **Slokkespyd.** Det er også rapportert om bruk av slokkespyd som berget hus fra brannen.
- Bruk av **gyllevogner.** Bønder i Lærdal bisto med gyllevogner i slokkearbeidet, hovedsakelig til fukting av bakken rundt husene, og etter hvert til slokking av glohauger etter nedbrente hus.

Planlegging

Det er viktig å planlegge forebyggende og brannbegrensende tiltak i trehusbebyggelse. *Veileder i bybrannsikring*, utgitt av DSB og Riksantikvaren, beskriver hvordan man går frem for å utarbeide en brannsikringsplan for verneverdig tett trehusbebyggelse, og hvilke elementer planen bør inneholde. Denne veilederen er også relevant for brannsikring av trehusbebyggelse der det ikke er snakk om verneverdige bygninger.

Behov for mer brannforskning

Vi ser at det er et tydelig behov for mer kunnskap om områdebranner, og det er flere tema der vi anbefaler at det satses på mer forskning:

- Er risikoen for områdebrann i Norge endret som følge av samfunnsmessige endringer og klimaendringer?
- Hvor stor kan branneksposeringen bli fra et hus i full fyr?
- Hva er kunnskapsstatus med hensyn til forebygging og bekjempelse av områdebranner i andre land? Er kunnskapen relevant for norske forhold?
- Effekt av ulike brannsikringstiltak i en områdebrann bør undersøkes:
 - Enkle sikringstiltak for nye og eksisterende bygninger.
 - Stasjonære slokkesystemer.
 - Ulike slokkemidler og slokketeknikker.
- Utvikling av kostnadseffektive slokkemidler og brannsikringstiltak.

Definisjoner

AFFF	Aqueous Film Forming Foam (slokkeskum)
Brannsmekker	Metallvifte på et skaft beregnet til å slukke gras- og skogbranner. *)
Brannspøyle	Oppadstigende blanding av flammer, røyk og luft fra en brann.
CAFS	Compressed Air Foam Systems (slokkesystem med skum hvor luft blandes inn før skummet sendes ut i slangen)
Flammekast	Vindbåret flamme inklusive flammer som følge av at uforbrent varm gass trenger ut av røyksøylen, møter ren luft og antennes.
Flyvebrann	Varme partikler som transporteres i luften og faller ned og antenner brennbare materialer. Antennelse av brann på annet sted enn primærbrannområdet, som følge av at et varmt nok materiale med tilstrekkelig energi forflytter seg fra primærbrannen. Kommentar: Kreftene som flytter partiklene kan være brannens termiske krefter, vind, annen strømming av røyk eller gasser eller tyngdekraften. Kan opptre både utvendig og inne i bygninger. *)
Fredete bygninger eller kulturmiljøer:	Omfatter også administrativt fredete statlige og kirkelige eiendommer. Disse håndteres etter Kulturminneloven av fylkeskommunene eller av Riksantikvaren. En komplett oversikt over hvilke bygninger som er fredet finnes i kulturminnedatabasen <i>Askeladden</i> (http://askeladden.ra.no/sok/). **)
Glo	Partikkel eller legeme som lyser fordi det er varmt. *)
Gnist	Liten glødende og svevende partikkel av et fast stoff som lyser på grunn av varme. *)
Gyllevogn	Landbruksmaskin med tank som vanligvis brukes til å spre flytende gjødsel. Anvendes også i slukking av skogbranner.
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. *)
Områdebrann	Brann der mer enn 20 hus kan gå tapt. **)
OSB	Oriented Strand Board, bygningsplate laget av store trespon.
Pilotantennelse	Antennelse av brennbare gasser eller damper ved en sekundær energikilde, slik som en flamme, gnist, elektrisk lysbue eller glødende metalltråd. *)
Spontanantennelse	Antennelse av et stoff med tilførsel av varme utenfra, men uten tennkilde. *)
Synsfaktor	Den andelen av varmestrålingen som forlater ett objekt og som treffer ett annet objekt. Kommentar: Dette begrepet brukes for eksempel ved beregning av strålevarmepåkjennning ved brann. *)
Tennkilde	Energikilde som starter forbrenning. *)

*) Kilde: Kollegiet for brannfaglig terminologi (KBT) [1].

**) Kilde: Bybrannsikring. Veileder [2].

***) Kilde: Introduction to Wildland/Urban Interface Firefighting for the Structural Company Officer [3]

Tett verneverdig trehusbebyggelse:	Område som er listeført av Riksantikvaren og DSB på grunnlag av følgende kriterier: 1. Det er gjennomgående trehus i området. 2. Bebyggelsen er ansett som verneverdig. 3. Bebyggelsen skal hovedsakelig være bygget før 1900-tallet, men kan også omfatte nyere trebebyggelse med spesielle kulturhistoriske verdier. 4. Et område består normalt av minst 20 bygninger. 5. Avstanden mellom bygningene er overveiende mindre enn 8 meter. Vindforhold og topografi som kan ha betydning for brannspredning er vurdert spesielt i forbindelse med registreringen av aktuelle områder. **)
TFT-rør	TFT = <i>Task Force Tips Ultimatic</i> (også kalt <i>TFT Ultimatic</i>). Spesiell spraydyse til brannslukking.
Tilfeldig punktbrann	Brann startet ved flyvebrann utenfor området der hovedbrannen kan spre brann ved direkte antennelse.
Vannvegg	Barriere av vann som dannes ved å kople et spesialdesignet utstyr på brannslangen.
Verneverdige bygninger eller kulturmiljøer:	Bygninger eller områder som noen mener det er verdt å verne, frede eller bevare. Denne «noen» vil av og til være en kvalifisert instans, som for eksempel en byantikvar. Det er ingen formell juridisk beskyttelse knyttet til begrepet «verneverdige bygninger». **)
Virvelbrann	Virvlende søyle av oppadstigende luft som transporterer røyk, brannrester og flammer høyt til værs mens søylen beveger seg. Størrelsen på virvelbranner kan variere fra noen få centimeter i diameter til små tornadoer. ***)
WUI	Wildland-Urban Interface. Brann i grenseområdet mellom by/tettbygd strøk og skog/utmark.

*) Kilde: Kollegiet for brannfaglig terminologi (KBT) [1].

**) Kilde: Bybrannsikring. Veileder [2].

***) Kilde: Introduction to Wildland/Urban Interface Firefighting for the Structural Company Officer [3]

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Om kvelden 18. januar 2014 oppsto det en brann i et bolighus Lærdal. Det var kraftig vind, bakken var snøfri, og det hadde vært svært lite nedbør i løpet av januar. Brannen spredte seg i løpet av natten og morgenen til større deler av bebyggelsen i området, og resulterte i et svært stort skadeomfang.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) evaluerer denne brannen, og har bedt SP Fire Research AS om bistand til å kartlegge hendelsesforløpet, spesielt med tanke på brannspredningen. Oppdraget er finansiert av midler gjennom forskningsavtalen mellom DSB og SP Fire Research AS.

1.2 Målsetting

Målsettingen med projektet har vært å beskrive brannspredningen fra det første huset og videre i bebyggelsen og området omkring. Prosjektet skulle også forsøke å identifisere forhold som begrenset brannen, eller som bidro til at den ikke antente hus i "faresonen", enten av forebyggende eller innsatsmessig art.

Hensikten har vært å oppnå læring, både om mekanismer for brannspredning og om tiltak som kan forhindre eller begrense skadeomfanget i en områdebrann.

1.3 Metoder

1.3.1 Litteraturstudium

Det er gjennomført en begrenset gjennomgang av relevant faglitteratur som gir oversikt over kunnskapsstatus innenfor brannspredning i trehusbebyggelse.

1.3.2 Befaring Lærdal

10. april 2014 ble det gjennomført en befaring i Lærdal sammen med DSB. Ettersom dette var nærmere 12 uker etter brannen, var størstedelen av brannrestene ryddet bort, og mye av brannskadene på hus utbedret. Vi fikk allikevel et godt inntrykk av området, og sentrale personer ga oss en beskrivelse av hendelsen.

1.3.3 Intervjuer

Det er gjennomført et begrenset antall av samtaler og intervjuer med vitner som opplevde brannen på nært hold. Samtalene ble gjennomført per telefon og i videomøter.

1.3.4 Innsamling og gjennomgang av dokumentasjon

Det ble gjort et søk på internett etter informasjon fra brannen. Kilder for relevant foto- og filmmateriale for vår oppgave ble deretter kontaktet, og vi fikk tilgang til å bruke mye av denne informasjonen. Det innsamlete materialet ble gjennomgått for å bestemme hvor bildet eller videoen var tatt, og hvilke hus som vises i bildet. Fotografen ble kontaktet i de tilfellene der det var usikkerhet.

Kart over området med angivelse av relevant informasjon om brannen ble innhentet fra Lærdal kommune.

1.4 Begrensninger

1.4.1 Begrensninger i oppgavens innhold

Oppgaven vår har vært å undersøke hvordan og hvorfor brannen spredte seg i bebyggelsen på Lærdalsøyri natten mellom 18. og 19. januar 2014. Vi har også undersøkt hvilke tiltak og hendelser som påvirket brannspredningen, og gjort en vurdering av tiltak som kunne ha begrenset skadene.

Vi har ikke vurdert innsats fra brann- og redningstjenesten eller fra andre organisasjoner og enkeltpersoner som bidro i arbeidet med brannbekjempelsen, ut over enkelte tilfeller der vi mener det er relevant for målsettingen med oppgaven vår.

Vi har ikke undersøkt kost-nytte-effektiviteten til de ulike tiltakene som er vurdert.

1.4.2 Forbehold om begrensninger i resultatene

Oppdraget har hatt en svært kort tidsramme, og er gjennomført i løpet av knappe to måneder. Dette har begrenset mulighetene for innsamling og vurdering av informasjon om brannen og av faglitteratur innenfor temaet.

Oppdraget ble påbegynt 2,5 måneder etter brannen, og vi må derfor ta forbehold om at vitnenes beskrivelser kan ha blitt påvirket etter så lang tid. Befaringen vår ble gjennomført 10. april, og da var de aller fleste rester etter brannen ryddet bort, og brannskader på hus utbedret. Det er derfor svært begrenset hvor mye spor etter brannen vi har observert med egne øyne.

Vi har ingen egne observasjoner fra brannen eller fra brannstedet like etter hendelsen, og våre vurderinger er derfor en tolkning av vitneutsagn, bildemateriale og annen tilgjengelig informasjon.

2 Brannspredningsmekanismer

2.1 Generelt

En brann kan spre seg mellom bygninger ved flere mekanismer, som enten kan opptre alene eller i kombinasjon med hverandre:

1. Flyvebrann
2. Varmestråling
3. Direkte flammekontakt
 - a) Flammekontakt fra bygning i brann
 - b) Flammekontakt via vegetasjon

Flyvebrann

Databasen til Kollegiet for brannfaglig terminologi (KBT) definerer flyvebrann som [1]:

"Varme partikler som transporteres i luften og faller ned og antenner brennbare materialer. Antennelse av brann på annet sted enn primærbrannområdet, som følge av at et varmt nok materiale med tilstrekkelig energi forflytter seg fra primærbrannen"

Videre står følgende kommentar:

"Kreftene som flytter partiklene kan være brannens termiske krefter, vind, annen strømning av røyk eller gasser eller tyngdekraften. Kan opptre både utvendig og inne i bygninger".

Det er dokumentert at skogbranner kan spre brann over så store avstander som 20 km ved flyvebranner [4].

En brann i en bolig vil vanligvis ikke medføre brannspredning gjennom varmemestråling over større avstander enn 20 m. Antennelse av nabobygninger ved flyvebrann kan altså skje over vesentlig større avstander enn ved varmemestråling. Det er derfor ikke fornuftig å betrakte kun avstander mellom bygninger som den eneste metoden for å unngå brannspredning i bebyggelse. Regler for valg av materialer til utvendig kledning og tak på bygninger, kan redusere mulighetene for slik brannspredning.

Antennelse ved varmemestråling

Antennelse ved varmemestråling kan skje ved betydelig større avstander enn rekkevidden til flammer ut av vinduene i en bygning i brann. Antatt varmemestråling fra en bygningsbrann vil som regel være bestemmende for nødvendig avstand mellom bygninger i tettbygde områder. Hvis man skal ta flyvebrann med i vurderingen, blir disse avstandene upraktisk store.

Materialer som eksponeres for varmemestråling kan antennes som resultat av følgende to prinsipielt forskjellige antennelsesmekanismer:

1. *Spontanantennelse* skjer utelukkende på grunn av at materialet eksponeres for varmemestråling. For byggevarer i tre med normalt fuktinnhold vil spontanantennelse skje relativt raskt ved en eksponering for varmemestråling på 30 - 33 kW/m² [5].
2. Ved *Pilotantennelse* forårsaker varmemestråling i kombinasjon med en tennkilde (flamme, glo eller gnist) antennelse av materialet. For vanlig trevirke skjer pilotantennelse vanligvis ved en eksponering for varmemestråling på 12-18 kW/m². 12,5 kW/m² er en verdi som ofte nevnes. Denne verdien er imidlertid

eksperimentelt bestemt og kan være noe lav i virkeligheten, bortsett fra ved pyrofort trevirke. Til praktiske anvendelser anbefales verdier for å anslå varmestrålingseksposering som fører til pilotantennelse av tre i området 15-18 kW/m² [6].

Pilotantennelse kan altså skje ved en vesentlig lavere varmeeksponering enn spontanantennelse. Nødvendige avstander mellom bygninger blir beregnet på grunnlag av at pilotantennelse er mulig, og medfører at disse blir vesentlig større enn om brannspredning hadde skjedd ved spontanantennelse.

Antennelse ved direkte flammekontakt

a. Flammekontakt fra bygning i brann

Når temperaturen på røykgassene i et rom der det brenner blir 5-600 °C, er varmestrålingen så høy at rommet blir overtent. Temperaturen har fra dette tidspunktet nærmest en eksponentiell vekst. Ikke lenge etter vil vinduene i brannrommet knuses, og flammer vil stå ut av vinduene. Dersom avstanden fra vinduene til nabohuset er mindre enn ca. 2 m, kan brannen spre seg ved at flammene kommer i direkte kontakt med nabohuset. Når et hus står i full fyr, vil brannen kunne spre seg via direkte flammekontakt over større avstander enn 2 m, og vind vil også påvirke hvor langt flammene rekker. Brannspredning via varme røykgasser vil bare finne sted hvis temperaturen på røykgassene er flere hundre grader celsius.

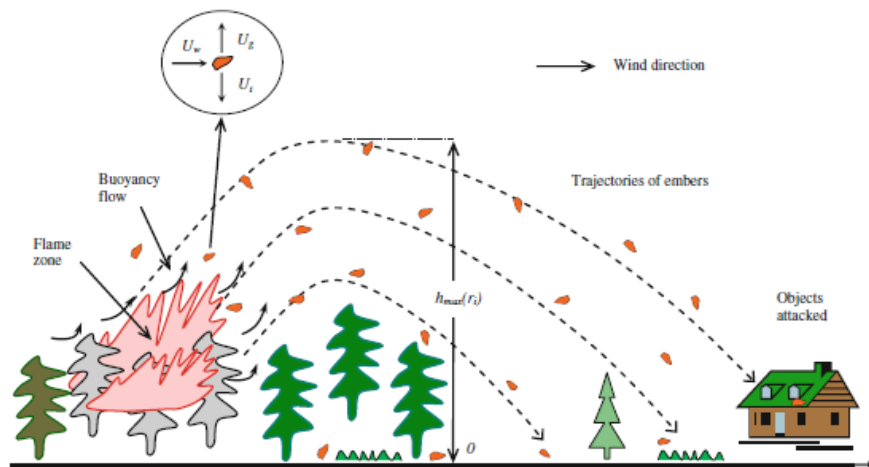
b. Flammekontakt via vegetasjon

Brann i bebygde områder kan også spre seg via gress, busker og trær mellom brannbygningen og nabobygningen. Denne spredningsveien vil bli diskutert nærmere i avsnitt 2.4.

2.2 Flyvebrann som tennkilde for bygningsbranner

Gnister, glør og andre former for flyvebrann blir produsert når bygninger, trær og vegetasjon brenner. Slike partikler kan bli ført med luftstrømmer, og kan dermed bli transportert over store avstander. En flyvebrann kan lande på brennbare materialer på en bygning, og medføre antennelse. Det er viktig å forstå hvordan flyvebranner er i stand til å antenne bygninger over store avstander for å kunne bekjempe slike branner effektivt. Spesielt er det viktig å studere i hvilken grad flyvebranner er i stand til å antenne forskjellige bygningsmaterialer og trenge inn i bygninger, fordi erfaring fra områdebranner viser at bygninger nærmest kan bli bombardert av glør fra brann i nabohus og vegetasjon. For at en flyvebrann skal utgjøre en risiko for brannspredning, må den fortsette å brenne eller gløde etter at den har landet på en brennbar overflate.

Den største andelen av de lett tilgjengelige forskningsresultatene på området flyvebrann kommer fra USA. I USA, New Zealand, Australia og Europa har man i første rekke fokusert på hvordan skogbranner sprer seg til bygninger (se Figur 2-1). I Japan har man derimot konsentrert seg om hvordan flyvebranner fra bygningsbranner kan medføre brannspredning til andre bygninger.

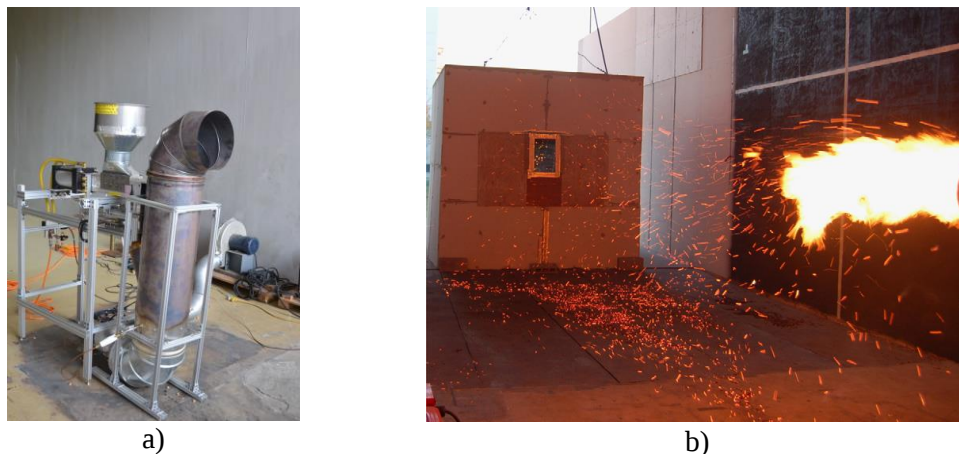


Figur 2-1: Skisse som viser hvordan skogbranner kan medføre antennelse av bygninger ved flyvebrann. Figuren er hentet fra [7].

2.2.1 Eksperimentelle forsøk med flyvebranner

National Institute of Standards and Technology (NIST) i USA har utviklet en flyvebrannsgenerator som brukes for å studere evnen flyvebranner har til å antenne brennbare bygningsdeler [8]. Både effekten av hver enkelt glo og en dusj av glør kan studeres (se Figur 2-2). Det er blitt utført forsøk med flyvebrannsgeneratoren i vindtunnel for å simulere effekten av vind på antennelsen av materialer nedstrøms.

Foote har undersøkt om flyvebranner fra flyvebrannsgeneratoren representerer flyvebranner fra virkelige branner i bygninger og vegetasjon [9]. Fra en undersøkelse av spor etter flyvebranner i et begrenset område i en skog- og områdebrann i Angora, California i 2007, ble det konkludert med at flyvebrannene var relativt små partikler. Det var god korrelasjon mellom størrelsen på flyvebranner fra virkelige branner i bygninger og vegetasjon, og flyvebranner fra flyvebrannsgeneratoren. I artikkelen blir det også påpekt at det er viktig å vurdere risiko forbundet med større flyvebranner, for å utvikle kosteffektive metoder for brannbegrensning.



Figur 2-2: a) Flyvebrannsgeneratoren utviklet ved NIST. b) Et typisk forsøk med flyvebrannsgeneratoren i vindtunnel hvor vindhastigheten var 7 m/s og en lufteventil eksponeres for flyvebranner. Bildene er hentet fra [10].

2.2.1.1 Spredning av flyvebranner via en ventil på vegg

Manzello [11] har undersøkt i hvilken grad flyvebranner kan trenge inn i en bygning via en lufteventil på gavlvegg, og dermed starte brann f.eks. på loftet. En lufteventil ble montert i en vegg, slik som vist i figur Figur 2-2 b). Fluenetting av stål (med 1,5, 3 og 6 mm maskevidde) ble montert bak ventilen. Flyvebrannsgeneratoren og vindtunnelen som er omtalt i avsnitt 2.2.1 ble benyttet i disse forsøkene. Det ble valgt en størrelse- og massefordeling av de produserte flyvebrannene som kunne være representativ for brann i furuskog.

Figur 2-3 viser en ulmebrann i strimlet papir med 5 % fuktinnhold. Papiret er antent av flyvebranner som har trengt gjennom ventilen og en fluenetting med maskevidde 6 mm bak ventilen [8].



Figur 2-3: Pannen med ansamling av strimlet papir etter et av forsøkene der flyvebranner trengte gjennom en ventil. Ulmebrann ble oppnådd i papir med 5 % fuktighet i et forsøk med nettingskjerm med maskevidde 6 mm bak ventilen. At bildet kan virke noe uklart i midten av bildet, skyldes røykproduksjonen. Bildet er hentet fra [8].

Forsøkene viste at flyvebranner ble blåst gjennom ventilen og presset mot fluenettingen bak ventilen, uten at de sloknet. Det ble observert at flyvebranner trengte gjennom alle de tre fluenettingene med ulik maskevidde, og etter noe tid produserte vedvarende ulmebrann i papiret. En fluenetting med maskevidde 6 mm medførte at flyvebranner ble blåst direkte gjennom ventilen og fluenettingen. Dette resulterte i at papiret ble antent vesentlig raskere enn når fluenetting med maskevidde 1,5 og 3 mm ble benyttet. Det ble konkludert med at disse forsøkene tydelig demonstrerte faren i forbindelse med regn av flyvebranner i sterk vind. Det kan altså oppstå brann ved at flyvebranner sprer seg via en lufteventil, selv med fluenetting med maskevidde 1,5 mm bak ventilen.

2.2.1.2 Spredning av flyvebrann via teglsteinstak

Manzello har også benyttet det samme forsøksoppsettet med flyvebrannsgenerator og fullskala vindtunnel i forbindelse med en undersøkelse av hvordan flyvebranner kan spre brann inn i en bygning via tak med keramisk takstein [10]. Figur 2-4 viser en fullskala takseksjon med dimensjonene 122 cm x 122 cm x 9 cm som ble benyttet i testene. Nederst i Figur 2-4 ser man to bilder fra forsøkene med brann i OSB-plater¹. OSB-plater og tjærepapp ble montert under teglsteinene på taket, men uten såkalt fuglebånd som benyttes til å hindre at fugler tar seg inn i takkonstruksjonen for å bygge reir. Ifølge Manzello mangler mange teglsteinstak i USA fuglebånd.

Under forsøkene ble det observert at flyvebranner lett ble blåst inn under taksteinene. I noen forsøk ble flyvebranner samlet opp og forårsaket ulmebrann i OSB-platene. Ulmebrannen førte til at det ble dannet hull i OSB-platene, og ulmebrannen gikk til slutt over til flammebrann (se Figur 2-4). Dette skjedde uavhengig av om det var vind i vindtunnelen eller ikke.

¹ OSB = Oriented Strand Board, en type bygningsplate av store trespon



Figur 2-4: Bilder fra forsøk med tak av OSB-plater kledd med tjærepapp og teglstein. Fuglebånd (birdstop) ble ikke benyttet i disse forsøkene. Bildene er hentet fra [10].

Partikler som primært representerte flyvebranner fra brennende trær, ble produsert kontinuerlig i løpet av forsøkene som varte i ca. 6 minutter. Det ble blant annet benyttet materiale av furu til å produsere flyvebranner. Forsøkene ble utført ved vindhastigheter i området 7-9 m/s i en vindtunnel.

Det ble også utført forsøk med fuglebånd og tjærepapp, men nå med ansamlinger av furunåler og løv, som ofte kan akkumuleres over tid under teglsteinstak. Det ble oppnådd antennelse av teglsteinstaket ved alle testbetingelsene i denne forsøksserien, det vil si både med enkeltvise flyvebranner og med en dusj av flyvebranner. Det ble testet med både glødende flyvebranner og flyvebranner med flammer, med og uten tjærepapp på OSB-platene, fuktinnhold i materialene i området 3-11 % og ved lav, moderat og høy vindhastighet.

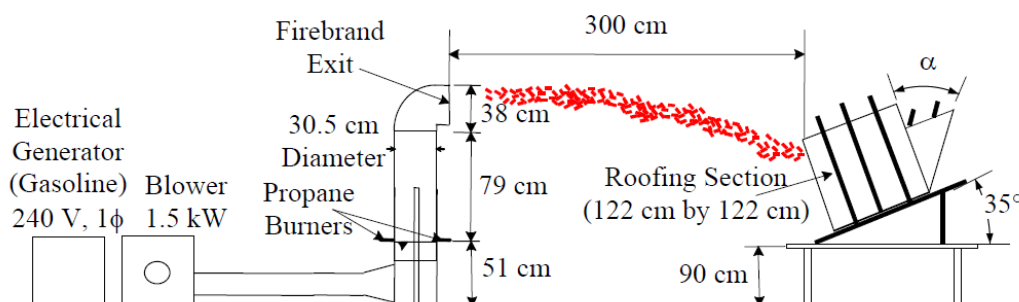
Alle takkonstruksjonene ble montert i henhold til monteringsanvisningene. Mange takkonstruksjoner kan nemlig ha takstein som blir lagt feil, eller der taksteinene blir skadet eller forskjøvet over tid, noe som vil medføre at det dannes åpninger eller sprekker mellom taksteinene. Dette kan føre til at flyvebranner lettere trenger inn i takkonstruksjoner ved brann i nabo hus eller nærliggende skog og utmark.

Manzello understreker også at forsøkene ble gjennomført under svært lite konservative forhold, ettersom varigheten av eksponeringen for flyvebranner bare var 6 minutter. I virkelige branner i skog, utmark og bygninger kan eksponeringen for flyvebranner vare i flere timer, med vindhastigheter over 20 m/s. Det ble konkludert med at selv ved så lite kritiske forsøksbetingelser som dette, var takkonstruksjoner med teglsteinstak likevel temmelig sårbare for antennelse ved flyvebrann.

2.2.1.3 Antennelse av tak med tjæreapp og shingel

Manzello har utført forsøk med kryssfinerplater, OSB-plater og OSB-plater tekket med tjæreapp og shingel [12,13]. Forsøkene ble gjennomført med samme flyvebrannsgenerator og vindtunnel som nevnt i avsnitt 2.2.1. Størrelses- og massefordelingen til flyvebrannene fra generatoren ble valgt for på en best mulig måte å simulere flyvebranner fra brennende vegetasjon. Helningsvinkelen på taket var 35°. To OSB-plater (122 cm x 122 cm x 9 cm) ble lagt mot hverandre med en vinkel på enten 60°, 90° eller 135° mellom platene. Figur 2-5 og Figur 2-6 viser forsøksoppsettet.

Det ble testet OSB-plater med normalt fuktinnhold og ovnstørkede plater. Flyvebranner eksponerte platene slik som vist i Figur 2-5, og samlet seg i sprekkene mellom de to OSB-platene. Figur 2-7 viser bilder fra forsøkene.



Figur 2-5: Oppsettet i forbindelse med forsøkene der OSB-plater tekket med tjæreapp og shingel ble eksponert for flyvebranner. Figuren er hentet fra [12].

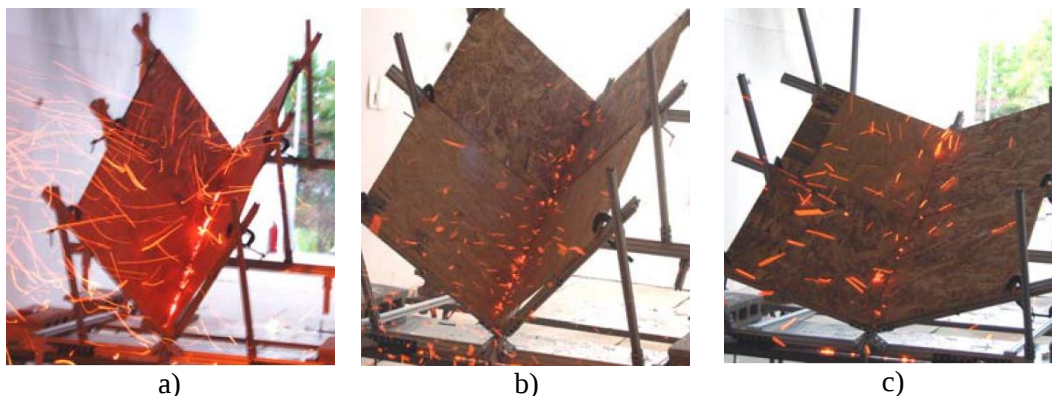


Figur 2-6 Seksjon av OSB-plater til tak, men uten shingel eller tjæreapp. Vinkelen mellom platene ble variert i området 60-135°. Figuren er hentet fra [12].

Det ble ikke observert antennelse for kryssfiner eller OSB-plater (uten tekking) med normal fuktinnhold. Antennelse oppstod bare i ovnstørkede OSB-plater, der praktisk talt all fukt var fjernet fra materialet. Dette ble forklart med at plater med normal fuktinnhold krever energi for å fordampe vannet, og dermed høyere energi for å bli antent, samt at disse platene har høyere termisk treghet². Dette økte den termiske motstanden med hensyn til temperaturøkning i overflaten, og dermed ble det vanskeligere å antenne

² Termisk treghet, varmeopptaksevne: Produktet av overflatens eller gassens densitet, varmeledningsevne og varmekapasitet.

platene. Ved en vinkel på 60 og 90° mellom platene oppstod det ulmebrann, som til slutt laget hull i OSB-platene, og det utviklet seg flammebrann på baksiden.



Figur 2-7: OSB-plater uten takbelegg.

a) 60° vinkel: ulmebrann ble observert

b) 90° vinkel: ulmebrann ble observert

c) 135° vinkel: ingen antennelse observert (figuren er hentet fra [12]).

Manzello understreker imidlertid at det er uvanlig at OSB-plater ikke er dekket av tjærepapp eller shingel. Det ble derfor også utført tilsvarende forsøk med OSB-plater tekket med slike materialer (nye fra fabrikk). Ved vinkel på 60 og 90° mellom platene, ble flyvebrann oppsamlet i sprekke mellom to seksjoner og langs sømmene mellom to shingelplater. Det oppstod ingen antennelse, men shinglene smeltet. Når vinkelen mellom platen ble større enn 90°, ble færre flyvebranner samlet opp i sprekken mellom de platene, og shingelen smeltet ikke. I de tilfellene hvor flyvebranner greide å smelte hull i shingelen, ble OSB-platene antent relativt lett. Det ble påpekt at i virkeligheten vil takshingel være aldret, og kan være forvarmet av stekende sol i mye større grad enn det som var tilfelle ved laboratorieforsøkene, som ble utført innendørs ved 20 °C.

