



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Samfunnssikkerhet/Sikkerhet	Vårsemesteret, 2009 Åpen
Forfatter: Henrik Bjelland (signatur forfatter)
Faglig ansvarlig: Ove Njå Veileder(e): Anders Arnhus (Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap)	
Tittel på masteroppgaven: <i>Brannsikkerhetskonsepter for boligblokker – Tiltak med betydning for risiko</i> Engelsk tittel: <i>Fire Safety Concepts for Residential Apartment Buildings – Fire safety measures and risk</i>	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Brannsikkerhet Boligblokker Regelverk Brannsimulering Risikoanalyse	Sidetall: 161 + vedlegg/annet: 26 Stavanger, 15-06/2009 dato/år

Forord

Denne oppgaven er utarbeidet i forbindelse med 30 studiepoengs masteroppgave i Samfunnssikkerhet ved Universitetet i Stavanger (UiS) - Institutt for Industriell økonomi, risikostyring og planlegging.

Oppgaven omhandler branntekniske boligblokkkonsepter og hvordan en utvalgt andel slike konsepter kan rangeres med hensyn til brannrisiko for beboerne i boligblokken. Et brannteknisk boligblokkkonsept kjennetegnes ved de virkemidlene en brannteknisk rådgiver velger å ta med i sin prosjektering av boligblokken. Dette kan være krav til branncelleinndeling, antall trapperom, automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg. Summen av de branntekniske tiltakene utgjør det branntekniske konseptet, som sier noe om sikkerhetsnivået for beboerne i boligblokken.

Utformingen av oppgaven er gjort i nært samarbeid med min veileder ved UiS, Ove Njå, tidligere kollega Anders Arnhus, min seksjonsleder i Multiconsult, Ari Soilammi og kollega Nils Erik Forsén. I en hektisk periode, der mange oppgavemuligheter og -retninger lå på bordet, ble deres innspill til oppgaven en verdifull rettesnor.

Etter et dypdykk i gammelt bygningsregelverk, samt en relativt tung prosess i forbindelse med å fremskaffe brannteknisk dokumentasjon fra byggesaker etter 1997, fikk oppgaven stadig større fokus på mine faglige hovedinteresseområder: risikoanalyse og brannmodellering/-simulering. Selv om det fortsatt er mange veier videre for å belyse dette store og komplekse temaet, har det gjennom hele prosessen vært min vurdering at disse hovedelementene ville kunne gi meg svar på den oppgaven jeg ville løse.

Masteroppgaven avslutter mitt fireårige deltidsstudium ved UiS. Studiet og masteroppgaven har vært kombinert med jobb som brannteknisk rådgiver i Multiconsult. Dette har til tider vært en krevende kombinasjon. Min bakgrunn som brannteknisk rådgiver er en del av konteksten i denne oppgaven. En stor takk rettes til Ari Soilammi og Kjell Bjarte Kvinge, for at studiet har vært mulig å gjennomføre innenfor praktiske og økonomiske rammer. I tillegg rettes en takk til Stiftelsen Multiconsult for økonomisk bistand. Som deltidsstudent sitter man litt skjermert fra universitetet og informasjonsflyten. Kollega Jacob Haugen ved Multiconsult Stavanger, som har kjørt det samme løpet som meg, har vært en viktig støttespiller de siste fire årene. Vissheten om at det fantes en likestilt kollega for informasjonsutveksling, prosjektsamarbeid og gode lunsjsamtaler i Stavanger, var god å ha ved begynnelsen av nye semestre.

En spesiell takk rettes til Ove Njå for fantastisk oppfølging underveis i arbeidet. Jeg setter stor pris på ditt engasjement og bistand i forbindelse med innhenting av data til oppgaven. Vi fikk kanskje ikke den store uttellingen på datainnsamlingen knyttet til brannteknisk dokumentasjon fra nyere byggesaker, men nye muligheter byr seg kanskje siden. En spesiell takk rettes også til Anders Arnhus. Din faglige oversikt og engasjement, har vært til stor inspirasjon siden jeg kom inn i bransjen. Kommentarene dine har hevet oppgaven betraktelig. Ellers rettes en takk til mine kolleger i Multiconsult og spesielt Nils Erik Forsén, Lars Erik Sorthe, Audun Borg og Eivind Løken, samt James Bertwistle (senior CFD-engineer, WSP London) for gode faglige diskusjoner underveis i arbeidet, samt bistand med å fremskaffe kilder og informasjon.

Til slutt vil jeg takke familien min, som alltid har oppmuntret meg til å følge viljen. Min samboer, Ulla, har vist en utrolig tålmodighet med meg i studietiden, og spesielt dette semesteret. Støtten de dagene oppgavene virket litt for store og din kontinuerlige omsorg har holdt meg på sporet. Jeg vil være deg evig takknemlig.

Oslo, den 15. juni 2009

Henrik Bjelland

Sammendrag

En gjennomgang av regelverket, viser at krav til utforming av rømningskonsept for boligblokker har endret seg vesentlig i nyere lovverk og forskrifter. Ut over de endrede kravene til rømningskonseptet, har de generelle kravene til brannmotstand på bærende konstruksjoner, branncelleinndeling, materialers branntekniske egenskaper og lignende stort sett vært identiske siden byggeforskrift av 1969.

Problemstillingen i denne oppgaven er å vurdere effekten av endringene i regelverket knyttet til rømningskonsept, sammenlignet med andre variabler som kanskje i like stor grad påvirker brannsikkerheten i en boligblokk. Eksempler på dette er automatisk brannalarmanlegg, sprinkleranlegg, leilighetens størrelse og leilighetens takhøyde. Hensikten med oppgaven er ikke å beskrive utviklingen i risikonivå i regelverket, men å kartlegge mulige alternative branntekniske konsepter, samt beskrive brannsikkerheten forbundet med disse.

Gjeldende byggeforskrifter (tekniske forskrifter av 1997) angir funksjonsbaserte krav. Dette innebærer at det generelt kun stilles kvalitative krav til brannsikkerhet i forskriften. Konkrete løsningsmodeller som vil tilfredsstille forskriftens funksjonskrav, er angitt i veiledning til forskriften. Hensikten med en funksjonsbasert forskrift er å åpne for alternative løsningsmodeller, som på en billigere og bedre måte ivaretar forskriftens krav. Det er den ansvarlige branntekniske rådgiveren som prosjekterer og dokumenterer de alternative løsningsmodellene.

Forskriftsteksten er imidlertid utformet med enkelte detaljkrav, slik at enkelte branntekniske løsningsmodeller må utelukkes før de kommer til utredning. Et eksempel på et slikt detaljkrav, og som har stor betydning for denne oppgaven, er følgende (TEK: § 7-27 pkt 3):

”Fra branncelle skal det være minst én utgang til:

- sikkert sted, eller*
- rømningsvei som har to alternative rømningsretninger som fører videre til forskjellige rømningsveier eller sikre steder.”*

Denne formuleringen kan være uheldig, ettersom den utelukker løsningsmodeller med bare ett trapperom. Kostnadseffektive løsningsmodeller, som i større grad inviterer byggherrer og entreprenører til effektive brannsikringstiltak, som brannalarmanlegg og sprinkleranlegg, blir gjerne forkastet til fordel for preaksepterte løsningsmodeller med to trapperom, uten brannalarmanlegg og sprinkleranlegg.

Det er grunn til å tro at konseptmessige tiltak som påvirker brannsikkerheten i hver enkelt leilighet, har en annen betydning for brannsikkerheten i boligblokken, enn tiltak som påvirker boligblokken generelt. Eksempelvis vil et sprinkleranlegg aktiveres og påføre vann på brannen tidlig i brannforløpet, mens et trapperom vil være tilgjengelig for personer som kommer seg ut av startbrannleiligheten, samt naboer. Med utgangspunkt i at de fleste mennesker omkommer i sin egen leilighet, kan det tenkes at installasjon av sprinkleranlegg har større effekt på antall omkomne, enn antall trapperom har.

For å undersøke effekten av ulike branntekniske tiltak med hensyn til brannrisiko, sammensatt i forskjellige branntekniske løsningsmodeller, er det benyttet brannmodeller for brann- og røyksimuleringer. Resultatene fra simuleringene er brukt som underlag for en risikoanalyse, som brukes til å sammenligne de utvalgte branntekniske løsningsmodellene.

Simuleringene er utført med beregningsprogrammet FDS (Fire Dynamics Simulator), utviklet av NIST (National Institute of Standards and Technology, USA). FDS er en beregningsmodell basert på CFD-teknologi (Computational Fluid Dynamics).

Risikoanalysen er gjennomført med kvantitative hendelsestreanalyser, med fokus på å beskrive branntekniske tiltak som barrierer mellom den uønskede hendelsen ”brann i leilighet”, og konsekvensen ”omkomne” som følge av brannen. Data for risikoanalysen bygger, som nevnt ovenfor, delvis på brannsimuleringene. En annen kilde for data til risikoanalysene, er litteratur og statistikk som omhandler effekten av og påliteligheten til ulike branntekniske tiltak, som brannalarmanlegg og sprinkleranlegg. Litteraturgjennomgangen viser at spesielt sprinkleranlegg har stor effekt knyttet til å forhindre at kritiske og dødelige forhold oppstår i et rom, som følge av brann. Sprinkleranlegg er også en robust og kjent teknologi med høy pålitelighet. Det vil si at det virker som det skal, når det skal. Oppgavens kildelitteratur i forbindelse med branntekniske tiltak, bygger på nyere amerikansk statistikk for sprinkleranlegg og røykvarslere/brannalarmanlegg, fra blant annet Hall (2009), Ahrens (2007), Rohr (2003) samt norske studier av effekten av branntekniske tiltak utført av SINTEF NBL (Mostue m.fl. 2003, Mostue og Stensaas 2002 og Mostue og Opstad 2002). Den fysiske effekten av sprinklervann på en brann, er beskrevet av blant annet Drangsholt og Rossebø (2006) og Madrzykowski (1991), basert på fullskala brannforsøk. Data fra disse kildene danner hovedgrunlaget for å vurdere effekten og påliteligheten av de branntekniske tiltakene.

Ved å kombinere resultatene fra brannsimuleringene med pålitelighetsdata for branntekniske tiltak, er det etablert en modell for å simulere hendelseskjeder i hendelsestrær. Hendelseskjedene starter med brann i leilighet og ender med omkomne personer. Kunnskap om menneskers tålegrenser for brannlaster og menneskers reaksjoner i brannsituasjoner, danner grunlaget for å vurdere konsekvensene av brannene i de ulike scenariene. Kunnskap om menneskers tålegrenser, er hentet hovedsakelig fra Opstad og Stensaas (1998). Kunnskap om menneskers respons på brannalarm og brannsignaler, og handlemåte i brannsituasjoner, er hovedsakelig basert på Proulx (2007a, 2007b, 2003 og 2001). Denne litteraturen bygger på kunnskap fra forskningsprosjekter om menneskers handling ved brann, gjennomført i kjølevannet av World Trade Center-kollapsen i USA i 2001.

Resultatet av gjennomgang av bygningsregelverket fra 1924 frem til i dag, er en liste med 40 branntekniske løsningsmodeller. Tre av disse modellene er beskrevet som dagens preaksepterte løsningsmodeller, som beskriver minimumsnivået for å ivareta kravene i teknisk forskrift. Øvrige løsninger representerer varianter av de preaksepterte løsningsmodellene, og gamle forskriftsmessige løsningsmodeller med varianter av disse. I sammenligningene er det hovedsakelig lagt vekt på trapperomskonsept, i kombinasjon med de aktive brannsikringstiltakene røykvarsler, røykvarsler og sprinkleranlegg, brannalarmanlegg og brannalarmanlegg og sprinkleranlegg. Det er identifisert fire forskjellige trapperomskonseppter:

- ”Tr1-trapper” (åpne trapperom i henhold til byggeforskrift av 1987), som omfatter en løsning der det er direkte atkomst fra leilighet til trapperom. Det vil si at det finnes én fysisk barriere (vegg) mellom leiligheten og rømningsveien.
- ”Tr2-trapper” (lukkede trapperom i henhold til byggeforskrift av 1987), som omfatter en løsning der det er etablert en korridor mellom leilighet og trapperom. Det vil si at det finnes to fysiske barrierer (vegg mellom leilighet og korridor og vegg mellom korridor og trapp) mellom leiligheten og trappen. Det er imidlertid bare én barriere mellom leilighet og korridor, som er felles rømningsvei for hele etasjen.
- ”Tr3-trapper”, som i likhet med Tr2-trapper omfatter en løsning der det er etablert en korridor mellom leilighet og trapperom. Korridoren er for øvrig i tillegg åpen mot det fri, eller trapperommet er utført med overtrykksventilering for å forhindre røykinntregning i trapperommet.
- ”Branntrygge og røykfrie trapperom”, som er en beskrivelse av den trapperomsløsningen med høyeste krav til brannsikring etter byggeforskrift av 1969 til og med byggeforskrift av 1987. Løsningen omfatter en korridor mellom leilighet og en utvendig og brannteknisk atskilt ”balkong”. Trapperommet er skilt fra den utvendige balkongen, som en egen branncelle. Røyk fra en brann i en leilighet må forsere tre barrierer for å trenge inn i trapperommet.

Konklusjonen fra brannsimuleringer og risikoanalyser, er at løsningsmodeller basert på sprinkleranlegg, i kombinasjon med enten brannalarmanlegg eller røykvarsler, er fordelaktige med hensyn til å redusere forventet antall omkomne som følge av brann i en boligblokk.

Tabell A1 representerer hovedresultatene i denne oppgaven. Tabellen viser alle de 40 løsningsmodellene rangert etter størrelsen forventet antall omkomne, fra lavest til høyest. De preaksepterte løsningsmodellene med ID-nummer 1D2, 1C1 og 2B1 er markert med grønn bakgrunn. Løsningsmodeller som ikke tilfredsstiller teknisk forskrifts funksjonskrav i § 7-27 pkt. 3, men som har lavere beregnet forventet antall omkomne enn beste preaksepterte løsningsmodell, er markert med rød bakgrunn (ID-nummer 4A4, 3B4, 1D4, 1B4, 4A2 og 3B2). Løsningsmodeller som ikke tilfredsstiller teknisk forskrifts funksjonskrav i § 7-27 pkt. 3, men som har lavere beregnet forventet antall omkomne enn dårligste preaksepterte løsningsmodell, er markert med blå bakgrunn (ID-nummer 1B2, 4A3, 4A1, 3B3, 1D3, 1B3, 3B1, 1B1).

Tabell A1 – Risikorangering etter konseptets totalrisiko

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
1C4	To Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,10	3,56
1A4	To Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,24	3,71
4A4	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,15	3,71
4B4	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,10	3,97
3A4	To Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,26	4,14
3B4	Ett Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,66	4,22
1D4	Ett Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,07	4,53
2B4	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,26	1,28	5,00
1B4	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,65	5,11
2A4	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	1,24	5,11
1C2	To Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,25	5,86
1A2	To Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,60	6,20
4A2	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV+Sprinkler	5,60	0,25	0,36	6,22
4B2	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,24	6,85
3A2	To Tr3	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,65	7,26
3B2	Ett Tr3	RV+Sprinkler	5,60	0,25	1,62	7,47
1D2	Ett Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		2,63	8,23
2B2	To Tr2 med røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	0,61	3,01	9,22
1B2	Ett Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		4,04	9,65
2A2	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	1,01	3,04	9,65
1C3	To Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		0,82	12,67
1A3	To Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		1,93	13,78
4A3	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA	11,85	0,82	1,16	13,83
1C1	To Tr1, med selvlukker	RV	12,77		1,74	14,51
4B3	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA	11,85	3,26	0,77	15,88
1A1	To Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		4,13	16,89
4A1	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV	12,77	1,74	2,48	16,98
3A3	To Tr3	ABA	11,85	3,26	2,09	17,20
3B3	Ett Tr3	ABA	11,85	0,82	5,22	17,88
1D3	Ett Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		8,48	20,33
4B1	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV	12,77	6,96	1,65	21,38
2B3	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA	11,85	1,98	9,76	23,59
3A1	To Tr3	RV	12,77	6,96	4,46	24,18
1B3	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		13,04	24,89
2A3	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA	11,85	3,26	9,80	24,91
3B1	Ett Tr3	RV	12,77	1,74	11,14	25,65
1D1	Ett Tr1, med selvlukker	RV	12,77		18,10	30,87
2B1	To Tr2 med røykskille i korridor	RV	12,77	4,23	20,88	37,88
1B1	Ett Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		27,85	40,61
2A1	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV	12,77	6,96	20,92	40,65

I tillegg til å understreke sprinkleranleggets effekt i forhold til å redusere antall omkomne i brann, viser beregningene i denne oppgaven at layout i boligblokken med hensyn til antall leiligheter tilknyttet felles rømningsvei, har stor betydning for forventet antall omkomne ved brann. Løsningsmodeller med korridor, innebærer ofte relativt mange leiligheter per etasje. Dette øker, basert på forutsetningene i

denne oppgaven, sannsynligheten for en brann i en gitt etasje i blokken. Dette øker også den potensielle konsekvensen av en brann.

Observasjoner fra brannsimuleringene, som danner delkonklusjoner i oppgaven, men som ikke er tatt inn i risikoanalysen, er blant annet følgende:

- Brannveksthastigheten har stor betydning for tiden frem til det oppstår kritiske eller dødelige forhold i en leilighet, som følge av brann. Det er flere forhold som påvirker brannveksthastigheten. Av de forhold som regelverket påvirker direkte, har hovedsakelig de krav som stilles til branntekniske egenskaper på materialer som brukes på overflater i en leilighet, størst betydning. I dagens regelverk stilles det reduserte krav til slike overflater, sammenlignet med de krav som fulgte for en "branntrygg bygning" etter byggeforskrift av 1969. Basert på dette, vil det kunne antas en raskere brannvekst i nyere leiligheter, enn leiligheter i en "branntrygg bygning". Hvorvidt dette forholdet spiller noen rolle i praksis, er usikkert, ettersom det ofte benyttes overflater av gips og betong i nye leiligheter, selv om disse overflatene har bedre branntekniske egenskaper enn det som utgjør minimumsnivået.
- Størrelsen på leiligheten (areal og antall rom) har en viss betydning for tiden frem til det oppstår kritiske eller dødelige forhold i en leilighet, som følge av brann. Små leiligheter fylles raskere med røyk, og kritiske og dødelige forhold oppstår raskere. I større grad enn tiden frem til kritiske forhold, har imidlertid nærheten mellom brannen og beboeren betydning i små leiligheter. En liten leilighet (ettroms) har alle de samme funksjonene og tenkildene, som en stor leilighet har, men samlet på et mindre areal. Sannsynligheten for brann kan dermed sies å være omtrent den samme. Det er imidlertid mye større sannsynlighet for at personen befinner seg i startbrannrommet i en ettromsleilighet, enn i en større leilighet med flere rom.
- Stor takhøyde i leiligheten har en positiv betydning for tiden frem til det oppstår kritiske eller dødelige forhold i en leilighet, som følge av brann. Selv om denne faktoren alene ikke kan sies å være avgjørende for å overleve en brann, øker den sannsynligheten for å komme seg ut før det oppstår kritiske og dødelige forhold. I kombinasjon med leilighetens størrelse, gode branntekniske egenskaper på vegg- og takflater, samt sprinkleranlegg, vil økt takhøyde være et mulig brannteknisk tiltak for å øke brannsikkerheten i boligblokken. Kravene til takhøyde har imidlertid i praksis vært de samme fra 1924 frem til i dag med et minimumskrav på 2,5 m i 1924 og 2,4 m i dag.
- Et brennende materiale med høy røykproduksjon, bidrar raskere til kritiske og dødelige forhold i en leilighet, enn et brennende materiale med lav røykproduksjon. I dagens tekniske regelverk stilles det ingen branntekniske krav til den innredningen som skal inngå i en leilighet, det vil si materialbruk i møbler og inventar. Kravene til branntekniske egenskaper på overflater og kledninger på vegger og tak, er følgelig i praksis de eneste reglene som påvirker denne faktoren. Kravene til branntekniske egenskaper på overflater og kledninger, er imidlertid relativt strenge. Det er for eksempel ikke tillatt å kle en innervegg i leiligheten sin med plast, som er et materiale med typisk høy røykproduksjon ved forbrenning. For å kunne påvirke sotproduksjonsraten, må det stilles strengere branntekniske krav til de produktene vi fyller leilighetene våre med.

Basert på oppgavens resultater, synes fokuseringen på trapperomskonsepter å være overvurdert, sammenlignet med den gevinsten som kan forventes med hensyn til reduksjon i antall omkomne i branner i boligblokker. Alternative løsninger og alternative variabler med betydning for brannrisiko, kan gi bedre branntekniske løsningsmodeller, enn de preaksepterte løsningsmodellene, og det til en lavere kostnad. Formuleringen i teknisk forskrift § 7-27 pkt. 3 bør følgelig endres, slik at disse løsningsmodellene kan få den oppmerksomheten de fortjener fra byggherrer, entreprenører og branntekniske konsulenter.

Innholdsfortegnelse

1.	Innledning	1
1.1	Bakgrunn for problemstilling	1
1.1.1	Brann og regulering	1
1.1.2	Byggesaksbehandling og branntekniske løsningsmodeller	3
1.1.3	Boliger og risiko	4
1.2	Definisjoner, begreper, forkortelser.....	5
2.	Arbeidsmetodikk	7
2.1	Generelt om metode i prosjektet.....	7
2.2	Kartlegging av branntekniske konsepter for boligblokker	9
2.3	Brannsimuleringer	10
2.4	Risikoanalyse.....	12
3.	Bakgrunn om boligblokker og leiligheter – viktige størrelser	15
3.1	Generelt	15
3.2	Boliger og areal	15
3.3	Boligtype og alder	17
3.4	Eldrebølgen.....	19
3.5	Boligtype og landebakgrunn.....	20
4.	Bakgrunn - brannstatistikk i boligblokker.....	21
4.1	Generelt om branner i boligblokker.....	21
4.2	Dødsbranner i boligblokker	22
4.2.1	Antall omkomne i hver brann	22
4.2.2	Sosiale, geografiske og tidsmessige forhold.....	22
4.2.3	Skadde og omkomne i brann og alder	24
4.3	Brannårsaker i boliger	26
4.4	Brannsituasjon ved brannvesenets ankomst og brannspredning.....	26
5.	Teori og kunnskapsgrunnlag	28
5.1	Generelt	28
5.2	Risikoanalyse.....	28
5.2.1	Risikoperspektiv	28
5.3	Brannmodellering	30
5.3.1	Generelt	30
5.3.2	Brannmodeller og reelle branner	30
5.3.3	Modell for brannvekst	31
5.3.4	Ventilasjonskontrollerte branner	33
5.3.5	Vindusbrudd	34
5.3.6	Sprinklerkontrollerte branner og sløkkemodell for sprinkleranlegg.....	35
5.4	Brannsimulering – CFD-analyse	39
5.4.1	Generelt	39
5.4.2	Feltmodeller basert på Computational Fluid Dynamics (CFD).....	40
5.4.3	Fire Dynamics Simulator (FDS).....	40

5.4.4	Sensitivitetsanalyse for FDS-modell	44
5.5	Menneskers tålegrenser for brannlaster	53
5.5.1	Generelt	53
5.5.2	Branngassers giftighet	53
5.5.3	Varmepåkjenning.....	55
5.5.4	Nedsatt siktbarhet	57
5.5.5	Oppsummering menneskelige tålegrenser ved brann	58
5.6	Menneskers respons i brannsituasjoner	59
5.6.1	Generelt om menneskers respons i brannsituasjoner	59
5.6.2	Menneskers respons på alarmsignaler	60
5.7	Risikomodellering av barrierer	61
5.7.1	Generelt	61
5.7.2	Håndslukkeutstyr (personer i leiligheten slokker brannen)	63
5.7.3	Automatiske slokkeanlegg.....	64
5.7.4	Brannvesenets slokkeinnsats	70
5.7.5	Branncellebegrensende og brannseksjonerende konstruksjoner.....	70
5.7.6	Branncellebegrensende dører.....	74
5.7.7	Trykksetting av trapperom.....	75
5.7.8	Røykvarslere.....	78
5.7.9	Brannalarmanlegg.....	82
6.	Resultater fra brannsimuleringer.....	84
6.1	Brannutvikling i startbrannrom.....	84
6.1.1	Utgangspunkt.....	84
6.1.2	Effekt av brannmateriale.....	88
6.1.3	Effekt av leilighetens størrelse.....	89
6.1.4	Takhøyde	90
6.1.5	Effekt av ulik varmeeffekt fra brannen.....	91
6.1.6	Effekt av sprinkling	93
6.1.7	Scenarier med størst utslag i forhold til dødelige forhold	97
6.1.8	Tid frem til kritiske og dødelige forhold	98
6.2	Brannspredning til trapperom Tr1	99
6.2.1	Modellbeskrivelse.....	99
6.2.2	Resultater	100
6.2.3	Oppsummering	102
6.3	Brannspredning til trapperom Tr2	103
6.3.1	Modellbeskrivelse.....	103
6.3.2	Resultater	105
6.3.3	Oppsummering	107
6.4	Brannspredning til trapperom Tr3	108
6.4.1	Modellbeskrivelse.....	108
6.4.2	Resultater	108
6.4.3	Oppsummering	110

7.	Resultater fra risikoanalyse	111
7.1	Beregningsforutsetninger for hendelsestreakanalyse	111
7.1.1	Brannfrekvens.....	111
7.1.2	Forutsetninger for modellering av barrierer.....	112
7.2	Beregningsresultater fra hendelsestreakanalyse for startbrannleilighet	116
7.3	Resultater fra hendelsestreakanalyse for ulike rømningsveiløsninger (risiko for naboer) ..	118
7.3.1	Forutsetninger.....	118
7.3.2	Beskrivelse av utvalgte rømningsveikonsept.....	118
7.4	Sammenligning av resultater fra hendelsestreakanalysene	128
7.4.1	Alle branntekniske konsept – rangert etter scenario-ID	128
7.4.2	Alle branntekniske konsept – rangert etter risiko i startbrannrom.....	129
7.4.3	Alle branntekniske konsept – rangert etter risiko for naboer i startbrannetasje.....	130
7.4.4	Alle branntekniske konsept – rangert etter totalrisiko for konsept	131
7.5	Sensitivitetsanalyse – mindre tiltro til brannvesenets innsats.....	132
7.6	Sensitivitetsanalyse – redusert sprinklerpålidelighet.....	134
7.7	Preaksepterte løsningsmodeller vs ett branntrygt og røykfritt og sprinkling.....	136
8.	Diskusjon	138
8.1	Preaksepterte løsningsmodeller mot alternative løsninger	138
8.1.1	Generelt om funksjonskrav i TEK og preaksepterte løsningsmodeller	138
8.1.2	Risiko for personer i startbrannrommet	139
8.1.3	Risiko for personer utenfor startbrannrommet.....	141
8.1.4	Sikkerhetstiltak med betydning for branntisiko.....	142
8.1.5	Motivasjon for å benytte alternative løsninger	143
8.2	Én trapp: hva om det brenner i trappen?.....	144
8.3	Diskusjon av branntsimuleringsmodell	145
8.3.1	Begrenset varmeeffekt	145
8.3.2	Andre faktorer med betydning for branntsimuleringene	147
8.4	Diskusjon av risikoanalysemodell	149
8.4.1	Ikke tatt med kjeller eller loft i modelleringene	149
8.4.2	Brannvesenets innsats i risikoanalysemodellen.....	149
9.	Konklusjoner.....	151
10.	Forslag til videre arbeider	154
11.	Referanser	155
12.	Vedlegg 1 - Regelverksgjennomgang	162
12.1	Regelverkshistorie: Fra by til land på grunn av brann.....	162
12.2	Saksbehandling – forenkling og privatisering	162
12.3	Bygningsklassifisering – risiko- og branntklasse	164
12.4	Bygningers bæreevne og stabilitet ved brann.....	166
12.5	Vern mot antennelse, utvikling og spredning av brann og røyk.....	170
12.5.1	Avstand mellom bygninger.....	170
12.5.2	Brannseksjonering og branntelleinndeling.....	171

12.5.3	Materialbruk utvendig og innvendig	173
12.6	Rømmingssikkerhet	175
12.6.1	Rømningsveier og trapper.....	175
13.	Vedlegg 2 – Eksempler hendelsestrær	179

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for problemstilling

1.1.1 Brann og regulering

Varme fra ild har vært livsnødvendig gjennom årtusener, men ildens ødeleggende egenskaper har vært synlige like lenge. Et tilbakeblikk på gammelt bygningslovverk viser at reguleringstiltak knyttet til å forhindre bybranner har vært en av hoveddrivkreftene for utviklingen av bygningsregelverket. Befolkningsvekst og urbanisering førte til tettsteds- og bydannelser, der bygningene ble plassert stadig tettere for å utnytte de tilgjengelige arealene. Ved tettere bebyggelse økte sannsynligheten for ukontrollert brannspredning.

De tidligste reguleringstiltakene, år 940 – 1300, var basert på straffeforfølgelse av den som var skyld i brann (Stenstad 1983:2.4). Etter hvert som nye materialer og byggemetoder ble tilgjengelige, ble reguleringsfokuset flyttet over på materialbruken. Fra slutten av 1800-tallet var murtvang, eller ikke, det mest fremtredende reguleringstiltaket som ble diskutert.

Felles for de tidlige bygningslovene er at de bare er gjeldende for byer og tettsteder, der det er fare for områdebranner. Tidligere branner var oftest forbundet med store materielle tap, med stort spredningsomfang og tap av trebygninger. Det sies lite om skader på mennesker eller omkomne personer. Personssikkerhet kommer først inn i lovverkets fokus mot slutten av 1800-tallet og begynnelsen av 1900-tallet. Bygging av bygårder, med boliger for mange mennesker, førte til nye brannkonsekvenser på slutten av 1800-tallet. Fokus på personssikkerhet økte, gjennom å stille strengere krav til sikring av trapperom (Stenstad 1983:2-25–2-27). Etter flere alvorlige branner i bygninger med uheldige trappeløsninger, ble den såkalte ”trappeloven” innført i 1895. Loven gav hjemmel for å pålegge plikt til oppgradering av eksisterende bygninger med avvik fra gjeldende bygningslov, eller for bygninger på steder der det ikke fantes noen annen bygningslov. I den første landsomfattende bygningsloven, ”*Lov om bygningsvesenet*” av 22. februar 1924, består store deler av lovverket av detaljerte tiltak rettet mot å forhindre konsekvenser av brann. I senere regelverk, er alle detaljkrav flyttet fra lovverk til forskrifter, men vern mot brann er fortsatt et grunnhensyn i regelverket (NOU 2003:24).

I det moderne regelverket er det først og fremst sikkerhet for liv som settes høyest. Sikring av materielle verdier kommer i annen rekke, men er også en viktig del av regelverket. Det viktigste tiltaket mot brannspredning mellom bygninger, har siden de tidligste bygningslovene vært en minimumsavstand mellom bygninger, eller brannvegg. Frem til utgivelsen av byggeforskrift 1987 skulle avstanden mellom to byggverk være halvparten av bygningenes sammenlagte høyde, og minst 8 m. I byggeforskriften av 1987 ble dette endret til 8 m, som også er gjeldende i dag. Dersom avstanden er mindre skal det etableres brannvegg, eller på annen måte dokumenteres at brannspredning er forhindre i minst 2 timer, uten bistand fra brannvesenet.

Innføringen av murtvang på slutten av 1800-tallet, utviklingen av et stadig mer effektivt brannvesen, samt introduksjonen av aktive faste slokkeanlegg, har redusert sannsynligheten for de store bybrannene. Norge er imidlertid et land med mye gammel trehusbebyggelse, blant annet i Trondheim og Bergen, og frykten for en stor brann i disse områdene er definitivt til stede. Trondheim har de senere årene opplevd flere større branner, blant annet brannen i Nordre gate, desember 2002, der store deler av et kvartal i Midtbyen ble ødelagt (www.adressa.no 2009). Dette er et eksempel på at det fortsatt finnes bygningsmasse der en brann raskt kan utvikle seg til en storbrann.

For boligblokker har de generelle kravene knyttet til brannmotstand på bærende konstruksjoner og branncelleinndeling stort sett vært de samme siden byggeforskrift av 1969. Den mest fremtredende branntekniske regelverksforskjellen for boligblokker er knyttet til rømningskonseptet, det vil si hvor mange trapper som kreves, og hvordan disse skal utføres. I perioden 1924 til 1969 var det generelt krav om to trapperom i boligblokker med mer enn én etasje. I tillegg var det satt begrensninger på byggehøyde. I perioden 1969 til 1997 var det tillatt å bygge boligblokker i ”ubegrenset høyde” med bare ett trapperom, dersom trapperommet var utført særskilt brannsikkert. I forskriften av 1997, gjennom

tilhørende veiledninger av 1997 (utgave 1), 1999 (utgave 2) og 2003 (utgave 3), var det beskrevet preaksepterte løsningsmodeller med bare ett trapperom, dersom byggehøyden var begrenset til 8 etasjer. I 4.utgave av veiledning til teknisk forskrift (VTEK 2007), er det satt en forutsetning om at brannvesenet skulle ha tilkomst, og mulighet for redning av personer via vindu eller balkong, dersom det bare finnes ett trapperom.

Som følge av disse regelverksendringene knyttet til rømningskonsept, har fokuset på antall trapperom og utførelse av disse, vært stort i det branntekniske fagmiljøet. Dagens veiledning skisserer flere trapperomsløsninger, som kan benyttes som preaksepterte løsninger, uten noen videre krav til dokumentasjon. Siden 2007 har én, av tre preaksepterte løsninger for boligblokker, vært basert på sprinklerbeskyttelse av boligblokken. Dersom denne løsningen velges kan det aksepteres reduserte krav til passiv beskyttelse av trapperommet, sammenlignet med løsningsmodell uten sprinkleranlegg. Med passiv beskyttelse menes branncellebegrensende vegger, som utgjør barrierer mellom en eventuell brann i en leilighet og trapperommet.

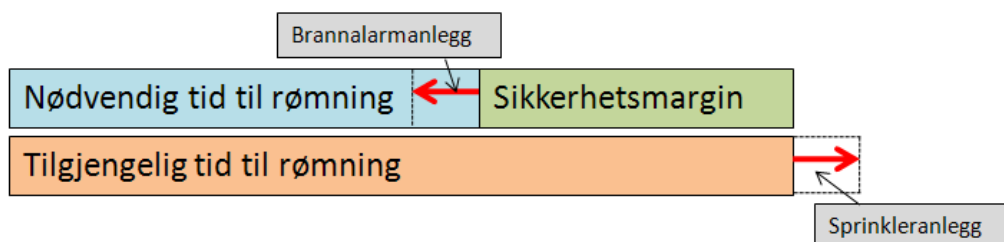
De tre preaksepterte løsningsmodellene i VTEK 2007 er i utgangspunktet likestilte med hensyn til sikkerhetsnivå. Én av løsningsmodellene er imidlertid basert på installasjon av sprinkleranlegg. Dette gir grunn til å tro at sikkerheten for beboerne påvirkes på en annen måte, enn en løsning uten sprinkleranlegg. Bakgrunnen for dette er at sprinkleranlegg virker i brannrommet, i en tidlig fase av brannutviklingen, hvor de fleste omkommer i brann. Trapperom og rømningsveier vil kun være tilgjengelige for de menneskene som er i stand til å bruke disse.

Hovedproblemstillingen i denne oppgaven er å undersøke personsikkerhet ved ulike branntekniske boligblokkkonsept, og hvilke risikoforskjeller ulike løsningsmodeller medfører.

Med *brannteknisk boligblokkkonsept* menes i utgangspunktet variabler som påvirker det branntekniske sikkerhetsnivået i en boligblokk. Variabler med betydning internt i en leilighet omfatter blant annet:

- Mengden brennbare materialer og type brennbart materiale. Dette vil avgjøre hvor raskt en brann i leiligheten vokser og hvor mye giftige gasser som produseres. Med en stor andel lett antenkelige materialer, samt materialer som avgir mye giftige gasser, reduseres tiden fra brannens starttidspunkt til det oppstår kritiske forhold for liv og helse i leiligheten.
- Leilighetens volum og takhøyde. Røyk fra en brann i en leilighet stiger som oftest til taket og danner et varmt røyklag som bygger seg nedover mot gulvet. Dersom leiligheten er liten, og har lav takhøyde, er det grunn til å tro at kritiske forhold for liv og helse oppstår raskere enn for leilighet med større volum og takhøyde.
- Aktive brannsikringstiltak, som sprinkleranlegg og brannalarmanlegg. Tiltakene kan enten bidra til å øke tiden til det oppstår kritiske forhold i leiligheten (sprinkleranlegg), eller redusere nødvendig rømningstid (brannalarmanlegg). Brannalarmanlegg og sprinkleranlegg kan dermed, i kombinasjon, øke sikkerhetsmarginen mellom nødvendig og tilgjengelig rømningstid. Dette illustreres i figur 1.1.

Figur 1.1: Aktive brannsikkerhetstiltaks betydning for rømningssikkerheten



Andre variabler, som påvirker det generelle brannsikkerhetsnivået i boligblokken, både for naboer av startbrannrommet og brannvesenet under slokkeinnsats, kan blant annet være:

- Antall rømningsveier/trapperom fra hver leilighet

- Brannmotstand på bærende og skillende konstruksjoner, og konstruksjonenes materialer

Fra byggeforskrift av 1969 frem til dagens tekniske forskrifter av 1997 (TEK), har rømmingssikkerhet hovedsakelig vært knyttet til etablering av fysiske barrierer mellom leiligheter og trapperom/rømningsvei. Disse barrierene skal forhindre at røyk- og branngasser sprer seg fra en brennende leilighet til trapperommet. Med utgangspunkt i at de fleste som omkommer i branner, omkommer alene i sin egen leilighet, kan det stilles spørsmålstegn med effekten av å beskytte trapperommet: Oppnås det en risikoreduksjon for beboerne, eller er det selve trapperommet som blir beskyttet?

1.1.2 Byggesaksbehandling og branntekniske løsningsmodeller

Ved innføring av TEK innføres et nytt byggesakssystem i Norge, der tekniske forskrifter suppleres med *Forskrift om godkjenning av foretak for ansvarsrett* av 22.01.97 (GOF) og *Forskrift om saksbehandling og kontroll i byggesaker* av 24.06.03 (SAK). Det tidligere kontrollregimet der kommunens bygningsråd, og til dels brannvesenet, var en aktiv deltaker i byggesakene med hensyn til kontroll, godkjenning av løsninger og behandling av dispensasjonssøknader - erstattes nå med et system basert på *ansvarlige foretak*.

Systemet er basert på at foretakene opererer med sentral eller lokal godkjenning for ansvarsrett i byggesaker. Søknad om sentral eller lokal godkjenning bygger på foretakets utarbeidelse og dokumentasjon av et styringssystem som skal ivareta de kravene som inngår i den sentrale, eller lokale godkjenning. Dersom et foretak søker om sentral godkjenning for prosjektering innenfor et fagområde, skal eksempelvis foretaket ha et styringssystem som sikrer at *"de relevante krav og vilkår i plan- og bygningslovgivningen defineres, synliggjøres og oppfylles i prosjekteringen og at prosjektering i avgrensningen mot annen ansvarlig prosjekterende ivaretas"* (GOF: § 8). Foretak som søker om godkjenning i byggesak skal avgi egenerklæring, som viser hvordan kravene er ivaretatt. Kommunen, eller Statens Bygningstekniske etat, kan føre tilsyn med oppnåelse av systemkravene (GOF: § 9).

Teknisk forskrift av 1997 er hjemlet i plan- og bygningsloven av 14.juni 1985. Den største forskjellen med hensyn til brannkrav i forhold til tidligere forskrifter, er at TEK er funksjonsbasert og angir kun kvalitative krav til brannsikkerhet. TEK angir ikke konkrete ytelser til brannsikkerhet. For å dokumentere at brannsikkerheten er ivaretatt i et byggverk, er det skissert to mulige fremgangsmåter (TEK: § 7-21):

1. *"ved at bygget utføres i samsvar med preaksepterte løsninger, eller*
2. *ved analyse og/eller beregninger som dokumenterer at sikkerheten mot brann er tilfredsstillende. Analyse og/eller beregning skal simulere brannforløp og angi nødvendige sikkerhetsmarginer for de ugunstige forhold, som kan inntre ved bruk av byggverket. Det skal dokumenteres at anvendt analyse-/beregningsmetode er egnet til formålet og at dimensjonerende brannbelastning fremkommer ved anerkjente dokumenterbare metoder."*

Ved å følge fremgangsmåte 1, fungerer de preaksepterte løsningene som er angitt i veiledningen til TEK, i praksis som en forskrift (detaljkrav). Den mest vanlige fremgangsmåten er imidlertid en kombinasjon av fremgangsmåte 1 og 2, der preaksepterte løsninger benyttes så langt det passer. I tilfeller der de preaksepterte løsningene ikke passer, brukes det analyser for å vurdere om en *fraviksløsning* kan gi tilsvarende eller høyere sikkerhetsnivå. I tidligere byggesakssystem, er dette omtalt med begrepet *tekniske bytter*, hvor et avvik fra forskriften ble kompensert med et annet teknisk tiltak. I noen tilfeller brukes fremgangsmåte 2 i sin rendyrkede form (funksjonskrav), men dette må anses som svært sjeldent. Årsaken til dette kan være at veiledningen til TEK har fått en sterk stilling som referansenivå med hensyn til brannsikkerhet, samt at metoder for risikoanalyse og vurderingskriterier for risiko foreløpig er lite utbredt i bransjen.

Selv om TEK 1997 skal være en funksjonsbasert forskrift, inneholder den likevel en del konkrete detaljkraV. Et eksempel på et slikt detaljkraV, som har stor betydning for denne oppgaven, er følgende (TEK: § 7-27 pkt 3):

”Fra branncelle skal det være minst én utgang til:

- sikkert sted, eller*
- rømningsvei som har to alternative rømningsretninger som fører videre til forskjellige rømningsveier eller sikre steder.”*

Overnevnte formulering i TEK § 7-27 medfører i praksis at alle norske boligblokker, som bygges i dag, må utføres med minst to trapperom, med mindre ”sikkert sted” tolkes som et rom i bygningen. Dette er det for øvrig ikke rom for i forskrifter, eller veiledningen. Gjennom preaksepterte løsninger i VTEK, er det etablert noen unntak, der brannvesenets stigemateriell kan erstatte det ene trapperommet. Dette gjelder bare under visse forutsetninger, der maksimal bygningshøyde på 8 etasjer er én av dem. Andre forutsetninger er brannvesenets muligheter for innsats i den enkelte kommune samt krav om særskilte trappetyper eller sprinkleranlegg. Der brannvesenet har tilgjengelighet til vinduer og/eller balkonger, kan altså deres stigemateriell regnes som den alternative rømningsretningen, som er formulert i overnevnte krav i TEK.

For bygningens eier og entreprenøren handler bygging av boligblokker om å tjene penger. Rømningsveier og trapperom er i utgangspunktet arealer i boligblokken med lav salgsværdi. Dersom dette arealet kan gjøres om til leiligheter, øker prosjektets værdi. Noe av hensikten med å innføre funksjonsbaserte forskrifter, var å oppnå et høyere sikkerhetsnivå, til en lavere kostnad. Dette kan oppnås ved å velge alternative sikkerhetstiltak, som på en bedre måte enn ”tradisjonell løsning”, ivaretar beboernes sikkerhet ved brann. Når TEK er utformet med et detaljkraV, som ovenfor, gis det lite spillerom for å vurdere, og utrede, alternative løsninger. **Løsningene i veiledningen til TEK blir dermed stående som sterkt førende, og kan tilnærmet tolkes som forskriftskrav, snarere enn et preakseptert ytelsesnivå, slik hensikten er angitt å være (REN 1999: § 7-21). Konsekvensen av dette er at alternative løsninger, som både gir bedre sikkerhet for beboerne, og reduserte kostnader, muligens må forkastes før de kommer til vurdering av en brannteknisk rådgiver, som følge av et uheldig formulert forskriftskrav. Denne oppgaven har til hensikt å vurdere om dette er tilfellet.**

1.1.3 Boliger og risiko

De fleste i Norge har tilbud om en bolig, enten leid eller selveid. Vi hadde per 01.01.08 om lag 2,3 millioner boliger i Norge. Brann i boliger er derfor et generelt interessant tema i et samfunnssikkerhetsperspektiv.

Av totalt om lag 500 000 boligblokkboliger (boenheter), er om lag 49 % av bygningssmassen bygget før 1970 og om lag 12 % før 1920 (Statistisk sentralbyrå 2009a). Mange mennesker bor dermed i eldre boliger, som er bygget etter landets tidligste byggeforskrifter i perioden 1924-1969. Større endringer i regelverket vil kunne medføre diskusjon om risikonivå i eldre bygninger, og i hvilken grad eventuelle oppgraderinger kan kreves. Dersom det oppstår et stort sprik i sikkerhetsnivå mellom eldre og nye bygninger vil dette kunne medføre et dilemma knyttet til at mennesker må akseptere å leve med ulike tekniske sikkerhetsnivå. Dette leder inn mot begrepene risiko og risikoaksept. Dette er omdiskuterte begrep, som er sterkt avhengig av hvem som vurderer risiko, og hvem som må ta stilling til akseptering av risiko.

I en rapport som omhandler risikopersepsjon (risikooppfattelse), skriver Marit Boyesen (2003) at hjemmet normalt oppleves som et trygt sted. Hjemmet vil derfor til en viss grad være usynlig som risikokilde.

Når to branner i en kort periode høsten 2008 tar 13 menneskeliv (boligbranner i Drammen og Urtegata, Oslo), rokker dette med oppfattelsen av at egen bolig er et trygt sted. Brann i egen bolig, som risikokilde, kommer plutselig mye nærmere enn tidligere, og medias dekning fører til økt risikofølelse (Kjestveit og Allred 2003:14). Reaksjoner som innkjøp av røykvarslere og håndsløkkeutstyr er naturlige, og gir uttrykk for et behov for å oppnå økt følelse av kontroll med risikoen.

Dersom den tekniske brannsikkerheten i boliger skulle vært styrt av den enkelte boligeiers risikoopplevelse, ville det kunne forventes en mengde ulike, og mer eller mindre praktiske løsninger. Myndighetenes ansvar blir spesielt tydelig i forbindelse med boligblokker og flerleilighetsbygninger. Her vil personer, med ulik risikoatferd og risikooppfattelse, samles under samme tak og påvirke hverandres risiko. Konsekvensene av en uønsket hendelse er også potensielt større for boligblokker og flerleilighetsbygninger, enn eneboliger, da det ofte bor flere mennesker i samme bygning.

Basert på oppgavens fokus på reguleringsspørsmål og samfunnsikkerhet, er derfor denne oppgaven begrenset til å omfatte brannsikkerhet i boligblokker.

1.2 Definisjoner, begreper, forkortelser

Det forutsettes at leseren av denne oppgaven har en viss oversikt over branntekniske begrep og regelverk. Enkelte definisjoner, begreper og forkortelser tas likevel med innledningsvis da disse brukes ofte i oppgaven.

Bygningsrelaterte begrep

Boligblokk er definert som *en bygning med fem eller flere leiligheter som både er horisontal- og vertikaldelt* (Statens bygningstekniske etat 1997). I analysene er det gjort sammenligninger mellom ulike tekniske løsninger for boligblokker med 8 etasjer. Bakgrunnen for dette er at regelverkets strengeste krav slår inn ved høyde over 4 etasjer, samt at muligheten for selvredning via vindu/balkonger reduseres ved økt høyde.

Brannteknisk prosjektering

Brannsikkerhetsstrategi: Overordnet plan for hvordan oppsatte mål for brannsikkerhet skal oppnås (NS 3901:1998:2).

Brannteknisk konsept: Brannteknisk hovedutforming av bygningen (Byggforsk 321.026: pkt. 32). Dette omfatter beskrivelse av ytelse som fremgår av veiledningen til teknisk forskrift § 7-2 Sikkerhet ved brann. Eksempler på brannteknisk hovedutforming er brannseksjonering, branncelleinndeling, beskrivelse av rømningsveier og krav til aktive brannsikkerhetstiltak. I denne oppgaven brukes begrepet brannteknisk konsept ekvivalent med brannteknisk løsningsmodell og brannsikkerhetskonsept.

Reguleringsrelaterte begrep

I oppgaven refereres det til bygningslover med forkortelsen "BL" og årstall for aktuell lov. Lov ombygningvesenet av 1924 refereres eksempelvis med "BL 1924". Forskrifter refereres til med forkortelsen "BF", for byggeforskrift, og årstall. Gjeldende tekniske forskrifter omtales imidlertid med særnavn og årstall, dvs TEK 1997. Veiledningene til TEK 1997 hadde særnavnet "REN" for utgave 1 (1997), 2 (1999) og 3 (2003). Siste utgave av veiledningen til TEK (2007) omtales imidlertid som "VTEK". Tilleggsforskriftene knyttet til gjeldende saksbehandlingssystem: Forskrift om saksbehandling og kontroll (SAK 2003) og Forskrift om godkjenning av foretak (GOF 1997), omtales med sine respektive særnavn "SAK" og "GOF".

Statens bygningstekniske etat gir ut temaveiledninger, som gir uttrykk for myndighetenes fortolkning av innholdet i forskrift (TEK) og veiledning (VTEK). Disse temaveiledningene utgis som meldinger fra Statens Bygningstekniske etat. Eksempel: Temaveiledning Røykventilasjon, melding HO-3/2000.

Norsk Byggforskningsinstitutt (Byggforsk), nå SINTEF Byggforsk, utgir veiledninger til byggereglene gjennom sin "byggforskserie". Dette er veiledningsblader har en tittel basert på det avgrensede tema bladet omhandler og et nummer. Eksempel: 520.380 Røykkontroll i bygninger (2006). Byggdetaljer i Byggforskserien er henvisning til i VTEK. Det angis at disse "kan være til hjelp for å oppfylle funksjonskravene i teknisk forskrift til plan- og bygningsloven, og ytelsesnivåer som er angitt i denne

veiledningen" (VTEK 2007:13). Standarder utgitt av Norsk Standard henvises til i VTEK på samme måte.

Funksjonskrav: Påbudt, allment minimumskrav til bygninger gitt i tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven. I tillegg kan bruker stille egendefinerte funksjonskrav, der forskriftene ikke har noe krav eller ved ønske om andre/strengere krav enn de som er gitt i forskriftene (Byggforsk 401:010 1997: pkt. 141).

Preakseptert fortolkning av funksjonskrav: Tolkning av forskriftenes funksjonskrav gjort av myndighetene og angitt i veiledning til tekniske forskrifter til pbl (Byggforsk 401:010 1997: pkt. 144). I denne oppgaven benyttes begrepene preaksepterte løsningsmodeller og preaksepterte løsninger om løsninger som er angitt i veiledning til tekniske forskrifter.

Symbolbruk og notasjon i forbindelse med risikoanalyse

$E[X]$	Forventningsverdien av X. I denne oppgaven brukes X om "antall omkomne".
$P(x)$	Sannsynligheten for størrelsen x. I denne oppgaven brukes x om sannsynligheten for at et aktuelt brannsikringstiltak fungerer.
$P(\bar{x})$	Sannsynligheten for ikke x.
$E[p]$	Forventet verdi av p. Det vil si tyngdepunktet i sannsynlighetsfordelingen til p.
$P_{\min}(p)$	Nedre grense for sannsynlighet for at et aktuelt brannsikringstiltak fungerer.
$P_{\max}(p)$	Øvre grense for sannsynlighet for at et aktuelt brannsikringstiltak fungerer.

2. Arbeidsmetodikk

2.1 Generelt om metode i prosjektet

Et brannteknisk konsept for en boligblokk består av et sett med virkemidler, i form av både passive og aktive brannsikringstiltak. Samlet skal disse virkemidlene sørge for at sikkerheten til beboerne er ivarettatt ved brann i blokken. Passive brannsikringstiltak omfatter blant annet branncelleinndeling, antall rømningsveier/trapperom, materialkrav på overflater og isolasjon. Aktive brannsikringstiltak omfatter blant annet røykvarslere, automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg. Forskjellen på passive og aktive brannsikringstiltak er i praksis at passive tiltak bygges inn i konstruksjonen. Disse tjener derfor alltid en gitt funksjon, mens aktive brannsikringstiltak først trer i kraft ved en brann. Eksempelvis fungerer en vegg mellom to leiligheter som et skille mellom ulike beboere både til daglig og dersom det skulle oppstå en brann. En branncellebegrensende vegg er derfor en passiv barriere. Til sammenligning vil et sprinkleranlegg til daglig ikke ha noen funksjon i bygningen. Ved brann aktiveres sprinkleranlegget og bidrar til å begrense eller slokke brannen. Et sprinkleranlegg er et eksempel på et aktivt brannsikringstiltak. Ulike barrierer har ulike funksjoner, og det er knyttet usikkerhet til om barrieren vil fungere når den trengs.

De senere årene har det, fra bygningsmyndighetenes side, vært stort fokus på hvilke krav som skal stilles til rømningsveier i boligblokker. I overgangen fra byggeforskrift av 1987, til dagens tekniske forskrifter 1997 med tilhørende veiledninger, observeres det en tilsynelatende skjerpelse i krav til antall trapperom i boligblokker, og utførelse av disse. Med bakgrunn i myndighetenes fokus på trapperom, bør dette være et virkemiddel som har stor betydning for sikkerheten til beboerne ved brann. Brannstatistikken viser imidlertid at de fleste som omkommer i branner, omkommer i startbrannleiligheten. I disse branntilfellene har antall rømningsveier og utformingen av disse liten betydning, ettersom rømningsveiene aldri blir brukt av disse personene.

Hovedhensikten med denne oppgaven er å undersøke hvordan ulike tekniske barrierer, som inngår som en del av det branntekniske konseptet for boligblokker, påvirker brannrisikoen for personer i blokken. Det er tatt utgangspunkt i at betydningen av sikre trapperom, virker å være noe overvurdert knyttet til den faktiske effekten dette har på brannrisikoen. Spørsmålet er videre om fokuset på rømningsveikonsept overskygger andre tiltak - tiltak som i større grad kan bidra til å redusere brannrisikoen og kanskje også redusere kostnader i byggeprosjekter og drift av bygningsmassen.

For å kunne gi et svar på problemstillingen er det vurdert som nødvendig at metoden i oppgaven skal:

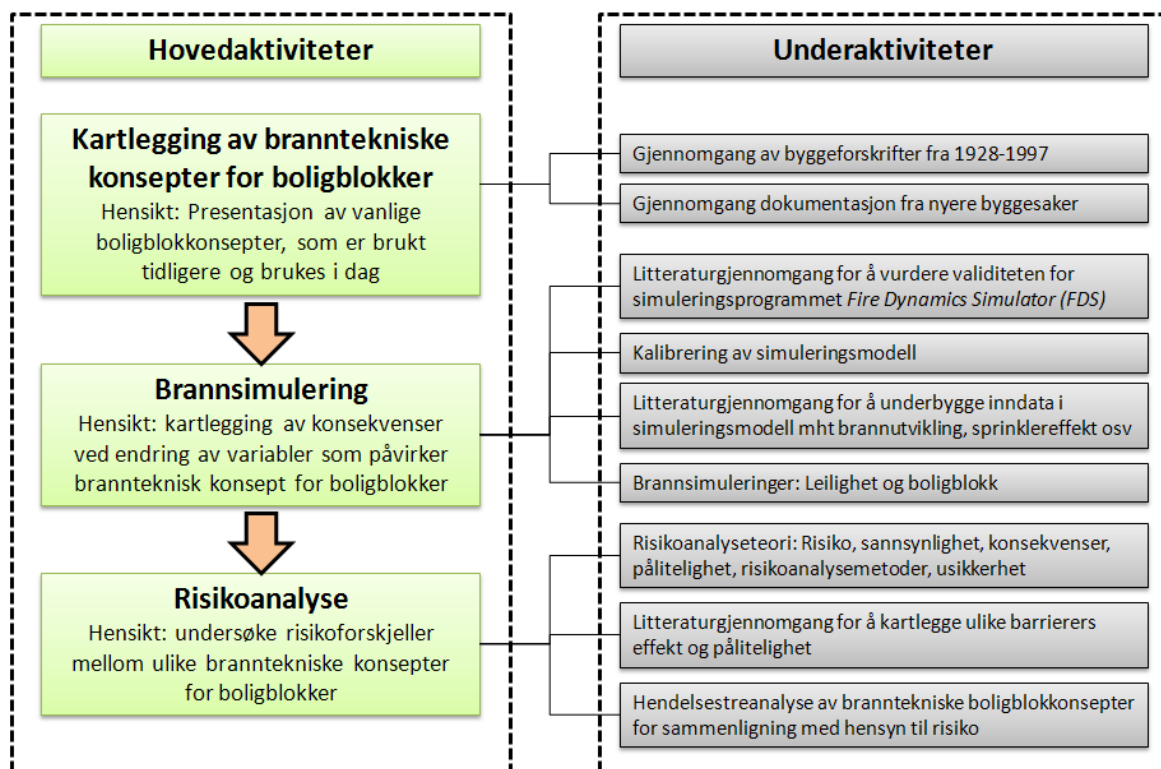
- a. Bidra til å kartlegge utviklingen i regelverket med hensyn til brannkonsept for boligblokker. Hvilke brannkonsept er benyttet tidligere og hvilke konsept prosjekteres og bygges i dag?
- b. Kunne si noe om hvilke kvaliteter og hvilke ulemper et gitt brannkonsept inneholder dersom det blir utsatt for en brann. Denne delen er todelt, hvor første del omfatter analyse av konsekvensbildet dersom en brann oppstår, og den andre delen omfatter en analyse av barrierene som bidrar til å redusere konsekvensene.

Overnevnte hovedkrav til metode utelater en studie av sosiale forhold rundt beboerne. Dette er en faktor som kanskje i like stor eller større grad enn teknisk utforming av boligblokker, bidrar til forskjeller i brannrisiko. Eksempler på slike forhold kan være beboernes førlighet og evne til å komme seg ut på egenhånd ved brann, samt risikofølelse, alkoholproblemer, økonomisk situasjon og utdanningsnivå. Det er utført studier ved SINTEF NBL (Mostue 2000 og Mostue og Stensaas 2002) knyttet til omsorgstrengende og brannsikkerhet. Studiene ser blant annet på hvilke grupper som er overrepresentert i dødsbrannstatistikken. Det konkluderes med at det finnes en sammenheng mellom høy alder, alkoholpåvirkning, nedsatt førlighet/invaliditet og hvorvidt man er alene ved branntidspunktet og representasjon i dødsbrannstatistikken. En rapport utarbeidet ved Rogalandsforskning (Kjestveit og Allred 2003) refererer til en dansk undersøkelse, som konkluderer med at det finnes en sammenheng

mellom overrepresentasjon i dødsbrannstatistikken og alkoholforbruk, alder og sivil status (enslig) og nedsatt psykisk helsetilstand.

Det anerkjennes at sosiale forhold spiller en vesentlig rolle i forbindelse med brannrisiko i boligblokker. Samtidig vil ikke tekniske forskrifter kunne tilpasses enhver beboer. Forskriftene må utarbeides for et gjennomsnitt av befolkningen og inneholde en robusthet for å håndtere sosiale faktorer, som ikke inngår i et brannteknisk dimensjoneringsgrunnlag. I denne oppgaven er det derfor valgt en teknisk tilnærming til brannrisiko, hvor sosiale forhold kan diskuteres i lys av den robustheten som fremkommer av de ulike branntekniske konseptene. Figur 2.1 nedenfor gir en oversikt over de metodiske hovedelementene benyttet i denne oppgaven.

Figur 2.1 – Overordnet metodeoversikt



Brannsimuleringer er en del av risikoanalysen, men er satt opp som et eget punkt, da det legges mye vekt på denne delen av oppgaven. Simuleringene har til hensikt å skildre konsekvensene av de valgte brannscenariene i referanseleilighetene og -boligblokkene.

2.2 Kartlegging av branntekniske konsepter for boligblokker

For å kunne si noe om hvilke branntekniske konsepter som er benyttet tidligere, og hvordan disse skiller seg fra dagens løsninger, er tidligere regelverk gjennomgått. Regelverket er vurdert slik det fremstår, sammenlignet med dagens regelverk, og med de tekniske løsningene som fremkommer på bakgrunn av regelverket.

Det er tatt utgangspunkt i krav til boligbygninger, fra og med lov om bygningsvesenet av 1924, frem til plan- og bygningsloven av 1985, med gjeldende utgave av teknisk forskrift (1997) og veiledning til teknisk forskrift (2007). I gjennomgangen av historisk regelverk er det valgt å sette fokus på følgende forhold:

- Saksbehandling
- Bygningsklassifisering
- Bæreevne og stabilitet ved brann
- Vern mot antennelse, utvikling og spredning av brann og røyk
- Rømningsikkerhet

Tabell 2.1 – Oversikt over regelverk som ligger til grunn for denne oppgaven

År	Reguleringsfremstøt	Beskrivelse
22. feb 1924	Lov om bygningsvesenet (BL 1924)	Første felles bygningslov for alle norske byer, i kraft fra 1. januar 1929.
6. okt 1928	Forskrift om materialer og konstruksjoner m.m. (BF 1928)	De første norske byggeforskriftene. Detaljkrav til bygninger er imidlertid fortsatt å finne i lovteksten.
15. des 1949	Byggeforskrifter (BF 1949)	Endret 1. des 1965. Detaljkrav til bygninger er imidlertid fortsatt å finne i lovteksten.
18. juni 1965	Bygningslov (BL 1965)	Ny funksjonsbasert bygningslov, der detaljkrav i all hovedsak er flyttet over i forskrifter.
1. aug 1969	Byggeforskrifter (BF 1969)	Endret 18. oktober 1971. Opphevet 1. januar 1985. Forskriften angir krav til brannsikkerhet, i tråd med funksjonskravene i bygningsloven av 1965.
15. nov 1984	Byggeforskrift (BF 1985)	Endret 10. juli 1985. Opphevet 1. juli 1987.
14. juni 1985	Plan- og bygningslov (BL 1985)	Gjeldende i dag
27. mai 1987	Byggeforskrift (BF 1987)	Endret 3. juni 1988, 21. desember 1988 og 12. april 1996. Opphevet 01. juli 1997.
22. jan 1997	Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK 1997)	Funksjonsbaserte bygningstekniske forskrifter.
22. jan 1997	Forskrift om godkjenning av foretak for ansvarsrett (GOF 1997)	
24. juni 2003	Forskrift om saksbehandling og kontroll i byggesaker (SAK 2003)	

Et sammendrag av regelverk med betydning for valg av branntekniske konsept for analyser og diskusjon finnes i vedlegg 1.

2.3 Brannsimuleringer

Brannsimuleringer er beskrevet som en egen aktivitet i prosjektet, selv om denne aktiviteten er en del av konsekvensanalysen i risikoanalysen. Hensikten med simuleringene er først og fremst å etablere et kunnskapsgrunnlag for å vurdere brannrisiko. I tillegg har simuleringene til hensikt å undersøke om endringer i følgende variabler har betydning for brannrisiko:

- Brannveksthastighet
- Sotproduksjonsrate
- Leilighetens størrelse/gulvareal
- Takhøyde

De to førstnevnte variablene er valgt som følge av at de ofte inngår i branntekniske analyser med CFD-verktøy. Brannveksthastigheten, med tilhørende varmeavgivelsesrate, er omtalt som den viktigste enkeltfaktoren knyttet til brannrisiko. Årsaken til dette er at andre brannkonsekvenser (temperatur, varmestråling osv) og biprodukter (røykmengde, toksikologiske forhold osv) beregnes som en funksjon av varmeavgivelsesraten (Peacock og Babrauskas 1991). Sotproduksjonsraten vil være relatert til hvilket materiale som brenner. Gjennom tekniske forskrifter er det vanskelig å regulere hva enkeltmennesker tar inn i sine egne hjem. Det er likevel vurdert som interessant å se hvordan denne faktoren bidrar til brannrisiko. Variablene knyttet til leilighetens geometri, det vil si størrelse og takhøyde, er tatt med i oppgaven for å se hvordan endringer i forhold til gjennomsnittsverdier, som fremkommer av kapittel 3, påvirker brannrisiko. Tabell 2.2 gir en oversikt over variablene og subvariablene som er benyttet i simuleringen. Det henvises til kapittel 5.3 for nærmere beskrivelse av faktorene i tabellen knyttet til brannveksthastighet og sotproduksjonsrate.

Tabell 2.2 – Variabler med betydning for brannutvikling i simuleringene

Hovedvariabler	Subvariabler		
	Verdi 1	Verdi 2	Verdi 3
Brannveksthastighet (α^2 -branner)	Medium $\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$	Vanlig $\alpha = 0,020 \text{ kW/s}^2$	Rask $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$
Sotproduksjonsrate, S_y	Lav: 1.5 %	Middels: 8 %	Høy: 15 %
Gulvareal	Liten: ca. 30 m ²	Vanlig: ca. 70 m ²	N/A
Takhøyde	N/A	Vanlig: 2,6 m	Stor: 3,0 m

Det er simulert 26 scenarier med brann i leiligheter med kombinasjoner av de overnevnte variablene. Oversikt over scenariene er gitt i tabellen nedenfor. Scenario 4-6 er benyttet som et generelt sammenligningsgrunnlag for å vurdere effekten av å endre enkelte variabler (markert med grønn bakgrunn i tabellen). I scenario 4-6 varieres brannveksthastigheten mens andre variabler er modellert med snittverdier. Resultatene fra de ulike scenariene rapporteres i kapittel 6.

Tabell 2.3 – Scenariooversikt for branner i leilighet (uten tilknytning til rømningsveier)

	Brann	Røyk	Areal	Takhøyde	Kommentar
Scenario 1	Medium	Lav	Vanlig	Vanlig	
Scenario 2	Vanlig	Lav	Vanlig	Vanlig	
Scenario 3	Rask	Lav	Vanlig	Vanlig	
Scenario 4	Medium	Middels	Vanlig	Vanlig	Sammenligningsgrunnlag
Scenario 5	Vanlig	Middels	Vanlig	Vanlig	Sammenligningsgrunnlag
Scenario 6	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Sammenligningsgrunnlag
Scenario 7	Medium	Høy	Vanlig	Vanlig	
Scenario 8	Vanlig	Høy	Vanlig	Vanlig	
Scenario 9	Rask	Høy	Vanlig	Vanlig	

	Brann	Røyk	Areal	Takhøyde	Kommentar
Scenario 10	Medium	Middels	Liten	Vanlig	
Scenario 11	Vanlig	Middels	Liten	Vanlig	
Scenario 12	Rask	Middels	Liten	Vanlig	
Scenario 13	Medium	Middels	Liten	Stor	
Scenario 14	Vanlig	Middels	Liten	Stor	
Scenario 15	Rask	Middels	Liten	Stor	
Scenario 16	Medium	Middels	Vanlig	Stor	
Scenario 17	Vanlig	Middels	Vanlig	Stor	
Scenario 18	Rask	Middels	Vanlig	Stor	
Scenario 19	Medium	Middels	Vanlig	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 20	Vanlig	Middels	Vanlig	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 21	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 22	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Sprinklerkontrollert, forsinket
Scenario 23	Medium	Middels	Liten	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 24	Vanlig	Middels	Liten	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 25	Rask	Middels	Liten	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 26	Rask	Middels	Liten	Vanlig	Sprinklerkontrollert, forsinket

I tillegg til simuleringer av scenario 1-26, som kun omfatter startbrannleiligheten, er det gjennomført simuleringer med spredning til rømningsveier og trapperom. Tabell 2.4 og 2.5 gir en oversikt over brannscenariene med røykspredning til trapperom av type "Tr1", "Tr2" og "Tr3". Det henvises til vedlegg 1, kapittel 12.6.1, for en nærmere beskrivelse av disse trapperomstypene.

Tabell 2.4 – Scenariooversikt for branner med spredning til trapperom Tr1

Scenario-ID	α^2	S_v	$A_{leil.}$	Takhøyde	Beskrivelse
Scenario 27	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør
Scenario 28	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør, sprinklerkontrollert
Scenario 29	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Samme som 28, men med røykluke i trapp
Scenario 30	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør, røykluke i trapp, vokser til 21 MW

Tabell 2.5 – Scenariooversikt for branner med spredning til trapperom Tr2 og Tr3

Scenario-ID	α^2	S_v	$A_{leil.}$	Takhøyde	Beskrivelse
Scenario 31	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til korridor, vokser til ca. 20 MW
Scenario 32	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til korridor og trapp, vokser til ca. 20 MW
Scenario 34	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til korridor, sprinklerkontroll
Scenario 35	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til korridor og trapp, sprinklerkontroll

2.4 Risikoanalyse

Risikoanalysen omfatter en analyse av branntekniske tiltak som barrierer. Risikoanalysen knytter sammen barrierenes effekt og pålitelighet, menneskelige tålegrenser ved eksponering mot brann og røyk, menneskelig respons ved signaler på brann, og statistikkanalyse. Hensikten med risikoanalysen er å etablere et grunnlag, for å kunne rangere de utvalgte branntekniske konseptene med hensyn til risikoforskjeller.

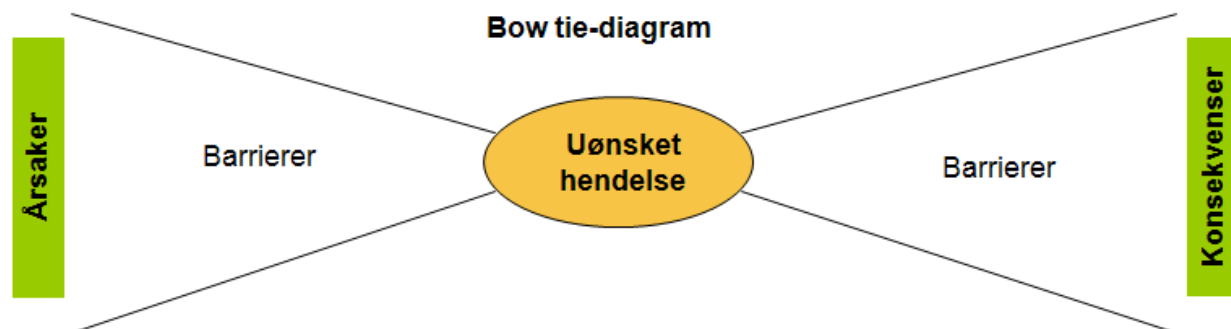
Følgende metodiske beskrivelser av risikoanalyser er inspirert av Aven, Røed og Wiencke (2008).

En risikoanalyse omfatter i utgangspunktet både en årsaks- og konsekvensanalyse. I denne oppgaven er årsaksanalysen begrenset til en studie av DSBs brannstatistikk. Det brukes en konstant brannfrekvens pr leilighet, som brukes til sammenligning mellom de ulike konseptene. Dette utelukker, som nevnt tidligere, en mengde sosiale faktorer, som har stor betydning for hvor trolig det er at en brann oppstår i en gitt leilighet. Risikobegrepet blir dermed noe avkortet, jamfør diskusjonen av risikoperspektiver i kapittel 5.2.1.

Målet med denne oppgaven er å omtale et teknisk sikkerhetsnivå, der de sosiale faktorene holdes konstante. Figuren nedenfor viser et *Bow tie-diagram* (Bow tie = tverrsoversløyfe) knyttet til en uønsket hendelse. Figuren illustrerer de vesentlige bestanddelene i en risikoanalyse: identifikasjon av uønskede hendelser, kartlegging av årsaker til at hendelsen oppstår og mulige konsekvenser dersom hendelsen oppstår. Det vil ofte finnes barrierer mellom en mulig årsak og en uønsket hendelse, og mellom en uønsket hendelse og en uønsket konsekvens.

Eksempler på barrierer som kan forhindre den uønskede hendelsen ”brann i leilighet”, er for eksempel at personene i leiligheten er forsiktige med bruk av levende lys, tidsbryter på komfyren og jordfeilbryter i sikringsskapet. Eksempler på barrierer som forhindrer uønskede konsekvenser dersom en brann oppstår, er gjerne de som inngår i et branntekniske konsept. Dette kan være branncellebegrensende vegger som forhindrer brannspredning til andre leiligheter, sprinkleranlegg som slukker brannen, eller rømningsveier som sørger for at personer i bygningen kan komme seg trygt ut. Det er i hovedsak en analyse av disse faktorene som gjennomføres i denne oppgaven, altså høyre side i Bow tie-diagrammet.

Figur 2.2 – Bow tie (sløyfe)-diagram knyttet til en uønsket hendelse

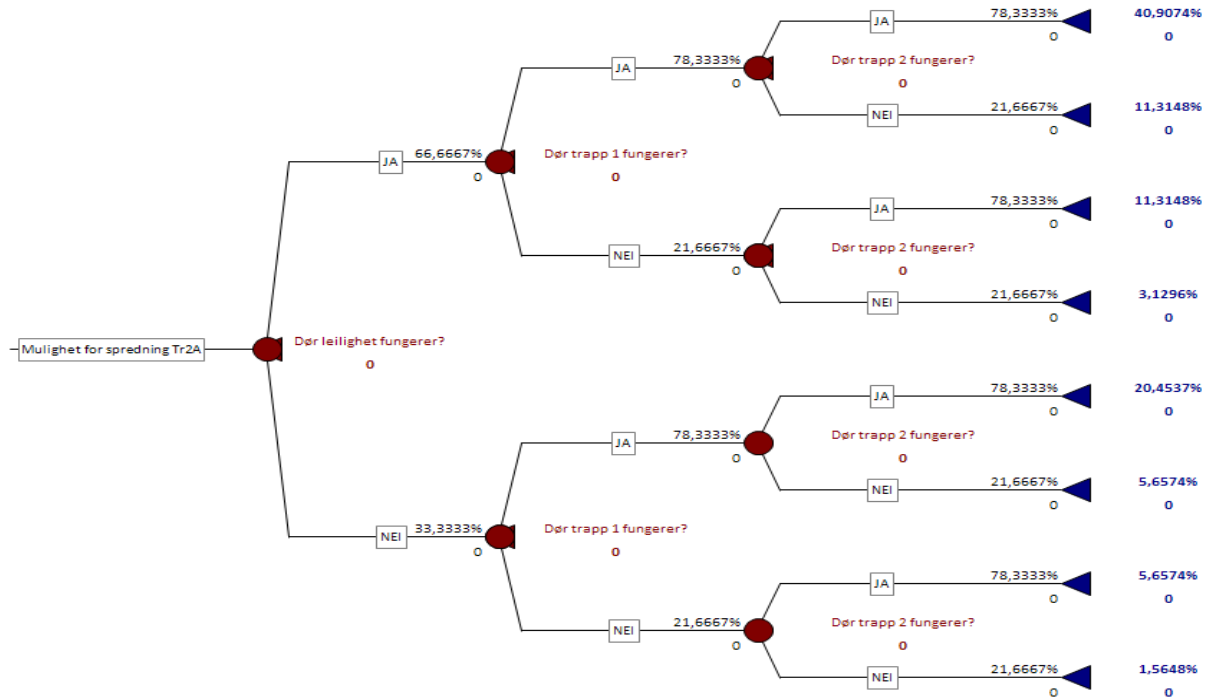


Brannsimuleringene er en del av konsekvensanalysen, og bygger på en del utvalgte variabler. Variablene er valgt med et mål om å definere et hensiktsmessig sammenligningsgrunnlag for de ulike branntekniske konseptene. Selve barriereanalysen er gjennomført ved bruk av hendelsestreanalyser, som er et vanlig verktøy for å gjennomføre konsekvensanalyser.

Hendelsestreanalysen beskriver hvilke kjeder av hendelser som kan oppstå etter et branntilløp, der planlagte barrierer fungerer eller svikter. Hendelsestreanalysen er gjennomført kvantitativt. Det vil si at det er tatt i bruk sannsynligheter, for å beskrive hvor trolig det er at barrierene skal fungere eller svikte. Dette brukes videre til å beregne sannsynlighet for ulike sluttscenarier. Figuren nedenfor viser et eksempel på et hendelsestre for brannspredning fra en startbrannleilighet til korridor med et trapperom i hver ende (type ”Tr2”). Sannsynligheten for et scenario som kan gi brannspredning fra startbrannleiligheten til korridoren, er beregnet i et eget hendelsestre. Denne sannsynligheten brukes som

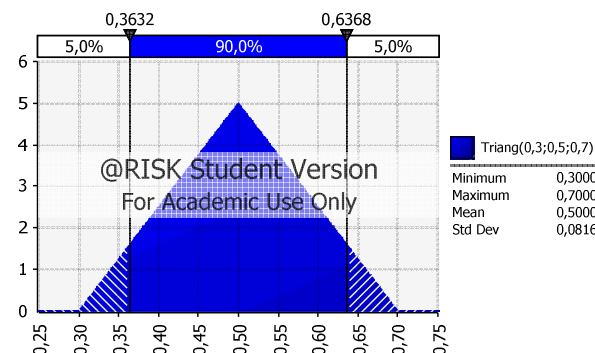
inngangsverdi i hendelsestreet for rømningsveikonseptet. I eksempelet nedenfor er døren mellom leilighet og korridor definert som første barriere, mens dørene til henholdsvis trapp 1 og 2 er definert som de neste barrierene. Den nederste "grenen" på hendelsestreet gir en kjede av hendelser, som omfatter at alle barrierene svikter, og begge trapperommene vil være fulle av røyk.

Figur 2.3 - Eksempel på hendelsestre for brannspredning fra leilighet til trapp type "Tr2"

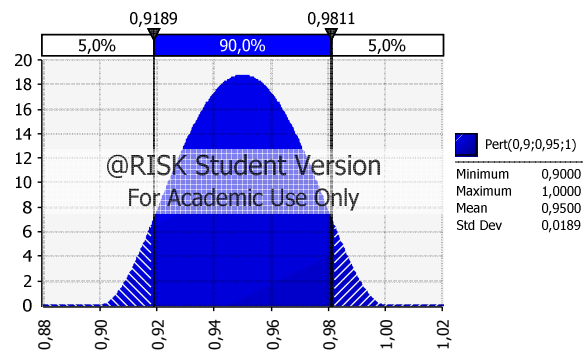


Sannsynligheten for at de ulike barrierene skal fungere eller ikke, bygger på kunnskapsgrunnlaget presentert i kapittel 5.7. Alle sannsynligheter er angitt med et sannsynlighetsspenn, for å skildre usikkerhet rundt en tenkt sann sannsynlighetsverdi. Det er benyttet trepunktsestimering med nedre grense, middelvei og øvre grense for sannsynlighet. For å modellere fordelingen mellom nedre og øvre grense for sannsynlighet, er det benyttet *triangel-* og *Pertfordeling*. Pertfordelingen er en variant av triangelfordelingen, som tar noe mer hensyn til middelveien enn standard triangelfordeling. Ekstremverdiene (øvre og nedre grense) tillegges mindre vekt. Triangelfordelingen er valgt som standard, mens Pertfordelingen brukes i tilfeller der datamaterialet er stort, hvilket er vurdert å gjelde for pålitelighetsdata for sprinkleranlegg og automatiske brannalarmanlegg.

Figur 2.4 - Eksempel på triangelfordeling over sannsynligheten for at en person i leiligheten slokker en brann dersom han/hun er våken



Figur 2.5 - Eksempel på Pertfordeling over sannsynligheten for at sprinkleranlegget fungerer



Hendelsestrærne, med tilhørende sannsynlighetsfordelinger knyttet til de ulike barrierene, er benyttet til å beregne sannsynlighet for kritiske/dødelige forhold, samt forventet antall omkomne i startbrannleiligheten. Videre er det beregnet sannsynlighet for røykfylling av alle rømningsveier, og forventet antall omkomne for de ulike boligblokkkonseptene. Forventningsverdien er supplert med konfidensintervaller, basert på *Monte Carlo-simuleringer* over sannsynlighetsfordelingene for forventet antall omkomne. Programmet *@RISK* (Palisade, 2008) er benyttet for å gjennomføre Monte Carlo-simuleringene. Forutsetninger knyttet til pålitelighet for ulike brannsikkerhetstiltak, samt forutsetninger for konsekvensberegninger, er identiske for de ulike konseptene.

3. Bakgrunn om boligblokker og leiligheter – viktige størrelser

3.1 Generelt

Denne oppgaven har fokus på hvordan endringer i variabler knyttet til et brannsikkerhetskonsept påvirker brannrisikoen i en boligblokk.

Det skilles mellom variabler som er direkte styrt via det branntekniske konseptet og variabler som har en mer indirekte betydning, som ikke inngår i et typisk branntekniske konsept. Slike variabler kan være boligblokkens lokasjon i landet, blokkens størrelse i grunnflate og høyde, leilighetenes størrelse og antall rom, antall personer i bygningen og i hver enkelt leilighet, personenes evne til å ivareta sin egen brannsikkerhet osv.

En variabel som er direkte knyttet til brannsikkerhetskonseptet, er for eksempel bygningens byggematerialer og brannmotstand, aktive brannsikkerhetstiltak, som brannalarmanlegg og sprinkleranlegg, antall rømningsveier og utforming av disse. De direkte variablene brukes som virkemidler i den branntekniske konseptprosjekteringen for å ta hensyn til de indirekte variablene.

For å kunne vurdere betydningen av disse variablene etableres det i dette kapittelet en oversikt over hva som er gjennomsnittet: Hva er en typisk boligblokk og hvem bor der?

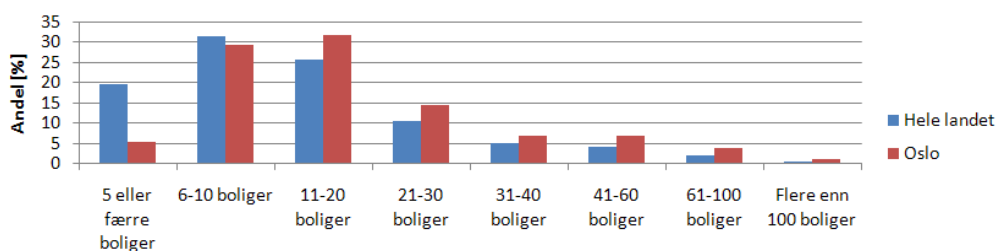
3.2 Boliger og areal

Statistisk Sentralbyrå (SSB) fører statistikk over byggeareal. Per 1.januar 2008 var det registrert om lag 2,27 millioner boliger i Norge, hvorav 1,21 millioner var eneboliger (53 %) og 498 592 var blokkleiligheter (22 %). Til sammenligning var andelen eneboliger og blokkleiligheter i 2001 henholdsvis 57 % og 18 % (Støa og Aune 2003:9-10).

Ifølge SSB har det de siste årene vært en økning i bygging av blokkleiligheter, sammenlignet med bygging av eneboliger. Av dagens 498 592 blokkleilighetene befinner 15,1 % av dagens leiligheter seg i bygninger bygd i 2001 eller senere. Kun 5,3 % av de 1,2 millioner eneboligene er bygd i den samme perioden. Støa og Aune (2003) forklarer økningen i andel boligblokkleiligheter med en urbanisering av det norske samfunnet. Med urbanisering menes flytting fra fjernere strøk til tettsteder og byer (Støa og Aune 2003:9).

De 498 592 blokkleilighetene er fordelt på totalt 30 950 bygninger, noe som gir et gjennomsnitt på 16 leiligheter per boligblokk. Av de 30 950 boligblokkbygningene, befinner 10 187 (33 %) seg i Oslo. Gjennomsnittlig antall leiligheter i en boligblokk i Oslo er 22 leiligheter, altså høyere enn gjennomsnittet. Det finnes 199 boligblokker med mer enn 100 boliger, og 125 (63 %) av disse ligger i Oslo. Figuren nedenfor er basert på data fra SSBs tabell 11 *Antall boligblokker, etter antall boliger i bygningen og fylke. 1.januar 2008*¹ og figuren viser størrelsen på boligblokker i hele landet sammenlignet med Oslo.

Figur 3.1 – Antall boenheter i boligblokker. Hele landet og Oslo (1.januar 2008)

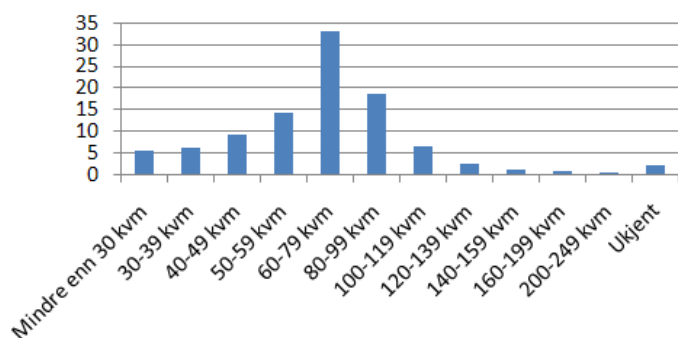


¹ <http://www.ssb.no/emner/10/09/boligstat/tab-2008-06-26-11.html>

SSBs tabell: *Gjennomsnittlig antall rom, etter bygningstype og fylke. 1. januar 2008*² gir grunnlag for å vurdere leilighetenes størrelse med hensyn til antall rom. Gjennomsnittlig antall rom i en blokkleilighet i Oslo er 2,7, mens landsgjennomsnittet er 2,8 rom.

Figuren nedenfor viser at av den totale massen boligblokker, har hovedandelen boligeneheter (33,2 %) per 1.januar 2008 et areal på mellom 60 og 79 m². 66 % av den totale massen boligblokker har boliger med areal på mellom 50 og 99 m² (SSBs tabell: *Antall boliger, etter bygningstype og bruksareal 1. januar 2008*³). Ved å bruke medianen som ”tyngdepunktet” innenfor hvert intervall i figuren nedenfor, er gjennomsnittlig areal for en boligblokkleilighet beregnet til 68 m².

Figur 3.2 – Areal i boliger i boligblokker, hele landet (1.januar 2008)



I 2008 ble det ferdigstilt 13 714 leiligheter og hybler i boligblokker, med et samlet bruksareal på 1,29 millioner kvadratmeter⁴. Dette gir et gjennomsnittlig bruksareal per boligblokkleilighet på om lag 94 m². Tallene for 2008 viser at gjennomsnittsarealet for nye boliger er høyere enn gjennomsnittet for den totale boligblokkmassen. Over tid har det vært en økning i både boligareal per bolig og antall rom per boligblokkleilighet i Norge. Gjennomsnittlig boligareal per person (bolig generelt) økte fra 32 m² til 49 m² (ca. 50 %) fra 1973 til 1995, mens gjennomsnittlig boligareal per bolig økte fra 88 m² til 112 m² (27 %) i samme periode. Tabellen nedenfor gir en oversikt over hvor mange personer som bodde i en bolig i boligblokk, samt gjennomsnittlig antall rom per boligblokkleilighet i 1980, 1990 og 2001. Det er ikke funnet oppdaterte tall for 2008. Data er hentet fra SSB⁵.

Tabell 3.1 – Bosatte per bolig i boligblokk i 1980, 1990 og 2001

	Boliger i boligblokk	Bosatte i boligblokk	Bosatte per bolig i boligblokk	Antall rom per bolig i boligblokk
1980	272 419	550 182	2	2,7
1990	328 673	540 066	1,6	2,7
2001	360 770	600 357	1,7	2,8

² <http://www.ssb.no/emner/10/09/boligstat/tab-2008-06-26-09.html>

³ <http://www.ssb.no/emner/10/09/boligstat/tab-2008-06-26-05.html>

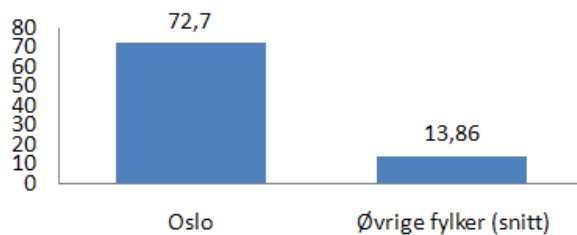
⁴ <http://www.ssb.no/byggeareal/tab-2009-03-11-02.html>

⁵ <http://www.ssb.no/fobolig/tab-2002-09-23-01.html>

3.3 Boligtype og alder

Figuren nedenfor er basert på data fra SSBs tabell 1 *Antall boliger, etter bygningstype og fylke. 1. januar 2008*. Figuren viser andelen boligblokker av det totale antallet boliger i Oslo sammenlignet med de øvrige fylkene. Det fremgår av SSBs statistikk at andelen boligblokker er størst i Oslo, hvor om lag 73 % av boligene er boligblokker. Videre følger Svalbard med om lag 42 % (inkluderer bare Longyearbyen), Hordaland med om lag 26 %, Sør-Trøndelag med om lag 25 % og Akershus med om lag 19 %. I de nevnte fylkene inngår Norges største byer og tettsteder med unntak av Svalbard. I statistikken for Svalbard inngår imidlertid kun Longyearbyen, som er største by/tettsted på Svalbard. Basert på dette grunnlaget kan boligblokker, ikke uventet, først og fremst sies å være forbundet med byer og tettsteder.

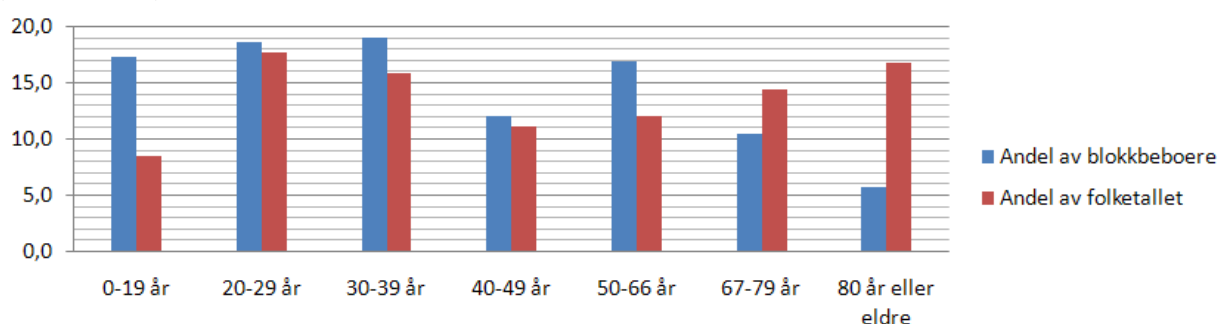
Figur 3.3 – Andel boliger i blokkbebyggelse. Oslo sammenlignet med øvrige fylker (1.januar 2008)



Urbaniseringen i Norge kjennetegnes av at ungdom flytter fra rurale strøk til byer og tettsteder. Ungdom har et mer moderat boligkonsum enn andre aldersgrupper med hensyn til valg av boligareal og boligtype. Årsaken til dette kan være flere, men rammebetingelser knyttet til økonomi og ulik prioritering sammenlignet med andre grupper er blant årsakene (Støa og Aune 2003:10). Figuren nedenfor kombinerer data fra SSBs statistikk over antall mennesker som bor i blokk (SSB, tabell 03179), her definert som bygning med mer enn tre etasjer, og befolkningsstrukturen innenfor de samme aldersintervallene (SSB, tabell 03026). Det fremgår av figuren at hovedandelen blokkbeboere er mellom 30 og 39 år.

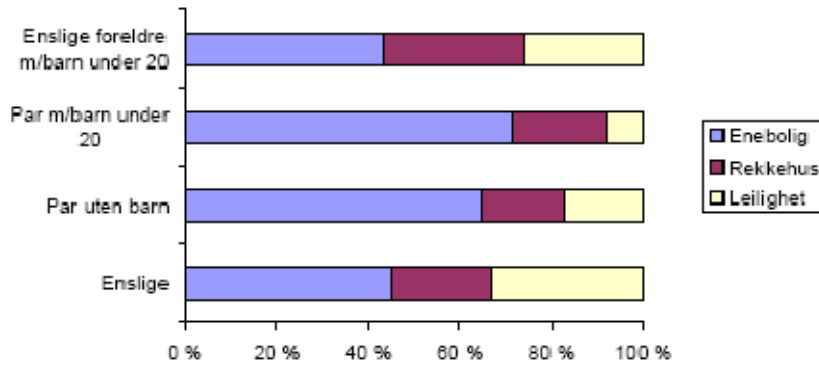
Den største gruppen, relatert til totalt folketall i samme aldersgruppe, er imidlertid gruppen mellom 20 og 29 år. Det er verdt å merke seg at andelen mennesker som bor i blokk i gruppen 0 til 19 år er stor, relatert til antall blokkbeboere, men lav relatert til samlet folketall i den samme gruppen. For gruppen over 80 år er det motsatt: relatert til antall blokkbeboere er andelen personer over 80 år bosatt i blokk lav, mens relatert til det totale antall over 80 år i Norge, er andelen bosatt i blokk høy. Dette skyldes at det totale antallet personer over 80 år er lavt, sammenlignet med alle andre aldersgrupper, samtidig som en stor andel av disse eldre bor i blokk. På nasjonalt nivå kan det derfor sies at det er flest blokkbeboere i aldersgruppen 20-29 år og i gruppen over 80, mens det er færrest blant barn og unge (Støa og Aune 2003:10).

