

Brannsikkerhet i ventilasjonssystemer

En analytisk gjennomgang av røykspredning i ventilasjonsanlegg

Knut Magnus Collett

Mikael Rise Gallala

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Harald Landrø, BAT

Medveileder: Stefan Andersson, Norconsult
Jon Ivar Belghaug Knarud, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgavens tittel:	Dato: 09.06.2015		
Brannsikkerhet i ventilasjonssystemer: En analytisk gjennomgang av røykspredning i ventilasjonsanlegg	Antall sider (inkl. bilag): 260		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn:	Knut Magnus Collett & Mikael Rise Gallala		
Faglærer/veileder:	Harald Landrø		
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere:	Stefan Andersson (Norconsult)		

Ekstrakt:
Brannsikring av ventilasjonssystemer har fått mer fokus de siste årene. TEK 10 setter kun funksjonskrav for hvordan tekniske installasjoner skal fungere ved brann, og det er dermed opp til de prosjekterende å sette opp løsninger innenfor lovverket. Brannsikring av ventilasjonssystemer innebærer i hovedsak tre viktige tiltak: Sørg for tette gjennomføringer, forhindre varmeledning i selve kanalgodset, og forhindre at røyk og brann sprer seg med kanalene. De to første løses enkelt med henholdsvis branntetting og isolering. Tiltak mot sistnevnte er ikke like utbredt.

Rapporten tar for seg hvilke muligheter som finnes for å unngå brann- og røykspredning via ventilasjonskanaler. I den sammenheng er det gjennomført et litteraturstudium og en brannanalyse.

- I litteraturstudiet gjøres det rede for ulike ventilasjonsstrategier, og hvordan brannsikring inkluderes;
- Brannanalysen ser på et eksempelbygg med et enkelt balansert ventilasjonssystem. Hvordan røykspredningen utvikler seg kartlegges, og en omfattende sensitivitetsanalyse av utvalgte parametere er gjennomført.

I litteraturstudiet ble det funnet at redundans mot røykspredning via ventilasjonskanaler sjeldent bygges inn i norske bygg. Dette til tross for gode, alternative metoder som prinsippene om å "stenge inne" og "trekke ut".

Analysedelen tok derfor for seg et bygg med et enkelt balansert ventilasjonsanlegg for å undersøke om røykspredning skjedde i *vesentlig* grad. Til dette ble CFD-programmet FDS 6 benyttet. Analysen resulterer i en oversikt over hvilke parametere spredning via ventilasjonskanaler er mest sensitiv for. Det ble funnet at hurtigheten brannen vokste med, og tid til vindusbrudd var mest utslagsgivende.

Rapporten kommer med følgende observasjoner og anbefalinger:

- CO-verdiene ble aldri kritiske i omsluttende rom, og det skal en kraftig forverring til for at det skjer;
- Sikten ble i mange tilfeller under 5 meter i naboileilighet og korridor, og anses som kritisk;
- Røykspredningen startet relativt kort tid etter brannutbrudd, og varte helt til annen trykkavlastning kunne skje;
- Ventilasjonsanlegg bør gå så lenge som mulig med høyest mulig effekt ved brann.

Stikkord:

1. Røykspredning i ventilasjonsanlegg
2. Brannsikringsstrategier
3. FDS
4. Brannsimulering


(Knut Magnus Collett)


(Mikael Rise Gallala)

Forord

Denne oppgaven utgjør det avsluttende arbeidet på det femårige masterprogrammet Bygg- og miljøteknikk ved NTNU. Den er skrevet ved Institutt for bygg, anlegg og transport våren 2015. Oppgaven utgjør 30 studiepoeng per student i emnet TBA 4905 Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave. Arbeidsmengden er likt fordelt mellom Knut Magnus Collett og Mikael Rise Gallala.

Vi ønsker å takke hovedveileder Harald Landrø for gode råd underveis. En stor takk rettes til Jon Ivar Knarud, som har vært vår sekundærveileder. Gode diskusjoner, tilbakemeldinger og tilrettelegging har vært avgjørende for den endelige utformingen av oppgaven. Vi ønsker å rette en takk til Stefan Andersson fra Norconsult for gode samtaler og diskusjoner, samt interessen han har vist for oppgaven. Takk til Ole Henry Hallgren for tildeling av kontor plasser ved Norconsults hovedkontor. I tillegg ønsker vi å takke følgende personer for bidrag og inspirasjon til oppgaven:

- Håkon Silderen Halvorsen, Norconsult (RIBr);
- Geir Jensen, COWI (RIBr);
- Sturla Ingebrigtsen, Systemair AS (VVS).

Til slutt ønsker vi å takke hverandre for et godt samarbeid i løpet av arbeidet med oppgaven.

Trondheim, 09.06.2015

Knut Magnus Collett

Mikael Rise Gallala

Sammendrag

Brannsikring av ventilasjonssystemer har fått mer fokus de siste årene. TEK 10 setter kun funksjonskrav for hvordan tekniske installasjoner skal fungere ved brann, og det er dermed opp til de prosjekterende å sette opp løsninger innenfor lovverket. Brannsikring av ventilasjonssystemer innebærer i hovedsak tre viktige tiltak: Sørg for tette gjennomføringer, forhindre varmeledning i selve kanalgodset, og forhindre at røyk og brann sprer seg med kanalene. De to første løses enkelt med henholdsvis branntetting og isolering. Tiltak mot sistnevnte er ikke like utbredt.

Rapporten tar for seg hvilke muligheter som finnes for å unngå brann- og røykspredning via ventilasjonskanaler. I den sammenheng er det gjennomført et litteraturstudium og en brannanalyse.

- I litteraturstudiet gjøres det rede for ulike ventilasjonsstrategier, og hvordan brannsikring inkluderes;
- Brannanalysen ser på et eksempelbygg med et enkelt balansert ventilasjonssystem for å undersøke om røykspredning skjer i vesentlig grad. Hvordan røykspredningen utvikler seg kartlegges, og en omfattende sensitivetsanalyse av utvalgte parametere er gjennomført.

I litteraturstudiet ble det funnet at redundans mot røykspredning via ventilasjonskanaler sjeldent bygges inn i norske bygg. Dette til tross for gode, alternative metoder som prinsippene om å ”stenge inne” og ”trekke ut”.

Til analysen ble CFD-programmet FDS 6 benyttet. Analysen resulterer i en oversikt over hvilke parametere spredning via ventilasjonskanaler er mest sensitiv for. Det ble funnet at hurtigheten brannen vokste med, og tid til vindusbrudd var mest utslagsgivende. Dette ble funnet ved å sammenligne hvor mye tid til

røykspredning, tid til kritiske forhold inntreffer og mengde røykspredning endret seg i forhold til endring av parameter.

Rapporten kommer med følgende observasjoner og anbefalinger:

- CO-verdiene ble aldri kritiske i omsluttende rom, og det skal en kraftig forverring til for at det skjer;
- Sikten ble i mange tilfeller under 5 meter i naboileilighet og korridor, og anses som kritisk;
- Røykspredningen startet relativt kort tid etter brannutbrudd, og varte helt til annen trykkavlastning kunne skje;
- Ventilasjonsanlegget bør gå så lenge som mulig med høyest mulig effekt ved brann.

Summary

Fire safety in ventilation systems have received increased attention the recent years. The building code of 2010 defines only functional requirements for how technical installations are to function in case of fire. Consequently, it is the designers' task to develop solutions that satisfies the code. Fire safety in ventilation is mainly concerning three important measures: Ensure sealed penetrations, prevent dangerous heat transport through the ducts and prevent smoke and fire to spread along the ducts. The two first ones are solved by use of proper sealing and isolation. Solutions to the last problem is not equally prevalent.

This report addresses which options exists to prevent fire- and smoke spread through ventilation ducts. To do so, a literature study and a fire analysis is conducted.

- The literature study deals with ventilation strategies, and how fire safety is included in this perspective;
- The fire analysis evaluates a designed building with a simple balanced ventilation system to evaluate if smoke spread is happening to *substantially* extent. How the smoke spread is developing is identified. Based on this, an extensive sensitivity analysis of selected parameters is performed.

The literature study showed that redundancy to smoke spread via ventilation ducts is rarely included in Norwegian buildings. This is done, despite the good alternatives "fan of" and "fan on".

In the analysis, the CFD-program FDS 6 used. The analysis results in an overview in which the most crucial parameters for smoke spread were revealed. It was found that the rate in which the fire grows with and the time to window breakage were the

most crucial parameters. This was found by comparing how much time it takes for the smoke to spread, the time for critical conditions to occur, as well as measuring change in smoke spread by change in the parameter.

The report provides the following observations and recommendations:

- The levels of carbon monoxide were never critical in the ambient rooms. In fact, a great worsening of the situation must happen for this to occur;
- The visibility reached critical levels in both the neighboring room and in the corridor;
- The smoke spread initiated relatively short time after fire start and lasted until equalization of the pressure in the fire room;
- The ventilation system should operate as long as possible, with the highest possible effect in fire situations.

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Målsetting	3
1.2.1	Effekt mål	3
1.2.2	Resultat mål	3
1.2.3	Suksesskriterier	3
1.3	Avgrensning	4
1.4	Rapportens oppbygning	4
1.4.1	Del 1: Litteraturgjennomgang	5
1.4.2	Del 2: Analyse	5
1.4.3	Del 3: Diskusjon og konklusjon	5
2	Arenabeskrivelse	7
2.1	Overordnet beskrivelse av ventilasjonssystemer	7
2.2	Overordnet beskrivelse av brannteknisk perspektiv på ventilasjonssystemer	8
2.3	Problematisering	8
2.4	Problemstilling	9
2.5	Metodebeskrivelse og valg	10
2.5.1	Litteraturgjennomgang	10
2.5.2	Analyse	11

I	Litteraturgjennomgang	13
3	Litteraturgjennomgang	15
3.1	Regelverk	15
3.1.1	TEK10	15
3.1.2	Forskrift om brannforebyggende tiltak og tilsyn	17
3.1.3	Veileder for brannsikker ventilering	17
3.2	Standarder	18
3.2.1	NS-EN 13501	18
3.2.2	NS-EN 15423	19
3.2.3	NS-EN 1366	19
3.2.4	NS-EN 12101	19
3.2.5	NS3901:2012	19
3.2.6	NS1991-1-2	20
3.3	Ventilasjonsteknikk	20
3.3.1	Ventilasjon karakterisert etter drivkraft	21
3.3.2	Ventilasjon karakterisert etter tilførselsmåte	22
3.3.3	Ventilasjon karakterisert etter tilførsel og luftfordeling i rom	23
3.3.4	Ventilasjon karakterisert etter funksjon i rommet	24
3.3.5	Sentraliserte og desentraliserte ventilasjonssystemer	24
3.4	Komponenter	25
3.4.1	Aggregat	25
3.4.2	Varmegjenvinner	26
3.4.3	Filter	28
3.4.4	Vifter	29
3.4.5	Varme- og kjølebatteri	29
3.4.6	Ventilasjonskanaler	30
3.4.7	Ventiler	31
3.4.8	Opphengssystemer for tekniske installasjoner	31
3.4.9	Spjeld	31
3.4.10	Automatikk	33
3.5	Historikk	34

3.5.1	Nasjonalt	34
3.5.2	Internasjonalt	34
3.6	Brannspredning i ventilasjonssystemer	36
3.7	Brannsikker prosjektering av ventilasjons-systemer	38
3.7.1	Ansvarsfordeling	39
3.7.2	Preaksepterte løsninger	42
3.7.3	Dagens ventilasjonssystemer	43
3.7.4	Trekk ut-strategi	43
3.7.5	Steng-inne strategi	49
3.8	Eksempelbranner	49
3.8.1	Case 1: Restaurantbrann	50
3.8.2	Case 2: Takbrann	51
3.8.3	MS ”Scandinavian Star”	52
3.9	Brannodynamikk	53
3.9.1	Beregningsmodeller	53
3.9.2	Brannforløp	54
3.9.3	Kriterier for overtenning	56
3.9.4	Brannenergi	57
3.9.5	Trykkoppbygning i brannceller	58
3.10	Røykdynamikk	58
3.10.1	Oppdrift	58
3.10.2	Forhindret termisk ekspansjon	60

II Analyser 61

4	Kvalitativ analyse 65
4.1	Introduksjon 65
4.1.1	Formål 66
4.2	Forutsetninger og begrensninger 66
4.2.1	Geometri 66
4.2.2	Ventilasjonsforhold 66
4.3	Valg av casebygg 67
4.3.1	Valg av risikoklasse 67

4.3.2	Valg av brannklasse	67
4.3.3	Byggtekniske forhold	68
4.3.4	Suksesskriterier	69
4.4	Valg av scenario	69
5	Kvantitativ analyse	71
5.1	Parameterteori	71
5.1.1	Varmeavgivelsesrate og brannvekst	71
5.1.2	Røykproduksjon	73
5.1.3	Lufttetthet i rommet	78
5.1.4	Ventilasjonsforhold	79
5.1.5	Hastighet tilluft	81
5.1.6	Ventilplassering	82
6	Simuleringer	83
6.1	Bruk av FDS	83
6.1.1	PyroSim	84
6.2	Modellen	84
6.2.1	Bygningen	85
6.2.2	Planløsning	85
6.2.3	Sensitivitetsanalyser	86
6.2.4	Mesh	86
6.2.5	Strålingsmodell	94
6.2.6	Forbrenningsmodell	95
6.2.7	HVAC	98
6.2.8	Overflater	102
6.2.9	Måleinstrumenter og sensorer	103
6.3	Referansescenario: S_0	105
6.3.1	Varmeavgivelsesrate og brannvekst	105
6.3.2	Sotproduksjon	105
6.3.3	CO-produksjon	106
6.3.4	Lufttetthet i rommet	107
6.3.5	Vindusbrudd	108

6.3.6	Luftmengde tilført rommene	109
6.3.7	Plassering av ventil	110
6.3.8	Dør- og vindusposisjon	111
6.3.9	Resultater referansescenario	111
6.4	Scenario 1: Varmeavgivelsesrate	112
6.4.1	Resultater scenario 1: Varmeavgivelsesrate	113
6.5	Scenario 2: Brannforløp	120
6.5.1	Resultater scenario 2	121
6.6	Scenario 3: Røykproduksjon	127
6.6.1	Resultater scenario 3	128
6.7	Scenario 4: Tilluftsmengde	132
6.7.1	Resultater scenario 4	133
6.8	Scenario 5: Vindusbrudd	143
6.8.1	Resultater scenario 5	144
6.9	Scenario 6: Luftlekkasje	150
6.9.1	Resultater Scenario 6	151
6.10	Scenario 7: Ventilplassering	151
6.10.1	Resultater Scenario 7	152
6.11	Scenario 8: Ventilasjonsforhold	157
6.11.1	Resultater Scenario 8	157
7	Risikoanalyse	165
7.1	Sannsynlighet	165
7.2	Konsekvenser	166
7.3	Vurdering av risiko	167
7.3.1	Scenario 0	167
7.3.2	Scenario 1	168
7.3.3	Scenario 2	168
7.3.4	Scenario 3	169
7.3.5	Scenario 4	170
7.3.6	Scenario 5	171
7.3.7	Scenario 7	171
7.3.8	Scenario 8	172

7.3.9	Oppsummering	174
8	Oppsummering av analyse	175
8.1	Trykkoppbygning	175
8.2	Røykspredning	176
III	Diskusjon og konklusjon	181
9	Diskusjon	183
9.1	Diskusjon rundt litteraturstudie	183
9.1.1	Dagens situasjon	183
9.1.2	Vurdering av strategier	185
9.2	Analysen	187
9.2.1	Scenario 6: Trykkoppbygging	187
9.3	Usikkerheter ved modellen	188
9.3.1	Geometri	189
9.3.2	Ventilasjonens oppbygning	189
9.3.3	Luftlekkasje	190
9.3.4	Brannen	190
10	Konklusjon	193
10.1	Anbefalinger	194
11	Forslag til videre arbeid	195
A	Oppgavetekst	A1
B	Håndberegninger	B1
C	Andre simuleringsresultater	C1
D	Intervjuer	D1
E	FDS-kode	E1
F	Godkjenninger	F1

Figurer

3.1	Gjeldende lover og regler	15
3.2	Drivkrefter for naturlig ventilasjon er vind, oppdrift og oppdrift forsterket med skorstein	21
3.3	Ventilasjon karakterisert etter tilførselsmåte.	23
3.4	Ventilasjon karakterisert etter tilførsel og luftfordeling	24
3.5	Ventilasjon karakterisert etter tilførsel og luftfordeling	26
3.6	Ventilasjonsaggregat	27
3.7	To ordinære varmegjennvinninere	28
3.8	Filtertyper	29
3.9	Illustrasjonsfigur av branntetting av gjennomføring	32
3.10	Illustrasjonsfigur av branntetting av gjennomføring	38
3.11	Ansvarsfordeling ved brannsikker prosjektering av ventilasjonsanlegg	39
3.12	Oversikt over funksjonsbasert brannsikker designprosess	41
3.13	Dimensjonerende temperatur ved forenklet prosjektering	43
3.14	Constand air volume - Trekk ut	46
3.15	Variable air volume - Trekk ut	47
3.16	Anlegg med konvertert tilluft	47
3.17	Stenge-inne strategi	50
3.18	Bilder Case 1: Restaurantbrann	51
3.19	Varmeavgivelsesrate som funksjon av tiden	56
5.1	Brannvekst med ulike hastigheter	73
5.2	Skjematisk oppstilling av måling av optisk densitet	78
6.1	Oversiktsbilde av modellen	85

6.2	Meshoppløsning	87
6.3	Oversikt over meshinndelingen. Målere brukt i sensitivitetsanalysen har gulgrønn farge	90
6.4	Temperatur ved vindu	91
6.5	CO-konsentrasjon i naborom, 2.0 meter over gulvet	92
6.6	CO-konsentrasjon i tilluftskanal til startbranncelle	92
6.7	Prosentvis formørkning i nabocelle, 1.8 meter over gulvet	93
6.8	Varmeavgivelsesrate målt i en boks rundt brenneren	93
6.9	CO-konsentrasjonen i nabobranncelle, 2.0 meter over gulvet	95
6.10	Prosentvis formørkelse i nabobranncelle, 1.8 meter over gulvet	96
6.11	Varmeavgivelsesrate målt i en boks rundt brannen	96
6.12	Temperaturen ved vinduet i startbranncellen	97
6.13	Trykkoppbygning i rommene på grunn av ventilasjon	102
6.14	Skisse av tilluftskanalene	109
6.15	S1: Trykkoppbygning i brannleiligheten	115
6.16	S1: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet	116
6.17	S1: Temperatur oppunder himling i naboleiligheten	116
6.18	S1: Temperatur i tilluftskanalen	117
6.19	S1: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboleilighet, 2 m over gulvet	117
6.20	S1: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen	118
6.21	S1: Formørkelse i naboleilighet, 2 m over gulvet	118
6.22	S1: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet	119
6.23	S1: O ₂ -innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet	119
6.24	S1: Sotinnhold i tilluftskanalen	120
6.25	S2: Trykkoppbygning i brannleiligheten	122
6.26	S2: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet	123
6.27	S2: Temperatur oppunder himling i naboleiligheten	123
6.28	S2: Temperatur i tilluftskanalen	124
6.29	S2: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboleilighet, 2 m over gulvet	124
6.30	S2: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen	125
6.31	S2: Formørkelse i naboleilighet, 2 m over gulvet	125
6.32	S2: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet	126
6.33	S2: O ₂ -innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet	126

6.34	S2: Sotinnhold i tilluftskanalen	127
6.35	S3: Trykkoppbygning i brannleiligheten	129
6.36	S3: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboleilighet, 2 m over gulvet .	129
6.37	S3: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen	130
6.38	S3: Formørkelse i naboleilighet, 2 m over gulvet	130
6.39	S3: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet	131
6.40	S3: O ₂ -innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet	131
6.41	S3: Sotinnhold i tilluftskanalen	132
6.42	S4: Tilluftstilførsel til hver leilighet	135
6.43	S4: Trykkoppbygning i brannleiligheten	135
6.44	S4: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet . . .	136
6.45	S4: Temperatur oppunder himling i naboleiligheten	136
6.46	S4: Temperatur i tilluftskanalen	137
6.47	S4: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboleilighet, 2 m over gulvet .	137
6.48	S4: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen	138
6.49	S4: Formørkelse i naboleilighet, 2 m over gulvet	138
6.50	S4: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet	139
6.51	S4: O ₂ -innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet	139
6.52	S4: Sotinnhold i tilluftskanalen	140
6.53	S4: Temperatur oppunder himling i naboleiligheten	141
6.54	S4: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboleilighet, 2 m over gulvet .	141
6.55	S4: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen	142
6.56	S4: Formørkelse i naboleilighet, 2 m over gulvet	142
6.57	S4: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet	143
6.58	S4: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet	143
6.59	S5: Trykkoppbygning i brannleiligheten	145
6.60	S5: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet . . .	146
6.61	S5: Temperatur oppunder himling i naboleiligheten	146
6.62	S5: Temperatur i tilluftskanalen	147
6.63	S5: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboleilighet, 2 m over gulvet .	147
6.64	S5: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen	148
6.65	S5: Formørkelse i naboleilighet, 2 m over gulvet	148
6.66	S5: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet	149

6.67	S5: O ₂ -innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet	149
6.68	S5: Sotinnhold i tilluftskanalen	150
6.69	S6: Trykkoppbygning i brannleiligheten	151
6.70	S7: Trykkoppbygning i brannleiligheten	152
6.71	S7: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet . . .	153
6.72	S7: Temperatur oppunder himling i nableiligheten	153
6.73	S7: Temperatur i tilluftskanalen	154
6.74	S7: Karbonmonoksidkonsentrasjon i nableilighet, 2 m over gulvet .	154
6.75	S7: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen	155
6.76	S7: Formørkelse i nableilighet, 2 m over gulvet	155
6.77	S7: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet	156
6.78	S7: Sotinnhold i tilluftskanalen	156
6.79	S8: Tilluftskurve brannleilighet	159
6.80	S8: Trykkoppbygning i brannleiligheten	159
6.81	S8: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet . . .	160
6.82	S8: Temperatur oppunder himling i nableiligheten	160
6.83	S8: Temperatur i tilluftskanalen	161
6.84	S8: Karbonmonoksidkonsentrasjon i nableilighet, 2 m over gulvet .	161
6.85	S8: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen	162
6.86	S8: Formørkelse i nableilighet, 2 m over gulvet	162
6.87	S8: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet	163
6.88	S8: O ₂ -innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet	163
6.89	S8: Sotinnhold i tilluftskanalen	164
C.1	Ventilasjon i referansescenariet uten brann	C1
C.2	Trykkfall i tilluftskanalen til leilighet 1.1	C2
C.3	Trykk i modellen uten brann	C2
C.4	Trykkoppbygning i brannleiligheten	C3
C.5	Varmeavgivelsesrate	C4
C.6	Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet	C4
C.7	Temperatur oppunder himling i nableiligheten	C5
C.8	Temperatur i tilluftskanalen	C5
C.9	Karbonmonoksidkonsentrasjon i nableilighet, 2 m over gulvet . . .	C6

C.10 Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen	C6
C.11 Formørkelse i naboileilighet, 2 m over gulvet	C7
C.12 Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet	C7
C.13 O ₂ -innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet	C8
C.14 Sotinnhold i tilluftskanalen	C8

Tabeller

4.1	Bestemmelser som angir risikoklasse	68
5.1	Menneskers respons på karbonmonoksid	75
5.2	Menneskers respons på redusert O ₂ konsentrasjon i luften	75
6.1	D*/dx-verdier	89
6.2	Meshoppsett for sensitivitetsanalyse	90
6.3	Viftekurve	101
6.4	Tålegrenser for sikt, CO og O ₂	106
6.5	Faktisk tilført friskluft i normalsituasjonen	110
6.6	Oppsummering referansescenariet	111
6.7	Inndata og variasjoner til scenario 1	113
6.8	Inndata og variasjoner til scenario 2	120
6.9	Inndata og variasjoner til scenario 3, sotproduksjon	128
6.10	Inndata og variasjoner til scenario 3, CO-produksjon	128
6.11	Inndata og variasjoner til scenario 4	133
6.12	Inndata og variasjoner til scenario 5	144
6.13	Inndata og variasjoner til scenario 6	150
6.14	Inndata og variasjoner til scenario 7	152
6.15	Inndata og variasjoner til scenario 7	157
7.1	Sannsynlighetsgradering	166
7.2	Konsekvenskriterier	167
7.3	Oversikt kritiske siktforhold	173
7.4	Risikomatrise	174

8.1	Effekten parameterendring har på trykkoppbygningen	177
8.2	Effekten parameterendring har på røykspredning	179
B.1	Sikt og prosentvis formørkelse	B3

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Det er i hovedsak tre faktorer som avgjør spredningen av branngasser i et brennende bygg [1]. Brannens varmeeffekt og brannrommets lufttetthet utgjør to av faktorene. I tillegg er ventilasjonssystemets egenskaper avgjørende for hvordan spredningen av røyk vil foregå. Å ventilere bygg er nødvendig av mange grunner. God luftkvalitet og riktig temperatur er viktig for brukere av bygget. Med dagens tette bygg har ventilasjon i tillegg byggtekniske funksjoner, som å forhindre fuktproblemer i konstruksjonen [2]. Ventilasjonsanlegget forgrener seg ut til alle rom og områder i bygningen, og man må påse at dette ikke svekker brannsikkerheten i bygget [3]. Det første kravet i TEK 10 vedrørende brannsikkerhet er at:

”Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet ved brann for personer som oppholder seg i eller på byggverket, for materielle verdier og for miljø- og samfunnsmessige forhold” [4].

Bygg deles gjerne inn brannceller for å begrense spredning av brann og giftige røykgasser i bygget. Ventilasjonskanalene vil i mange tilfeller penetrere brannskilleveggene, og det er derfor nødvendig med tilstrekkelig sikring av slike gjennomføringer for at brannskillet skal opprettholde sin funksjon.

I prosjekteringsbransjen har det lenge vært tradisjon for ikke å gi ventilasjonsanlegg noen funksjon ved brann [5]. Dette vil si at anleggene kjøres som normalt ved brann, helt til det eventuelt vil stoppe som følge av brannpåkjenningene. En diskusjon om den løsningen er tilstrekkelig har blusset opp i fagmiljøet, og i 2012

gikk en gruppe fagfolk sammen og ga ut *Veileder for brannsikker ventilering* under navnet BV Nett [6]. Der vises det til gode ventilasjonsløsninger som i all hovedsak dreier seg om to prinsipper: trekk ut og steng inne. Trekk ut-prinsippet baserer seg på å inkludere komponenter som temperaturbestandig vifte og bypass over filter og varmegjenvinner, slik at anlegget kan gå ved brann. Fordelen med denne modellen er at røyk blir sugd inn i avtrekkskanalen og ført ut av bygget. Prinsippet om å stenge inne utføres derimot ved å installere brann- og røyktette spjeld ved alle gjennomføringer av brannskiller. Alle brannceller blir dermed fullstendig skjermet fra hverandre om en brann oppstår. Veilederen er dog ikke juridisk bindende, og er strengere enn TEK 10. TEK 10 sier følgende om tekniske installasjoner:

”Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonen ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg.”

Betydningen av begrepet *vesentlig* er omdiskutert, og er muligens opphavet til det mange mener er manglende brannsikring av ventilasjonssystemer [7].

Brannsikre ventilasjonsstrategier har eksistert lenge før BV-veilederen ble lansert. Eksempelvis var trekk ut-strategien nevnt i Rett og slett, veilederen til Byggeforskrift av 1987 [8]. Eksemplifiserte løsninger var gitt fra myndighetene. Disse ble fjernet på slutten av 1990-tallet med begrunnelsen om at forskriften skulle være funksjonsbasert, og eksplisitte eksempler ville dermed hemme innovasjon og andre typer løsninger [5]. Samtidig ble det presisert at den oppdaterte utgivelsen hadde samme kravsnivå som den foregående. Med fjerningen av disse eksemplene forsvant også de utøvenes vilje til å bruke dem. Anlegg uten brannspjeld eller bypass og temperaturbestandig vifte har blitt montert i bygg over hele landet i lang tid [5, 7, 9].

Det faktum at røyk og giftige gasser er hovedårsaken til de fleste dødsfall i forbindelse med brann har ført til større oppmerksomhet rundt røykutvikling og røykspredning ved brann i bygninger [10]. Ventilasjonssystemet i bygg er med på å påvirke et eventuelt brannforløp og røykspredningen til brannen. Det er derfor viktig å prosjektere ventilasjonssystemet med hensyn på brannsikkerhet.

1.2 Målsetting

1.2.1 Effektmål

Generelt:

- Klargjøre viktigheten av god brannsikring av ventilasjonsanlegg i bygg;
- Vise hvilken betydning ventilasjonsanlegget har for røykspredning ved brann.

For forfatterne spesielt:

- Bli kjent med problemer og løsninger vedrørende brannsikker ventilerings av bygg;
- Øke kunnskapen rundt temaet og forbedre forståelsen av viktigheten ved brannsikring av ventilasjonssystemer.

1.2.2 Resultatmål

Innen 10.06.2015 få kartlagt ulike metoder for brannsikring av ventilasjonssystemer. Videre ønskes det å finne ut om, og i hvilken grad, røykspredning skjer via et vanlig, sentralisert ventilasjonsanlegg. I den sammenheng vil det vurderes om kravet om at tekniske installasjoner ikke skal svekke brannskillene *vesentlig* overholdes eller ei. I tillegg er det ønskelig å finne ut hvilke parametere som er mest avgjørende for røykspredning via ventilasjonsanlegget.

1.2.3 Suksesskriterier

- Få kartlagt aktuelle ventilasjonsløsninger gjennom litteratursøk og intervjuer;
- Gjennomføre et detaljert parameterstudie for å få gode input-verdier i analysemodellen;
- Risikoforskjellene de ulike parameterendringene medfører skal kvantifiseres og sammenlignes;
- Oppnå god brukerforståelse av simuleringsprogrammet FDS.

1.3 Avgrensning

Denne studien begrenser seg til å se på røykspredning via ventilasjonsanlegget i et ellers tett bygg. Avgrensninger og begrensninger i oppgaven innebærer følgende:

- Forenklinger er gjort i forbindelse med oppbygning av simuleringsmodellen. Slike forenklinger er foretatt for å spare simuleringstid eller fordi ytterligere detaljer ble ansett som unødvendig i forhold til oppgavens problemstilling;
- Analysen er gjort av et fiktivt eksempelbygg, bestående av tre leiligheter og en korridor, over ett plan;
- Kun én type ventilasjonsanlegg vil betraktes i analysen: et anlegg med tillufts- og avtrekkskanal uten videre brannsikring. Dette fordi både trekk ut og steng inne-løsningene er meget gode tiltak mot røykspredning, og derfor mindre interessante å undersøke. Førstnevnte ville i tillegg vært vanskelig å modellere i FDS;
- Oppgaven ser på flere forskjellige parametere og deres innvirkning på røykspredning via ventilasjonsanlegget. De aktuelle parameterne er valgt på grunnlag av hva forfatterne av oppgaven mener har størst innvirkning på røykspredningen i kanalnett, og som er mulig å simulere;
- Det vil bli benyttet programvaren PyroSim for å utføre FDS-simuleringer. PyroSim støtter for øyeblikket FDS 6.1.1, som er nest siste versjon.

1.4 Rapportens oppbygning

Rapporten er delt inn i tre deler:

- Del 1: Litteraturgjennomgang;
- Del 2: Analyse;
- Del 3: Diskusjon og konklusjon.

1.4.1 Del 1: Litteraturgjennomgang

Litteratursøket gjennomført i rapportens Del 1 skal forsøke å kartlegge regelverket og løsninger rundt brannsikring av ventilasjonssystemer. Det blir gitt en grunnleggende innføring i ventilasjon, ventilasjonsstrategier og ulike brannsikringstiltak. I tillegg vil litteratur om brann- og røykdynamikk gjennomgås i denne delen.

Alt som er skrevet i denne delen er, så fremt ikke annet blir nevnt, hentet fra litteraturen. Forfatterens personlige meninger og synspunkter forekommer ikke her. I de tilfellene kildene er internasjonale har det vært behov for oversettelse, og forklaringer kan dermed ha forekommet.

Det er forsøkt å følge et mønster der kilde gis i slutten av første setning i hvert avsnitt. Hver kilde vil gjelde frem til neste henvisning.

1.4.2 Del 2: Analyse

Rapportens andre del tar for seg en kvalitativ og kvantitativ analyse, etterfulgt av konsekvens- og risikoanalyser. Teori rundt FDS og input-parametere presenteres i denne delen etterhvert som temaene blir berørt.

1.4.3 Del 3: Diskusjon og konklusjon

Den avsluttende delen av rapporten inneholder diskusjoner rundt funnene gjort, samt en konklusjon av hva som er kommet frem.

2 Arenabeskrivelse

2.1 Overordnet beskrivelse av ventilasjonssystemer

Et ventilasjonsanlegg er en teknisk installasjon som erstatter gammel luft med frisk luft i konstruksjoner med behov for luftutskiftninger [11]. Anlegget sørger for ønsket temperatur, luftfuktighet og forurensningsgrad i bygningen, og moderne anlegg kan ha automatisk behovsstyrt regulering slik at akseptabelt klima i bygget oppnås. Da det i det moderne samfunnet er vanlig å tilbringe mer enn 90% av tiden innendørs er det viktig å sikre godt innemiljø [12]. Dårlig luftkvalitet kan føre til slapphet, hodepine og irritasjon av slimhinner, og i mange tilfeller kan dårlig ventilering være astmafremkallende [13]. *Dårlig luftkvalitet* er i følge Awbi for høye verdier av uønskede gasser fra mennesker eller gjenstander som er i rommet. I tillegg til å fjerne urenheter er det viktig at dette skjer på en komfortabel måte, da for sterkt trekk kan gi ubehag hos brukerne.

Et ventilasjonsanlegg består av komponenter som vifter, filter, varmegjenvinner, ventilasjonskanaler, ventiler og spjeld. Funksjonene et hvert anlegg skal tjene er avgjørende for hvilke komponenter det vil bestå av [11]. Det må tidlig avgjøres om ett anlegg skal betjene hele bygget eller om man skal ha egne anlegg for hver branncelle. Sistnevnte kalles desentraliserte ventilasjonsanlegg, og kan være fordelaktig i for eksempel leilighetskompleks av høyere standard [14].

2.2 Overordnet beskrivelse av brannteknisk perspektiv på ventilasjonssystemer

En konstruksjons ventilasjonsanlegg kan være tilknyttet alle dens rom. Det er derfor viktig å ta hensyn til at ventilasjonskanalene kan være minste motstands vei fra en branncelle til en annen når man prosjekterer, så ikke ventilasjonen blir fungerende som brannspreader [3]. Det er derfor viktig å utarbeide en brannsikringsstrategi for ventilasjonsanlegget [6]. Å la anlegget gå som normalt er den mest utbredte løsningen per i dag [7]. Løsningen er forholdsvis ugunstig med tanke på sikkerhet [9]. De to sikringsalternativene man kan benytte seg av baserer seg på prinsippene om å enten la anlegget gå ved brann, eller å stenge det av [6]. Ved å la det gå, såkalt trekk ut-løsning, vil man bruke undertrykket i avtrekkskanalene til å ventilere ut branngassene. Å stenge inne innebærer å bruke brann- og røyktette spjeld for å isolere alle brannceller fra hverandre ved brann.

TEK 10 sier at ventilasjonsanlegg ikke skal øke faren vesentlig for at brann oppstår og at brann ikke spres gjennom brannskiller og røyk ikke spres gjennom røykskiller. Denne formuleringen legger grunnlaget for brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg, i form av tre enkle regler [6]:

- Hindre brannspredning via ventilasjonsanlegg eller via gjennomføringer i brannskiller;
- Hindre røykspredning via ventilasjonsanlegg eller via gjennomføringer i brannskiller;
- Redusere risiko for at brann oppstår i deler av ventilasjonsanlegget eller antennes og bidrar til brannspredning.

Reglene gjelder for både trekk-ut og steng-inne ventilasjonsanlegg, samt for kombinasjonsløsninger.

2.3 Problematisering

Det ligger en utfordring ved at det finnes flere metoder som løser brannsikkerhetskravene vedrørende ventilasjonsanlegg på [15]. Risikoen rundt brann- og røyk-

spredningsfare i kanalnettet avhenger blant annet av byggets branntekniske oppdeling, forventet brannforløp, om det er installert automatisk slukkeanlegg eller ikke og andre branntekniske forhold. Videre er de ventilasjonstekniske forholdene i bygget avgjørende for sikkerheten, da utformingen av ventilasjonsanlegget spiller en viktig rolle for brann- og røykspredningsfaren. I rådgivermiljøet snakkes det om to hovedprinsipper det bør velges mellom: steng-inne eller trekk-ut [6]. Begge disse metodene er i stand til å tilfredsstille brannsikkerhetskravene som stilles til ventilasjonsanlegg. I praksis følges imidlertid disse retningslinjene sjeldent [5]. Man har ofte ikke tildelt ventilasjonsanlegget en funksjon ved brann, og lite brannsikre løsninger blir installert i mange nye bygg. Tidligere var preaksepterte løsninger eksplisitt uttrykt i byggeforskriftenes veiledninger. Dette var løsninger som med mindre modifikasjoner ville tilfredsstilt dagens funksjonsbaserte forskrift, TEK 10. Siden de preaksepterte løsningene ble fjernet fra veilederne har utførelsen av anlegg vært gjort på en mindre trygg måte enn de gamle metodene beskrev.

2.4 Problemstilling

Diskusjonen rundt hvorvidt man bør stenge av ventilasjonsanlegget ved brann eller ikke har foregått i lang tid. Byggeforskrift av 1987 med tilhørende veiledning Rett og slett ga klare retningslinjer for hvordan ventilasjonsanlegg skulle utformes [8]. De konkrete beskrivelsene ble tatt ut ved tredje revidering av REN, TEK 97s veileder. Det ble i større grad opp til de prosjekterende å tilfredsstille funksjonskravene forskriften uttrykte. Per dags dato er TEK 10 gjeldene, og den har åpnet mulighetene ytterligere for skreddersydde ventilasjonsløsninger så lenge funksjonskravene blir oppfylt.

Krav som stilles, og hvordan de løses, ønskes kartlagt i denne oppgaven. Videre vil en gjennomgang av dagens løsninger utføres for å undersøke om de faktisk svarer til TEK 10. Videre er det ønskelig å finne ut om et enkelt balansert ventilasjonsanlegg faktisk skaper farlige situasjoner ved at det sprer røyk ved brann. Til dette vil FDS 6 (Fire Dynamics Simulator) benyttes. I den sammenheng vil forskjellige parametere undersøkes for å kartlegge hva slags påvirkning som er mest sensitiv for resultatet.

Sentrale spørsmål som forfatterne ønsker å besvare i denne oppgaven er:

- Er vanlige balanserte ventilasjonsanlegg tilstrekkelig sikret mot spredning av brann og røyk? Svarer det til TEK 10 §11-10, eller må ytterligere sikring implementeres?
- Hvilken påvirkning har antatt viktige parametere på røykspredningen via ventilasjonskanalene? Disse innebærer, men ikke begrenset til:
 - Brannvekst;
 - * Effekt
 - * Tid
 - Lekkasje i fasaden;
 - Ventilasjonsmengder;
 - Tid til vindusbrudd.

2.5 Metodebeskrivelse og valg

Det er benyttet flere metoder i forbindelse med arbeidet av denne oppgaven. Først er det kartlagt hva slags krav som stilles og hvordan de løses. Deretter er det gjennomført en kvalitativ og kvantitativ analyse av et fiktivt bygg for å undersøke om et vanlig ventilasjonsanlegg skaper farlige situasjoner ved en brann.

2.5.1 Litteraturgjennomgang

En studie av relevant litteratur om ventilasjonsstrategier, regelverk, brannprosjektering samt brann- og røykdynamikk utgjør oppgavens første del. Det er gjort fortløpende vurderinger av kvaliteten på litteraturen som har blitt benyttet. Det er i hovedsak forsøkt å begrense litteraturhenvisninger til anerkjente institusjoner, universiteter, forfattere og fagfolk. Litteratur og informasjon er funnet på følgende måter:

- Nettsøk med søkemotorer som Google og Google Scholar;
- Gjennomgang av SINTEF-rapporter;
- Gjennomgang av tidligere bachelor- og masteroppgaver;

- Bruk av fagbøker;
- Søk i NTNUs biblioteker;
- Deltagelse på VVS-foreningens kurs ”Brannsikring av ventilasjonsanlegg” i Oslo 10.02.2015, samt Midt-Norsk Brannforum i Trondheim 18.11.2014 (sistnevnte i forbindelse med tidligere prosjektoppgave);
- Intervjuer med bransjefolk;
- Ved å følge referanser oppgitt i nevnte kilder.

2.5.2 Analyse

Selv om oppgaven har en egen litteraturliste er teori knyttet opp mot simuleringsprogrammet og parametervalgene gjennomgått som et ledd i analysen. Først er en kvalitativ analyse gjennomført for å danne grunnlag for valg av brannscenario. I den påfølgende kvantitative analysen er det benyttet litteratur om brannsimuleringsprogrammet FDS for å sette opp modellen. Hensikten med analysen er å undersøke hvorvidt røykspredning ved et vanlig balansert ventilasjonsanlegg forekommer i alvor grad, samt å finne ut hvilke parametere som eventuelt påvirker spredningsmønsteret mest. Til det er simuleringsverktøyet FDS 6 benyttet, via programvaren PyroSim.

2.5.2.1 Valg av simuleringsverktøy

Programmet FDS 6 er valgt, fordi:

- Det er gjennomført betydelig verifisering og validering av programvaren;
- Det oppdateres stadig;
- Resultatene vises visuelt i tilleggsprogramvaren SmokeView;
- PyroSim gjør bruken av FDS relativt enkel;
- Programmet har egen HVAC-funksjon;
- Det er gode og omfattende brukermanualer.

Del I

Litteraturgjennomgang

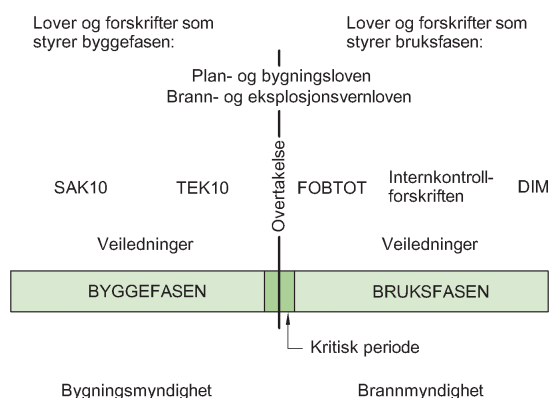
3 Litteraturgjennomgang

3.1 Regelverk

Det er flere sett med lover og regler som stiller krav til branntekniske løsninger i byggverk. Figur 3.1 viser en oversikt over lover og forskrifter med bestemmelser om brannsikkerhet i bygge- og bruksfasen. Forskriftene er underlagt Plan- og bygningsloven og Brann- og eksplosjonsvernloven. Under byggefasen må en forholde seg til SAK 10 og TEK 10 og tilhørende veiledere. Etter overtakelsen gjelder FOBTOT, Internkontrollforskriften, og DIM. I de følgende avsnittene vil TEK 10 og FOBTOT beskrives.

3.1.1 TEK10

Forskrift om tekniske krav til byggverk, heretter omtalt som TEK 10, er en forskrift med hjemmel i Plan- og bygningsloven, og overtok etter TEK 97. Forskriften



Figur 3.1: Lover og regler [16]

gir overordnede retningslinjer for hvordan nye bygg skal utformes med tanke på kvalitet, sikkerhet, miljø, helse og sikkerhet, som formulert i forskriftens formål [3]:

”Forskriften skal sikre at tiltak planlegges, prosjekteres og utføres ut fra hensyn til god visuell kvalitet, universell utforming og slik at tiltaket oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energi.”

Forskriften sørger altså for lovfestete krav til nye bygninger, i form av funksjonskrav og ytelsesnivåer. Med funksjonskrav menes etterprøvbare kvalitative eller målbare kvantitative ytelser. Man står dermed fritt til å velge ventilasjonsløsning så lenge kravene innfris.

Forskriftens kapittel 11 omhandler brannsikkerhet. Her gis overordnede krav hvis løsninger er gitt i forskriftens veileder og i standarder. De fem delkapitlene om brannsituasjonen skal sørge for brukeres sikkerhet, tilstrekkelig bæreevne i bygget, begrenset brann- og røykspredning og tilretteleggelse for evakuering samt slokking.

Universell utforming av nybygg er lovpålagt i blant annet TEK 10. Dette medfører at man skal ta hensyn til funksjonshemninger ved dimensjonering og utforming av løsninger tilknyttet kravene i branntilfellet.

Videre stilles det generelle krav til ventilasjon i bygninger, og hjemmelsgrunnlaget for å kreve brannsikring av ventilasjonsanlegg finnes i forskriftens §11-10:

1. ”Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonen ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg.
2. Installasjoner som er forutsatt å ha en funksjon under brann, skal være slik prosjektert og utført at deres funksjon opprettholdes i nødvendig tid. Dette omfatter også nødvendig tilførsel av vann, strøm eller signaler som er nødvendig for å opprettholde installasjonens funksjon.”

3.1.1.1 Veileder til teknisk forskrift

Veilederen VTEK er myndighetenes tolkning av forskriften. Den utdyper og forklarer kravene, og gir føringer for hvordan kravene kan etterkommes [17].

Samtidig oppfordrer veilederen til å prosjektere byggverket med høyere standard enn minimumskravene gitt i forskriften. Der det er gitt spesifikke ytelser i forskriften skal disse følges. I tilfeller der ytelser ikke er gitt skal funksjonskravene verifiseres ved en av følgende metoder [17]:

- (a) ”Ved at byggverket prosjekteres i samsvar med preaksepterte ytelser, eller;
- (b) Ved analyse som viser at forskriftens krav er oppfylt.”

Forutsetningene for den valgte branntekniske prosjekteringsmodellen må bestemmes og beskrives. Dersom det første alternativet velges betyr det, i følge veilederen, at preakseptert løsning skal følges uten fravik. Det er mulig å kombinere modellene ved å ta utgangspunkt i en preakseptert løsning, for så å analysere og verifisere eventuelle fravik fra denne løsningen. Omfanget av analysen er proporsjonal med graden av fravik fra den preaksepterte ytelsen, men det skal, selv ved små fravik, utredes hva slags konsekvenser fraviket medfører [6]. VTEK tillater både kvalitative og kvantitative verifiseringsmuligheter, samt et kombinasjonsalternativ. Det gis imidlertid begrensninger for når de forskjellige verifiseringene kan benyttes. Rene kvalitative vurderinger er kun mulig når fravikene fra den preaksepterte ytelsen er av lav karakter, i tilfeller der kun kvalitativ analyse er mulig, eller når en kvalitativ vurdering er tilstrekkelig [18].

3.1.2 Forskrift om brannforebyggende tiltak og tilsyn

Forskriften gjelder fra første dag i bruksfasen [16]. Den har som formål å forebygge branntilløp gjennom å gi instruksjoner om hvordan tiltak og tilsyn skal gjennomføres. Videre stiller den krav om brannteknisk utbedring av eldre bygninger [19]. Forskriften gir ingen bygningstekniske krav, men har som forutsetning at konstruksjonen er reist etter gjeldende regelverk.

3.1.3 Veileder for brannsikker ventilering

Det ble i 2012 utarbeidet en veileder som anbefaler løsninger som ivaretar brannsikkerhetskravene fra TEK 10 for ventilasjon i bygg [6]. En rekke aktører fra brann- og ventilasjonsmiljøet i Norge gikk sammen og publiserte veilederen under navnet BV Nett. Det er gitt anbefalinger i veilederen for hele prosessen, fra prosjektering til kontroll og vedlikehold. Selv om veilederen gir anbefalte

løsninger utelukker den ikke andre måter å tilfredsstillere forskriftens funksjonskrav på. Metodene beskrevet i veilederen er strengere og dyrere enn majoriteten av dagens løsninger [7].

3.2 Standarder

Det er flere standarder som tar for seg brannsikkerhet i bygninger. De mest relevante for denne oppgaven nevnes her.

3.2.1 NS-EN 13501

Standarden *Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler* består av seks deler. Første del klassifiserer materialegenskaper ved brann, og vil ikke utdypes videre her [20]. Del to klassifiserer brannmotstand ved brann, men da den ikke dekker ventilasjonssystemer vil ikke denne delen omtales ytterligere [21]. Del tre er også et klassifiseringssystem for brannmotstand ved brann, og gjelder for produkter brukt i ventilasjonssystemer, herunder kanaler og spjeld [22]. Standarden er dermed viktig for både trekk ut og steng inne-anlegg. Brannmotstand er gitt ved følgende fire kriterier:

- Bæreevne (R): Gjelder bærende konstruksjonsdeler, som søyler og bjelker;
- Integritet (E): En komponents evne til å hindre brann i å spre seg gjennom materialet, og dermed et mål på dens tetthet;
- Isolasjon (I): Komponentens evne til å motstå varmetransport til ueksponert side, og dermed relatert til dens varmeledningsevne;
- Røyktetthet (S): En komponents evne til å motstå røykspredning til ueksponert side.

Standarden gir flere kriterier, men disse er irrelevante i denne sammenheng. Klassifiseringene blir angitt med karakteristikkene ovenfor, samt hvor lenge disse egenskapene skal holde. Klassifiseringsperioden gis i minutter, eksempelvis 60, 90 eller 120. For ventilasjonsanlegg stilles det kun krav til integritet, isolasjon og røyktetthet.

Den fjerde delen utgjør siste relevante standard i NS-EN 13501-serien. Den handler

om kriterier og klasser for produkter i røykkontroll, og er dermed spesielt viktig for trekk-ut-anlegg [23].

3.2.2 NS-EN 15423

Standarden *Ventilasjon i bygninger – Branntiltak for luftfordelingsystemer i bygninger* gir retningslinjer om hvordan ventilasjonssystemer kan utføres på en brannsikker og forskriftsmessig måte [24].

3.2.3 NS-EN 1366

Standardserien heter *Prøving av brannmotstanden til tekniske installasjoner* og består av flere deler, der hver tar for seg én komponent eller løsning. Det gis, som navnet tilsier, testmetoder for de forskjellige komponentene ventilasjonssystemet består av [25]. Disse testene skal verifisere at ventilasjonsanlegget ved standard brannpåkjenning ikke svekker brannskillet i branncellen. 31.12.2013 trakk SP Fire Research AS tilbake alle godkjenninger basert på testing gitt i den gamle standarden NT Fire 034, så produsenter må nå følge NS-EN 1366 [26].

3.2.4 NS-EN 12101

Den tiende delen av standarden *Brannventilasjonsystemer* gir spesifikasjoner for strømforsyningsanlegg for røykkontrollsystemer, og er dermed relevant for trekk-ut-løsningen [27]. I del syv og åtte, som omhandler henholdsvis røykavtrekkskanaler og -spjeld, angis det hva de to skal testes for [28][29]. Dette gjelder for alle ventilasjonsanlegg som skal transportere forbrenningsgasser ved brann.

3.2.5 NS3901:2012

Standarden *Krav til risikovurdering av brann i byggverk* gir retningslinjer for hvordan man skal håndtere og styre risiko knyttet til brann i bygninger. Dette skal danne et bedre grunnlag for beslutninger knyttet til [18]:

- Strategiske valg eller prioriteringer;
- Planprosesser;
- Prosjektering, valg og verifikasjon av krav, ytelser og tekniske løsninger;
- Gjennomføring av aktiviteter;

- Prioritering av tiltak ved drift og vedlikehold av systemer eller tjenester;
- Prioritering av brannberedskap.

Standarden tar for seg risiko i hele byggets livssyklus, med fokus på brannsikkerhet. Dette er presentert som et flytskjema og gir en god oversikt over viktige momenter knyttet til risikohåndtering.

3.2.6 NS1991-1-2

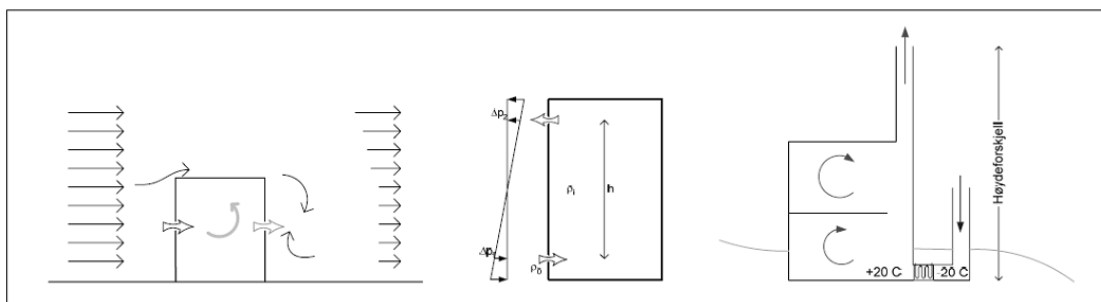
Standarden *Allmenne laster - Laster på konstruksjoner ved brann* beskriver termiske og mekaniske laster for dimensjonering av konstruksjoner ved brann [30]. Den angir retningslinjer for beregning av verdier, samt forslag til verdier som kan benyttes. Standarden tar for seg grunnleggende aspekter ved branndimensjonering.

3.3 Ventilasjonsteknikk

Ventilasjon utgjør en stor del av det totale energiforbruket i norske bygninger. I nyere bygg, der isolasjonen er god, har man ofte varmeoverskudd på grunn av solinnstråling og varmekilder internt i bygget [31]. Behovet for å kjøle ned luften for å oppnå et behagelig inneklima kan derfor bli betydelig. I boliger bygget etter eldre forskrifter utgjør ventilasjonen grovt regnet en tredel av det totale energiforbruket dersom man ikke benytter varmegjenvinning. Ventilasjonsluftmengder og energigjennvinningsgrad har derfor stor betydning for det totale energiforbruket til bygget. Det kan være fristende å redusere energiforbruket til ventilasjonssystemet, men det går gjerne på bekostning av luftkvaliteten og trivsel i bygget.

Ventilasjon kan kategoriseres på flere måter. Hans M. Mathisen har delt det inn i fire ulike kategorier [31]:

- Ventilasjon karakterisert etter drivkraft;
- Ventilasjon karakterisert etter tilførselsmåte;
- Ventilasjon karakterisert etter tilførselen og luftfordelingen i rommet, og;
- Ventilasjon karakterisert etter funksjon.



Figur 3.2: Drivkrefter for naturlig ventilasjon er vind, oppdrift og oppdrift forsterket med skorstein [31]

3.3.1 Ventilasjon karakterisert etter drivkraft

3.3.1.1 Naturlig ventilering

Naturlig ventilering er ventilering som er forårsaket av naturkrefter [31]. Dette er eksempelvis vindtrykk på en vegg eller temperaturulikheter mellom innsiden og utsiden av bygget. Trykkforskjellene dette skaper fører til infiltrasjon av luft gjennom bygningsskallet. Naturlig ventilasjon kan også foregå gjennom åpninger i bygningsskallet, som for eksempel et vindu. Ved å åpne vinduet oppnås det luftutskiftninger og tilførsel av frisk luft. Det kan også foregå ved den såkalte skorsteinseffekten. Denne effekten kommer av at varm luft er lettere enn kald luft og vil derfor få en oppdrift på grunn av lavere tetthet. Hans M. Mathisen skriver:

”I en bygning med åpninger oppe og nede vil det oppstå et trykk utenfra og inn i den nedre delen, og innenfra til ut i den øvre delen, og det oppstår en strømning gjennom bygningen. Jo større temperaturforskjellen er, jo sterkere blir drivtrykket” [31].