Det ble også utført forsøk med en takrenne av PVC, som er synlig nederst i bildene i Figur 2-7b og c. Det oppstod lett brann i tørt løv og tørre barnåler som lå i takrennene. Det ble observert at shingelen smeltet, men at det ikke førte til antennelse. Det ble understreket at shingelen sannsynligvis ville ha blitt antent dersom den hadde vært aldret og forvarmet som følge av langvarig soleksponering.

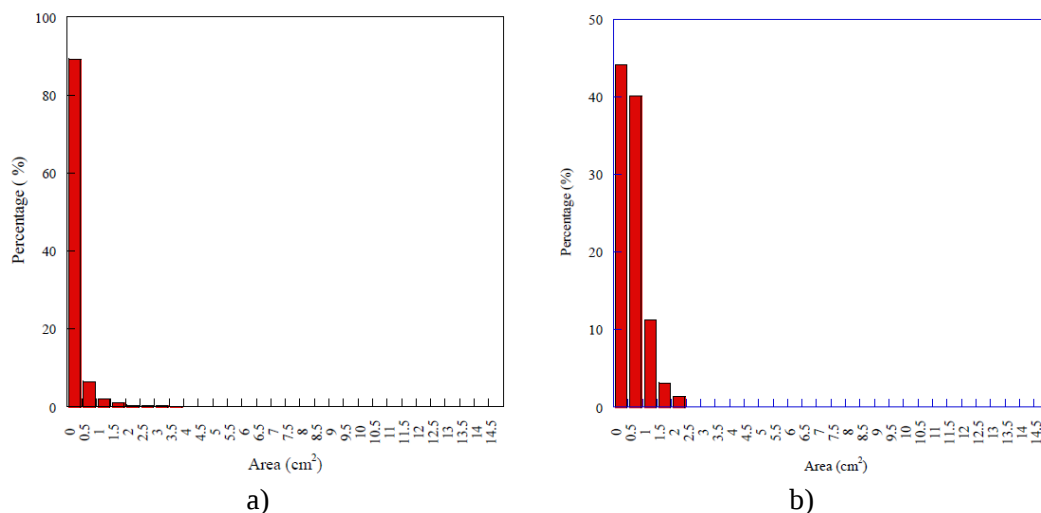
2.2.1.4 Størrelsesfordeling til flyvebranner

Footo har undersøkt bl.a. størrelsesfordelingen til flyvebranner fra en såkalt «WUI-brann»³ i Angora i California i 2007 [9]. Av de 401 husene som ble utsatt for denne brannen, ble 61 % ødelagt, mens 30 % brant ikke i det hele tatt. 35 hus (9 %) ble skadet. Et område på 12,5 km² med skog, utmark og bygninger ble berørt av brannen. Under denne brannen ble en trampoline med areal 10,5 m² eksponert for flyvebranner. På grunnlag av en digital billedanalyse av trampolineduken i etterkant, ble det funnet ca. 1800 hull (172 hull per m²) der flyvebranner hadde smeltet seg gjennom duken.

Det største hullet målte 10,25 cm², noe som tilsvarer en diameter på 3,6 cm. Mer enn 85 % av hullene var mindre enn 0,5 cm² (tilsvarer en diameter på 0,8 cm). Til sammenligning hadde 95 % av flyvebrannene fra forsøkene med NISTs flyvebrannsgenerator et projisert areal mindre enn 1 cm² (tilsvarer en diameter på

³ Wildland-Urban Interface (WUI) er en brann i grenseområdet mellom by/tettbygde strøk og skog/utmark.

1,13 cm). Figur 2-8 viser størrelsesfordelingen til flyvebrannene fra brannen i Angora og fra flyvebrannsgeneratoren.



Figur 2-8: Størrelsesfordelingen fra a) brannen i Angora i California og b) NISTs flyvebrannsgenerator (figuren er hentet fra Foote [9]).

I tillegg ble brennmerker på hagemøbler av plast analysert på til sammen 212 steder. Størstedelen av disse merkene var mindre enn 0,40 cm² (tilsvarer 0,7 cm diameter), men den største hadde et areal på 2,02 cm² (dimensjoner 0,64 cm x 3,18 cm).

Det var ikke mulig å fastslå om flyvebrannene brant eller var glødende da de ble avsatt på trampolinen eller hagemøblene. Det var heller ikke mulig å fastslå om flyvebrannene som antente bygninger kom fra bygningsbranner eller fra brann i skog og vegetasjon. Foote hevder at ved forsøk gjennomført i 1969, som omfattet 5 fullskala bygningsbranner, ble 4 748 flyvebranner samlet opp. Svært små flyvebranner dominerte ved at 87 % av flyvebrannene hadde et projisert areal mindre enn 0,23 cm² (tilsvarer en diameter på 0,54 cm).

Videre ble det fastslått at det ikke finnes empiriske bevis på om det er flyvebranner fra bygningsbranner eller fra branner i vegetasjon som er viktigst når det gjelder brannspredning til andre bygninger. På grunnlag av utsagn fra øyevitner i forbindelse med brannen i Angora, ble det imidlertid rapportert at bygninger i større grad ble antent som følge av flyvebranner fra andre bygninger enn av flyvebranner fra skog eller utmark.

Det ble konkludert med at størrelsesfordelingen på flyvebranner fra brannen i Angora viste rimelig god overensstemmelse med flyvebranner fra flyvebrannsgeneratoren og tidligere forsøk. Videre at det ikke var bevis for at flyvebranner fra slike branner er store, men at størrelsen på flyvebranner generelt er relativt liten (< 1 cm). Det ble imidlertid fastslått at det likevel er et potensiale for enkelte store flyvebranner i slike branner [9].

2.2.1.5 Betydningen av størrelsen til flyvebranner

Manzello har utført forsøk i redusert skala for å teste ut hvordan flyvebranner er i stand til å antenne brennbare materialer, slik som ansamlinger av barnåler eller strimlet papir [14]. Dette skulle henholdsvis representere brennbart materiale i takrenner og cellulosebasert brensel som man kan finne på loft. Forsøkene ble gjennomført i en vindtunnel, hvor man kunne simulere vindhastigheter opp til 10 m/s. Disse materialene ble lagt i kar som hadde dimensjonene (lengde x bredde x dybde) 23 cm x 23 cm x 5,1 cm. Fuktinnholdet til disse materialene varierte mellom 0 og 11 %.

Flyvebranner ble simulert ved å kutte trevirke av furu til små objekter med lik geometri. Viktige parametere i forbindelse med flyvebranner er størrelsen og formen til partiklene, siden det er disse parameterne som bestemmer hvor langt en flyvebrannspartikkel kan transporteres, og hvor lenge den kan brenne. I denne studien ble flyvebranner simulert som treskiver med to forskjellige størrelser (diameter x tykkelse): 25 mm x 8 mm og 50 mm x 6 mm. Det ble antatt at dette ville være representativt for flyvebranner fra branner i både bygninger og i vegetasjon.

Forsøkene viste at for å kunne starte ulmebrann i furunåler, måtte massen til en flyvebranneksponering være minimum 6 g og bestå av minimum fire flyvebrannspartikler produsert av treskiver med diameter 50 mm. For å starte ulmebrann i strimlet papir i kar, var det nødvendig med kun én enkel flyvebrannspartikkel med minimum diameter på 25 mm og en masse på minst 0,5 g.

Waterman og Tanaka [15] har studert hvordan flyvebranner kan antenne flere typer brennbare materialer. De største flyvebrannspartiklene i deres eksperimentelle undersøkelser var 38 mm x 38 mm x 20 mm, og de hadde en vekt på 3 g, det er altså snakk om et materiale med relativt lav densitet. Antennelse ble oppnådd for de fleste bygningsmaterialene som ble testet, mens flyvebranner mindre enn 38 mm var ikke i stand til å antenne materialene.

Generelt kan man på grunnlag av de ovennevnte eksperimentelle studiene konkludere med at jo større flyvebrannspartikkelen er, jo større mulighet har den for å antenne brennbare materialer når den treffer en bygning. I forskningsarbeidet som er omtalt hittil, har det vært viktig å dokumentere minimumsbetingelsene for at flyvebranner skal kunne føre til brannspredning til andre bygninger, for eksempel minste størrelsen på flyvebrannspartikkel som utgjør en brannrisiko.

På den andre siden vil ikke store flyvebranner så lett trenge inn i bygninger gjennom små åpninger, slik som gjennom fluenetting i ventiler, fuglebånd i forbindelse med teglsteinstak etc. Store flyvebrannspartikler har derimot større sannsynlighet enn små partikler for å brenne når de treffer hus etter å ha blitt transportert over store avstander. De har også større sannsynlighet for å antenne bygninger på utsiden, fordi de utgjør en større og kraftigere tennkilde enn mindre partikler.

2.3 Varmestraling

2.3.1 Generelt

Ethvert legeme med temperatur over 0 K (- 273 °C) vil avgi en varmemstrålingsfluks I_r [kW/m²]. Denne varmemstrålingsfluksen kan uttrykkes ved følgende ligning:

$$I_r = \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [\text{kW/m}^2] \quad (2-1)$$

hvor

- ε_f [-] er emissiviteten til det varmemstrålende legemet
- σ er Stefan-Bolzmanns konstant ($5,67 \cdot 10^{-11}$ kW/m²K⁴)
- T er absolutt temperatur i grader Kelvin [K]

Antennelse på grunn av varmemstråling blir ansett som den mest vanlige og mest forekommende mekanismen for brannspredning mellom fysisk adskilte hus [6]. Som allerede nevnt, finnes det andre mekanismer for brannspredning, men disse mekanismene blir i mange land vanligvis ignorert i byggereglene ved vurdering av nødvendige avstander mellom bygninger (se avsnitt 2.3.8). De tre første av følgende parametere er svært viktige for bestemmelse av nødvendige avstander mellom bygninger, men den siste kan også være viktig, særlig for små branner:

- Temperaturen i brannrommet, T
- Den effektive varmemstrålingen fra brannen, I_e
- Avstanden og helningsvinkel på flammer og bygningsdel uttrykt ved synsfaktoren
- Brannens eller flammens emissivitet, ε_f

2.3.2 Temperatur i brann

Siden varmemstrålingsfluksen I_r ifølge ligning (2-1) over i første rekke er avhengig av den absolute temperaturen [K] i fjerde potens, er det opplagt at den gjennomsnittlige temperaturen i brannen er meget viktig for den avgitte varmemstrålingen, og dermed også for den nødvendige avstanden mellom nabobygninger. Når temperaturen i grader Kelvin dobles, vil varmemstrålingen I_r øke med en faktor på 16.

Temperaturen, og dermed i høy grad også varmemstrålingen fra en bygning i brann, avhenger av bl.a. følgende faktorer:

- Lufttilførselen. I brann inne i et rom som er overtent, kan lufttilførselen regnes som proporsjonal med åpningsfaktoren, som er gitt av følgende ligning: $A_o \sqrt{H_o}$ [kg/s], hvor A_o er det totale vindusarealet og H_o er den effektive høyden av vinduer på den veggen som vender mot nabobygningen.
- Forbrenningshastigheten (kg/s).
- Varmetapsfaktoren for bygningen, som er et uttrykk for hvor godt isolert huset er.
- Type og mengde brensel i bygningen.
- Om brannen er ventilasjonskontrollert eller brenselskontrollert. En ventilasjonskontrollert brann vil, hvis ikke ventilasjonen er sterkt begrenset, vanligvis medføre vesentlig høyere branntemperaturer enn en brenselskontrollert brann.
- Når et hus står i full fyr og yttervegger og tak brenner, vil varmemstrålingen være vesentlig større enn det som regnes ved flammer ut av vinduer. Temperaturen inne i brannen vil også kunne være vesentlig høyere enn i et overtent rom, noe som er målt og dokumentert ved brann i en stor stabel med trepaller i en veitunnel [16].

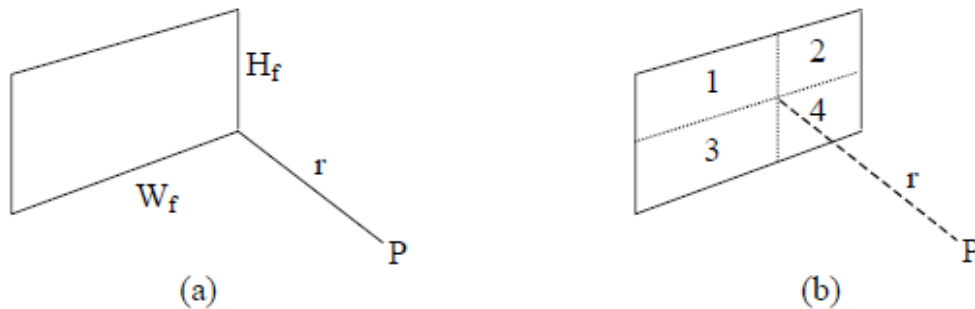
2.3.3 Varmestråling fra brann

Hvilken faktor må den maksimale effektive varmestrålingsfluksen fra en brann, I_e , multipliseres med for at en skal få en kritisk verdi for varmestrålingsfluksen, I_{cr} ? Dette er den varmestrålingsfluksen nabobygningen mottar, og som akkurat så vidt ikke medfører antennelse av nabohuset. Denne faktoren, som en kan kalle for ϕ (-), kan uttrykkes med følgende ligning for kritisk varmestråling I_{cr} mot et punkt P:

$$I_{cr} = \phi \cdot I_e \quad (2-2)$$

ϕ kalles for konfigurasjonsfaktoren, vinkelfaktoren eller synsfaktoren for målet P (se Figur 2-9) i forhold til den varmestrålende flaten. Faktoren ϕ kan defineres som andelen av den maksimale utsendte strålingen som når målet.

ϕ er, foruten å være en funksjon av den strålende flatens bredde og høyde og flatens helningsvinkel, også en funksjon av avstanden mellom den strålende flaten og det aktuelle punktet varmestrålingen beregnes i.



Figur 2-9: Parametre som er nødvendige for å bestemme synsfaktoren til punktet P med avstand r fra en rektangulær flate med bredde W_f og høyde H_f (figuren er hentet fra [6]).

ϕ avtar med økende avstand og med avtagende bredde og høyde på den strålende flaten, samt med økende helningsvinkel bort fra målet P. Maksimal varmestråling mot punktet P på en flate oppnås når denne flaten er parallell med den varmestrålende flaten. Synsfaktoren er i dette tilfellet gitt av følgende uttrykk for et vindu i brannrommet med bredde W_f og høyde H_f [m]:

$$\phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \tan^{-1} \left(\frac{y}{\sqrt{1+x^2}} \right) + \frac{y}{\sqrt{1+y^2}} \tan^{-1} \left(\frac{x}{\sqrt{1+y^2}} \right) \right] \quad (2-3)$$

hvor

$$\begin{aligned} x &= H_f/r \\ y &= W_f/r \end{aligned}$$

Hvis det er snakk om 4 flater som vist i Figur 2-9 (b), blir den totale synsfaktoren ϕ_{tot} lik summen av synsfaktorene for flatene 1, 2, 3 og 4 i forhold til punktet P:

$$\phi_{tot} = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4 \quad (2-4)$$

Hvis flatene i Figur 2-9 (b) er identiske, med høyde H_f og bredde W_f , gjelder følgende:

$$\phi_{tot} = 4 \cdot \phi_1 \quad (2-5)$$

$$\text{hvor } \phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = \phi_4$$

2.3.4 Emissiviteten

Emissiviteten sier noe om hvor effektivt en overflate avgir varmestråling. Den kan beskrives som andelen av den maksimale varmestrålingen som en ideell sort overflate er i stand til å avgir ved en gitt temperatur T . Emissiviteten vil derfor alltid være mindre eller lik 1. Emissiviteten ε_f [-] kan uttrykkes ved følgende ligning:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-kL} \quad (2-6)$$

hvor

- k er absorpsjonskoeffisienten [m^{-1}], som varierer med typen gass og med innholdet av sot i flammene
- L [m] er tykkelsen eller bredden til flammen eller brannen

Som man ser av Figur 2-10, øker emissiviteten med tykkelsen L av brannen, men denne økningen flater ut og nærmer seg en verdi i området 0,9 når flammetykkelsen blir stor.

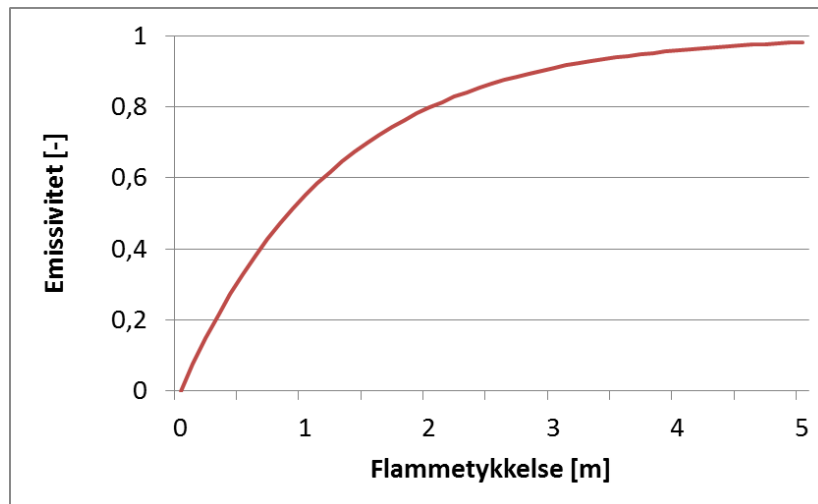
Emissiviteten er avhengig av tykkelsen til flammene og innholdet av sotpartikler i flammene. Det er i første rekke glødende eller brennende sotpartikler som forårsaker varmestråling fra branner. Når flammene blir tykke, vil mange sotpartikler avgir varmestråling samtidig. Varmestrålingen foregår i dybden av flammen. Tykke flammer (f.eks. flammene inne i et brannrom) avgir dermed mer varmestråling enn tynne flammer (f.eks. flammer på utsiden og over vinduet). En massiv brann søyle⁴ kan også være så tykk at den stråler med emissivitet opp mot det maksimale, 1.

Mens emissiviteten til enkeltflammer eller branner i brannrom vil være i området 0,3-0,7, kan den totale emissiviteten fra brann i et stort brannrom som er overtent og er fylt med flammer være lik 1. Emissiviteten til en brann i et lite kar med alkoholbrensel, slik som etanol, kan være så lav som 0,066. Dette skyldes at en brann i alkohol produserer lite sot [17].

Det finnes få empiriske bestemte verdier for absorpsjonskoeffisienten i litteraturen [17]. Den enkle formelen (2-6) for beregning av emissivitet forutsetter at flammen er uniform både med hensyn til temperatur og sotkonsentrasjoner. Dette er ikke tilfelle i store branner, og formelen har dermed begrenset gyldighet.

Figur 2-10 viser emissiviteten til en flamme som funksjon av flammetykkelsen beregnet ved bruk av ligning (2-6).

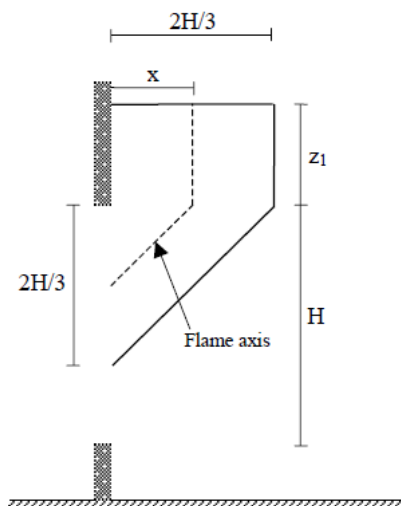
⁴ Brann søyle = oppadstigende blanding av flammer, røyk og luft fra en brann.



Figur 2-10: Emissiviteten til en flamme ved brann i trevirke som funksjon av flammetykkelsen. Absorpsjonskoeffisienten er valgt til $0,8 \text{ m}^{-1}$, som kan være representativt for brann i trematerialer.

2.3.5 Flammer fra vindusåpninger

Etter overtenning av brannrommet vil vinduene sannsynligvis knuses, og det vil komme flammer ut av vindusåpningene. Disse flammene kan enten forårsake direkte antennelse, ved at flammene eller varme røykgasser berører nabohuset, eller ved varmestråling (se Figur 2-11). I følge teorien beskrevet i [6] kan antennelse ved direkte flammepåvirkning finne sted når avstanden mellom husene er mindre enn $2/3 \cdot H$. Flammene kommer en avstand $2/3 \cdot H$ nærmere nabobygningen, og arealet som avgir varmestrålingen øker.



Figur 2-11: Skjematisk skisse av flammesøylen som stikker ut fra en vindusåpning etter overtenning av brannrommet. Figuren forutsetter at det ikke er gjennomtrekk i rommet. Figuren er hentet fra [6].

Carlsson [6] har gjennomført beregninger med forskjellige metoder for bestemmelse av nødvendige avstander mellom bygninger, hvor utvendige flammer både ble tatt med og ikke tatt med i beregningene. Det ble funnet ut at 12-18 % av varmestrålingen mot en bygning kunne tilskrives varmestråling fra flammene over vinduene på utsiden av huset,

fordi disse vil ha relativt liten tykkelse, og dermed stråle mindre enn den fullt utviklete brannen inne i rommet. Hoveddelen av strålingen kommer fra selve vindusåpningen.

Det ble konkludert med at dette bidraget ikke var tilstrekkelig stort til at det var nødvendig å inkludere det i beregningene. Det er tilstrekkelig å bruke arealet av vindusåpningene og en passende valgt verdi for den maksimale temperaturen i brannrommet. Begrunnelsen for dette er at man ved å ta utgangspunkt i kun arealet til vindusåpningene som arealer for varmestråling, og ved å forutsette en høy gjennomsnittlig branntemperatur, allerede har overestimert varmestrålingen mot nabobygningen. Dermed vil nødvendige avstander uansett vil bli beregnet konservativt.

Det finnes også andre korrelasjoner for å bestemme eksponering for stråling og direkte flamme fra en brennende nabobygning, se for eksempel [17, p. 435].

2.3.6 Antennelseskriterier

Det finnes svært lite eksperimentelle data fra undersøkelser der antennelse er undersøkt ved kombinasjon av eksponering for varmestråling og en tennkilde [18, p. 292]. Derfor må tallverdiene angitt nedenfor ikke anvendes ukritisk.

I en studie fra 1968 prøvde man å bestemme hva som er det maksimale nivået for varmestrålingsfluks som forskjellige typer ytterkledning trygt kan utsettes for uten at en får pilotantennelse av materialet [19]. Resultatene er vist i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Den maksimale varmestrålingsfluksen som et utvalg ytterkledning kan utsettes for uten at en oppnår antennelse av det brennbare materialet med eksponering for tennkilde [19].

Type veggkledning	Maksimal varmestrålingsfluks (kW/m ²)
Trelast, kryssfinér, fiberplate	14,7
Hard trefiberplate	11,3
Takpapp, asfaltpapp	12,6
Eternitt på tre	21
Blank, galvanisert stålplate på tre	63
Malt eller skitten metallkledning på tre	23

Hvis materialene blir eksponert for disse varmestrålingsfluksene, vil de sannsynligvis ikke antenne, men flere av dem kan likevel få større eller mindre sviskader.

Resultater fra en studie fra Fire Research Station i 1951 ga følgende resultater for trevirke av furu [18, p. 292]:

- 27 kW/m²: Spontanantennelse
- 15 kW/m²: Pilotantennelse, flammeeksponering ikke nærmere angitt
- 5 kW/m²: Pilotantennelse flammeeksponering direkte mot overflaten

Når en diskuterer muligheten for at eksponerte bygningsmaterialer (vanligvis trevirke eller takpapp) skal bli antent, regnes ofte den maksimale varmestrålingsfluksen som et materiale kan bli eksponert for uten å antenne, til å være 12,5 kW/m². Lavere varmestrålingsnivåer vil sannsynligvis ikke kunne medføre pilotantennelse, unntatt i helt spesielle i tilfeller, for eksempel i forbindelse med pyrofort trevirke. En verdi for I_{cr} på 12,6 kW/m² blir brukt i forskrifter, slik som diskutert i avsnitt 2.3.8 [20].

Tallet $12,5 \text{ kW/m}^2$ (eller $0,3 \text{ cal/cm}^2/\text{s}$) er et tall som ofte brukes som kritisk grense for å oppnå pilotantennelse av en rekke brennbare bygningsmaterialer, men den gjelder egentlig for vanlig trevirke. Den kritiske varmestrålingsfluksen er imidlertid avhengig av en rekke forhold, slik som eksponeringstiden, utetemperaturen, og ikke minst fuktinnholdet i selve materialet. Verdien $12,5 \text{ kW/m}^2$ er bestemt på grunnlag av laborietester. Carlsson hevder at det er mange indikasjoner på at det i forbindelse med fullskala branner forekommer pilotantennelse av trevirke ved en noe høyere varmestråling, omlag $15\text{-}18 \text{ kW/m}^2$ [6].

Tabell 2-2 angir kritiske verdier for varmestrålingen I_{cr} i fullskala branner og for laborietester (mindre skala), som fører til pilotantennelse av malte og umalte trevegger.

Tabell 2-2: Kritiske verdier for varmestrålingsfluksen i fullskala branner og for laborietester, som førte til pilotantennelse av malte og umalte trevegger [21].

Kritiske nivåer for varmestrålingsfluks som medførte pilotantennelse av tre:	U malt overflate $I_{cr} \text{ [kW/m}^2\text{]}$	Malt overflate $I_{cr} \text{ [kW/m}^2\text{]}$
Fullskala branner	18-19	26-30
Laborietester	10	15

2.3.7 Kritisk verdi for synsfaktoren

I stedet for å angi kritisk varmestrålingsfluks, kan man operere med kritisk synsfaktor:

$$\phi_{cr} = I_{cr}/I_e \quad (2-7)$$

I følge Carlsson blir kritiske verdier for synsfaktoren for branner i bygninger med lav brannenergi satt lik 0,15, mens for bygninger med høy brannenergi blir verdien 0,075 benyttet [6]. Den maksimale effektive varmestrålingsfluksen I_e fra et vindu i brannrommet for disse to bygningstypene blir ofte angitt til å være henholdsvis 84 og 168 kW/m^2 . Den kritiske varmestrålingsfluksen I_{cr} for nabobygningen, vil i begge tilfellene bli $12,6 \text{ kW/m}^2$.

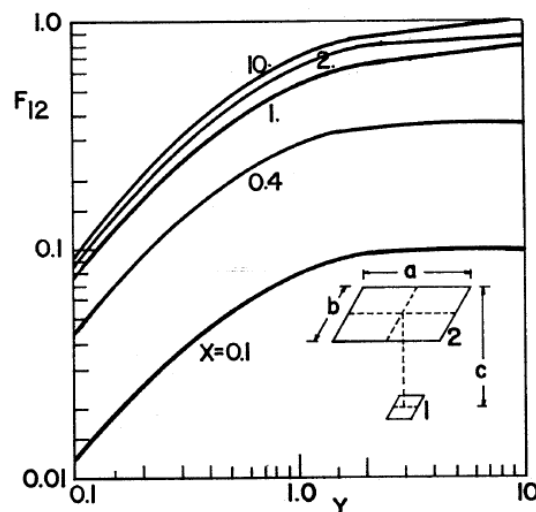
For å kunne oppnå beskyttelse mot brann for en bygning med brennbar innvendig kledning innenfor to timer etter brannstart, hvor varmestrålingen I_e kan settes lik 170 kW/m^2 , kan den kritiske synsfaktoren beregnes til: $\phi = 12,5/170 = 0,074$. Hvis brannvesenet ankommer brannstedet etter 15-20 minutter, kan det imidlertid være tilstrekkelig å dimensjonere avstandene mellom hus etter en effektiv varmestråling I_e på 100 kW/m^2 . I dette tilfellet blir $\phi = 0,125$, noe som resulterer i at den beregnede nødvendige avstanden mellom bygningene blir kortere (se ligning (2-3)). Det er imidlertid ikke vanlig praksis å inkludere brannvesenets innsatstid i vurderingen av nødvendig avstand mellom hus.

Når en vet bredden og høyden på den effektive vindusåpningen, eller på hullet i den gjennombrante veggen og avstanden til nærmeste bygning, kan synsfaktoren beregnes i henhold til ligning (2-3), eventuelt hentes ut fra Figur 2-12.

Den meget enkle metoden som er skissert hittil inkluderer imidlertid ikke viktige faktorer som den aktuelle brannenergien i bygningen, flammespredningsevnen til de innvendige

overflatene i huset, en eventuell høydeforskjell mellom husene, og brannmotstanden til ytterveggen og taket, samt fordelingen av vinduene i bygningen. Hvis for eksempel veggen har lav brannmotstand, kan det være riktig å la hele den aktuelle veggen utgjøre den strålende flaten, i stedet for bare ett vindu. Videre hvis bygningen som brenner er vesentlig lavere enn den eksponerte bygningen, og taket på den brennende bygningen har lav brannmotstand, kan denne metoden føre til for korte avstander mellom bygningene.

Hvis en benytter Figur 2-12 for å bestemme den nødvendige avstanden mellom bygninger, kan resultatet bli noe unøyaktig på grunn av logaritmisk skala i figuren. Da anbefales det at en beregner den eksakte verdien for ϕ . For å være på den sikre siden, bør en uansett legge til 2-3 m til denne avstanden, for å ta høyde for spesielt rask brannutvikling og spesielt høy brannenergi.



Figur 2-12: Synsfaktoren for et punkt I på den branneksponte bygningen i forhold til for eksempel branneksponte fra et vindu eller en vegg med høyde a og bredde b . Punktet er, som det fremgår av figuren, en horisontal projeksjon av vinduet. Dette punkt vil motta maksimal varmestraling fra brannen ($X = a/c$ og $Y = b/c$) [22].

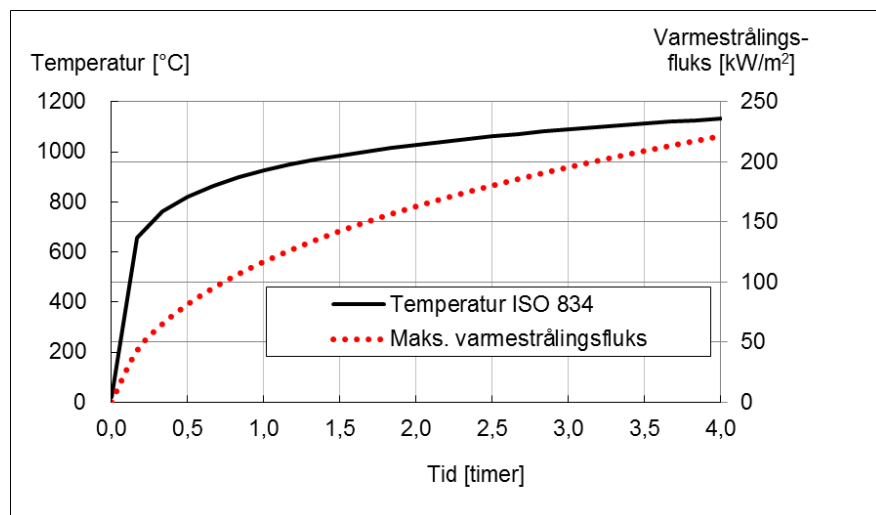
2.3.8 Forskrifter i forskjellige land

Carlsson gjennomgikk i 1999 byggeforskriftene i Australia, England og Wales, New Zealand, Sverige og USA [6]. Felles for alle forskriftene var at de dimensjonerte nødvendige avstander mellom bygninger på grunnlag av antatt varmestraling fra brannen.