Figur 3.4 – Andel (i prosent) mennesker som bor i blokk, relatert til antall blokkbeboere og folketallet generelt (tall fra 2001)



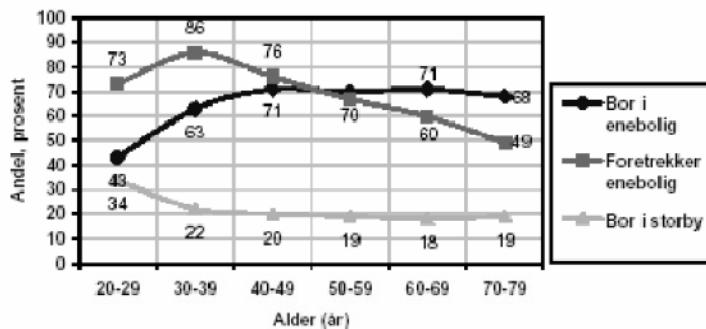
Støa og Aune (2003) diskuterer boligsammensetningen til ulike befolkningsgrupper, og sammenhengen mellom alder og foretrukket boligtype. Undersøkelsen presenterer data som supplerer informasjonen i figurene ovenfor. Den største gruppen personer som bor i leilighet er enslige og enslige foreldre. Den nest største gruppen er par uten barn, mens den minste gruppen er par med barn under 20 år, hvor til sammenligning andelen eneboliger er størst (Støa og Aune 2003:10).

Figur 3.5 – Husholdninger i ulike boligtyper (1995)



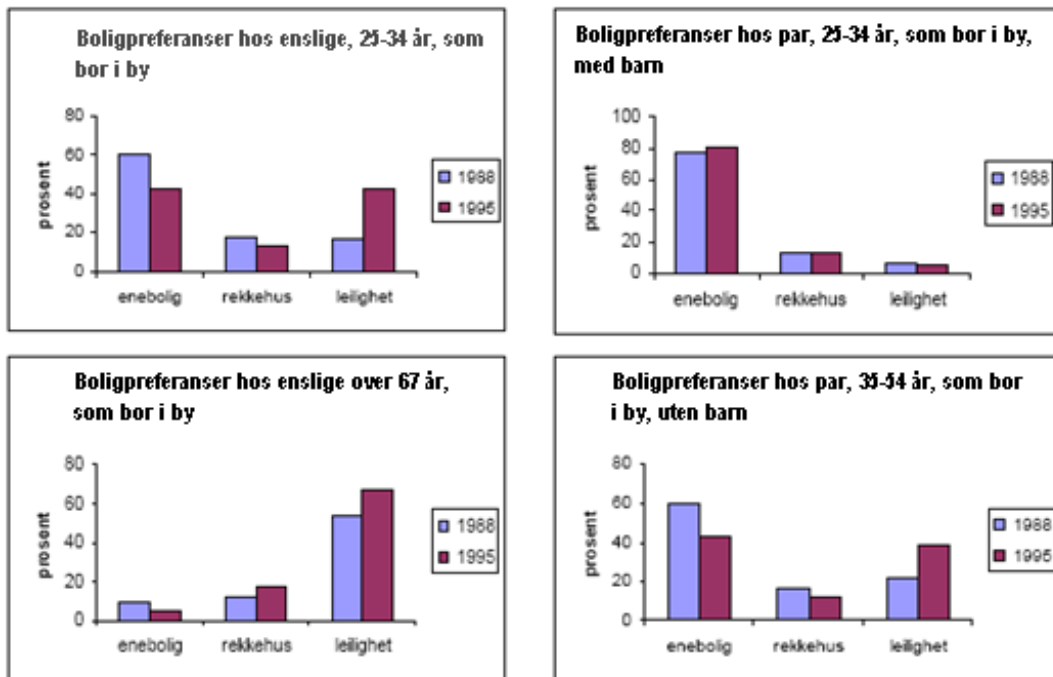
Figuren nedenfor viser at den gruppen som i størst grad bor i leilighet (mellom 20 og 39 år) har en økende preferens for å bo i enebolig. Ved økende alder, over ca. 35 år, er tendensen synkende med hensyn til å foretrekke enebolig. Dette kan ha sammenheng med et ønske om en mer lettstelt og sentralt beliggende bolig, med mindre behov for vedlikehold og med bedre fremkommelighet (Støa og Aune 2003:11-13).

Figur 3.6 – Alder og foretrukket boform (basert på levekårsundersøkelsen i 1997)



Foretrukket boform har ikke bare sammenheng med alder. Ovenfor er det for eksempel vist en sammenheng mellom sivil status og boform, der enslige utgjør den største gruppen blant leilighetsbeboere. I denne gruppen kan det imidlertid tenkes at økonomiske rammebetingelser, i større grad enn foretrukket boform gir utslag for valg av boligtype. Figurene nedenfor viser sammenhengen mellom sivil status, alder og familiesituasjon (barn/ikke barn). Det fremgår at enslige i aldersgruppen 25-34, foretrekker enebolig som boform. Trenden er imidlertid synkende fra 1988 til 1995, da leiligheter i større grad ble foretrukket i 1995 enn i 1988. De mest markante trekkene i figuren nedenfor er imidlertid boligpreferanser for par i aldersgruppen 25-34 år med barn, og som bor i by, og gruppen enslige over 67 år som bor i by. I førstnevnte gruppe er det en klar preferens for enebolig, også i økende grad fra 1988 til 1995. Blant gruppen enslige med alder over 67 år, er leilighet den mest foretrukne boformen, og i økende grad fra 1988 til 1995. Det er også verdt å merke seg at alle gruppene har en økende preferens for leilighet fra 1988 til 1995, med unntak av gruppen par, 25-34 år, med barn, som bor i by (Støa og Aune 2003:12).

Figur 3.7 – Sivil status, alder og bosted – foretrukket boform (1988 og 1995)



3.4 Eldrebølgen

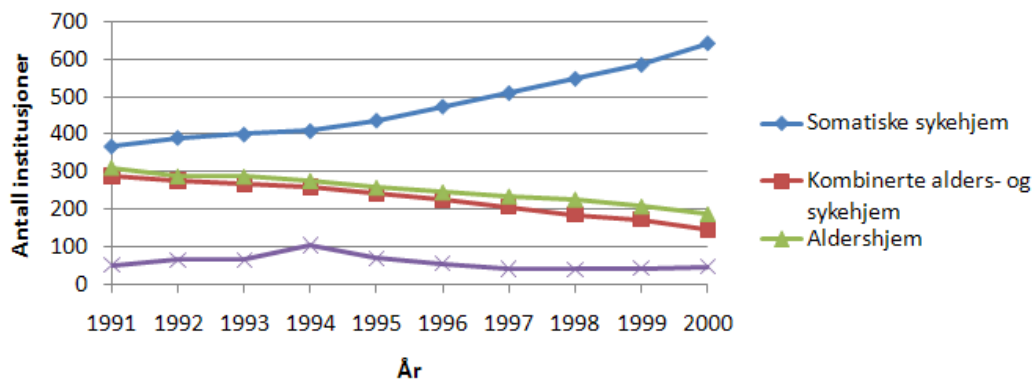
Befolkningen i Norge er i ferd med å bli eldre. Antall personer i yrkesaktiv alder per pensjonist, er redusert fra 7 i 1950 til 4,4 i 2004. Befolkningsfremskrivninger for 2020 og 2050 viser en fortsatt reduksjon til henholdsvis 3,7 og 2,5 (Østby 2004).

I et brannsikkerhetsperspektiv er det ikke alder alene som spiller den største rollen, men beboerens evne til å håndtere en brannsituasjon på best mulig måte for seg selv og andre. Evnen til å håndtere en brannsituasjon, foruten tekniske brannsikkerhetstiltak, er knyttet til de fysiske og psykiske forutsetningene en person besitter. Ved at andelen og antallet eldre øker, er det også trolig at andelen mennesker som ikke kan forventes å håndtere en brannsituasjon på en tilfredsstillende måte, er økende.

De siste årene har eldreomsorgen i Norge økende grad basert seg på tjenester til hjemmeboende, med ideen om at mennesker med funksjonsnedsettelse og funksjonshemninger får et bedre liv, ved å bo i egne boliger i stedet for i institusjon. Det politiske grunnlaget for økt satsning på hjemmebasert pleie og omsorg kan skrives tilbake til Stortingsmelding nr. 50, 1996-1997 *Handlingsplan for eldreomsorgen* (Abrahamsen og Svalund 2005).

Figuren nedenfor er basert på data fra SSBs tabell 7.6 *Institusjoner for eldre og funksjonshemmede, etter type institusjon 1991-2000*. Figuren viser utviklingen av antall og type institusjoner for eldre og funksjonshemmede i perioden 1991 til 2000. Figuren viser en økning i antall somatiske sykehjem fra 368 i 1991 til 642 i 2000, som er en økning på 74 %. Antallet kombinerte alders- og sykehjem og aldershjem har i samme periode sunket fra 600 i 1991 til 334 i 2000. Dette er en reduksjon på 44 %. Tallene i figuren nedenfor tyder på at institusjonene nå i større grad er et tilbud forbeholdt de mest pleietrengende, mens mindre hjelpetrengende i større grad får tilbud om *tilpassede* omsorgsboliger og/eller hjemmetjenester. Andelen eldre som bor på institusjon har gått ned. Selv blant de eldste eldre, i gruppen 85-89 år, bor en større andel utenfor institusjon (Abrahamsen og Svalund 2005).

Figur 3.8 – Institusjoner for eldre og funksjonshemmede etter type og institusjon, 1991-2000



3.5 Boligtype og landebakgrunn

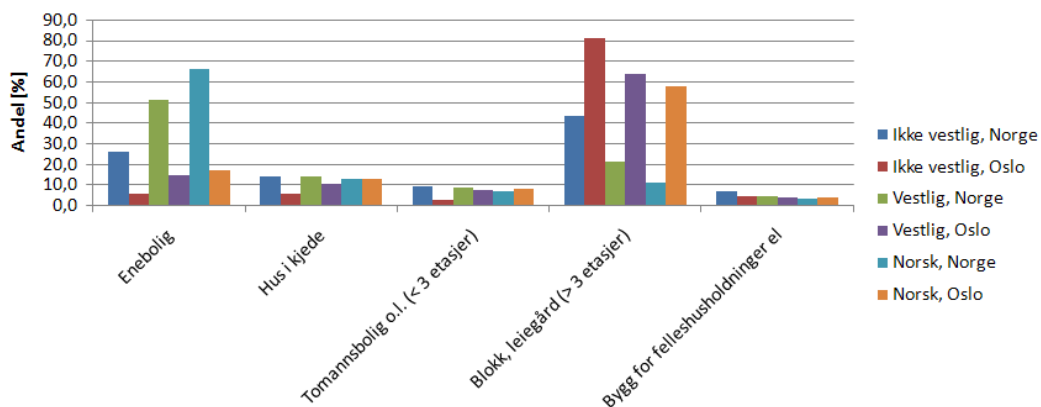
Figuren nedenfor er basert på data fra SSBs tabell 03226, med tall fra 2001. Figuren viser boligtype relatert til landbakgrunn der variablene *ikke vestlig*, *vestlig/ikke norsk* og *norsk* er sammenlignet.

I datagrunnlaget er det 209 851 (4,7 %) personer med ikke-vestlig bakgrunn, 95 491 (2,1 %) personer med vestlig/ikke norsk bakgrunn og 4 180 603 (93 %) personer med norsk bakgrunn. Samlet folketall (2001) basert på datagrunnlaget er 4 485 945 (100 %).

Av de ikke-vestlige beboerne bor 38 % i Oslo. Av de vestlige/ikke norske og norske beboerne bor henholdsvis 23 % og 9,7 % i Oslo. Personer med ikke-norsk bakgrunn bor altså i større grad i Oslo enn personer med norsk bakgrunn. Dette gjelder spesielt for personer med ikke-vestlig bakgrunn.

Tidligere er det beskrevet at boligtypen boligblokker utgjør om lag 73 % av den totale boligmassen i Oslo. Av figuren nedenfor fremgår det at personer med ikke-vestlig bakgrunn er overrepresentert (81,5 %) i boligblokker i Oslo sammenlignet med den totale andelen boligblokker i byen. Det fremgår at på landsbasis er enebolig den mest vanlige boformen for personer med norsk og vestlig/ikke norsk bakgrunn.

Figur 3.9 – Boligtype og landbakgrunn (ikke vestlig, vestlig/ikke norsk, norsk) – 2001-tall



4. Bakgrunn - brannstatistikk i boligblokker

Dette kapitlet gir en oversikt over brannstatistikk for branner i boligblokker. Oversikten er basert på mottatt statistikkunderlag fra DSB for branner i boligblokker i perioden 1999 til og med 2008 (omtales 1999-2009 i det følgende), DSBs generelle brann- og uhellsstatistikk, samt studier av brannstatistikken utført ved SINTEF NBL. DSBs statistikk over boligblokkbranner danner hovedgrunnlaget for dette kapitlet, og er derfor ikke ytterligere referert. Der andre kilder benyttes, refereres det til disse.

Hensikten med statistikkgrunnlaget er å etablere en bakgrunnsforståelse for hvor ofte branner oppstår i boligblokker, hvem som omkommer, og om det er felles kjennetegn ved dødsbrannene. Fokuset i denne oppgaven er hovedsakelig på tekniske barrierer knyttet til et brannsikkerhetskonsept. Viktige sosiale faktorer med betydning for brannrisiko, vil dermed ikke inngå i barriereanalysene i oppgaven. For å kunne diskutere det tekniske sikkerhetsnivåets robusthet knyttet til ulike sosiale faktorer, er det derfor tatt med et innledende kapittel om brannstatistikk.

4.1 Generelt om branner i boligblokker

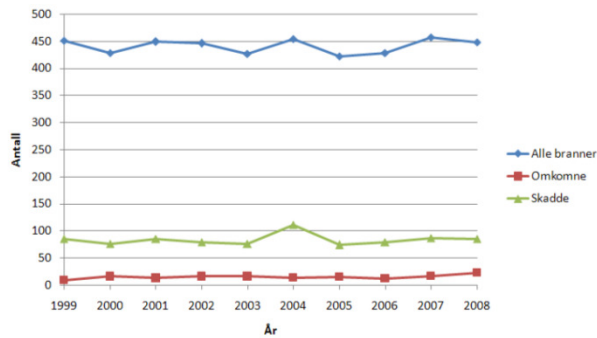
I perioden 1999-2009 har DSB registrert 4 410 branner i boligblokker, 151 omkomne personer og 839 skadde personer i boligblokker/leilighetsbygninger. Av disse 4 410 brannene var 127 dødsbranner, og 115 (91 %) av disse var branner der én person omkom. I 12 (9 %) av brannene omkom det flere enn én person. I 7 av brannene omkom det to personer og i 3 branner omkom det 3 personer. I 2008 omkom det 6 personer i en brann i Urtegata i Oslo, og 7 personer i en brann i Drammen.

Antall branner i boligblokker/leilighetsbygninger har variert mellom om lag 420 og 450 branner per år i perioden 1999-2009, med en middelværdi på 441 branner pr år. Antall skadde har variert mellom om lag 75 og 100 per år. Antall omkomne har variert rundt 15 personer per år, der laveste antall er 9 personer i 1999, og høyeste antall er 23 personer i 2008. Dette gir en middelværdi på 15,1 personer per år.

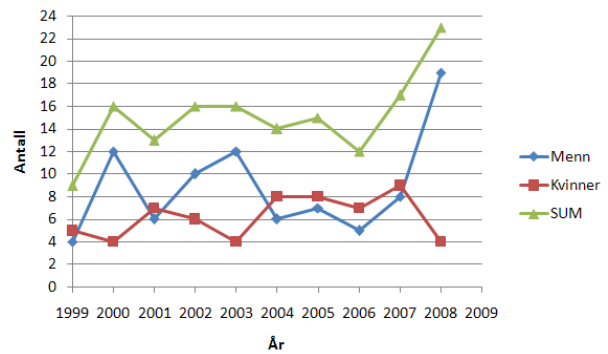
Figurene nedenfor viser utviklingen i antall branner, skadde og omkomne i perioden 1999-2009, samt kjønnsfordelingen for de omkomne. Det fremgår at de fleste som omkommer i brann er menn. I perioden 2004 – 2007 var det imidlertid flere kvinner enn menn, som omkom i branner i boligblokker/leiligheter. Den største forskjellen i tallene for omkomne menn og kvinner, er registrert i 2008, da det omkom 19 menn og 4 kvinner i branner i boligblokker/leilighetsbygninger. Denne forskjellen skyldes først og fremst brannen i Drammen, der 7 menn omkom, og brannen i Urtegata i Oslo, der 4 menn og 2 kvinner omkom. Uten disse to brannene, ville tallene for 2008 vært 2 omkomne kvinner og 8 omkomne menn, noe som samlet sett ville medført en betraktelig nedgang i forhold til dødsbrannstatistikken for årene før.

Ikke siden 1999 har antall omkomne i brann i boligblokker/leilighetsbygninger vært under 10 personer. Dette illustrerer noe av kompleksiteten knyttet til konsekvenser av branner. I mange tilfeller er konsekvensene av en brann begrenset, noe som synliggjøres med at det i perioden 1999-2009 var 4 410 utrykninger til branner i boligblokker/leilighetsbygninger. Av disse var "bare" 127 dødsbranner. I noen ekstremtilfeller, der flere barrierer svikter samtidig, kan konsekvensene av en brann bli meget store. Dette kan snu fullstendig opp/ned på statistikken. Dette gjelder spesielt for boligblokker og leilighetsbygninger, der det potensielle antallet personer som kan bli utsatt for en brann, kan være stort.

Figur 4.1 – Antall branner, omkomne og skadde i perioden 1999 – 2009



Figur 4.2 – Antall omkomne i perioden 1999 – 2009 fordelt på kvinner og menn



4.2 Dødsbranner i boligblokker

4.2.1 Antall omkomne i hver brann

Tabellen nedenfor gir en oversikt over antall dødsbranner, samt antall omkomne i hver brann. Som nevnt innledningsvis, omkommer det i 91 % av tilfellene én person i hver dødsbrann. I perioden 1999-2009 var det bare 2 branner der flere enn 3 personer omkom. Gjennomsnittlig antall omkomne per dødsbrann er 1,19 for hele perioden. Dersom brannene i Drammen og Urtegata holdes utenfor, reduseres gjennomsnittet til 1,10 omkomne per dødsbrann.

Tabell 4.1 - Oversikt over antall omkomne per brann

	Antall omkomne per brann							
	1	2	3	4	5	6	7	Sum
Dødsbranner	115	7	3	0	0	1	1	127
Antall omkomne	115	14	9	0	0	6	7	151

SINTEF NBL har utført flere analyser av tilgjengelig brannstatistikk. De konkluderer med at det er en klar tendens til at det bare er én person til stede ved brannstart, og at denne personen omkommer. I en tredel av dødsbrannene er det bare én person til stede ved brannstart. En dansk undersøkelse viser at 57 % av de som omkommer i brann bor alene og kun 13 % er gift (av de over 18 år). Andelen av énpersonshusholdninger har økt i perioden 1980 til 1998 fra 28 % til 40 % (skyldes også en endring i definisjonen av énpersonshusholdninger i 1990-1994). I énpersonshusholdninger er personen avhengig av å selv oppdage brannen, da ingen andre i leiligheten kan hjelpe. Om lag 35-40 % av de omkomne befinner seg i samme rom som arnestedet, og 14 % i naborommet (Mostue 2000:16-21).

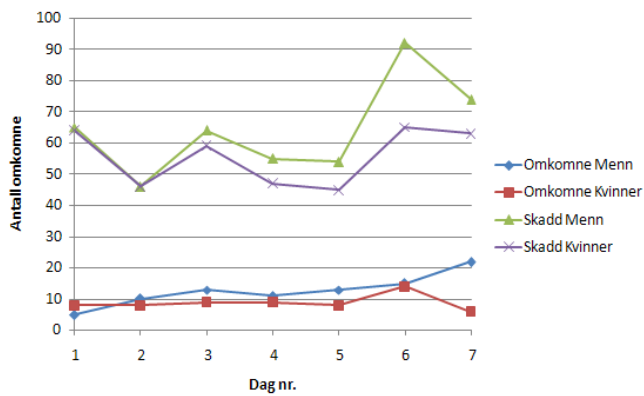
4.2.2 Sosiale, geografiske og tidsmessige forhold

En studie av brannstatistikken for perioden 1970-1979 viser at om lag 30 % av de omkomne i brann var påvirket av alkohol. 17 % av disse var sterkt påvirket. En annen studie av brannstatistikk for perioden 1978-1992 viser en økning, hvor om lag 36 % av de omkomne var påvirket av alkohol. 19 % av disse var sterkt påvirket. Studien viser også at en større andel av dødssofrene i de største byene er påvirket av rusmidler, enn øvrige deler av landet. En dansk undersøkelse for perioden 1988-1993 viser at 62 % av de omkomne var påvirket av alkohol (Mostue 2000:19). Mostue (2000:28) rapporterer om følgende sammenheng mellom sosiale og geografiske faktorer og brannhyppighet:

- Uføretrygdede: Høy andel korresponderer med høyere brannhyppighet
- Straffedømte: Høy andel korresponderer med høyere brannhyppighet
- Fylke: De tre nordligste fylkene har høyere brannhyppighet enn resten av Norge
- Eldre (over 75 år): Brannhyppigheten er lavere enn resten av befolkningen, men dødsbrannhyppigheten er større.
- Inntekt: Lav inntekt korresponderer med høyere brannhyppighet. Danske, amerikanske og australske undersøkelser underbygger dette.

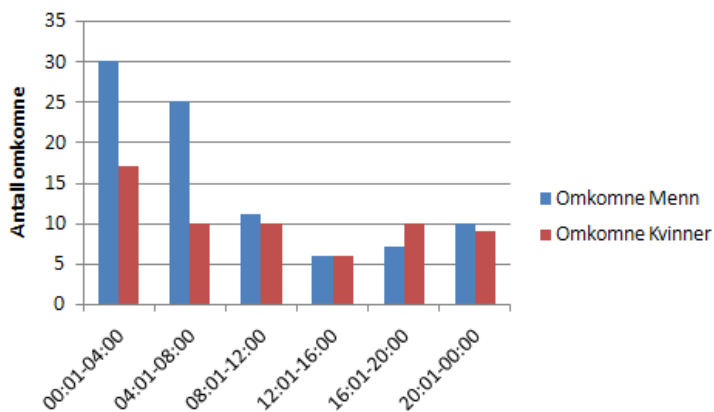
Antallet omkomne i boligblokker er høyest for dagene lørdag og søndag. Gjennomsnittlig antall omkomne per ukedag i perioden 1999-2009, er beregnet til 21,6 (151 omkomne / 7 dager per uke). Tilsvarende er gjennomsnitt for antall personskader 119,9. Antall omkomne er mellom 30 og 34 % høyere enn gjennomsnittet på lørdager og søndager. Antall personskader er henholdsvis 31 % høyere enn gjennomsnittet på lørdager, og 14 % høyere enn gjennomsnittet på søndager.

Figur 4.3 – Antall omkomne og personskader fordelt over ukedager

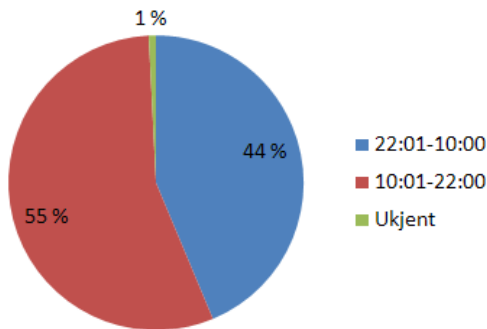


Tid på døgnet har stor betydning for antall omkomne. I perioden 1999-2009 omkom 66 % i branner som inntraff i perioden fra kl. 22:00 om kvelden til 10:00 om formiddagen. I samme periode inntraff for øvrig bare 44 % av alle brannene. De fleste omkommer som følge av brann i perioden mellom midnatt og kl. 08:00.

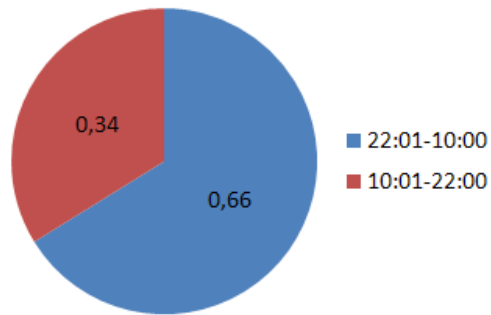
Figur 4.4 – Fordeling omkomne over døgnet



Figur 4.5 – Fordeling antall branner, natt og dag



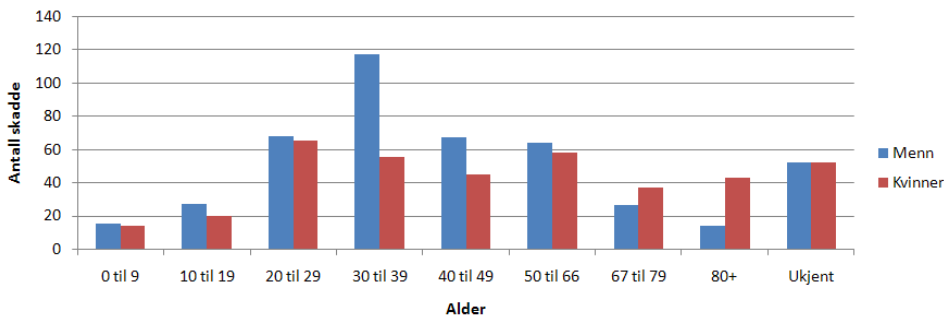
Figur 4.6 – Fordeling omkomne, natt og dag



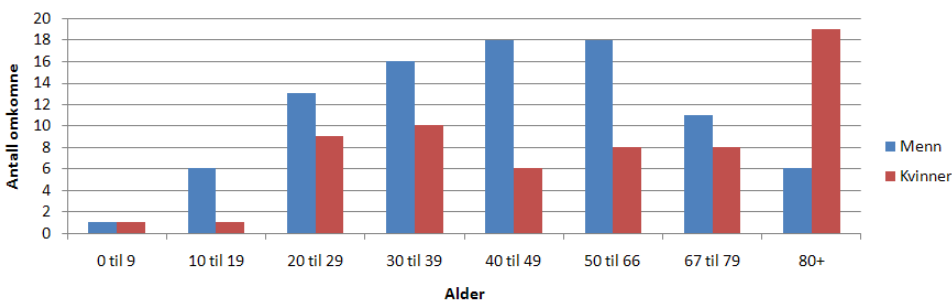
4.2.3 Skadde og omkomne i brann og alder

Antall skadde og omkomne i branner i boligblokker/leilighetsbygninger i perioden 1999-2009 fordeler seg som vist på figurene nedenfor.

Figur 4.7 – Antall skadde fordelt på aldersgrupper



Figur 4.8 – Antall omkomne fordelt på aldersgrupper



I kapittel 3 er det presentert statistikk som viser fordelingen av personer i ulike aldersgrupper som bor i boligblokker. Statistikken viser at det bor flest personer i alderen 20 – 39 år i boligblokker. Aldersgruppen med personer over 80 år utgjør den minste gruppen. Dersom dødsrisikoen i de ulike gruppene var lik, skulle det kunne forventes at antall omkomne i gruppen med personer over 80 år, var betraktelig lavere enn gruppen med personer i aldersgruppen 20 – 39 år. Dette er imidlertid ikke tilfellet. Dersom antall omkomne i de ulike gruppene vektet mot den andelen denne aldersgruppen utgjør blant blokkbeboere, fremgår det at dødsrisikoen er 2,88 ganger høyere for gruppen over 80 år, sammenlignet med gjennomsnittet.

Tabell 4.2 – Dødsrisiko for de ulike aldersgruppene

Aldersgruppe	Antall	Andel	Omkomne per år i aldersgruppen	Vektet dødsrisiko (omkomne per år x andel aldersgruppe)	Avvik fra middelverdi (Dødsrisiko gruppe/middelverdi)
0-19 år	99685	0,17	0,9	5,2	0,34
20-29 år	106665	0,19	2,2	11,8	0,78
30-39 år	108962	0,19	2,6	13,7	0,91
40-49 år	69124	0,12	2,4	19,9	1,32
50-66 år	97152	0,17	2,6	15,4	1,02
67-79 år	59754	0,10	1,9	18,3	1,21
80 år eller eldre	33028	0,06	2,5	43,5	2,88
Totalt	574370	1	15,1		

Studier ved SINTEF NBL konkluderer også med at eldre er overrepresentert i statistikken over omkomne i branner. Hele 20-40% av de omkomne er 70 år eller eldre, noe som tilsvarer 14-27 døds ofre hvert år. Det er 3-4 ganger høyere dødsbrannhyppighet blant den eldre del av befolkningen (over 70 år), enn den øvrige del av befolkningen. I Sverige i 1991 var halvparten av de omkomne over 65 år, og 30 % over 80 år (Mostue 2000:16-17 og Mostue og Stensaas 2002:13).

Statistikken viser at det ikke brenner oftere hos eldre. Dersom en brann først inntreffer er det imidlertid større sannsynlighet for at det blir en dødsbrann (Mostue og Stensaas 2002:15). Høy alder betyr ikke nødvendigvis nedsatt funksjonsevne. Det er følgelig grunn til å tro at en spesiell gruppe blant de over 70 år er ytterligere utsatt sammenlignet med det som fremkommer i statistisk dødsbrannhyppighet for den generelle gruppen for personer over 70 år. Sannsynligheten for å omkomme, gitt at det har oppstått en brann i en omsorgsbolig er avhengig av flere forhold:

- Større problemer med å detektere en brann
- Dårligere reaksjonsevne
- Bruker lengre tid på å forflytte seg
- De fleste vil ha problemer med å klatre ut et vindu og bruke utradisjonelle rømningsveier og trapper
- Mer eller mindre avhengig av assistert evakuering
- Kan ikke forvente å få hjelp av andre beboere til å evakuere

Det kan legges til at disse forholdene i stor grad gjelder generelt for de gruppene som er særskilt utsatt med hensyn til økt sannsynlighet for å omkomme ved brann

Tabell 4.3 – Dødsbrannhyppighet for branner i Norge (Mostue og Stensaas 2002:14)

	Dødsbrannhyppighet [antall omkomne per 100 000 innbygger]	Kommentar
Hele befolkningen	1,4	Snitt for perioden 1995-1999
Personer > 70 år	4,3	Snitt for perioden 1985-1998
Personer < 70 år	1,1	Snitt for perioden 1990-1999

4.3 Brannårsaker i boliger

Tabellen nedenfor viser hvordan ulike brannårsaker fordeler seg for årene 2005 og 2006 (DSB brannårsaksstatistikk 2006:12). Totalt sett registreres det at "ukjent" brannårsak er en relativt stor gruppe. Innenfor gruppen "bar ild" er de vanligste årsakene levende lys, piper/ildsteder, samt aske fra ildsteder og askebegre og røyking. I gruppen "elektrisk årsak" er den vanligste brannårsaken angitt å være "serielysbue", men her er "annet"-posten meget stor. I gruppen "feil bruk av elektrisk utstyr" er de vanligste enkeltårsakene "tørrkoking" og "tildekking".

Tabell 4.4 – Brannårsaker, boligbranner 2005 og 2006

Årsak	2005		2006	
	Antall	Prosent	Antall	Prosent
Påsatte branner	124	10,12	82	7,48
Bar ild	308	25,15	249	22,71
Elektrisk årsak	242	19,75	223	20,33
Feil bruk av elektrisk utstyr	240	19,59	222	20,25
Eksplosjon	4	0,32	5	0,45
Selvtenning	27	2,20	40	3,66
Lynnedslag	12	0,98	12	1,09
Annet	19	1,55	28	2,55
Ukjent	249	20,33	236	21,51
Antall branner	1225	100	1097	100

4.4 Brannsituasjon ved brannvesenets ankomst og brannspredning

Brannsituasjonen ved brannvesenets ankomst, kan ha stor betydning for utfallet av brannen, og hvordan brannvesenet legger opp sin slokkeinnsats. I perioden 1999-2009 var bygningen overtent i 5 % av brannene i boligblokker/leilighetsbygninger, ved brannvesenets ankomst. I øvrige 95 % var brannen begrenset til deler av objektet, slokkes eller hadde kun røykutvikling. Sammenlignet med gjennomsnittet for alle boliger (tall fra 2007), er overtent bygning langt vanligere i andre typer boligbygninger. For boliger generelt var bygningen overtent i hele 12 % av brannene (DSB Brann- og uhellsstatistikk 2007:26).

Tabell 4.5 – Brannsituasjon ved brannvesenets ankomst

Brannsituasjon	Andel [%]			
	Alle branner	Omkomne	Skadde	Alle boliger (DSB, 2007)
Røykutvikling	26 %	14 %	22 %	22 %
Brann i del av objekt	40 %	53 %	52 %	35 %
Overtent	5 %	21 %	8 %	12 %
Brann slokkes	29 %	11 %	18 %	23 %
Ukjent	0 %	1 %	0 %	8 %
SUM =	100 %	100 %	100 %	100 %

Statistikken fra DSB viser at 99,1 % av brannene i boligblokker/leilighetsbygninger ble slokkes i startbygningen. Kun 0,6 % av brannene spredde seg til nabobygning, og 0,3 % er ukjent. Totalt 81 % av brannene ble slokkes i startrommet og 8,5 % i startetasjen. I de tilfellene der brannens arnested var i typiske leilighetsrom (kjøkken, soverom, stue og våtrom), ble brannen begrenset til startrommet i 88 % av brannene, og bare 0,1 % av disse brannene spredde seg til annen bygning. I de brannene arnestedet var utenfor typiske leilighetsrom (loft, kjeller, produksjonslokale, lager, fyrrom og utvendig) var brannen begrenset til startrommet i 66 % av brannene.

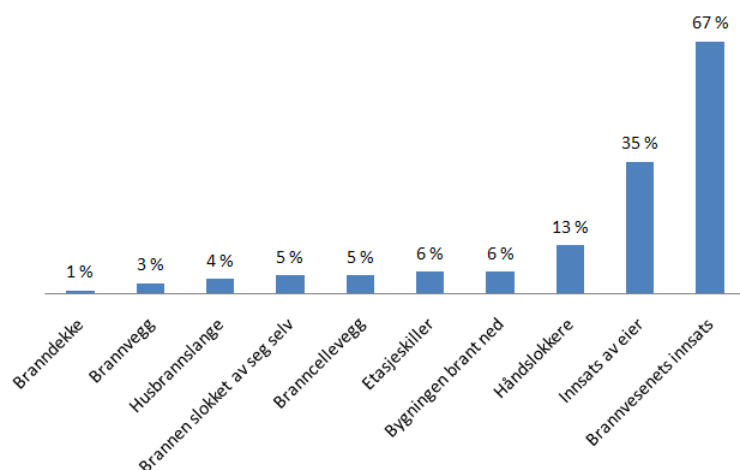
Tabell 4.6 – Sammenheng mellom arnestedetsrom og hvor brannen ble slokkes

Arnested	Hvor ble brannen slokkes?					Antall branner
	Startrom	Startetasje	Startbygning	Annen bygning	Ukjent	
Rom i leilighet	2551	196	134	4	7	2892
Utenfor leilighet	470	93	135	12	4	714
Annet + ukjent	547	85	159	10	3	804
SUM =	3568	374	428	26	14	4410

Arnested	Hvor ble brannen slokkes? [%]					Sum
	Startrom	Startetasje	Startbygning	Annen bygning	Ukjent	
Rom i leilighet	88,2 %	6,8 %	4,6 %	0,1 %	0,2 %	100 %
Utenfor leilighet	65,8 %	13,0 %	18,9 %	1,7 %	0,6 %	100 %
Annet + ukjent	68,0 %	10,6 %	19,8 %	1,2 %	0,4 %	100 %
Alle	80,9 %	8,5 %	9,7 %	0,6 %	0,3 %	100 %

Figur 4.9 viser hva som er registrert som årsak til at brannspredningen ble stanset. I de fleste tilfeller (67 %) er brannvesenets innsats angitt som en viktig faktor. Innsats av eier er angitt å ha betydning for å stanse brannspredningen i 35 % av branntilfellene. Med utgangspunkt i at 4 av 12 branntilløp ikke blir meldt (jmfør kapittel 5.7.2.3), er det trolig at huseier slokker brannen i mer enn 35 % av branntilfellene. Automatiske slokkeanlegg er ikke tatt med i statistikken til DSB i forbindelse med boligbranner.

Figur 4.9 – Hva stanset brannspredningen i boligbranner? (DSB 2007:26)



5. Teori og kunnskapsgrunnlag

5.1 Generelt

Dette kapitlet har som hovedhensikt å etablere et kunnskapsgrunnlag for;

1. hvordan branner i leiligheter kan modelleres, og
2. hvordan barrierer kan modelleres i en risikoanalyse

Kapitlet innledes med en redegjørelse for hvordan begrepet risiko håndteres i denne oppgaven. Kapitlet fortsetter med hvordan branner teoretisk kan modelleres, samt hvordan dette praktisk gjennomføres med CFD-verktøyet FDS (Fire Dynamics Simulator). Videre etableres det et kunnskapsgrunnlag for hvordan simuleringresultatene kan relateres til menneskers tålegrenser for brannlast, og til hvordan mennesker reagerer i en brannsituasjon. Kapitlet avsluttes med en gjennomgang av branntekniske tiltaks egenskaper som barrierer, og hvordan disse kan modelleres i en risikoanalyse.

5.2 Risikoanalyse

5.2.1 Risikoperspektiv

Hensikten med å utføre risiko- og sårbarhetsanalyser er at vi skal bli bedre i stand til å måle størrelsen på de farer/trusler som et gitt system utsettes for. På denne måten kan vi måle systemets evne til å møte farene (Aven m.fl. 2004). Risikoanalyser vil således gi et grunnlag for beslutninger som påvirker sikkerhet i systemet (Njå og Nilsen 2004).

Ulike fagmiljøer har ulike perspektiv på risiko. I denne oppgaven fremheves to perspektiver som gjerne brukes om hverandre i forbindelse med tekniske risikoanalyser (Aven 2005:37):

1. Klassisk perspektiv på risiko, og
2. Kunnskapsbasert og beslutningsorientert (Bayesiansk) perspektiv på risiko

Klassisk perspektiv på risiko

Modellen tar utgangspunkt i at det finnes en sann risiko, og at denne risikoen kan beregnes. For at dette skal være mulig må det etableres en analysemodell som beskriver virkeligheten slik den kommer til å bli. For å gjøre dette benyttes det hovedsakelig statistiske data fra hendelser i fortiden. Den klassiske modellen vil dermed ha to hovedutfordringer (Aven 2005:36-37):

1. Analysemodellen som er etablert kan være uegnet for å beskrive virkeligheten. Modellen vil derfor inneholde usikkerhet knyttet til å beskrive den sanne risiko.
2. Sannsynlighetene som brukes for å beregne den sanne risiko, tar utgangspunkt i at det finnes en sann sannsynlighet knyttet til de ulike barrierene i et system. En sannsynlighet er for øvrig ikke en observerbar størrelse, men snarere et tankeeksperiment, og det finnes derfor ingen sann sannsynlighet. I klassisk perspektiv behandles ofte usikkerheten knyttet til den sanne sannsynligheten med konfidensintervaller rundt en middelvei.

Selv om den klassiske modellen ofte forsøker å beregne en objektiv risiko, er usikkerheten som påpekes ovenfor, knyttet til subjektive valg i analysemodellen. Sannsynligheter for å beregne risiko baseres på relativ frekvens-sannsynligheter, som fremkommer ved å relatere den observerbare størrelsen (for eksempel antall svikthendelser per år for et sprinkleranlegg) til en populasjon av lignende systemer. Manglende informasjon om de ulike systemene, som er innebefattet i populasjonen for beregning av relativ frekvens-sannsynligheter, kan medføre at den beregnede sannsynligheten ikke passer med virkeligheten. Ifølge Aven (2005) vil det klassiske perspektivet derfor kun være brukbart til å gi en del usikkerhetsbetraktninger knyttet til en fiktiv verdi (Aven 2005:36).

Kunnskapsbasert og beslutningsorientert (Bayesiansk) perspektiv

I motsetning til den klassiske modellen, hvor usikkerheten er knyttet til estimeringen av en ukjent verdi (en sannsynlighet), er usikkerheten i den kunnskapsbaserte modellen knyttet til det som egentlig er usikkert: hvorvidt visse hendelser kommer til å inntreffe eller ikke. Denne usikkerheten uttrykkes ved subjektive sannsynligheter basert på analysegruppens/analytikerens "tro". Det vil si de uttrykker hvor stor mulighet en person/gruppe mener det er for at visse hendelser skal inntreffe, samt hvilke konsekvenser dette kan medføre. Hvorvidt denne sannsynligheten skal kunne vurderes som relevant eller ikke må knyttes opp til analysegruppens kompetanse og den bakgrunnskunnskapen sannsynlighetsfastsettelsen bygger på.

I det kunnskapsbaserte og beslutningsorienterte perspektivet brukes analysen som et redskap for å beskrive/måle usikkerhet, og formidle et klart budskap når det gjelder spørsmål som:

- Hvor stor er faren for gitte ulykkeshendelser (i forhold til sammenlignbar aktivitet, akseptkriterier)?
- Hva er de største bidragsyterne til risiko/upålitelighet?
- Hva er forskjellen i risiko/pålitelighet mellom løsningsforslag a og b?
- Hvilken effekt på risiko/pålitelighet vil bestemte tiltak gi?

Ved bruk av denne modellen er det mulig å få frem et informativt budskap, i og med at budskapet ikke er "forstyrret" av en diskusjon om usikkerhet i resultatene. De risiko- og pålitelighetstall som uttrykkes reflekterer analysegruppens vurderinger, basert på den tilgjengelige informasjon/kunnskap.

I denne oppgaven anerkjennes det at det finnes ulike perspektiv på risiko, og at et klassisk perspektiv på risiko åpenbart har en del svakheter knyttet til selve forståelsen av begrepet risiko, og hva som skal kommuniseres med en risikoanalyse. Den Bayesianske fremgangsmåten synes å ha en del fordeler knyttet til disse problemstillingene, ved at risiko behandles som en subjektiv størrelse, og som et mål på usikkerhet rundt en observerbar størrelse: hvorvidt en hendelse skal inntreffe, og hvilke konsekvenser dette medfører. Usikkerhet rundt sannsynligheter diskuteres ikke, da sannsynligheter er en fiktiv størrelse, som ikke kan tillegges usikkerhet. På tross av dette velges det likevel å legge til grunn et klassisk perspektiv på risiko i denne oppgaven, med følgende begrunnelse:

- Risikoanalysens hensikt her er å undersøke forskjeller i tekniske brannsikkerhetskonsept. Dette innebærer komparative risikoanalyser, der enkelte viktige faktorer knyttet til risikobegrepet holdes utenfor analysen. Dette gjelder blant annet sosiale faktorer knyttet til beboere i boligblokkene, aldersforskjell i bygningsmassen, enkelte "organisatoriske barrierer" osv. Resultatet av risikoanalysen bygger dermed på kun de faktorene som er vurdert som relevante for denne oppgaven, og resultatet blir følgelig et tankeeksperiment, men analysen vil gi sammenlignbare resultater for de ulike konseptene. Ettersom enkelte identifiserte, og viktige, faktorer med betydning for risiko velges å holdes utenfor analysen, synes det feil å legge til grunn et Bayesiansk perspektiv, da dette forfekter at all tilgjengelig kunnskap skal danne grunnlag for angivelse av sannsynligheter.
- Datagrunnlaget, knyttet til pålitelighet for ulike barrierer, foreligger i mange tilfeller som estimerer av en sann verdi, der usikkerheten er relatert til sannsynlighetene med konfidensintervaller. Dette er i utgangspunktet hvordan sannsynligheter behandles i et klassisk perspektiv. I den grad risikoanalyser brukes innenfor brannteknisk prosjektering, er det hovedsakelig et klassisk perspektiv på risiko som legges til grunn. Dette kjennetegnes for eksempel ved standardisering av pålitelighetstall for ulike barrieresystemer (se for eksempel den britiske standarden *PD 7974-7:2003 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Part 7: Probabilistic risk assessment*), med underliggende forståelse om at det finnes en sann verdi for barrierens pålitelighet. Bruk av disse data vil gjøre resultatene fra analysen sammenlignbare med hovedtyngden risikoanalyser innenfor fagområdet, noe som er vurdert som en kvalitet i seg selv.

Det henvises til Aven (2005, 2006 og 2007), Aven m.fl. (2004), Aven, Røed og Wiencke (2008) og Aven og Vinnem (2007) for en grundig diskusjon av forskjellene mellom ulike risikoperspektiv og bruken av det "Bayesianske paradigmet" innenfor risikoanalyser.

5.3 Brannmodellering

5.3.1 Generelt

Brannmodelleringer og beregninger er benyttet for å synliggjøre betydningen av variabler knyttet til ulike boligblokkkonsept. Relative forskjeller mellom konseptene fremgår ved å utsette de forskjellige konseptene for det samme brannscenariet. Selv om analysene kan påpeke de relative forskjellene, er imidlertid ikke nødvendigvis resultatene representative på generelt nivå. I prosjektet er det lagt vekt på at de brannscenariene som benyttes for de ulike vurderingene, skal være relevante og realistiske for problemstillingen. Samtidig anerkjennes det at utfallet av branner er avhengig av en mengde stokastiske variabler, som ikke på noen enkel måte kan behandles fullstendig med deterministiske metoder.

Brannmodellene kan gi grunnlag for å si noe om tilgjengelig rømningstid, eller tid frem til det oppstår kritiske og dødelige forhold i startbrannrommet. Den tilgjengelige tiden må være større enn den nødvendige tiden for rømning, for at personsikkerheten skal være ivaretatt i brannrommet.

5.3.2 Brannmodeller og reelle branner

I brannteknisk dimensjonering av konstruksjoner brukes det i de fleste tilfeller innvendig tid-/temperaturkurve (ISO 834-kurven) som dimensjonerende brannmodell, eller ”designbrann”. Det er som oftest denne kurven som blir benyttet når konstruksjonsdeler og produkter for bruk i byggverk (onshore) testes og klassifiseres for brannmotstand. Videre brukes kurven av rådgivende ingeniør for byggeteknikk (RIB), til å dimensjonere bærende konstruksjoner, basert på brannteknisk rådgivers (RIBR) premisser. Eksempel på dette er at RIBR stiller krav om at bærende konstruksjoner skal ha brannmotstand R60. Basert på denne premissen beregner RIB nødvendige dimensjoner på konstruksjonen, og eventuelt omfang av brannbeskyttelse, basert på relevante standarder. Med relevante standarder menes her for eksempel Norsk Standard, som er basert på ISO-834-kurven som beregningsgrunnlag.

I mer detaljerte branntekniske analyser kan brannmodeller brukes til å modellere brann- og røykutvikling i en bygning. Dette kan videre brukes som grunnlag for brannteknisk konsept og design av bygningen. I slike analyser brukes ofte brannmodeller som tar utgangspunkt i brannens varmeeffekt som funksjon av tid. Bakgrunnen for dette er at de fleste parametere som er av interesse i en brannteknisk analyse, som for eksempel røykutvikling, temperatur, flammehøyder og flammehastighet kan beregnes som en funksjon av brannens varmeeffekt, se for eksempel Drysdale (2002) og Buchanan (2002). Dette skiller seg fra bruk av standardiserte tid-/temperaturkurver, ved at det brukes et ”realistisk” brannforløp i stedet for et ”politisk bestemt” brannforløp, som blant annet ISO-834-kurven er et eksempel på. Med ”politisk bestemt” menes det at ISO-834 kurven gir uttrykk for en dimensjonerende last, som samfunnet aksepterer som et minimumsnivå. Det anerkjennes samtidig at en reell brann kan medføre betraktelig høyere temperaturer under visse omstendigheter, uten at disse brannene kan betraktes som dimensjonerende for bygningsdesign. Hensikten med å bruke standardiserte kurver har flere årsaker. De viktigste synes å være etablering av et felles sammenligningsgrunnlag for konstruksjoners ytelsesevne ved brannpåvirkning og forenkling av dimensjoneringsprosessen.

I faglitteraturen har man brannmodeller, som skal beskrive et reelt brannforløp. Disse brannene er ofte basert på brannforsøk og/eller branntekniske beregninger. Aktuelle referanser for brannmodeller er temaveiledning røykventilasjon HO-3/2000 (Statens bygningstekniske etat 2000), SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (DiNunno m.fl. 2002), An Introduction to Fire Dynamics (Drysdale 2002), Structural Design for Fire Safety (Buchanan 2002), Performance Requirements for Fire Safety and Technical Guide for Verification by Calculation (NKB 1994), og andre forskningsrapporter blant annet fra National Institute of Standards and Technology (NIST).

Figuren nedenfor er hentet fra Gupta m.fl. (2001), og beskriver fasene i et brannforløp. Figuren antyder at en brann ikke vokser konstant, men etter en viss tid kontrolleres og defineres som fullt utviklet. Tiden det tar før brannen er fullt utviklet, avhenger av mengden brennbart materiale og tilgangen på luft. En brann som vokser uten å være begrenset av lufttilgangen, omtales som *brenselkontrollert*. En brann som kontrolleres av lufttilgangen, omtales som *ventilasjonkontrollert*. Dersom lufttilgangen (og mengden brensel) er stor nok, vil det oppstå en overtenning i brannrommet. Overtenning er ikke definert som en fase i brannen, men et tidspunkt, hvor alle brennbare overflater i rommet involveres i brannen.

Overtenning er ofte definert som tidspunktet når temperaturen i røyklaget er om lag 600 °C, eller når varmestralingsintensiteten fra røyklaget er om lag 20 kW/m² på gulvnivå (Drysdale 2002:306). For å kunne modellere brannutvikling i denne oppgaven, beskrives i det følgende modeller for brannvekst, ventilasjonskontroll og slokkefasen (som følge av automatisk slokkeanlegg).

Figur 5.1 – Brannforløp med vekstfase, overtenning, fullt utviklet brann og reduksjonsfase



5.3.3 Modell for brannvekst

Brannvekst bestemmes av flere forhold, blant annet egenskapene til de materialene som brenner, rommets geometri og kledning/overflate på omhyllingsflater.

I denne oppgaven er det valgt å benytte en generell modell for brannvekst. Denne modellen definerer varmeeffektavgivelse [kW] fra brannen, som er en enkel kvadratisk tidsfunksjon. Ifølge Bukowski (2006) stammer disse kvadratiske tidsfunksjonene fra Heskestad og Delichatsios (1978), som observerte at vekstfasen i flammembranner ofte fulgte en polynomisk kurve. De fleste brenselstyper kunne beskrives på formen αt^2 , der α er en konstant relatert til brenselets brannveksthastighet [W/m²] og t er tiden [s] fra brannstart (Bukowski 2006:5 og Drysdale 2002:323). Siden slutten av 1970-tallet har αt^2 -branner blitt benyttet til å modellere brannvekst, og er også i dag, til tross for store usikkerheter, en vanlig måte å modellere tidligfasebrannvekst (se for eksempel Drysdale 2002, Bwala m.fl. 2004a, Bukowski 1995 og 2006, Nystedt 2001 og 2003, HO-3/2000, NKB 1994). Modellen er imidlertid kritisert for å være urealistisk enkel i forhold til å beskrive de komplekse sammenhengene knyttet til brannvekst. Samtidig finnes det branntestresultater som viser at denne enkle modellen i mange tilfeller beskriver et tidligfasebrannforløp på en god måte (Bwala m.fl, 2004a:5, Bounagui m.fl. 2005:7 og Drysdale 2002:323). Det er viktig å presisere at en modell er en, mer eller mindre, enkel matematisk beskrivelse av virkeligheten. I dette tilfellet er modellen meget enkel og vil ikke alene kunne beskrive de stokastiske prosessene som påvirker et brannforløp. Eksempler på stokastiske variabler som kan påvirke et brannforløp, er for eksempel antennelseskilden, antennelsesmateriale, brannrommets innredning og kledning/overflate på omhyllende flater.

Konstanten α i αt^2 -branner beskriver brannens akselerasjonshastighet med hensyn til varmeeffekt over tid. Det kan i realiteten velges en hvilken som helst α -verdi. Siden dette er en vanlig brukt brannmodell, er det etablert enkelte standardverdier for α relatert til hvorvidt man forventer en *langsom*, *middels*, *rask* eller *ultrarask* brannutvikling. I temaveiledning *Røykventilasjon HO-3/2000* (BE 2000) relateres disse verdiene til t_g , som er tiden det tar før brannen når en forhånds spesifisert referanseverdi, $t_g = 1\ 000$ kW. Tabellen nedenfor viser tid til 1 000 kW og tilhørende α for de ulike typene t^2 -brann.

Tabell 5.1 – Standard t^2 -branner (Nystedt 2003:52)

Brannutvikling	α	t_g	Eksempel på lokale (NKB, 1994)
Langsom	0,003	600 s	
Middels	0,012	300 s	Boligbygninger
Rask	0,047	150 s	Hoteller, skoler og kontorer
Ultrarask	0,190	75 s	Butikker

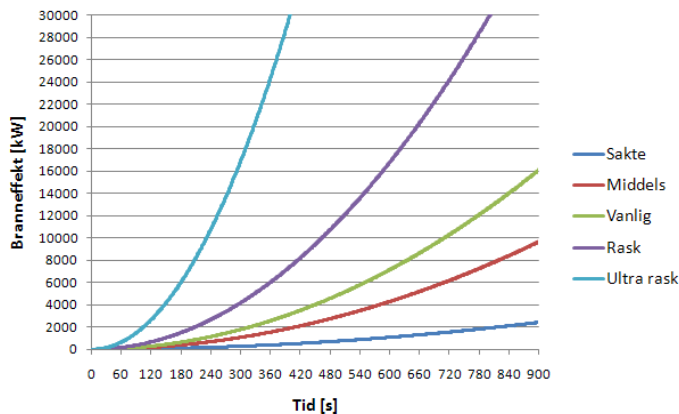
Basert på en litteraturgjennomgang utført av Nystedt (2003), fremkommer det at "medium" brannutvikling ofte blir benyttet for boligbygninger (Nystedt 2003:23). Selv om det nå er vanlig å relatere t^2 -kurvene til ulike bygningstyper, er kurvene i utgangspunktet basert på sammenligninger med brennende objekter. Kurvene kan følgelig sies å være spesielt egnede for tidligfasemodellering av brann, det vil si før brannen sprer seg til flere enn ett objekt.

I Norge brukes ofte HO-3/2000 (BE 2000) som grunnlag for å etablere brannmodeller, og da spesielt i forbindelse med dimensjonering av røykventilasjonssystemer. Temaveiledningen bygger i stor grad på underlag fra National Fire Protection Association (NFPA), USA, og introduserer spesifikk brannenergi [MJ/m^2] som en faktor for valg av brannveksthastighet. Det presiseres imidlertid at brannenergi ikke har noen direkte sammenheng med brannveksthastighet, men at dette er en faktor som introduseres for å forenkle beregningene. Dette synes hensiktsmessig ettersom VTEKs sjablongregler i stor grad er bygget opp med utgangspunkt i dimensjonerende spesifikk brannenergi. HO-3/2000 bruker også en brannveksttid, $t_g = 225$ s, med betegnelsen "vanlig" brann der brannenergien er 50 – 200 MJ/m^2 . Dette er følgelig en kurve som ligger mellom middels og rask brannvekst. Vanlig brannkurve ($t_g = 225$ s) anbefales brukt for boligbygninger (HO-3/2000:27).

Tabell 5.2 – Eksempel på lokaler og tilhørende t^2 -brann i henhold til HO-3/2000

Brannenergi [MJ/m^2 omhyllingsflate]	t_g	α	Eksempel på lokale (HO-3/2000)
Under 50	300 s	0,003	Kirke, idrettshall, kantine
50 – 200	225 s	0,020	Mekanisk verksted, teater, skole, kontor, bolig, garasje
200 – 400	150 s	0,047	Restaurant, klesvarebutikk
Over 400	75 s	0,190	Trevarefabrikk

Figur 5.2 – Branneffekt [kW] som funksjon av tid [s] for typiske α^2 -branner



I denne oppgaven er det benyttet tre brannveksthastigheter for branner i leiligheter, henholdsvis **middels, vanlig** og **rask**. Variasjonen av de ulike brannveksthastighetene er valgt for å ta hensyn til noe av den stokastiske variasjonen, som finnes med hensyn til for eksempel tennkilder, brannmateriale og brannplassering i en leilighet. Reguleringsforhold som kan påvirke brannveksthastigheten i leiligheter, vil være begrenset til de krav som stilles til materialbruk på omhyllingsflater i leilighetene, samt krav om romhøyde. Krav om minste romhøyde er, i dagens regelverk, ikke relatert til sikkerhet ved brann i TEK/VTEK § 7-2. Krav om automatiske slokkeanlegg vil også påvirke brannveksten, men da først og fremst i forhold til å begrense den maksimale varmeeffekten.

5.3.4 Ventilasjonkontrollerte branner

Tid fra brannstart til overtenning og ventilasjonkontroll avhenger av brannens lufttilgang. Dette gjelder både størrelse og plassering av ventilasjonsåpninger, samt når de faktisk er åpne og tilfører luft til brannen. I leilighetsbranner er vindusflater den største ventilasjonskilden. Det er følgelig av vesentlig betydning å vurdere hvordan ulik størrelse på vindusåpninger påvirker brannstørrelsen og tid frem til kritiske forhold i brannrommet. Kollaps av vinduer er et sentralt tidspunkt i et brannforløp. Samtidig er det forbundet stor grad av usikkerhet til nettopp denne type hendelse. Vindusbrudd er diskutert i påfølgende kapittel.

En brann i en vanlig leilighet vil etter en viss tid begrenses av den luftmengden som er tilgjengelig gjennom leilighetens åpningsflater. I denne oppgaven brukes det en enkel modell for å beskrive maksimal varmeavgivelsesrate i brannrommet, som følge av ventilasjonkontroll. Mer avanserte matematiske modeller for brannforløp, inkludert modeller for ventilasjonkontroll og nødvendige betingelser for overtenning, er tilgjengelig i blant annet Drysdale (2002). Hovedhensikten med denne oppgaven er imidlertid å vurdere risikoforskjeller ved ulike boligblokkkonsept, og det legges derfor ikke vesentlig vekt på avanserte matematiske modeller for brannutvikling. De enklere modellene er vurdert å gi tilfredsstillende kunnskap om eventuelle forskjeller mellom de ulike brannkonseptene. Modellenes enkelhet er også en forutsetning for å kunne gjøre ønsket antall beregninger.

Maksimal branneffekt i brannrommet, \dot{Q}_{\max} [kW], som følge av ventilasjonkontroll, beregnes med følgende uttrykk (Nystedt 2003:33):

$$\dot{Q}_{\max} = 1518A_0\sqrt{H_0}$$

Hvor:

\dot{Q}_{\max} er brannens maksimale varmeeffekt, som følge av ventilasjonsåpninger [kW]

A_0 er brannrommets åpningsareal, [m²]

H_0 er ventilasjonsåpningenes gjennomsnittlige høyde, [m]

Betingelser for overtenning i et brannrom er diskutert i blant annet Drysdale (2002) og Buchanan (2002). Buchanan (2002:61) bruker følgende uttrykk for å beskrive nødvendig branneffekt for overtenning i et brannrom, som funksjon av ventilasjonsareal:

$$Q_{FO} = 0.0078 A_t + 0.378 A_0\sqrt{H_0}$$

Hvor:

Q_{FO} er nødvendig varmeeffekt for overtenning i brannrommet, [MW]

A_t er brannrommets omhyllingsflate, [m²]

5.3.5 Vindusbrudd

For at ventilasjonsarealet i leiligheten skal kunne tilføre frisk luft til brannen, må vinduet enten være åpent, eller vindusflaten må knuse som følge av brannen. Modellering av vindusbrudd er en viktig faktor ved modellering av branner (Cuzzillo og Pagni 1998:1). I tillegg er brannmodellen benyttet i denne oppgaven, FDS, i likhet med de fleste andre brannmodeller, i hovedsak validert for å simulere brenselskontrollerte branner (se kap. 5.4.3 om validering av FDS). Dersom vinduene forutsettes å være intakte, vil brannen etter hvert bli underventilert (ventilasjonskontrollert) og følgelig nærme seg en tilstand FDS ikke er validert for.

Skelly (1990) presenterer resultater fra egne eksperimenter og litteraturstudier knyttet til vindusbrudd i branner. Det skilles mellom to hovedtyper vindusflater: de som er isolert rundt kanten (plassert i en ramme) og de som er helt eksponert mot brannrommet, uten en beskyttende og isolerende ramme. Bakgrunnen for å dele opp vindusflater i disse to kategoriene, er den mekanismen som er avgjørende for vindusbrudd: termisk spenning, som følge av temperaturforskjeller over glassflaten (Skelly 1990 og Cuzzillo og Pagni 1998). Skelly (1990:5) refererer til Pagni (1988), som bruker følgende analogi til å forklare hvorfor glass knuser når det eksponeres for høye temperaturer ved brann:

“A window brakes in a fire for the same reason that an ice cube cracks when placed in a liquid. Thermal expansion places the cooler portion in tension. The exposed window heats and expands placing its cooler shaded edge in tension until it cracks at a small defect, usually at the top inner edge.”

Skelly (1990:48-50) konkluderer med at vinduer med isolerte kanter blir ujevnt oppvarmet, og utsatt for termisk spenning, samt at de kollapser som en funksjon av temperaturforskjellen mellom isolert kant og glassets branneksponte flate. Denne temperaturforskjellen er funnet å være gjennomsnittlig 90 °C i de utførte eksperimentene. Vinduer som ikke er isolert ved kantene, får en homogen oppvarming og tåler høyere temperaturer. Gjennomsnittstemperaturen på disse glassenes overflate ved sprekke dannelse var ca 200 °C. Når disse ikke-isolerte vinduene sprekker, forekommer det heller ikke en fullstendig kollaps, som ofte er tilfellet for vinduer med isolerte kanter. Konsekvensen er oftest at glasset sprekker, men at det fortsatt holdes på plass i rammen uten at det etableres noen nye, større ventilasjonsåpninger for frisklufttilgang til brannen.

Vanlige vinduer, som benyttes i hus og leiligheter, er plassert i rammer som vil isolere vindusrutens ytterkanter for oppvarming ved brann. Når disse vinduene sprekker, er det sannsynlig at glasset kollapser og etablerer en større åpning for frisklufttilgang til brannen. Skelly (1990:4) refererer til arbeid utført av Keski-Rahkonen, som kom frem til følgende uttrykk for sammenhengen mellom spenninger i vindusflaten som følge av temperaturforskjeller:

$$\sigma_y = E\beta(T_\infty - T_0)$$

Hvor:

- σ_y er normal spenning nødvendig for vindusbrudd [47 MPa]
- β er lineær termisk ekspansjonskoeffisient [$9,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$]
- E er Youngs elastisitetsmodul ("E-modul") [70 000 MPa]
- T_∞ er temperaturen på den oppvarmede glassflaten
- T_0 er temperaturen på den isolerte kanten av vinduet

Målinger av materialdata i forbindelse med Skellys eksperimenter er bakgrunnen for overnevnte faktorer. Satt inn i uttrykket er temperaturforskjellen som er nødvendig for vindusbrudd, ($T_\infty - T_0$), beregnet til 71 °C. Skelly refererer til ulike kilder, som med ulike materialdata for glassflaten, opererer med en temperaturforskjell ned mot 58 °C – 60 °C. Skelly konkluderer med at en temperaturforskjell på 70 °C bør benyttes som kriterium for vindusbrudd i brannmodelleringer. Anbefalingen avviker fra hans

egne målinger med om lag 20 °C. Skelly forklarer avviket med at termoelementene som måler den eksponerte glassflatens temperatur i eksperimentene, er utsatt for direkte varmestråling, mens termoelementene som måler de isolerte kantene, ikke blir utsatt for varmestråling. Dette betyr at den faktiske temperaturen på den eksponerte flaten er lavere enn det målingene viser, og temperaturforskjellen mellom brannekspontert flate og isolerte kanter er mindre enn det målingene viser. Skelly konkluderer derfor med at overnevnte uttrykk for spenning i glassflaten kan benyttes (Skelly 1990:54-55).

Usikkerhet knyttet til vindusbrudd

Overnevnte kriterier for vindusbrudd er grove estimater, og hovedsakelig basert på testing av vindusbrudd for enkle vindusruter. Usikkerheter i modellene er følgelig knyttet til ruter med flere lag, som er mest vanlig i Norge i dag. Cuzzillo og Pagni (1998) adresserer dette temaet i en artikkel om termisk brudd i doble vinduskonstruksjoner. Artikkelen oppsummerer det matematiske grunnlaget for beregning av vindusbrudd i flerlags glasskonstruksjoner, med beregningsprogrammet *BREAK1*. Forfatterne vinkler artikkelen sin inn mot to brannscenarier: innvendige rombranner og utvendige terrengbranner. Konklusjonen i artikkelen er at det første laget i glasset i stor grad vil forhindre oppvarming av det andre laget, som følge av refleksjon/absorpsjon av varmestråling. Når det første laget knuser, starter oppvarmingen av det andre laget. For utvendige terrengbranner, med en intens, men kortvarig brannpåkjenning, kan tolagskonstruksjonen gi den ekstra tiden som trengs for å hindre brannspredning inn i huset. For en innvendig rombrann, hvor det første glasslaget har kollapset, vil tiden til kollaps av lag nummer to kun ta sekunder på grunn av brannens intensitet og temperatur (Cuzzillo og Pagni, 1998:8).

I tillegg til glassets lagstruktur, adresserer ikke modellene ovenfor eventuelle temperaturgradienter som følge av stor forskjell mellom inne- og utetemperatur. I Norge kan forskjellen mellom ute- og innetemperatur i utgangspunktet være meget stor, gjerne opp mot 30-40 °C når brannen starter. En slik temperaturforskjell kan medføre vindusbrudd som følge av helt andre mekanismer enn temperaturforskjellen mellom glassets overflate og isolerte kanter. Dette vil spesielt ha betydning for tykkere glasstyper (Skelly 1990:56). I denne oppgaven er det ikke gjort videre undersøkelser knyttet til konsekvensen av store forskjeller i inne- og utetemperatur, og vindusbrudd. Overnevnte modell, som beskriver vindusbrudd som en funksjon av temperaturøkning ved vindusflaten, er vurdert som tilstrekkelig for prosjektets mål og hensikt.

5.3.6 Sprinklerkontrollerte branner og slokkemodell for sprinkleranlegg

5.3.6.1 Sprinkleraktiveringstid

Et konvensjonelt sprinkleranlegg, eller boligsprinkleranlegg, dimensjoneres for å slokke eller kontrollere en brann tidlig i brannforløpet. For mer detaljer om sprinkleranleggets funksjon: se kapittel 5.7.3.

Ved modellering av sprinklereffekt i denne oppgaven, er det tatt utgangspunkt i at sprinkleranlegget utføres med tidligaktivering (rask respons sprinklerhoder med $RTI \leq 50 \sqrt{ms}$). Tiden fra brannstart til sprinkleraktivering er beregnet med programmet *FPETool* (Nelson 1990), som bruker følgende variabler til å beregne tid fra brannstart til sprinkleraktivering:

- *Høyde fra brannflate til sprinklerhode, H [m].* Det er benyttet to ulike takhøyder i denne oppgaven, på henholdsvis 2,6 m og 3,0 m. Brannens plassering er forutsatt 0,2 m over gulvet. Dette gir $H_1 = 2,4$ m og $H_2 = 2,8$ m.
- *Horisontal avstand/radius fra brann til sprinklerhode = 1,85 m (= 3,7 m /2).* Avstand mellom sprinkler i et boligsprinkleranlegg skal være minst 2,4 m (prNS-INSTA 900-1:2008:36). Maksimal avstand mellom sprinklerhoder skal være i henhold til de ulike leverandørenes spesifikasjoner. I retningslinjer for boligsprinkleranlegg (2001) er det angitt en minimumsavstand på 2,5 m og en maksimal avstand på 3,7 m (FG m.fl. 2001:9).
- *RTI-verdi sprinklerhode = $50 \sqrt{ms}$*

- Initialtemperatur i brannrom, $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Utløsningstemperatur sprinklerhode, $T_{spr} = 67 \text{ }^\circ\text{C}$. Dette er basert på at vanlige boligsprinklerhoder har utløsningstemperatur på 57-77 $^\circ\text{C}$ (prNS-INSTA 900-1:2008:10)
- Branntype: "Medium", "Vanlig" og "Rask" α^2 -brann

Tabell 5.3 – Sprinkleraktiveringstid og effekt ved sprinkleraktivering

Branntype	Høyde (brannflate – tak)	Sprinkleraktiveringstid	Branneffekt ved sprinkleraktivering
Medium	$H_1 = 2,4 \text{ m}$	168 s	331 kW
	$H_2 = 2,8 \text{ m}$	181 s	384 kW
Vanlig	$H_1 = 2,4 \text{ m}$	136 s	370 kW
	$H_2 = 2,8 \text{ m}$	146 s	426 kW
Rask	$H_1 = 2,4 \text{ m}$	100 s	469 kW
	$H_2 = 2,8 \text{ m}$	107 s	537 kW

Til sammenligning med beregningene utført med FPETool, angir HO-3/2000 følgende sprinkleraktiveringstid med 3 m takhøyde:

- Medium branntype: 2,5 min (150 s)
- Vanlig branntype: 2,0 min (120 s)
- Rask branntype: 1,5 min (90 s)

Sprinkleraktiveringstidene beregnet med FPETool, og tabellverdiene i HO-3/2000 er i samme størrelsesorden. Resultatene fra beregningene med FPETool vurderes derfor som tilstrekkelig nøyaktige for denne oppgaven.

5.3.6.2 Slokke- og kontrollfase som følge av sprinklerpåvirkning

Ved modellering av sprinklereffekt, er det vanlig at brannens effekt ved sprinkleraktivering holdes konstant i resten av simuleringstiden. Dette er en konservativ vurdering, da det viser seg at brannen i de fleste tilfeller enten slokkes, eller kontrolleres på et minimalt nivå etter sprinkleraktivering (se kapittel 5.7.3 for mer om sprinkleranleggets slokkeeffekt). I denne oppgaven er det benyttet følgende slokkemodell (McGrattan m.fl. 1998:77):

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 e^{-k(t-t_0)}$$

$$k = 0,176 \dot{m}_w'' - 0,0131 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

Hvor:

\dot{Q} er brannens varmeeffekt ved tiden, t [kW]

\dot{Q}_0 er brannens varmeeffekt ved sprinkleraktivering, $t = t_0$ [kW]

k er en konstant knyttet til sprinkleranleggets vannspray over brannarealet (se nedenfor) [s^{-1}]

t er tiden [s]

t_0 er tiden for sprinkleraktivering [s]

\dot{m}_w'' er vannstrømningsrate [$\text{kg/m}^2/\text{s}$]

Faktoren, k , er avhengig av størrelsen \dot{m}_w'' , som er vannstrømningsraten [kg/s] over sprinklerdekningsområdet, dividert med det eksponerte arealet [kg/m²/s] (McGrattan m.fl. 1998:77). Uttrykket er i utgangspunktet utledet for sprinklerinnvirkning på branner i lagerreoler, men brukes likevel i denne oppgaven.

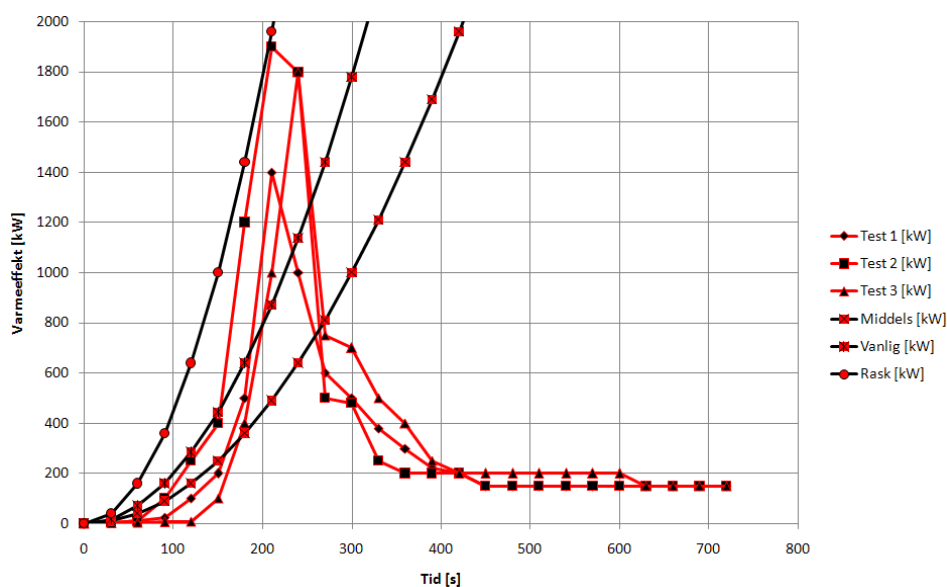
Dimensjonerende vannmengde for et boligsprinkleranlegg er i henhold til FGs retningslinjer, 68 liter per minutt (FG 2001:11). Dekningsarealet per sprinklerhode er forutsatt å være i henhold til minimumsgrensene i FGs retningslinjer, det vil si $2,5 \times 2,5 \text{ m}^2 = 6,25 \text{ m}^2$. Størrelsen \dot{m}_w'' , og konstanten k , beregnes dermed til henholdsvis $\dot{m}_w'' = 0,18 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ og $k = 0,02 \text{ s}^{-1}$.

I en studie utført av SINTEF i 2002, forutsettes det at aktivering av sprinkleranlegget reduserer utviklet varmeeffekt til en tredel av verdien før sprinkleranlegget ble aktivert (Mostue og Stensaas 2002:66). I en annen studie, utført av SINTEF i 2003, er det valgt å modellere varmeeffekten med en reduksjon til en tittel av maksimaleffekt, ved aktivering av sprinkleranlegget. Denne forutsetningen bygger blant annet på figur 5.3, som viser resultater fra tre tester med boligsprinkler, utført ved Statens Provningsanstalt (SP) i Sverige (Mostue, Stensaas og Wighus 2003:21). De opprinnelige dataene er overført til et regneark, slik at det kan gjøres en sammenligning med standardiserte αt^2 -kurver, henholdsvis medium, vanlig og rask. Dette medfører noe unøyaktighet i forhold til de opprinnelige dataene, men gir et bilde på brannveksthastigheten sammenlignet med standardiserte kurver, maksimal branneffekt ved sprinkleraktivering og effekt etter sprinkleraktivering.

Ved aktivering av sprinkleranlegget reduseres varmeeffekten fra mellom 1 400 – 1 800 kW til om lag 200 kW, det vil si en reduksjon i branneffekt på mellom 86 og 88 %. Testene er utført med en brann i stol, med antennelse på stolens side i test 1 og 3, og på stolens sete i test 2. I test 3 var rommets omhyllingsflater kledd med gips (Mostue, Stensaas og Wighus 2003:21). Det anmerkes at testene utført ved SP i Sverige har betraktelig høyere branneffekter ved sprinkleraktivering, enn det som fremkommer ved å bruke FPETool og HO-3/2000. Det er ikke kjent hvilke aktiveringskriterier som ble benyttet i testene ved SP, og resultatene brukes derfor bare til å si noe om sprinkleranleggets kontrolleffekt.

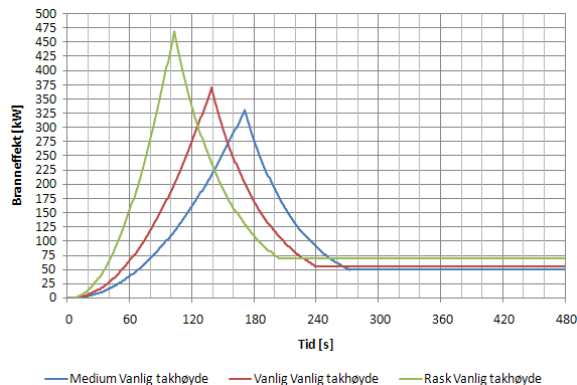
I denne oppgaven er det forutsatt at sprinkleranlegget reduserer branneffekten til 15 % av branneffekten ved sprinkleraktivering. Det er imidlertid utført en sensitivitetsanalyse med en rask branntype, hvor sprinkleraktiveringstiden fordobles til 200 s (i henhold til figuren nedenfor), og kontrolleffekten settes til en tredel (33 %) av branneffekten før sprinkleraktivering.

Figur 5.3 – Sammenligning av data fra branntester med standardiserte brannkurver

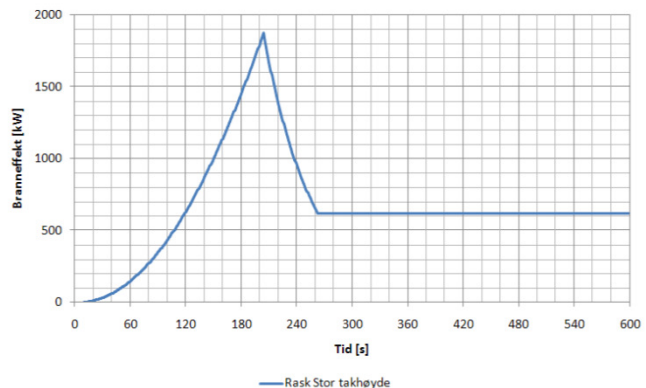


Figurene nedenfor viser branneffektkurvene, som kontrolleres av sprinkleranlegget. Det er relativt liten forskjell i sprinkleraktiveringstid og resulterende branneffekt, som følge av variasjon i takhøyde fra 2,6 m til 3,0 m. Derfor blir det bare utført brannsimuleringer med brannkurve for "normal" takhøyde, det vil si 2,6 m. Figur 5.5 viser branneffektkurven dersom det forutsettes at sprinklerutløsningstiden fordobles ved rask brannvekst, samt at sprinkleranlegget forutsetter å redusere branneffekten til en tredel (33 %) av branneffekten ved sprinkleraktivering.

Figur 5.4 – Branneffektkurver ved sprinklerkontroll. Effektreduksjon til 15 % av varmeeffekt før sprinkleraktivering.



Figur 5.5 – Branneffektkurve (rask) ved fordoblet sprinkleraktiveringstid og kontrollreduksjon til 33 %



5.3.6.3 Unøyaktigheter i slukkemodellen

Slukkemodellen for sprinkleranlegget er en enkel modell, med flere unøyaktigheter i forhold til virkelig sprinklereffekt. Tre kjente unøyaktigheter omtales her:

1. Temperaturutvikling
2. Sikt
3. CO-produksjon

Ved aktivering av sprinkleranlegget, vil røyklaget rask kjøles ned som følge av tilførsel av kaldt vann. Denne effekten tas det ikke hensyn til i slukkemodellen beskrevet ovenfor. Modellen reduserer kun varmeeffekten, uten å ta hensyn til selve vanntilførselen i brannrommet. SINTEF NBL har utført beregninger med tilsvarende slukkemodell, og anslår at sprinkleranlegget vil redusere temperaturen til om lag 60 % av den beregnede temperaturen, som er basert på varmeeffektkurven (Mostue og Stensaas 2002:23). Modellen kan forsvares ved at de beregnede temperaturene vil være på ugunstig side med hensyn til å beskrive brannrisiko i leiligheten.

Sikten i brannrommet vil reduseres ved sprinkleraktivering, som følge av omrøring av røykgasser og sprinklervann, økt produksjon av røykpartikler pga ufullstendig forbrenning, og redusert lysmengde fra brannen (Drangsholt og Rossebø 2006:27). Denne effekten tas det ikke hensyn til i slukkemodellen beskrevet ovenfor. Modellen kan forsvares ved at redusert sikt ikke er dødelig. Redusert sikt kan medføre at rømningstiden blir lengre enn dersom sikten er god, samt at det pustes inn mer røykpartikler, som kan være skadelige. Testkriteriene for boligsprinkleranlegg er basert på at det skal gå an å overleve i "sprinklerrøyk" i 15-20 minutter. Drangsholt og Rossebø (2006:31) viser at miljøet etter sprinklerutløsning av et boligsprinkleranlegg ikke er kritisk for mennesker med normal helse. Innånding av narkotiske gasser i røyken kan føre til bevisstløshet, selv om det ikke oppstår dødelige forhold i leiligheten. Den økte tiden til kritiske/dødelige forhold, eller at det ikke oppstår dødelige forhold, øker sannsynligheten for at brannvesenet kan redde ut bevisstløse mennesker.

CO-produksjon i en brann er en funksjon av mengden forbrent brensel. Ved sprinkleraktivering kan det forventes større grad av ufullstendig forbrenning, noe som øker andelen CO (og andre røykpartikler) per forbrent mengde brensel. Denne effekten tas det ikke hensyn til i sløkkemodellen beskrevet ovenfor. Modellen kan forsvares med at branneffekten er den viktigste variabelen knyttet til produksjon av giftige brenselprodukter i en brann. CO-produksjon samt produksjon av andre røykpartikler, kan beskrives som en funksjon av branneffekten. Ved sprinkleraktivering reduseres branneffekten betraktelig, noe som samlet sett reduserer CO-produksjonen og produksjonen av andre røykpartikler. Selv om andelen produsert CO og røykpartikler øker, reduseres den samlede mengden forbrent brensel (Peacock og Babrauskas 1991:269). Basert på dette er det valgt å utelukke betydningen av ufullstendig forbrenning i sløkkemodellen i denne oppgaven.

5.4 Brannsimulering – CFD-analyse

5.4.1 Generelt

Dette kapitlet gir en beskrivelse av simuleringverktøyet som brukes for å modellere branner i de ulike leilighets- og boligblokkkonseptene. Hensikten med brannmodelleringene er, som tidligere nevnt, å undersøke konsekvensene av brann i leiligheter og blokker, uttrykt som tid frem til kritiske forhold i brannrom og rømningsveier. Forskjellen mellom ulike konsepter synliggjøres gjennom endring av variabler som har betydning for brannsikkerheten. Det er valgt å begrense prosjektet til å se på følgende hovedvariabler i brannsimuleringene:

- *Brannveksthastighet:* Det er valgt å benytte en generell α^2 -modell for å beskrive branneffektutviklingen i brannens startfase. Verdien α beskriver veksthastigheten, mens t er tiden fra brannstart. For boliger brukes ofte α -verdien for ”vanlig” brannvekst, som tilsvarer $\alpha = 0,020 \text{ kW/s}^2$ (HO-3/2000). I internasjonal litteratur er det vanlig å bruke α -verdi tilsvarende ”medium” brannvekst, der $\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$ (blant annet NKB 1994) det vil si en noe mer moderat brannutvikling enn det som beskrives i HO-3/2000. Det er også sett på hvilke konsekvenser en ”raskt” voksende brann, $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$, har for tid fra brannstart frem til kritiske forhold i brannleiligheten.
- *Sotproduksjonsrate:* Variabelen er avhengig av hvilket materiale som brenner. Tre/cellulosematerialer har en sotproduksjonsrate på om lag 1,5 %, mens typiske plastprodukter har en varierende sotproduksjonsrate på 10-20 % (DiNunno m.fl. 2002:3-111 – 3-115). I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i nevnte sotproduksjonsrater, samt en kombinasjon av disse, for å simulere brann i typiske treprodukter og plastprodukter. Brann i treproduktene er angitt en sotproduksjonsrate på 1,5 %. Plastproduktet er simulert som polyuretan med sotproduksjonsrate på 15 % (gjennomsnittsverdi). Kombinasjonsproduktet er simulert som polyuretan med redusert sotproduksjonsrate til 8 %, som tilsvarer gjennomsnittsverdien for typiske syntetiske materialer (DiNunno m.fl. 2002:3-111 – 3-115).
- *Leilighetens størrelse:* Det er generelt valgt å benytte gjennomsnittsverdier knyttet til å beskrive brannrisiko i denne oppgaven. For å undersøke hvordan romstørrelse påvirker tid frem til kritiske forhold ved brann, er det gjort brannsimuleringer med to leilighetsstørrelser, henholdsvis om lag 70 m² som standard, og om lag 35 m² som alternativ. Den mindre leiligheten representerer også et eksempel på en brann i et avgrenset rom i en større leilighet.
- *Takhøyde:* I de første norske bygningslovene (1827 – 1924) var det krav om minste fri høyde på 2,5 m (4 alen) til underkant av frittliggende bjelke. I dagens utgave av VTEK § 10-31 *Planløsning og størrelse* bør ikke romhøyde være mindre enn 2,4 m. For arbeidsrom anbefales en romhøyde på minst 2,7 m. I denne oppgaven er det derfor sett på hvilke konsekvenser større romhøyde har for tiden frem til kritiske forhold i brannrommet. Det er benyttet en typisk romhøyde på 2,6 m og alternativ romhøyde på 3,0 m.
- *Rømningsveier:* Det er gjennomført simuleringer med fokus på barrierer mellom brannrom og rømningsveier, det vil si sluseløsninger og korridorer.

5.4.2 Feltmodeller basert på Computational Fluid Dynamics (CFD)

Brann tekniske modelleringsverktøy kan deles inn i to hovedkategorier: sonemodeller og feltmodeller. Sonemodeller brukes ved beregning av brann i innelukkede områder hvor det forutsettes en tosoneinndeling, med et varmt røyklag øverst og en kald sone under. Tosonemodeller er ofte en god tilnærming til brannutviklingen i brannrommet dersom brannen ikke er for liten, for eksempel ved en ulmebrann (Stensaas og Mostue 2005:86). Ved ulmebrann oppstår det ikke noen tosoneinndeling, men et diffust, kaldt røyklag, som fyller hele brannrommet.

Feltmodeller begrenser seg ikke til en tosoneinndeling, men deler hele "beregningsområdet/-objektet" inn i kontrollvolum. Beregningsobjektet blir bestående av et nettverk (grid) av celler. Feltmodellene anvender fundamentale likninger fra fluidmekanikken til å beregne tilstand og forandring i tilstand i hver celle. Likningene består generelt av et sett av tredimensjonale, tidsavhengige, ikke-lineære, partielle differensiallikninger, som kalles Navier-Stokes-likninger. Likningene uttrykker matematisk bevaring av masse, impuls og energi for brannrommet. Computational Fluid Dynamics (CFD) er selve prosessen knyttet til å løse Navier-Stokes-linkingene ved hjelp av datamaskiner (Stensaas og Mostue 2005:90).

CFD-analyser gir, til forskjell fra brann tekniske håndberegninger, muligheter for å simulere strømming av væsker og gasser i store volum, der den fysiske tilstanden i de enkelte cellene beregnes som funksjon av tilstanden i de andre cellene i modellen (Stensaas og Mostue 2005:90). Feltmodeller, basert på CFD-teknologi, har et fortrinn i forhold til tosonemodeller, ved at de ikke begrenser seg til brannrom med en klar tosoneinndeling, men kan ta hensyn til de elementene som finnes i rommet og deres innvirkning på strømmingen i rommet (McGrattan 2007:6-29).

Det finnes en mengde generelle feltmodeller for beregning av strømningsrelaterte problemer, hvorav flere også kan brukes til å beregne strømming som følge av brann. Stensaas og Mostue (2005:90) nevner Fluent, CFX, og Jasmine som eksempler på generelle modeller som også kan brukes til brann. Smartfire, Sofie, Kameleon FireEx (KFX), Vessfire og Brilliant er eksempler på CFD-modeller som er spesielt utviklet for brannproblematikk. Fire Dynamics Simulator (FDS) er et tilsvarende eksempel.

5.4.3 Fire Dynamics Simulator (FDS)

5.4.3.1 Programvaren

Programvaren som har blitt brukt for å modellere brannscenariene i denne oppgaven, er Fire Dynamics Simulator (FDS), versjon 4. FDS er utarbeidet, og blir vedlikeholdt av U. S. National Institute of Standards and Technology (NIST). Resultatene fra FDS visualiseres gjennom programmet SmokeView, versjon 4. FDS og SmokeView er fritt tilgjengelig på NISTs hjemmesider (<http://fire.nist.gov/fds>). Det anmerkes at det finnes tilgjengelig en publisert versjon 5 av FDS. Foreløpig er hovedtyngden av valideringsdata knyttet til versjon 4. Derfor benyttes denne versjonen i denne oppgaven.

5.4.3.2 Egenskaper ved FDS

FDS er begrenset til termisk drevet lavhastighetsstrømming med hovedfokus på transport av røyk og varmetransport ved branner (McGrattan 2007:2-1). I praksis betyr dette at modellen håndterer strømningshastigheter i forbindelse med for eksempel røyk- og flammebevegelse. Modellen kan imidlertid ikke benyttes i forbindelse med for eksempel eksplosjoner.

FDS, som øvrige CFD-modeller, benytter seg av en form av Navier–Stokes-ligninger. Likningene er tilpasset for bruk på strømnings, som blir drevet frem av temperaturforskjeller. Strømningslikningene er basert på konservering/bevaring av masse, moment og energi i et tredimensjonalt beregningsområde, som funksjon av tid. Strålingsmodellen er basert på "finite volume technique", relatert til det samme beregningsområdet og grid som strømningslikningene (McGrattan 2005:5). Ved hjelp av disse likningene kan de interessante variablene for brannen, som blant annet røyktetthet, hastighet, temperatur og trykk, beregnes som funksjon av tid.

FDS benytter seg av et rektangulært grid. Modellen kan følgelig ikke modellere buede/avrundede konstruksjonsformer eksakt, men må tilpasses et rektangulært grid. For en standard leilighet i en

boligblokk er dette en relativt begrenset utfordring, da de fleste konstruksjoner er rektangulære og kan enkelt tilpasses et rektangulært grid.

5.4.3.3 Validering

FDS er validert av NIST og av andre forskningsinstitusjoner. Dokumentasjon fra NIST er tilgjengelig i Technical Reference Guide på internett (<http://fire.nist.gov/fds/>). Siden FDS er en fritt tilgjengelig modell, har mange forskere og branningeniører tatt modellen i bruk. Modellen har fått mye oppmerksomhet i det branntekniske fagmiljøet, noe som har ført til mye valideringsarbeid. Det er publisert en mengde forskningsmateriale hvor FDS er benyttet og vurdert opp mot eksperimentelle forsøk, turbulensforskning (Large Eddy Simulation) og pyrolyse.

I forbindelse med konferansen Interflam 2007 (Fire Safety & Engineering Conference, Royal Holloway College, University of London, UK), ble det publisert en mengde artikler der FDS ble benyttet, enten som verktøy i forbindelse med analyser, eller i forbindelse med valideringsarbeid av modellen eller submodeller i FDS. Se blant annet Ferraris m.fl. (2007), Hurley og Munguia (2007), Schneider (2007), Merci og Van Maele (2007), Bryner m.fl. (2007), Toris m.fl. (2007), Tinaburri og Ponziani (2007) og Coles m.fl. (2007).