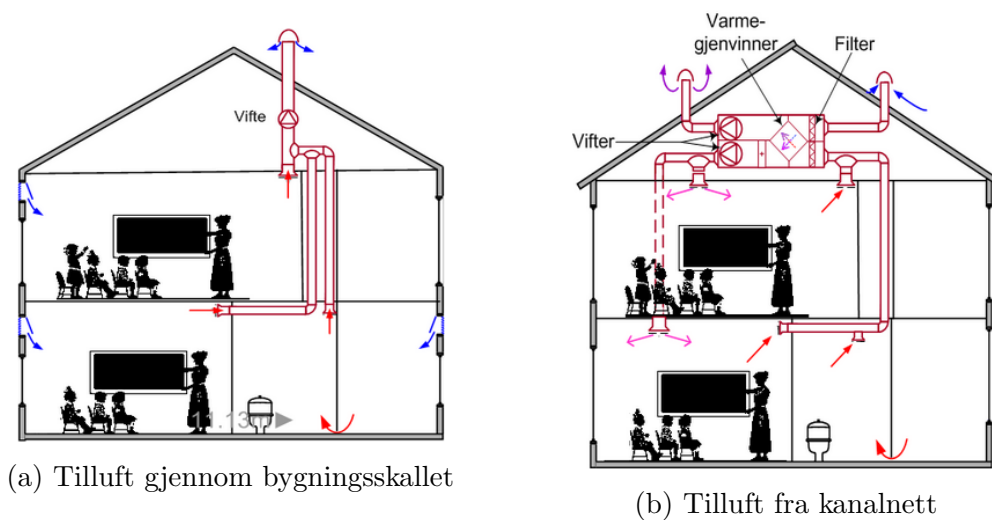
I figur 3.2 er det illustrert hvordan naturlig ventilering kan foregå. Hvor stor grad av naturlig infiltrasjon bygget har avhenger av hvordan bygningsskallet er utformet, materialbruk og bruken av bygget.

3.3.1.2 Mekanisk ventilering

Mekanisk ventilering skjer ved at tillufts- og avtrekksvifter blir drevet mekanisk via en elektrisk tilkobling[13]. Dette skaper trykk i kanalene slik at ventilasjonsanlegget tilfører rommet frisk luft, mens den gamle luften trekkes ut. Hvilken type mekanisk ventilasjon som brukes avhenger av klima og type bygg som skal ventileres. Eksempelvis vil et standard bolighus stille andre krav til ventilering enn et næringsbygg. Mekanisk ventilering er uavhengig av uteforholdene og gir god mulighet for varmegjenvinning av avtrekksluften [31]. En kombinasjon av naturlig og mekanisk ventilering kalles for kombinert ventilering og er vanlig å bruke i bygg.

3.3.2 Ventilasjon karakterisert etter tilførselsmåte

Et avtrekkssystem, som regel mekanisk drevet, og tilluft gjennom åpninger i fasaden er vist i figur 3.3a. Tilluften kommer inn ved infiltrasjon gjennom bygningsskallet, og en slik løsning gir dermed ingen mulighet for forvarming av ventilasjonsluften [31]. Et alternativ til dette er et viftedrevet tilluftssystem, se figur 3.3b. Dette fungerer ved at en vifte trekker inn utendørs luft som går gjennom et filter før den varmes opp. Deretter fortsetter luften gjennom kanalnettet og videre inn i rommene som skal ventileres. En avtrekksvifte trekker luften ut fra rommet, gjerne fra en ventil montert høyt i rommet da den brukte luften er oppvarmet og stiger oppover. Før den brukte luften trekkes ut, går den gjennom varmegjenvinneren slik at varmeenergien til luften kan overføres til tilluften. Figur 3.3b er et eksempel på mekanisk balansert ventilering. Denne ventilasjonstypen er en moderne og vanlig måte å ventilere på og energieffektive løsninger blir brukt. Tilluften er gjerne 2–3 grader kaldere en romtemperaturen, slik at det oppnås sirkulasjon av luften som en følge av ulike massetettheter [31]. Fordelene med denne typen ventilering i forhold til mekanisk drevet avtrekksystem er filtreringen av uteluft, kontroll på tilluftsmengder og lufthastigheter til de enkelte rom, redusert lydgjennomgang fra utsiden [32]. I tillegg får man varmet opp luften før den tilføres. Dette gir mulighet for varmegjenvinning fra avtrekks- og tilluften. Det finnes prinsipielt to forskjellige løsninger for balansert ventilering: sentraliserte og desentraliserte anlegg. Dette omtales mer i avsnitt 3.3.5.



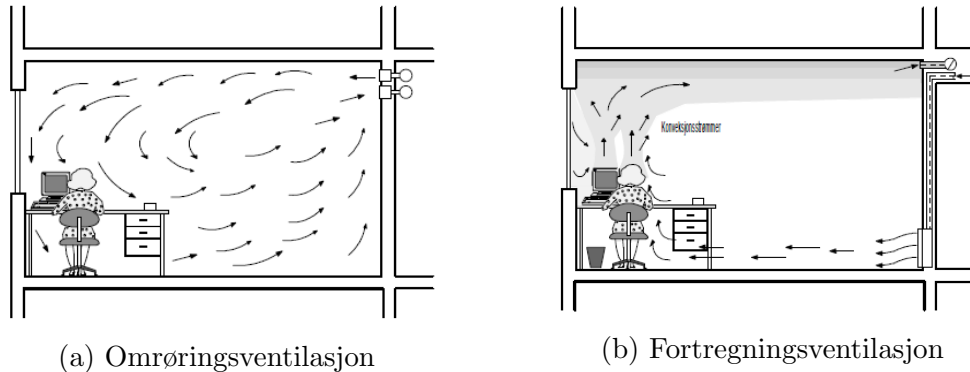
Figur 3.3: Ventilasjon karakterisert etter tilførselsmåte [33]

3.3.3 Ventilasjon karakterisert etter tilførsel og luftfordeling i rom

Omblandingsventilasjon, ofte kalt omrørings- eller fortynningsventilasjon, vil si at luften slippes inn i rommet med relativt stor hastighet, slik at all luft i rommet settes i bevegelse, se figur 3.4a [31]. Forurensningene vil fordele seg tilnærmet homogent i rommet og blir fjernet ved fortynning av luften. Omrøringsventilasjon er den vanligste metoden å ventilere bygg som skoler, barnehager og kontorer på [33]. Luften tilføres gjennom rister eller dyser plassert høyt i rommet.

Alternativt kan fortregningsventilasjon benyttes [31]. Prinsippet baserer seg på å tilføre frisk luft med noe lavere temperatur enn romtemperaturen med lav hastighet, se figur 3.4b. Ventilen til innluften er plassert ved gulvet, mens avtrekksventilen er oppunder himlingen. Fortregning benyttes til ventilering og kjøling, og er godt egnet til systemer der varierende luftmengder er ønskelig [31]. Denne formen for ventilering fjerner varme raskt fra rommet, og varme produsert av installasjoner i himlingen tilføres i liten grad oppholdssonen [34].

Omluftsventilasjon er en annen mulighet. Dette innebærer å blande noe av den varme, brukte avtrekksluften med frisk uteluft, og bruke dette som tilluft.



Figur 3.4: Ventilasjon karakterisert etter tilførsel og luftfordeling [34]

Avtrekket bør filtreres før det gjenbrukes [35].

3.3.4 Ventilasjon karakterisert etter funksjon i rommet

Grunnprinsippet til ventilasjonssystemer er å skifte ut brukt luft med ny. Det kan også ha andre funksjoner som for eksempel å varme opp eller kjøle ned luften i rommet [31]. Flere funksjoner i ventilasjonssystemet medfører en høyere kompleksitet og flere komponenter. Erfaringer tyder på at det lettere kan oppstå feil dersom man ikke har rutinemessig kontroll av systemet. Det er derfor fordelaktig med separate systemer for oppvarming og ventilasjon. Kjøling kan relativt enkelt kombineres med ventilasjon da ventilasjonsluften bør tilføres rommet med lavere temperatur enn romluften for å skape god luftsirkulasjon [31].

3.3.5 Sentraliserte og desentraliserte ventilasjonssystemer

Ut i fra byggets funksjon må man vurdere om det skal være sentraliserte eller desentraliserte anlegg. Det kan for eksempel være hensiktsmessig med separate anlegg for hver leilighet i et leilighetskompleks [14].

I et sentralisert system er det ett aggregat som ventilerer flere brannceller, mens desentraliserte systemer baserer seg på at hver celle har hvert sitt aggregat. Hver av de to systemene har fordeler og ulemper knyttet til seg. Separate anlegg har som fordel at løsningen kan kreve mindre sjaktareal enn et sentralt anlegg [32]. Det er ikke behov for et eget teknisk rom for ventilasjonsaggregat, og på den måten spares areal også her. Hver av leilighetene er uavhengig av luftmengdene de

andre leilighetene benytter. Løsningen forårsaker ikke lyd- eller luktoverføringer og man kan styre egen tilluftstemperatur. Beboerne vil derfor ikke ha problemer med røykspredning gjennom et slikt ventilasjonssystem ved brann. Ulempene knyttet til et slikt anlegg er i hovedsak knyttet til problematikken rundt vedlikehold. God funksjonalitet over tid forutsetter at beboerne utviser innsats i forhold til vedlikehold. Dette krever videre at beboerne må være opplært til hvordan dette skal gjøres og anlegget må være spesielt robuste og enkle å vedlikeholde. Det må også beregnes plass til selve aggregatet inne i leilighetene.

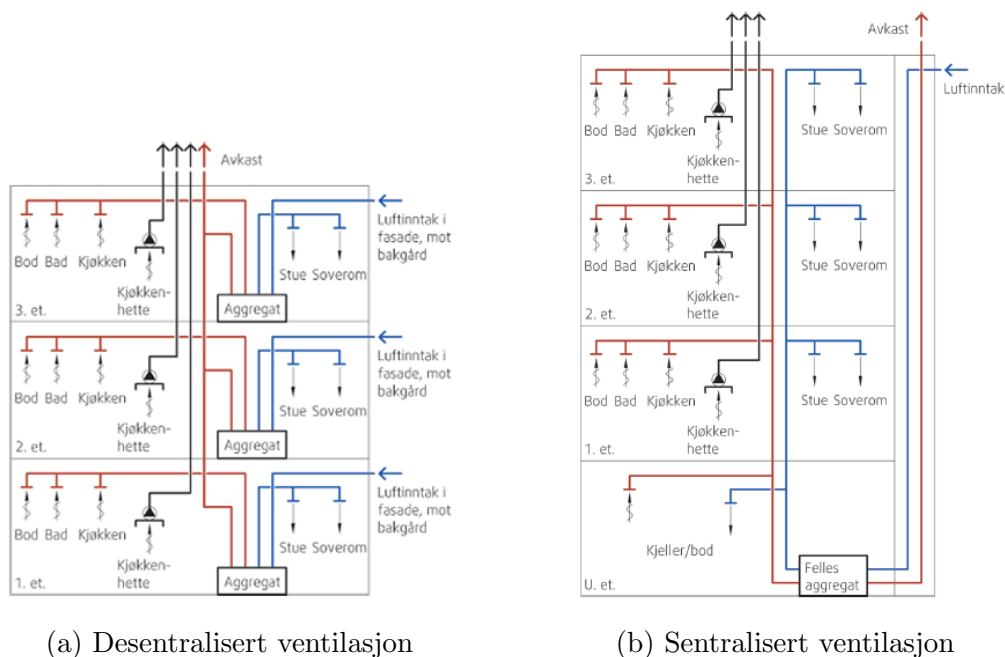
Sentraliserte anlegg har som fordel at det kun kreves ett luftinntak og det er dermed enkelt å plassere inntaket slik at luftkvaliteten inn til beboerne blir best mulig [32]. Videre er det enkelt å vedlikeholde og det er også mulig å ventilere fellesarealer på en enkel måte. Det kan også fjernovervåkes, noe som gjøre det lettere å oppdage feil eller mangler. Ulempene med et slikt anlegg er at man trenger et eget teknisk rom og sjakter for føringene. Dette er arealkrevende og dermed også økonomisk belastende. Videre er luftmengden og tilluftstemperaturen sentralstyrt slik at de ikke kan justeres individuelt hos beboerne. Anlegget kan forårsake lyd- og luktoverføringer mellom leiligheter og er på den måten også en trussel ved brann med tanke på varme- og røykspredning.

3.4 Komponenter

Ventilasjonssystemer har ulik grad av kompleksitet og utforming. I denne seksjonen ses det på hvilke komponenter som vanligvis brukes og funksjonen hver av de har. Det finnes svært mange kommersielle produkter, men i de følgende avsnittene vil de mest sentrale komponentene forklares. NS-EN 15423:2008, *Ventilasjon i bygninger - Branntiltak for luftfordelingssystemer i bygninger*, angir eksempler på hvordan man kan møte krav som stilles i forhold til brannsikkerhet [24].

3.4.1 Aggregat

Aggregatet inneholder de viktigste drivkomponentene i et ventilasjonssystem. Dette er som regel en kompleks del og kommer i mange forskjellige varianter. Eksempler på faktorer som påvirker utformingen av aggregatet er plassering, virkningsgrad og tilførselsbehov [6]. Hovedkomponentene i et aggregat er som regel varmegjenvinner,

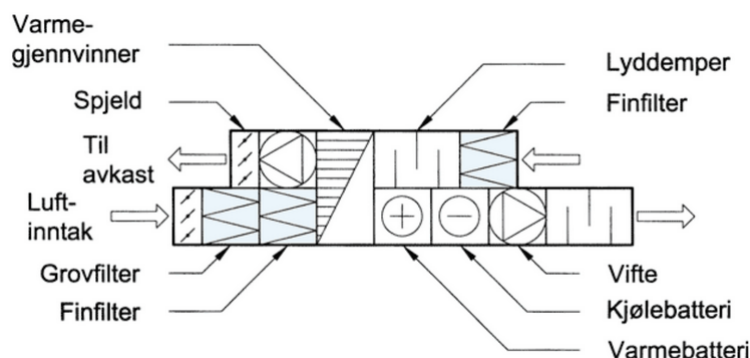


Figur 3.5: Ventilasjon karakterisert etter tilførsel og luftfordeling [32]

varmebatteri, kjølebatteri, vifter og filter. Aggregatet har vanligvis en elektrisk tilkoblet strømkilde som driver systemet. Ved brann eller røykutvikling kan det elektriske systemet kortslutte, og aggregatet vil stoppe. For trekk ut-anlegg stilles det krav til sikker strømforsyning, og nødløsninger kan være nødvendig da stans i anlegget vil innvirke på brannforløpet. Figur 3.6 viser hvordan et ventilasjonsaggregat skjematisk kan se ut.

3.4.2 Varmegjenvinner

Varmegjenvinner blir installert for å redusere energiforbruket til ventilasjonssystemet [31]. Dette gjøres ved at varmen fra avtrekksluft overføres til tilluft. Det finnes flere typer varmegjenvinnere, der forskjellige typer har forskjellige bruksområder. Faktorer som avgjør hva slags varmegjenvinner en bør velge er blant annet typen ventilasjonssystem, og hva varmen som gjenvinnes skal brukes til. Det skilles her mellom to typer varmegjenvinnere: Regenerative og rekuperative.



Figur 3.6: Ventilasjonsaggregat [5]

3.4.2.1 Regenerative varmegjennvinnere

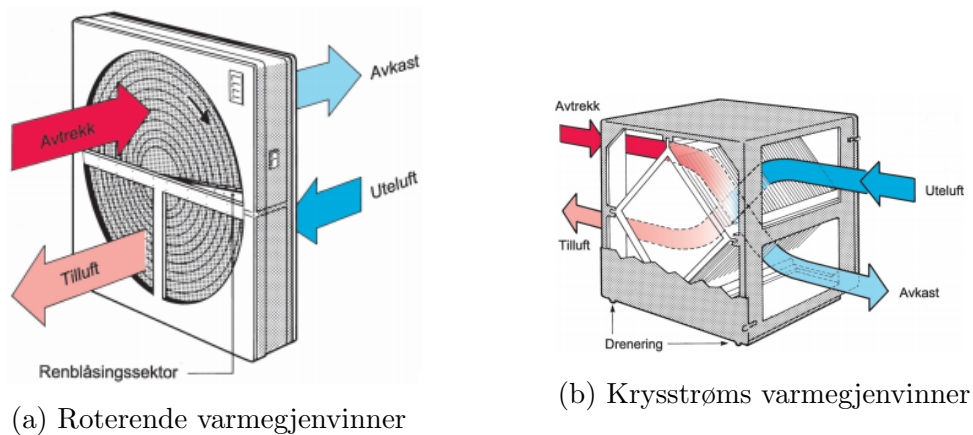
Kjennetegnet til regenerative varmegjennvinnere er at varme blir overført ved at varmeakkumulerende flater vekselvis bringes i kontakt med avtrekksluft og tilluft [31]. Et eksempel på en regenerativ varmegjennvinner er roterende varmegjennvinner.

En roterende varmegjennvinner består av et rotorjul som luften strømmer igjennom [31]. Den ene halvparten av rotorhjulet blir oppvarmet av avtrekksluften, for så å dreie rundt og avgi varmen til tilluften. Dette har negativ innvirkning på brannsikkerheten, da tilluft og avtrekk sammenkobles. Dette medfører at røyk i avtrekksystemet føres inn i lokalet igjen, istedenfor å bli fjernet. Konsekvenser av dette vil bli omtalt i kapittel 3.7.4 om trekk ut-strategien. Figur 3.7a viser prinsippet til en roterende varmegjennvinner.

3.4.2.2 Rekuperative varmegjennvinnere

Rekuperative varmegjennvinnere overfører varme enten via skillevegg eller ved hjelp av en væske. Luftstrømmene er adskilt og luftutvekslinger skjer som regel ikke [36]. Her presenteres platevarmegjennvinner, som er den mest brukte varianten.

En plategjennvinner består av flere plater som danner et skille mellom tilluft og avtrekk. Varme blir overført ved varmeledning gjennom skilleplatene [36]. Skilleplatene består som regel av tynne aluminiumsplater for å sikre effektiv varmegjennvinning. Den vanligste typen er krysstrømsgjennvinnere der til- og avtrekksluft strømmer vinkelrett på hverandre, se figur 3.7b. Denne metoden kan



Figur 3.7: To ordinære varmegjennvinnere [36]

få problemer med kondens og frostskafer gjennom vinteren, som kan redusere funksjonaliteten eller ødelegge gjenvinneren.

Ved en brannsituasjon vil varm luft og røyk strømme gjennom platene [37]. Siden aluminium har en relativt høy varmeutvidelseskoeffisient vil platene utvide seg og slå sprekker. Konsekvensene av dette kan være røyk- og brannspredning.

3.4.3 Filter

Avtrekksluften og spesielt tilluften må renses for grovere partikler før den strømmer gjennom aggregatet. Over tid vil filtret akkumulere partikler og trenger derfor regelmessig vedlikehold [38]. Ved røykutvikling i bygget kan avtrekksfiltret tettes av forbrenningspartikler. Funksjonaliteten til ventilasjonsanlegget vil da svekkes eller bortfalle fullstendig. En annen uheldig konsekvens av dette er trykkoppbygging i kanalnettet. Videre står det i Byggforskserien at:

”TEK10 krever at ventilasjonsanlegg ikke skal kunne spre brann mellom ulike brannceller. Eventuelle kanalfiltere ute i anlegget må utformes og monteres slik at de sikrer mot brannspredning, det vil si at kanaler eller filterhus må være ubrennbare og så tette at smeltende plast fra et filter som brenner ikke kan dryppe ut av kanalen og antenne annet materiale” [38].

	Planfilter	Posefilter	Kompaktfilter
Beskrivelse	Plan, tykk filterduk på tvers av luftretningen	Store poser	Små, korte poser, tynn duk
Form	Stort tverrsnitt, liten dybde	Stor dybde, lite tverrsnitt	Stort tverrsnitt, liten dybde
Filterklasse	Grovfiltre	Grov- og finfiltre	Fin- og mikrofiltre

Figur 3.8: Filtertyper [38]

Det finnes en rekke ulike filtertyper. Valg av filtertype avhenger av hvor grov filtrering som kreves for bygget [38]. De ulike filterklassene deles inn i tre hovedgrupper: grovfiltre, finfiltre og mikrofiltre. Figur 3.8 angir tre filtertyper.

3.4.4 Vifter

Viftene drives av en elektrisk strømkilde og skaper overtrykk eller undertrykk i ventilasjonssystemet. Undertrykk gir en sugeseffekt som trekker luft inn i systemet, mens overtrykk vil presse luft ut av systemet. Hvor stort trykket er avhenger av ventilasjonsbehovet, men vanligvis brukes over- og undertrykk i størrelsesorden $\pm 50\text{--}300$ Pa for vanlige leiligheter [39].

Viftene bør være beskyttet mot termisk overbelastning [24]. Dersom anlegget skal gå ved brann må viften være dimensjonert for temperatur-påkjenningen den antas å bli utsatt for. Et varslingsystem som aktiveres ved høy temperatur i viften kan også installeres som et sikkerhetsmessig tiltak. I tillegg burde viftene være beskyttet av et metallgitter eller liknende for å forhindre uønskede objekter i å sette seg fast i viften. For å forhindre forplantning av brann som skyldes viften, burde et fritt område rundt viften etableres. Eventuelle materialer som befinner seg rundt viften burde være brannisolert [24].

3.4.5 Varme- og kjølebatteri

En elektrisk ettervarmer, eller varmebatteri, benyttes til å ettervarme luften etter den har passert gjennom varmegjenvinneren. Dette gjøres for å øke lufttemperaturen til ønsket nivå, som gjerne er rundt $19\text{--}20^\circ\text{C}$ [40]. I tilfeller der utetemperaturen er høyere enn ønsket innetemperatur må luften kjøles. Dette

gjøres med et kjølebatteri etter samme prinsipp. Varme- og kjølebatteriet har begrenset innvirkning på røyk- og brannutvikling.

3.4.6 Ventilasjonskanaler

Generelt avhenger kanalføringen av planløsningen og plassering av aggregat. For å få gode løsninger med kort, effektiv kanalføring og plass til dimensjonerte komponenter, må kanalføringen planlegges nøye [41]. Kanalføringen bør være slik at man har god tilgang for tilsyn og rengjøring av kanalnett.

Alle kanaler i ventilasjonssystemet må være lufttette og være utført i korrosjonsbestandig materiale. Kanalene bør ha mest mulig glatt innvendig overflate [41]. Det bør ikke benyttes fleksible kanaler da de er vanskelige å rengjøre, de deformeres lett og avgir mye støy. Kanaler i anlegg som skal gå ved brann må ha samme brannmotstand som brannskillene de penetrerer, og må brannisoleres langs hele sin lengde [6]. Avtrekkskanaler fra kjøkken må være utført i ubrennbart materiale [41].

Kanaler skal testes i henhold til NS-EN 1366-1, og klassifiseres i henholdt til NS-EN 13501-3 [41]. Klassifiseringen skal betegne oppnådd brannmotstand, materialegenskap, hvilke retninger kanalen er godkjent for (horisontalt/vertikalt), og for hvor brannlasten kommer fra (innenfra eller utenfra). Eksempelvis kan klassifiseringen betegnes slik: EI60(ve ho i↔o) A2-s1,d0. En slik kanal vil ivareta sin funksjon i 60 minutter, kan monteres både vertikalt og horisontalt og tåler brannpåkjenning innenfra og utenfra. Det siste leddet betyr at den er bygd i ubrennbart materiale. Når ikke annet fremgår skal kanaler som føres gjennom brannskiller ha nevnt klassifisering, for ikke å svekke brannskillet [6].

Fra et energiøkonomisk perspektiv er det viktig med varmeisolering av ventilasjonskanaler [41]. Dette gjelder spesielt for tilluft, som burde isoleres langs hele sin lengde. Slik rør- og kanalisolasjon kan bidra til rask brannspredning og produksjon av store røykmengder. VTEK angir preaksepterte løsninger som tar for seg hvilke brannklasser isolasjonen må ha. Krav til brannklasse baserer seg på den samlede eksponerte overflaten av isolasjonen i forhold til arealet til tilgrensende vegg- eller himlingsflater. Det stilles også krav i forhold til hvilken brannklasse det gjeldende

bygget er klassifisert som [17].

3.4.7 Ventiler

De ulike ventilasjonsmetodene karakteriseres blant annet etter tilførsel og luftfordeling i rommet [34]. Omrørings- og fortregningsventilasjon har forskjellig utforming på ventilene, der hensyn til funksjon, plassering i rommet, støy og trekkforhold er tatt. Omrøringsventilasjon skal blande luften i hele rommet og har derfor ofte en radiell tilluftsstrøm [41]. Fortregningsventilasjon skal tilføre luft med lav hastighet og i en sone opptil 1 meter over gulvnivå. For høy fart på luftstrømmen kan skape trekk og ubehag for de som oppholder seg i rommet.

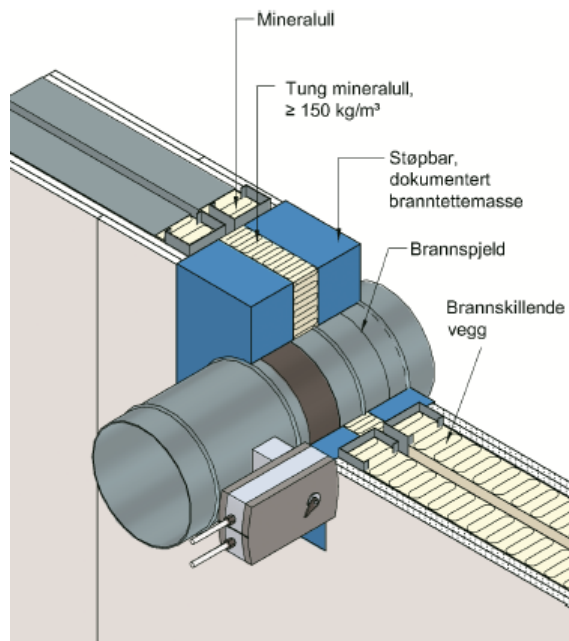
Avtrekksventiler har som regel strømlinjeformet luftgjennomløp og en stiv, solid gjennomførelse [41]. I rom med mye utstyr som avgir dårlig luft eller damp, bør man ha avtrekksventil like over utstyret.

3.4.8 Opphengssystemer for tekniske installasjoner

Det finnes mange varianter av konstruksjonsmetoder for oppheng av kanalsystemer. Det er derfor ikke hensiktsmessig å benytte én spesifikk standard for hvordan opphenget skal utføres, men heller fokusere på at kriteriene er oppfylt [42]. Dette er eksempelvis at opphenget skal være riktig dimensjonert for den rette belastningen, inklusiv isolasjon, lyddempere og liknende. Man må også vurdere temperaturpåkjenninger (ekspansjon). Kanaler skal være festet på en slik måte at det ikke kan forekomme bevegelser som påvirker strømningsbetingelsene for mediet i kanalene. Det er viktig at opphengssystemet tåler temperaturpåkjenningene en brann kan påføre, så ikke kanalene løsner og blir lekk.

3.4.9 Spjeld

Spjeld er en komponent i kanalnettet som har som funksjon å kontrollere eller stenge av strømmer i kanalnettet [43]. Det er flere typer spjeld på markedet, med forskjellige funksjoner. Noen er brann- og røyktette, andre skal bare stenge luftstrømmen. Det er dermed viktig å bruke riktig type spjeld til tenkt funksjon. Fordi TEK 10 stiller krav om at ventilasjonsanlegget ikke skal spre brann eller røyk er det nødvendig med brann- og røykspjeld ved brannskiller i et steng inne-system. Riktig bruk av spjeldene, samt tilstrekkelig god pålitelighet, er helt nødvendig for å



Figur 3.9: Illustrasjonsfigur av branntetting av gjennomføring [44]

lykkes med brann- og røykhåndteringsstrategien som er valgt. Brann- og røykspjeld skal benyttes dersom steng inne-strategi velges, og må ha samme brannmotstand som resten av brannskillet. I trekk ut-anlegg benytter man trykkavlastningsspjeld for å åpne nødløsningen, det være bypass eller egen røykviftekanal. Dette omtales mer i kapittel 3.7.4.

Klassifisering og merking av brann- og røykspjeld er gitt etter NS-EN 13501 [44]. Der stilles det krav til integritet, isolering og branngasstetthet etter en gitt tid under brannen. Brannspjeldene skal så testes mot NS-EN 1366-2 og røykspjeldene testes etter 1366-10. Installasjon av spjeldet skal gjøres på en slik måte at det tilfredsstillende ytelsesnivået den er klassifisert som. Forseglingen mellom spjeld og bygning skal utføres slik at brannmotstanden til bygningen ikke svekkes. Figur 3.9 et eksempel på montering av brann- og røykspjeld i dobbel bindingsverksvegg av tynnplateprofiler.

Brann- og røykspjeld skal kontrolleres jevnlig og bør funksjonstestes minst to ganger per år [44]. Dersom leverandøren har et system for automatisk funksjonstest

for sine spjeld, bør dette benyttes. Funksjonstesten må omfatte testing av automatikk for nødvendig stenging og åpning dersom ventilasjonssystemet skal forbli i drift under brann.

NS-EN 1366-2 skiller mellom to typer lukkemekanismer for brannspjeld:

- Brannspjeld med aktuator;
- Brannspjeld med smeltesikring.

En aktuator er en mekanisme som er integrert eller direkte koblet til brannspjeldet som stenger spjeldet når aktuatoren aktiveres [45]. Den termiske lukkemekanismen responderer på en forhåndsbestemt temperatur på den omgivende gassen. Dette skjer ved at en sikring smelter og stenger av luken. Den vanligste sikringstemperaturen er 72°C [7]. Innen kanalen har nådd denne temperaturen kan allerede mye røyk ha passert brannskillet, så løsningen med aktuator er å foretrekke. Ved strømbrudd skal spjeldene gå til stengt stilling, uavhengig av lukkemekanisme.

3.4.10 Automatikk

Moderne ventilasjonssystemer benytter seg av ny teknologi og automatikk for å oppnå reduserte kostnader, gode ventilasjonsforhold og økt sikkerhet. Som tidligere nevnt krever ventilasjonssystemer en stor andel av byggets totale energiforbruk. Ved å ha behovsstyrte ventilasjonssystem (DCV: demand control ventilation), unngår man unødvendig belastning av systemet [46]. Det er mulig å regulere ventilasjonsintensiteten utifra ulike parametere. Slike parametere kan være:

- Temperatur i rommet;
- CO₂-konsentrasjon i luften;
- VOC konsentrasjon, og;
- Tilstedeværelse av mennesker i rommet.

Det er derfor nødvendig med sensorer i rommet som registrerer nivået på de ulike parameterne. DCV-spjeldet er hovedkomponenten for å regulerer luftmengden

i et slikt anlegg. Spjeldet kan sammenlikne den målte verdien med den forhåndsinnstilte verdien og regulere [46]. Dersom en brann oppdages, enten ved direkte varme eller ved røyk, vil et signal sendes til en sentralstyrt enhet som varsler om dette. Sentralenheten overstyrer spjeldene i kanalnettet etter gjeldende strategi. Ved trekk ut-strategi skal spjeldene reguleres til åpen stilling.

3.5 Historikk

3.5.1 Nasjonalt

I nyere ventilasjonshistorie i Norge har det egentlig ikke skjedd store forandringer [5]. Byggeforskrift av 1987 (BF 87) med tilhørende veileder *Rett og slett* beskrev i sin tid preakseptert løsning på ventilasjonsanlegg basert på både steng inne og trekk ut-prinsipp. Allerede her var bypass nevnt, og skulle trekk ut-prinsippet benyttes måtte man planlegge deretter. Veilederen var detaljert skrevet og ga klare retningslinjer om hvordan anleggene kunne utføres for å tilfredsstille kravene. BF 87 ble etterhvert erstattet med TEK 97, en funksjonsbasert forskrift. Veilederen REN ga imidlertid fortsatt eksempler på hvordan trekk ut-løsningen kunne gjennomføres. På samme tid gjaldt NBI-bladet (nå Byggforsk) Branntekniske krav til ventilasjonsanlegg (520.351). De to ga klare retningslinjer om hvordan et ventilasjonsanlegg kunne prosjekteres utifra hvordan det skulle agere ved brann. Dette var klare, preaksepterte løsninger. Da REN ble revidert til tredje utgave i 2003 ble disse eksemplene fjernet fordi myndighetene mente det ikke var nødvendig å ha med eksempler for å illustrere nivået. Eksemplene hadde satt en demper og man ønsket å få frem at andre metoder enn de beskrevet i veilederen var mulig. Tredje utgave av REN påpekte at den angir samme kravsnivå som tidligere versjoner, som betyr at de tilbaketrukne eksemplene fortsatt tilfredsstiller kravene fra forskriften. To år senere, i 2005, ble NBI-bladet trukket tilbake.

3.5.2 Internasjonalt

Den tradisjonelle reaksjonen ved brann var å stenge driften av ventilasjonsanlegget [47]. Metoden var anbefalt fra 1930-tallet av, og har som hensikt å stanse spredning via ventilasjonskanalene samt å hindre brannen tilgang på oksygen. Tanken var at ventilasjonsanlegget ved drift i brannsituasjonen ville skape ugunstige

luftstrømningssituasjoner innad i branncellen slik at mer røyk kunne produseres. I tillegg ville anlegget transportere røyk til omkringliggende rom i bygget. På den måten ville ventilasjonssystemet både øke røykmengden og bidra til å spre røyken. Å slå av viftene i anlegget er dog langt i fra ensbetydende med røykfrie kanaler. Med avslått vifte vil nemlig ventilasjonskanalene stå trykkløse slik at røyk kan spre seg fritt rundt i nettverket. Faren ved denne metoden gjenspeiles i utfallene brann i slike bygg har hatt. De aller fleste kjente dødsfall knyttet til røykforgiftning på grunn av røykspredning med ventilasjonen har skjedd mens ventilasjonssystemet har vært avslått [48]. Metoden var likevel meget utbredt fra midten av 1900-tallet av. En grunn til dette var den manglende evnen til å la anlegget gå ved brann, av tekniske årsaker. En annen var det faktum at det ofte brant i selve kanalene [49]. National Board of Fire Underwriters (NBFU) i USA gjennomførte en studie basert på data samlet i perioden 1936-1938 angående brann og ventilasjonsanlegg. Studien viste at selve ventilasjonskanalen i 19 av de 25 registrerte brannene hadde brent, og anbefalte dermed å stenge anlegget ved brann. Metoden forble en meget vanlig strategi for mange typer bygg i årene som fulgte.

Under en konferanse i regi av den nå internasjonale non-profit-organisasjonen American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) i 1968 ble betydningen av brannsikring av ventilasjonsanlegg diskutert. Organisasjonen mente ventilasjonsingeniører i for liten grad hadde fått deltatt i formuleringene av brannsikkerhetskrav. De opprettet dermed en teknisk komite for brannsikkerhet som siden har bidratt med kunnskap og utvikling av konsepter [50]. Disse publiseres i ASHRAEs årlige ventilasjonshåndbok, første gang i 1973. Kapitlet om brann- og røykkontroll var for mange ventilasjonsingeniører det første møte med brann- og røyksikring av ventilasjonsanlegg [47]. Da trykksetting av trapperom ble introdusert fant man ut at et overtrykk på rundt 7.5 Pa var tilstrekkelig for å hindre røyk i å trenge gjennom dørsprekker og lignende [51]. Blant annet britiske Building Research Station gjennomførte flere tester vedrørende trykksetting, og anbefalte trykksetting på 25-50 Pa av trapperom, avhengig av høyden på bygget. Trykkfallet over tilluftsventiler er i dag gjerne i samme størrelsesorden, av samme grunn. Lignende undersøkelser fra USA og Canada konkluderte med tilsvarende resultater.

3.6 Brannspredning i ventilasjonssystemer

De tre mulige varmeoverføringsmekanismene som finnes er konduksjon, konveksjon og stråling. Varmespredning ved konduksjon skjer ved at materialet leder varmen gjennom seg. Forskjellige materialer har forskjellig varmeledningsevne. Brennbare materialer i direkte kontakt med slike komponenter kan antennes dersom temperaturen blir høy nok.

Konvektiv varmeoverføring innebærer at en gass (eller væske) oppvarmes samtidig som densiteten forandres, slik at en termisk konveksjonsstrøm oppstår [52]. Ettersom tettheten til luft endres med temperaturen, kan strømmen spres til andre brannceller gjennom utettheter i konstruksjonen eller gjennom ventilasjonsanlegget.

Den siste varmeoverføringsmekanismen mellom medier er varmestråling. Generelt kan man si at alle legemer sender ut stråling, men graden av utstråling varierer med temperatur og fra stoff til stoff. For at brann skal spres ved stråling må et legeme bli så varmt at et nærliggende brennbart materiale selv blir så varmt at det antennes. Når temperaturen blir tilstrekkelig høy vil denne varmeoverføringsmekanismen bli dominerende.

Et ventilasjonsanlegg må prosjekteres slik at det ikke bidrar til brann- og røykspredning ved noen av disse mekanismene [3]. TEK 10 gir som nevnt kun funksjonskrav til ventilasjonsanlegg. Dette betyr at det ikke er noen fastsatte metoder man må følge når man designer ventileringen, og hvilken ventilasjonsstrategi man velger er avgjørende for hvordan man sikrer seg mot brann- og røykspredning. Videre i oppgaven diskuteres det dog hvorvidt de tidligere preaksepterte løsningene fortsatt er gyldige.

I nyere historie er det få tilfeller der røykspredning i ventilasjonsanlegg har ført til tap av menneskeliv [35]. Andersson påpeker at avtrekksanlegg med tilluft fra ventiler i ytterveggen skal ha mye av æren for dette. I slike avtrekksanlegg, som kan ha separate eller felles kanaler, kjøler man ned branngassene ved hjelp av frisk uteluft. Det faktum at bygg ikke har vært tette, slik at røyk har kunnet trenge

ut gjennom veggen, har også bidratt til redusert røykspredning i ventilasjonskanalene. Strengere bygningsteknisk regelverk har medført tettere bygg, slik at den naturlige ventilasjonen gjennom byggets yttervegger reduseres [5]. I tillegg har mer energieffektive, behovsregulerte ventilasjonsanlegg blitt innført [9]. På tidspunkter ved lavt behov for ventilering vil dermed anlegget omtrent stoppe opp, og undertrykket i kanalene reduseres. Dersom systemet skal gå ved brann må derfor viftene tvangsstyres til å gå med maks effekt i en brannsituasjon.

Det står i TEK 10 at:

”Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonen ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg” [3].

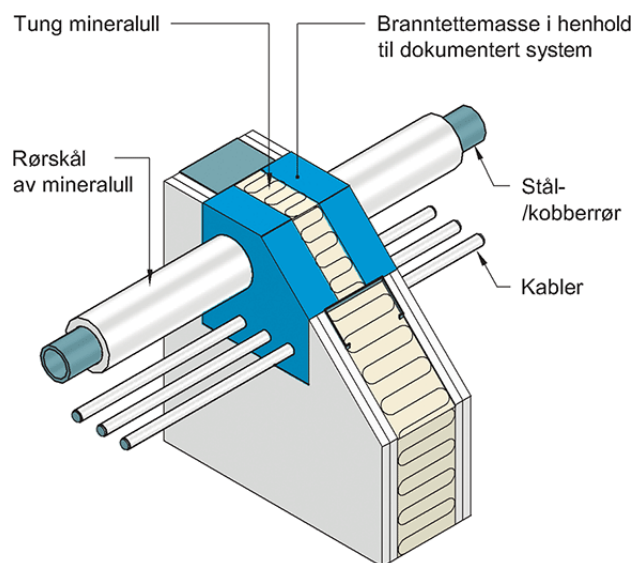
VTEK utdyper ytterligere, og sier at ventilasjonsanlegg må utføres slik at de ikke bidrar til brann- og røykspredning [17]:

- I kanalnett, eller;
- På grunn av utettheter mellom kanal og den bygningsdelen som kanalen går gjennom, eller;
- På grunn av varmeledning i kanalgodset.

Det er videre opp til de prosjekterende å løse disse problemstillingene. Man har gode løsninger på alle punktene, men praktiseringen er varierende. For å hindre spredning via utettheter mellom kanal og gjennomføring av bygningsdel branntettes utskjæringen [5]. Det står i VTEK at:

”Kanaler, rør, kabler og andre installasjoner som går gjennom brannskiller, ikke må svekke konstruksjonens brannmotstand. Man må så langt det er mulig unngå å føre kanaler gjennom seksjoneringsvekker” [17].

Sintef Byggforsk utga i 2014 et byggforskblad som anbefaler løsning på branntetting av gjennomføring [44]. Metoden anses å være en preakseptert løsning, og er illustrert i figur 3.10. For å unngå spredningsfare på grunn av varmeledning i kanalgodset må det isoleres på utsiden av kanaler som er prosjektert til å



Figur 3.10: Illustrasjonsfigur av branntetting av gjennomføring [44]

transportere varme gasser. Fra 01.01.2014 skal brannisolering av kanaler isoleres i henhold til NS-EN 1366-1 [15]. Standarden gir testmetoder som skal påvise at kanalene får samme brannmotstand som cellene de går i har [25]. Som konsekvens av den nye praksisen må man isolere hele avtrekkskanalen dersom anlegget skal være i drift ved brann. Kravet til nødvendig isolasjonstykkelse øker i forhold til tidligere praksis. Som konsekvens av dette må det bygges høyere etasjer og dermed bygg for å få plass til isolasjonen [7]. Ved å benytte automatisk slukkeanlegg i bygget fires det dog på kravene om isolasjon.

3.7 Brannsikker prosjektering av ventilasjonssystemer

Ventilasjonskanaler skal som kjent ikke bidra til røyk- og brannspredning, så kanalene må ha tilstrekkelig brannmotstandsevne av kriteriene integritet og isolasjon [22]. I tillegg må kanalene og bestemte brannskiller være røyktette. De ulike konseptene man kan føre for brannsikker ventilering åpner dog for andre brannmotstandsløsninger [6]. Slike løsninger vil bli nevnt i kapittel 3.7.4 og 3.7.5. BV-veilederen oppgir at man kan bruke CEN-klassifiserte komponenter som tilfredsstillende byggets brannklasse ved forenklet prosjektering, eller, for optimal



Figur 3.11: Ansvarsfordeling ved brannsikker prosjektering av ventilasjonsanlegg [16]

virkning, gjøre beregninger og analyser som dokumenterer forskriftskravene.

3.7.1 Ansvarsfordeling

Prosjektering av ventilasjonsanlegg består av flere nivåer der forskjellige aktører er involvert, se figur 3.11 [16]. På nivå A utvikles byggets, og dermed anleggets, brannkonsept, som skal sørge for at funksjonskravene gitt i TEK 10 overholdes. Dette konseptet avgjør hvordan bygget skal agere ved brann. Branntegninger blir utarbeidet av RIBr, og krav til brannmotstand angis. Brannmotstanden angis i minutter, og bestemmes av brannklassen bygningen skal tilhøre. Brannstrategien viser brannskiller med tilhørende ytelser vedrørende brannmotstand, i tillegg til å angi hvilke skiller som må være røyktette [6]. På nivå A settes altså rammebetingelsene for brannsikkerheten.

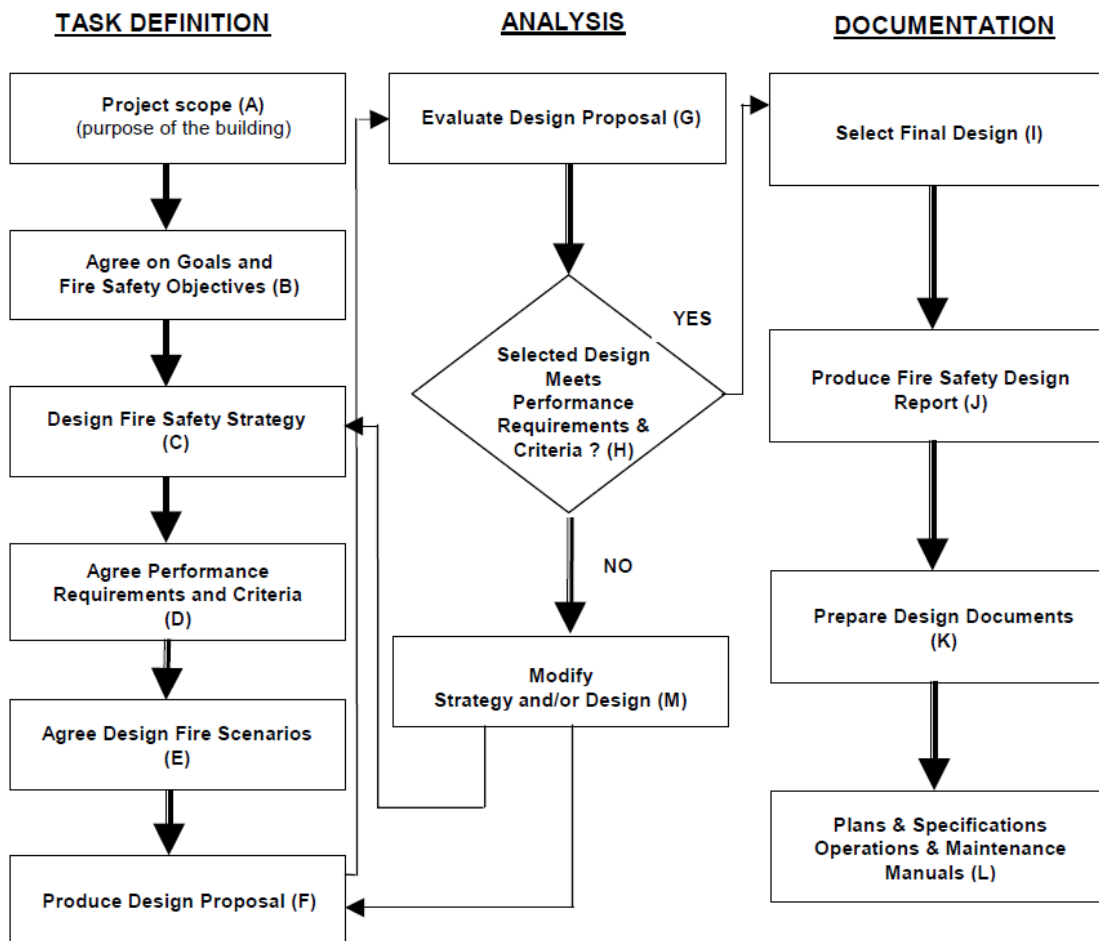
Det er viktig at brannstrategien blir utarbeidet på en systematisk måte slik at sannsynligheten for å overse svakheter minimeres. CIB (International Council for Building) har utarbeidet en designmodell som skal sikre en rasjonell og ryddig prosess [53]. Modellen gjør det enklere for de involverte partene å forstå viktigheten av god brannsikkerhet. Designprosessen er vist i figur 3.12. I *task definition* beskrives omfanget og formålet med analysen. Dette danner grunnlaget for utarbeidelsen av dimensjonerende brann. Videre defineres funksjonskravene og ytelsesnivået til bygget. Med dette som grunnlag finner man brannscenarier.

Ved utarbeidelse av brannscenarier må spesifikke situasjoner vurderes. Det er hensiktsmessig om hovedinteressentene i prosjektet er med på utarbeidelsen av brannscenariene for bygget. Dette fordi valg av brannscenarier har direkte innvirkning på brannstrategien. I vurderingen må det blant annet sees på verst tenkelige scenario og konsekvensene av dette [54]. Når brannscenariene er ferdigstilt, analyseres forslaget. Dette gjøres i hovedsak kvalitativt, men der det er nødvendig må kvantitative metoder brukes. Dersom brannscenariene ikke tilfredsstillende de valgte kriteriene, må modifikasjoner gjøres, eller brannscenario forandres. Om analysen oppfyller kriteriene, må dokumentering av prosessen fullføres. Her inkluderes dokumenter som viser hvorfor og hvordan man har tatt de beslutningene man har. Dette bør gjøres på en slik måte at det er forståelig for alle de berørte partene [53].

Ansvarlig for detaljprosjekteringen på nivå B er rådgivende ingeniør ventilasjon (RIV) [5][16]. RIV velger strategi for brannsikring hvis ikke spesifikke løsninger kommer fram av brannkonseptet i nivå A [35]. Ansvarlig for detaljprosjekteringen må i tillegg kunne dokumentere tilstrekkelig brannsikkerhet, og at ytelsene gitt av brannkonseptet oppfylles. Slik dokumentasjon involverer tegninger med forklaringer, foretatte beregninger, antagelser og forutsetninger samt dokumentasjon på at valgte komponenter er godkjent til tenkt bruk. Detaljprosjekteringen skal være så omfattende at tegningene skal kunne brukes ved endelig installasjon på byggeplass.

På nivå C skal ventilasjonsanlegget installeres. Det er vesentlig at dette gjøres riktig, da prosjekteringen tar utgangspunkt i sømløs utførelse. Tegningene fra RIV må følges nøye, spesielt viktig er det å sørge for å tette gjennomføringene. Dokumentering av rett montasje kan gjøres ved fotografering. Nivå D kommer til slutt og er bruksfasen. Her må vedlikehold føres jevnlig for å fjerne fett, smuss, støv og andre partikler og fremmedlegemer som kan skape brannfare. Dersom det viser seg at konseptet har mangler eller forbedringspotensiale, kan man i trinn E gå tilbake til trinn A og gjøre forandringer.

For å sørge for best mulig resultat utføres tverrfaglige kontroller. Brannrådgiveren fra nivå A følger opp de påfølgende nivåene og sørger for at kvaliteten på produktet blir ivaretatt.



Figur 3.12: Oversikt over funksjonsbasert brannsikker designprosess [53]

Når man skal prosjektere en bygnings ventilasjonsanlegg har man altså mange muligheter som kan tilfredsstille TEK 10 med hensyn til brannsikkerhet, og i det følgende vil de vanligste prinsippene presenteres.

3.7.2 Preaksepterte løsninger

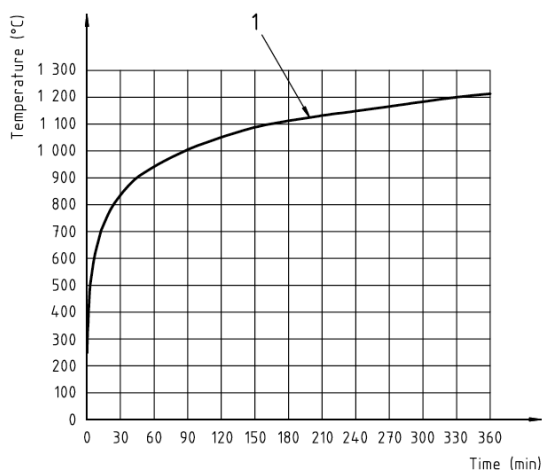
TEK 10 §11-10 omhandler tekniske installasjoner ved brann, og gir dermed funksjonskrav til blant annet ventilasjonsanlegg:

1. ”Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonen ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg.”
2. ”Installasjoner som er forutsatt å ha en funksjon under brann, skal være slik prosjektert og utført at funksjon opprettholdes i nødvendig tid. Dette omfatter også tilstrekkelig tilførsel av vann, strøm eller signaler som er nødvendig for å opprettholde installasjonens funksjon.”

VTEK utdyper denne teksten, og gir preaksepterte ytelser, og ved forenklet prosjektering skal disse følges. Eventuelle fravik fra denne krever analytisk prosjektering av fraviket [18]. De preaksepterte ytelsene til §11-10 første ledd dreier seg om materialkrav, festing og oppheng av kanaler og brannmotstand [17]. Til andre ledd sier VTEK at alle installasjoner som skal ha en funksjon under brann må ha sikker strømtilførsel så lenge installasjonen skal fungere. Den oppgir følgende måter å sikre strømforsyningen på:

- Ved å beskytte med automatisk slokkeanlegg;
- Ved å legge kabler i innstøpte rør med minimum 30 mm overdekning, eller;
- Ved å bruke kabler som beholder sin funksjon i nødvendig tid.

Hvor lenge tekniske installasjoner må virke avhenger av brannklassen bygningen tilhører. For brannklasse 1 er det 30 minutter, mens brannklasse 2 og 3 krever 60 minutter [17]. Dimensjonerende temperatur blir funnet fra standardbrannen gitt i ISO-834 [55], se figur 3.13a. Selv om de fleste branner ikke følger standardbrannen er det tilstrekkelig å følge den dersom man gjør en forenklet prosjektering. Man kan ved å bruke standardbrannen finne hvilken temperatur som blir dimensjonerende for branncellen, se figur 3.13b.



Temperatur [°C]	Brannklasse
< 160	Ingen
≤ 738	EI 15
≤ 841	EI 30
≤ 945	EI 60
≤ 1049	EI 120

(a) Standard temperatur-tid kurve [55]

(b) Brannklasse

Figur 3.13: Dimensjonerende temperatur ved forenklet prosjektering

3.7.3 Dagens ventilasjonssystemer

Mange av dagens ventilasjonssystemer er prosjektert uten strategisk brannsikring [5][35]. Ved brann går dermed anlegget som normalt før det etterhvert vil stoppe på grunn av svikt i systemet. Verken bypass, egen røykvifte eller brannspjeld er vanlig å bruke [9]. Frem til 31.12.2013 ble kanaler testet etter NT Fire 034. Denne standarden tok ikke hensyn til strømmende gasser i systemet [35]. Det har tidligere vært tilstrekkelig å isolere kanalene en meter på hver side av brannskiller, eller eventuelt to meter på den ene siden, for å dekke kravene. Fra 01.01.2014 skal kanaler testes etter NS-EN 1366-serien. Denne er som nevnt strengere enn den forrige, og mer sikring kreves.

3.7.4 Trekk ut-strategi

Å la ventilasjonsanlegget gå ved brann er ikke et nytt konsept, og en brannsikker måte å gjennomføre det på er beskrevet allerede i veiledningen til Byggeforskrift av 1987, Rett og slett [8]. Strategien innebærer å la anlegget gå mens det brenner, slik at den varme luften og forbrenningsgassene trekkes inn i ventilasjonskanalene og føres ut av bygningen. Dersom anlegget i utgangspunktet er avslått vil det settes i gang ved branndeteksjon. Man lar tilluftsviftene gå slik at det blir overtrykk i kanalene, og røyk hindres i å trenge inn. Tilsvarende lar man også avtrekksanlegget

gå, slik at man får undertrykk i disse kanalene. Dette undertrykket vil hindre inntrukket røyk å spre seg ut fra kanalene, men heller ledes ut av bygget. Man må beskytte avtrekksdelen av aggregatet mot røyk, noe en kan løse med bypass eller egen røykviftekanal [6]. At avtrekksventilen er plassert med god avstand fra inntaksventilen er naturligvis kritisk. Ved bruk av omluftsventilasjon er det ved denne strategien viktig at all form for omluft stoppes, som kan oppnås ved å bruke omluftsspjeld. Dersom slike spjeld ikke er installert eller ikke virker tilstrekkelig vil branngassene kunne trekke over i tilluftssystemet, og man får røykspredning.

Det stilles store krav til komponentene i anlegget ved denne strategien. På grunn av at varme gasser skal ledes gjennom kanalene må disse være motstandsdyktige mot varmestråling, så brannisolering er nødvendig [17]. Det hjelper lite å frakte røyken ut dersom ventilasjonskanalene blir så varme at nærliggende brennbare materialer antennes på veien. Videre er det kritisk at strømtilførselen er sikker og pålitelig, og at filtre og varmegjenvinner ikke tettes [6]. Viftene må tåle høye temperaturer for å unngå stans i anlegget, som da vil bli stående trykkløst og utgjøre en spredningsfare. For komponentene brukt ved denne strategien må man dokumentere at de branntekniske kravene er oppfylt, enten ved enkel beregning eller ved modellsimulering. Man må vurdere om enkelte komponenter skal forbikobles, spesielt varmegjenvinner og filtre som kan tettes ved brann.

Det er mange forskjellige måter å gjennomføre trekk-ut strategien på [6]. CAV, VAV- og DCV-systemer er eksempler på type anlegg [5]. Å konvertere tilluften til avtrekk ved brann er også en mulighet.

3.7.4.1 CAV-System

CAV er en forkortelse for Constant air volume, og er en ventilasjonstype. Et slikt system leverer en konstant luftmengde, men temperaturen reguleres for å oppnå ønsket romtemperatur. Slike systemer er ofte å foretrekke i mindre bygninger, da det er forholdsvis enkelt, pålitelig og billig [56]. Detaljene bak et slikt anlegg vil ikke bli gjennomgått i denne oppgaven, men to varianter som ivaretar brannsikkerheten vil vises.