I disse forskriftene er de metodene for bestemmelse av nødvendige separasjonsavstander som allerede er presentert i de foregående avsnittene benyttet. De fleste forskriftene baserte seg på at $I_{cr} = 12,6 \text{ kW/m}^2$, som er så og si det samme som verdien $12,5 \text{ kW/m}^2$ bestemt på grunnlag av forsøk i laboratorieskala. De svenske reglene brukte imidlertid en verdi på 15 kW/m^2 . Se også avsnitt 2.3.6.

2.3.9 Beregning av varmemstråling

For brannteknisk prøving og klassifisering av bygningskonstruksjoners brannmotstand brukes den såkalte ISO-kurven (ISO 834-1 [23]). Denne representerer temperaturen som funksjon av tid for en fullt utviklet brann i et rom. Figur 2-13 viser hvordan temperaturen og varmemstrålingen varierer med tiden i henhold til ISO-kurven i løpet av de første 4 timene av testen. Varmemstrålingsfluksen er beregnet ved bruk av ligning (2-1), og er en teoretisk verdi med emissivitet satt lik 1. Effektiv stråling vil sannsynligvis være lavere enn denne beregnete verdien.



Figur 2-13: Temperaturen og varmemstrålingsutviklingen i brannmotstandstest beregnet på grunnlag av tid-/temperaturkurven spesifisert i ISO 834-1 [23], og med en emissivitet satt lik 1. Temperaturene for ISO 834-kurven leses av på y-aksen til venstre, mens verdier for den beregnete varmemstrålingsfluksen leses av på y-aksen til høyre.

Hvis det forutsettes at brannvesenet er på plass 15 minutter etter brannstart, vil det trolig være tilstrekkelig å dimensjonere nødvendige avstander mellom bygninger på grunnlag av en varmemstrålingsfluks på 60 kW/m². For å være på den sikre siden, kan det imidlertid være nødvendig å bruke 100 kW/m² når en skal bestemme nødvendige avstander mellom trebygninger. Hvis brannvesenet derimot har spesielt lang innsatstid, det vil si over 1,5 time, kan det være aktuelt å bestemme nødvendige avstander på grunnlag av en varmemstråling i området 150-200 kW/m². Forutsetningene bak disse betraktningene er at bygningen ikke står i full fyr. Ved en fullt utviklet brann i et bolighus, må man regne med høyere temperaturer, og følgelig høyere varmemstrålingsflukser, enn det man oppnår i tid/temperatur-kurven i henhold til ISO 834-1.

En varmemstrålingsfluks på 168 kW/m² blir ofte brukt som dimensjonerende verdi når en skal bestemme nødvendige avstander mellom bygninger med relativt høy brannenergi. Dette er et varmemstrålingsnivå som ifølge Figur 2-13 først vil opptre ca. 2 timer etter brannstart.

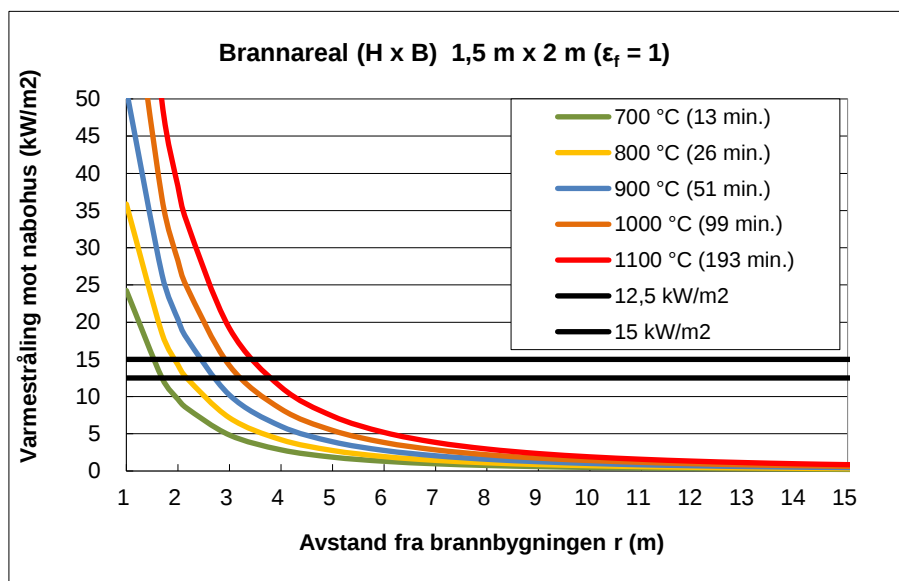
Som vi har nevnt, så er varmemstrålingen fra et hus i brann mot et nabohus i første rekke avhengig av temperaturen i brannen, det totale arealet av flammer som er synlig for nabohuset og avstanden mellom de aktuelle husene, samt til en viss grad av brannens emissivitet. I Figur 2-14, Figur 2-15 og Figur 2-16 er varmemstrålingsfluks beregnet som funksjon av avstanden fra brannen for følgende 3 tilfeller (vi antar at brannutviklingen

følger ISO 834-1 tid-temperaturkurven, noe som sannsynligvis gir en underestimert av strålingen):

1. Overtent soverom og stråling fra vindu med samlet areal (høyde x bredde) = 1,5 m x 2 m. Brannens emissivitet $\varepsilon_f = 1$.
2. Overtent stue og stråling fra vindu med samlet areal (høyde x bredde) = 2 m x 4 m. Brannens emissivitet $\varepsilon_f = 1$.
3. Fullt utviklet brann i hus og stråling fra hele huset på grunn av gjennombrante vegger og tak. Samlet, effektivt strålingsareal (høyde x bredde) = 6 m x 8 m. Brannens emissivitet $\varepsilon_f = 0,8$.

Strålingsberegningene er gjennomført for 700, 800, 900, 1000 og 1100 °C. Disse temperaturene oppnås etter henholdsvis 13, 26, 51, 99 og 193 minutter ifølge ISO 834-1.

Figur 2-14 viser varmestråling som funksjon av avstanden fra vindu til et overtent soverom, med samlet strålingsareal (knuste vinduer) på 1,5 m x 2 m. Det er mest sannsynlig at dette stadiet i brannen oppnås i løpet av den første halvtimen. Man ser av figuren at etter henholdsvis 13 og 26 minutter er nødvendig avstand 1,7 m og 2,2 m, noe som ligger godt innenfor det norske kravet om 8 m avstand mellom bygningene.

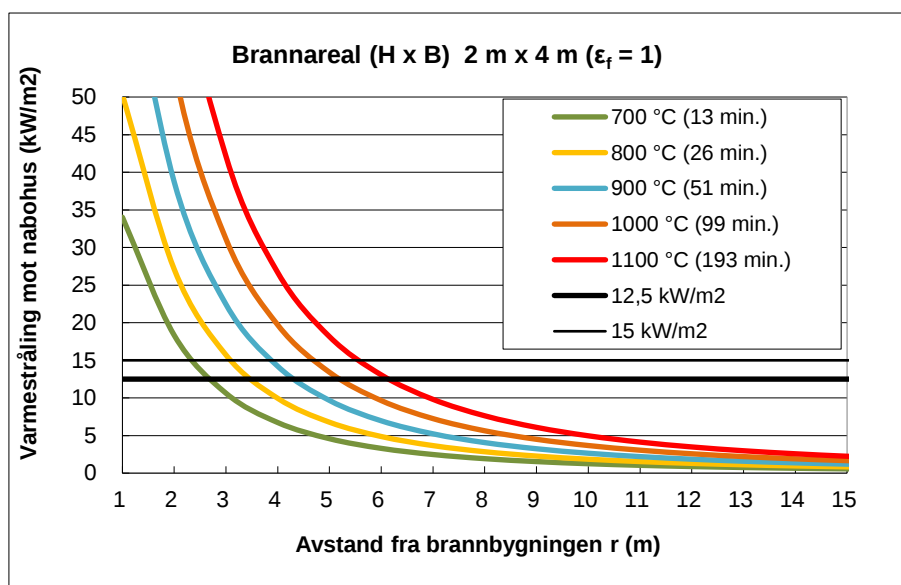


Figur 2-14: Varmestrålingsfluks som funksjon av avstanden fra vindu i overtent soverom og stråling fra vindu med samlet areal (høyde x bredde) = 1,5 m x 2 m. Brannens emissivitet $\varepsilon_f = 1$. Temperaturene er basert på ISO 834-1. De to horisontale linjene angir ulike kriterier for strålingsfluksnivåer som er anvendt i byggeforskrifter; 12,5 kW/m² og 15 kW/m².

Selv etter mer enn 3 timer og en branntemperatur på 1100 °C er nødvendig avstand mellom husene innenfor det norske kravet. Det er imidlertid sannsynlig at brannarealet har vokst betydelig innen den tid, samt at brannvesenet har begynt sløkking lenge før dette. Det fremgår også at ved å bruke kriteriet 15 kW/m² for antennelse i stedet for 12,5 kW/m², kan nødvendig avstand reduseres med ca. 1 m.

Figur 2-15 viser varmestrålingsfluks som funksjon av avstanden fra vindu til overtent stue med samlet strålingsareal (knuste vinduer) på 2 m x 4 m. Det er mest sannsynlig at dette stadiet i brannen oppnås i løpet av den første halvtimen. De mest relevante tidspunktene

for denne brannen er 13, 26 og 51 min og branntemperaturene er da på henholdsvis 700, 800 og 900 °C. Man ser av figuren at nødvendig avstand mellom bygningene for alle temperaturene ligger så vidt innenfor det norske kravet på 8 m. Videre at man ved å benytte 15 kW/m² i stedet for 12,5 kW/m² som kriterium for pilotantennelse, kan redusere nødvendig avstand med ca. 1 m.

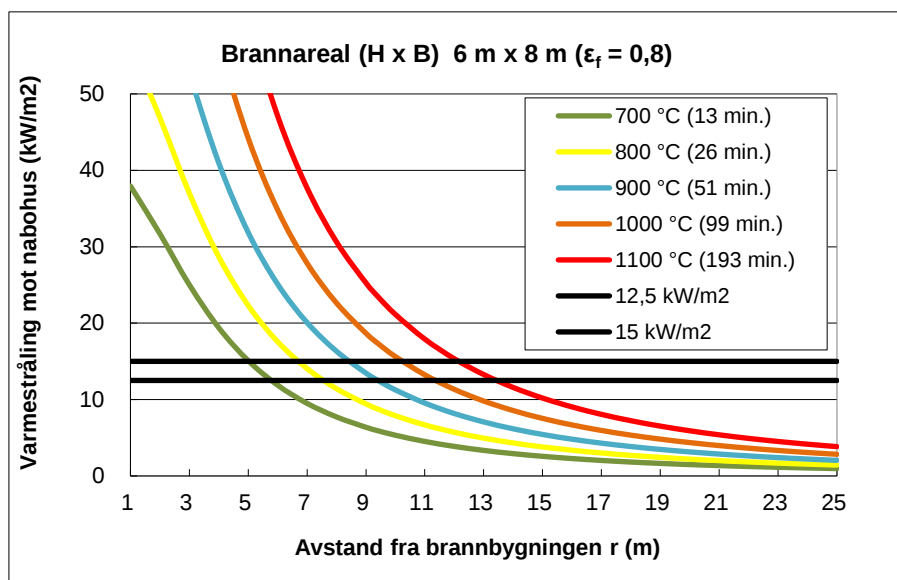


Figur 2-15: Varmestrålingsfluks som funksjon av avstanden fra vindu i overtent stue og stråling fra vindu med samlet areal (høyde x bredde) = 2 m x 4 m. Brannens emissivitet $\epsilon_f = 1$. Temperaturene er basert på ISO 834-1. De horisontale linjene angir to ulike kriterier for strålingsfluksnivåer som er anvendt i byggeforskrifter; 12,5 kW/m² og 15 kW/m².

Figur 2-16 viser varmemstrålingsfluks som funksjon av avstanden fra overtent hus og stråling fra hele huset på grunn av gjennombrante vegger og tak. Samlet, effektivt strålingsareal (høyde x bredde) = 6 m x 8 m. Brannens gjennomsnittlige emissivitet ϵ_f antas å være lik 0,8, fordi ytterdelene av dette brannarealet sannsynligvis vil ha vesentlig lavere emissivitet enn 1.

Man ser av kurvene i Figur 2-16 at når hele huset er i full fyr med vegger og tak gjennombrant, kan det norske kravet om 8 m avstand mellom husene virke knapt. Uten vind som kan øke hastigheten for brannutviklingen er det sannsynlig at dette stadiet vil oppnås først 50 minutter ut i brannforløpet. Dette vil kreve en avstand på 9,4 m mellom husene, dersom man skal unngå brannspredning ved varmemstråling. På den andre siden kan man med enkle tiltak (væting av vegg) hindre antennelse av nabobygg.

I områdebranner kan det være så mange hus som brenner på en gang, at brannvesenet i noen grad måtte prioritere hvilke hus som skal beskyttes med vannpåføring. I en slik situasjon vil antakelser som er gjort ved fastsettelse av minimumsavstander mellom hus ikke gjelde. Dette kommer både av at hus i full fyr stråler vesentlig mer enn brann ut av åpninger (vinduer, delvis gjennombrante vegger), og fordi vind kan føre flammene nærmere nabohus, og dermed øke både strålingseksposeringen og føre til direkte flammepåkjennning.



Figur 2-16: Varmestrålingsfluks som funksjon av avstanden fra fullt utviklet brann i hus og stråling fra hele huset på grunn av gjennombrante vegger og tak. Samlet, effektivt strålingsareal (høyde x bredde) = 6 m x 8 m. Brannens emissivitet $\epsilon_f = 0,8$. Temperaturene er basert på ISO 834-1. De horisontale linjene angir to ulike kriterier for strålingsfluksnivåer som er anvendt i byggeforskrifter; 12,5 kW/m² og 15 kW/m².

Som nevnt tidligere, er det sannsynlig at varmemestrålingsnivået i Figur 2-16 er underestimert, fordi en fullt utviklet brann kan oppnå høyere temperaturer enn standard tid/temperaturkurven i henhold til ISO 834-1 angir. Dette vil medføre høyere varmemestrålingsfluks, og derved større nødvendige avstander mellom bygninger enn det figuren antyder.

2.4 Brannspredning via vegetasjon

Brannspredning til bygninger via vegetasjon er også en mulig i relativt tettbygde områder. En overtent brann i et hus kan lett spres til nabohuset via busker rundt huset det brenner i, via høyt gress mellom husene og til busker rundt nabohus.

Spredning via vegetasjon er spesielt aktuelt ved skog- og lyngbrann som truer bebyggelse. I tett trehusbebyggelse med innsatsstyrker til stede, vil slik spredning enklere kunne hindres. Allikevel er det en viss fare for rask brannspredning når det er tørt.

2.5 Tilfeldige punktbranner - Spot fires

Dannelse av tilfeldige punktbranner (spotting) omtales som en ekstrem hendelse i en brannutvikling. Dette kan oppstå i branner som danner glør og gnister som bæres med vinden. Flyvebrannene starter nye branner utenfor det området der hovedbrannen er i stand til å antenne brennbart materiale [3, pp. 3–31].

Det er mange eksempler i historien på områdebranner der tilfeldige punktbranner har hoppet over grenser der man har forventet å stoppe brannspredningen; slik som over branngater, elver og andre hindringer [24]. Det er rapportert at branner har spredt seg ved flyvebranner over avstander på flere kilometer. Sterk vind er den mest kritiske faktoren for spredning av flyvebranner over store avstander. Sterk vind gjør hovedbrannen større

og øker oppdriften i flammesøylen, noe som fører til at større flyvebranner kan transporteres av gårde. En annen viktig faktor er fuktinnholdet i materialet som flyvebrannen lander på, fordi fuktinnholdet vil påvirke hvor lett materialet antennes, se også avsnitt 3.7.

2.6 Virvelbranner

Virvelbranner (firewhirls) er en annen type ekstrem hendelse i forbindelse med områdebranner. Dette er en virvlende søyle av oppadstigende luft som beveger seg og transporterer røyk, brannrester og flammer høyt til værs. Størrelsen på virvelbranner kan variere fra noen få centimeter i diameter til små tornadoer [3, p. 8].

Virvelbranner kan bli dannet i intense branner, og kan spre brennende objekter over store avstander, og derved skape flere punktbranner. Virvelbranner opptrer oftest der det er brann i store konsentrasjoner av brensel, og kan dannes av brannen selv, uavhengig av værforholdene [3, pp. 3–31].

2.7 Vindpåvirkning

Vind er en av de faktorene som har størst betydning i en områdebrann, og påvirker både forbrenningen og brannspredningshastigheten [3, pp. 3–18]. Vind påvirker brannutviklingen fordi den

- øker oksygentilgangen til brannen
- påvirker retningen til brannspredningen
- tørker nytt brensel, både før og under brannen
- transporterer gnister og flyvebranner videre fra hovedbrannen
- fører til forvarming av nytt brensel ved å skyve oppvarmet luft videre fra brannen

Lokale vindforhold kan oppstå som følge av lokale temperaturforskjeller og geometri i terrenget. Topografien kan også påvirke retningen og hastigheten til brannspredningen, og intensiteten på brannen. I trange daler vil vinden normalt følge retningen på dalen. Om dalen har en krapp sving, kan det føre til virvelvinder og sterke oppadgående luftbevegelser [3, pp. 3–13]. Spredning av punktbranner over brede daler er ikke vanlig, bortsett fra i sterk vind.

Det var sterk vind fra øst under brannen i Lærdal. I henhold til Meteorologisk institutt, er vind fra øst tørr på Vestlandet og i fylkene nordover [25]. Vinden kan komme i voldsomme kast ned bratte fjellsider, og kan være svært uforutsigbar og lokal. Kastevinder oppstår når det er mye vind i høyden [26]. Når det er storm i fjellet, og vinden så slår ned i dype daler, skapes det kastevinder. Vinden er svært uforutsigbar, fordi vindretningen endrer seg.

En stor brann vil også påvirke luftstrømmene i området. Den varme røyken stiger opp, og vil føre til at det strømmer luft utenfra inn til brannen. Dette er omtalt som *båleffekten* i SINTEFs gransking av den store brannen i Trondheim sentrum i 2002 [27, p. 61].

Vind kan føre til at brannsøyler som i vindstille ville stå rett opp, legger seg over og fører til varmeeksponering nedstrøms brannen. Dette vil føre til større eksponering av objekter og bygninger nedstrøms brannen. Når det blåser sterkt, vil det også bli mer effektiv innblanding av frisk luft i brannsøylen enn i vindstille. I svært store branner vil det midt inne i brannen bli underskudd på oksygen, noe som medfører mindre intens brann med lavere temperatur inne i kjernesonen. Ved sterk vind vil dette oksygenunderskuddet ikke oppstå så lett, så de brennbare gassene som utvikles i brannen reagerer fullstendig med

oksygen i luften. En kan si at ved vindpåvirkning vil flammesonen bli mer konsentrert og ha høyere temperatur enn uten vind.

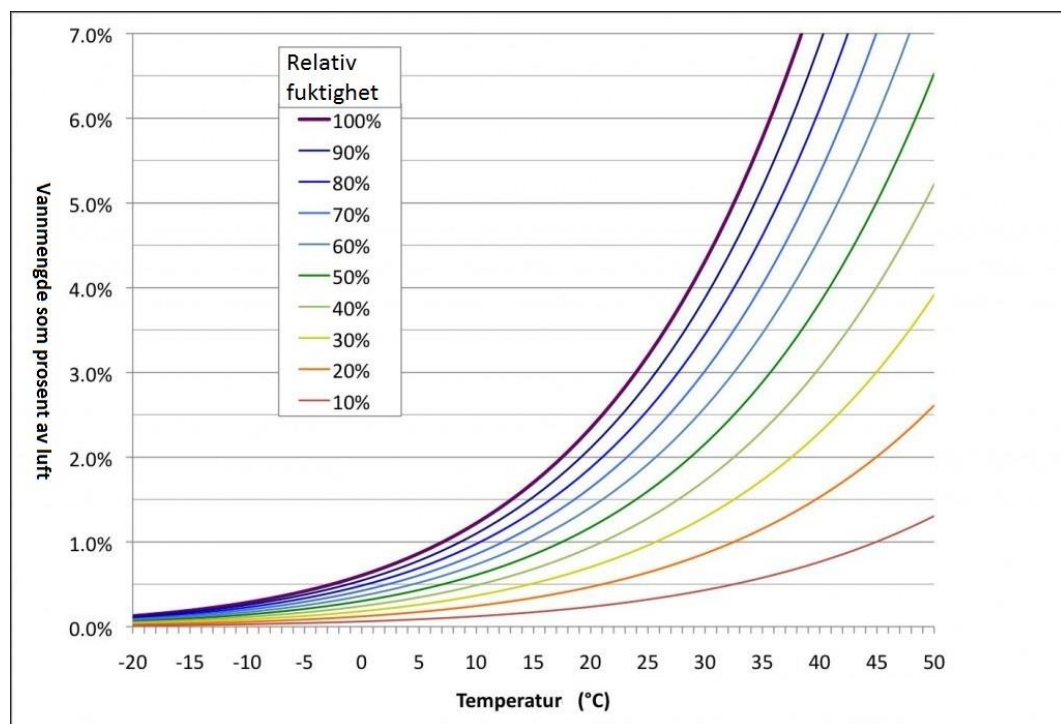
3 Værforhold og fuktighet i trematerialer

3.1 Innledning

I desember (2013) og januar (2014) var det uvanlig lite nedbør flere steder i landet, i tillegg til kraftig vind. Lærdal var et av disse områdene. I uken før den dramatiske brannen var den relative luftfuktigheten konstant rundt 30 %, og temperaturen var rundt 0 °C. Dette tilsvarer en svært lav absolutt fuktighet. Det er spekulert mye omkring i hvilken grad disse værforholdene var medvirkende til at brannen i Lærdal utviklet seg slik den gjorde.

3.2 Luftfuktighet

Luften har mulighet til å binde opp vann. Mengden vann i luften, eller luftfuktigheten, oppgis som regel som relativ fuktighet (RF). Det vil si forholdet mellom den virkelige mengden luftfuktighet og den maksimale mengden fukt (damp) som luften har mulighet for å inneholde ved en gitt temperatur. Luft med en høy temperatur har mulighet til å binde opp mye mer vann enn hva kald luft kan. Dette er viktig å være klar over når man snakker om luftfuktighet, og som vist i Figur 3-1 ser man tydelige forskjeller på dette.



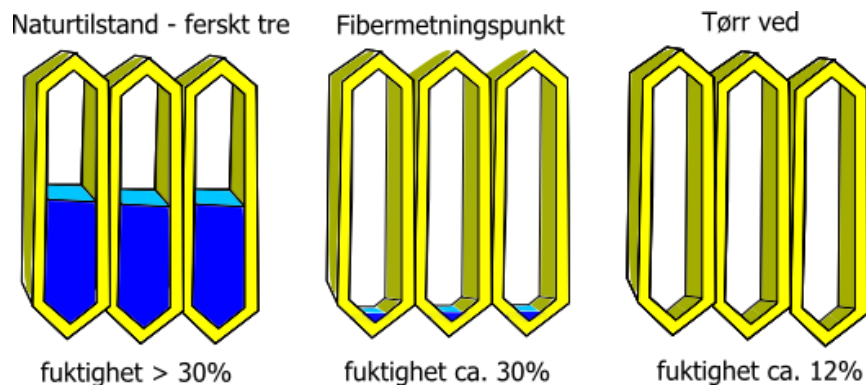
Figur 3-1 Grafisk fremstilling av forholdet mellom relativ fuktighet og absolutt fuktighet ved ulike temperaturer. Figur etter [28].

3.3 Fuktighet i trevirke

Trevirke inneholder en viss andel vann, kalt trefuktighet, og er definert som massen av vannet dividert på massen av tørt tre:

$$Trefukt = \frac{\text{masse av vått tre} - \text{masse av tørt tre}}{\text{masse av tørt tre}} \cdot 100\% \quad (3-1)$$

Trevirke er et hygroskopisk materiale, det innebærer at det foregår en kontinuerlig endring av vanninnholdet. Vanninnholdet påvirkes av omgivelsenes RF og temperatur. Direkte sollys og vind vil også bidra til denne endringen. Vann i trevirke befinner seg enten i celleveggen eller i cellehulrommene. Vannet i cellehulrommene er såkalt "fritt" vann og fordampet først, mens vannet i celleveggen er "bundet" vann. Idet vann fordampet er det det frie vannet som forsvinner først, og når alt dette frie vannet er fordampet, har treet nådd sitt fibermetningspunkt (ca. 30 %). Dette er illustrert i Figur 3-2 under.



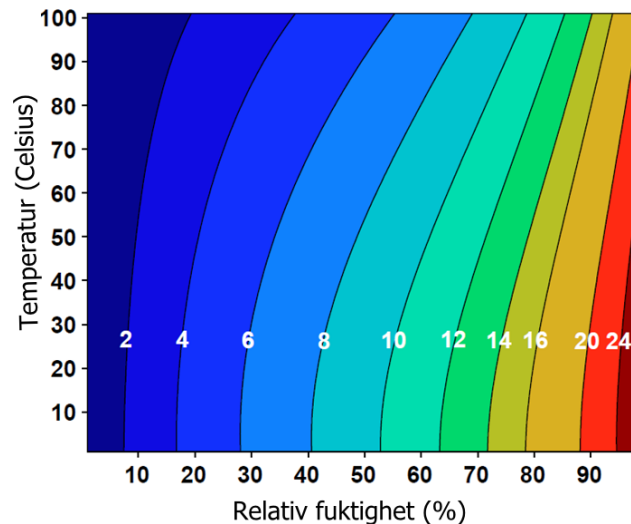
Figur 3-2 Illustrasjon av cellehulrom og cellevegger i trevirke, og ulike grader av vanninnhold. Figuren er utarbeidet etter [29].

3.4 Vindens påvirkning i tørkeprosessen

Vind har en sterk innvirkning på tørking av trevirke, ved at vinden holder overflaten av treet dampfri, slik at fuktigheten fra det underliggende trevirket stadig kan komme til overflaten. Denne tørkeeffekten fungerer imidlertid hovedsakelig inntil fibermetningspunktet. Etter dette punktet har ikke vind noen særlig effekt på fuktigheten i treet [30].

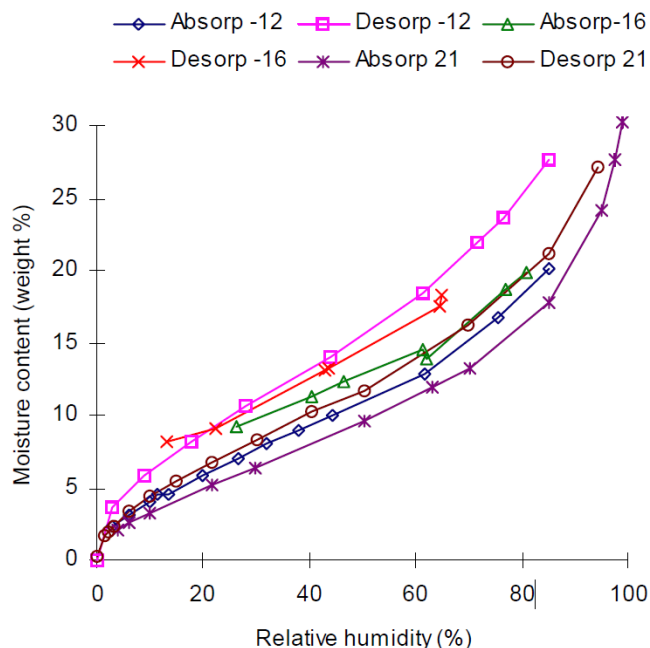
3.5 Likevektsfuktighet i trevirke

Tørking utover fibermetningspunktet avhenger av luftfuktigheten og temperaturen, og vil pågå inntil en likevektsfuktighet (LVF) innstiller seg mellom fuktigheten i trevirket og fuktigheten i luften. Figur 3-3 viser LVF for ulike temperaturer og relative fuktigheter.



Figur 3-3 Likevektsfuktigheten til trevirke for gitt temperatur og relativ fuktighet. Figur etter [31].

Kurvene i Figur 3-3 er teoretiske verdier, og små variasjoner vil forekomme mellom ulike treslag. Figur 3-4 viser resultater fra målinger av fuktinnhold i gran ved ulike temperaturer. Som man ser av figuren, har trevirke den egenskapen at LVF følger ulike kurver avhengig av om det tar opp vann (absorpsjon) eller gir fra seg vann (desorpsjon). Denne forskjellen er imidlertid størst i starten etter at treet er hogd.



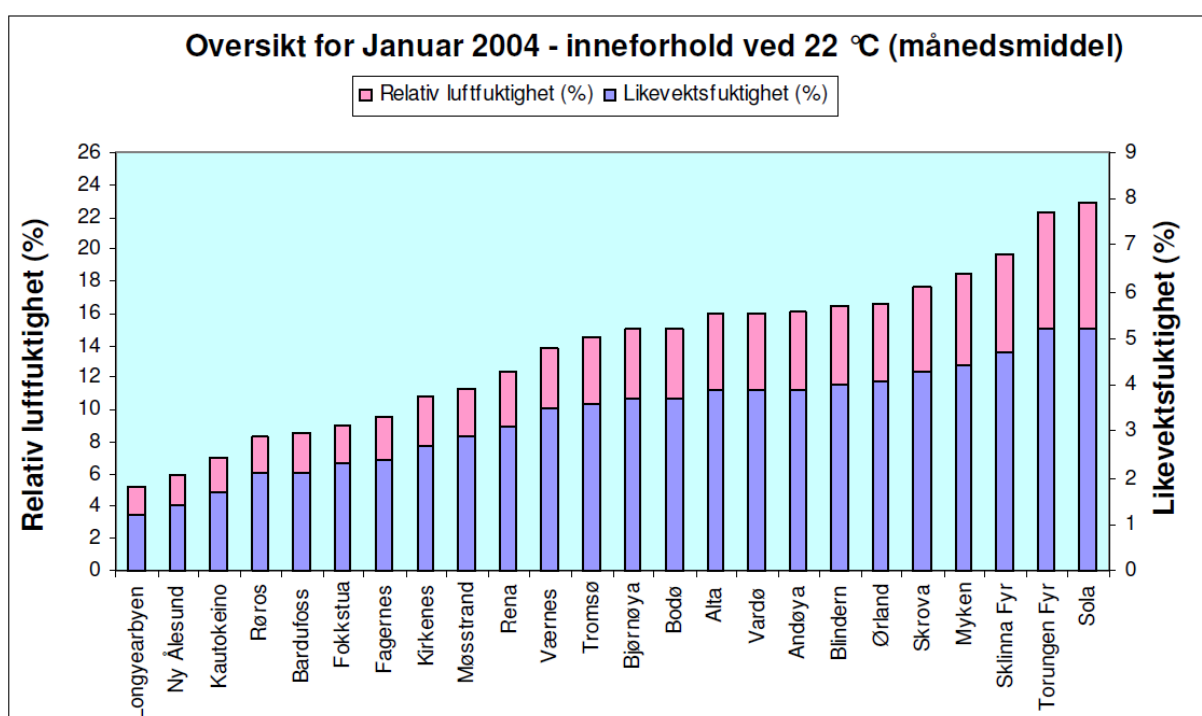
Figur 3-4 Absorpsjons- og desorpsjonsrater for fukt i gran. Figuren er hentet fra [32].