Av rene valideringsstudier kan arbeidet til Bounagui m.fl. (2003 og 2005) og Friday og Mowrer (2001) trekkes frem. I disse studiene er resultater fra brannekspesimenter i boliger og mindre brannrom sammenlignet med resultater fra FDS. Hensikten med arbeidet er å vurdere FDSs evne til å predikere/gjenskape resultater fra en reell brann. Det konkluderes med at FDS er et verktøy, som under forutsetning av gode grid-sensitivitetsanalyser, med rimelig god nøyaktighet kan gjenskape resultater fra sammenlignbare branntester.

University of Edinburgh utførte sommeren 2006 med økonomisk støtte fra BRE (Building Research Establishment Ltd), TV-kanalen BBC, EPSRC (Engineering and Physical Sciences Research Council) og The Technology Strategy Board (sammenlignbart med virksomheten til *Innovasjon Norge*) fullskala branntester i leiligheter i en riveferdig boligblokk. Som en del av studien, ble det innhentet *a priori*-brannmodelleringer (hovedsakelig utført med FDS4) fra ulike aktører, for å undersøke modellenes (og modellerernes) evne til å predikere brannutvikling i eksperimentleiligheten. Etter brannekspesimentene gjennomførte University of Edinburgh *a posteriori*-modelleringer, der resultatene fra eksperimentene ble forsøkt gjenskapt med FDS (Rein m.fl. 2007).

Konklusjonen fra analysearbeidet i Edinburgh, er at det er særdeles komplisert å predikere brannutvikling i en leilighet, uten kjennskap til kritiske variabler med betydning for modellen. Den viktigste variabelen er varmeavgivelsesraten, samt forutsetninger som legges inn for varmestrålingsandel (som er en fraksjon av varmeavgivelsesraten). Sistnevnte variabel har stor betydning for tiden frem til antennelse av "objekt nummer to", og dermed også tiden frem til overtenning og eventuelt vindusbrudd. Førstnevnte variabel, varmeavgivelsesraten, har betydning for flere undervariabler i FDS, da mange prosesser modelleres som en fraksjon av varmeavgivelsesraten (blant annet varmestråling fra flammen, sotproduksjon, CO-produksjon og CO₂-produksjon). A posteriori-modelleringen viser at dersom varmeavgivelsesraten modelleres riktig, vil modellen gi et godt bilde av gjennomsnittstemperaturer i røyklaget, sammenlignet med eksperimenter (Jahn m.fl. 2009, Rein m.fl. 2007).

Basert på tilgjengelig valideringsdokumentasjon, er FDS vurdert som relevant for denne oppgaven. I simuleringsarbeidet, vil varmeavgivelsesraten være forhåndsdefinert. Dette reduserer usikkerhet knyttet til modellens begrensede evne til å predikere varmeavgivelsesraten. En del av oppgavens fokus er å se på hvilken betydning endringer i varmeavgivelsesraten, har for tiden frem til kritiske forhold i en brennende leilighet. Da brannekspesimenter ikke kan gjennomføres innenfor oppgavens økonomiske eller tidsmessige rammebetingelser, er FDS vurdert som en god erstatning.

5.4.3.4 Sub-modeller i FDS

Generelt

Med FDS har man mulighet til å velge beregningsmodell for blant annet forbrenning, turbulens og stråling. Bakgrunnen for dette er at de ulike modellene har forskjellige områder hvor de er egnet for bruk. I denne oppgaven er de valgte modellene "default"-modellene i FDS, da disse modellene har hovedtyngden av valideringsdokumentasjonen. Der ikke annet er spesifisert, er "default"-innstillinger i FDS blitt brukt, ref FDS User's Guide 2005. De viktigste submodellene som er benyttet redegjøres for i det følgende.

Forbrenningsmodell: Mixture Fraction Model

Det finnes i utgangspunktet to metoder for å simulere forbrenning i CFD-modeller: 1) volumetrisk varmekilde og 2) kjemisk modellering. Førstnevnte metode består av å spesifisere en forhåndsdefinert varmekilde, med forbrenningsprodukter over et volum i strømningsfeltet (beregningområdet). Kjemisk modellering gir mulighet til å beregne forbrenningen direkte, ved å implementere de kjemiske reaksjonene ved pyrolyse og antennelse av brennbare gasser. FDS benytter seg, som "default-verdi", av *Mixture fraction model* for forbrenning. Dette er en kjemisk forbrenningsmodell.

En kjemisk forbrenningsmodell er, sammenlignet med en volumetrisk varmekilde, mer tidkrevende å prosessere, som følge av de ekstra mulighetene den har for å beskrive et brannforløp (Hadjisophocleous og McCartney 2005:12). I denne oppgaven er brannutviklingen i de beregnede scenariene forhåndsdefinerte. Alle overflater i rommet er definert som ubrennbare for å ha full kontroll på effektutviklingen. Følgelig kunne det like gjerne vært benyttet en volumetrisk varmekildemodell for å spare prosesseringstid. *Mixture fraction model* er likevel valgt da denne innehar det meste av valideringsdokumentasjonen knyttet til FDS.

Mixture Fraction Model fungerer slik at "pakker" med brensel blir slynget ut i beregningsdomenet med en bestemt rate for å bestemme energiutviklingen i brannen. Brenselspakkene vil deretter forbli uforbrente, frem til de befinner seg i et område hvor forholdene for forbrenning ligger til rette. Med andre ord der oksygenivået er tilstrekkelig for forbrenning. Forbrenningen er uendelig rask, 100 % effektiv og i utgangspunktet uavhengig av temperatur. For å forhindre forbrenning ved for lave temperaturer er det lagt inn en enkel temperaturavhengig slokkefunksjon, som avgjør om forbrenningen får fortsette. De ulike forbrenningsproduktene: sot, CO, CO₂ osv. beregnes som massefraksjoner av det overordnede blandingsforholdet (*mixture fraction*), basert på empiriske sammenhenger (fullskalaforsøk) mellom brensel og luft (McGrattan 2007:2-3, 3-2 og 3-3).

Blandingsmodellen, brensel/oksygen, er en tilnærming som gjør at forbrenningsmodellen er dårlig egnet for bruk i områder hvor det er sannsynlig med delvis forbrenning. Dette vil si ventilasjonskontrollerte branner, og branner der et slokkemiddel (sprinklervann, CO₂ osv) tilføres rommet. I en ventilasjons- eller sprinklerkontrollert brann, er det vanlig at brensel og oksygen blandes. Blandingen antenner imidlertid ikke nødvendigvis. I FDS vil blandingen antenne så lenge det er tilstrekkelig med luft i rommet til å etablere en teoretisk brennbar blanding brensel/luft. Den lokale temperaturen ved flammefronten må også være høy nok for antennelse (McGrattan 2007:3-2 - 3-3). FDS vil følgelig kunne overestimere temperaturer for et ventilasjonskontrollert brannforløp lokalt (for eksempel i en leilighet). Den vil kunne underestimere temperaturer i områder med avstand fra brannen (for eksempel i tilliggende korridorer). Dette er en følge av at brensel-/luftblandingen forbrenner i leiligheten, mens den i praksis ville tatt fyr i korridoren. Bakgrunnen for dette er at FDS ikke har noen algoritme for å "spore" transport av uforbrente branngasser (McGrattan 2005b)

I de aktuelle scenariene i denne oppgaven er det sett på relativt små branner i en startfase/rømningsfase, altså mens brannen er brenselkontrollert. Dette vil si at forbrenningsmodellen er relevant for bruk i prosjektet. Branneffekten blir beskrevet i modellen som et bestemt overflateareal (m²), med en gitt *HRRPUA* (heat release rate per unit area, kW/m²). Dette gir full kontroll på effektutviklingen og gir mulighet for å kontrollere at ønsket effektutvikling faktisk blir simulert. Alle overflater i rommet defineres som ubrennbare, slik at disse ikke skal ha noen innvirkning på varmeavgivelsesraten.

Turbulens: Large Eddy Simulation (LES)

Det er tre metoder som benyttes for å modellere strømming og brannturbulens i CFD-modeller:

1. *Direct Numerical Simulation* (DNS)
2. *Reynolds-Averaged Navier-Stokes* (RANS)
3. *Large Eddy Simulation* (LES)

DNS er en direkte numerisk løsning av de hydrodynamiske strømningslikningene (Navier-Stokes), som funksjon av rom og tid. Denne metoden er avhengig av et meget fint grid (1 mm eller mindre) og små tidsintervaller. Konsekvensen av dette er følgelig at metoden, per dags dato, ikke er anvendbar for å modellere storskala branner på grunn av prosesseringskapasitet. RANS (også omtalt som K- ϵ -modell) er en metode som i prinsippet tilnærmer seg de hydrodynamiske Navier-Stokes-likningene ved gjennomsnittsberegninger over tid og rom. LES er en metode som kombinerer DNS og RANS ved å løse de store turbulensvirlene (large eddies) direkte, og modellerer/gjennomsnittsberegner de små virvlene som oppstår i de ikke-oppløselige "sub-gridet" (McGrattan 2005a:15). Basisen for denne tilnærmingen er at de store virvlene som inneholder mye energi, er avhengige av geometrien (for eksempel i en bygning), og har størst betydning for resultatet av beregningene. Likningene for disse virvlene bør følgelig løses direkte, så langt det er mulig. De små virvlene har en mer universell karakter (i mindre grad geometriavhengig), og er dermed lettere å modellere ved å bruke gjennomsnittsberegninger/tilnærmede uttrykk. I tillegg inneholder de små virvlene mindre energi, og likningene for disse blir dermed mindre viktig å løse nøyaktig. Mens det synes å være en generell forståelse for de praktiske begrensningene rundt DNS-metoden, pågår det en debatt i det branntekniske fagmiljøet rundt bruken av LES versus RANS for modellering av branner. Hvilken modell som er riktig, vil være scenarioavhengig. I simuleringer av et "steady-state"-problem (for eksempel røykventilasjon i en stor industrihall, der "steady-state" oppnås når masseraten inn i røyklaget er like stor som masseraten ut av røyklukene i taket), eller der turbulensen kan karakteriseres som homogen, er RANS en grei tilnæringsmetode. Utviklerne av FDS er imidlertid av den oppfatning at LES er den eneste farbare vei, dersom CFD-verktøyene skal utvikles videre med hensyn til å modellere brann. Bakgrunnen for dette er at etter hvert som mer brannodynamikk implementeres i brannmodellene, vil begrensningene til RANS bli stadig mer fremtredende, ettersom denne metoden kun kan foreta en gjennomsnittsberegning/modellering av de komplekse sammenhengene i en turbulent strøm. På den annen side vil LES gi stadig mer nøyaktige beregninger, ved at flere likninger løses direkte når prosesseringskapasiteten øker, og gridoppløsningen kan gjøres stadig finere (McGrattan 2005b).

Strålingsmodell: Grey Medium Assumption

Når et legeme varmes opp og temperaturen stiger, vil det avgi/miste varme som følge av konveksjon (hvis legemet er plassert i et fluid, for eksempel luft) og varmestråling. For lave temperaturer er konveksjon den mest betydningsfulle varmetapsmekanismen, men når temperaturen stiger over om lag 400 °C, vil varmestråling bli en stadig mer dominerende mekanisme for varmetap. Et legemes evne til å avgi varmestråling er, foruten temperatur, avhengig av legemets emissivitet, ϵ . Et såkalt "svart legeme" er en perfekt avgiver av varmestråling og har $\epsilon = 1,0$. De fleste reelle avstrålende legemer, for eksempel røyk, vil bli ansett som ett "grått legeme", der ϵ befinner seg i intervallet [0,1]. Et såkalt "hvitt legeme" avgir ingen varmestråling og har $\epsilon = 0$ (Drysdale 2002:52-53).

Det viktigste forbrenningsproduktet som bidrar til varmestråling fra en brann, er sot. Dette er meget små karbonholdige partikler med diameter i størrelsesorden 10-100 nm. Sotpartiklene dannes ved flammefronten. En liten del av sotpartiklene konsumeres når disse passerer gjennom den oksiderende regionen av flammen, men mesteparten av sotpartiklene unnslipper flammen, stiger opp og danner røyk. Mens sotpartiklene er inne i flammesonen, varmes de opp til høye temperaturer og alle vil oppføre seg som små "svarte" eller "grå" legemer. Det resulterende avstrålingsspekteret fra flammen vil derfor være kontinuerlig, og den resulterende varmestrålingsintensiteten vil være en funksjon av sotpartikkelkonsentrasjon og flammetykkelse (Drysdale 2002:69).

Strålingsmodellen som blir benyttet som default i FDS, forutsetter at røykgasser oppfører seg som et grått legeme (*Grey Medium Assumption*). Denne tilnærmingen er basert på at i de fleste storskala brannscenario, er sot det viktigste forbrenningsproduktet for varmestråling fra varme gasser og brannen,

hvilket gir et kontinuerlig avstrålingsspekter. Ideelt sett skulle varmeoverføring via varmestråling vært beregnet over et stort (mot uendelig) antall vinkler, og over hele spekteret av elektromagnetisk energi (Hadjisophocleous og McCartney 2005:9). I FDS deles det elektromagnetiske spekteret opp i et begrenset antall bånd, som får sin egen transportlikning for varmestråling (*Radiative Transport Equation, RTE*). Løsning av et stort antall ($N \rightarrow \infty$) RTE'er er meget tidkrevende. For å begrense tidsbruken i modellen er det tatt utgangspunkt i at sot er den viktigste faktoren for varmestråling. Fordi sot inngår i hele det elektromagnetiske spekteret, er avhengigheten til det elektromagnetiske spekteret redusert til én homogen absorpsjonskoeffisient ($N = 1$), hvilket kun gir én RTE (McGrattan 2005a:26-27).

Rent praktisk er det to brukerstyrte faktorer som kan ha stor betydning for simuleringen:

1. Strålingsandelen for det brenselet som benyttes.
2. Antall strålingsvinkler (default = 100 vinkler).

Faktoren knyttet til strålingsandelen omtales her, mens betydningen av antall strålingsvinkler omtales nærmere under sensitivitetsanalysen i påfølgende kapittel.

Strålingsandel

Varmestråling er meget sensitivt avhengig av temperatur, ettersom avgitt varmestråling fra et legeme er gitt ved følgende likning (Drysdale 2002:55):

$$E = \varepsilon \sigma T_g^4$$

Hvor;

E er avgitt varmestråling fra legemet [W/m^2]

ε er emissiviteten [-]

T_g er flamme-/branngasstemperaturen [K]

I simuleringer med begrenset oppløsning på cellesystemet/gridet, vil temperaturen i området nært flammen "smøres ut" over en celle og følgelig være betydelig lavere enn det som kan forventes i en diffusjonsflamme (flamme der brensel og luft etterblandes og forbrenner der blandingen gir tilstrekkelig konsentrasjon brensel/luft for antennelse). Basert på muligheten for relativt grove feilberegninger av flammetemperaturen, har FDS en tilleggsmodell for å beregne varmestråling fra området ved flammen. Denne modellen er basert på en konstant materialavhengig strålingsandel, χ_r , relatert til den volumetriske varmeavgivelsesraten, og er et empirisk uttrykk for hvor mye av den totale energiavgivelsen som avgis via varmestråling. I FDS benyttes det uttrykket for varmestråling, enten relatert til effektutviklingen eller temperatur, som gir høyest verdi i flammesonen. Utenfor flammesonen er de beregnede temperaturene mer troverdige, og uttrykket for varmestråling som funksjon av temperatur benyttes alltid her (McGrattan 2005a:27).

5.4.4 Sensitivitetsanalyse for FDS-modell

5.4.4.1 Generelt

Dette kapitlet omhandler sensitivitetsanalysen som ble utført for å "kalibrere" FDS-modellen, forut for simuleringene av hovedvariablene nevnt innledningsvis. Hensikten med sensitivitetsanalysen er å etablere en definert startmodell, der kun hovedparameterne brukes som variabler. Basert på McGrattan (2007) og Hadjisophocleous og McCartney (2005), er følgende tema (noen er overlappende i de to referansene), vurdert i forbindelse med sensitivitetsanalyse for FDS:

1. Størrelse på cellesystem/grid
2. Strålingsmodell

3. Forbrenningsmodell
4. Turbulensparametere
5. Røyk-/brannplumer ut av vinduer og dører ved gridets yttergrenser
6. Utforming av celler (kubiske/ikke kubiske)
7. Materialer forbrenningsegenskaper
8. Branneffektutvikling (Heat Release Rate)

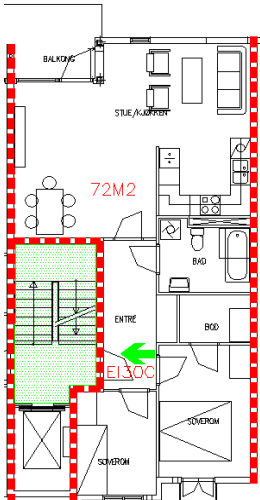
I denne oppgaven er det valgt å gjennomføre sensitivetsanalyse/kalibrering for FDS-modellen knyttet til punkt 1 og 2 ovenfor. Punkt 3-6 omtales også særskilt i egne kapitler nedenfor. Punkt 7 og 8 inngår som parametere i hovedanalysen, og vil følgelig bli vurdert separat.

5.4.4.2 Brannleilighet

Brannleiligheten som er benyttet som grunnlag for sensitivetsanalysene for FDS og vurderingen av de leilighetsspesifikke variablene i brannkonseptet (til forskjell fra de blokkspesifikke variablene), er en 72 m², 3-roms leilighet. Leiligheten er branteknisk atskilt fra nabo-leilighet og trapperom, med branncellebegrensende konstruksjoner med brannmotstand EI60 [A60] på vegger og etasjeskillere, og EI30C på dør til trapperom (C = selvlukkende dør). Leiligheten er gjennomgående, det vil si fasade mot friluft på to sider. Leiligheten har fem ventilasjonsåpninger i fasadene (vinduer/dører), med areal på drøyt 10 m².

I brannmodellen er det forutsatt at etasjeskillere og vegger mot trapperom er utført i betong. Øvrige vegger i modellen er forutsatt utført som bindingsverksvegger med gipsoverflater. Innredning i leiligheten er lagt inn i modellen for å simulere volumet denne type gjenstander opptar i en leilighet. Alle overflater i brannmodellen, inkludert innredning, er forutsatt å være ubrennbare ("inert" eller "gypsum board"). Bakgrunnen for dette er at ikke innholdet i leiligheten, men den forhåndsdefinerte branneffekt-/tidkurven skal bestemme brannutviklingen.

Tabell 5.4 – Data for normalt brannrom

Brannskisse leilighet	Variabel	Verdi
	Gulv- og takareal	72 m ²
	Omhyllingsflate, branncelle	255 m ²
	Åpningsareal, A ₀	10,6 m ²
	Åpningshøyde, H ₀	1,66 m
	Maksimal branneffekt i leiligheten, Q _{max}	20 657 kW
	Nødvendig effekt for overtenning, Q _{FO}	5 226 kW ⁶
	Tid frem til overtenning:	
	α = 0,012 kW/s ² (medium)	660 s [11 minutter]
	α = 0,020 kW/s ² (vanlig)	511 s [8 min, 31 s]
	α = 0,047 kW/s ² (rask)	333 s [5 min, 33 s]

⁶ Nødvendig effekt for overtenning er beregnet med størrelsen A₀ i stedet for A_i i første ledd av likning for Q_{FO} i kapittel 5.3.4. Dette medfører at den beregnede effekten er noe lavere enn det den skulle vært. Forholdet skyldes en feil ved notering av likning for Q_{FO}. Feilen ble oppdaget i en gjennomgang av referansene. Forholdet er vurdert som ubetydelig for resultatene med hensyn til sammenligningen av boligblokkkonseptene, da samme forutsetninger brukes i alle brannsimuleringene.

Basert på en gjennomgang av litteratur knyttet til brannmodeller i boliger, er det som beskrevet ovenfor, valgt å bruke en enkel "α²-modell" for å beskrive brannutviklingen. Basert på begrensninger i simuleringmodellen, er det valgt å begrense brannveksten til nødvendig effekt for overtenning. I utgangspunktet er dette en branneffekt på 5 226 kW, basert på maksimalt tilgjengelig tilluftareal i leiligheten. I sensitivitetsanalysen, som er utført for å kalibrere simuleringmodellen, er det benyttet "medium" brannvekst. Bakgrunnen for dette er at små branner er avhengig av større detaljeringsgrad i simuleringmodellen. "Medium"-brannen har den laveste gjennomsnittlige branneffekten (relatert til simuleringstiden), selv om maksimaleffekten er lik.

5.4.4.3 Sensitivitet knyttet til størrelse på celledsystem/grid

Oppløsningen på celledsystemet, eller grid, er avgjørende for nøyaktigheten i analysen. Desto høyere oppløsning, desto flere kontrollvolum og dermed høyere nøyaktighet. Mens det på den ene siden er ønskelig med så høy oppløsning som mulig, må det også tas hensyn til begrensninger i prosessorkapasitet og mellomlagingsressurser. Med dagens vanlige datamaskiner vil det være nødvendig å begrense antall celler til noen få millioner (McGrattan 2005a:3).

Det er mulig å få en indikasjon på om celledstørrelsen er liten nok for hvert enkelt scenario, ved å regne ut forholdet mellom brannens karakteristiske diameter og størrelsen på cellene i gridsystemet, δ_{xyz}. Den karakteristiske diameteren, D*, er definert som:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} C_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}}$$

Der;

- D* er karakteristisk diameter
- Q̇ er varmeeffekten [kW]
- ρ_∞ er tettheten til luft [kg/m³]
- C_p er spesifikk varmekapasitet for luft [J/kgK]
- T_∞ er initialtemperatur [293 K]
- g er gravitasjonskraften [9,81 m/s²]

Når verdien av D*/ δ_{xyz} ligger i intervallet [5,10] er det funnet at tilstrekkelig nøyaktighet kan oppnås med rimelig prosesseringskraft (McGrattan 2007:6-5). I denne oppgaven er det benyttet celledsystem som medfører at D*/ δ_{xyz} > 5 i alle brannscenarier.

Det er gjennomført innledende brannsimuleringer, der størrelsen på celledsystemet er vurdert med bakgrunn i faktoren D*/ δ_{xyz}. Det er også gjennomført en analyse med redusert celledstørrelse, for å vurdere gridavhengighet i resultatene. Utgangspunktet for simuleringene, var et celledsystem med størrelse δ_{xyz} = 0,20 m. For en brann med maksimal branneffekt på 5 226 kW, gir dette en D*/ δ_{xyz} = 9,3 > 5. Dette skal normalt gi pålitelige resultater til en rimelig "prosesseringskostnad". For å vurdere gridoppløsningens betydning for resultatene, er det gjort simuleringer der celledsystemet er redusert til δ_{xyz} = 0,10 m. Videre reduksjon vil ikke være praktisk mulig, med hensyn til prosessorkapasitet og heller ikke nødvendig i lys av oppgavens mål og omfang. I sensitivitetsanalysen knyttet til gridavhengighet er det i det følgende presentert resultater for:

- Flammtemperatur
- Temperatur i røyklaget i startbrannrom
- Temperatur i tiliggende rom, entré
- Reduksjon av siktlengde i entré
- CO, CO₂- og O₂-nivå i entré
- Tid frem til utløsning av røykvarsler i alle rom

En høy faktor Q^* betyr at brannen har høy varmeeffekt per m^2 . Dette er karakteristisk for eksempel i forbindelse med væskebranner (hydrokarboner). Lav verdi for Q^* karakteriserer lav varmeeffekt per m^2 . Dette er karakteristisk i forbindelse med for eksempel skogbranner. For at effektavgivelsen for brannen skal være sammenlignbar med naturlige branner, anbefales det at faktoren Q^* skal være i størrelsesorden lik 1,0. Faktoren Q^* er gitt ved følgende uttrykk (McGrattan 2007:6-4):

$$Q^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} C_p T_{\infty} D^2 \sqrt{gD}} \right)$$

Der;

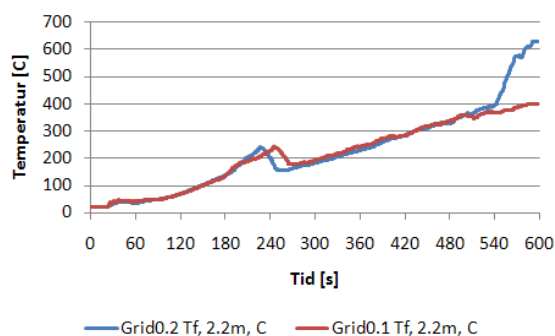
D er brannens diameter (beregnet fra en sirkel med samme areal som brannflaten). Øvrige faktorer er gitt ovenfor i forbindelse med uttrykket for karakteristisk diameter, D^* .

Flammetemperatur

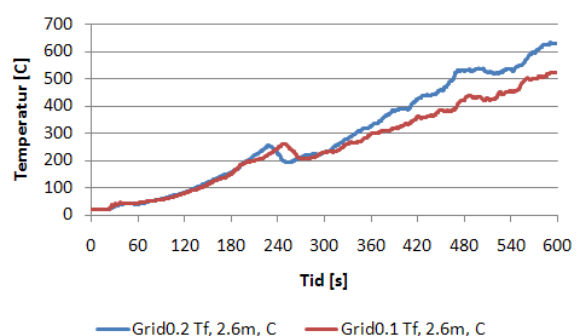
Flammetemperatur er normalt en faktor som er meget sensitiv for forandringer i grid. Dette fremkommer også av figurene nedenfor. Her er forskjellen mellom målingene med grid på henholdsvis $d_{xyz} = 0,2$ m og $d_{xyz} = 0,1$ m, om lag 20 % for målingen ved 2,6 m over gulvnivå. Siden maksimaltemperaturen i dette målepunktet er relativt høy, utgjør den prosentvise variasjonen en faktisk temperaturforskjell på om lag ± 100 °C. Dette er en betydelig forskjell, som blant annet vil ha stor innvirkning på varmetap via varmestråling, siden denne er avhengig av flammetemperaturen i 4.potens. Denne feilmarginen kompenseres imidlertid i FDS, ved at det benyttes en alternativ metode for beregning av varmestråling ved flammesonen, jamfør diskusjon av strålingsmodell i FDS i foregående kapittel. Eventuelle feil knyttet til temperatur ved flammen, trenger derfor ikke nødvendigvis forplante seg videre i modellen.

Det anmerkes for øvrig at temperaturutviklingen er relativt sammenfallende de første fem minuttene. Det fremgår av figurene nedenfor at lav gridoppløsning ($d_{xyz} = 0,2$ m) medfører en overprediksjon av temperaturen, sammenlignet med finere gridoppløsning ($d_{xyz} = 0,1$ m).

Figur 5.6 – Flammetemperatur 2,2 m over gulyflaten



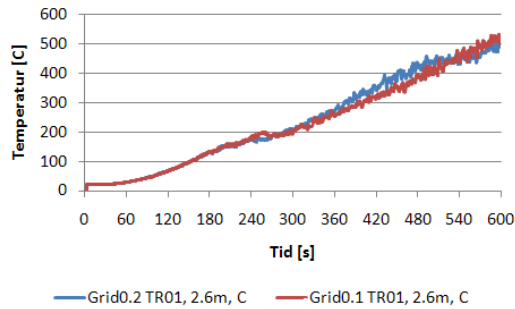
Figur 5.7 – Flammetemperatur 2,6 m over gulyflaten



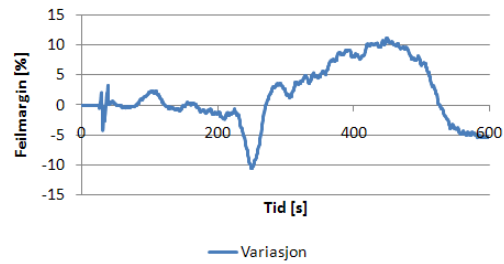
Temperatur i brannrommet

Temperaturen i brannrommet i en viss avstand fra flammen, er mindre avhengig av gridstørrelsen. Dette fremkommer også av de utførte simuleringene, der variasjonen mellom målingene ligger innenfor ± 10 %. Til sammenligning varierte målinger for flammetemperatur med om lag ± 20 %.

Figur 5.8 – Temperatur i brannrommet 2,6 m over gulyflaten



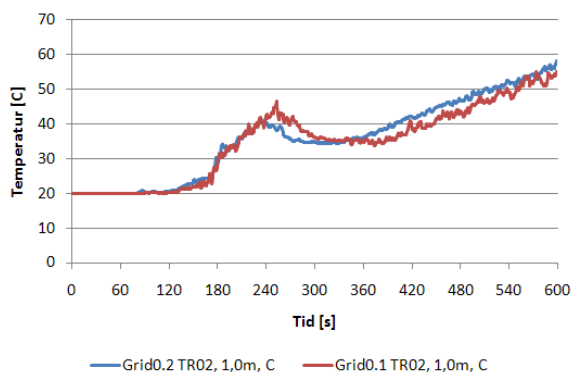
Figur 5.9 – Variasjon [%] mellom simulering med henholdsvis $d_{xyz} = 0,2$ m og $d_{xyz} = 0,1$ m



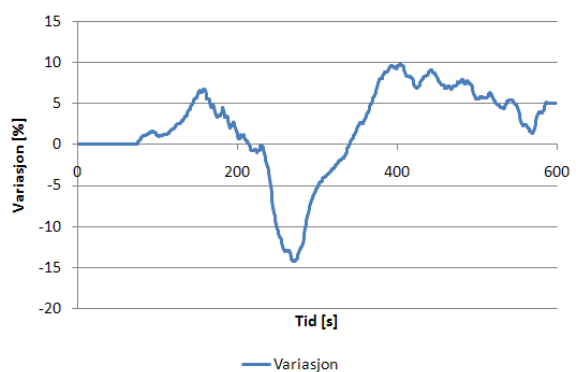
Temperatur i entréen

Temperaturen i entréen vil ha betydning for muligheten for å komme seg til rømningsvei/trapperommet. Figurene nedenfor viser temperaturutviklingen 1,0 m over gulvet i entréen ved ulike gridoppløsninger. Det fremgår av målingene at temperaturutviklingen i entréen er relativt lite påvirket av gridoppløsningen, med en variasjon i resultatene på $\pm 10 - 15$ %. Siden maksimaltemperaturen i dette målepunktet er snaut 60 °C, vil den faktiske temperaturforskjellen i °C være liten ($\pm 6 - 9$ °C).

Figur 5.10 – Temperatur i entré 1,0 m over gulyflaten



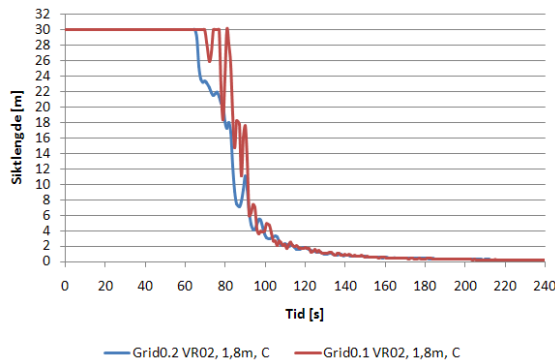
Figur 5.11 – Variasjon [%] mellom simulering med henholdsvis $d_{xyz} = 0,2$ m og $d_{xyz} = 0,1$ m



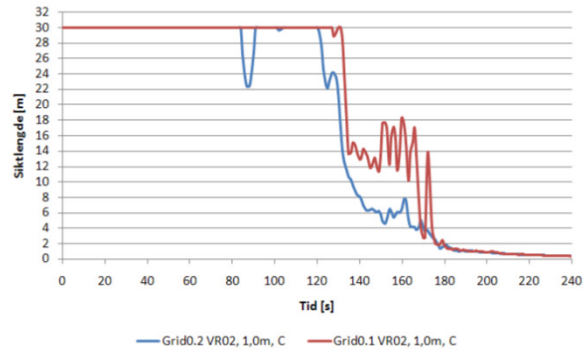
Siktlengde i entréen

Siktlengden i entréen vil ha betydning for hvorvidt en person finner frem til trapperommet. I egen leilighet, og med så små avstander som er tilfellet her, kan det for øvrig forventes at veien til trapperommet kan finnes relativt uavhengig av siktlengde. Tiden det tar, vil imidlertid sannsynligvis variere som følge av siktlengde. Figurene nedenfor viser siktlengde i entréen for høydene 1,8 m og 1,0 m over gulvet. For det øverste målepunktet er det relativt små forskjeller mellom målepunktene. Dette tyder på liten gridavhengighet. For målepunktet 1,0 m over gulvet synes imidlertid gridoppløsningen å ha en viss betydning for resultatet, ved tid mellom 140 s og 180 s. Tid frem til kritisk sikt (3 m, jamfør HO-3/2000), er relativt lik for de ulike målingene: ved 1,8 m over gulv reduseres sikten til < 3 m etter om lag 100 s og ved 1,0 m over gulv reduseres sikten til < 3 m etter om lag 175 s.

Figur 5.12 – Siktlengde i entré 1,8 m over gulyflaten



Figur 5.13 – Siktlengde i entré 1,0 m over gulyflaten



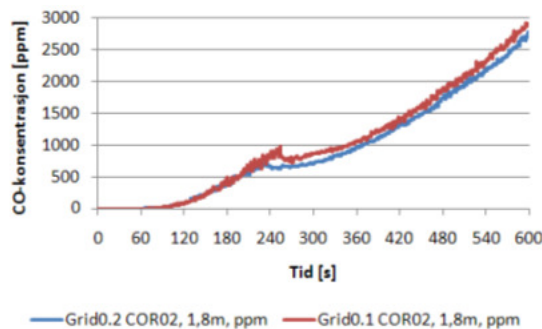
CO-, CO₂- og O₂-nivå i entréen

Temaveiledning røykventilasjon, melding HO-3/2000, angir maksimalverdier for henholdsvis karbonmonoksidkonsentrasjon:

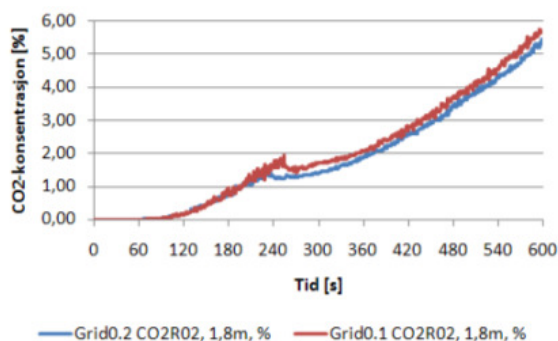
- Karbonmonoksidkonsentrasjon, CO: maksimalt 2 000 ppm (parts per million).
- Karbondioksidkonsentrasjon, CO₂: maksimalt 5 %.
- Oksygenkonsentrasjon, O₂: minimum 15 %.

Figurene nedenfor viser målinger av CO, CO₂ og O₂ i entré ved høyde 1,8 m over gulvflaten. Målingene viser en viss grad av gridavhengighet, der finere gridoppløsning fører til høyere konsentrasjoner av CO og CO₂, samt raskere reduksjon av O₂-konsentrasjon. Differansen mellom de ulike målingene er for øvrig liten, det vil si en reduksjon i tid frem til kritiske forhold på mellom 2,6 % og 3,5 %.

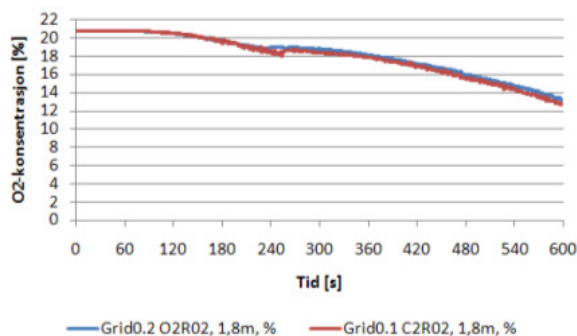
Figur 5.14 – CO-konsentrasjon [ppm] i entréen, 1,8 m over gulyflaten



Figur 5.15 – CO₂-konsentrasjon [%] i entréen, 1,8 m over gulyflaten



Figur 5.16 – O_2 -konsentrasjon [%] i entréen, 1,8 m over gulvflaten



Tabell 5.5 – Tid frem til kritiske forhold som følge av CO -, CO_2 - og O_2 -konsentrasjon i entréen

Parameter	Tid frem til kritisk konsentrasjon		Redusert tid frem til kritiske forhold
	Gridoppløsning, $d_{xyz} = 0,2$ m	Gridoppløsning, $d_{xyz} = 0,1$ m	
CO	518 s	500 s	18 s (3,5 %)
CO_2	581 s	566 s	15 s (2,6 %)
O_2	505 s	489 s	16 s (3,2 %)

Tid fra brannstart frem til aktivering av røykvarslere

Tid frem til aktivering av røykvarsler eller røykdetektor for felles brannalarmanlegg, er en kritisk faktor ved brann. Her er en forutsetning at brannen ellers ikke ville blitt oppdaget før røykvarsleren aktiveres (for eksempel om natten, personer som sover så tungt at de ikke våkner av lukter/lyder fra brannen, brann i annet rom). Aktiveringstiden for røykvarsleren eller røykdetektoren for brannalarmanlegget, har betydning for når rømning eller annen handling (for eksempel slokkeinnsats) skjer. Tabellen nedenfor viser tid frem til aktivert røykvarsler i de ulike rommene i brannleiligheten, med ulik gridoppløsning. Det fremgår at tid frem til aktivert røykvarsler i liten grad er gridavhengig, med en forskjell i måleverdier på mellom 1,7 % og 3,2 %, og med et maksimalt faktisk tidsavvik på 2 s.

Tabell 5.6 – Tid frem til aktivering av røykvarsler i alle rom med ulik gridoppløsning

Rom	Tid frem til aktivering av røykvarsler		Forskjell i tid frem til aktivering av røykvarsler
	Gridoppløsning, $d_{xyz} = 0,2$ m	Gridoppløsning, $d_{xyz} = 0,1$ m	
Stue (R01)	31 s	30 s	- 1 s (3,2 %)
Entré (R02)	60 s	59 s	- 1 s (1,7 %)
Soverom 1 (R03)	89 s	89 s	Ingen
Bad (R04)	82 s	84 s	+ 2 s (2,4 %)
Soverom 2 (R05)	89 s	89 s	Ingen

Oppsummering og konklusjon med hensyn til oppløsning på cellesystem

Det synes å være en viss gridavhengighet knyttet til resultatene av simuleringen med cellestørrelse $d_{xyz} = 0,2$ m. Denne avhengigheten er tydeligst for målinger av flammetemperatur og reduksjon i siktlengde, i lav høyde over gulv i rom utenfor startbrannrom. Disse resultatene synes imidlertid ikke å påvirke andre resultater i simuleringen. Det vil si at selv om flammemperaturen varierer mellom simuleringene, er fortsatt temperaturen i røyklaget relativt lik. Forskjellene i siktreduksjon har også liten betydning for tiden frem til kritisk sikt.

Forskjellen i simuleringstid/prosesseringsstid er betydelig. Med cellesystem $d_{xyz} = 0,2$ m tok simuleringen om lag 30 minutter. Med cellesystem $d_{xyz} = 0,1$ m tok simuleringen om lag 30 timer. Dette er en økning i simuleringstid på 60 ganger. Resultatene fra simuleringen med cellesystem $d_{xyz} = 0,1$ m viser imidlertid ingen forskjeller i beregningsresultater, som vil ha noen særlig stor betydning for analysen i denne oppgaven. Økningen i simuleringstid vurderes derfor som urimelig, sammenlignet med den tilførte økning i nøyaktighet. En cellestørrelse $d_{xyz} = 0,2$ m, vurderes derfor som tilstrekkelig for å modellere brann med tilstrekkelig nøyaktighet i denne oppgaven.

5.4.4.4 Sensitivitet knyttet til strålingsmodell

Det er gjennomført sensitivitetsvurderinger knyttet til den strålingsmodellen som benyttes i FDS. Som nevnt ovenfor, benytter FDS seg av en "grey medium"-forutsetning, der stråling beregnes fra brann og forbrenningsprodukter gjennom 100 (default-verdi) definerte vinkler. Antall vinkler er en brukerstyrt parameter i FDS. Et høyere antall vinkler medfører et jevnere strålingsspekter på en flate som mottar stråling. Mengden vinkler har størst betydning i et stort volum, samt på flater i en viss avstand fra brannen. Et mangelfullt antall strålingsvinkler kan føre til "varme punkter" på en ellers lite strålingseksponert flate (McGrattan 2007:2-6).

Strålingsberegningene i FDS er ressurskrevende. Det antydes at strålingsberegningene, med default-innstillingen i FDS, utgjør om lag 20 % av den totale beregningstiden (Hadjisophocleous og McCartney 2005:10). Siden brannleilighetene i denne oppgaven er av relativt små volum, er det sett på muligheten for å redusere antall strålingsvinkler for å spare beregningsressurser. Det er gjort innledende simuleringer med en reduksjon i antall strålingsvinkler på 50 % i forhold til defaultverdien på 100. Resultatene fra sensitivitetsvurderingene med henholdsvis 100 og 50 strålingsvinkler er redegjort for nedenfor. Målinger er utført for:

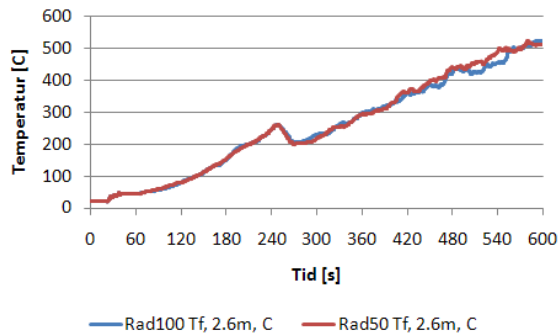
- Flammetemperatur
- Temperatur i røyklaget

Flammetemperatur og temperatur i røyklaget i brannrommet

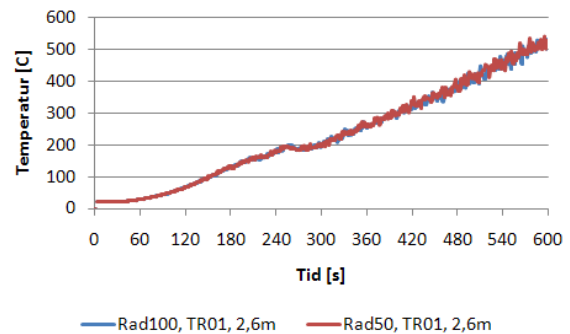
Varmestråling fra flamme og røyklag har betydning for temperaturen i brannleiligheten. Nedenfor vises det resultater fra simuleringer med gridoppløsning, $d_{xyz} = 0,1$ m, med henholdsvis 100 og 50 strålingsvinkler. Det fremgår av figuren at temperaturen i flammen og brannrommet for øvrig ikke er avhengig av antall strålingsvinkler i dette tilfellet. Det ble heller ikke registrert betydelige forskjeller ved bruk av 50 i stedet for 100 strålingsvinkler, med cellesystem med oppløsning $d_{xyz} = 0,2$ m.

Det er derfor valgt å bruke 50 strålingsvinkler i brannsimuleringene, for å spare prosesseringsstid for hvert scenario.

Figur 5.17 – Flammentemperatur under takflaten, 2,6 m over gulv. Gridoppløsning: $d_{xyz} = 0,1$ m



Figur 5.18 – Temperatur i røyklaget i stue, 2,6 m over gulv. Gridoppløsning: $d_{xyz} = 0,1$ m



5.4.4.5 Sensitivitet knyttet til forbrenningsmodell

Det er benyttet default-modellen i FDS for forbrenning, det vil si *Mixture Fraction Model*. Effektutviklingen følger en forhåndsdefinert tid/effektcurve basert på typiske α^2 -branner. Dette er gjort ved at en definert "brannbase", med et gitt areal, er gitt en konstant HRRPUA (*Heat Release Rate Per Unit Area*) i kW/m^2 . For å få en voksende brann, er den maksimale branneffekten redusert med en tidsavhengig effektfraksjon. Ved $t = 0$, er denne fraksjonen lik 0, ved $t = t(Q_{\max})$ er fraksjonen lik 1,0. Veksthastigheten på effektfraksjonen bestemmes av den aktuelle α -verdien som benyttes i brannscenariet.

Det er ikke utført noen videre sensitivetsanalyse av forbrenningsmodell i forhold til å eventuelt velge andre modeller for sammenligning. Bakgrunnen for dette er at default-modellen i FDS er godt validert til det aktuelle bruksområdet, samt at den samme forbrenningsmodellen blir benyttet i alle brannscenariene.

5.4.4.6 Sensitivitet knyttet til turbulensparametere

FDS benytter som nevnt tidligere, Large Eddy Simulation (LES) for å modellere turbulens. Metoden omfatter direkte løsning av de store virvlene (Large Eddy) i strømmen, og en modellering/gjennomsnittsberegning av de mindre virvlene. Det er mulig å gjøre brukertilpassinger av sub-modellen i LES, det vil si den modellen som modellerer de små virvlene. Dette kan gjøres ved å for eksempel modifisere Smagorisky-koeffisienten, som er en empirisk konstant knyttet til strømningmediets viskositet. En reduksjon av denne faktoren (fra default-verdi 0,2), vil redusere betydningen av "kunstig" viskositet implementert i den numeriske løsningen. Dette åpner for større virveldannelser, og derfor større blanding av brensel/luft. Slike endringer er for øvrig ikke vanlig å gjennomføre for en typisk FDS-bruker. I tillegg kan lave verdier av Smagorinsky-koeffisienten medføre numerisk ustabilitet i programmet (McGrattan 2007:5-4 og 5-5). Det er på bakgrunn av dette ikke utført noen videre sensitivetsanalyse for å vurdere turbulensparametere i denne oppgaven.

5.4.4.7 Sensitivitet knyttet til øvrige parametere

Røyk-/brannplumer ut av vinduer og dører ved gridets yttergrenser

Hadjisophocleous og McCartney (2005) diskuterer betydningen av gridets størrelse utenfor selve brannmodellen. Dette har særlig betydning i forbindelse med simulering av brannplumer ut av vinduer og dører. Dersom gridet avsluttes ved yttervegg, vil røyken "forsvinne" ut av modellen, på den måten i liten grad påvirke temperaturen på den luften som kommer inn i rommet gjennom den samme åpningen.

Hadjisophocleous og McCartney (2005:8) gjorde simuleringer der de varierte gridets avstand fra yttervegg med henholdsvis 0,0 m, 0,5 m, 1,0 m og 2,0 m. Resultatene viser små variasjoner for simuleringene med avstand 0,5 m til 2,0 m. De konkluderer med at griduavhengige resultater kan oppnås selv ved å føre gridet i små avstander ut fra vegg. På bakgrunn av dette er det valgt å føre gridets

yttergrenser minst 0,6 m ut fra yttervegg. Noen videre sensitivitetsanalyse er ikke gjennomført for dette forholdet.

Utforming av celler (kubiske/ikke kubiske)

For å spare beregningstid ved simuleringer er det ønskelig å bruke et grid med lavest mulig oppløsning. Reduksjonen i gridoppløsning må imidlertid kontrolleres for å unngå gridavhengige resultater. Dette er diskutert ovenfor. For å redusere antall celler, kan en mellomløsning være å etablere et grid med ulik lengde på cellenes sider. For eksempel $d_x = 0,1$ m, $d_y = 0,1$ m og $d_z = 0,2$ m. For en modell med $b \times l \times h = 10$ m \times 10 m \times 10 m, reduseres antall celler i modellen fra 1 million til 500 000, ved å øke d_z fra 0,1 m til 0,2 m. Dette vil kunne redusere simuleringstiden betraktelig.

Hadjisophocleous og McCartney (2005) påviser at en slik forandring (med andre gridstørrelser) kan føre til gridavhengige resultater. Slike tilpassninger av gridet bør følgelig vurderes nøye og gjennomgå en sensitivitetsanalyse med hensyn til gridavhengighet (Hadjisophocleous og McCartney 2005:7). I denne oppgaven er det benyttet kubiske celler i gridet, og gridavhengighet er vurdert særskilt ovenfor.

5.5 Menneskers tålegrenser for brannlaster

5.5.1 Generelt

Branner fører hovedsakelig til tre ting som har betydning for menneskers respons og mulighet for å overleve (Opstad og Stensaas 1998: kapittel 4):

1. Giftig innåndingsluft
2. Varmepåkjenning
3. Nedsatt sikt

De to førstnevnte faktorene, giftighet og varme, er alene dødelige. Nedsatt sikt kan sies å være dødelig ved at dette forsinker evakueringen, slik at man blir mer eksponert for giftige branngasser og varme. I det følgende redegjøres det for de vanligste dødsbrannlastene og hvilke kriterier som er benyttet i denne oppgaven.

5.5.2 Branngassers giftighet

Av de branngassene som påvirker menneskers mulighet til å overleve en brann, trekkes ofte de narkotiske gassene karbonmonoksid (CO), karbondioksid (CO₂) og hydrogencyanid (blåsyre, HCN) frem som de viktigste. Redusert oksygeninnhold (O₂) i innåndingsluften vil også være et problem, da brannen konsumerer O₂ og utvikler skadelige gasser, som erstatter oksygenkonsentrasjonen i innåndingsluften.

Karbonmonoksid (CO)

Forgiftning som følge av innånding av CO, eller kullos, rapporteres ofte som hovedårsaken til at personer omkommer i branner. CO er ikke den giftigste gassen som utvikles i en brann, men den forekommer i relativt høye konsentrasjoner (sammenlignet med giftigere gasser, for eksempel HCN). CO utvikles spesielt i forbindelse med underventilerte branner, der forbrenningen er ufullstendig (Opstad og Stensaas 1998: kapittel 4.1.2).

CO virker kvelende ved at CO, i stedet for oksygen, binder seg til hemoglobinet i blodet. Dette reduserer dermed blodets evne til å transportere oksygen rundt i kroppen (Liebe 2000:47).

I rømningsanalyser brukes ofte en grenseverdi for CO-konsentrasjon på 2 000 ppm (NKB 1994, NS 3901 1998 og HO-3/2000). Dette er en verdi som ikke kan betraktes som dødelig, men som en grenseverdi for kritiske forhold ved rømning ved egen hjelp. SINTEF NBL rapporterer i en studie fra

2003 om grenseverdi for kritisk CO-konsentrasjon på om lag 3 000 ppm ved hodehøyde, og en akkumulert CO-dose på mellom 30 000 og 43 000 ppm min. Disse verdiene kan tolkes som kritisk dose for udyktiggjøring av personer. Det vil si at personene ikke kan rømme ved egen hjelp lenger. Selv bruker SINTEF NBL en akkumulert CO-dose (dødelig dose) på 90 000 ppm min i sine beregninger i denne studien (Mostue, Stensaas og Wighus 2003:12-13).

Tabell 5.7 – Menneskers respons på CO i innåndingsluften (Mostue, Stensaas og Wighus 2003:11)

CO-konsentrasjon [ppm]	Effekt
200	Mulig svak hodepine i løpet av 2-3 timer
800	Hodepine, svimmelhet, kvalme i løpet av 45 minutter. Kollaps og mulig bevisstløshet i løpet av 2 timer.
3 200	Hodepine, svimmelhet i løpet av 5-10 minutter. Bevisstløshet og mulig død i løpet av 30 minutter.
6 400	Hodepine, svimmelhet i løpet av 1-2 minutter. Bevisstløshet og mulig død i løpet av 10-15 minutter.
12 800	Umiddelbar effekt, bevisstløshet og død i løpet av 1-3 minutter.

Tabellen nedenfor angir tålegrenser for mennesker utsatt for CO i brannrøyk uttrykt med 30-minutters IC₅₀-, LC₅₀-, ICT₅₀- og LCT₅₀-verdier (Opstad og Stensaas 1998: kapittel 4.1.7).

Tabell 5.8 – Foreslåtte tålegrenser for mennesker utsatt for CO i brannrøyk, basert på dyreforsøk

Branngass	IC ₅₀ [ppm]	LC ₅₀ [ppm]	ICT ₅₀ [ppm min]	LCT ₅₀ [ppm min]
CO	1 400 -1 700	4 600	35 000 – 45 000	70 000 – 135 000

IC = Incapacitation Concentration (konsentrasjon hvor 50 % av forsøksdyrene blir udyktiggjort ila 30 minutter)

LC = Lethal Concentration (konsentrasjon hvor 50 % av forsøksdyrene dør ila 30 minutter)

Karbondioksid (CO₂)

Karbondioksid er ikke en spesielt giftig gass i den konsentrasjonen den forekommer i branngasser. Gassen CO₂ vil for øvrig ved moderate konsentrasjoner stimulere pustefrekvensen, slik at opptaket av andre, og mer giftige branngasser øker. En CO₂-konsentrasjon på 2 % vil øke pustefrekvensen med om lag 60 %, og den vil fordobles ved en konsentrasjon på 3 %. Ved en CO₂-konsentrasjon på 5 %, vil enkelte oppleve pustevanskeligheter, mens konsentrasjonen må overskride 10 % for å kunne utgjøre en trussel i forhold til å forhindre rømming ved egen hjelp (Opstad og Stensaas 1998: kapittel 4.1.3.). I branntekniske rømningsanalyser anbefales det å bruke en grenseverdi på 5 % (NKB 1994, NS 3901 1998 og HO-3/2000).

Hydrogencyanid (blåsyre, HCN)

Hydrogencyanid (HCN), også omtalt som blåsyre, er en av de giftigste gassene som forekommer i branngasser, og regnes som 20-30 ganger så giftig som CO. HCN er for øvrig sjelden alene den primære årsaken til dødsfall ved branner. HCN utvikles hovedsakelig ved forbrenning av enkelte plastprodukter som er sammensatt av hydrokarboner, Nitrogen og Oksygen (Kristoffersen og Stenstad 2001:9). Dette er tilfellet for blant annet Polyuretan, som er et vanlig forekommende materiale i husholdningsprodukter, som for eksempel skummateriale i enkelte sofaer og madrasser. Tester med branner i Polyuretanmadrasser viser at HCN kan forekomme i kritiske konsentrasjoner før kritisk grenseverdi for andre, og mer typiske branngasser oppnås (Veiledning til NS 3901 1998:29 og Opstad og Stensaas 1998: kapittel 4.1.4.).

Tabell 5.9 – Menneskers respons på HCN (blåsyre) i innåndingsluften (Mostue m.fl. 2003:12)

HCN-konsentrasjon [ppm]	Effekt
0,2-5,1	Luktegrense (gassen lukter som bitre mandler)
45-54	Kan tolereres uten vanskeligheter i 30-60 minutter
100	Død etter 60 minutter
110-135	Død etter 30-60 minutter
181	Død etter 10 minutter
280	Død umiddelbart

Oksygen (O₂)

Forbrenning konsumerer oksygen fra omgivelsesluften. Dersom det er liten luftemulighet i brannrommet, vil brannen raskt konsumere oksygen i rommet. Dette vil kvele/dempe brannen, men samtidig også skape ulevelige forhold for mennesker i brannrommet. Ved større lufteåpninger vil brannen trekke til seg mer luft fra omgivelsene. I dette tilfellet vil brannen vokse og produsere mer branngasser, blant annet CO og CO₂, mens oksygenkonsentrasjonen i rommet samtidig kan være relativt høy. Ifølge Liebe (2000:47) er mangel på oksygen, etter CO-forgiftning, den største trusselen for mennesker i branner.

Normalt oksygeninnhold i luft er om lag 21 %. Ved en reduksjon i oksygen volumkonsentrasjon fra 21 % til 14 %, øker pustefrekvensen og pulsen. Evnen til å tenke klart og rette oppmerksomheten mot en forestående utfordring reduseres (Vinnem 2007:223). Ved en ytterligere reduksjon i oksygenkonsentrasjon fra 14 % til 10 %, vil personen i rommet fortsatt være ved bevissthet, men ha nedsatt dømmekraft og bli raskt utmattet. En reduksjon ned mot 10 – 6 % vil medføre bevisstløshet, og personen må gjenopplives med friskluft eller oksygen innen få minutter for å forhindre død. Dersom personen er i sterk fysisk aktivitet under eksponering for lave oksygenkonsentrasjoner, opptrer de beskrevne symptomene ved betydelig høyere O₂-konsentrasjoner (Opstad og Stensaas 1998: kapittel 4.1.5.). I rømningsanalyser er det vanlig å bruke en kritisk verdi for O₂-konsentrasjon < 15 % (NKB 1994, NS 3901 1998 og HO-3/2000).

5.5.3 Varmepåkjenning

Varmepåkjenning ved brann skjer enten via direkte temperaturpåkjenning i kontakt med varme branngasser, eller via varmestråling fra et varmt røykklag. I rømningsanalyser er det vanlig å benytte et akseptkriterium for maksimaltemperatur i røyksjikt ved hodehøyde på 60 °C (NS 3901 1998, HO-3/2000 og NKB 1994). En temperatur på 60 °C er imidlertid ikke dødelig. Tabellen nedenfor gir en oversikt over menneskelig tåleevne ved eksponering for temperaturer over 50 °C (Liebe 2000:49 og Opstad og Stensaas 1998: kapittel 4.2.1).

Tabell 5.10 – Menneskelig tåleevne ved eksponering for høye temperaturer

Temperatur [°C]	Respons
50	3 – 5 timer toleransetid
70	60 minutters toleransetid
100	Brannskader meget hurtig i tørr luft
105	25 minutters toleransetid
115	20 minutters toleransetid
120	15 minutters toleransetid
125	Vanskelig å puste gjennom nesene
140	5 minutters toleransetid
150	Temperaturrense for å kunne evakuere. Vanskelig å puste gjennom munnen.
160	Rask, ulidelig smerte ved tørr hud
180	Irreversibel skade på tørr hud innen 30 sekunder
205	Toleransetid mindre enn 4 minutter ved våt hud. Terskel for åndedrettsfunksjon.

Varmestråling fra et varmt røyklag eller flammer, er avhengig av temperaturen i røyklaget/flammer i 4.potens, jmfør likning i kapittel 5.4.3.3. I rømningsanalyser anbefales det at personer ikke skal utsettes for vedvarende varmestrålingsintensitet på mer enn 1 kW/m². Maksimal varmestrålingsintensitet bør ikke overstige 10 kW/m² i maksimalt 4 - 6 s. Den samlede akkumulerte strålingsenergien bør ikke overstige 60 kJ/m² (60 kW/m²) utover energien fra en stråling på 1 kW/m² (HO-3/2000:33 og NS 3901 1998:6).

På offshoreinstallasjoner kan en strålingsintensitet på opptil 6,3 kW/m² aksepteres i 1 minutt dersom personell utsatt for varmestrålingen er beskyttet med klær (*appropriate clothing*). For nødoperasjoner som varer i lengre tid (flere minutter), er 4,7 kW/m² angitt som en maksimal grense, og 1,6 kW/m² for kontinuerlig eksponering (Vinnem 2007:223).

Varmestrålingsintensitet på 10 kW/m² avgis teoretisk fra et røyklag med temperatur på 648 K (= 375 °C). I praksis vil røyklagets evne til å avgi varmestråling ikke være ”perfekt”. Det vil si at $\epsilon < 1,0$, som medfører at røyklaget må være varmere enn 375 °C for å avgi en varmestrålingsintensitet på 10 kW/m².

$$E = \epsilon\sigma T_g^4 \text{ (fra kap. 5.4.3.3)} \Rightarrow T_g = \left(\frac{E}{\epsilon\sigma}\right)^{\frac{1}{4}} \Rightarrow T_g = \left(\frac{10\,000 \text{ W/m}^2}{1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4}\right)^{\frac{1}{4}} = 648\text{K}$$

Personens plassering i forhold til røyklaget (avstand og geometrisk plassering) vil påvirke den mottatte varmestrålingsintensiteten. Mottatt varmestrålingsintensitet beregnes som produktet av avgitt varmestrålingsintensitet, E, og konfigurasjonsfaktor, F_{d1-2}. Konfigurasjonsfaktoren kan variere mellom 0 og 1. Konfigurasjonsfaktor for varmestråling fra hjørnet på en avstrålende flate til en parallell mottakende flate, kan beregnes med følgende likning (DiNenno m.fl. 2002:1-77):

$$F_{d1-2} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \left(\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \left(\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \right]$$

Der;

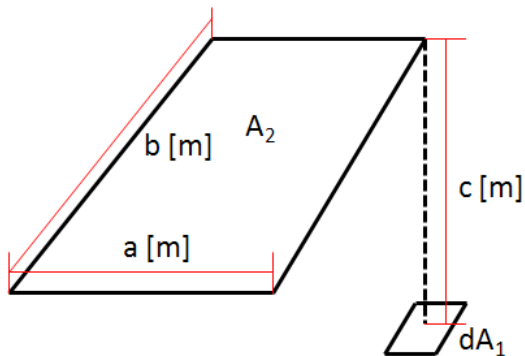
$$X = \frac{a}{b} \quad \text{og} \quad Y = \frac{b}{c}$$

a er avstrålende flates (A_2) bredde [m]

b er avstrålende flates (A_2) lengde [m]

c er avstand fra avstrålende flate til parallell mottakende flate (A_1) [m]

Figur 5.19 – Beregning av konfigurasjonsfaktor



Ved beregning av varmestråling mot en person som står plassert rett under et varmt røyklag, og ikke i hjørnet av den avstrålende flaten, som vist på figur 5.19, må det etableres fire like flater basert på $a/2$ og $b/2$ til å beregne konfigurasjonsfaktoren for hver flate. Konfigurasjonsfaktoren for hele flaten er summen av de fire små flatene, det vil si $4 \times F_{d1-2}$ (Drysdale 2002:58-59). Dersom en person står plassert rett under et røyklag med bredde, $a = 8$ m, lengde, $b = 4$ m, og avstanden mellom røyklaget og personen, $c = 2$ m (0,6 m over gulvflaten), beregnes konfigurasjonsfaktoren til, $4 \times F_{d1-2} = 4 \times 0,1674 = 0,6696$. Med en mer realistisk emissivitet, $\epsilon = 0,8$, og beregnet konfigurasjonsfaktor, $F_{d1-2} = 0,67$, vil en mottatt varmestrålings-intensitet på 10 kW/m^2 , tilsvare en røykgasstemperatur på $484 \text{ }^\circ\text{C}$. Basert på beregningene er det rimelig å forutsette at varmpåkjenning, som følge av høy temperatur, er en større utfordring enn varmestråling.

5.5.4 Nedsatt siktbarhet

Nedsatt sikt er, som nevnt ovenfor, ikke dødelig alene. Nedsatt sikt er imidlertid en indikator på giftigheten i omgivelsesluften som personer befinner seg i under rømning. NKB 1994 angir at dersom den optiske densiteten er mindre enn 2 dB/m , kan det forutsettes at personer i området ikke utsettes for kritiske konsentrasjoner av giftige gasser (CO , CO_2 , HCN osv). En optisk densitet mindre enn 2 dB/m tilsvarer en sikt lengde på 5 m, eller mer (NKB 1994:27):

$$\text{Visibility [m]} = \frac{10}{\text{OD}}$$

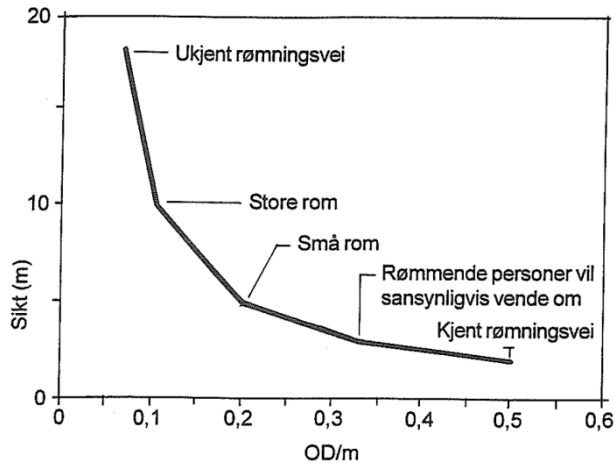
Der:

OD er optisk densitet [dB/m]

For at mennesker skal kunne ha mulighet til å rømme fra en bygning, må siktbarheten være i området 4 - 10 m, avhengig av hvor kjent personene er i bygningen (Opstad og Stensaas 1998: kapittel 4.3.2). I rømningsanalyser er det vanlig å bruke en sikt lengde på minst 10 m i rømningsveier og store brannrom, og minst 3 m i mindre brannrom (NS 3901 1998:6 og HO-3/2000:33). Det anbefales at siktbarheten måles 2 m over gulvnivå (NKB 1994:26).

Veiledning til NS 3901 angir et siktbehov ned mot 0,5 – 0,35 OD/m (veiledningen til NS 3901 bruker et sikt lengde [m] = 1/OD) dersom rømningsveien er kjent. Det vil si en sikt lengde på mellom 2 og 3 m (veiledning til NS 3901 1998:29). Det er verdt å legge merke til at personer sannsynligvis vil vende om, først når siktbarheten er redusert til ned mot 3 m (Proulx 2003:1 og veiledning til NS 3901 1998:29).

Figur 5.20 – Siktbehov under rømning (veiledning til NS 3901 1998:29)



5.5.5 Oppsummering menneskelige tålegrenser ved brann

Tabellen nedenfor oppsummerer kriteriene for menneskers tålegrenser, som er benyttet i denne oppgaven. Det anføres at kriteriene generelt er noe mer kritiske enn det som anbefales i for eksempel NS 3901 (1998) og HO-3/2000. De kritiske verdiene i NS 3901 og HO-3/2000 gir uttrykk for akseptable verdier i forbindelse med rømning i alle typer bygninger. I denne oppgaven vurderes risikoforskjeller i boligblokker, hvor personer er kjent med rømningsveiene. Noe av den sikkerhetsmarginen, som synes å ligge innbakt i de kritiske verdiene i NS 3901 og HO-3/2000, er fjernet i denne oppgaven, basert på overstående gjennomgang. Hensikten med dette er å forsøke å tilnærme seg reelle kritiske verdier ved eksponering, samt å være på "ugunstig side" ved sammenligninger mellom preaksepterte boligblokkkonsepter og alternative boligblokkkonsepter, med installert sprinkleranlegg. En høy kritisk verdi er i en komparativ vurdering, til fordel for et konsept uten slokkeanlegg. Dette fordi det kan tenkes at slokkeanlegget begrenser de kritiske variablene tilnærmet uansett hvor lavt de kritiske verdiene settes.

Tabell 5.11 – Oppsummering av kritiske verdier for menneskers eksponering for brann

Variabel	Kritisk i rømningsvei (2 m over gulv)	Kritisk i leilighet (1,4 m over gulv)	Dødelig i leilighet (1,4 m over gulv)
CO-konsentrasjon	> 1 500 ppm	> 3 000 ppm	> 4 600 ppm
Akkumulert CO-dose	> 43 000 ppm min	> 43 000 ppm min	> 90 000 ppm min
CO ₂ -konsentrasjon	> 10 %	> 10 %	> 10 %
O ₂ -konsentrasjon	< 10 %	< 10 %	< 10 %
Temperatur	> 60 °C	> 90 °C	> 150 °C
Sikt	< 4 m	Ikke målt	Ikke målt
Varmestråling *	Snitt > 3 kW/m ²	Ikke målt	Ikke målt

* Det er kun målt varmestrålingsintensitet i rømningsvei. Det er forutsatt en korridor med lengde inntil 30 m, og maksimal varmestrålingsenergi på 60 kJ/m² + 1 kW/m². Med en ganghastighet på 1 m/s tar det 30 s å passere korridoren: (60 kW s/m² / 30 s) + 1 kW/m² = 3 kW/m².

De giftige gassene omtalt ovenfor, vil ikke opptre alene i røyken. Den faktiske påkjenningen et menneske utsettes for, vil være avhengig av synergiske effekter mellom de ulike gassene. Det vil si at dersom en person utsettes for en viss mengde HCN, er det ikke sikkert at tåleevnen for CO er like høy som beskrevet ovenfor. Det er for øvrig ikke tatt hensyn til slike additive effekter i denne oppgaven.

I dette kapittelet er det kun omtalt effekter av *narkotiske gasser* (CO, CO₂ og HCN). *Irriterende gasser* vil også påvirke mennesker som utsettes for brannrøyk under rømming. Eksempler på irriterende gasser er hydrogenklorid (HCl), nitrogenoksyder (NO_x), ammoniakk (NH₃), svoveldioksyd (SO₂), hydrogenfluorid (HF), hydrogenbromid (HBr) og akrolein. Irriterende gasser bidrar først og fremst til smerte og ubehag i øyne og øvre luftveier. Dette kan bidra til å forsinke evakuering, men forårsaker død først etter noen timers eksponering (Opstad og Stensaas 1998: kapittel 4.1.6).

5.6 Menneskers respons i brannsituasjoner

5.6.1 Generelt om menneskers respons i brannsituasjoner

En boligbygning er til for menneskene som skal bo der. Disse menneskene påvirker sin egen sikkerhet, både ved måten de handler frem til et eventuelt branntilløp skulle oppstå, og ved måten de handler etter at et branntilløp har oppstått. Et godt regelverk med krav om teknisk sikkerhet i en bygning, er derfor ingen garanti for at det ikke vil forekomme tap av menneskeliv, dersom det skulle oppstå en brann.

Handlinger, eller manglende handlinger, knyttet til oppfølging av tekniske installasjoner (elektrisk anlegg og elektriske apparater), feil bruk av utstyr og uaktsom bruk av levende lys, er eksempler på forhold som påvirker sannsynligheten for brann. Menneskelige handlinger som følger etter brannens start, påvirker ofte også brannens omfang og tiden det tar før evakuering starter. Eksempler på dette kan være at beboerne lar brannklassifiserte dører mot felles rømningsveier stå åpne, eller drøyer evakuering på grunn av manglende tiltro til alarmsignaler.

Tiden fra brannstart og frem til personer starter evakuering, kalles reaksjonstid, eller *pre-movement time*. Til tross for begrepet, som indikerer lite bevegelse, er det ofte mye aktivitet i denne fasen. Ved brannalarm eller signaler om brann, er det vanlig at beboerne utfører handlinger for å tilegne seg mer informasjon om de signalene de får om brann, eller hvorfor alarmen har gått. Eksempler på dette er at beboerne undersøker lyder og lukter, samt ringer naboer og vaktmester for å diskutere med hverandre før de starter evakuering. Når beboerne har tilstrekkelig informasjon til å beslutte at de vil evakuere bygningen, er det ikke sikkert at dette skjer med en gang. Dersom jakten på informasjon har ført dem ut av leiligheten, er det vanlig at beboerne returnerer til sin egen leilighet for å samle familien, samt hente personlige eiendeler (Proulx 2001, 2003, 2007a og 2007b).

Når beboerne først bestemmer seg for å evakuere bygningen, er det ikke uvanlig at de rømmer gjennom røykfylte rømningsveier. Dette skjer til tross for at kunnskap om røykens giftighet synes å være til stede hos de fleste. Beslutningen om å gi opp rømming gjennom røykfylte rømningsveier, synes å tas når siktlingen reduseres ned mot 3 m (Proulx 2003:1-2). Det er lite som tyder på at mennesker får panikk i brannsituasjoner (Proulx 2001:11).

Kollapsen av World Trade Center i 2001 har fått en meget stor innflytelse på planlegging av evakueringsstrategier i USA. Undersøkelser viser at evakueringen tok lang tid på grunn av fulle trapper, dette til tross for at bygningen bare var en tredel "bemannet" ved tidspunktet for ulykken. Det var også mange eldre personer i bygningen, samt personer med redusert fysisk tilstand. Dette har satt fokus på behovet for andre evakueringsstrategier, hvor evakueringsheis synes å bli en vanlig løsning i høyhus (Proulx 2007a).

En annen strategi er å beskytte menneskene inne i bygningen ved brann. Det vil si at de personene som ikke er direkte truet av brannen, blir i sin leilighet. Her mottar de informasjon og forbereder seg på videre handlinger (Proulx 2002:3). Motivasjonen for denne strategien er knyttet til at mange av de som omkommer i brann, og som ikke befant seg i startbrannrommet da brannen brøt ut, omkommer i rømningsveiene ved evakuering. Proulx (2002) argumenterer med blant annet følgende aspekter, som taler til fordel for en "protect in place"-strategi ved brann:

- Tidsforsinkelsen fra brannstart til evakuering starter, er i utgangspunkt for lang.
- Det kan kun forventes begrenset respons på brannalarmsignaler.
- Gangavstanden fra leiligheten til det fri er for lang (spesielt for høyhus).
- Beboere med nedsatt funksjonsevne har problemer med å evakuere en bygning ved brann.
- Rømningsveier blir ofte, mer eller mindre, røykfylte ved brann.
- Personer, som i større grad er utsatt for fare, har større mulighet for å evakuere, ved at rømningsveiene ikke fylles opp av personer, som ikke er direkte truet.
- Brannvesenet kan konsentrere seg om slokking.

Introduksjon av en "protect-in-place"-strategi ved brann i Norge, vil medføre en endring av den fundamentale måten brannsikkerhet planlegges, samt en endring i hvordan mennesker læres opp til å handle ved brann.

5.6.2 Menneskers respons på alarmsignaler

Hovedhensikten med å gi alarm til mennesker i en bygning, med evakueringsstrategi om at alle skal ut, er å få dem til å evakuere. Dette skjer imidlertid sjeldent, dersom brannalarmen er eneste signal om brann. Tilleggssignaler, som lukt av røyk, lyder fra brannvesenet og brannen, syn av flammer og røyk, er med på å verifisere og gi kredibilitet til brannalarmsignalet. Dette øker sannsynligheten for at bygningen evakueres. Dersom slike signaler ikke er tilstede, kan handlinger av brannansvarlige og informasjon via taleanlegg, være elementer som verifiserer alarmsignalet, og som dermed blir avgjørende for når evakueringen starter. Regelmessige brannøvelser kan også være avgjørende for å få til rask evakuering (Proulx 2007b).

Manglende respons på brannalarmsignal kan skyldes manglende anerkjennelse av alarmsignalet som brannalarm. Dette kan igjen blant annet skyldes at folk har problemer med å skille brannalarmsignalet fra innbruddsalarm, heisalarm osv (Proulx 2007b).

Unødige og falske alarmer er også med på å redusere beboernes tiltro til brannalarmanlegget. Tidsperspektivet knyttet til slike alarmer spiller også en stor rolle. Tre unødige eller falske alarmer i løpet av en uke, vil gi et større negativ effekt enn tre alarmer i løpet av ett år. Tilsvarende vil tiden alarmer inntreffer på, spille en tilsvarende rolle. En unødig eller falsk alarm på nattetid vil ha en mer negativ og langvarig effekt, enn en alarm på dagtid. Manglende tiltro til brannalarmanlegget kan føre til at anlegget frakobles, eller at brannalarmen ignoreres ved en reell alarm. Kommunikasjon vektlegges som en viktig faktor med hensyn til å opparbeide kredibilitet til brannalarmanlegget. Dette kan være at beboere får informasjon om årsaken til unødig eller falske alarmer, samt informasjon om hvilke tiltak som iverksettes for å rette opp problemet (Proulx 2007b).

Manglende evne til å høre brannalarmen er en vanlig årsak til manglende respons ved alarm. Studier fra evakueringsøvelser viser at sentralt plasserte alarmklokker i rømningsveier, kan være vanskelige å høre inne i den enkelte leilighet. Det er også funnet at barn, voksne med søvnproblemer og personer som er under påvirkning av selv moderate mengder alkohol, vil ha større eller mindre problemer med å våkne av brannalarmsignalet (Proulx 2007b).

5.7 Risikomodellering av barrierer

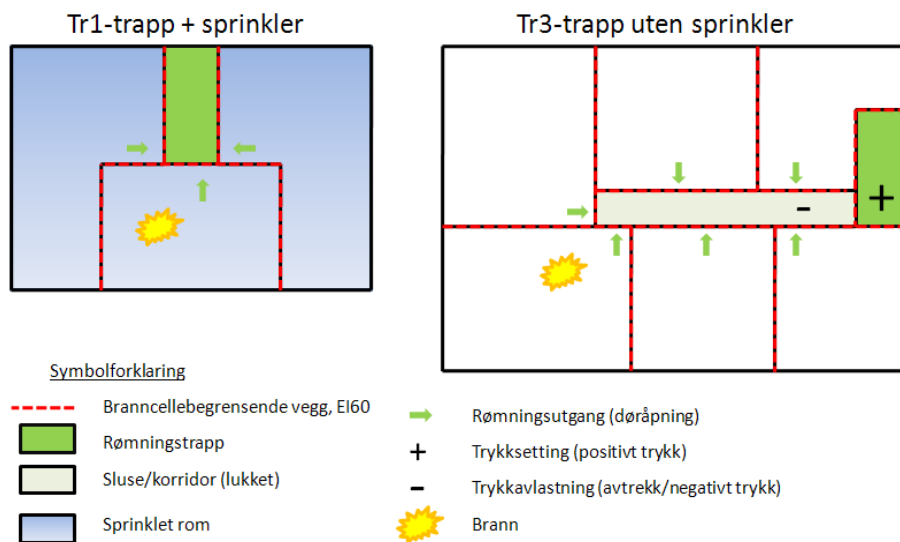
5.7.1 Generelt

Så lenge det finnes brennbare materialer og tilstrekkelig lufttilførsel i en bygning, vil en brann vokse dersom det ikke finnes barrierer som begrenser veksten. Som følge av brannens temperaturutvikling og produksjon av giftige gasser vil det før eller siden oppstå kritiske forhold i bygningen. Dersom det finnes mennesker i bygningen, og det ikke finnes noen barrierer mellom brannen og disse menneskene, vil det oppstå skader eller omkomne i brannen.

Brannens utvikling kan begrenses enten ved å slokke selve brannen, eller å begrense arealet/volumet brannen kan utvikle seg i. Eksempel på barrieresystem som kan bidra til å slokke en brann, er manuelt slokkeutstyr (håndslukkere, brannslanger og branntepper) og automatiske slokkeanlegg (sprinkleranlegg og vanntåkeanlegg). Eksempel på barrieresystem som begrenser arealet brannen kan utvikle seg på, er branncellebegrensende og brannseksjonerende bygningsdeler, samt avstand mellom bygninger.

Ulike branntekniske konsept vil, som funksjon av avstand fra brannsted, medføre ulik risiko for ulike soner i blokken. Et eksempel er vist på figuren nedenfor. Her sammenlignes en boligblokk med ett Tr1-trapperom og sprinkleranlegg, med en boligblokk med ett Tr3-trapperom uten sprinkleranlegg. I konseptet med Tr1-trapp er det benyttet et tiltak (sprinkleranlegg) som virker i startbrannrommet, og som vil redusere risikoen for personer i dette rommet. I konseptet med Tr3-trapp, er det imidlertid benyttet tiltak som i større grad beskytter trapperommet. Dette medfører ikke nødvendigvis lavere risiko for personer i startbrannrommet, men reduserer risiko for personer i andre etasjer.

Figur 5.21 – Ulike boligblokkkonsept – ulike barrierer (planskisser)



Ved modellering av risiko for ulike branntekniske boligblokkkonsept, er det derfor vurdert som hensiktsmessig å skille mellom:

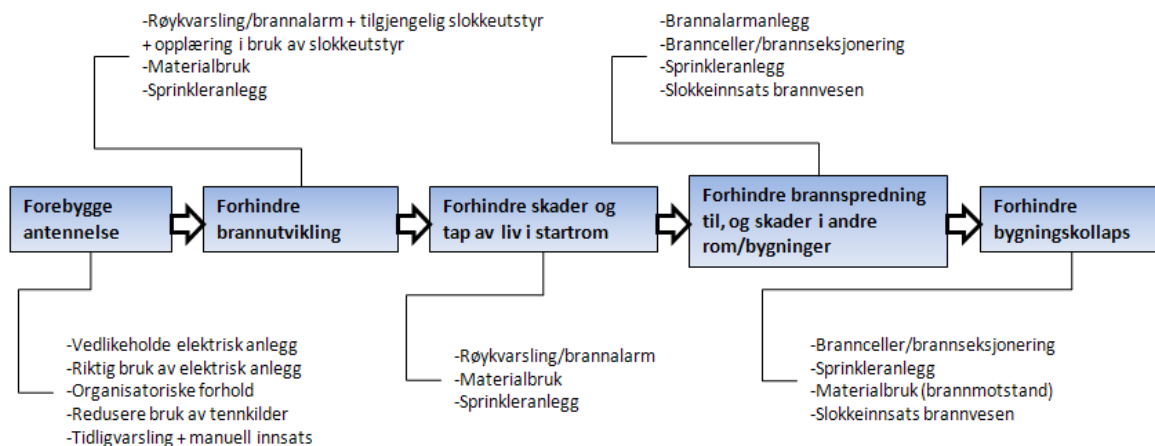
1. Risiko for personer i startbrannrommet.
2. Risiko for personer i startbrannetasjen.
3. Risiko for personer i startbrannbygningen.

Ved analyse av risiko på de ulike nivåene i blokken, er barrierebegrepet av vesentlig betydning. I henhold til Vinnem (2007) er *barrierer* et samlebegrep for *barrierefunksjon*, *barrieresystem* og *barriereelement*. I tillegg brukes begrepet *risikopåvirkende faktorer* om forhold som ikke er en del av barrieren, men som påvirker barrierens pålitelighet, effekt og/eller robusthet (Vinnem 2007:47).

<i>Barrierefunksjon</i>	En funksjon som er planlagt for å forhindre, kontrollere, eller redusere uønskede hendelser eller ulykker.
<i>Barriersystem</i>	Tekniske, menneskelige og/eller organisatoriske tiltak, som er designet for å utføre én eller flere barrierefunksjoner. Eksempler er brannalarmanlegg, sprinkleranlegg osv.
<i>Barriereelement</i>	En komponent i et barriersystem, som alene ikke er tilstrekkelig for å utføre en barrierefunksjon. Eksempler er en røykdetektor i et brannalarmanlegg, eller sprinklerhode i et sprinkleranlegg.
<i>Risikopåvirkende faktorer</i>	Forhold som påvirker prestasjonen til et barriersystem. For et barriersystem, som for eksempel sprinkleranlegg, kan eksempler på risikopåvirkende faktorer være vedlikeholdsrutiner og ytre miljø. Vedlikeholdsrutiner kan for øvrig også defineres som et barriersystem, i forhold til å forhindre antennelse i det elektriske anlegget.

Det er valgt å dele barrierebegrepet opp i overnevnte delfaktorer, for å vise at et barriersystem kan påvirke flere barrierefunksjoner. Oppdelingen er også gjort for å vise at et barriersystem kan være komplekst sammensatt av ulike barriereelementer. Disse faktorene vil være nyttige når effekten, påliteligheten og robustheten av et barriersystem skal vurderes opp mot de enkelte barrierefunksjonene, og opp mot den totale brannsikkerheten i bygningen. Figuren nedenfor viser en kjede av *barrierefunksjoner*, og tilhørende eksempler på *barriersystemer* for et brannteknisk konsept i en boligblokk. Dersom preaksepterte løsninger i veiledningen til teknisk forskrift §§ 7-22 - 7-28 legges til grunn for brannteknisk konseptprosjektering, vil barrierefunksjonene i figuren nedenfor ivaretas. Sikkerheten i bygningen vil da tilfredsstillende sikkerhetsnivået i teknisk forskrift § 7-2 *Sikkerhet ved brann*.

Figur 5.22 – Barrierefunksjoner med eksempler på tilhørende barriersystemer/-elementer



I denne oppgaven gjennomføres det en analyse av de ulike barriersystemenes effekt på risikonivået i boligblokker. I denne sammenheng er det av vesentlig betydning at de ulike systemenes virkning og svakheter, analyseres i sammenheng med tilhørende barrierefunksjon. Innledningsvis i dette kapitlet er det gitt et eksempel, der et konsept basert på Tr1-trapperom og sprinkler, sammenlignes med et konsept basert på Tr3-trapperom uten sprinkler. For å kunne si noe om risikoforskjellen mellom de to konseptene, må effekten av de planlagte tiltakene (barriersystemene) vurderes opp mot barrierefunksjonene. Som det fremgår av figuren ovenfor, vil et konsept basert på sprinkleranlegg påvirke flere barrierefunksjoner enn et system basert på passive barrierer (branncellebegrensende vegger). Det kan imidlertid ikke uten videre konkluderes med at konseptet basert på sprinkleranlegg er

bedre eller gir lavere risiko, enn det konseptet som hovedsakelig er basert på flere passive barrierer. Dette avhenger av sprinkleranleggets faktiske effekt på barriererefunksjonen, og anleggets pålitelighet og robusthet. Dersom passive barrierer i stor grad erstattes med et sprinkleranlegg, kan høy sårbarhet ved sprinklersvikt medføre at konseptet totalt sett medfører høyere risiko, enn et konsept med flere passive barrierer, men uten sprinkleranlegg. Et konsept som er basert på flere barrierer, som på ulike måter virker for å ivareta en barriererefunksjon, for eksempel både sprinkleranlegg og passive barrierer, kalles gjerne for dybdeforsvar (*defence in depth*) (Vinnem 2007:45). Et slikt konsept kan sies å være robust (redundant), og mindre sårbart ved svikt i enkelte av barrierene.

I påfølgende kapitler redegjøres det for de vanligste barrieresystemene, som benyttes for å ivareta brannsikkerheten i boligblokker. Hensikten med denne redegjørelsen, er å klargjøre hvilke forutsetninger som er lagt til grunn i risikoanalysen for barrieresystemenes effekt på barriererefunksjoner, og systemenes pålitelighet og robusthet. Risikoanalysen danner grunnlaget for sammenligningen av de ulike boligblokkonseptene.

Det er valgt å undersøke påliteligheten og effekten av følgende tiltak og forhold:

- Håndslukkeutstyr
- Automatiske sløkkeanlegg (sprinkleranlegg)
- Brannvesenets sløkkeinnsats
- Branncellebegrensende og brannseksjonerende konstruksjoner
- Trykksetting av trapperom
- Røykvarslere
- Brannalarmanlegg

5.7.2 Håndslukkeutstyr (personer i leiligheten sløkker brannen)

5.7.2.1 Generelt

Håndslukkeutstyr defineres i denne oppgaven som håndslukkeapparat (pulver eller skum), eller husbrannslange. Dette er det mest vanlige håndslukkeutstyret i norske boliger.

Det har siden 1990 vært påbudt med manuelt sløkkeutstyr i alle boliger i Norge, som følge av innføringen av Forskrift om brannforebyggende tiltak og brannsyn (i kraft 20. september 1990): § 5-2: *Alle boliger skal ha manuelt sløkkingsutstyr som kan benyttes i alle rom* (Mostue 2000:54).

5.7.2.2 Funksjonsbeskrivelse

Hvorvidt et håndsløkkemiddel skal fungere som en barriere, er avhengig av om brannen oppdages av en person i nærheten, og at denne personen setter i gang sløkking.

Sammenlignet med et automatisk sløkkeanlegg, er håndsløkkeutstyr avhengig av en rekke menneskelige reaksjoner og handlinger for å fungere som en barriere mot brannutvikling. Ifølge Mostue (2000:15) er kunnskapen om bruk og kontroll av håndsløkkeutstyr liten, og det er lite/ingen oppfølging og kontroll fra myndigheter og forsikringsselskaper.

Det er delte meninger i fagmiljøet om det skal anbefales husbrannslange eller håndsløkkeapparat som sløkkemiddel. Den største forskjellen på disse sløkkemidlene er kapasiteten. Et 6 kg håndsløkkeapparat er tømt i løpet av ca. 15 s, noe som kan være for lite til å slukke en større brann (Mostue 2000:31-32). En husbrannslange har tilnærmet ubegrenset kapasitet, men dette medfører at personer kan oppholde seg lenger i brannrommet enn ønskelig. SINTEF NBL anbefaler at husbrannslanger benyttes, med bakgrunn i økt sløkkekapasitet, samt at disse er lettere å bruke for flertallet av befolkningen (Mostue 2000:31-32).

5.7.2.3 Pålitelighet, effektivitet og kostnad

SINTEF NBL har gjennomført studier for å vurdere effekten av forskriftskrav om røykvarslere og håndsløkkeutstyr i boliger. Konklusjonen er at dette kravet til en viss grad har redusert antall omkomne i brann. Spesielle persongrupper er imidlertid overrepresentert i dødsbrannene - grupper som røykvarslere og håndsløkkeutstyr ikke nødvendigvis vil hjelpe. Dette gjelder blant annet personer med nedsatt fysisk

og psykisk funksjonsevne, og alkoholpåvirkede personer. Manuelt slokkeutstyr har følgelig en begrensning i forhold til hvor mange liv som kan reddes (Mostue 2000:15-24).

Av de brannene som brannvesenet har hatt utrykning til, og som registreres i DSBs brann- og uhellsstatistikk, har manuelt slokkeutstyr stanset brannspredning i 12-15 % av tilfellene hvert år. Mange av de mindre brannene, som brannvesenet ikke har rykket ut til, er følgelig ikke registrert i statistikken til DSB. Ifølge en undersøkelse, referert til av Mostue (2000), blir 4 av 12 branntilløp ikke meldt. Det finnes lite forskningsmaterialet som sier noe om skadepotensialet til de brannene som ble slokket av håndslukkeutstyr (Mostue 2000:31-32).

Ifølge tall fra DSB, er håndslukkeutstyr angitt som medvirkende årsak til å begrense brannspredningen i 17 – 20 % av alle boligbranner. I tillegg angis ”innsats av eier” som medvirkende årsak i 35-36 % av boligbrannene (DSB, Brann- og uhellsstatistikk 2004, 2005 og 2007). SINTEF anslår at manuelt slokkeutstyr har stanset brannspredningen i 12 – 15 % boligbrannene hvert år (Mostue 2000:31).

Kostnadene knyttet til anskaffelse av manuelt slokkeutstyr, sammenlignet med mange andre branntekniske tiltak, er relativt beskjedne per bolig (mellom 500 – 1 500 NOK/enhet).

5.7.3 Automatiske slokkeanlegg

5.7.3.1 Generelt

Med automatiske slokkeanlegg menes i denne sammenheng hovedsakelig konvensjonelle sprinkleranlegg og boligsprinkleranlegg.

Sprinkleranlegg har ikke vært særlig utbredt i norske boligbygninger. Dette gjenspeiles gjennom brannstatistikken fra DSB for årene 1999-2009, der automatisk slokkeanlegg kun var registrert i forbindelse med 51 av totalt 4 410 branner i boligblokker. Dette gir en dekningsgrad på om lag 1,2 %.

I USA (2006) hadde 16 % av alle leilighetsbygninger som opplevde brann, sprinkleranlegg. Nyere undersøkelser viser at spesielt store boligblokker, i større grad enn små, har sprinkleranlegg. Eksempelvis har 27,3 % av blokkene med 50 eller flere leiligheter sprinkleranlegg, mot 16,3 % av blokkene med 20-49 leiligheter. De fleste automatiske slokkeanleggene som benyttes i bygninger i USA, er sprinkleranlegg (79 %). De fleste sprinkleranleggene er våtrørssystemer (70 %) (Hall 2008:3-4).

5.7.3.2 Funksjonsbeskrivelse

Formålet med et sprinkleranlegg er å slokke eller kontrollere sannsynlige branner, inntil slokking kan fullføres med andre midler. Et sprinkleranlegg kan også dekke funksjonen til et brannalarmanlegg, ved å varsle brann, men følsomheten er generelt lavere enn for brannalarmanlegg (Mostue og Opstad 2002: 18).

Tabell 5.12 – Sprinkleranleggets vanlige virkemåte

Sprinkleranlegg - faser	Funksjon
Aktiveres	Sprinklerhode utløses av brannpåkjenning. Sprinklerhoders aktiveringstemperatur varierer fra 57-260 °C. For hoder med smelteledd er 74 °C mest vanlig og for hoder med glassbulb er 68 °C mest vanlig.
Alarmerer	Automatisk alarmering til personell, brannvesen eller annet hjelpepersonell
Slokker eller kontrollerer brann	Slokker eller kontrollerer sannsynlige branner inntil slokking kan bli fullført med andre midler.

I denne oppgaven er det forutsatt at sprinkleranlegg som benyttes i boligblokker har sprinklerhoder av typen rask respons (lav RTI⁷-verdi). Dette er sprinklerhoder med høyere følsomhet for temperatur, det

⁷ RTI = Response time index [\sqrt{ms}]

vil si at de aktiveres raskere enn standard sprinklerhoder. Begrunnelsen for dette er at sprinkleranlegget skal ha størst mulig effekt på personsikkerheten.