Bypass

Å bruke bypass over filter og varmegjenvinner gjøres av to grunner [35]. For det første kan filtret gå tett dersom store mengder sot tilføres kanalene. Om filteret går tett vil avtrekket bli svakere, og en trykkoppbygning i cellen kan forekomme. I verste fall kan dette føre til spredning ved at røyken presses inn i tilluftskanalen. Den andre grunnen er for å unngå røyk gjennom varmegjenvinneren. Spesielt roterende varmegjenvinnere kan føre røykpartikler fra avtrekket over i tilluften [31]. Dette er problematisk ikke bare på grunn av den initielle røykspredningen, men også fordi en røykføler nedstrøms for tilluftsaggregatet kan slå ut, og dermed stenge av tilluftsviften [5]. Man mister da trykket i kanalene, og røyk kan fritt spre seg i kanalnettet.

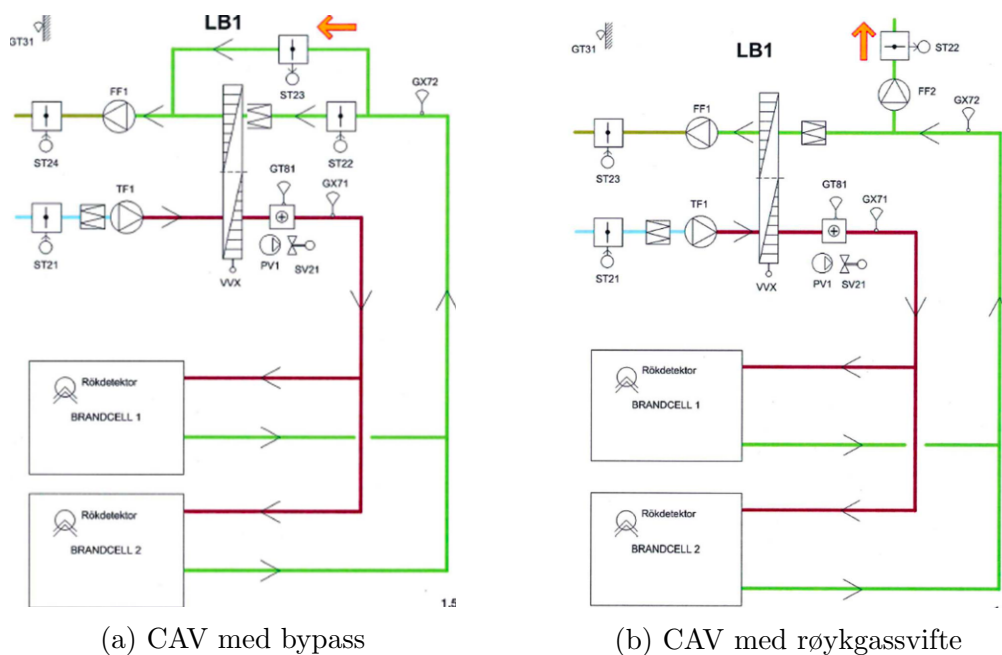
En tilsvarende røykdetektor plasseres oppstrøms for bypasskanal [5]. Ved utslag vil spjeld foran filter stenge, og trykkavlastningsspjeldet i bypasskanalen åpner. Det er ved denne løsningen kritisk at avtrekksviften dimensjoneres for forventet røykgasstemperatur og drift i henhold til byggets brannklasse. Se figur 3.14a for illustrasjon av løsningen.

Røykgassvifte

Det andre prinsippet er relativt tilsvarende som ved bruk av bypass, se figur 3.14b. Forskjellen ligger i at en egen røykgassvifte er montert i kanal med eget avkast [6]. Den starter når røyksensoren oppstrøms slår ut, og må være dimensjonert for forventet temperatur og drift i henhold til bygningens brannklasse. Den alminnelige avtrekksviften trenger dermed ikke være motstandsdyktig mot høye temperaturer.

3.7.4.2 VAV/DCV-System

VAV, (Variable air volume), er en samlebetegnelse for alle ventilasjonsanlegg der man kan regulere luftmengden, mens DCV (Demand controlled volume) er anlegg der luftmengden reguleres automatisk ved behov [57]. Det brukes VAV/DCV-spjeld til regulering av luftmengde, og ved endret behov endres spjeldstillingen på både tilluft og avtrekk. Generelt kan man si at VAV-spjeld kan stå i åpen eller stengt stilling, mens DCV-spjeld har trinnløs stillingsposisjoner for bedre regulering [7]. Brannsikringen ved slike anlegg er tilsvarende som for CAV-systemer, med visse forskjeller. I motsetning til CAV-systemene går ikke viftene for full maskin til

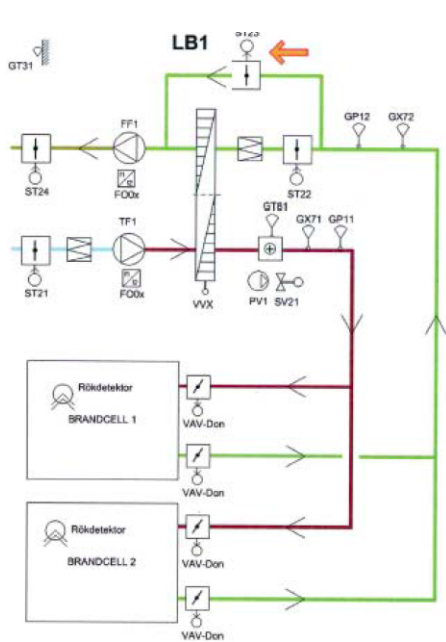


Figur 3.14: Constant air volume - Trekk ut [5]

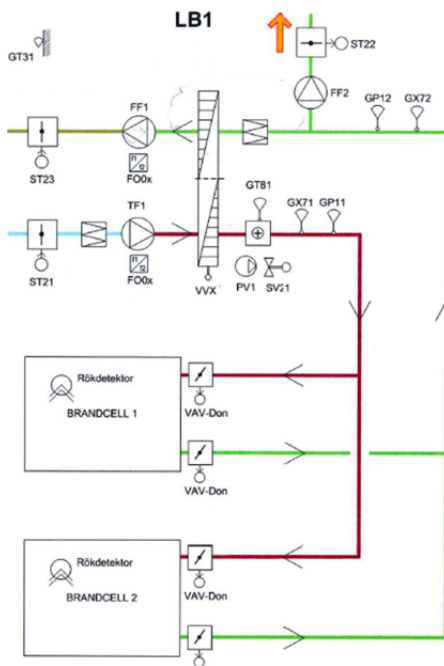
enhver tid. Ved brann er det derfor ønskelig å tvangsstyre viftene til å gå for fullt [35]. VAV-spjeldene må også rettes til åpen stilling. Ellers benyttes samme prinsipper med bypass eller egen røykgassvifte, se figur 3.15.

3.7.4.3 Konvertert tilluft

En mulig måte å gjennomføre trekk ut-anlegg på er å konvertere tilluftskanal til avtrekkskanal ved brann [6], se figur 3.16. Et spjeld stenger da nedstrøms for varmegjenvinner i tilluftaggregatet, samtidig som et spjeld åpner en forbindelseskanal mellom tilluft- og avtrekkskanalene [5]. Filosofien bak prinsippet er at det er tilluftskanalene som fører til spredning. Hvis man derimot skaper et undertrykk i disse kanalene vil røykgasser trekkes inn og føres ut av bygget [9]. Løsningen er likevel ikke mye utbredt, da den medfører store utfordringer. Ved å ha kun undertrykk i ventilasjonskanalene suges luften ut av bygget. Man har altså ikke balanse lenger. En konsekvens av et slikt anlegg er at personer som skal evakuere, eller brannmenn som skal inn i bygget, ikke får opp dører på grunn av undertrykket. Man må altså tenke seg godt om før en slik løsning velges, da den åpenbart ikke egner seg i visse typer bygg.

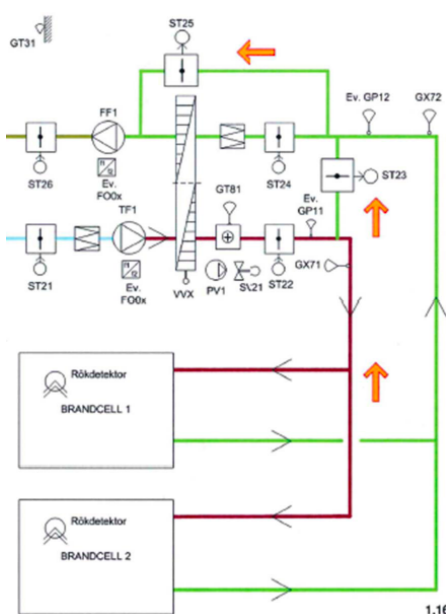


(a) VAV med bypass

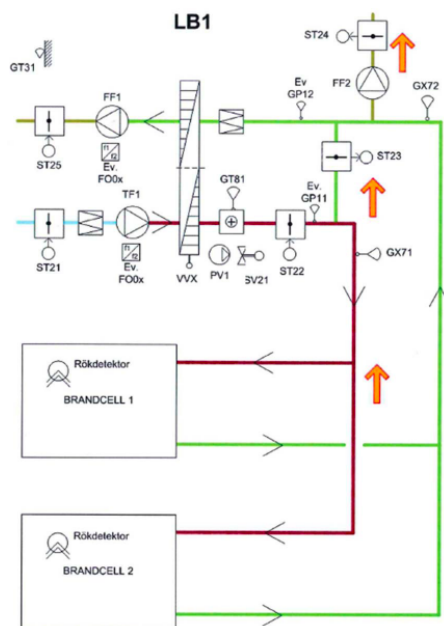


(b) VAV med røykgassvifte

Figur 3.15: Variable air volume - Trekk ut [5]



(a) Konvertert anlegg med bypass



(b) Konvertert anlegg med røykgassvifte

Figur 3.16: Anlegg med konvertert tilluft [5]

3.7.4.4 Temperaturberegning

Et av kravene ved trekk ut-strategien er å ha vifter som tåler temperaturen som oppstår ved brann. Temperaturen kan bestemmes ut fra en blandingstemperatur, beregnet som funksjon av temperatur i branncellen og øvrige celler [6]. For branncelletemperaturen kan standardbrannen benyttes, se figur 3.13. For bygninger som skal holde sin funksjon i 60 minutter ved brann kan denne temperaturen altså settes til 945°C [55]. De øvrige cellene gis en temperatur på 20°C [6]. Blandingstemperaturen settes minimum lik 100°C. Ved prosjektering av CAV-anlegg bruker man branncellen med størst volum som dimensjoneringsgrunnlag. Dersom VAV-anlegg skal installeres bruker man største volumstrøm. For øvrige rom benyttes produktet av forskjellen mellom minimum og maksimal volumstrøm og en samtidighetsfaktor på 0.2.

Når man skal beregne blandingstemperaturen benytter man likning 3.1, som en forenkling [6]:

$$T = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{V_b T_b + V_a T_a}{V_b + V_a} \\ 100^\circ C \end{array} \right. \quad (3.1)$$

der

- T = Blandingstemperatur [°C];
- V_b = Volumstrøm fra brannrom [m³/s];
- T_b = Temperatur i brannrom [°C];
- V_a = Volumstrøm fra øvrige rom [m³/s];
- T_a = Temperatur i øvrige rom [settes lik 20°C].

Volumstrømmen V_a finner man ved likning 3.2.

$$V_a = (V_m + 0.2\Delta V_a)n, \quad (3.2)$$

der

- V_m = Minimum volumstrøm øvrige rom;

- ΔV_a = Forskjell mellom maksimal og minimumsvolumstrøm fra øvrige rom;
- n = Antall øvrige brannceller.

Likning 3.2 er forenklet i denne oppgaven. Dersom man har kjøkken- og baderomsavtrekk i branncellen må disse inkluderes. Også disse må ta hensyn til grunn- og forsert ventilasjon.

3.7.5 Steng-inne strategi

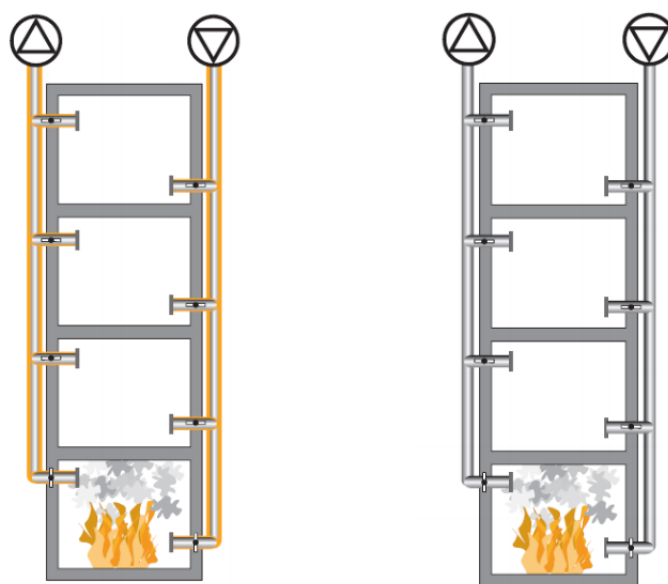
Ideen bak metoden er enkel: man sperrer av de aktuelle branncellene fullstendig, og sørger på den måten for begrenset oksygentilførsel [6]. Metoden er mindre kompleks og krever mindre teknisk sikring enn anlegg etter trekke-ut-prinsippet, men er generelt dyrere. Metoden er ansett som den sikreste, hvis utført riktig [5].

Ved brann vil regulerbare spjeld i kanalene stenge av aktuell branncelle. Strengt krav stilles dermed til spjeldene, som må ha samme brannmotstand som resten av branncellen for ikke å svekke brannskillet [3]. Det samme gjelder for tetting av kanalgjennomføringer gjennom brannskiller. Siden ventilasjonsanlegget ikke skal transportere varme branngasser stilles ikke like strenge krav til brannisolering av kanalnettene som til trekke-ut-anlegg. Man kan med fordel benytte EI-klassifiserte spjeld, og dermed unngå å måtte isolere selve kanalene. Dersom det benyttes E-klassifiserte spjeld må man derimot isolere kanalnettene [6], se figur 3.17.

Spjeldene bør være motorstyrte, og aktiveres av en styre- eller overvåkningsenhet [5]. Slik enhet bør være koblet opp mot overordnet brannvarsling, som får signaler fra røykdetektorer i eller utenfor kanalnettene. Spjeldene bør dessuten være koblet slik at de stenger automatisk ved strømbrudd. Bruk av termosikrings-spjeld har lenge vært utbredt, og er på grunn av den lave prisen det brannspjeldet det selges mest av [7]. Slike spjeld lukker når temperaturen i kanalene blir høy nok, og man kan få røykspredning før avstengning [9].

3.8 Eksempelbranner

Det finnes tilfeller der ventilasjonsanlegg har hatt betydning for brann- og røykspredning. Det er av interesse å undersøke hvordan ventilasjonsanlegget har innvirket, da dette kan belyse problematikken rundt ventilasjon og brann. Tidlig i



Figur 3.17: Steng-inne strategi. Venstre: E-spjeld. Høyre: EI-spjeld [35]

arbeidet med oppgaven ble det etterpurt granskningsrapporter fra branntilfeller der ventilasjonsanlegget kan ha medvirket til røykspredning. Oslo Kommune ved Brann- og redningsetaten kunne tilby caser av dette slaget. Etaten gjennomfører evaluering av utvalgte branner, og de to mest relevante rapportene presenteres her.

3.8.1 Case 1: Restaurantbrann

Brannen fant sted i første etasje i et eldre murbygg [58]. I etasjen var det en restaurant, og arnestedet er antatt å være åpen flamme fra et stearinlys, sigarettglo eller liknende. Brannen spredte seg raskt til ventilasjonssystemet, som ble sterkt varmepåvirket. Det har sannsynligvis brent inne i kanalene i gammelt fett og/eller støv. På grunn av varmeledning gjennom kanalgoods har brennbart materiale antent flere andre steder i bygningen. Ventilasjonsanlegget hadde flere feil og mangler. Blant annet fungerte ikke brannspjeldet, brannisoleringen på kanalene fra kjøkken var ikke tilfredsstillende og opphengene var for svake. Renhold av kanalene har sannsynligvis også vært for dårlig. Brannen i restauranten ble relativt raskt slukket, men det tok noe lengre tid å få kontroll på brannen andre steder i bygningen. Tid fra brannen ble varslet til den ble slukket tok cirka en time. Bygget hadde brannvarslere, men restauranten og de øvrige leiligheten hadde ikke seriekoblet



Figur 3.18: Bilder fra case 1: Restaurantbrann [58]

disse. Om brannen hadde inntruffet på natten kunne konsekvensene dermed blitt langt verre.

Like over det området det har brent har det hengt ventilasjonskanaler som har blitt sterkt varmepåvirket. Disse har blitt skadet, og fett og fett inne i kanalene har begynt å brenne. Brannen spredte seg videre oppover i takkonstruksjonen der kanalene var ført igjennom. Dette underbygger at det må ha brent inne i kanalgodset. Røyken spredte seg til andre brannceller, samt trapperom.

3.8.2 Case 2: Takbrann

Brannen startet på taket til et sykehjem, mest sannsynlig på grunn av varmearbeid i forbindelse med takteking [59]. Ansatte ved sykehjemmet merket røyklukt, men reagerte ikke til å begynne med, siden de hadde blitt informert om at det er naturlig med svidd lukt i forbindelse med takarbeidene. Røyklukten ble etterhvert så påtrengende at brannvesenet ble varslet. Det brant like i nærheten av tilluftsinntaket for ventilasjonsanlegget. Følgelig spredte anlegget røyk til alle etasjene i bygget. I følge rutinene skulle anlegget bli avslått i tilfelle brann. Dette skjedde ikke og videre anbefaling er at disse rutinene må følges.

3.8.3 MS ”Scandinavian Star”

Scandinavian Star var en bilferge, som nå er kjent for mordbrannen som fant sted den 7. april 1990. Brannen førte til at 159 mennesker mistet livet. Ventilasjonsanlegget kan ha spilt en rolle i forhold til røykspredningen. Hvilken betydning anlegget har hatt for spredningen er forsøkt kartlagt av SINTEF i en rapport fra 1991 [60]. Rapporter som tar for seg brannutvikling og røykspredning peker på at det er en relativt stor usikkerhet knyttet til det faktiske brannforløpet. Flere tilfældigheter har ført til at brannen utviklet seg slik den gjorde og det er dermed vanskelig å fastslå det faktiske hendelsesforløpet. Det er allikevel avdekket forhold som kan indikere ventilasjonsanleggets påvirkning på brannen.

Det antatte arnestedet var på styrbord side i en korridor [61]. Brannen startet mest sannsynlig med bar ild mot lett antennelig materiale. Et trappeløp på styrbord side og et på babord side sto åpent. I tillegg sto en branndør åpen mellom trappeløpet på babord side og bildekket. I bildekket ble det ventilert slik at det oppstod et undertrykk i rommet i forhold til tilstøtende rom [60]. Overtrykket som oppstod som følge av brannen ble dermed trukket opp gjennom trappeløpet og over til babord side. Branndøren som stod åpen var plassert nederst på bildekket og følgelig ble røyken spredt nedover også. Hadde branndøren vært lukket ville ikke dette suget oppstått og røykspredningen ville blitt begrenset.

Ventilasjon av lugarer og oppholdsrom var mekanisk drevet etter prinsippet om overtrykkventilasjon [60]. Dette innebærer at tilluftskapasiteter er større enn avtrekkskapasiteter. Overskuddet av tilluft skal primært unnslippe til korridorer, trappesjekter og videre til bildekket. Videre var ventilasjonssystemet bygget opp slik at det skulle stanse ved brann, og røyk- og branncspjeld skulle slå igjen der det var nødvendig. Ingen av spjeldene slo igjen slik som de skulle.

Det er ingen tegn til at tilluften har spredt røyk til passasjerlugarene så lenge anlegget har vært i drift [60]. Denne slutningen er tatt etter undersøkelse av sotavsetning på tillufts- og avtrekksarmatur. Det var allikevel mange mennesker som ble funnet omkomne på lugarene sine som følge av røykforgiftning, 99 stykker [35]. Denne røykspredningen skal imidlertid ha kommet av luftlekkasjer gjennom

utettheter i dører og himling [60]. Drivkraften er antatt å være skorsteinseffekten kombinert med høy røyktemperatur.

Dette eksempelet illustrer kompleksiteten til ventilasjonsforhold og trykkforskjeller under en brann. Undertrykket på bildekket økte spredningen gjennom fartøyet, mens overtrykket i lugarene holdt røyken unna så lenge anlegget gikk.

3.9 Brannodynamikk

3.9.1 Beregningsmodeller

Det finnes flere brannmodeller for å beregne brannforløpet i et bygg [62]. Disse strekker seg fra enkle håndbergningsuttrykk basert på empiriske korrelasjoner, til avanserte strømningsdynamiske modeller. Sistnevnte kan være en tidkrevende prosess, med tanke på både oppsett og gjennomføring av simulering. Modeller er matematiske verktøy som benyttes for å gjengi virkelige situasjoner og alle modeller har sine begrensninger. Det er viktig å være klare over hvilke begrensninger modellen har og hvilke bruksområder den kan brukes til. Videre er det nødvendig å betrakte resultatet med en kritisk sans.

Problemet og bygningens kompleksitet er ofte regulerende for hvilken modell som benyttes [62]. Det er ikke sikkert at en mer tidkrevende modell gir et mer pålitelig svar på et enkel situasjon enn for eksempel håndberegninger. Det første steget for å velge rett beregningsmodell er å avgjøre om problemet kan løses med håndberegningsmodeller, sonemodeller eller feltmodeller (CFD). Hver av modellene, deres styrker og svakheter, samt typiske bruksområder blir presentert her.

3.9.1.1 Håndbergningsmodeller

Håndbergningsmodeller er basert på empiriske korrelasjoner og kan løses for hånd eller i enkle regneark, med relativt liten arbeidsinnsats [62]. Når slike modeller benyttes for å kvantifisere brannforløp bør man ha kjennskap til forsøkene som har dannet grunnlaget for modellene. Håndberegninger kan typisk beregne flammehøyde, temperatur i flammesøylen og røyksjiktet, samt sikten i rommet.

3.9.1.2 Tosonemodeller

Sonemodeller er dataprogrammer bestående av algoritmer som beregner masse- og energibalanse ved brann [62]. Modellene bygger på antakelsen om at et rom kan deles inn i to horisontalt adskilte soner. Den øverste delen av rommet representerer det varme røyklaget og den nederste delen er et relativt kaldt lag med frisk luft. Grunnleggende for sonemodeller er at hver av sonene anses som homogene. Det vil si at hvert punkt i hvert av lagene har lik røykkonsentrasjon, lik temperatur etc. I tillegg til de to lagene, utgjør beskrivelsen av røykskyen røykstrålen og forberenningsmaterialet store deler av modellen.

Fordelen med sonemodellen er at den er lett å lære og at den generer store mengder resultater på relativt kort tid [62]. Utdata fra modellen er også forholdsvis enkle å tolke. Det er imidlertid noen begrensninger man bør kjenne til: Modellene kun anvendes på ukompliserte problemer. De gir heller ingen lokal informasjon i rommet.

3.9.1.3 Feltmodeller, FDS

For en del analyseformål er det ikke tilstrekkelig med håndberegninger eller sonemodeller. Det kan derfor være nødvendig med programvare som benytter CFD-koder [62]. CFD-koden består av avanserte algoritmer som anvendes for å løse en enklere form av Navier-Stokes ligninger for strømningsdynamiske beregninger. En CFD-modell krever at rommet deles inn i flere kontrollvolumer der beregningene foretas. Modellen kan derfor gi detaljert og lokal informasjon om brannforholdene i rommet. De kan også håndtere turbulente strømninger, noe som er karakteristisk for rombranner. Den største fordelen med CFD-modeller sammenliknet med de to enklere modellene er at de kan beregne konsekvenser av brannforløpet i rom der de andre modellene er uegnede.

3.9.2 Brannforløp

Spredningen av branngasser er avhengig av hvordan brannforløpet utvikler seg. Brannutviklingen avhenger av mange parametere og er vanskelig å forutsi med høy nøyaktighet. Noen av de viktigste parameterne er brannlast, både mengde og type, tilgangen på oksygen i rommet, samt romgeometrien [63]. Det er flere måter

å dele brannforløpet inn på. En vanlig måte er å dele inn i følgende faser [64]:

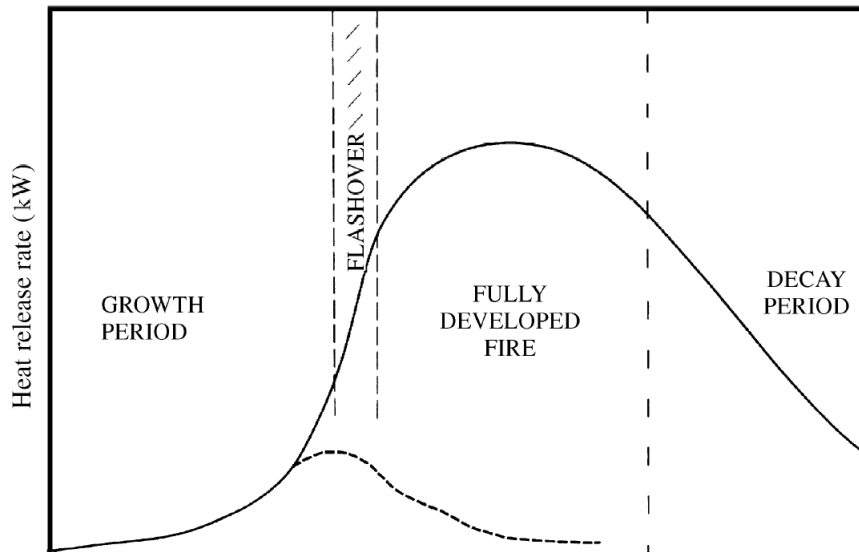
- Vekstperiode;
- Fullt utviklet brann;
- Avtagningsperiode.

Denne inndelingen gjelder for leilighetsbranner som er i størrelsesorden 100 m^3 [64]. Figur 3.19 illustrerer hvordan varmeavgivelsesraten utvikler seg gjennom de ulike fasene av en brann. Denne figuren gjelder for brannsituasjoner som er brenselkontrollert. Det vil si at forbrenningsmaterialet har nok oksygen til å brenne, men at hastigheten er avhengig av hva slags materiale som brenner. Til å begynne med, like etter antennelse, vil pyrolyseraten og varmeavgivelsesraten kun være avhengig av det brennende materialet alene. Branncellens materialoppbygning og størrelse vil på dette tidspunktet ha liten innvirkning på forbrenningsprosessen. På dette stadiet er gjennomsnittstemperaturen i rommet lav, men lokalt kan man få relativt høye temperaturer. Tett oppunder himlingen vil det bli en betydelig temperaturøkning. I løpet av vekstperioden øker brannen i størrelse, og til det punktet der grensebetingelsene til branncellen får betydning [64]. Det vil si at faktorer som isolasjonstykkelse og U-verdi, lufttetthet på branncellen og ventilasjonsforhold spiller en større rolle. Dersom forholdene ikke ligger til rette for videre vekst kan en av to ting skje:

1. Brannen forbruker tilgjengelig brensel, uten å involvere annet brennbart materiale;
2. Dersom ventilasjonen er utilstrekkelig, eller tilgangen på oksygen er for lav, kan brannen være selvslukkende.

Dersom forholdene ligger til rette, vil brannen gå til overtenning [64]. Dette innebærer en rask spredning i forbrenningsarealet og alle brennbare overflater i rommet antennes. Overtenning utgjør normalt en forholdsvis kort tid av den andre fasen.

I løpet av den andre fasen, fullt utviklet brann, oppnår brannen sin maksimale varmeavgivelsesrate [64]. Etersom temperaturene blir høye i denne fasen kan



Figur 3.19: Varmeavgivelsesrate [64]

vinduene knuse og ventilasjonsforholdene endres. Det er i denne fasen at strukturelle skader på bygningen skjer. Temperaturøkningen svekker bæreevnen til konstruksjonen, noe som kan føre til delvis eller total kollaps. Temperaturen vil typisk øke til 900 - 1100°C. Avtagningsperioden identifiseres ved at temperaturen i rommet har falt til et nivå som er 80% av maksimal temperatur. På dette tidspunktet vil varmeavgivelsesraten synke som en følge av at brenslet har avgitt sine volatiler. Flammene vil etterhvert opphøre, og etterlate seg hauger med glør som vil fortsette å gløde og langsomt avgi varme.

3.9.3 Kriterier for overtenning

Det er gjort en rekke forsøk for å kartlegge hva som skal til for at overtenning skal finne sted i en brann [64]. Overttenning er i stor grad avhengig av ventilasjonsforholdene i rommet. Dette henger sammen med at ventilasjonen sørger for tilførsel av oksygen samtidig som varme kan unnslippe gjennom åpningene. En viktig parameter er dermed hvilken rate luft strømmer inn i brannrommet med, gitt av ligning 3.3.

$$m_a = 0.5A_w H^{\frac{1}{2}} [\text{kg/s}] \quad (3.3)$$

Noen av forsøkene som er gjort videre har vurdert hvilken varmeavgivelsesrate som skal til for å gi overtenning, Q_{FO} [64].

$$Q_{FO} = 750A_w H^{1/2} [kW] \quad (3.4)$$

$$Q_{FO} = 7.8A_T + 378A_w H^{1/2} [kW] \quad (3.5)$$

der

- A_w er arealet til ventilasjonsåpningen [m^2];
- H er den vertikale høyden til åpningen [m];
- A_T er det totale innvendige arealet [m^2].

Ligning 3.4 er basert på 33 rombrannstester. Testene viste at man får overtenning i 50% av tilfellene når ligningen legges til grunn [64]. I ligning 3.5 er det tatt hensyn til varmebalanse i det øverste luftlaget i rommet. Her er det inkludert forenklinger og antakelser. Varmetap til grenseområdene, A_T , samt konvektivt tap til ventilasjonsåpningen er inkludert.

3.9.4 Brannenergi

Ved bestemmelse av brannenergi for et bygg bør alt brennbart innhold i bygningen tas med i betraktningen, inkludert de brennbare delene av selve konstruksjonen [30]. Brannenergien bør klassifiseres etter bruken av bygningen og være relatert til gulvarealet. Spesifikk brannenergi oppgis derfor ofte som MJ/m^2 gulvareal. For boliger er gjennomsnittlig brannenergi $780 MJ/m^2$ [30]. Konservativt kan Gumbel-fordeling benyttes for 80% fraktil, som gir brannenergi for boliger på $948 MJ/m^2$. Det vil si at dersom denne verdien brukes er det dekkende i 80% av tilfellene. Det er i midlertidig viktig å presisere at brannenergien i cellen ikke er avgjørende for brannforløpet- og utviklingen alene. Buchanan m.fl. tar for seg betydningen av type brensel som brenner og romgeometri på brannforløpet [63]. I deres studie ble ulike brannscenarier modellert, der de varierte type brensel, men holdt brannlasten fast. I hovedsak var det tre og plastikk som ble brukt som brensel. Videre ble tykkelsen på trevirket variert. Deres funn viser at det er gjennomsnittlig tykkelse på brenselet, samt mengde overflateareal eksponert

mot luft som påvirker oppnådd temperatur mest. Termisk tynt brensel ga høyere temperatur enn termisk tykt brensel på grunn av større overflateareal per volum. Videre spilte også ventilasjonsforholdene inn på oppnådd temperatur. Det er dermed viktig å vurdere andre faktorer enn kun brannlasten alene, selvom denne faktoren er en viktig del av brannbildet.

3.9.5 Trykkoppbygning i brannceller

Trykkforskjeller er det som driver gasser, som går fra steder med høyt trykk til steder med lavere trykk. En stor forskjell vil medføre en sterkere strømmingseffekt. Å ha kunnskap om hvor stor trykkoppbyggingen i et brannrom blir kan derfor bidra til økt forståelse rundt røykspredning via ventilasjonssystemet. I 1998 ble det gjennomført fullskala-tester som vurderte dette emnet [65]. To typer mekanisk drevne ventilasjonssystemer ble testet: Et med kun avtrekk og et med både til- og fraluft. Videre ble det registrert temperatur, trykkøkning, hastigheter på gassen, samt nivåer av oksygen, karbondioksid og karbonmonoksid. Det ble funnet at faktorene som påvirker spredning av røyk og varme gasser til tilstøtende rom var:

- Varmeavgivelsesrate;
- Lekkasjeareal;
- Utforming av ventilasjonssystemet.

For det siste punktet ble det funnet at ventilasjonssystem som kun har avtrekk utgjorde liten risiko for røykspredning til naborom [65]. I de tilfellene der ventilasjonssystemet bestod av både avtrekk og tilluft var det stor fare for spredning. Det ble også testet med ventilasjonsanlegget helt avskrudd. Dette var den situasjonen som gav mest spredning til de andre rommene.

3.10 Røykdynamikk

Kjennskap til hvordan røyken beveger seg og hvilke krefter som påvirker bevegelse er viktig å ha for å vurdere røykspredning i ventilasjonssystemer.

3.10.1 Oppdrift

Røyken som oppstår under en brann vil ha høyere temperatur enn luften rundt. Dette er en direkte effekt av forbrenningsprosessen og røyken stiger som en

konsekvens. Dette skyldes at varm luft har lavere densitet enn kald luft og følgelig får røyken oppdrift. Effekten kan begrunnes utifra ligningen for den ideelle gassloven, gitt i ligning 3.6.

$$PV = nRT \quad (3.6)$$

der

- P er trykket, [Pa];
- V er volumet, [m³];
- n er antall molekyler [mol];
- R er gasskonstanten [J/molK];
- T er temperaturen [K].

Av den ideelle gasslov kan man lese at en temperaturøkning vil gi en økning i trykk og volum. Økning i volum vil gi en lavere densitet på kontrollvolumet og følgelig en oppdrift. I en bygning med lekkasjeveier i horisontale skiller mellom rommene vil oppdriftskraften føre til røykspredning til rom overliggende brannrommet [66]. I tillegg vil det også forekomme røykspredning via all lekkasjearealer i veggene. Etterhvert som røyklaget fjerner seg fra brannen vil kaldere luft blandes inn i den varmere røyken. Følgelig kjøles røyken ned og oppdriften avtar med avstand fra brannen. Varmetap til vegger og tak er også med på å bremse oppdriftseffekten, dog i mindre grad.

Når den vertikale oppdriftsstrømmen treffer himlingen, blir de varme gassene avbøyd som en horisontal strømning parallelt med taket [64]. Strømningen sprer seg radielt fra interaksjonspunktet mellom oppdriftsstrøm og tak. Den horisontale strømningen er blant annet avhengig av flammehøyde, flammetemperatur og avstand til vegg.

I tillegg til oppdriftskrefter direkte knyttet til temperaturøkning i brannrommet forekommer også naturlig oppdrift som en følge av skorsteinseffekten [64]. Denne effekten er størst på høye bygninger, som forklart i 3.3.1.

3.10.2 Forhindret termisk ekspansjon

I tillegg til oppdriften vil energiutviklingen fra brannen medføre en ekspansjon i røykgassene, noe som resulterer i en trykkøkning [66]. Det blir altså et overtrykk i brannrommet, såfremt brannrommet er tett. Dersom vindu eller dør står åpen er denne trykkøkningen neglisjerbar. For relativt tette rom kan trykkøkningen bli betydelig, og i følge Magnusson kan den bestemmes etter følgende ligning [67]:

$$\Delta P = \frac{Q}{C_p T_e A_e 2 \rho_e} \quad (3.7)$$

der

- Q er varmavgivelsesraten [kW];
- C_p er spesifikk varmekapasitet for luft ≈ 1 [kJ/kgK];
- T_e er temperaturen på røykgassene som forlater rommet [K];
- A_e er rommets totale lekkasjeareal [m²];
- ρ_e er tetthet til røykgassene som forlater rommet = $352.17/T_e$ [kg/m³].

Av ligning 3.7 observeres det at forandringen i trykk øker omvendt proporsjonalt med rommets lekkasjeareal.

Del II
Analyser

Introduksjon del II

Denne delen inneholder oppgavens analyse. Analysen er delt inn i en kvalitativ og en kvantitativ del. Den kvalitative delen vil danne grunnlag for den kvantitative delen. Sistnevnte vil bestå av en rekke datasimuleringer der røykspredning via ventilasjonskanaler er i fokus. Forskjellige scenarier utarbeides og analyseres i den kvantitative delen. Teori om FDS og viktige parametre samt valg gjort i modellen vil presenteres i den kvantitative delen. Sammenligninger av de forskjellige scenarioene er gjort mot slutten av delen for å synliggjøre følsomheten de undersøkte parameterene har for betydningen av røykspredning.

Det er foretatt forenklinger og avgrensninger i analysen, og disse vil være begrunnet i avsnittene de er omtalt i. For å redusere simuleringstid er visse funksjoner i programmet deaktivert. Forenkling i modellen skjer kun i tilfeller der sensitivitetsanalyser har vist at utfallet blir nokså upåvirket av forenklingen.

Videre er målet med analysen å kartlegge spredningsfaren av branngasser i et enkelt ventilasjonsanlegg, samt finne ut hvilke faktorer som påvirker røykspredningen. Til dette er strømningsprogramvaren FDS benyttet. Det er valgt å benytte et ventilasjonsanlegg som ikke får noen spesiell funksjon ved brann. Det vil fortsette å gå som vanlig, uten andre sikringstiltak. Dette fordi det er den mest brukte ventilasjonsløsningen i norske bygg i dag.

4 Kvalitativ analyse

4.1 Introduksjon

Den kvalitative analysen er en nødvendig del av utformingen av et system som skal øke sikkerheten til brukerne av bygget. Hovedhensikten med dette er å redusere omfanget av dødsfall og skader som følge av brann. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap har utarbeidet statistikk for branner i perioden 1987-2009 [68]. Gjennomgangen av statistikken viste at boliger dominerer som sted for dødsbranner og at 4/5 av de omkomne døde i egen bolig. Av de omkomne er eldre mennesker overrepresentert, og da spesielt de som er 70+. Det er estimert at 40% av alle brannårsakene ved dødsbranner skyldes ”bar ild” og 25% skyldes feil bruk, eller defekter på elektriske apparater. Omtrent 20% av branner er registrert med ukjent årsak, og det regnes med at disse skyldes en av de to nevnte årsakene. Følgelig er estimatet konservativt.

De fleste av dødsbrannene finner sted i løpet av vinterhalvåret [68]. Dette henger sannsynligvis sammen med at vi tilbringer med tid i hjemmet og risikoen for å omkomme i en brann er dermed større. I tillegg er det større behov for oppvarming, slik at flere elektriske apparater er i bruk. Det er også økt bruk av åpen ild, spesielt rundt juletider, som også øker brannfaren. Statistikken viser at flest dødsbranner inntreffer på tidspunkter da de fleste av oss sover. Da det er røyk som tar flest liv i en brann, er det derfor av interesse å se på om røykspredning via ventilasjonssystemer utgjør en reell fare og hvilke faktorer som eventuelt påvirker røykspredning mest.

Fra et samfunnsøkonomisk ståsted er det en nytte i det å minimere antall dødsfall og skader som en følge av brann [68]. For de nærmest pårørende er et liv selvsagt

uerstattelig, men et liv tapt er også en stor samfunnsøkonomisk belastning. Det er følgelig stor nytte av å begrense antall dødsfall som følge av brann.

I denne seksjonen foretas en kvalitativ analyse av eksempelbygget. Det blir sett på de overordnede perspektivene knyttet til brann i bygget. Brannscenarioene blir presentert, og valg som er gjort i forhold til disse blir begrunnet. Videre klargjøres det for antakelser, forutsetninger og begrensninger i analysen.

4.1.1 Formål

Hovedformålet med denne analysen er å klargjøre hvordan utvalgte parametere virker inn på røykspredning i kanalnettet. Som et ledd i analysen gjøres en kvalitativ analyse. Denne analysen tar sikte på bestemme hvilke faremomenter som utgjør den største trusselen ved en brann, med fokus på røykspredning.

4.2 Forutsetninger og begrensninger

Som en del av prosessen har det vært nødvendig å gjøre begrensninger. Dette fordi tidsrammen er begrenset og det ønskes en dybde i det arbeidet som gjøres.

4.2.1 Geometri

Bygget benyttet i simulasjonene er fiktivt, og meget forenklet. Bygget består av tre boenheter og en korridor, over ett plan. Ingen av boenhetene er innredet, da det er vurdert til ikke å påvirke resultatene i stor grad. Det er likevel mulig et mer avansert oppsatt bygg ville gitt andre resultater. Spesielt gjelder nok dette for knusing av vinduet, da temperaturen kunne blitt en indirekte istedenfor direkte påkjenning mot glassruten. Direkte påkjenning er uansett konservativt. Ellers består bygget av firkantete former, en begrensning FDS setter.

4.2.2 Ventilasjonsforhold

Det er på grunn av oppgavens problemstilling valgt å isolere røykspredningen i bygget til å kun skje gjennom ventilasjonsanlegget. Hver branncelle er dermed fullstendig avstengt fra hverandre, med unntak av ventilasjonskanalene. Det er derimot valgt å inkludere luftlekkasje fra startbranncellen til utendørs. Dette for å gjøre forholdene mer realistiske med tanke på trykkoppbygning i rommet. De resterende delene av bygget vil imidlertid ikke innstilles med luftlekkasjer, fordi

påvirkningen det har på røykspredningen er neglisjerbar i forhold til økningen det ville medført på simuleringstiden. Det er heller ikke valgt å inkludere vindpåkjenninger. Hvor bygget befinner seg har dermed ingen betydning.

4.3 Valg av casebygg

Boliger representerer det stedet der branner skjer hyppigst [68]. Av boligtypene er det eneboliger og blokker som er de to mest dominerende enkeltkategoriene. De står for henholdsvis 48% og 27% av brannstedene. Tatt i betraktning at den største andelen av folk i Norge bor i enebolig, er blokkleiligheter overrepresentert i forhold til antallet mennesker som bor der. Trenden i Norge er at man bygger tettere og høyere, altså økt andel blokker. Det er derfor viktig at brannsikkerheten er god i blokkleiligheter og at dette temaet er tilstrekkelig belyst.

4.3.1 Valg av risikoklasse

Risikoklasse bestemmes ut fra den virksomheten byggverket er planlagt for og de forutsetningene menneskene i bygget har for å ta seg selv i sikkerhet ved brann [69]. Risikoklassene er primært bestemmende for hvilke tiltak og ytelser som behøves for å sikre rømning og tilrettelegge for redning ved brann. Tabell 4.1 viser hvilke bestemmelser som definerer risikoklassen. Simuleringsbygget er et bygg der folk oppholder seg usporadisk, det vil si at de er der over lengre tid, i motsetning til skur, garasje etc.

Bygget havner derfor i risikoklasse 4.

Det forutsettes dermed at:

- Beboerne kjenner rømningsveien i bygget;
- At bruk av byggverk medfører liten brannfare;
- Byggverket er beregnet for overnatting.

4.3.2 Valg av brannklasse

Brannklasse bestemmes ut fra hvilken konsekvens en brann kan innebære for skade på liv, helse, samfunnsmessige interesser og miljø [70]. Det tas hensyn til bruk av

Risiko-klasse	Byggverk kun for sporadisk person-opphold	Personer i byggverket kjenner rømningsforhold og kan bringe seg selv i sikkerhet	Bygget er beregnet for overnatting	Bruk av bygg medfører liten brannfare
1	ja	ja	nei	ja
2	ja/nei	ja	nei	nei
3	nei	ja	nei	ja
4	nei	ja	ja	ja
5	nei	nei	nei	ja
6	nei	nei	ja	ja

Tabell 4.1: Oversikt over risikoklasser [69]

bygget, størrelse, planløsning, brannenergi mm. Bygget kan ha ulike brannklasser dersom konsekvensen er markant forskjellig fra bygningsdel til bygningsdel. Dette kan eksempelvis være om bygningen har definert ulikt bruksbehov. Brannklassene skal legges til grunn for prosjektering og utførelse for å sikre byggverkets bæreevne og andre nødvendige tiltak for å begrense skadeomfanget av en brann.

Eksempelbygget har kun en etasje og konsekvensen for en brann er relativt liten [70]. Hovedfokuset i rapporten går ut på å se på hvilke parametere som påvirker røykspredning i kanalnett. Det er derfor irrelevant å bygge på flere etasjer som kunne forandret brannklassen.

Bygget havner derfor i brannklasse 1.

Det forutsettes dermed at:

- At det er en uniform bruk av bygget. Det vil si at alle beboerne bruker det som et boligbygg og ingenting annet;
- At bygget ikke inneholder produkter som øker konsekvensen ved en brann.

4.3.3 Byggtekniske forhold

Eksempelbygget er sterkt forenklet i forhold til reelle bygg, men valg tatt i forbindelse med oppsettet av bygget skal være i henhold til TEK 10. Dette gjelder

romgeometri og ventilasjonsforhold. Dette gjøres for å gjøre funnene dagsaktuelle i forhold til nybygg. Røykspredningsfaren via ventilasjonssystem er muligens større på eldre bygg, men arbeidet med å designe flere bygg etter ulik standard blir for tidskrevende for oppgaven. TEK 10 med veiledning angir dessuten klare retningslinjer for hvordan et bygg skal utføres. Det gjøres imidlertid forenklinger på oppbygningen av modellen i forhold til materialbruk.

4.3.4 Suksesskriterier

- Identifikasjon av de viktigste parameterne som innvirker på røykspredning i kanalnett;
- Finne brannscenarier som er realistiske for leilighetsbygg;
- Klargjøre begrensninger og forenklinger gjort for bygget og bestemme bruksområdene til analysen.

4.4 Valg av scenario

Som tidligere nevnt er det uhyre vanskelig å prediktere hvordan en brann utvikler seg. Det er mange parametere som spiller inn på varme- og røykutvikling og følgelig er det vanskelig å modellere helt presist. Det blir for tid- og ressurskrevende, slik at parametere med mindre relevans må utelates, og parametere som er vanskelig å fastslå nøyaktig må estimeres eller hentes fra tidligere praksis. Dessuten blir det enklere å finne ut direkte årsak til virkning med en mindre kompleks modell. Ved høy kompleksitet øker også usikkerheten, noe som svekker analysens kredibilitet.

De valgte parameterne er beskrevet i kapittel 5.1. Med åtte forskjellige parametere finnes det svært mange ulike utfall for brann- og røykutviklingen. I tillegg må antall variasjoner per parameter begrenses på grunn av begrenset tidsramme. Ut fra litteraturen og forfatterens oppfatning av hva som påvirker røykspredningen, vurderes følgende parametere i åtte ulike scenarioer:

- Varmeavgivelsesrate [kW];
- Brannvekst [s];
- Røykproduksjon;

- Sotproduksjon [kg/kg]
- CO-produksjon [kg/kg]
- Tilluftsmengde [m³/s];
- Temperatur ved vindusbrudd [°C];
- Luftlekkasjer i bygget [1/h];
- Ventilplassering;
- Ventilasjonsforhold.

5 Kvantitativ analyse

5.1 Parameterteori

Brann er et komplekst fysisk fenomen, og det er vanskelig å simulere en branns faktiske oppførsel. For å få en mest mulig realistisk analyse av en brann er det viktig at inputverdiene i analysen er gode. Utvalgte parametre vil presenteres i dette kapitlet.

5.1.1 Varmeavgivelsesrate og brannvekst

Varmeavgivelsesraten er den viktigste parameteren når det gjelder utviklingen av en brann [71]. En grundig undersøkelse av denne parameteren er dermed viktig for å oppnå gode resultater i analysen. Som beskrevet i 3.9.2 forandres varmeavgivelsesraten ettersom størrelsen på brannen forandrer seg, noe som er en funksjon av tiden. Utviklingsfasen til brannen kan uttrykkes på følgende måte [30]:

$$Q = Q_0 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad (5.1)$$

der

- Q er varmegivelseshastigheten i [kW];
- Q_0 er referansevarmeavgivelsesrate = 1000 kW;
- t er tid etter t^2 -oppførsel [s];
- t_α [s] er den tiden som kreves for å nå en varmeavgivelseshastighet på 1000 kW.

Dette er en t^2 -kurve og er et forsøk på å etterlikne veksten til en faktisk brann, frem til maksimal varmeavgivelseshastighet. Dette er en god tilnærming på hvordan brannforløpet kan være. t^2 -kurven vokser etter et definert tidsperspektiv. For ulike t_α er det knyttet en α -verdi, som er gitt ved [64]:

$$Q = \alpha(t_{tot} - t_i)^2 \quad (5.2)$$

der

- α er en brannvekstkoeffisient [kW/s²];
- t_{tot} er totalt tid etter et startpunkt;
- t_i er inkubasjonstid, dvs. tid før t^2 -oppførsel.

NS-EN 1991 foreslår følgende verdier for brannutviklingshastighet, med tilhørende t_α -verdier. Videre er tilhørende α -verdier, med $t_i=0$ regnet ut av ligning 5.2.

Brannutviklingshastighet	t_α [s]	α [kW/s ²]
Langsom	600	0.00278
Middels	300	0.0111
Hurtig	150	0.0444
Svært hurtig	75	0.177

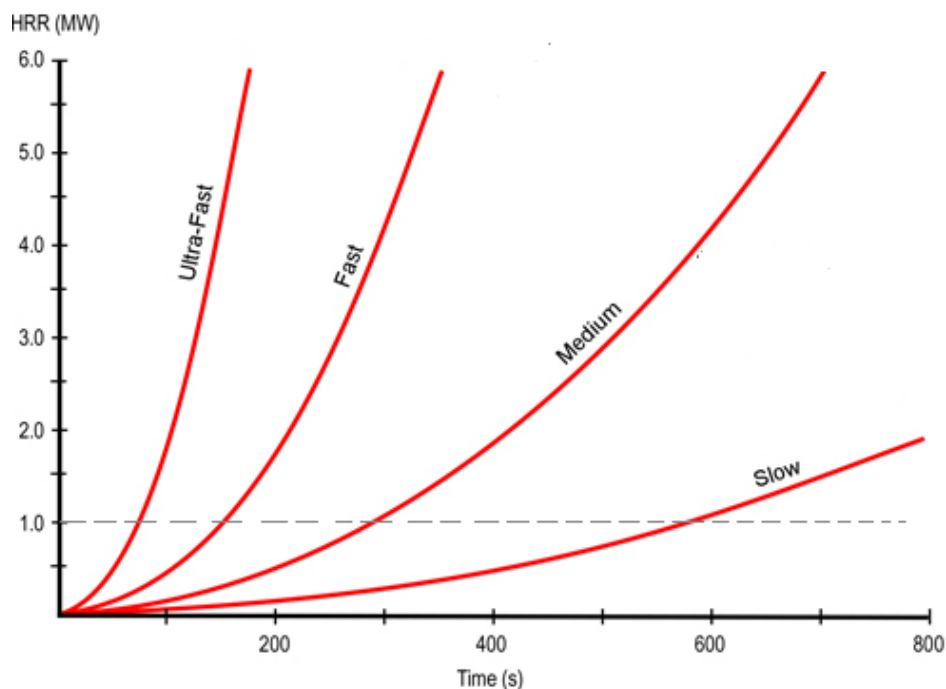
Med disse verdiene vil man få en utvikling av varmeavgivelsesraten som illustrert i figur 5.1.

Videre foreslås en bruk av maksimal varmeavgivelsesrater for Q gitt ved [30]:

$$Q = A_{fi} * RHR_f \quad (5.3)$$

der

- Q er største varmeavgivelsesrate [kW];
- A_{fi} er brannens maksimumareal tilsvarende branncellen dersom brann-energien fordeles jevnt, men som også kan være mindre dersom brannen er lokal [m²];



Figur 5.1: t^2 -vekst med ulike α -verdier [72]

- RHR_f er største varmeavgivelseshastighet som produseres per m^2 brann i tilfeller med brenselregulering [kW/m^2];
- For boliger settes RHR_f til $250 kW/m^2$ [30].

Litteraturen viser seg å ha stor varians i valg av denne verdien, og det er mange måter å oppgi, eller finne riktig branneffekt. Et eksempel på dette er at DIBK foreslår i melding HO-3/2000 *Røykventilasjon* å sette denne verdien til $500 kW/m^2$ [73].

5.1.2 Røykproduksjon

Røyk og branngasser oppstår i alle uønskede branner. Fra et sikkerhetsperspektiv er det viktig å kunne gi en god prediksjon av hvordan en tenkt spredningen av disse produktene vil foregå under brannløpet. På den måten har man et godt utgangspunkt for hvordan man kan motvirke reelle faremomenter på en best mulig måte. Dette er viktig å ha kontroll på, da røyk- og branngasser er de faktorene i en brann som tar flest liv [74]. Brannstatistikk fra USA og Norge indikerer at

røykinhalering står for cirka 75% av dødsfall som følge av branner [75]. Røyken som skapes reduserer rømmningsmulighetene på grunn av at sikten blir forverret og kroppens reaksjoner på den inhalerte gassen. I følge National Fire Protection Association består røyken av følgende komponenter:

- **Partikler:** Ubrente, delvis brente og fullstendig brente substanser. Disse partiklene kan være så små at de trenger inn i luftveisystemet i kroppen og inn i lungene. Noen er aktivt giftige, mens andre kun virker irriterende på øyne og hud.
- **Damp:** Små dråper av væske kan være giftige og trenge inn i kroppen ved inhalering eller gjennom huden.
- **Giftige gasser:** De giftige gassene er biprodukter av forbrenningen og kan forårsake harme på menneskekroppen. Det finnes mange giftige gasser, men her vil kun de mest vanlig omtales.

Karbonmonoksid, CO: Den gassen som tar flest liv i en brann er karbonmonoksid, en farge- og luktløs gass [74]. Gassen dannes når karbonholdige materialer forbrennes ufullstendig [76]. Grunnen til at gassen er såpass farlig for kroppen skyldes at hemoglobinet i blodet absorberer CO lettere enn oksygen. Karbonmonoksidet vil derfor erstatte oksygenet i de røde blodcellene og hindre disse i å ta opp oksygen. Dette fører til redusert funksjonalitet hos menneskene som oppholder seg i den forurensede luften. Graden av hemmelse er avhengig av konsentrasjonen CO i luften, tiden man oppholder seg i rommet og sammensetningen av andre gasser man puster inn.

Hydrogencyanid, HCN: Gassen blir ofte kalt blåsyre, og er en gass som hovedsakelig er et forbrenningsprodukt av plastikk. HCN er et resultat av en forbrenningsreaksjon mellom hydrokarboner, nitrogen og oksygen [74]. Gassen er svært giftig i små doser og regnes som 20-30 ganger mer giftig enn CO. Det er allikvel ikke HCN alene som tar liv, men heller kombinasjonen av flere gasser [77]. Blåsyren hindrer et enzym som står for oksygenopptaket i kroppscellene, slik at det oppstår en indre kvelning [78].

CO₂: Karbondioksid er ikke en spesielt giftig gass i den konsentrasjonen den

Konsentrasjon av CO [ppm]	Fysiske effekter
1500	Kollaps etter 30 min, død etter en time
2000	Kollaps etter 20 min, død etter 45 min
3000	Fare for kollaps etter 10 min
6000	Død inntreffer etter 10-15 min
12800	Bevisstløshet etter 2-3 åndedrag, død innen 1-3 min

Tabell 5.1: Menneskers respons på karbonmonoksid [80]

Konsentrasjon av O ₂ i luften [%]	Fysiske effekter
21	Normal utvendig luft, ingen påvirkning
17	Svekket bedømmelsesevne og koordinasjon
12	Hodepine, svimmelhet, kvalme, utmattelse
9	Ubevissthet
6	Respirasjonsstans, hjerteinfarkt og død

Tabell 5.2: Menneskers respons på redusert O₂ konsentrasjon i luften [80]

forekommer i branngasser [79]. Gassen vil forøvrig, ved moderate konsentrasjoner, medføre økt puls og høyere pustefrekvens. Dette kan føre til et større opptak av andre giftige gasser. En CO₂-konsentrasjon på 2% kan øke pustefrekvensen med opptil 60%, og en konsentrasjon på 3% kan doble takten. Det må allikevel en luftkonsentrasjon på 10% til for å kunne utgjøre en reell fare for rømningsmuligheter for den enkelte.