3.5.1 Innendørs likevektsfuktighet i trevirke

Innendørsklimaet varierer med årstidene, og LVF ligger normalt mellom 5 og 15 %. På høsten er det fuktigst med en RF på 60-70 %. Med en RF på 65 % og en temperatur på 20 °C vil LVF stille seg inn på ca. 12 %.

På vinteren kommer det kald luft inn i huset, og den vil inneholde lite vanndamp, selv med en høy relativ fuktighet (jamfør Figur 3-1). Når denne kalde luften varmes opp, synker RF (selv om vannmengden er den samme), og den kan komme ned i ca. 30 %. Dette tilsvarer en LVF på 6 %.

Disse tallene er vel og merke stedsbestemt, og det kan være store forskjeller mellom ulike byer, som vist i Figur 3-5 under (oversikt for januar 2004). Svalbard er det stedet med tørrest luft og lavest LVF i Norge, med ca. 2 % på det laveste.



Figur 3-5 Innendørs relativ luftfuktighet og likevektsfuktighet for ulike norske byer i januar 2004. Kilde: eKlima [33].

3.5.2 Utendørs likevektsfuktighet i trevirke

Utvendig trekledning skal leveres med fuktighet på 17 % ± 2 %. Kledningen vil imidlertid stille seg inn på en LVF etter omgivende forhold. Normal LVF i kledning varierer med årstidene, og en trefuktighet mellom 12 og 20 %⁵ er nokså vanlig. Fuktinnholdet i trevirke i kystklima er oftere mer stabilt, og ligger typisk mellom 15 og 18 %.

Ubehandlet kledning på ytterfasader vil ta opp og avgi fuktighet raskt dersom kledningen ikke har for stor tykkelse. Det kan føre til råte om fuktigheten i treet ligger over 20 %

⁵ Det er viktig å påpeke at endring i vanninnhold fra 10 % til 20 % ikke betyr en økning i vannmengden med 10 %, men tvert imot en dobling (økning på 100 %!).

over lengre perioder. I innlandsområder er det imidlertid ikke uvanlig at ubehandlet tre ikke råtner. Tross dette blir de aller fleste ytterkledninger behandlet med enten maling eller beis, som har som funksjon å beskytte treet mot vanninntrenging og sollyss. Denne overflatebehandlingen fører til en langsom endring av LVF, siden fuktighet har vanskelig for å trenge gjennom overflatelaget, slik at både fukting og tørking av materialet går tregere. Behandlet trevirke vil dermed bruke lengre tid for å innstille seg på en ny likevekt ved endringer i omgivelsene enn hva ubehandlet trevirke vil.

I en by vil det være forskjeller i trefuktigheten både mellom hus, men også lokalt på hvert enkelt hus. Ytterkledningen på sørsiden av et hus er mer påvirket av sollyset enn hva nordsiden er. Strålingen fra sollyset fører til forhøyete overflatetemperaturer, og til at malingen slites fortere. Forhøyete temperaturer vil føre til et tørrere treverk, mens slitt maling kan gi dårligere beskyttelse mot fukt og regn, noe som kan føre til et fuktigere treverk.

3.6 Antennelighet til malt trekledning

I tillegg til å beskytte mot solpåvirkning og fukt, har maling den egenskapen at den påvirker kritisk varmefluks for antennelse og dermed tiden til antennelse. Forsøk (både i laboratorium og i full skala) har vist at behandlede overflater krever en høyere varmefluks enn ubehandlede overflater før antennelse, og i tillegg tar det lengre tid før materialet antennes [34].

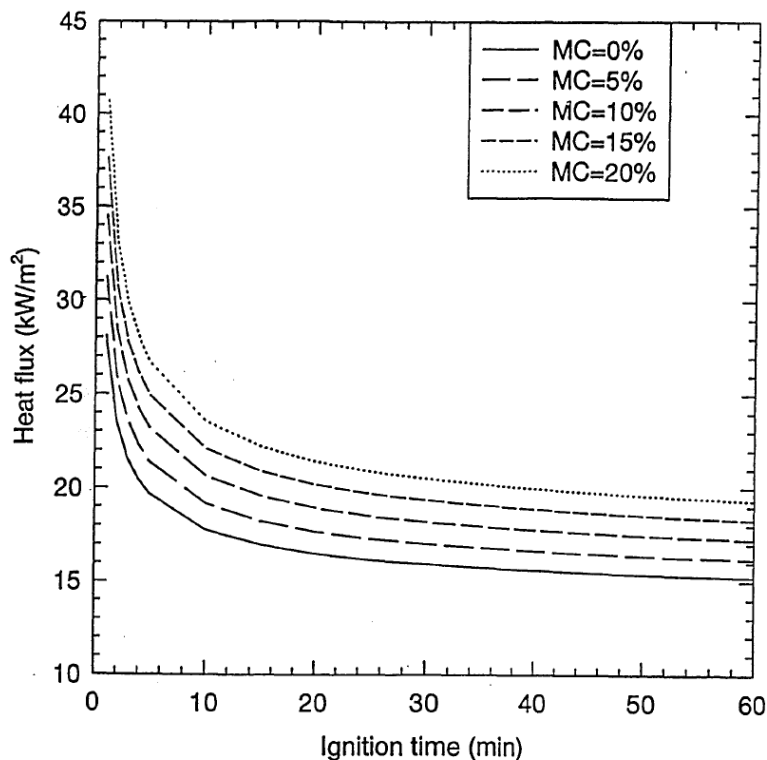
Andre forsøk derimot viser at maling både kan øke og redusere antennelsestiden. Ved få lag maling (2) økte antennelsestiden med en faktor på ca. 2, mens 6 lag reduserte antennelsestiden med en faktor på 7 [35]. Vi har tidligere gjort forsøk som antyder at antall lag maling påvirker hvor lett trevirke antennes, og tiden til antennelse avtar jo flere lag man har [36]. Dette vil nok også avhenge av hva slags type maling som er valgt.

3.7 Fuktighet og brannegenskaper til trevirke

Fuktigheten i tre påvirker hvor lang tid det tar før trevirket antennes. Ved eksponering for varme vil varmeenergi brukes til å fordampe vann i stedet for å varme opp treet, og det er funnet at antennelsestemperaturen ved pilotantennelse med gnist i treet øker med omtrent 2 °C for hver 1 % økning i trefuktighet [37].

Dette fører til at det blir signifikant lengre antennelsestid for fuktige materialer. I tillegg er det vist at hastigheten for varmeavgivelse ved forbrenning (5 minutters gjennomsnitt) reduseres med 2,3 % per 1 % økt fuktighet i treet [38].

Dette innebærer at treverk med lav fuktighet vil antennes lettere, gi høyere varmeavgivelse og spre brannen raskere enn et normalt fuktig treverk.

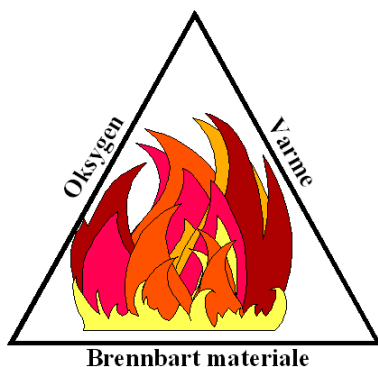


Figur 3-6 Sammenhengen mellom antennelsestid, varmekraft og trefuktighet (MC = moisture content). Figuren er hentet fra [37].

4 Slokkemidler og slökkemetoder

4.1 Vann

Generelt er vann suverent i forbindelse med brann i trehus. Det vil fukte trevirket, kjøle branngasser og hindre overtenning, og kan slokke brannen ved hjelp av kjøling. I lukkede rom vil vann også ha en inertiseringseffekt. Vann har vært brukt som slökkemiddel til alle tider, og sprinklerteknologien er rundt hundre år gammel. De siste 25 årene har mye skjedd på forsknings- og utviklingsfronten når det gjelder dråpestørrelse og automatiske vanntåkeanlegg, og skjærslokker og tåkespyd har kommet på markedet. Selv ved bruk av brannhindrende gel og ulike typer skum, er vann hovedbestanddelen i slökkemiddelet [32,33].



Figur 4-1 Branntrekanten.

Den tradisjonelle branntrekanten, Figur 4-1, viser hva som må være tilstede for at en brann skal oppstå og bli opprettholdt. Det trengs tilstrekkelig oksygen, varme og brennbart materiale. Vann vil kunne påvirke brannen på alle sider av trekanten.

Slokketaktikk og valg av metode vil være avhengig av brannscenarioet og hva man vil oppnå. For kjøling og fukting av det brennbare materialet er generelt store dråper som kan trenge gjennom branngassene å foretrekke, mens mindre dråper som fordampes i brannsonen vil ha best virkning for sløkking av brannen med hensyn til inertisering og kjøling av selve brannen [33–35].

4.2 Skum

Skum blir delt opp i 3 grupper ut fra hvor mye skumblandingen ekspanderer:

- Lavekspansjonsskum, eller tungtskum, som ekspanderer opptil 20 ganger
- Mediumseksjonsskum som ekspanderer mellom 20 og 200 ganger
- Høyekspansjonsskum, eller lettskum, som ekspanderer mellom 200 og 2000 ganger

I tillegg finnes det flere systemer med trykkluftskum (CAFS fra engelsk *compressed air foam systems*). I trykkluftskum-systemer lages skummet ved at trykkluft blandes inn, og at selve skummet blir ført gjennom slangene, mens for tradisjonelt skum er det kun blandingen av skumtilsats og vann som går gjennom slangene, og luften blir blandet inn ved utløpet. Lettskum brukes ofte for å fylle opp hele rom, mens de andre typene brukes mer i manuelle innsatsmetoder. Tradisjonelt har skum vært brukt mot væskebranner, men det har blitt mer og mer vanlig å bruke skum ved bekjempelse av brann i trematerialer også. Enkelte forsøk har vist at forskjellen i sløkkeeffekt mellom skum kontra bare vann er minimal, men skum vil dekke til det brennbare materialet på en bedre måte, og hindre eller forlenge tiden til reantennelse. Det er behov for bedre dokumentasjon av sløkkeeffekten for flere skumsystemer [33,36].

I den senere tiden har det vært fokus på innvirkningen av skum på helse og miljø. Flere skumtyper har blitt forbudt fordi det har vist seg at de ikke brytes ned i naturen, og de kan ha negativ effekt på mennesker, dyr og natur. Det har da dukket opp flere nye miljøvennlige skumtyper på markedet, og hvor god effekten på disse er i forhold til eldre skumtyper, er ikke dokumentert [44]–[46].

4.3 Brannigel

Brannigel (engelsk: *fire retardant gel*) ble først brukt i USA rundt 1960 for bekjempelse av skogbranner. En liten mengde pulver av ulike typer tilsettes til vann, og gjør blandingen tyktflytende og geleaktig. Forsøk gjort i laboratorier har vist at brannigel er flere ganger bedre å bruke enn bare vann når det gjelder å hindre antennelse og brannspredning. Pulveret som brukes for å danne gelen er som oftest forskjellige polymerer eller leirepartikler. Flere av disse er vist å ikke ha noen negativ innvirkning på miljøet, og det er vist at minimalt med vann trengs for å hindre antennelse over lengre tid. Ettersom gelen blir utsatt for varme, vil vannet fordampe fra gelen, men med kortvarige vannstøt mot den beskyttete flaten, vil gelen bli forsterket [32,40,41].

Brannigel brukes i USA for bekjempelse av skogbranner, men det antas at den har en god effekt også i tett trehusbebyggelse når det er et ønske om å forhindre brannspredning til nabohus. Det er nødvendig med mer forskning på dette, og også å sammenlikne effekten av gel med effekten av ulike typer skum.

Retningslinjer for anvendelse av skum og gel er beskrevet i Wildland Urban Interface (WUI) Structure Defense utgitt i California i 2013 [49, p. 6]:

- Direkte angrep med skum klasse A⁶: Påfør på basen av brannen.
- Påfør skum av klasse A på tak og vegger 10-15 minutter før brannen når huset.
- Påfør skum eller gel på bygningen og på vegetasjon tett inntil bygningen.

4.4 Kastelenge for sløkkevann

I dag er det vanlig med regulerbare strålerør med variasjonsdyse. Disse kan stilles til å ha vannføring på ca. 100 liter/min og oppover til ca. 450 liter/min. Variasjonsdyse vil si at spredningen kan varieres fra kompakt stråle til en skjerm av små dråper. Et eksempel på dette er vist i Figur 4-2. Dråpestørrelse mellom 0,15 og 0,3 mm vil ha størst effekt på slokking innvendig i normale boligrom. Ved utvendig brannbekjempelse er innvirkningen av dråpestørrelse lite dokumentert, men mindre dråper i samme størrelsesorden som det optimale for innvendig slokking vil påvirkes sterkt av vind og ha kort kastelengde. Kastlengde for kompakte stråler uten påvirkning fra vind ligger normalt mellom 40-50 m ved 7 bar dysetrykk [33,34,42].

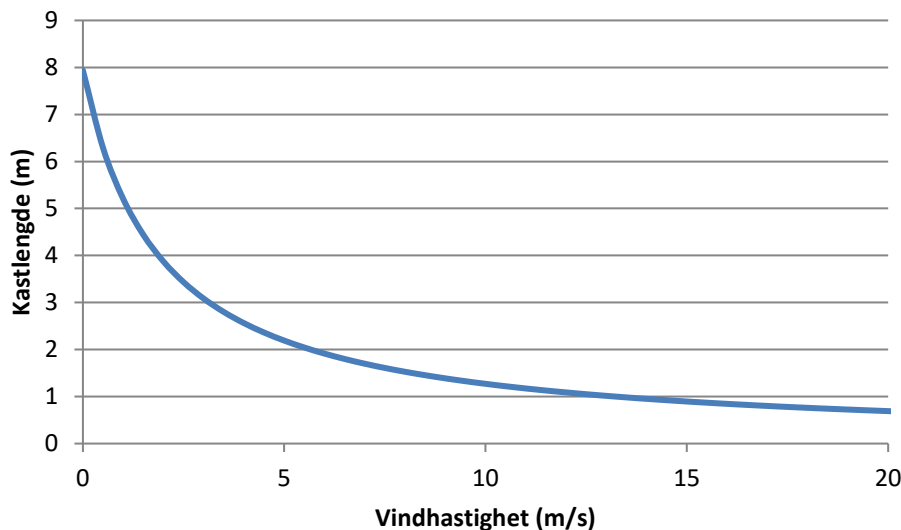


Figur 4-2 Bilde av strålerør med variert spredningsmønster. Til venstre: Kompakt stråle med lang kastelengde. Midten: Vanntåke med middels spredning. Til høyre: Vannskjerm med mange små dråper med stor spredningsvinkel [50].

Den lengste kastlengden oppnås med kompakt stråle før denne brytes opp i enkeltdråper. Enkeltdråper har veldig begrenset rekkevidde i vind. En enkel modell av dette er vist i Figur 4-3. Denne modellen tar for seg enkeltdråper med utgangshastighet på 25 m/s, som

⁶ I følge Wikipedia ble skum av klasse A utviklet på midten av 1980-tallet for bruk i skogbranner. http://en.wikipedia.org/wiki/Class_A_foam

er typisk for normale strålerør. Vannråpene beveger seg mot vindretningen. Modellen er ikke realistisk for et virkelig strålerør, da vannstrålen vil bestå av veldig mange dråper som virker inn på hverandre, selv etter at strålen er brutt opp [42,43].



Figur 4-3 Oversikt over kastlengde til store enkeltdråper med utgangshastighet 25 m/s mot vindretningen.

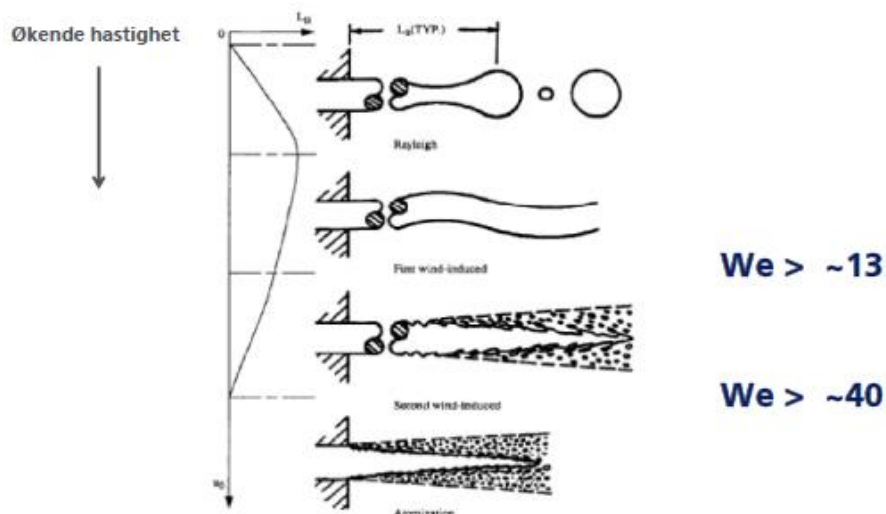
For å få et mer realistisk resultat, må tiden til strålen bryter opp beregnes. Oppbrytning av stråler kan skje på flere måter som vist i Figur 4-4. Her er forskjellige oppbruddsmekanismer vist som følge av Webertallet. Webertallet er definert som treghetskrefter delt på overflatespenningen til væsken. Treghetskraftene er avhengig av hastigheten av væsken gjennom hullet, størrelsen på hullet og densiteten til væsken:

$$We = \frac{\rho U^2 d_0}{\sigma} \quad (4-1)$$

Hvor

- ρ er densiteten
- U er utgangshastigheten
- d_0 er diameter av hullet
- σ er overflatespenningen

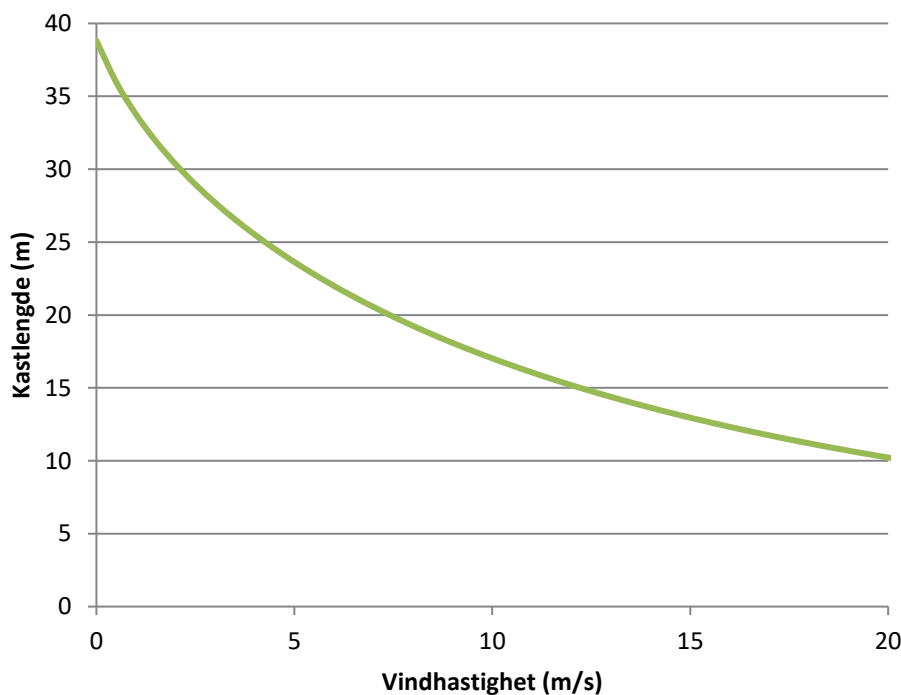
For strålerør er utgangshastigheten så høy at tilfellet med atomisering av vann (oppbrytning til små dråper) ofte er det mest relevante [44,45].



Figur 4-4 Oversikt over forskjellige oppbruddsmekanismer på væskestråler som følge av Webertall. Figuren er hentet fra [52].

Når det er vind til stede, vil det også være flere krefter som virker inn på strålen⁷ som kan føre til at oppbrudd av strålen skjer noe tidligere og kastelengden blir kortere enn i vindstille vær. For mer nøyaktige resultater må numeriske CFD-beregninger utføres. Det er også en god idé å gjøre forsøk med strålerør i vindtunnel og måle kastelengden [53].

For å beregne kastelengden er tiden til strålen brytes opp beregnet, og det er tatt utgangspunkt i at strålen har samme hastighet helt frem til dette tidspunktet. Resultatet er vist i Figur 4-5 [54].



Figur 4-5 Beregnet kastlengde av vannstråle i motvind avhengig av vindhastighet. Utgangshastigheten på strålen er satt til 25 m/s.

⁷ Kelvin-Helmholtz ustabilitet er et eksempel. Denne effekten vil bremse vannet i ytterkanten av strålen, og gjøre at vanndråper forsvinner bort fra denne.

5 Bygningsmessige tiltak for beskyttelse mot områdebrann

I en australsk studie ble antennelse av trebroer ved skogbranner undersøkt [55]. Det ble konkludert med at den vanligste antennelsesmekanismen var via flyvebranner, og da ved akkumulering av glør.

Glørne ble samlet opp på to måter:

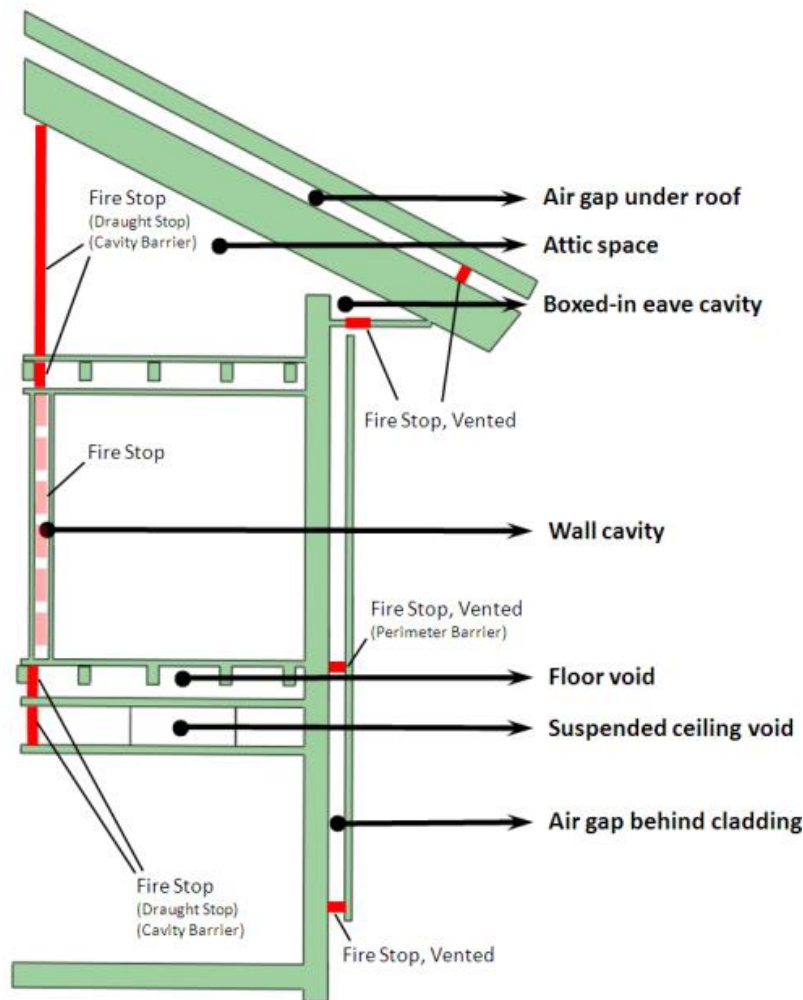
- a) i hulrom skapt av selve utformingen og konstruksjonen av broen. Komplexitet i konstruksjonen, med mange parallelle overflater, hvor varmestråling kan utvikles etter antennelse, legger til rette for antennelse. Slike detaljer i geometrien kan også akselerere den etterfølgende ulmebrannen.
- b) i sprekker, skapt gjennom aldring av trevirket. Det vanligste antennelsesstedet for broene i undersøkelsen var på selve den trelagte kjørebanelen til broen. Det ble ikke registrert branner som startet på bakkenivå for så å spres oppover i broen. Det var sjelden direkte flammekontakt som ledet til antennelse, men mye oftere flyvebranner.

Overflatebehandling av trevirket og fukting med vann var to tiltak for å redusere risikoen for antennelse som ble undersøkt i studien. Overflatebehandling, i form av svellende maling eller flammehemmende behandling, reduserte forekomsten av antennelse, men eliminerte den ikke. Det var viktig at også hulrommene og sprekkeene var behandlet, noe som kan være vanskelig å gjennomføre og kontrollere. Disse to tiltakene kan derfor ha stor betydning som metoder for å forsinke antennelse, for derved å gi mer tid til brannvesenet for å slokke brannen [55].

Mekanismen ved antennelse av hus fra flyvebranner er velkjent, f. eks. ved erfaring fra skogbranner i USA og Australia. Utstikkende bygningsdeler som raftekasser på hus, er sårbare med hensyn til eksponering for flyvebranner. En brannmotstandsdyktig bygning vil kunne stå i mot flere forskjellige typer av eksponering; flyvebrann, flammer og varmestråling fra nærliggende hus og vegetasjon. Spesielt har takets beskaffenhet (design, materiale og tilstand) stor betydning for brannspredning [56].

Det er ikke dokumentert at ventiler i raftekasser er mer utsatt for inntrenging av glør enn ventiler i gavl [57]. Det er antatt at det kan dannes en såkalt resirkulasjonssone under raftekasser, hvor oppsamlete glør blir virvlet rundt av turbulente luftstrømmer, men det er ikke vitenskapelig vist at dette virkelig skjer [58].

Den svenske rapporten Brandsäkra trähus 3 [59] tar blant annet opp viktigheten av å brannsikre skjulte hulrom (concealed spaces) som hulrom i vegg og gulv, loft og ventilasjonsåpninger. Brann i skjulte hulrom kan være meget utfordrende for brannvesenet, fordi brannen kan være uforutsigbar og kan utvikle seg raskt, og det kan være tidkrevende å få tilgang til selve brannen. Skjulte hulrom kan beskyttes med ulike typer av brannstoppere, samtidig som det er viktig at beskyttelsen tillater nødvendig ventilasjon for å unngå fuktproblemer i bygningen, se Figur 5-1.



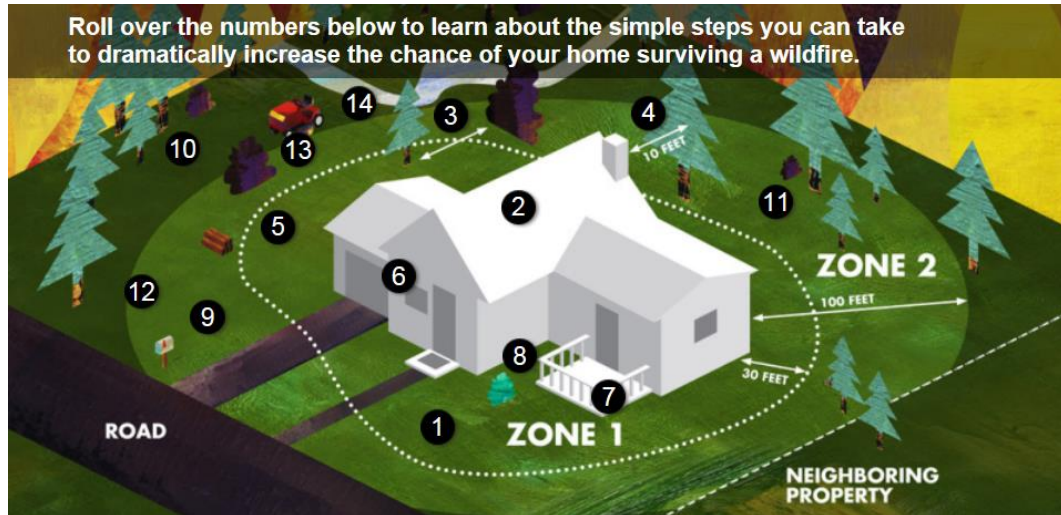
Figur 5-1 Oversikt over skjulte hulrom i en trebygning [60].

Overflateegenskapene til fasader har også stor betydning ved ekstern branneksplosjon. Noen eksempler på tiltak for å redusere brannrisikoen i forbindelse med trefasader, er å begrense andelen brennbart materiale i fasaden, utføre brannhemmende behandling av kledningsmaterialet, og å bruke brannklassifiserte vinduer.

Imidlertid må brannvesenets slukkeinnsats poengteres. God beredskap og tilfredsstillende tilgang til bygninger er viktig for å redusere risikoen for brann [59]. Bygningsmessige tiltak har størst betydning for å forsinke brannspredning, og dermed gi brannvesenet mer tid til slukkeinnsatsen. Majoriteten av boligene som brant ned i de amerikanske skogbrannene hadde ikke aktiv slukkeinnsats [56].

6 Enkle brannsikringstiltak for huseiere

I Figur 6-1 er det gitt en rekke råd om enkle tiltak som myndighetene i California anbefaler huseiere å følge. Alle tiltakene vil ikke være relevante for norske forhold, her er det rom for skjønn.



Figur 6-1: Tegningen viser enkle men viktige tiltak som kan redusere sannsynligheten for antennelse ved skogbrann [61].

Tekst til tallkodene (egen oversettelse):

- 1: Fjern døde planter og ugress.
- 2: Fjern tørre blader og barnåler fra gårdsplass, tak og takrenner.
- 3: Klipp trær regelmessig så greiner er minst 10 fot (ca. 3 meter) fra andre trær.
- 4: Fjern døde greiner som ligger over taket. Hold greiner minst 10 fot (ca. 3 meter) vekk fra skorstein.
- 5: Flytt vedstabler utenfor sone 1, dersom de ikke er fullstendig dekket med ubrennbart materiale.
- 6: Fjern eller beskær planter og kratt nær vinduer.
- 7: Fjern vegetasjon og objekter som kan ta fyr under og i nærheten av veranda.
- 8: Lag et skille mellom trær, kratt og objekter som kan ta fyr, slik som hagemøbler etc.
- 9: Klipp gresset til en maksimal høyde på 4 tommer (ca. 10 cm).
- 10: Lag et horisontalt skille mellom kratt og trær.
- 11: Lag et vertikalt skille mellom kratt og trær.
- 12: Fjern løv, barnåler, kongler, pinner og små grener som har falt på bakken.
- 13: Klipp gresset før kl. 10 om morgenen, men aldri hvis det blåser eller er ekstremt tørt.
- 14: Beskytt vannkilder. Ikke fjern all vegetasjon nær vannveier. Å fjerne vegetasjon kan føre til erosjon, særlig i bratte helninger.