5.7.3.3 Sprinkleranleggets effekt

SINTEF har gjennomført flere prosjekter knyttet til å vurdere effekten av automatiske sløkkeanlegg, med hensyn til giftighet i avgasser i brannrommet og muligheter for overlevelse (se Mostue (2000), Mostue og Stensaas (2002), Mostue og Opstad (2002), Mostue, Stensaas og Wighus (2003), Drangsholt og Rossebø (2006)).

Undersøkelsene viser at det er mulig å overleve i et brannrom med boligsprinkleranlegg eller vanntåkeanlegg, under forutsetning av at anleggene er riktig dimensjonert, samt at personene i rommet kan tåle den ekstra påkjenningen en sprinklerkontrollert brann medfører. Dette innebærer at de kritiske verdiene for giftighet (hovedsakelig CO-konsentrasjon) og temperatur, ikke overstiges i løpet av testtiden (minst 20 minutter) (Drangsholt og Rossebø 2006:31).

Sannsynligheten for å omkomme i en brann dersom bygningen/brannrommet er sprinklet, sammenlignet med branner uten sprinkler, estimeres generelt til 50-75 %. For boliger estimeres en reduksjon på 73 % (Mostue og Stensaas 2002:41). Oppdaterte tall fra USA, er gjengitt i tabellen nedenfor (Mostue (2000), Rohr (2003) og Hall (2009)).

Tabell 5.13 – Sprinkleranleggets effekt i forhold til å redusere antall omkomne i branner (tall fra USA)

Bygningstype	Reduksjon i antall omkomne som følge av sprinkleranlegg. Antall omkomne angitt i omkomne per 1 000 innbyggere.								
	1987-1996			1999			2003-2006		
	Uten sprinkler	Med sprinkler	Reduksjon	Uten sprinkler	Med sprinkler	Reduksjon	Uten sprinkler	Med sprinkler	Reduksjon
Bolig (generelt)	9,6	3,3	66 %	9,0	2,9	67 %	7,7	1,8	76 %
Enebolig og tomannsbolig	-	-	-	9,8	5,9	40 %	9,1	1,2	87 %
Leilighet	-	-	-	6,8	1,4	80 %	4,3	1,5	65 %
Hotell og motell	9,1	1,6	82 %	10,8	0,0	100 %	4,6	1,2	74 %
Kontor/salg	0,8	0,3	63 %	1,2	0,0	100 %	0,9	0	100 %
Helsebygning	5,6	1,5	73 %	0,6	0,4	31 %	8,0	1,7	79 %
	Mostue 2000:40			Kilde: Rohr 2003:34			Kilde: Hall 2009:56		

I Norge var det frem til 2002 ikke registrert omkomne i branner i bygning med sprinkleranlegg. Dette kan skyldes at de fleste omkommer i boliger, hvor sprinkleranlegg ikke er veldig utbredt (Mostue og Opstad 2002:23).

I oppdatert statistikk for norske dødsbranner i perioden 1999-2009, er det imidlertid registrert én dødsbrann i sprinklet boligbygning. Sprinkleranlegget skal også ha fungert. Brannen ble meldt natt til en torsdag i juli 2003, kl. 01:38, og skal ha startet i stuen. Brannen ble sløkket i startbrannrommet. Det var ikke installert røykvarsler eller brannalarmanlegg i leiligheten. Manuelt håndsløkkeutstyr var tilgjengelig og fungerende, men ble ikke brukt. Personen som omkom var en mann på 65 år. Brannens årsak skal være "elektrisk årsak" (DSBs statistikk over boligblokkbranner 1999-2009). Frem til og med 2008 er det i Norge følgelig kun registrert én omkommet person i en sprinklet boligbygning.

Av tabellen nedenfor fremgår det at omkomne i en sprinklet bygning, sammenlignet med branner i usprinklet bygning, oftere er i nærheten av brannstedet. I 85 % av tilfellene var brannofferet i brannens nærområde, sammenlignet med 53 % i usprinklet bygning. Det var brann i offerets klær i 34 % av brannene i sprinklet bygning, mot 7 % i usprinklet bygning (Hall 2009:57). Tallene bekrefter

sprinkleranleggets evne til å kontrollere brannens omfang, med hensyn til at dødelige forhold begrenses til brannens nærområde og forhindrer dødelige forhold andre steder i bygningen. Tallene gir også en bekreftelse på at sprinkleranlegg ikke kan redde alle potensielle brannofre. Dersom personen befinner seg i startbrannrommet, og har redusert mobilitet, vil det også i en sprinklet bygning kunne oppstå dødelige forhold.

Tabell 5.14 – Offerkarakteristikk ved dødsbranner i sprinklede og usprinklede bygninger (Hall 2009)

Offerkarakteristikk	Sprinkler fungerte (ekskludert branner der sprinkler ikke var i brannområdet)	Ikke automatisk sløkkeanlegg
Offer var i brannens nærområde	85 %	53 %
Brann i offerets klær	34 %	7 %
Offer eldre enn 65 år	44 %	28 %
Offer returnerte til brannen, uten mulighet til å handle, eller handlet irrasjonelt	34 %	18 %

For branner i boligblokker/leiligheter der sprinkler er installert, begrenses skadene til startbrannrommet i 97 % av branntilfellene (Hall 2009:30).

Gjennomsnittlige skadekostnader som følge av brann er funnet å være redusert fra \$10 000 i en usprinklet leilighetsbygning, til \$4 000 i en sprinklet leilighetsbygning. Dette er en prosentvis reduksjon på 61 %. For eneboliger og tomannsboliger er den prosentvise reduksjonen kun 22 % (fra \$19 000 - \$14 000) (Hall 2009:58). Dette kan muligens forklares med at eneboliger og tomannsboliger har større arealer enn leiligheter, og flere rom blir utsatt for røykskader.

Gjennomsnittlig tap i en boligbrann i Norge, uten sprinkleranlegg, varierer mellom 90 000 og 2 200 000 NOK. For en sprinklet bolig anslås gjennomsnittlige skadekostnader på mellom 20 000 og 50 000 NOK. Sprinkleranlegg anslås å redusere de materielle tapene ved brann i boliger med om lag 40 – 95 % (Mostue og Stensaas 2002:20).

Sprinkleranleggets fysiske effekt på brannforløpet

Boligsprinkleranlegg har gjennomgått en mengde fullskalatester. Testene viser at boligsprinkler er et egnet tiltak for å unngå at forholdene i brannrommet blir kritiske/dødelige i de første minuttene av brannforløpet (vanligvis begrenset til 15 minutter). Typiske kriterier som legges til grunn for å avgjøre hvorvidt kritiske forhold oppstår, er (Mostue og Stensaas 2002:52):

- Temperaturen skal ikke overstige 93 °C ved høyde 1,6 m over gulvet.
- Temperaturen i taket midt i rommet skal ikke overstige 260 °C.
- Kritisk nivå av CO settes til 3000 ppm.
- Akkumulert CO-dose skal ikke overstige 43 000 ppm-min.

Svenske forsøk utført i 2000, der brannintensitet i startfasen av et brannforløp ble sammenlignet, viser at et rom med omhyllingsflater av tre og installert sprinkleranlegg, er mindre intens enn en brann i et rom med omhyllingsflater av gips, uten sprinkleranlegg (Mostue og Stensaas 2002:56). I en analyse gjennomført med utgangspunkt i et bo- og servicesenter med boenheter tilknyttet felles rømningskorridor, viser SINTEF ved beregninger at det ikke oppstår kritiske/dødelige forhold i korridoren ved brann i leiligheten. Dette gjelder også når døren mellom leiligheten og korridoren er åpen (Mostue og Stensaas 2002:34).

Resultater fra branntester med boligsprinkleranlegg og vanntåkeanlegg, utført av Drangsholt og Rossebø (2006), underbygger tidligere undersøkelser. Den målte CO-konsentrasjonen i testene er avhengig av når sprinkleranlegget/vanntåkeanlegget aktiveres. En tidlig begrensning av brannstørrelsen, vil redusere

produksjonen av CO i slokkefasen. I de tilfellene slokkesystemet fungerte som planlagt, ble det ikke registrert kritiske CO-konsentrasjoner i brannrommet, det vil si $> 3\,000$ ppm (0,3 %). I 2 av 33 brannscenarier var maksimal CO-konsentrasjon i størrelsesorden rundt kritisk grense. Dette skyldes feil på de to aktuelle vanntåkeanleggene. I alle scenariene med boligsprinkler, var maksimal CO-konsentrasjon i størrelsesorden 400 – 600 ppm (Drangsholt og Rossebø 2006:22-23). Akkumulert CO i rommet etter 15 minutter, der boligsprinkler var installert, er funnet å være i størrelsesorden 2 000 – 8 000 ppm-min. Dette er godt under det som regnes som dødelig dose (30 000 – 50 000 ppm-min) (Drangsholt og Rossebø 2006:24).

Temperaturen under taket varierte mellom 40 °C og 260 °C for de ulike slokkesystemene. I sittehøyde ble det registrert temperaturer på mellom 30 °C og 70 °C ved brann i sofa. I ståhøyde var det en temperaturvariasjon på mellom 40 °C og 260 °C. En brann i simulert møbel medførte temperaturer i sittehøyde på mellom 40 °C og 100 °C, mens den varierte mellom 50 °C og 240 °C oppunder taket. Aktivering av slokkeanleggene medførte en rask temperaturreduksjon (Drangsholt og Rossebø 2006:25).

Sikten i brannrommet går mot null ved aktivering av sprinkler og vanntåkeanlegg. Dette skyldes blant annet at røyksjiktet blir avkjølt, omrøring pga turbulens og impuls fra vanntåke og sprinklervann, økt produksjon av sotpartikler som følge av ufullstendig forbrenning, samt redusert lys fra flammer (Drangsholt og Rossebø 2006:27).

5.7.3.4 Pålitelighet sprinkleranlegg

I motsetning til manuelt slokkeutstyr, er ikke sprinkleranlegg avhengig av handlinger fra personer for å virke. Sprinkleranlegg og boligsprinkleranlegg beskrives som en robust og pålitelig teknologi, med enkle og velprøvde komponenter. Dersom anlegget dimensjoneres riktig, er vannpåføringstiden tilnærmet ubegrenset. Ved riktig dimensjonering av utløsningsmekanisme, det vil si type glassbulb i forhold til aktiveringstemperatur og RTI-verdi, er det meget lav sannsynlighet for feilaktiveringer med denne type anlegg (Drangsholt og Rossebø 2006:28).

SINTEF NBL (2000) har undersøkt internasjonale tall for påliteligheten til sprinkleranlegg. Det rapporteres om at sprinkler slokker eller kontrollerer 70 – 99,5 % av brannene. Suksessraten varierer i ulike undersøkelser, basert på kriteriene for undersøkelsen og for hva som regnes som "suksess" (Mostue 2000:42):

- SINTEF NBLs undersøkelse av branner i særskilte brannobjekt, viser at sprinkleranleggene fungerte som tilsiktet i 97 % av branntilfellene. I to branntilfeller (utgjør de siste 3 %, N = 67), fungerte ikke sprinkleranlegget som tilsiktet, fordi brannen oppstod i taket, over sprinkleranlegget.
- Basert på et underlag av 100 000 branner i USA (over 92 år) er det registrert at sprinkleranlegget har fungert som tilsiktet i 96 % av brannene.
- De høyeste tallene for pålitelighet kommer fra australske undersøkelser. Der rapporteres det om at sprinkleranlegget, gitt at det ble utløst, kontrollerte brannene i 99,5 % av branntilfellene. Statistikken utelukker de brannene der sprinkleranlegget ikke fungerte. I Australia brukes det ofte en sannsynlighet for at sprinkleranlegget løser ut og kontrollerer brannen, gitt brann, på 95 – 98 %.
- I en britisk undersøkelse av 1 441 branner i 1998, der sprinkleranlegg var installert, viser det seg at sprinkleranlegget ble utløst i 43 % (619 tilfeller) av brannene. Der sprinkleranlegget løste ut, ble brannen kontrollert i 86 % av tilfellene, det vil si i 532 av 619 branntilfeller. Hovedårsaken til at sprinkleranlegget ikke løste ut, var at brannen var for liten, eller at den ble slokket ved hjelp av andre midler. Det antydes at sprinkleranlegget burde løst ut i 129 tilfeller, dersom brannen ikke hadde blitt slokket av andre midler, eller var for liten. Dette gir en samlet sannsynlighet for suksess på om lag 70 % ($532/(619+129)$) (Mostue 2000:43). En annen britisk undersøkelse konkluderer med en sannsynlighet for suksess (slokking eller kontroll) på 74 %.

I USA følger National Fire Protection Association (NFPA) opp statistikken for sprinkleranlegg, som bygger på rapporteringsdatabasen National Fire Incident Reporting System (NFIRS). De nyeste tallene

fra NFPA stammer fra rapporten *U.S. Experience with sprinklers and other automatic fire extinguishing equipment* (Hall 2009). Statistikken fra USA er basert på et stort datamateriale med mange branner, og skiller mellom ulike bygningskategorier og ulike sprinkleranleggstyper. Hovedskillet med betydning for denne oppgaven, er mellom våtrørssystemer og tørrørssystemer. Våtrørssystemet kommer generelt langt bedre ut med hensyn til pålitelighet og effektivitet. Generell driftspålitelighet for sprinkler er funnet å være 95 %. Sprinklersystemer i boliger generelt, har en pålitelighet på 98 %. Lavest pålitelighet finnes blant lagersystemer, der våte systemer har pålitelighet på 85 % og tørre systemer en pålitelighet helt nede i 51 % (Hall 2009:13-14).

Tabell 5.15 – Pålitelighetsdata for sprinkleranlegg i ulike bygningstyper (Hall 2009)

Bygningstype	Alle sprinkleranlegg	Våte sprinkleranlegg	Tørre sprinkleranlegg
	Pålitelighet [%]	Pålitelighet [%]	Pålitelighet [%]
Forsamlingslokaler (generelt)	96	97	-
Restauranter	97	97	-
Undervisning	93	96	-
Helsebygninger	96	96	-
Bolig	98	99	99
Eneboliger og tomannsboliger	93	93	-
Leilighetsbygninger	99	99	-
Hoteller og moteller	91	90	-
Butikker og kontorer	96	96	93
Lager	79	85	51
Alle	95	96	84

Den britiske standarden PD 7974-7:2003 *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Part 7: Probabilistic risk assessment*, angir pålitelighetsdata for ulike branntekniske tiltak, deriblant sprinkleranlegg. Standardens pålitelighetsdata for sprinkleranlegg er gjengitt i tabellen nedenfor.

Tabell 5.16 – Pålitelighetsdata for automatiske sløkkeanlegg fra PD 7974-7:2003

Totalt verditap som følge av sprinkleranlegg	Generell verdi	50 %
Sprinklerpålitelighet	Maksimum	0,95
	Generell:	
	- Verdisikring	0,9
	- Personsikkerhet	0,8
	- Minimum	0,75
Pålitelighet andre automatiske sløkkeanlegg	Generell verdi	0,9

5.7.3.5 Årsaker til feil på sprinkleranlegg

Når sprinkleranlegget ikke fungerer som forutsatt, skyldes dette oftest at vanntilførselen til systemet er slått av (63 % av tilfellene). For boligblokker er denne andelen redusert til 44 % (Hall 2009:21-22). Feil som direkte skyldes feil på komponenter i anlegget, utgjør bare 3 %. Dersom menneskelig feil knyttet til design, systemvalg, vedlikehold og operatørfeil kunne elimineres, ville driftspåliteligheten til sprinkleranlegg være 99,8 %. Dette tilsvarer pålitelighetsdata som er rapportert fra Australia av Marryatt i 1988, som nevnt ovenfor. Feil knyttet til avstengning av systemet kan forhindres med god merking og overvåking av ventiler (Hall 2009:13-14). Høye andeler av feil knyttet til mangelfullt vedlikehold, uegnet system for den opptredende brannen og skadet systemkomponent, viser at det er noe å hente gjennom bedre prosjektering og bedre vedlikeholdsrutiner.

Tabell 5.17 – Årsak til manglende sprinkleraktivering og feil på sprinkleranlegg (Hall 2009)

Feiltype	Alle sprinklersystemer		Våte sprinklersystemer	
	Alle bygnings- typer [%]	Boligblokk/ leiligheter [%]	Alle bygnings- typer [%]	Boligblokk/ leiligheter [%]
Systemet avslått	63	44	59	44
Mangelfullt vedlikehold	14	17	16	17
Uegnet system for opptredende brann	11	18	13	18
Manuell inngripen slo av systemet	9	13	10	13
Skadet systemkomponent	3	7	2	7
Totalt	100	100	100	100

5.7.3.6 Kostnader for installasjon av sprinkleranlegg

Kostnadene for å installere boligsprinkleranlegg i nybygg er i SINTEF NBLs analyser, anslått til 125 NOK/m² (2002), mens priser opptil 150 NOK/m² også forekommer. Konvensjonelt sprinkleranlegg i industrien er i 2002 anslått å ha en kostnad på 120 – 150 NOK/m². I nytte/kostberegningene er det ikke tatt hensyn til driftskostnader pga at disse anses som lave. Kostnader forbundet med vannskader er utelatt, og levetid for sprinkleranlegget er beregnet å være 30-50 år. Det angis for øvrig et spenn på 20 – 100 år, der spennet 20 – 30 år er anslått uten reparasjoner, men at levetiden kan være 40-60 år. Realrente er anslått til 4,5 – 7,0 % (Mostue og Stensaas 2002:44).

Kostnaden per kvadratfot for sprinklerinstallasjon i USA er funnet å være mellom \$0,38 og \$3,66, med middelerverdi \$1,61 og median \$1,42 (Hall 2009:62). Kostnaden per kvadratmeter i NOK (antatt: 1 USD = 7,0 NOK) for sprinklerinstallasjon er mellom 29 NOK/m² og 276 NOK/m², med middelerverdi og median på henholdsvis 121 NOK/m² og 107 NOK/m². De dyreste systemene kjennetegnes ved bruk av kobberør i stedet for plast, behov for sprinklervanntank i stedet for tilkobling til kommunalt vannett, høyere dekningsgrad enn minimumskrav i NFPA 13D pga lokale myndighetskrav, ferske lokale sprinklervedtekter der markedet ikke har tilpasset seg og lokale sprinklertillatelsesavgifter som er høyere enn normalen (Hall 2009:62).

Ved henvendelse til en rådgivende ingeniør for VVS, om kostnad forbundet med installasjon av sprinkleranlegg, ble det anslått om lag 1 600 – 2 000 NOK/sprinklerhode i nye boligblokker. Avstand mellom sprinklerhoder er, i henhold til regler for boligsprinkling, i størrelsesorden 2,5 m til 3,7 m, som gir et dekningsareal på henholdsvis 6,25 m² og 13,69 m². Prosjekteringskostnaden anslås å være omtrent 30 NOK/m². Dette gir en kostnad, inkludert prosjektering, fordelt på areal på mellom 150 – 350 NOK/m².

5.7.4 Brannvesenets slokkeinnsats

Brannvesenets slokke- og redningsinnsats vil i mange tilfeller redde liv, samt redusere økonomiske konsekvenser av branner. Ifølge DSBs brann- og uhellsstatistikk, registreres brannvesenets innsats som årsak til at brannspredningen ble stanset i 67 % av branntilfellene (DSB 2007:26). Det finnes for øvrig lite dokumentasjon av den faktiske effekten av brannvesenets innsats som et brannsikkerhetstiltak. Den litteraturen som er tilgjengelig for beskrivelse av brannvesenet som en sikkerhetsbarriere i branntekniske risikoanalyser, viser at innsatsmuligheten til brannvesenet er sammensatt av flere faktorer, blant annet (Frantzich 2000:98):

- Type førstestykke (heltid/deltid)
- Innsatstid
- Tilgjengelighet rundt og i bygningen
- Forberedelser for den aktuelle bygningen (beredskapsplaner og trening i objektet)

For at brannvesenet skal kunne gjøre en innsats, kreves det at brannvesenet får melding om at det brenner. Dette kan enten være automatiske varslingsanlegg, eller mennesker som oppdager brannen og ringer inn melding om brann. Brannvesenets mulighet til å gjøre livreddende redningsinnsats i startbrannrommet, der innsatstiden er lang og det ikke finnes automatisk varslingsanlegg, vurderes som meget beskjeden. Dette er basert på at overtenning kan forventes å skje i en leilighet etter 2 – 10 minutter, avhengig av hvilke materialer som er brukt på vegger og tak (Stenstad 1997:16). Aktive brannsikkerhetstiltak som automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg, vil ha betydning for brannvesenets innsatsmuligheter.

I denne oppgaven er det forutsatt at de sammenlignede boligblokkkonseptene er plassert på samme sted. Det forutsettes at det finnes et brannvesen med døgnkontinuerlig vaktordning, og at innsatstiden (tiden fra mottatt melding om brann til brannvesenet er klar til innsats med vann på slangene) er 5 minutter. Det vises til risikoanalysekapittelet, kapittel 7.1.2.4, for beskrivelse av forutsetninger for brannvesenets innsatsmuligheter.

5.7.5 Branncellebegrensende og brannseksjonerende konstruksjoner

5.7.5.1 Generelt

Med branncellebegrensende og brannseksjonerende konstruksjoner menes de konstruksjonene, som det i et brannteknisk konsept er satt brannmotstandskrav til. I boligblokker vil hver leilighet, korridor, trapperom og sjakter typisk være egne brannceller, skilt ut med branncellebegrensende konstruksjoner med brannmotstand EI30 (bygning opptil 2 etasjer), eller EI60 (bygning > 2 etasjer). Innervegger, for eksempel i leilighetene, vil i mange tilfeller ha betydelig brannmotstand, men regnes ikke som en branncelle- eller brannseksjonerende konstruksjon. Dette har sammenheng med at det ikke kan forventes at dette skillet holdes tett og at dører holdes lukket. Ved brann, vil likevel slike vegger fungere som barrierer mellom brannen og personer, dersom dørene er lukket. Alle pålitelighetsdiskusjoner i dette kapittelet omhandler for øvrig kun de konstruksjonene, som har et brannteknisk klassifiseringskrav.

En branncellebegrensende konstruksjon skal ha brannmotstand som er tilstrekkelig for å forhindre spredning av brann og branngasser til andre deler av brannseksjonen i den tid som er nødvendig for rømning og redning (TEK: § 7-24, pkt. 3a). Dette funksjonskravet er i VTEK fortolket til at en branncellebegrensende konstruksjon skal ha brannmotstand EI30 for bygninger i brannklasse 1, og EI60 for bygninger i brannklasse 2 og 3 (VTEK: § 7-24). En brannseksjonerende konstruksjon skal sørge for, med påregnelig slokkeinnsats fra brannvesenet, at en brann ikke sprer seg fra en brannseksjon til en annen (TEK: § 7-24 pkt. 3b). En brannseksjonerende konstruksjon er følgelig i større grad knyttet opp mot verdiskring, enn personsikkerhet. Det er vanlig at en brannseksjonerende bygningsdel utføres med brannmotstand REIM120 i mur eller betong. Slik TEK § 7-24 pkt. 3b er formulert, er det for øvrig ikke nødvendig med en seksjoneringsvegg for å ivareta funksjonskravet. Avstand mellom ulike bygningsdeler og en branncellebegrensende vegg, i kombinasjon med sprinkleranlegg og brannvesenets slokkeinnsats, er eksempler på tiltak som vil kunne ivareta funksjonskravet i TEK § 7-24 pkt. 3b.

Siden TEK og VTEK kun angir funksjonskrav til branncellebegrensende og brannseksjonerende bygningsdeler, for eksempel EI60 og REIM120⁸, vil byggemåten i mange tilfeller avgjøre hvordan de ulike brannklassifiserte konstruksjonene bygges opp. På slutten av 1800-tallet og begynnelsen av 1900-tallet var det vanlig å bygge boligblokker med bærende yttervegger av murverk. Trappehus ble også bygget i murverk. Etasjeskillere og ikke-bærende innervegger ble utført som trebjelkelag, eller stenderverksvegger med tre. Utover 1900-tallet ble det mer og mer vanlig med betong. Dette førte hovedsakelig til at etasjeskillerene gikk fra å være brennbare trebjelkelag, til plasstøpte dekker. Ikke-bærende innervegger var det fortsatt vanlig å bygge med trestenderverk og kledning.

I nyere tid er stål blitt et vanlig byggemateriale. I mange av dagens boligblokkprosjekter brukes gjerne en hovedbærekonstruksjon i stål, med etasjeskillere av betongelementer, ofte "huldekker". Det er mulig å få nødvendig brannmotstand på alle de vanlige konstruksjonstypene som benyttes. Det kan imidlertid diskuteres om den samme robustheten kan oppnås ved de ulike konstruksjonstypene. Er det for eksempel greit å sidestille to EI60-veggkonstruksjoner, der den ene er utført i betong og den andre er utført med tynt stålstenderverk og gipsplatekledning? Selv om det samme funksjonskravet i praksis har ligget til grunn for regelverket opp gjennom tidene, kan det likevel hende at endringen i byggeskikk har medført reduksjon i robusthet. Bruken av funksjonskrav, klassifisering av konstruksjonsdeler og nominelle krav til brannmotstand, medfører at konstruksjonene som brukes, i større grad dimensjoneres for å "akkurat klare kravet" til brannmotstand. Dersom det brukes preaksepterte løsninger, skiller det ikke på ulike konstruksjonstyper. I en risikoinformert brannteknisk prosjektering, er det imidlertid ingen tvil om det finnes forskjeller mellom de ulike bygningsmaterialene. Disse forskjellene kan i noen tilfeller ha betydning for risikonivået i bygningen. I det følgende diskuteres effekten og påliteligheten for ulike branncellebegrensende og brannseksjonerende bygningsdeler.

5.7.5.2 Funksjonsbeskrivelse

Branncellebegrensende og brannseksjonerende konstruksjoner i boligblokker er den viktigste barrieren mot røyk- og brannspredning i bygningen. Branncellene i en boligblokk er små, sammenlignet med for eksempel kontorbygninger, kjøpesenter og lager, da hver leilighet er en egen branncelle. Hensikten med de brannklassifiserte konstruksjonene, er å forhindre at brann eller røyk sprer seg til en annen branncelle, i løpet av den tiden som er nødvendig for rømning og redning.

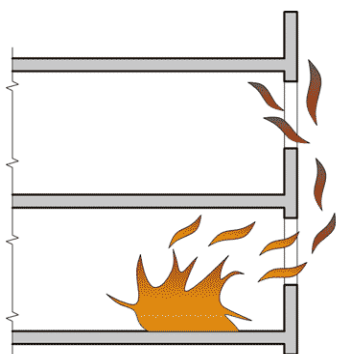
I mange tilfeller er det for øvrig ikke den generelle konstruksjonen som forårsaker brann- og røykspredning, men svekkelser i denne. Dette kan være de nødvendige dører og vinduer som må til for at bygningen skal være brukbar, gjennomføringer av ventilasjonskanaler og rør, tilslutningsdetaljer mellom for eksempel vegger og etasjeskillere, og mellom innervegger og yttervegger. Undersøkelser av branner i rekkehus, utført av Landfald (1997), viser at direkte gjennombrenning av skillevegger mellom leilighetene ikke forekom. Spredning skyldes uheldige detaljløsninger. Årsaken til at branner sprer seg ut over startbranncellen er ofte ikke avhengig av materialvalg, men at detaljer er planlagt og utført på en feil eller uheldig måte. De vanligste spredningsveiene i rekkehus er oppsummert i en rapport fra SINTEF NBL (Mostue og Opstad 2002:9-10):

- Spredning via fasade: fra branncelle gjennom vindu til gesimskasse og videre via luftespalte til loft/takkonstruksjon
- Branncelle til loft via kanaler og gjennomføringer
- Fra loft til naboloft via overgang vegg/tak pga utettheter eller i takkonstruksjonen under taktekking.

Disse observasjonene kan også trekkes videre til boligblokker, der fasadene ofte utgjør svake punkt i branncelleinndelingen. Foruten vinduene i fasaden, vil alle de andre omsluttende konstruksjonene for en leilighet ha betydelig brannmotstand. Det vil derfor ikke ta lang tid før en brann slår ut gjennom vinduer i fasaden, noe som kan antenne brennbare materialer i etasjen ovenfor, for eksempel gardiner innenfor vinduet.

⁸ R = krav til bærende brannmotstand. E = krav til bygningsdelens integritet ved brann. I = krav til bygningsdelens varmeisolerende evne ved brann. M = Konstruksjonens mekaniske motstandsevne ved brann.

Figur 5.23 – Brannspredning via fasade (Byggforsk 520.310 2006: pkt. 0)



5.7.5.3 Pålitelighet av passive brannsikringstiltak

Det er gjort vurderinger rundt tallfesting av pålitelighet for ulike passive brannsikringstiltak. Disse tallene er stort sett basert på ekspertvurderinger. Faktorer som påvirker påliteligheten for en brannskillende konstruksjon, er blant annet avhengig av gjennomføringer (antall og type/størrelser), spjeld, dører og fuger (Mostue og Opstad 2002:11).

Tabell 5.18 – Publiserte estimater på pålitelighet av brannverntiltak (Mostue og Opstad 2002)

Brannverntiltak	Storbritannia	Australia	Britisk standard
Murkonstruksjon	81 % 29 % sannsynlighet for at en åpning vil stå åpen (fast)	95 % dersom ingen åpninger 90 % dersom åpninger har automatisk lukking	-
Gipsskille	69 % 29 % sannsynlighet for at en åpning vil stå åpen (fast)	95 % dersom ingen åpninger 90 % dersom åpninger har automatisk lukking	-
Vegger og golv	-	-	95 %
Brannjør	-	-	70 % (uten selvlukker)

Pålitelighetsdata for passive brannskiller fra *PD 7974.7:2003 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Part 7: Probabilistic risk assessment*, er gjengitt i tabellen nedenfor.

Tabell 5.19 – Pålitelighetsdata for passive brannskiller (PD 7974-7:2003)

Sannsynlighet for at en brannklassifisert konstruksjon vil oppnå minst 75 % av den forutsatte brannmotstanden	
Murvegger	0,75
Brannskillende vegger	0,65
Glassvegger	0,40
Nedforede himlinger	0,25

5.7.5.4 Betydning av omhyllingsflatenes materialer

I brannteknisk prosjektering angis branntekniske premisser til vegger, etasjeskillere osv. For eksempel skal veggene ha brannmotstand EI60/A2-s1,d0. Dette betyr at veggen skal være testet og klassifisert i henhold til innvendig ISO-834-kurve i 60 minutter for isolasjons- og integritetsevne, og bestå av ubrennbare materialer (klasse A2-s1,d0). Utover kravet om ubrennbarhet, sier klassifiseringen ingenting om hvilke materialer som skal benyttes i veggen. Entreprenøren eller arkitekten kan følgelig velge den veggen han vil, så lenge den har brannmotstand EI60/A2-s1,d0. I praksis vil det for denne type vegger enten velges en gipsvegg med stålstenderverk, eller en betong/murvegg. I en standardisert branntest, vil brenselmengden som må til for å opprettholde den standardiserte tid/temperaturkurven, variere med hvilke materialer som benyttes i konstruksjonsdelen som skal testes. Dersom det skal testes en tung konstruksjonsdel, må mer brensel brukes for å opprettholde samme temperatur som for en lett konstruksjonsdel. En konstruksjonsdel som består av brennbare elementer, vil i seg selv bidra til brannutviklingen og opprettholdelse av temperaturen. Tilført mengde brensel reduseres i slike tilfeller. I tester for å bestemme brannmotstanden, vil derfor en betongvegg utsettes for en kraftigere branneksplosjon, enn for eksempel en gipsplatevegg (Mostue og Opstad 2002:37).

Betydningen av disse forholdene vil først og fremst ha betydning for brannmotstand, bæreevne og integritet i den fasen brannen er fullt utviklet, og hvor slokkeinnsats må foretas over tid (Mostue og Opstad 2002:49). Beregninger av tid frem til overtenning i et brannrom med ulike omsluttende konstruksjoner, viser også at materialbruken har en viss betydning i tidlig brannfase. Eksempelvis beregnes det en 20 % redusert tid frem til overtenning i et lite brannrom (15 m² gulvareal), dersom rommet har omhyllingsflater av lettvegger, sammenlignet med betongvegger (Mostue og Opstad 2002:48). Beregningene er basert på et overtenningskriterium på 600 °C i røyklaget. Det vil si at kritiske forhold for personer har oppstått lenge før overtenning inntreffer. Betydningen av omhyllingsflater av henholdsvis lettvegger eller betong, synes følgelig ikke å ha vesentlig betydning på personsikkerheten i brannrommet. Betydningen av brannveksthastighet, som igjen er avhengig av mengde brennbare materialer og hvor lett disse antenner, har imidlertid stor betydning for blant annet temperaturutviklingen i tidlig brannfase. Dette kan dermed påvirke personsikkerheten. Ved sammenligning av en rask og normal brannutviklingskurve (se diskusjon om ulike brannutviklingshastigheter i kapittel 5.3.3), med samme omhyllingsflate (betong), beregnes temperatur for overtenning (600 °C) til å inntreffe 35 % tidligere med rask brannkurve i et stort rom (60 m² gulvflate) (Mostue og Opstad 2002:47). Betydningen av omhyllingsflatenes brennbarhet har følgelig større betydning i startfasen, enn omhyllingsflatenes tyngde.

5.7.5.5 Betydning av detaljer

Manglende uttegning av detaljer synes å være medvirkende til at det oppstår feil fra konseptstadiet til utførelse. Dette gjelder både hvordan brannskillende vegger/dekker skal føres opp til tak/vegger, og hvordan gjennomføringer/utsparinger skal brannettes. Ved oppbygging av vegger og branntetting av gjennomføringer, er det påpekt at det bygges etter "gammel vane", uten bruk av produkthåndbøker for eksempelvis vegger og branntettinger (Mostue og Opstad 2002:13-14).

Det er også påpekt at kanalgjennomføringer i byggeprosjekter ofte synes å være større og mer kompliserte, enn det som ligger til grunn for testene/klassifiseringsforutsetningene. Vanlige feil er manglende fuging mellom plasstøpte vegger og hulldekker, feil montering av gipsvegger mot himling (uten bruk av sertifiserte løsninger, manglende monteringsanvisninger og mangelfull fuging), manglende brannisolering (pga fare for kondens), samt manglende isolering av stålkarmen for branndører. Økt grad av kontroll og uavhengig kontroll av utførelse vil kunne rette opp mange av disse problemene (Mostue og Opstad 2002:14-16).

5.7.6 Branncellebegrensende dører

Døråpninger i branncellebegrensende eller brannseksjonerende konstruksjoner, er kanskje den mest sannsynlige potensielle spredningsveien for røyk og branngasser. Undersøkelser av inntrufne branner viser at brannens omfang ofte er et resultat av at branndører har stått åpne. Tiltak som bidrar til at dører holdes lukket ved brann, er derfor vurdert som effektive (Mostue og Stensaas 2002:34). Slike tiltak kan generelt være organisatoriske, som informasjon med tilhørende opplæring/trening om hvordan en brannsituasjon skal håndteres, eller tekniske, som selvlukker/dørpumpe på brannklassifiserte dører, og eventuelt holdemagnet dersom det er nødvendig at dørene skal stå åpne i vanlig bruk.

En vanlig innvendig lukket dør i en bolig anslås å forhindre brannspredning til naborom i om lag 10-20 minutter. SINTEF anslår lekkasjerate på henholdsvis 20 m³/time for en røyktett dør, og 80 m³/time for en ikke-røyktett dør (Mostue og Stensaas 2002:34). SINTEF har utført beregninger av brannspredning i et bo- og servicesenter. Beregningen av brann-/røykspredning mellom en leilighet og tilliggende korridor viser at det ikke oppstår kritiske/dødelige forhold i korridoren dersom døren er lukket. Dette gjelder både for en røyktett dør og en ikke-røyktett dør. Forskjellen er at sikten reduseres til under akseptabelt nivå etter 6 minutter med en ikke røyktett dør, mens sikten er akseptabel i over 15 minutter med en røyktett dør (Mostue og Stensaas 2002:34).

Den britiske standarden PD 7974-7:2003 angir følgende sannsynligheter for at en brannør skal bli stående åpen ved brann (PD 7974-7:2003:76):

- $p(\text{feillbrann}) = 0,3$, for vanlige brannører uten selvlukker.
- $p(\text{feillbrann}) = 0,2$, for selvlukkende dører (lukker ikke som forutsatt) – inkluderer ikke de dørene som er holdt oppe på kile eller lignende.

I denne oppgaven er det ikke gått noe nærmere inn på ulike typer dører, materialer osv. Det forutsettes at brannklassifiserte dører tilfredsstiller de kravene som stilles til røyktetthet, ved testing og klassifisering. Dersom en brannklassifisert dør i boliger, som ofte også er en lydklassifisert dør, ikke er tett, vil dette kanskje i større grad enn brann, være en utfordring i forhold til støy mellom ulike rom (trapp/leilighet, korridor/leilighet osv). Som en følge av lydkrav mellom for eksempel trapper, korridorer, svalganger og leiligheter, må dørene være tette. Selv meget små lekkasjeåpninger vil redusere dørens lydisolasjonsevne (Byggforsk 421.431 2002: pkt. 22). Dersom dørene holdes lukket ved brann, er det følgelig sannsynlig at døren er relativt effektiv i forhold til å forhindre røykspredning i en tidlig brannfase.

Bruk av selvlukkere på leilighetsdører er omdiskutert. Enkelte mener at dørpumpene/selvlukkerne reduserer dørenes funksjonalitet, og er til bry for beboerne ved at den blir tyngre å åpne og vanskelig å bruke, for eksempel ved flytting av større gjenstander. Dette kan medføre at dørpumpen kobles av. I bygninger der brannskillende dører skiller ulike brannceller, men branncellene tilhører samme bruker, er det gjerne ønskelig for brukeren av bygningen at døren er åpen. Dette forenkler kommunikasjon mellom de ulike rommene. I slike tilfeller er det ikke uvanlig at selvlukkende dører settes åpne på kiler. På denne måten kan et tiltak, som skulle være med på å heve brannsikkerheten, bidra til røykspredning ved at brannskillet punkteres. En vanlig måte å unngå bruk av kiler, er at dørene holdes åpne på elektromagneter. Ved utløst brannalarm i bygningen, eller lokal detektor ved døren, lukkes døren automatisk. Denne løsningen er avhengig av påliteligheten til brannalarmanlegget eller detektorsignalet. For å unngå at beboere kobler av dørpumper, kan bruk av holdemagneter eller andre faste dørholdere, gjøre det enkelt å holde døren midlertidig åpen, dersom det er behov for det. Det har generelt vært et forskriftskrav (nå en preakseptert løsning) at dører til trapperom skal være selvlukkende. Frem til siste utgave av VTEK (2007) har det imidlertid vært et unntak for dører mellom leiligheter og trapperom, type Tr1 (VTEK 2003: § 7-24 og VTEK 2007: § 7-24). Oslo Brann- og Redningsetat har anslått kostnaden for en selvlukker til om lag 1 000 NOK og oppover (OBRE 2002:30).

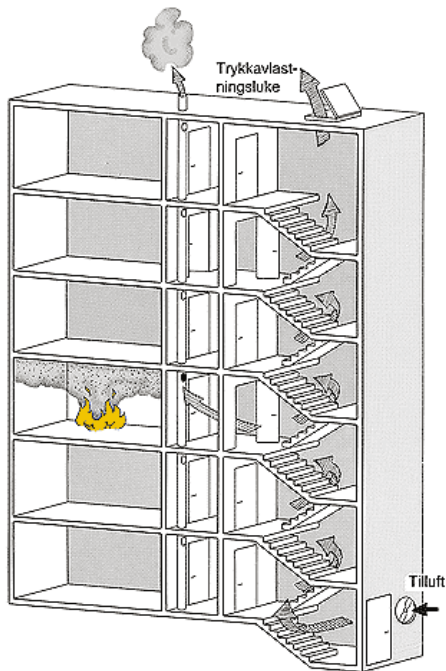
5.7.7 Trykksetting av trapperom

Trykksetting av trapperom omtales i VTEK (§ 7-27) som et egnet tiltak av hensyn til rømningsikkerhet. Hensikten med trykksettingen av trappesjakten, er å forhindre inntrengning av røyk. Dimensjonerende overtrykk har nær sammenheng med oppdriftskreftene som kan oppstå mellom rommene, som igjen bestemmes av rommets høyde og temperatur i forhold til omgivelsene. Verdiene for trykkdifferanse er primært satt med tanke på lekkasjeforhold, knyttet til spalter i dører og utette bygningskonstruksjoner (Byggdetaljer 520.380 2006: pkt. 731).

Et trykksettingsanlegg i trapperom består ofte av følgende hovedsystemer (Byggdetaljer 520.380 2006: pkt. 731 og HO-3/2000: pkt. 9):

- Vifte som tilfører luft til trappesjakten for å etablere overtrykk i forhold til de tilstøtende rom. Viften bør fortrinnsvis plasseres i bunn av trappesjakten. Siden det er forutsatt at trykksettingsanlegget skal holde røyken ute fra trappesjakten, stilles det ikke noen særskilte krav til brannsikring/temperaturmotstand på viften.
- Trykkavlastningsspjeld i toppen av trapperommet for å sørge for kontinuerlig gjennomventilering og riktig overtrykk.
- Trykkavlastningssjakt/luke i sluse mellom leilighet og trapperom, eller trykkavlastning i leilighet. Hensikten med trykkavlastning i sluse eller brannetasjen, er å sørge for bedre kontroll på trykkdifferansen mellom trapperommet og tilstøtende rom.
- Styringsfunksjoner (detektor, strømforsyning og signaler)

Figur 5.24 – Trykksettingsanlegg for trapperom (Byggforsk byggdetaljer 520.380 2006: fig. 732a)



Driftspålitelighet for trykksettingsanlegg

Det har i det branntekniske fagmiljøet de senere årene vært diskusjoner rundt ulike trapperomsløsninger i boligblokker. Utførelsen av trykksettingsanlegg, som svarer til beskrivelsen i veiledningen til teknisk forskrift, har vært en del av denne diskusjonen. Problemstillingene rundt trykksetting av trapperom, illustreres i en presentasjon tilgjengelig på nettstedet www.brannforum.com, utarbeidet av Geir Jensen i rådgivningsfirmaet Cowi. Her er det identifisert 16 ledd i en kjede, som alle må fungere for at anlegget skal være operativt. Dette inkluderer følgende komponenter, der * brukes som symbol på komponentene, som alene, ved svikt, kan forhindre at anlegget fungerer (Jensen 2007:5):

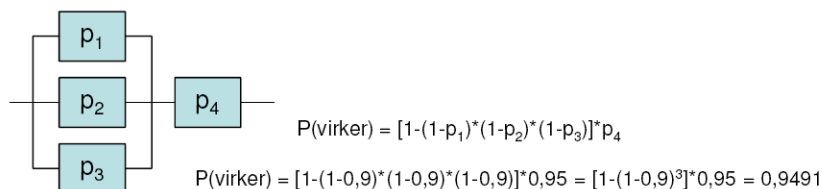
1. mellomliggende rom* mellom trappehus og brannleilighet og sjakt* med ventil* i hvert mellomliggende rom
2. trykksettingsvifte* og kraftforsyning* vifte
3. trykkavlastningsluke i trappehus* og i hvert mellomliggende rom
4. røykdetektorer* i trapperom og i mellomliggende rom og brannsentral* med kraftforsyning
5. programmert styringssentral* som aktiverer vifte og takluker på detektorsignal
6. brannfunksjonssikre, eller brannbeskyttede, kabler til vifte* og takluker*
7. riktig dimensjonert vifte* og trykkavlastning*
8. riktig beregnet system slik at det oppnås 0,75-2 m/s luftgjennomstrømning gjennom døråpning ved en åpen trapperomsdør* og når en eller to dører er åpne*

Det er ingen tvil om at et trykksettingsanlegg har en rekke komponenter, som må fungere sammen for at anlegget skal fungere, men eksempelet fra Jensen er nok satt noe på spissen. For å sette det enda mer på spissen, sammenlignes trykksettingsanlegget med et sprinkleranlegg, som ifølge Jensen kun består av to ledd som må fungere sammen: 1) trykk i røret og 2) hodet på rett plass (Jensen 2007:6).

I eksempelet med trykksettingsanlegg, kan mange av de ”avgjørende leddene” fjernes gjennom planlegging og prosjektering. Det er for eksempel uproblematisk å sjekke at det finnes et mellomliggende rom mellom leilighet og trappehus, samt at det finnes sjakter med ventiler. Den egentlige utfordringen ligger i påliteligheten til om ventilen fungerer som forutsatt ved behov. Brannfunksjonssikre kabler til vifte og takluker, er ingen forutsetning for at et trykksettingsanlegg skal fungere, ettersom trykksettingsanlegget per definisjon er plassert i en annen branncelle enn brannen. De siste punktene (7 og 8) går på dimensjonering og prosjektering av anlegget. Dersom det finnes standarder og gode metoder for dette, er det uproblematisk å dimensjonere riktig. Samme dimensjonerings-/beregningsproblem vil i så fall også gjelde for et sprinkleranlegg.

Den britiske standarden PD 7974-7:2003 angir en generell sannsynlighet for at røykkontrollsystemer skal fungere som forutsatt ved behov på 0,9 (PD 7974-7:2003:76). Med overnevnte momenter tatt i betraktning, synes imidlertid dette å være i overkant positivt. Som et minimum må trykksettingsanlegget vurderes i sammenheng med påliteligheten for brannalarmanlegget. Den samme standarden bruker en sannsynlighet på 0,9 for at en røykdetektor skal fungere som forutsatt, og en sannsynlighet på 0,95 for at brannalarmsentralen skal fungere som forutsatt. Detektoren(e), brannalarmsentralen og trykksettingsanlegget er et seriesystem, hvor den samlede systempåliteligheten er lik produktet av påliteligheten for de ulike delkomponentene. Dersom anlegget er avhengig av én detektor, vil systempåliteligheten kunne uttrykkes på følgende måte: $P(\text{system}) = P(\text{detektor}) \times P(\text{brannalarmsentral}) \times P(\text{trykksettingsanlegg}) = 0,9 \times 0,95 \times 0,9 = 0,77$. I mange tilfeller vil et brannalarmanlegg være tilknyttet flere detektorer i et parallellsystem, som vist på figuren nedenfor. Med tre parallelle detektorer, beregnes systempåliteligheten for brannalarmanlegget til 0,9491. Dette gir en systempålitelighet for trykksettingsanlegget, $P(\text{system}) = P(\text{brannalarmanlegg}) \times P(\text{trykksettingsanlegg}) = 0,9491 \times 0,9 = 0,85$.

Figur 5.25 – Brannalarmanlegg med tre detektorer i brannrom



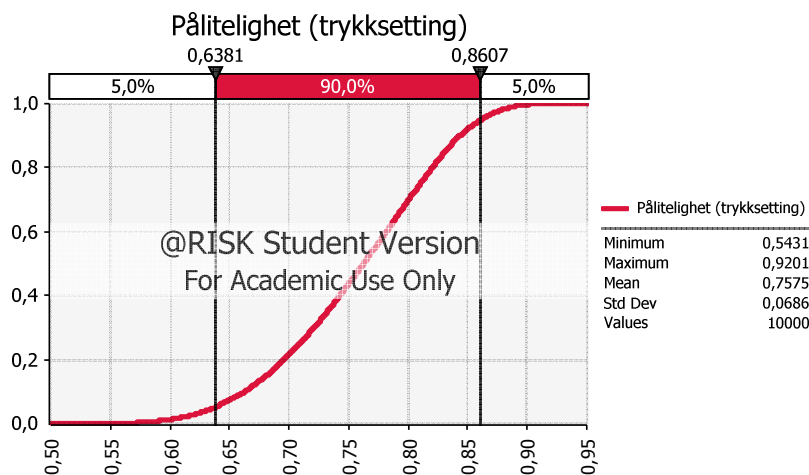
For å undersøke påliteligheten til trykksettingsanlegget med variasjoner i pålitelighetsdata for de ulike delkomponentene, er det gjennomført en Monte Carlo-simulering med programmet @RISK™ (Palisade 2002). Minimums-, middel- og maksimumsverdi for komponentpålitelighet er vist i tabellen nedenfor. Variasjonen i pålitelighet for de ulike komponentene er beskrevet med en triangelfordeling. Selve systempåliteligheten er basert på et pålitelighetsblokkdiagram, som vist i figuren ovenfor, men med

trykksettingsanlegget som en ny seriekomponent bak brannalarmsentralen. Basert på tallene, som er vist i tabellen, er det beregnet et 90 % konfidensintervall for pålitelighet på trykksettingsanlegget på [0,64, 0,86].

Tabell 5.20 – Inndata for monte carlo-simulering av pålitelighet trykksettingsanlegg

Komponent	P(X,min)	P(X,middel)	P(X,max)	Tyngdepunkt i fordeling	Fordeling
Detektor, P[D] =	0,7	0,9	0,95	0,850	Triangel
Brannalarmsentral, P[S] =	0,8	0,95	0,99	0,913	Triangel
Trykksettingsanlegg, P[T] =	0,65	0,9	0,95	0,833	Triangel
E[P(trykksetting)] =	0,76				

Figur 5.26 – S-kurve for kumulativ sannsynlighetsfordeling



Trykksettingsanleggets fysiske funksjon som barriere

Ved modellering av barrierer, må det forutsettes hvordan trykksettingsanlegget skal påvirke brann- og røykspredning. En mulighet er å vurdere trykksettingsanlegget som en separat barriere, som alene forhindrer røykspredning inn i trapperommet. Det vil si at dersom dør mellom brannleilighet og sluse, og dør mellom sluse og trapperom, står åpne, vil trykksettingsanlegget forhindre røykspredning inn i trapperommet, dersom dette fungerer.

Basert på teksten i HO-3/2000 og Byggforsk byggdetaljer 520.380 (2006), om at "verdiene for trykkdifferanse er primært satt med tanke på lekkasjeforhold knyttet til spalter i dører og utette bygningskonstruksjoner", som nevnt ovenfor, vurderes det som i overkant optimistisk å forutsette at trykksettingsanlegget er en uavhengig barriere. En mer sannsynlig tilnærming vurderes å være at trykksettingsanlegget øker påliteligheten for de omsluttende trapperomskonstruksjonene, det vil si vegger og dører. Selv om det finnes utettheter i konstruksjonen, eller om døren ikke skulle lukke helt, kan det likevel forutsettes at trapperommet er røykfritt.

5.7.8 Røykvarslere

5.7.8.1 Generelt

En røykvarsler er et komplett brannalarmsystem med strømforsyning, overvåkning, røyksensor og alarmorgan i samme enhet. For å oppnå høyere pålitelighet kan flere røykvarslere seriekobles. Strømforsyning via nettet, i tillegg til batteri, er også en mulighet for å øke påliteligheten til røykvarslerne. Røykvarslere er primært beregnet for bruk i boliger, men kan også benyttes, i stedet for brannalarmanlegg, i små barnehager og små salgs-/forsamlingslokaler med direkte utgang til terreng (Byggforsk byggdetaljer 554.712 2005: pkt. 31 og pkt. 436 og VTEK: § 7-27).

Det er et spesifikt krav i TEK at byggverk beregnet for virksomhet i risikoklasse 4 skal ha nødvendig antall røykvarslere (TEK § 7-27, pkt. 2). Nødvendig antall oppnås ved å følge preaksepterte løsninger, som er beskrevet i VTEK. Her angis det at røykvarsler(e) skal plasseres slik at alarmstyrken er minst 60 dB(A) i oppholdsrom og soverom når mellomliggende dører er lukket. Det angis videre at røykvarslerne bør være nettilkoblede og seriekoblede for å oppnå god pålitelighet (VTEK § 7-27: pkt. 2).

Det ble i 1990 påbudt med røykvarslere i Norge, også i eksisterende bygninger, som følge av innføringen av Forskrift om brannforebyggende tiltak og brannsyn (i kraft 20. september 1990): § 5-1: *Alle boliger skal ha minst en godkjent røykvarsler plassert slik at den høres tydelig på soverom når døren er lukket* (Mostue 2000:54).

5.7.8.2 Funksjonsbeskrivelse røykvarslere

Det er i hovedsak to typer røykvarslere som benyttes: 1) ioniske og 2) optiske. Forskjellen mellom disse røykvarslerne er måten røykvarsleren detekterer røyk i luften. Ulike branner (ulmebrann og flammebrann) produserer ulik type røyk (størrelse på røykpartiklene). De ulike typene røykvarslere er tilpasset ulike branntyper, der ioniske røykvarslere fungerer derfor best på flammebranner med små røykpartikler. Optiske røykvarslere fungerer best på ulmebranner med store røykpartikler. Det henvises til for eksempel Hagen (2002), for en nærmere beskrivelse av hvordan de ulike røykvarslerne fungerer.

5.7.8.3 Effekt av røykvarslere

En svensk undersøkelse konkluderer med at røykvarsler/brannalarm, i kombinasjon med sprinkler, vil kunne redde 75 % av de som ellers ville omkommet i brann i boliger. Analysen tar utgangspunkt i statistikk fra det svenske brannvesenet, som rapporterer at 50 % av de omkomne blir funnet på gulvet. Dette er tolket som at personene har startet rømning, men hatt for lite tid. En røykvarsler ville kunne gitt den ekstra tiden personene trengte for å komme seg ut av boligen. Det er også registrert at det brant i de omkomnes klær i 25 % av dødsbrannene. Basert på dette grunnlaget konkluderer undersøkelsen med at fungerende røykvarsler ville reddet 50 % av de som ellers ville omkommet i brann i boliger. Sprinkler redder personer som ikke kan evakuere selv, og vil kunne gi en ytterligere reduksjon på 25 %. Kombinasjonen av røykvarsler og sprinkler er dermed anslått å kunne redde 75 % av de som ellers ville omkommet i brann i boliger. Maksimalt 25 % kan ikke reddes, pga at brannen starter for nært personene, for eksempel brann i klærne (Mostue og Stensaas 2002:60).

SINTEF kommenterer resultatene i den svenske undersøkelsen som optimistiske i norsk sammenheng. Det er konkludert med at maksimal reduksjon i antall omkomne med røykvarsler i Norge, er 30 % av de som ellers ville omkommet i brann i boliger. Effekten kan, ifølge SINTEF, ikke bli større pga at særskilte grupper er overrepresentert i dødsbrannstatistikken. Røykvarslere ville ikke nødvendigvis hjelpt disse gruppene, det vil si: berusede personer, bevegelseshemmede/invalid, personer i psykisk ubalanse og små barn:

- Bare om lag 20 % av brannofrene var selvhjulpne da dødsbrannen startet. Det er først og fremst denne gruppen røykvarslere kunne hjelpt. Mange av de omkomne er påvirket av alkohol, som kan resultere i manglende evne til reaksjon, eller forsinket reaksjon – spesielt hvis de sover (Mostue 2000:16-19).

- I Norge er om lag 10-20 % av dødsofrene i brann bevegelseshemmet/invalid. Undersøkelser fra våre naboland underbygger at bevegelseshemmede er overrepresentert i dødsbrannstatistikken (Mostue 2000:19). Dersom disse personene er alene ved brannstart, har ikke røykvarsler eller brannalarm nødvendigvis noen stor effekt.
- Personer i psykisk ubalanse utgjør en vesentlig del av dødsbrannstatistikken. Gjennomsnittet for perioden 1970 – 1992 er 20 %. Disse brannene er ofte selvmordsbranner (Mostue 2000:20).
- Få barn våkner av røykvarslere. I en australsk studie ble det funnet at bare 15 % av barna, som deltok i undersøkelsen våknet ordentlig av røykvarslerne. Barn trenger derfor å bli vekket ved brann (Mostue 2000:22). Den australske undersøkelsen bygger imidlertid bare på tester av en gruppe med 34 personer.
- Heller ikke alle voksne våkner av røykvarslere. I den samme australske undersøkelsen våknet 75 % av de voksne i løpet av 30 s, og 87 % i løpet av 1 minutt. De som ikke våknet, hadde sovnet dårlig natten før (avhengig av ”døgnrytme og dagsform”). Lydstyrken ved sengene var 51-68 dBA (Mostue 2000:22-23).
- Noen reagerer ”feil” ved at de ikke tror varsleren varsler brann (Mostue 2000:23).

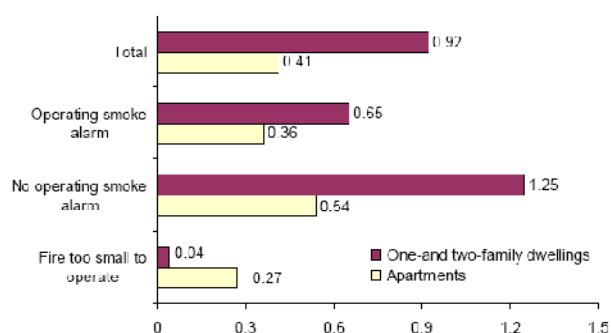
Generelt kan det konkluderes med at røykvarslere har størst effekt på sovende personer. Det vil si at våkne personer sannsynligvis vil oppdage brannen selv, før røykvarsleren. Dette forutsetter at de er i nærheten av brannen. Om lag 35 % av brannene i amerikanske og britiske undersøkelser ble oppdaget av lukt/syn (Mostue 2000:23).

Amerikansk statistikk viser at dødsraten er dobbelt så høy i boligbranner der det ikke er installert røykvarslere, sammenlignet med boligbranner der det er installert røykvarslere. Det anslås en generell reduksjon i antall omkomne på 30 %, dersom alle amerikanske boliger ble utstyrt med røykvarslere (Ahrens 2007:18).

Det synes å være en forskjell mellom effekten av røykvarslere i ene-/tomannsboliger og i leiligheter. I ene-/tomannsboliger er det funnet en reduksjon i dødsrate per 100 boligbranner fra 1,25 til 0,65 (48 %), der det er installert røykvarslere, sammenlignet med de branner der det ikke er installert røykvarslere. I leiligheter reduseres dødsraten per 100 boligbranner fra 0,54 i branner uten røykvarslere, til 0,36 i branner med røykvarslere. Dette er en reduksjon 33 % (Ahrens 2007:27). Årsaken til dette kan muligens forklares ved at beboere i en leilighet, i større grad enn ene-/tomannsboliger, befinner seg i nærheten av brannen. Selv om røykvarsleren fungerer, er det ikke sikkert at beboerne har tilstrekkelig tid til å komme seg i sikkerhet. I ene-/tomannsboliger befant 55 % av de omkomne seg i nærområdet av brannen, mens i leiligheter befant hele 76 % seg i nærområdet til brannen (Ahrens 2007:29).

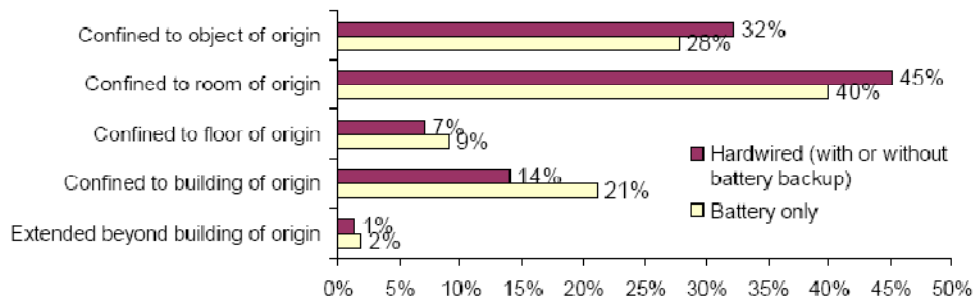
I de tilfellene personer omkom selv om røykvarsleren fungerte, er det lavere sannsynlighet for at disse sov, og mer sannsynlig at disse var a) påvirket av alkohol eller narkotika, eller b) psykisk eller fysisk funksjonshemmet, enn personer som omkom i branner der det ikke var noen røykvarslere (Ahrens 2007:36). Skaderaten per 100 boligbranner er redusert fra 4,56 i branner der det er røykvarslere, til 3,93 i branner der det ikke er røykvarslere. Dette er en reduksjon på 14 %. For ene-/tomannsboliger er reduksjonen mindre, bare 2 % (fra 3,91 til 3,82 skader per 100 boligbranner) (Ahrens 2007:30-31).

Figur 5.27 – Dødsrate per 100 boligbranner med hensyn til røykvarslerstatus (Ahrens 2007:27)



En australsk nytte/kostnadsstudie bruker som forutsetning at dødsraten reduseres fra 12 per tusen boligbranner til 4 per tusen, ved installasjon av en enkelt batteridrevet røykvarsler i boligens gang. Dette er en reduksjon tilsvarende 67 %. Dersom det installeres seriekoblede røykvarslere, er det forutsatt en ytterligere reduksjon i dødsraten til 3 per tusen boligbranner. Dette er en reduksjon på 75 %. Disse forutsetningene er av SINTEF NBL vurdert å være i overkant optimistiske (Mostue 2000:31).

Figur 5.28 – Brannspredning og røykvarsling (Ahrens 2007:20, fig. 7)



Dekningsgraden for røykvarslere er størst for eneboliger, og lavest for leiligheter i eksisterende bygninger. For nye norske boligblokker forutsettes det at alle blokker skal ha røykvarslere i henhold til forskriftene.

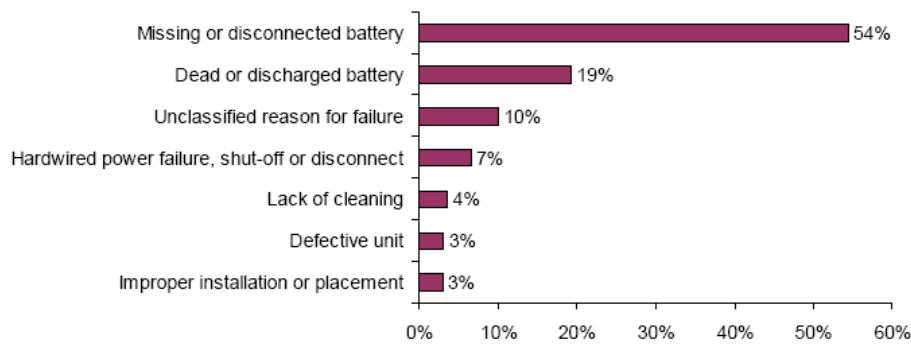
Tiltak for bedre effekt av røykvarslere:

- Utvikle mer brukervennlige og vedlikeholdsfrie røykvarslere
- Sikre strømtilførselen. Hovedårsaken til feil er batterirelatert (Mostue 2000:15)
- Seriekobling av røykvarslere (fullskalaforsøk viser at det kan oppnås 2 minutter ekstra evakueringsstid)
- Oppfølging og kontroll, for eksempel av brannvesenet
- Konsekvenser ved brudd på regelverket (sanksjoner)
- Spesielle tiltak for eldre og andre risikoutsatte grupper
- Frekvens og lydstyrke. Lydsignal i oppholdsrom og soverom bør være høyere enn 85 dBA. Standardisering av signal.

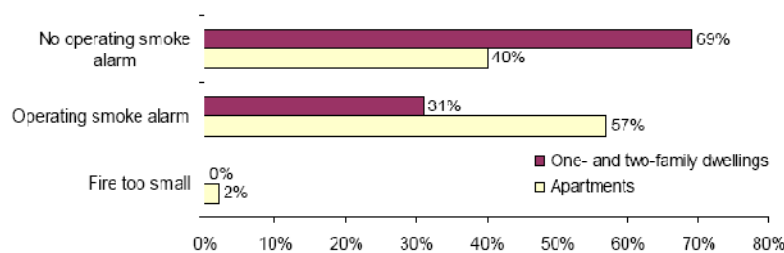
5.7.8.4 Pålitelighet røykvarslere

Amerikanske studier av brannstatistikk viser at røykvarslerne faktisk fungerer i om lag 80 % av branntilfellene, der røykvarslere er installert. I de tilfellene røykvarsleren ikke fungerer, skyldes dette i de fleste tilfeller manglende eller frakoblet batteri, eller utladet batteri (Ahrens 2007:12-13). Den britiske standarden PD 7974-7:2003 bruker en sannsynlighet på 75 % for at en røykvarslere skal fungere ved behov (PD 7974-7:2003).

Figur 5.29 – Årsak til at røykvarsler ikke fungerte som forutsatt ved brann (fig. Ahrens 2007:13)



Figur 5.30 – Røykvarslerstatus i dødsbranner i eneboliger/tomannsboliger vs leiligheter (Ahrens 2007:27)



Ifølge Mostue (2000) har nesten alle norske boliger, over 97 %, installert røykvarslere. Bare om lag 60-80 % av røykvarslerne fungerer. Dekningsgraden er lavere enn landsgjennomsnittet i de boligene hvor det har oppstått brann, og det er lavere andel røykvarslere som fungerer i disse boligene. Andelen fungerende røykvarslere i de boligene hvor det har inntruffet dødsbranner, er enda lavere. Statistikken viser at 70-75% av boligene hvor det har vært brann, har røykvarslere. Disse fungerte i 70-75 % av branntilfellene. I eksisterende bygningsmasse er dermed sannsynligheten for fungerende røykvarsler ved brann 50-55 % (Mostue 2000:14). Blokker kommer dårligst ut med hensyn til dekningsgrad for røykvarslere i eksisterende bygninger. Det har vært en økning i dekningsgrad for røykvarslere i boligblokk, fra om lag 18 % i 1988 til 60 % i 1992.

Tabellen nedenfor er etablert med bakgrunn i statistikk for branner i boligblokker i perioden 1999 til og med 2008. Statistikken viser at dekningsgraden for røykvarsler i boligblokker, er 57 % i branner generelt, og 67 % i dødsbrannene. Antallet røykvarslere som fungerte, var imidlertid høyere for blokkbranner generelt, enn i dødsbrannene. Dersom det kun tas med branner der det er bekreftet at røykvarsleren fungerte, virket røykvarsleren i henholdsvis 45 % av dødsbrannene og 66 % av brannene generelt. Dersom det forutsettes at røykvarsleren fungerte i de brannene, hvor det er angitt som ”ukjent” om røykvarsleren fungerte, fungerte røykvarsleren i 78 % av dødsbrannene, og 81 % av brannene generelt.

Tabell 5.21 – Dekningsgrad og pålitelighet for røykvarsler i boligblokker, 1999 til og med 2008

Røykvarsler	Antall røykvarslere				Dekningsgrad	Pålitelighet	
	Montert	Fungerte	Fungerte ikke	Ukjent		Min	Max (inkl ukjent)
Alle branner (N = 4410)	2492	1633	480	379	57 %	66 %	81 %
Dødsbranner (N = 127)	85	38	19	28	67 %	45 %	78 %

5.7.8.5 Kostnader

Kostnadene forbundet med innkjøp og montering av røykvarslere i et nybyggprosjekt, er relativt beskjedne. Kostnaden forutsettes å variere mellom 100 NOK og 1 200 NOK per enhet, avhengig av systemets funksjonalitet. De billigste enhetene omfatter kun enkel røykvarsler, mens de dyrere enhetene omfatter muligheter for seriekobling, trådløs forbindelse og spesialvarslere med lavfrekvente signal (Kilder: nettbutikker, for eksempel www.tryggogsikker.no).

5.7.9 Brannalarmanlegg

5.7.9.1 Funksjonsbeskrivelse for automatisk brannalarmanlegg

Mange av de samme egenskapene som er omtalt for røykvarslere, vil også være gjeldende for et brannalarmanlegg. Et automatisk brannalarmanlegg har samme funksjonen som en røykvarsler i startbrannleiligheten, men har også en del tilleggsfunksjoner. I denne oppgaven er et automatisk brannalarmanlegg definert som et anlegg bestående av røykdetektorer i alle leiligheter, tilkoblet en brannalarmsentral. Ved deteksjon av røyk, gis det varsel til brannalarmsentralen, som videreformidler dette signalet til alarmklokker/varselmedium i alle leiligheter, samt til brannvesenets alarmsentral.

Med hensyn til varsling, skiller et brannalarmanlegg seg fra en røykvarsler, ved muligheter for å gi varsel til flere enheter. Anlegget gir tidligere varsel til hele bygningen ved brann, og det er dermed større muligheter for å evakuere før rømningsveiene blokkeres av røyk. Samtidig skaper dette utfordringer knyttet til unødige eller falske alarmer, der hele bygningen blir ”plaget” dersom en feil skulle oppstå i én leilighet.

Tabellen nedenfor viser de vanligste funksjonene til et brannalarmanlegg (Mostue og Opstad 2002).

Tabell 5.22 - Brannalarmanleggets vanlige virkemåte (Mostue og Opstad 2002)

	Funksjon
Registrerer	Registrerer røyk, gass, flamme når en brann har oppstått eller er under utvikling.
Alarmerer	Automatisk alarmering lokalt, eventuelt fjernalarmere brannvesenet og annet hjelpepersonell.
Iverksetter tiltak	Brannalarmanlegget kan være utstyrt med tilleggsfunksjoner som iverksetter brannforebyggende tiltak som for eksempel å stanse prosesser, lukke branndører, styre ventilasjonsanlegg osv.

5.7.9.2 Brannalarmanleggets effekt

I denne oppgaven er brannalarmanleggets effekt først og fremst vurdert i forhold til de funksjonene anlegget har, utover det en røykvarsler kan bidra med. Dette gjelder dermed:

1. Varsling av naboer
2. Varsling av brannvesenet
3. Aktivering av andre tekniske brannsikkerhetstiltak, som for eksempel trykksetting av trapperom, automatisk lukking av dører som står åpne på holdemagnet, og eventuelt et mer informativt varsel til beboerne via talebeskjed.

For at brannalarmanlegget skal fungere etter hensikten, må beboerne a) høre varselet, og b) reagere på varselet ved å evakuere bygningen umiddelbart. Dette er basert på den vanlige måten å håndtere brannsituasjoner i Norge, det vil si ”alle ut ved brann”. En alternativ strategi vil være beskyttelse av beboerne inne i bygningen, eller ”*protect in place*”, slik det beskrives i for eksempel Proulx (2002).

Utfordringer knyttet til å varsle alle personer i en boligblokk, må håndteres i prosjekteringsfasen. Her må det tas et valg om anlegget skal tilpasses alle mulige beboere, eller et gjennomsnitt av befolkningen. Minimumskravene i forskriften er basert på gjennomsnittsnivået, og omfatter varsling via ringeklokker. Dette vil for eksempel ikke være tilstrekkelig som varsel for døve personer. Slike problemstillinger vil ikke forfølges videre i denne oppgaven.

Dersom det tas som en forutsetning at personene i blokken hører alarmer, vil reaksjonen bestemmes av hvordan personen tolker signalet. Det viser seg at et klokkesignal fra et brannalarmanlegg kun i få tilfeller tolkes som et faktisk tegn på at det brenner i bygningen (Proulx 2007:2). Dette skyldes at informasjonsverdien i et klokkesignal er meget begrenset. Dersom bygningen er plaget med gjentatte falske alarmer, vil et klokkesignal i større grad forbindes med falsk alarm, enn en faktisk brann. Mostue (2000) bruker begrepet prediksjonsverdi, det vil si i hvilken grad en alarm faktisk varsler en reell brann, for å forklare personers reaksjonstid. Prediksjonsverdien må være større enn 0,5 for at folk skal reagere raskt. Det vil si at det må være mer sannsynlig at det er en reell brann, enn at det er en falsk alarm (Mostue 2000:46). Se kapittel 5.6 for mer informasjon om menneskers reaksjoner på brannalarm.

Brannalarmanlegget kan bidra til raskere respons og innsats fra brannvesenet, ved å gi automatisk varsling ved deteksjon av røyk. Da brannvesenet ofte har en innsatstid på opp mot 10 minutter i bystrøk, er det ikke nødvendigvis sikkert at brannvesenets innsats kan forhindre omkomne i startbrannleiligheten. Mulighetene for å redusere skadeomfanget og redde naboer, er imidlertid betraktelig større dersom brannvesenet får tidlig varsel. En japansk undersøkelse viser at det er 3 ganger så høy sannsynlighet for totalskade, dersom det ikke er installert automatisk brannalarmanlegg (Mostue 2000:46).

5.7.9.3 Brannalarmanleggets driftspålitelighet

Generelle tall i forbindelse med norske branner viser at automatiske brannalarmanlegg fungerte i 85 % av brannene, hvor brannalarmanlegg var montert (Mostue 2000:46).

Tabellen angir pålitelighet for brannalarmanlegg i ulike bygningstyper. Det er benyttet 95 % konfidensgrenser for å antyde spredningen i datamaterialet. Det kommenteres at påliteligheten for institusjoner kommer klart best ut, sannsynligvis som følge av bedre og mer rutinemessig vedlikehold, samt god kvalitet på anleggene (Mostue og Opstad 2002:26).

Tabell 5.23 – Pålitelighet for brannalarmanlegg i ulike bygningskategorier (Mostue og Opstad 2002)

Bolig (N = 30)	Institusjon (N = 60)	Næringsbygg (N = 41)
75,1 < 77,8 < 80,6	82,3 < 83,5 < 84,6	70,2 < 72,0 < 73,7

Den britiske standarden PD7974-7:2003 angir data for pålitelighet for ulike komponenter i et brannalarmanlegg. En brannalarmsentral er forventet å fungere i mellom 95 – 100 % av tilfellene. Detektorene tilknyttet anlegget er vurdert med bakgrunn type og bygning og er angitt i tabell 5.24.

Tabell 5.24 – Pålitelighet for detektorer (PD7974-7:2003: table A.17)

Detector	Reliability data
Commercial smoke	0,9
Domestic smoke	0,75
Aspirating smoke	0,9
Heat	0,9
Flame	0,5

6. Resultater fra brannsimuleringer

6.1 Brannutvikling i startbrannrom

6.1.1 Utgangspunkt

Modellbeskrivelse

Som nevnt i kapittel 2.3 er det utført simuleringer av 26 brannscenarier i startbrannrom. Scenario 4, 5 og 6 er benyttet som hovedsammenligningsgrunnlag, for å vurdere betydningene av de ulike variablene. Scenario 4, 5 og 6 er branner i en leilighet av gjennomsnittlig størrelse (ca. 70 m²) med vanlig takhøyde (2,6 m). Det er videre benyttet en middels sotproduksjonsrate, $S_y = 8 \%$. Dette er en rate som kan forventes ved brann i diverse syntetiske materialer og enkelte plastmaterialer. Sotproduksjonsraten er betraktelig høyere enn det som kan forventes ved brann i typiske celluloseprodukter, som for eksempel treverk og ullprodukter ($S_y \approx 1,5 \%$). Den er betraktelig lavere enn for enkelte plastprodukter som polystyren- eller enkelte polyuretanprodukter ($S_y \approx 10 - 15 \%$). I de følgende kapitlene brukes scenario 4-6 som sammenligningsgrunnlag i tabeller, og er merket med grønn bakgrunn, slik at dette er lettere å identifisere.

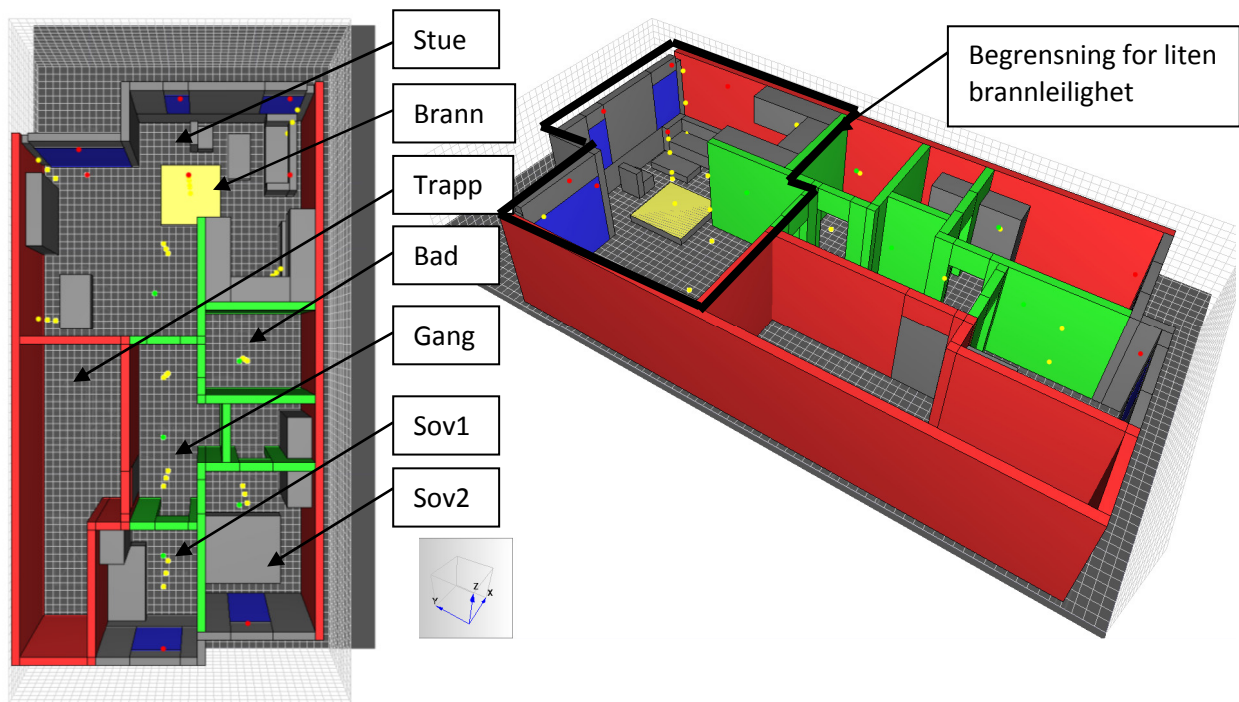
Tabell 6.1 – Scenariooversikt for branner i leilighet (uten tilknytning til rømningsveier)

	Brann	Røyk	Areal	Takhøyde	Kommentar
Scenario 1	Medium	Lav	Vanlig	Vanlig	
Scenario 2	Vanlig	Lav	Vanlig	Vanlig	
Scenario 3	Rask	Lav	Vanlig	Vanlig	
Scenario 4	Medium	Middels	Vanlig	Vanlig	Sammenligningsgrunnlag
Scenario 5	Vanlig	Middels	Vanlig	Vanlig	Sammenligningsgrunnlag
Scenario 6	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Sammenligningsgrunnlag
Scenario 7	Medium	Høy	Vanlig	Vanlig	
Scenario 8	Vanlig	Høy	Vanlig	Vanlig	
Scenario 9	Rask	Høy	Vanlig	Vanlig	
Scenario 10	Medium	Middels	Liten	Vanlig	
Scenario 11	Vanlig	Middels	Liten	Vanlig	
Scenario 12	Rask	Middels	Liten	Vanlig	
Scenario 13	Medium	Middels	Liten	Stor	
Scenario 14	Vanlig	Middels	Liten	Stor	
Scenario 15	Rask	Middels	Liten	Stor	
Scenario 16	Medium	Middels	Vanlig	Stor	
Scenario 17	Vanlig	Middels	Vanlig	Stor	
Scenario 18	Rask	Middels	Vanlig	Stor	
Scenario 19	Medium	Middels	Vanlig	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 20	Vanlig	Middels	Vanlig	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 21	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 22	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Sprinklerkontrollert forsinket
Scenario 23	Medium	Middels	Liten	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 24	Vanlig	Middels	Liten	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 25	Rask	Middels	Liten	Vanlig	Sprinklerkontrollert
Scenario 26	Rask	Middels	Liten	Vanlig	Sprinklerkontrollert forsinket

Figur 6.1 viser modellen av leiligheten som er benyttet som utgangspunkt i scenario 1-26. Scenario 10-15 og 23-26 representerer en liten brannleilighet (ca. 35 m²), hvor det kun er benyttet stuen som brannmodell. Materialbruken i modellen er basert på defaultverdiene i materialdatabasen som medfølger FDS, og kan oppsummeres på følgende måte:

- Hovedskillende konstruksjoner mot nabo-leiligheter og trapperom er angitt som betong (concrete), og vist som røde konstruksjoner på figur 6.1.
- Innervegger, som skiller de ulike rommene i leiligheten, er angitt som gipsvegger (gypsum board), og vist som grønne konstruksjoner på figur 6.1.
- Yttervegger og innredning er angitt som "inert", og vist som grå konstruksjoner på figur 6.1. En konstruksjon med egenskapen "inert" varmes ikke opp og deltar ikke i forbrenningsprosessen. Varmeoverføring fra branngasser skjer for øvrig gjennom konstruksjonen, men altså uten at selve vegger varmes opp⁹.
- Vinduer er angitt som glass, og vist med blå farge på figur 6.1.

Figur 6.1 – FDS-modell (etablert i PyroSim©)



Målepunkter (termoelementer) i brannmodellen er vist med gule punkter, røykdetektorer er vist med grønne punkter (én i hvert rom) og varmedetektorer/sprinklerhoder er vist med røde punkter. Hvert vindu har en tilknyttet varmedetektor som aktiveres og simulerer vindusbrudd, ved å åpne vinduet ved en temperatur på 90 °C. Det er plassert tre sprinklerhoder i forbindelse med brannen med aktiveringstemperatur på 68 °C og RTI-verdi på 50 \sqrt{ms} .

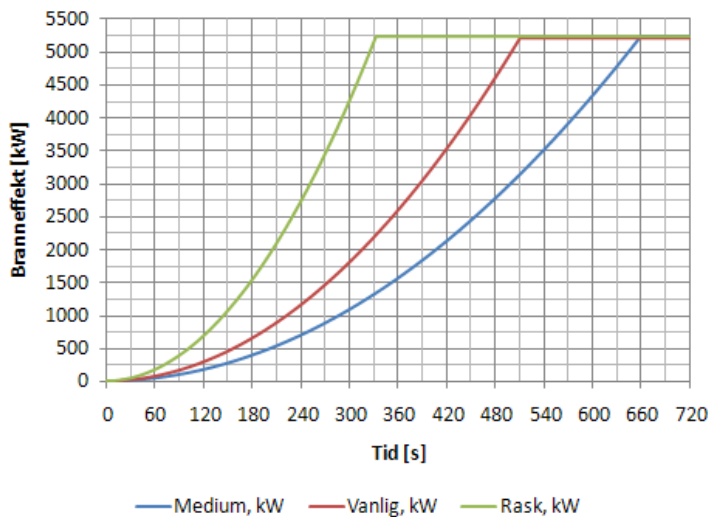
Varmeeffekten for brannscenariene i leilighet med vanlig størrelse er, som nevnt i teoridelen, basert på standard α^2 -kurver, med α -verdier tilsvarende *medium*, *vanlig* og *rask* brannvekst. Tabell 6.2 gir oversikt over begrensende faktorer for varmeeffektutviklingen for leiligheten. Figur 6.2 viser hvilken varmeeffektutvikling som er benyttet for de respektive brannene i standardleiligheten.

⁹ Kilde: issue 568, issue tracker fds-smv, <http://code.google.com/p/fds-smv/issues/detail?id=568>.

Tabell 6.2 – Data for vanlig brannrom

Variabel	Verdi
Gulv- og takareal	72 m ²
Omhyllingsflate, branncelle	255 m ²
Åpningsareal, A ₀	10,6 m ²
Åpningshøyde, H ₀	1,66 m
Maksimal branneffekt i leiligheten, Q _{max}	20 657 kW
Nødvendig effekt for overtenning, Q _{FO}	5 226 kW ⁶
Tid frem til overtenning:	
α = 0,012 kW/s ² (medium)	660 s [11 min]
α = 0,020 kW/s ² (vanlig)	511 s [8 min, 31 s]
α = 0,047 kW/s ² (rask)	333 s [5 min, 33 s]

Figur 6.2 – Varmeeffektutvikling med standard brannkurver i vanlig leilighet



Tabellen nedenfor viser tid frem til kritiske forhold, samt tid frem til dødelige forhold. Forskjellen på disse tidene er at førstnevnte er relatert til forhold som medfører at mennesker mister bevisstheten, eller har sterkt redusert ytelsesevne. Tid frem til dødelige forhold er relatert til forhold som medfører at mennesker i løpet av kort tids eksponering vil omkomme, eller få så store skader at det ikke er mulig å redde personen. Kriterier for menneskers tålegrenser er redegjort for i kapittel 5.5.

Tabell 6.3 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario 4 - 6

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]			Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]		
	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)
Scenario 4	154	316	342	240	418	441
Scenario 5	126	283	307	187	370	391
Scenario 6	91	236	256	123	301	319
Snitt 4-6	124	278	302	183	363	384

I brannrommet (stue) er det temperaturen ($T > 90$ °C og $T > 150$ °C) i røyklaget som skaper kritiske og dødelige forhold først. I de øvrige rom er det akkumulert CO-dose ($CO_{akk} > 43\ 000$ ppm min og $CO_{akk} > 90\ 000$ ppm min) som skaper kritiske og dødelige forhold først. Figur 6.3 og 6.4 viser temperaturmålinger 1,4 m over gulvnivå i brannrom (stue) i scenario 4, 5 og 6, og gjennomsnittet av målingene. Det anmerkes at alle dører i leiligheten er forutsatt å være åpne. Dette medfører at tid frem til kritiske forhold oppstår betraktelig raskere, enn dersom enkelte dører mellom brannrom og andre rom er lukket.

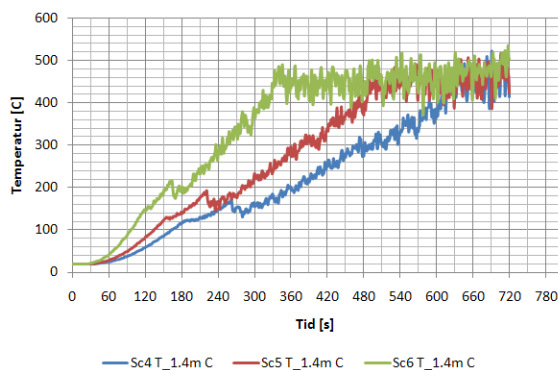
Gjennomsnittlig tid frem til kritiske forhold (alle rom) er beregnet til:

$$t_{in,alle\ rom} = \frac{124\ s + 278\ s + 302\ s}{3} = 235\ s$$

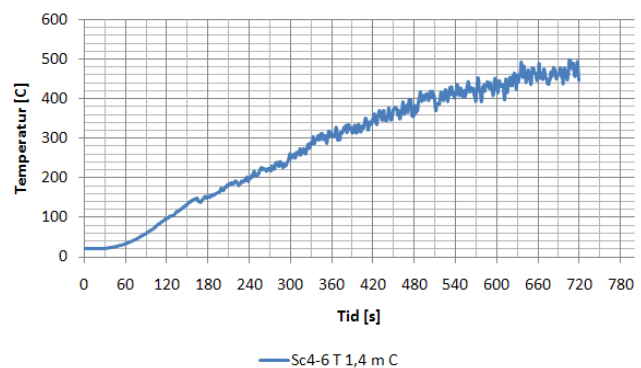
Gjennomsnittlig tid frem til dødelige forhold (alle rom) er beregnet til:

$$t_{le,alle\ rom} = \frac{183\ s + 363\ s + 384\ s}{3} = 310\ s$$

Figur 6.3 – Temperaturmålinger 1,4 m over gulv i brannrom (stue) for scenario 4, 5 og 6.



Figur 6.4 – Gjennomsnittstemperatur 1,4 m over gulv i brannrom (stue) for scenario 4, 5 og 6.



6.1.2 Effekt av brannmateriale

Betydningen av hvilket materiale som brenner i startfasen, er undersøkt ved å variere sotproduksjonsraten, S_y , med verdiene 1,5 %, 8 % og 15 %. Den lave verdien (scenario 1-3) på 1,5 % representerer brann i typiske celluloseprodukter og ullprodukter. Den høye verdien (scenario 7-9) representerer brann i enkelte plastprodukter som kan finnes i sofaer og stoler. Middelveien (scenario 4-6) er en gjennomsnittsverdi, som også er representativ for diverse syntetiske materialer (DiNenno m.fl. 2002:3-111 – 3-115). Det er benyttet den samme brannmodellen som er beskrevet i forrige kapittel, og med de samme brannveksthastighetene *middels*, *vanlig* og *rask*.

Tabellene nedenfor sammenligner scenario 1-3, med lav sotproduksjonsrate, og scenario 7-9, med høy sotproduksjonsrate, med scenario 4-6, som er definert som sammenligningsgrunnlag. Det fremgår av tabellene at sotproduksjonsraten har betydning for tid frem til kritiske og dødelige forhold i andre rom enn startbrannrommet. Årsaken til dette er at temperaturen, som ikke påvirkes nevneverdig av sotproduksjonsraten, er dimensjonerende for tid frem til kritiske og dødelige forhold i brannrommet. I rom utenom brannrommet, er det de toksikologiske effektene av brannen som er dimensjonerende for tid frem til kritiske og dødelige forhold. Sotproduksjonsraten har stor betydning for mengden røyk som produseres, og giftigheten av denne røyken.

Tabell 6.4 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario 1 - 3

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]			Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]		
	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)
Scenario 1	152	484	510	235	627	646
Scenario 2	128	390	450	184	549	567
Scenario 3	91	157	358	116	443	460
Snitt 1-3	124	344	439	178	540	558
Snitt 4-6	124	278	302	183	363	384
Endring	0 %	+ 24 %	+ 45 %	- 2 %	+ 49 %	+ 45 %

Tabell 6.5 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario 7 - 9

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]			Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]		
	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)
Scenario 7	155	249	275	243	317	342
Scenario 8	126	218	246	191	284	308
Scenario 9	91	185	206	126	237	257
Snitt 7-9	124	217	242	187	279	302
Snitt 4-6	124	278	302	183	363	384
Endring	0 %	- 22 %	- 20 %	+ 2 %	- 23 %	- 21 %

En endring av sotproduksjonsrate fra 15 % til 1,5 % (90 % reduksjon), fører til en økt tid frem til kritiske forhold på 81 % i soverommene, og økt tid frem til dødelige forhold på 84 %. Den økte tiden før det oppstår kritiske og dødelige forhold, er betydelig. Imidlertid er kanskje den viktigste betydningen at tid frem til kritiske og dødelige forhold, nærmer seg en størrelsesorden hvor brannvesenet kan gjøre innsats

og redde mennesker før de omkommer. I de verste tilfellene, scenario 7-9, oppstår dødelige forhold i hele leiligheten i løpet av de første 5 minuttene. I det beste tilfellet nærmer tilgjengelig tid seg 10 minutter. Dersom dører mellom brannrommet og soverom er lukket, vil tid frem til kritiske forhold øke, men dette er ikke vurdert her.

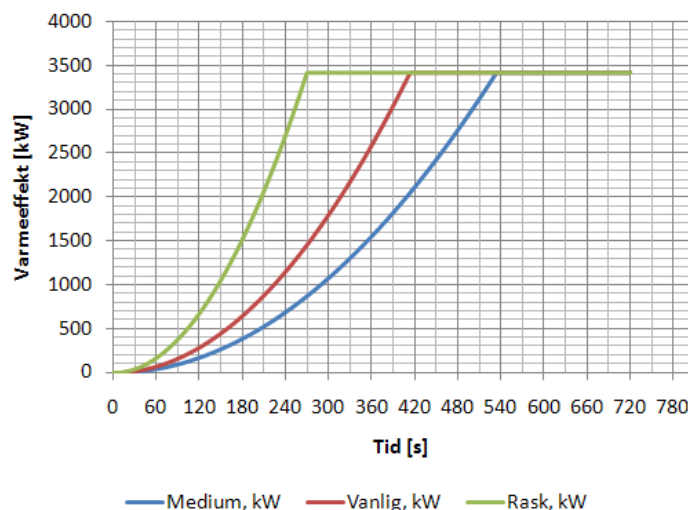
6.1.3 Effekt av leilighetens størrelse

Nærhet til brannen og utfall av brannen har sammenheng. I dette kapittelet er det sett på hvordan tiden frem til kritiske og dødelige forhold påvirkes av at leiligheten/brannrommet er av liten størrelse. Simuleringene er gjennomført i samme brannmodell som er beskrevet ovenfor, men alle rom bortsett fra stuen er fjernet. Dette gir et gulvareal i brannleiligheten på om lag 35 m². Leiligheten vil i dette tilfellet ikke være gjennomgående, og vil følgelig ha redusert vindusareal sammenlignet med standardleiligheten. Dette vil igjen medføre at maksimal branneffekt ved ventilasjonskontroll, er mindre enn for standardleiligheten (se kapittel 6.1.1). Dette synes for øvrig ikke å ha noen stor betydning ettersom kritiske og dødelige forhold oppstår i brannrommet lenge før ventilasjonskontroll.