Av de effektene røyk har på brannsituasjonen vurderes konsentrasjon av CO og O₂ opp mot akseptkriterier som er funnet i litteraturen. I tabell 5.1 og 5.2 er konsentrasjoner av henholdsvis CO og O₂ og deres virkninger på kroppen presentert. Det er viktig å merke seg at påvirkningen av CO er avhengig av både luftkonsentrasjon og oppholdstiden i rommet. Ettersom eksponeringstiden øker vil den nødvendige luftkonsentrasjonen for å forårsake en viss virkning på kroppen reduseres [80]. Det samme gjelder i motsatt tilfelle; økt konsentrasjon gir mindre eksponeringstid før virkning på kroppen inntreffer. I et forsøk gjort på dyr ble toksikologiske data innsamlet og skalert til å gjelde for menneskekroppen. Følgende funn ble gjort:

- 50% av forsøksdyrene blir udyktigjort etter 30 minutters eksponering i CO-konsentrasjon på 1400-1700 ppm;
- 50% av forsøksdyrene døde etter 30 minutters eksponering i CO-innhold på 4600 ppm.

5.1.2.1 Sotproduksjon og sikt

Det er i hovedsak sotpartiklene som reduserer sikten på grunn av lysabsorpsjon og lysspredning [75]. Den reduserte sikten er den faktoren ved røyk som først blir kritisk når det brenner, og vil overstige akseptable kriterier forholdsvis tidlig i brannforløpet. Boverkets forfattningssamling angir følgende verdier for tålegrenser for sikt, 2 meter over gulvnivå [81]:

- 10 m i rom $> 100 \text{ m}^2$;
- 5 m i rom $< 100 \text{ m}^2$.

NS-EN 3901 fra 1998 Risikoanalyse av brann i byggverk angir følgende tålegrenser for sikt for personer ved rømning. Tålegrensene er for sikt i 2 meters høyde over gulvnivå:

- I startbranncelle $> 3 \text{ m}$;
- I rømningsvei $> 10 \text{ m}$.

I en rapport fra 2008 ble det modellert brannscenarier som vurderte sikt mot sotinnhold [82]. Robbins og Wade testet sikten med sotproduksjon i intervallet 0.05 - 0.20 kg/kg, noe som gav konservative prediksjoner for siktforholdene. Ved bruk av 0.05 kg/kg fikk de mest realistiske resultater, sammenliknet med faktiske røyktester. De foreslår videre en bruk på 0.07 kg/kg. Dette er dekkende for 95% av møblelementet brukt i undersøkelsen. Videre er siktforholdene avhengig av hvordan sotpartiklene fordeler seg i røyken, størrelse på partiklene og bølgelengden lyset som treffer partiklene har. I følge Drysdale er det tre måter å måle tettheten til partikkelrik røyk på [64]:

1. Filtrering av røyken og måle vekten av substansen. Denne metoden er kun egnet for små tester;

2. Samle røyken i et rom, der volumet er kjent, for så å måle den optiske densiteten. Denne metoden er egnet i liten til medium skala;
3. La røyken strømme i en kanal og måle den optiske densiteten der idealstrømning oppnås. Deretter integreres det over tiden for å fastslå det totale røykutbyttet.

Mengden partikkelformet røyk som produseres i en test skal uttrykkes som et utbytte. Det vil eksempelvis si at røykproduksjonen er gitt som mengde røykpartikler per mengde forbrent materiale [64]. Forskjellen på metodene nevnt ovenfor er at den første oppgis som mg sot/g forbrent materiale, mens de to siste relateres til konsentrasjonen av partikler mot det volumet de kan fordele seg i.

Den optiske densiteten kan bestemmes ved å måle hvor mye en lysstråle blir dempet gjennom et røyklag, se figur 5.2 [64]. Lysstrålen blir sendt med en intensitet I_0 fra lyskilden, og går gjennom røyklaget. Ettersom lysreduksjon øker på vei mot mottakeren, registrerer fotocellen en ny lysstråleintensitet, I . Den optiske densiteten D_{10} kan uttrykkes med naturlige logaritmer på følgende måte:

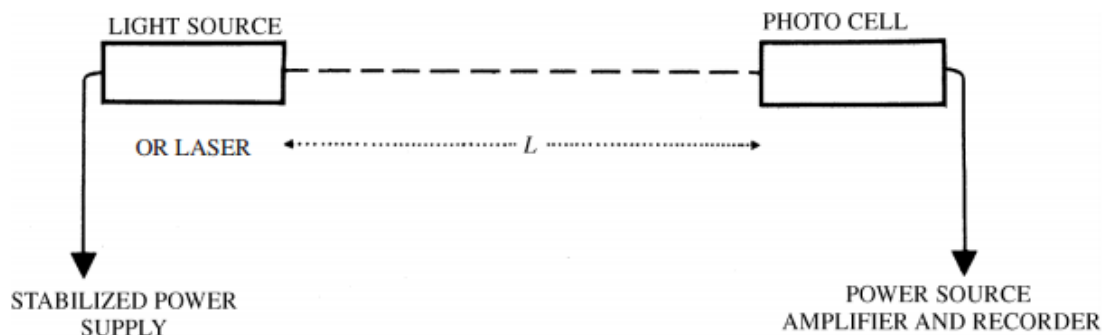
$$D_{10} = -\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) = \kappa CL \quad (5.4)$$

der

- I er lysintensiteten som treffer fotocellen;
- I_0 er lysintensiteten som sendes fra lyskilden;
- κ er slukningskoeffisienten;
- C er konsentrasjon av røykpartikler;
- L er den rette avstanden fra lyskilde til mottaker.

Den optiske densiteten kan også skrives som prosentvis formørkelse, F , gitt ved ligning 5.5 [64]:

$$F = \frac{I_0 - I}{I_0} 100 \quad (5.5)$$



Figur 5.2: Skjematisk oppstilling av måling av optisk densitet [64]

Videre kan visibiliteten finnes ved ligning 5.6:

$$S_{ikt} = \frac{10}{\frac{D_{10}}{L}} \quad (5.6)$$

En utledning som angir prosentvis formørkelse uttrykt med avstanden L og sikten er gitt i vedlegg B.3.

5.1.3 Lufttetthet i rommet

Det er blitt vanlig å bygge tettere leiligheter på grunn av andre byggetekniske betraktninger enn brannsikkerhet. Varmeeffektivitet, kontrollerte ventilasjonsforhold og sikkerhet mot fuktskader er noen av hovedargumentene for å bygge tett [83]. Fra et brannsikkerhetsperspektiv er det imidlertid ulike konsekvenser av å bygge tett. En temperaturøkning vil føre til trykkøkning så lenge rommet er lukket. Om trykkoppbygningen overgår viftetrykket i ventilasjonsanlegget vil røykspredning gjennom tilluftskanalen kunne forekomme. På den annen side vil tette skillekonstruksjoner forhindre spredning gjennom veggene [83].

TEK 10 stiller krav om at bygninger skal ha god lufttetthet. For å kontrollere at bygget er i henhold til forskriftene gjennomføres en trykktest av konstruksjonen. Dette gjøres etter trykkmetoden, n_{50} , som innebærer at man påfører bygget et undertrykk på 50 Pa. Videre måles luftlekkasjen. Kravene TEK 10 stiller for leiligheter er:

- TEK 07/TEK10 < 1.5 luftutvekslinger per time;

- NS3700 - Lavenergi < 1.0 luftutvekslinger per time;
- NS3700 - Passivhus < 0.6 luftutvekslinger per time.

5.1.4 Ventilasjonsforhold

5.1.4.1 Knusing av vinduer

Åpninger i branncellens vegger spiller en nøkkelrolle for hvor raskt brannen vokser [84]. Vinduer er bygningskomponenter som vanligvis har lavere brannresistans enn andre deler av veggene. Stråling fra brannen varmer glasset og fører til termisk ekspansjon med påfølgende spenninger i materialet. Dette fører til at glasset sprekker opp, og gir lekkasjer ut. Videre i brannutviklingen kan glasset sprekke opp fullstendig og dermed forandre ventilasjonsforholdene drastisk. Å estimere hvor lang tid det tar før vinduet knuser er svært komplisert. De to faktorene som har størst påvirkning på dette er brannen og vinduet. Følgelig er varmeavgivelsesraten av stor betydning. Dersom det brenner langt unna vil det, naturlig nok, ta lengre tid for vinduet å sprekke enn om brannen er nære, blant annet på grunn av redusert strålingsvarme. Dersom glasset er av den vanlige sorten, fremstilt av SiO_2 , natrium og kalk, er tiden mellom oppsprekking og totalt kollaps ofte svært liten [84]. Det er imidlertid utviklet brannvinduer som kan motstå brann i en lengre tid.

I tillegg til å øke ventilasjonen, og dermed tilgang på oksygen for brannen, utgjør vinduer en fare i forhold til horisontal brannspredning til bygninger med fasaden vendt mot brannstedet. For tre tilfeller er det ingen krav om nødvendig brannmotstand i vinduene:

- Der avstanden mellom de motstående, parallelle ytterveggene er > 6 m og ytterveggene er i brannklasse 1, 2 og 3;
- Der avstanden mellom vinduer i innvendige hjørner er > 4 m.

Det er vanskelig å prediktere hvilken temperatur glasset knuser på fordi det er avhengig av mange faktorer. Eksempelvis er det tre mekanismer som forårsaker brudd, noe som indikerer noe av kompleksiteten: [84].

1. Dersom en intens varmekraft plutselig treffer vinduet på den ene siden. Vinduet opplever et termisk sjokk og sprekker opp. Denne typen brudd er uvanlig i leilighetsbranner;
2. Varmekraft som treffer jevnt over vindusflaten medfører termisk ekspansjon ut i vindusrammen. Dette gir spenninger og følgelig brudd;
3. Ujevn varmekraft medfører spenninger der temperaturen på vindusflaten er lavere enn snittemperaturen over hele glassflaten. Dette kan skje om deler av vinduet er skjermet for stråling.

En modell om kollaps grunnet oppvarming for tolags glass ble utarbeidet av M. Skelly, m.fl. De testet hvilken temperatur vinduet går til brudd ved for mekanisme 2 og 3, som beskrevet over. For jevn varmekraft, tilfelle nummer 2, ble kritisk temperatur bestemt til å være 197°C [85]. For ujevn varmestråling ble bruddtemperaturen fastslått til 90°C. Det er også viktig å være klar over at det oppstår økt trykk i brannrommet. Dette trykket kombinert med termisk påkjenning kan bidra til et relativt tidlig vindusbrudd.

De overnevnte estimatene for vindusbrudd er grove estimater og gjelder for kun ett glass [85]. Cuzzillo og Pagni omtaler dette emnet i en artikkel der de presenterer det matematiske grunnlaget for vindusbrudd i to-lags glass [86]. De påpeker at det innerste glasset vil ta opp mye av strålingsvarmen og sprekke opp først. Når dette laget er borte er det relativt usikkert hvor lang tid det vil ta før det andre går til brudd. Det er med andre ord vanskelig å fastslå nøyaktig temperatur og tidspunkt for brudd.

5.1.4.2 Åpen eller lukket dør

Det blir gjort en rekke tiltak for å sikre at en branncelle ivaretar sin integritet og isolasjonsevne (EI). Brannvegger blir satt opp, branndører installert og gjennomføringer blir isolert etter forskrifter. Det er også krav til at dør må ha samme brannmotstand som konstruksjonen den står i [87]. Dersom døren av en eller annen årsak holdes åpen, svekkes branncelleveggens funksjonalitet. Det er imidlertid en reell mulighet, og må derfor vurderes i modellen. I følge Bjelland angir den britiske standarden PD7974-7:2003 at det er følgende sannsynligheter

for at en dør skal stå åpen under brann [79]:

- 30% sannsynlighet for at en dør uten selvlukker skal stå åpen;
- 20% sannsynlighet for at en dør med selvlukker skal stå åpen.

Konsekvensene av en åpen dør ut til korridor vil føre til at mer røyk kommer seg ut. Dette kan føre til sterkt redusert sikt i gangen og kan potensielt være farlig. På en annen side vil trykkøkningen i brannrommet ikke bli like stor, da luften vil ha et sted å strømme. Følgelig kan man anta at, så lenge ventilasjonsanlegget går, vil det heller ikke bli noen røykspredning via kanalnett. Med dette som grunnlag besluttes det å simulere med lukket dør i samtlige av scenarioene.

5.1.5 Hastighet tilluft

Tilluftshastigheten inn i et rom er direkte knyttet opp mot kanaldimensjon og prosjektert ventilasjonsmengde. Det er allikevel utarbeidet retningslinjer for hvilke hastigheter som er vanlige å bruke. Dette gjøres hovedsakelig for å oppnå behagelig luftforhold i rommet. For høy hastighet inn vil skape følelsen av trekk, noe som ikke er ønskelig. For svak innhastighet gir for lite omvelting av luften og luftkvaliteten kan dermed bli dårlig. Mengden luft som tilføres rommet kan styres av VAV-spjeld omtalt i 3.7.4.2.

Ventiler ved utløpet av kanalen sørger for et trykktap på 30-40 Pa, og dermed en reduksjon av hastigheten i forhold til kanalhastigheten [88]. Avhengig av ventilasjonsplasseringen vil den nødvendige lufthastigheten ut variere. Maksimal hastighet vil ligge mellom 2.5 m/s til 3.0 m/s ved behovsstyrt ventilasjon. Minimumshastighet vil ligge rundt 0.7 m/s til 1.0 m/s. Dette gjelder i hovedsak for omrøringsventilasjon, omtalt i avsnitt 3.3.2. For fortrenningsventilasjon vil røykspredning via kanalnett vanligvis ikke være et problem, da tilluftsventilen er plassert lav i rommet.

Tilluften skaper et strømningsmønster som er avhengig av mange faktorer. Ventilutforming, hastighet og plassering i forhold til himling er blant disse. Dette er komplekst å kartlegge ved bruk av håndberegninger og i så måte er bruk av FDS-verktøy gunstig.

5.1.6 Ventilplassering

Det er gjerne vanlig med flere til- og fraluftsventiler i en leilighet. Tilluftsventilene plasseres som regel høyt oppe på veggen eller i himlingen. Unntaket er ved fortrenningsventilasjon, der tilluftsventilen er lavtsittende. Det er mange måter å plassere ventilene på, men det viktigste er at tilstrekkelig luftgjennomstrømning blir opprettholdt slik at oppholdsrommene har god luftkvalitet[32]. Det er derfor vanlig med avtrekk på både kjøkken og bad og tilluft på soverom og stue.

6 Simuleringer

6.1 Bruk av FDS

Fire Dynamics Simulator, eller kun FDS, er en CFD-modell av branndreven fluid strømming [89]. Bruk av FDS gir muligheter for nøyaktige gjengivelser av faktiske brannsituasjoner, i større grad enn hva enklere sonemodeller gjør. Programmet er dermed godt egnet til simulering av blant annet røykspredning ved brann. Som med mange andre typer programvare krever FDS høy brukerforståelse og fagkunnskaper for å oppnå gode og troverdige resultater. Ved brann er det mange parametere som påvirker utviklingen, så nøyaktigheten av simuleringsresultatene avhenger av nøyaktigheten av inputdataene. Disse dataene er det dog ofte nødvendig å forenkle i forhold til den virkelige verden, da en perfekt gjengivelse av virkeligheten er altfor ressurskrevende. Ved forenklinger er det viktig å forstå betydningen hver enkelt parameter har. Parametere av liten betydning kan neglisjeres mens parametere uten kjente verdier må estimeres. I så måte kan en neglisjering av en parameter viktigere enn antatt, eller en feilestimering av den ukjente verdien, være ødeleggende for hele simuleringsutbyttet. Å gjennomføre sensitivitetsanalyser på de antatt mest avgjørende parameterne er dermed ofte smart, men også dette kan være tidkrevende.

FDS er et nyttig verktøy i prosjekteringsfasen. At resultatene er gode er dermed helt avgjørende. Å benytte input fra verifikasjons- og valideringsstudier av FDS er en god start. Kort sagt innebærer validering å sette simulert og virkelig data opp mot hverandre for å undersøke graden av likhet (validering = ”lager vi det riktige produktet?”) [90]. Verifikasjon derimot dreier seg om programmet oppfører seg om utvikler har planlagt (verifisering = ”lager vi produktet riktig?”).

NIST har validert FDS, og dokumentasjon på dette finnes i "FDS Technical Reference Guide". FDS er gratis og ligger enkelt tilgjengelig for alle på internett. Det er dermed også validert av en rekke aktører innen branntekniske fag- og forskningsmiljøer verden over.

For å understreke hvilken utfordring det er å sette opp en nøyaktig FDS-modell henvises det til Dalmarnock-testen fra Universitetet i Edinburgh i 2006. Her skulle ti aktører hver for seg prediktere hvordan en brann i en leilighet utviklet seg. Åtte team valgte å bruke FDS 4. Teamene ble gitt nøyaktige beskrivelser av brannrommets geometri, innredning, brannlast og ventilasjonsforhold, mens resultatene fra den reelle brannen ble holdt hemmelig. Resultatene de forskjellige gruppene presenterte var meget varierende, både i forhold til hverandre og til de faktiske resultatene. At så erfarne simuleringseksperter ender opp med så forskjellige utfall viser hvor utfordrende det er å simulere et brannscenario, samt hvilken betydning valg tatt underveis får.

6.1.1 PyroSim

PyroSim fra Thunderhead Engineering gir FDS et brukergrensesnitt. Slik FDS er levert fra NIST må brukerne manuelt skrive koder for å sette opp en modell. I PyroSim slipper man dette, noe som gjør det enklere å benytte seg av FDS-modellering.

6.2 Modellen

I de kommende avsnittene blir modellens oppbygning beskrevet. Teori knyttet til FDS vil bli presentert der det er hensiktsmessig, før valgene som er tatt i modellen presenteres. Valgene angående de modelltekniske parameterne som dreier seg om oppbyggingen av modellen vil gjelde for samtlige simuleringer. Parametere som vil ha betydning for brann- og røykutviklingen vil derimot endres fra simulering til simulering. Valgene vedrørende sistnevnte parametere vil forme det som heretter vil bli omtalt som referansescenariet.



Figur 6.1: Oversiktsbilde av modellen

6.2.1 Bygningen

De fleste branner skjer i boliger, og 8 av 10 dødsfall på grunn av brann skjer i egen bolig [68]. Derfor vil simuleringen i denne oppgaven dreie seg om brann i et boligbygg. Det er eneboliger og leiligheter som er hyppigst berørt, med henholdsvis 48% og 27% av dødsfallene. Da ca 60% av Norges befolkning bor i enebolig, mens omtrent 17% bor i leilighet, må leiligheter sies å være overrepresentert i denne sammenheng [91]. Modellen i simuleringen er derfor valgt å illustrere en etasje i et leilighetsbygg. Videre er bygningen fiktiv, og oppbygningen er forenklet da ytterligere detaljer er unødvendig i forhold til målet med oppgaven.

6.2.2 Planløsning

Planløsningen i modellen består av tre boenheter og en korridor, se figur 6.1.

Minste preaksepterte himlingshøyde er 2.4 meter [17]. Denne høyden vil dermed benyttes. Slik modellen er bygd vil himlingen være representert ved "lokket" på modellen. Ventilasjonsskanalene vil likevel legges lavere enn dette, av praktiske årsaker. Dette er vurdert til ikke å ha noen innvirkning på resultatene. Ventilplasseringen vil varieres i et av scenarioene for å undersøke dette.

6.2.2.1 Boenhetene

Det er valgt å bruke små leiligheter i modellen. Størrelsen på leiligheten har en viss betydning for hvor lang tid det tar frem til kritiske forhold oppstår, og små enheter

har raskere temperaturstigning og trykkoppbygning enn enheter med større areal. Boenhetene er dermed gitt en størrelse på 40 m² i modellen.

Leilighetene er i modellen forenklet i forhold til reelle leiligheter. Planløsningen er med andre ord ikke noen realistisk gjengivelse av en ekte leilighet. Boenhetene er altså ikke innredet, ei heller med indre vegger. Dette for å holde fokus på røykspredning via ventilasjonskanaler. Ved å sette opp vegger innad i leilighetene kunne det forstyrret røykens mulighet til å nå ventilene.

6.2.3 Sensitivitetsanalyser

Hensikten med en sensitivitetsanalyse er å undersøke hva slags virkning endringer av parametre får for resultatene. Dersom man ønsker veldig nøyaktige resultater vil prosesseringsstiden øke betraktelig. Det er derfor greit å finne den kombinasjonen av nøyaktighet og prosesseringsstid som gir tilfredsstillende resultater. I den sammenheng bør sensitiviteten til følgende parametre vurderes [92]:

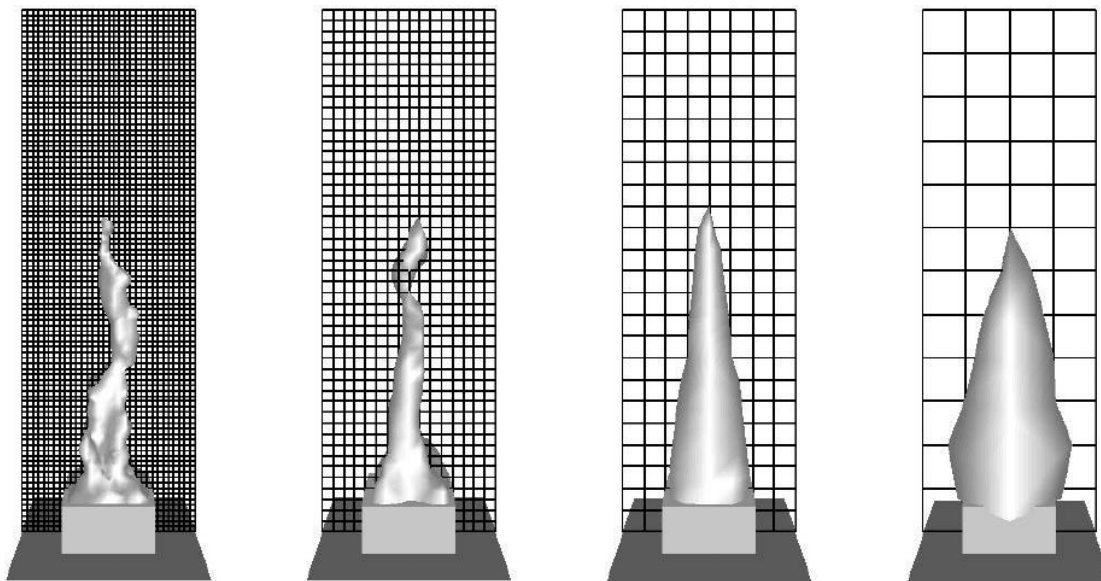
- Gridstørrelse;
- Strålingsmodell;
- Turbulensmodell;
- Varmeavgivelsesrate.

Varmeavgivelsesrate er en parameter som vil varieres i selve hovedanalysen, så den utelates i denne omgang. Turbulensmodellen benyttet i simuleringene er Large Eddy Simulation (LES). Denne modellen er valgt da alternativet (DNS) er meget ressurskrevende, og dermed uaktuell i denne oppgaven [62]. For teori vedrørende dette henvises det til FDS' tekniske referanseguide. Videre er standardverdier benyttet i forbindelse med turbulensmodellen, noe som blant annet innebærer en Smagorinskykonstant lik 0.02.

6.2.4 Mesh

6.2.4.1 FDS-teori

Utformingen av meshet er en viktig parameter i FDS, da det bestemmer celleinndeling og -størrelse for modellen. Ved bruk av FDS er det viktig å



Figur 6.2: Meshoppløsning: fra venstre 2.5 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm cellestørrelse [94]

finne en passende meshoppløsning for modellen det arbeides med. Med høyere oppløsning vil det oppnås høyere nøyaktighet, men prosesseringen blir også tyngre og blir mer tidkrevende. En halvering av cellestørrelsen medfører en reduksjon av unøyaktigheter med en faktor på 4, samtidig som simuleringstiden øker med en faktor på 16 [93]. Det er dermed viktig å optimalisere meshstørrelsen ved å gjennomføre en sensitivitetsanalyse. I FDS er optimalt celleantall i y- og z-retning i et mesh gitt på formen $2^u 3^v 5^w$ der u, v og w er heltall [89]. Dette kommer av at programmet benytter en matematisk modell som kalles Poisson Pressure Solver, som er basert på Fast Fourier Transform.

Det er spesielt i områder der det vil være store gradienter at en fin meshoppløsning vil være vesentlig. Brann- og flammesøylen er et slik sted, se figur 6.2 for illustrasjon av cellestørrelsens betydning. I beregninger der det benyttes oppdriftsdrivne brannsøyler, brukes forholdet D^*/dx som et mål på hvor god oppløsningen av strømningsfeltet er [89]. D^* er brannens karakteristiske diameter, og beregnes som vist i ligning 6.1, mens dx er den største sidelengden av en celle i domenet. I FDS' brukermanual oppgis verdier i intervallet 4-16 som akseptable. Med stigende forholdstall stiger antall celler brannen befinner seg i, som betyr høyere nøyaktighet

i simuleringen. Denne verdien er dog en pekepinn, og det bør likevel gjennomføres sensitivitetsanalyser av ulike cellestørrelser selv om man i sin modell ligger innenfor nevnt intervall.

En branns karakteristiske diameter, D^* , beregnes ved hjelp av følgende ligning:

$$D^* = \left(\frac{Q}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (6.1)$$

der

- Q er brannens varmeavgivelsesrate [kW];
- ρ_∞ er luftens densitet [1.2 kg/m³];
- c_p er luftens varmekapasitet [1.0 kJ/kgK];
- T_∞ er temperatur på luften [293 K];
- g er tyngdeakselerasjonen [9.81 m/s²].

Videre bør avgrensningene av de forskjellige meshene i modellen velges med omhu, og meshgrenser bør ikke forekomme i områder der det er mye aktivitet under simuleringen. Eksempler på slike områder er selve brannen, åpninger eller andre spesielle forhold. Ved åpninger i fasadevegger bør meshet trekkes en avstand lik åpningens hydrauliske diameter ut fra veggen. Den hydrauliske diameteren kan finnes ved ligning 6.2.

$$D_H = \frac{4A}{P} \quad (6.2)$$

der

- D_H = hydraulisk diameter [m];
- A = åpningens areal [m²];
- P = åpningens omkrets [m].

Objekter som tilføyes modellen bør fylle heltall antall celler. Dersom dette ikke er tilfelle vil programmet justere objektet slik at heltall antall celler fylles, noe som kan medføre uønsket utfall [89]. Åpninger med strømming igjennom bør ha en størrelse på minst 10 celler i hver retning.

Q	D*	D*/dx		
		dx=5 cm	dx=10 cm	dx=20 cm
40 kW	0.27 m	5.4	2.7	1.35
1000 kW	0.96 m	19.2	9.6	4.8

Tabell 6.1: D*/dx-verdier

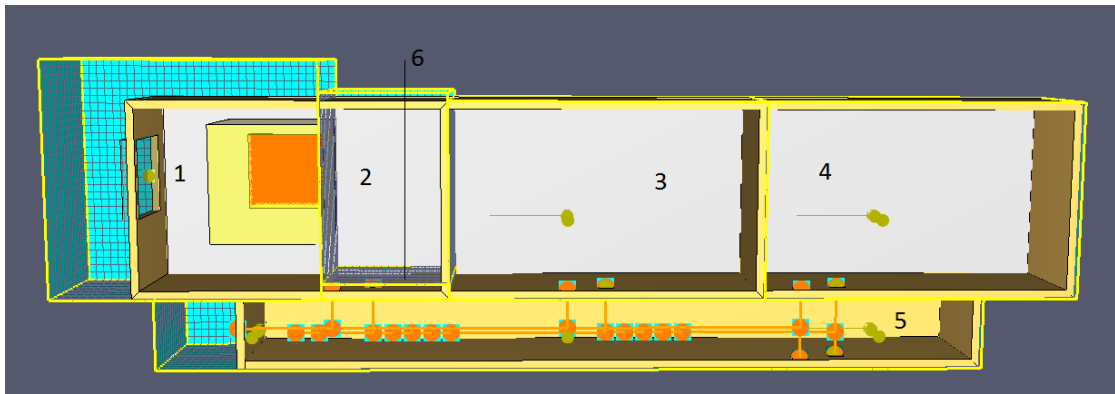
6.2.4.2 Modellen

Det er valgt å benytte 20 cm som største cellestørrelse i modellen. Dette er en nokså grov oppløsning, og det har vært nødvendig å tilføye et mesh med oppløsning på 10 cm for å få ønsket størrelse på tilluftsventilen i branncelle 1. Valget av cellestørrelse er tatt på grunnlag av reelle tykkelser. Innervegger er for eksempel sjeldent tykkere enn 20 cm. Videre er en sensitivitetsanalyse gjort på meshet for å kartlegge hvilken oppløsning som kan anses tilstrekkelig.

Brannen som benyttes i modellen er en t^2 -brann, og varmeeffekten vil dermed være variere med tiden. Etter 300 s er effekten 1000 kW. Ifølge ligning 5.1 vil varmeeffekten være 40 kW etter 60 s. Disse to verdiene benyttes i forbindelse med D*/dx-kriteriet, se tabell 6.1. Av tabellen kan man se at det for en varmeeffekt på 40 kW ikke bør benyttes cellestørrelser mindre enn 5 cm, mens det for 1000 kW går greit med cellestørrelse på opptil 20 cm. Det vil komme frem av sensitivitetsanalysen om cellestørrelser på 20 cm likevel kan benyttes. For første delen av brannforløpet vil da ikke kriteriet for dynamikknyaktighet tilfredsstilles. Dette lar seg vanskelig gjøre med tilgjengelig datakraft.

For å tilfredsstille kravet om at hver åpning består av minst 10 celler i hver retning er det valgt å bare ha ett vindu i startbranncellen. På den måten vil et mesh med cellestørrelse 20 cm være godt nok. I de tilfeller der inngangsdør benyttes vil denne måle 1 m x 2 m, og krever dermed celler på 10 cm. Dette lar seg gjennomføre enkelt, da de ene veggene i startbranncellen allerede er dekt av et mesh på 10 cm på grunn av størrelsen på tilluftsventilen. Brannen som benyttes vil spenne over et kvadrat på 4 m², slik at 20 cm celler er tilstrekkelig.

Det er tenkt å la utside yttervegg være meshgrensene. For å ta høyde for strømning ut av vinduet på den ene kortsiden, må meshet her trekkes enda lengre ut. Vinduet



Figur 6.3: Oversikt over meshinndelingen. Målere brukt i sensitivitetsanalysen har gulgrønn farge

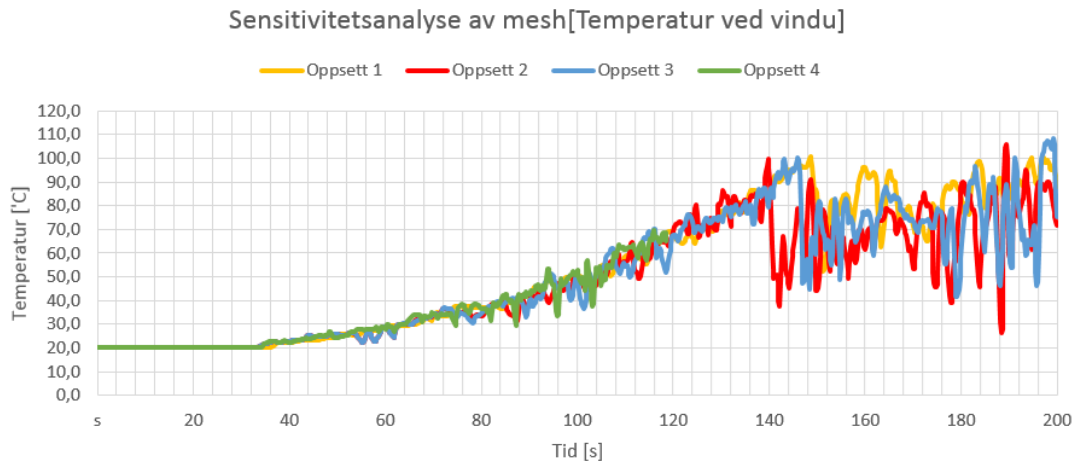
Mesh	Oppsett 1	Oppsett 2	Oppsett 3	Oppsett 4
1	20 cm	10 cm	10 cm	5 cm
2	20 cm	10 cm	10 cm	10 cm
3	20 cm	20 cm	10 cm	10 cm
4	20 cm	20 cm	10 cm	10 cm
5	20 cm	20 cm	10 cm	10 cm
6	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm

Tabell 6.2: Meshoppsett for sensitivitetsanalyse

måler 2 m x 2 m, slik at hydraulisk diameter blir 2 m, ifølge ligning 6.2. Meshet vil dermed trekkes 2 m ut fra utside yttervegg.

6.2.4.3 Sensitivitetsanalyse

Den mest sensitive parameteren i FDS er meshets oppløsning [93]. Det er dermed naturlig å undersøke hvordan forskjellige cellestørrelser vil påvirke resultatene. Det er valgt å se på temperatur, tid til vindu i startbranncelle knuser, varmeavgivelsesrate, sikt og CO-konsentrasjon i deler av modellen i sensitivitetsanalysen, som vil gå over 200 sekunder. Vinduet er i denne sammenhengen satt til å knuse ved 100°C. Figur 6.3 vil vise hvor målingene i forbindelse med sensitivitetsanalysen er utført. Meshene er nummerert fra 1-6, som vist i samme figur. De ulike oppsettene for sensitivitetsanalysen er gitt i tabell 6.2. Simuleringen for oppsett 4 stanset av ukjent grunn etter 119 sekunder. Simuleringen tok uansett meget lang tid, og oppsettet anses som uhensiktsmessig å jobbe videre med. Resultatene fra de for-



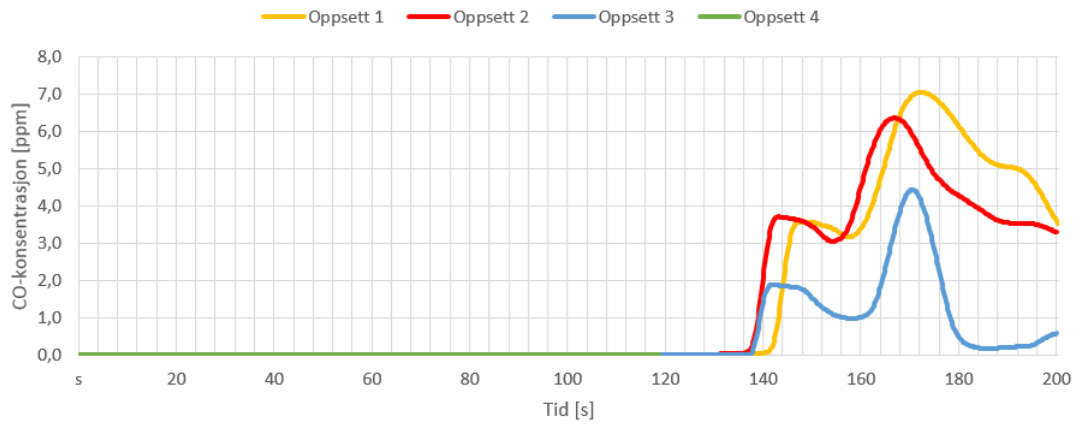
Figur 6.4: Temperatur ved vindu

skjellige testene er vist i figur 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 og 6.8.

Med unntak av CO-konsentrasjonen og formørkningen i naborommet er resultatene nokså like ved samtlige simuleringer. Spesielt målingen av formørkelse i naborommet gir stort avvik ved forskjellige meshoppløsninger. Denne målingen er gjennomført 1.8 meter over gulvet, og den visualiserte røykspredningen i Smoke-View viste at dette er i grensesjiktet for hvor lavt røyken går. Dermed er det naturlig at det finere meshet brukt i oppsett 3 gir lavere utslag. Det kan tenkes at denne forskjellen ikke hadde blitt oppdaget om målingen var gjennomført høyere i rommet. 1.8 meter må anses som konservativt, og er lavere enn målehøyden angitt av Stortingsmelding HO-3/2000 på $1.6 \text{ m} + 0.1 \cdot \text{takhøyde}$ [73]. Frisiktshøyden ville dermed vært 1.88 meter ved bruk av denne metoden.

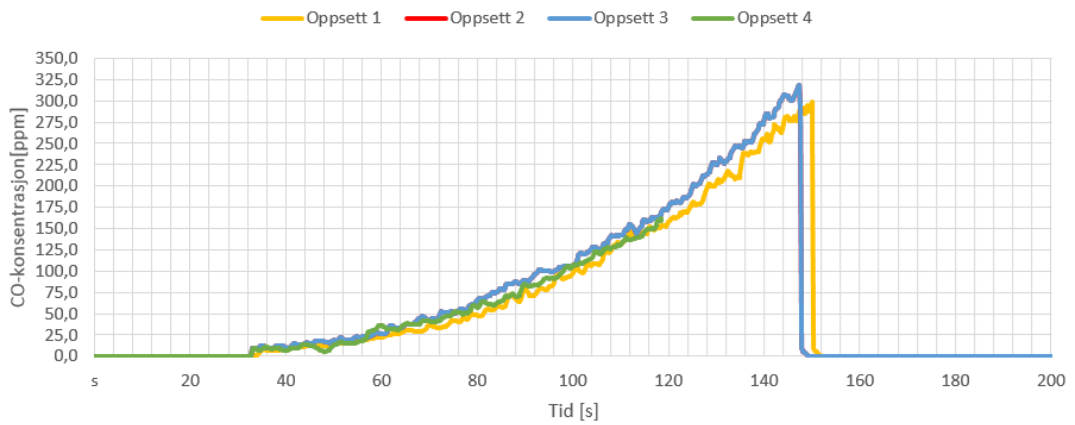
Det velges å gå videre med en kombinasjonsløsning av oppsett 2 og 3. Mesh 4 og 5 vil ha cellestørrelse 20 cm, mens de resterende vil ha 10 cm. Dette velges da en ren oppsett 3-oppbygning tar unødvendig mye tid. I arbeidet med sensitivitetsanalysen har forfatterne lært mye FDS-teori, blant annet at HVAC-funksjonen er mer forenklet enn forventet. Dette vil berøres ytterligere i avsnitt 6.2.7. Denne begrensningen gjør at røykspredningen via ventilasjonskanalene skjer samtidig ut av alle ventiler, uavhengig av lengden fra branncellen. Det velges derfor å fokusere

Sensitivitetsanalyse av mesh[CO-konsentrasjon naborom 2.0 m over gulv]

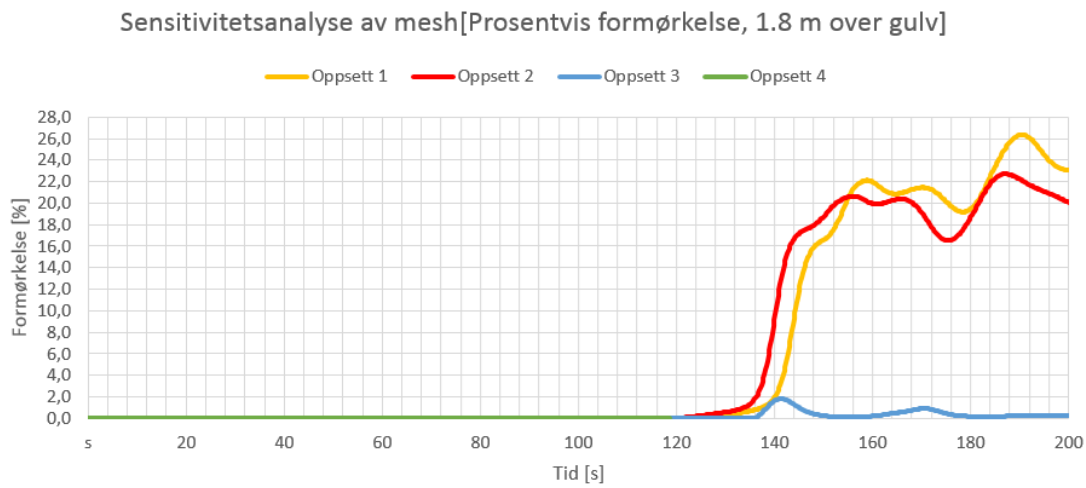


Figur 6.5: CO-konsentrasjon i naborom, 2.0 meter over gulvet

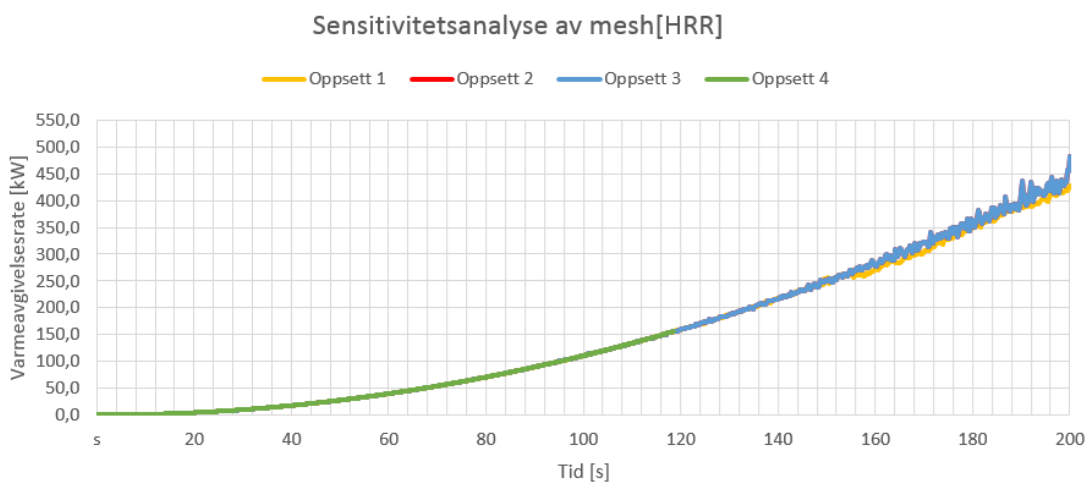
Sensitivitetsanalyse av mesh [CO-konsentrasjon i tilluftskanal]



Figur 6.6: CO-konsentrasjon i tilluftskanal til startbranncelle



Figur 6.7: Prosentvis formørkning i nabocelle, 1.8 meter over gulvet



Figur 6.8: Varmeavgivelsesrate målt i en boks rundt brenneren

på nærmeste branncelle, og gi denne et fint mesh. De ytterligere branncellene vil bli bevart i modellen, men med et grovere mesh.

6.2.5 Strålingsmodell

6.2.5.1 FDS-teori

Den viktigste strålingsparameteren er energifraksjonen skapt av termisk stråling [89]. Dette bidraget kalles ofte strålingsfraksjonen. I en forbrenningsprosess er sot det produktet som bidrar mest til varmestrålingen [62]. Dette fordi sotpartiklene vil oppføre seg som sorte legemer og dermed selv stråle ut varme. Sotmengden er dermed avgjørende for temperaturen som oppstår som følge av brannen. Som default i FDS vil røykgasser oppføre seg som sorte legemer. Dette fordi sot ofte er det viktigste forbrenningsproduktet. Videre er 0.35 satt som standard strålingsfraksjon i FDS.

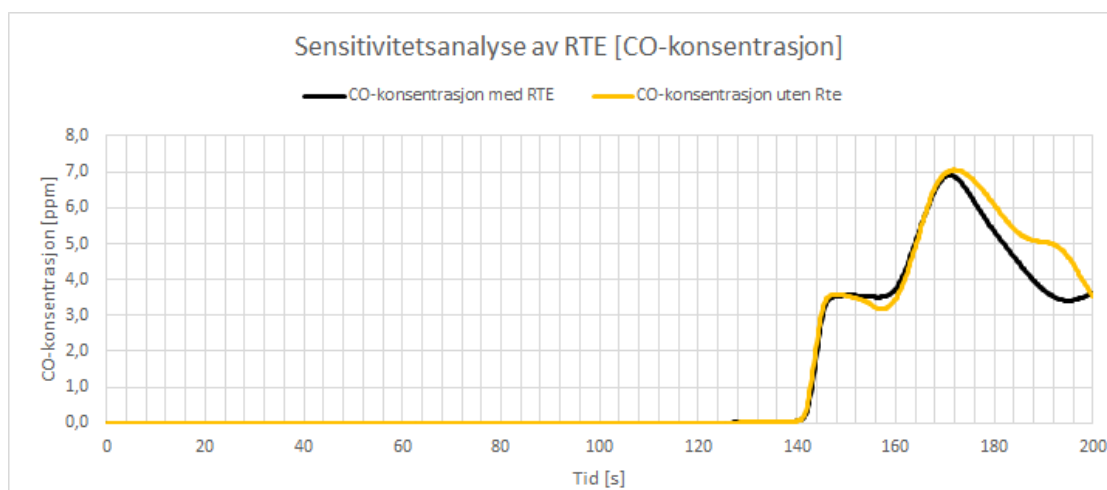
6.2.5.2 Modellen

Det er mulig å utelate bidraget strålingsfraksjonen tilføyer, mot å spare ca. 20% simuleringstid, ved å deaktivere den såkalte RTE-funksjonen [89]. Det vil si, FDS vil fortsatt la 35% av brannens energi stråle bort, men den tas ikke med i beregningene. Det vurderes å deaktivere denne funksjonen, men da det er snakk om relativt liten tidsbesparelse vil en sensitivitetsanalyse gjennomføres for å avgjøre valget.

6.2.5.3 Sensitivitetsanalyse

Det er valgt å gjøre en sensitivitetsanalyse for å avgjøre hvorvidt det er greit å deaktivere RTE-funksjonen. Sensitivitetsanalysen gjennomføres med 20 cm celler i alle mesh utenom mesh 6, som har celledimensjon 10 cm, se figur 6.3 for meshnummerering. Som sammenligningsgrunnlag er det valgt å benytte følgende målinger:

- CO-konsentrasjon i naborom, 2.0 meter over gulvet;
- Prosentvis formørkelse i naborom, 1.8 meter over gulvet;
- Varmeavgivelsesrate;
- Temperatur ved vindu.



Figur 6.9: CO-konsentrasjonen i nabobranncelle, 2.0 meter over gulvet

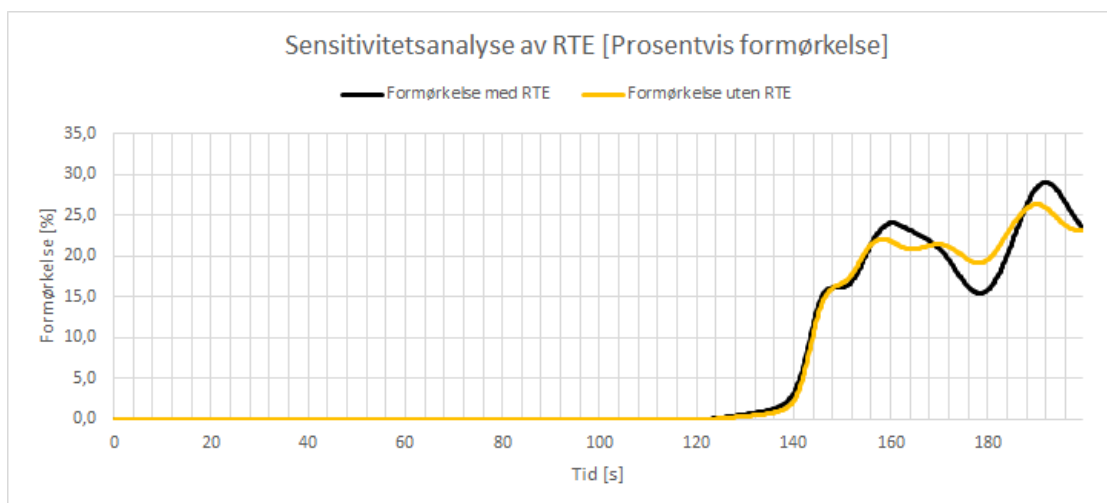
Målingene er gjennomført med forskjellige målefunksjoner innebygd i FDS, og det henvises til avsnitt 6.2.9 for utfyllende beskrivelse av disse. Resultatene fra analysen er fremstilt grafisk i figur 6.9, 6.10, 6.11 og 6.12. Av sensitivitetsanalysen kom det frem at deaktiveringen av RTE ikke medførte uakseptable resultater i forhold til simuleringer med RTE aktivert. Med akseptable resultater menes her at resultatene er temmelig like. Det er også vurdert at med deaktivert RTE kan meshoppløsningen heves uten å få for lange simuleringstider. Det velges derfor å deaktivere RTE i de resterende simuleringene i denne oppgaven.

6.2.6 Forbrenningsmodell

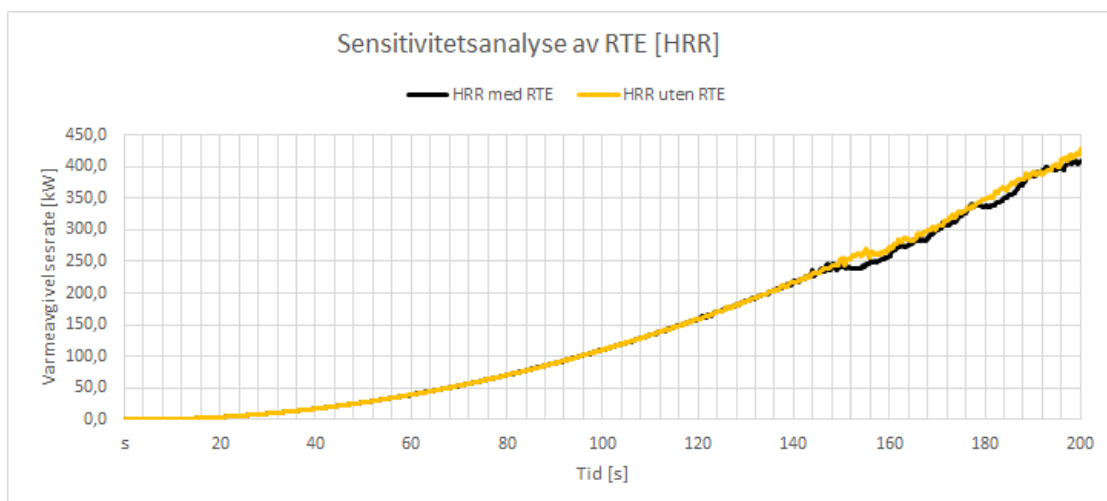
6.2.6.1 FDS-teori

I FDS er det to mulige måter å definere en brann på: HRRPUA og Heat of reaction [89]. Førstnevnte er en metode der brannen er definert over et gitt område og en gitt varmeavgivelsesrate. Brukeren kan her bestemme ønsket partikkelsammensetning i røyken, slik at brannen blir mest mulig virkelighetssann i forhold til ønsket scenario. Ved bruk av heat of reaction må forbrenningsvarmen for alle produktene defineres, og vil sådan skape et enda mer realistisk bilde av virkeligheten. Metoden krever dog nøyaktige input av materialsammensetning og -egenskaper for brensel.

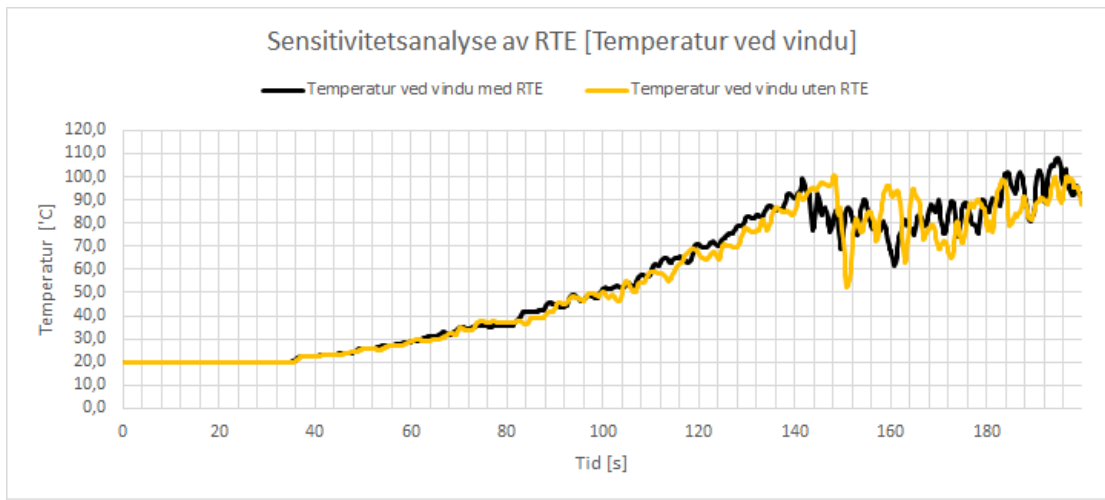
Det er viktig å være klar over hvor mye defineringen av brannen kan påvirke



Figur 6.10: Prosentvis formørkelse i nabobranncelle, 1.8 meter over gulvet



Figur 6.11: Varmeavgivelsesrate målt i en boks rundt brannen



Figur 6.12: Temperaturen ved vinduet i startbranncellen

simuleringen. En viktig betraktning er forholdet mellom varmeavgivelsesraten og areal. For høy effekt på et lite areal vil vil kunne gi resultater med relativt stor usikkerhet, og i noen tilfeller vil ikke resultatene samsvare med fysikken. Brannen vil gå fra å være oppdriftsregulert til å bli en jet-flamme. Ved å evaluere den dimensjonsløse varmeavgivelsesraten Q^* ligning 6.3, [62]:

$$Q^* = \frac{Q}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g D D^{1/2}}} \quad (6.3)$$

Der

- Q er brannens varmeavgivelsesrate [kW];
- ρ_{∞} er luftens densitet [1.2 kg/m³];
- c_p er luftens varmekapasitet [1.0 kJ/kgK];
- T_{∞} er temperatur på luften [293 K];
- g er tyngdeakselerasjonen [9.81 m/s²];
- D er brannens diameter [m].

Nystedt og Frantzich anbefaler at varmeavgivelsesraten Q^* skal befinne seg i intervallet 0.3 til 2.5. Ettersom effekten utvikler seg i løpet av brannforløpet, vil

Q^* ha lavere verdi til å begynne med. Tiden før $Q^*=0.3$ er brannen altså for svak for at FDS kan beregne korrekt flammehøyde, flammetemperatur etc. Det er mulig å nå $Q^*=0.3$ på et tidligere tidspunkt, med samme effekt, ved å redusere arealet på brenneren.

6.2.6.2 Modellen

Det er valgt å bruke HRRPUA i simuleringene. Modellen er veldig enkel, og det anses som unødvendig å benytte seg av heat of reaction-metoden. Valgte metode vil i tillegg være tidsbesparende.

Det er valgt å bruke kryssfiner som brensel i modellen. Selv om det i denne oppgaven først og fremst er selve røykspredningen som er interessant, vil resultatene vurderes mot akseptkriterier. Slike kriterier innebærer blant annet sikt og CO-innhold på forskjellige steder i modellen. Brenslet er derfor definert slik at en realistisk røyksammensetning forekommer. Kryssfiner med kjemisk formel $C_{3.4}H_{6.2}O_{2.5}$ gir en realistisk andel CO, og er dermed valgt som brensel i simuleringene [93].

Med varmeavgivelsesrate 250 kW/m^2 og brannareal 4 m^2 ender Q^* -verdiene innen anbefalt intervall. Utregningene er gjort i vedlegg B.1.

6.2.7 HVAC

6.2.7.1 FDS-teori

Med FDS 6 ble HVAC-funksjonen introdusert. En kort innføring av funksjonen vil gis her, men for fullstendig gjennomgang av fysikken bak henvises det til FDS Technical Reference Guide [95]. Funksjonen baseres på MELCOR-algoritmer, et dataprogram som brukes til å simulere ulykker i kjernekraftverk. Denne koden har tidligere vist seg å være gunstig ved simuleringer av brann- og røykspredning. Ved å implementere HVAC på denne måten unngår man dermed å koble den fullstendig med CFD-beregningene, noe som er tidsbesparende. MELCOR-algoritmen løser ligningene for konservering av masse og energi eksplisitt, mens ligningen for bevaring av bevegelsesmengde løses implisitt. Videre er HVAC-systemet bygget opp av et nettverk av noder og kanaler. En node er enten der en kanal kobles sammen med resten av FDS-domenet, eller et samlingspunkt for flere kanaler. En kanal repre-

senterer et område der kontinuerlig strømning foregår uforstyrret. Den nåværende HVAC-funksjonen tar ikke høyde for lagring av masse i HVAC-nettverket, det vil si at alt som går inn går ut med en gang et annet sted i modellen. Røyk vil dermed spre seg i et noe urealistisk tempo i simuleringene.