I et avisintervju etter brannen i Lærdal foreslår en brannrådgiver følgende tiltak som beboere kan innføre for å hindre slik brannspredning [62]:

1. Fjerne alt brennbart, og unngå lettantennelige busker, møbler, leker, søppel, barnevogn og vedstabler nær huset.
2. Unngå utskjæringer og innviklede detaljer på vegger og tak som lett vil antennes.
3. Unngå åpninger, fuger, sprekker i treverk over 2 mm – her kan gnister passere.
4. Bruk brannfugeskum – ikke vanlig byggeskum – for å tette hulrom mot brann og gnister. Kledning som er ventilert må ikke tettes i topp eller bunn, lufting er viktig for å hindre råte.

5. Mønet er oftest åpent for å ventilere luft ut, og det er ikke tett her. Gnister flyr ikke lett mot luftstrømmen.
6. Lukk alle vinduer og dører og luker når det er brann.
7. Bruk brannbestandig netting med cirka 2 mm maskevidde i åpninger – det vil stå mot gnistregn.
8. Der du må ventilere – for eksempel under takutstikk, bruk ventiler som tåler brann inntil fasadevegg, flammer i vindkast og gnister. Ventiler bør monteres av fagfolk.
9. Hus uten kjellere, med kryperom mot bakken, er særlig utsatt ved områdebrann utendørs. Her må det ikke oppbevares brennbart materiale. Kryperommet må sikres med gnistnetting.
10. Hageslange for helårsbruk er bra, beboere kan fukte husveggen før brannen angriper. Branngel kan være et effektivt brannhindrende middel.

Flere av disse forslagene er basert på sunn fornuft og antakelser, og ikke nødvendigvis underbygget med forskning. Eksempelvis ble det i forsøkene ved NIST med gnistregn mot ventiler observert gjennomtrenging av glør for netting med maskevidde 1,5 mm, se avsnitt 2.2.1.1. Alle tiltakene er heller ikke nødvendigvis like relevante for norske forhold. Kost-nytte-effekt av ulike tiltak må også vurderes. Flere av tiltakene er imidlertid både enkle, rimelige og har andre positive funksjoner i tillegg til å være brannbegrensende.

7 Beskrivelse av områdebrannen i Lærdal

7.1 Befaring etter brannen

En befaring ble foretatt sammen med evalueringsgruppen fra DSB den 10. april 2014. Hensikten var å danne oss et bilde av brannen ved å se området, og å få en beskrivelse av de som var involvert i slokkeinnsatsen. Så lang tid etter brannen var det ikke forventet å finne mange spor etter selve brannutviklingen, men befaringen var likevel viktig for å få en forståelse for hvordan området med bebyggelsen så ut, og hvor de ulike brannområdene var lokalisert. Nedenfor gjengis noe av informasjonen som ble delt ved befaringen. Noe av informasjonen er også innhentet gjennom samtaler med brannsjefen i Årdal/Lærdal i ettertid.

I et innledende møte beskrev brannsjefen og innsatslederen hendelser, aktiviteter og observasjoner fra brannen. Møtet ble etterfulgt av en befaring i brannområdet, hvor mange av branntomtene også ble fotografert.

Bygninger

Husene som brant først skal ha vært bygget på 1950-tallet, og huset som står igjen i Kyrkjeteigen 2 er bygget på samme tid. Dette huset var nylig blitt renover og påbyggt. I den forbindelse ble det skiftet tak, vinduer og kledning på huset [63]. Taket er et valmtak. Ingen bolighus omfattet av brannen var av mur med tretak, kun noen uthus og garasjer.

Værforhold

Lærdal er et nedbørfattig sted, og vindforholdene er ofte turbulente på grunn av de bratte dalsidene. Vind fra øst, som var tilfellet her, er normalt i området.

Beredskap

Brannsikringsplanen for Lærdalsøyri er laget med utgangspunkt i at branner starter inne i bygninger, ikke i spredning fra utsiden.

Brannen

Brannspredning ved stråling, gnist, flammekontakt, også langs bakken via vegetasjon ble observert. Gresset var veldig tørt, og spesielt høyt gress brant godt. Kortklippet plen klarte seg bedre, men de som hadde litt lenger gress på plenen hadde større problemer. Det var sterk vind og kraftig turbulens, og i den sterke vinden fløy det brennende gjenstander av forskjellig størrelse, og det regnet glør. Brennende glasskuler, opp mot noen centimeter i diameter, som fôr gjennom luften ble nevnt. Det er ikke bevart noen prøver av disse kulene.

Husene ble antent fra utsiden, og det gikk veldig fort fra antennelse til de sto i full fyr. Gnistregnet tok seg i mange tilfeller inn under taket, ofte i mønet. Det tok så fyr i panelet, og brannen spredte seg fra utsiden og inn i bygningene.

Det ble opplevd som tilfeldig hvor det brant når brannen spredte seg, og det var ikke én brannfront som beveget seg fremover. Brannmannskapet regnet med at brannen ville stoppe ved idrettsplassen, men innså at selv ikke den var en stor nok branngate, da man oppdaget at brannen hadde spredt seg til andre siden. Idrettsbanen har en lengde på 190 m.

Flyvebranner antente vegetasjon i den søndre fjellsiden på flere steder, men man satte ikke inn noen innsats for å slokke disse brannene i løpet av natten.

Det var mye uttak av vann fra hydrant, hvilket ledet til redusert vanntrykk i løpet av innsatsen. Mange privatpersoner tappet også vann ved hjelp av hageslanger. Vann-nettet er ikke dimensjonert for å levere så mye vann som ble brukt, og i tillegg forsvant

strømmen slik at pumpen til høydebassenget stoppet en kort tid. Dette ble imidlertid raskt ordnet. Slokkevann ble for øvrig også hentet fra elven og fra fjorden. Det var ikke tilgang til TFT-rør⁸ for store vannmengder, men en vannkanon fra Årdal brannvesen ble brukt. Et annet problem for innsatsen var at flyvebrannen og andre gjenstander som varme blikkplater ødela en del slangemateriale.

Da Avinor kom, brant det på Øyramarki. Bilen bidro innledningsvis med såkalt tungt skum, som ble spylt på husene som et brannhindrende tiltak. Dette skummet ble liggende igjen på husene, mens et lettere skum av typen CAFS ville ha blåst vekk i vinden. Gel ble ikke brukt under innsatsen.

Gyllevogner ble brukt hovedsakelig for å fukte bakken mellom hus. Disse ble fylt med vann fra elven og fjorden, og gikk raskt å fylle.

Det ble bedt om helikopter, men på grunn av at det var mørkt, den sterke vinden og turbulensen samt brannen i fjellsiden, var helikopter ikke mulig å bruke.

Sivilforsvaret bidro blant annet med å fukte husvegger med vann for å forhindre antennelse. Øyragata 66 (Nabohuset til Synneva Eris) hus er et vellykket eksempel på dette.

Isdannelse på husvegger fra spyling med vann kunne ikke ha blitt brukt som brannhindrende tiltak, siden lufttemperaturen ikke var lav nok. Først på søndagen frøs vannet til is.

Det ble vurdert å rekvirere en gravemaskin for å lage branngate, men dels var man redd for å miste vanntilførsel, dels var det uvisst hva en slik branngate kunne bidra med, siden brannen tok seg forbi idrettsplassen. Da vinden avtok ved 5-tiden søndag morgen, ble gravemaskinen imidlertid brukt i slokkearbeidet.

Brannsjefen i Årdal/Lærdal oppsummerer opplevelsen av brannnatten med at det var uoversiktlig, og til tider litt kaotisk å skulle forholde seg til denne brannen. Den spredte seg tilsynelatende tilfeldig rundt omkring. For eksempel er det merkverdig at brannen spredte seg til kulturhuset langt nord i bygda, i stedet for vestover til den mest tettbebygde, eldste delen av bygda. Han har aldri i sin karriere opplevd et så hurtig brannforløp som han observerte i bygninger denne natten - det gikk svært kort tid fra antennelse til det bare var en glohaug igjen av bygningen [64].

Det var svært vanskelig å velge brannstrategi i løpet av natten. Særlig de første timene snudde den kraftige vinden ofte. Dette gjorde at de kunne bestemme seg for en brannstrategi, deretter snudde vinden, og så oppstod det branntilløp rett bak dem.

⁸ TFT = *Task Force Tips Ultimatic* (også kalt *TFT Ultimatic*). Spesiell spraydyse til brannslukking.

7.2 Vitnebeskrivelser, dokumenter, foto og film

7.2.1 Innsamlet materiale

Det innsamlete materialet til denne rapporten består av fotografier og video, samt dokumenter og noen vitnebeskrivelser. Materialet er i hovedsak samlet inn av SP Fire Research. Gjennom et søk på nettet og samtaler med redaksjoner i aviser og TV, kom det frem at det var en håndfull freelancefotografer, fotografer og journalister til stede i løpet av brannnatten. Fotografer som var tidlig på stedet ble kontaktet og bedt om å bistå med foto- og videomateriale. I tillegg ble det samlet inn bilder fra personer som hadde oversiktsbilder fra før og etter brannen. Til sammen er nærmere 1500 bilder samlet inn og gjennomgått. Et titalls videoer er også innhentet, i tillegg til at video som ligger offentlig tilgjengelig på nett er gjennomgått. Media som har bidratt med foto- og videomateriale til granskningen er Sogn Avis, Bergens Tidende, NTB Scanpix, Dagbladet og NRK. Informasjon fra artikler skrevet av VG, Aftenposten og standplass.no på nett er også brukt.

Bilder i rapporten er gjengitt med tillatelse fra de som innehar rettighetene til bildene. Bildematerialet som presenteres skal ikke gjenbrukes uten tillatelse fra de som er merket som fotograf av bildet.

Blant dokumenter som er brukt er det offentlig tilgjengelige programmet for gjenreising av Lærdalsøyri, utgitt av Lærdal kommune [65]. Brannsjefen i Årdal/Lærdal ga i forbindelse med befaringen beskrevet i avsnitt 1.3.2 en presentasjon. Dette var en sammenstilling av den fremskutte kommandosentralens logg (KO-loggen) til politiet og observasjoner gjort av brannvesenet [66]. Presentasjonen ble brukt som et av underlagene for utarbeidelse av tidslinjen i prosjektet vårt, samt som informasjonsgrunnlag for vurdering av observasjoner og enkelthendelser i brannforløpet.

Korte førstehånds vitnebeskrivelser er innhentet fra brannsjefen og fra fotografer på stedet. Den første av fotografene kom til stedet litt før midnatt. Videre er andrehånds vitnebeskrivelser gjengitt i media brukt der disse ga nye opplysninger. Der vitnebeskrivelser er brukt i denne rapporten, er dette understreket.

7.2.2 Analysemetoder

Det innsamlete materialet ble gjennomgått for å bestemme hvor bildet eller videoen var tatt, og hvilke hus som vises i bildet. Der det var usikkerheter ble fotografen kontaktet, og det ble gjennomgått hvor han befant seg på de ulike tidspunktene. I den forbindelse ble også observasjoner som fotografene hadde gjort notert.

De innsamlete videoene er ikke digitalt merket med tidspunkt for når de er tatt. Disse er derfor brukt for å finne hendelsesforløp for brannspredningen. Som et eksempel er det flere videoklipp hvor rekkefølgen på antennelse av ulike bygg kommer frem. Dette ble synkronisert opp mot bilder for å finne tidspunkt for hendelsene.

De innsamlete bildene er digitalt merket med tidspunkt for når bildet var tatt. Fotografene sjekket hvorvidt disse tidspunktene stemte overens med reell tid, eventuelle avvik ble notert. Tidspunktene ble brukt til å lage en tidslinje for når de ulike bygningene ikke enda var antent, antent, i fullt utviklet brann og utbrent. Fullt utviklet brann er her brukt som betegnelse for bygninger hvor mesteparten av bygningen fremdeles står, men det er voldsomme flammer fra bygget.

Det er kun ett bygg hvor det innsamlete bildematerialet viser alle stadier av brannforløpet, Øyramarki 3, og dette ble brukt som en indikasjon på hvor lang tid det tok fra et hus ble antent til det var utbrent i den sterke vinden brannnatten. Deler av brannforløpet til en

rekke andre hus er også dokumentert, og disse ser ut til ha lignende brannforløp som Øyramarki 3. Bildeserien i Figur 7-1 viser at det tok rundt 1,5 timer fra Øyramarki 3 ble antent til det var utbrent. Denne tiden ble brukt som en veiledende tid for brannforløp i andre bygninger av samme størrelse, der hvor bildedokumentasjonen var mer mangelfull.



Figur 7-1: Tidslinje for brannforløp i Øyramarki 3, bildene er tatt fra to forskjellige synsvinkler. Det var ikke tegn til antennelse av huset på et bilde tatt kl. 04:33. Foto: Elias Dahlen/ Bergens Tidende.

Der hvor det manglet video eller bildemateriale, ble vitnebeskrivelser brukt som en indikasjon på hva som skjedde, og på hvilket tidspunkt.

Den innsamlete dokumentasjonen ble sortert i programvaren Picasa, og brukt til å gi en gjengivelse av brannspredningen i tid og rom, som er vist på kartet i Vedlegg A, og beskrevet i avsnitt 7.3. Videre er dokumentasjonen brukt til å se på mulige brannspredningsmekanismer, med utgangspunkt i faglitteratur på området, som er beskrevet i avsnitt 2. Mekanismer for brannspredningen i Lærdal er beskrevet i avsnitt 8.4, og i kartet i Vedlegg B.

Funn fra bilder som viser et veldig kort brannforløp bekreftes av øyenvitneobservasjoner, blant annet fra brannsjef i Årdal/Lærdal. I følge han gikk det svært kort tid fra glør spredte seg mot et hus, til huset ble antent og det deretter var fullt utviklet brann i huset [64].

Siden brannen foregikk om natten, er mange av bildene mørke. Samtidig er det en utfordring å ta bilder av branner, siden kontrasten mellom flammene og bakgrunnen er stor. Dette kan medføre en del usikkerhet i resultatene fra tolkningen av glør, gnister og flammer i bildematerialet.

7.3 Resultater fra gjennomgangen

7.3.1 Værforholdene før og under brannen

Værdata fra 19. desember 2013 til 19. januar 2014 er innhentet fra Meteorologisk institutt sin nettjeneste eKlima [33]. Det var ikke tilgjengelig data fra vindmålinger i Lærdal, så derfor innhentet vi data fra Sogndal lufthavn, som var den nærmeste værstasjonen med vindmålinger. På grunn av ulik topografi er det sannsynlig at vindforholdene i Lærdal kan være vesentlig forskjellige fra vindforholdene ved Sogndal lufthavn, så derfor er disse opplysningene kun veiledende. Data for temperatur og relativ luftfuktighet er fra værstasjonen i Lærdal.

Vindretningen i løpet av denne måneden har variert, men den siste uken lå den stabilt på mellom 40 og 50°, noe som tilsvarer vind fra nordøst. Om kvelden den 18. januar ble det registrert en vindretning på 40°. De kraftigste vindkastene som ble registrert på Sogndal lufthavn den 18. januar var mellom 12,2 og 15,2 m/s. Dette tilsvarer liten til stiv kuling på Beaufort-skalaen.

I følge Værvarslinga på Vestlandet blåste det storm i fjellet den dagen det brant, noe som kan ha ført til uforutsigbare kastevinder på Lærdalsøyri [26].

Lufttemperaturen den siste uken før brannen lå rundt 0 °C, 18. januar var den ca. -1°C.

Den relative luftfuktigheten varierte mellom 30 og 100 % i måneden før brannen. Fra 16. til 18. januar lå den jevnt på 31-33 %. Les mer om betydningen av luftfuktighet i kapitlene 3 og 8.6.

7.3.2 Brannspredningen i tid og rom

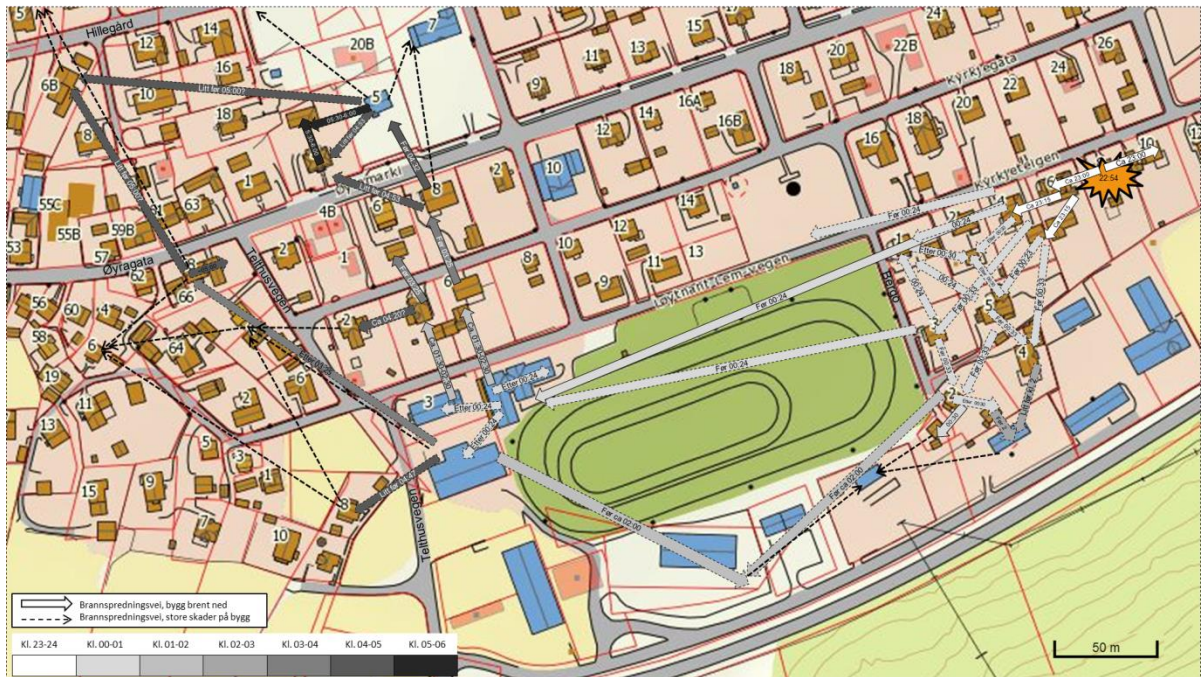
I dette avsnittet vil tidsforløpet til brannspredningen bli beskrevet. Kartet i Figur 7-2 viser en oversikt over antennelsestidspunkt for hus og bygninger, en større og mer detaljert versjon av kartet er gitt i vedlegg A. Det anbefales å ha det detaljerte kartet lett tilgjengelig når man skal lese dette avsnittet.

Brannspredningsvei er indikert som piler. Brede piler viser brannspredningsvei til bygninger som brant ned. Smale piler viser brannspredningen til bygninger som fikk store skader. Pilens startsted indikerer hvilket hus/bygg brannen spredte seg *fra*, og pilens sluttsted indikerer hvilket hus/bygg brannen spredte seg *til*. Det understrekes at flere av tidspunktene er omtrentlige, og at det er antatt spredningsvei som indikeres.

Brannspredningsvei merket med en stiplet pil på kartet har en større usikkerhet enn en heltrukken pil. I de tilfeller hvor det er flere alternative brannspredningsveier til ett og samme bygg, er alle merket. Brannen kan ha spredt seg til bygget via én eller flere av disse alternative brannspredningsveiene.

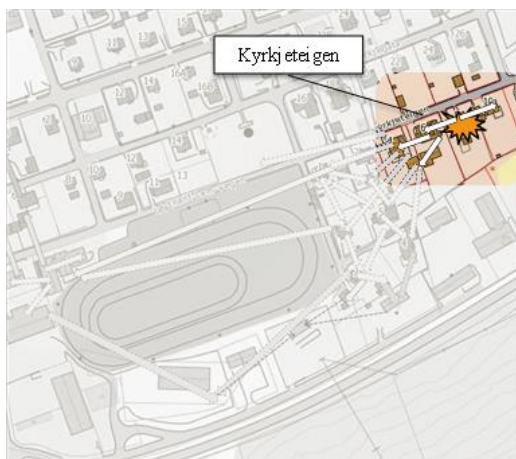
Det var nok mange andre branntilløp rundt omkring i bygda i løpet av natten. Disse er ikke beskrevet her på grunn av mangel på vitneutsagn eller bilder og video fra hendelsene. Alle bygninger som er brent ned og noen branntilløp er inkludert i kartet beskrevet i dette avsnittet.

Mer informasjon om hvordan antennelsestidspunkt og brannspredningsvei er bestemt er gitt i avsnitt 7.2.2, og de ulike brannspredningsmekanismene for brannspredningen omtales nærmere i avsnitt 8.4.



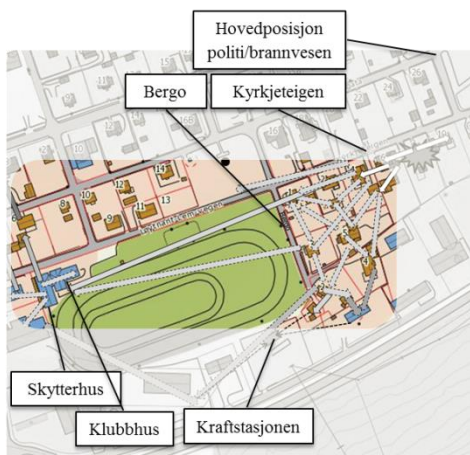
Figur 7-2: Oversiktskart over brannspredningen, med tidsangivelse. Et større kart er å finne i Vedlegg A. Gatenavn som er utenfor kartutsnittet er skrevet inn i kartet. Kartet brukt med tillatelse fra Kartverket [67].

Tidsrommet før kl. 24

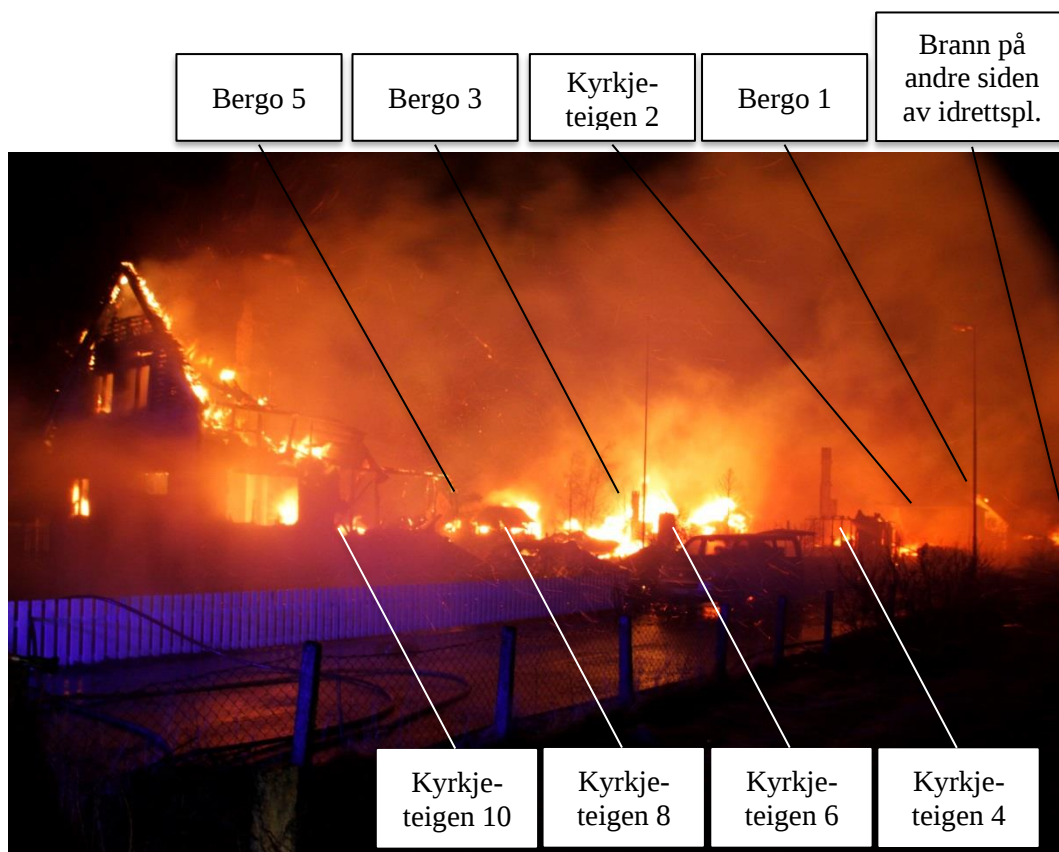


Brannvesenet i Lærdal ble varslet om husbrann og rykket ut kl. 22:54. Den første meldingen anga at det var observert utvendig brann i et hus, at huset mest sannsynlig var overtent, og at det var sterk vind i området [66,68]. Det var i Kyrkjeteigen 8 at brannen startet. Deretter spredte brannen seg raskt til nabohusene, og litt etter kl. 23 var Kyrkjeteigen 6, 8 og 10 antent. Brannen spredte seg videre til Kyrkjeteigen 4 med uthus, og til det andre huset på tomten til Kyrkjeteigen 6, dette skjedde ca. kl. 23:15. Deretter spredte brannen seg videre til andre bygninger og hus i boligfeltet.

Tidsrommet 00-01:00



Klokken 00:24 viser bildet i Figur 7-3 at Kyrkjeteigen 4-10 var nesten utbrent og det fløy gnister vestover. Videre viser bildet at Kyrkjeteigen 2 ikke brant og at Bergo 1 mest sannsynlig var i ferd med å bli antent, ettersom det vises et lysende punkt på taket i bildet. På bildet kan det videre ses at deler av huset i Bergo 5 brant, mens deler av huset ennå ikke var antent. Videre viser bildet at Bergo 3 mest sannsynlig stod i full fyr. Helt til høyre på bildet kan det ses at det brant på andre siden av idrettsplassen.



Figur 7-3: Bilde tatt kl 00:24 fra krysset mellom Flintegjerdet og Kyrkjeteigen i retning sør-vest. Foto: Morten Sortland/ Sogn Avis.



Figur 7-4: Bilde tatt kl 00:33 fra Kyrkjegata 16B i retning sør-øst mot Kyrkjeteigen/ Bergo og idrettsplassen. Foto: Morten Sortland/ Sogn Avis.

På bildet i Figur 7-4 kan Kyrkjeteigen 2 ses til venstre i bildet. Verken dette huset eller uthuset på tomta brant på dette tidspunktet, kl. 00:33. Bergo 1 ses bak trærne midt på bildet, huset var antent, men brannen var ikke fullt utviklet. Lengre til høyre på bildet er det fullt utviklet brann i flere bygg, trolig i Bergo 3 og hovedhuset i Bergo 2. Det ser ut til at uthuset til Bergo 2 var antent og at brannen var i ferd med å bli fullt utviklet. Til høyre på bildet kan det ses at det brenner ved en kraftledning oppe i åssiden.

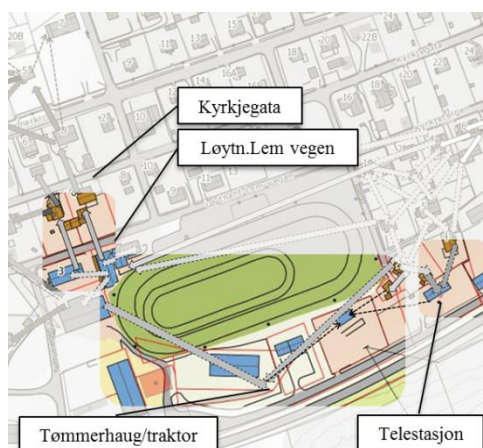
Ut fra disse bildene og flere i samme bildeserie, er det sannsynlig at brannen spredte seg fra området Kyrkjeteigen 4-10 og sør-vestover i boligfeltet, slik at Bergo 3 ble antent, deretter Bergo 2, 4 og 5. Etter dette spredte brannen seg til uthuset på tomta til Kyrkjeteigen 2, men antente aldri hovedhuset i Kyrkjeteigen 2.

Like etter midnatt, samtidig som brannen spredte seg sør-vestover i Kyrkjeteigen/ Bergo boligfeltet, observeres det på bilder (kl.00:24, se Figur 7-3) og av vitner at brannen hadde spredt seg til andre siden av idrettsplassen. Spredning over idrettsplassen er ikke notert i politiets KO-logg, noe som kan ha sammenheng med at politi og brannvesenet på det tidspunktet hovedsakelig var posisjonert i nærheten av kirken, i krysset mellom Kyrkjegata og Flintegjerdet.

I følge Aftenposten var pressetalsmann ved kriseteamet i Lærdal øyenvitne, og så at brannen spredte seg over idrettsplassen og til skytterhuset, hvor en vanningsbil ble antent [69]. Ifølge standplass.no sier et vitne at det fløy gnister over idrettsplassen som antente tørt gress ved skytterhuset, som deretter antente en gammel bil som stod utenfor [70]. Brannen spredte seg derfra til skytterhuset, klubbhuset til idrettslaget og til to næringsbygg/lagerlokaler i Løytnant Lem-vegen 3. I følge KO-loggen ble brannstrategien endret til at innsatsstyrkene skulle møte brannen ved idrettsplassen kl. 01:00, men da hadde altså brannen allerede spredt seg til andre siden av idrettsplassen.

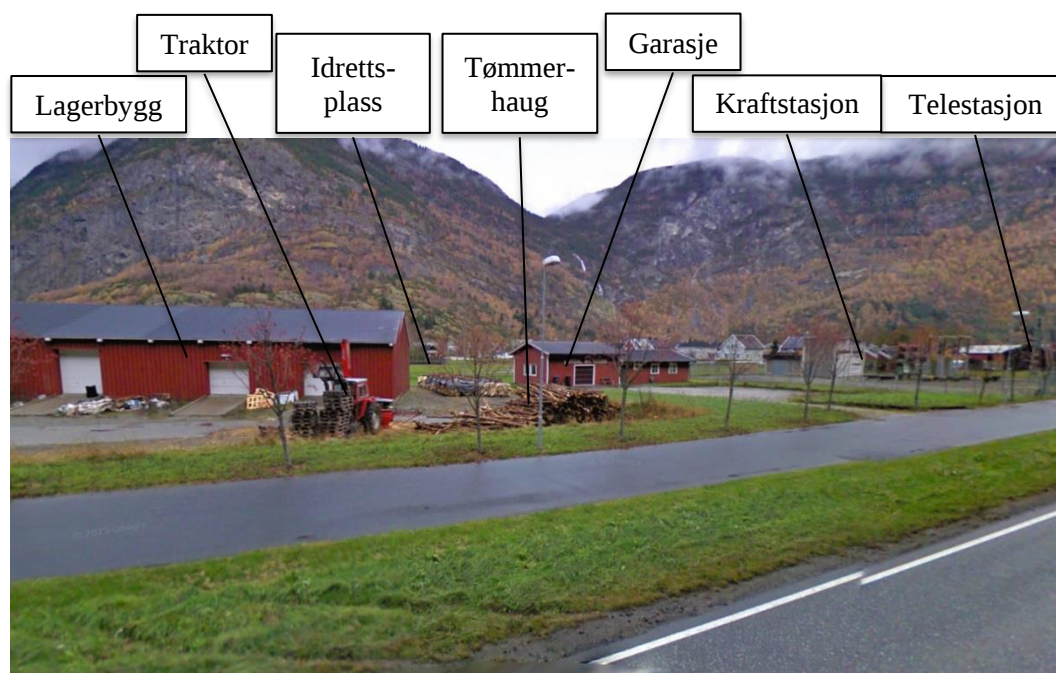
Kl. 00:32 angir KO-loggen at det er strømutfall i sentrum. Kraftstasjonen som står nede ved riksvei 5 var på dette tidspunktet ikke berørt av brannen. Det var derimot kraftige branner oppover åssiden, blant annet i nærheten av en strøm-mast, se Figur 7-4. Det er derfor sannsynlig at det er en skade på strømledning eller mast som forårsaket strømutfallet.