Tabell 6.6 – Data lite brannrom

Variabel	Verdi
Gulv- og takareal	35 m ²
Omhyllingsflate, branncelle	141 m ²
Åpningsareal, A ₀	7 m ²
Åpningshøyde, H ₀	1,6 m
Maksimal branneffekt i leiligheten, Q _{max}	13 506 kW
Nødvendig effekt for overtenning, Q _{FO}	3 418 kW ⁶
Tid frem til overtenning:	
α = 0,012 kW/s ² (medium)	534 s [8 min, 54 s]
α = 0,020 kW/s ² (vanlig)	413 s [6 min, 53 s]
α = 0,047 kW/s ² (rask)	270 s [4 min, 30 s]

Figur 6.5 – Varmeeffektutvikling med standard brannkurver i liten leilighet



Simuleringen gir resultater som er sammenlignbare med data fra stuen, i de tidligere omtalte simuleringene. Forskjellen i tid frem til kritiske og dødelige forhold, endres i negativ retning med henholdsvis 5 % og 15 %. Dette er i utgangspunktet ingen stor endring, noe som heller ikke er forventet da forskjellen i utgangspunktet bare er at den røyklekkasjen som skjer via dør til gang i standardleiligheten, i dette tilfellet ikke er til stede. Den viktigste forskjellen er imidlertid nærheten mellom brannen og utsatte personer. I en stor leilighet med egne soverom, vil det som regel være en viss avstand mellom brannen og sovende personer. I en ettromsleilighet vil personen alltid befinne seg i brannrommet, såfremt han/hun er hjemme. Sannsynligheten for brann i dette rommet, vil også være høyere enn sannsynligheten for brann i de enkelte rommene i en større leilighet. Årsaken til dette er at en ettromsleilighet som oftest inneholder de samme brannkildene som en større leilighet, men plassert på mindre areal.

Gjennomsnittlig tid frem til kritiske og dødelige forhold (alle rom) i en standard leilighet (3-roms, 70 m²), er beregnet til henholdsvis, $t_{in} = 235$ s og, $t_{le} = 310$ s. Tid frem til kritiske og dødelige forhold i en ettromsleilighet (eneste rom) er til sammenligning redusert med 50 % ($t_{in} = 118$ s og, $t_{le} = 156$ s). I tillegg kommer risikoen forbundet med at personen, hvis han/hun er hjemme, alltid vil befinne seg i det rommet brannen starter. Det vil si at liten leilighet, sammenlignet med gjennomsnittsstørrelsen, gir høyere sannsynlighet for at personen befinner seg i startbrannrom, og redusert tid til rømning.

Tabell 6.7 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario 10 -12

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]	Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]
	Rom 1 (stue)	Rom 1 (stue)
Scenario 10	144	201
Scenario 11	120	155
Scenario 12	89	111
Snitt 10-12	118	156
Snitt 4-6 (brannrom)	124	183
Endring	- 5 %	- 15 %

6.1.4 Takhøyde

I dagens regelverk er det satt krav om en minimumshøyde på 2,4 m. Undersøkelser av tegningsunderlag fra flere boligprosjekter, viser at en innvendig romhøyde på om lag 2,6 m er vanlig. For å undersøke effekten av større romhøyde, er det gjort simuleringer der takhøyden er økt fra 2,6 m til 3,0 m, det vil si en økning på om lag 15 %.

Større takhøyde gir større volum for røyken, og lengre avstand mellom en potensielt utsatt person og røyklaget. Intuitivt skal derfor en større takhøyde ha positiv betydning på tid frem til kritiske og dødelige forhold i en leilighet. Dette bekreftes av simuleringene som er gjennomført i denne oppgaven.

I leiligheten med standard størrelse (70 m² og tre rom) medførte en økning i takhøyden på 15 %, en økning i tid frem til kritiske og dødelige forhold på henholdsvis 28 % og 29 %. Det er verdt å legge merke til at økning av takhøyde, i større grad enn leilighetens/brannrommets areal har betydning for tid frem til kritiske og dødelige forhold i startbrannrommet.

Tabell 6.8 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario 16 -18

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]			Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]		
	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)
Scenario 16	214	390	424	310	478	509
Scenario 17	162	341	495	244	415	444
Scenario 18	101	262	298	153	326	352
Snitt 16-18	159	331	406	236	406	435
Snitt 4-6	124	278	302	183	363	384
Endring	+ 28 %	+ 19 %	+ 34 %	+ 29 %	+ 12 %	+ 13 %

For ettromsleiligheten er det funnet at en økning i takhøyden fra 2,6 m til 3,0 m (15 %), medfører 32 % økning i tid frem til kritiske forhold, og 44 % økning i tid frem til dødelige forhold. Sammenligningsgrunnlaget (markert med grønn bakgrunn i tabellen nedenfor) er scenario 10-12, det vil si en liten leilighet med vanlig takhøyde, $H = 2,6$ m.

Tabell 6.9 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario 13 -15

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]	Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]
	Rom 1 (stue)	Rom 1 (stue)
Scenario 13	205	288
Scenario 14	159	232
Scenario 15	103	153
Snitt 13-15	156	224
Snitt 10-12	118	156
Endring	+ 32 %	+ 44 %

6.1.5 Effekt av ulik varmeeffekt fra brannen

Det er simulert fire brannscenarier i standardleiligheten med henholdsvis middels, vanlig og rask brannveksthastighet. Scenario 1, 4, 7 og 16 har middels brannvekst, scenario 2, 5, 8 og 17 har vanlig brannvekst, og scenario 3, 6, 9 og 18 har rask brannvekst.

I sammenligningene nedenfor, er scenariene med middels og rask brannvekst vurdert opp mot scenario 4-6, som er definert som sammenligningsgrunnlag (grønn bakgrunn i tabeller). Det er også gjort en sammenligning av forskjellen mellom middels og rask brannvekst.

Det anmerkes at alle simuleringene har samme maksimale branneffekt, men at det tar ulik tid før maksimal branneffekt oppnås. Dette jevner ut forskjellene mellom de ulike brannveksttypene. Dette er gjort for å være sikker på at beregningene er innenfor validitetsområdet for FDS, da usikkerheten i beregningsmodellen øker når brannene nærmer seg ventilasjonskontroll og ufullstendig forbrenning. Forholdet vil ikke ha noen betydning for brannrommet, hvor kritiske og dødelige forhold oppstår før simuleringens maksimale branneffekt er oppnådd. I naborom kan denne beregningsforutsetningen medføre at det ikke oppstår kritiske og dødelige forhold i løpet av simuleringstiden, selv om dette i

realiteten vil skje. Dette reduserer de negative konsekvensene av rask brannveksttype, ved at brannkurven tidligere flates ut på simuleringens maksimaleffekt, enn branner med mer moderat brannvekst. En brann som følger rask α^2 -kurve ($\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$), vil etter 10 minutter ha en varmeeffekt på om lag 17 MW. En brann som følger middels α^2 -kurve ($\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$), vil etter 10 minutter ha en varmeeffekt på drøyt 4 MW. Når alle brannene ”stabiliseres” på en maksimaleffekt rundt 5 MW, reduseres følgelig betydningen av brannens veksthastighet i startfasen.

Av tabell 6.10 kan det leses at ved en redusert brannveksthastighet (middels brannvekst), sammenlignet med gjennomsnittsbrannen, gir økt tid frem til kritiske og dødelige forhold i brannrommet på 36 – 40 %. I naborom øker tiden til kritiske og dødelige forhold med 26 – 29 %. Betydningen av brannveksthastighet er størst i brannrommet, der temperaturen i røyk og branngasser er den dimensjonerende faktoren for tid frem til kritiske og dødelige forhold. I naborom, der akkumulert CO-dose er dimensjonerende for tid frem til kritiske og dødelige forhold, spiller brannveksthastigheten en mindre, men fortsatt betydelig rolle.

Tabell 6.10 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario med middels brannvekst

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]			Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]		
	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)
Scenario 1	152	484	510	235	627	646
Scenario 4	154	316	342	240	418	441
Scenario 7	155	249	275	243	317	342
Scenario 16	214	390	424	310	478	509
Snitt 1,4,7,16	169	360	388	257	460	485
Snitt 4-6	124	278	302	183	363	384
Endring	36 %	29 %	28 %	40 %	27 %	26 %

Ved sammenligning av scenarier med rask brannvekst mot gjennomsnittsbrannen, er det funnet en reduksjon i tid frem til kritiske og dødelige forhold på 24 – 29 % i brannrommet, og 7 -24 % i naborom. Årsaken til den store reduksjonen i tid frem til kritiske forhold i rom 2 (gang) i tabell 6.11 (- 24 %), skyldes at temperaturen i røyklaget er dimensjonerende for tid frem til kritiske forhold i scenario 3. Dette gir en lavere snittverdi (210 s) enn dersom akkumulert CO-dose hadde vært dimensjonerende i alle scenariene (259 s). Dette ville gitt en reduksjon i tid frem til kritiske forhold på om lag 7 %. Resultatene understreker at forholdene i leiligheten forverres raskere ved rask brannvekst.

Tabell 6.11 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario med rask brannvekst

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]			Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]		
	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)
Scenario 3	91	157	358	116	443	460
Scenario 6	91	236	256	123	301	319
Scenario 9	91	185	206	126	237	257
Scenario 18	101	262	298	153	326	352
Snitt 3,6,9,18	94	210	280	130	327	347
Snitt 4-6	124	278	302	183	363	384
Endring	- 24 %	- 24 %	- 7 %	- 29 %	- 10 %	- 10 %

Sammenligninger mellom middels og rask brannvekst er vist i tabell 6.12. Dette utgjør sammenligninger mellom ytterpunktene i de gjennomførte simuleringene, og gir følgelig noe større utslag. I en leilighet, hvor det kan forventes middels brannvekst, er det funnet at tid frem til kritiske og dødelige forhold i brannrommet øker med 44 – 49 %, sammenlignet med en leilighet med rask brannvekst. For naborom reduseres tiden til kritiske og dødelige forhold med 28 – 42 %. Dersom akkumulert CO-dose hadde vært dimensjonerende for tid frem til kritiske forhold i entré for scenario 3, i stedet for temperatur, ville forskjellen vært om lag 28 % i stedet for 42 %.

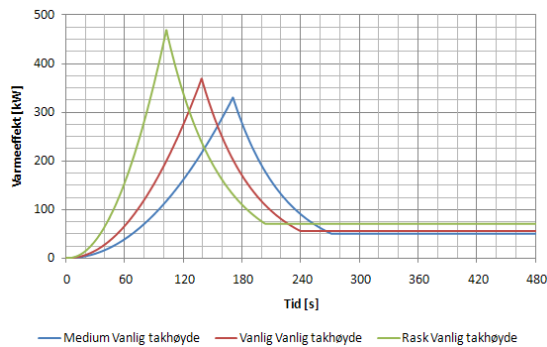
Tabell 6.12 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario med henholdsvis rask og middels brannvekst

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]			Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]		
	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)
Snitt 3,6,9,18 (rask vekst)	94	210	280	130	327	347
Snitt 1,4,7,16 (middels vekst)	169	360	388	257	460	485
Endring	44 %	42 %	29 %	49 %	29 %	28 %

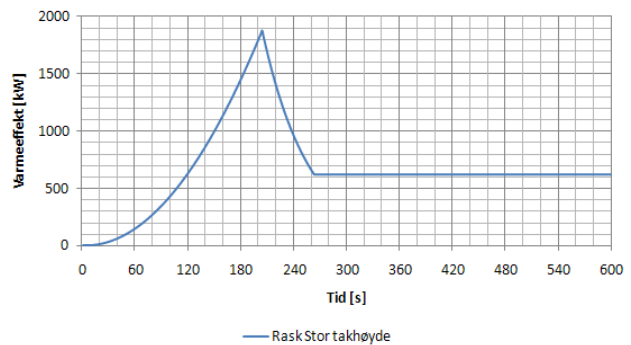
6.1.6 Effekt av sprinkling

Det er gjennomført 8 scenarier med sprinklerkontrollerte branner, hvorav 4 i standardleiligheten og 4 i liten leilighet. De aktuelle kurvene for varmeeffektutvikling er vist i figur 6.6 og 6.7. Det er generelt forutsatt at sprinkleranlegget reduserer varmeeffekten til en tidel av varmeeffekten før sprinkleraktivering. I tillegg er det gjort en simulering for både standardleiligheten og liten leilighet, der det forutsettes rask brannvekst med forsinket sprinkleraktivering (aktiveres etter 200 s). Kontrolleffekten av sprinkleranlegget er redusert, slik at varmeeffekten etter sprinkleraktivering er en tredel av varmeeffekten før sprinkleraktivering.

Figur 6.6 – Varmeeffekt ved sprinklerkontrollerte branner



Figur 6.7 – Varmeeffekt ved forsinket sprinklereffekt og redusert kontrolllevne



Scenariene med sprinklerkontroll gir lavere maksimale branneffekter, noe som krever finere oppløsning på cellesystemet i FDS for å få pålitelige resultater. I alle scenariene med normal sprinkleraktivering (det vil si ikke forsinket sprinkleraktivering), er det simulert med et cellesystem med oppløsning $d_{xyz} = 0,1$ m. Dette gir en faktor $D^*/d_{xyz} > 6,22$. Cellesystem med oppløsning $d_{xyz} = 0,2$ m gir en faktor $D^*/d_{xyz} = 6,18$ for scenariet med forsinket sprinkleraktivering, der maksimal branneffekt er om lag 1 900 kW.

Slokkemodellen som er benyttet i denne oppgaven har kun betydning for varmeeffekten fra brannen. Modellen neglisjerer dermed en av de viktigste positive faktorene ved et sprinkleranlegg: temperaturreduksjonen. SINTEF NBL har brukt tilsvarende slokkemodell i flere prosjekter, samtidig som de forutsetter at sprinkleranlegget reduserer temperaturen i brannrommet til 60 % av den beregnede temperaturen. I denne oppgaven er det i utgangspunktet ikke lagt inn noen reduksjon på temperaturen, ved rapportering av data i de påfølgende tabellene. Tabell 6.15 viser for øvrig hvordan tid frem til kritiske og dødelige forhold påvirkes, dersom det forutsettes overnevnte temperaturreduksjon som følge av sprinkleranlegget.

Tabell 6.13 gir resultater for sprinklerkontrollerte branner i vanlig brannleilighet, sammenlignet med gjennomsnittsbrannene uten sprinkleranlegg (scenario 4 – 6). Det er også tatt med resultater fra scenario 22, hvor det forutsettes at sprinkleranlegget har forsinket aktiveringstid. Anlegget aktiveres først etter 200 s, noe som gir en maksimal varmeeffekt (1 876 kW) som er 4 ganger høyere enn dersom normal aktiveringstid forutsettes (469 kW). Sprinkleranlegget har vesentlig betydning for tiden til dødelige forhold i leiligheten, der denne økes med 76 % i brannrommet og 36 – 37 % i naborom. Tiden til kritiske forhold påvirkes i mindre grad. I brannrommet er det funnet en redusert tid frem til kritiske forhold med sprinkleranlegg. Dette skyldes at det ikke er tatt hensyn til sprinkleranleggets temperaturreducerende effekt. I naborom økes tiden til kritiske forhold med 17 %. Bortsett fra brannrommet, hvor temperatur > 90 °C er dimensjonerende for tid frem til kritiske forhold, er det akkumulert CO-dose > 43 000 ppm min, som er dimensjonerende for tid frem til kritiske forhold.

Tabell 6.13 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario med sprinkler

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]			Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]		
	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)
Scenario 19	161	384	415	422	583	620
Scenario 20	129	366	395	403	564	600
Scenario 21	96	315	340	345	493	523
Scenario 22	88	233	256	117	333	357
Snitt 19,20,21,22	119	325	352	322	493	525
Snitt 4-6	124	278	302	183	363	384
Endring	- 4 %	+ 17 %	+ 17 %	+ 76 %	+ 36 %	+ 37 %

Tabell 6.14 viser sammenligning med gjennomsnittsbranner uten sprinkleranlegg dersom scenario 22, med forsinket sprinkleraktivering, utelates. Her er det funnet en økning i tid frem til dødelige forhold i brannrommet på 113 %, og en økning på 51 % i naborom. Tid frem til kritiske forhold øker med om lag 27 – 28 % i naborom. I brannrommet er det funnet en økning i tid frem til kritiske forhold på 4 %, uten å ta hensyn til at sprinkleranlegget vil redusere temperaturen til om lag 60 % av beregnet temperatur.

Tabell 6.14 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario med sprinkler uten scenario 22

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]			Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]		
	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)
Scenario 19	161	384	415	422	583	620
Scenario 20	129	366	395	403	564	600
Scenario 21	96	315	340	345	493	523
Snitt 19,20,21	129	355	383	390	547	581
Snitt 4-6	124	278	302	183	363	384
Endring	+ 4 %	+ 28 %	+ 27 %	+ 113 %	+ 51 %	+ 51 %

Tabell 6.15 viser sprinklerkontrollerte branner sammenlignet med gjennomsnittsbrannen uten sprinkler. Scenario 22, med forsinket sprinkleraktivering, er utelatt, samt at temperaturberegningene er forutsatt redusert til 60 % av beregnet temperatur. Dette medfører at akkumulert CO-dose > 43 000 ppm min blir dimensjonerende for tid frem til kritiske forhold i brannrommet, i stedet for temperatur > 90 °C. Selv om "peak-verdien" for temperatur er høyere enn 90 °C, reduseres denne raskt, som følge av sprinkleraktiveringen. Temperaturen vurderes derfor ikke som kritisk/dødelig. Sammenlignet med tabell 6.14 ovenfor, gir dette en betraktelig større tid frem til kritiske forhold i brannrommet, som utgjør 81 % økning i forhold til gjennomsnittsbrannene uten sprinkleranlegg.

Tabell 6.15 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario med sprinkler og temperaturreduksjon

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]			Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]		
	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)
Scenario 19	251	384	415	422	583	620
Scenario 20	231	366	395	403	564	600
Scenario 21	192	315	340	345	493	523
Snitt 19,20,21	225	355	383	390	547	581
Snitt 4-6	124	278	302	183	363	384
Endring	+ 81 %	+ 28 %	+ 27 %	+ 113 %	+ 51 %	+ 51 %

Beregningene viser at sprinkleranlegget ikke kan forhindre alle dødsfall i leiligheter, men at tiden til kritiske og dødelige forhold øker så mye, at personer, som ellers ville mistet bevisstheten kan komme seg ut på egen hånd, eller at brannvesenet, ved rask innsats, kan redde ut bevisstløse mennesker.

Tabell 6.16 viser resultater fra simuleringer i liten leilighet. Tid frem til kritiske og dødelige forhold økes med 61 % med sprinkleranlegg, sammenlignet med gjennomsnittsbranner uten sprinkleranlegg. Tiden til dødelige forhold er for øvrig redusert med om lag 1,5 minutt, sammenlignet med brannrommet i en stor leilighet. Isolert sett gir dette en tid frem til dødelige forhold på mindre enn 5 minutter. Dette vil i de fleste tilfeller utelukke innsats fra brannvesenet.

Basert på beregningene, er det liten grunn til å anta at installasjon av sprinkleranlegg i små leiligheter (ettroms), der personer befinner seg nært brannen, vil bidra til noen særlig reduksjon i antall omkomne i slike leiligheter. Her vil tidlig varslings og tidlig rømning være avgjørende. Det skal for øvrig legges til at beregninger av CO er relativt usikre. Tidligere refererte brannforsøk ved SINTEF NBL, viser at det er mulig å overleve i et sprinklet brannrom, da akkumulert CO-dose ikke blir kritisk i løpet av 20 minutter. Den forutsatte sløkkemodellen for sprinkleranlegg tar også utgangspunkt i at brannen kontrolleres, ikke sløkkes. Dette må regnes som en ugunstig forutsetning, da sprinkleranlegget i enkelte branntilfeller vil kunne slukke brannen helt, eller delvis.

Tabell 6.16 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario med sprinkler (liten leilighet)

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]	Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]
	Rom 1 (stue)	Rom 1 (stue)
Scenario 23	227	325
Scenario 24	204	303
Scenario 25	169	257
Snitt 23,24,25	200	295
Snitt 4-6 (brannrom)	124	183
Endring	+ 61 %	+ 61 %

6.1.7 Scenarier med størst utslag i forhold til dødelige forhold

Brannrom

De tre scenariene med høyeste tid frem til dødelige forhold i brannrommet, er scenario 19, 20 og 21, med henholdsvis 422 s, 403 s og 345 s. Dette er sprinklerkontrollerte branner med middels, vanlig og rask brannvekst i standardleiligheten.

De tre scenariene med lavest tid frem til dødelige forhold i brannrommet, er scenario 12, 3 og 6, med henholdsvis 111 s, 116 s og 123 s. Alle disse scenariene kjennetegnes ved rask brannvekst.

Forskjellen mellom verste scenario (12) og beste scenario (19) med hensyn til tid frem til dødelige forhold i brannrommet, er 311 s (5 min, 11 s), noe som tilsvarer en prosentvis økning på 280 %.

Første naborom (entré)

I første naborom er beregnet tid frem til dødelige forhold størst i scenario 1, 19 og 20, med henholdsvis 627 s, 583 s og 564 s. Scenario 1 omfatter en *medium* brannvekst med lav sotproduksjonsrate, $S_y = 1,5$ %. Scenario 19 og 20 kjennetegnes ved sprinklerkontroll (begge scenariene), *medium* (sc19) og *vanlig* (sc20) brannvekst. I de sprinklede scenariene er sotproduksjonsraten satt til middels, det vil si $S_y = 8$ %.

De tre scenariene med lavest tid frem til dødelige forhold i første naborom, er scenario 9, 8 og 6, med henholdsvis 237 s, 284 s og 301 s. Scenario 9 og 8 kjennetegnes ved høy sotproduksjonsrate, $S_y = 15$ %, og henholdsvis *rask* og *vanlig* brannvekst. Scenario 6 kjennetegnes ved *rask* brannvekst og middels sotproduksjonsrate, $S_y = 8$ %. Det anmerkes at akkumulert CO-dose ofte gir kritiske/dødelige forhold først i entréen. Da entréen ikke er beregnet for varig opphold, er dette vurdert som en ugunstig forutsetning. En leilighet er for øvrig så liten at rømning skjer på få sekunder, dersom brannen oppdages tidlig. Dersom rømningen er forsinket, er det sannsynlig at personen i leiligheten utsettes for brannrøyk, og at akkumulert CO-dose da blir en relevant faktor.

Forskjellen mellom verste scenario (9) og beste scenario (1), med hensyn til tid frem til dødelige forhold i brannrommet, er 390 s (6 min, 30 s). Dette tilsvarer en prosentvis økning på 165 %.

Øvrige naborom (soverom)

I øvrige naborom er beregnet tid frem til dødelige forhold størst i scenario 1, 19 og 20, som for første naborom, med henholdsvis 646 s, 620 s og 600 s.

De tre scenariene med lavest tid frem til dødelige forhold i øvrige naborom er, tilsvarende som for første naborom, scenario 9, 8 og 6, med henholdsvis 257 s, 308 s og 319 s.

Forskjellen mellom verste scenario (9) og beste scenario (1) med hensyn til tid frem til dødelige forhold i brannrommet, er 389 s (6 min, 29 s). Dette tilsvarer en prosentvis økning på 151 %.

Oppsummering

Den viktigste faktoren, med hensyn til å øke tid frem til dødelige forhold inntreffer i brannrommet, er å begrense varmeeffekten fra brannen. Dette gjøres best ved å installere sprinkleranlegg. Sprinkleranlegget virker tidlig og automatisk i brannforløpet, og begrenser og reduserer brannutviklingen før kritiske temperaturer oppstår i brannrommet. Selv om peak-verdien for temperatur, ved tidspunkt for sprinkleraktivering, er høy, vil den raskt reduseres. Personer vil derfor kun utsettes for høye temperaturer i en kort periode, som sannsynligvis ikke vil være kritisk, jmfør kapittel 5.5.3 om menneskers tålegrenser for høye temperaturer. Maksimal beregnet temperatur ved høyde 1,4 m over gulv i sprinklet rom, er beregnet til 209 °C i scenario 22.

I naborom er det akkumulert CO-dose som fører til dødelige forhold først. Den beste måten å begrense dette på, er å begrense varmeeffekten fra brannen ved å sprinkle leiligheten. Sotproduksjonsraten spiller også en viktig rolle, men scenariet med *rask* brannvekst og middels sotproduksjonsrate, gir lavere tid frem til dødelige forhold enn scenariet med høy sotproduksjonsrate og *medium* brannvekst. Muligheten for å regulere hva mennesker innreder leiligheten sin med, er begrensede. Ved å ha fokus på tiltak som reduserer varmeeffekten, det vil si sprinkleranlegg, vil betydningen av hva mennesker innreder

leilighetene sine med være mindre. En mulighet for å regulere hvilke materialer som skal brukes i leiligheter, kan gjøres ved å stille strengere brannkrav til produkter som selges på det norske markedet.

6.1.8 Tid frem til kritiske og dødelige forhold

Det er gjennomført 18 brannscenarier med branner uten sprinkleranlegg. Tid frem til kritiske forhold, t_{in} (in = incapacitation), og tid frem til dødelige forhold, t_{le} (le = lethal) er angitt i tabell 6.17.

Tabell 6.17 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i brannscenarier uten sprinkleranlegg

	$T_{in,rom\ 1}$ [s]	$T_{in,rom2}$ [s]	$T_{in,rom\ 3-5}$ [s]	$T_{le,rom\ 1}$ [s]	$T_{le,rom\ 2}$ [s]	$T_{le,rom\ 3-5}$ [s]
Sc01	152	484	510	235	627	646
Sc02	128	390	450	184	549	567
Sc03	91	157	358	116	443	460
Sc04	154	316	342	240	418	441
Sc05	126	283	307	187	370	391
Sc06	91	236	256	123	301	319
Sc07	155	249	275	243	317	342
Sc08	126	218	246	191	284	308
Sc09	91	185	206	126	237	257
Sc10	144	0	0	201	0	0
Sc11	120	0	0	155	0	0
Sc12	89	0	0	111	0	0
Sc13	205	0	0	288	0	0
Sc14	159	0	0	232	0	0
Sc15	103	0	0	153	0	0
Sc16	214	390	424	310	478	509
Sc17	162	341	495	244	415	444
Sc18	101	262	298	153	326	352
SUM =	2411	3511	4167	3492	4765	5036
N =	18	12	12	18	12	12
Snitt [s] =	133,9	292,6	347,3	194,0	397,1	419,7
Snitt [min] =	2 min, 14 s	4 min, 53 s	5 min, 47 s	3 min, 14 s	6 min, 37 s	7 min

Tid frem til kritiske og dødelige forhold der sprinkleranlegg er installert, er basert på beregningene i scenario 19, 20 og 21. Tabell 6.18 gir resultatene fra disse beregningene.

Tabell 6.18 – Tid frem til kritiske og dødelige forhold i brannscenarier med sprinkleranlegg

	Tid frem til kritiske forhold, t_{in} [s]			Tid frem til dødelige forhold, t_{le} [s]		
	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)	Rom 1 (stue)	Rom 2 (gang)	Rom 3-5 (øvrige rom)
Scenario 19	251	384	415	422	583	620
Scenario 20	231	366	395	403	564	600
Scenario 21	192	315	340	345	493	523
Snitt [s] =	225	355	383	390	547	581
Snitt [min] =	3 min, 45 s	5 min, 55 s	6 min, 23 s	6 min, 30 s	9 min, 7 s	9 min, 41 s

6.2 Brannspredning til trapperom Tr1

6.2.1 Modellbeskrivelse

Det er gjennomført fire simuleringer med spredning fra brannleilighet til trapperom type Tr1 (henholdsvis scenario 27 – 30). I den første simuleringen er det forutsatt en brannvekst til overtenning, det vil si maksimalt om lag 5 MW.

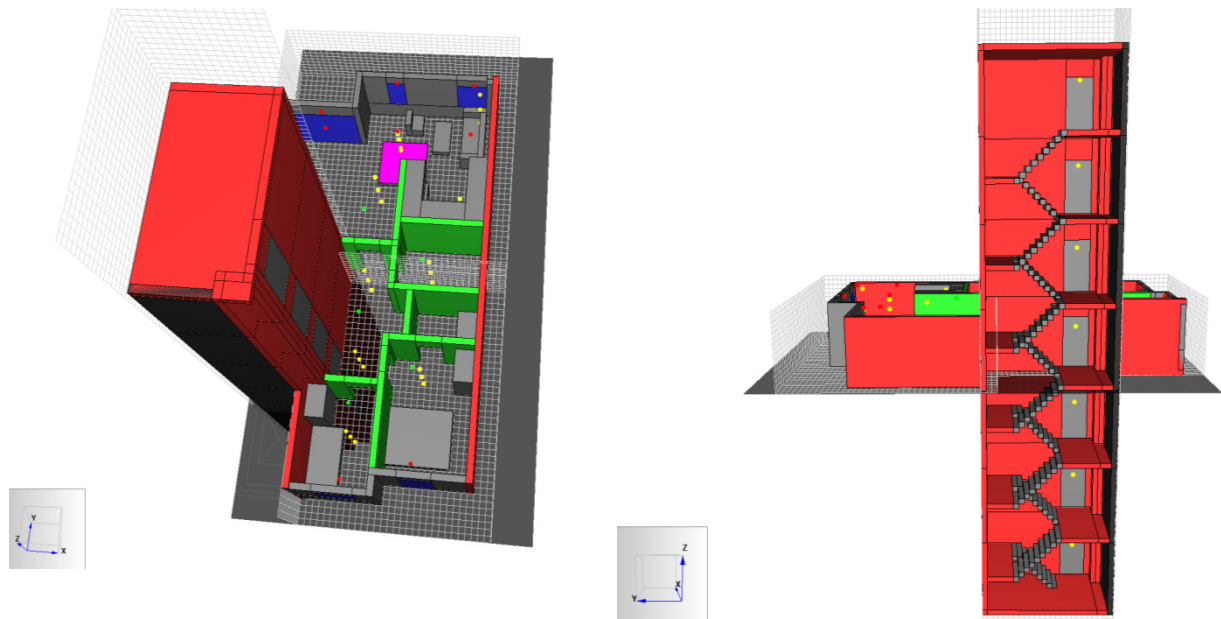
Simulering nr. 28 og 29 er sprinklerkontrollerte branner. Scenario 29 skiller seg fra scenario 28, ved at det er forutsatt en automatisk røykluke i trapperommet i scenario 29. Røykluken har et areal på 1 m², og åpner automatisk når det kommer røyk ut i trapp (tidspunkt for røyk i trapp er anslått fra scenario 28). Det siste scenariet (30) er en raskt voksende α^2 -brann, som får vokse helt til den teoretisk blir ventilasjonskontrollert (jamfør kapittel 5.3.4). Dette gir en maksimal branneffekt i dette scenariet på om lag 20 MW.

Tabell 6.19 – Scenariooversikt for branner med spredning til trapperom Tr1

Scenario-ID	α^2	S_v	$A_{leil.}$	Takhøyde	Beskrivelse
Scenario 27	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til trapperom
Scenario 28	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til trapperom, sprinklerkontrollert
Scenario 29	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Samme som 28, men med røykluke i trapp
Scenario 30	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til trapperom, røykluke i trapp, vokser til 21 MW

Figuren nedenfor viser oppbyggingen av brannmodellen. Det er benyttet samme type leilighet som beskrevet ovenfor i forbindelse med vurdering av variabler knyttet til brannrommet. Leiligheten er følgelig en treromsleilighet på om lag 70 m². Leiligheten er forbundet med et trapperom, der døren mellom leiligheten og trapperommet er forutsatt å åpne etter 60 s fra brannstart. Brannleiligheten er plassert i 4.etasje, for å undersøke hvordan røyk sprer seg opp- og nedover i trappesjakten.

Figur 6.8 – Brannmodell av leilighet med trapperom type Tr1



6.2.2 Resultater

Tabellen nedenfor viser tid frem til det oppstår kritiske forhold i trapperommet i brannetasjen. Resultatene fra simuleringene viser at dette er den mest kritiske etasjen. Trapperommet over brannetasjen vil bli røykfylt, mens den delen av trapperommet som ligger under brannetasjen, kun vil bli beskjedent berørt av brann i startfasen. Simuleringene viser at røyken i scenario 30 presses nesten én etasje ned i forhold til brannetasjen. I øvrige scenarier, vil det være uproblematisk å bruke trapperommet under brannetasjen.

Tabell 6.20 – Tid frem til kritiske forhold, t_{in}

	$T > 60^\circ\text{C}$ [s]	$T > 150^\circ\text{C}$ [s]	T_{\max} [$^\circ\text{C}$]	$\text{CO} > 1500$ [s]	CO_{\max} [ppm]	$\text{CO}_a > 43000$ [s]	$\text{CO}_2 > 10\%$ [s]	$\text{O}_2 < 10\%$ [s]	Sikt < 4m [s]	Rad > 3 kW/m ² [s]	t_{in} [s]
Sc27	360	N/A	69	N/A	1158	327	N/A	N/A	119	464	327
Sc28	N/A	N/A	33	N/A	170	483	N/A	N/A	136	N/A	483
Sc29	N/A	N/A	35	N/A	243	415	N/A	N/A	135	N/A	415
Sc30	200	584	691	622	3556	337	638	631	123	379	200

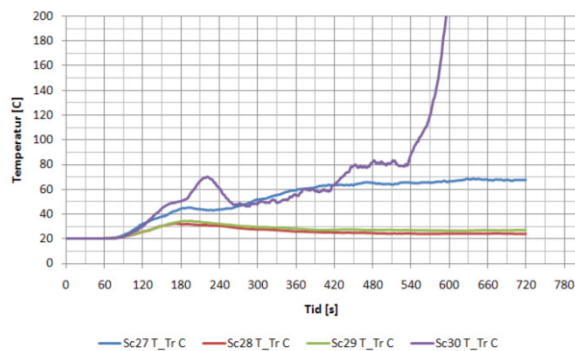
I de scenariene hvor det er forutsatt at sprinkleranlegget kontrollerer brannen (scenario 28 og 29), oppstår det i løpet av simuleringstiden ikke kritisk varmepåkjenning i form av høy temperatur eller varmestråling i trapperommet. Det vil heller ikke oppstå kritiske forhold som følge av varmepåkjenning, selv om det sees på et lengre brannforløp. Grunnen til dette er at temperatur og strålingsintensitet avtar etter sprinkleraktivering, og stabiliserer seg på et lavere nivå enn før sprinkleraktiveringen (se figur 6.9 og 6.10).

Uten sprinkleranlegg vil brannen vokse til den blir ventilasjonskontrollert. Dette illustreres gjennom scenario 30, hvor brannen vokser kontinuerlig gjennom nesten hele simuleringstiden på 720 s (12 minutter). Brannens maksimale varmeeffekt er om lag 20 MW. Av figur 6.9 og 6.10 nedenfor kan det observeres at ved tid, $t = 540$ s (9 minutter), stiger temperaturen og strålingsintensiteten i trappen kraftig. Dette skyldes at flammefronten i FDS flyttes helt ut i trapperommet ved dette tidspunktet. FDS bruker,

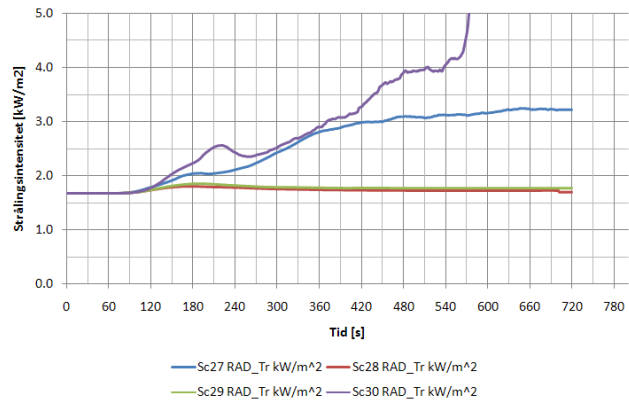
som nevnt i kapittel 5.4.3.4, en "mixure fraction-modell" for antennelse/forbrenning. Etter om lag 9 minutter er flammefronten, der blandingsforholdet mellom brensel og oksygen er antennelig, i trapperommet.

Det anmerkes at FDS har utfordringer knyttet til simulering av underventilerte branner. Dette indikerer at usikkerheten i resultatene fra scenario 30 øker i den siste delen av simuleringen. Uten sprinkleranlegg, der brannen får utvikle seg fritt, vil det oppstå kritiske temperaturer i trapperommet etter om lag 3,5 – 6 minutter, basert på resultater fra scenario 27 og 30. Dødelige forhold ($T > 150 \text{ }^\circ\text{C}$) oppstår først i trapperommet etter om lag 10 minutter i scenario 30.

Figur 6.9 – Temperaturutvikling i trapp (brannetasje) scenario 27-30.

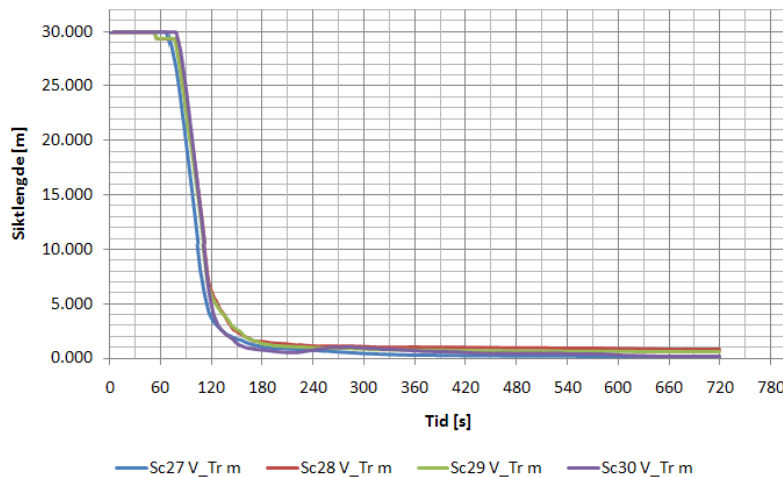


Figur 6.10 – Strålingsintensitet i trapp (brannetasje) scenario 27-30.



Det største problemet for personer som skal rømme via et trapperom, der døren er åpen til brannrommet, er sikten. Simuleringene viser at sprinkleranlegget bare har en marginal betydning for å forhindre at siktlengden i trapperommet synker under 4 m. Etter om lag 2 minutter er sikten så dårlig i trapperommet, at det er sannsynlig at folk vil snu og prøve å komme seg tilbake til sin egen leilighet, eller ikke forsøke å gå ut i trapperommet. Sprinkleranlegget vil imidlertid forsinke røykfyllingen av trapperommet over brannetasjen, samt forhindre røykspredning til etasjer under brannetasjen. Trapperommet kan for øvrig likevel anses som sperret for personer som befinner seg over brannetasjen. Figur 6.11 viser at sikten i trapperommet forverres omtrent likt i scenario 27-30, noe som illustrerer sprinkleranleggets manglende effekt på denne variabelen.

Figur 6.11 – Siktlengde i trapperom (brannetasjen) i scenario 27-30

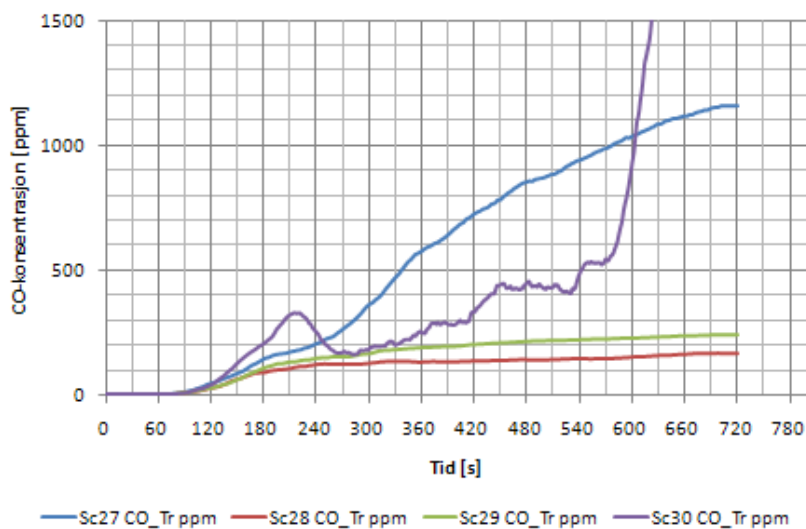


De toksikologiske konsekvensene av røykspredning til trapperommet, illustreres ved beregnet CO-konsentrasjon i figur 6.12. Det fremgår tydelig at sprinkleranleggets kontroll på varmeeffekten slår ut i reduserte CO-konsentrasjoner i trapperommet. I scenariene uten sprinkleranlegg (27 og 30), er det registrert et kontinuerlig økende CO-innhold i løpet av simuleringstiden.

Forskjellen i scenario 27 og 30 kan tilskrives forskjeller i ventilasjonsforhold. Vindusbrudd oppstår omtrent samtidig i scenario 27 og 30, men det er forutsatt røykluke og tilluft via inngangsdør i trapperom i scenario 30. Dette øker lufttilførselen til brannrommet via trapperommet. Det fører til at brannfronten, i større grad, flyttes mot trapperommet i scenario 30, mens brannfronten er konsentrert om vindusflatene i scenario 27.

Effekten av røykluken på siktlengder og røykfylling i trapperommet, er ikke identifiserbar, noe som tyder på at automatisk røykventilasjon i trapperommet totalt sett er en ugunstig løsning. Den negative effekten er imidlertid synlig på målingene av temperatur- og strålingsintensitet i figur 6.9 og 6.10.

Figur 6.12 – CO-konsentrasjon i trapperom (brannetasje) i scenario 27-30



I scenario 27-29 oppstår det ikke konsentrasjoner av giftige branngasser i trapperommet. I scenario 30 stiger CO-konsentrasjonen over 1 500 ppm etter om lag 10 minutter, det vil si omtrent samtidig som dødelige forhold oppstår som følge av varmepåkjønning. Den akkumulerte CO-dosen kan imidlertid føre til kritiske forhold. I de sprinklerkontrollerte brannene stiger akkumulert CO-dose over 43 000 ppm min etter om lag 7,5 minutter (snitt). Uten sprinkleranlegg skjer dette etter om lag 5,5 minutter. Dødelig akkumulert dose (CO-dose > 90 000 ppm min) oppstår etter om lag 8 minutter i scenario 30. I det første scenariet med sprinkleranlegg (28), måles det ikke akkumulert CO-dose > 90 000 ppm min i trapperommet i løpet av simuleringstiden. I scenario 29 er akkumulert CO-dose > 90 000 ppm min etter om lag 10,5 minutter. Dette er enda et eksempel på at ventilasjonsluften via trapperommet (røykluke og tilluft i bunn av trapperommet) er uheldig i forhold til utvikling av kritiske forhold i trapperommet. Selv om det også ved sprinkling av brannleiligheten oppstår kritiske og dødelige akkumulerte CO-konsentrasjoner i trapperommet, må en person befinne seg relativt lenge i trapperommet for å miste bevisstheten og eventuelt få i seg en stor nok dose til å omkomme.

6.2.3 Oppsummering

Dersom det er åpen forbindelse mellom brannleiligheten og et trapperom Tr1, vil trapperommet, uavhengig av om brannleiligheten er sprinklet, være sperret som følge av redusert sikt etter om lag to minutter. Et fungerende sprinkleranlegg i brannleiligheten vil høyst sannsynlig, til tross for at akkumulert CO-dose kan bli stor, forhindre at personer omkommer i trapperommet. Begrunnelsen for dette er at sikten i trapperommet, bortsett fra ved brannetasjen, er relativt god lenge. Personer som

befinner seg i trapperommet vil derfor kunne komme seg tilbake til sin egen leilighet, eller eventuelt klare å komme seg forbi brannetasjen før kritisk akkumulert CO-dose oppnås. Dersom brannleiligheten ikke er sprinklet, vil det etter om lag 10 minutter oppstå dødelige forhold i trapperommet. Kritisk varmepåkjønning kan imidlertid forventes etter 4 – 5 minutter, noe som kan føre til at personer mister bevisstheten og får i seg kritiske doser giftige gasser.

6.3 Brannspredning til trapperom Tr2

6.3.1 Modellbeskrivelse

Det er gjennomført fire simuleringer med spredning fra brannleilighet til trapperom type Tr2 (henholdsvis scenario 31, 32, 34 og 35). I den første simuleringen er det forutsatt en brannvekst til ventilasjonskontroll, samt brann-/røykspredning til korridor pga åpen dør mellom leilighet og korridor (åpner etter 60 s). Simulering nr. 32 har tilsvarende brannutvikling som scenario 31, men dør til trapp (fra korridor) er også åpen (åpner etter 60 s). Scenario 34 og 35 er sprinklerkontrollerte branner. Scenario 34 forutsetter spredning til korridor, og scenario 35 forutsetter spredning til både korridor og trapperom.

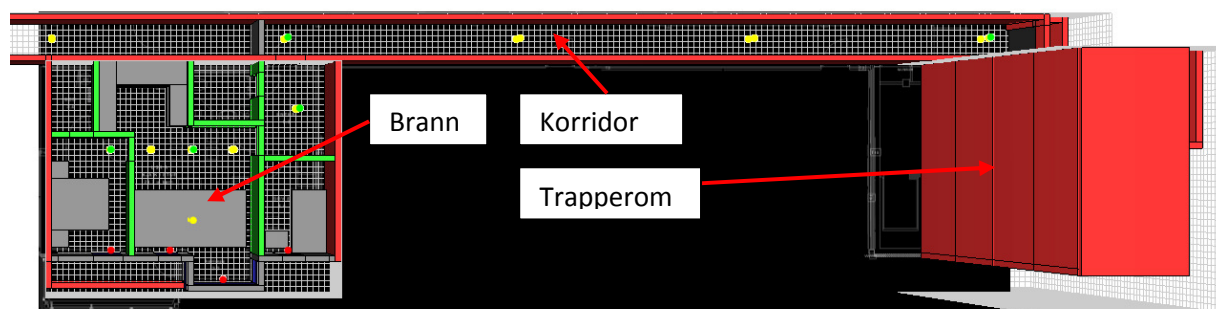
Tabell 6.21 – Scenariooversikt for branner med spredning til trapperom Tr2

Scenario-ID	α^2	S_v	$A_{leil.}$	Takhøyde	Beskrivelse
Scenario 31	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til korridor, vokser til ca. 20 MW
Scenario 32	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til korridor og trapp, vokser til ca. 20 MW
Scenario 34	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til korridor, sprinklerkontroll
Scenario 35	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til korridor og trapp, sprinklerkontroll

Figurene nedenfor viser oppbyggingen av brannmodellen. Siden leiligheter med Tr2-, og Tr3-trapper, ofte er tilknyttet korridor, er det valgt å etablere en ny leilighetsmodell. Leiligheten er ikke gjennomgående, men er fortsatt en treromsleilighet med areal på om lag 70 m². Leiligheten er forbundet med korridor, der døren mellom leiligheten og korridoren er forutsatt å åpnes etter 60 s fra brannstart. Korridoren har en lengde på 60 m, og brannleiligheten er plassert sentralt på korridoren. Brann- og røykspredning fra leiligheten skjer derfor omtrent symmetrisk til begge sider i korridoren. Korridoren er forbundet med et trapperom i den ene enden. I scenario 32 og 35, åpnes døren til trapperommet etter 60 s.

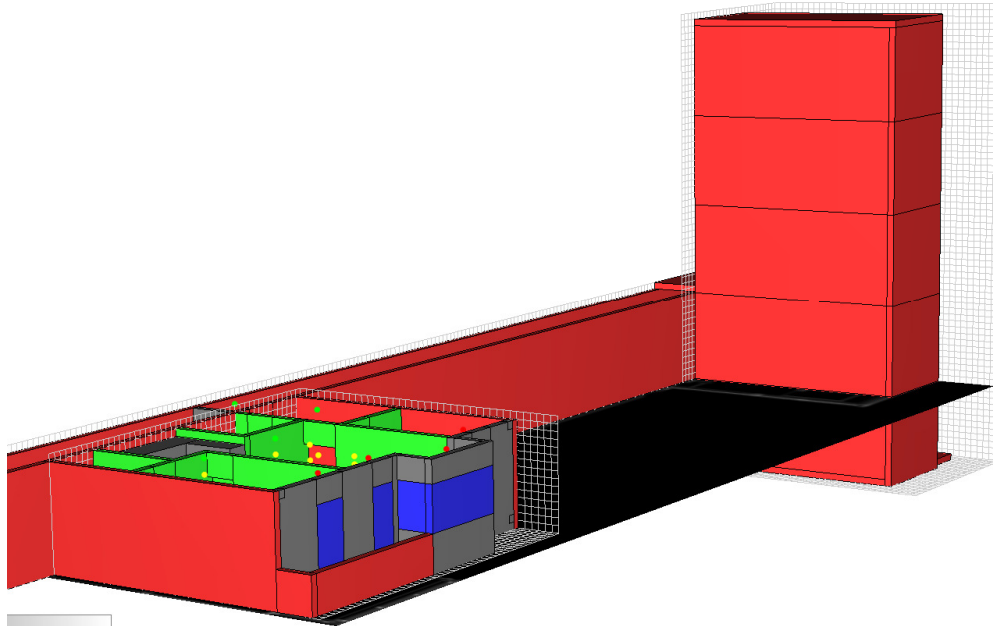
Brannleiligheten er plassert i 2.etasje i forhold til trappen. Dette er basert på tidligere simuleringer med Tr1-trapp, som viste at røyken kun trengte én etasje ned fra brannetasjen. For å spare simuleringstid ved å redusere antall beregningsceller i modellen, er derfor nederste del av trapperommet utelatt.

Figur 6.13 – Modell av boligblokk med korridor og Tr2-trapp, sett ovenfra



Leiligheten er modellert med 4 vindusfelt i yttervegg, med et totalt areal på 9,6 m² og en gjennomsnittlig høyde på 1,47 m. Basert på likningene i kapittel 5.3.4 er det beregnet en maksimal varmeeffekt i leiligheten på 17 650 kW, og en nødvendig varmeeffekt for overtenning på om lag 4 500 kW. Vinduene er, som i tidligere scenarier, forutsatt fjernet når temperaturen over vindusflaten er 90 °C. Det er plassert en varmedetektor over hvert vindu, som styrer dette.

Figur 6.14 – Modell av boligblokk med korridor og Tr2-trapp, skråstilt



Tabell 6.22 - Data brannrom tilknyttet Tr2- og Tr3-trapper

Variabel	Verdi
Gulv- og takareal	70 m ²
Omhyllingsflate, branncelle	251 m ²
Åpningsareal, A ₀	9,6 m ²
Åpningshøyde, H ₀	1,47 m
Maksimal branneffekt i leiligheten, Q _{max}	17 649 kW
Nødvendig effekt for overtenning, Q _{FO}	4 470 kW ⁶
Tid frem til overtenning:	
$\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$ (rask)	308 s [5 min, 8 s]

For branner i leilighet av denne typen er det benyttet rask brannvekst i alle scenariene. Det er forutsatt et brannareal på 8 m², med en varmeeffekt på 2 206 kW/m². Dette gir en Q*-verdi på 0,875. Faktoren D*/d_{xyz} er beregnet til om lag 15 med en oppløsning, d_{xyz} = 0,2 m, på cellesystemet.

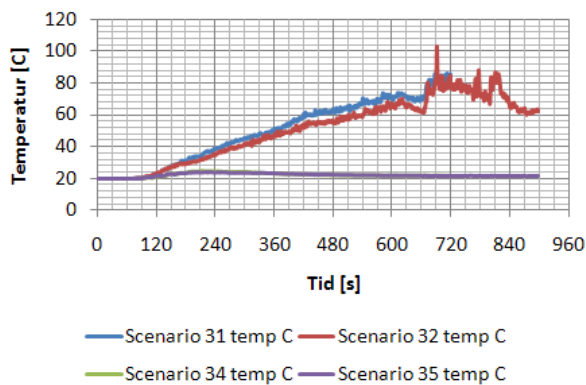
Fordi branneffekten er mindre er det i de sprinklerkontrollerte scenariene benyttet høyere oppløsning på cellesystemet i brannleiligheten, d_{xyz} = 0,1 m. Dette gir en beregnet faktor D*/d_{xyz} = 6,22, beregnet for en brann med *medium* brannveksthastighet med maksimal varmeeffekt på 339 kW. For de andre

brannveksthastighetene, som gir høyere varmeeffekt, er faktoren $D^*/d_{xyz} > 6,22$. Brannflaten er forutsatt å være $0,25 \text{ m}^2$ med varmeeffekt per m^2 på om lag 1355 kW/m^2 , som gir en Q^* -verdi på $1,277$.

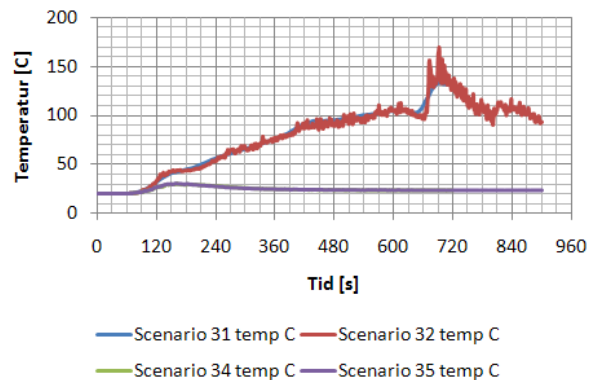
6.3.2 Resultater

Figur 6.15 og 6.16 nedenfor viser temperaturutvikling i korridor for scenario 31, 32, 34 og 35. Den viktigste forskjellen mellom de ulike scenariene, er knyttet til om brannleiligheten er sprinklet eller ikke. I scenarier uten sprinkler (31 og 32), stiger temperaturen i korridoren (gjennomsnittstemperatur fra 9 målepunkter jevnt fordelt i korridoren) til over $60 \text{ }^\circ\text{C}$ etter om lag 260 s ($4 \text{ min}, 20 \text{ s}$) ved 2 m høyde over gulvet, og gjennomsnittlig etter om lag 460 s ($7 \text{ min}, 40 \text{ s}$) ved $1,4 \text{ m}$ høyde over gulvet. I scenarier hvor det er forutsatt sprinkleranlegg, oppstår det ikke kritiske forhold som følge av temperatur i korridor.

Figur 6.15 – Temperaturmåling i korridor (gjennomsnitt) på $1,4 \text{ m}$ over gulv

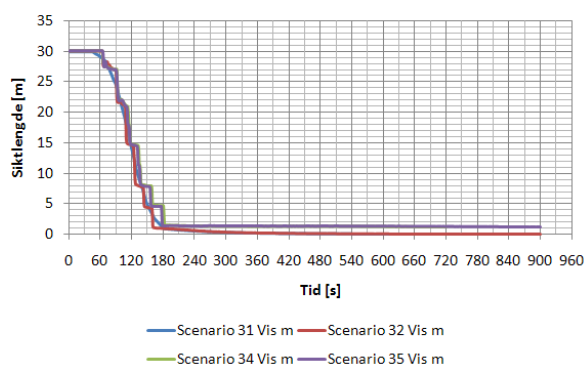


Figur 6.16 – Temperaturmåling i korridor (gjennomsnitt) på $2,0 \text{ m}$ over gulv

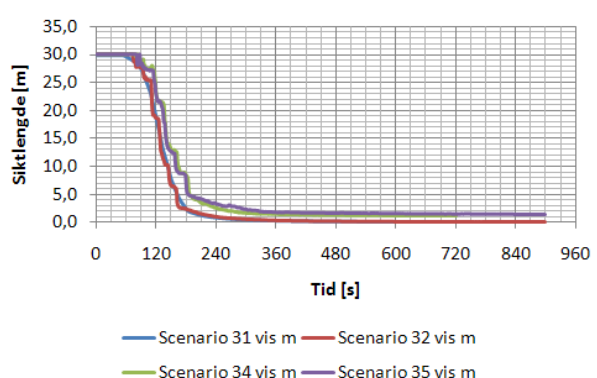


Siktmålingene fra scenario 31, 32, 34 og 35 viser at sprinkleranlegget har liten/ingen betydning i forhold til å forhindre siktreduksjon i korridor. Figur 6.17 viser gjennomsnittsmålinger fra de ni målepunktene i korridoren $2,0 \text{ m}$ over gulvet for de ulike scenariene. Sikten reduseres omtrent identisk i alle scenariene. Gjennomsnittlig for de rapporterte scenariene, reduseres siktlengden i korridoren til 4 m etter om lag 160 s ($2 \text{ min}, 40 \text{ s}$) ved 2 m høyde over gulvet. Ved høyde $1,4 \text{ m}$ over gulvet i korridoren reduseres siktlengden til 4 m etter 160 s ($2 \text{ min}, 40 \text{ s}$) i scenariene uten sprinkler, og etter 207 s ($3 \text{ min}, 27 \text{ s}$) i scenariene med sprinkler. Sprinkleranlegget har følgelig en viss betydning i forhold til å unngå siktreduksjon ved høyde $1,4 \text{ m}$ over gulv. Siktlengden stabiliseres også på et noe høyere nivå med sprinkler (ca. $1,5 - 2,0 \text{ m}$). Uten sprinkler fjernes all sikt i korridoren.

Figur 6.17 – Siktlengde i korridor (gjennomsnitt) $2,0 \text{ m}$ over gulv

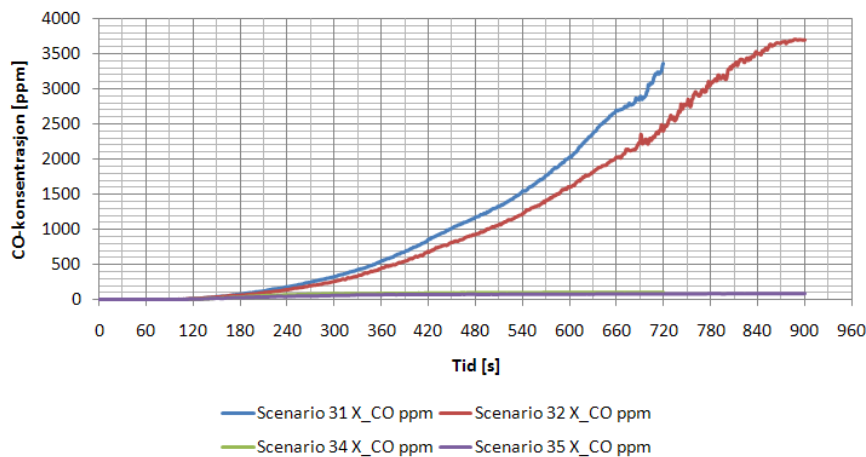


Figur 6.18 – Siktlengde i korridor (gjennomsnitt) $1,4 \text{ m}$ over gulv



Giftigheten i røykgassene er gitt ved CO-konsentrasjonen på figur 6.19 nedenfor. Det fremgår av beregningene at det er en markant forskjell i CO-konsentrasjon i korridoren i scenariene med sprinkler, sammenlignet med scenariene uten sprinkler. Generelt tar det relativt lang tid før det oppstår kritiske CO-konsentrasjoner i korridoren. Kritisk akkumulert CO-dose (43 000 ppm min) kan oppnås ved opphold i korridoren i henholdsvis ca. 740 s (12 min, 20 s) i scenarier med sprinkler, og etter ca. 365 s (6 min, 5 s) uten sprinkler. Dødelige forhold som følge av akkumulert CO-dose (90 000 ppm min) oppstår etter ca. 442 s (7 min, 22 s) i scenario 32 (uten sprinkler). Det oppstår ikke dødelige forhold i korridoren, som følge av akkumulert CO-dose, for de sprinklede scenariene i løpet av simuleringstiden (henholdsvis 12 og 15 minutter for scenario 34 og 35).

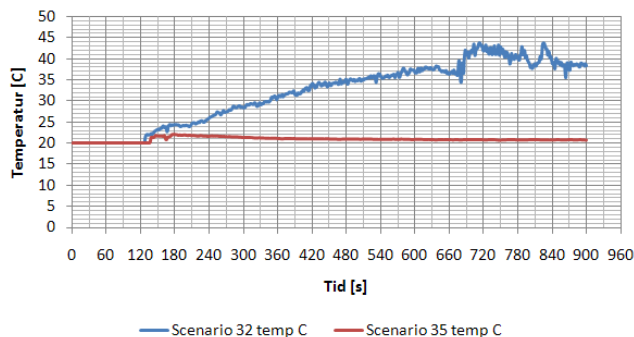
Figur 6.19 – CO-konsentrasjon i korridor (gjennomsnitt) på 1,4 m over guly



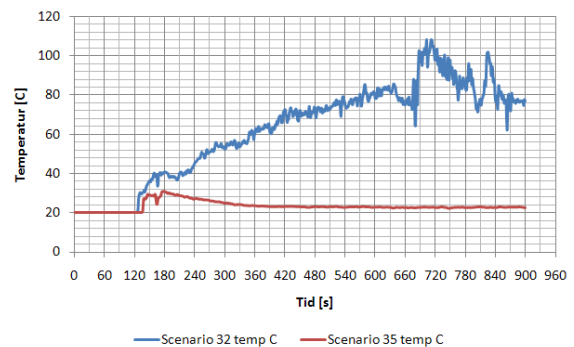
Temperaturmålinger fra trapperommet er vist i figurene nedenfor. Gjennomsnittsmålinger for alle etasjene, viser at det i løpet av simuleringstiden ikke oppstår kritiske forhold i trapperommet som følge av temperatur. Dette gjelder både for scenarier med og uten sprinkleranlegg.

Figur 6.21 viser målinger fra trapperommet i brannetasjen. Figuren viser at kritiske temperaturer oppstår etter ca. 360 s (6 min) i scenario uten sprinkleranlegg. Maksimal temperatur er beregnet til ca. 100 °C i løpet av simuleringstiden.

Figur 6.20 – Temperaturmålinger i trapp (snitt alle etasjer) i scenario 32 og 35



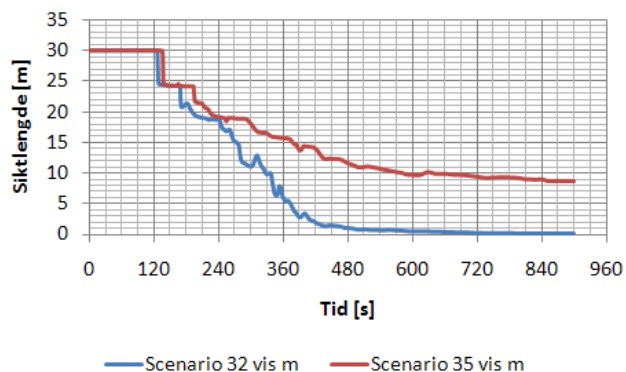
Figur 6.21 – Temperaturmålinger i trapp (brannetasjen) i scenario 32 og 35



Beregningene viser at sikten i trapperommet reduseres betraktelig ved brann, både med og uten sprinkleranlegg. Dette gjelder spesielt for brannetasjen, der sikt lengden reduseres til under 4 m etter ca. 140 s (2 min, 20 s) i scenario 35 (med sprinkler), og etter 130 s (2 min, 10 s) i scenario 32 (uten

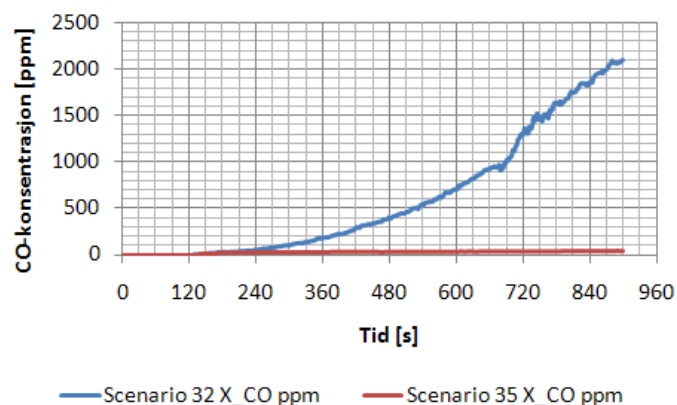
sprinkler). Den gjennomsnittlige siktlengden i trapperommet (alle etasjer), er imidlertid vesentlig forskjellig i scenariene med og uten sprinkleranlegg. Figur 6.22 nedenfor viser dette.

Figur 6.22 – Siktlengde i trapperom (gjennomsnittlig, alle etasjer)



Giftigheten i røyken i trapperommet er relativt lav. Beregningene viser at akkumulert CO-dose i løpet av simuleringstiden (15 minutter) i scenario 35 (med sprinkleranlegg) er ca. 27 000 ppm min. Akkumulert CO-dose i scenario 32 (uten sprinkleranlegg) i løpet av simuleringstiden (15 minutter) er 542 000 ppm min. Den dødelige dosen (90 000 ppm min) oppnås etter ca. 560 s (9 min, 20 s).

Figur 6.23 – CO-konsentrasjon i trapperom (gjennomsnitt, alle etasjer)



6.3.3 Oppsummering

Simuleringer med branner i boligblokkkonsept med korridor og Tr2-trapper, viser at sikten i korridor og trapperom kan medføre problemer i forbindelse med rømning, dersom dører er åpne. Dersom brannleiligheten er sprinklet, er det lite sannsynlig at det oppstår dødelige forhold i rømningsveiene, før redningspersonell gjør innsats og redder ut eventuelle bevisstløse mennesker. Uten sprinkleranlegg kan det oppstå dødelige forhold, som følge av giftige røykgasser, i både korridor og trapperom, før det kan forventes innsats fra redningspersonell.

6.4 Brannspredning til trapperom Tr3

6.4.1 Modellbeskrivelse

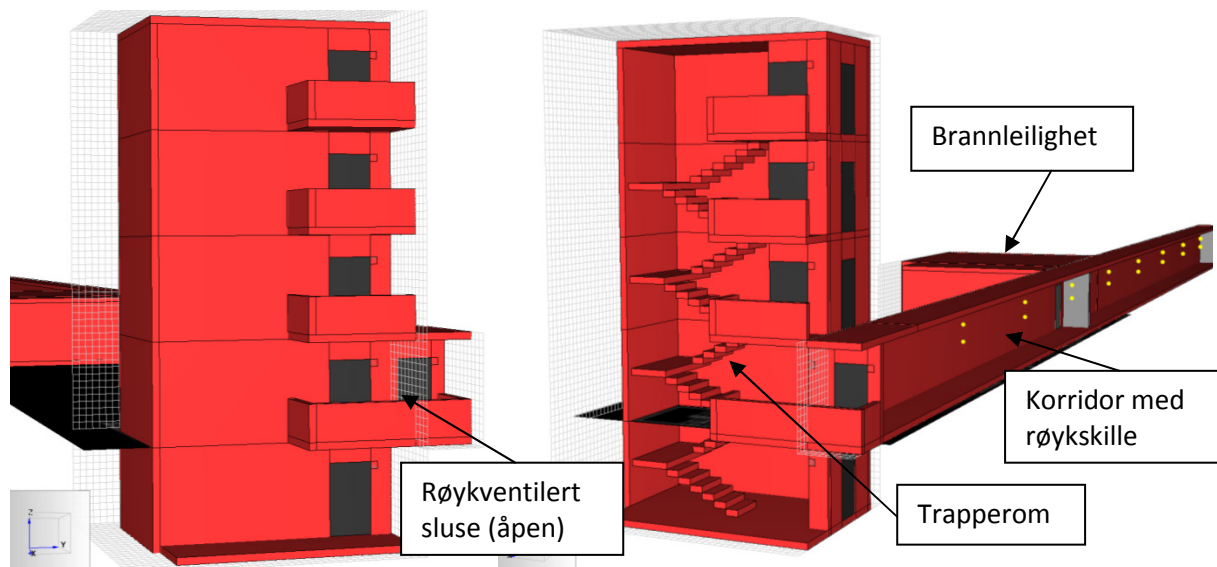
Det er gjennomført to scenarier med boligblokkkonsept med Tr3-løsning. Det er benyttet en Tr3-løsning med røykventilert sluse, sammenlignbart med gammelt trapperom type "branntrygt og røykfritt" (se vedlegg 1 for nærmere beskrivelse av trapperom). For å få røyk inn i trapperommet, må røyken passere brannskillet mellom leilighet og korridor, samt mellom korridor og røykventilert sluse. For å trenge inn i trapperommet, må i tillegg døren til trapperommet stå åpen, og røyk fra røykventilert sluse må presses inn i trapperommet, i stedet for å luftes ut til det fri. Scenario 33 forutsetter rask brannvekst, med vekst til brannen blir ventilasjonskontrollert. Scenario 36 forutsetter en sprinklerkontrollert brann.

Tabell 6.23 – Scenariooversikt for branner med spredning til trapperom Tr3

Scenario-ID	α^2	S_v	$A_{leil.}$	Takhøyde	Beskrivelse
Scenario 33	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til korridor og trapp, vokser til ca. 20 MW
Scenario 36	Rask	Middels	Vanlig	Vanlig	Åpen dør til korridor og trapp, sprinklerkontroll

Figur 6.24 nedenfor viser oppbyggingen av brannmodellen for boligblokkkonsept med Tr3-løsning. Scenariene med Tr3-trapperom forutsetter redusert korridorlengde, fra 60 m i Tr-2-konsept, til ca. 30 m. Det er forutsatt at dør til korridor fra brannleilighet, dør fra korridor til sluse, og dør fra sluse til trapperom, åpnes etter 60 s.

Figur 6.24 – Brannsimuleringsmodell med Tr3-løsning og "branntrygt og røykfritt trapperom"



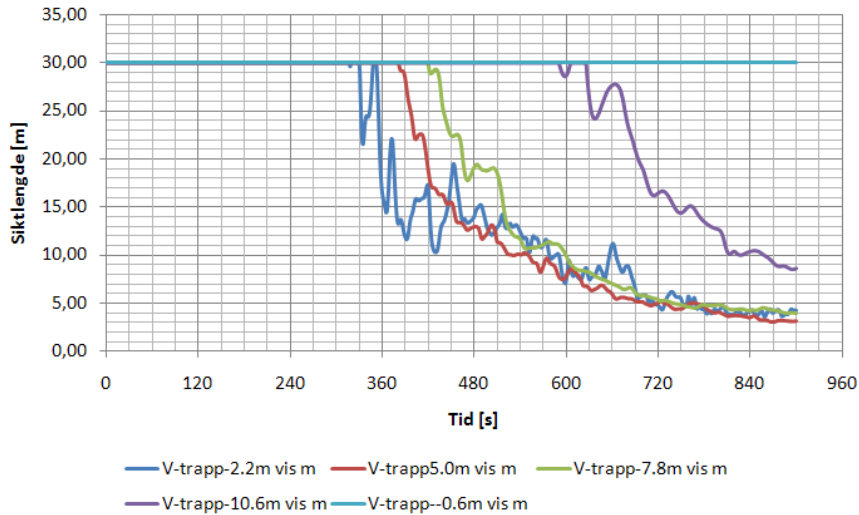
Spesifikasjon av brann og cellesystem er tilsvarende som for Tr2-løsning. Dette er beskrevet i forrige kapittel.

6.4.2 Resultater

Hovedhensikten med den røykventilerte slusen, er å beskytte trapperommet mot røykinnmengning. Dette virker i så stor grad at det ikke er registrert noen nevneverdig temperaturstigning, CO-konsentrasjon eller varmestrålingsintensitet i trapperommet, verken med eller uten sprinkleranlegg. Figur 6.25 nedenfor viser imidlertid at siktlegden kan bli noe redusert, pga at en del av røyken vil trenge inn i trapperommet, dersom alle dører står åpne. Figuren bygger på resultater fra scenario 33 (uten

sprinkleranlegg). I scenario 36 er det ikke registrert noen siktreduksjon i trapperommet. Det er ikke lagt inn vindpåvirkning i modellen, noe som kan medføre økt røykinnmengde i trapperommet, dersom vindretningen er ugunstig.

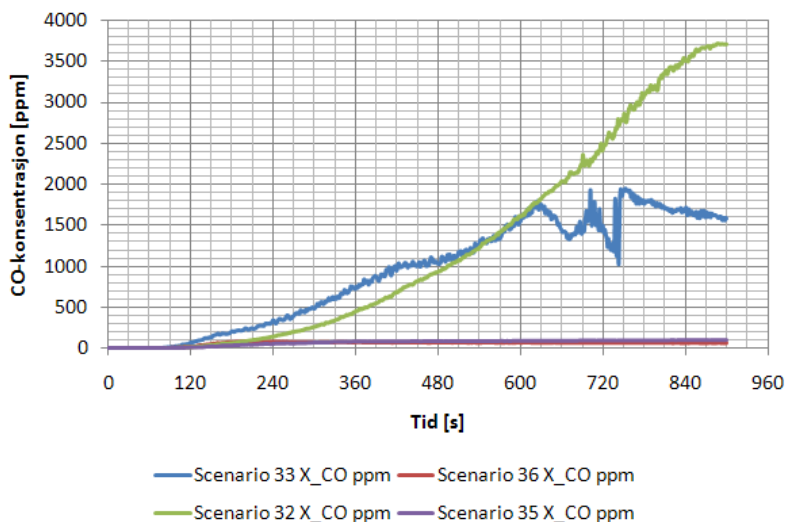
Figur 6.25 – Siktmålinger i trapperom for scenario 33 (uten sprinkleranlegg)



For korridoren er resultatene fra simuleringene omtrent tilsvarende som for løsning med Tr2-trapperom. Dersom brannrommet er sprinklet oppstår det, i løpet av simuleringstiden (15 minutter), ikke dødelige forhold i korridoren som følge av varmepåkjenning eller CO-konsentrasjon/CO-dose. Siktreduksjonen er imidlertid et problem tidlig.

I scenario uten sprinkleranlegg oppstår det dødelige forhold i korridoren etter 365 s (6 min, 5 s). I scenario 32, som omfatter korridor med dobbel lengde, oppstår dødelige forhold etter 442 s (7 min, 20 s), jamfør forrige kapittel. Det reduserte volumet i korridoren medfører følgelig kortere tid frem til dødelige forhold, men samtidig er avstanden til trappen kortere (ved trapp i begge ender) og gangtiden lavere. Kortere korridor medfører også færre leiligheter per etasje, noe som reduserer sannsynligheten for brann i etasjen. Dette forholdet diskuteres i forbindelse med risikoanalysen.

Figur 6.26 – CO-konsentrasjon scenario 32, 33, 35 og 36



6.4.3 Oppsummering

Simuleringer med branner i boligblokkkonsept med korridor og Tr3-trapp, viser at sikten i korridor og trapperom kan medføre problemer i forbindelse med rømning, dersom dører er åpne. Dersom brannleiligheten er sprinklet, er det lite sannsynlig at det oppstår dødelige forhold i rømningsveiene, før redningspersonell gjør innsats og redder ut eventuelle bevisstløse mennesker. Uten sprinkleranlegg kan det oppstå dødelige forhold i korridor, som følge av giftige røykgasser, før det kan forventes innsats fra redningspersonell. Det oppstår ikke dødelige forhold i trapperommet med de gitte forutsetningene for brannmodelleringene, verken med eller uten sprinkler. Sikten reduseres noe i trapperommet i scenario 33, uten sprinkleranlegg, men sannsynligvis ikke så mye at dette medfører store problemer for rømmende.

7. Resultater fra risikoanalyse

7.1 Beregningsforutsetninger for hendelsestreanalyse

7.1.1 Brannfrekvens

Det er valgt å bruke en ”konstant” brannfrekvens for leiligheter. Hensikten med dette er å tydeliggjøre betydningen av det tekniske boligblokkkonseptet. En løsning med mange og små leiligheter per etasje, vil følgelig gi høyere sannsynlighet for brann, enn et konsept med få og store leiligheter per etasje. Basert på litteratur fra blant annet SINTEF NBL er det for øvrig grunn til å anta at sosiale forhold, kanskje i større grad enn antall leiligheter, vil ha betydning for sannsynligheten for brann. Dette er for øvrig et område som det er utført lite forskning på i Norge.

Statistikken fra DSB inneholder 4 410 boligblokkbranner i tiårsperioden 1999-2009, det vil si gjennomsnittlig ca. 441 branner pr år. Av de 4 410 brannene er 2 892 registrert med arnested i typiske leilighetsrom, det vil si gjennomsnittlig 289,2 branner pr år. Med leilighetsrom menes kjøkken, soverom, stue og våtrom. Rom utenfor leilighet omfatter loft, kjeller, produksjonslokale, lager, fyrrom, og ”utvendig”, jamfør DSBs registrerings skjema for brann- og uhell.

Tabell 7.1 – Fordeling branner med hensyn til arnested

Arnested	Antall			Andel [%]		
	Branner	Omkomne	Skadde	Branner	Omkomne	Skadde
Rom i leilighet	2892	105	672	65,6 %	69,5 %	80,1 %
Utenfor leilighet	714	10	53	16,2 %	6,6 %	6,3 %
Annet + ukjent	804	36	114	18,2 %	23,8 %	13,6 %
	4410	151	839	100 %	100 %	100 %

Det er per 1.januar 2008, jamfør kapittel 3, registrert ca. 500 000 boligblokkleiligheter i Norge, noe som gir en historisk brannfrekvens på $289,2 / 500\ 000 = 0,00058$ branner pr leilighet pr år.

Statistikken fra DSB inneholder bare branner som brannvesenet har hatt utrykning til. Flere branner slokkes hvert år av huseier, eller av seg selv, uten å bli rapportert til brannvesenet. Det er derfor forutsatt at brannfrekvensen generelt er høyere, enn den som beregnes på bakgrunn av statistikken fra DSB. SINTEF NBL refererer resultater fra en spørreundersøkelse, som konkluderer med at 4 av 12 branntilløp, det vil si 33 %, ikke blir meldt (Mostue 2000:15). En 33 % økning fører til en ny beregnet brannfrekvens på 0,00077 branner per leilighet per år.

En del av branntilløpene vil ikke medføre kritiske forhold for mennesker, ved at de slokker av seg selv, eller at de har en utvikling som er så langsom at personer i leiligheten vil slokke brannen før den blir kritisk (lang inkubasjonstid, eller ulmebrann). I risikoanalysen er beregningsresultater fra CFD-simuleringene lagt til grunn for å vurdere tid frem til kritiske/dødelige forhold. Brannene i CFD-simuleringene har ingen inkubasjonstid, og utelukker ulmebranner, som med røykvarsler eller brannalarmanlegg installert, vurderes som lite kritiske. Følgende er eksempler på mer eller mindre tilfeldige faktorer, med betydning for beregning av brannfrekvens og brannrisiko for branner i boligblokker:

- DSBs statistikk inneholder branner, som ikke har oppstått i boligblokker slik dette er definert i denne oppgaven. Eksempelvis er brannen i Drammen i 2008, der 7 personer omkom, tatt med. Dette var en brann i en ombygd enebolig. Det er grunn til å tro at det finnes flere eksempler på dette.
- En del av brannene er ulmebranner, som ikke gir kritiske forhold i rom personer oppholder seg i.
- Brannen slokker av seg selv.

- Brann med lang inkubasjonstid, som varsles via røykvarsler og slokkes av personer i leiligheten.
- Naboer eller tilfeldig forbigående redder personer i brannleilighet.
- Dører i leilighet er lukket og forhindrer kritiske forhold i enkelte rom.
- Branner oppstår ikke nødvendigvis tilfeldig.

Overnevnte faktorer viser noe av kompleksiteten knyttet til å modellere et brannforløp. Det kan gjerne være tilfeldigheter som forhindrer branntredier. Dersom alle faktorene skal tas høyde for i en risikoanalysemodell, blir modellen svært komplisert og u håndterlig. I denne oppgaven er det derfor valgt å benytte en reduksjonsfaktor på brannfrekvensen, for å ta høyde for en del av punktene ovenfor.

Det er benyttet en reduksjonsfaktor på 0,15, noe som gir en brannfrekvens på $0,00077 \times 0,15 = 0,00012$ branner som kan bli kritiske, per leilighet per år. Reduksjonsfaktoren er valgt slik at en standard preakseptert løsningsmodell med to Tr1 trapperom, får et beregnet forventet antall omkomne omtrent tilsvarende gjennomsnittlig antall omkomne i boligblokker (10 - 15 omkomne personer per år).

Hensikten med risikoanalysen i denne oppgaven, er å vurdere betydningen av ulike tiltak, som kan inngå i et brannteknisk konsept for boligblokker. Endring av brannfrekvensen har ingen betydning på den prosentvise risikoreduksjonen, så lenge den samme brannfrekvensen brukes i alle tilfellene.

7.1.2 Forutsetninger for modellering av barrierer

Det er benyttet følgende barrierer for beregninger i hendelsestreakanalysen:

- Personer i leilighet slokker brannen
- Sprinkleranlegg slokker brannen
- Brannvesenet slokker brannen

Faktorer som har betydning for påliteligheten av overnevnte barrierer er:

- Personer er ved brannstart til stede eller ikke
- Personer er våkne, eller sovende
- Leiligheten har røykvarsler eller automatisk brannalarmanlegg (ABA)

7.1.2.1 Tilstedeværelse og våken/sovende i startbrannleilighet

Hvorvidt det finnes personer i startbrannleiligheten, vil ha stor betydning for utfallet av en brann. Dersom det ikke er personer til stede, vil det for det første ikke finnes noen som kan slokke brannen, og for det andre ikke kunne oppstå kritiske forhold for mennesker i startbrannleiligheten. I brannscenariene, hvor det ikke er personer til stede, er derfor brannvesenets innsats knyttet til å forhindre spredning til andre brannceller, og ikke redning av personer i startbrannrommet.

Hvorvidt det er mennesker til stede i en leilighet ved brann, er avhengig av flere forhold. Viktige faktorer, med betydning for om personer er til stede, er om personene har jobb eller annet engasjement utenfor leiligheten, hvilken ukedag det er, og hvorvidt det er ferie osv. I denne oppgaven er det forutsatt som utgangspunkt, at "gjennomsnittspersonen" har jobb og andre forpliktelser, som krever at personen er ute av leiligheten 10 timer pr dag i ukedager, og 6 timer pr dag i helgen. Det er forutsatt 6 spesielle uker (ferie, høytid), der personer er like mye ute av leiligheten som hjemme, det vil si 12 timer per dag. Med disse forutsetningene, vil gjennomsnittspersonen være ute av leiligheten i 3 356 timer per år, og hjemme i 5 404 timer per år. Med totalt 8 760 timer per år, gir dette en fordeling til stede/ikke til stede på 62 % / 38 %. Minimums- og maksimumsgrensen i tabell 7.2 nedenfor, er beregnet med bakgrunn i 50 % reduksjon og økning av de forutsatte timene ute av leiligheten per dag.

Det er videre forutsatt at gjennomsnittspersonen sover 7 timer per døgn. Dette gir totalt $(7 \times 365) = 2 555$ timer søvn per år. En person forventes dermed å sove i 47 % av tiden han/hun er hjemme. Personen forventes å være våken i 53 % av tiden. Minimums- og maksimumsgrensen er beregnet med bakgrunn i 2 timer reduksjon og økning i antall timer søvn per døgn.

Tabell 7.2 – Fordeling personer til stede og våken ved brann

	$P_{\min}(p)$	$P_{\text{middel}}(p)$	$P_{\max}(p)$	$E[p]$	Fordeling
P(Personer til stede i startleilighet)	0,43	0,62	0,81	0,62	Triangel
P(Personer våkne i startleilighet til stede)	0,39	0,53	0,66	0,53	Triangel

7.1.2.2 Personer i leilighet slukker brannen

For at personer i leiligheten skal kunne slukke en brann, er det forutsatt at personen(e) må være til stede i leiligheten ved brannstart. Det forutsettes også at personen(e) er våken, eller vekkes av røykvarsler, brannalarmanlegg, eller av brannen (lyder, lukt osv).

Den generelle brannstatistikken for boliger, viser at innsats fra huseier slukket brannen i 35 % av branntilfellene i 2007 (DSB 2007). Statistikken skiller ikke mellom de faktorene, som er vurdert som betydningsfulle (tilstede og våken) i denne oppgaven. Statistikken skiller heller ikke på boligtype. Statistikken for boligblokker (1999-2009), mottatt fra DSB, gir ikke grunnlag for å si hva som stanset brannutviklingen. Statistikken inneholder bare tall fra branner som brannvesenet har hatt utrykning til. Det er antatt at andelen branner som slukkes av huseier, er høyere enn det statistikken fra DSB viser. Tilsvarende vil følgelig også gjelde for brannfrekvensen, som antas høyere enn det som fremgår av statistikken fra DSB.

I denne oppgaven er det forutsatt tre scenarier, med ulik sannsynlighet for at personer slukker brann i leiligheten. Scenariene er vist i tabell 7.3 nedenfor. Det er vurdert som meget sannsynlig at personer slukker brannen dersom de er til stede i leiligheten, og er våkne. Sannsynligheten vurderes å være omtrent 50/50 dersom personen sover, når røykvarsler eller brannalarmanlegg fungerer. Dersom personer i leiligheten sover, og røykvarsler eller brannalarm svikter, vurderes sannsynligheten for at personer selv slukker brannen som lav, med maksimalt 5 % sannsynlighet.

Tabell 7.3 – Sannsynlighet for at personer slukker brann i leilighet

	$P_{\min}(p)$	$P_{\text{middel}}(p)$	$P_{\max}(p)$	$E[p]$	Fordeling
P(Person slukkerlvåken)	0,9	0,95	1,0	0,95	Triangel
P(Person slukkerlsovende og ABA/RV fungerer)	0,3	0,5	0,7	0,50	Triangel
P(Person slukkerlsovende og ABA/RV svikter)	0,0	0,02	0,05	0,023	Triangel

7.1.2.3 Røykvarsler, automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg

Forutsatt pålitelighet for røykvarslere, brannalarmanlegg og sprinkleranlegg er presentert i tabell 7.4. Tallene er basert på kunnskapsgrunnet presentert i kapittel 5.7. Disse tiltakene er vurdert som uavhengige i forhold til hverandre og øvrige faktorer. Det er benyttet Pert-fordeling for å beskrive spredningen i pålitelighet for disse tiltakene. Dette begrunnes med at datamaterialet knyttet til pålitelighet for disse tiltakene er relativt stort, og usikkerheten knyttet til forventet verdi vurderes å være mindre enn øvrige barrierer i denne analysen. Pert-fordelingen, i motsetning til triangelfordelingen, legger mer vekt på den forventede verdien, og mindre vekt på øvre og nedre grense.

Tabell 7.4 – Pålitelighetsdata for røykvarslere, ABA og sprinkler

	$P_{\min}(p)$	$P_{\text{middel}}(p)$	$P_{\max}(p)$	$E[p]$	Fordeling
P(Røykvarsler fungerer)	0,7	0,75	0,8	0,75	Pert
P(ABA fungerer)	0,75	0,78	0,81	0,78	Pert
P(Sprinkler fungerer)	0,9	0,95	1,0	0,95	Pert

7.1.2.4 Brannvesenets innsats

Det er valgt å inkludere brannvesenets innsats i analysemodellen. Begrunnelsen for dette er at de tekniske tiltakene, altså automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg, er vurdert å ha stor betydning for brannmannskapenes muligheter for slukkeinnsats. Brannsimuleringene og litteraturstudier viser også at, selv om sprinkleranlegget fungerer som forutsatt, vil innsats fra brannvesenet i enkelte tilfeller være avgjørende for å redde en person, dersom han/hun ikke kommer seg ut selv. Brannvesenets innsatsmuligheter må diskuteres i lys av konseptets tekniske robusthet, samt i lys av hvordan den enkelte kommune har dimensjonert sin brannberedskap.

Brannvesenets innsats er delt opp i forhold til 1) å redde personer og slukke brannen før kritiske/dødelige forhold oppstår i leiligheten, og 2) å forhindre brannspredning fra leiligheten.

Innsatsmulighetene for brannvesenet er forutsatt å være avhengig av varseltype og hvorvidt sprinkleranlegg fungerer. Brannvesenets innsatstid, det vil si tid fra varsel mottas hos brannvesenet til de er klar til innsats ved bygningen, er forutsatt å være 5 minutter. Dersom brannvesenet får varsel via automatisk brannalarmanlegg, er det forutsatt at de er klar til innsats etter ca. 6 minutter (inkludert 1 minutt deteksjonstid).

Statistikken fra DSB viser at 99,1 % av brannene i boligblokker/leilighetsbygninger ble sløkket i startbygningen. Kun 0,6 % av brannene spredte seg til nabobygning, og 0,3 % er angitt som "ukjent". Totalt 81 % av brannene ble sløkket i startrommet, og 8,5 % i startetasjen. I de tilfellene brannens arnested var i typiske leilighetsrom (kjøkken, soverom, stue og våtrom), ble brannen begrenset til startrommet i 88 % av brannene. Bare 0,1 % av disse brannene spredte seg til annen bygning. I de brannene arnestedet var utenfor typiske leilighetsrom, var brannen begrenset til startrommet i 66 % av brannene.

Tabell 7.5 understreker de konservative forutsetningene som ligger til grunn for brannsimuleringene. I hele 26 % av branntilfellene var det kun røykutvikling ved brannvesenets ankomst. Brannsimuleringene viser at brannen, ved brannvesenets sannsynlige ankomsttid, i de fleste tilfeller er nær overtenning. Tallene i tabell 7.5 omfatter i hovedsak branner i boligblokk uten sprinkleranlegg, og ofte også uten brannalarmanlegg, da dette enda ikke er særlig utbredt i boligblokker.

Sannsynligheten for at brannvesenet klarer å slukke en brann før spredning fra startleiligheten er, basert på tallene i tabell 7.6, vurdert som høy. Dette gjelder særlig dersom leiligheten har brannalarmanlegg som sikrer tidlig innsats, og/eller sprinkleranlegg som kontrollerer brannen.

Tabell 7.5: Brannsituasjon ved brannvesenets ankomst

Brannsituasjon	Andel [%]			Alle boliger (DSB, 2007)
	Alle branner	Omkomne	Skadde	
Røykutvikling	26 %	14 %	22 %	22 %
Brann i del av objekt	40 %	53 %	52 %	35 %
Overtent	5 %	21 %	8 %	12 %
Brann sløkket	29 %	11 %	18 %	23 %
Ukjent	0 %	1 %	0 %	8 %
SUM =	100 %	100 %	100 %	100 %

Tabell 7.6: Sammenheng mellom arnestedsrom og hvor brannen ble sløkket

Arnested	Hvor ble brannen sløkket? [%]					Sum
	Startrom	Startetasje	Startbygning	Annen bygning	Ukjent	
Rom i leilighet	88,2 %	6,8 %	4,6 %	0,1 %	0,2 %	100 %
Utenfor leilighet	65,8 %	13,0 %	18,9 %	1,7 %	0,6 %	100 %
Annet + ukjent	68,0 %	10,6 %	19,8 %	1,2 %	0,4 %	100 %
Alle	80,9 %	8,5 %	9,7 %	0,6 %	0,3 %	100 %

Tabell 7.7 viser hvilke forutsetninger som er valgt for sannsynlighet, for at brannvesenet gjør innsats før kritiske/dødelige forhold oppstår i leiligheten. Brannsimuleringene viser at et sprinkleranlegg kan sørge for at det ikke oppstår dødelige forhold i leiligheten de første 10 minuttene etter brannstart. Dersom bygningen har både automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg, er det vurdert som svært sannsynlig at brannvesenet gjør innsats, før det oppstår dødelige forhold.