De tre ligningene som benyttes i HVAC-funksjonen er gitt i ligning 6.4, 6.5 og 6.6, som er henholdsvis ligningen for bevaring av masse, energi og bevegelsesmengde:

$$\sum_j \rho_j u_j A_j = 0 \quad (6.4)$$

$$\sum_j \rho_j u_j A_j h_j = 0 \quad (6.5)$$

$$\rho_j L_j \frac{du_j}{dt} = (p_i - p_k) + (\rho g \Delta z)_j + \Delta p_j - \frac{1}{2} K_j \rho_j |u_j| u_j \quad (6.6)$$

der

- A = strømningsareal [m²]
- ρ = densitet [kg/m³]
- u = hastighet [m/s]
- Δz = høydeforskjell [m]
- L = kanallengde [m]
- t = tid [s]
- p = trykk [Pa]
- g = tyngdeakselerasjonen [m/s²]
- h = entalpi [J]
- Δp = viftetrykk [Pa]
- K = friksjonstapskoeffisient [-]
- i, k = noder [-]
- j = kanaler [-]

HVAC-funksjonen bruker de verdiene FDS beregner for tidspunktet i forvegen når randvilkårene ved inn- og utstrømning av systemet skal bestemmes.

Noder

Som nevnt er HVAC-funksjonen bygd opp av noder og kanaler. Nodene er volumløse knutepunkt som settes inn der endringer i retning eller kanaldiameter skjer, samt ved kanalendepunktene. Fordi noder er volumløse vil det ikke være noe

strømningstap gjennom noden [95]. Det betyr også at all masse og energi bevares gjennom noden. Mange noder i et ventilasjonsnettverk vil være såkalte interne noder. Det vil si at de ikke er forbundet med FDS-domenet, men kun kanaler i HVAC-funksjonen. I virkeligheten vil det da oppstå et tap i dette leddet. I FDS løses dette ved å la tap som fysisk er assosiert med en node bli uttrykt som et ekvivalent tap i en forbundet kanal nedstrøms noden.

Noder brukes også til å forbinde HVAC-funksjonen med resten av FDS-domenet [89]. Nodevalget "ambient node" velges for endepunkt der det ikke er behov for å ta hensyn til inn- eller utstrømningen i noden. En slik node vil ikke påvirke strømningsmønsteret utenfor HVAC-nettverket. Dersom strømmingen inn eller ut av nettverket derimot vil gis en betydning, må man definere noden som et "vent endpoint". En slik node må da kobles sammen med en HVAC-vent. HVAC-vent forestiller ventiler, og dimensjonen på vent-en vil dermed være avgjørende for strømningshastigheten ut av kanalen. HVAC-vent må dessuten plasseres på et fast objekt, mens en "ambient node" kan plasseres hvor som helst i domenet. Det kan kun brukes en "ambient node" per HVAC-system.

Kanaler

Kanaler forbinder to noder sammen, og lar luft strømme gjennom nettverket [89]. Videre defineres en kanal som et segment av HVAC-systemet der strømning kun kan forekomme i én retning til en hver tid. Strømmingen kan dog snu med tiden, dersom forholdene endrer seg. Kanalene kan ha sirkulært eller firkantet tverrsnitt, etter brukers ønske. Kanalens ruhet kan defineres, i likhet med strømningstapene.

For å skape strømninger i kanalnettverket setter man inn en vifte [89]. Det er tre mulige vifter en kan velge mellom: konstant luftmengde, kvadratisk viftemodell og en brukedefinert modell. For førstnevnte alternativ angis ønsket strømning i m^3/s . Denne varianten er problematisk i branntilfeller fordi den ikke tar hensyn til trykkendringer. Å benytte en vifte som tar hensyn til både trykk og volum er derfor mer korrekt i de fleste tilfeller. Den enkleste måten å gjøre dette på er å definere maks volumstrøm og tilhørende trykk. Dette er den kvadratiske viftemodellen, og ved bruk av denne metoden vil trykket være proporsjonalt med kvadratet av strømningsvolumet. Den siste metoden å definere en vifte på er å sette inn en

Trykkfall [Pa]	Strømningsvolum [m ³ /s]
90	0.020
80	0.024
70	0.030
60	0.036
50	0.045
40	0.060
35	0.076
30	0.096
25	0.120
12	0.140
0	0.160

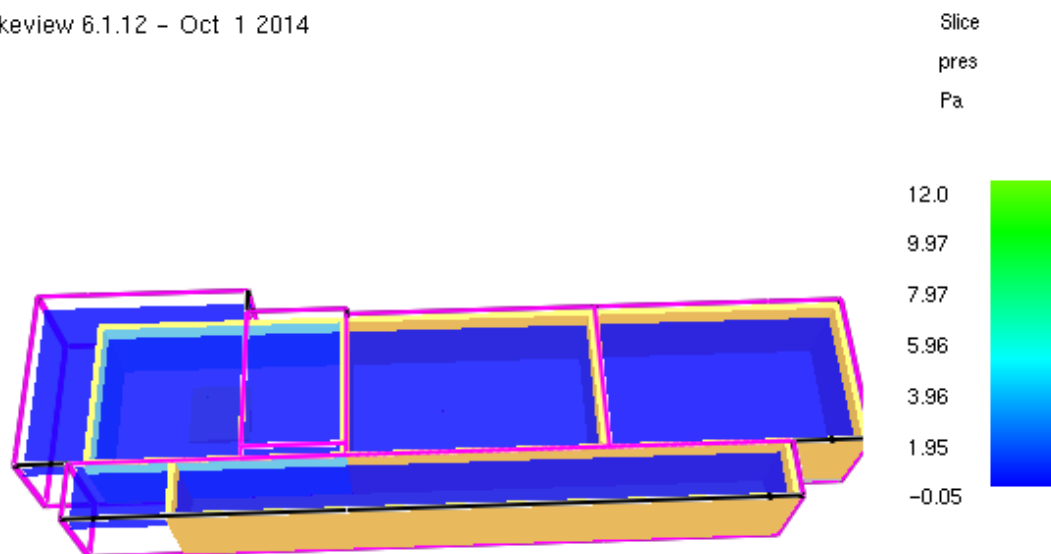
Tabell 6.3: Viftekurve

viftekurve. Dette gjøres ved å angi trykkfall og strømningsvolum parvis.

6.2.7.2 Modellen

Det er satt inn to HVAC-systemer i modellen, der det ene er et tilluftssystem mens det andre er avtrekk. Oppsettet av disse systemene har vært en av de største utfordringene ved utarbeidelsen av denne modellen. Omsider ble det valgt å fokusere på tre ting ved oppbyggingen av systemet: Hastighet i og ut av tilluftskanalene, frisklufttilførsel til de forskjellige cellene og trykkfall over tilluftsventiler. Systemet ble bygd ved å ta utgangspunkt i en normalsituasjon uten brann, der målet var å levere en viss mengde frisk luft, med et visst trykkfall over ventilen og med en viss hastighet ut av kanalene, uten å skape under- eller overtrykk i rommene.

For å få tilført ønsket mengde friskluft ble en brukerdefinert vifte satt inn i modellen. Det ble brukt en veggvifte fra ventilasjonsleverandøren Exhausto som utgangspunkt, se tabell 6.3. Viften, en VVR160, ble valgt da den er omtrent så kraftig som bygningen i modellen behøver for å tilfredsstille kravene om friskluft i TEK 10. Det ble satt inn like vifter i tilluft- og avtrekkssystemet. Videre er det valgt å påføre et trykkfall over tilluftsventilene på omtrent 30 Pa i normalsituasjonen. Denne motstanden er valgt i samråd med ventilasjonsingeniør. Motstanden ble modellert inn ved å sette på store tap på nodene som representerer tilluftsventilene.



Figur 6.13: Trykkoppbygning i rommene på grunn av ventilasjon. Datoen øverst til venstre er ikke den faktiske datoen.

Det er valgt å ikke fokusere på trykktapet i kanalene på andre steder enn over ventilene og ved bend og overføringer. Dette fordi det har vist seg vanskelig å modellere HVAC-systemet om for mange parametere tas hensyn til. Da både avtrekk og tilluft benytter samme type vifte, og trykktapet over tilluftsventilene er manipulert, var det nødvendig å manipulere tapet inn i avtrekket også for å unngå undertrykk i rommene. Dette ble gjort etter prøving og feiling-metoden, til balanse ble oppnådd. Se forøvrig figur 6.13 som illustrerer trykkoppbygningen i modellen. Situasjonen har stabilisert seg i illustrasjonen.

6.2.8 Overflater

6.2.8.1 FDS-teori

For å bestemme egenskapene til objektene i modellen må de gis en overflate. Man kan velge mellom en knippe forhåndsdefinerte overflater i FDS, eller en kan sette opp egne [89]. I utgangspunktet er standard overflate i FDS såkalt "inert". En "inert" overflate vil ha fast, forutbestemt temperatur. Det vil imidlertid foregå varmetransport gjennom et objekt med "inert" overflate, men selve veggen vil ikke påvirkes. En annen forhåndsdefinert overflate er den "adiabatiske". Objekter med

slik overflate vil også ha en fast, forutbestemt temperatur. Forskjellen fra "inert" er at en "adiabatisk" overflate vil forhindre varmeoverføring gjennom veggen. Den siste relevante forhåndsdefinerte overflaten i FDS er "åpen". En "åpen" overflate er som navnet tilsier helt åpen. Overflaten benyttes vanligvis i de ytre meshgrensene, slik at modellen ikke vil oppfattes som en lukket boks.

6.2.8.2 Modellen

Det er valgt å benytte "inerte" overflater i hele bygget, med unntak av ytterveggene i startbranncellen, som har egendefinert overflate. Ved å benytte "inert" overflate vil noe av varmen fra røyken transporteres ut av bygget. Siden kald luft synker vil dette være det mest konservative valget, med tanke på røyklagshøyden. I startbranncellen er derimot overflaten "airleak" benyttet. En slik overflate er perforert slik at luft kan strømme gjennom. Man bestemmer hvilken retning lekkasjen skal ha i overflatens valg for egenskaper. Luftlekkasje er videre omtalt i avsnitt 6.3.4. Videre er de ytre meshgrensene satt til "åpen" slik at FDS behandler bygget som et uomsluttet bygg.

6.2.9 Måleinstrumenter og sensorer

6.2.9.1 FDS-teori

For å få ut resultater fra FDS-modellen må det settes inn forskjellige sensorer. Slike sensorer kan programmeres til å måle en mengde forskjellige verdier, blant annet temperatur, gassinnhold og sikt. Sensorer kan plasseres hvor som helst i domenet, enten som punktmålinger, eller som måling over hele plan. Sistnevnte kalles i FDS for en slice. Denne vil gi visuell informasjon i SmokeView om en parameter over hele planet, noe som er praktisk blant annet for temperatur og trykk i rommet.

Sensorer gir som nevnt informasjon om det den er programmert til å måle, og blir presentert i et Excel-ark etter endt simulering. Denne informasjonen vil i tillegg oppdateres fortløpende ved en simulering. På den måten kan målingene sensoren foretar benyttes som aktiverings- eller deaktiveringskriterium for andre funksjoner i samme simulering.

Bortsett fra måling for sikt blir resultatene gitt med vante benevnninger. FDS måler nemlig ikke sikt, men røyktykkelse. Resultatene oppgis dermed i prosentvis

obskursjon, et litt ukjent begrep å forholde seg til. Som omtalt i 5.1.2.1 er det mulig å omregne prosentvis obskursjon til meter sikt. Dette er hensiktsmessig blant annet for å sammenligne med akseptkriterier, som ofte er gitt med denne notasjonen.

6.2.9.2 Modellen

Simuleringene skal forsøke å finne ut av om røykspredning via ventilasjonsanlegg skaper farlige situasjoner rundt om i et bygg. For å undersøke dette er følgende sensorer benyttet i modellen:

- Temperatursensor: Thermocouple;
- CO-sensor: Gas Phase Device;
- O₂-sensor: Gas Phase Device;
- Varmeavgivelsessensor: Heat Release Rate Device;
- Røyktetthetssensor: Beam Detector Device;
- Trykksensor: Gas Phase Device;
- Strømningssensor: Flow Measuring Device;

I tillegg ble følgende HVAC-sensorer benyttet:

- Temperatur;
- Strømningvolum;
- Volumfraksjon;
 - Branngassprodukter
 - CO
 - Sot
- Trykk.

I tillegg er det satt inn følgende skiver (slice):

- Temperatur: $z = 2.0$ m;

- Trykk: $z = 2.25$ m;
- CO-innhold: $z = 2.0$ m;
- Sikt: $z = 2.0$ m;
- O₂-innhold: $z = 2.0$ m.

6.3 Referansescenario: S₀

I dette avsnittet fastsettes hvilke verdier som blir brukt i et tenkt referansescenario, S₀. Dette scenariet etableres slik at forfatterne av oppgaven har et referansepunkt å sammenlikne parametervariasjonen med. Verdiene blir valgt ut fra hva som er det antatt mest sannsynlige utfallet, eller det mest konservative, basert på funnene gjort i litteraturen. Videre blir det også angitt utvalgte tålegrenser for CO og O₂-konsentrasjoner, samt akseptnivå for sikten. For hver parameter vil det også bli forklart hvordan dette er gjort i FDS.

6.3.1 Varmeavgivelsesrate og brannvekst

I modellen benyttes en brenner med målene $2 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 4 \text{ m}^2$. Brenneren har en effekt 250 kW/m^2 . Dette gjøres på grunnlag av Norsk Standard sin anbefaling om maksimal varmeavgivelseshastighet, RHR_f , gitt i ligning 5.3. Dette begrunnes med at Norsk Standard er en pålitelig kilde og at verdien samsvarer godt med annen litteratur om emnet.

Videre brenner den som en t^2 -brann og etter 300 sekunder vil brannen nå sin høyeste varmeavgivelseshastighet på 1000 kW.

- Valgt verdi for referansescenariet: $Q_{\max} = 1000 \text{ kW}$.
- Valgt verdi for referansescenariet: Middels rask brannvekst, $t = 300 \text{ s}$.

6.3.2 Sotproduksjon

Som nevnt tidligere er effekten sot spiller inn på varmestrålingsforholdene i simuleringen deaktivert i simuleringene. Å ha rett verdi for sotproduksjonen

er likevel av interesse da andel sot påvirker sikten gjennom røyk. Ut ifra den litteraturen som er funnet på området fastsettes akseptkriterier, og tålegrenser er gitt i tabell 6.4. Sikten i seg selv er ikke dødelig, men konsekvensene av dårlig sikt kan være det.

Tåleparameter	Kritisk verdi	Dødelig verdi
Sikt	5 m	3 m
CO	2000 ppm	6000 ppm
O ₂	< 12%	< 9%

Tabell 6.4: Tålegrenser for sikt, CO og O₂

Sotproduksjonen blir satt til 0.07 kg sot pr kg forbrent materiale. Dette er en verdi som er mye brukt i litteraturen og er i så måte gunstig å bruke, slik at man har et potensielt sammenlikningsgrunnlag.

- Valgt verdi for referansescenariet: Sotproduksjon = 0.07 kg/kg.

6.3.3 CO-produksjon

6.3.3.1 FDS-teori

I FDS øker CO-produksjonen når forholdene er underventilerte [93]. Å definere en startverdi for CO-produksjonen ved ventilerte omstendigheter er derfor nødvendig. Dette er dog ingen enkel oppgave, da andelen CO i startfasen av en brann avhenger av type brensel [96]. Konekalorimetertester utført på forskjellige materialer viser dette. Tester av brann i skap av kryssfiner har vist en produksjon av CO på 0.021 kg/kg brent brensel [93]. Konekalorimetertest utført på Douglasgran, et tre i furufamilien, ga en CO avgivelse på 0.035 kg/kg brent brensel ved forbrenningseffekt på 20 kW/m² [96]. Denne verdien var lineært avtagende med stigende effekt. Samme kilde oppgir at stoler kledd med ull medfører 0.02 kg/kg brent brensel CO. Tester av brann i lukket rom utført av NIST viste at brann i sofa medførte CO-avgivelse på 0.013 kg/kg brent brensel, mens brann i bokhylle ga 0.022 kg/kg brent brensel CO [97].

6.3.3.2 Modellen

Det velges å gå videre med CO-produksjon på 0.021 kg/kg brent brensel. Å velge en verdi er vanskelig på grunn av avgivelsesdifferansen mellom de forskjellige materialene som gjerne finnes i en leilighet. Valgt verdi tilsvarer CO-avgivelsen som forekom ved test av brann i skap av kryssfiner, et plausibelt arnested i en leilighet.

6.3.4 Lufttetthet i rommet

6.3.4.1 FDS-teori

Et bygg er gjerne ikke helt tett. Sprekker ved vinduer, dører og overganger lar luft strømme gjennom fasaden om trykkforskjellen over veggen er stor nok. Ved å dele inn modellen i trykksoner er det mulig å implementere luftlekkasjer fra et sted til et annet i en FDS-modell [89]. Som default er en sone 0 lagt inn, og denne vil etterhvert som modellen blir delt inn i soner utgjøre byggets omgivelser. Et lekkasjeareal angis så for hver sone, samt hvilken retning lekkasjen skal ha. Lekkasjearealet er summen av alle sprekker og utettheter i en fasade. Ved å benytte trykksoner vil FDS perforere veggen ved å spre lekkasjearealet ut over hele veggens areal. Strømningsvolumet gjennom lekkasjearealet er gitt ved ligning 6.7.

$$\dot{V}_{leak} = A_L \sqrt{2 \frac{|\Delta p|}{\rho_\infty}} \quad (6.7)$$

der

- A_L = lekkasjearealet [m^2];
- Δp = trykkforskjell mellom trykksonene [Pa];
- ρ_∞ = luftens densitet [1.2 kg/m^3].

En annen måte å ta høyde for luftlekkasjer på er å lage et fysisk hull i ytterveggen. Fordi lekkasjeåpningene vanligvis er meget små ville det ikke vært hensiktsmessig å sette inn glipper ved antatt realistiske steder, blant annet på grunn av 10-celler kriteriet nevnt i avsnitt 6.2.4.1 om meshoppsett. Dermed vil en forenkling være å samle lekkasjeåpningene til én stor åpning [89]. Dette er likevel ingen god måte

å ta høyde for luftlekkasjer på. For det første vil strømningsmønsteret endres. For det andre vil et slikt hull måtte gå opp i et heltall antall gridceller, noe som sannsynligvis betyr enten en avrunding av hullet eller behov for et meget fint mesh. For det tredje kan det få simuleringen til å krasje, da det kan oppstå meget høye hastigheter gjennom hullet. Dette kan føre til numerisk ustabilitet, og simuleringen havarerer.

6.3.4.2 Modellen

Det er valgt å gå videre med trykksonemetoden, da denne metoden er anbefalt i FDS' brukermanual.

Lekkasjeareal er mer eller mindre umulig å beregne for virkelige bygg. En vanligere betraktning er byggets lekkasjetall, som angir antall luftskifter per time [83]. Det er gitte krav i TEK 10 om maks antall luftskifter per time på grunn av lekkasjer for forskjellige bygg. For passivhus er denne verdien 0.6h^{-1} ved 50 Pa trykkforskjell over veggen [3]. Modellen som er benyttet i denne oppgaven har boenheter med 40 m^2 golvareal og 2.4 m takhøyde, noe som gir et volum på 96 m^3 . Med maks 0.6 luftutskiftninger i timen betyr det at $57.6\text{ m}^3/\text{h}$ er maks tillatt lekkasje per boenhet. Ved å løse ligning 6.7 for A_L kan en finne hver boenhets tillatte lekkasjeareal:

$$A_L = \dot{V}_{leak} \sqrt{\frac{\rho_\infty}{2|\Delta p|}} \quad (6.8)$$

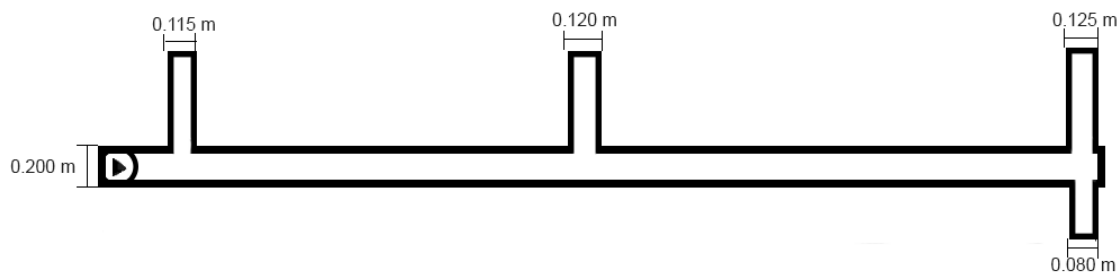
I dette tilfellet vil hver boenhet få et tillatt lekkasjeareal på 17.5 cm^2 .

- Valgt verdi for referansescenariet: $A_L = 17.5\text{ cm}^2$.

6.3.5 Vindusbrudd

Vinduet i modellen vil være et hull som oppstår i veggen når en sensor måler ønsket temperatur. Modellen vil altså betrakte arealet der vinduet er som en del av veggen før denne temperaturen nås, hvorpå en utskjæring oppstår umiddelbart. For S_0 vil vindusbrudd skje ved 200°C . Denne temperaturen er valgt da det er middelverdien av de verdiene som er foreslått i litteraturen. I modellen tas det ikke hensyn til trykkpåvirkning på vinduet.

Det skiller ikke på ulikt vindusbrudd. Det vil si at det kun blir simulert med total



Figur 6.14: Skisse av tilluftskanalene

ødeleggelse av vinduet. Midlertidig oppsprekking og delvis brudd av vindu blir derfor ikke sett på.

- Valgt verdi for referansescenariet: $T_{\text{brudd}} = 200^{\circ}\text{C}$.

6.3.6 Luftmengde tilført rommene

Det er valgt å benytte en vifte som leverer forskjellige luftmengder avhengig av motstanden i kanalnettverket. I normalsituasjonen vil motstanden være konstant slik at en jevn luftmengde tilføres cellene. Med nåværende versjon av FDS er bruken av spjeld begrenset til å stå i helt åpen eller helt lukket posisjon [89]. Andre måter for å sikre rett lufttilførsel til rett celle måtte dermed benyttes. Kanaldiameter er en måte å manipulere strømningshastigheten på. Av den grunn er det valgt å benytte forskjellige kanaldimensjoner på segmentene fra hovedkanal ut til leilighet. Hovedkanalen har diameter $d = 0.200$ m over hele strekket. Tilluftskanalen til leiligheten nærmest viften har $d = 0.115$ m, neste har $d = 0.120$ m, mens den siste har $d = 0.125$ m. I tillegg til kanaldiameter har tap i bend (noder) blitt lagt inn, med en k -verdi på 2.0. Se figur 6.14 for skissering av ventilasjonsanleggets tilluftskanaler.

Minstekravet i TEK 10 sier at i rom for varig opphold skal i gjennomsnitt tilføres minimum 1.2 m^3 pr time pr m^2 golvareal [3]. På tider av døgnet der boligen ikke er i bruk kan det senkes til 0.7 m^3 pr time pr m^2 . Da må imidlertid ventilasjonen forseres på andre tider av døgnet slik at gjennomsnittskravet oppnås. Det velges å benytte gjennomsnittsverdien som utgangspunkt for lufttilførselsmengde. Faktisk tilførselsvolum vil likevel avvike noe fra dette kravet, men da i lovlig retning. Dette fordi mengden avhenger av viften, som avhenger av motstanden i kanalene.

Det er dermed litt krunglete å få ønsket mengde levert, men det etterstrebes. For korridoren benyttes 0.7 m^3 som utgangspunkt. Det er valgt å bruke minstekrav da dette er en konservativ tilnærming, samtidig som det er i henhold til lovverket.

Med valgt tilluftsmengde vil hver leilighet motta $48 \text{ m}^3/\text{h}$, som tilsvarer $0.0133 \text{ m}^3/\text{sek}$. Utløpsventilen er gitt en størrelse på 0.01 m^2 , slik at teoretisk hastighet ut av ventilen blir 1.33 m/s . Faktiske verdier kom frem etter endt simulering av normalsituasjonen, og er gitt i tabell 6.5. Det er spesielt leilighet 1 som er av interesse, da det er denne som vil være brannleiligheten.

Celle	Leilighet 1	Leilighet 2	Leilighet 3	Korridor
Lufttilførsel [m^3/s]	0.0135	0.0133	0.0144	0.0095

Tabell 6.5: Faktisk tilført friskluft i normalsituasjonen

- Valgt verdi for referansescenariet: Luftmengde $V = 0.0135 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Valgt verdi for referansescenariet: Tilluftshastighet $u = 1.33 \text{ m/s}$.

Det understrekes at $V = 0.0135 \text{ m}^3/\text{s}$ gjelder for situasjonen uten brann. Ved brann vil trykkoppbygningen i rommet påvirke denne verdien, og etterhvert antageligvis makte å snu strømningsretningen.

6.3.7 Plassering av ventil

Ventiler er i FDS representert ved såkalte "venter" [89]. En vent er i grunn bare en overflate, og kan gis mange forskjellige egenskaper, blant dem ventilasjonsventil. En slik vent vil kobles mot en endenode, og må festes på et fysisk objekt, som tak eller vegg. Størrelsen på venten er avgjørende for hastigheten luften får ut av kanalen, så volumstrømmen har én hastighet inne i kanalen og en annen ut av kanalen. Ventiler kan enten plasseres i taket eller på veggen. Med fokus på røykspredning er undersøkelser med ventilplassering høyt i rommet av størst interesse. Selv om en takmontert ventil antas å være det mest ugunstige tilfellet benyttes veggmontert ventil i modellen, da det er vanligere for denne typen bygg. Både avtrekks- og tilluftsventilene plasseres høyt på veggen, helt oppunder himlingen.

- Valgt plassering i referansescenariet: Tilluft: Vegg, senterhøyde 2.2 m .

Parameter	Varme- effekt	Brann- vekst	Sot & CO	Tillufts- mengde	Vindus- brudd	Luft- lekkasje
Verdi	1000 kW	300 s	0.07 & 0.021 kg/kg	13.5 l/s	200 °C	17.5 cm ²
Parameter	Plassering ventil		Dør åpen / lukket			
Situasjon	Beskrevet i 6.3.7		Lukket			

Tabell 6.6: Oppsummering referansescenariet

- Valgt plassering i referansescenariet: Avtrekk: Vegg, senterhøyde 2.2 m.

6.3.8 Dør- og vindusposisjon

Det blir simulert med dør og vindu lukket. Dette gjøres på grunn av at det er konservativt og sannsynlig at de er i lukket posisjon. Bortsett fra ventilasjonsanlegget og luftlekkasje gjennom fasaden vil dermed startbranncellen være helt isolert. Det forventes da at trykkavlastning etterhvert som trykket stiger skjer gjennom ventilasjonskanalene. Dette vil i så fall være skummelt med tanke på at luften på slike tidspunkt vil inneholde mye røykpartikler.

- Valgt posisjon for referansescenariet: Dør og vindu lukket.

6.3.9 Resultater referansescenario

Resultatet til referansescenariet er gjengitt i scenario 1-8 i som sammenligningsgrunnlag. I dette avsnittet kommenteres grafene til referansescenariet og validiteten vurderes.

Trykkoppbygging: Trykkøkningen skjer raskt så snart brannen får tak og begynner å vokse for alvor. På det meste registreres et trykk på 1150 Pa, se fig 6.15. I følge Lars Jensen er det realistisk med en trykkoppbygging på ”noen tusen Pa” [1]. I forsøket utført av Hägglund og Werling ble trykk rundt 300 Pa registrert [65]. Utifra dette mener forfatterne av oppgaven at trykkoppbygningen registrert i simuleringen er innenfor et realistisk intervall.

Temperaturutvikling: Temperaturen øker eksponentielt frem til vindusbrudd, der den faller noe, før den stiger videre, se figur 6.16 til 6.18. Ved simulerings-slutt er temperaturen i brannrommet 270°C. Dette er et nivå som i stor grad er styrt av varmeavgivelsesraten, forbrenningsprosessen, samt varmetap til omgivel-sene mm. Følgelig er det vanskelig å prediktere temperaturen i brannrommet med stor nøyaktighet. Formålet med simuleringen var, blant annet, å vurdere en situa-sjon der brannen ikke går til overtenning. Med de registrerte verdiene unngår man dette. Temperaturutviklingen ansees derfor som realistiske og gyldige for omfanget til oppgaven. Videre ses en varmespredning via tilluftskanalaen til naborommet.

Vinduet i brannrommet var programmert til å gå til brudd ved 200°C, men av temperaturgrafen for brannrommet, figur 6.16, observeres brudd ved nivåer rundt 170°C. Det er uvisst hvorfor dette skjedde.

CO, O₂ og siktnivåer: Interessant i simuleringen var å se på CO-konsentrasjon i naborom og tilluftskanal, samt hvordan røykspredning via kanalnett påvirker sikten i bygget, se figur 6.19 til 6.22. Oksygenivået i korridor og naborom holdt seg konstant på 21%. Presentasjon av disse verdiene vil derfor utelates i oppgaven. Oksygenkonsentrasjonen i brannrommet, derimot, er fallende ettersom brannen konsumerer O₂ i forbrenningsprosessen. CO-nivået i naboileiligheten er lavt og ut-gjør ingen fare. Det observeres en siktreduksjon i korridor og naboileilighet. Sikten er i overkant av 5 meter i naboileiligheten, og cirka 5 meter i korridoren, som er kritisk i forhold til de definerte akseptkriteriene. Siktforholdene vurderes til å være realistiske.

Konklusjon: Verdiene fra simuleringen vurderes til å være riktige i forhold til et tenkt brannscenario. Det registreres kritiske siktforhold i korridor og ukritiske nivåer av karbonmonoksid i naborom og korridor.

6.4 Scenario 1: Varmeavgivelsesrate

Dette scenariet er valgt for å vurdere hvordan ulike varmeavgivelsesrater innvirker på røykspredningen. Dette er av interesse da forskjellige varmeavgivelsesrater vil medføre forskjellige trykkoppbygninger og temperaturnivåer i brannrommet. Valg av variasjonsverdier er presentert i tabell 6.7. Av ligning 3.5 er det regnet ut

nødvendig varmeavgivelsesrate for flashover. Verdien ble beregnet til 3330kW. Se vedlegg B.2 for utregning og inputverdier. Denne verdien representerer et maksimumsnivå, og det er ikke hensiktsmessig å simulere opp til dette nivået. Dette fordi forfatterne av oppgaven mener en overtenningssituasjon er mindre interessant å vurdere, da vinduene mest sannsynlig vil knuse før den tid. Trykket i rommet vil da utlignes og røykspredning via ventilasjonssystemet vil være mindre interessant. Videre er det nødvendig å holde seg innenfor Q^* -kriteriet, beskrevet i kapittel 5.1.1. Se vedlegg B.1 for utregninger.

Simulering	HRR [kW]	Endring
1.1	1100	+ 10%
1.2	1200	+ 20%
1.3	1300	+ 30%

Tabell 6.7: Inndata og variasjoner til scenario 1

6.4.1 Resultater scenario 1: Varmeavgivelsesrate

Trykkoppbygging Trykkendring for hver av de fire delscenariene følger mer eller mindre samme kurve, og det velges å kommentere trenden til veksten for alle under ett. I vurderingen brukes figur 6.15 for trykkoppbyggingen og 6.16 for temperaturutviklingen. Det sees på to tidsintervaller på grafene. Intervall 1 går fra $t = [0, 125s]$ og intervall 2 går fra $t = [125, 180s]$.

I det første intervallet øker trykket fra 0 Pa til 120 Pa. Ved dette tryknivået er det like før trykket i brannrommet er tilstrekkelig for å presse røyk inn i tilluftskanalen. Temperaturen i rommet ved dette tidspunktet er $90^{\circ}C$. Videre, i intervall 2, begynner trykket å øke for alvor. Dette henger sammen med en raskere temperaturøkning i branncellen, noe som er direkte knyttet sammen med at varmeavgivelsesraten vokser etter t^2 -kurven. Fra 125 sekunder går trykket fra 120 Pa til nivåer rundt 1200 Pa, på 55 sekunder. Dette er en stor forandring sammenliknet med det første intervallet. Etter cirka 165 sekunder er temperaturen for vindusbrudd nådd og trykket utliknes umiddelbart. Trenden for de ulike scenariene er at høyere varmeavgivelsesrate gir et tidligere og større trykkmaksimum i rommet. Dette var noe forfatterne av oppgaven forventet.

Temperaturutvikling: Temperaturutviklingen er gitt i figur 6.16, 6.17 og 6.18. Samtlige av målingene følger samme trend og vil derfor kommenteres under ett. For branncellen sees det at temperaturen utvikler seg med økende hastighet. Dette henger sammen med den eksponentielle veksten til brannen. Økende HRR gir, som forventet, høyere temperatur. Videre observeres et temperaturfall som følge av at vinduet knuser. Av figur 6.17, registreres temperaturen i naboileiligheten. Her er det ingen dramatiske nivåer. Ved $t=180$ sekunder faller temperaturen i rommet på grunn av vindusbruddet.

Temperaturen i tilluftskanalen, gitt i figur 6.18 begynner å øke etter cirka 110 sekunder. Dette skjer når trykket i branncellen overgår trykket i kanalnettet. Temperaturen er såpass høy, men i et kort intervall, slik at spredningsfaren vurderes til å være liten.

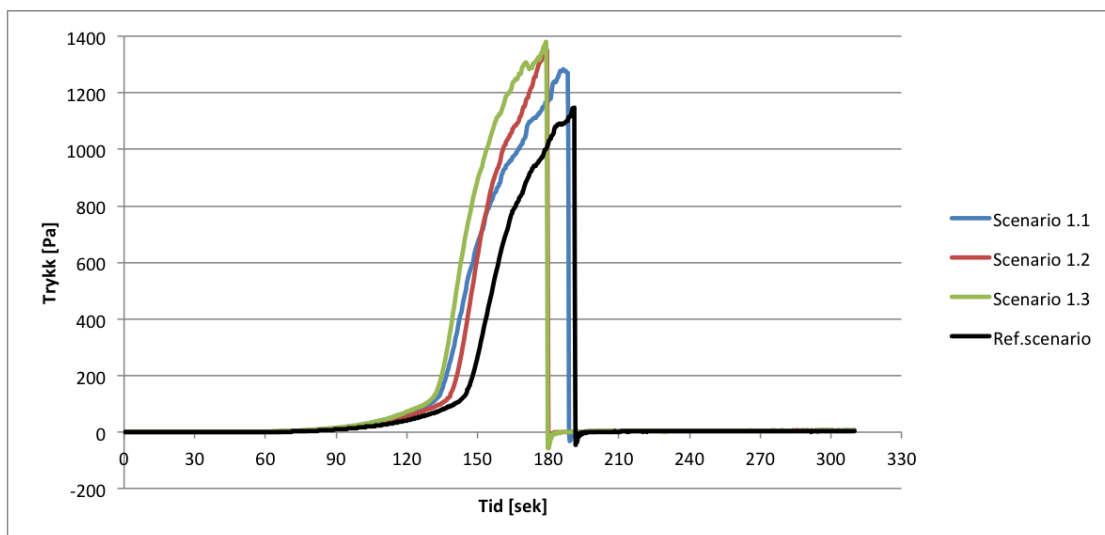
CO, O₂ og siktnivåer: CO-konsentrasjon er målt i naboileilighet og tilluftskanal, se figur 6.19 og 6.20. Den er målt i naboileiligheten til å nå et maksimum på 16 ppm. Dette er langt under tålegrensene og må derfor ansees som ufarlig. O₂-konsentrasjonen, gitt i figur 6.23 er synkende under hele brannforløpet og etter 300 sek har brannleiligheten i scenario 1.3 O₂-innhold på cirka 15%. Til sammenligning var det i referansescenariet en konsentrasjon på cirka 16.5% ved samme tid. Verdiene i scenario 1.3 er fortsatt over oppgavens definerte kritiske nivå for O₂-konsentrasjon, men den kan fortsatt ha hemmende virkninger på kroppen, og kan dermed utgjøre en fare. Det er samtidig realistisk å regne med at personer som oppholder seg i brannrommet evakuerer før oksygenivået er så lavt.

Sikten er målt i naboileilighet og i korridoren, se figur 6.21 og 6.22. Det observeres relativt store svingninger om en siktlinje på cirka 7 meter i naboileiligheten. På det verste er siktlinjen rundt 5 meter. Sikten er avhengig HRR, og sikten forverres med økende varmeavgivelsesrate. I korridoren er forholdene noe verre, og på det verste oppleves en sikt på omtrent 4 meter. 5 meter sikt er i oppgaven definert som kritisk. Den reduserte sikten kan dermed forverre orienteringsevnen og utgjøre et faremoment.

Konklusjon: Høyere varmeavgivelsesrate gir en tidligere og høyere trykktopp.

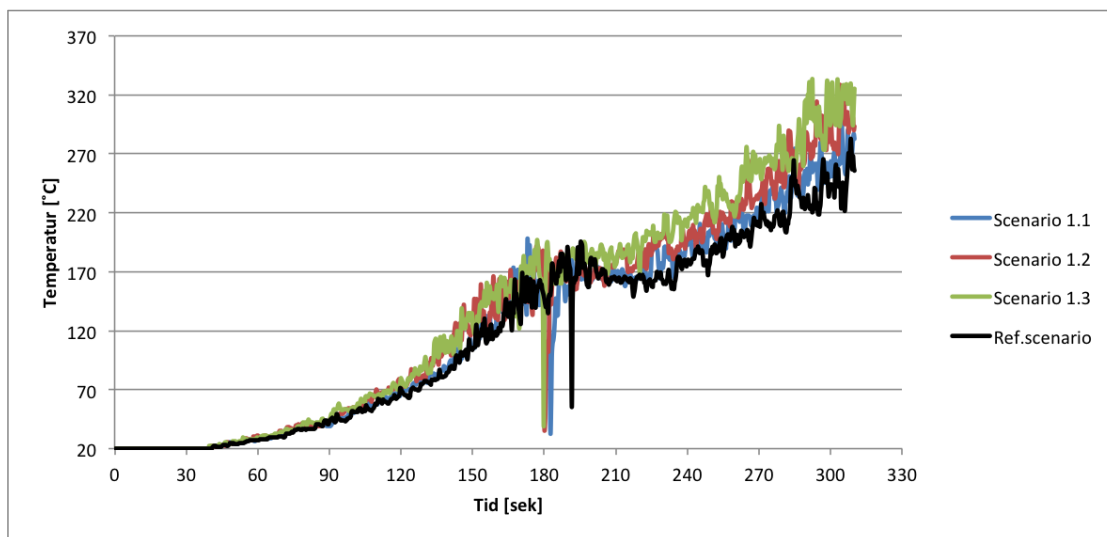
Temperaturen i tilluftskanalen er høy, men brannspredningsfaren er liten på grunn av det korte tidsintervallet den høye temperaturen opptrer i. CO-konsentrasjonen er langt under tålegrensen og er dermed ufarlig. Sikten forverres med økende varmeavgivelsesrate, og ansees som kritisk i korridoren for alle scenariene, og i naboileiligheten for scenario 1.3.

6.4.1.1 Trykkoppbygning

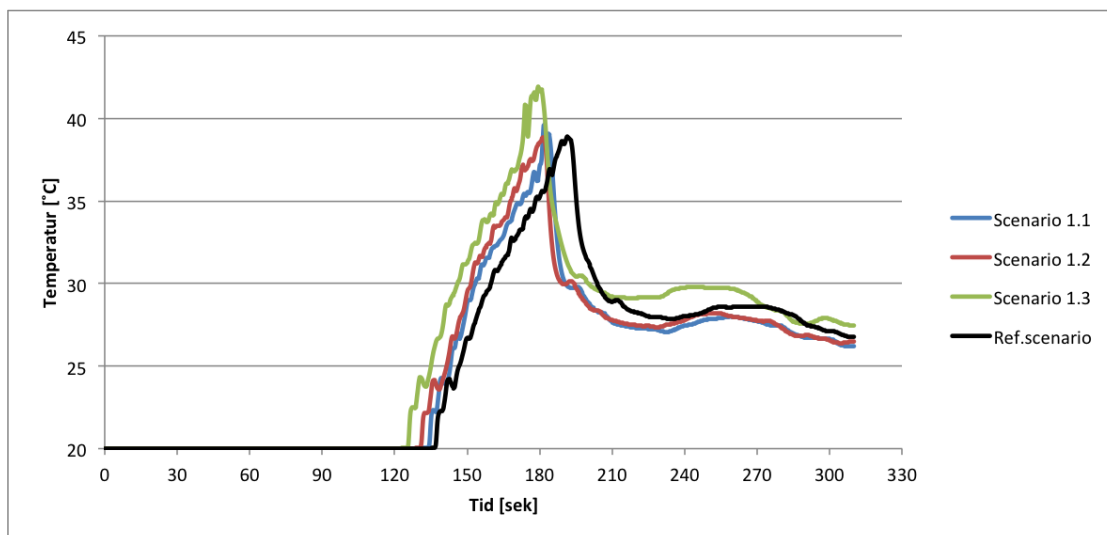


Figur 6.15: Trykkoppbygning i brannleiligheten

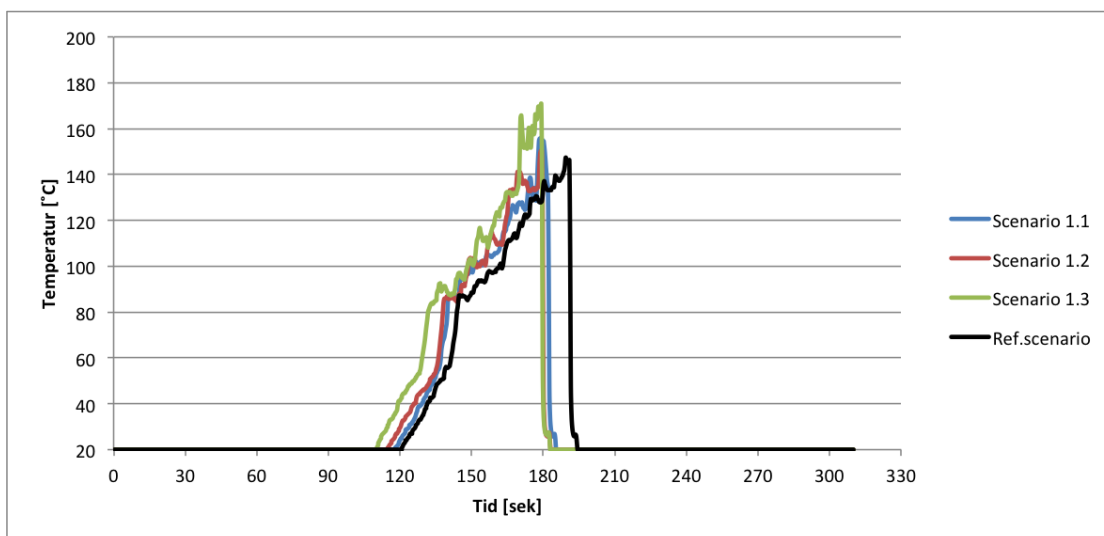
6.4.1.2 Temperatur



Figur 6.16: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet

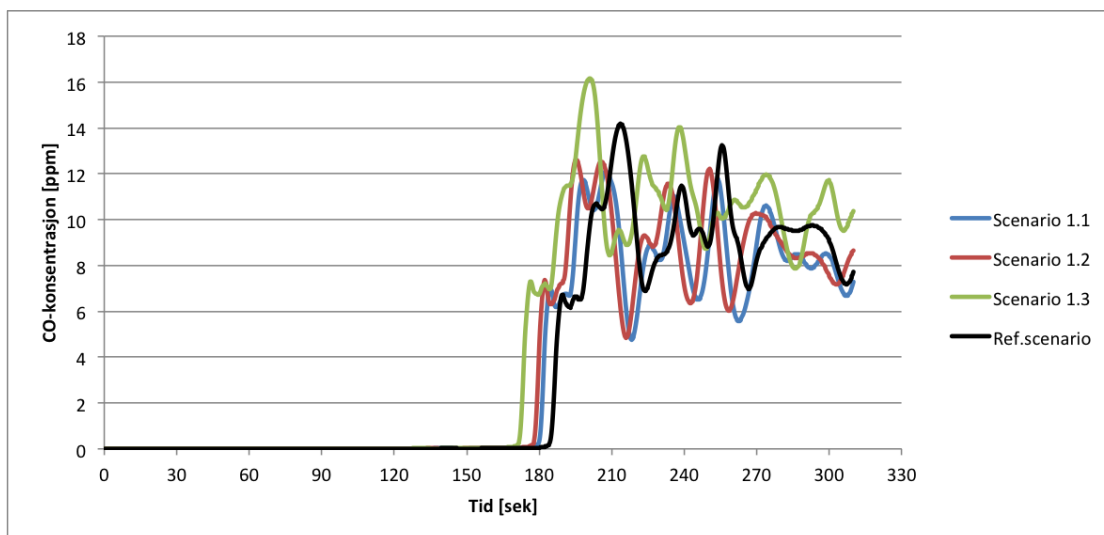


Figur 6.17: Temperatur oppunder himling i naboleiligheten

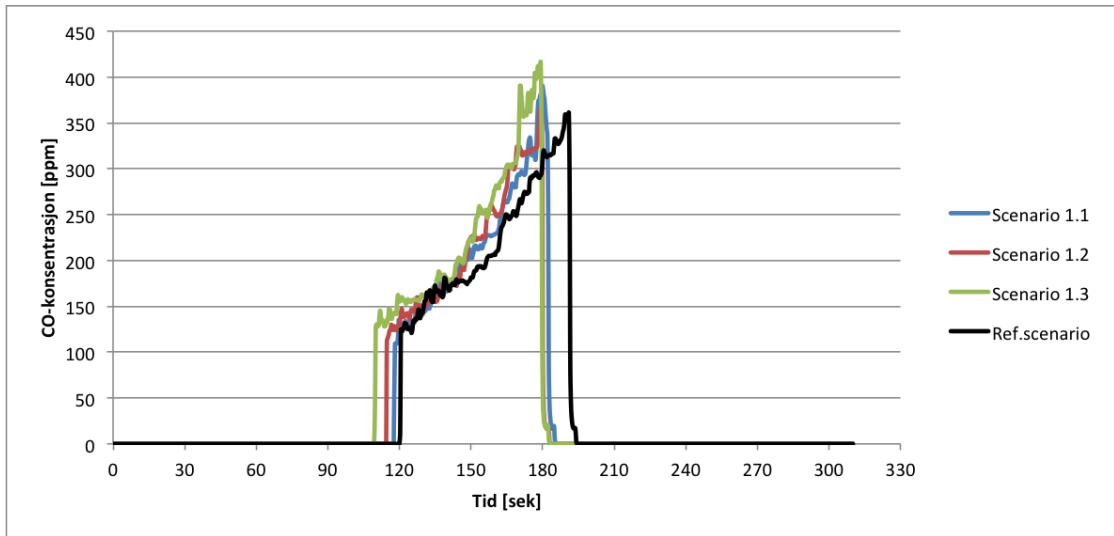


Figur 6.18: Temperatur i tilluftskanalen

6.4.1.3 CO-konsentrasjon

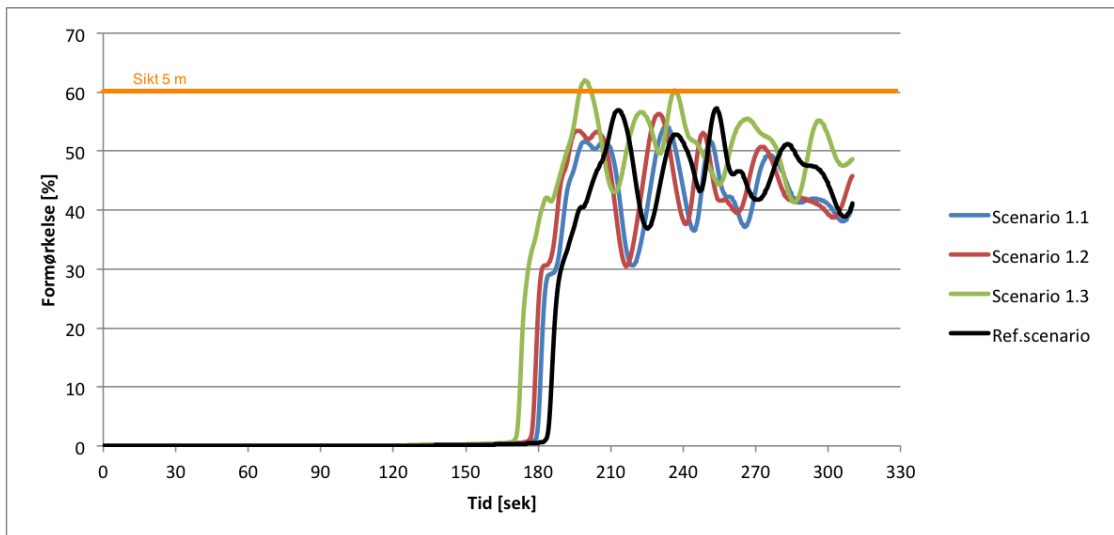


Figur 6.19: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboelighet, 2 m over gulvet

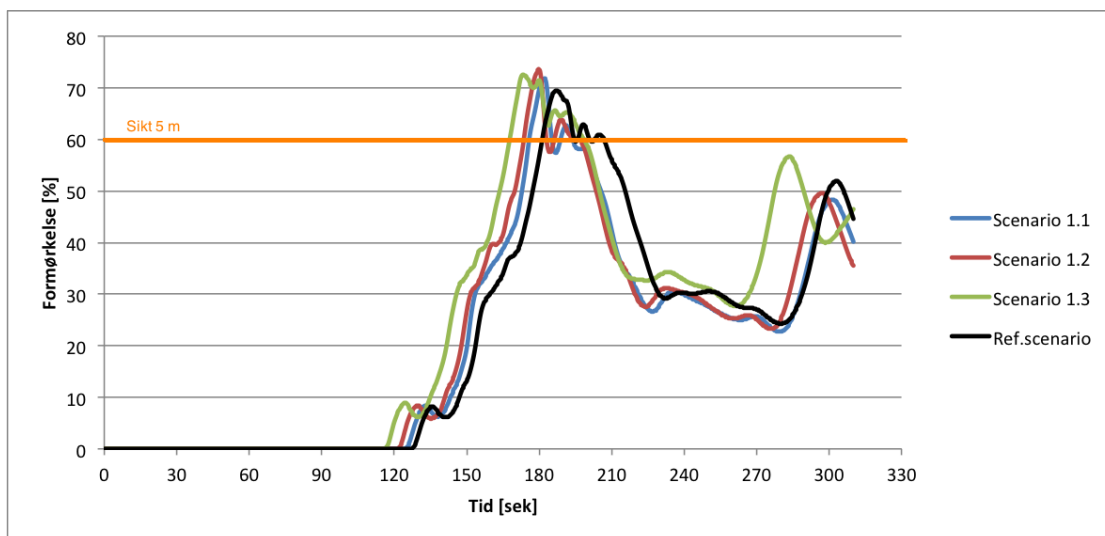


Figur 6.20: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen

6.4.1.4 Sikt

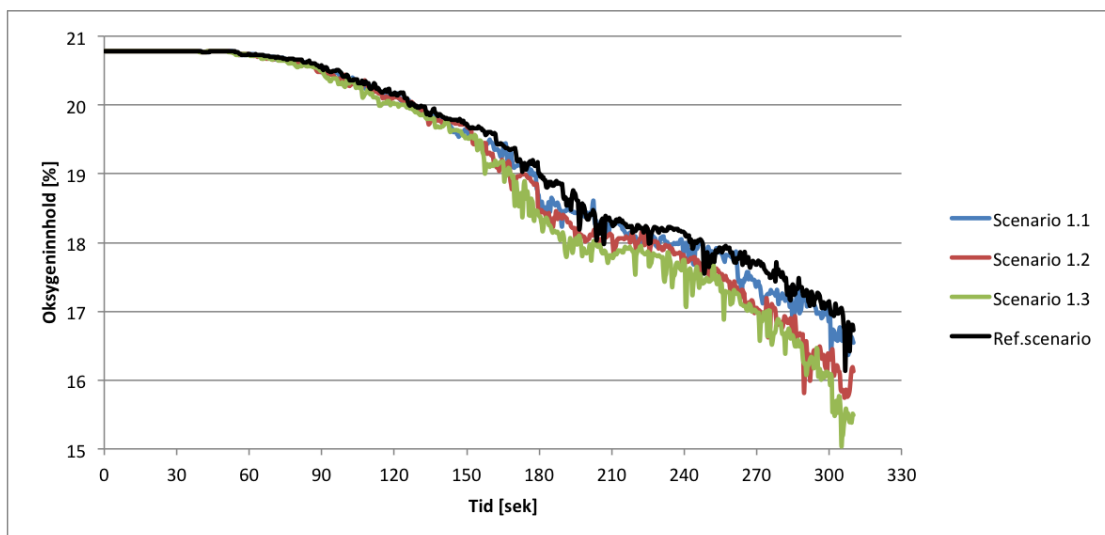


Figur 6.21: Formørkelse i naboelilighet, 2 m over gulvet



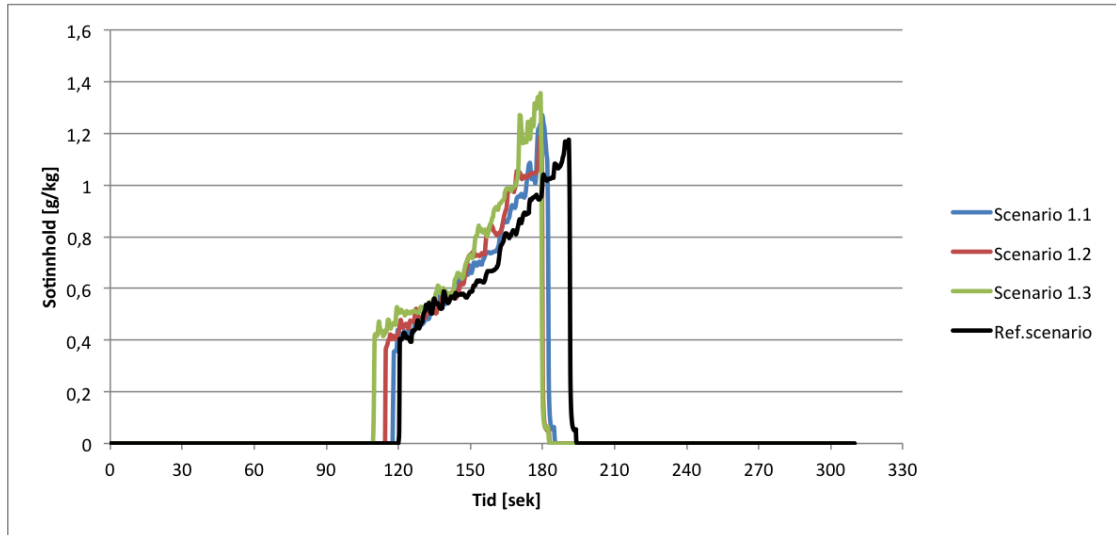
Figur 6.22: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet

6.4.1.5 O₂-innhold



Figur 6.23: O₂-innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet

6.4.1.6 Sot



Figur 6.24: Sotinnhold i tilluftskanalen

6.5 Scenario 2: Brannforløp

I dette scenariet blir det sett på hvordan brannveksten påvirker røykspredning. En hurtig brannvekst vil føre til en høyere trykkoppbygging i brannrommet. Dette skjer på grunn av at trykket ikke blir utlignet i like stor grad som ved en treg brannvekst. Det er allikevel interessant å se på hvor dramatisk effekt en endring i parameteren slår ut på trykkoppbygging og røykspredning. Det vil bli simulert med alle de ulike hastighetene, da alle tilfellene ansees som realistiske. Tidsbruken i referansescenariet var 300 s, og ansees som middels rask brannvekst.