Tidsrommet 01-02:00



Bygninger i Kyrkjeteigen 4-10 var utbrent på dette tidspunktet. Bergo 1-5 brant og var i ferd med å bli utbrent. Telestasjonen som lå nede ved riksvei 5 ble mest sannsynlig antent litt før klokken 2, brannen spredte seg antagelig fra Bergo 2 eller Bergo 4 til telestasjonen.

På sør-vestsiden av idrettsbanen ligger det et lagerbygg, som hadde en tømmerhaug og en traktor plassert på parkeringsplassen ned mot riksvei 5. Disse tok fyr litt før klokken 2, altså omtrent samtidig som telestasjonen, men før kraftstasjonen. Bildet i Figur 7-5 er hentet fra et tidligere tidspunkt, men det er bekreftet gjennom video og foto etter brannen at tilsvarende tømmerhaug og traktor var utbrent og stod omtrent der de står på bildet. På bilder og video tatt etter brannen var det svimerker på gresset på idrettsbanen, på gresset rundt vestsiden av idrettsbanen, og på gresset mellom lagerbygget og garasjen i Figur 7-5.

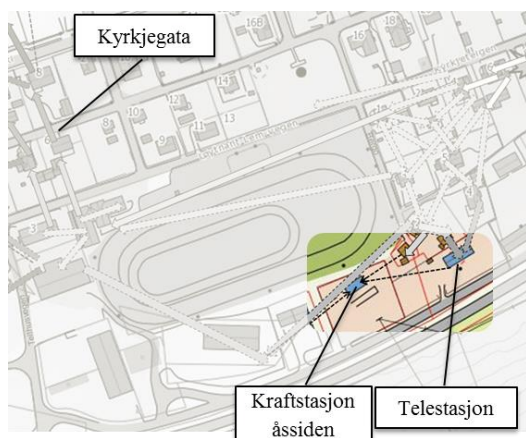


Figur 7-5: Bilde av stort lagerbygg på sør-vestsiden av idrettsbanen, med tømmerhaug og traktor på parkeringsplassen. Bildet er tatt før brannen. Foto: Google Earth Street View [71].

Samtidig som dette skjedde, stod skytterhuset, klubbhuset til idrettsbanen og to nærings-/lagerbygg i Løytnant Lem-vegen 3 i brann. Klokken 01:16 er det mest sannsynlig fullt utviklet brann i disse byggene, ettersom KO-loggen angir at det meldes om smell derfra: "melder om smell frå Oppedal (gass, lastebildekk)".

Brannen spredte seg til Kyrkjegata 4 og 6 med uthus etter en tid, mest sannsynlig i tidsrommet 01:30-02:30. Det har ikke lyktes oss å finne dokumentasjon på mer nøyaktig antennelsestidspunkt for området, og tidsrommet er bestemt ut fra en vurdering av tidspunkt for videre brannspredning, og bilder av tomtene som var utbrente senere på natten.

Tidsrommet 02-03:00

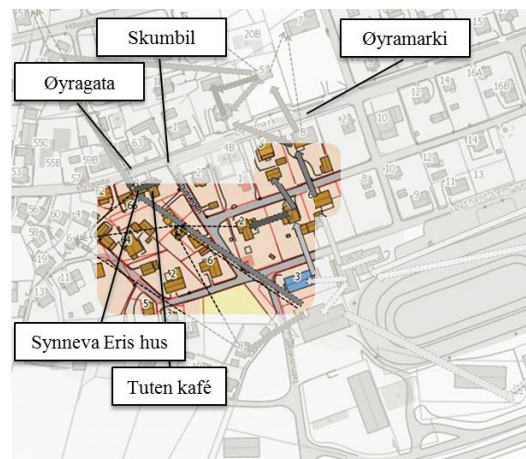


Klokken 02:34 var sambandet nede i følge KO-loggen. Dette samsvarer med bilder som er tatt en gang mellom 02:15-03:15 som viser at telestasjonen ved riksvei 5 sto i full fyr. På samme tid sto også tømmerhaugen og traktoren ved lagerbygget vist i Figur 7-5 i full fyr.

Kraftstasjonen som ligger i nærheten av telestasjonen ble skadet i løpet av brannnatten. Det er sannsynlig at brannen spredte seg hit fra telestasjonen, Bergo 2 eller fra den brennende tømmerhaugen/traktoren. Ut fra tidspunktene da disse sto i brann, er det sannsynlig at kraftstasjonen ble skadet av brann i tidsrommet 02:15-03:15.

Hus og uthus i Kyrkjegata 4 og 6 stod fremdeles i brann i dette tidsrommet.

Tidsrommet 03-04:00



Litt før 03:25 spredte brannen seg fra Kyrkjegata 4 og/eller 6 til uthuset på tomte til Øyramarki 6 og samtidig til Øyramarki 8. De første synlige flammene på huset i Øyramarki 8 ble observert under vindskien i mønet på gavlveggen på vestsiden av huset, og på taket over vindskien. Flammer var synlig under mønet på øst- og vestsiden av uthuset på Øyramarki 6-tomte, kort tid etter antennelse, og det var stor røykutvikling [72]. Brannen i de to byggene ble raskt til en fullt utviklet brann.

Samtidig som det var store flammer fra Øyramarki 8, viser foto og video at Øyragata 68 ble antent, se Figur 7-6. Antennelsestidspunkt for Øyragata 68 var altså etter Øyramarki 8. Øyragata 68 var fredet og hadde en vestre del (Synneva Eris hus) og en østre del (Tuten kafé). Det var den vestre delen som ble antent først. De første flammene ble observert under mønet på vestre gavlvegg. Ifølge politiets KO-logg kom det melding om spredning til "fleire hus i Øyragata mot sentrum" klokken 03:25 [66]. Det eneste huset i Øyragata som brant var nr. 68, og det er derfor sannsynlig at det er dette huset meldingen i KO-loggen handler om. Her må det bemerkes at Øyramarki starter der Øyragata slutter, og det kan ha vært hus i Øyramarki det er snakk om klokken 03:25, altså brann i Øyramarki 8. Dersom det er angitt feil gate i KO-loggen, er det uansett ikke mange minutter feil, ettersom brannforløpet gikk raskt i den sterke vinden. Det er derfor rimelig å anta at den vestre delen av Øyragata 68 *senest* var antent litt før klokken 04:00.



Figur 7-6: Bildeutsnitt fra video. Video er tatt fra Øyragata i østlig retning mot Øyramarki. Foto: Arve Uglum/ NRK [72].

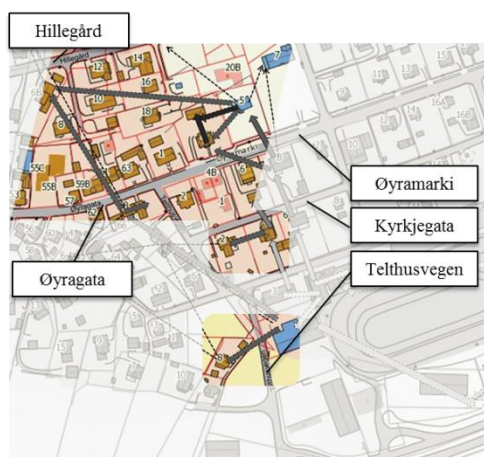
Klokken 04:00 angir KO-loggen at skumbil fra Avinor skumla Øyragata. Ut fra bilder kommer det frem at Øyragata 59B, 61, 62, 63 og 66 ble skumlagt. Det kan ha vært flere bygninger som ble skumlagt, men dette er ikke dokumentert.

Det kom også melding om branntilløp på torvtaket på kulturhuset, som ligger ca 200 meter nordvest for brannsprednings-kartutsnittet, se Figur 7-7. I følge brannsjefen i Årdal/Lærdal skjedde dette i 3-4 tiden om morgenen, og branntilløpet ble slukket av Sivildforsvaret som var i nærheten for å fylle vann.



Figur 7-7: Oversiktskart, med kartutsnitt som er brukt til angivelse av brannforløp. Kart fra Gule Sider, <http://kart.gulesider.no/>.

Tidsrommet 04-05:00



Klokken 04:39 var det fullt utviklet brann i den vestre delen av Øyragata 68. Klokken 04:52 var det enda ikke synlige flammer på østsiden av den østre delen av bygget, se Figur 7-8.



Figur 7-8: Bilde tatt kl. 04:52 i krysset Telthusvegen/Øyragata i retning vestover. Bildet viser Øyragata 68 (Synneva Eris hus og Tuten Kafé). Foto: Elias Dahlen/ Bergens Tidende.

Samtidig spredte brannen seg fra Kyrkjegata 4 til Kyrkjegata 2. Dette skjedde mest sannsynlig rundt klokken 04:20, ettersom bilder viser en fullt utviklet brann i huset klokken 04:47.

Like etter at brannen hadde spredt seg innad i Kyrkjegata-boligfeltet, krysset den Øyramarki-gata og antente Øyramarki 5 (Losjehuset). Dette skjedde like før 04:32. Noen minutter senere var det branntilløp under vindskien ved vestre møne på Øyramarki 7. Dette ble slukket av frivillige som klatret opp med stige. Kort tid etter dette igjen, litt før 04:53 ble Øyramarki 3 (Jansenhuset) antent, første tegn til brann var at det kom mye røyk ut fra østsiden av huset. Ut fra bilder ser det ut som at det brant på loftet, men ikke i førsteetasjen disse første minuttene etter antennelse. Dette kan tyde på at Øyramarki 3 ble antent fra østsiden.

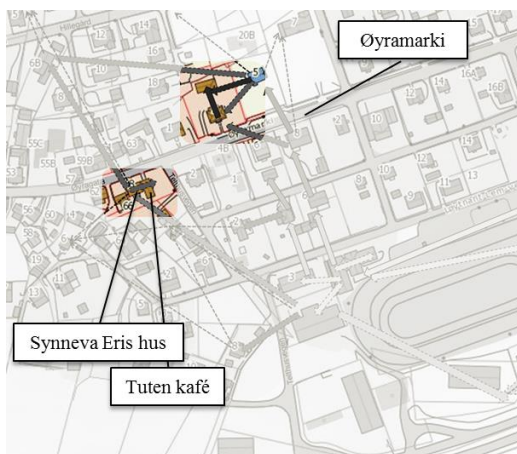


Figur 7-9: Bilde tatt kl. 04:38. Øyragata 68 brenner og ligger like bak Øyramarki 3. Øyramarki 5 har her vært antent ca. 10-15 minutter. Foto: Elias Dahlen/ Bergens Tidende.

Huset i Hillegård 6 (Lygrehuset) ble også antent i dette tidsrommet, like før klokken 05:00. Tidsestimatet begrunnes med at det var fullt utviklet brann i Øyramarki 3 klokken 05:27, og samtidig var det fullt utviklet brann i Hillegård 6. Ettersom det var kraftig vind denne natten, gikk det svært kort tid fra antennelse til et hus var utbrent, slik det er beskrevet i avsnitt 7.2.2. Det er derfor rimelig å anta at disse to husene har omtrent samme antennelsestidspunkt, ettersom det var fullt utviklet brann i husene på samme tidspunkt.

Samtidig som brannen spredte seg i denne nordlige delen av bygda, ble huset i Telthusvegen 8 antent. Dette lå vest for idrettsbanen, det vil si rett vest for de da utbrente lager-/næringsbyggene, skytterhuset og klubbhuset til idrettslaget. Bilder viser at huset nylig hadde blitt antent klokken 04:47, flammene syntes da langs hele lengden av takmønet og inni vestre loftsvindu på huset. Det er ikke tegn til flammer lengre ned på huset. Bilder tatt dagen etter brannen viser at den dyrkede marken rett nord og sør for huset var blitt svartsvidd i løpet av brannnatten.

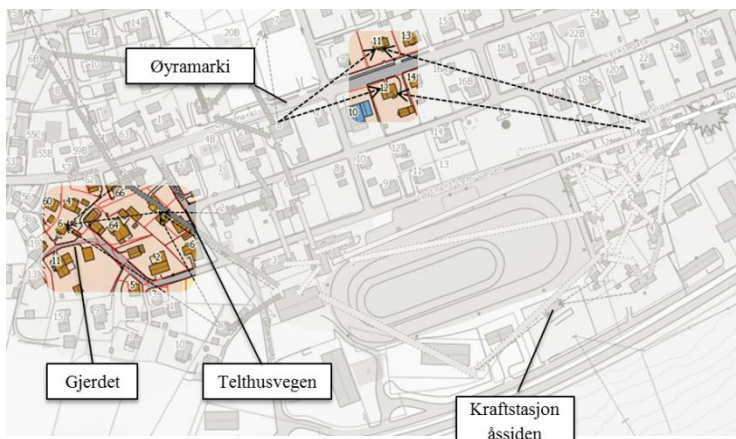
Tidsrommet 05-06



Brannen spredte seg til den østre delen av Øyragata 68 (Tuten kafé) rundt klokken 05, ut fra bilder som viser en fullt utviklet brann også i denne delen av huset klokken 05:37.

Den siste bygningen som ble antent og totalskadet av brannen var uthuset på tomte til Øyramarki 3. Dette var enda ikke antent kl. 05:26, og var nesten utbrent kl. 06:34. Antennelsestidspunkt anslås derfor til å være mellom 05:30-06:00.

Ikke tidsbestemte hendelser



I løpet av natten ble deler av husene i Telthusvegen 4 og Gjerdet 6 skadet av brannpilløp. Det har ikke lyktes oss å finne dokumentasjon på når disse brannpilløpene skjedde. Det er derfor også vanskelig å finne en vei for brannspredningen, ettersom tidspunkt for nærliggende branner påvirker hvilken brannspredningsvei som er mest sannsynlig. Mange mulige brannspredningsveier er derfor markert på kartet. Disse husene fikk store brannskader. Brannen i husene ble slokket ved at innsatspersonell gikk inn i huset med brannslanger.

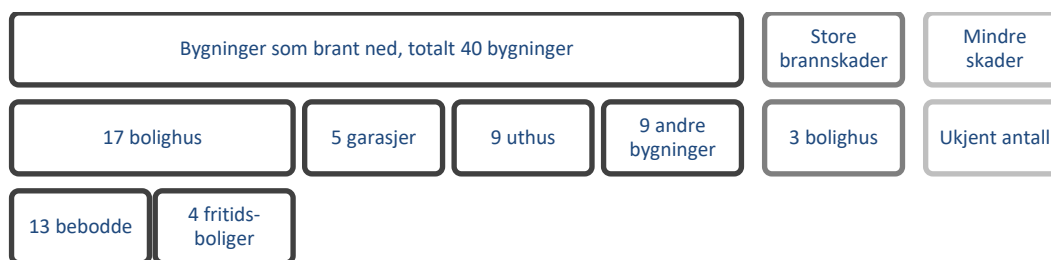
Også kraftstasjonen som ligger ved riksvei 5 ble brannskadet i løpet av natten.

Ifølge brannsjefen i Årdal/Lærdal var det brannpilløp litt øst for Øyramarki 8, enten i Øyramarki 11 eller 12 [64]. Her ble det brukt slokkespyd for å slokke brannpilløpet, brannfolkene tok også bort deler av takkledningen for å komme bedre til og for å lufte ut. Brannpilløpet ble slokket. Innsatsen ble gjort av Voss/Hallingdal brannkorps, disse ankom i følge brannsjefen i tidsrommet 02:30- 03:00, og slokkeinnsatsen måtte følgelig ha skjedd etter den tid. Brannspredningen hit er ikke indikert på det store kartet i vedlegg A, ettersom det er usikkert hvilket av de to husene det er snakk om. Mulig brannspredningsvei er derimot indikert på kartet i dette avsnittet.

I løpet av natten startet det punktbranner på store deler av søndre fjellside. Det brant aldri i nordre fjellside. Det nærmeste brannen beveget seg mot denne delen av landskapet var i følge brannsjefen da den spredte seg til kulturhuset nord i bygda.

7.3.3 Skadeomfang

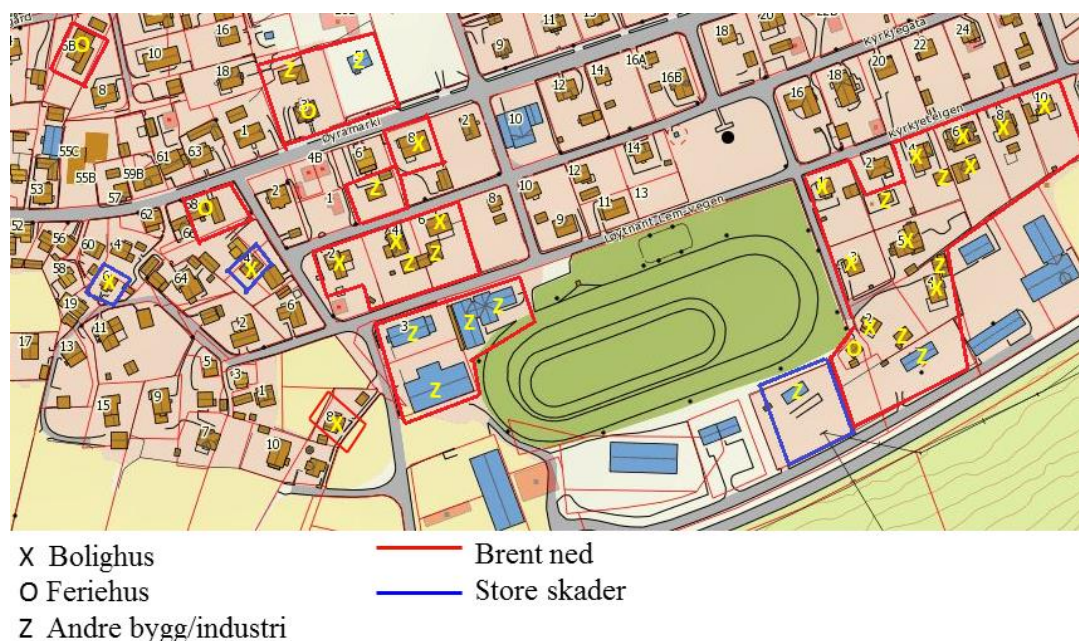
Brannen ødela 40 bygninger. 17 av disse var bolighus, hvorav 13 var bebodde og 4 var fritidsboliger. I tillegg brant 5 garasjer, 9 uthus og 9 andre bygninger ned [65], [66]. Disse 9 andre bygningene var forsamlingshus, klubbhus til idrettslaget, skytterhus, næringsbygg og ferieboliger. I tillegg fikk tre bolighus store skader etter brannen, og et ukjent antall bygninger fikk skader av brann, røyk eller vann. Figur 7-10 viser skadeomfanget, og kartet i Figur 7-11 viser hvor de ulike bygningene lå, samt hvilken type bygg det var.



Figur 7-10: Oversikt over bygninger som ble totalskadet, fikk store eller mindre skader [65, 66].

Innenfor verneområdet Gamle Lærdalsøyri brant fire bygninger ned. Dette var Øyramarki 3 (Jansenhuset), Øyramarki 5 (Losjehuset) og Øyragata 68 (Synneva Eris hus og Tuten kafé). Sistnevnte var fredet. Ingen av disse var bebodde. På spørsmål om hvilke hus det var folk til stede i da brannen startet, svarte brannsjefen i Årdal/Lærdal at det mest sannsynlig var folk til stede i alle bebodde hus, og at det ikke var folk til stedet i de resterende bygningene. Han hadde ikke fått meldinger om annet, så da gikk han ut fra det.

Byggeår er ikke kartlagt for de ulike bygningene som brant ned. Det er heller ikke kartlagt hvilken grad av vedlikehold som er utført på de ulike bygningene i senere tid.



Figur 7-11: Kartutsnitt som viser skadeomfang, og type bygg, basert på foto og video under og etter brannen, samt kommunikasjon med brannsjefen i Årdal/Lærdal. Kartet er brukt med tillatelse fra Kartverket [67].

8 Diskusjon

8.1 Vurdering av metode

Metodene som er anvendt er nevnt innledningsvis i avsnitt 1.3, og begrensningene i omfang og resultater i avsnitt 1.4.

Ut fra de rammene vi har arbeidet innenfor, er vi overbevist om at vi har funnet mye og viktig informasjon som kan si oss mye om brannspredningen, både i tid, rom og på hvilken måte den foregikk. Noe informasjon var ikke tilgjengelig for oss, slik som brannskadebildet og spor umiddelbart etter brannen. Vi har også lite informasjon om bygningene som var involvert i brannen, slik som byggeår, materialvalg, viktige bygningsdetaljer og lignende. Dette gjør at det er knyttet en del usikkerhet til våre vurderinger.

Bildematerialet fra brannen er svært stort, og vi har fått tilgang til mye via internett og via velvillige journalister og fotografer. Analyse av bilder og film har vært en svært viktig del av arbeidet vårt. Samtalene med fotografene for å finne ut hvilke hus som er med i bildene, og fra hvilken vinkel bildet er tatt, har vært av uvurderlig nytteverdi. Dette er en ny metode for analyse av brannforløp, og bør benyttes aktivt i fremtidige vurderinger og etterforskning av brann.

8.2 Brannspredning med flyvebranner

Den sterke vinden har vært avgjørende i brannspredningen i Lærdal. De fleste enkeltbrannene ser ut til å ha startet som følge av flyvebrann. Vinden førte med seg små og store brennende gjenstander og glør som antente vegetasjon og bygninger. I bilde- og filmmaterialet ser man store mengder glør som blir spredt med vinden. Vitner har også beskrevet større flygende gjenstander (brennende trestykker, brennende glasskuler, blikkplater). Brannvesenet hadde blant annet problemer med at brennende gjenstander og varme blikkplater som fløy gjennom luften og landet på brannvannslanger, med lekkasje som resultat. I Figur 8-1 ser vi skader på plankegjerdet i østenden av idrettsbanen. Treplankene er tydelig gjennomtrengt i avgrensede områder. Dette skyldes sannsynligvis flyvebranner som har festet seg til gjerdet, blitt holdt fast av vinden, og startet en ulme- eller glødebrann som har spist seg gjennom treverket.



Figur 8-1 Skader på gjerdet i østenden av idrettsbanen. Hullene i gjerdet er sannsynligvis dannet av flyvebranner som har festet seg på gjerdet. Bildet er tatt fra vestsiden av gjerdet. Foto: SP Fire Research.

8.3 Brannspredning via vegetasjon

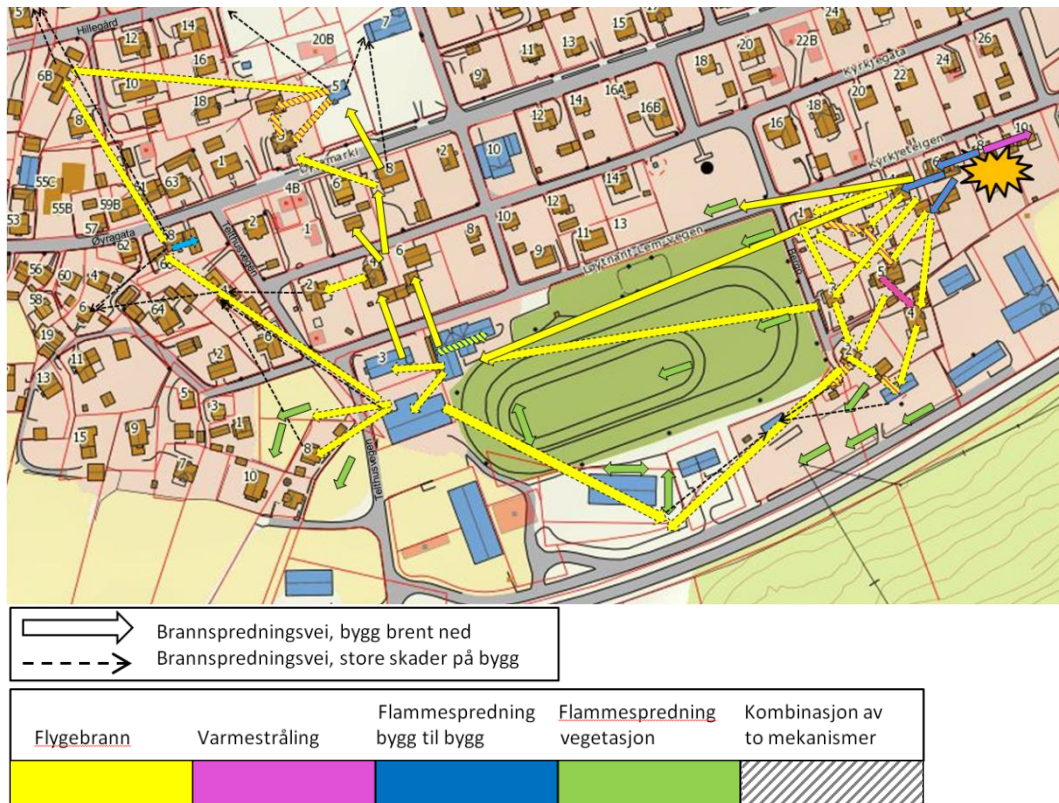
Det er i denne kartleggingen ikke funnet noe konkret eksempel på bygningsbranner som startet på grunn av spredning via vegetasjonen. Imidlertid sier informasjon fra vitner at innsatsen fra privatpersoner med å slokke gressbrann har vært av stor betydning for brannforløpet. Det går frem fra bildegjennomgangen at svært mange hus ble antent høyt oppe under taket, ikke lavt, som brannspredning fra vegetasjon burde tilsi. Energien i gresset har vært relativt lav, men gresset må ha vært lett å antenne, og brannspredningen må ha vært rask.

Brannforløpet har vært svært raskt. På kun få minutter har bygninger vært stått i full fyr, og i løpet av 1-2 timer har bygninger blitt forvandlet til glohauger som vinden har tatt tak i og spredt brannen videre. Svært mange bygninger må ha blitt eksponert for gloregnet, men har unngått antennelse og brannutvikling.

En faktor som trolig har hatt stor innvirkning på og framskyndet antennelse, brannspredning og brannutvikling er tilstanden til tomter (eksempelvis mange småhus på tomten, gjenstander i hagen, mye vegetasjon) og hus (for eksempel takkonstruksjon).

8.4 Brannspredningen gjennom brannforløpet

Kartet i Figur 8-2 viser en oversikt over hvordan vi mener de ulike mekanismene for brannspredning har ført til at brannen spredte seg i Lærdal. I kartet er stedet der brannen startet markert med en stjerne til høyre i kartet, og piler med ulik farge, form og markeringer viser mulige brannspredningsmekanismer som vi har identifisert ved gjennomgangen av foto, film og vitnebeskrivelser som beskrevet i kapittel 7. En større versjon av kartet er å finne i Vedlegg B.



Figur 8-2: Oversiktskart over de ulike brannspredningsmekanismene. Stiplede tykke piler viser spredningsveier det er knyttet endel usikkerhet til. Et større kart er å finne i Vedlegg B. Gatenavn som er utenfor kartutsnittet er skrevet inn i kartet. Kartet er brukt med tillatelse fra Kartverket [67].

Brannen startet i Kyrkjeteigen 8. Deretter har den spredt seg både østover, mot vinden, og vestover, med vinden. Det er mest sannsynlig stråling som har antent Kyrkjeteigen 10, som ligger øst for brannstarthuset, og dermed motvinds. Spor på vegetasjon tyder også på dette. Med vinden, mot Kyrkjeteigen 6 og 4, er det trolig en kombinasjon av stråling og flyvebrann som har spredt brannen til disse bygningene.

Brannsøylen som stod opp fra brennende bygninger spredte seg med vinden, og hadde i mange tilfeller kontinuerlige gule flammer fra ett bygg til det neste, i følge brannsjef i Årdal/Lærdal [64]. Dette tyder på at vinden ikke bare førte glør og brennende gjenstander med seg, men også bidro til god tilgang på oksygen til de uforbrente branngassene fra den brennende bygningen. Dette er sannsynligvis et eksempel på det som kalles *flammekast*, det vil si vindbåret flamme inklusive flammer som følge av at uforbrent varm gass som trenger ut av røyksøylen, møter ren luft og antennes.

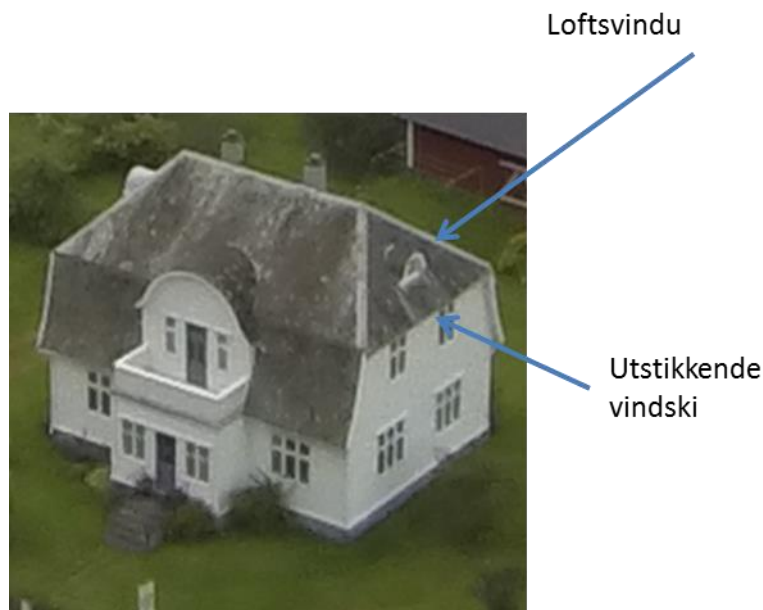
Den sterke vinden har blåst flygende gjenstander over lange strekninger, og bilder viser at bygningene i den nordvestre delen av idrettsplassen brenner før Bergo 1 på det nordøstre hjørnet av idrettsplassen blir antent. Også brannspredningen til fjellsiden viser at brannen forflyttet seg over store avstander. Spredningen til vegetasjonen i den søndre fjellsiden har gått over avstander på flere hundre meter, mellom 150-500 m. Slike branner omtales som tilfeldige punktbranner (spot fires) i skogbrannterminologien, se avsnitt 2.5. Tilfeldige punktbranner er et problem, fordi det kan være flere av dem samtidig, og de kan spre brannen langt utenfor området der hovedbrannen pågår.