Dersom bygningen ikke har sprinkleranlegg, men bare brannalarmanlegg, vurderes sannsynligheten for innsats før kritiske forhold, som relativt lav. Dette er basert på brannsimuleringene, som viser at kritiske/dødelige forhold oppstår mellom 3 og 7 minutter etter brannstart. Dette er for øvrig vurdert som konservative tall, basert på statistikken fra DSB, presentert i tabell 7.5 ovenfor. Konservatismen i tallene er redusert ved å redusere brannfrekvensen, slik at denne gjenspeiler sannsynligheten for at en brann med kritisk potensial skal oppstå.

I en bygning med sprinkleranlegg, men uten brannalarmanlegg, er sannsynligheten for innsats før kritiske forhold vurdert som relativt høy. Dette er basert på sprinkleranleggets effekt i forhold til å øke tid frem til kritiske forhold, samt at brannvesenet gjerne kan få varsel fra personer i leiligheten eller naboer, selv om bygningen ikke har brannalarmanlegg. Varslings- og innsattstiden trenger følgelig ikke bli betraktelig høyere, enn med brannalarmanlegg.

I en bygning uten brannalarmanlegg og sprinkleranlegg, er det vurdert som lite sannsynlig at brannvesenet kan gjøre innsats før det oppstår kritiske forhold i startleiligheten. Varslings- og innsattstiden vil sannsynligvis være større enn 10 minutter. Dersom personene i leiligheten ikke er ute etter mellom 3 – 7 minutter i en usprinklet leilighet, vurderes sannsynligheten for å overleve som liten.

I en risikoanalyse utført av Byggforsk er det benyttet en sannsynlighet på 15 %, for at brannvesenet slokker brannen før ”full room involvement”. Dette kan sammenlignes med denne oppgavens definisjon av kritiske/dødelige forhold i hele leiligheten. Tallene til Byggforsk skal gi uttrykk for en gjennomsnittssannsynlighet basert på ulike tidspunkt på døgnet, varslingstype, innredning osv (Stenstad 1997:16-17).

Tabell 7.7 – Sannsynlighet for at brannvesenet forhindrer kritiske forhold for personer med ABA og sprinkler

	$P_{\min}(p)$	$P_{\text{middel}}(p)$	$P_{\max}(p)$	$E[p]$	Fordeling
$P(\text{Brannvesen før } t(\text{kritisk}) \text{ABA, Sprinkler})$	0,8	0,85	0,9	0,85	Triangel
$P(\text{Brannvesen før } t(\text{kritisk}) \text{ABA, } \overline{\text{Sprinkler}})$	0,05	0,10	0,15	0,10	Triangel
$P(\text{Brannvesen før } t(\text{kritisk}) \overline{\text{ABA}}, \text{Sprinkler})$	0,5	0,6	0,7	0,6	Triangel
$P(\text{Brannvesen før } t(\text{kritisk}) \overline{\text{ABA}}, \overline{\text{Sprinkler}})$	0	0,02	0,05	0,023	Triangel

Tabell 7.8 – Sannsynlighet for at brannvesenet forhindrer brannspredning fra startleilighet med ABA og sprinkler

	$P_{\min}(p)$	$P_{\text{middel}}(p)$	$P_{\max}(p)$	$E[p]$	Fordeling
$P(\text{Brannvesen før spredning} \text{ABA, Sprinkler})$	0,98	0,99	1,0	0,99	Triangel
$P(\text{Brannvesen før spredning} \text{ABA, } \overline{\text{Sprinkler}})$	0,8	0,9	0,95	0,883	Triangel
$P(\text{Brannvesen før spredning} \overline{\text{ABA}}, \text{Sprinkler})$	0,9	0,95	1,0	0,95	Triangel
$P(\text{Brannvesen før spredning} \overline{\text{ABA}}, \overline{\text{Sprinkler}})$	0,4	0,6	0,8	0,6	Triangel

I de tilfellene der leiligheten bare har røykvarslere, er det kun tatt hensyn til sprinkleranlegg i pålitelighetsvurderingene, knyttet til brannvesenets innsatsmuligheter. Det vil si at en røykvarsler er vurdert å ha liten eller ingen effekt på brannvesenets innsats. For et konsept uten sprinkleranlegg, der røykvarsler er eneste aktive brannsikringstiltak, gjelder sannsynlighetene på rad nr 2 i tabell 7.9 og 7.10.

Tabell 7.9 – Sannsynlighet for at brannvesenet forhindrer kritiske forhold for personer med sprinkler

	$P_{\min}(p)$	$P_{\text{middel}}(p)$	$P_{\max}(p)$	$E[p]$	Fordeling
P(Brannvesen før t(kritisk) Sprinkler)	0,5	0,6	0,7	0,6	Triangel
P(Brannvesen før t(kritisk) $\overline{\text{Sprinkler}}$)	0	0,02	0,05	0,023	Triangel

Tabell 7.10 – Sannsynlighet for at brannvesenet forhindrer brannspredning fra startleilighet med sprinkler

	$P_{\min}(p)$	$P_{\text{middel}}(p)$	$P_{\max}(p)$	$E[p]$	Fordeling
P(Brannvesen før spredning Sprinkler)	0,9	0,95	1,0	0,95	Triangel
P(Brannvesen før spredning $\overline{\text{Sprinkler}}$)	0,4	0,6	0,8	0,6	Triangel

7.2 Beregningsresultater fra hendelsestreakanalyse for startbrannleilighet

Risikoberegningene tar utgangspunkt i en standard leilighet, med 4 varierende branntekniske konsepter basert på varierende omfang av aktive brannsikringstiltak. Det forutsettes altså at forhold foruten de aktive brannsikringstiltakene røykvarsler, automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg, er like i de sammenlignede konseptene. Følgende kombinasjoner er vurdert:

1. Leilighet med bare røykvarsler (RV)
2. Leilighet med røykvarsler og sprinkleranlegg (RV og sprinkler)
3. Leilighet med automatisk brannalarmanlegg (ABA)
4. Leilighet med automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg (ABA og sprinkler)

Resultatene fra hendelsestreakanalysene for startbrannleiligheten gis i tabell 7.11 nedenfor.

Tabell 7.11 – Resultater fra hendelsestreakanalyse for startbrannleilighet

	Røykvarsler	Røykvarsler og sprinkleranlegg	Automatisk brannalarmanlegg	Automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg
P(kritiske forhold)	19,3 %	8,5 %	18 %	5,2 %
P(brannspredning)	22,9 %	3,3 %	10,7 %	1,4 %
P(person slokker)	42,2 %	42,2 %	42,6 %	42,6 %

Det fremgår at sannsynligheten for kritiske/dødelige forhold, gitt at en brann oppstår, vil ligge mellom 5,2 % og 19,3 %, med ulike aktive branntekniske tiltak. Et boligblokkkonsept basert på både automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg, sammenlignet med et konsept basert på kun røykvarsler (minimumskravet for boliger i TEK), gir en redusert sannsynlighet for at kritiske forhold skal oppstå i leiligheten på ca. 73 %.

I forhold til minimumskravet med bare røykvarsler gir et konsept basert på sprinkleranlegg i tillegg til røykvarsler, redusert sannsynlighet for kritiske/dødelige forhold på ca. 56 %. Sprinkleranleggets effekt i forhold til å redusere sannsynligheten for brannspredning fra startbrannleilighet, sammenlignet med minimumsløsningen, er beregnet til 86 % i kombinasjon med røykvarsler, og hele 94 % i kombinasjon med automatisk brannalarmanlegg.

Et konsept basert på automatisk brannalarmanlegg, i stedet for røykvarsler, gir ikke noen særlig stor reduksjon i sannsynlighet for kritiske/dødelige forhold (ca. 7 %). Dette er naturlig, da det er forutsatt at kritiske/dødelige forhold oftest oppstår i startbrannleiligheten, før brannvesenet ankommer bygningen.

Den forbedrede effekten av brannalarmanlegget ift røykvarslere, er følgelig knyttet til at brannalarmanlegget forventes å ha en noe høyere pålitelighet, enn en vanlig røykvarslere.

Effekten av brannalarmanlegg i stedet for røykvarslere, fremkommer imidlertid tydelig med hensyn til redusert sannsynlighet for brannspredning fra startbrannleilighet. Et konsept basert på automatisk brannalarmanlegg, forventes å medføre en redusert sannsynlighet for brannspredning på ca. 53 %, i forhold til minimumsløsning med bare røykvarslere.

Forutsatt en brannfrekvens på 0,00012 branner som kan bli kritiske, per leilighet per år, og gjennomsnittlig antall omkomne per dødsbrann på ca. 1,1 personer, jmfør kapittel 4.2.1, er forventet antall omkomne med ulike aktive brannsikringstiltak beregnet, og presentert i tabell 7.12.

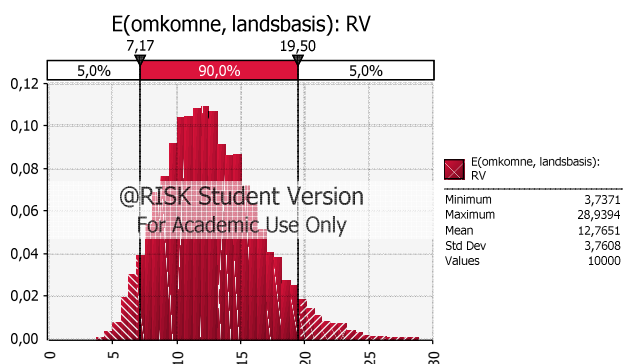
Beregningsresultatene for forventet antall omkomne på landsbasis, basert på de ulike aktive brannsikringstiltakene, er angitt med 90 % konfidensintervaller, beregnet med de angitte nedre og øvre grensene for pålitelighet for tiltakene. Forventet antall omkomne per kritiske brann varierer mellom 0,5 og 1,7 personer, med triangelfordeling og middelerverdi på 1,1 personer.

Tabell 7.12 – Forventet antall omkomne med ulike aktive brannsikringstiltak

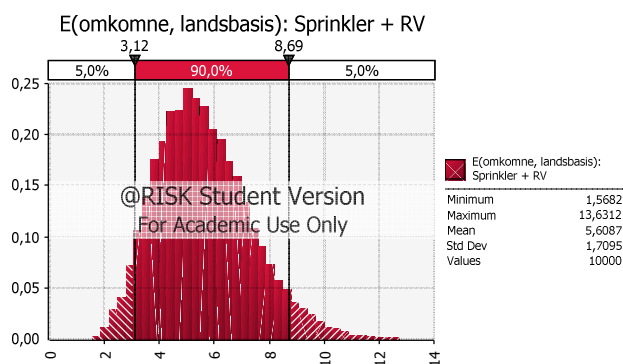
	Røykvarslere	Røykvarslere og sprinkleranlegg	Automatisk brannalarmanlegg	Automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg
Årlig brannfrekvens	0,012 %	0,012 %	0,012 %	0,012 %
P(kritiske forhold/brann)	19,3 %	8,5 %	18 %	5,2 %
Konsekvens/brannscenario	0,5 < 1,1 < 1,7 personer	0,5 < 1,1 < 1,7 personer	0,5 < 1,1 < 1,7 personer	0,5 < 1,1 < 1,7 personer
E(omkomne, leilighet)	0,000025	0,000011	0,000024	0,000007
E(omkomne, landsbasis)	7,2 < 12,8 < 19,5	3,1 < 5,6 < 8,7	6,7 < 11,9 < 18,2	1,9 < 3,5 < 5,3

Figurene 7.1, 7.2, 7.3 og 7.4 viser sannsynlighetsfordelingene for forventet antall omkomne på landsbasis med de ulike konseptene. Fordelingene fremkommer basert på Monte Carlo-simuleringer med 10 000 iterasjoner. På landsbasis er det forutsatt at det finnes 500 000 leiligheter/boliger i Norge, for å regne om forventet antall omkomne i hver leilighet til forventet antall omkomne (se kapittel 3 for flere detaljer rundt boligsammensetning i Norge).

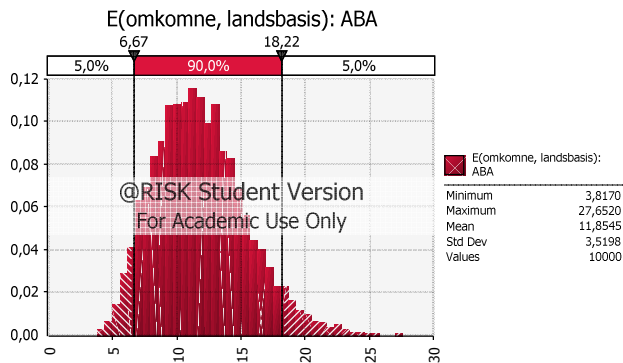
Figur 7.1 – Sannsynlighetsfordeling for forventet antall omkomne med røykvarslere



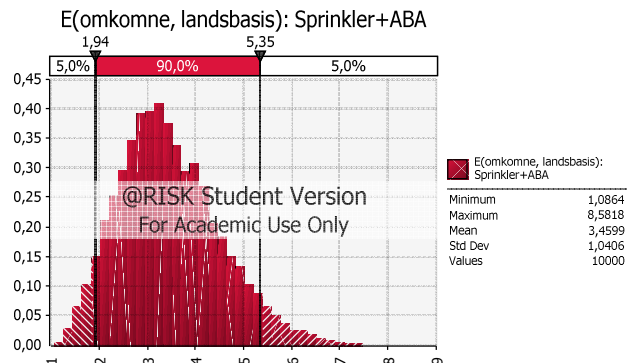
Figur 7.2 – Sannsynlighetsfordeling for forventet antall omkomne med røykvarslere og sprinkler



Figur 7.3 – Sannsynlighetsfordeling for forventet antall omkomne med ABA



Figur 7.4 – Sannsynlighetsfordeling for forventet antall omkomne med ABA og sprinkler



7.3 Resultater fra hendelsestreakseanalyse for ulike rømningsveiløsninger (risiko for naboer)

7.3.1 Forutsetninger

I følgende kapitler presenteres resultater fra hendelsestreakseanalysene utført for ulike rømningsveikonsept. Det er valgt å presentere data knyttet til sannsynlighet for kritiske forhold i korridor/sluse og/eller trapperom, sammen med forventet antall omkomne dersom den aktuelle løsningen hadde vært valgt for alle Norges boligblokker. Forventet antall omkomne er angitt med et 90 % konfidensintervall og middelerdi. For å relatere tallene til hele landet er det benyttet følgende forutsetninger, som gjelder for alle konseptene:

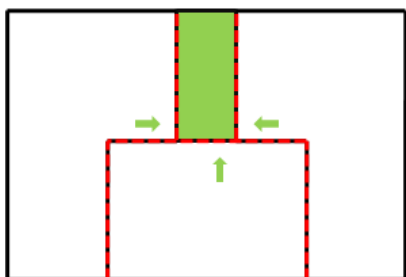
- Brannfrekvens: 0,00012 branner med potensial for å bli kritiske, per leilighet, per år.
- Sannsynlighet for brannspredning: beregnet med hensyn til aktive brannsikringstiltak i forrige kapittel.
- Antall leiligheter per plan: Vist i eksemplene for de ulike konseptene.
- Antall plan i de sammenlignede boligblokkene: 8.
- Antall personer per leilighet: 1,7 (jamfør kapittel 3).
- Antall boligblokker i landet: 31 000 (jamfør kapittel 3).
- Andel mennesker som rømmer ut i en rømningsvei hvor det er kritiske forhold: Triangelfordelt med minimumsverdi = 5 %, middelerdi = 10 % og maksimalverdi = 15 % av beboerne i blokken.

7.3.2 Beskrivelse av utvalgte rømningsveikonsept

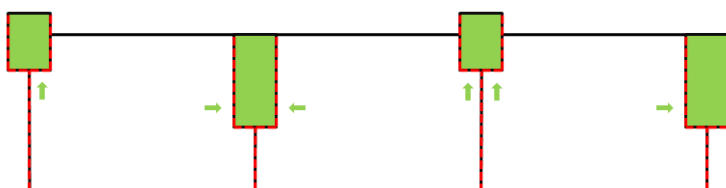
7.3.2.1 Trapperom type Tr1 (BF1987: "åpent trapperom")

Preakseptert løsning for rømningsvei fra boligblokker med mindre enn 8 etasjer, er to trapperom av type Tr1 (VTEK: § 7-27). Et trapperom type Tr1 er tilsvarende betegnelse "åpent trapperom" (BF 1987). Leiligheten har tilkomst direkte ut i trapperom, det vil si at det er én fysisk barriere mellom leiligheten og trapperom. Dersom boligblokken sprinkles, kan det bygges med én trapp type Tr1, under forutsetning av at brannvesenet har tilkomst for utvendig redning via stigemateriell (VTEK: § 7-27).

Figur 7.5 – Planskisse for boligblokk med ett trapperom type Tr1



Figur 7.6 – Planskisse for boligblokk med to trapperom type Tr1



I hendelsestreanalyser er det forutsatt at den branncellebegrensende veggen mellom leiligheten og trapperommet er tett, og forhindrer brannspredning og kritiske forhold i trapperommet. Døren mellom leiligheten og trapperommet er forutsatt å kunne stå åpen, det vil si at personer som evakuerer lar døren stå åpen, eller at døren ikke er tett. Dersom det monteres selvlukker på døren (dørpumpe), er det forutsatt at påliteligheten til døren som et fysisk skille, øker.

To Tr1 (åpne trapperom), uten selvlukker

Tabell 7.13 viser beregningsresultater for et konsept basert på to trapperom type Tr1, uten selvlukker på dører mellom leilighet og trapperom. Dette konseptet har fått ID-nummer 1A. Konsept med ID-nummer 1A1, som involverer overnevnte konsept med røykvarsler som eneste aktive brannsikringstiltak, har vært preakseptert løsning frem til siste utgave av VTEK, som kom i 2007. I siste utgave av VTEK, er det fjernet en setning om at dør til trapperom type Tr1 kan utføres uten selvlukker i boligbygninger.

Tabell 7.13 – Sannsynlighet for kritiske forhold i trapp og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i trapp pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1A1	RV	0,0049 %	1,73 < 4,13 < 8,10
1A2	RV og Sprinkler	0,0007 %	0,22 < 0,60 < 1,25
1A3	ABA	0,0023 %	0,82 < 1,93 < 3,83
1A4	ABA og Sprinkler	0,0003 %	0,10 < 0,24 < 0,51

Ett Tr1 (åpent trapperom), uten selvlukker

Tabell 7.14 viser beregningsresultater fra hendelsestreanalyser for trapperom type Tr1, uten selvlukker på dør mellom trapperom og leilighet. Dette er en løsning som ikke kan prosjekteres som en preakseptert løsningsmodell. Denne trapperomsløsningen er for øvrig vanlig for en del eldre boligblokker i Oslo. Løsningen var tillatt, i kombinasjon med redning via brannvesenets stigemateriell, etter BF 1969, til og med BF 1987.

Tabell 7.14 – Sannsynlighet for kritiske forhold i trapp og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i trapp pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1B1	RV	0,022 %	14,8 < 27,85 < 45,2
1B2	RV og Sprinkler	0,003 %	1,9 < 4,04 < 7,1
1B3	ABA	0,010 %	6,8 < 13,04 < 21,3
1B4	ABA og Sprinkler	0,001 %	0,8 < 1,65 < 2,9

To Tr1 (åpne trapperom), med selvlukker

Denne løsningen, sammen med røykvarsler (1C1), utgjør den ”typiske” preaksepterte løsningsmodellen for boligblokker i henhold til VTEK 2007. Løsningen har også vært vanlig helt siden BL 1924, der en hovedtrapp og bitrapp (kjøkkentrapp) var standardløsningen. Selvlukkerne på dørene har relativt stor betydning for løsningsens sikkerhetsnivå. Sammenlignet med løsning uten selvlukker (1A1), oppnås det en reduksjon på forventet antall omkomne fra 4,13 til 1,74 omkomne per år, det vil si en reduksjon på 58 %.

Tabell 7.15 – Sannsynlighet for kritiske forhold i trapp og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i trapp pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1C1	RV	0,00210 %	0,4 < 1,74 < 4,6
1C2	RV og Sprinkler	0,00030 %	0,05 < 0,25 < 0,71
1C3	ABA	0,00097 %	0,2 < 0,82 < 2,2
1C4	ABA og Sprinkler	0,00012 %	0,02 < 0,10 < 0,28

Ett Tr1 (åpent trapperom), med selvlukker

En løsning med ett Tr1, sammen med sprinkleranlegg (1D2), er beskrevet som en preakseptert løsningsmodell i VTEK 2007 § 7-27. Dette forutsetter for øvrig at brannvesenet har tilkomst til vinduer eller balkong for redning via sitt stigemateriell. Sammenlignet med standard preakseptert løsningsmodell (1C1), gir løsning 1D2 en økning i forventet antall omkomne fra 1,74 til 2,63 omkomne pr år, det vil si en økning på ca. 51 %. Dersom røykvarsler erstattes med automatisk brannalarmanlegg (1D4), blir løsningen med ett trapperom, selvlukker og sprinkler, bedre enn en preakseptert løsningsmodell med to Tr1-trapper.

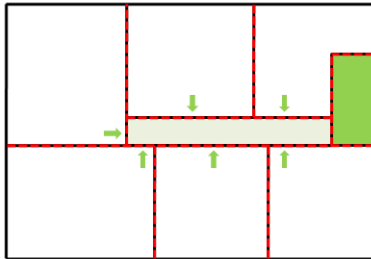
Tabell 7.16 – Sannsynlighet for kritiske forhold i trapp og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i trapp pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,01431 %	7,1 < 18,1 < 33,2
1D2	RV og Sprinkler	0,00208 %	0,9 < 2,63 < 5,1
1D3	ABA	0,00670 %	3,4 < 8,48 < 15,4
1D4	ABA og Sprinkler	0,00085 %	0,4 < 1,07 < 2,1

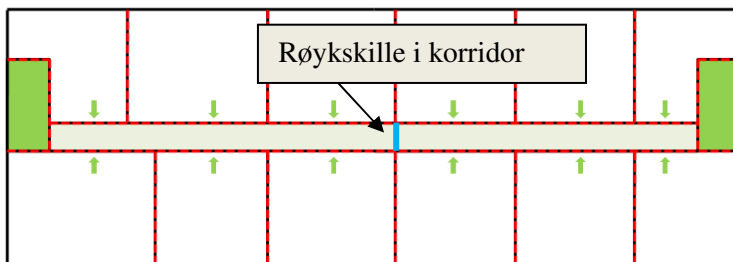
7.3.2.2 Trapperom type Tr2 (BF1987: "lukket trapperom")

Et rømningsveikonsept basert på to trapperom type Tr2, kan brukes ekvivalent med overnevnte løsning, basert på to trapperom type Tr1 med selvlukkere på dørene. Et konsept basert på trapperom type Tr2 inneholder som oftest en korridor, som forbinder to trapperom, plassert i hver sin ende av korridoren. Hver leilighet har atkomst til korridoren, hvor det er videre atkomst til to trapperom. I siste utgave av VTEK (2007) er det presisert at korridoren mellom trapperom av type Tr2 skal skilles med et røykskille. Dette skal redusere sannsynligheten for at røyk blokkerer begge trapperom samtidig. Dette har ikke vært inkludert i tidligere regelverk.

Figur 7.7 – Planskisse for boligblokk med ett trapperom type Tr2



Figur 7.8 – Planskisse for boligblokk med to trapperom type Tr2



Konstruksjonene mellom leilighet og korridor er utført som en branncellebegrensende bygningsdel. Dørene i denne konstruksjonen er utført med brannmotstand EI30 [B30], uten krav om selvlukker. Trapperommet er skilt fra korridoren med branncellebegrensende konstruksjoner, hvor det er krav om brannmotstand E30C [F30S] på dørene, det vil si en dør med integritetskrav (ikke varmeisolerende) og med selvlukker.

To Tr2 (lukkede trapperom) uten røykskille i korridor

Løsningen med to trapperom type Tr2, forbundet med korridor uten røykskille, er en løsning som kunne prosjekteres i henhold til preakseptert løsningsmodell frem til VTEK 2007.

En utfordring med Tr2-løsningen, er at mange leiligheter kan være forbundet med korridoren. Korridoren blir raskt sperret av røyk, og det oppstår dødelige forhold, dersom døren mellom brannrommet og korridoren står åpen. Storulykkespotensialet er følgelig større for denne løsningen, enn løsninger med Tr1-trapperom. Det kan nevnes at brannen i Urtegata i Oslo, desember 2008, var en brann i en Tr2-løsning med korridor. Alle de 6 omkomne i denne brannen, ble funnet i rømningsveiene. Dette var en brann som ble påsatt i det ene trapperommet (Arnhus 2009: pers.med. 06.06.09).

Tabell 7.17 og 7.18 viser resultater fra hendelsestreaksepsanalyse for Tr2-løsningen, for henholdsvis korridor og trapperom. Tabellene viser at risikoen, uttrykt med forventet antall omkomne, er større for naboer av startbrannrommet, enn med en preakseptert løsningsmodell basert på to Tr1.

Tabell 7.17 – Sannsynlighet for kritiske forhold i korridor og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i korridor pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,01101 %	3,7 < 6,96 < 11,4
1D2	RV og Sprinkler	0,00160 %	0,4 < 1,01 < 1,8
1D3	ABA	0,00516 %	1,7 < 3,26 < 5,3
1D4	ABA og Sprinkler	0,00065 %	0,2 < 0,41 < 0,7

Tabell 7.18 – Sannsynlighet for kritiske forhold i trapper og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i trapp pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,00413 %	4,0 < 20,9 < 57,5
1D2	RV og Sprinkler	0,00060 %	0,5 < 3,0 < 8,7
1D3	ABA	0,00194 %	1,8 < 9,8 < 26,9
1D4	ABA og Sprinkler	0,00025 %	0,2 < 1,2 < 3,4

To Tr2 (lukkede trapperom) med røykshille i korridor

Dersom det etableres et røykshille i korridoren, er det sannsynlig at færre naboer i samme etasje, blir utsatt for kritiske forhold i korridoren. Dette gir lavere forventet antall omkomne i korridoren, enn for løsningsmodellen uten røykshille i korridor.

Tabell 7.19 – Sannsynlighet for kritiske forhold i korridor og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i korridor pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,00669 %	2,5 < 4,2 < 6,4
1D2	RV og Sprinkler	0,00096 %	0,4 < 0,6 < 0,9
1D3	ABA	0,00312 %	1,2 < 2,0 < 3,0
1D4	ABA og Sprinkler	0,00041 %	0,2 < 0,3 < 0,4

Tabell 7.20 – Sannsynlighet for kritiske forhold i trapper og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i trapp pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,00413 %	4,2 < 20,9 < 54,2
1D2	RV og Sprinkler	0,00059 %	0,6 < 3,0 < 8,1
1D3	ABA	0,00193 %	1,9 < 9,8 < 26,0
1D4	ABA og Sprinkler	0,00025 %	0,3 < 1,3 < 3,4

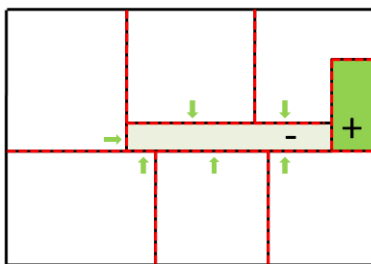
7.3.2.3 Trapperom type Tr3 (BF1987: Branntrygt trapperom)

Det finnes to måter å etablere et såkalt trapperom type Tr3 etter gjeldende utgave av VTEK. Den ene måten omfatter trykksetting av trappesjakten og trykkavlastning i korridor/sluse i brannetasjen. Den andre måten omfatter et lukket trapperom, forbundet med en røykventilert/åpen sluse/korridor. Trappesjakten skal være utført som en egen branncelle, med brannmotstand EI60 [A60]. Dør mellom

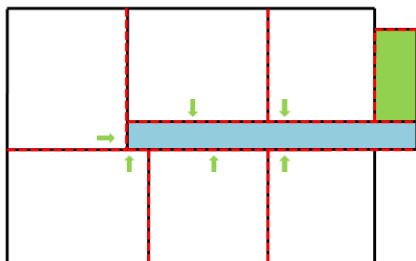
leiligheter og sluse/korridor skal ha brannmotstand minimum EI30 [B30]. Dør mellom sluse/korridor og trapp skal ha brannmotstand EI60C [A60S], det vil si dør med selvlukker. I denne oppgaven er løsningsene med røykventilert sluse og trykksatt trapperom vurdert som tilnærmet ekvivalente, med hensyn til å forhindre røykspredning inn i trapperom. Begge konseptene har tiltak, som bidrar til å øke påliteligheten til døren mellom trapperom og sluse, som i sum er vurdert som tilsvarende:

- Løsning med trykksetting setter trappesjakten i overtrykk i forhold til øvrige rom. Dette reduserer sannsynligheten for røykspredning gjennom eventuelle utettheter og delvis åpne dører. Trykksetting er for øvrig et aktivt tiltak, som har en viss pålitelighet $< 1,0$.
- Løsning med åpen sluse sørger for at branngasser, som slipper ut i korridor/sluse, luftes ut i det fri. Dette reduserer brannlastene på slusens omsluttende konstruksjoner, og øker dermed påliteligheten til trapperomsdøren. Åpen sluse er et passivt tiltak, det vil si at det ikke er behov for aktiv igangsetting av tiltaket ved brann. Dette øker påliteligheten av løsningen.

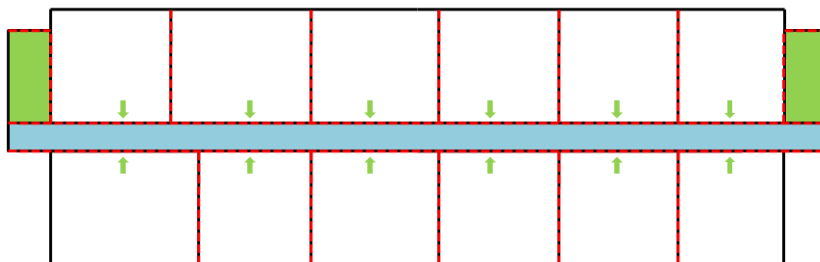
Figur 7.9 – Planskisse for boligblokk med ett trykksatt trapperom type Tr3



Figur 7.10 – Planskisse for boligblokk med ett trapperom type Tr3 med røykventilert sluse



Figur 7.11 – Planskisse for boligblokk med to trapperom type Tr3 med røykventilert sluse



Frem til siste utgave av VTEK (2007) var det tillatt å bygge boligblokker med ett trapperom type Tr3 med høyde opptil 8 etasjer. I siste utgave av VTEK er det i tillegg inkludert at brannvesenet skal ha tilkomst for utvendig stigeredning, dersom det bare finnes ett trapperom type Tr3. Basert på byggeforskrift 1987, kunne det bygges boligblokker opptil 8 etasjer med ett trapperom av type "branntrygt trapperom". Et branntrygt trapperom, bygget etter kravene i BF 1987, er utført med trappesjakt med brannmotstand A60 (ubrennbare materialer), og med dør med brannmotstand A60S. Mellom leiligheter og trapperom skal det være en sluse/korridor, utført som egen branncelle, der dører mellom leiligheter og korridor skal ha brannmotstand B30. Et branntrygt trapperom, bygget etter BF

1987, kan dermed sammenlignes med dagens Tr2 med hensyn til planløsning, og med dagens Tr3 med hensyn til konstruksjons- og dørkrav. Det er imidlertid ikke krav om trykksetting av ”branntrygge trapperom”, eller røykventilasjon av sluse/korridor. Et branntrygt trapperom kan ikke ha forbindelse med kjeller.

To Tr3 (trykksatte trapperom, eller røykventilert sluse)

Tabellene nedenfor viser beregnet risiko for naboer for løsningsmodell med to Tr3-trapperom. Det er tatt utgangspunkt i en korridorløsning uten røykskille, noe som gir tilsvarende resultater for personer i startbrannetasjen, som Tr2-løsning, uten røykskille i korridor. Risikoen for personer utenom brannetasjen, blir for øvrig redusert med en Tr3-løsning, ettersom trapperommet er bedre sikret enn en Tr2-trapp.

Tabell 7.21 – Sannsynlighet for kritiske forhold i korridor og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i korridor pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,011009 %	3,6 < 6,96 < 11,3
1D2	RV og Sprinkler	0,001597 %	0,5 < 1,01 < 1,8
1D3	ABA	0,005156 %	1,6 < 3,26 < 5,4
1D4	ABA og Sprinkler	0,000653 %	0,2 < 0,41 < 0,7

Tabell 7.22 – Sannsynlighet for kritiske forhold i trapper og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i trapp pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,000881 %	0,4 < 4,46 < 13,7
1D2	RV og Sprinkler	0,000128 %	0,1 < 0,65 < 2,1
1D3	ABA	0,000412 %	0,2 < 2,09 < 6,3
1D4	ABA og Sprinkler	0,000052 %	0,02 < 0,26 < 0,8

Ett Tr3 (trykksatt trapperom, eller røykventilert sluse)

En løsning med ett trapperom type Tr3 har begrensninger i areal per etasje, pga avstandskravene mellom leilighet og trapperom. Dette gir færre leiligheter per etasje, og færre personer som kan omkomme i brannetasjen. Løsningen med ett trapperom Tr3, gir derfor lavere beregnet forventet antall omkomne for startbrannetasjen, jamfør tabell 7.23. Risikoen for personer i øvrige etasjer, er for øvrig noe høyere i en løsning med bare ett trapperom Tr3, sammenlignet med en løsning med to Tr3. Dette skyldes at sannsynligheten for at alle tilgjengelige trapper er sperret, er større for en løsning med bare ett trapperom.

Tabell 7.23 – Sannsynlighet for kritiske forhold i korridor og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i korridor pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,00550 %	0,92 < 1,74 < 2,79
1D2	RV og Sprinkler	0,00080 %	0,12 < 0,25 < 0,45
1D3	ABA	0,00258 %	0,43 < 0,82 < 1,34
1D4	ABA og Sprinkler	0,00033 %	0,05 < 0,10 < 0,18

Tabell 7.24 – Sannsynlighet for kritiske forhold i trapper og forventet antall omkomne

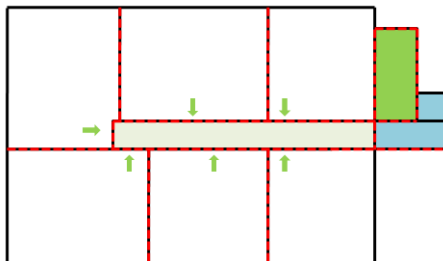
ID	Aktive tiltak	P[kritisk i trapp pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,00440 %	2,94 < 11,14 < 22,50
1D2	RV og Sprinkler	0,00064 %	0,40 < 1,62 < 3,43
1D3	ABA	0,00206 %	1,37 < 5,22 < 10,59
1D4	ABA og Sprinkler	0,00026 %	0,17 < 0,66 < 1,37

7.3.2.4 Branntrygt og røykfritt trapperom

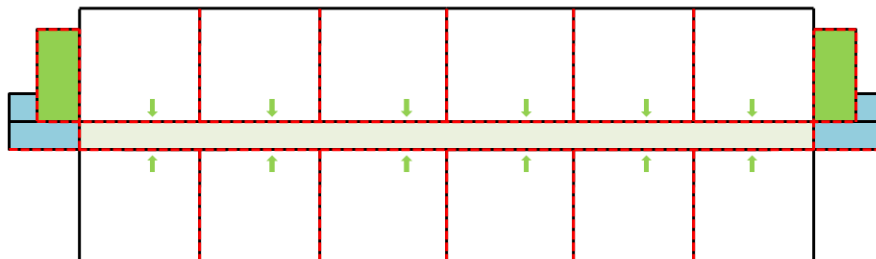
Frem til og med byggeforskrift 1987, var ”branntrygt og røykfritt trapperom” det trapperommet som det ble stilt strengest krav til. Et trapperom av denne typen kunne derfor være eneste rømningsvei, i boligblokker med mer enn 8 etasjer. Det ble ikke satt noen begrensninger med hensyn til maksimal bygningshøyde, men det var begrensninger knyttet til arealet for hver etasje tilknyttet trappen. Det var også begrensninger knyttet til gangavstanden i sluse/korridor fra leilighet til trapp.

Et branntrygt og røykfritt trapperom består av en trappesjakt, utført som egen branncelle med brannmotstand EI60 [A60], og dører med brannmotstand EI60C [A60S]. Mellom trapperommet og sluse/korridor skal det være et åpent rom/balkong, hvor eventuelle røykgasser fra slusen luftes ut i friluft, i stedet for å trenge inn i trapperommet. Døren mellom røykventilert/åpen balkong og sluse/korridor, skal ha brannmotstand EI30 [B30]. Sluse/korridor skal være utført som en egen branncelle, med dører mot leiligheter med brannmotstand EI30 [B30]. Økt pålitelighet for løsningen kan oppnås ved å montere selvlukkere på leilighetsdører og dører i sluser.

Figur 7.12 – Planskisse for boligblokk med ett branntrygt og røykfritt trapperom



Figur 7.13 – Planskisse for boligblokk med to branntrygge og røykfrie trapperom



Ett branntrygt og røykfritt trapperom

Løsningen med ett branntrygt og røykfritt trapperom, kan sidestilles med en løsning med ett Tr3-trapperom, med hensyn til risiko for personer i startbrannetasjen. Dette skyldes at det er forutsatt de samme begrensningene med hensyn til antall leiligheter per etasje. Løsningen med branntrygt og røykfritt trapperom gir for øvrig lavere risiko for personer i øvrige etasjer, enn brannetasjen. Dette skyldes at det er flere barrierer mellom brannleiligheten og trapperommet. Dersom det skulle begynne å brenne i trapperommet, vil leilighetene være godt beskyttet mot brann- og røykspredning.

Løsningsmodellen med ett branntrygt og røykfritt trapperom, også uten krav om røykvarsler, har vært tillatt etter BF 1969. Kravet om røykvarsler ble tatt inn i BF 1985. Det var ikke satt noen begrensninger på antall etasjer for denne løsningen. Basert på resultatene av beregningene, synes dette fornuftig, da risikoen for personer i startbrannetasjen er relativt lav. Samtidig er risikoen for personer i øvrige etasjer betraktelig lavere enn for øvrige løsningsmodeller.

Tabell 7.25 – Sannsynlighet for kritiske forhold i korridor og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i korridor pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,00550 %	0,90 < 1,74 < 2,85
1D2	RV og Sprinkler	0,00080 %	0,11 < 0,25 < 0,44
1D3	ABA	0,00258 %	0,43 < 0,82 < 1,32
1D4	ABA og Sprinkler	0,00033 %	0,05 < 0,10 < 0,18

Tabell 7.26 – Sannsynlighet for kritiske forhold i trapper og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i trapp pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,00098 %	0,53 < 2,48 < 6,07
1D2	RV og Sprinkler	0,00014 %	0,07 < 0,36 < 0,90
1D3	ABA	0,00046 %	0,25 < 1,16 < 2,88
1D4	ABA og Sprinkler	0,00006 %	0,03 < 0,15 < 0,36

To branntrygge og røykfrie trapperom

To branntrygge og røykfrie trapperom gir høyere risiko for personer i startbrannetasjen, enn løsning med bare ett trapperom. Dette skyldes igjen, at det ikke settes de samme begrensningene på antall leiligheter tilknyttet korridoren. Dette medfører at storulykkepotensialet for løsningen øker. Løsningen gir imidlertid den beste sikringen av personer i etasjer utenom startbrannetasjen. Dette skyldes at det er svært lite sannsynlig at begge trapperommene skal gjøres utilgjengelige pga røykinntregning.

Ved brann i trapperom vil løsningen være robust, med hensyn til at det er mange barrierer mellom trapperom og leiligheter, og mellom de to trappene. Det er derfor lite trolig at en brann i ett av trapperommene, vil sperre alle rømningsveiene med denne løsningsmodellen.

Tabell 7.27 – Sannsynlighet for kritiske forhold i korridor og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i korridor pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,011009 %	3,68 < 6,96 < 11,40
1D2	RV og Sprinkler	0,001597 %	0,46 < 1,01 < 1,78
1D3	ABA	0,005156 %	1,72 < 3,26 < 5,33
1D4	ABA og Sprinkler	0,000653 %	0,19 < 0,41 < 0,72

Tabell 7.28 – Sannsynlighet for kritiske forhold i trapper og forventet antall omkomne

ID	Aktive tiltak	P[kritisk i trapp pr blokk]	E[omkomne pr år, landsbasis]
1D1	RV	0,000326 %	0,30 < 1,65 < 4,87
1D2	RV og Sprinkler	0,000047 %	0,04 < 0,24 < 0,74
1D3	ABA	0,000153 %	0,14 < 0,77 < 2,34
1D4	ABA og Sprinkler	0,000019 %	0,02 < 0,10 < 0,30

7.4 Sammenligning av resultater fra hendelsetreanalysene

7.4.1 Alle branntekniske konsept – rangert etter scenario-ID

Tabell 7.29 gir en sammenstilling av alle overnevnte scenarier, der risiko for personer i startbrannrommet, personer i startbrannetasjen og personer i resten av bygningen er presentert. Tabellen er rangert etter scenario-ID, og gir derfor ingen rangering av risiko for de ulike konseptene. De preaksepterte løsningsmodellene er markert med grønn bakgrunn. Det kan nevnes at brannvesenets stigeredningsmuligheter, knyttet til den preaksepterte løsningsmodellen med Tr1 og sprinkler (ID-nr. 1D4), ikke er hensyntatt for naboer av brannrommet. Det anmerkes for øvrig at sannsynligheten for at brannvesenet redder personer i startbrannrommet, er tatt hensyn til for den sprinklede startbrannleiligheten. Forventet antall omkomne i trapperommet for denne løsningen er relativt lavt (1,74 personer), noe som betyr at effekten av brannvesenets stigeredning vil være meget begrenset.

Tabell 7.29 – Risikorangering – fordelt etter scenario-ID

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
1A1	To Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		4,13	16,89
1A2	To Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,60	6,20
1A3	To Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		1,93	13,78
1A4	To Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,24	3,71
1B1	Ett Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		27,85	40,61
1B2	Ett Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		4,04	9,65
1B3	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		13,04	24,89
1B4	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,65	5,11
1C1	To Tr1, med selvlukker	RV	12,77		1,74	14,51
1C2	To Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,25	5,86
1C3	To Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		0,82	12,67
1C4	To Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,10	3,56
1D1	Ett Tr1, med selvlukker	RV	12,77		18,10	30,87
1D2	Ett Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		2,63	8,23
1D3	Ett Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		8,48	20,33
1D4	Ett Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,07	4,53
2A1	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV	12,77	6,96	20,92	40,65
2A2	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	1,01	3,04	9,65
2A3	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA	11,85	3,26	9,80	24,91
2A4	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	1,24	5,11
2B1	To Tr2 med røykskille i korridor	RV	12,77	4,23	20,88	37,88
2B2	To Tr2 med røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	0,61	3,01	9,22
2B3	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA	11,85	1,98	9,76	23,59
2B4	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,26	1,28	5,00
3A1	To Tr3	RV	12,77	6,96	4,46	24,18
3A2	To Tr3	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,65	7,26
3A3	To Tr3	ABA	11,85	3,26	2,09	17,20
3A4	To Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,26	4,14
3B1	Ett Tr3	RV	12,77	1,74	11,14	25,65
3B2	Ett Tr3	RV+Sprinkler	5,60	0,25	1,62	7,47
3B3	Ett Tr3	ABA	11,85	0,82	5,22	17,88
3B4	Ett Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,66	4,22
4A1	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV	12,77	1,74	2,48	16,98
4A2	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV+Sprinkler	5,60	0,25	0,36	6,22
4A3	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA	11,85	0,82	1,16	13,83
4A4	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,15	3,71
4B1	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV	12,77	6,96	1,65	21,38
4B2	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,24	6,85
4B3	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA	11,85	3,26	0,77	15,88
4B4	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,10	3,97

7.4.2 Alle branntekniske konsept – rangert etter risiko i startbrannrom

Tabell 7.30 rangerer de ulike branntekniske konseptene med hensyn til risiko for personer i startbrannrommet. Beregningene viser at det er løsninger med sprinkleranlegg, som har den største positive betydning for risiko for personer i startbrannrommet. Preaksepterte løsningsmodeller er merket med grønn bakgrunn.

Tabell 7.30 – Risikorangering etter risiko i startbrannrom

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
1A4	To Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,24	3,71
1B4	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,65	5,11
1C4	To Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,10	3,56
1D4	Ett Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,07	4,53
2A4	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	1,24	5,11
2B4	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,26	1,28	5,00
3A4	To Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,26	4,14
3B4	Ett Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,66	4,22
4A4	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,15	3,71
4B4	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,10	3,97
1A2	To Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,60	6,20
1B2	Ett Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		4,04	9,65
1C2	To Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,25	5,86
1D2	Ett Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		2,63	8,23
2A2	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	1,01	3,04	9,65
2B2	To Tr2 med røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	0,61	3,01	9,22
3A2	To Tr3	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,65	7,26
3B2	Ett Tr3	RV+Sprinkler	5,60	0,25	1,62	7,47
4A2	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV+Sprinkler	5,60	0,25	0,36	6,22
4B2	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,24	6,85
1A3	To Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		1,93	13,78
1B3	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		13,04	24,89
1C3	To Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		0,82	12,67
1D3	Ett Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		8,48	20,33
2A3	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA	11,85	3,26	9,80	24,91
2B3	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA	11,85	1,98	9,76	23,59
3A3	To Tr3	ABA	11,85	3,26	2,09	17,20
3B3	Ett Tr3	ABA	11,85	0,82	5,22	17,88
4A3	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA	11,85	0,82	1,16	13,83
4B3	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA	11,85	3,26	0,77	15,88
1A1	To Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		4,13	16,89
1B1	Ett Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		27,85	40,61
1C1	To Tr1, med selvlukker	RV	12,77		1,74	14,51
1D1	Ett Tr1, med selvlukker	RV	12,77		18,10	30,87
2A1	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV	12,77	6,96	20,92	40,65
2B1	To Tr2 med røykskille i korridor	RV	12,77	4,23	20,88	37,88
3A1	To Tr3	RV	12,77	6,96	4,46	24,18
3B1	Ett Tr3	RV	12,77	1,74	11,14	25,65
4A1	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV	12,77	1,74	2,48	16,98
4B1	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV	12,77	6,96	1,65	21,38

7.4.3 Alle branntekniske konsept – rangert etter risiko for naboer i startbrannetasje

Tabell 7.31 rangerer de ulike branntekniske konseptene med hensyn til risiko for naboer i startbrannetasjen, samt for naboer i andre etasjer for løsningsmodell med Tr1-trapperom (1.rømningsvei). Tabellen understreker betydningen av å begrense antall leiligheter knyttet til felles korridor i startbrannetasjen. Betydningen av sprinkler, i kombinasjon med alarmanlegg, overgår for øvrig denne faktoren i enkelte tilfeller. Dette eksemplifiseres gjennom at løsning 4B4, 2A4 og 3A4 er høyt oppe på listen, selv om disse løsningsmodellene forutsetter mange leiligheter tilknyttet felles korridor.

Tabell 7.31 – Risikorangering etter risiko i første rom for rømningsvei

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
3B4	Ett Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,66	4,22
4A4	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,15	3,71
1C4	To Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,10	3,56
1A4	To Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,24	3,71
3B2	Ett Tr3	RV+Sprinkler	5,60	0,25	1,62	7,47
4A2	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV+Sprinkler	5,60	0,25	0,36	6,22
1C2	To Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,25	5,86
2B4	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,26	1,28	5,00
4B4	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,10	3,97
2A4	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	1,24	5,11
3A4	To Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,26	4,14
1A2	To Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,60	6,20
2B2	To Tr2 med røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	0,61	3,01	9,22
3B3	Ett Tr3	ABA	11,85	0,82	5,22	17,88
4A3	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA	11,85	0,82	1,16	13,83
1C3	To Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		0,82	12,67
4B2	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,24	6,85
2A2	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	1,01	3,04	9,65
3A2	To Tr3	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,65	7,26
1D4	Ett Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,07	4,53
1B4	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,65	5,11
3B1	Ett Tr3	RV	12,77	1,74	11,14	25,65
4A1	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV	12,77	1,74	2,48	16,98
1C1	To Tr1, med selvlukker	RV	12,77		1,74	14,51
1A3	To Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		1,93	13,78
2B3	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA	11,85	1,98	9,76	23,59
1D2	Ett Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		2,63	8,23
4B3	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA	11,85	3,26	0,77	15,88
2A3	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA	11,85	3,26	9,80	24,91
3A3	To Tr3	ABA	11,85	3,26	2,09	17,20
1B2	Ett Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		4,04	9,65
1A1	To Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		4,13	16,89
2B1	To Tr2 med røykskille i korridor	RV	12,77	4,23	20,88	37,88
4B1	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV	12,77	6,96	1,65	21,38
2A1	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV	12,77	6,96	20,92	40,65
3A1	To Tr3	RV	12,77	6,96	4,46	24,18
1D3	Ett Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		8,48	20,33
1B3	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		13,04	24,89
1D1	Ett Tr1, med selvlukker	RV	12,77		18,10	30,87
1B1	Ett Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		27,85	40,61

7.4.4 Alle branntekniske konsept – rangert etter totalrisiko for konsept

Tabell 7.32 rangerer de ulike branntekniske konseptene med hensyn til totalrisiko for konseptet. Preaksepterte løsningsmodeller er vist med grønn bakgrunn. Løsningsmodeller som ikke tillates bygget, som følge av at de bare har ett trapperom, men som gir lavere risiko enn beste preaksepterte løsningsmodell, er markert med rød bakgrunn. Løsninger, med ett trapperom, som er bedre enn den dårligste preaksepterte løsningsmodellen er markert med blå bakgrunn. Det er også verdt å merke seg at den beste preaksepterte løsningsmodellen bare har ett trapperom. Kvaliteten i løsningen kan følgelig ikke tilskrives trapperommet, men sprinkleranlegget og begrensede konsekvenser dersom sprinkleranlegget svikter.

Tabell 7.32 – Risikorangering etter konseptets totalrisiko

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
1C4	To Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,10	3,56
1A4	To Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,24	3,71
4A4	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,15	3,71
4B4	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,10	3,97
3A4	To Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,26	4,14
3B4	Ett Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,66	4,22
1D4	Ett Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,07	4,53
2B4	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,26	1,28	5,00
1B4	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,65	5,11
2A4	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	1,24	5,11
1C2	To Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,25	5,86
1A2	To Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,60	6,20
4A2	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV+Sprinkler	5,60	0,25	0,36	6,22
4B2	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,24	6,85
3A2	To Tr3	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,65	7,26
3B2	Ett Tr3	RV+Sprinkler	5,60	0,25	1,62	7,47
1D2	Ett Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		2,63	8,23
2B2	To Tr2 med røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	0,61	3,01	9,22
1B2	Ett Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		4,04	9,65
2A2	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	1,01	3,04	9,65
1C3	To Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		0,82	12,67
1A3	To Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		1,93	13,78
4A3	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA	11,85	0,82	1,16	13,83
1C1	To Tr1, med selvlukker	RV	12,77		1,74	14,51
4B3	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA	11,85	3,26	0,77	15,88
1A1	To Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		4,13	16,89
4A1	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV	12,77	1,74	2,48	16,98
3A3	To Tr3	ABA	11,85	3,26	2,09	17,20
3B3	Ett Tr3	ABA	11,85	0,82	5,22	17,88
1D3	Ett Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		8,48	20,33
4B1	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV	12,77	6,96	1,65	21,38
2B3	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA	11,85	1,98	9,76	23,59
3A1	To Tr3	RV	12,77	6,96	4,46	24,18
1B3	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		13,04	24,89
2A3	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA	11,85	3,26	9,80	24,91
3B1	Ett Tr3	RV	12,77	1,74	11,14	25,65
1D1	Ett Tr1, med selvlukker	RV	12,77		18,10	30,87
2B1	To Tr2 med røykskille i korridor	RV	12,77	4,23	20,88	37,88
1B1	Ett Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		27,85	40,61
2A1	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV	12,77	6,96	20,92	40,65

7.5 Sensitivitetsanalyse – mindre tiltro til brannvesenets innsats

Brannvesenets betydning for resultatet er undersøkt, ved å gjøre ny vurdering av sannsynlighet for brannvesenets innsats, før kritiske forhold og innsats før brannspredning. Tabell 7.33 og 7.34 viser nye forutsetninger, der tidligere sannsynligheter er halvert (reduisert med 50 %).

Tabell 7.33 – Sannsynlighet for at brannvesenet forhindrer kritiske forhold for personer med ABA og sprinkler

	$P_{\min}(p)$	$P_{\text{middel}}(p)$	$P_{\max}(p)$	$E[p]$	Fordeling
$P(\text{Brannvesen før } t(\text{kritisk}) \text{ABA, Sprinkler})$	0,4	0,425	0,45	0,425	Triangel
$P(\text{Brannvesen før } t(\text{kritisk}) \text{ABA, } \overline{\text{Sprinkler}})$	0,025	0,05	0,075	0,05	Triangel
$P(\text{Brannvesen før } t(\text{kritisk}) \overline{\text{ABA}}, \text{Sprinkler})$	0,25	0,3	0,35	0,3	Triangel
$P(\text{Brannvesen før } t(\text{kritisk}) \overline{\text{ABA}}, \overline{\text{Sprinkler}})$	0	0,01	0,025	0,012	Triangel

Tabell 7.34 – Sannsynlighet for at brannvesenet forhindrer brannspredning fra startleilighet med ABA og sprinkler

	$P_{\min}(p)$	$P_{\text{middel}}(p)$	$P_{\max}(p)$	$E[p]$	Fordeling
$P(\text{Brannvesen før spredning} \text{ABA, Sprinkler})$	0,49	0,495	0,5	0,495	Triangel
$P(\text{Brannvesen før spredning} \text{ABA, } \overline{\text{Sprinkler}})$	0,4	0,45	0,475	0,442	Triangel
$P(\text{Brannvesen før spredning} \overline{\text{ABA}}, \text{Sprinkler})$	0,45	0,475	0,5	0,475	Triangel
$P(\text{Brannvesen før spredning} \overline{\text{ABA}}, \overline{\text{Sprinkler}})$	0,2	0,3	0,4	0,3	Triangel

Tabell 7.35 viser resultater for analysen i startbrannrom, med 50 % reduksjon i sannsynlighet for at brannvesenet gjør innsats før kritiske/dødelige forhold og før brannspredning. Tidligere resultater for forventet antall omkomne, er vist i parentes. Det registreres en relativt stor økning i forventet antall omkomne i konsept med sprinkleranlegg. Årsaken til dette, er at analysemodellen er bygget opp med brannvesenets innsats, som en avsluttende barriere på alle grenene, også om sprinkleranlegget fungerer. Med hensyn til analyse av kritiske forhold i startbrannrommet, er dette vurdert som en hensiktsmessig forutsetning, basert på brannsimuleringene som viser at det kan oppstå kritiske forhold i et sprinklet brannrom. Dette er imidlertid en ugunstig forutsetning, dersom dører i leiligheten er lukket, eller personene i leiligheten har normal evne til å komme seg ut ved egen hjelp. Med hensyn til brannspredning fra leilighet, vurderes det som en meget ugunstig forutsetning at brannvesenet må forhindre spredning, selv om sprinkleranlegget fungerer.

Tabell 7.35 – Forventet antall omkomne med ulike aktive brannsikringstiltak (tidligere tall i parentes)

	Røykvarsler	Røykvarsler og sprinkleranlegg	Automatisk brannalarmanlegg	Automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg
Årlig brannfrekvens	0,012 %	0,012 %	0,012 %	0,012 %
$P(\text{kritiske forhold} \text{brann})$	19,6 %	14,1 %	18,7 %	12,3 %
Konsekvens brannscenario	1,1 personer	1,1 personer	1,1 personer	1,1 personer
$E(\text{omkomne, leilighet})$	0,000026	0,000019	0,000025	0,000016
$E(\text{omkomne, landsbasis})$	12,9 (12,8)	9,3 (5,6)	12,3 (11,9)	8,1 (3,5)

Tabell 7.36 gir en oversikt over hvordan de ulike konseptene kommer ut med hensyn til risikorangering, under forutsetning av redusert tiltro til brannvesenets innsats. Figuren viser at sprinklerkonseptene

fortsatt er gode, men de er ikke like "suverene" som tidligere. Den nye beregnede sannsynligheten for brannspredning fra startbrannleilighet, påvirkes imidlertid sterkt av den reduserte sannsynligheten for brannvesenets innsats, selv om sprinkleranlegget fungerer. Dette er, som nevnt ovenfor, vurdert å være i overkant ugunstig. Dette får stor betydning for økt risiko for naboer i startbrannetasjen, samt for resten av bygningen.

Tabell 7.36 – Risikorangering med hensyn til forventet antall omkomne i totalkonsept. Redusert tiltro til brannvesenets innsats.

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
2B4	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	8,13	0,26	1,28	9,66
1C4	To Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	8,13		1,97	10,10
1C2	To Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	9,34		2,12	11,46
1A4	To Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	8,13		4,66	12,79
4A4	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA+Sprinkler	8,13	1,97	2,80	12,89
2B2	To Tr2 med røykskille i korridor	RV+Sprinkler	9,34	0,61	3,01	12,96
1A2	To Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	9,34		5,02	14,35
4A2	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV+Sprinkler	9,34	2,12	3,01	14,46
1C3	To Tr1, med selvlukker	ABA	12,32		2,57	14,89
1C1	To Tr1, med selvlukker	RV	12,92		3,06	15,98
4B4	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA+Sprinkler	8,13	7,87	1,86	17,86
1A3	To Tr1, uten selvlukker	ABA	12,32		6,07	18,39
4A3	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA	12,32	2,56	3,64	18,53
4B2	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV+Sprinkler	9,34	8,46	2,01	19,81
1A1	To Tr1, uten selvlukker	RV	12,92		7,25	20,17
4A1	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV	12,92	3,06	4,35	20,33
3A4	To Tr3	ABA+Sprinkler	8,13	7,87	5,03	21,03
3B4	Ett Tr3	ABA+Sprinkler	8,13	1,97	12,59	22,68
3A2	To Tr3	RV+Sprinkler	9,34	8,46	5,42	23,22
2B3	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA	12,32	1,98	9,76	24,06
3B2	Ett Tr3	RV+Sprinkler	9,34	2,12	13,54	24,99
4B3	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA	12,32	10,25	2,43	25,00
4B1	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV	12,92	12,23	2,90	28,05
1D4	Ett Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	8,13		20,45	28,58
3A3	To Tr3	ABA	12,32	10,25	6,56	29,13
3B3	Ett Tr3	ABA	12,32	2,56	16,40	31,28
1D2	Ett Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	9,34		22,00	31,34
3A1	To Tr3	RV	12,92	12,23	7,83	32,98
3B1	Ett Tr3	RV	12,92	3,06	19,57	35,55
2B1	To Tr2 med røykskille i korridor	RV	12,92	4,23	20,88	38,03
1D3	Ett Tr1, med selvlukker	ABA	12,32		26,64	38,97
1B4	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	8,13		31,46	39,59
2A4	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	8,13	7,87	23,63	39,62
1B2	Ett Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	9,34		33,85	43,19
2A2	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV+Sprinkler	9,34	8,46	25,43	43,23
1D1	Ett Tr1, med selvlukker	RV	12,92		31,81	44,72
1B3	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA	12,32		40,99	53,31
2A3	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA	12,32	10,25	30,79	53,36
1B1	Ett Tr1, uten selvlukker	RV	12,92		48,93	61,85
2A1	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV	12,92	12,23	36,75	61,91

7.6 Sensitivitetsanalyse – redusert sprinklerpålidelighet

Det er gjennomført en sensitivitetsanalyse, der påliteligheten for sprinkleranlegget er redusert fra en forventet verdi på 95 %, til en forventet verdi på 60 %. Dette tilsvarer en reduksjon i pålitelighet på ca. 37 %. Reduksjonen i sprinklerpålidelighet har relativt stor betydning for løsningsalternativet med automatisk brannalarmanlegg i kombinasjon med sprinkleranlegg. Dette skyldes at sprinkleranleggets pålitelighet reduseres. Dette skyldes også at brannvesenet i færre branntilfeller vil ha mulighet til å redde ut personen i startbrannrommet, når sprinkleranlegget fungerer i færre branntilfeller. Reduksjonen i pålitelighet på 37 %, medfører følgelig en økning i forventet antall omkomne i startbrannleiligheten på 89 %, fra 3,5 til 6,6 omkomne per år.

Tabell 7.37 – Pålitelighetsdata for røykvarslere, ABA og sprinkler (redusert tiltro til sprinkler)

	$P_{\min}(p)$	$P_{\text{middel}}(p)$	$P_{\max}(p)$	$E[p]$	Fordeling
P(Røykvarsler fungerer)	0,7	0,75	0,8	0,75	Pert
P(ABA fungerer)	0,75	0,78	0,81	0,78	Pert
P(Sprinkler fungerer)	0,5	0,6	0,7	0,6	Pert

Tabell 7.38 – Forventet antall omkomne med ulike aktive brannsikringstiltak (tidligere tall i parentes)

	Røykvarsler	Røykvarsler og sprinkleranlegg	Automatisk brannalarmanlegg	Automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg
Årlig brannfrekvens	0,012 %	0,012 %	0,012 %	0,012 %
P(kritiske forhold/brann)	19,3 %	12,5 %	18,0 %	9,9 %
Konsekvens/brannscenario	1,1 personer	1,1 personer	1,1 personer	1,1 personer
E(omkomne, leilighet)	0,000026	0,000017	0,000024	0,000013
E(omkomne, landsbasis)	12,8 (12,8)	8,2 (5,6)	11,9 (11,9)	6,6 (3,5)

Tabell 7.39 rangerer de ulike konseptene med hensyn til totalrisiko for brannkonseptet. Løsningsmodellene med sprinkleranlegg, i kombinasjon med brannalarmanlegg eller røykvarsler, er fortsatt de beste løsningene. Dette er til tross for at påliteligheten til sprinkleranlegget er kraftig redusert. Preaksepterte løsningsmodeller er vist med grønn bakgrunn, og løsningsmodeller med ett trapperom, som er bedre enn preaksepterte løsningsmodeller, er vist med rød bakgrunn. Av de undersøkte konseptene, er det 7 løsningsmodeller med bare ett trapperom, som fortsatt er bedre enn den beste preaksepterte løsningsmodellen. Den beste preaksepterte løsningsmodellen er i dette tilfellet løsningen med to Tr1 i kombinasjon med røykvarsler (1C1).

Tabell 7.39 – Risikorangering etter forventet antall omkomne konsept – redusert tiltro til sprinkleranlegg

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
1C4	To Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	6,55		0,37	6,92
1A4	To Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	6,55		0,87	7,42
4A4	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA+Sprinkler	6,55	0,37	0,52	7,44
2B4	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	6,55	0,26	1,28	8,09
4B4	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA+Sprinkler	6,55	1,46	0,35	8,36
3A4	To Tr3	ABA+Sprinkler	6,55	1,46	0,94	8,95
1C2	To Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	8,24		0,80	9,04
3B4	Ett Tr3	ABA+Sprinkler	6,55	0,37	2,34	9,26
1A2	To Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	8,24		1,90	10,14
4A2	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV+Sprinkler	8,24	0,80	1,14	10,18
1D4	Ett Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	6,55		3,80	10,35
2B2	To Tr2 med røykskille i korridor	RV+Sprinkler	8,24	0,61	3,01	11,86
4B2	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV+Sprinkler	8,24	3,20	0,76	12,21
1B4	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	6,55		5,85	12,40
2A4	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	6,55	1,46	4,39	12,41
1C3	To Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		0,82	12,67
3A2	To Tr3	RV+Sprinkler	8,24	3,20	2,05	13,50
1A3	To Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		1,93	13,78
4A3	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA	11,85	0,82	1,16	13,83
3B2	Ett Tr3	RV+Sprinkler	8,24	0,80	5,13	14,17
1C1	To Tr1, med selvlukker	RV	12,77		1,74	14,51
4B3	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA	11,85	3,26	0,77	15,88
1D2	Ett Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	8,24		8,33	16,57
1A1	To Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		4,13	16,89
4A1	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV	12,77	1,74	2,48	16,98
3A3	To Tr3	ABA	11,85	3,26	2,09	17,20
3B3	Ett Tr3	ABA	11,85	0,82	5,22	17,88
1D3	Ett Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		8,48	20,33
1B2	Ett Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	8,24		12,81	21,06
2A2	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV+Sprinkler	8,24	3,20	9,62	21,07
4B1	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV	12,77	6,96	1,65	21,38
2B3	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA	11,85	1,98	9,76	23,59
3A1	To Tr3	RV	12,77	6,96	4,46	24,18
1B3	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		13,04	24,89
2A3	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA	11,85	3,26	9,80	24,91
3B1	Ett Tr3	RV	12,77	1,74	11,14	25,65
1D1	Ett Tr1, med selvlukker	RV	12,77		18,10	30,87
2B1	To Tr2 med røykskille i korridor	RV	12,77	4,23	20,88	37,88
1B1	Ett Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		27,85	40,61
2A1	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV	12,77	6,96	20,92	40,65

7.7 Preaksepterte løsningsmodeller vs ett branntrygt og røykfritt og sprinkling

Løsningsmodellen med ett branntrygt og røykfritt trapperom, har vært tillatt i høye boligblokker i Norge siden 1969. I denne oppgaven kommer løsningen, i kombinasjon med sprinkleranlegg, høyt opp på listene over gode branntekniske konsepter. I dette kapitlet gjøres det en sammenligning av nevnte løsningsmodell, og den preaksepterte standardløsningen med to Tr1-trapperom og røykvarsler. Det gjøres også en sammenligning av løsningen med ett Tr1-trapperom og sprinkler, i kombinasjon med brannvesenets stigeredning.

Tabell 7.40 er et utdrag fra tabell 7.39 ovenfor, og viser hvordan løsning med ett branntrygt og røykfritt trapperom, i kombinasjon med sprinkleranlegg og brannalarmanlegg, kommer ut med hensyn til risiko sammenlignet med to preaksepterte løsninger (1D2 og 1C1).

Tabell 7.40 – Risikorangering etter konseptets totalrisiko

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
4A4	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,15	3,71
1D2	Ett Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		2,63	8,23
1C1	To Tr1, med selvlukker	RV	12,77		1,74	14,51

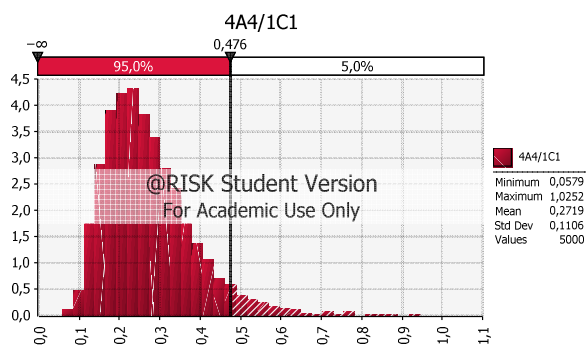
Sammenligningen av 4A4 og 1C1 er utført, ved å vurdere forholdet mellom forventet antall omkomne for konsept 4A4 og 1C1. Dersom forholdstallet er mindre enn 1,0, gir dette uttrykk for at løsning 4A4 er bedre enn løsning 1C1.

$$\text{Forhold} = \frac{E[\text{omkomne, konsept, 4A4}]}{E[\text{omkomne, konsept, 1C1}]} < 1,0$$

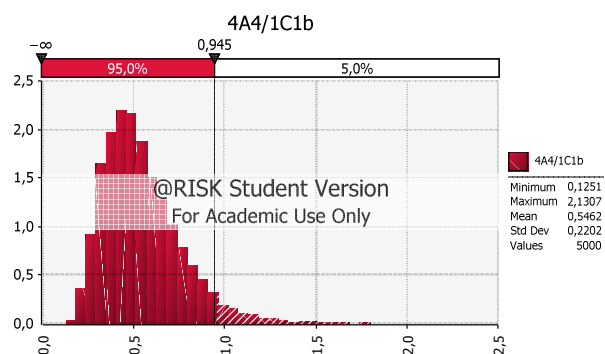
For å vurdere hvordan de ulike pålitelighetsspennene påvirker løsningen, er det utført en Monte Carlo-simulering med 5 000 iterasjoner, for å finne et 95 % konfidensintervall for forholdstallet mellom de to løsningene. Figur 7.14 viser hvordan forholdstallet for løsning 4A4/1C1 fordeler seg. Beregningene viser at forholdstallet, med 95 % sannsynlighet vil være mindre enn 0,476.

Med redusert sprinklerpålitelighet, med en gjennomsnittlig sannsynlighet for å fungere lik 0,6, jamfør forrige kapittel, vil fortsatt løsningsmodell 4A4 være bedre enn løsningsmodell 1C1, med forholdstall < 1 innenfor et 95 % konfidensintervall.

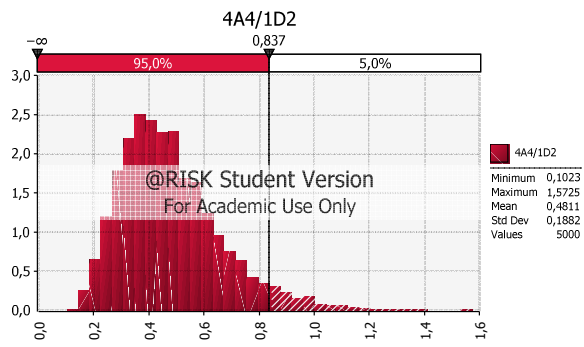
Figur 7.14 – Forhold 4A4 og 1C1 – 95 % konfidensintervall



Figur 7.15 – Forhold 4A4 og 1C1 – 95 % konfidensintervall, redusert sprinklerpålitelighet



Figur 7.16 – Forhold 4A4 og 1D2 – 95 %
konfidensintervall



8. Diskusjon

8.1 Preaksepterte løsningsmodeller mot alternative løsninger

8.1.1 Generelt om funksjonskrav i TEK og preaksepterte løsningsmodeller

I denne oppgaven er tre preaksepterte løsningsmodeller sammenlignet med alternative løsninger. Resultatene fra risikoanalysen viser at de preaksepterte løsningsmodellene medfører høyere risiko for beboerne i boligblokken, enn flere av de alternative løsningene. Dette er i utgangspunktet ikke særlig bemerkelsesverdig, ettersom de preaksepterte løsningsmodellene skal gi uttrykk for et teknisk minimumsnivå med hensyn til brannsikkerhet, som ivaretar funksjonskravene i TEK 1997 § 7-2. Det som imidlertid er verdt å merke seg, er at flere av de alternative løsningsmodellene, som gir lavere risiko for beboerne i blokken, ikke tilfredsstillers funksjonskrav i TEK. Dette til tross for at løsningsmodellene gir lavere risiko for beboerne, enn alle de preaksepterte løsningsmodellene. Grunnen til dette er at løsningsmodellene bare omfatter ett trapperom. Teksten nedenfor er hentet fra TEK § 7-27, punkt 3:

”Fra branncelle skal det være minst én utgang til:

- sikkert sted, eller*
- rømningsvei som har to alternative rømningsretninger som fører videre til forskjellige rømningsveier eller sikre steder.”*

De tre preaksepterte løsningsmodellene som er vurdert i oppgaven omfatter:

1. Leiligheter med atkomst til to trapper type Tr1, tilsvarende ”åpent trapperom”, etter byggeforskrift av 1987. Krav om installasjon av røykvarsler og manuelt slokkeutstyr i leiligheter.
2. Leiligheter med atkomst til korridor med to forskjellige rømningsretninger. Det er plassert et trapperom i hver ende av korridoren, det vil si trapperom type Tr2. Dette tilsvarer ”lukket trapperom” etter byggeforskrift av 1987. Korridoren er forutsatt skilt med røykskille, for å forhindre at begge trappene samtidig blir blokkert av røyk. Krav om installasjon av røykvarsler og manuelt slokkeutstyr i leiligheter.
3. Leiligheter med atkomst til ett trapperom type Tr1. Bygningen skal sprinkles, og brannvesenet har utvendig tilkomst til alle leiligheter ved hjelp av stigemateriell. Krav om installasjon av røykvarsler og manuelt slokkeutstyr i leiligheter i tillegg.

Innledningsvis kan det nevnes at løsningsmodell 1 ikke vil tilfredsstille funksjonskravet i TEK § 7-27, ettersom branncellen ikke har utgang til rømningsvei som har to alternative rømningsretninger. Intensjonen i forskriften vil nok likevel kunne sies å være ivaretatt, da det finnes to relativt uavhengige rømningsveier.

Løsningsmodell 3 er først tatt inn i VTEK i siste utgave (VTEK 2007). Denne løsningen vil heller ikke tilfredsstille funksjonskravet, ettersom det bare er utgang til én rømningsvei, med én rømningsretning. Alternativet er brannvesenets stigemateriell, som heller ikke kan sies å ha to uavhengige rømningsretninger. Det kan også diskuteres om utgang til brannvesenets stigemateriell tilfredsstillers funksjonskravet i TEK, som en alternativ rømningsretning, da dette avhenger sterkt av brannvesenets ankomsttid i hver enkelt brannsituasjon.

Løsningsmodell 2 vil i utgangspunktet være den eneste av de preaksepterte løsningsmodellene, som uten videre diskusjon tilfredsstillers funksjonskravet i TEK § 7-27. Det er følgelig betenkelig at denne løsningen er identifisert som en av de dårligste løsningene, med hensyn til brannrisiko for beboerne i blokken.

8.1.2 Risiko for personer i startbrannrommet

Resultatene fra analysene i oppgaven viser at tiltak som reduserer brannstørrelsen, har størst effekt på brannrisikoen i startbrannrommet. I praksis favoriserer dette løsningsmodeller, der sprinkleranlegg er en del av totalløsningen. Sprinkleranlegget virker i startbrannleiligheten på et tidlig tidspunkt. Ved aktivering, tilføres vann direkte på brannen. Dette begrenser brannutviklingen og kjøler ned brannrommet. Sannsynligheten for å overleve i brannleiligheten, uten bistand fra brannvesen eller naboer, vil økes betraktelig. Dersom personen i brannleiligheten ikke har mulighet til å komme seg ut ved egen hjelp, vil sprinkleranlegget øke tiden frem til det oppstår dødelige forhold i leiligheten. Sannsynligheten for at utenforstående, det vil si brannvesen eller naboer, kan gjøre en innsats for å redde personen før han/hun omkommer, økes dermed også betraktelig.

Samtidig som sprinkleranlegg har åpenbare fordeler knyttet til å redusere brannrisiko, må det også påpekes at sprinkleranlegg ikke kan redde alle. Både statistikk fra USA og Norge viser at personer har omkommet i branner i sprinklede leiligheter. Dette illustreres også gjennom beregningene i denne oppgaven. Dersom en person utsettes for lang eksponering for brannrøyk, vil narkotiske gasser, hovedsakelig CO, medføre at personen mister bevisstheten, og dermed evnen til å ta seg ut ved egen hjelp. Etter en viss tid, vil også en sprinklerkontrollert brann kunne medføre dødelige forhold i leiligheten. Samtidig skal det legges til at slokkemodellen benyttet for sprinkleranlegg i denne oppgaven, kun omfatter kontroll av brannen. Dette er en ugunstig forutsetning, da sprinkleranlegget også vil kunne slukke en brann fullstendig.

Av de preaksepterte løsningsmodellene er det funnet at løsning 3 har lavest risiko for beboerne, både i startbrannrommet og totalt i blokken. Sammenlignet med løsning 1, er det funnet en reduksjon i forventet antall omkomne i startbrannleiligheten på 56 %. Reduksjonen i forventet antall omkomne for blokken totalt sett, er ca. 43 %. Løsningsmodell 1 er funnet å resultere i et lavt forventet antall omkomne i rømningsveiene. Årsaken til dette er at selve trapperomsløsningen med to Tr1, vanskeliggjør etablering av mange leiligheter per etasje. I oppgaven er det forutsatt kun to leiligheter per etasje, tilknyttet hvert trapperom. Dette medfører at et lite antall personer er tilknyttet hvert trapperom og de potensielle konsekvensene av brann reduseres.

Løsning med ett trapperom Tr1 og sprinkler, har også et begrenset antall leiligheter tilknyttet hvert trapperom. I oppgaven er det forutsatt tre leiligheter per etasje. Det er beregnet et forventet antall omkomne på 8,23 per år for konseptet. Det er i dette tallet tatt hensyn til brannvesenets redningsinnsats innvendig i startbrannleiligheten. Tilleggseffekten av brannvesenets stiger for utvendig redning, vil være knyttet til å redde personer som ellers ville omkommet i rømningsveier. Dersom brannvesenet redder alle personene som er forventet å omkomme i rømningsveiene, reduseres forventet antall omkomne til 5,6 per år (8,23 – 2,63 personer per år). Løsningen vil dermed fortsatt innebære et høyere forventet antall omkomne, enn flere alternative løsningsmodeller med bare ett trapperom, og hvor det ikke forutsettes utvendig atkomst for brannvesenet.

Tabell 8.1 viser et utvalg av de sammenlignede branntekniske boligblokkkonseptene. Nærmere bestemt de preaksepterte løsningsmodellene (ID: 1D2, 1C1 og 2B1, markert med grønn bakgrunn), og de alternative løsningene med lavere beregnet forventet antall omkomne enn preakseptert løsningsmodell, men som likevel ikke tilfredsstillende TEK (markert med rød bakgrunn).

Tabell 8.1 – Preaksepterte løsningsmodeller sammenlignet med ikke-forskriftsmessige alternativer

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
4A4	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,15	3,71
3B4	Ett Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,66	4,22
1D4	Ett Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,07	4,53
1B4	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,65	5,11
4A2	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV+Sprinkler	5,60	0,25	0,36	6,22
3B2	Ett Tr3	RV+Sprinkler	5,60	0,25	1,62	7,47
1D2	Ett Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		2,63	8,23
1C1	To Tr1, med selvlukker	RV	12,77		1,74	14,51
2B1	To Tr2 med røykskille i korridor	RV	12,77	4,23	20,88	37,88

Flere forhold som påvirker brannrisiko i startbrannrommet, men som ikke direkte tydeliggjøres i risikoanalysen, fremgår av brannsimuleringene. Eksempler på slike forhold er:

1. Leilighetens takhøyde
2. Leilighetens størrelse (antall rom og areal)
3. Brannveksthastighet

Krav til minimum takhøyde i leiligheter, har ikke variert særlig siden de tidlige byggelovene og forskriftene i Norge. Krav til innvendig takhøyde inngår heller ikke som en del av kravene, som stilles til brannsikkerhet i TEK § 7-2. Beregningene viser at en økning i takhøyde fra 2,6 m til 3,0 m, medfører økt tid frem til dødelige forhold i startbrannrom og –leilighet på nesten 30 %.

Leilighetens størrelse er heller ikke noe som inngår i et brannteknisk konsept. Dette avgjøres av arkitekt, i tråd med reguleringsbestemmelser fra kommunen, som ofte stiller krav om en god fordeling mellom små og store leiligheter i en blokk. Beregningene i denne oppgaven viser at tid frem til kritiske forhold er betraktelig lavere i selve startbrannrommet, enn i leilighetens øvrige rom, selv om dører mellom rommene står åpne. I en liten leilighet med bare ett rom, er sannsynligheten større for at personer befinner seg i startbrannrommet, enn i en leilighet med flere rom. Sannsynligheten for brann i dette ene rommet vil også være større, da alle leilighetens funksjoner og tennkilder er flyttet inn på et mindre areal.

Installasjon av sprinkleranlegg har, som nevnt ovenfor, størst betydning for brannutviklingen. Leilighetens omhyllingsflater og innredning vil for øvrig også, uavhengig av sprinkleranlegg, påvirke brannveksten. I dagens regelverk stilles det relativt få krav til materialbruk i leiligheter i boligblokker. Det kan for eksempel brukes brennbare kledninger i treverk. I byggeforskrift av 1969 ble det stilt strenge krav til leiligheter i bygninger, som ble klassifisert som ”branntrygg bygning”. Alle synlige vegg- og takflater skulle ha tennvernende kledning i minimum klasse A10. Små atskilte rom, som badrom og lignende, samt avgrensede tak- og veggflater i rom med spesiell innredning, var unntatt dette kravet (BF 1969 55:422).

I denne oppgaven er det ikke gjort vurderinger knyttet til hvilken effekt ubrennbar kledning på vegg- og takflater har for brannveksten, da brannveksten ble definert på forhånd. Dette skyldes begrensninger i brannsimuleringsverktøyet. Det er for øvrig funnet at branner med *middels* brannveksthastighet øker tiden til frem kritiske forhold med nesten 50 % i startbrannrommet, sammenlignet med brann med *rask* brannvekst. Stenstad (1997) refererer til undersøkelser som bekrefter at de branntekniske egenskapene på innvendig kledning, har stor betydning for brannveksthastigheten og tid frem til overtenning. Med brennbar kledning på både vegger og tak, er det antydnet en tid frem til overtenning på 2 minutter. Med brennbar kledning bare på vegger og ubrennbar himling, ble det funnet en tid frem til overtenning på mellom 3 og 6 minutter. I rom med gipskledning på både vegger og tak antydes det en tid frem til overtenning på mellom ca. 5 og 10 minutter. Forsøkene er referert fra ulike kilder, og de kan således ikke sammenlignes direkte. Dataene gir for øvrig en indikasjon på betydningen av å ha ubrennbare omhyllingsflater i en leilighet. Hvorvidt bruk av brennbare materialer på innvendig kledning er utbredt, selv om dette er tillatt, er ikke undersøkt i denne oppgaven. Erfaringsmessig brukes det ofte stenderverksvegger med platekledning av gips. Betydningen av reduserte krav til innvendig kledning, sammenlignet med krav i byggeforskrift av 1969, trenger følgelig ikke å være særlig fremtredende.

Overnevnte forhold vil sannsynligvis ikke alene, kunne sørge for at en person i startbrannrommet overlever, frem til brannvesenet er på stedet og kan gjøre redningsarbeid. Dersom de ulike faktorene kombineres, oppnås imidlertid økt effekt. I scenario med *middels* brannvekst i kombinasjon med sprinkleranlegg (scenario 19), ble det funnet at gjennomsnittlig tid frem til dødelige forhold i leiligheten var ca. 541 s (ca. 9 min). Dette er en løsning som kombinerer moderat brannveksthastighet, 3-roms leilighet og sprinkleranlegg. Takhøyden er ”standard”, det vil si 2,6 m. Tid frem til dødelige forhold nærmer seg 10 minutter. Her vil det følgelig være muligheter for brannvesenet å redde personer i startbrannleiligheten, dersom bygningen har automatisk brannalarmanlegg. Innsatstiden for brannvesenet må i tillegg være liten.

8.1.3 Risiko for personer utenfor startbrannrommet

I oppgaven er det funnet at brannrisiko for beboerne som ikke befinner seg i startbrannrommet, påvirkes av følgende forhold:

- Sannsynligheten for brannspredning fra startbrannrom til rømningsveier.
- Antall personer tilknyttet felles rømningsveier.
- Personenes handling ved brann.

Sannsynligheten for brannspredning fra startbrannrom til rømningsveier, påvirkes av hva som gjøres i startbrannrommet for å forhindre brannspredning, samt av hvilke barrierer som forhindrer brannspredning fra startbrannrommet til rømningsveiene. Personer i startbrannrommet vil kunne slukke en brann før denne blir kritisk. For at en person skal kunne slukke en brann, forutsetter dette at personen er våken, eller vekkes. Det er et minimumskrav i forskriften at boliger skal utstyres med røykvarsler. Det er følgelig ikke mye ekstra ”å hente”, ved å for eksempel installere brannalarmanlegg, knyttet til å øke mulighetene for tidlig slukkeinnsats av personer i leiligheten. Den effekten som oppnås er knyttet til høyere pålitelighet, det vil si at anlegget fungerer når det skal. Effekten av et brannalarmanlegg blir i større grad tydelig for brannrisiko knyttet til naboer. Grunnen til dette er at brannvesenet varsles tidlig, noe som øker sannsynligheten for at brannen kan begrenses til startbrannleiligheten.

Den største bidragsyteren til redusert brannrisiko for naboer er, som for startbrannrommet, sprinkleranlegg. Overnevnte fordeler knyttet til å begrense brannstørrelsen, vil også ha stor betydning for brannkonsekvensene i rømningsveier. Selv om dører mellom startbrannleiligheten og rømningsveiene blir stående åpne, er det svært lite sannsynlig at det oppstår dødelige forhold i rømningsveiene, dersom startbrannrommet er sprinklet. Det største problemet i rømningsveiene vil være redusert sikt. Dette kan føre til at rømningsveiene ikke er brukbare, og at mennesker vil kunne oppleve situasjonen som truende. Dette vil tvinge personer som befinner seg i rømningsveiene, til å ta en beslutning om enten å fortsette å forflytte seg gjennom røykfylte rømningsveier, eller å returnere til egen leilighet eller annet røykfritt sted. Beslutningene vil måtte tas på begrenset informasjonsgrunnlag. I en sprinklet bygning, vil utfallet av denne beslutningen sannsynligvis være at personen overlever. I en usprinklet bygning vil tiden en person kan oppholde seg i en røykfylt rømningsvei, være begrenset. Etter relativt kort tid, vil det oppstå dødelige forhold. Hvorvidt personen overlever, blir derfor avhengig av tidlig redningsinnsats fra brannvesenet.

Boligblokkens størrelse har stor betydning for utfallet av risikoberegningene i denne oppgaven. Grunnen til dette, er at sannsynligheten for et branntilløp er relatert til antallet leiligheter, med en konstant brannfrekvens for brann i leilighet. I tillegg vil en større boligblokk medføre at flere mennesker kan omkomme i felles rømningsveier. I oppgaven er det forutsatt at mellom 5 og 15 % av menneskene i blokken, vil bevege seg ut i røykfylte rømningsveier og omkomme, gitt at det oppstår et scenario med brannspredning fra startbrannleilighet til rømningsveiene. I sprinklede boligblokker er sannsynligheten for brannspredning til rømningsveier liten, noe som gir et lavt forventet antall omkomne i rømningsveiene. Dette veier til en viss grad opp for boligblokkens størrelse. Tabell 8.2 viser de ti løsningsmodellene hvor beregnet forventet antall omkomne er lavest. Tabellen understreker at løsningsmodeller med få leiligheter per etasje, i kombinasjon med sprinkleranlegg og automatisk brannalarmanlegg, gir lavest forventet antall omkomne (markert med rød bakgrunn). Her kan man merkes seg at ingen av de preaksepterte minimumsløsningene, er representert blant de ti løsningsmodellene med lavest beregnet forventet antall omkomne.

Tabell 8.2 – De ti løsningsmodellene med lavest beregnet forventet antall omkomne

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
1C4	To Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,10	3,56
1A4	To Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,24	3,71
4A4	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,15	3,71
4B4	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,10	3,97
3A4	To Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,26	4,14
3B4	Ett Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,66	4,22
1D4	Ett Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,07	4,53
2B4	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,26	1,28	5,00
1B4	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,65	5,11
2A4	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	1,24	5,11

Tabell 8.3 nedenfor gir en oversikt over løsningsmodeller som tidligere har vært forskriftsmessige løsninger, eller som nå fungerer som preaksepterte løsninger. Løsningsmodell med lavest beregnet forventet antall omkomne, er dagens preaksepterte løsning med ett trapperom Tr1 og sprinkler. Løsningsmodell med høyest beregnet forventet antall omkomne, er løsning med to Tr2 trapper med korridor uten røykskille. Det er først i siste utgave av VTEK (mars 2007) at røykskille i korridor er presisert som en del av løsningen. Det kan følgelig tenkes at løsningen har fungert som preakseptert løsning frem til mars 2007. Det bør også nevnes at denne løsningsmodellen (ID-nr. 2A1) har høyest beregnet forventet antall omkomne, av alle de vurderte løsningene i denne oppgaven.

Brannen i Urtegata i Oslo, desember 2008, var en brann i en bygning med ”Tr2-løsning” (tilsvarende løsning 2A1). Det vil si at leilighetene/hyblene hadde atkomst til felles korridor, forbundet med trapperom i hver ende (bygningen hadde totalt tre trapperom). Brannen startet på natten i det ene trapperommet. Dører mellom trapperom og enkelte korridorer stod åpne, og selvlukkere på dører mellom trapperom og korridorer var flere steder koblet av. Det omkom seks personer i brannen, og alle ble funnet i rømningsveiene (Arnhus 2009, pers.med. 06.06.09).

Tabell 8.3 – Risikorangering etter konseptets totalrisiko

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
1D2	Ett Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		2,63	8,23
1C1	To Tr1, med selvlukker	RV	12,77		1,74	14,51
1A1	To Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		4,13	16,89
4A1	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV	12,77	1,74	2,48	16,98
3B1	Ett Tr3	RV	12,77	1,74	11,14	25,65
2B1	To Tr2 med røykskille i korridor	RV	12,77	4,23	20,88	37,88
1B1	Ett Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		27,85	40,61
2A1	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV	12,77	6,96	20,92	40,65

8.1.4 Sikkerhetstiltak med betydning for brannrisiko

Av de sikkerhetstiltak som er vurdert i denne oppgaven, er sprinkleranlegg det tiltaket som alene har størst effekt på brannsikkerheten. Sprinkleranleggets effekt overstyrer i stor grad andre tiltak, som for eksempel antall trapper, trykksetting av trapperom og tiltak i leiligheten med betydning for redusert brannveksthastighet.

Betydningen av antall fysiske barrierer mellom brannleiligheten og trapperommet, i form av økt brannsikkerhet, er liten. Trapperomsløsningens betydning for blokkens utforming med hensyn til antall leiligheter tilknyttet felles rømningsvei, har imidlertid større betydning. De gamle bygårdene med to Tr1-trapper, ”hovedtrapp” og ”kjøkkentrapp”, har en fordel med hensyn til brannrisiko, ved at antall

mennesker tilknyttet hver trappeoppgang er begrenset. Sammenlignet med en typisk Tr2-løsning, som beskrevet ovenfor i forbindelse med Urtegata, er potensialet for en storulykke mindre. Dette er for øvrig ingen garanti for at en løsningsmodell basert på få leiligheter per etasje, ikke medfører tap av flere menneskeliv i én og samme brann. Beregningene i denne oppgaven er, som nevnt ovenfor, basert på en forutsetning om at et visst antall mennesker vil rømme gjennom røykfylte rømningsveier. Dersom en større andel velger å gjøre dette, øker konsekvensene – og det kan oppstå storulykker også i bygninger med relativt få leiligheter per etasje. Rent teoretisk vil en slik økning i forutsatt antall mennesker som rømmer gjennom røyk, få størst (negativ) betydning for blokker der mange deler felles rømningsvei.

Byggeforskrift av 1969 hadde en begrensning i areal på 400 m² per etasje tilknyttet ett trapperom av type ”branntrygt og røykfritt”. Denne begrensningen medfører at det ikke kan bygges mer enn 4 - 10 leiligheter/hybler per etasje, tilknyttet hver oppgang. Slike begrensninger finnes ikke i dagens regelverk. Dersom bygningen kun er utført i henhold til minstekravet, med røykvarsler som eneste aktive brannsikringstiltak, kan hver etasje ha et areal på inntil 1 200 m² (VTEK 2007: § 7-24). Med denne begrensningen kan det gjerne etableres mellom 20 – 30 leiligheter/hybler per etasje.

8.1.5 Motivasjon for å benytte alternative løsninger

Ettersom forskriftsteksten er utformet slik den er, som vist i kapittel 8.1.1, vil i utgangspunktet alternative løsninger, basert på ett trapperom måtte forkastes før disse kommer til utredning. Motivasjonen for å bygge med bare ett trapperom har sammenheng med at dette reduserer arealer som ikke kan selges, noe som følgelig gir større økonomisk gevinst per kvadratmeter.