Simulering	Brannvekst	Tid [s]	Endring
2.1	Svært rask	75	-75%
2.2	Rask	150	-50%
2.3	Middels langsom	450	+50%
2.4	Langsom	600	+100%

Tabell 6.8: Inndata og variasjoner til scenario 2

6.5.1 Resultater scenario 2

Trykkoppbygging: Trykkoppbyggingen i branncellen er gitt i figur 6.25. Trenden viser at raskere brannvekst gir tidligere og større trykktopp. Dette var som forventet. Resultatene viser at en rask brannvekst kan gi dramatiske konsekvenser for trykket. I scenario 2.1 er tiden redusert med 75%. Trykktoppen i dette scenariet er på 7800 Pa og er dermed cirka 7 ganger høyere enn referansescenariet. Trykkoppbyggingen vokser eksponentielt med økt veksthastighet. Det må imidlertid påpekes at trykket gitt i 2.1 er urealistisk høyt. Dette trykket tilsvarer cirka 750 kg/m². Det er å forvente at vinduet knuser ved lavere trykkpåkjenninger i kombinasjon med termisk belastninger.

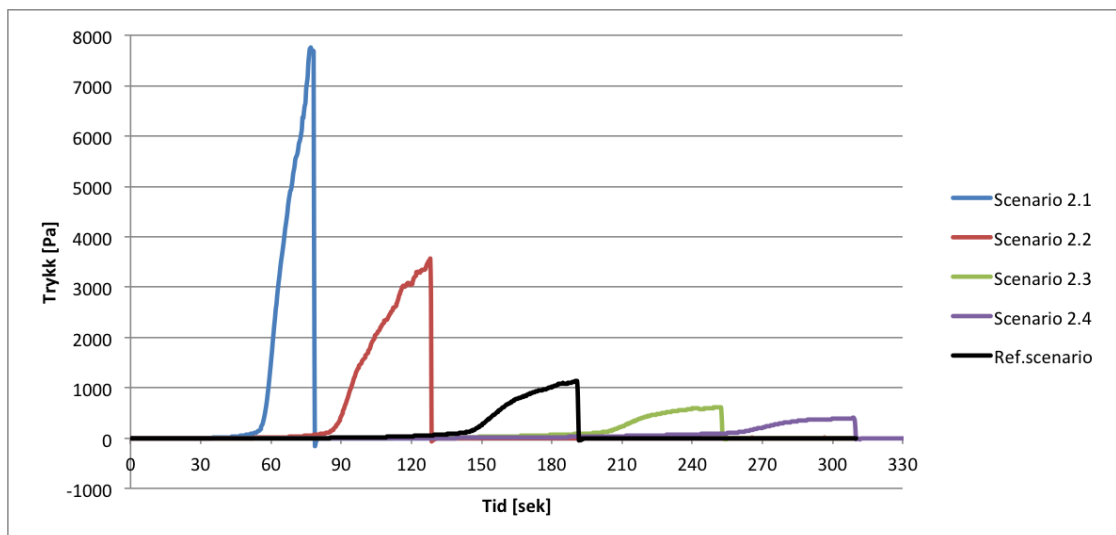
Temperaturutvikling: Temperaturutviklingen i branncellen er gitt i figur 6.26. For scenario 2.1 og 2.2 stabiliserer temperaturen seg ved 300°C etter henholdsvis 100 og 150 sekunder. For scenario 2.3 og 2.4 går vinduet til brudd såpass sent i simuleringstiden at temperaturen ikke blir høyere enn rundt 170°C. Temperatur oppunder himlingen i naboelilighet, gitt i figur 6.27, er udramatiske, med makstemperatur på rundt 50°C. For alle scenariene blir temperaturen i tilluftskanalen høy, se figur 6.28. Temperaturen er høy i et såpass kort tidsintervall at brannspredningsfaren er liten.

CO, O₂ og siktnivåer: Det observeres av figur 6.29 ufarlige konsentrasjoner av CO i naboelilighet, med nivåer under 25 ppm for alle scenariene. I tilluftskanalen er CO-konsentrasjonen høyere, se figur 6.30. Det merkes at det i scenario 2.1 utvikles lavest CO-konsentrasjon i både naboelilighet og korridor. Dette skyldes det korte tidsintervallet trykket i branncellen er større enn trykket fra ventilasjonsanlegget. For O₂-konsentrasjonen, gitt i figur 6.33 observeres forverrede forhold ettersom veksthastigheten øker. Mest kritisk er dermed scenario 2.1, som har O₂-nivåer rundt 16.5%. Sikten i naboelilighet og korridor er gitt i figur 6.31 og 6.32. Den kritiske sikten på 5m oppnås i korridoren for samtlige av scenariene. I naborommet er det kun scenario 2.1 og 2.2 som har kritiske siktnivå, men de andre scenariene ligger like under grensen. Rømningsforholdene er dermed forverret.

Konklusjon: Rask brannvekst er svært utslagsgivende for trykktoppen, som er

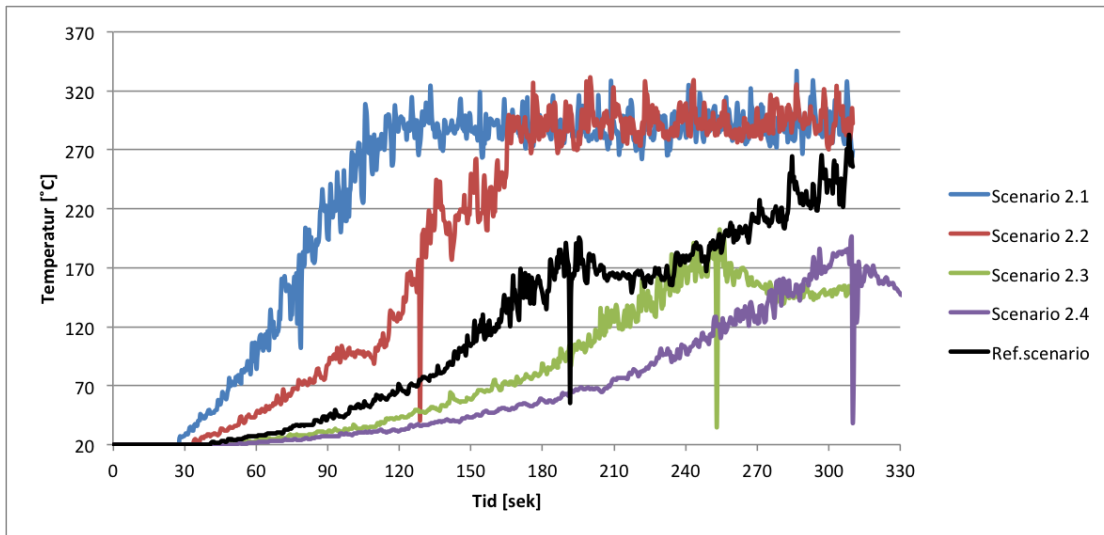
høyere og kommer tidligere ved økende hastighet. Det er ingen brannspredningsfare og CO-nivåene er ukritiske. O₂ nivået i branncellen reduseres med økende veksthastighet. Sikten er kritisk i korridoren for samtlige av scenariene og dødelig i scenario 2.2. I naboileiligheten er sikten kritisk scenario 2.1 og 2.2.

6.5.1.1 Trykkoppbygning

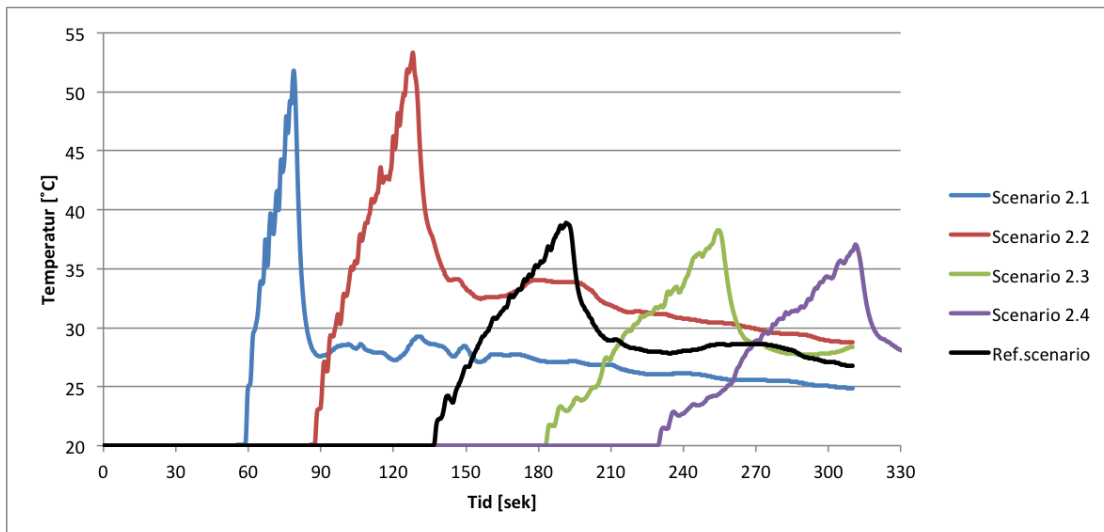


Figur 6.25: Trykkoppbygning i brannleiligheten

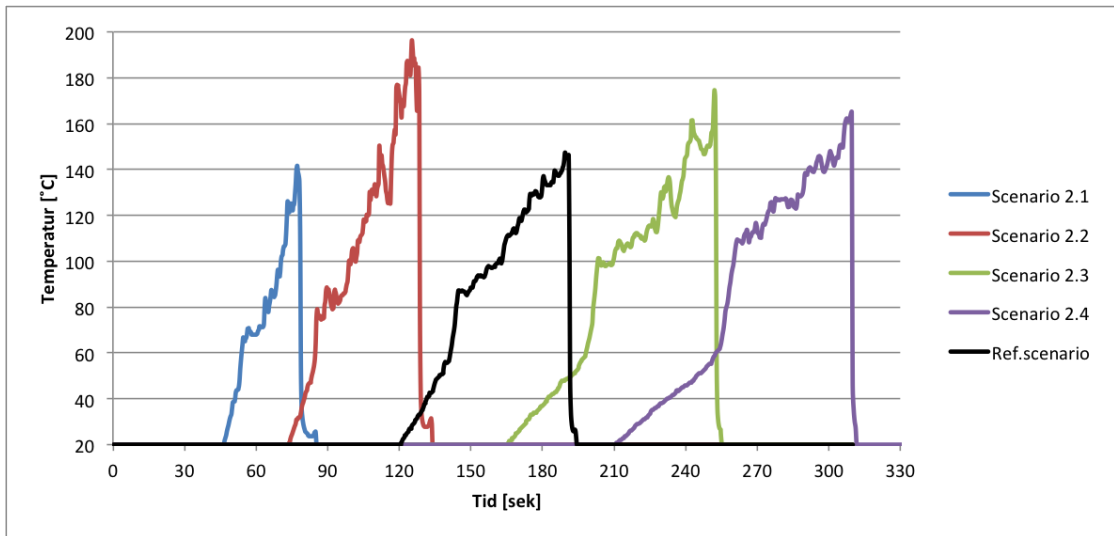
6.5.1.2 Temperatur



Figur 6.26: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet

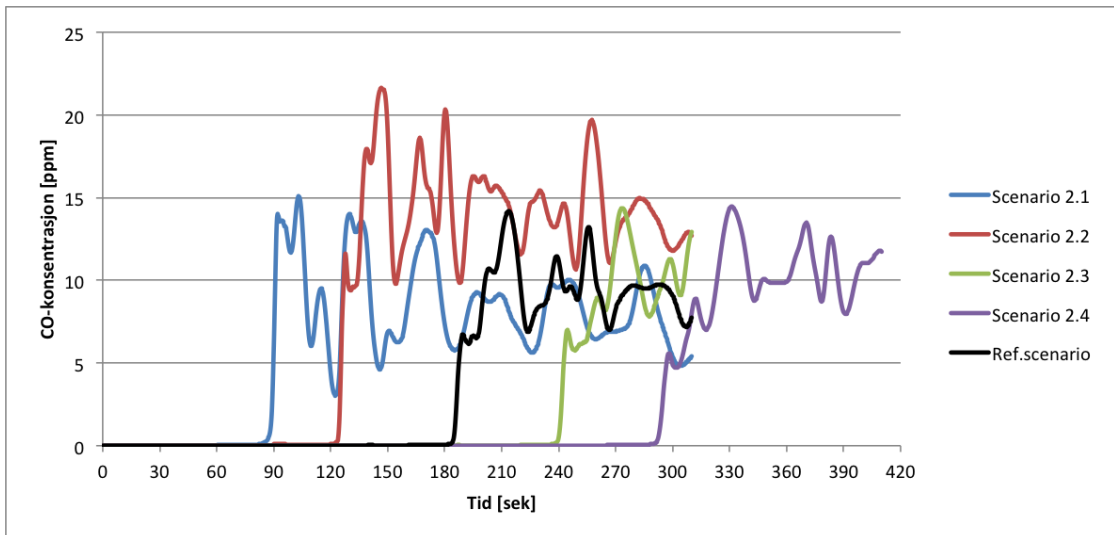


Figur 6.27: Temperatur oppunder himling i naboleiligheten

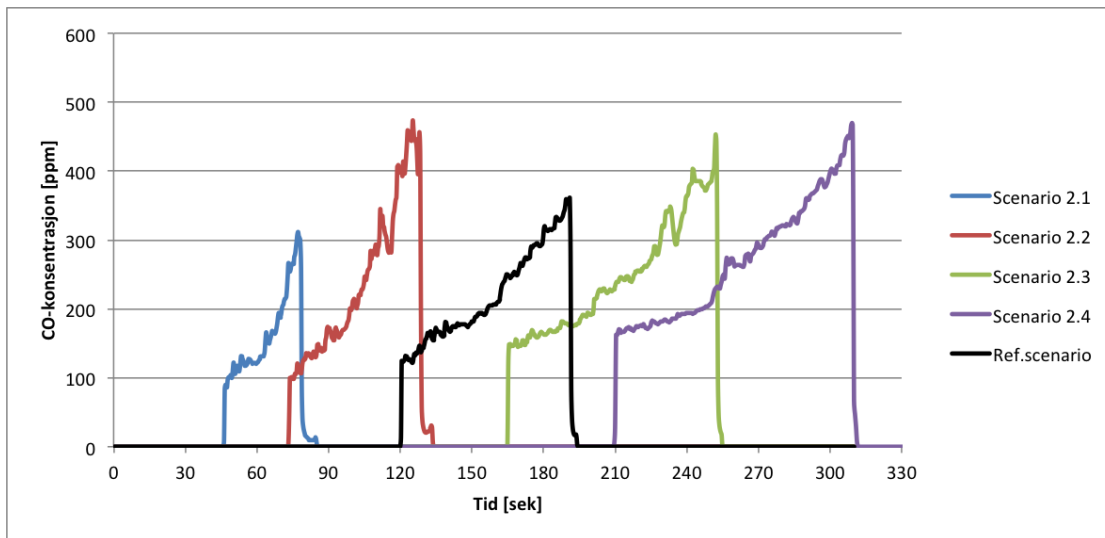


Figur 6.28: Temperatur i tilluftskanalen

6.5.1.3 CO-konsentrasjon

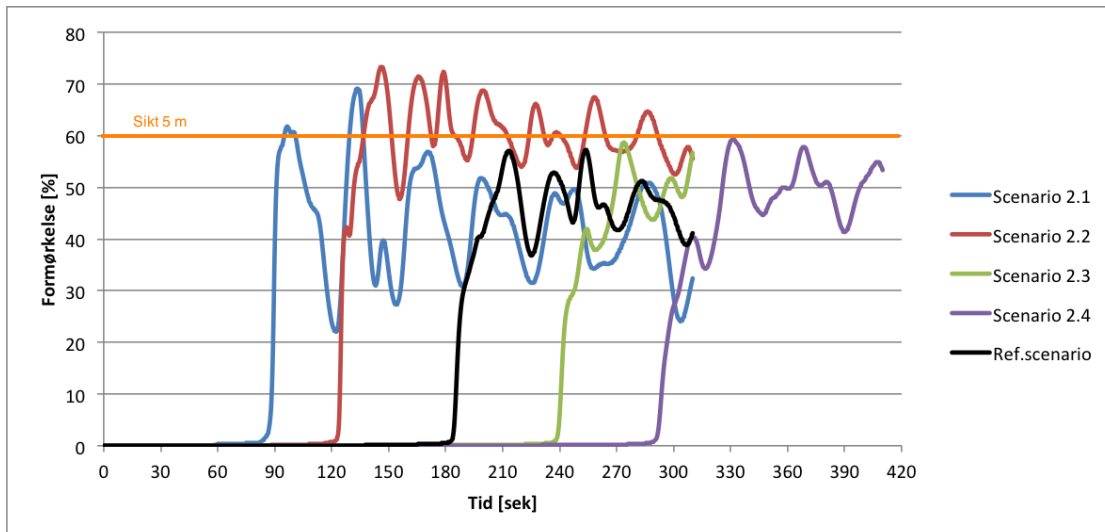


Figur 6.29: Karbonmonoksidkonsentrasjon i nableilighet, 2 m over gulvet

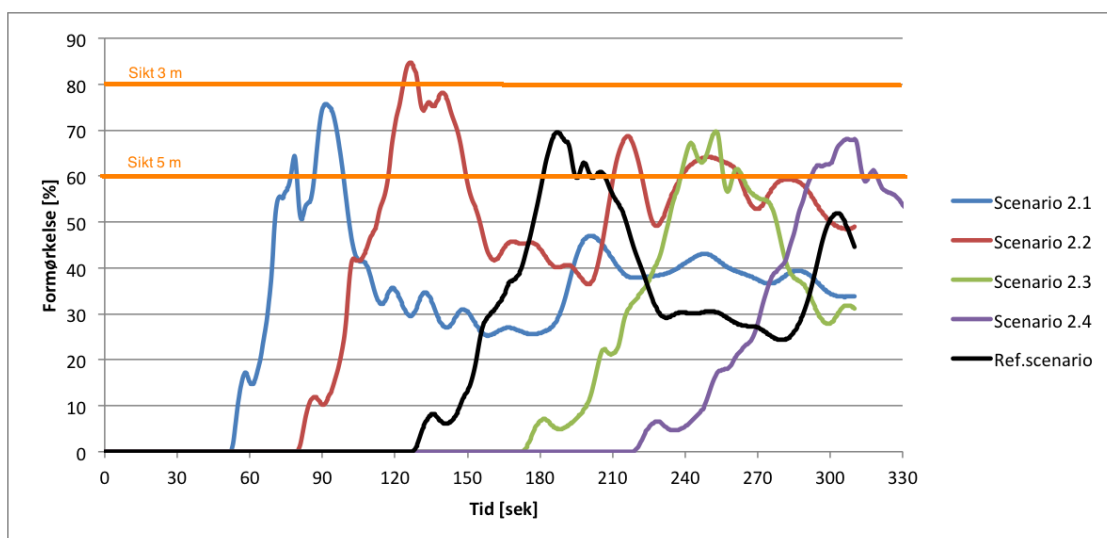


Figur 6.30: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen

6.5.1.4 Sikt

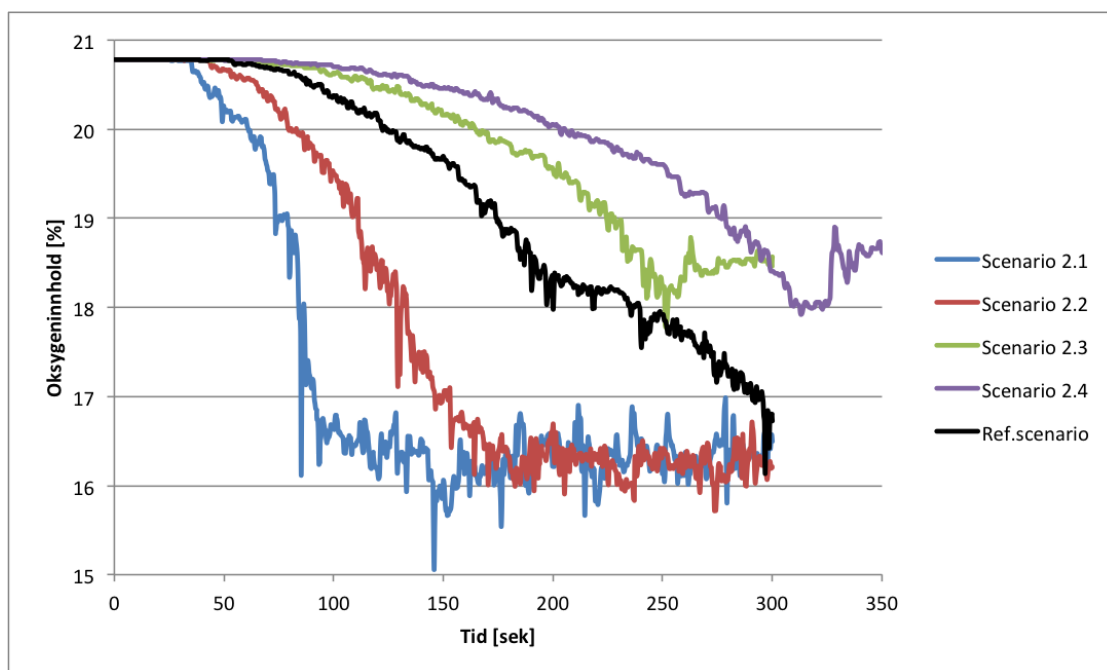


Figur 6.31: Formørkelse i naboelilighet, 2 m over gulvet



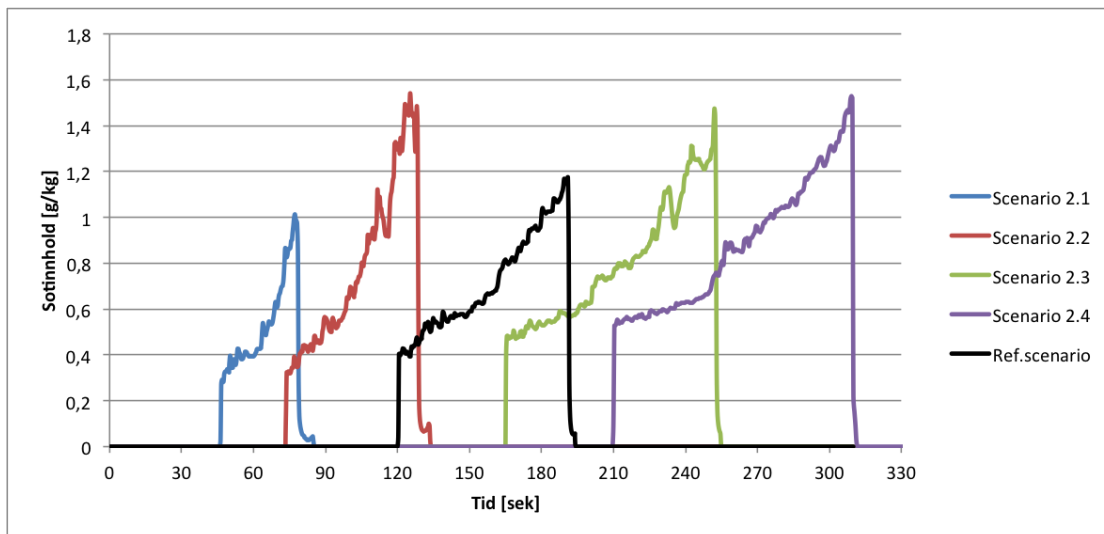
Figur 6.32: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet

6.5.1.5 O₂-innhold



Figur 6.33: O₂-innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet

6.5.1.6 Sot



Figur 6.34: Sotinnhold i tilluftskanalen

6.6 Scenario 3: Røykproduksjon

Dette scenariet er valgt for å se på hvordan røykproduksjonen i en brann påvirker forholdene i tilsuttende rom. Det er spesielt sot- og CO-produksjonen som er av interesse i dette scenariet. Sotproduksjonen i en brann vil variere under hele forløpet, men det er her nødvendig å oppgi konstant sotproduksjon gjennom hele simuleringstiden. Sotproduksjonen benyttet i referansescenariet ble satt til 0.07 kg/kg forbrent brensel. Sensitiviteten for endret sotmengde har kun blitt testet for to ytterligere verdier, da den faktiske sotproduksjonen i en brann ofte faller innenfor et bestemt intervall. Høyere verdier kan dermed virke urealistisk og følgelig ikke aktuelt å vurdere.

Som nevnt i avsnittet om CO-produksjon, 6.3.3, avhenger avgivelsen av ventilasjonsforhold og hvilket materiale som brenner. De fleste verdiene for CO-avgivelse funnet i litteratursøket havnet i et intervall fra omtrent null til 0.04 kg/kg brent brensel. En middelvei på 0.021 kg/kg brent brensel ble valgt som utgangspunkt. Det er ingen interesse i å simulere en brann der CO-produksjonen er 0, så denne enden av skalaen utelates. Maksverdien på 0.04 kg/kg brent brensel vil derimot

testes, da den vil representere den mest kritiske situasjonen i dette arbeidet.

Simulering	Sotproduksjon	Mengde [kg/kg]	Endring
3.1	Moderat	0.05	-29%
3.2	Høy	0.09	+29%

Tabell 6.9: Inndata og variasjoner til scenario 3, sotproduksjon

Simulering	CO-produksjon	Mengde [kg/kg]	Endring
3.1	Høy	0.03	+50%
3.2	Meget høy	0.04	+100%

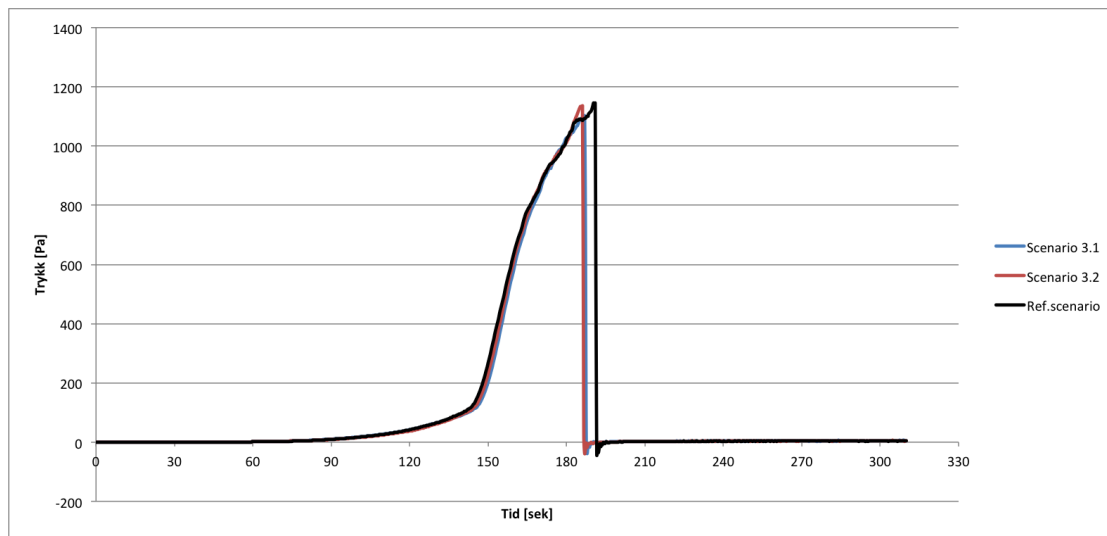
Tabell 6.10: Inndata og variasjoner til scenario 3, CO-produksjon

6.6.1 Resultater scenario 3

Trykkoppbygningen er upåvirket av sot- og CO-produksjon. Det interessante her er CO og O₂-nivåer, samt sikten i rommene. CO-konsentrasjonen i naboleilighet og tilluftskanal er gitt i figur 6.36 og 6.37. For naboleiligheten observeres CO-nivåer i samme sjiktet som i scenario 1 og 2, rundt 20 ppm. I tilluften observeres konsentrasjoner under 800 ppm. Trenden er at økt CO-produksjon gir økt CO-konsentrasjon, som forventet. Sikten er gitt i figur 6.38 og 6.39. For scenario 3.2 observeres siktnivåer rundt 5 meter i naboleiligheten og korridor, mens scenario 3.1 holder seg over dette i begge tilfellene. Av figur 6.40 sees det at O₂ innholdet er uavhengig av sot- og CO-produksjon.

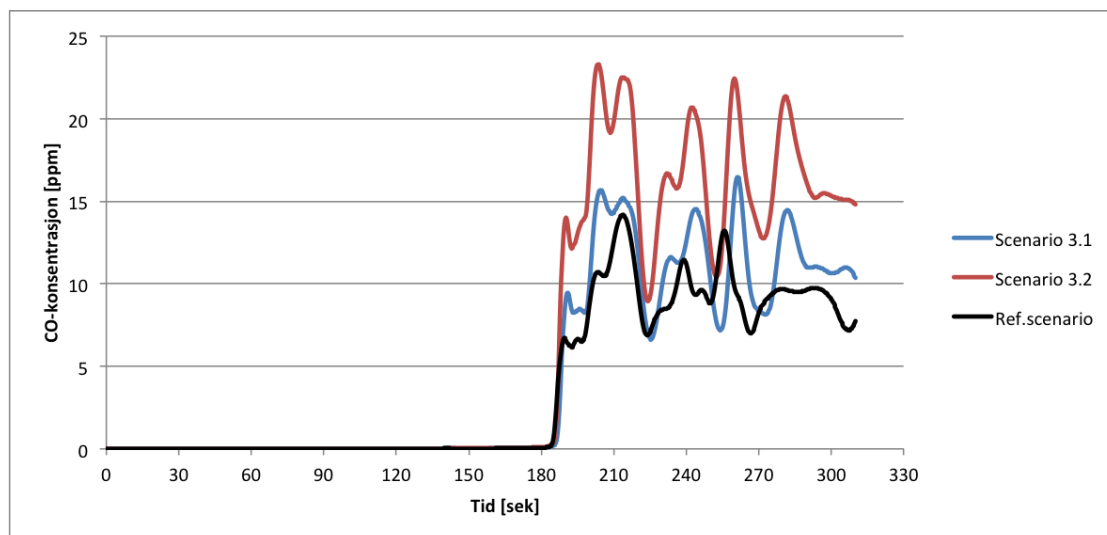
Konklusjon: Økt CO- og sotproduksjon gir henholdsvis økt CO-konsentrasjon og dårligere sikt. For scenario 3.2 er sikten kritisk i naboleilighet og korridor. Scenario 3.1 holder seg under kritiske nivåer i både korridor og naboleilighet.

6.6.1.1 Trykkoppbygning

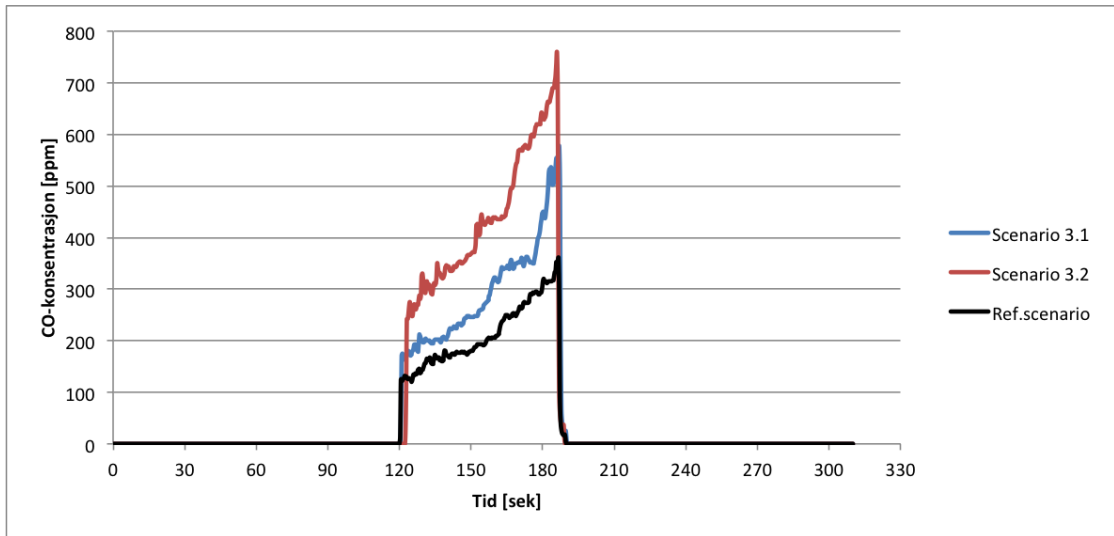


Figur 6.35: Trykkoppbygning i brannleiligheten

6.6.1.2 CO-konsentrasjon

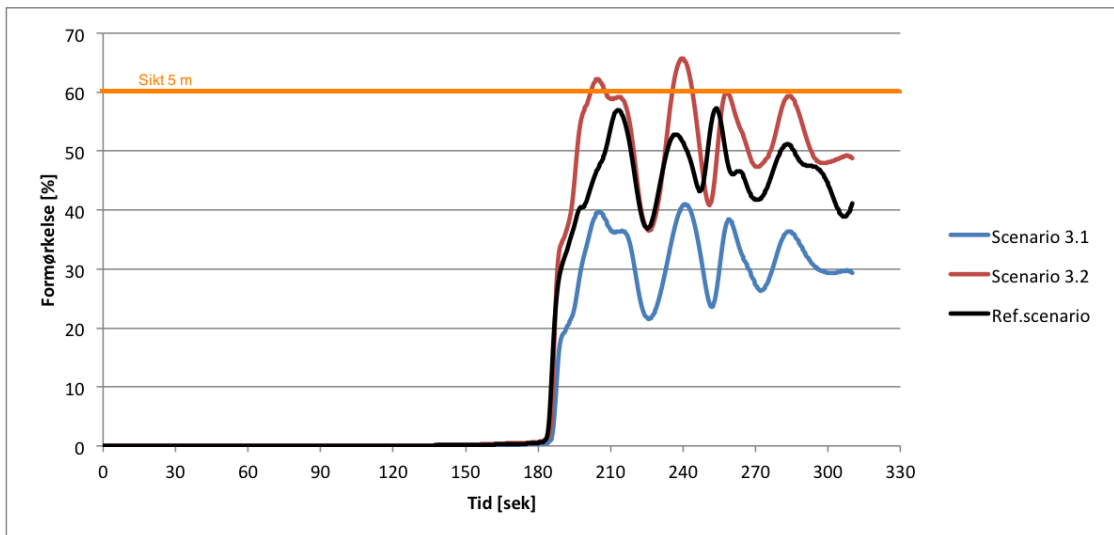


Figur 6.36: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboleilighet, 2 m over gulvet

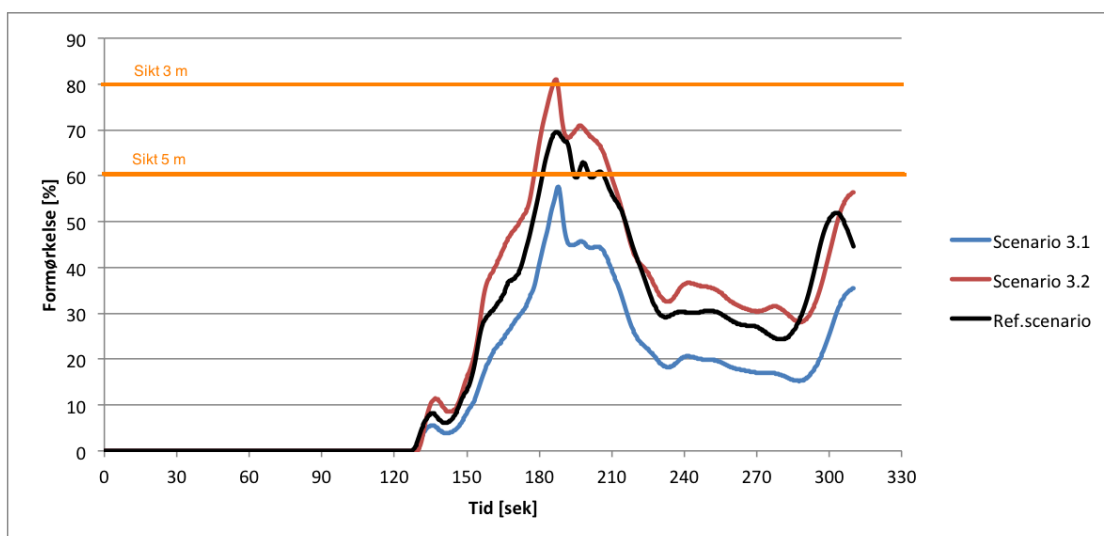


Figur 6.37: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen

6.6.1.3 Sikt

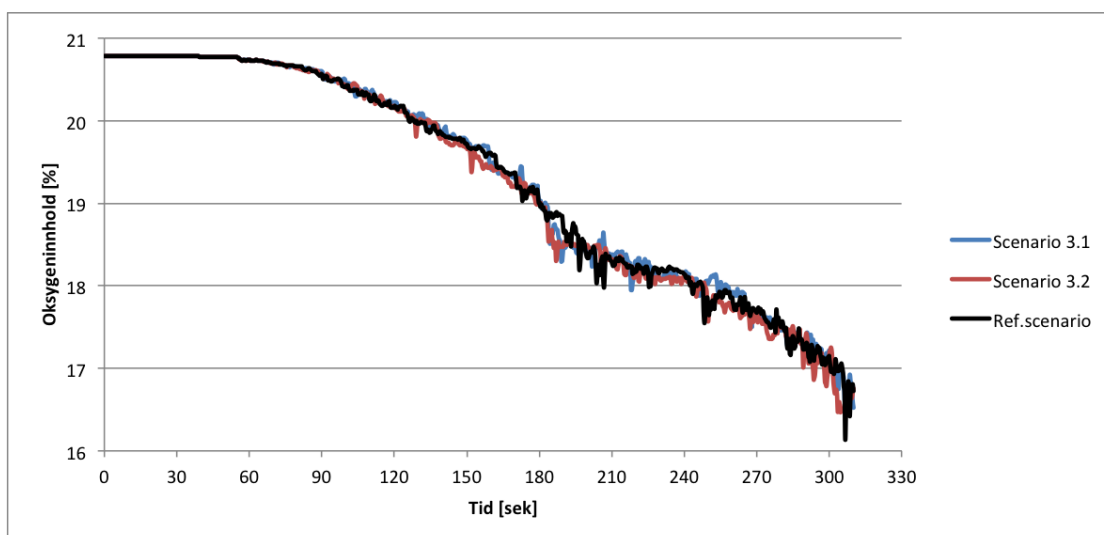


Figur 6.38: Formørkelse i naboelilighet, 2 m over gulvet



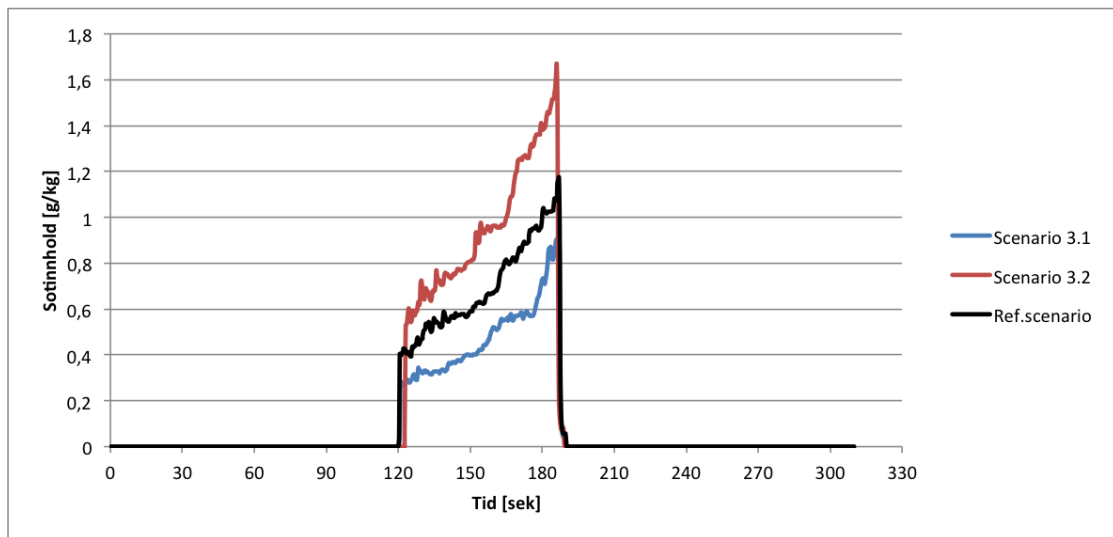
Figur 6.39: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet

6.6.1.4 O₂-innhold



Figur 6.40: O₂-innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet

6.6.1.5 Sot



Figur 6.41: Sotinnhold i tilluftskanalen

6.7 Scenario 4: Tilluftsmengde

Hvilken luftmengde viften leverer er avgjørende for når røykspredningen i tilluftskanalen vil starte. Dette fordi trykkoppbygningen i brannrommet må overstige viftekapasiteten for at spredning skal skje. I referansescenariet ble det valgt å benytte 13.5 l/s tilført luft til hver leilighet. Denne verdien ble implementert i modellen ved å definere en viftekurve, gitt i tabell 6.3. Med valgte tilluftsmengder må dermed viften sørge for 50 l/s totalt. Dette ble valgt på bakgrunn av minste tillatte gjennomsnittsmengde tilført friskluft i TEK 10 [3]. Det er dermed av interesse å undersøke hvordan endring av tilført luftmengde påvirker røykspredningen. Måten dette gjennomføres på her er å endre hele viftekurven prosentvis. Det er ønskelig å beholde trykktapet over tilluftsventilene uendret, så langt dette lar seg gjøre. Tapet reguleres på samme måte som for referansescenariet i endenodene.

De valgte scenariene vil baseres på tilført mengde i en normalsituasjon uten brann, og tilførselsmengden er gitt i tabell 6.11. Volumstrømmen er per leilighet, og korridoren vil tilføres 70% av denne verdien. Scenario 4.2 skal forestille en

tid på døgnet med lavt tilførselsebehov, og er senket til minste tillatte mengde gitt av TEK 10. For å veie opp for senket tilførselsmengde på denne måten må ventilasjonen forseres på andre tider av døgnet slik at akseptabel gjennomsnittlig ventilasjonsmengde oppnås [3]. Scenario 4.3 skal forestille en slik situasjon. I scenario 4.4 er tilluftsmengden økt ytterligere, og kan være en situasjon der forseringen skjer over en kortere periode. I scenario 4.1 er anlegget av en eller annen grunn avslått.

Endring av viftekurven var i seg selv ikke nok for å oppnå ønsket effekt. Trykkfall over endenodene måtte manipuleres på nytt, på samme måte som for referansescenariet. Verdiene i tabell 6.11 er dermed de ønskede verdiene, mens de faktisk oppnådde verdiene vil avvike noe. Tendensene en endring av viftekapasiteten medfører vil uansett komme klart frem.

Simulering	Tilluftsmengde	Volumstrøm [l/s]	Endring
4.1	Ingen	-	-100%
4.2	Lav	7.8	-42%
4.3	Moderat	19.2	+42%
4.4	Høy	27.0	+100%

Tabell 6.11: Inndata og variasjoner til scenario 4

6.7.1 Resultater scenario 4

Trykkoppbygging og tilluftsmengde: Tilluftsmengden er gitt i figur 6.42 og trykkoppbyggingen i figur 6.43. Av figurene ses det sammenheng mellom trykkoppbygging og tilluft. Trykket i leiligheten overstiger lufttrykket fra tilluften etter 40 sekunder i scenario 4.1. Etttersom tilluftsmengden øker tar dette lengre tid, og det kreves noe høyere trykkoppbygging for at det skal skje. Det observeres at stor forskjell i trykkoppbygging ikke gir store utslag i mengden luft som blir presset inn i kanalnett. I scenario 4.4, med høyest tilluftsmengde, oppnås en trykktopp på 600 Pa. I scenario 4.1 og 4.2 oppnås en trykktopp på 1500 Pa, 250% høyere enn scenario 4.4. Mengden luft som blir presset inn i anlegget varierer fra 0.34 m³/s i scenario 4.4 til 0.4 m³/s i scenario 4.1 og 4.2. Dette er en forskjell på 15%. Den lille forskjellen skyldes at økt tilluftsmengde medfører en høyere kapasitet for

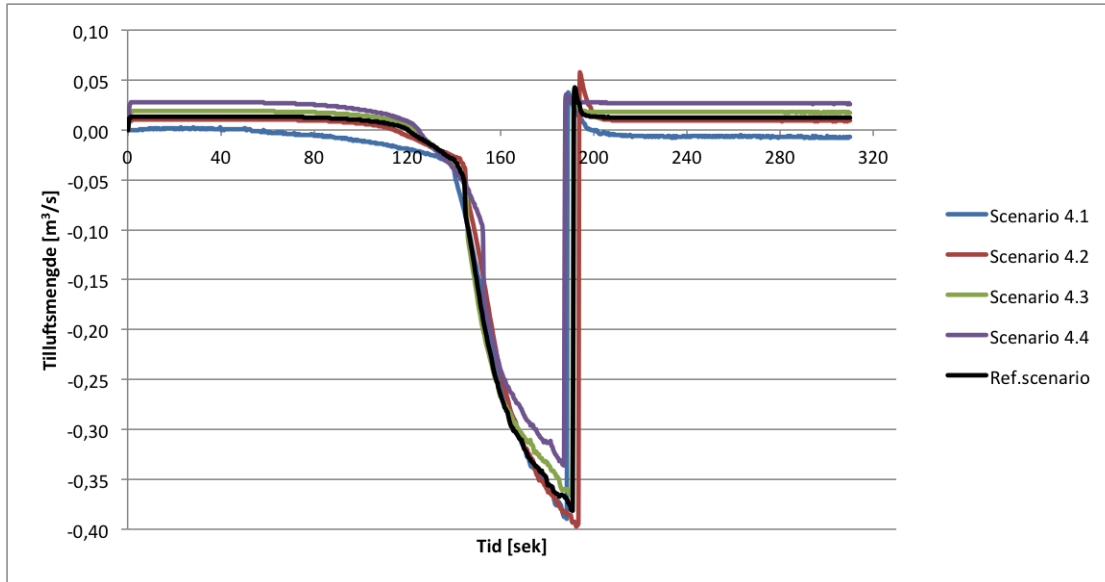
vifteanlegget. Dermed kan anlegget stå i mot større trykkoppbygninger.

Temperaturutvikling: Variasjon i tilluftsmengde gir liten variasjon i temperaturutvikling i brannrommet, se figur 6.44. Også i naboileiligheten er temperaturutviklingen mer eller mindre lik, med udramatiske nivåer, se figur 6.45. Det observeres imidlertid stadig økende temperaturer i kanalnettet i scenario 4.1. Spredningsfare ansees dermed som realistisk i dette scenariet.

CO, O₂ og siktnivåer: CO-konsentrasjon er gitt i figur 6.47 og 6.48. Av CO-mengden i tilluftskanalen kan det sees at det er relativt små variasjoner mellom scenariene. Dette gir naturlig nok like utslag for CO-nivåene i naborommet, som er lave og ufarlige. Det observeres imidlertid at CO-konsentrasjonen i tilluftskanalen i scenario 4.1. øker etter vindusbrudd. Det er ønskelig å gå videre med dette funnet for å undersøke konsekvensene av en lengre brannsituasjon. For sikten observeres kritiske nivåer i naboileilighet for scenario 4.1 og 4.2, gitt i figur 6.49. I korridoren registreres kritisk sikt for alle scenariene, se figur 6.50. Det registreres ingen store utslag i forhold til mengden tilluft som blir tilført brannrommet og oksygenivået, se figur 6.51.

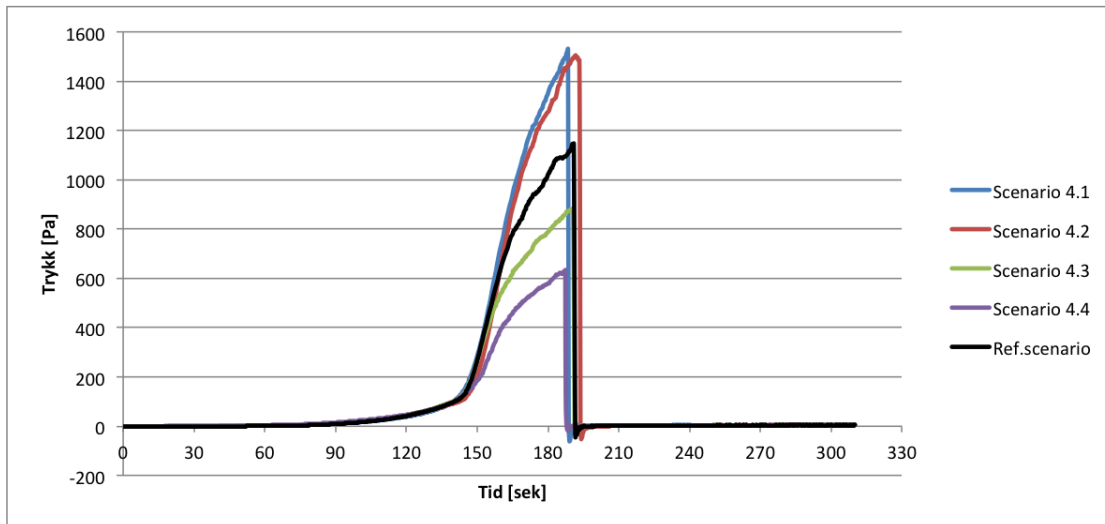
Konklusjon: Økt tilluftsmengde gjør at det kreves høyere trykk i brannrommet for røykspredning, og det tar lengre tid før det skjer. Dette skyldes at viftekapasiteten øker med økende tilluftsmengde. Variert tilluftsmengde har liten innvirkning på både temperatur og CO-konsentrasjon. Det registreres kritiske siktforhold i korridor for alle scenariene og i naboileilighet for scenario 4.1 og 4.2.