Det finnes flere muligheter for hvordan brannen har forflyttet seg i området Kyrkjeteigen/Bergo. Vinden har trolig ført brennende gjenstander og et regn av gnister og glør fra Kyrkjeteigen 4-10 videre til husene i Bergo. Med flere mindre hus på disse tomtene, i tillegg til hovedbygningene, har trolig også varmestråling bidratt til brannspredningen.

Det er spor etter gressbrann i området sør for Bergo, hvor telestasjonen ligger. Det sene tidspunktet for antennelse av telestasjonen i forhold til når bygningene på Bergo brenner ned, antyder at vinden har ført med seg flyvebranner mot området. Det er svimerker i den vestlige delen av idrettsbanen, men det er usikkert i hvilken retning denne gressbrannen har gått. Enten fra tømmerhaugen og traktoren som brant sør for idrettsbanen mot nordvest, eller fra bygningene i Løytnant Lem-vegen 3, mot sørøst. Med tanke på plasseringen av tømmerhaugen og traktoren, og på vindretningen, antas det at tømmerhaug og traktor ble antent via flyvebranner fra de nedbrente bygningene på Bergo.

Vinden ser ut til å ha ført glør og brennende gjenstander fra restene av bygningene ved Løytnant Lem-vegen 3 videre nordover mot Kyrkjegata 4 og 6. Etter en tids brann spredte så brannen seg videre på samme måte nordover mot uthuset i Øyramarki 6 og til Øyramarki 8. Brannen spredte seg ikke vestover mot Kyrkjegata 2 før senere. Bilder viser også at vinden har vært sterk fra nord i dette området på dette tidspunktet. Fra Øyramarki 8 spredte brannen seg over veien til Øyramarki 5. Det foregikk intenst arbeid her for å hindre spredning videre til Hillegård 20B og Øyramarki 7.

Dessverre ser det ikke ut til at det var tilgjengelige ressurser for å forebygge brannspredning til Øyramarki 3, som brant ned. Dette huset kan ha blitt truffet av flyvebrann fra både Øyramarki 8 og en kombinasjon av flyvebrann og stråling fra Øyramarki 5. Imidlertid viser bilder at det var mer gnister fra Øyramarki 8 enn fra Øyramarki 5 ved antennelsestidspunktet. Både Øyramarki 3 og 5 kan ha ført brannen videre til uthuset på Øyramarki 3 både via flyvebrann og stråling. Øyramarki 3 hadde et loftsvindu på skråtaket, og utstikkende vindski, se Figur 8-3.



Figur 8-3. Øyramarki 3 fotografert høsten 2013. Foto: Guttorm Gullaksen.

Det er sannsynlig at brannen fikk feste under vindskien eller i området ved loftsvinduet. Ut fra det innsamlele bildematerialet ser det ut til at mange bygninger hadde liknende antennelsesforløp og brannutvikling. Det finnes flere bilder og filmer hvor antennen ser ut til å ha skjedd øverst på gavlveggen, innunder takutspringet og bak vindskier. Det antas at det kan ha vært soner med resirkulasjon av luft i slike områder. Lufthastigheten i slike områder er lavere enn i vinden forøvrig, og fører til at flyvebranner kan feste seg. Som nevnt i avsnitt 5 er slik branneksposering ikke vitenskapelig påvist, men er ikke utenkelig likevel. Senere i slike brannforløp er det observert flammer fra loft.

Med hensyn til tidsangivelsen på bildematerialet er det trolig at flyvebranner fra Løytnant Lem-vegen 3 antente den vestre delen av Øyragata 68 (Synneva Eris hus). Filmmateriale viser omtrent når bygningen blir antent, og at det på det tidspunktet ikke var tilgjengelig utstyr til slokkeinnsats. Flere personer oppholdt seg i nærheten, men det ser ikke ut til at de hadde noe slokkeutstyr å bruke mot flammene som stakk ut under mønet.

Det var sannsynligvis også flyvebranner fra Løytnant Lem-vegen 3 som antente Telthusvegen 8. Antennelsestidspunktet er ganske likt det til Øyragata 68, og det vises ikke flammer fra den dyrkede marken eller hagen på bildene fra den tidlige fasen av bygningsbrannen.

Videre kan både Synneva Eris hus og Losjen i Øyramarki 5 ha vært kilden til flyvebranner som antente Hillegård 6.

Det er rapportert at det var et tilløp til brann på kulturhuset, men at det ble slokket av Siviltforsvaret. Siviltforsvaret oppdaget brannen, da det var i nærheten av stedet hvor de fylte på vann. En tidsangivelse sier at brannstilløpet inntraff i 3-4-tiden om morgenen. Dersom det stemmer, vil de nærmeste kildene til flyvebranner være Øyramarki 8, 370 meter unna, og Kyrkjegata 4, 400 meter unna. Det var imidlertid et betydelig gnistregn fra Hillegård 6 i 05:30-tiden. Avstanden mellom Hillegård 6 og kulturhuset er 240 meter.

Brannområdene preges av relativt spredt bebyggelse, men det er også flere små bygninger utover hovedbygningen på flere av branntomtene. Flere av disse småhusene har brent.

8.5 Forebyggende og brannhindrende tiltak

Selv om beboerne i de brannutsatte områdene ble evakuert, var det mange privatpersoner som ble igjen for å prøve å bidra med å stoppe brannen. I tillegg bidro blant annet Sivilforsvaret med omtrent 40 personer i løpet av natten. Dette avsnittet beskriver denne innsatsen og dens betydning for utfallet av brannen.

Det er rapportert og observert i bildematerialet at det ble foretatt kjøling og fukting av plen og vegger med hageslanger og vannbøtter. Gyllevogner er også blitt brukt for å fukte bakken. Raker og snøskuffer har vært i bruk for å slukke glør og hindre antennelse av vegetasjon på bakken. Uttalelser fra innsatspersonell viser at det er det åpenbart at innsatsen fra privatpersoner har hatt positiv effekt og bidratt til å kontrollere brannen. Samtidig har innsatsledelsen opplevd at de ikke har hatt mulighet til å følge opp og passe på sikkerheten til disse menneskene. På bilder fra brannen ser man også eksempler på blant annet bekledning som er lite egnet, om ikke direkte farlig, å bruke i nærheten av gnister og brann.

Kyrkjeteigen 2 og 12 var de eneste husene som sto igjen på den søndre siden av gaten etter brannen. Vindretningen berget med stor sannsynlighet nr. 12. I Kyrkjeteigen 2 var det satt opp en vannvegg⁹ for å beskytte huset, i tillegg til at det ble satt inn en betydelig innsats for å spyle vann på huset for å unngå at det ble antent [64]. Selv om det ble utsatt for både sterk vind med brennende gjenstander, glør og stråling, berget huset. I følge brannsjef i Årdal/ Lærdal beskriver øyenvitner at vinden oppførte seg merkelig rundt dette huset, alt av glør ble kastet over huset og landet på andre siden, på nabohuset i Bergo 1.

Her synes det også som at bygningens beskaffenhet har berget det fra brann, i tillegg til innsatsen fra brannvesenet. For eksempel var hulrommene til taktekkingen dekket til slik at glør ikke kunne komme inn den veien, og raftekassen var horisontal og uten gliper mellom trebordene, se Figur 8-4. Det at huset hadde en valmet takkonstruksjon som ga mindre mostand mot vinden fra øst enn gavlen på et saltak ville ha gjort, kan kanskje ha bidratt til at vinden førte glørne over huset.



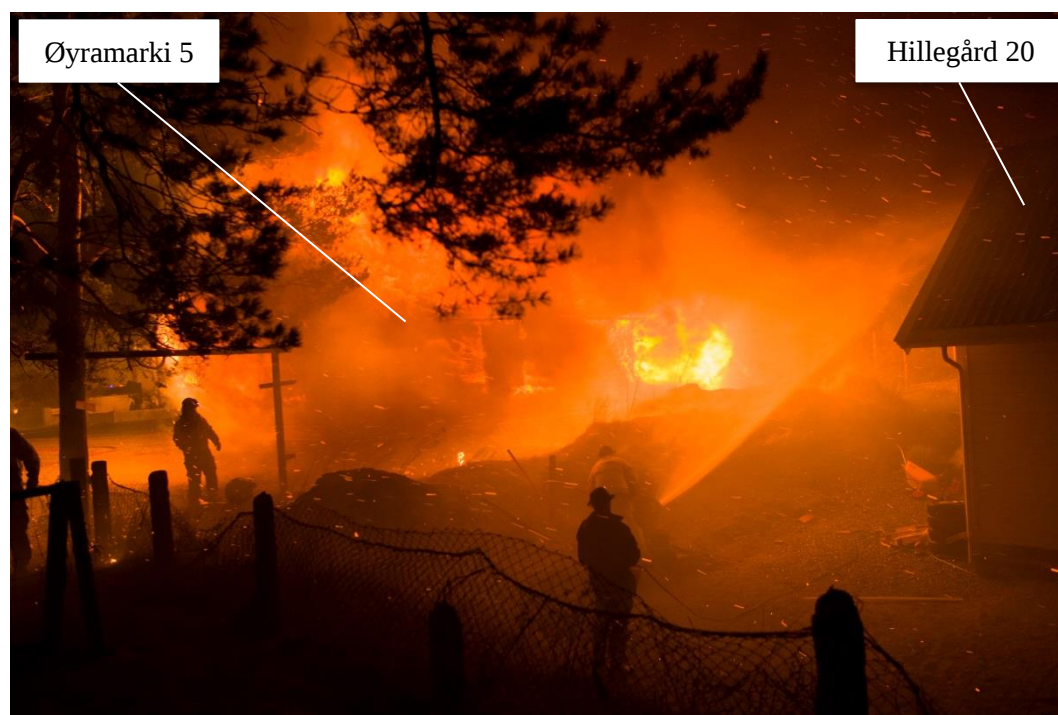
Figur 8-4 Tildekkete hulrom under takplatene på Kyrkjeteigen 2. Pilen peker på tildekking av åpning under takplatene. Merk også at raftekassen er horisontal og tett. Foto SP Fire Research.

⁹ Vannvegg: Barriere av vann som dannes ved å kople på et spesialdesignet utstyr på brannslangen.

Da Øyramarki 5 sto i full fyr, var det stor aktivitet for å berge de nærliggende bygningene, Hillegård 20 og Øyramarki 7. Et tilløp til brann nær mønet på gavlveggen i Øyramarki 7 ble slokket ved hjelp av håndbrannsløkkes, se Figur 8-5. Samtidig var det stor innsats for å spyle Hillegård 20 og bakken rundt Øyramarki 5 med vann, både vannbøtter og brannvannslanger var i bruk. Her ble det også brukt brannsmekker for å slokke flammer på bakken. Øyramarki 3 ble antent omtrent en halv time etter Øyramarki 5. Fra bilder og filmer som er gjennomgått, er det ikke tegn til noen brannhindrende tiltak på Øyramarki 3.



Figur 8-5: Håndbrannsløkkes ble brukt til slokking av branntilløp i Øyramarki 7. Brannsmekker ble brukt til slokking av glør og flammer på bakken. Foto: Elias Dahlen/ Bergens Tidende.



Figur 8-6: Spyling av Hillegård 20 for å forhindre brannspredning fra Øyramarki 5 (Losjehuset). Foto: Elias Dahlen/ Bergens Tidende.

Brannen ved Øyramarki 3 og/eller Øyramarki 5 spredte seg videre til uthuset på tomten til Øyramarki 3. Ved nabotomtene er det observert privatpersoner som drev med brannhindrende tiltak som kan ha bidratt til å berge hus; raking rundt husene for å slå ut glør som kom fykende fra brennende bygninger, og spyling med vann på nærliggende hus. Disse husene står igjen, mens altså de nærliggende bygningene på Øyramarki 3 og 5 brant ned.

I Telthusgaten finnes det eksempel på at hus ble skadd men ikke nedbrent. Flere brannbiler var plassert i området, og hadde mulighet å sette inn rask slokking.

Som tidligere beskrevet, ble det brukt brannspyd som slukkeutstyr i minst ett bygg under brannen. I følge brannsjefen i Årdal/Lærdal var det ikke aktuelt å bruke brannspyd så mange andre steder i bygda [64]. I løpet av natten var brannforløpene svært raske, og i den sterke vinden og kaotiske situasjonen var det svært vanskelig å oppdage og sette i gang tiltak før et branntilløp hadde fått utvikle seg til en fullt utviklet brann. Bruk av slukkespyd forutsetter at brannen ikke er en fullt utviklet brann, ettersom slukkespyd er best egnet til å slokke branntilløp og små og moderate innendørsbranner.

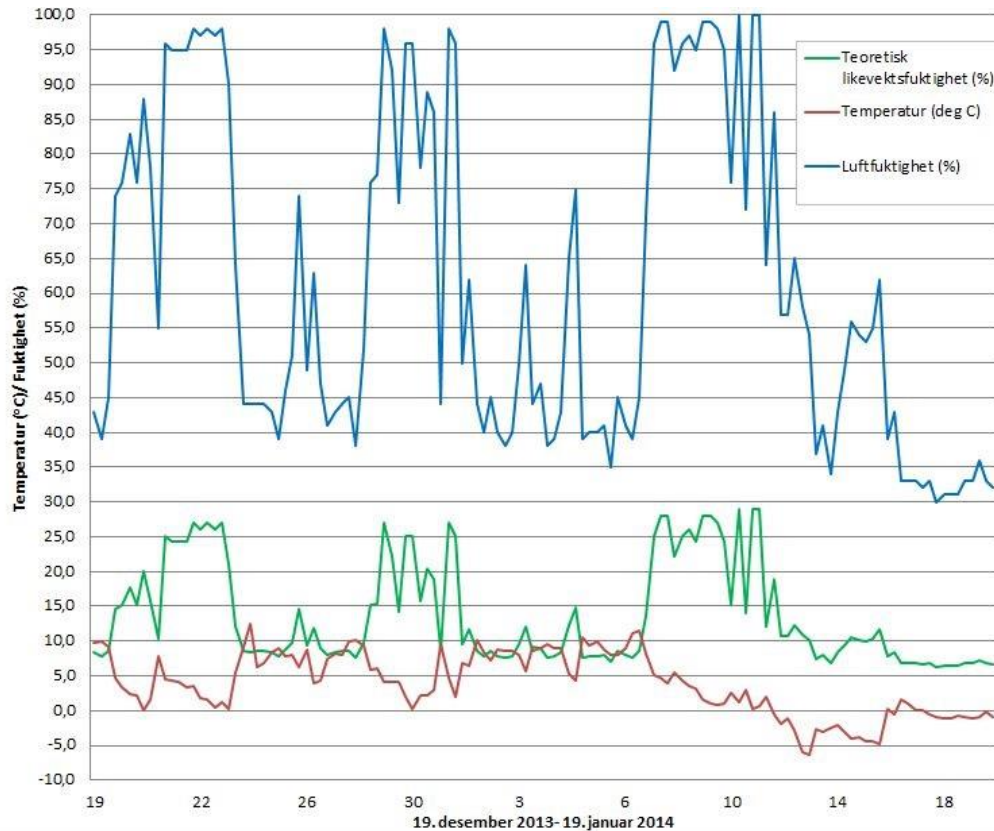
Andre steder i bygda ble det slokket flere branntilløp, blant annet ved at innsatspersonell gikk inn i hus og slokket mindre branner. Dessverre var det, i følge brannsjefen, lite å gjøre med hus hvor flammene stod ut gjennom taket, ettersom det av sikkerhetsmessige årsaker ikke var mulig å sende inn røykdykkere for slokking. Det var også i flere tilfeller mangel på nok utstyr og ressurser for å klare å komme til branner som startet høyt oppe på bygg, eller som hadde spredt seg inn i loft.

Gyllevogner ble brukt i løpet av brannnatten. I følge brannsjefen i Årdal/ Lærdal startet det med at en bonde kom med sin gyllevogn. Etter kort tid hadde ryktet spredt seg, og det dukket opp flere med gyllevogner. I starten hjalp disse til med å fukte den dyrkede marken mellom idrettsbanen og bensinstasjonen som ligger litt over en halv kilometer vest for idrettsbanen. Etter hvert ble gyllevognene brukt i arbeidet med å slokke glohauger etter bygninger som var brent ned. Disse kjørte fylte vann i fjorden eller elva, og kjørte kontinuerlig frem og tilbake og tømte vann over glohauger.

Det ble satt inn en særlig stor innsats i området rundt Synneva Eris hus (Øyragata 68), ettersom dette ligger helt øst i den verneverdige delen av bygda. Dersom brannen hadde spredt seg videre vestover til den tettest bebygde delen av trehusbebyggelsen, ville brannen ha fått et mye større omfang. Mellom Øyragata 66 og 68 stod det kontinuerlig innsatspersonell og spylte vann, det ble satt opp en vannvegg, og Øyragata 66 ble skumlagt.

8.6 Hadde værforholdene før brannen betydning?

Desember og januar måned var tørrere og mer vindfull enn normalt for mange steder i Norge, inkludert Lærdal. Til tross for dette varierte luftfuktigheten nokså mye (se Figur 8-7). Grunnen til at luftfuktigheten endres selv om det ikke kommer nedbør, skyldes stort sett endringer i temperaturen. Når kald tørr luft varmes opp får den en større evne til å holde på vann og den relative fuktigheten vil da reduseres. Det motsatte skjer idet temperaturen synker.



Figur 8-7 Værdata fra Lærdal i perioden 19. desember til 19. januar. Temperatur og luftfuktighet er målt på den lokale værdastasjonen. Likevektsfuktigheten er beregnet fra disse dataene, og er da en teoretisk verdi. Reell verdi vil ligge et sted mellom ytterpunktene.

I den siste uka før brannen var imidlertid luftfuktigheten relativt konstant på rundt 30 %, og temperaturen var rundt 0 °C. Dersom disse forholdene hadde holdt seg konstant over en lang tid (flere måneder), ville alt trevirke stilt seg inn på en LVF rundt 7 %. Basert på erfaring kan en med relativ stor sikkerhet si at ikke alt trevirke hadde nådd denne fuktigheten, for i uka før var den relative fuktigheten helt oppe i 100 %, og den teoretiske LVF nesten 30 %.

Videre er det alltid en forsinkelse i fuktigheten i treet, slik at trevirket ikke følger den teoretiske LVF øyeblikkelig. Fukttransporten vil i tillegg bli påvirket av overflatebehandlingen til kledningen. Overflatebehandling vil redusere hastigheten treverket tilpasser seg omgivelsene med. På den annen side er det ofte lufting bak kledningen, og på baksiden er kledningen sjelden overflatebehandlet. Denne overflaten vil dermed lettere kunne endre seg med omgivelsene. Det er dermed trolig at ytterkledningen ikke vil ha en helt homogen fuktighet gjennom hele materialet, men på grunn av kledningens tykkelse er det ikke snakk om store forskjeller. Til slutt vil også

solpåvirkning spille en rolle, ved at de sørvendte sidene av husene blir tørrere enn de nordvendte.

Vinden har av mange blitt pekt ut som en sterk bidragsyter til den kraftige brannutviklingen. Med tanke på tørking av ytterkledning har den trolig ikke vært veldig dominerende. Vind er svært effektiv til å tørke trevirke, men dette er hovedsakelig frem til fibermetningspunktet, og fuktigheten til trevirke brukt i bygninger ligger langt under dette.

Basert på disse faktorene har den reelle fuktigheten i ytterkledningen trolig ligget mellom 9 og 12 %. Dette er et nivå som ligger helt i den nedre yttergrensen for hva som regnes som normal fuktighet. Det tørre været har trolig medført en raskere antennelse og brannspredning enn hva som ville vært tilfelle ved fuktigere værforhold.

Fuktigheten innendørs har sannsynligvis vært enda lavere, og dette kan dermed ha bidratt til at en brann som først hadde fått tak var vanskelig å slokke.

Det er imidlertid uvisst hvor stor betydning de tørre materialene har hatt for brannutviklingen og brannspredningen. Det er imidlertid rimelig å anta at brannforløpet ville vært mindre voldsomt dersom det hadde vært regn eller snø i tiden før eller under brannen.

8.7 Hadde bruken av sløkkeskum betydning?

Avinors skumbil fra Haukåsen flyplass med skum-/vannkanon på taket benyttet ca. fra klokken 04:00. Denne var utstyrt med 400 liter skumvæske av typen Moussol FF 3/6 som er et tungtskum [46]. Etter at skumvæske var brukt opp, fortsatte innsatsen med bilen med kun vann som sløkkemiddel. Skummet kleber seg godt til bygninger, og ble brukt for å dekke til vegger og tak for å hindre at brannen spredte seg.

I følge KO-loggen var Avinor-bilen med skum på plass i krysset Øyragata/ Telthusvegen klokken 04:00. Denne skumla Øyragata 59B, 61, 62, 63 og 66, som alle ble berget fra å bli antent, se Figur 8-8. Dette ble altså gjort temmelig sent i brannforløpet, og det var kun Øyragata 68 (Synneva Eris hus) som sto i full brann i nærheten. Vi kan derfor anta at brannpåkjenningen på de fleste av disse husene var moderat. Skumleggingen har derfor hatt størst effekt med hensyn til å forhindre antennelse ved flyvebranner, mens eksponeringen for varmestråling på husene har vært lav, og de har trolig ikke vært utsatt for direkte flammepåkjenning.



Figur 8-8: Skumlagte hus i Øyragata 59B og 61. Innfelt: Avinors bil ble brukt til skumlegging. Foto: Elias Dahlen/ Bergens Tidende.

Synneva Eris hus, Øyragata 68, gikk tapt i brannen. Det ble satt inn stor innsats for å berge nabohuset, Øyragata 66. I tillegg til skumlegging ble veggene til Øyragata 66 mot Øyragata 68 spylt kontinuerlig med vann for å kjøle ned og hindre brannspredning. På bildet i Figur 8-9 ser vi en vannslange som er festet til gjerdet, og som spruter vann mellom de to husene.

Brannpåkjenningen fra det brennende huset i Øyragata 68 til det skumlagte huset i Øyragata 66 må ha vært kraftig, og inkluderte både høy varmestråling, direkte flammekontakt, gnistregn og flyvebranner. Til tross for denne eksponeringen fremstår huset som tilsynelatende uskadet etter brannen. Dette er en god indikasjon på at skummet, sannsynligvis i kombinasjon med vannpåføringen, begrenset brannspredningen.



Figur 8-9 Bygget til venstre er Øyragata 68 som står i brann. Til høyre er Øyragata 66 som er dekket av skum. I tillegg benyttes vannslange til å kjøle branngasser og fasade nærmest Øyragata 68. Øyragata 66 ble reddet som følge av innsatsen. Foto: Elias Dahlen/ Bergens Tidende.

9 Konklusjoner og anbefalinger

9.1 Brannspredningsmekanismer

I evalueringen av områdebrannen i Lærdal har vi sett at det var flere forhold som førte til at brannen spredte seg så raskt:

- Sterk vind
- Tørt vær
- Tørre materialer
- Tørr vegetasjon

Den viktigste brannspredningsmekanismen var via flyvebranner, men både stråling og direkte flammepåvirkning har også medvirket til brannspredningen. Flyvebrannene fløy som gnistregn og større partikler gjennom luften, og som en elv av glør langs bakken.

Det var flere tilfeller av tilfeldige punktbranner, der branner startet langt unna stedet der hovedbrannen pågikk. Dette skyldtes den sterke vinden, og det er sannsynlig at det har vært sterke kastevinder som har ført flyvebranner høyt og langt av sted. I disse tilfellene må flyvebrann ha vært den eneste brannårsaken. Antennelsen av taket på kulturhuset som lå over 200 meter unna brannområdet, er et eksempel på en slik punktbrann.

Av gjennomgangen av bilder og videomateriale ser det ut til at antennelse av bygninger i hovedsak skjedde høyt oppe på husene, under takutstikk, i gavler og liknende. Antennelse i utette takkonstruksjoner er også sannsynlig.

Det er flere eksempler på at det er viktig å ha fysisk oversikt over hvordan en områdebrann utvikler seg. I noen hendelser kan det være mulig å få oversikt ved å fly over området, eller ved å se situasjonen ovenfra et fjell eller en høy bygning. I brannen i Lærdal var dette sannsynligvis ikke mulig på grunn av den sterke vinden.

9.2 Forebyggende og brannbegrensende tiltak

9.2.1 Kostnader og nytteeffekt

Vi har ikke vurdert hvor kostnadseffektive de ulike tiltakene i dette avsnittet vil være. Dette er noe som bør vurderes på generell basis. Kost-nytte-verdien bør også vurderes spesielt når man utarbeider en brannsikringsplan for et område på bakgrunn av risiko for en områdebrann.

Enkelte tiltak vil være anvendelige i de fleste områder med trehusbebyggelse, mens andre kanskje ikke egner seg overalt, eller ikke er nødvendige i alle typer bebyggelse. Dette er også noe som må tas med i betraktningen.

9.2.2 Brannbegrensende innsats

Brannvesenets innsats var avgjørende, sammen med innsatsen fra alle de andre organisasjonene og frivillige som deltok i slokkearbeidet. Eksempler på innsats som var med på å begrense brannspredningen er:

- brannvesenets generelle slokking og brannbegrensing med vann
- brannvesenets bruk av slokkespyd i ett hus
- Avinors påføring av slokkeskum på uskadete bygninger
- bøndernes bruk av gyllevogner for å fukte marken, og til å slokke glohauger
- frivilliges innsats med å rake vekk glør, slokke småbranner, fukte hus og hage etc

Det er ikke mulig å peke ut ett enkelttiltak blant disse som hadde større effekt enn de andre, alle var sannsynligvis viktige brikker som var med på å begrense brannspredningen. Slike tiltak har sannsynligvis vært avgjørende for å forhindre antennelse av glør og flyvebranner. Vi har sett eksempler der brannen har hoppet over bygninger der man har brukt ett eller flere brannbegrensende tiltak, og startet brann i hus lenger unna hovedbrannen.

9.2.3 Anbefalte tiltak for huseiere

For å sikre huset sitt mot brann utenfra, er det flere tiltak som huseiere kan gjennomføre.

Ett tiltak er å begrense mulighetene for at flyvebranner og glør kan få feste i konstruksjonen, eller trenge inn i bygningen:

- Tette igjen hulrom under vindskier og inn til loft.
- Tette igjen hulrom under takplater og takstein.
- Vedlikeholde kledningen så den ikke har sprekker som glør kan feste seg i (f.eks. ved maling).
- Ha netting i ventiler.
- Montere fuglebånd eller annet beslag i takkonstruksjon.

Et annet tiltak er å holde det ryddig rundt huset, unngå vegetasjon inntil veggen. Gresset bør holdes kort i perioder med langvarig tørt vær.

Enkelte tiltak er mer omfattende, og kan vurderes ved nybygging og ombygging av hus:

- Takutstikk bør være tette mot flyvebranner, og ha en utforming som ikke fører til ansamling av glør ved brann i sterk vind (takutstikk bør ikke være for lange, og ikke ha for stor vinkel).
- Det finnes produkter (ventiler, lister) som hindrer brannspredning gjennom raftekasser og i luftet kledning, disse bør installeres av fagfolk.
- Taktekingen bør være av en type som hindrer at flyvebranner trenger inn i takkonstruksjonen.
- Utskifting av eldre ettlagsvinduer til vinduer som motstår varmestråling bedre (f.eks. vinduer med flere lag glass).

9.2.4 Aktive tiltak

Beskyttelse av uskadete hus mot mulig brannpåvirkning ved fukting med vann, påføring av slokkeskum eller brannhemmende gel vil være et godt tiltak. Noe av dette kan huseiere utføre selv, dersom de har riktig utstyr og opplæring. Det er imidlertid viktig at anskaffelse og bruk av slike midler som skum og brannhemmende gel også vurderes av brannvesenet.

Privatpersoner og frivillige gjorde en viktig brannbegrensende innsats i løpet av natten, blant annet ved å bidra i slokkearbeidet, slokke branntilløp, rake vekk og slokke glør fra husvegg og plen. Samtidig er det et problem at personer uten øvelse og opplæring i slike aktiviteter utsettes for fare. Det er derfor nødvendig at eventuell innsats fra privatpersoner inkluderes i brannsikringsplaner, og at det stilles krav om opplæring og øvelser for dem som skal bidra. Det må også presiseres at ordre fra innsatsledelsen skal følges, for eksempel ved bestemmelser om evakuering.

Det er også problematisk at det kan være et uklart skille mellom medlemmer i frivillige organisasjoner og privatpersoner, og ansvarsforhold og fordeling av oppgaver bør avklares i en brannsikringsplan.

9.3 Sløkkemidler og sløkketeknikker

Slokkeinnsats i en hendelse som områdebrannen i Lærdal er en stor utfordring som setter mannskap og utstyr på prøve. Det vil være behov for å anvende ulike teknikker og ulike sløkkemidler i en områdebrann i bebyggelse, alt etter situasjonen til enhver tid. Det er noen eksempler på sløkketiltak som trolig har begrenset brannen:

- **Tungt skum.** I denne brannen er det registrert at brannbeskyttelse av uskadde hus med tungt sløkkeskum var et vellykket tiltak som berget bebyggelse. De skumlagte husene ble beskyttet både mot direkte branneksposering fra nabohus, og mot antennelse ved flyvebranner.
- **En vannvegg** ble anvendt for å beskytte hus mot branneksposering. I de to rapporterte tilfellene der det ble brukt, ble hus berget.
- **Sløkkespyd.** Det er også rapportert om bruk av sløkkespyd som berget hus i brannen. Dette er et eksempel på at brannbekjempelse fra innsiden av et brennende hus kan være mer effektivt enn sløkking fra utsiden.
- **Bruk av gyllevogner.** Bønder i Lærdal bisto med gyllevogner i sløkkearbeidet, hovedsakelig til fukting av bakken rundt husene, og etter hvert til sløkking av glohauger etter nedbrente hus.

Vi anbefaler å undersøke nærmere hvilke sløkketiltak som vil ha størst effekt i situasjoner som kan oppstå i en områdebrann. Brannbegrensende tiltak som bruk av sløkkeskum og brannengel kan være gode tiltak i tilfeller der det er sterk vind. Ulike teknikker for sløkking og brannbegrensing med vann bør også undersøkes.

9.4 Planlegging

Planlegging er et viktig stikkord. *Veileder i bybrannsikring* utgitt av DSB og Riksantikvaren beskriver hvordan man går frem for å utarbeide en brannsikringsplan for verneverdig tett trehusbebyggelse, og hvilke elementer planen bør inneholde [2]. Denne veilederen kan også være relevant for brannsikring av annen trehusbebyggelse der det ikke er snakk om verneverdige bygninger.

9.5 Behov for mer forskning

9.5.1 Endret brannrisiko?

Et viktig spørsmål er om risikoen for områdebrann i Norge er endret som følge av samfunnsmessige endringer og klimaendringer. Er de store brannene vinteren 2014 en engangshendelse, eller kommer vi til å se mer av slike branner i fremtiden? Hvilke faktorer med hensyn til dette er det som har betydning for brannrisikoen?