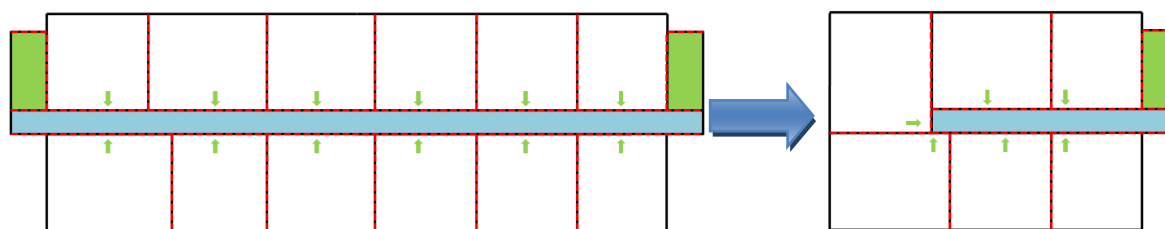
Med en mulighet for å øke inntjeningen ved å velge alternative løsningsmodeller, er det mulig å fremme forslag om løsninger som totalt sett gir høyere brannsikkerhet. Når det ikke finnes gode økonomiske insentiver for å etablere sikkerhetstiltak, er det vanskelig å argumentere for løsninger som overgår minimumsnivået i forskriften. Minimumsnivået for de preaksepterte løsningsmodellene blir derfor ofte valgt. Dette fører til at VTEK får en sterk stilling, nærmest som en forskrift.

Denne oppgaven har funnet flere løsningsmodeller som overgår sikkerhetsnivået for alle de preaksepterte løsningsmodellene. Dersom den dårligste preaksepterte løsningsmodellen legges til grunn, vil nesten alle de analyserte løsningene gi et høyere sikkerhetsnivå. Utfordringene er imidlertid at mange av løsningene, til tross for at de gir høyere sikkerhetsnivå enn preaksepterte løsningsmodeller, ikke tilfredsstiller funksjonskravet i TEK § 7-27 punkt 3. Funksjonskravet blir dermed en effektiv barriere mot alternative løsninger, som samlet sett vil gi lavere brannrisiko og færre omkomne. Løsningene vil også kunne sies å være økonomisk attraktive, ettersom kvadratmeterprisene på leiligheter i boligblokker er høye. Dersom mer areal kan fristilles til salgbart leilighetsareal, kan investeringsviljen for sikkerhetstiltak øke.

Kostnadseksempel

Gjennomsnittlig salgspris for leiligheter i Norge er ca. 29 300 NOK/m². I Oslo er prisen i ca. 35 600 NOK/m² (NEF 2009:18). Dette gjelder alle leiligheter, og prisnivået for nye boligblokkleiligheter, som denne oppgaven handler om, er nok noe høyere. I Oslo antydes det en gjennomsnittspris på ca. 40 000 NOK/m² for nye boligblokkprosjekter i dagens marked (Myhrvold 2009). Kostnaden for prosjektering og montering av sprinkleranlegg i nybyggprosjekter, er anslått til ca. 150 – 350 NOK/m², jamfør kapittel 5.7.3.6. For en boligblokk med etasjeareal på 400 m², vil kostnaden for å sprinkle være mellom 60 000 og 140 000 NOK per etasje. En økning av salgbart areal med noen få kvadratmeter per etasje, vil dermed rettferdiggjøre investeringen knyttet til sprinkleranlegg. Et trapperom vil ta opp et salgbart areal på ca. 10 m². Korridorareal kan gjøres om til leiligheter og øke salgbart areal med 10 – 20 m². Økte inntekter forbundet med dette er i størrelsesorden 293 000 – 800 000 NOK per etasje dersom ytterlighetene for boligpriser og økt tilgjengelig areal tas i betraktning. Eksempellet er imidlertid forenklet. Det er blant annet ikke tatt hensyn til årlige vedlikeholdskostnader for sprinkleranlegget, betraktninger rundt sprinkleranleggets levetid eller kostnader knyttet til å bygge leilighetsareal sammenlignet med kostnader for å bygge korridorareal. Korridor- og trappearealet er vurdert som ikke-salgbart areal.

Tabell 8.1 – Korridorareal frigjøres til salg ved reduksjon fra to til ett trapperom



8.2 Én trapp: hva om det brenner i trappen?

Sårbarheten for en løsningsmodell med bare ett trapperom, gitt at det brenner i trapperommet, kan diskuteres. En løsningsmodell med bare ett trapperom, medfører at personer må bli i bygningen dersom det brenner i trappen. I løsningsmodell med to trapper, kan alternativ utgang benyttes, selv om det brenner i den ene trappen.

Hvorvidt personene i bygningen kan forventes å bli i leiligheten, og ikke rømme ut i et røykfyllt trapperom, vil være avhengig av hvilken informasjon som er gitt om slike scenarier. I den spesifikke situasjonen vil også en vurdering av hvorvidt rømning gjennom røyken synes mer attraktivt enn å bli i leiligheten, ha betydning.

Basert på litteraturgjennomgangen knyttet til menneskers handlinger ved brann, er det grunn til å tro at gode beslutninger kan tas, dersom informasjonsgrunnlaget er tilstrekkelig. Grunnen til dette er at det er lite som tyder på at mennesker får panikk i brannsituasjoner. Panikk innebærer at en person oppfører seg irrasjonelt i den situasjonen han/hun står ovenfor. Personer synes imidlertid å ta rasjonelle beslutninger i brannsituasjoner, basert på den bakgrunnskunnskapen de har på tidspunktet. I etterkant, når all informasjon er tilgjengelig, kan det for øvrig være lett å si at enkelte beslutninger ikke var rasjonelle. Årsaken til at enkelte handlinger i brannsituasjoner ofte forklares med panikk, kan være at begrepet oppfattes synonymt med redsel, nervøsitet eller angst. Begrepet fristilles dermed fra dets tilknytning til manglende rasjonalitet (Proulx 2001:2). Bruken av begrepet panikk til å forklare menneskelige "feilhandlinger" i brannsituasjoner, kan undergrave betydningen av å få ut informasjon til beboerne før en brann (øvelser og instruksjoner) og under en brann (varslingstype, talebeskjeder fra personell/brannvesen osv) (Proulx 2001:11). Dersom beboerne i en blokk med én trapp, på forhånd får god informasjon om det branntekniske konseptet, er det følgelig grunn til å tro at de ville blitt i leiligheten og avvartet nærmere beskjed.

Ved brann i trapperommet er det åpenbart at trapperommet vil bli utilgjengelig over brannstedet. I et slikt branntilfelle synes det dermed unødvendig å varsle beboerne. Dersom bygningen har automatisk brannalarmanlegg, kan anlegget programmeres slik at deteksjon i trapperommet kun gir varsel til brannvesenet, eller vaktmester via tekstmelding (SMS). Innsats fra utsiden kan dermed iverksettes før beboerne i oppgangen er gjort oppmerksom på brannen. Beboerne kan likevel bli oppmerksomme på brannen via røyklukt, lyder fra brannen og brannvesen osv. Det synes følgelig som nødvendig at varslingsrutinene i blokken kommuniseres til beboerne.

Informasjon til beboerne synes å være et viktig tema knyttet til alternative løsningsmodeller, modeller som krever annerledes handling enn normalen. I Norge er strategien "alle ut ved brann" vanlig, og det er dette som læres på skolen. Dersom det bare finnes ett trapperom, vil det ikke være mulig å komme seg ut ved brann i trappen. Dette medfører behov for å bruke strategien "protect-in-place" for dette brannscenariet. Informasjonen om dette må formidles til beboerne. Utfordringer, basert på sammensetningen av beboere i en boligblokk, kan eksempelvis være:

- Utskiftninger av beboere i blokken (salg av leilighet, midlertidig eller fast utleie osv). Hvordan skal det sikres at informasjonen viderefremmes til nye beboere?
- En stor del av beboerne i boligblokker, særlig i Oslo, er utenlandske. Hvilke språk skal informasjonen gis på, og hvilke handlingsmønstre kan forventes av personer med ulike kulturbakgrunn?

- Mange eldre bor i blokk. Nye rømningsstrategier kan være vanskelige å formidle til mennesker som har levd lenge med "alle ut ved brann"-strategien. Samtidig synes "protect-in-place"-strategien å være særlig fordelaktig knyttet til personer med nedsatt funksjonsevne.

Økt grad av passiv sikring av det ene trapperommet, for eksempel en "branntrygg og røykfri trapp", vil medføre relativt liten sannsynlighet for brannspredning fra trapperom til leiligheter. Dersom trapperommet bygges i ubrennbare materialer, vil en brann måtte næres via medbrakte materialer eller ureglementert lagring i trapperommet. Brannsimuleringene viser at røykspredning fra en brennende leilighet til et "branntrygt og røykfritt trapperom", er begrenset, selv om dørene står åpne. Dette vil også gjelde motsatt vei. Med mange barrierer mellom brannen og leilighetene, vil sannsynligheten for at brannen ikke oppdages øke, noe som er ønskelig i denne situasjonen.

Behovet for sprinkleranlegg i trapperommet ved løsningsmodeller med ett trapperom, kan diskuteres. I gjeldende sprinklerregelverk er lukkede trapperom utført som egen branncelle, angitt som rom unntatt for sprinkling. Trappene skal ikke inneholde brennbart materiale (NS-EN 12845:2004:25). Det kan for øvrig være hensiktsmessig å vurdere om trapperommet også skal sprinkles, basert på at tilleggskostnaden når anlegget allerede skal installeres i bygningen, er liten. Det er også vanskelig å forhindre at brennbare materialer til en hver tid ikke finnes i trapperommet.

En løsning med ett trapperom, som til en viss grad avhenger av "protect-in-place"-strategi, avhenger av at beboerne også under brannen, får oppdatert informasjon om hva de skal foreta seg. Det synes følgelig nødvendig med tidlig innsats fra brannvesen, noe som medfører behov for automatisk brannalarmanlegg.

Beregningene i denne oppgaven viser at en løsningsmodell basert på ett "branntrygt og røykfritt" trapperom, medfører en reduksjon i forventet antall omkomne på 55 % (fra 8,23 omkomne per år, til 3,71 omkomne per år), sammenlignet med beste preaksepterte løsningsmodell. Sammenlignet med preakseptert løsningsmodell med to Tr1-trapper, uten sprinkleranlegg, er det beregnet en reduksjon i forventet antall omkomne på 74 % (fra 14,51 omkomne per år, til 3,71 omkomne per år).

Den alternative løsningsmodellen har en del utfordringer, knyttet til informasjon om brannkonsept og strategi ved ulike brannscenarier. Samlet sett er likevel løsningen funnet å være betraktelig bedre med hensyn til sikkerhet for beboerne ved brann, enn de preaksepterte løsningsmodellene.

8.3 Diskusjon av brannsimuleringsmodell

Enhver beregningsmodell inneholder forutsetninger og begrensninger. Modellene er forenklinger av verden, og de kan ikke ta hensyn til alle forhold med betydning for å beskrive virkeligheten. I dette kapitlet diskuteres enkelte av forutsetningene for brannsimuleringsmodellen som er benyttet i denne oppgaven.

8.3.1 Begrenset varmeeffekt

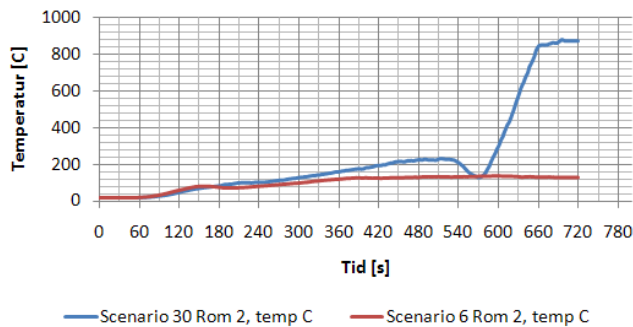
Ifølge Peacock og Babrauskas (1991) er varmeeffektutvikling den faktoren, som er direkte forbundet med brannen, som har størst betydning for produksjonen av røyk, giftige gasser, høye temperaturer osv. Mange faktorer i forbindelse med brannutvikling og produksjon av biprodukter av en brann, som røyk og giftige gasser, er relatert til mengden materiale som forbrennes. En høy varmeeffekt forutsetter at store mengder materiale forbrenner. Selv om materialet i utgangspunktet produserer små mengder uønskede biprodukter, blir den totale mengden av disse produktene likevel stor, siden større mengder av materialet forbrenner.

Basert på dette grunnlaget, kan det forventes relativt store forskjeller mellom de ulike varmeeffektutviklingene som ble benyttet i denne oppgaven. På den annen side er det kun simulert med branner som vokser til nødvendig effekt for overtenning. Dette medfører at den maksimale branneffekten i hvert scenario er lik, men det tar noe ulik tid før den maksimale effekten oppnås. Dette jevner ut forskjellen mellom de ulike varmeeffektene noe. Forholdet har størst betydning for den

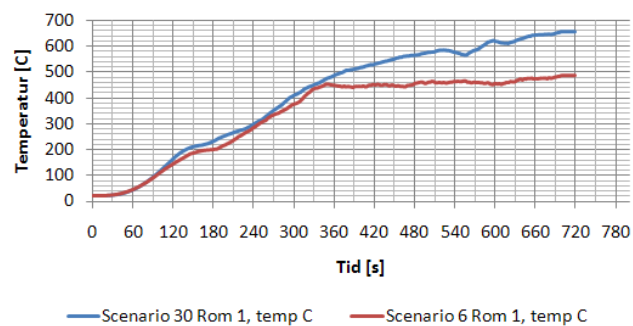
raskeste brannvekstkurven (*rask* α^2 brannvekst), som i løpet av simuleringstiden ville hatt en betraktelig høyere varmeeffekt, enn den mest moderate brannvekstkurven (*middels* α^2 brannvekst).

For brannrommet har dette liten/ingen betydning, ettersom kritiske og dødelige forhold oppstår før maksimal branneffekt er oppnådd. For naborom kan denne forutsetningen medføre at kritiske temperaturer ikke registreres, som en følge av simuleringforutsetningene. Med hensyn til løsningsmodeller med sprinkleranlegg, er forutsetningen med en begrenset brannvekst for usprinklede branner, i utgangspunktet ugunstig. Da det likevel oppstår kritiske forhold i løpet av simuleringstiden, spiller for øvrig dette liten rolle. Dersom oppgavens fokus var lenger ut i brannforløpet, for eksempel knyttet til temperaturutvikling i brannrommet etter overtenning, ville forutsetningen fått betraktelig større, og urimelige konsekvenser. Figurene nedenfor sammenligner temperaturutviklingen 1,4 m over gulvhøyde i scenario 6 og 30. Dette er i utgangspunktet like scenarier, men i scenario 30 er brannveksten ikke begrenset før ved ventilasjonskontroll. Varmeeffekten er derfor betraktelig større i scenario 30. Det fremgår av figurene at betydningen av dette forholdet ikke spiller inn før etter ca. 360 s (6 minutter). Tid frem til kritiske og dødelige forhold i scenario 6, er for øvrig beregnet til mellom 91 (1 min, 31 s) og 319 s (5 min, 19 s). Beregningsforutsetningen har følgelig ingen betydning for resultatene i dette tilfellet, da det er tid frem til kritiske forhold som er undersøkt.

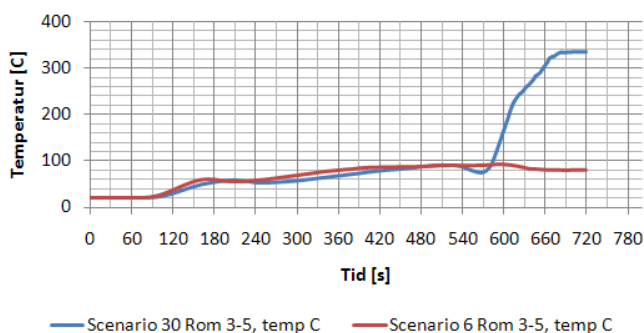
Figur 8.2 – Temperatur i brannrom (stue), scenario 6 og 30, 1,4 m over gulv



Figur 8.3 – Temperatur i entré, scenario 6 og 30, 1,4 m over gulv



Figur 8.4 – Temperatur på soverom og bad, scenario 6 og 30, 1,4 m over gulv



8.3.2 Andre faktorer med betydning for brannsimuleringene

Åpne dører i leiligheten

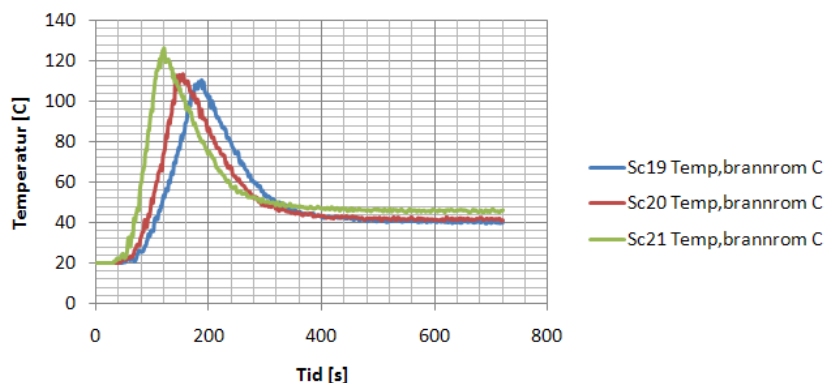
I brannsimuleringene er det forutsatt at alle dørene mellom rom i leiligheten er åpne. Effekten av dette er at leiligheten fylles med røyk raskere, og kritiske forhold oppstår tidligere enn dersom dørene er lukket. For å undersøke konsekvensene av brann i et mindre brannrom, er det gjennomført egne simuleringer av branner i en ettromsleilighet. Dette gir følgelig oversikt over konsekvensene av brann i selve startbrannrommet, både med og uten åpne dører. For naborom vil generelt de beregnede konsekvensene av branner være i overkant ugunstige. Det vil si at simuleringresultatene, som underlag for risikoanalysen, fører til redusert sannsynlighet for å overleve i naborom. Dette gjelder for øvrig alle de beregnede scenariene, og vil virke på samme måte i alle scenariene.

I scenarier uten sprinkleranlegg vil høyst sannsynlig kritiske/dødelige forhold oppstå i hele leiligheten selv om dører er lukket. Dette skjer enten som følge av lekkasjer ved dørkarmer, eller som følge av gjennombrenning av dører. Lukkede dører til rom hvor folk befinner seg, vil imidlertid kunne øke sannsynligheten for at brannvesenet gjør innsats før kritiske/dødelige forhold oppstår i dette rommet.

Dersom startbrannrommet er sprinklet og anlegget fungerer, er det trolig at tiden til det oppstår kritiske/dødelige forhold i naborom økes betraktelig, sammenlignet med åpne dører. Dette skyldes at røyklaget har begrenset varme, og flammespredning er lite sannsynlig. Redusert varmeeffekt fører til redusert produksjon av giftige gasser (CO, CO₂, HCN osv). Røykinnmengden i naborom vil også begrenses av lekkasjeraten rundt dørene.

Fullskala brannforsøk med boligsprinkler ved SINTEF NBL (Drangsholt og Rossebø 2006) og konvensjonell sprinkler ved NIST (Madrzykowski 1991), viser at sprinkleranlegg kan forhindre kritiske/dødelige forhold både i brannrom og tiliggende rom/korridor. Testene ved NIST viser en maksimaltemperatur ved høyde 1,5 m over gulv i startbrannrom på 720 °C i usprinklet rom (gjennomsnitt av tre branntester). Fire tester med sprinkler i brannrommet viser en betydelig temperaturreduksjon. Med konvensjonelle sprinklerhoder (standard responstid) er maksimaltemperaturen funnet å være ca. 150 °C (gjennomsnitt av to branntester). Med rask respons sprinklerhoder er maksimaltemperaturen funnet å være i underkant av 100 °C (gjennomsnitt av to branntester). Maksimaltemperaturen i sprinklede branntester er en peak-verdi, som raskt reduseres til ca. 40 °C etter sprinkleraktivering. Beregningene i denne oppgaven korresponderer bra med temperaturmålingene i branntestene fra NIST. Det er i beregningene forutsatt rask respons sprinklerhoder. Maksimaltemperaturen 1,4 m over gulv i brannrom, er funnet å være ca. 110 – 120 °C, og reduseres raskt til ca. 40 °C etter sprinkleraktivering.

Figur 8.5 – Temperatur 1,4 m over gulv i sprinklet brannrom fra brannsimuleringer



Antennelsesfasen for brannen er utelatt

Brannvekstmodellene i oppgaven tar ikke hensyn til at enkelte branner starter som varmgang og røykutvikling, for eksempel i elektriske komponenter. Sammenlignet med branner som starter som følge av åpne flammer, vil antennelsesfasen eller *inkubasjonstiden*, før det etableres en flammebrann være større. Perioden i inkubasjonstiden preges av langsom varmeutvikling og lite røykproduksjon. Dette kan

redusere tiden til deteksjon av brannen, sammenlignet med deteksjonstider funnet ved bruk av brannvekstmodeller uten inkubasjonstid. På den annen side kan også tidlig røykutvikling føre til deteksjon av branttilløpet før det etableres flammebrann. Dette vil øke sikkerhetsmarginene for personsikkerhet sammenlignet med brannvekstmodellene benyttet i oppgaven. Bukowski (1995) foreslår at inkubasjonstiden for en brann kan modelleres som en sakte, lineært voksende varmeeffektutvikling. Når en varmeeffekt på 25 kW er oppnådd foreslår Bukowski at videre brannvekst kan modelleres med αt^2 -kurver.

Ved å ikke ta hensyn til inkubasjonstiden/antennelsesfasen reduseres tiden frem til det oppstår kritiske forhold i rommet. I risikoanalysen er dette diskutert i forbindelse med valg av brannfrekvens. For å ta høyde for at de simulerte brannene ikke tar høyde for blant annet inkubasjonstid og ulmebranner er den statistiske brannfrekvensen redusert.

Ventilasjonskontrollerte branner i FDS

I enkelte brannsimuleringer (scenario 30-33) er det forutsatt at brannen i leiligheten vokser til den blir ventilasjonskontrollert. I kapittel 5.4.3.4 diskuteres FDSs begrensninger med hensyn til å simulere slike branner. Som følge av at FDS ikke har en transportmodell for uforbrente branngasser vil gjerne brannkonsekvenser i avstand fra flammen/brannrommet underestimeres. Dette skyldes at uforbrente branngasser med høy temperatur kan antenne i områder hvor lufttilgangen er tilstrekkelig for forbrenning. I simuleringene av scenario 30-33 blir brannene ventilasjonskontrollert på slutten av simuleringstiden. Resultatene fra siste del av disse simuleringene vurderes dermed som mindre pålitelige enn øvrige resultater. Basert på modellutformingen kan det antas at brannkonsekvenser i korridor og trapperom er noe underestimerte, mens brannkonsekvensene i selve brannleiligheten er noe overestimerte. Konsekvensen av dette er at branner som ikke er forutsatt sprinklerkontrollert, beregningsmessig vurderes å medføre reduserte konsekvenser for rømningsveier enn de i virkeligheten vil medføre. Dette vil videre jevne ut forskjellene mellom et brannteknisk boligblokkkonsept basert på sprinkleranlegg, og et brannteknisk boligblokkkonsept uten.

Røykluke i trapperom

Innledende brannsimuleringer viste at trapperommet over brannetasjen raskt ble fylt av røyk. Dette førte til redusert sikt. For å undersøke mulighetene for å luften ut noe av denne røyken og dermed forbedre sikten i trapperommet, ble det lagt inn en automatisk røykluke med areal på 1 m² i toppen av trappen, kombinert med en automatisk åpning ved inngangsdør på 2 m² (scenario 29 og 30).

Simuleringene viser at røykventilasjonen i trapperommet ikke gir forbedret sikt. Tvert i mot viser simuleringene økt temperatur og større andel narkotiske gasser (CO og CO₂) i trapperommet. Dette skyldes sannsynligvis økt lufttilgang til brannen via trapperommet. En større andel av forbrenningen foregår dermed i eller i direkte forbindelse med, trapperommet. Automatisk røykventilasjon av trapperommet synes dermed å være en ugunstig løsning med hensyn til personsikkerhet og sikring av rømningsveier. Der det etableres røykluker i trapperom er det følgelig av betydning av denne kun opereres av brannvesenet i forbindelse med utlufting av røyk etter en brann.

8.4 Diskusjon av risikoanalysemodell

8.4.1 Ikke tatt med kjeller eller loft i modelleringene

I risikoanalysen og brannsimuleringene er det kun gjort analyser for brann i leilighet, med videre spredning til rømningsveier. Brannscenarier i kjeller, loft og rømningsveier er ikke vurdert. Brannscenarier i trapperom er imidlertid diskutert ovenfor.

Det er vanlig at nye boligblokker bygges med underliggende parkeringskjellere. Dette skyldes ofte reguleringsbestemmelser om opprettelse av tilstrekkelig antall parkeringsplasser per bolig. Eldre boligblokker har ofte kjeller med vaskerom, tekniske rom og bodarealer. Loftet benyttes ofte til boder for beboerne.

I mange tilfeller er kjeller- og loftarealer store og åpne. Dersom boligblokken har flere oppganger/trapperom er gjerne kjeller forbundet med alle oppgangene. Et mulig brannscenario i kjellere er dermed at flere oppganger blokkeres av en brann i kjelleren. Effekten av å redusere antall leiligheter tilknyttet samme oppgang reduseres dermed, ved å etablere et svakt punkt i kjelleren. I de tilfellene begrensning av antall leiligheter tilknyttet felles rømningsveier brukes som en del av brannstrategien, bør det også vurderes om kjellerarealet må ha tilsvarende begrensninger.

Bruken av kjellerarealet vil ha betydning for brannrisiko. I bodarealer kan lagret materiale medføre høy brannenergi. Tennkildene i slike arealer er for øvrig begrenset. I garasjer vil brannenergien ofte være begrenset, men antall tennkilder økes ved at hver bil potensielt kan være en brannårsak.

8.4.2 Brannvesenets innsats i risikoanalysemodellen

Brannvesenets innsats er tatt med som en barriere i risikoanalysemodellen. I oppgaven er det forutsatt at de sammenlignede boligblokkene er plassert på samme sted, hvor innsatstiden for brannvesenet er 5 minutter. I praksis vil innsatstiden for brannvesenet variere etter hvor blokken er plassert og når på døgnet brannen oppstår. Forhold som påvirker den faktiske tiden fra brannstart til brannvesenet starter innsats er blant annet:

- Installasjon av automatisk brannalarmanlegg med direkte varsling til brannvesenet ved deteksjon av røyk. Dersom det ikke finnes automatisk varslingsanlegg for brannvesenet er tiden til brannvesenet blir varslet avhengig av responsen til beboerne i blokken. Dette kan følgelig medføre alt fra varsling når brannen oppdages til ingen, eller meget forsinket, varsling.
- Tid på døgnet og trafikale forhold på uttrykningstidspunktet. Det er ikke mulig å bestemme når på døgnet en brann skal oppstå. Brannvesenet må følgelig forholde seg til den trafikkmengden og de utfordringer dette medfører på tidspunktet for uttrykning. Statistikk viser for øvrig at de mest alvorlige brannene oppstår på kvelds-/nattestid. I denne perioden er trafikken på atkomstveiene normalt begrenset.
- Atkomstforhold rundt boligblokken. Feilparkerte biler kan forsinke eller forhindre brannvesenets innsats. God planlegging av utearealer ved prosjektering av en boligblokk kan redusere sannsynligheten for sperrede atkomstveier ved brann. Oppfølging av regler for parkering i borettslag/sameie (vaktmester/brannvernleder/brannansvarlig) kan redusere sannsynligheten ytterligere.
- Hvilken etasje som brenner. Dersom det brenner i en etasje høyt oppe i blokken vil det ta lengre tid før mannskapene kommer frem til innsatsstedet. Brannheis for forflytning av brannvesenets utstyr og personell kan redusere tiden det tar å forflytte seg oppover i etasjene. I Norge brukes brannheis kun til å transportere utstyr per dags dato. Økt fokus på evakueringsheiser etter World Trade Center-kollapsen i 2001, kan for øvrig tenkes å endre denne praksisen over tid. En brannsikker evakueringsheis kan også tenkes å kunne brukes til transport av brannvesenets personell.
- Brannvesenets innsatsstrategi ved ankomst. I mange branner er det et lite tidsvindu mellom liv og død. Forsinket innsats i brannrommet, som følge av valg av innsatsstrategi ved ankomst, kan medføre at en person omkommer i stedet for at personen kun blir skadet. Basert på den

tilgjengelige informasjonen brannvesenet har ved ankomst, kan det ikke forventes at den strategien som medfører minst skader på liv og materielle verdier alltid velges.

Brannvesenets innsats er tatt med i risikoanalysemodellen fordi en del av tiltakene, automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg, har direkte betydning for brannvesenets slukke- og redningsmuligheter. Dersom ikke brannvesenets innsats hadde vært med i modellen underestimeres følgelig verdien av disse tiltakene. Når sammenligningen er utført med like forutsetninger vurderes det som relevant å inkludere brannvesenets innsats som en barriere i risikoanalysemodellen. Brannvesenets innsats vil også i praksis ha stor betydning for brannrisiko. Dette synliggjøres gjennom statistikken til DSB, hvor det er anslått at brannspredningen ble stanset av brannvesenet i 67 % av brannene i 2007 (DSB 2007:26). Hva dette tallet faktisk sier om de brannene som ble slukket er usikkert. Tallet sier for øvrig at potensialet for større konsekvenser er til stede dersom brannvesenet ikke gjør innsats. Følgelig er det relevant å ta hensyn til brannvesenet i konsekvensdelen av en risikoanalyse.

9. Konklusjoner

Gjeldene tekniske forskrifter (TEK) er funksjonsbaserte og angir generelt kun kvalitative krav til brannsikkerhet. Veiledningen til TEK (VTEK) angir preaksepterte løsningsmodeller. Dersom disse løsningsmodellene velges ved prosjektering av en boligblokk, vil minimumsnivået for krav til brannsikkerhet i TEK være ivaretatt. TEK angir for øvrig enkelte detaljkrav, som utelukker løsningsmodeller med bare ett trapperom.

I denne oppgaven er det bygningstekniske regelverket fra 1924 frem til i dag gjennomgått for å kartlegge branntekniske løsningsmodeller, som tidligere har vært tillatte. Videre er det sett bort fra detaljkrav i TEK og etablert et sett med branntekniske løsningsmodeller, som ikke vil ivareta funksjonskrav til antall rømningsveier i dagens forskrift.

Resultatet av gjennomgangen av bygningsregelverket, er en liste med 40 branntekniske løsningsmodeller. Tre av disse modellene er beskrevet som dagens preaksepterte løsningsmodeller, som beskriver minimumsnivået for å ivareta kravene i teknisk forskrift. Øvrige løsninger representerer varianter av de preaksepterte løsningsmodellene, og gamle forskriftsmessige løsningsmodeller med varianter av disse. Løsningsmodellene er vurdert med hensyn til risiko for personer i startbrannleilighet og rømningsveier og sammenlignet med hverandre. I sammenligningene er det hovedsakelig lagt vekt på trapperomskonsept, i kombinasjon med de aktive brannsikringstiltakene røykvarsler, røykvarsler og sprinkleranlegg, brannalarmanlegg og brannalarmanlegg og sprinkleranlegg. Det er identifisert fire forskjellige trapperomskonsepter:

- ”Tr1-trapper” (åpne trapperom i henhold til byggeforskrift av 1987), som omfatter en løsning der det er direkte atkomst fra leilighet til trapperom. Det vil si at det finnes én fysisk barriere (vegg) mellom leiligheten og rømningsveien.
- ”Tr2-trapper” (lukkede trapperom i henhold til byggeforskrift av 1987), som omfatter en løsning der det er etablert en korridor mellom leilighet og trapperom. Det vil si at det finnes to fysiske barrierer (vegg mellom leilighet og korridor og vegg mellom korridor og trapp) mellom leiligheten og trappen. Det er imidlertid bare én barriere mellom leilighet og korridor, som er felles rømningsvei for hele etasjen.
- ”Tr3-trapper”, som i likhet med Tr2-trapper omfatter en løsning der det er etablert en korridor mellom leilighet og trapperom. Korridoren er for øvrig i tillegg åpen mot det fri, eller trapperommet er utført med overtrykksventilering for å forhindre røykinntregning i trapperommet.
- ”Branntrygge og røykfrie trapperom”, som er en beskrivelse av den trapperomsløsningen med høyeste krav til brannsikring etter byggeforskrift av 1969 til og med byggeforskrift av 1987. Løsningen omfatter en korridor mellom leilighet og en utvendig og brannteknisk atskilt ”balkong”. Trapperommet er skilt fra den utvendige balkongen, som en egen branncelle. Røyk fra en brann i en leilighet må forsere tre barrierer for å trenge inn i trapperommet.

Konklusjonen fra brannsimuleringer og risikoanalyser er at løsningsmodeller basert på sprinkleranlegg, i kombinasjon med enten brannalarmanlegg eller røykvarsler, er fordelaktige med hensyn til å redusere forventet antall omkomne som følge av brann i en boligblokk.

Tabell 9.1 representerer hovedresultatene i denne oppgaven. Tabellen viser alle de 40 løsningsmodellene rangert etter størrelsen forventet antall omkomne, fra lavest til høyest. De preaksepterte løsningsmodellene med ID-nummer 1D2, 1C1 og 2B1 er markert med grønn bakgrunn. Løsningsmodeller som ikke tilfredsstiller teknisk forskrifts funksjonskrav i § 7-27 pkt. 3, men som har lavere beregnet forventet antall omkomne enn beste preaksepterte løsningsmodell, er markert med rød bakgrunn (ID-nummer 4A4, 3B4, 1D4, 1B4, 4A2 og 3B2). Løsningsmodeller som ikke tilfredsstiller

teknisk forskrifts funksjonskrav i § 7-27 pkt. 3, men som har lavere beregnet forventet antall omkomne enn dårligste preaksepterte løsningsmodell, er markert med blå bakgrunn (ID-nummer 1B2, 4A3, 4A1, 3B3, 1D3, 1B3, 3B1, 1B1).

Tabell 9.1 – Risikorangering etter konseptets totalrisiko

ID	Beskrivelse	Aktive tiltak	E[omkomne, leilighet]	E[omkomne, korridor]	E[omkomne, trapper]	E[omkomne, konsept]
1C4	To Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,10	3,56
1A4	To Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		0,24	3,71
4A4	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,15	3,71
4B4	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,10	3,97
3A4	To Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	0,26	4,14
3B4	Ett Tr3	ABA+Sprinkler	3,46	0,10	0,66	4,22
1D4	Ett Tr1, med selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,07	4,53
2B4	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,26	1,28	5,00
1B4	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA+Sprinkler	3,46		1,65	5,11
2A4	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA+Sprinkler	3,46	0,41	1,24	5,11
1C2	To Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,25	5,86
1A2	To Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		0,60	6,20
4A2	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV+Sprinkler	5,60	0,25	0,36	6,22
4B2	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,24	6,85
3A2	To Tr3	RV+Sprinkler	5,60	1,01	0,65	7,26
3B2	Ett Tr3	RV+Sprinkler	5,60	0,25	1,62	7,47
1D2	Ett Tr1, med selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		2,63	8,23
2B2	To Tr2 med røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	0,61	3,01	9,22
1B2	Ett Tr1, uten selvlukker	RV+Sprinkler	5,60		4,04	9,65
2A2	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV+Sprinkler	5,60	1,01	3,04	9,65
1C3	To Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		0,82	12,67
1A3	To Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		1,93	13,78
4A3	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	ABA	11,85	0,82	1,16	13,83
1C1	To Tr1, med selvlukker	RV	12,77		1,74	14,51
4B3	To branntrygge og røykfrie trapperom	ABA	11,85	3,26	0,77	15,88
1A1	To Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		4,13	16,89
4A1	Ett branntrygt og røykfritt trapperom	RV	12,77	1,74	2,48	16,98
3A3	To Tr3	ABA	11,85	3,26	2,09	17,20
3B3	Ett Tr3	ABA	11,85	0,82	5,22	17,88
1D3	Ett Tr1, med selvlukker	ABA	11,85		8,48	20,33
4B1	To branntrygge og røykfrie trapperom	RV	12,77	6,96	1,65	21,38
2B3	To Tr2 med røykskille i korridor	ABA	11,85	1,98	9,76	23,59
3A1	To Tr3	RV	12,77	6,96	4,46	24,18
1B3	Ett Tr1, uten selvlukker	ABA	11,85		13,04	24,89
2A3	To Tr2 uten røykskille i korridor	ABA	11,85	3,26	9,80	24,91
3B1	Ett Tr3	RV	12,77	1,74	11,14	25,65
1D1	Ett Tr1, med selvlukker	RV	12,77		18,10	30,87
2B1	To Tr2 med røykskille i korridor	RV	12,77	4,23	20,88	37,88
1B1	Ett Tr1, uten selvlukker	RV	12,77		27,85	40,61
2A1	To Tr2 uten røykskille i korridor	RV	12,77	6,96	20,92	40,65

I tillegg til å understreke sprinkleranleggets effekt i forhold til å redusere antall omkomne i brann, viser beregningene i denne oppgaven at layout i boligblokken med hensyn til antall leiligheter tilknyttet felles rømningsvei, har stor betydning for forventet antall omkomne ved brann. Løsningsmodeller med korridor, innebærer ofte relativt mange leiligheter per etasje. Dette øker, basert på forutsetningene i denne oppgaven, sannsynligheten for en brann i en gitt etasje i blokken. Dette øker også den potensielle konsekvensen av en brann.

Observasjoner fra brannsimuleringene, som danner delkonklusjoner i oppgaven, men som ikke er tatt inn i risikoanalysen, er blant annet følgende:

- Brannveksthastigheten har stor betydning for tiden frem til det oppstår kritiske eller dødelige forhold i en leilighet, som følge av brann. Det er flere forhold som påvirker brannveksthastigheten. Av de forhold som regelverket påvirker direkte, har hovedsakelig de krav som stilles til branntekniske egenskaper på materialer som brukes på overflater i en leilighet, størst betydning. I dagens regelverk stilles det reduserte krav til slike overflater, sammenlignet med de krav som fulgte for en "branntrygg bygning" etter byggeforskrift av 1969. Basert på dette, vil det kunne antas en raskere brannvekst i nyere leiligheter, enn leiligheter i en "branntrygg bygning". Hvorvidt dette forholdet spiller noen rolle i praksis, er usikkert, ettersom

det ofte benyttes overflater av gips og betong i nye leiligheter, selv om disse overflatene har bedre branntekniske egenskaper enn det som utgjør minimumsnivået.

- Størrelsen på leiligheten (areal og antall rom) har en viss betydning for tiden frem til det oppstår kritiske eller dødelige forhold i en leilighet, som følge av brann. Små leiligheter fylles raskere med røyk, og kritiske og dødelige forhold oppstår raskere. I større grad enn tiden frem til kritiske forhold, har imidlertid nærheten mellom brannen og beboeren betydning i små leiligheter. En liten leilighet (ettroms) har alle de samme funksjonene og tenkildene, som en stor leilighet har, men samlet på et mindre areal. Sannsynligheten for brann kan dermed sies å være omtrent den samme. Det er imidlertid mye større sannsynlighet for at personen befinner seg i startbrannrommet i en ettromsleilighet, enn i en større leilighet med flere rom.
- Stor takhøyde i leiligheten har en positiv betydning for tiden frem til det oppstår kritiske eller dødelige forhold i en leilighet, som følge av brann. Selv om denne faktoren alene ikke kan sies å være avgjørende for å overleve en brann, øker den sannsynligheten for å komme seg ut før det oppstår kritiske og dødelige forhold. I kombinasjon med leilighetens størrelse, gode branntekniske egenskaper på vegg- og takflater, samt sprinkleranlegg, vil økt takhøyde være et mulig brannteknisk tiltak for å øke brannsikkerheten i boligblokken. Kravene til takhøyde har imidlertid i praksis vært de samme fra 1924 frem til i dag med et minimumskrav på 2,5 m i 1924 og 2,4 m i dag.
- Et brennende materiale med høy røykproduksjon, bidrar raskere til kritiske og dødelige forhold i en leilighet, enn et brennende materiale med lav røykproduksjon. I dagens tekniske regelverk stilles det ingen branntekniske krav til den innredningen som skal inngå i en leilighet, det vil si materialbruk i møbler og inventar. Kravene til branntekniske egenskaper på overflater og kledninger på vegger og tak, er følgelig i praksis de eneste reglene som påvirker denne faktoren. Kravene til branntekniske egenskaper på overflater og kledninger, er imidlertid relativt strenge. Det er for eksempel ikke tillatt å kle en innervegg i leiligheten sin med plast, som er et materiale med typisk høy røykproduksjon ved forbrenning. For å kunne påvirke sotproduksjonsraten, må det stilles strengere branntekniske krav til de produktene vi fyller leilighetene våre med.

Basert på oppgavens resultater, synes fokuseringen på trapperomskonsepter å være overvurdert, sammenlignet med den gevinsten som kan forventes med hensyn til reduksjon i antall omkomne i branner i boligblokker. Alternative løsninger og alternative variabler med betydning for brannrisiko, kan gi bedre branntekniske løsningsmodeller, enn de preaksepterte løsningsmodellene, og det til en lavere kostnad. Formuleringen i teknisk forskrift § 7-27 pkt. 3 bør følgelig endres, slik at disse løsningsmodellene kan få den oppmerksomheten de fortjener fra byggherrer, entreprenører og branntekniske konsulenter.

10. Forslag til videre arbeider

Et mulig myndighetsargument for å ikke ha fullstendig funksjonsbaserte forskrifter, kan være manglende tiltro til de private aktørenes faglige kompetanse og integritet, knyttet til å håndtere et fullstendig funksjonsbasert regelverk. Ved å redusere detaljkravene i forskriftene, samtidig som ansvaret flyttes over på private aktører, reduseres myndighetenes kontrollmuligheter og de private aktørenes spillerom øker. Basert på myndighetenes fokus på prosjekterings- og byggefeil, og krav om økt bruk av uavhengig kontroll i forbindelse med byggeprosjekter i kommende plan- og bygningslov, synes muligens ikke argumentet helt urimelig. Studier av dokumentasjon for boligblokkprosjekter, prosjektert etter TEK 1997, vil kunne gi viktige innspill i diskusjonen rundt dette tema, og hvorvidt bransjen har kompetanse til å håndtere fullstendig funksjonsbaserte forskrifter. Det vil imidlertid kunne betegnes som et paradoks dersom myndighetene på den ene siden ønsker å ha funksjonsbaserte forskrifter, og på den andre siden har manglende tiltro til de ansvarlige private aktørene, som godkjennes for ansvarsrett i byggesaker av de samme myndighetene.

Studier av brannsikkerhet i bygninger bør ikke begrenses til prosjektene prosjektert og bygget etter TEK 1997. Det vil også være naturlig å se på overgangen fra gammelt byggesakssystem (før 1997) og nytt byggesakssystem. I det gamle systemet hadde kommunen og brannvesenet en viktig kontrollfunksjon i byggesaken. I tilfeller der det ble prosjektert med avvik fra byggeforskriften ble brannvesenet konsultert og ”tekniske bytter” ble foreslått for å lukke avvikene. Motivasjonen for et teknisk bytte er i prinsippet å vise at en alternativ løsning med et annet teknisk sikkerhetstiltak, er like god som den forskriftsmessige løsningen. Spørsmålet her er imidlertid hvilke krav til dokumentasjon som ble stilt ved inngåelse av slike tekniske bytter etter gammelt byggesakssystem. Hvilke metoder ble benyttet for å vurdere om den alternative løsningen var minst like god som en forskriftsmessige og hvordan ble dette håndtert fra kommune til kommune?

Brannteknisk prosjektering og faget brannteknikk er relativt nytt, sammenlignet med for eksempel arkitekturfaget og byggeteknisk prosjektering. Tidligere ble gjerne de branntekniske utfordringene i et prosjekt ivare tatt av arkitekten eller byggeteknikeren, med brannvesenet som konsulent. Dagens branntekniske rådgivere sitter med høy spesialkompetanse om både faget brannteknikk og brannteknisk prosjektering. Erfaring fra nyere byggeprosjekter er at dokumentasjonsmengden øker, mens de praktiske løsningsmodellene gjerne ikke er vesentlig forskjellige fra tidligere. Hva var dermed hensikten med å innføre funksjonsbaserte forskrifter og nytt byggesakssystem? Var det kun en overføring av ansvar fra kommunen til private aktører? Diskusjonen rundt krav til dokumentasjon i byggesaker vitner om forvirring om hvilken rolle de private aktørene skulle ha i det nye byggesakssystemet. Skulle de overta brannvesenets rolle som konsulenter med myndighet til å godkjenne ”tekniske bytter” basert på faglig skjønn, eller var det en helt ny rolle med vesentlig økte krav til dokumentasjon for å verifisere at en alternativ løsning var like god som den forskriftsmessige? Mer forskning synes nødvendig for å klargjøre de private aktørenes rolle i byggesaken, hvordan brannsikkerhet skal dokumenteres og hvor grensen mellom dokumentasjon og skjønn, eller ”engineering judgement”, går.

Et tema, som så vidt er omtalt i denne oppgaven, er hvordan sosiale forhold påvirker brannsikkerhet. Flere norske studier fra blant annet SINTEF NBL har satt fokus på eldre mennesker med pleiebehov og brannsikkerhet. Studiene viser at denne gruppen er overrepresentert i dødsbrannstatistikken. Andre grupper som synes å være overrepresentert i dødsbrannstatistikken er blant annet alkoholikere, uføretrygdede, straffedømte og personer med lav inntekt (Mostue 2000:28). Generelt er det utført lite forskning på dette tema i Norge. Men dersom det forutsettes at slike faktorer har stor betydning for brannsikkerhet - hvordan skal dette håndteres i branntekniske risikoanalyser? Skal de tekniske forskriftene ivareta sikkerheten til alle, eller bare gjennomsnittspersonene? Mer forskning må utføres for å belyse sosiale forholds betydning for brannsikkerhet og gi innspill til hvordan slike forhold skal håndteres i bygningsregelverket. Dagens regelverk har store likhetstrekk med regelverket fra 1969, der forskriftskrav er flyttet inn i veiledninger med mindre justeringer. Hvis målsetningen for brannsikkerhet er en nedgang i antall omkomne kan det stilles spørsmålsteget ved om ”flikking” på gammelt regelverk er veien å gå videre.

11. Referanser

- Abrahamsen, D.R., og Svalund, J. (2005). Flere eldre mottar hjemmesykepleie [URL]. Statistisk Sentralbyrå (lesedato 14.03.09), tilgjengelig på <http://www.ssb.no/vis/samfunnspeilet/utg/200504/05/art-2005-09-27-01.html>.
- Adressa.no (2009). Storbanner i Trondheim [URL]. Adressa (lesedato 07.06.09), tilgjengelig på <http://www.adressa.no/nyheter/trondheim/bybrannene/article77980.ece>
- Ahrens, M. (2007). U.S. Experience with Smoke alarms and other Fire Detection/Alarm Equipment. National Fire Protection Association, Fire Analysis and Research Division, Quincy, MA, April 2007.
- Aven, T (2005). Foundations of Risk Analysis. A Knowledge and Decision-oriented Perspective. John Wiley & Sons Ltd, April 2005.
- Aven, T (2006). Pålitelighets –og Risikoanalyse. 4. utgave Universitetsforlaget, 2006.
- Aven, T. (2007). Risikostyring. Grunnleggende prinsipper og ideer. Universitetsforlaget, 2007.
- Aven, T. og Vinnem, J.E. (2007). Risk Management. With Applications from the Offshore Petroleum Industry. Springer-Verlag London Limited 2007.
- Aven, T., Boyesen, M., Njå, O., Olsen, K.H. og Sandve, K. (2004). Samfunnsikkerhet. Universitetsforlaget, 2.opplag 2004.
- Aven, T., Røed, W. og Wiencke, H.S. (2008). Risikoanalyse. Prinsipper og metoder, med anvendelser. Universitetsforlaget, 2008.
- Babrauskas, Vytenis (1997). Fire modeling: An introduction for attorneys. Fire Science and Technology Inc. http://www.doctorfire.com/mod_test.html, 1997, lesedato 19.03.2009.
- Berge, A. og Fürst, H.S. (1924). Lov om bygningsvesenet av 22.februar 1924 (BL1924).
- BMB (1998). Mur og betong i bygningsmessig brannvern. Prosjekteringsanvisning. Brannvernsamarbeidet Mur og Betong, Oslo, 1998.
- Bounagui, A., Bénichou, N., Bwalya, A. (2005). Comparison of heat release rate from experiments against numerical predictions and evaluation of life safety in residential houses. Combustion Conference – 2005 Spring Technical Meeting, Halifax, N.S., May 15-18, 2005, pp. 1-7. Institute for Research in Construction, National Research Council, Ottawa, ON, Canada.
- Bounagui, A., Bénichou, N., McCartney, C. & Kashef, A. (2003). Optimizing the grid size used in CFD simulations to evaluate fire safety in houses. NRCC-46760. 3rd NRC Symposium on Computational Fluid Dynamics, High Performance Computing and Virtual Reality, Ottawa, Dec. 2003, pp. 1-8.
- Bryner, N., Madrzykowski, D. & Grosshandler W. (2007). Reconstructing the Station nightclub fire – Computer modeling of the fire growth and spread. National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, Maryland USA. Conference proceeding at Interflam 2007, pp. 1181-1192.
- Buchanan, A.H. (2002). Structural Design for Fire Safety. University of Canterbury, New Zealand. John Wiley & Sons Ltd, November 2002.
- Bukowski, R.W. (1995). Predicting the fire performance of buildings: Establishing appropriate calculation methods for regulatory applications. Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology (NIST), March 1995.
- Bukowski, R.W. (2006). Determining design fires for design-level and extreme events. SFPE 6th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, June 14-16, 2006, Tokyo.
- Bwalya, A. (2008). An overview of design fires for building compartments. NRCC-47655. Fire Technology, v. 44, no. 2, June 2008, pp. 167-184.

- Bwalya, A., Sultan, M., & Bénichou, N. (2004a). A literature review of design fires for fire safety engineering. NRCC-38453. CIB World Building Congress, Toronto, Ontario, May 2-7, 2004, pp. 1-13.
- Bwalya, A., Sultan, M., & Bénichou, N. (2004b). Towards the development of design fires for residential buildings: Literature review and survey results of fire loads in Canadian homes. NRCC-46766. Interflam 2004, 10th international Fire Safety Engineering Conference, Edinburgh, Scotland, July 5-7, 2004, pp. 1-6.
- Byggeforskrifter av 1. august 1969, med endringer sist av 7. oktober 1983 (FBL1969).
- Byggeforskrifter av 15. desember 1949, bind I, II og III (FBL1949).
- Byggforsk (1997). Byggdetaljer 401.010 Funksjonskrav, ytelsesnivåer og tekniske løsninger, mai 1997.
- Byggforsk (2000). Byggdetaljer 554.712 Brannalarmanlegg, oktober 2000.
- Byggforsk (2002). Byggdetaljer 421.431 Lydisolering av gjennomføringer, mai 2002.
- Byggforsk (2003). Byggdetaljer 321.026 Brannsikkerhetsstrategi. Dokumentasjon og kontroll, mars 2003.
- Byggforsk (2005). Byggdetaljer 520.305 Brannvegger i trehusbebyggelse, april 2005
- Byggforsk (2006). Byggdetaljer 520.310 Brannspredning via fasader, oktober 2006.
- Byggforsk (2006). Byggdetaljer 520.380 Røykkontroll i bygninger, mars 2006.
- Byggforsk (2007). Byggforvaltning 614.014 Bygningslovgivningen og byggebestemmelser fra første halvdel av 1800-tallet til 1930, mars 2007.
- Byggforsk (2007). Byggforvaltning 722.310 Etasjeskillere med trebjelkelag i eldre bolighus fra perioden 1850-1955, april 2007.
- Byggforsk Byggdetaljer 520.305 (2005). Brannvegger i trehusbebyggelse. Byggforsk, april 2005.
- Bygningslov av 18. juni 1965 med endringer, sist ved lov av 14. juni 1985 (BL1965).
- Coles, A., Wolski, A. & Lautenberger, C. (2007). Using Fire Dynamics Simulator for flame spread and fire growth modeling. Arup, and University of California, Berkeley. Conference proceeding at Interflam 2007, pp. 1479-1484.
- Cuzzillo, B.R. & Pagni, P.J. (1998). Thermal Breakage of Double-Pane Glazing by Fire. Journal of Fire Protection Engineering, 9 (1), 1998, pp. 1-11.
- DiNenno, P.J., Drysdale, D., Beyler, C.L., Walton, W.D., Custer, R.L.P, Hall, J.R. and Watts, J.M. (2002). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Third edition, 2002.
- DiNenno, P.J., Drysdale, D., Beyler, C.L., Walton, W.D., Custer, R.L.P., Hall, J.R. & Watts, J.M. (2002). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Edition.
- Drangsholt og Rossebø (2006). Vanntåkeanlegg i omsorgsboliger. En kartlegging av hvilken effekt mobile og lett flyttbare vanntåkeanlegg har på brannsikkerheten i omsorgsboliger. (A06108)
- Drysdale, D. (2002). An Introduction to Fire Dynamics, 2nd edition. John Wiley & Sons Ltd, January 2002.
- DSB (2004). Rapport Brann- og uhellsstatistikk 2004
- DSB (2005a). Rapport Brann- og uhellsstatistikk 2005
- DSB (2005b). Rapport Brannårsaksstatistikk 2005
- DSB (2006). Rapport Brannårsaksstatistikk 2006
- DSB (2007). Rapport Brann- og uhellsstatistikk 2007

Ferraris, S., Wen, J.X., Hume, B., Fay, J. & Bosley, K. (2007). Computer modeling of basement fires. Fire and Explosion Research Centre, Kingston University, Friars Avenue, Roehampton Vale, London, UK and Research and Statistics Division, Fire and Resilience Directorate, Department for Communities and Local Government (CLG), Allington Towers, Allington Street, London, UK. Conference proceeding at Interflam 2007, pp. 517-530.

FG, DSB & BE (2001). Tekniske retningslinjer for dimensjonering, prosjektering og installering av sprinkleranlegg i bygninger for boligbruk opp til og med 4 etasjer. Forsikringsselskapenes Godkjennelsesnemnd (FG), Statens Bygningstekniske etat (BE) og Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB), september 2001.

Forskrifter om materialer og konstruksjoner m.m. av 6.oktober 1928 (FBL1928).

Frantzich, H. (2000). Brandskyddsvurdering av vårdavdelninger. Ett riskanalysesverktøy. Lunds tekniska högskola, augusti 2000.

Friday, A. & Mowrer, F.W. (2001). Comparison of FDS model predictions with FM/SNL fire test data. Department of Fire Protection Engineering, University of Maryland, prepared for National Institute of Standards and Technology (NIST), April 2001.

Gupta, A.K., Kumar, R., Yadav, P.K. & Naveen, M. (2001). Fire safety through mathematical modeling. Current Science, Vol. 80, No. 1, 10.january 2001.

Gussgard, G. (2002). Plan- og bygningsloven under endring. Notat utarbeidet i forbindelse med "Prosjekt PBL-2000". Tilgjengelig på (lesedato: 27.03.09)
http://www.pbl2000.no/files/rapporter/seminar_2004/

Hadjisophocleous, G.V. & McCartney, C.J. (2005). Guidelines for the use of CFD simulations for fire and smoke modeling. NRCC-47740. ASHRAE Transactions, v. 111, no. 2, 2005, pp. 583-594.

Hagen, B.C. (2002). Grunnleggende brannteknikk. 9.januar 2002.

Hall, J., (2009). U. S. Experience with Sprinklers and Other Automatic Fire Extinguishing Equipment. National Fire Protection Association, Fire Analysis and Research Division, Quincy, MA, January 2009.

HO-3/2000. Temaveiledning Røykventilasjon, melding HO-3/2000, Statens Bygningstekniske etat, 2000.

Horjen, F. (2001). PBL-97. I et huseierperspektiv. Hvordan bedre dialogen mellom berørte parter og lovgiver i plan- og bygningslovprosessen? Doktor ingeniør avhandling november 2001. Institutt for bygningsteknologi. Fakultet for arkitektur, plan og billedkunst. Norges Teknisk Naturvitenskaplige Universitet.

Hurley, M. & Munguia, A. (2007). Analysis of FDS thermal detector response prediction capability. Society of Fire Protection Engineers (SFPE) and Schirmer Engineering. Conference proceeding at Interflam 2007, 531-540.

Jahn, W., Rein, G. & Torero, J.L. (2009). "The Effect of Model Parameters on the Simulation of Fire Dynamics", Fire Safety Science 9, pp. 1341-1352, 2009. doi:10.3801/IAFSS.FSS.9-1341.

Kristoffersen, B. og Stenstad, V. (2001). Bruk av brennbar isolasjon. SINTEF NBL, rapport STF22 A00851, 12.01.2001.

Landfald, L. (2003). REiNe avklaringar. Artikkel i BE-Nytt nr. 4, 2003.

Lein, B. (1998). Trondheim branntakstprotokoll 1766. Tilgjengelig på (lesedato 27.03.09)
<http://digitalarkivet.uib.no/sat/1766brtxt/1766index.htm>

Liebe, G. (2000). Brannfysikk. 2.utgave, 2.opplag, 2000. Norges Brannskole, ISBN 82-7485-199-4.

Madrykowski, D. (1991). The Reduction in Fire Hazard in Corridors and Areas Adjoining Corridors Provided by Sprinklers. NISTIR 4631, National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, Maryland USA. July 1991.

- McGrattan, K. (2005a). FDS Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1019. September 2005.
- McGrattan, K. & G. Forney (2005). FDS Fire Dynamics Simulator (Version 4) User's Guide. NIST Special Publication 1019. September 2005.
- McGrattan, K. (2005b). Fire Modeling: Where Are We? Where Are We Going? Fire Safety Science. Proceedings. Eighth (8th) International Symposium. International Association for Fire Safety Science (IAFSS). September 18-23, 2005, Beijing, China, Intl. Assoc. for Fire Safety Science, Boston, MA, Gottuk, D. T.; Lattimer, B. Y., Editor(s)(s), 53-68 pp, 2005.
- McGrattan, K. (2007). Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications. Volume 7: Fire Dynamics Simulator (FDS). U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research (RES), Rockville, MD, 2007, and Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA, NUREG-1824 and EPRI 1011999.
- McGrattan, K., J. Floyd, G. Forney, H. Baum, and S. Hostikka (2003). "Improved Radiation and Combustion Routines for a Large Eddy Simulation Fire Model," Fire Safety Science — Proceedings of the Seventh International Symposium, International Association for Fire Safety Science, Boston, MA, 2003.
- McGrattan, K.B., Hamins, A., Stroup, D. (1998). Sprinkler, Smoke & Heat Vent, Draft Curtain Interaction - - Large Scale Experiments and Model Development, NISTIR 6196-1, September 1998.
- Merci, B. & Van Maele, K. (2007). Assessment of steady and unsteady CFD simulations of a single side well-ventilated fire in a small compartment. Ghent University, Belgium and Fund of Scientific Research, Flanders, Belgium. Conference proceeding at Interflam 2007, pp. 919-928.
- Mostue og Opstad, 2002, A01118: Effekt av brannverntiltak: vegger og sprinkler: Pålitelighetstall osv: samme som Mostue, 2000 (Mostue og Opstad, 2002, A01118, s. 20).
- Mostue og Stensaas, 2002, A02117: Effekt av boligsprinkler i omsorgsboliger:
- Mostue, Stensaas og Wighus (2003). Forventet effekt av faste, aktive slokkeanlegg – Boligsprinkler og vanntåke, rapport A03105, 14.05.03.
- Myhrvold, B (2009). Nye boliger kraftig ned i pris [URL]. Aftenposten (lesedato 06.06.09), tilgjengelig på <http://www.aftenposten.no/pengenedine/article3062247.ece>
- NEF (2009). Eiendomsmeglerbransjens boligprisstatistikk. Mai 2009. Utgitt av Norges Eiendomsmeglerforbund og Eiendomsmeglerforetakenes Forening. Utarbeidet av Econ Pöyry for Finn.no.
- Nelson, H.E. (1990). FPETool: Fire Protection Engineering Tools for Hazard Estimation. NISTIR 4380, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1990.
- NFPA HB
- Njå, O. og Nilsen, A.R. (2004). Bruk av risikoanalyser vedrørende planlegging og drift av vegtunneler. Rapport RF – 2004/103.
- Njå, Ove og Nilsen, Alf Reidar. Bruk av risikoanalyser vedrørende planlegging og drift av vegtunneler. Rapport Rogalandforskning (RF) – 2004/103.
- NKB (1994). Performance Requirements for Fire Safety and Technical Guide for Verification by Calculation. Nordic Committee on Building Regulations, NKB Fire Safety Committee. NKB Committee and Work Reports 1994:07 E.
- NKB (1994). Performance Requirements for Fire Safety and Technical Guide for Verification by Calculation. Nordic Committee on Building Regulations, NKB Fire Safety Committee. NKB Committee and Work Reports 1994:07 E.
- Norges Standardiseringsforbund (1998). NS 3901 Risikoanalyse av brann i byggverk, 06.05.1998.

- Norges Standardiseringsforbund (1998). Veiledning til NS 3901 Risikoanalyse av brann i byggverk, 01.10.1998.
- NOU (2003:24). Mer effektiv bygningslovgivning. Grunnprinsipper og veivalg. Utbyggingsavtaler. Bygningslovutvalgets første delutredning. Utredning fra Bygningslovutvalget, oppnevnt ved kongelig resolusjon 15. mars 2002. Avgitt til Kommunal- og regionaldepartementet 21. oktober 2003.
- NOU (2005:12). Mer effektiv bygningslovgivning II. Bygningsutvalgets andre delutredning med lovforslag. Utredning fra bygningslovutvalget, oppnevnt ved kongelig resolusjon 15.mars 2002. Avgitt til Kommunal- og regionaldepartementet 28. juni 2005.
- NS-EN 12845:2004. Faste brannslukkesystemer. Automatiske sprinklersystemer. Dimensjonering, installering og vedlikehold. Norsk Standard, 2.utgave, desember 2004.
- Nystedt, F. (2001). Bostandsbränder och sprinkler. En koppling til brandteknisk dimensionering. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden. Rapport 3108, Lund 2001.
- Nystedt, F. (2003). Deaths in Residential Fires. An Analysis of Appropriate Fire Safety Measures. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden. Report 1026, Lund 2003.
- Opstad, K. og Stensaas, J.P. (1998). Håndbok i Branntekniske Analyser og –Beregninger. SINTEF Bygg og Miljøteknikk – Norges Branntekniske Laboratorium, Trondheim 1998.
- Oslo brann- og redningsetat (OBRE 2002). Brannsikker bygård - Prioritering av sikkerhetstiltak. Prosjektgruppa ”Brannsikker bygård”, Oslo Brann- og Redningsetat, 2002.
- Palisade (2002). Guide to Using @RISK. Risk Analysis and Simulation Add-in for Microsoft® Excel, version 5.0, May 2008.
- PD 7974-7:2003 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Part 7: Probabilistic risk assessment
- Peacock, R.D. & Babrauskas, V. (1991). Heat release rate: The single most important variable in fire hazard. Fire Safety Journal 18 (1992), pp. 255-272.
- prNS-INSTA N/A-1:2008. Boligsprinkler - Del 1: Dimensjonering, installering og vedlikehold. Høringsutgave 14.11.2008.
- Proulx, G. (2001). Occupant behaviour and evacuation. NRCC-44983. Proceedings of the 9th International Fire Protection Symposium, Munich, May 25-26, 2001, pp. 219-232.
- Proulx, G. (2002). The Pros and Cons of Protect-In-Place. NRCC-45668, Fire Australia 2002, June 26, 2002.
- Proulx, G. (2003). Playing with fire: understanding human behaviour in burning buildings. NRCC-46619. ASHRAE Journal, v. 45, no. 7, July 2003, pp. 33-35.
- Proulx, G. (2007a). Human behaviour in fire engineering: the North American experience. NRCC-49701. Proceedings of the 2007 AGM Conference and Exhibition, Extending the Boundaries of Fire Engineering, Cambridge, UK, July 12-13, 2007, pp. 1-3.
- Proulx, G. (2007b). Response to fire alarms. NRCC-49272. Fire Protection Engineering, no. 33, Winter 2007, pp. 8-14.
- Rausand, Marvin. Risikoanalyse. Veiledning til NS 5814. TAPIR forlag 1991.
- Rein, G., Empis, C.A. & Carvel, R. (2007). The Dalmarnock fire tests: Experiments and modelling. School of Engineering and Electronics, University of Edinburgh, 2007. ISBN 978-0-9557497-0-4.
- Riksantikvaren - By og brann - som ild og vann – et historisk glimt på brann og samfunn. Foredrag Riksantikvaren, <http://www.nblf.no/25-jubileum/Sjur.pdf>, lesedato 27.03.09.
- Rohr, K.D. (2003). U. S. Experience with Sprinklers. National Fire Protection Association, Fire Analysis and Research Division, Quincy, MA, November 2003.
- Samtale med Anders Arnhus, Sjefsingeniør i Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap, 06.06.09.

Schneider, V. (2007). Mathematical and physical modeling of smoke spread in atria-type experimental set-ups. I.S.T. Integrierte Sicherheitstechnik GmbH, Frankfurt, Germany. Conference proceeding at Interflam 2007, pp. 541-552.

SINTEF Byggforsk (2006). Byggdetaljer 520.380 Røykkontroll i bygninger, 2006.

Skelly, M.J. (1990). An experimental investigation of glass breakage in compartment fires. Virginia Polytechnical Institute and State University. Sponsored by National Institute of Standards and Technology (NIST), NIST-GCR-90-578, June 1990.

SSB (2009a). Antall boliger, etter bygningstype og byggeår. 1. januar 2008 [URL]. Statistisk Sentralbyrå (lesedato 11.06.09), tilgjengelig på <http://www.ssb.no/emner/10/09/boligstat/tab-2008-06-26-03.html>.

Statens Bygningstekniske Etat (1997). Temaveiledning Brann i rekkehus melding HO-3/1997.

Statens Bygningstekniske Etat (2000). Temaveiledning Røykventilasjon melding HO-3/2000.

Statistisk Sentralbyrå, befolkningsstruktur:

http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/Default_FR.asp?PXSid=0&nvl=true&PLanguage=0&tilside=selecttable/MenuSelS.asp&SubjectCode=02

Statistisk Sentralbyrå, tabell 03026: Folkemengde, etter kjønn og ettårig alder. 1. januar (K)

<http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/define.asp?SubjectCode=02&ProductId=02.01&MainTable=Rd0002AaX1&contents=Personer1&PLanguage=0&Tabstrip=SELECT&Qid=0&nvl=True&mt=0&pm=y&SessID=3710779&FF=2&gruppe1=Hele&gruppe2=Hele&gruppe3=Hele&gruppe4=Hele&VS1=Landet&VS2=Kjonn&VS3=AldGrupp19&VS4=&aggreseotr=3>

Statistisk Sentralbyrå, tabell 03179: Personer i privatboliger, etter alder, boligens byggeår og bygningstype (B)

<http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/define.asp?SubjectCode=02&ProductId=02.01&MainTable=FoBBolig13Avrund&contents=&PLanguage=0&Tabstrip=SELECT&Qid=0&nvl=true&mt=1&pm=&SessID=3710779&FF=2&gruppe1=Hele&gruppe2=Hele&gruppe3=Hele&gruppe4=Hele&gruppe5=Hele&VS1=Landet&VS2=AldGrupp25&VS3=ByggeAar3&VS4=BygnType2&VS5=&aggreseotr=1>

Statistisk Sentralbyrå, tabell 03226: Bosatte i privatboliger, etter bygningstype, sentralitet, landbakgrunn og Oslo/resten av landet.

<http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?MainTable=FoBInnvBoforh2&SubjectCode=02&planguage=0&nvl=True&mt=1&nyTmpVar=true>

Stenstad, V. (1983). Eldre murgårdar og brann. Ei undersøking av murgårdar bygd i perioden ca. 1870 – 1940, spesielt med tanke på branntekniske forhold og brannsikring. Avhandling for dr.ing.-graden, Institutt for Husbyggingsteknikk, Norges Tekniske Høgskole, Universitetet i Trondheim, 01.11.1983.

Stenstad, V. (1997). Risikoanalyse av fleretasjes bolighus i trekonstruksjoner. Rapport fra Byggforsk, Norges byggforskningsinstitutt, 21.04.97.

Stensaas, J.P. og Mostue, B.A. (2005). Ny kunnskap om brann offshore. En innføring i ny kunnskap om brann offshore, tilegnet gjennom de siste 10 års forskning – 2. utgave. NBL A04148. 2005-02-14.

Støa, E. og Aune, M. (2003). Byboliger, bokkvalitet og bærekraft – Urbane boligkulturer sett i lys av ressursbruk og miljøadferd. Kunnskapsstatus og spørsmål for videre forskning. Rapport STF22 A03525, Sintef Bygg og miljø, Arkitektur og byggeteknikk, desember 2003.

Sundström, B. (2002). A methodology to create a design fire, NIST workshop Gaithersburg 2002-03-04 - 2002-03-06. SP-Fire Technology, Sweden.

Terje Aven, Marit Boyesen, Gottfried Heinzerlinger og Ove Njø. Risikoakseptkriterier og akseptabel risiko i transportsektoren. En kunnskapsoversikt. Rapport RF – 2003/072.

Thunderhead Engineering (2006). PyroSim User Manual 2006.2.

Tinaburri, A. & Ponziani F.A. (2007). Modeling issues for the fire dynamics reconstruction in a two room, single storey, setup. Central direction for prevention and technical safety – Department of firefighters, public rescue and civil defence – Ministry of the Interior, Italy. Conference proceeding at Interflam 2007, pp. 1451-1460.

Toris, D., Rogsch, C. & Seyfried, A. (2007). Usefulness of finer grid to increase the approximation quality of LES-based CFD-calculations related to buoyancy-driven flows. Institute for Building Material Technology and Fire Safety Science, University of Wuppertal, Germany and Centre for Applied Mathematics, Research Centre, Jülich, Germany. Conference proceeding at Interflam 2007, pp. 1369-1372.

Vinnem, J.E. (2007). Offshore Risk Assessment. Principles, Modelling and Application of QRA Studies. 2nd edition, 2007. Springer-Verlag London Limited 2007.

Young, D.T. & Bénichou, N. (2002). How design fires can be used in fire hazard analysis. NRCC-44511. Fire Technology, v.38, no. 3, July 2002, pp. 231-242.

Østby, L. (2004). Den norske eldrebølgen: Ikke blant Europas største, men dyrt kan det bli [URL]. (lesedato 14.03.09). Friggitt 04.03.04. Tilgjengelig på <http://www.ssb.no/ssp/utg/200401/01/>.

12. Vedlegg 1 - Regelverksgjennomgang

12.1 Regelverkshistorie: Fra by til land på grunn av brann

Fortetting og urbanisering, med påfølgende fare for bybranner, var en pådriver for utviklingen av de første bygningslovene i dette landet. Av denne grunn er de første lovene begrenset til de største byene. Den første egentlige bygningsloven i Norge var *Lov om bygningsvesenet i Kristiania av 24.juli 1827* (Gussgard 2002), som gjaldt kun for Oslo.

Den første landsomfattende loven kom først i 1845: *Lov angående bygningsvesenet av 6.september 1845*. Dette var en lov som gjaldt landet generelt, med unntak av Oslo, Bergen og Trondheim, som hadde sine egne lover, som fungerte parallelt med den landsomfattende loven. Den første loven, som inkluderte både byer og landet for øvrig, var *Lov om bygningsvesenet av 22.februar 1924*.

I komitéinnstillingen til *Lov om bygningsvesenet i Kristiania av 24.juli 1827* ble bygningslovgivningens oppgaver beskrevet gjennom å fremheve følgende fem fokusområder (NOU 2003:24):

1. Brannsikkerhet
2. Tilgjengelighet
3. Helse
4. Konstruksjonsmessig utførelse
5. Estetikk

I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i bygningslovene av 1924, 1965 og 1985 med tilhørende forskrifter av 1928, 1949, 1969, 1985, 1987 og 1997 for å beskrive utviklingen av krav til brannsikkerhet i boligblokker.

12.2 Saksbehandling – forenkling og privatisering

Med hensyn til saksbehandling i byggesaker går det et klart skille mellom regelverket før 1997 og regelverket som kom i 1997. Dette er basert på byggesaksreformen, som ble vedtatt i 1995.

Før byggesaksreformen, var det kommunen som hadde ansvar for å kontrollere at det branntekniske sikkerhetsnivået i bygninger var i samsvar med byggeforskrifter. Den lokale bygningsmyndigheten foretok både saksbehandling og kontroll i byggesakene, der brannvesenet ofte var saksbehandler for branntekniske forhold ved bygningene. Lokale bygningsmyndigheter foretok også byggeplasskontroll for å kontrollere overensstemmelse mellom bygningens utførelse og gjeldende regelverk. Brannvesenet fungerte ofte som en rådgiver for byggeprosjektets aktører, med hensyn til å klarlegge ytelsesnivået i forskrifter, samt å godkjenne ”tekniske bytter”, der det ble gjort avvik fra byggeforskriftene (NOU2005:12: kapittel 24.2).

Ved innføring av TEK97 privatiseres byggesakssystemet, og de tekniske forskriftene suppleres med *Forskrift om godkjenning av foretak for ansvarsrett av 22.01.97 (GOF)* og *Forskrift om saksbehandling og kontroll i byggesaker av 24.06.03 (SAK)*. Det tidligere kontrollregimet, der kommunens bygningsråd, og brannvesenet, var en aktiv deltaker i byggesakene med hensyn til kontroll, godkjenning av løsninger og behandling av dispensasjonssøknader, erstattes nå med et system basert på *ansvarlige foretak*.

For et søknadspiktig tiltak skal det defineres et foretak som har rollen som *ansvarlig søker*. Ansvarlig søker er det formelle kontaktpunktet mellom byggesaken og bygningsmyndigheten (kommunen), og har ansvar for at alle relevante faglige deler av tiltaket er dekket med ansvar (SAK 1997: § 13):

”Tiltakshaver, foretak og andre med ansvarsrett er ansvarlig for at tiltaket gjennomføres i samsvar med tillatelser og bestemmelser gitt i eller i medhold av plan- og bygningsloven og annet regelverk, jmfør pbl § 95 nr. 3. Ansvarlig søker skal påse at alle deler av tiltaket er dekket med ansvar. Omfanget av ansvaret for ansvarlige foretak eller andre følger av ansvarsretten.”

For at et foretak skal kunne ta på seg ansvar som ansvarlig søker, ansvarlig prosjekterende, ansvarlig kontrollerende eller ansvarlig utførende må foretaket være godkjent for ansvarsrett, enten sentralt

(nasjonalt) eller lokalt (kommunen). Dersom et foretak søker om ansvarsrett i en byggesak, og får tildelt dette, betyr det at (GOF: § 3):

- kommunen godkjenner foretaket for ansvarsrett i samsvar med kravene i GOF,
- foretaket er ansvarlig for å ivareta de krav som gjelder for tiltaket (avgrenset av foretakets ansvarsområde) etter reglene i plan- og bygningsloven, og
- foretaket er adressert for pålegg og sanksjoner gitt av bygningsmyndigheten i medhold av plan- og bygningslovens kapittel XIX.

Systemet med sentral, eller lokal, godkjenning for ansvarsrett i byggesaker, bygger på foretakets utarbeidelse og dokumentasjon av et styringssystem, som ivaretar de kravene som inngår i den sentrale, eller lokale godkjenning. Dersom et foretak søker om sentral godkjenning for prosjektering innenfor et fagområde, skal eksempelvis foretaket ha et styringssystem som sikrer at *”de relevante krav og vilkår i plan- og bygningslovgivningen defineres, synliggjøres og oppfylles i prosjekteringen og at prosjektering i avgrensningen mot annen ansvarlig prosjekterende ivaretas”* (GOF: § 8).

Foretak som søker om godkjenning i byggesak skal avgi egenerklæring, som viser hvordan kravene er ivaretatt. Kommunen, eller Statens Bygningstekniske etat, kan føre tilsyn med oppnåelse av systemkravene (GOF: § 9).

Oppgaver knyttet til tiltak inndeles i *tiltaksklasse* 1, 2 eller 3, innenfor ett eller flere fagområder. Tiltaksklasse gir uttrykk for tiltakets vanskelighetsgrad, og mulige konsekvenser av mangler og feil. Muligheten for at foretaket skal bli godkjent for ansvarsrett innenfor de ulike tiltaksklassene avhenger av foretakets styringssystem og faglige kompetanse. For å bli godkjent for ansvarsrett som ansvarlig prosjekterende innfor den høyeste tiltaksklassen, må foretaket dokumentere tilstrekkelig faglig kompetanse (GOF: §§ 11 og 12).

Teknisk forskrift av 1997 er hjemlet i plan- og bygningsloven av 14.juni 1985. Den største forskjellen fra tidligere regelverk med hensyn til brannkrav, er at TEK er funksjonsbasert og angir kun kvalitative krav til brannsikkerhet. For å dokumentere at brannsikkerheten er ivaretatt i et byggverk, angir TEK § 7-21 to mulige fremgangsmåter (TEK: § 7-21):

1. *”ved at bygget utføres i samsvar med preaksepterte løsninger, eller*
2. *ved analyse og/eller beregninger som dokumenterer at sikkerheten mot brann er tilfredsstillende. Analyse og/eller beregning skal simulere brannforløp og angi nødvendige sikkerhetsmarginer for de ugunstige forhold, som kan inntre ved bruk av byggverket. Det skal dokumenteres at anvendt analyse-/beregningsmetode er egnet til formålet og at dimensjonerende brannbelastning fremkommer ved anerkjente dokumenterbare metoder.”*

Et tiltak, der brannsikkerheten dokumenteres ved analyse og beregninger (metode 2), vil normalt kreve at ansvarlig prosjekterende foretak har sentral, eller lokal, godkjenning for prosjektering og kontroll i tiltaksklasse 3. Tilsvarende gjelder også for byggverk der konsekvensene ved brann kan bli store, det vil si brannklasse 3 og 4 (byggningsbrannklasse 1 etter BF 1987).

Der det benyttes preaksepterte løsninger, eller konsekvensene ved brann i bygningen er liten, vil det ofte være tilstrekkelig at ansvarlig foretak har sentral godkjenning i tiltaksklasse 2 (GOF: §§ 14 og 15).

Veiledningen til TEK angir preaksepterte løsninger, eller løsningsmodeller, som uten videre behov for dokumentasjon, vil tilfredsstillende forskriftens minimumskrav til brannsikkerhet. Den første veiledningen til TEK kom i 1997, men denne ble raskt erstattet med en ny utgave i 1999, pga flere uklarheter og feil. I dette kapitlet omtales derfor ikke utgave 1 av veiledningen. Ytelsesnivået i utgave 1 og 2, skal være identisk (REN 1999: § 7-21).

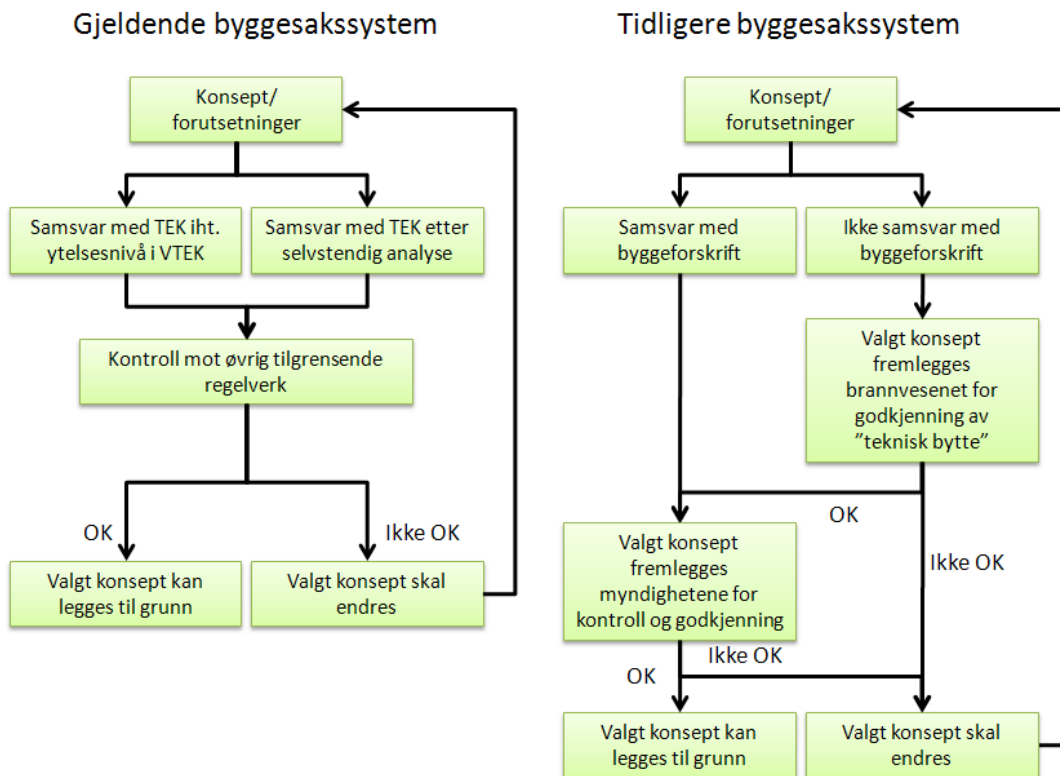
”Denne veiledningens eksempler på preaksepterte løsninger for å oppnå brannsikkerhet i samsvar med forskriftens krav, er basert på løsninger som var i samsvar med tidligere regelverk og som har vist seg å fungere tilfredsstillende. Eksempelene kan derfor være noe konservative og tar i liten grad hensyn til alternative løsningsmåter. Arven fra tidligere regelverk gjør også at enkelte av løsningene er bastant beskrevet og kan fremstå som krav. Det er imidlertid forskriften, TEK, som inneholder krav til byggverk. Veiledningen er som navnet sier, en veiledning og gir uttrykk for løsningsmodell som er tilfredsstillende. Andre preaksepterte løsninger enn angitt i veiledningen

eller anerkjent litteratur vil kunne kreve omfattende og overbevisende dokumentasjon i den enkelte byggesak.”

Dersom det velges tekniske løsninger som fraviker fra veiledningen til TEK, er det den ansvarlig prosjekterende, som har ansvar for å dokumentere at den alternative løsningen har samme sikkerhetsnivå, eller bedre, jamfør metode 2 beskrevet ovenfor. Dette kan sammenlignes med det gamle byggesakssystemet, der brannvesenet hadde ansvarlig prosjekterendes rolle, men uten at det stiltes noen videre krav til dokumentasjon av komparativt sikkerhetsnivå ved ”tekniske bytter”.

Figuren nedenfor viser et forenklet bilde av byggesaksprosessen med hensyn til brannteknisk prosjektering etter nytt og gammelt byggesakssystem. Figuren for gjeldende byggesakssystem bygger på figur 11 i Byggforsk Byggedetaljer 321.026 *Brannsikkerhetsstrategi. Dokumentasjon og kontroll* (2003), mens figuren for tidligere byggesakssystem er utarbeidet med bakgrunn i beskrivelse av systemet i NOU2005:12, kapittel 24.2.

Figur 12.1 – Oversikt over nytt og gammelt byggesakssystem for brannteknisk prosjektering



12.3 Bygningsklassifisering – risiko- og brannklasse

Bruken av bygningsklassifisering, som et virkemiddel for å bestemme ytelsesnivået til tekniske brannsikkerhetskrav, kommer inn med byggeforskrift av 1969, der begrepene *brannherdig* og *branntrygg* bygning benyttes.

En bygning med tre eller flere etasjer skulle i henhold til BF1969 utføres som *branntrygg bygning* (BF 1969:55:33). Det vil si at de fleste boligblokker vil klassifiseres som branntrygg bygning. Krav til brannmotstand for bærende og avskillende bygningsdeler for branntrygg bygning er gitt i tabell 55:41 i byggeforskrift av 1969. Til forskjell fra tidligere regelverk tas det i bruk funksjonskrav til bygningsdeler,

som A60 og A120, i stedet for et spesifikt krav til bygningsdelens mursteinstykkelse, som tidligere er benyttet.

I gjeldende regelverk (TEK97) benyttes ”risikoklasse” og ”brannklasse” til å bestemme ytelsesnivået til en bygning. Virksomheten i bygningen er bestemmende for risikoklasse, mens potensielle konsekvenser ved brann er bestemmende for brannklasse. Brannklasse kan forenklet fastsettes som en funksjon av risikoklasse og antall etasjer. Systemet med brannklasser er i prinsippet en videreføring av bruken av ”byggningsbrannklasser”, som ble benyttet i byggeforskrift 1985 og 1987. Systemet er basert på fire brannklasser, som gir uttrykk for mulige konsekvenser ved brann i byggverket. Til forskjell fra det tidligere systemet med bygningsbrannklasser, betyr nå lav brannklasse liten konsekvens og høy brannklasse stor konsekvens. Den gamle betegnelsen branntrygg bygning, kan generelt sammenlignes med en bygning i bygningsbrannklasse 1 i henhold til BF 1985 og BF 1987, og brannklasse 3 i henhold til TEK 1997.

Tabell 12.1 – Sammenhengen mellom bygningsbrannklasse og brannklasse

Brannklasse (TEK 1997)	Bygningsbrannklasse (BF 1987)
0 – (ikke definert konsekvensnivå)	4
1 – (liten konsekvens)	3
2 – (middels konsekvens)	2
3 – (stor konsekvens)	1
4 – (særlig stor konsekvens)	Ikke definert

Veiledningen til TEK angir preaksepterte løsninger for bygninger som faller inn under brannklasse 1 – 3. Bygninger i *brannklasse 0* stilles det ikke særskilte krav til, mens bygninger i *brannklasse 4* krever brannteknisk dokumentasjon basert på særskilte analyser (risikoanalyse, branntekniske beregninger osv). Veiledningen til TEK kan derfor ikke, uten videre analyser, legges til grunn for prosjekteringen av bygninger i brannklasse 4. Bygningens brannklasse bestemmes på bakgrunn av bygningens bruk, som gir grunnlag for fastsettelse av *risikoklasse*, og antall etasjer. Bygningens risikoklasse bestemmes basert på TEK § 7-22 Tabell risikoklasser.

Tabell 12.2 - Fastsettelse av risikoklasse i henhold til TEK § 7-22 tabell risikoklasser

Risikoklasse	Bare sporadisk personopphold	Alle kjenner rømningsveiene og kan bringe seg selv i sikkerhet	Bare beregnet for våkne personer	Lite brannfarlig aktivitet
1	Ja	Ja	Ja	Ja
2	Ja/nei	Ja	Ja	Nei
3	Nei	Ja	Ja	Ja
4	Nei	Ja	Nei	Ja
5	Nei	Nei	Ja	Ja
6	Nei	Nei	Nei	Ja

En boligblokk vil, som følge av tabellen ovenfor, enten plasseres i risikoklasse 4, eller risikoklasse 6. Forskjellen på disse risikoklassene er hvorvidt alle brukerne kjenner rømningsveiene og kan bringe seg selv i sikkerhet, eller ikke. Veiledningen til TEK angir i § 7-22 tabell 1, at bolig skal plasseres i

risikoklasse 4. Omsorgsbolig skal også plasseres i risikoklasse 4, men har en note som sier at omsorgsboliger, hvor det forutsettes å bo sterkt pleietrengende personer, kan være nødvendig å plassere i risikoklasse 6 (REN 1999: § 7-22). Den siste utgaven av veiledning til TEK (VTEK 2007) angir fortsatt at bolig skal være risikoklasse 4, men sier videre at "bolig for personer med nedsatt funksjonsevne" skal plasseres i risikoklasse 6 (VTEK 2007: § 7-22).

Med enkelte unntak, fastsettes brannklasse (BKL) med bakgrunn i tabellen nedenfor. En boligblokk (risikoklasse 4) med 1 eller 2 etasjer plasseres i BKL 1, 3 eller 4 etasjer i BKL 2 og mer enn 4 etasjer i BKL 3.

Tabell 12.3 – Brannklasse som funksjon av risikoklasse og antall etasjer

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

Det preaksepterte ytelsesnivået beskrevet i veiledning til TEK97 knyttet til vern mot brann i boligblokker, er stort sett det samme som fremgår av BF 1987. Det vil si at de fleste forskriftskravene fra BF 1987, nå er overført til veiledning og omtales som en preakseptert løsning.

Den største endringen fra BF 1987 til TEK 1997 og tilhørende veiledninger, med hensyn til boligblokker, er rømningskonseptet. Etter BF 1987 kunne det bygges boligblokker med kun ett trapperom i ubegrenset høyde, mens TEK 1997 forutsetter minst to uavhengige rømningsveier – noe som i praksis begrenser muligheten for å bygge med ett trapperom i boligblokker, der brannvesenet ikke har tilkomst med sitt stigemateriell.

12.4 Bygningers bæreevne og stabilitet ved brann

I de første bygningslovene står diskusjonen rundt materialbruk sentralt. Frem til 1840-årene var flertallet av Norges befolkning overbevist om at tre var det eneste byggematerialet som egnet seg for norske forhold. Trebygningene ble ofte utført med brannsikker kledning, hvor halvsteins teglkledning, 40mm leirpuss og falsede jernplater er eksempler på slik kledning (Byggforsk byggforvaltning 614.014 2007).

Etter den siste store bybrannen i Oslo i 1624 ble det forsøkt innført murtvang i byen. Av økonomiske grunner var det ikke mulig å gjennomføre dette. Årsaken til dette var at murbygninger var uvanlig, noe som gjorde materialet dyrt og det var få som kunne håndverket. I 1714 ble det etablert "Brandordning" i Oslo. Denne satte forbud mot oppføring av trebygninger i byen og det er trolig at murtvangen i Oslo ble noe mer effektiv etter dette.

Lov om bygningsvesenet i Kristiania av 24.juli 1827 stedfestet murtvangen innenfor hovedstadens grenser. I Bergen ble murtvang innført i største del av byen gjennom *Lov om Bygningsvesenet i Bergen av 19.april 1899*. I Trondheim ble delvis murtvang innført gjennom *Lov om Bygningsvesenet i Trondheim av 20.september 1845*, som en direkte følge av bybrannene i 1841 og 1842 der til sammen over 700 hus brant ned. Full murtvang ble vedtatt i Trondheim ved kgl.res. av 25.februar 1899 og stedfestet i bygningsloven av 1906. Den første loven som innførte generell murtvang i alle landets byer av *Lov om forbud mot opførelse av træbygninger i landets byer m.v.* ("Murtvangloven") av 18.mai 1904, kort tid etter Ålesund-brannen med et skaderesultat på 15 millioner 1904-kroner (Stenstad 1983:2.5-2.6).

Ved at Oslo var tidlig ute med innføring av murtvang finnes det mange murgårder i byen fra perioden 1870-1940. Det karakteristiske med disse murgårdene er murte yttervegger og etasjeskillere i tre. Innvendige bærende og avstivende vegger, inkludert trapperomsvegger, er ofte murte, mens andre innvendige vegger er i tre. En spesiell utgave av disse murgårdene har fått tilnavnet "skorsteinshus". I disse bygningene er ytterveggene i mur og for øvrig er alle innvendige konstruksjoner i tre. Som følge av stor byggeaktivitet i Bergen på slutten av 1800-tallet, med mangelfullt lovverk, ble mange skorsteinshus satt opp i byen i denne perioden (Stenstad 1983).

I perioden før 1924 ble tykkelse på yttervegger bestemt på bakgrunn av bygningenes etasjetall, og det var de samme kravene som gjaldt for Oslo, Bergen og Trondheim i første del av 1900-tallet. Kravene er gjengitt i tabellen nedenfor (Stenstad 1983).

Tabell 12.4 – Minste tykkelse (stein) for murt yttervegg

Antall etasjer	Murtykkelse i etasje nr.				
	1	2	3	4	5
1	1½				
2	1½	1½			
3	2	1½	1½		
4	2	2	2	1½	
5	2½	2	2	1½	1½

For å oppnå dagens krav til brannmotstand for seksjoneringsvegger, 120 minutter brannmotstand, er det nødvendig med mur av ½-steins tykkelse, det vil si ca. 11 cm, mens 1-steins murvegg vil ha brannmotstand > 240 minutter (Byggforsk 520.305 2005 og BMB, 1998). De tidlige kravene til bygninger medførte følgelig en meget høy brannmotstand på bærende yttervegger og innervegger av mur.