6.7.1.1 Tilluftsmengder



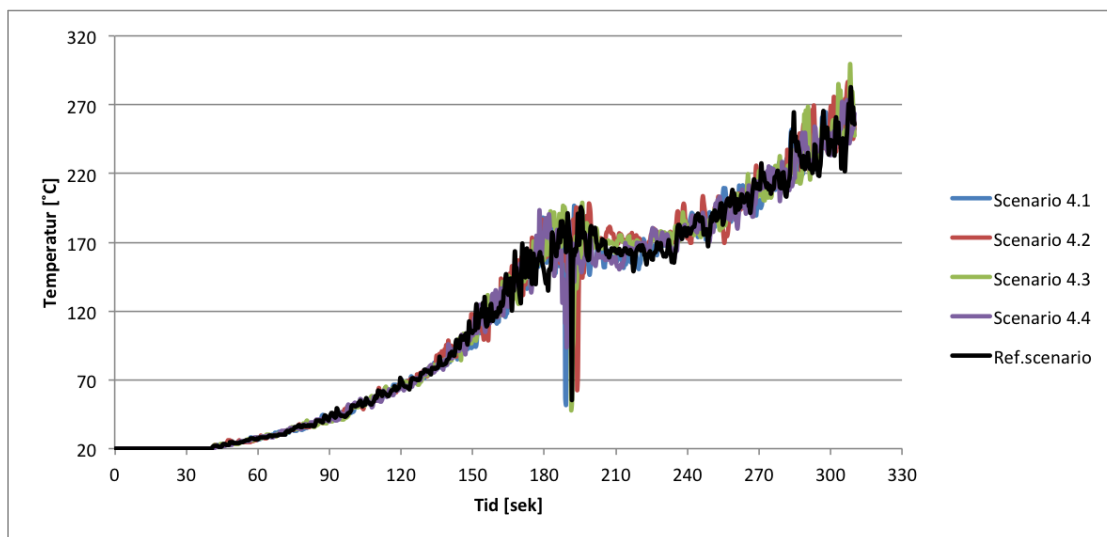
Figur 6.42: Tilluftstilførsel til hver leilighet

6.7.1.2 Trykkoppbygning

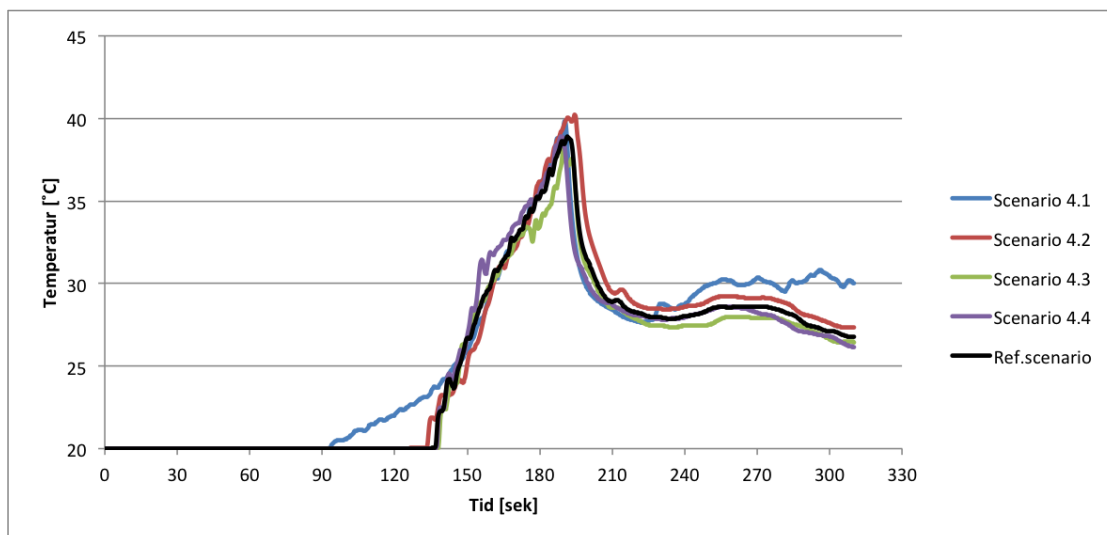


Figur 6.43: Trykkoppbygning i brannleiligheten

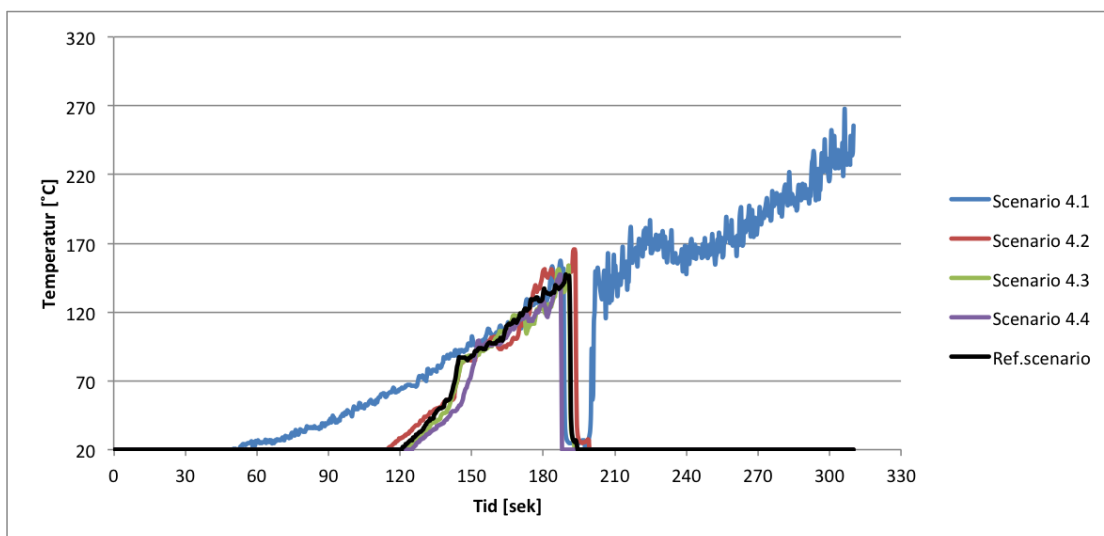
6.7.1.3 Temperatur



Figur 6.44: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet

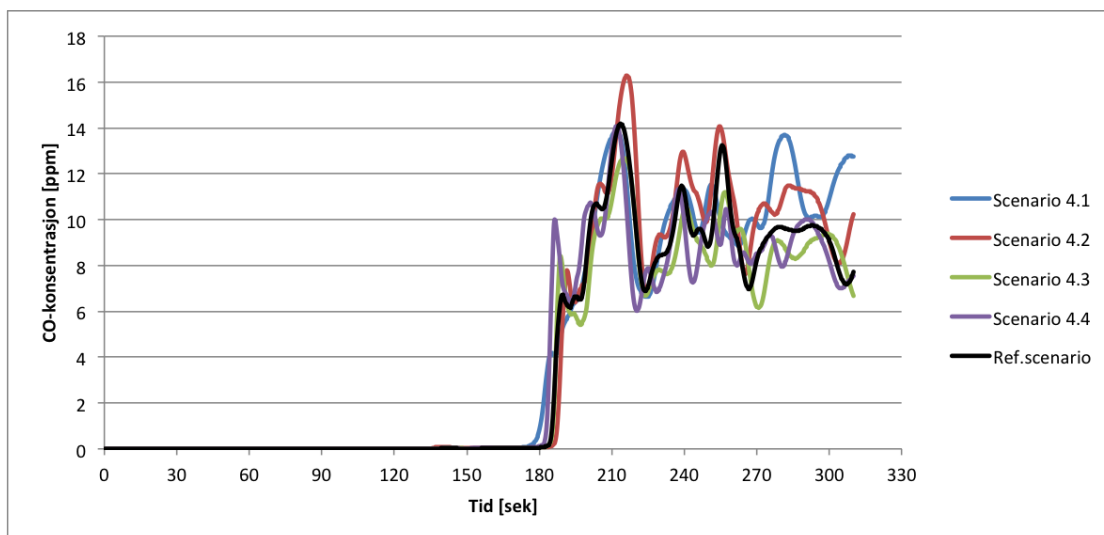


Figur 6.45: Temperatur oppunder himling i nableiligheten

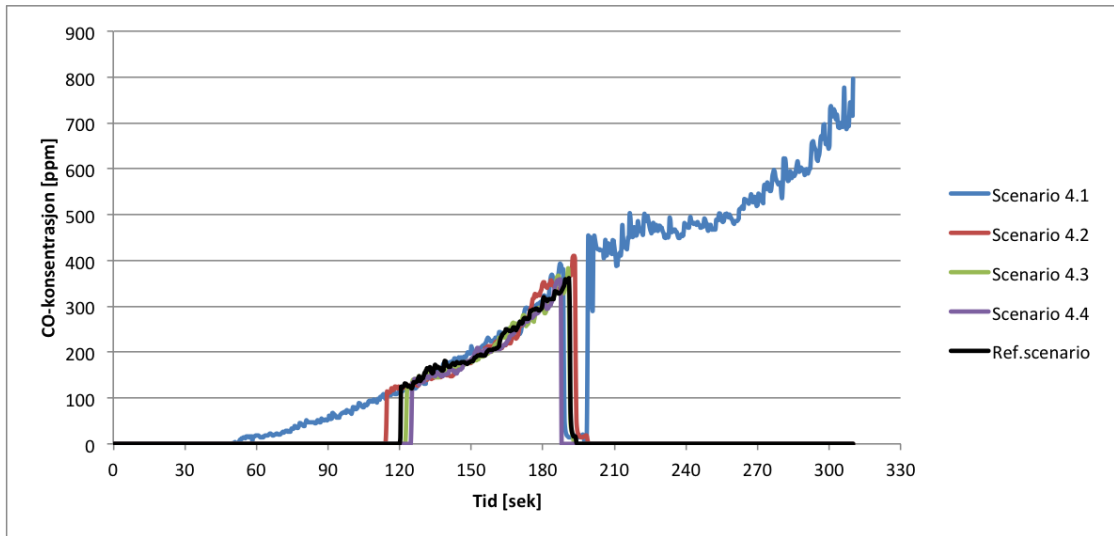


Figur 6.46: Temperatur i tilluftskanalen

6.7.1.4 CO-konsentrasjon

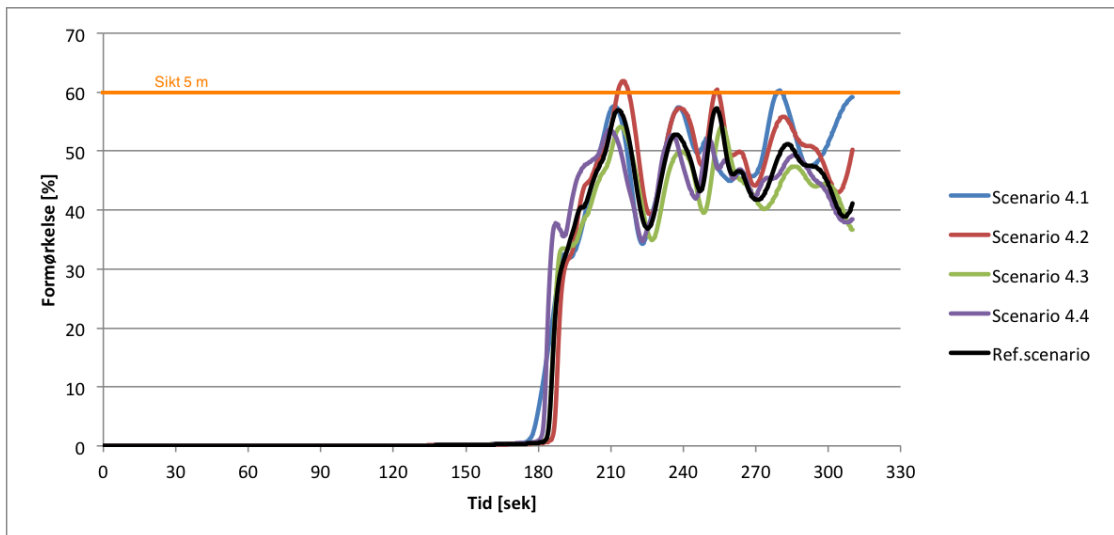


Figur 6.47: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboelighet, 2 m over gulvet

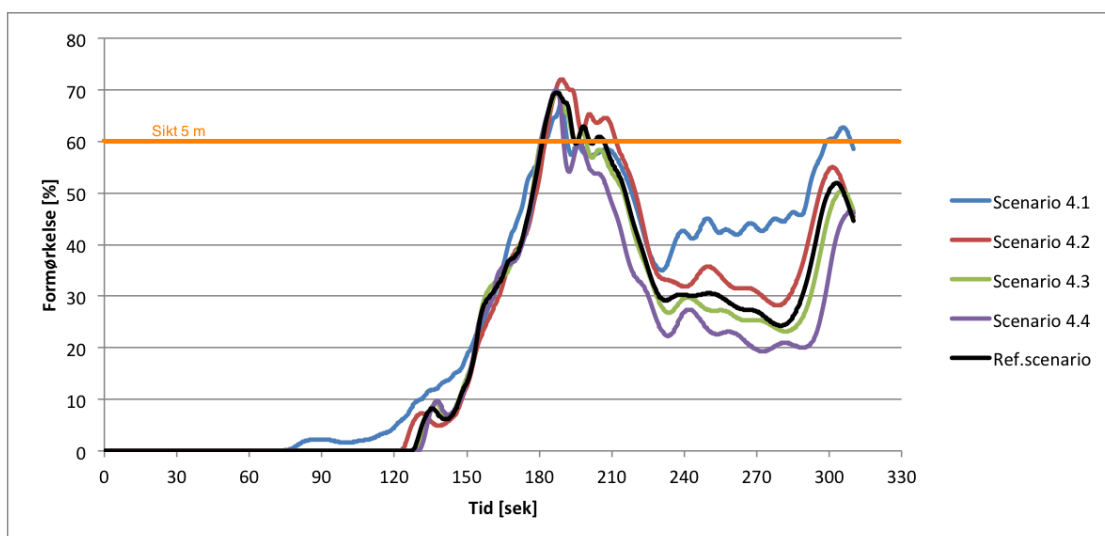


Figur 6.48: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen

6.7.1.5 Sikt

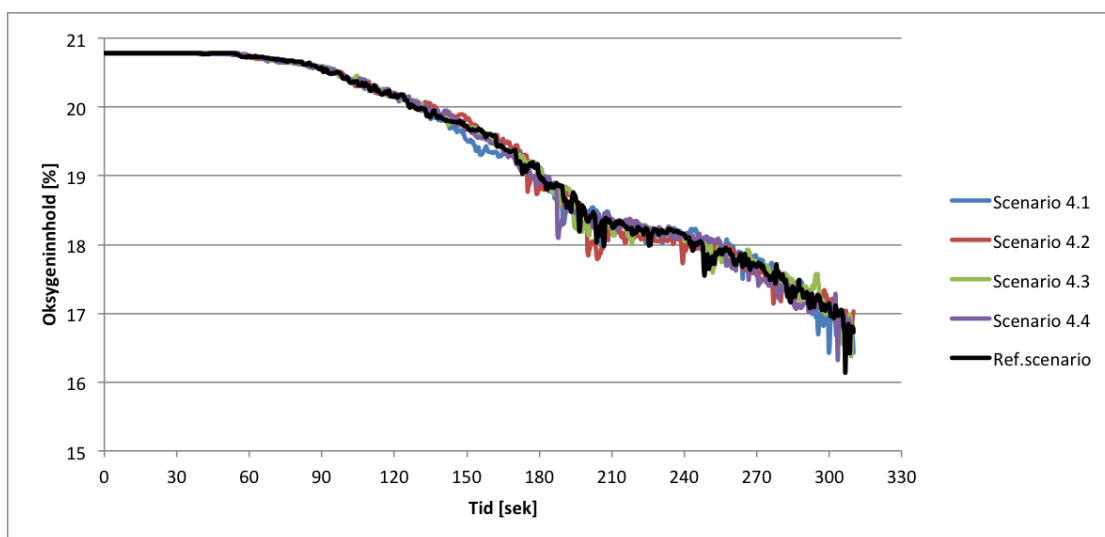


Figur 6.49: Formørkelse i naboelilighet, 2 m over gulvet



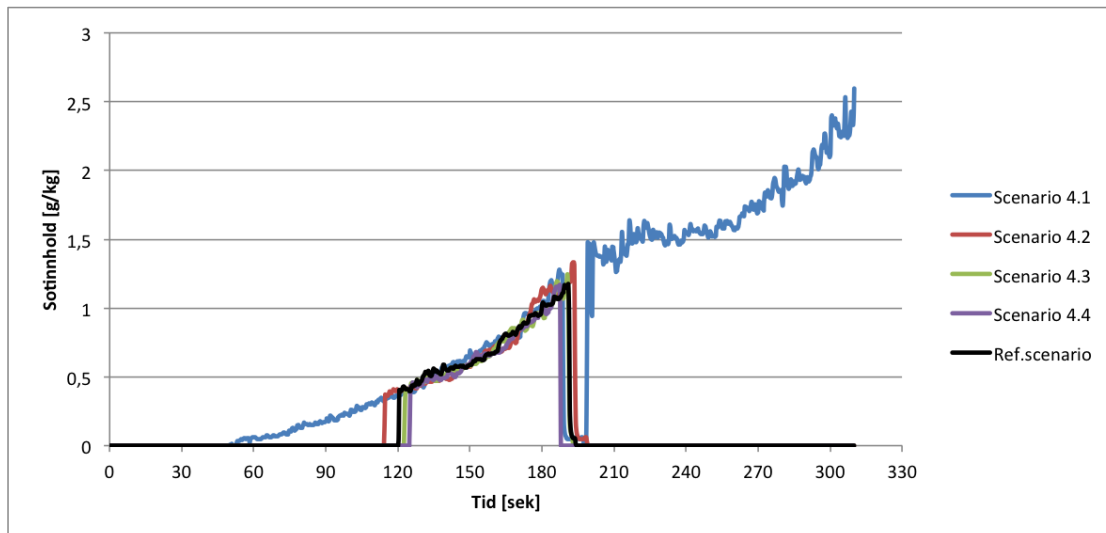
Figur 6.50: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet

6.7.1.6 O₂-innhold



Figur 6.51: O₂-innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet

6.7.1.7 Sot



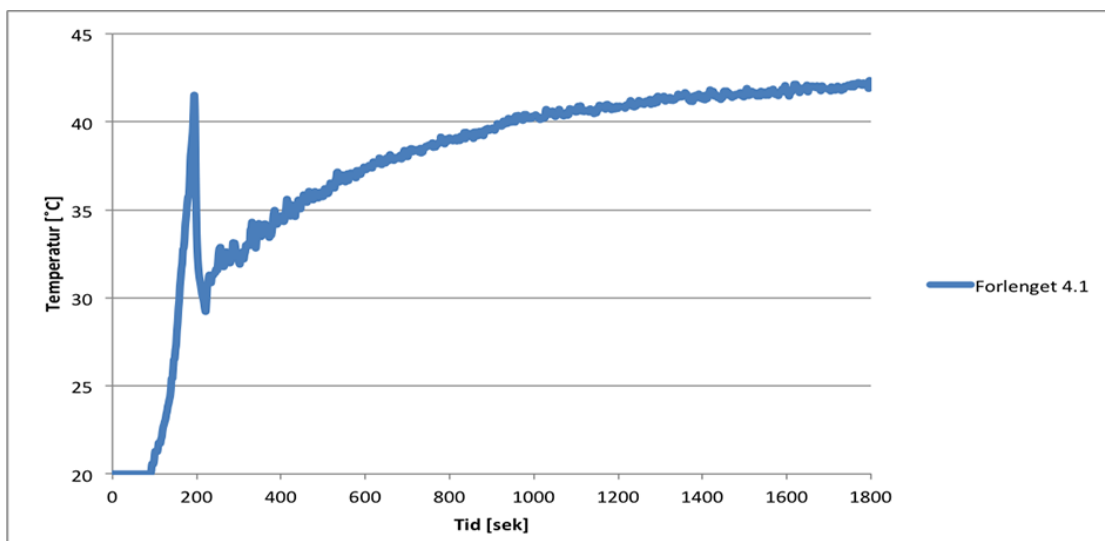
Figur 6.52: Sotinnhold i tilluftskanalen

6.7.1.8 Forlengt simulering av scenario 4.1

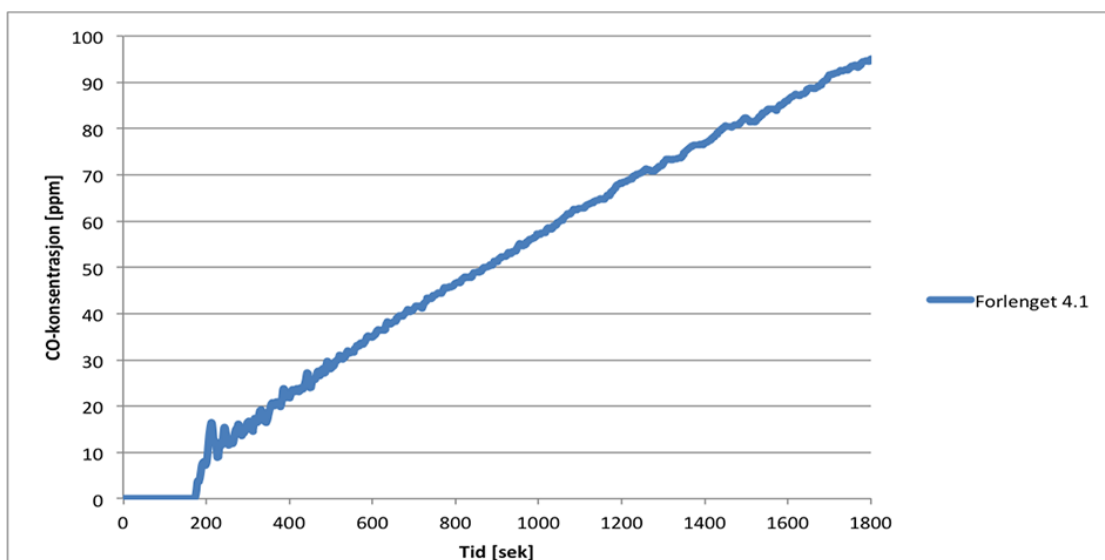
Fordi situasjonsutviklingen i scenario 4.1 så dramatisk ut ble det bestemt å simulere en 30 minutter versjon av scenariet. Dette er eneste tilfellet der røykspredning fortsetter etter vindusbrudd. Resultatene i figur 6.53 - 6.58 bekrefter at situasjonen forverres drastisk. Spesielt sikten gjør forholdene meget kritiske etterhvert.

6.7.1.9 Resultat forlengt simulering av scenario 4.1

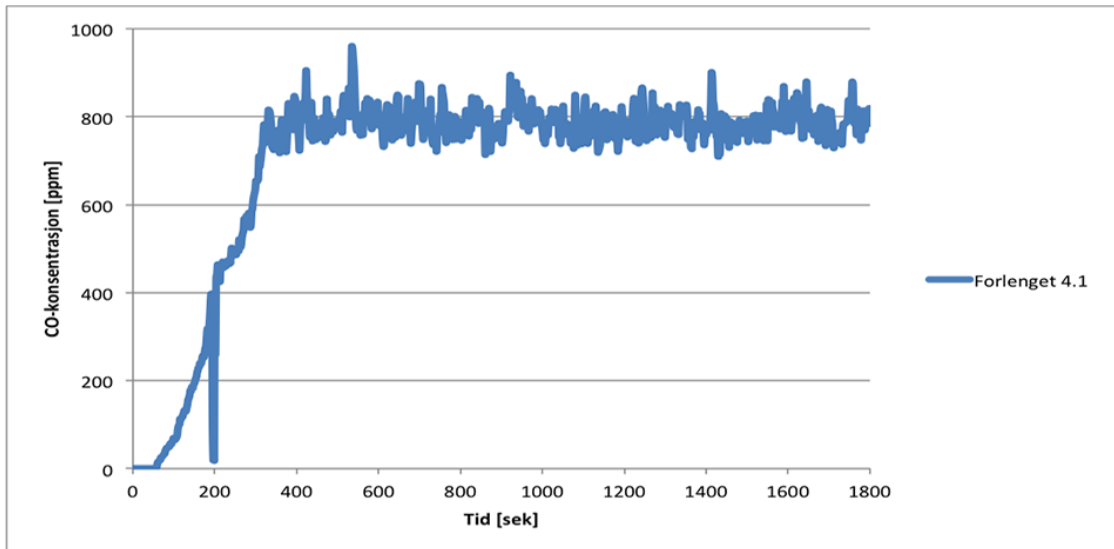
Temperaturen i naboelighet flater ut etterhvert og når ingen kritiske nivåer. CO-konsentrasjonen, gitt i figur 6.54 og 6.55 viser en stadig økende konsentrasjon i naboelighet, men fortsatt ufarlige nivåer CO. Det er sannsynlig at personer som oppholder seg i det rommet vil evakuere før CO-konsentrasjonen blir kritisk. CO-konsentrasjonen i kanalnettet stabiliseres på rundt 800 ppm. Etter cirka 7 minutter vil sikten i naboeligheten være mindre enn 3 meter. Etter 9 minutter er sikten i korridoren også mindre enn 3 meter, og er dermed gradert som dødelig sikt. O₂-nivået i brannrommet stabiliserer seg rundt 16%.



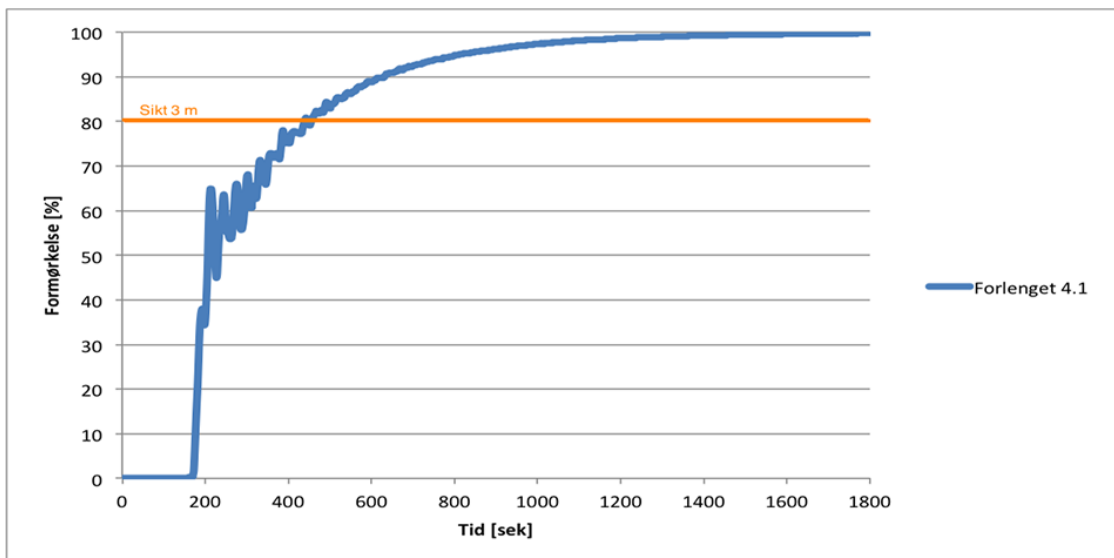
Figur 6.53: Temperatur oppunder himling i naboileiligheten



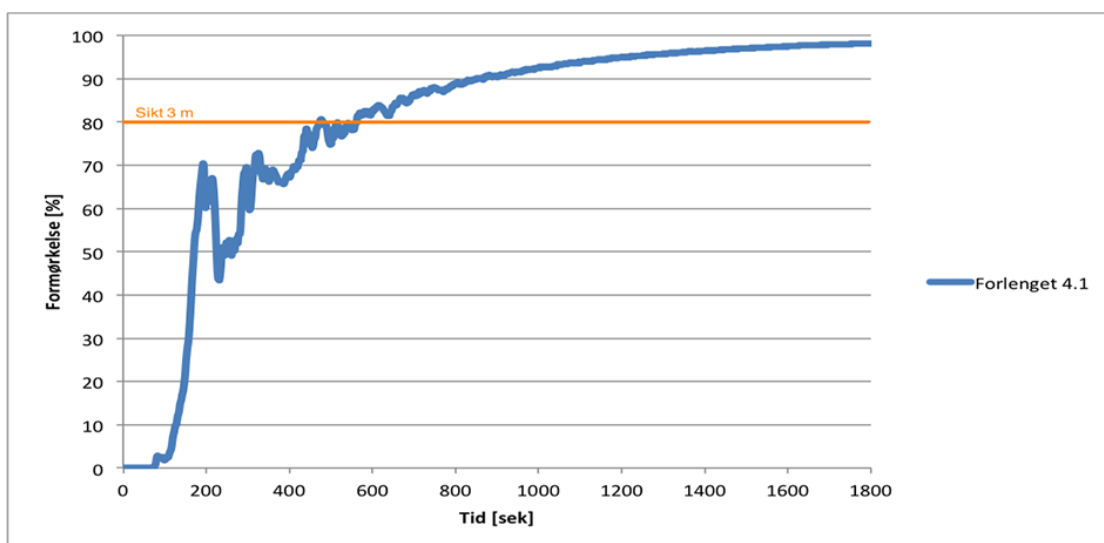
Figur 6.54: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboileilighet, 2 m over gulvet



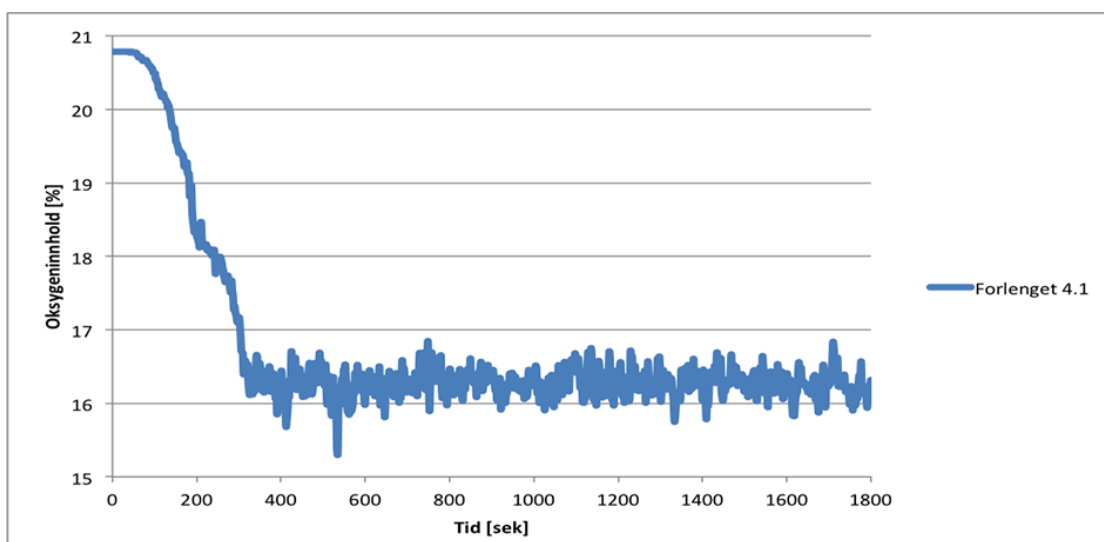
Figur 6.55: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen



Figur 6.56: Formørkelse i naboelilighet, 2 m over gulvet



Figur 6.57: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet



Figur 6.58: O₂-innhold i luften i naboelilighet, 2 m over gulvet

6.8 Scenario 5: Vindusbrudd

I det øyeblikket vinduet i en branncelle går til brudd vil trykket bli utliknet umiddelbart, og faren for røykspredning via ventilasjonsanlegget minskes drastisk. Det er derfor av stor interesse å vurdere hvilken betydning bruddtemperatur,

og dermed tidspunkt, har for røykspredningen i kanalnett. I litteraturen argumenteres det for at bruddtemperatur er i sjiktet 90 til 300°C. Det påpekes også at det er stor usikkerhet til bruddtemperatur og at det er mange faktorer som spiller inn. Forfatterne av oppgaven velger derfor å simulere to scenarier med temperaturer gitt i tabell 6.12, samt et scenario der vinduet ikke går til brudd i det hele tatt.

Simulering	Vindusbrudd	Temperatur [°C]	Endring
5.1	Relativt tidlig	100	-50%
5.2	Relativt sent	300	+50%
5.3	Intet brudd	-	-

Tabell 6.12: Inndata og variasjoner til scenario 5

6.8.1 Resultater scenario 5

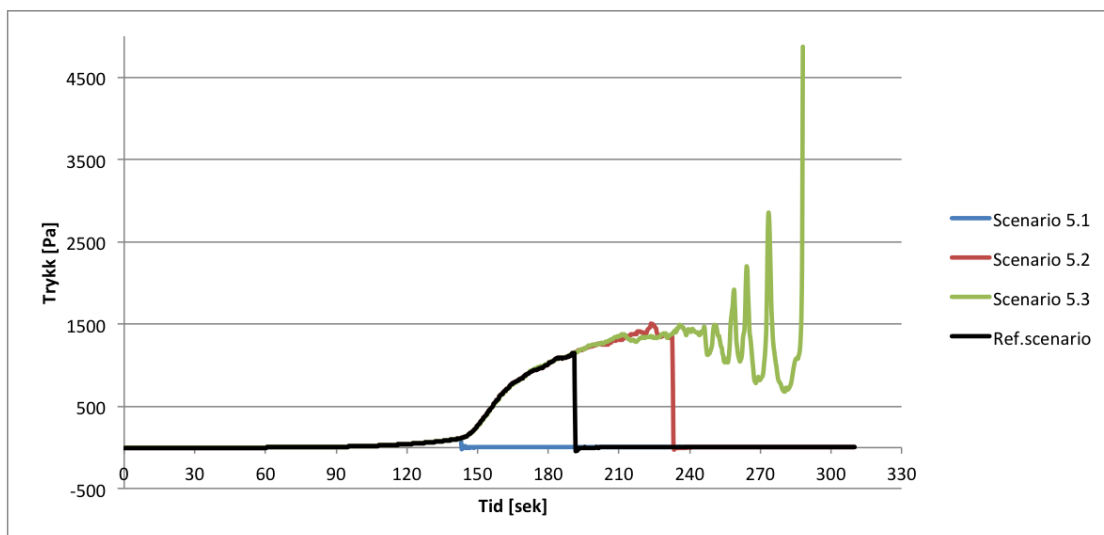
Trykkoppbygging: Trykkoppbyggingen er gitt i figur 6.59. For scenario 5.1 er situasjonen forholdsvis udramatisk med tanke på røykspredning. Trykket i brannrommet ved 100°C er kun 110 Pa. For scenario 5.2 har brannen ført til en trykkoppbygging på 1500 Pa ved vindusbrudd. Det er dermed mye større fare for røykspredning i 5.2 sammenliknet med 5.1. I scenario 5.3 skulle ikke vinduet knuse, og høy trykkoppbygging var forventet. Det observeres imidlertid irregulære svingninger i trykk etter 240 sekunder. Det antas at dette har med programvaren å gjøre, som ikke er programmert for å håndtere urealistiske situasjoner. Simuleringen brøt sammen etter 280 sekunder med feilmeldingen ”numerisk ustabilitet”. Det er uansett sannsynlig at vinduet ville gitt etter ved trykk rundt 2000 Pa som følge av både termiske og mekaniske påkjenninger.

Temperaturutvikling: Temperaturutviklingen i brannrommet er gitt i figur 6.60. Scenariene følger lik utvikling med temperaturøkning frem til vindusbrudd. Ved vindusbrudd faller temperaturen, før den stiger på nytt. Temperaturen i naborommet er gitt i figur 6.61. Det observeres ingen kritiske nivåer. Det registreres høye temperaturer i tilluften, se figur 6.62. Scenario 5.2 viser temperaturer opp mot 320°C før brudd. Brannspredning ansees derfor som realistisk.

CO, O₂ og siktnivåer: CO-konsentrasjon er gitt i figur 6.63 og 6.64. Også i disse scenariene registreres ukritiske forhold for CO-nivåene. Det påpekes imidlertid en relativt stor økning i CO-konsentrasjon i scenario 5.2 sammenliknet med referansescenariet. For sikten observeres vesentlige forskjeller, se figur 6.65 og 6.66. For scenario 5.2 registreres sikten i nabo-leiligheten til å være mindre enn 3 meter og i korridoren til å ligge mellom 3 og 5 meter. Siktsituasjonen er dermed dødelig. For scenario 5.1 er sikten svært god, og utgjør ingen direkte risiko. Oksygennivået er gitt i figur 6.67. Scenario 5.2 er noe verre enn scenario 5.1 og referansescenariet, men nivået er over akseptkriteriet og ansees derfor som ufarlig.

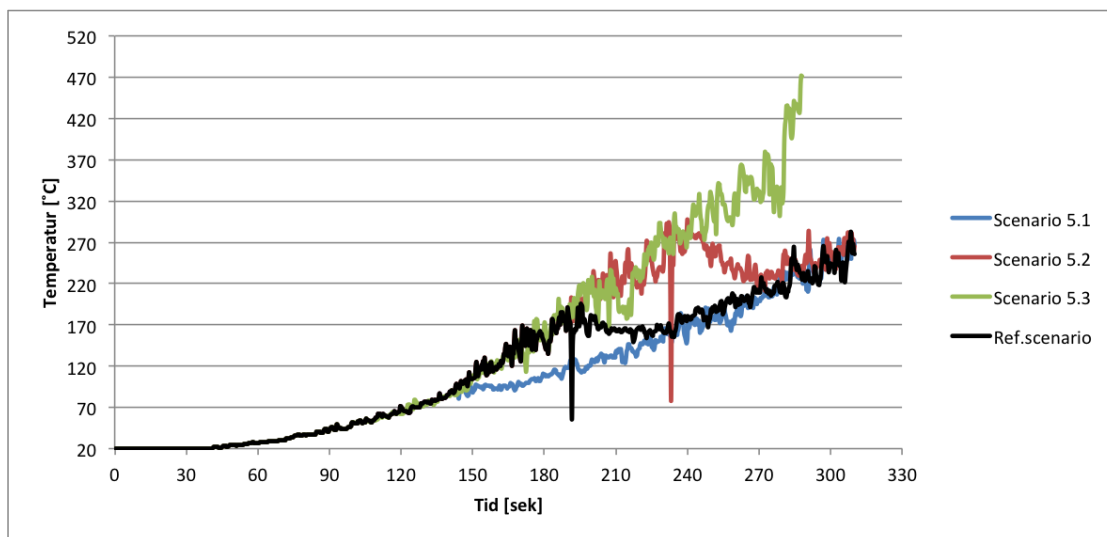
Konklusjon: Faren for røykspredning øker betraktelig med økende tid før vindusbrudd. Dette henger sammen med en lengre periode med høy trykkoppbygning i brannrommet. I tillegg oppnås høyere temperatur i brannrommet og dermed kanalnett. I scenario 5.2 kan det være fare for brannspredning på grunn av høy temperatur i kanal. CO-nivået er ukritisk. Sikten i scenario 5.2 er dødelig i nabo-leilighet og korridor. For scenario 5.1 er siktreduksjonen neglisjerbar og ufarlig.

6.8.1.1 Trykkoppbygning

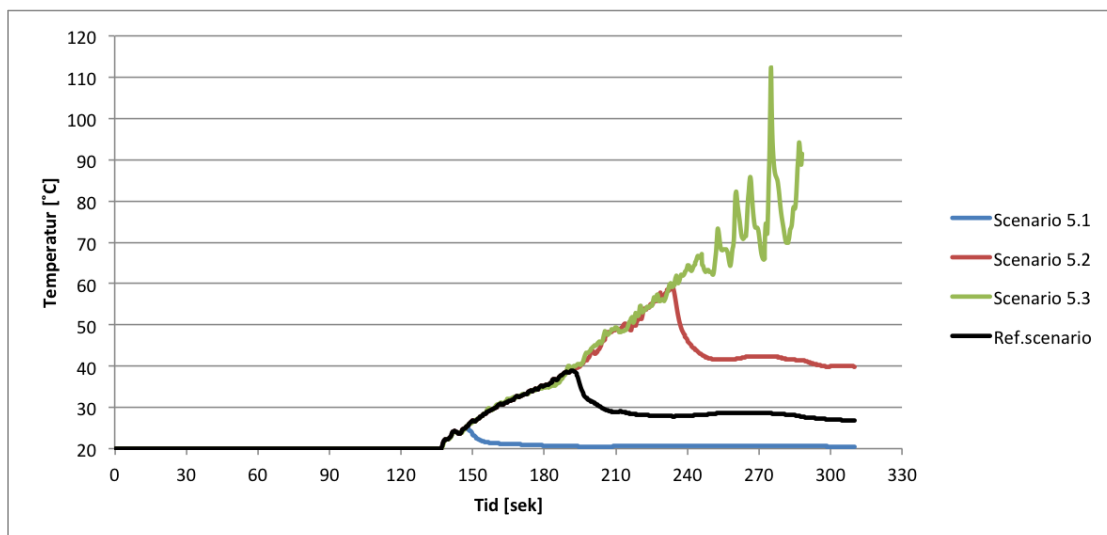


Figur 6.59: Trykkoppbygning i brannleiligheten

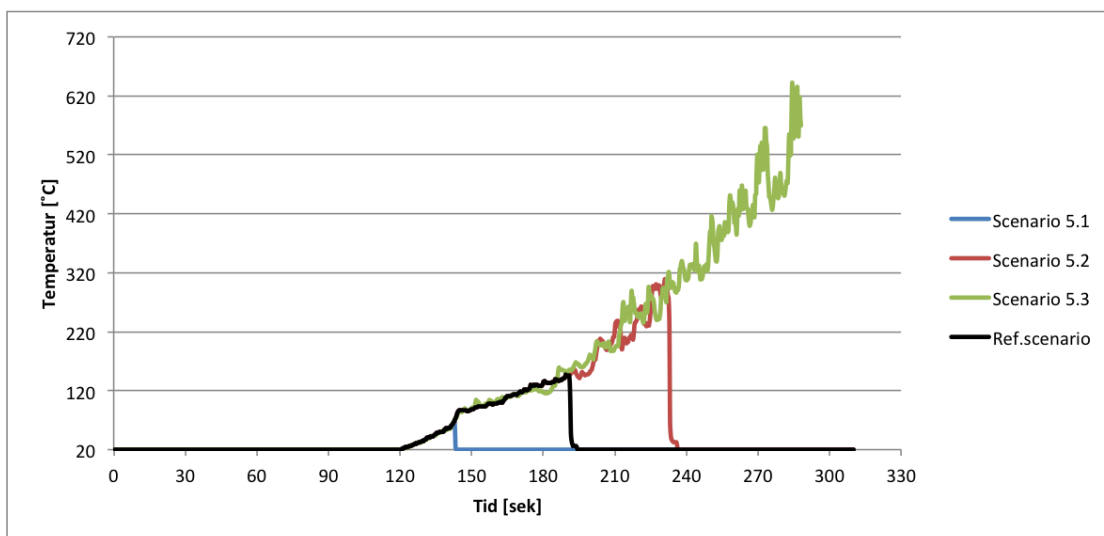
6.8.1.2 Temperatur



Figur 6.60: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet

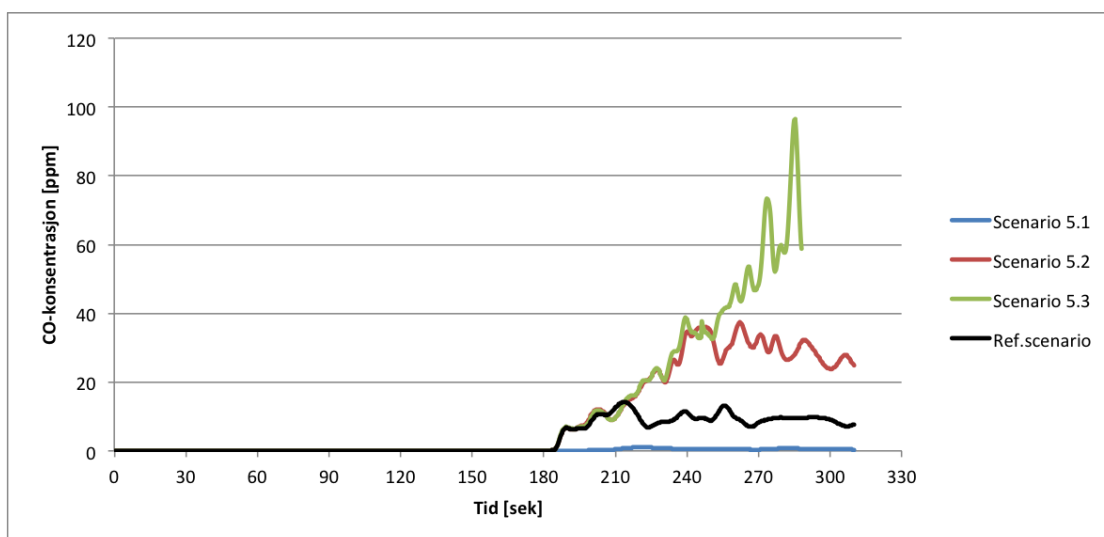


Figur 6.61: Temperatur oppunder himling i naboileiligheten

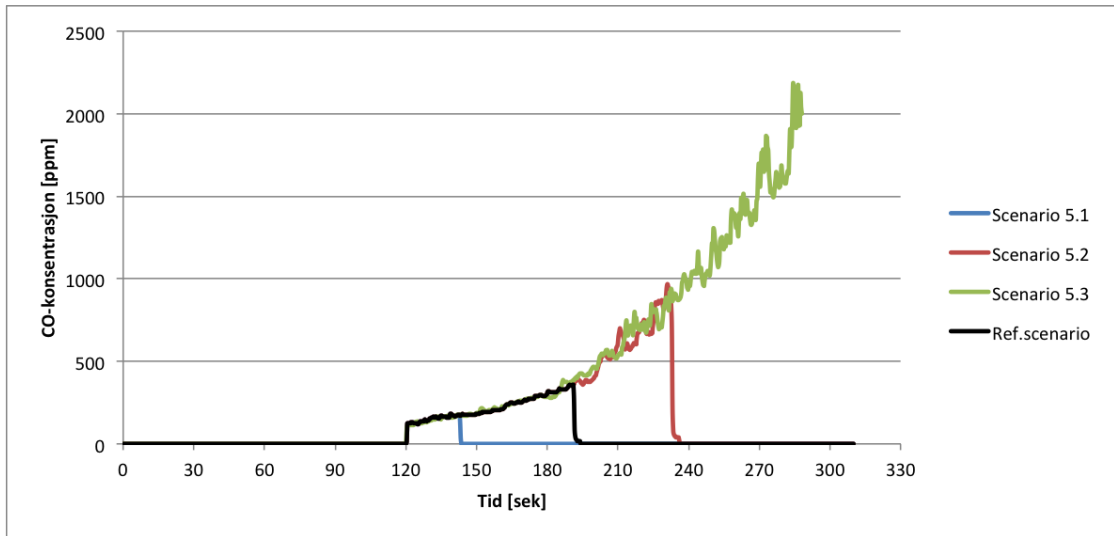


Figur 6.62: Temperatur i tilluftskanalen

6.8.1.3 CO-konsentrasjon

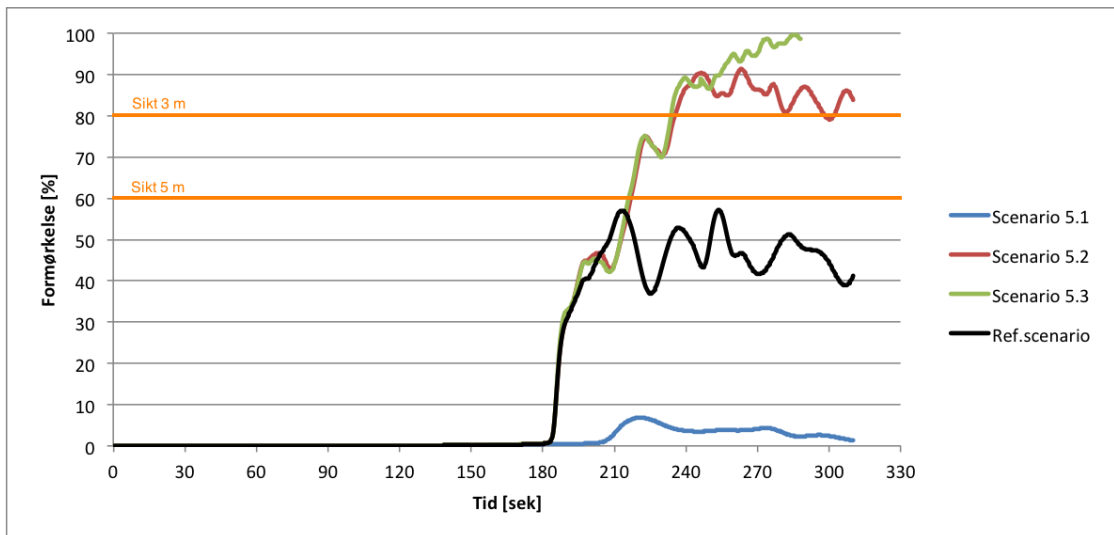


Figur 6.63: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboelighet, 2 m over gulvet

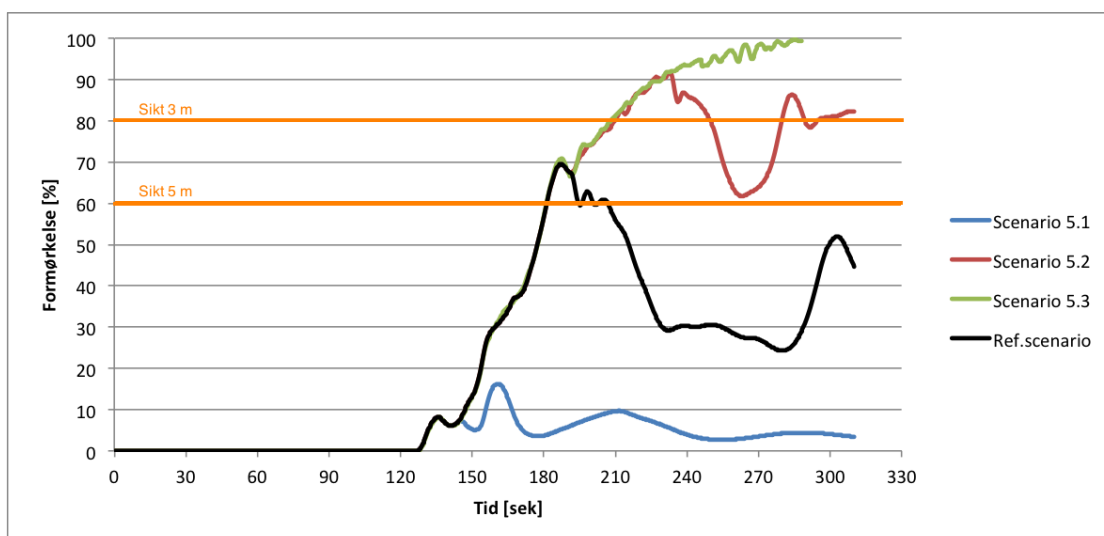


Figur 6.64: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen

6.8.1.4 Sikt

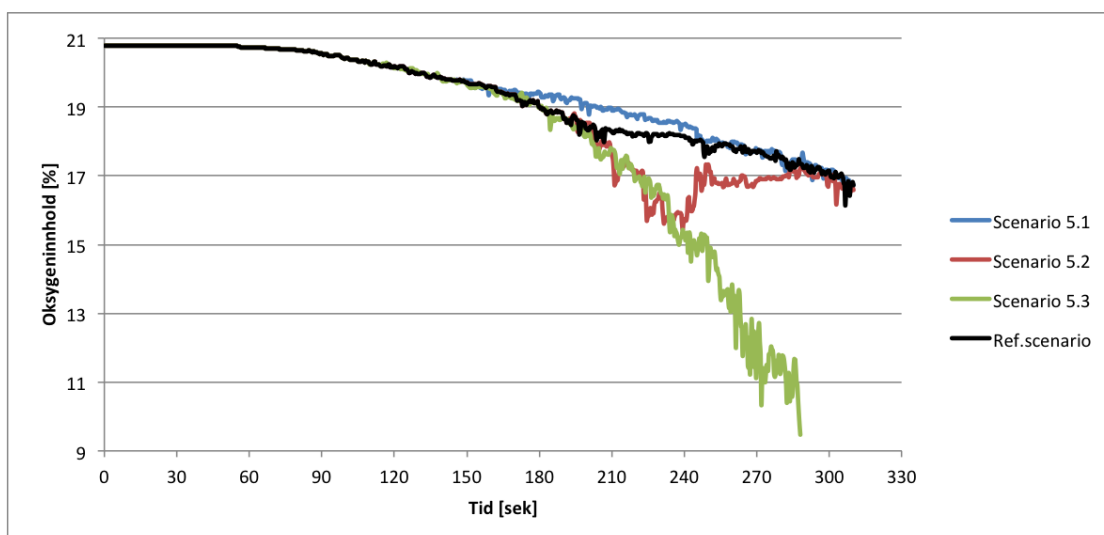


Figur 6.65: Formørkelse i naboelilighet, 2 m over gulvet



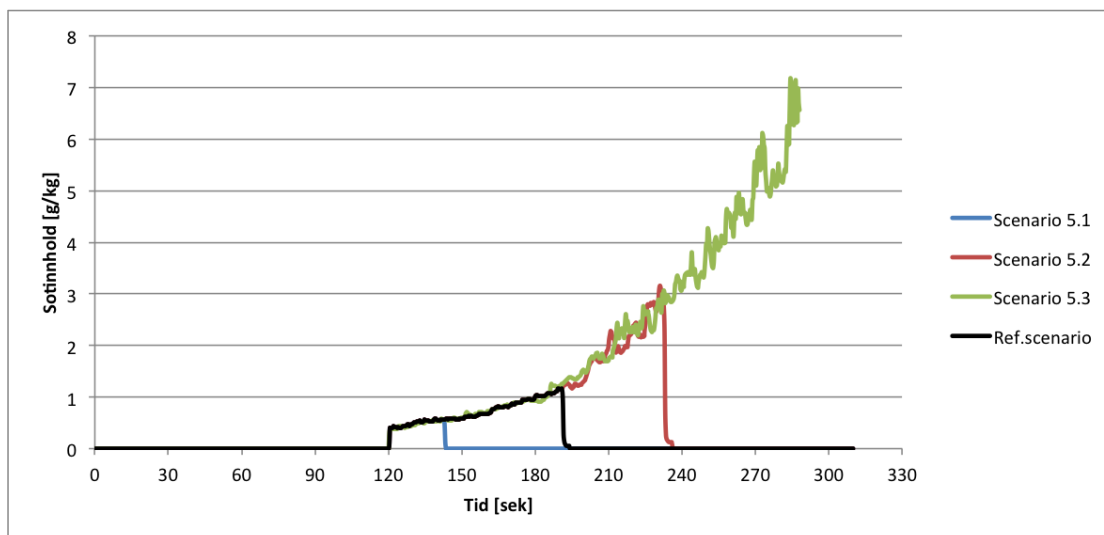
Figur 6.66: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet

6.8.1.5 O₂-innhold



Figur 6.67: O₂-innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet

6.8.1.6 Sot



Figur 6.68: Sotinnhold i tilluftskanalen

6.9 Scenario 6: Luftlekkasje

Denne parameteren blir undersøkt da det er av interesse å se hvordan lekkasjearealet påvirker trykkutligningsgraden i leiligheten. Røykspredning er styrt av trykkforskjeller og følgelig er lekkasjearealet av stor betydning. I referansescenariet er det benyttet et luftlekkasjeareal som tilsvarer tettheten til en leilighet bygget etter passivhusstandard. Det er allikevel en rekke bygg og mindre leiligheter som ikke er bygget etter denne standarden. Det er derfor valgt å undersøke for kravene definert for lavenergihus og standard TEK 10 leiligheter, se avsnitt 5.1.3. Verdiene for scenario 6 er presentert i tabell 6.13.

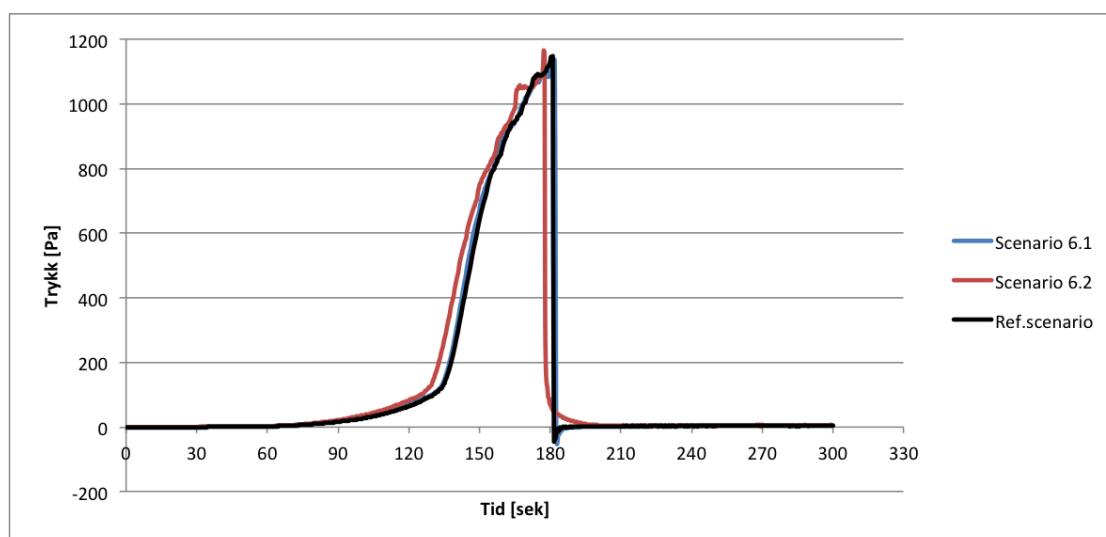
Simulering	Standard	Lekkasjetall [h^{-1}]	Lekkasjeareal [cm^2]	Endring
6.1	Lavenergi	1.0	29.2	67%
6.2	TEK 07/10	1.5	43.8	150%

Tabell 6.13: Inndata og variasjoner til scenario 6

6.9.1 Resultater Scenario 6

Resultatene for dette scenariet var langt i fra forventet. Av figur 6.69 kan en se at trykkoppbygningen i brannrommet var tilnærmet uendret med endret lekkasjeareal. Dette strider mot teorien som sier at større lekkasjeareal medfører lavere trykkoppbygning. Det er valgt å ikke vise de resterende grafene for dette scenariet i hoveddelen av oppgaven, da de anses som uriktige. Resultatene presenteres i vedlegg C.2.

6.9.1.1 Trykkoppbygning



Figur 6.69: Trykkoppbygning i brannleiligheten

6.10 Scenario 7: Ventilplassering

Det er i hovedsak to plasseringsmuligheter for ventiler: tak og vegg. Det er av størst interesse å se på ventiler plassert høyt i rommet, så lavtsittende veggventiler utelukkes. I referansescenariet var ventilen plassert på veggen oppunder taket. I tillegg til denne plasseringen er det ønskelig å se på en horisontalt montert ventil i samme område: oppunder taket ved veggen. I tillegg vil en ventil senket 20 cm ned fra himling midt i rommet og en ventil med samme plassering men ikke senket også ses på i analysen. Verdiene for scenario 7 er presentert i tabell 6.14.

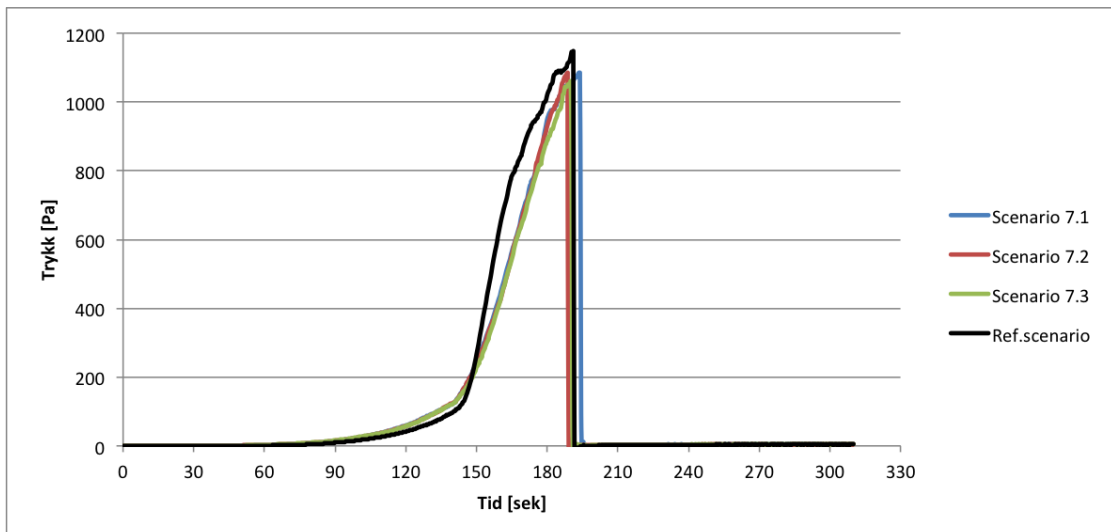
Simulering	Ventilplassering	Høyde [m]
7.1	Horisontalt v/vegg	2.2
7.2	Horisontalt midt i rom	2.2
7.3	Horisontalt midt i rom	2.4

Tabell 6.14: Inndata og variasjoner til scenario 7

6.10.1 Resultater Scenario 7

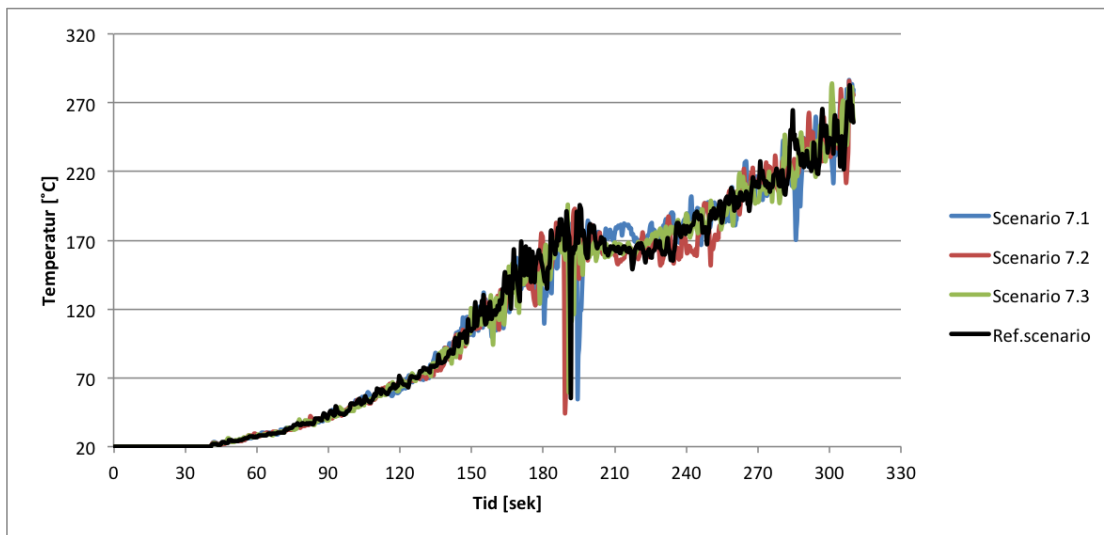
Samtlige av delscenariene følger tilnærmet identisk utvikling som referansescenariet. Det registreres dermed at ulik plassering av ventilene har lite å si for røykspredningen i dette tilfellet. For kommentarer rundt brannforholdene refereres derfor til referansescenariet, se avsnitt 6.3.9. Det kan imidlertid tenkes at en ventilplassering rett over brannstedet kan ha utslag. Dette havner utenfor arbeidsomfanget til oppgaven og vil ikke bli undersøkt nærmere.