Et annet spørsmål i forbindelse med brannrisiko, er hvor stor branneksposeringen kan være fra et hus i full fyr. Hvor store kan temperaturene i en slik brann bli, og hvilken betydning har det for nivåer av varmestråling, direkte flammepåvirkning og produksjon av flyvebranner? Mange av dagens vurderinger og beregninger er basert på et svært tynt eksperimentelt grunnlag, og det kan være behov for å se nærmere på gyldigheten av enkelte vedtatte sannheter.

9.5.2 Dagens kunnskapsstatus – nytteverdi for norske forhold?

Det er mye kunnskap om forebygging og bekjempelse av skog- og områdebranner i land som har mer erfaring med dette, slik som Australia og California. Et nyttig prosjekt kan være å samle informasjon fra forskningsgrupper og fagmiljøer i andre land, og vurdere hva som er relevant kunnskap for norske forhold.

9.5.3 Effekt av ulike brannsikringstiltak

Det er stor usikkerhet om hvilken effekt ulike brannsikringstiltak kan ha med hensyn til å forhindre eller begrense store branner i bebyggelse og i skog og kratt, dette gjelder både bygningsmessige, organisatoriske og innsatsmessige tiltak. Kostnader i forhold til forventet effekt er også et tema som bør undersøkes nærmere for ulike brannsikringstiltak.

Effekten av enkle sikringstiltak for nye og eksisterende bygninger.

Hvilke enkle og rimelige tiltak øker sikkerheten mot antennelse ved flyvebranner? Hva kan huseiere gjøre selv?

Effekt av stasjonære slukkesystemer.

Noen spørsmål som kan besvares gjennom større forskningsprosjekter er:

- Hvordan vil stasjonære slukkesystemer utvendig fungere ved ulike brannpåkjenninger, ved ulike vær- og vindforhold?
- Hvor godt fungerer innvendige slukkeanlegg som overtenningskontroll?
- Vil innvendige slukkeanlegg på loft ha effekt på brannspredning når brannen kommer utenfra?
- Hvordan virker ulike slukkemidler i stasjonære slukkesystemer (gass, vann, vanntåke, skum, andre tilsetninger...).
- Hva er optimalt med hensyn til design av dyser, dyseplassering, antall dyser etc. i ulike geometrier og bruksområder?

Effekt av ulike slukkemidler og slukketeknikker.

Hvordan vil ulike slukkemidler og slukketeknikker fungere ved ulike brannpåkjenninger, ved ulike vær- og vindforhold? Spesielt kan studier av ulike slukkemidler og teknikker i sterk vind gi nyttig kunnskap for å stå rustet mot slike store branner som vi har opplevd denne vinteren. Dette kan utforskes gjennom både teoretiske vurderinger og laboratorieforsøk. Eksempel på slukkemidler som bør utforskes nærmere er vann, ulike typer skum og gelbaserte slukkemidler som skal gi beskyttelse mot branneksponering. Behov for utvikling av nye produkter bør også undersøkes. Alternativer til dagens slukkemetoder og ny utrustning kan utprøves med vitenskapelige metoder, og med bruk av avansert måleteknikk.

Referanser

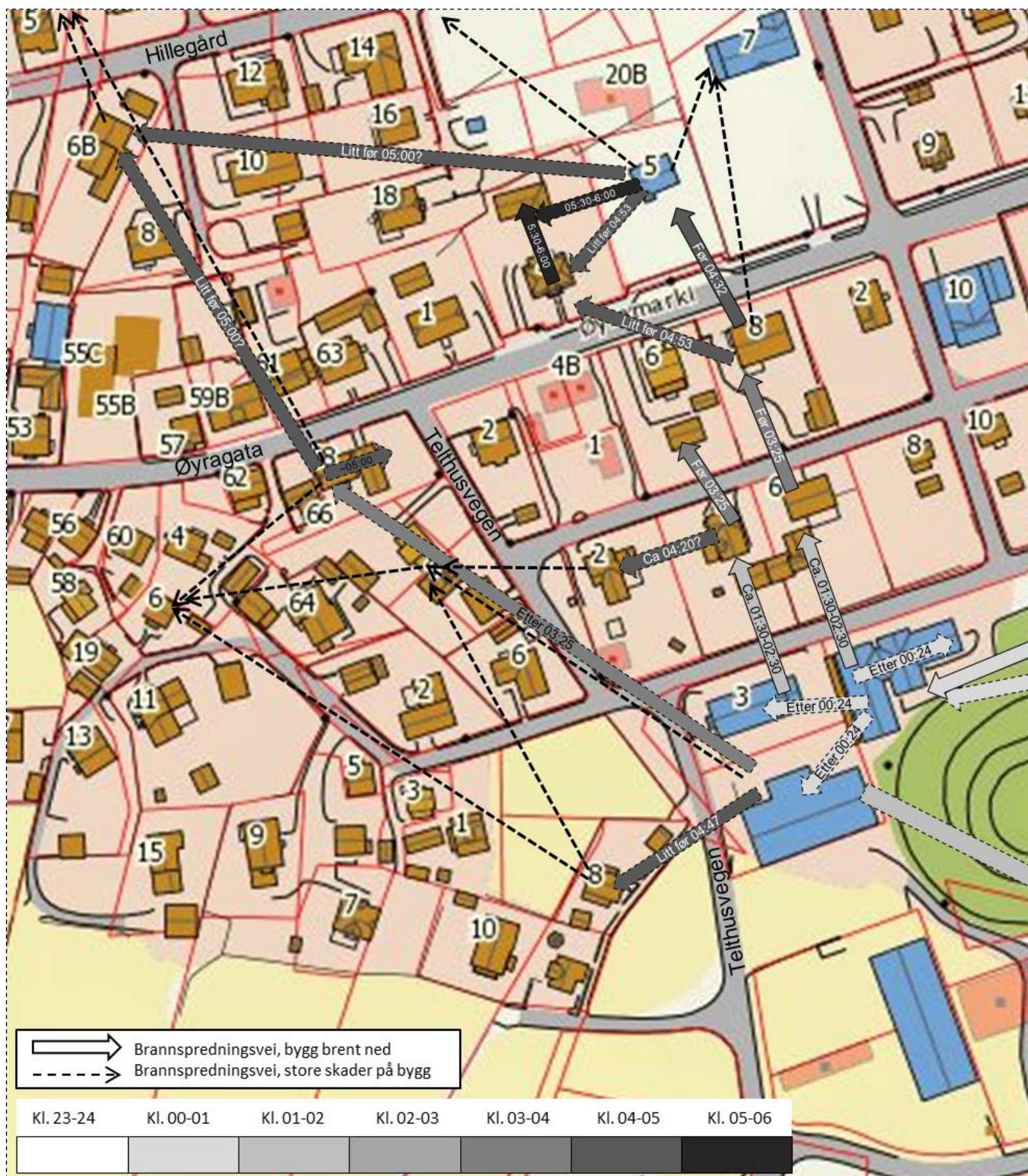
- [1] "Kollegiet for brannfaglig terminologi," *Kollegiet for brannfaglig terminologi - Faguttrykk: Flyvebrann*. [Online]. Available: www.kbt.no. [Accessed: 15-May-2014].
- [2] "Bybrannsikring. Veileder." Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Riksantikvaren, 2007.
- [3] *Introduction to Wildland/Urban interface Firefighting for the Structural Company Officer. IWUIFSCO-Student Manual. 1st Edition, 2nd printing*. FEMA, 2002.
- [4] "Volume 1: The Kilmore East Fire," 2013.
- [5] V. Babrauskas, "Ignition of wood: A review of the State of the Art.," in *Interflam 2001*, London, 2001.
- [6] E. Carlsson, "External Fire Spread to Adjoining Buildings: A Review of Fire Safety Design Guidance and Related Research," Lunds universitet, Lund, Sverige, 1999.
- [7] H.-H. Wang, "Analysis on Downwind Distribution of Firebrands Sourced from a Wildland Fire," *Fire Technol.*, vol. 47, pp. 321–340, 2011.
- [8] S. Manzello, J. Shields, J. Yang, Y. Hayashi, and D. Nii, "On the use of a firebrand generator to investigate the ignition of structures in WUI fires," presented at the Proceedings of the 11th International Conference on Fire Science and Engineering (Interflam), Interscience Communications, London, 2007, pp. 861–872.
- [9] E. I. Foote, J. Liu, and S. L. Manzello, "Characterizing firebrand exposure during wildland urban interface fires," presented at the Proceedings of Fire and Materials 2011 Conference, Interscience Communications, London, 2011.
- [10] S. L. Manzello, S. Suzuki, and Y. Hayashi, "Enabling the study of structure vulnerabilities to ignition from wind driven firebrand showers: A summary of experimental results," *Fire Saf. J.*, vol. 54, pp. 181–196, 2012.
- [11] S. L. Manzello, S.-H. Park, S. Suzuki, J. R. Shields, and Y. Hayashi, "Experimental investigation of structure vulnerabilities to firebrand showers," *Fire Saf. J.*, vol. 46, no. 8, pp. 568–578, 2011.
- [12] S. L. Manzello, J. R. Shields, Y. Hayashi, and D. Nii, "Investigating the vulnerabilities of structures to ignition from a firebrand attack," presented at the The Ninth International Symposium on Fire Safety Science, 2008, pp. 143–154.
- [13] Manzello, SL, Park, S-H, and Cleary, TG, "Investigation on the ability of glowing fire brands deposited within crevices to ignite common building materials," *Fire Saf. J.*, vol. 2009, no. 44, pp. 894–900.
- [14] S. L. Manzello, S.-H. Park, S. Suzuki, J. R. Shields, and Y. Hayashi, "Experimental investigation of structure vulnerabilities to firebrand showers," *Fire Saf. J.*, vol. 46, no. 8, pp. 568–578, 2011.
- [15] T. Waterman and A. Takata, "Laboratory study of ignition of host materials by firebrands," DTIC Document, 1969.
- [16] "Summary of the Large Scale Fire Tests in the Runehamar Tunnel in Norway, conducted in association with the UPTUN Research Program.," TNO, Nederland, 2003.
- [17] D. Drysdale, *An Introduction to Fire Dynamics. Third Edition.*, 3rd ed. Wiley & Sons Ltd, 2011.
- [18] V. Babrauskas, *Ignition handbook*. Fire Science Publishers, SFPE, 2003.
- [19] E. Moysey and W. Muir, "Pilot ignition of building materials by radiation," *Fire Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 46–50, 1968.
- [20] G. Burrell and J. Hare, "Review of HSE Building Ignition Criteria.," Health & Safety Laboratory, Fire and Explosion Science Group, Derbyshire, UK, HSL/2006/33, 2006.
- [21] "Tät småhusbebyggelse och brandspridningsrisiker." Nordiska industrigruppen trähus/brandskydd, Jun-1975.

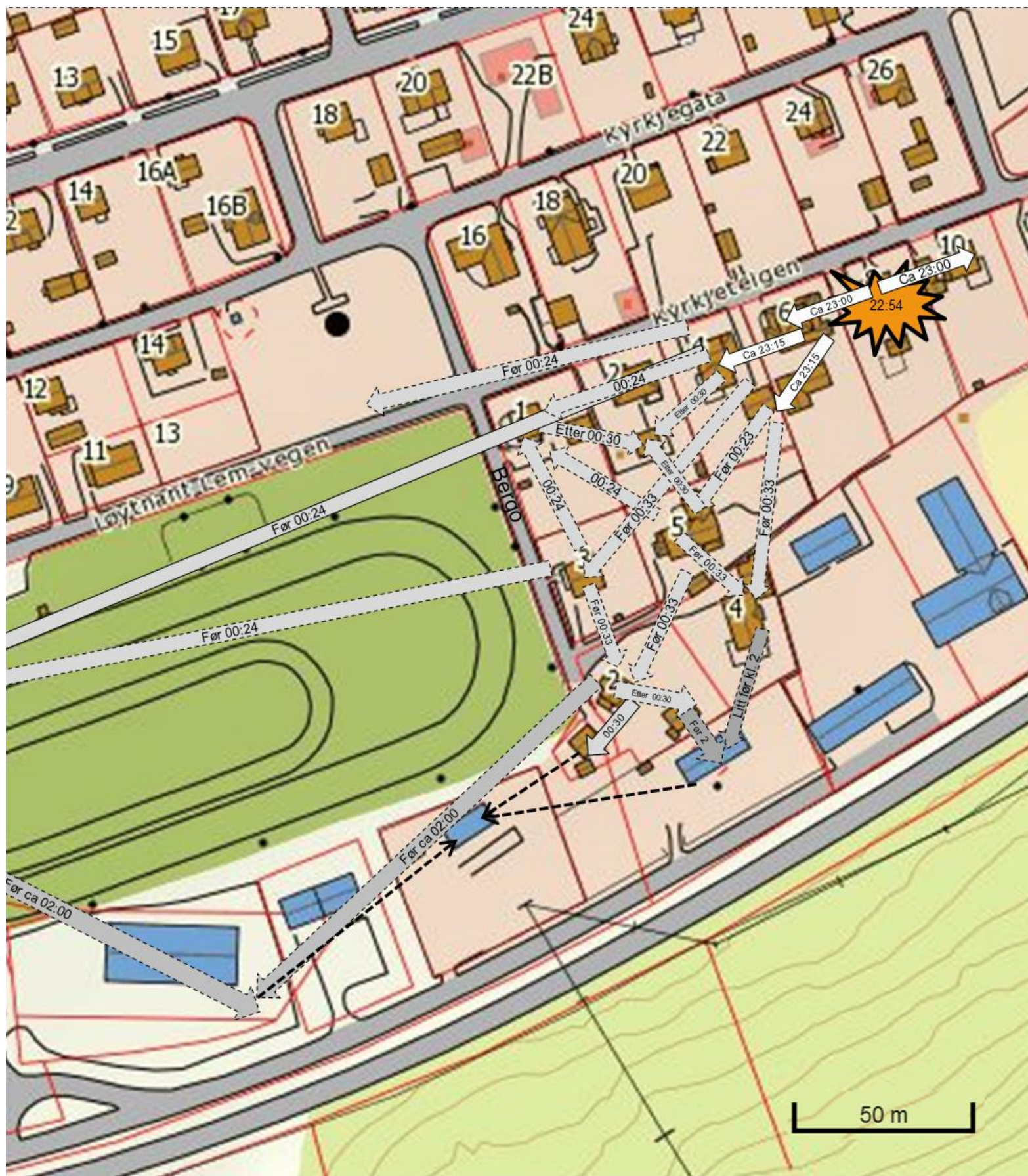
- [22] P. J. DiNenno, A. National Fire Protection, and E. Society of Fire Protection, *SFPE handbook of fire protection engineering*. Quincy, Mass.: National Fire Protection Association, 2002.
- [23] International Organization for Standardization, "ISO 834-1:1999 - Fire-resistance tests -- Elements of building construction -- Part 1: General requirements," 1999.
- [24] E. Koo, P. J. Pagni, D. R. Weise, and J. P. Woycheese, "Firebrands and spotting ignition in large-scale fires," *Int. J. Wildland Fire*, vol. 19, pp. 818–843, 2010.
- [25] A. Rommetveit, "Det brannfarlige været," *yr.no*, 28-Jan-2014. [Online]. Available: <http://www.yr.no/nyheter/1.11502014>. [Accessed: 25-May-2014].
- [26] R. V. Engen, "Kastevind førte flammene i alle retninger," *NRK*, 19-Jan-2014. [Online]. Available: <http://www.nrk.no/hordaland/derfor-sprede-brannen-seg-sa-raskt-1.11480765>. [Accessed: 25-May-2014].
- [27] R. Wighus, E. Andersson, ulf Danielsen, K. S. Pedersen, and J. P. Stensaas, "Gransking av storbrann i Trondheim 7. desember 2002.," SINTEF, Norges branntekniske laboratorium as, NBL A03108, 2003.
- [28] www.earthzine.org, 05-May-2014. [Online]. Available: <http://www.earthzine.org/2011/04/29/floods-and-droughts-in-a-changing-climate---now-and-the-future/>.
- [29] P. Skogstad, Ed., *Treteknisk håndbok. Kapittel 2*. 2009.
- [30] B. Esping, *Tretorkning - Grunder i torkning*. .
- [31] S. V. Glass and S. L. Zelinka, "Moisture Relations and Physical Properties of Wood," .
- [32] C. P. Hedlin, "Sorption isotherms of twelve woods at subfreezing temperatures.," *Forest Products Journal*, vol. 17, no. 12, pp. 43–48, 1967.
- [33] "eKlima." [Online]. Available: www.eklima.met.no. [Accessed: 11-Apr-2014].
- [34] J. M. Clarke, "A review of the building separation requirements of the New Zealand Building Code Acceptable Solutions," *Fire Eng. Res. Rep.*, vol. 99, no. 2, 1999.
- [35] J. E. Staggs, H. N. Phylaktou, and R. E. McCreadie, "The Effect of the Paint on the Ignition Resistance of Plywood and Chipboard," presented at the Fire Safety science-proceedings of the seventh international symposium, pp. 617–628.
- [36] A. Steen-Hansen and B. Kristoffersen, "Assessment of fire properties for painted surfaces in escape routes," presented at the Interflam, London, 2007.
- [37] M. Janssens, "A thermal model for Piloted Ignition of Wood including Variable Thermophysical Properties," 1991.
- [38] B. Moghtaderi and D. F. Fletcher, "Flaming Combustion Characteristics of Wood-Based Materials," *Int. Assoc. Fire Saf. Sci.*
- [39] A. Steen-Hansen, G. Jensen, P. A. Hansen, R. Wighus, T. Steiro, and K. E. Larsen, "NBL A03197 Byen brenner! Hvordan forhindre storbranner i tett verneverdig trehusbebyggelse med Røros som eksempel.," SINTEF NBL as, Trondheim, Jan. 2004.
- [40] A. K. Storesund, K. Hox, A. G. Bøe, and R. Wighus, "NBL A13126 Slokkevannsmengder," SINTEF NBL as, Trondheim, ISBN: 978-82-14-00123-5, Oct. 2013.
- [41] A. W. Brandt, A. Steen-Hansen, and J. P. Stensaas, "NBL A04137 Nytt slokkeutstyr og nye slokketeknikker - økt sikkerhet for brannmannskapene?," SINTEF NBL as, ISBN: 82-14-02445-5, Jun. 2004.
- [42] J. P. Stensaas, "STF84 A96621 Forbedret slokketeknikk og annet utstyr i relasjon til røykdykkernes arbeidsinnsats og sikkerhet - (Revidert utgave av rapport av 1997-01-06),," SINTEF NBL as, Trondheim, Feb. 2002.
- [43] H. Ingason, R. Fallberg, K. Palmkvist, and U. Edholm, "SP Rapport 2012:63 Övertrycksventilation kombinerad med skärsläckare," SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, ISBN: 978-91-87017-81-0, 2012.
- [44] J. Lindström, G. Appel, K. Palmkvist, and K. O. Bialas, "MSB618 Förmåga och begränsningar av förekommande släcksystem vid brand i byggnad - fokus på miljöarbete," SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Södra Älvsborgs

- Räddningstjänstförbund (SÄRF), Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, ISBN: 978-91-7383-390-5, Nov. 2013.
- [45] "Product information: Moussol-FF 3/6." Dr. Sthamer Hamburg.
 - [46] S. Haram, "Kreative løsninger mot branninfernoet i Lærdal," *Brann Sikkerh.*, no. 2, pp. 18–19, 2014.
 - [47] J. B. Davis, D. L. Dibble, S. S. Richards, and L. V. Steck, "Gelgard - A new fire retardant for air and ground attack," *Fire Technol.*, vol. 1, no. 3, pp. 216–224, Aug. 1965.
 - [48] "Material safety data sheet: Barricade II Fire Blocking gel." Barricade International, Inc.
 - [49] "Wildland Urban Interface (WUI) Structure Defense." Firescope California, 2013.
 - [50] "Rosenbauer - Nozzles and portable monitors." Rosenbauer.
 - [51] K. Baetens, D. Nuytens, P. Verboven, M. De Schampheleire, B. Nicolaï, and H. Ramon, "Predicting drift from field spraying by means of a 3D computational fluid dynamics model," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 56, pp. 161–173, 2007.
 - [52] J. A. Pappas, "Spraydannelse ved væskelekkasjer," presented at the Brann - og eksplosjonssikring i petroleumsindustrien 2014, Haugesund, 2014.
 - [53] J. Shinjo and A. Umemura, "Simulation of liquid jet primary breakup: Dynamics of ligament and droplet formation," *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 36, pp. 513–532, 2010.
 - [54] B. Kuan, "CFD modelling of liquid jet and cascade breakup in crossflows," presented at the International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, Melbourne, Australia, 2009.
 - [55] V. P. Dowling, "Ignition of timber bridges in bushfires," *Fire Saf. J.*, vol. 22, no. 2, pp. 145–168, 1994.
 - [56] S. L. Manzello, S. Suzuki, and K. Himoto, "NIST Special Publication 1128 Summary of Workshop for Urban and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires: A Workshop to Explore Future Japan/USA Research Collaborations." National Institute of Standards and Technology.
 - [57] "Wildfire Protection Building Construction 'CBC 2010 CH7A' Task Force TASK FORCE NOTICE & MINUTES: CO – CHAIR CONFERENCE CALL August 13, 2009 2:50 pm – 3:50pm." DEPARTMENT OF FORESTRY AND FIRE PROTECTION Office of the State Fire Marshal Code Development and Analysis, Sacramento, California, 2009.
 - [58] "Wildfire Protection Building Construction 'CBC 2010 CH7A' Task Force. TASK FORCE CO-CHAIR CONFERENCE CALL MINUTES September 9, 2009 8:00am – 9:30am." DEPARTMENT OF FORESTRY AND FIRE PROTECTION Office of the State Fire Marshal Code Development and Analysis, Sacramento, California., 2009.
 - [59] B. Östman, J. König, J. Schmid, and A. Just, "Brandsäkra trähus 3 : nordisk-baltisk kunskapsöversikt och vägledning," SP Rapport 2012:18, 2012.
 - [60] B. Östman, "Fire safety in timber buildings - Results of the FireInTimber project," Puupäivä, Helsinki, oktober-2011.
 - [61] "Wildfire is coming. Are you ready?," 2012. [Online]. Available: <http://www.readyforwildfire.org/>. [Accessed: 26-May-2014].
 - [62] H. Vikøyr, "Slik sikrer du huset ditt utvendig mot brann.," VG, 30-Jan-2014.
 - [63] A. M. Hjellum, "Personlig kommunikasjon med Alf Magne Hjellum, Teknisk etat Lærdal kommune, og Ragni F. Mikalsen, SP Fire Research AS.," mai-2014.
 - [64] G. Johnsgaard, "Personlig kommunikasjon med Gaute Johnsgaard, brannsjef i Årdal/Lærdal og Ragni F. Mikalsen, SP Fire Research AS.," Mai-2014.
 - [65] Lærdal Kommune, "Program, Attreising og utvikling, Lærdalsøyri." 20-Mar-2014.
 - [66] "Presentasjon av Lærdalsbrannen gitt til SP Fire Research av brannsjef Gaute Johnsgaard, i forbindelse med befarung i Lærdal.," Apr-2014. .
 - [67] Kartverket, "Landkart Lærdalsøyri," www.norgeskart.no. [Online]. Available: <http://www.norgeskart.no/?sok=1%C3%A6rdals%C3%B8yri#15/95650/6797021/+h> its. [Accessed: 15-May-2014].

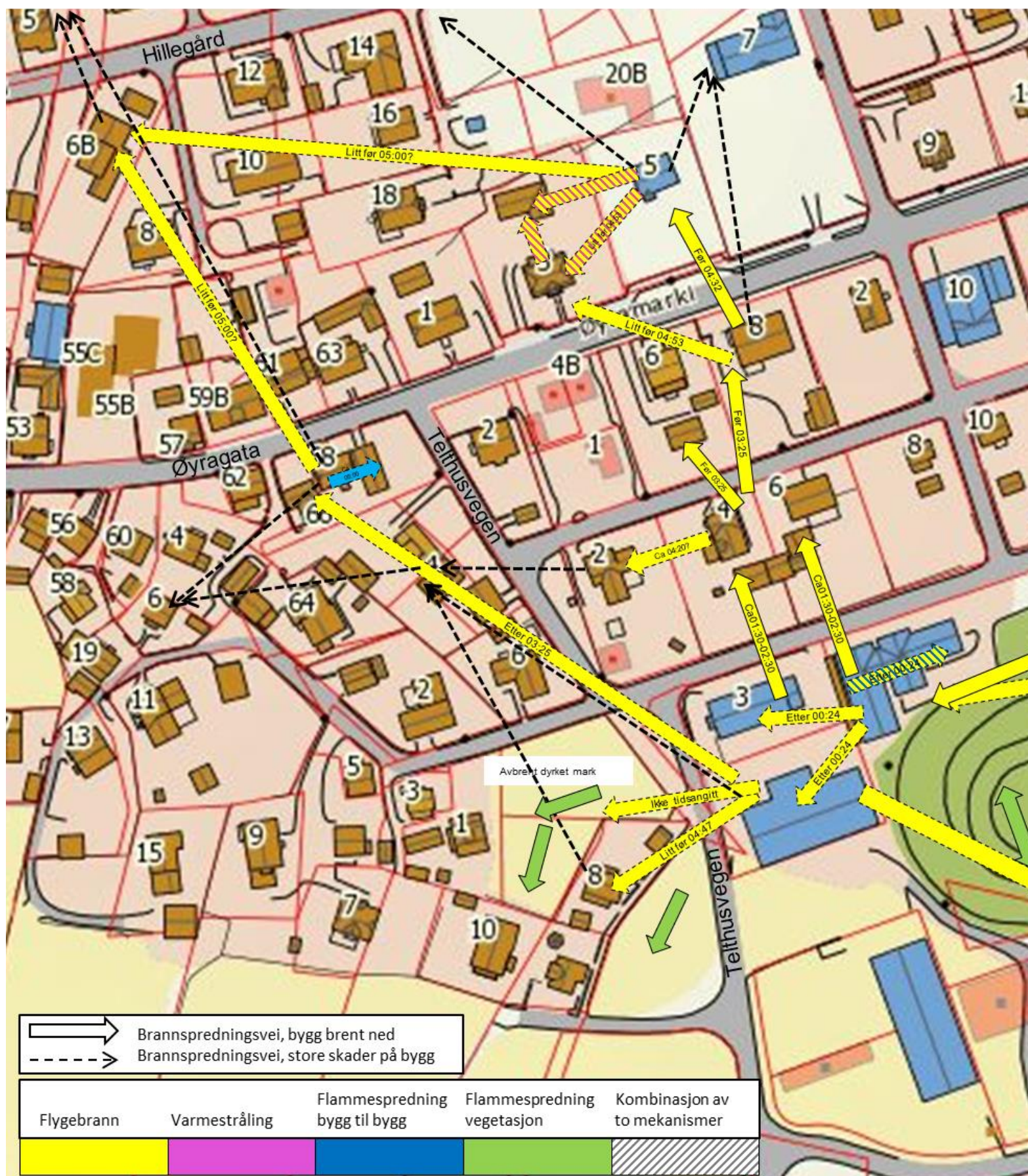
- [68] A. S. Sæther, T. Peters, F. Svendsen, and B. Tommelstad, "Beboer ringte selv inn første brannalarmen," *www.vg.no*, 20-Jan-2014. [Online]. Available: <http://www.vg.no/nyheter/innenriks/laerdal-brannen/beboer-ringte-selv-inn-den-foerste-brannalarmen/a/10120550/>.
- [69] G. Flaaten, "Tror brannen startet på en av disse tre tomtene," *www.aftenposten.no*, 21-Jan-2014. [Online]. Available: http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/Tror-brannen-startet-pa-en-av-disse-tre-tomtene-7441283.html#.U3HU6vI_t9V.
- [70] T. I. Aune, "Plutselig var alt overtent," *www.standplass.no*, 21-Jan-2014. [Online]. Available: <http://www.standplass.no/artikkel.php?id=756>.
- [71] "Kartutsnitt fra Google Earth Street View." [Online]. Available: https://www.google.no/maps/@61.095796,7.490119,3a,75y,6.91h,82.55t/data=!3m4!1e1!3m2!1s_oGi7ueoEjG2um_FFVgh1A!2e0.
- [72] A. Uglum, "Brann Lærdal, video," *www.nrk.no*, 19-Jan-2014. [Online]. Available: http://www.nrk.no/video/brann_laerdal/23770F207E5B61A8/emne/Storbrannen%20i%20L%C3%A6rdal/.

Vedlegg A: Kart over brannspredningen i Lærdal i tid og rom



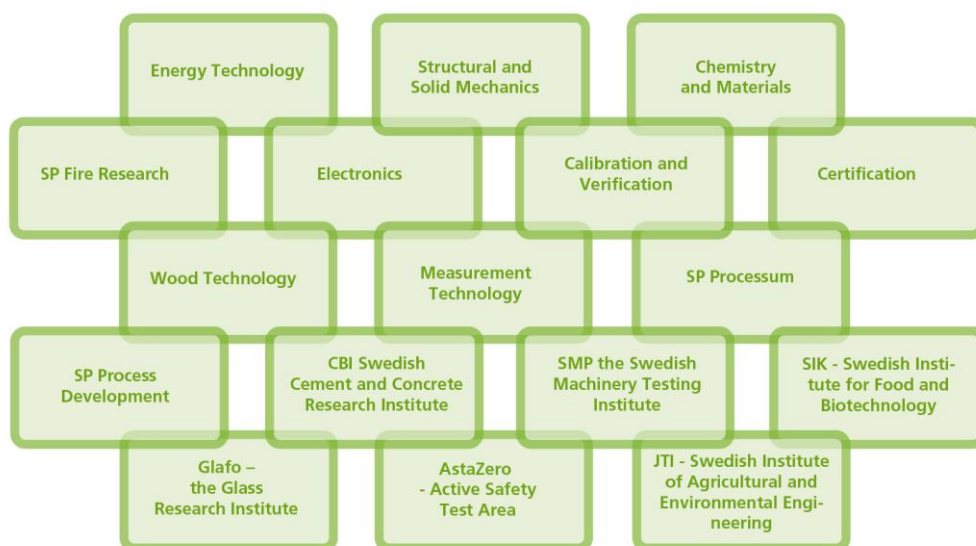


Vedlegg B: Kart over mulige brannspredningsmekanismer i Lærdal



SP Technical Research Institute of Sweden

Our work is concentrated on innovation and the development of value-adding technology. Using Sweden's most extensive and advanced resources for technical evaluation, measurement technology, research and development, we make an important contribution to the competitiveness and sustainable development of industry. Research is carried out in close conjunction with universities and institutes of technology, to the benefit of a customer base of about 10000 organisations, ranging from start-up companies developing new technologies or new ideas to international groups.



SP Fire Research AS

Postboks 4767 Sluppen, 7465 Trondheim

Telefon: 464 18 000

E-post: post@spfr.no, Internett: www.spfr.no

www.spfr.no

SPFR-rapport SPFR A14109

ISBN 978-82-14-00128-0

For mer informasjon om publikasjoner utgitt av SP: www.sp.se/publ