Krav med betydning for brannsikkerhet i lov om bygningsvesenet av 1924

Med bakgrunn i at det var innført "murtvang", og trebygninger ikke kunne ha hovedgesims høyere enn 7 m, og ingen vegg høyere enn 9 m, vil alle boligblokker, slik disse defineres i denne oppgaven, være av mur/betong i henhold til lov om bygningsvesenet av 1924. Maksimal bygningshøyde etter bygningsloven av 1924 var i praksis fire til fem etasjer. Dette presiseres i lovens § 74, hvor det angis at "I en bygning kan beboelsesrum eller arbeidsrum ikke innres i mer enn 4 etasjer høide, kjeller og loft medregnet, med mindre annerledes bestemmes ved vedtekt." Sammenlignet med dagens regelverk, som i praksis ikke setter noen høydebegrensning, vil for eksempel antallet leiligheter/bruksrom som tilstøter et felles trapperom være betraktelig lavere.

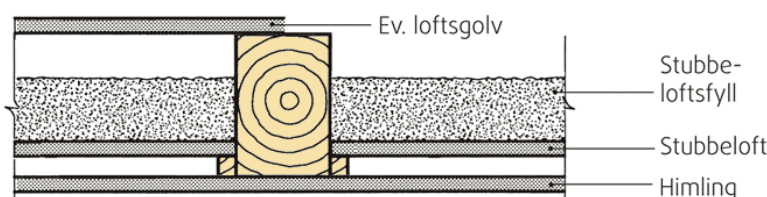
Etasjeskillere i murgårdene kunne utføres med trebjelkelag med stubbeloft og minst 10 cm fyll av "uantendelig stoff". Fyll i vegger skulle godkjennes av bygningsrådet med hensyn til brannsikkerhet og sundhet.

Forskriften av 1949

Forskriften av 1949 gir, på samme måte som foregående forskrift av 1928, krav til ulike vegger utført av ulike materialer. Nytt i forskriften av 1949 er at det stilles krav til at innvendige bærende mellomvegger i bygninger av mur eller annet brannfast materiale, skal utføres av brannfaste materialer. Skillevegger, som bare bærer sin egen vekt, kan utføres av hvilket som helst materiale med tilstrekkelig fasthet, og som ikke bygningsrådet anser som brannfarlig (BF 1949: kapittel 16, § 1 og § 2).

I perioden fra slutten på 1800-tallet og begynnelsen på 1900-tallet, var etasjeskillere med trebjelkelag med stubbeloft og stubbloftsfill vanligst forekommende. Stubbloftsfillet var som oftest fuktet eller tørr leire, men også sagflis, høvelspon, hakket halm, finknust avfall fra teglverkene og koksgrus er eksempler på stubbloftsfill. Først mot slutten av 1940-tallet og begynnelsen på 1950-tallet kom glassvatt- og steinullmatter inn som stubbloftsfill (Byggforsk 722.310 2007). I loven av 1924 stiltes det krav om en minste tykkelse på stubbloftsfillet på 10 cm, og fyllmaterialet skulle godkjennes av bygningsrådet med hensyn til brannsikkerhet og helsemessige årsaker (BL 1924: § 88). I forskriften av 1949 er det tatt inn et eget kapittel om bygninger med etasjeskillere av brannfast materiale. Forskriftens krav var at i murtvangsområder skal etasjeskillere utføres i brannfaste materialer dersom bygningen har mer enn én etasje (BF 1949: kapittel 26, § 1). Denne endringen kan skyldes økende bruk av støpte etasjeskillere i betong i stor grad erstattet bruken av stubbloftsetasjeskillere på første del av 1900-tallet (Byggforsk 722.310 2007). Bygning med 5 eller flere etasjer skulle utføres med tak av brannfast materiale (BF 1949, kapittel 26, § 3).

Figur 12.2 – Vanlig oppbygging for etasjeskillere (fig. 31 b fra Byggforsk 722.310 2007)



En boligblokk i murtvangsstrøk, utført etter byggeforskrift av 1949, skulle med utgangspunkt i myndighetskrav, være ubrennbar. Det stilles krav om at yttervegger skal være av murverk, eller tilsvarende konstruksjoner, innvendige bærende vegger og trapperomsvegger skal være mur eller annet brannfast materiale, samt at etasjeskillere skal utføres i brannfaste materialer. Innvendige vegger, som bare er selvbærende, kan utføres i brennbare materialer dersom dette godkjennes av bygningsrådet. Bygningens tak skulle være i brannfast materiale dersom bygningen hadde 5 etasjer, eller mer.

Byggeforskrift 1969

I byggeforskriftene av 1969 settes det ikke lenger noen begrensning på maksimal byggehøyde og antall etasjer.

I henhold til BF 1969 skulle bygning med tre eller flere etasjer utføres som *branntrygg bygning* (55:33). Det vil si at de fleste boligblokker vil klassifiseres som branntrygg bygning. Krav til brannmotstand for bærende og avskillende bygningsdeler for branntrygg bygning er gjengitt i tabellen nedenfor i henhold til tabell 55:41 i BF 1969. Krav til boligblokker er uthevet med grønn bakgrunn.

Tabell 12.5 – Krav til brannmotstand på bærende bygningsdeler i branntrygg bygning

Bygningsdel	Brannbelastning i MWs/m ² [MJ/m ²] omhyllingsflate:			
	< 105	105-210	210-420	>420
Vertikal bærende og stabiliserende, horisontal bærende bygningsdel:				
a) I bygning med inntil 2 etasjer	A30 ¹⁾	A60 ¹⁾	A120	A240
b) I bygning med 3 eller 4 etasjer	A30	A60	A120	A240
c) I bygning med flere enn 4 etasjer	A60	A90 ²⁾	A180 ³⁾	A240
d) I kjeller under øverste kjellergolv	A60	A90	A180	A240
Horisontal bærende bygningsdel, som ikke er stabiliserende ⁴⁾	A30	A60	A120	A240
Branncellebegrensende, ikke bærende bygningsdel med unntak av yttervegg	B30	B60	B120	B240
Tak og vegg som omslutter innredet eller nyttbar del av loft, dersom høyere klasse ikke kreves i henhold til 1 eller 3	B30 ⁵⁾	B30 ⁵⁾	B60 ⁵⁾	B120 ⁵⁾
Trapperom som kreves utført som branncelle	A30 ⁶⁾	A60 ⁶⁾	A120 ⁶⁾	A240 ⁶⁾
Trapperom som ikke kreves utført som branncelle	A30	A30	A30	A30
Vindu, dør eller luke i bygningsdel som begrenser branncelle, for så vidt ikke annet er særskilt angitt	B30	A60	A60	A60
Kanalvegg til ventilasjonskanal (eller grupper av kanaler) samt sjaktvegg til søppelnedkast som bryter gjennom bygningsdel som begrenser branncelle	A30	A30	A60	A120
Felles brannvegg, 55:462	A120	A240	A240	A240
Annen brannvegg, se 55:462	A120	A120	A180	A240
Noter til tabellen ovenfor:				
<p>¹⁾ I bygning uten loft eller med loft som ikke kan brukes som oppbevaringsrom eller innredes, behøver kravene ikke å oppfylles for takkonstruksjon som er ubrennbar eller beskyttet mot brann nedenfra med tennvernende kledning. Forutsetningen for dette er at varmeisolasjonen består av ubrennbar materiale.</p> <p>²⁾ I bygning med inntil 8 etasjer kan etasjeskiller være i klasse A 60.</p> <p>³⁾ I bygning med inntil 8 etasjer kan etasjeskiller være i klasse A 90.</p> <p>⁴⁾ Unntatt er yttertakkonstruksjon over ikke nyttbart loft med etasjeskiller som begrenser branncelle.</p> <p>⁵⁾ Gjelder bare for brann innenfra.</p> <p>⁶⁾ Trappeløp skal være i klasse A 30 i bygning med brannbelastning inntil 210 MJ/m² og i A 60 ved større brannbelastning.</p> <p>⁷⁾ Gjelder bare hvor bygningsdelen som begrenser branncellen skal være i minst klasse A 60.</p>				

Byggeforskrift 1985 og 1987

Tabellen nedenfor viser kravene til bærende og brannskillende bygningsdelers brannmotstand. Kravene er omtrent de samme som i BF 1969, men det benyttes et nytt klassifiseringssystem, basert på bygningsbrannklasse i stedet for ”brannherdig” og ”branntrygg” bygning. En boligblokk med tre, eller flere, etasjer skal i henhold til BF 1969 bygges som en ”branntrygg” bygning. Branntrygg bygning tilsvarende kravene som stilles for bygningsbrannklasse 1, som er den strengeste av 4 bygningsbrannklasser. Tilsvarende boligblokk, med tre eller fire etasjer, klassifiseres innenfor bygningsbrannklasse 2 etter BF 1985. Det vil si at kravene for lave boligblokker, opptil 4 etasjer, er noe redusert med hensyn til krav til brannmotstand på konstruksjoner. Boligblokker med 5, eller flere, etasjer plasseres i bygningsbrannklasse 1, og vil i praksis utføres med de samme kravene som for ”branntrygg” bygning i henhold til BF 1969.

Tabell 12.6 – Brannmotstand på bærende konstruksjoner (tabell 30:41 i BF1985)

Bygningsbrannklasse	1	2	3	4
Bærende hovedsystem ¹⁾	A 90 ²⁾	A 60	A 10 eller B 30	B 15
Sekundære bærende deler, etasjeskiller som ikke er stabiliserende ¹⁾	A 60	B 60	A 10 eller B 30	B 15
Ikke-bærende branncellebegrensende bygningsdel (unntatt yttervegg)	A 60	B 60	B 30	B 30
Bygningsdel under øverste kjellergolv ³⁾	A 180 ⁴⁾	A 90	A 60	A 60
Bygningsdel som omgir trapperom og heisesjakt utenom trapperom	A 60	A 60	B 30	B 15 ⁵⁾
Trappeløp	A 30	A 30	A 10 eller B 30	Ingen krav
<i>Noter til tabellen</i>				
¹⁾ I bygning uten loft eller med loft som ikke kan nyttes som lager eller innredes, behøver kravene ikke å oppfylles for takkonstruksjoner som består av ubrennbare materialer. For bygning i 1 og 2 etasjer behøver kravene heller ikke å oppfylles for takkonstruksjoner av brannbare materialer når disse er beskyttet mot brann nedenfra med kledning K1 når eventuelt varmeisolasjonsmateriale er ubrennbar.				
²⁾ I bygning inntil 8 etasjer kan etasjeskiller være A 60.				
³⁾ Gjelder bare bygninger med flere enn en kjelleretasje.				
⁴⁾ Krav til brannmotstand er redusert til A 120 i byggeforskrift av 1987 (FBL1987, 30:41)				
⁵⁾ Krav til brannmotstand øket til B 30 i byggeforskrift av 1987 (FBL1987, 30:41)				

I dagens regelverk (TEK 1997) er kravene fra BF 1985 og BF 1987 flyttet inn i veiledningen til TEK, som en preakseptert løsningsmodell med kun mindre justeringer.

12.5 Vern mot antennelse, utvikling og spredning av brann og røyk

12.5.1 Avstand mellom bygninger

Før 1924

I tillegg til materialbruken, var avstand mellom bygningene, gjennom minstekrav til bredde på gater i byene, samt restriksjoner på byggehøyde, viktige virkemidler i de tidlige bygningslovene. På 1800-tallet var byggehøyden for trehus begrenset til 9 m (14 alen). En bredde på 20 alen (12,5 m) ble vurdert som optimal gatebredde på 1800-tallet, først og fremst for å forhindre brannspredning, men også innenfor et helsemessig perspektiv.

For teglsteinsbygninger i Oslo ble maksimal byggehøyde satt til 12 m (19 alen) gjennom loven av 1827. Rundt århundreskiftet ble maksimal tillatt høyde økt til 18 m, med tilsvarende bestemmelser i alle bygningslovene. I tillegg ble byggehøyden gjort avhengig av gatebredden ved at maksimal byggehøyde ikke skulle overstige gatebredden med et tillegg av en fjerdedel. Tilsvarende bestemmelse ble opprettholdt i *Lov om bygningsvesenet* i 1924 (Byggforsk byggforvaltning 614.014 2007).

Lov om bygningsvesenet 1924

En bygnings avstand til nabogrense skulle være minst halve bygningens høyde, regnet for høyeste punkt på veggen som tilstøter nabolomt, eller minst 4 meter. Selvstendige bygninger, eller fløybygninger på samme tomt, skulle ha en avstand tilsvarende halvdel av bygningens sammenlagte høyde, med 8 meter som minimum. To bygninger med maksimal bygningshøyde på 15 m, måtte følgelig ha en innbyrdes avstand på 15 m.

Det var også mulighet for å bygge uten avstand til nabogrensen under forutsetning av at naboene var enige om dette. Slike byggetiltak måtte forhåndsgodkjennes av bygningsrådet og de trufne bestemmelsene skulle tinglyses på vedkommende eiendommer. Dersom bygning i en retning var større enn 40 meter, skulle den for hver 40.meter avskilles/seksjoneres med vegg av minst 1-steins mur, eller

av jevngodt brannsikkert materiale (BL 1924: § 83). I kombinasjon med lovens § 75 pkt. 3, som angav maksimal bygningsdybde på 15 meter fra byggelinje eller nabogrense, blir maksimalt areal avgrenset med slik seksjoneringsvegg 15 m x 40 m = 600 m².

Yttervegg, som var plassert nærmere nabogrunn enn 2,5 meter, skulle utføres som brannvegg. En brannvegg skulle være av minst 1 ½-steins tykkelse og innlagt murverk skulle tildekkes med minst én steins tykkelse (BL 1924, § 83). I forskriften skilles det mellom brannvegg i trebygning og murbygninger. I trebygning skulle brannvegg ha en tykkelse av minst 23 cm (én stein), mens i murbygninger skulle brannveggen være av samme tykkelse som yttervegger generelt (BF 1928: § 44). Dersom takflaten kom nærmere nabogård enn 2,5 m, skulle brannveggen føres minst 30 cm over taket, eller taket isoleres med for eksempel betong eller rabitz under tekkingen (BL 1924: § 83).

Bygningslov av 1965 og byggeforskrift av 1969

Krav til brannsikkerhet er, med BL 1965, flyttet over i forskrift. Forskriften av 1969 har de samme avstandsreglene som tidligere forskrifter, det vil si at det ikke stilles særskilte krav til brannmotstand når avstand mellom byggverk er minst halvdelen av bygningenes sammenlagte høyde og minst 8 meter. Ved mindre avstander skal minst en av veggene utføres som brannvegg (BF 1969: 26:11 og 26:12).

Byggeforskrift 1985 og 1987

Kravene til avstand mellom byggverk i byggeforskrift 1985, er de samme som byggeforskrift 1969. Det stilles krav om brannvegg mellom byggverk dersom avstanden er mindre enn halvparten av bygningenes sammenlagte høyde, eller minst 8 meter (BF 1985: 30:321 og 30:322).

I byggeforskrift av 1987 er det kun krav om brannvegg dersom avstanden er mindre enn 8 m. Det vil si at kravet om brannvegg dersom avstanden er mindre enn halvparten av bygningenes samlede høyde er tatt ut (BF 1987: 30:3222). Tilsvarende gjelder for TEK 1997 og veiledning.

12.5.2 Brannseksjonering og branncelleinndeling

Før 1924

I Oslo og Trondheim ble det i første del av 1900-tallet stilt krav om brannseksjonering av bygningsmassen dersom største lengde på bygningen var over 40 m. Seksjoneringsveggen for hver 40.meter skulle være minst énsteins murvegg uten åpninger, som skulle føres minst 30 cm over takflaten. I Bergen ble største lengde satt til 50 m, men loft skulle seksjoneres for hver 30.meter lengde. Loftseksjoneringen kunne være for eksempel en Rabitz-vegg (Stenstad 1983).

Typisk for murgårdene bygget på slutten av 1800-tallet og begynnelsen på 1900-tallet er yttervegger og bærende innvendige vegger i mur, mens øvrige innvendige vegger i tre. Kravene fra begynnelsen av 1900-tallet var like for Oslo, Trondheim og Bergen, hvor bærende mellomvegger for bjelkeopplegg skulle være minst 1 ½-steins. I øverste etasje kunne 1-steins vegg benyttes. Andre mellomvegger kunne være av treverk (Trondheim: "kompakt tre") (Stenstad 1983).

Etasjeskillere kunne være trebjelkelag. Eventuelle bærende jerndeleer måtte isoleres for eksempel med Rabitz. Til fyll i bjelkelaget skulle det som hovedregel kun brukes tørr leire (Stenstad 1983).

Krav til dører kom først inn i Kristianialoven ved en endring i 1913, der det ble stilt krav om selvlukkende dører fra trapperom til loft, og alle dører skulle ha ildfast glass i lysåpning. Loven for Trondheim av 1906 inneholdt også et krav om at lysåpninger i portromsvegger, eller i dører som vendte ut mot portrom skulle være dekt med "ildsikkert glass" (Stenstad 1983).

Generelt for denne perioden synes å være at enkelte konstruksjoner, det vil si de murte, bærende veggene, har uforholdsmessig høy brannmotstand, sammenlignet med ikke-bærende innervegger, etasjeskillere og dører. Dette gir i utgangspunktet et robust skall for bygningen, mens brannspredning og sammenstyrtning av konstruksjoner internt i bygningen, enklere kan forekomme.

Byggeforskrift 1969

Bygning for leiligheter skulle seksjoneres med brannvegg for hver 50 meter lengde, eller 800 m² grunnflate. Loft, eller hulrom under oppforet brennbart tak, med større grunnflate enn 400 m² deles i avsnitt av høyst denne størrelse med vegg minst A 60.

I byggeforskrift 1969 innføres krav om at ”*felles brannvegg skal ha slik stabilitet at nabobygning kan styrte sammen uten at brannveggenes funksjon vesentlig reduseres*” (BF 1969: 55:425). Dette er et krav, som reduserer sannsynligheten for at svake ledd i bygningens øvrige konstruksjoner, medfører svikt i brannveggen og spredning til nabobygning. Ettersom tidligere murgårder hovedsakelig bestod av robuste bærende yttervegger (for egen bygning) av mur, var behovet for kravet i mindre grad nødvendig. Dersom etasjeskillere i bygningen sviktet, var det likevel sannsynlig at bygningens yttervegger stod igjen.

Dører, eller vinduer i brannvegg, samt spjeld i ventilasjonsgjennomføringer, skulle utføres med brannmotstand minst halvparten av brannveggenes brannmotstand (BF 1969: 55:425).

I bygninger hvor det bare fantes én trapp, skulle golvflaten som sognet til denne trappen ikke overstige 600 m². I bygning hvor det krevdes branntrygg trapp, eller branntrygg og røykfri trapp, og slik trapp var eneste rømningsvei, måtte golvflaten per trapp i bygning, til og med 8 etasjer, ikke være større enn 500 m², og ikke større enn 400 m² i høyere bygning. For leiligheter over flere plan regnes summen av grunnflatene for de aktuelle etasjene, med mindre internforbindelsen er avskilt med konstruksjoner med brannmotstand minst B15 (BF 1969: 55:514).

Byggeforskrift 1985 og 1987

Etter BF1985 og 1987 avhenger krav til boligblokkenes branntekniske utførelse av hvilken bygningsbrannklasse bygningen plasseres i. Tabellen nedenfor viser, som funksjon av etasjer, hvilken bygningsbrannklasse boligblokker skulle plasseres i. Det er noen mindre forskjeller fra BF 1985 til BF 1987, med hensyn til hvilken bygningsbrannklasse boligblokker mellom 2 og 4 etasjer skal plasseres i. Dette fremgår ved at de ulike kravene er angitt i tabellen nedenfor (BF 1985 og BF 1987: 31:1).

Tabell 12.7 – Bygningsbrannklasse boliger, byggeforskrift 1985 og 1987 (tabell 31:1)

Antall etasjer 1985 / 1987	Største bruttoareal per etasje uten oppdeling med brannvegg	Bygningsbrannklasse
1 / 1	1000 m ²	4
2 / 2 og 3	800 m ²	4
3 og 4 / 4	1000 m ²	2 ²⁾
Over 4 ¹⁾	1000 m ²	1 ¹⁾

Noter til tabellen

¹⁾ Terrassehus over 4 etasjer kan utføres i bygningsbrannklasse 2 når hver etasje har utgang direkte til det fri.

²⁾ Øverste etasje kan være i bygningsbrannklasse 3, forutsatt at underliggende etasjeskiller er A 60.

Teknisk forskrift 1997 og veiledning til teknisk forskrift 2007

I dagens regelverk bestemmes seksjoneringsareal på bakgrunn av spesifikk brannenergi i bygningen og aktive brannsikkerhetstiltak. Dersom det ikke finnes noen aktive brannsikkerhetstiltak, kan en typisk boligblokk utføres med seksjoneringsareal pr etasje på inntil 1 200 m². Dersom bygningen har automatisk brannalarmanlegg med direkte varsling til brannvesenet, kan seksjoneringsarealet økes til 1 800 m² pr etasje. Dersom bygningen fullsprinkles er det tillatt med inntil 10 000 m² i samme brannseksjon pr etasje (VTEK 2007: § 7-24).

12.5.3 Materialbruk utvendig og innvendig

Tidlig lovverk

Murvegger (I Bergen: yttervegger og portromsvegger) skulle være rappet, pusset eller spekket på alle tilgjengelige flater. Rapping er en tynn, slemmeaktig kalkpuss. Spekkmur er mørtelfylling av den ytre delen av fugene i den delen av murverk som skal stå upusset. Veggpanel i tre var forbudt i ildfaste trapperom, mens det for øvrig ikke var satt noen restriksjoner på bruk av treverk inne i boliger eller i korridorer. Dersom noen del av himlingen var lavere enn 2,0 m (i Bergen 2,5 m) skulle denne være rappet eller pusset. Bergensloven stilte krav om at vegger i bygninger ikke skulle fylles med strø, høvelspon eller lignende lett antenkelige stoff. Kristianialoven hadde en paragraf som tillot at ventilasjonsrør for ikke-oppvarmet luft kunne utføres i treverk dersom de hadde innvendig metallkledning (Stenstad 1983).

I henhold til bygningsloven av 1924 skulle tak være utført med "ildfast" tekning (BL 1924: § 87). I forskriften defineres ildfast tekning med blant annet følgende aktuelle materialer (BF 1928: § 51):

- Metallplater
- Skiferstein
- Flat takstein av tegl eller sement
- Tjærefri asfaltapp av minst 2 mm tykkelse

Etasjeskillere i murgårdene kunne utføres med trebjelkelag med stubbeloft og minst 10 cm fyll av "uantendelig stoff". Fyll i vegger skulle godkjennes av bygningsrådet med hensyn til brannsikkerhet og sundhet.

Byggeforskrift 1969

I branntrygg bygning med mer enn 4 etasjer skal alle synlige vegg- og takflater ha tennvernende kledning minst klasse A10. Små atskilte rom, som badrom og lignende og avgrensede tak- og veggflater i rom med spesiell innredning er unntatt dette kravet (BF 1969: 55:422). Dette kravet er vesentlig strengere enn dagens ytelsesnivå i VTEK, hvor det i praksis ikke stilles krav til innredning og kledning i brannceller i boliger (VTEK 2007: § 7-24). Kledning på tak- og veggflater i rømningsvei, skulle i henhold til byggeforskrift av 1969 være av ubrennbare materialer (BF 1969: 55:423).

Kledning på yttervegger, og isolasjon i disse, skulle i henhold til byggeforskrift av 1969 være i ubrennbare materialer, men det kunne gjøres unntak for fasadekledning dersom bygningsrådet fant dette forsvarlig. I leilighetsbygninger, opptil 8 etasjer, kunne ikke-bærende yttervegg i en viss utstrekning inneholde brennbart materiale, under forutsetning av at brannvesenet, med sitt slokkeutstyr, kunne komme til bygningens fasader og slokke brann (BF 1969: 55:424).

Byggeforskrift 1985, 1987 og TEK1997

Kravene til brannklasse på kledning og overflater i brannceller er i hovedsak like for byggeforskrift 1985 og 1987, og er angitt i tabellen nedenfor, basert på tabell 30:42 i byggeforskrift 1985. Det er verdt å merke seg at kravet til innvendig overflate i bygningsbrannklasse 1, var In1. Dette er i hovedsak "begrenset brennbare" konstruksjoner, som gips og brannimpregnert treverk, eller mur og betong.

I byggeforskrift 1985 kunne brannceller, med unntak av overnattingssteder, sykehus og pleieanstalter, med inntil 200 m² gulvareal ha kledning K2 og overflate In2, dersom brannvesenet med det stigematerielle det rår over, kunne komme til bygningens fasader (BF 1985: 30:42). I byggeforskrift 1987 var det tillatt å bruke overflate av klasse In2 og kledning K2 i brannceller < 200 m², og krav om brannvesenets tilgjengelighet er fjernet (BF 1987: 30:42).

Tabell 12.8 – Krav til overflater og kledning som funksjon av bygningsbrannklasse (tabell 30:42)

Bygningsbrannklasse	1	2	3	4
	1985/1987	1985/1987	1985/1987	1985/1987
Innvendig overflate	In1/In1 ¹⁾	In2/In2	In2/In2	In2/In2
Utvendig overflate	Ut1/Ut1	Ut1/Ut1	Ut2/Ut2	Ut2/-
Innvendig kledning	K1/K1 ²⁾	K1/K1 ²⁾	K2/K2	K2/-
Utvendig kledning	K1/K1	K1/K1	K2/K2	K2/-
Særkrav for rømningsvei:				
Innvendig overflate	In1/In1	In1/In1	In1/In1	In1/In1
Innvendig kledning	K1-A/K1-A	K1-A/K1-A	K1/K1	K1/K1

Noter til tabell

¹⁾ Vegger kan ha overflate In2

²⁾ Brannceller mindre enn 200 m² kan ha overflate klasse In2 og kledning klasse K2. I byggeforskrift 1985 forutsatte imidlertid dette at brannvesenet hadde tilkomst til alle fasader med sitt stigemateriell.

Forskriftene av 1985 og 1987 representerer en lempning av krav til innvendige overflater og kledninger i høye boligblokker. Mens byggeforskrift 1969 stilte strenge krav om *tennvernende kledning klasse A10* i alle rom for *branntrygge bygninger*, er det tillatt med for eksempel vanlig trepanel (overflate klasse In2 og kledning klasse K2) i vanlige brannceller i boligblokker bygget etter byggeforskrift 1985 og 1987 (BF 1969: 55:422 og BF 1985/BF 1987: 30:42).

Krav til utvendig overflate og kledning har vært omdiskutert de siste årene, som følge av flere endringer i regelverket. Etter byggeforskrift 1969 skulle yttervegger for *branntrygg bygning* (tre eller flere etasjer) i hovedsak være i ubrennbare materialer, dersom ikke bygningsrådet godkjente annet materiale. I byggeforskrift 1985 kunne utvendig fasademateriale for yttervegger i B-konstruksjon, være av klasse K2/Ut2 opptil 4 etasjer. Slike felt måtte ikke ha en sammenhengende bredde på mer enn 20 m, men måtte deles opp med et 10 m bredt felt med klasse K1/Ut1 for hver 20.meter. Felt mellom direkte overliggende vinduer skulle ha klasse K1/Ut1. Dersom ytterveggen var A-konstruksjon kunne fasadematerialet utføres med klasse K2/Ut2 opptil 8 etasjer, dersom brannvesenet kunne komme til hele fasaden for slokking.

I byggeforskrift 1985 er de samme kravene til horisontal avskilling er gjeldende, samt at fasadematerialet skal seksjoneres vertikalt med flammesperre 1 m ut fra fasaden ved hvert etasjeskille i bygning med flere enn 4 etasjer (BF 1985:30:513 og 30:514).

Etter byggeforskrift 1987 kunne utvendig kledning utføres med klasse K2, når utforming av fasaden hindrer brannspredning, eller når brannvesenet med sin innsats kunne hindre slik spredning. Overflate på fasaden kunne være klasse Ut2 dersom utformingen av fasaden hindret brannspredning (BF 1987: 30:512).

Etter dagens gjeldende regelverk skal utvendig fasade på bygninger med mer enn 4 etasjer, utføres med kledning med overflate B-s3,d0, som er tilsvarende gammel klasse Ut1 (VTEK 2007: § 7-24). I REN veiledning til TEK (utgave 2, 1999) var det beskrevet at utvendig kledning kunne ha klasse Ut2, dersom brannvesenet kunne forhindre brannspredning i fasaden. Dette var normalt ivarettatt dersom bygningen hadde mindre enn 4 etasjer og innsatstiden til brannvesenet var mindre enn 10 minutter. I utgave 3 av REN ble det, via en presisjon fra BE (Landfald 2003), sagt at brannvesenet måtte gi aksept for en slik løsning. Diskusjonen rundt brannvesenets atkomst og mulighet for å forhindre brannspredning er nå tatt ut av veiledningen (VTEK 2007).

12.6 Rømningsikkerhet

12.6.1 Rømningsveier og trapper

Bygningslov 1924 og byggeforskrift frem til og med 1949

I bygninger med rom for varig opphold for mennesker i mer enn én etasje, skulle det være uhindret atkomst til minst to uavhengige trapper. Hvis avstanden til terreng, fra vindusbrett, var mindre enn 5 m, kunne rømning via vindu erstatte en trapp. Der brannvesenet hadde ”betryggende redningsapparater” kunne det ved vedtekt bestemmes at én trapp var tilstrekkelig i bygning med tre etasjer. En forutsetning for denne løsningen var at bygningen skulle utføres med ”brannsikker innredning”. Brannsikker innredning betyr at:

1. Samtlige vegger skulle være utført av ildfast materiale, eller bekledd med et av bygningsrådets godkjente uantennelige stoff, og at alle himlinger var pusset. Skapvegger og brystpanel av tre kunne, med bygningsrådets tillatelse anvendes, men ikke i entré. Tapet på vegger og lister av tre var tillatt.
2. Trapper, trapperom og ganger/korridorer som var forbindelse mellom trappene og leilighetene, eller mellom trapp og gate, gårdsrom eller portrom, skulle være utført av mur eller annet ildfast materiale. Inntrinn og rekkverk i trappene kunne være utført i tre, samt at avsatsene kunne være dekket av tre.
3. Dører mellom trapperom og loft skulle være selvlukkende. Lysåpninger i, over eller ved siden av innvendige dører til trapper og i, over eller ved siden av dører mellom entréer og de til disse støtende rom, skulle dekkes med ildfast glass.
4. Trapperom og inngang til dette, også portrom, skulle ikke stå i direkte forbindelse med butikk, lager eller verksted. Kjellernedgang skulle skilles fra trapperommet med ildfast innbygning og ha ildfast, selvlukkende dør.

Avstand fra rom som ble benyttet til varig opphold for personer til trapp skulle ikke være over 25 meter, målt i gangsonen til trapperommet.

Byggeforskrift 1969

Det generelle kravet til rømningsveier i boligblokker er, som tidligere, at rom for varig opphold skal ha uhindret atkomst til 2 rømningsveier (trapper, ganger, utganger), som er uavhengige av hverandre. Vindu kan være én av rømningsveiene dersom avstand fra vindusbrett til terreng er mindre enn 5 m (BF 1969: 55:511).

Dersom brannvesenet var utrustet med egnet redningsmateriell kunne brannvesenets stiger godtas som den ene rømningsveien i boligbygninger, forutsatt at det var adgang til vindu, og i visse tilfeller balkong.

I bygning med branntrygg trapp, eller branntrygg og røykfri trapp, bortfalt kravet om 2 rømningsveier, når golvflate som sognet til en trapp og avstanden til trappen var begrenset (BF 1969: 55:512).

I bygninger hvor det bare fantes én trapp, skulle golvflaten som sognet til denne trappen ikke overstige 600 m². I bygning hvor det krevdes branntrygg trapp, eller branntrygg og røykfri trapp, og slik trapp var eneste rømningsvei, måtte golvflaten per trapp, i bygning til og med 8 etasjer, ikke være større enn 500 m², og ikke større enn 400 m² i høyere bygning. For leiligheter over flere plan ble summen av grunnflatene for de aktuelle etasjene regnet sammen, med mindre internforbindelsen var avskilt med konstruksjoner med brannmotstand minst B15 (BF 1969: 55:514).

Maksimal avstand mellom eneste trapp og inngangsdør i leilighet er som følger (BF 1969: 55:515):

- 25 m i bygning opptil 4 etasjer
- 15 m i bygning med mellom 5 og 8 etasjer
- 10 m i bygning der det kreves branntrygg, eller branntrygg og røykfri trapp

Tabellen nedenfor viser hvilke trappeløsninger som kunne brukes i henhold til byggeforskrift av 1969. Tabellen baserer seg på kapittel 55:522 i forskriften.

Tabell 12.9 – Krav om antall trapper som funksjon av bygningens høyde (BF 1969)

Bygningshøyde	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
Mindre enn 8 etasjer (øverste golv i leilighet høyst 22 m over terreng)	To trapper av typen "åpen trapp" eller "lukket trapp"	Én "åpen trapp" eller "lukket trapp" og rømning via brannvesenets stigemateriell	Én "branntrygg trapp"
Mer enn 8 etasjer (øverste golv i leilighet over 22 m over terreng)	To "branntrygge trapper"	Én "branntrygg og røykfri trapp"	-

Forskriften av 1969 stilte krav om nødbelysning i trapper og rømningsveier. I bygning med flere enn 2 etasjer skulle 2 lyspunkter, som var plassert inntil hverandre, i trapperom uten dagslys, være tilsluttet forskjellige sikringer. I bygning med flere enn 16 etasjer skulle heis og trapperom uten dagslys ha reservebelysning, som skulle tennes ved strømbrudd og brenne i minst én time. I branntrygg trapp og i branntrygg og røykfri trapp, med tilhørende utganger, skulle elektriske ledninger for belysning være beskyttet mot brann og tilsluttet særskilte sikringer (BF 1969: 55:5226).

Byggeforskrift 1985 og 1987

Krav til antall trapper og utførelse av trappene var de samme som i byggeforskrift 1969 (BF 1985 og BF 1987: 31:3). Forutsetningene for løsningene er for øvrig redusert, ved at det ikke lenger stilles krav om maksimalt areal per etasje, foruten seksjoneringskravene i tabell 31:1, der det bare er tilkomst til én trapp, det vil si 1 000 m² for bygning med mer enn 4 etasjer. I byggeforskrift 1969 var maksimalt tillatt areal 600 m², der det bare var tilkomst til én trapp, og maksimalt 400 m² i bygning over 8 etasjer (BF 1969: 55:512). Arealet pr etasje ble imidlertid i praksis begrenset av krav til maksimal avstand til trapp fra leilighet. Maksimal avstand mellom eneste trapp og inngangsdør i leilighet er identiske i byggeforskrift 1969 og 1985 (BF 1969: 55:515 og BF 1985: 31:3):

- 25 m i bygning opptil 4 etasjer
- 15 m i bygning med mellom 5 og 8 etasjer
- 10 m i bygning der det kreves branntrygg, eller branntrygg og røykfri trapp

I byggeforskrift 1987 ble krav til maksimal avstand fra dør i branncelle, til nærmeste trapp 15 m når det bare fantes én trapp eller utgang, og 30 m når det fantes flere trapper eller utganger (BF 1987: 30:72).

I forskrift av 1985 og 1987 er krav om røykvarsler tatt inn: "Alle brannceller skal ha røykvarsler anbragt slik at den gir 60 dB(A) i soverom når mellomliggende dører er lukket" (BF 1985 og BF 1987: 31:4).

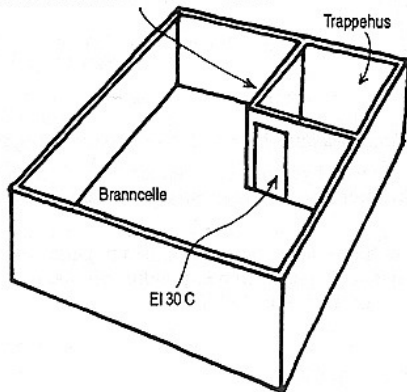
Etter byggeforskrift 1985 skulle bygning med flere enn 2 etasjer ha ledelys (BF 1985: 30:782). I byggeforskrift 1987 ble dette moderert til at bygning over 2 etasjer skulle ha ledelys, med mindre rømningsveien hadde vinduer (BF 1987: 30:782).

Teknisk forskrift 1997 (TEK1997)

Ved innføringen av TEK, og tilhørende veiledninger, endres de tidligere betegnelsene på trapperom. De nye betegnelsene; "Tr1", "Tr2" og "Tr3", benytter et klassifiseringssystem fra 1 – 3, som beskriver i hvor stor grad trappen er beskyttet mot røykinntrengning. En trapp type Tr1, er i mindre grad enn en trapp av type Tr2 og Tr3, beskyttet mot røykinntrengning. Tabellen nedenfor viser prinsippkisser over de aktuelle trappetyperne, samt en beskrivelse knyttet opp mot de gamle betegnelsene "åpent", "lukket", "branntrygt" og "branntrygt og røykfritt" trapperom.

Tabell 12.10 – Trapperomstyper etter TEK 1997

Vegg EI 30 i brannklasse 1 og EI 60 i ubrennbare eller begrenset brennbare materialer i brannklasse 2, 3, og 4

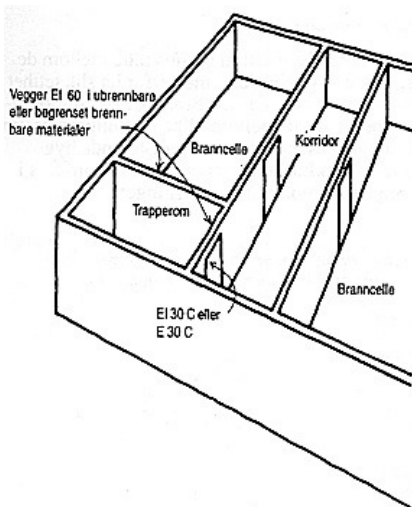


Trapperom type "Tr1" (Tidligere "åpent" trapperom)

"Trapperom Tr 1 har dør direkte mellom trapperom og bruksenhet, f.eks leilighet eller kontor som har dør direkte til trapperommet.

Trapperommet utføres med skillekonstruksjoner med brannmotstand EI 30 for bygg i brannklasse 1 og EI 60 for bygg i brannklasse 2 eller 3. I brannklasse 2 og 3 må konstruksjonene være utført i minst begrenset brennbare materialer. Trapperom Tr 1 må ha dør i klasse EI 30 C utført med terskel. Dør fra trapperom til boenhet trenger ikke være selvlukkende." (REN1999: § 7-24).

Vegger EI 60 i ubrennbare eller begrenset brennbare materialer

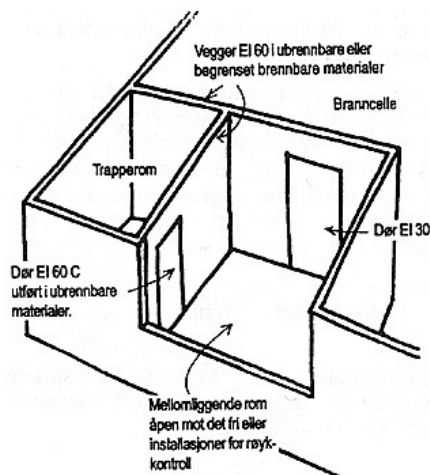


Trapperom type "Tr2" (Tidligere "lukket" trapperom)

"Trapperommet må utføres med skillekonstruksjoner med brannmotstand EI 30 når bygningens brannklasse er 1 og EI 60 når bygningens brannklasse er 2 eller 3. I brannklasse 2 og 3 må konstruksjonene være utført i minst begrenset brennbare materialer. For å forhindre at brann og røyk trenger inn i trapperommet på grunn av at dørene åpnes, må det være et rom utført som egen branncelle mellom trapperommet og branncellen det skal rømmes fra. Slikt rom kan være korridor. Dør mellom trapperom og korridor må ha brannmotstand E 30 C eller EI 30 C og være utført med terskel.

Trapperom Tr 2 kan gå til kjeller, når det er sluse mellom de øvrige branncellene i kjeller og trapperommet.

Trapperommet bør ikke være del av brannvesenets innsatsvei, da dette kan resultere i at store mengder røyk sprer seg til trapperommet om trapperomdørene blir stående åpne som følge av at brannslangene blir liggende gjennom disse." (REN1999: § 7-24).



Trapperom type "Tr3" (Tidligere "branntrygt" eller "branntrygt og røykfritt" trapperom)

"Trapperommet utføres med ubrennbare skillekonstruksjoner med brannmotstand minst EI 60.

For å forhindre at brann og røyk trenger inn i trapperommet på grunn av dører som åpnes, må det være et mellomliggende rom utført som egen branncelle, mellom trapperom og branncellen det skal rømmes fra.

Trapperommet må ha dør med brannmotstand minst EI 60 C utført i ubrennbare materialer og med terskel. Trapperom Tr 3 kan ikke ha forbindelse med kjeller.

I bygninger hvor det er særlig viktig å redusere faren for røykspredning til trapperommet, må i tillegg det mellomliggende rommet være åpent mot det fri eller utstyrt med mekanisk røykventilasjon aktivert av røykdetektorer i rommet. Alternativ til å ventilere rommet vil være å etablere overtrykk i trapperommet. Tilluftsvifter, spjeld mm. til røykventilasjon bør aktiviseres av røykdetektorer i bygningen" (REN1999: § 7-24).

REN veiledning til TEK 1999 og REN 2003

Boligblokk med inntil 8 etasjer skulle ha to trapper Tr1, mens boligblokker med mer enn 8 etasjer, skulle ha to trapper Tr3. For bygninger opptil 8 etasjer kunne to trapperom Tr1, erstattes med ett trapperom Tr3. I slike tilfeller bør branncellen mellom trapperommet og leiligheten det skal rømmes fra, være åpen mot det fri, eller være utstyrt med mekanisk røykventilasjon aktivert av røykdetektor i branncellen (REN 1999: § 7-27). REN2003 angir det samme ytelsesnivået som REN 1999. I de tilfellene to trapperom Tr1 erstattes med ett trapperom Tr3, er for øvrig følgende anbefalt: *Branncellen mellom trapperommet og leiligheten det rømmes fra må være åpen mot det fri, eller trapperommet må være trykksatt* (REN 2003: § 7-27).

Veiledning til TEK 2007 (VTEK)

VTEK2007 har i utgangspunktet det samme generelle ytelsesnivået ved at det skal benyttes to trapperom Tr1 i boligblokk med opptil 8 etasjer, og to trapperom Tr3 for boligblokk med mer enn 8 etasjer. VTEK2007 angir for øvrig at i stedet for to trapperom Tr1, kan det i boligbygninger med inntil 8 etasjer benyttes (VTEK 2007: § 7-27):

- *"Ett trapperom Tr1 dersom bygningen er sprinklet.*
- *To trapperom Tr2. Branncelle/korridor mellom leiligheter og trapperom må oppdeles slik at røyk og branngasser ikke samtidig kan blokkere begge trapperom.*
- *Ett trapperom Tr3. Dersom branncellen mellom trapperommet og leiligheten det rømmes fra ikke er åpen mot det fri, må trapperommet være trykksatt slik at røyk hindres i å trenge inn i trapperommet. Dette forutsetter trykkavlastning i det mellomliggende rommet eller i innenforliggende branncelle.*

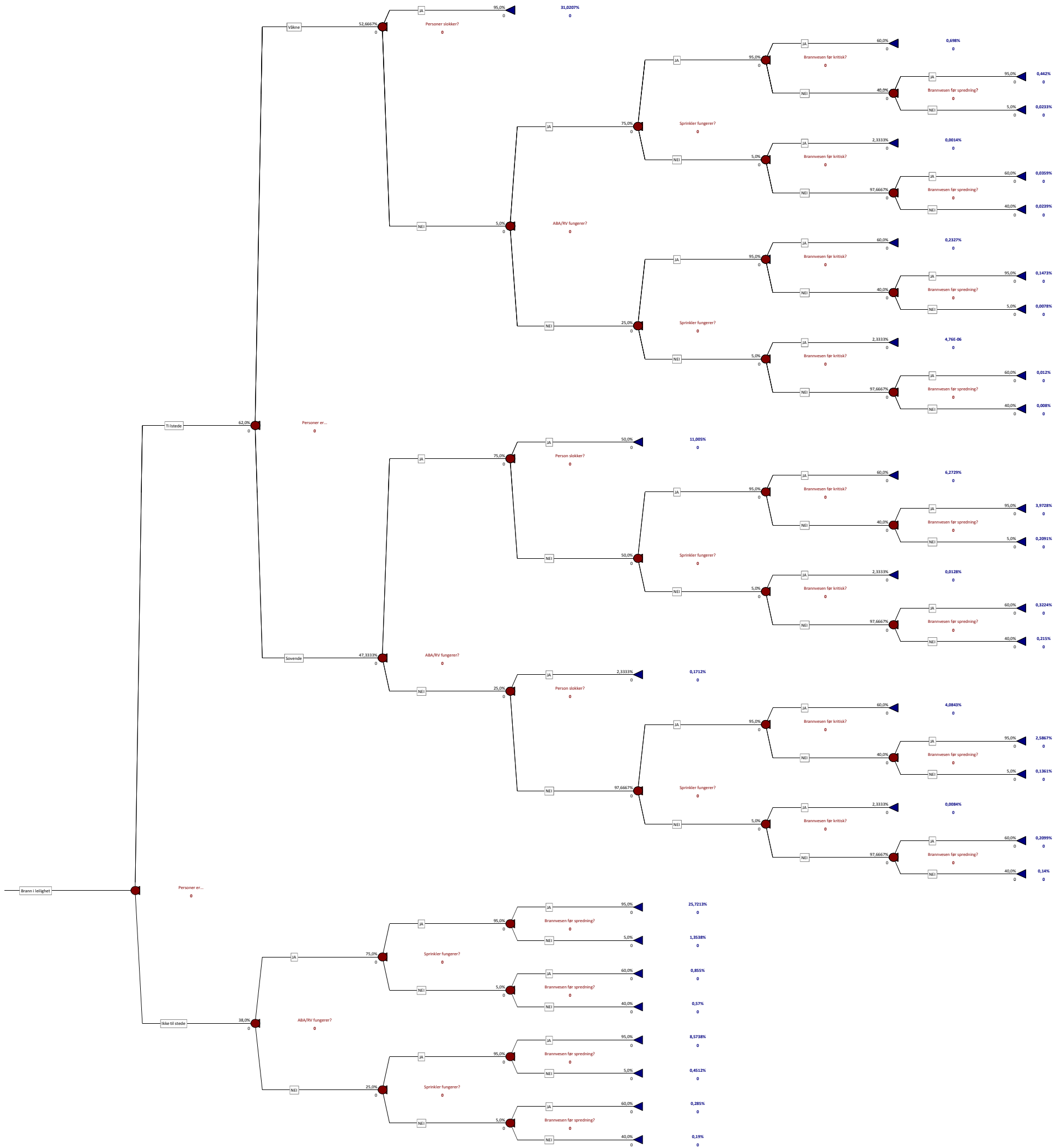
I boligbygninger som bare har ett trapperom, må minst ett vindu eller balkong i hver leilighet være tilgjengelig for brannvesenets stigemateriell" (VTEK 2007: § 7-27).

I tillegg til rømning via trapperom, angir veiledningene til TEK en preakseptert løsning basert på *svalgang*. Begrepet svalgang defineres i byggforsk byggdetaljer 526.301 som en åpen, overbygd eller inntrukket, atkomstvei over bakkeplan langs fasaden. Atkomsten til svalgangen skjer via åpne trapper eller trapperom (Byggforsk byggdetaljer 526.301 2004: pkt. 02). Ytterveggen mot svalgangen består gjerne av uklassifiserte vinduer og dører, det vil si at en brann i leiligheten innenfor raskt vil slå ut i svalgangen. Prinsippet for rømning er følgelig at denne røyken skal luftes bort fra svalgangen, slik at rømning bort fra den brennende leiligheten er mulig. Svalgangsløsninger omtales ikke videre i denne oppgaven.

13. Vedlegg 2 – Eksempler hendelsestrær

Vedlegg 2 - Hendelsestre - Leilighet med røykvarsler og sprinkleranlegg

	Pmin(X)	Pmidde(X)	Pmax(X)	Fordelingsfunksjon	Fordeling
P(Personer tilstede i startleilighet)	0,43	0,62	0,81	0,620	Triangel
P(Personer våkne i startleilighet tilstede)	0,39	0,53	0,66	0,527	Triangel
P(Person slokker våken)	0,9	0,95	1	0,950	Triangelfordelt. Relativt høy sannsynlighet dersom person er våken.
P(Person slokker sovende og ABA fungerer)	0,3	0,5	0,7	0,500	Triangelfordelt. En viss sannsynlighet gitt at ABA fungerer.
P(Person slokker sovende og ABA svikter)	0	0,02	0,05	0,023	Triangelfordelt. Lav sannsynlighet når person sover og ABA svikter.
P(Sprinkler fungerer)	0,9	0,95	1	0,950	Pertfordelt. Høy pålitelighet. Uavhengig tiltak.
P(RV fungerer)	0,7	0,75	0,8	0,750	Pertfordelt. Høy pålitelighet. Uavhengig tiltak.
P(Brannvesen før t[kritisk] +RV+Spr)	0,5	0,6	0,7	0,600	Triangelfordelt. Høy sannsynlighet gitt ABA og sprinkler.
P(Brannvesen før t[kritisk] +RV+Spr)	0	0,02	0,05	0,023	Triangelfordelt. Redusert sannsynlighet pga sprinklersvikt.
P(Brannvesen før t[kritisk] -RV+Spr)	0,5	0,6	0,7	0,600	Triangelfordelt. Redusert sannsynlighet pga ABA-svikt. Høyere enn sprinklersvikt.
P(Brannvesen før t[kritisk] -RV+Spr)	0	0,02	0,05	0,023	Triangelfordelt. Lav sannsynlighet gitt ABA- og sprinklersvikt.
P(Brannvesen før spredning +RV+Spr)	0,9	0,95	1	0,950	Triangelfordelt. Høy sannsynlighet med ABA og sprinkler.
P(Brannvesen før spredning +RV+Spr)	0,4	0,6	0,8	0,600	Triangelfordelt. Høy sannsynlighet med ABA(tidlig innsats)
P(Brannvesen før spredning -RV+Spr)	0,9	0,95	1	0,950	Triangelfordelt. Høy sannsynlighet med sprinkler
P(Brannvesen før spredning -RV+Spr)	0,4	0,6	0,8	0,600	Triangelfordelt. Redusert sannsynlighet uten øvrige tiltak.
P(ABA fungerer)	0,75	0,78	0,81	0,780	
P(RV fungerer)	0,7	0,75	0,8	0,750	
P(ikke kritiske forhold) =	91,5 %				
P(kritiske forhold) =	8,5 %				
P(brannspredning) =	3,3 %				
P(brann slokkes i startleilighet) =	96,7 %				
P(personer slokker brannen) =	42,2 %				
SUM alle hendelser =	100 %				
Årlig brannfrekvens =	0,5	0,00012	1,7	0,00012	
Konsekvens brann =		1,1		1,100	
Antall leiligheter i Norge =	0,0000112	500000		500000	
E(omkomne, leilighet) =					
E(omkomne, landsbasis) =	5,60				

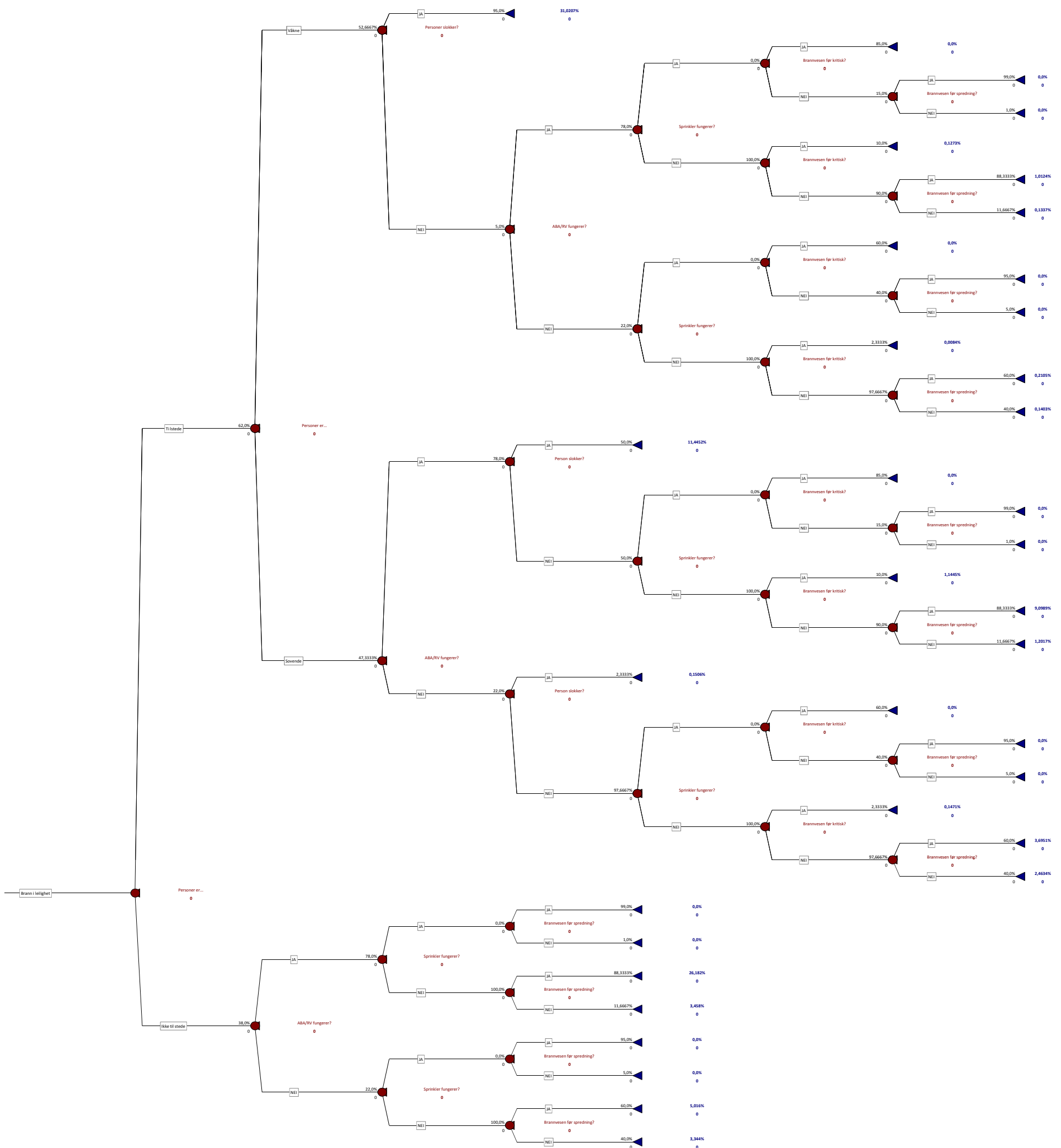


Vedlegg 2 - Hendelsetre - Leilighet med automatisk brannalarmløp

	Pmin(X)	Pmidde(X)	Pmax(X)	Fordelingsfunksjon	Fordeling
P(Personer tilstede i startleilighet)	0,43	0,62	0,81	0,620	Triangel
P(Personer våkne i startleilighet tilstede)	0,39	0,53	0,66	0,527	Triangel
P(Person slokker våken)	0,9	0,95	1	0,950	Triangelfordelt. Relativt høy sannsynlighet dersom person er våken.
P(Person slokker sovende og ABA fungerer)	0,3	0,5	0,7	0,500	Triangelfordelt. En viss sannsynlighet gitt at ABA fungerer.
P(Person slokker sovende og ABA svikter)	0	0,02	0,05	0,023	Triangelfordelt. Lav sannsynlighet når person sover og ABA svikter.
P(Sprinkler fungerer)	0	0	0	0,000	Pertfordelt. Høy pålitelighet. Uavhengig tiltak.
P(ABA fungerer)	0,75	0,78	0,81	0,780	Pertfordelt. Høy pålitelighet. Uavhengig tiltak.
P(Brannvesen før t[kritisk] +ABA+Spr)	0,8	0,85	0,9	0,850	Triangelfordelt. Høy sannsynlighet gitt ABA og sprinkler.
P(Brannvesen før t[kritisk] +ABA-Spr)	0,05	0,1	0,15	0,100	Triangelfordelt. Redusert sannsynlighet pga sprinklersvikt.
P(Brannvesen før t[kritisk] -ABA+Spr)	0,5	0,6	0,7	0,600	Triangelfordelt. Redusert sannsynlighet pga ABA-svikt. Høyere enn sprinklersvikt.
P(Brannvesen før t[kritisk] -ABA-Spr)	0	0,02	0,05	0,023	Triangelfordelt. Lav sannsynlighet gitt ABA- og sprinklersvikt.
P(Brannvesen før spredning +ABA+Spr)	0,98	0,99	1	0,990	Triangelfordelt. Høy sannsynlighet med ABA og sprinkler.
P(Brannvesen før spredning +ABA-Spr)	0,8	0,9	0,95	0,883	Triangelfordelt. Høy sannsynlighet med ABA(tidlig innsats)
P(Brannvesen før spredning -ABA+Spr)	0,9	0,95	1	0,950	Triangelfordelt. Høy sannsynlighet med sprinkler
P(Brannvesen før spredning -ABA-Spr)	0,4	0,6	0,8	0,600	Triangelfordelt. Redusert sannsynlighet uten øvrige tiltak.
P(ABA fungerer)	0,75	0,78	0,81	0,780	
P(RV fungerer)	0,7	0,75	0,8	0,750	

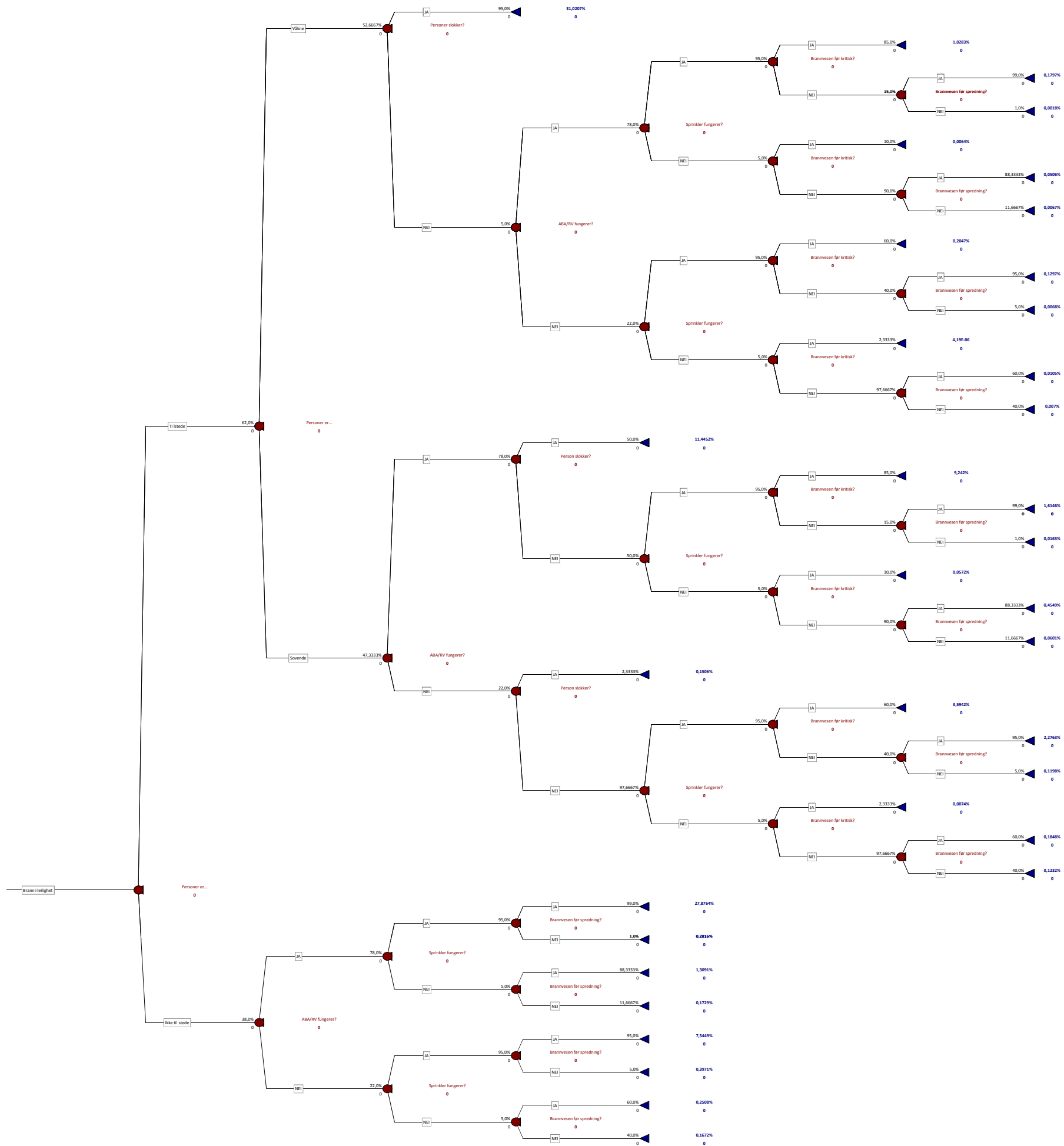
P(ikke kritiske forhold) = 82,0 %
 P(kritiske forhold) = 18,0 %
 P(brannspredning) = 10,7 %
 P(brann slokkes i startleilighet) = 89,3 %
 P(personer slokker brannen) = 42,6 %
 SUM alle hendelser = 100 %

Årlig brannfrekvens = 0,5
 Konsekvens | brann = 1,1
 Antall leiligheter i Norge = 0,0000237
 E(omkomne, leilighet) = 11,85
 E(omkomne, landsbasis) =



Vedlegg 2 - Hendelser - Leilighet med automatisk brannalarmanlegg og sprinkleranlegg

	Pmin(X)	Pmiddel(X)	Pmax(X)	Fordelingsfunksjon	Fordeling
P(Personer tilstede i startleilighet)	0,43	0,62	0,81	0,620	Triangel
P(Personer våkne i startleilighet tilstede)	0,39	0,53	0,66	0,527	Triangel
P(Person slokker våkne)	0,9	0,95	1	0,950	Triangel
P(Person slokker sovende og ABA svikter)	0,3	0,5	0,7	0,500	Triangel
P(Sprinkler fungerer)	0	0,02	0,05	0,023	Triangel
P(Sprinkler fungerer)	0,9	0,95	1	0,950	Pertfordelt. Høy pålitelighet. Uavhengig tiltak.
P(ABA fungerer)	0,75	0,78	0,81	0,780	Pertfordelt. Høy pålitelighet. Uavhengig tiltak.
P(Brannvesen før t(kritisk) ABA+Spr)	0,8	0,85	0,9	0,850	Triangel
P(Brannvesen før t(kritisk) ABA-Spr)	0,05	0,1	0,15	0,100	Triangel
P(Brannvesen før t(kritisk) ABA+Spr)	0,5	0,5	0,7	0,600	Triangel
P(Brannvesen før t(kritisk) ABA-Spr)	0	0,01	0,05	0,023	Triangel
P(Brannvesen før spredning ABA+Spr)	0,98	0,99	1	0,990	Triangel
P(Brannvesen før spredning ABA-Spr)	0,8	0,9	0,95	0,883	Triangel
P(Brannvesen før spredning ABA+Spr)	0,9	0,95	1	0,950	Triangel
P(Brannvesen før spredning ABA-Spr)	0,4	0,5	0,8	0,600	Triangel
P(ABA fungerer)	0,75	0,78	0,81	0,780	
P(RV fungerer)	0,7	0,75	0,8	0,750	
P(ikke kritiske forhold)		94,8 %			
P(kritiske forhold)		5,2 %			
P(brannspredning)		1,4 %			
P(brann slokkes i startleilighet)		98,6 %			
P(personer slokker brannen)		42,6 %			
SUM alle hendelser		100 %			
Årlig brannfrekvens =		0,00012		0,00012	
Konsekvens brann =	0,5	1,1	1,7	1,100	
Antall leiligheter i Norge =		500000		500000	
E(omkomne, leilighet) =	0,0000069				
E(omkomne, landsbasis) =	3,46				

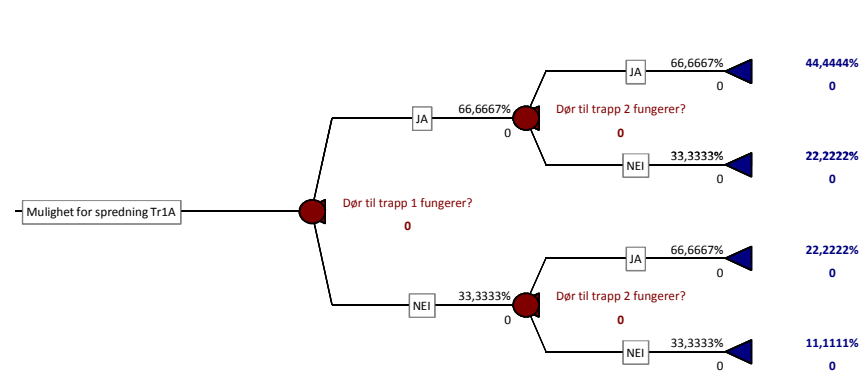


Trapp type Tr1

	Pmin(X)	Pmiddel(X)	Pmax(X)	Fordelingsfunksjon
P(dør uten selvlukker fungerer)	0,5	0,7	0,8	0,667
P(dør med selvlukker fungerer)	0,6	0,8	0,95	0,783

Brannfrekvens = 0,00012

	P(brannspredning brann)	P(brannspredning)
P(brannspredning m/RV) =	0,229364284	2,75237E-05
P(brannspredning m/RV+sprinkler) =	0,033280812	3,9937E-06
P(brannspredning m/ABA) =	0,107411794	1,28894E-05
P(brannspredning m/ABA+sprinkler) =	0,048165362	5,77984E-06



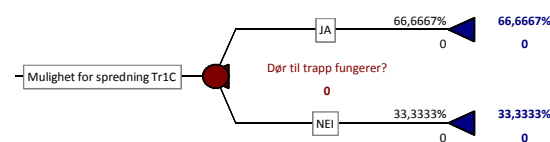
To Tr1, uten selvlukker
P(kritisk i ett trapperom) = 44,4444 %
P(kritisk i to trapperom) = 11,1111 %
P(kritisk i ingen trapperom) = 44,4444 %
100,0 %
Antall leiligheter pr plan = 2
Antall plan = 8
Antall leiligheter i blokk = 16

P(kritisk m/RV) = 0,00489 %
P(kritisk m/RV+sprinkler) = 0,00071 %
P(kritisk m/ABA) = 0,00229 %
P(kritisk m/ABA+sprinkler) = 0,00103 %

Antall beboere (1,7 pr leil)	Andel som rømmer inn i kritiske forhold			
	Min	Middel	Max	E[andel]
1,7	0,05	0,1	0,15	0,1

Antall leiligheter pr plan =	2
Antall plan =	8
Antall leiligheter i blokk =	16

E[omkomne på landsbasis pr år]	ID
4,13	1A1
0,60	1A2
1,93	1A3
0,87	1A4



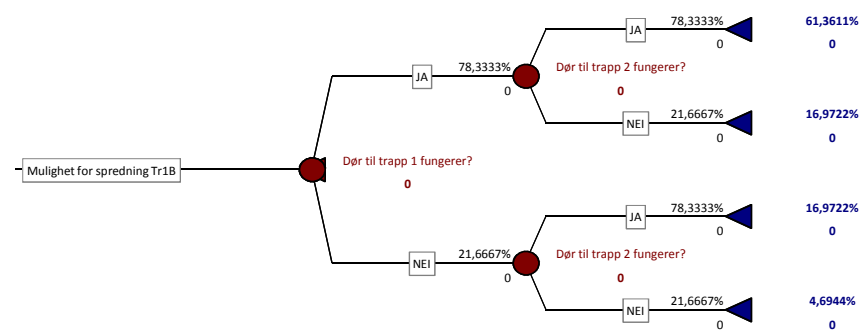
Ett Tr1, uten selvlukker
P(kritisk i trapperom) = 33,3333 %
P(ikke kritisk i trapperom) = 66,6667 %
100,0 %
Antall leiligheter pr plan = 3
Antall plan = 8
Antall leiligheter i blokk = 24

P(kritisk m/RV) = 0,022019 %
P(kritisk m/RV+sprinkler) = 0,003195 %
P(kritisk m/ABA) = 0,010312 %
P(kritisk m/ABA+sprinkler) = 0,004624 %

Antall beboere (1,7 pr leil)	Andel som rømmer inn i kritiske forhold			
	Min	Middel	Max	E[andel]
1,7	0,05	0,1	0,15	0,1

Antall leiligheter pr plan =	3
Antall plan =	8
Antall leiligheter i blokk =	24

E[omkomne på landsbasis pr år]	ID
27,85	1B1
4,04	1B2
13,04	1B3
5,85	1B4



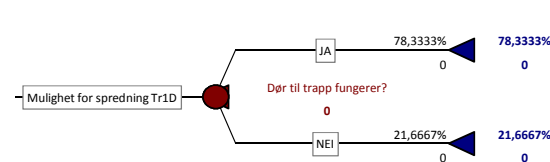
To Tr1, med selvlukker
P(kritisk i ett trapperom) = 33,9444 %
P(kritisk i to trapperom) = 4,6944 %
P(kritisk i ingen trapperom) = 61,3611 %
100,0 %
Antall leiligheter pr plan = 2
Antall plan = 8
Antall leiligheter i blokk = 16

P(kritisk m/RV) = 0,002067 %
P(kritisk m/RV+sprinkler) = 0,000300 %
P(kritisk m/ABA) = 0,000968 %
P(kritisk m/ABA+sprinkler) = 0,000434 %

Antall beboere (1,7 pr leil)	Andel som rømmer inn i kritiske forhold			
	Min	Middel	Max	E[andel]
1,7	0,05	0,1	0,15	0,1

Antall leiligheter pr plan =	2
Antall plan =	8
Antall leiligheter i blokk =	16

E[omkomne på landsbasis pr år]	ID
1,74	1C1
0,25	1C2
0,82	1C3
0,37	1C4



Ett Tr1, med selvlukker
P(kritisk i trapperom) = 21,6667 %
P(ikke kritisk i trapperom) = 78,3333 %
100,0 %
Antall leiligheter pr plan = 3
Antall plan = 8
Antall leiligheter i blokk = 24

P(kritisk m/RV) = 0,01431 %
P(kritisk m/RV+sprinkler) = 0,00208 %
P(kritisk m/ABA) = 0,00670 %
P(kritisk m/ABA+sprinkler) = 0,00301 %

Antall beboere (1,7 pr leil)	Andel som rømmer inn i kritiske forhold			
	Min	Middel	Max	E[andel]
1,7	0,05	0,1	0,15	0,1

Antall leiligheter pr plan =	3
Antall plan =	8
Antall leiligheter i blokk =	24

E[omkomne på landsbasis pr år]	ID
18,10	1D1
2,63	1D2
8,48	1D3
3,80	1D4

Trapp type Tr2

P(dør uten selvlukker fungerer)	Pmin(X) 0,5	Pmiddel(X) 0,7	Pmax(X) 0,8	Fordelingsfunksjon 0,667
P(dør med selvlukker fungerer)	0,6	0,8	0,95	0,783

Brannfrekvens = 0,00012

	P(brannspredning brann)	P(brannspredning)
P(brannspredning m/RV) =	0,229364284	2,75237E-05
P(brannspredning m/RV+sprinkle) =	0,033280812	3,9937E-06
P(brannspredning m/ABA) =	0,107411794	1,28894E-05
P(brannspredning m/ABA+sprinkl) =	0,048165362	5,77984E-06

	Antall beboere (1,7 pr leil)	Min	Middel	Max	E[andel]
To Tr2	1,7	0,05	0,1	0,15	0,1
P(kritisk i korridor) =	33,333 %				
P(kritisk i begge trapperom) =	1,565 %				
P(begge trapperom tilgjengelig) =	87,120 %				

Antall leiligheter pr plan =	12
Antall plan =	8
Antall leiligheter i blokk =	96

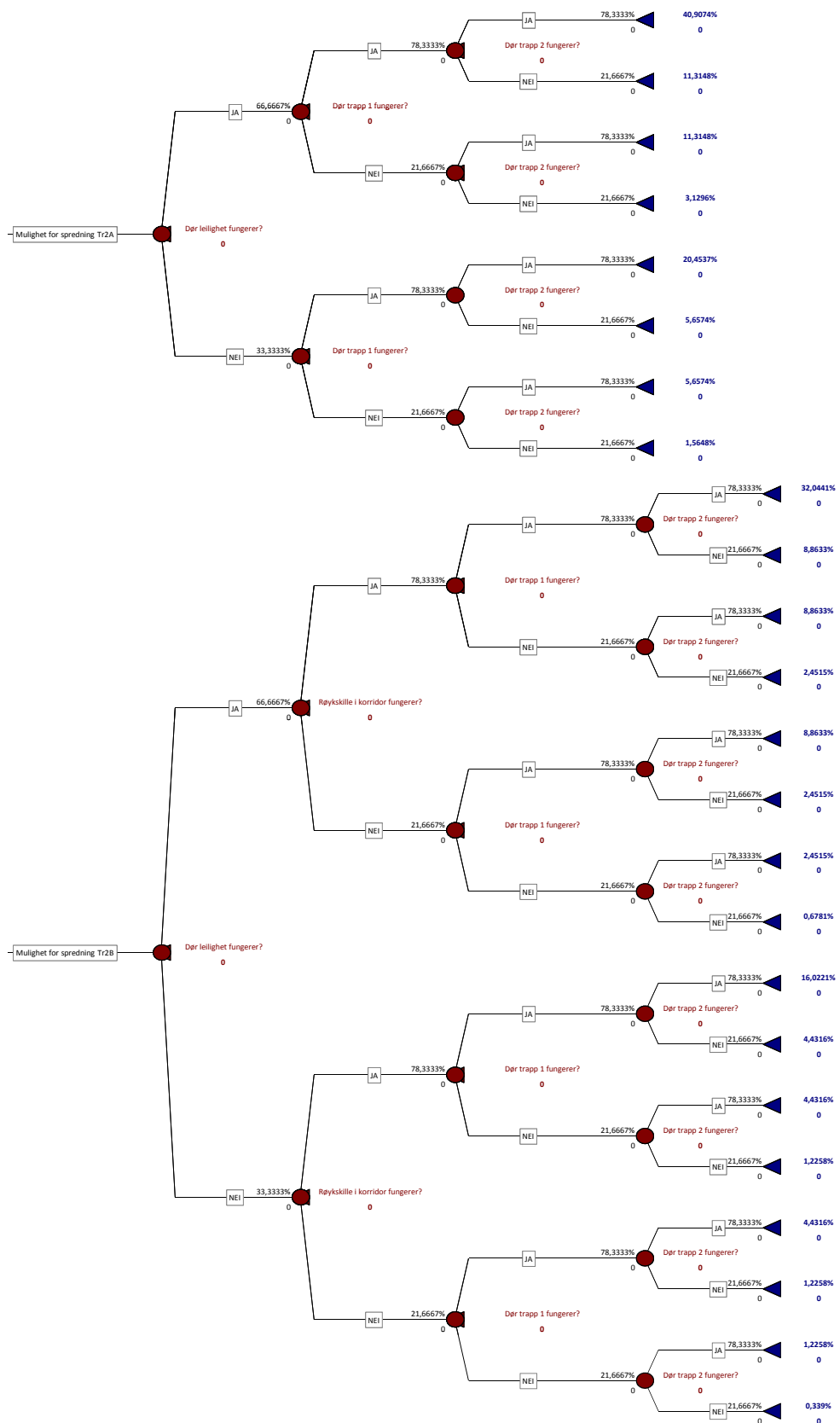
P(kritisk i korridor m/RV) =	0,01101 %
P(kritisk i korridor m/RV+sprinkle) =	0,00160 %
P(kritisk i korridor m/ABA) =	0,00516 %
P(kritisk i korridor m/ABA+sprinkl) =	0,00231 %

P(kritisk i trapper m/RV) =	0,00413 %
P(kritisk i trapper m/RV+sprinkler) =	0,00060 %
P(kritisk i trapper m/ABA) =	0,00194 %
P(kritisk i trapper m/ABA+sprinkl) =	0,00087 %

Antall beboere (1,7 pr leil)	20,4
Min	0,05
Middel	0,1
Max	0,15
E[andel]	0,1

E[omkomne på landsbasis pr år ID

6,96	2A1
1,01	2A2
3,26	2A3
1,46	2A4
20,92	2A5
3,04	2A6
9,80	2A7
4,39	2A8



	P(brannspredning brann)	P(brannspredning)
P(brannspredning m/RV) =	0,229	0,00002748
P(brannspredning m/RV+sprinkle) =	0,033	0,00000396
P(brannspredning m/ABA) =	0,107	0,00001284
P(brannspredning m/ABA+sprinkl) =	0,014	0,00000168

	Antall beboere (1,7 pr leil)	Min	Middel	Max	E[andel]
To Tr2	1,7	0,05	0,1	0,15	0,1
P(kritisk i halve korridor) =	26,111 %				
P(kritisk i hele korridor) =	7,222 %				
P(kritisk i begge trapperom) =	1,565 %				

Antall leiligheter pr plan =	12
Antall plan =	8
Antall leiligheter i blokk =	96

P(kritisk i halve korridor m/RV) =	0,00431 %
P(kritisk i hele korridor m/RV) =	0,00238 %
P(kritisk i halve korridor m/RV+sp) =	0,00062 %
P(kritisk i hele korridor m/RV+spr) =	0,00034 %
P(kritisk i halve korridor m/ABA) =	0,00201 %
P(kritisk i hele korridor m/ABA) =	0,00111 %
P(kritisk i halve korridor m/ABA+s) =	0,00026 %
P(kritisk i hele korridor m/ABA+s) =	0,00015 %

P(kritisk i trapper m/RV) =	0,00413 %
P(kritisk i trapper m/RV+sprinkler) =	0,00059 %
P(kritisk i trapper m/ABA) =	0,00193 %
P(kritisk i trapper m/ABA+sprinkl) =	0,00025 %

Antall beboere (1,7 pr leil)	20,4
Min	0,05
Middel	0,1
Max	0,15
E[andel]	0,1

E[omkomne på landsbasis pr år ID

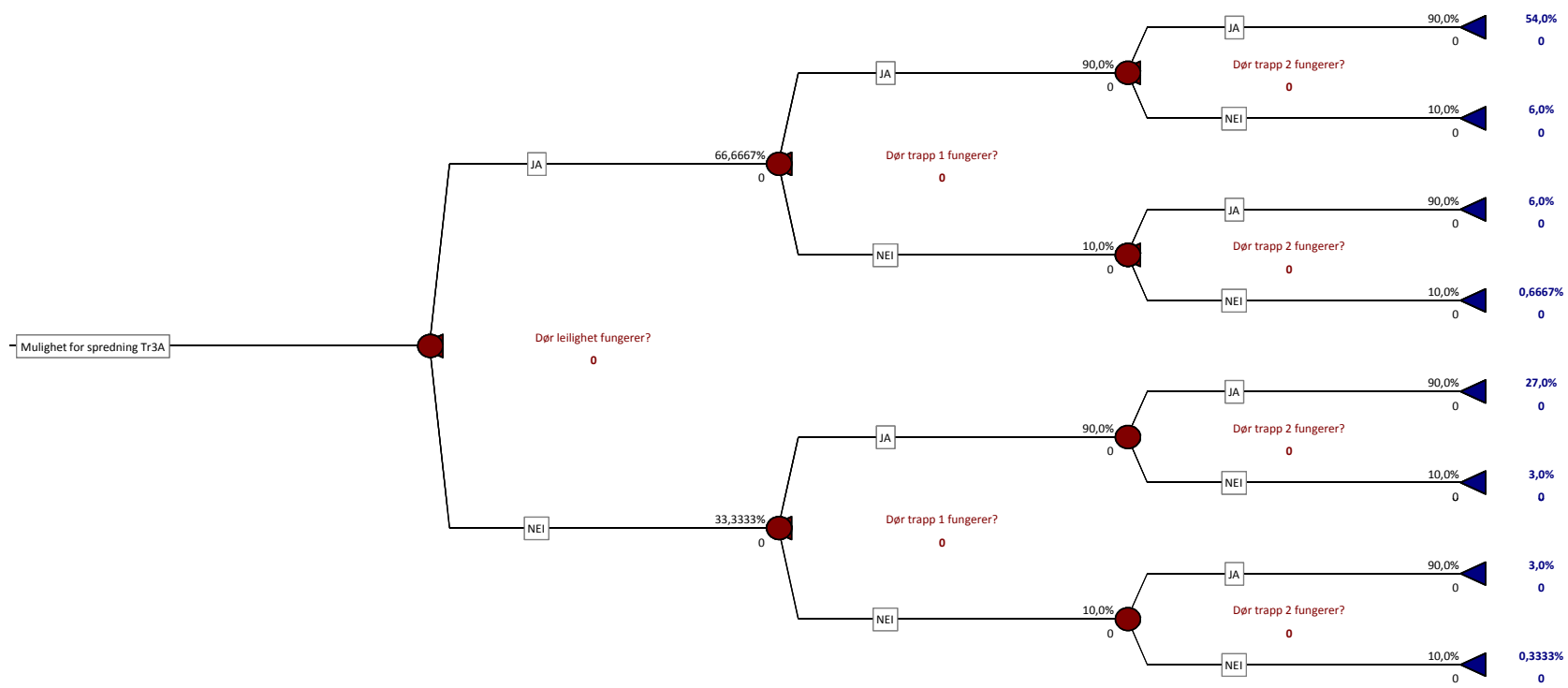
2,72	2B1-1 = SUM(2B1, 2B2) =	4,23
1,51	2B2	
0,39	2B3-1 = SUM(2B3, 2B4) =	0,61
0,22	2B4	
1,27	2B5-1 = SUM(2B5, 2B6) =	1,98
0,70	2B6	
0,17	2B7-1 = SUM(2B7, 2B8) =	0,26
0,09	2B8	
20,88	2B9	
3,01	2B10	
9,76	2B11	
1,28	2B12	

Trapp type Tr3

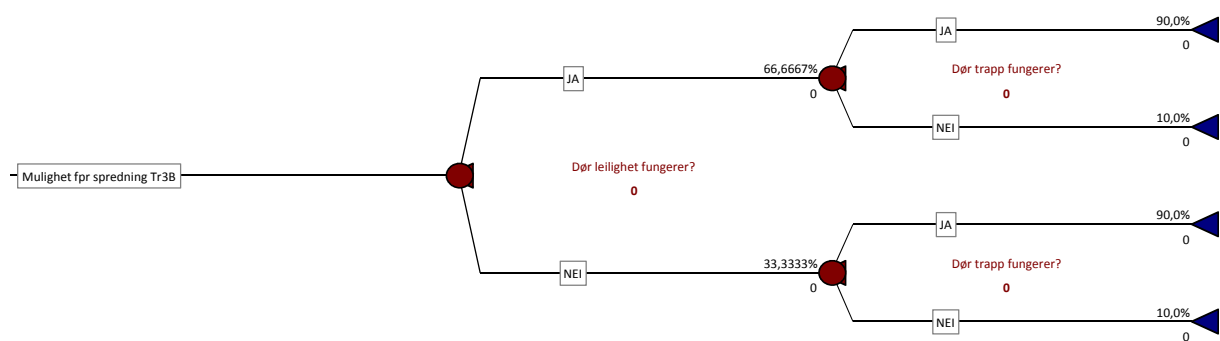
	Pmin(X)	Pmiddel(X)	Pmax(X)	Fordelingsfunksjon
P(dør uten selvlukker fungerer)	0,5	0,7	0,8	0,667
P(dør med selvlukker fungerer)	0,6	0,8	0,95	0,783
P(selvluukkende dør til trykksatt trapperom fungerer)	0,8	0,9	1	0,900

Brannfrekvens =	P(brannspredning brann)	P(brannspredning)
P(brannspredning m/RV) =	0,229364284	2,75237E-05
P(brannspredning m/RV+sprinkler) =	0,033280812	3,9937E-06
P(brannspredning m/ABA) =	0,107411794	1,28894E-05
P(brannspredning m/ABA+sprinkler) =	0,048165362	5,77984E-06

To Tr3	Antall beboere (1,7 pr leil)	Andel som rømmer inn i kritiske forhold	Middel	Max	E[andel]
P(kritisk i korridor) =	33,333 %	Min 0,05	0,1	0,15	0,1
P(kritisk i begge trapperom) =	0,333 %				
P(begge trapperom tilgjengelig) =	93,667 %				
Antall leiligheter pr plan =	12	20,4			
Antall plan =	8				
Antall leiligheter i blokk =	96	163,2			
	E[omkomne på landsbasis pr år]				
P(kritisk i korridor m/RV) =	0,011009 %	6,96			
P(kritisk i korridor m/RV+sprinkler) =	0,001597 %	1,01			
P(kritisk i korridor m/ABA) =	0,005156 %	3,26			
P(kritisk i korridor m/ABA+sprinkler) =	0,002312 %	1,46			
P(kritisk i trapper m/RV) =	0,000881 %	4,46			
P(kritisk i trapper m/RV+sprinkler) =	0,000128 %	0,65			
P(kritisk i trapper m/ABA) =	0,000412 %	2,09			
P(kritisk i trapper m/ABA+sprinkler) =	0,000185 %	0,94			



Ett Tr3	Antall beboere (1,7 pr leil)	Andel som rømmer inn i kritiske forhold	Middel	Max	E[andel]
P(kritisk i korridor) =	33,333 %	Min 0,05	0,1	0,15	0,1
P(kritisk i trapperom) =	3,333 %				
P(trapperom tilgjengelig) =	96,667 %				
Antall leiligheter pr plan =	6	10,2			
Antall plan =	8				
Antall leiligheter i blokk =	48	81,6			
	E[omkomne på landsbasis pr år]				
P(kritisk i korridor m/RV) =	0,00550 %	1,74			
P(kritisk i korridor m/RV+sprinkler) =	0,00080 %	0,25			
P(kritisk i korridor m/ABA) =	0,00258 %	0,82			
P(kritisk i korridor m/ABA+sprinkler) =	0,00116 %	0,37			
P(kritisk i trapper m/RV) =	0,00440 %	11,14			
P(kritisk i trapper m/RV+sprinkler) =	0,00064 %	1,62			
P(kritisk i trapper m/ABA) =	0,00206 %	5,22			
P(kritisk i trapper m/ABA+sprinkler) =	0,00092 %	2,34			



Trapp type branntrygt og røykfritt

	Pmin(X)	Pmiddel(X)	Pmax(X)	Fordelingsfunksjon
P(dør uten selvlukker fungerer)	0,5	0,7	0,8	0,667
P(dør med selvlukker fungerer)	0,6	0,8	0,95	0,783
P(selvukkende dør til trykksatt trapperom fungerer)	0,8	0,9	1	0,900
P(selvukkende dør til røykfritt trapperom fungerer)	0,85	0,95	1	0,933

Brannfrekvens = 0,00012

P(brannspredning [brann])	0,229364284
P(brannspredning m/RV) =	0,033280812
P(brannspredning m/RV+sprinkler) =	0,107411794
P(brannspredning m/ABA) =	0,048165362
P(brannspredning m/ABA+sprinkler) =	

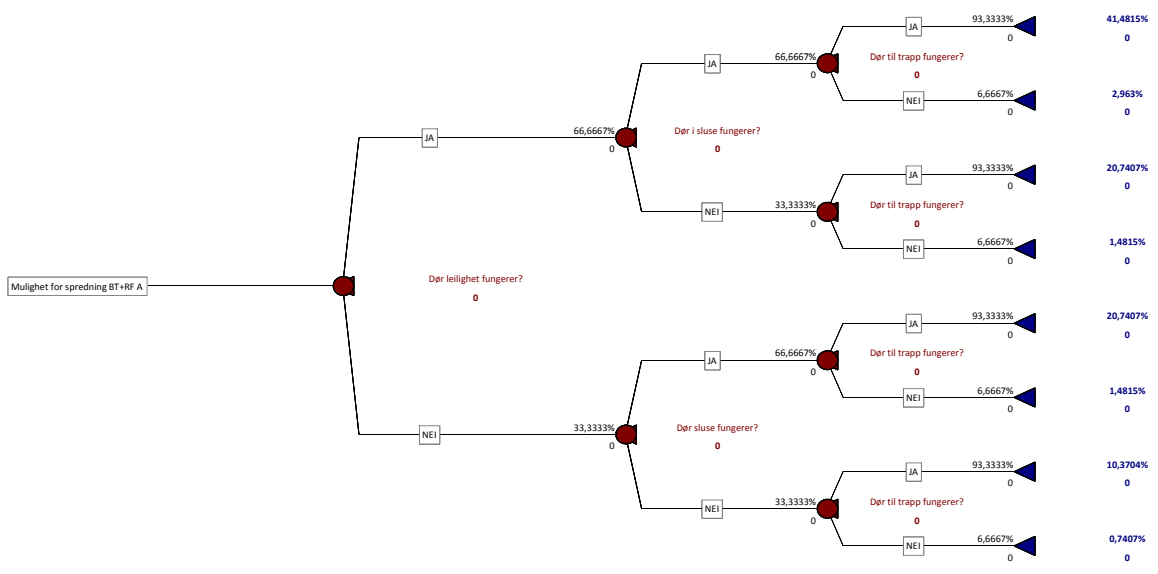
P(brannspredning)	2,75237E-05
	3,9937E-06
	1,28894E-05
	5,77984E-06

Ett branntrygt og røykfritt trapperom		Antall beboere (1,7 pr leil)	Andel som rømmer inn i kritiske forhold			
P(kritisk i korridor) =	33,333 %	1,7	Min 0,05	Middel 0,1	Max 0,15	E[andel] 0,1
P(kritisk i trapperom) =	0,741 %					
P(begge trapperom tilgjengelig) =	99,259 %					

Antall leiligheter pr plan = 6
 Antall plan = 8
 Antall leiligheter i blokk = 48

E[omkomne på landsbasis pr år]	ID
1,74	4A1
0,25	4A2
0,82	4A3
0,37	4A4
2,48	4A5
0,36	4A6
1,16	4A7
0,52	4A8

P(kritisk i korridor m/RV) =	0,00550 %
P(kritisk i korridor m/RV+sprinkler) =	0,00080 %
P(kritisk i korridor m/ABA) =	0,00258 %
P(kritisk i korridor m/ABA+sprinkler) =	0,00116 %
P(kritisk i trapper m/RV) =	0,00098 %
P(kritisk i trapper m/RV+sprinkler) =	0,00014 %
P(kritisk i trapper m/ABA) =	0,00046 %
P(kritisk i trapper m/ABA+sprinkler) =	0,00021 %



To branntrygge og røykfrie trapperom		Antall beboere (1,7 pr leil)	Andel som rømmer inn i kritiske forhold			
P(kritisk i korridor) =	33,333 %	1,7	Min 0,05	Middel 0,1	Max 0,15	E[andel] 0,1
P(kritisk i begge trapperom) =	0,123 %					

Antall leiligheter pr plan = 12
 Antall plan = 8
 Antall leiligheter i blokk = 96

E[omkomne på landsbasis pr år]	ID
6,96	4B1
1,01	4B2
3,26	4B3
1,46	4B4
1,65	4B5
0,24	4B6
0,77	4B7
0,35	4B8

P(kritisk i korridor m/RV) =	0,011009 %
P(kritisk i korridor m/RV+sprinkler) =	0,001597 %
P(kritisk i korridor m/ABA) =	0,005156 %
P(kritisk i korridor m/ABA+sprinkler) =	0,002312 %
P(kritisk i trapper m/RV) =	0,000326 %
P(kritisk i trapper m/RV+sprinkler) =	0,000047 %
P(kritisk i trapper m/ABA) =	0,000153 %
P(kritisk i trapper m/ABA+sprinkler) =	0,000069 %