6.10.1.1 Trykkoppbygning

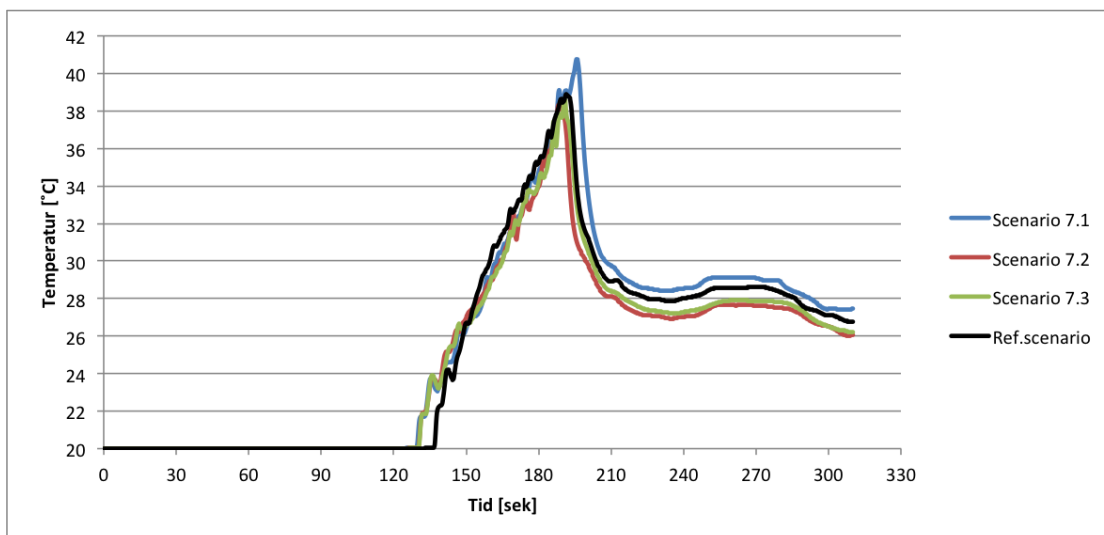


Figur 6.70: Trykkoppbygning i brannleiligheten

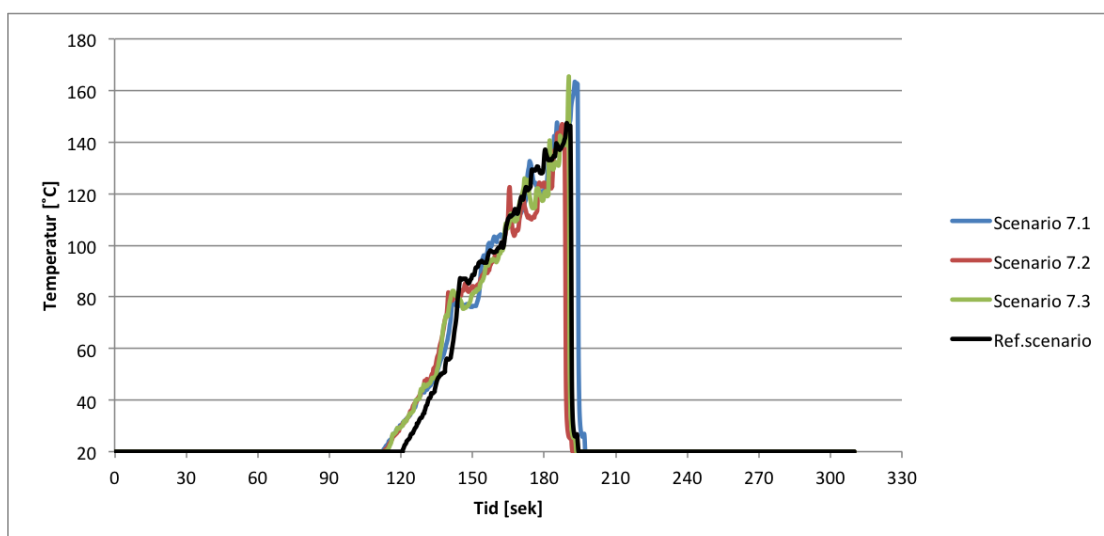
6.10.1.2 Temperatur



Figur 6.71: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet

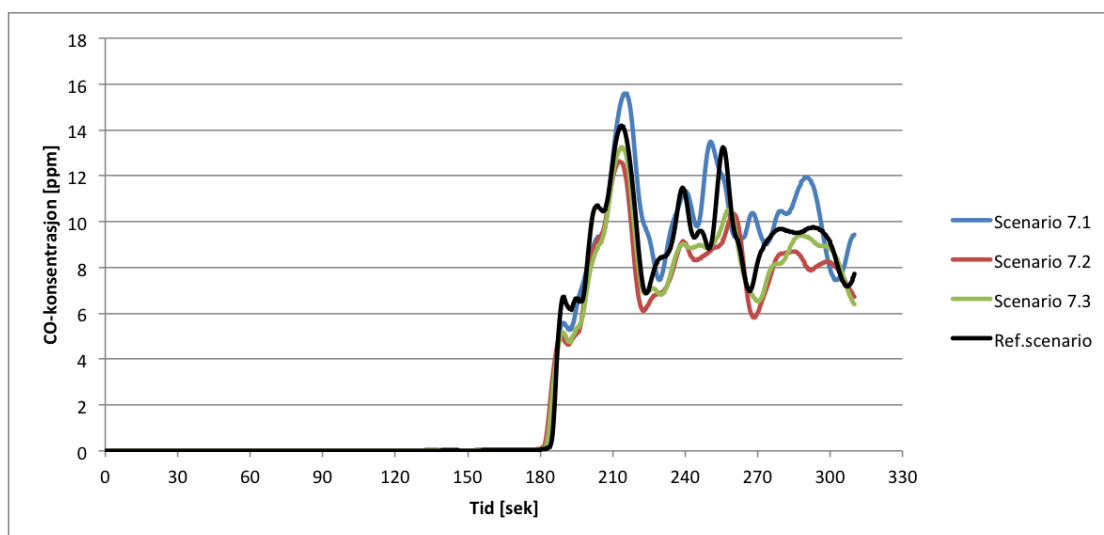


Figur 6.72: Temperatur oppunder himling i naboileiligheten

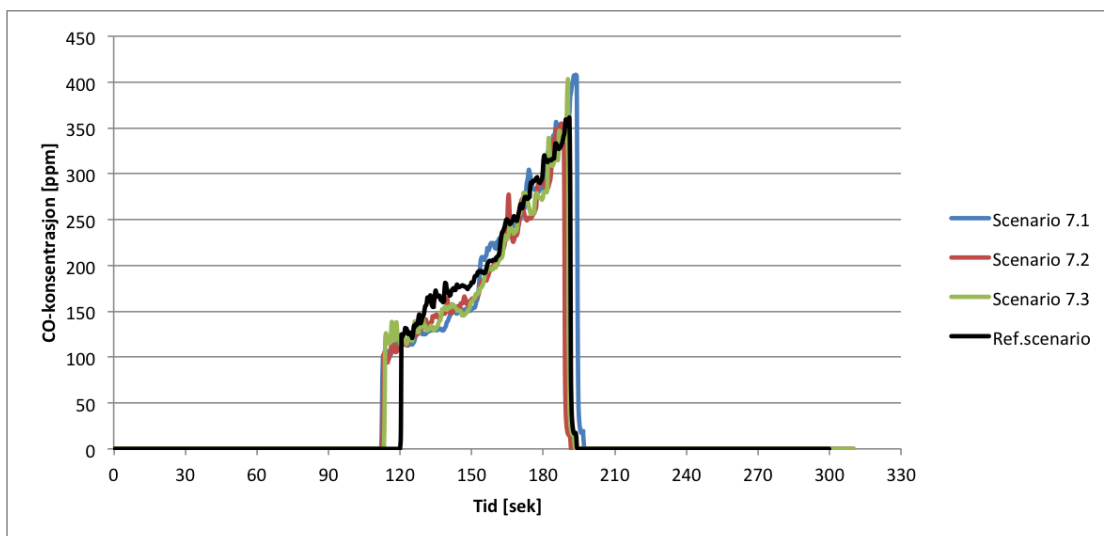


Figur 6.73: Temperatur i tilluftskanalen

6.10.1.3 CO-konsentrasjon

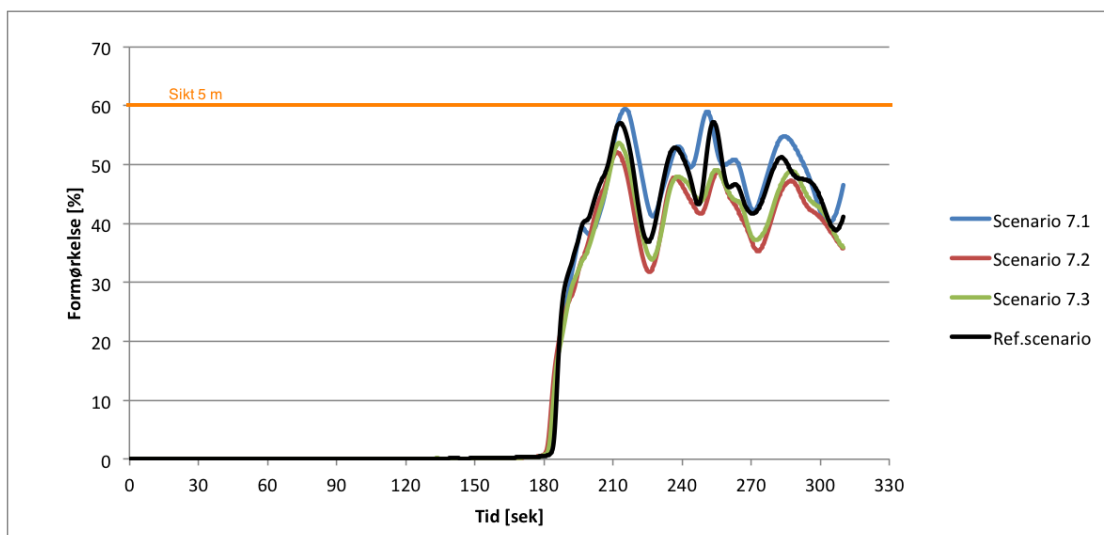


Figur 6.74: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboelilighet, 2 m over gulvet

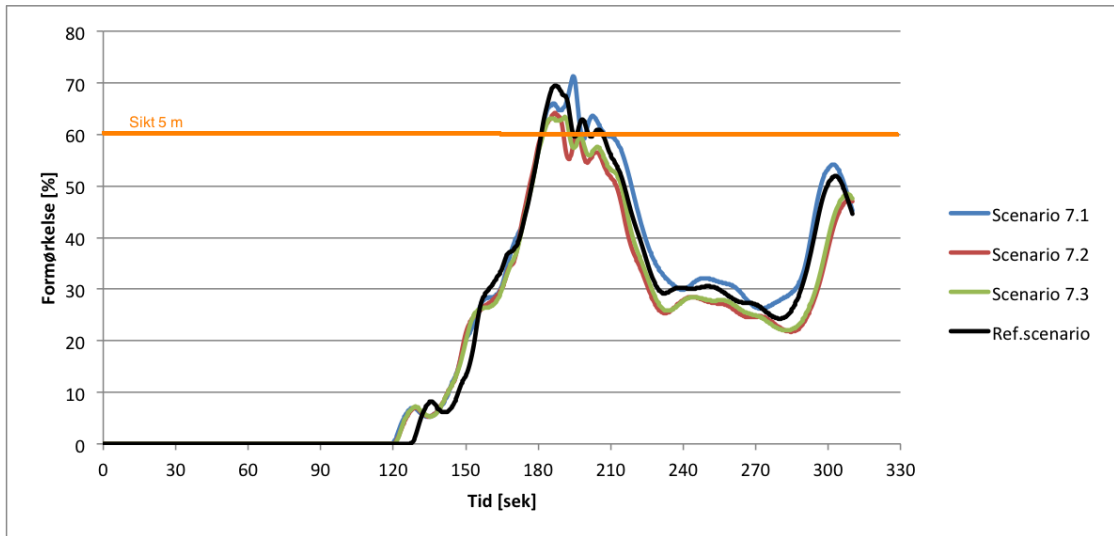


Figur 6.75: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen

6.10.1.4 Sikt

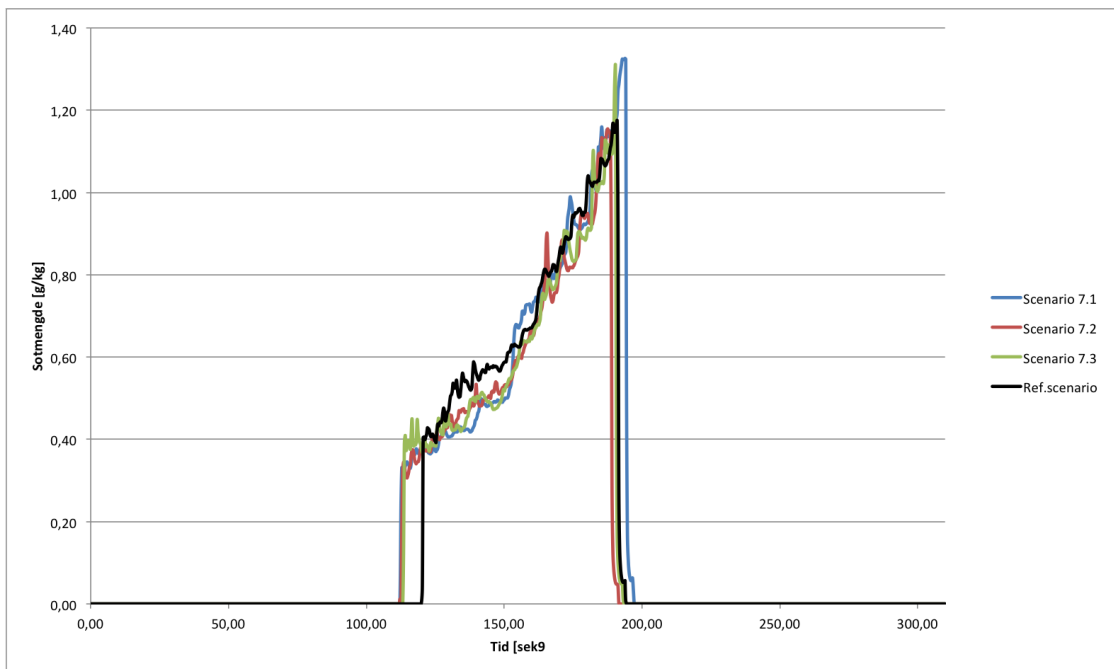


Figur 6.76: Formørkelse i naboelilighet, 2 m over gulvet



Figur 6.77: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet

6.10.1.5 Sot



Figur 6.78: Sotinnhold i tilluftskanalen

6.11 Scenario 8: Ventilasjonsforhold

I referansescenariet var alle boenhetene fullstendig lukket, med unntak av brannboenheten som lekker gjennom fasaden. Dette er imidlertid ikke alltid tilfelle, og det er av interesse å undersøke hvorvidt endrede ventilasjonsforhold i bygget påvirker røykspredningen via kanalnettverket. Simuleringer der et vindu står åpent i nabo-leilighetene vil dermed gjennomføres. Et scenario vil være at vinduet står åpent i leilighet 1.3, lengst fra brannenheten, mens det i et annet vil være leiligheten nærmest som har vinduet åpent. Et tredje scenario er at begge leilighetene har åpent vindu.

Simulering	Ventilasjonsforhold
8.1	Åpent vindu i leilighet 1.3
8.2	Åpent vindu i leilighet 1.2
8.3	Åpent vindu i leilighet 1.2 og 1.3

Tabell 6.15: Inndata og variasjoner til scenario 7

6.11.1 Resultater Scenario 8

Trykkoppbygning: I scenario 8.1 oppnås en anelse lavere trykktopp enn ved referansescenariet, se figur 6.80. Av grafen kommer det frem at vindusbrudd skjer litt tidligere i 8.1 enn i referansescenariet. Det samme gjelder for scenario 8.3. Det forekommer derimot en trykktoppøkning på rundt 100 Pa i scenario 8.2 mot referansen. Denne trykktoppen kommer imidlertid noen sekunder senere, og skyldes at vinduet bruker lengre tid på å knuse. Det er uvisst hvorfor såpass stor forskjell i tid til vindusbrudd forekommer mellom 8.2 og de øvrige delscenarioene. Av figur 6.79 sees det at luftstrømmen i tilluftskanalen inn mot brannleiligheten følger lik kurve for alle scenariene frem til vindusbrudd. Bortsett fra at det i 8.2 tar lengre tid før vinduet knuser kan det se ut som om ventilasjonsforholdene i omliggende leiligheter spiller liten rolle for trykkutviklingen.

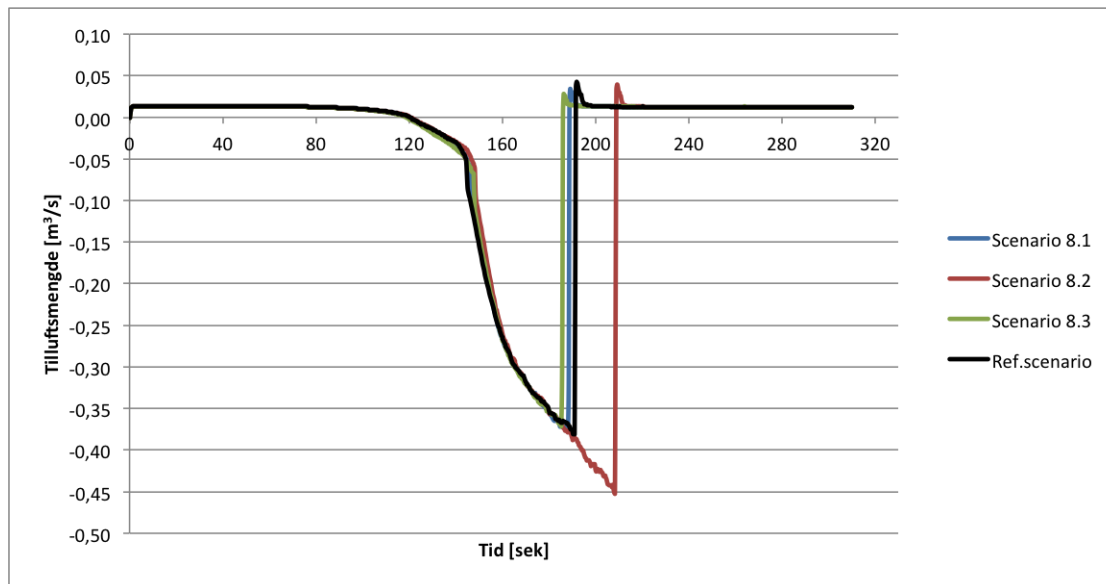
Temperatur: Samme tendens som for trykkoppbygning ses i temperaturkurvene: de er alle nokså like med unntak av scenario 8.2. Av figur 6.81 ses det at i 8.2 skjer en temperaturøkning i forlengelsen av vindusbruddet, i motsetning til de resterende

scenariene. Forskjellene utgjevnes ved omtrent 270 sekunder. Også temperaturen i naboeliligheten følger samme trend, se 6.82. Det observeres høyest temperatur i scenario 8.2, og dette er naturlig da en lenger trykkavlastningsperiode oppleves i dette scenariet enn i de øvrige.

CO, O₂ og siktnivåer: CO-konsentrasjon er gitt i figur 6.84 og 6.85. Ingen av scenariene medfører kritiske verdier. Røykspredningen er nokså lik i scenario 8.1 og 8.3 som referansescenariet, mens 8.2 følger samme tendens som trykk- og temperaturutviklingen. Sikten i naboeliligheten er over 5 meter i 8.1, mens 8.3 opplever korte intervaller med omtrent 5 meter sikt, se figur 6.86. Igjen er 8.2 verst, der sikt under 3 meter forekommer. I korridoren er sikten aldri under 3 meter for noen av scenariene, men sikt under 5 meter forekommer i kortere perioder, og spesielt i 8.2, se figur 6.87. O₂-nivået synker aldri under kritisk mengde for noen av scenariene, se figur 6.88.

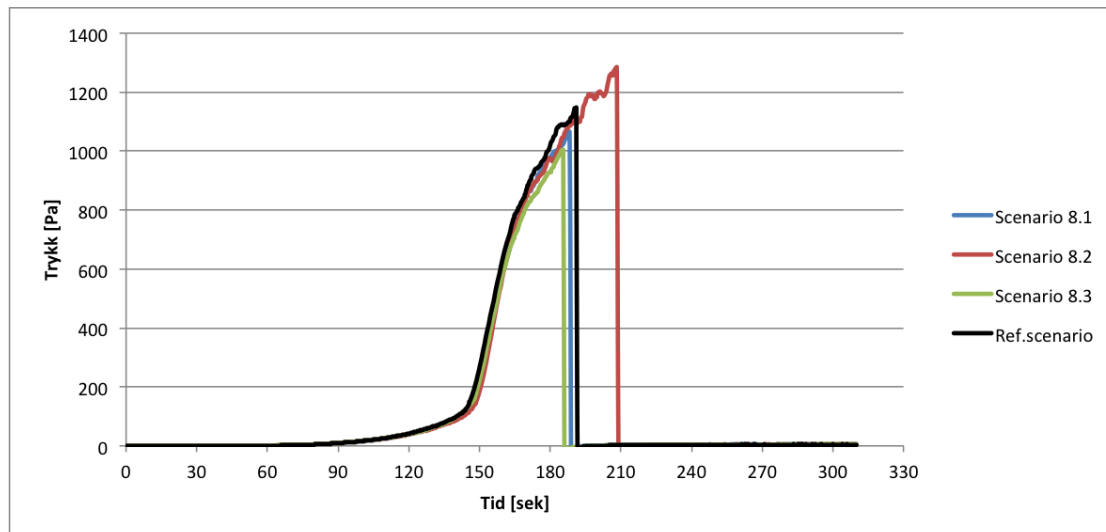
Konklusjon: Den største og mest utslagsgivende forskjellen observert i disse scenariene er tiden til vindusbrudd i scenario 8.2. Dette medførte høyere trykk over en lengre periode, og dermed lenger røykspredningsperiode. Videre registreres det kun mindre forskjeller i perioden frem til vindusbrudd.

6.11.1.1 Tilluftsmengder



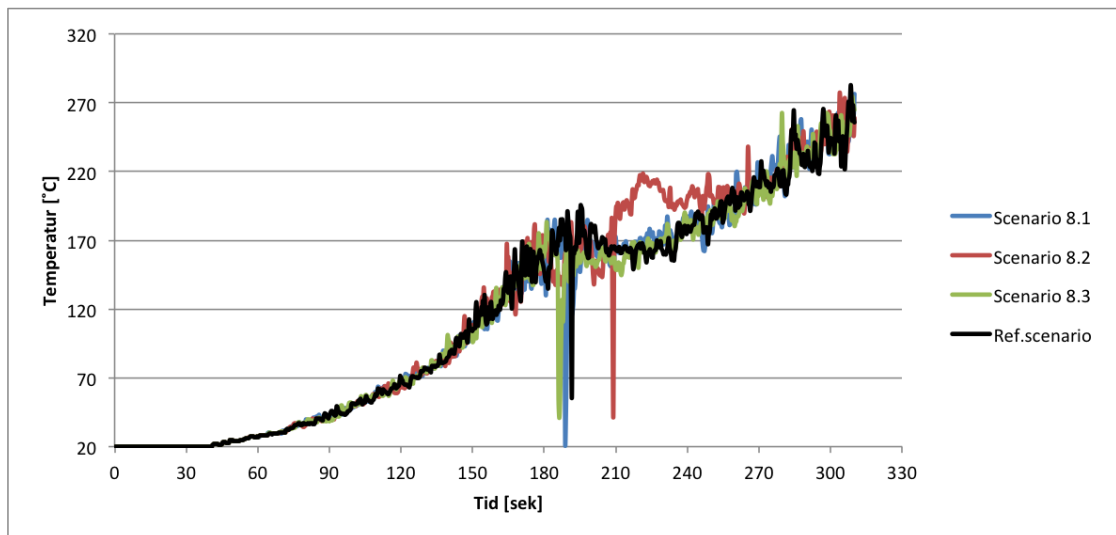
Figur 6.79: Tilluftskurve brannleilighet

6.11.1.2 Trykkoppbygning

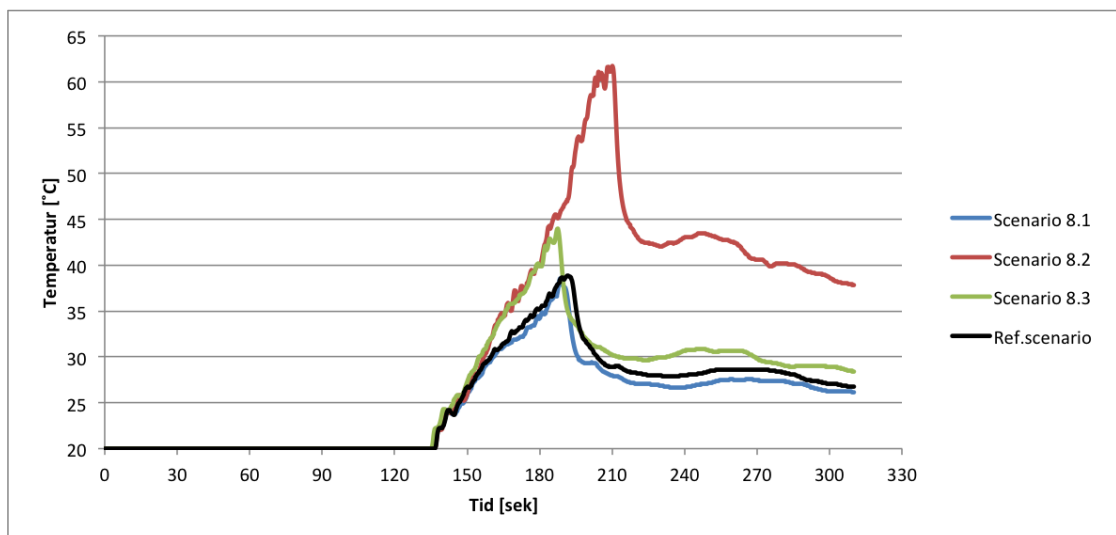


Figur 6.80: Trykkoppbygning i brannleiligheten

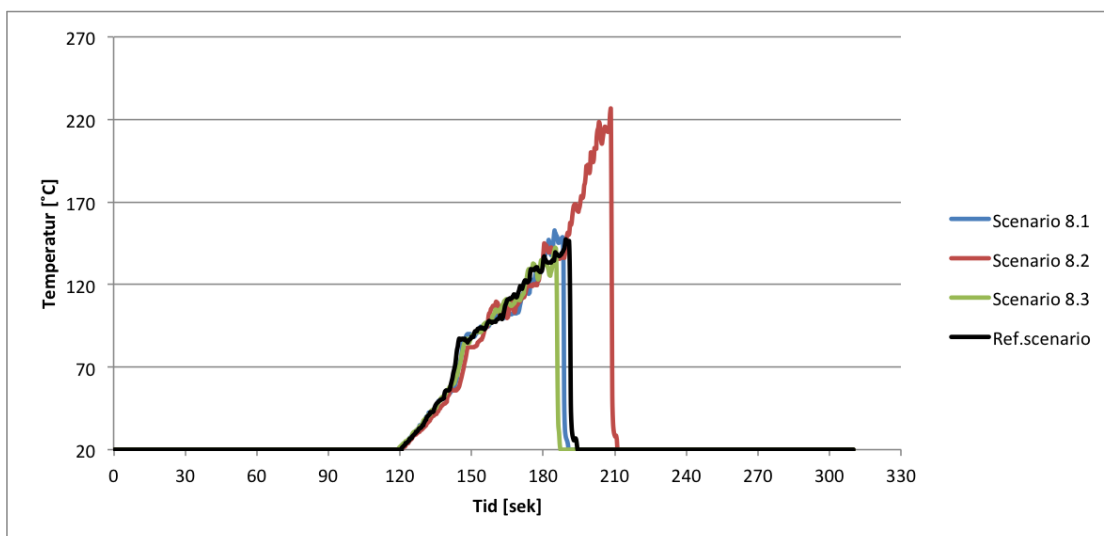
6.11.1.3 Temperatur



Figur 6.81: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1.8 m over gulvet

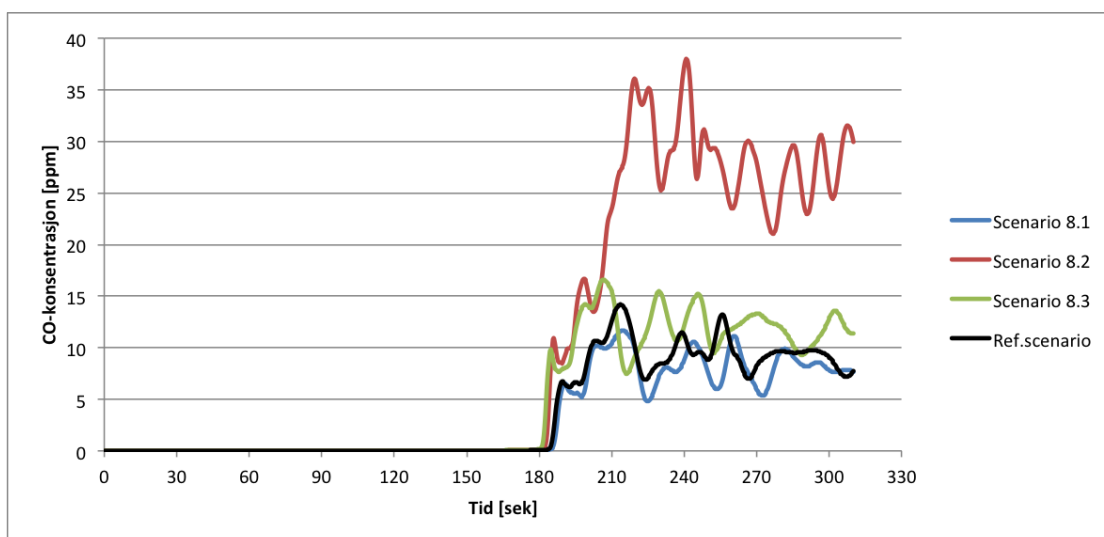


Figur 6.82: Temperatur oppunder himling i naboileiligheten

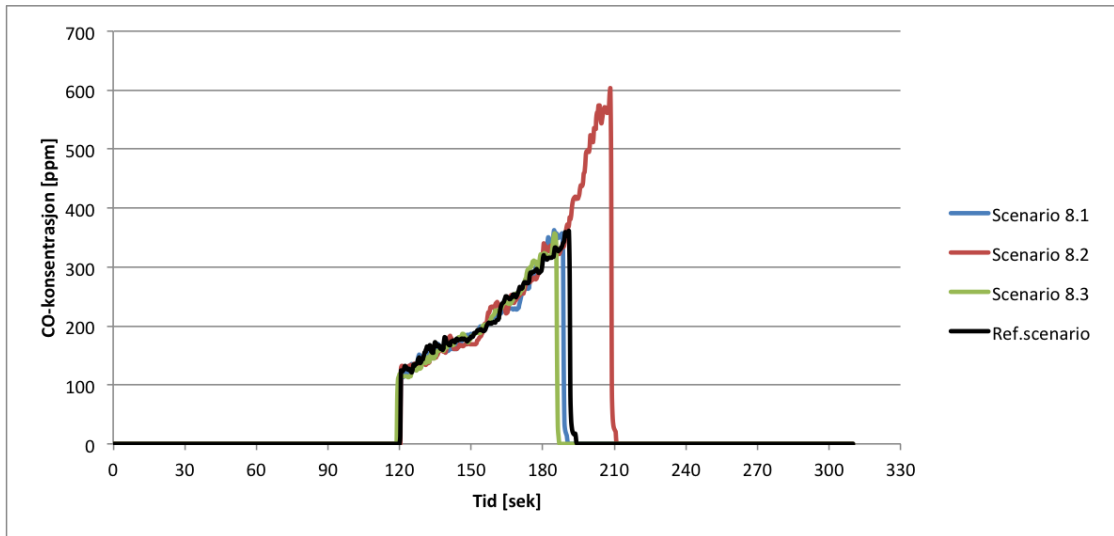


Figur 6.83: Temperatur i tilluftskanalen

6.11.1.4 CO-konsentrasjon

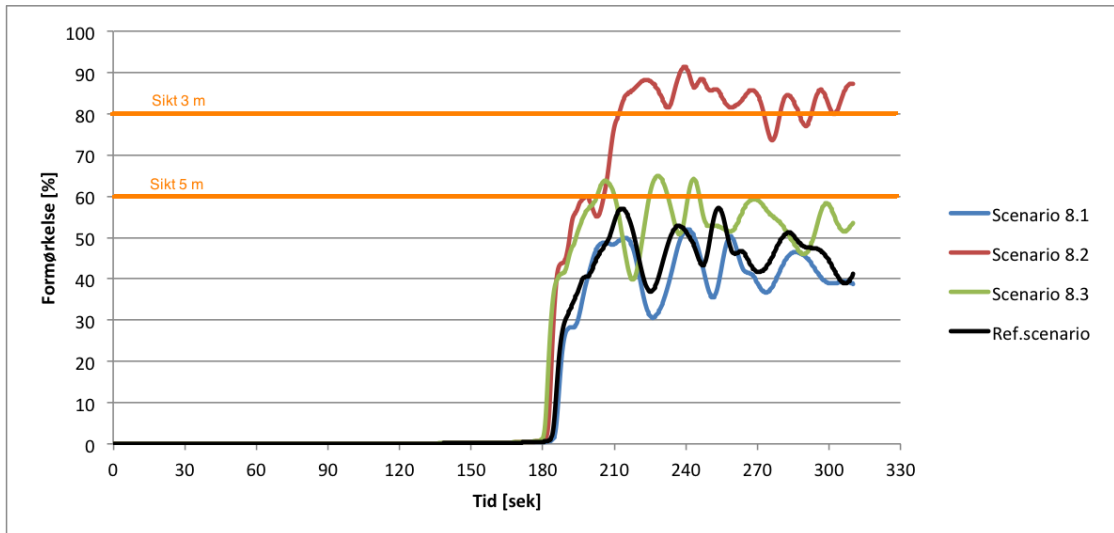


Figur 6.84: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboelilighet, 2 m over gulvet

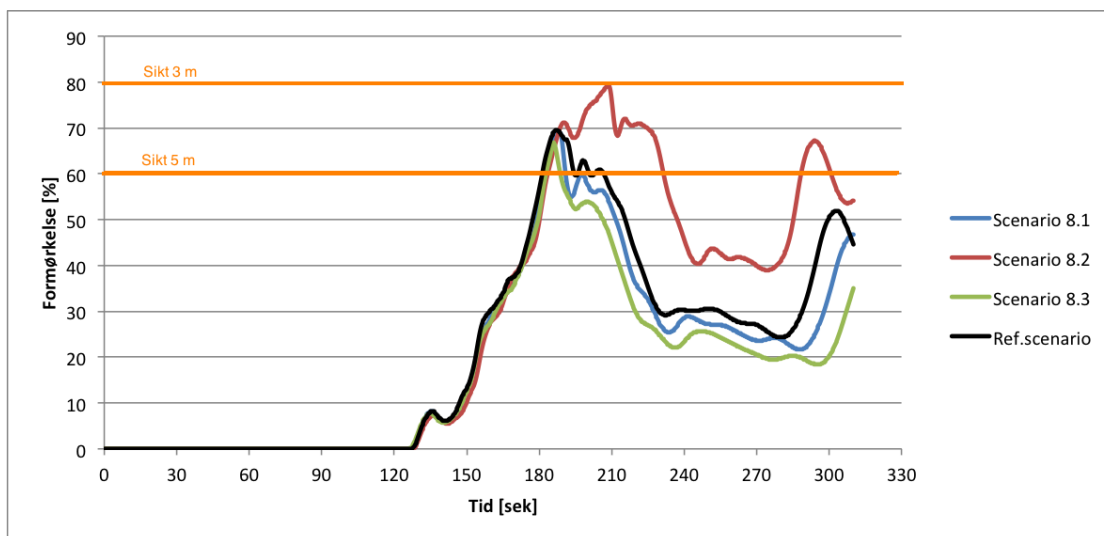


Figur 6.85: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen

6.11.1.5 Sikt

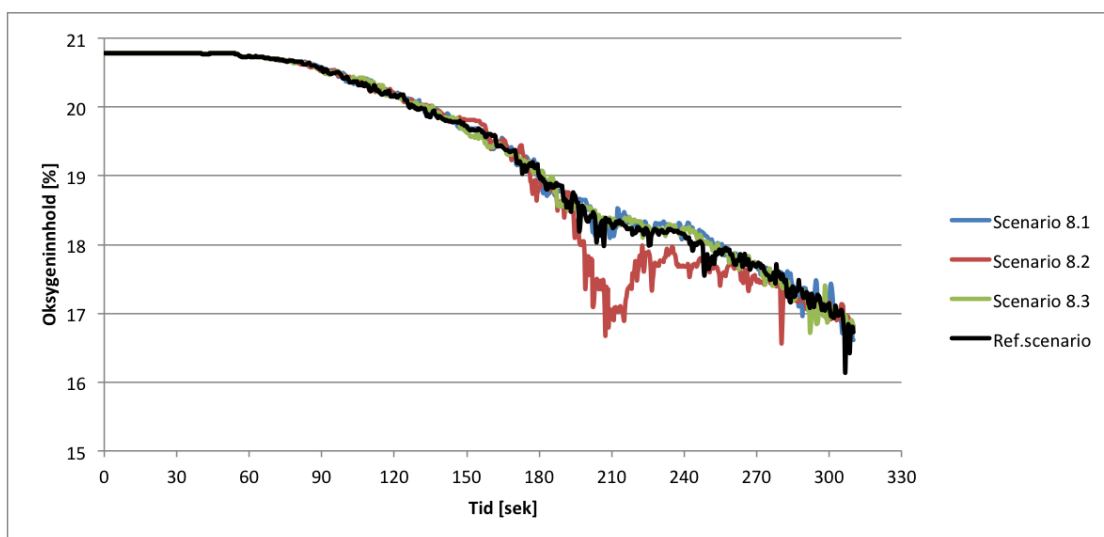


Figur 6.86: Formørkelse i naboelilighet, 2 m over gulvet



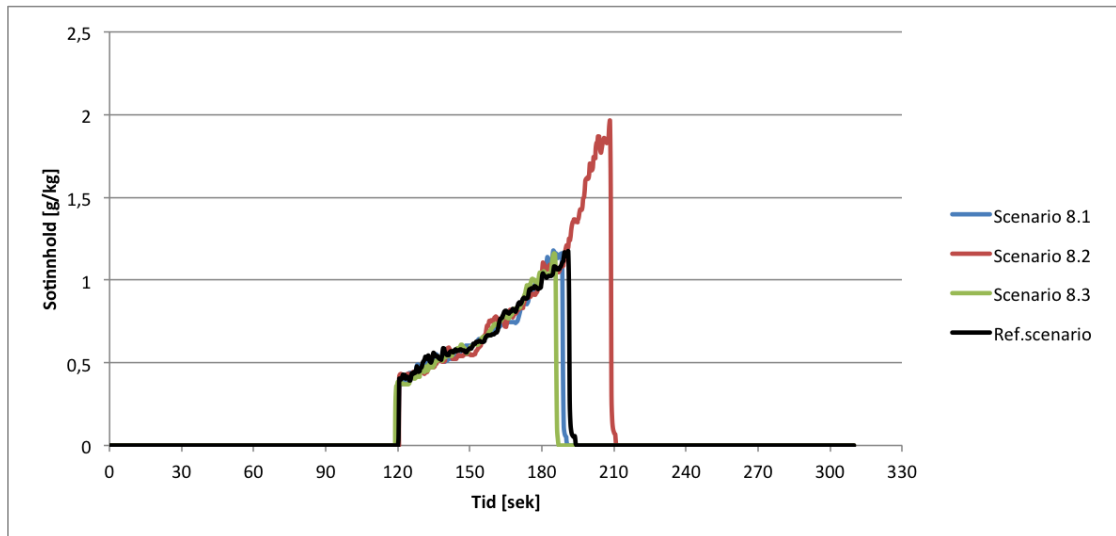
Figur 6.87: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet

6.11.1.6 O₂-innhold



Figur 6.88: O₂-innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet

6.11.1.7 Sot



Figur 6.89: Sotinnhold i tilluftskanalen

7 Risikoanalyse

Risiko er produktet av sannsynligheten for at en hendelse inntreffer og konsekvensene det medfører. I dette avsnittet vil det foretas en kvalitativ vurdering av risikobildet basert på litteraturstudiet og resultatene fra simuleringene. Dette er nødvendig å gjøre for å kartlegge bruksområdene til modellen nærmere. I tillegg kan en risikovurdering danne grunnlag for forebyggende tiltak. I de scenariene der man oppdager høy risiko, kan det være nødvendig å ta grep for å redusere risikoen.

Å foreta en kvantitativ analyse av risikobildet krever store mengder data og er tidkrevende. Derfor begrenser oppgaven seg til å gjøre en overordnet kvalitativ vurdering. Det blir foretatt en semikvantitativ analyse der risikobildet blir presentert som en 5x5 matrise. For hvert scenario blir sannsynlighet og konsekvens vurdert, og plassert i tilhørende rute i matrisen. Det blir etterstrevd kvantitative verdier så langt analysen er tjent med det, uten at dette feltet blir for omfattende.

7.1 Sannsynlighet

Det er en viss usikkerhet knyttet til verdiene valgt for de ulike scenariene. Det er svært vanskelig å kvantifisere verdien av parameterne da den er avhengig av en rekke faktorer. For eksempel er varmeavgivelsesraten avhengig av geometri i rommet, forbrenningsmateriale, brannlast, tilgang på oksygen osv. Hvert av scenariene vil likevel gjennomgås for å gjøre en kvalitativ vurdering av sannsynligheten for hvert scenario. Grunnlaget for vurderingene er forankret i litteraturgjennomgang, samt den innsikten som er tilegnet under arbeidet med oppgaven. Videre gis det en karakter, på en skala fra 1 til 5, der 5 er svært sannsynlig og 1 er lite sannsynlig. Sannsynlighetsgraderingene er gitt i tabell 7.1.

Sannsynlighetsgradering	Sannsynlighetskriterier
5	Sannsynligheten for at dette kan forekomme regnes som høyst sannsynlig
4	Sannsynligheten for at dette kan forekomme regnes som sannsynlig
3	Sannsynligheten for at dette kan forekomme regnes som middels sannsynlig
2	Sannsynligheten for at dette kan forekomme regnes som mindre sannsynlig
1	Sannsynligheten for at dette kan forekomme regnes som svært lite sannsynlig

Tabell 7.1: Sannsynlighetsgradering

7.2 Konsekvenser

En av grunnpillarene i god brannprosjektering er å minimere konsekvensene dersom en brann skulle oppstå. For å oppnå dette er det stadig en avveining mellom kostnaden på sikkerhetstiltak og nytten dette gir i form av reduserte konsekvenser. Det er blant annet nedfelt i TEK 10 §11-1 der det heter seg at:

”Hovedformålet med forskriftens krav til sikkerhet ved brann er å redusere sannsynligheten for tap av liv og helse til et akseptabelt, lavt nivå.” Videre står det at ”Tiltak som ivaretar personsikkerheten vil vanligvis også bidra til å sikre materielle verdier og begrense miljø- og samfunnsmessige konsekvenser” [4].

Med dette som grunnlag deles konsekvensbildet inn i fem trinn, som gitt i tabell 7.2. Tålegrensene referert til i tabellen samsvarer med de gitt i tabell 6.4. Det må presiseres at de materielle konsekvensene gitt er begrenset av verdien til det som finnes i bygget. Det vil si at spredning til andre bygninger, tap av kvantifiserbare gjenstander og liknende, ikke blir vurdert her.

Konsekvens	Konsekvenskriterier
Svært stor	Svært stor fare for tap av liv som følge av omfattende gass- og røykspredning. Dødelige nivåer på sikt, CO- og O ₂ konsentrasjon.
Stor	Stor fare for tap av liv som følge av gass- og røykspredning. Kritiske nivåer på sikt, CO- og O ₂ konsentrasjon.
Middels	Kritiske siktforhold i både nabo-leilighet og korridor. Mindre enn 3 meter sikt i korridor. Middels fare for tap av liv.
Liten	Liten fare for liv og begrensede materielle skader. Kritiske siktnivåer i kun korridor.
Svært liten	Ingen fare for liv og små til ingen materielle skader. Neglisjerbare nivåer for sikt, CO- og O ₂ konsentrasjon.

Tabell 7.2: Konsekvenskriterier

7.3 Vurdering av risiko

7.3.1 Scenario 0

Det vil her blir gjort en vurdering av risikoen tilknyttet referansescenariot. Oppbygningen av scenariet er beskrevet i seksjon 6.2.

Sannsynlighet: Referansescenariet har som hensikt å representere en situasjon som både er relativt sannsynlig og konservativ. For inputdataene er det derfor gjort valg utifra både hva som er realistisk og som kan utgjøre en fare. Sannsynligheten for at akkurat denne situasjonen opptrer må sies å være minimal. På en annen side skal den representere brann i en typisk leilighet, som faktisk skjer med jevne mellomrom. Modellen er forenklet i forhold til en ordinær leilighet, men den er representativ for liknende brannrom. At samtlige av parameterne skal være i sjiktet som beskrevet i referansescenariet er liten, og en forandring i en av de vil kunne forandre brannsituasjonen. Allikevel ansees modellen for å være et relativt realistisk scenario. Med dette som grunnlag defineres følgende sannsynlighetsgrad:

- Referansescenariet tildeles sannsynlighetsgrad 3.

Konsekvens: Av tabell 7.3 sees det at referansescenariet oppnår kritiske forhold i kun korridor. Dermed tildeles følgende konsekvensgrad:

- Referansescenariet har liten konsekvens.

7.3.2 Scenario 1

Sannsynlighet: Som tidligere nevnt er det vanskelig å prediktere nøyaktig varmeavgivelsesrate, og verdier spriker stort i litteraturen. Det er allikevel mulig å fastslå et realistisk intervall for raten. Brannscenarioet hadde som mål å simulere en brann som ikke gikk til overtenning. Det er dermed en forholdsvis liten brann, sammenliknet med de som går til overtenning, som kan ha varmeavgivelsesrate i størrelsesorden 10 MW. Sånn sett kan man si at brannsituasjonen kun er representativ for en andel av de brannene som oppstår. I en brann- og uhellsstatistikk fra perioden 2003-2007, utarbeidet av DSB, er det registrert 2177 branner i boligblokker [98]. Dette gir et snitt på 435 branner per år. Det er etterstrevd å finne statistikk som sier noe om størrelsen til brannene, uten hell. Det er allikevel funnet statistikk for branner i boliger generelt. I 2007 var det kun 12% av brannene som gikk til overtenning. 35% av brannene pågikk kun i en del av objektet, noe som er gjeldende for oppgavens scenario.

Sannsynligheten for at en brann i denne størrelsesorden opptrer vurderes til å være relativt høy sammenliknet med større branner. Dersom en brann skulle forekomme er scenario 1 middels sannsynlig. Samtlige av delscenariene i scenario 1 vurderes til å ha like stor sannsynlighet for å skje.

- Sannsynlighetsgrad 3 for alle scenariene.

Konsekvens: Av tabell 7.3 ses det at siktforholdene blir kritiske kun i korridoren for samtlige av delscenariene. Det er såpass små variasjoner mellom de ulike scenariene, så de vurderes til å ha like store konsekvenser.

- Liten konsekvens for alle scenariene.

7.3.3 Scenario 2

Sannsynlighet: Scenario 2.1, med en brannvekst på 75 sekunder, som er svært raskt, gjelder i hovedsak der man har ideelle forhold for rask brannvekst. Typiske kjennetegn er lett antennelig materiale og store antennelsesoverflater [63]. Dette er eksempelvis gjeldene for enkelte butikker. At dette skal hende i en boligbrann er derfor lite sannsynlig. For scenario 2.2, som representerer en hurtig brannvekst,

angir NS-EN 1991-1-2 teater og bibliotek som typiske hendelsessteder for denne typen brannvekst. Dette er steder som innehar relativt høy brannlast og lett antennelig materiale som sørger for rask utvikling [30]. Det er fornuftig å anta at denne typen brannvekst opptrer med relativt liten hyppighet i boligbranner, men fortsatt oftere enn scenario 2.1. For scenario 2.3 er det en brannvekst på 450 sekunder, som er noe tregere enn det litteraturen anser som mest vanlig for boligbranner (300 sekunder). Avviket fra dette er like stort som for scenario 2.2 og forfatterne av oppgaven antar derfor lik sannsynlighet for opptreden. I scenario 2.4 skjer brannveksten på 600 sekunder. Det er ikke funnet typiske arenaer der slik brannvekst opptrer, og det antas dermed liten hyppighet for dette scenariet. Sannsynlighetsbildet blir dermed vurdert slik:

- Sannsynlighetsgrad 2 for scenario 2.1 og 2.4.
- Sannsynlighetsgrad 3 for scenario 2.2 og 2.3.

Konsekvens: Av tabell 7.3 ses det at samtlige av scenariene har kritiske siktforhold i både naboelighet og korridor. I scenario 2.2 opptrer dødelige siktforhold i korridoren. Basert på dette tildeles følgende konsekvensgrader:

- Stor konsekvens for scenario 2.2.
- Middels konsekvenser for 2.1, 2.3 og 2.4.

7.3.4 Scenario 3

Sannsynlighet: Basert på rapporten til Robbins og Wade [82] er det sannsynlig med en sotproduksjon på 0.07 kg/kg forbrent materiale. I tillegg benytter Bjelland en sotproduksjon på 0.08 kg/kg forbrent materiale, da dette er anbefalt av SFPE Handbook of Fire Protection [79]. Både scenario 3.1 og 3.2 avviker med 29%, og er med dette i sjiktet rundt disse verdiene. Det vurderes derfor som sannsynlig at disse verdiene kan opptre. CO-produksjonen er tilknyttet en større usikkerhet da verdiene i litteraturen spriker mer. Avviket fra referansescenariet er også større sammenliknet med sotproduksjonen. På en annen side vil hverken CO- eller sotproduksjonen ha en konstant verdi gjennom hele brannforløpet, da det er avhengig av blant annet temperatur og ventilasjonsforhold. Forfatterne av

oppgaven vurderer derfor scenario 3.1 og 3.2 til å være like sannsynlige og at det er relativt sannsynlig at disse verdiene opptrer i dette brannscenariet.

- Sannsynlighetsgrad 4 for scenario 3.1 og 3.2.

Konsekvens: Av tabell 7.3 sees det at scenario 3.1 hverken har kritiske siktforhold i korridor eller leilighet. I scenario 3.2 er det derimot kritiske forhold i både korridor og naboileilighet. Med dette som grunnlag tildeles følgende konsekvensgrader:

- Svært liten konsekvens for scenario 3.1.
- Middels konsekvens for scenario 3.2.

7.3.5 Scenario 4

Sannsynlighet: Etersom det ikke ble funnet solid statistikk på dette feltet, ble Sturla Ingebrigsten i Systemair kontaktet for å få en indikator på hvordan luftmengden varierer over døgnet. Han sa at dette var vanskelig å fastslå, da det er avhengig av mange parametere. Utetemperaturen er som regel den avgjørende faktoren. I tillegg må man medregne menneskers aktivitetsnivå, CO₂-produksjon og mye annet. Det er med andre ord vanskelig å fastslå hvilket av delscenariene som har størst sannsynlighet for å opptre. Utover dette gjøres ikke flere spekulasjoner på sannsynlighet knyttet til luftmengdene over døgnet, da dette ikke er hensiktsmessig for oppgaven. Scenario 4.4, der anlegget går på maksimal styrke, ansees som lite sannsynlig. I tillegg vurderer forfatterne av oppgaven det som svært lite sannsynlig at anlegget står trykkløst. Dette tilhører sjeldenhetene. Scenariene blir dermed tildelt følgende sannsynlighetsgraderinger:

- Sannsynlighetsgradering 3 for scenario 4.2, 4.3.
- Sannsynlighetsgradering 2 for scenario 4.4.
- Sannsynlighetsgradering 1 for 4.1.

Konsekvens: Av tabell 7.3 ses det at scenario 4.1 og 4.2 medfører kritiske forhold i både naboileilighet og korridor. Scenario 4.3 og 4.4 gir kun kritiske forhold i korridor. På grunnlag av dette tildeles følgende konsekvensgraderinger:

- Stor konsekvens for scenario 4.1
- Middels stor konsekvens for scenario 4.2.
- Liten konsekvens for scenario 4.3 og 4.4.

7.3.6 Scenario 5

Sannsynlighet: Scenario 5.1 og 5.2 angir et vindusbrudd henholdsvis ved 100°C og 300°C. I avsnitt 5.1.4 er kompleksiteten rundt vindusbrudd belyst. Av litteraturen fremkommer det vanskeligheter knyttet til bestemmelsen av bruddtemperatur. Det påpekes allikevel at vindusbrudd vil skje i sjiktet 100-300°C. Scenario 5.1 og 5.2 får derfor lik sannsynlighetsgrad for at inntreffer. For scenario 5.3, intet brudd, vurderes sannsynligheten til å være lav. Argumentet for dette er at de termiske og mekaniske påkjenningene etterhvert vil bli så store at vinduet vil gi etter. På en annen side er det mulighet for at en skillevegg eller andre hindringer isolerer vinduet mot varmestråling. Med dette som grunnlag tildeles følgende sannsynlighetsgraderinger:

- Sannsynlighetsgrad 4 for scenario 5.1 og 5.2.
- Sannsynlighetsgrad 2 for scenario 5.3.

Konsekvens: For scenario 5.1 er det minimale konsekvenser. Omfanget av røykspredningen er liten og den er aldri i nærheten av å nå kritiske nivåer. For scenario 5.2 og 5.3 blir sikten mindre enn 3 meter og kan dermed være livstruende. Selvom simuleringsresultatet til scenario 5.3 begynner å svinge, er det fornuftig å anta at dersom forholdene er dødelige for scenario 5.2 er de også det for 5.3. Utifra dette tiledeles følgende konsekvensgraderinger:

- Svært liten konsekvens for scenario 5.1.
- Stor konsekvens for scenario 5.2 og 5.3.

7.3.7 Scenario 7

Sannsynlighet: Det er ikke funnet noen gode kilder på hvilken av delscenariene som er mest sannsynlig at forekommer. Dermed fastsettes samtlige av sannsynlighetsgradene likt.

- Sannsynlighetsgrad 3 for scenario 7.1, 7.2 og 7.3.

Konsekvens: Alle scenariene har kritisk spredning i korridor, og det er generelt liten variasjon mellom scenariene. De tildeles dermed lik konsekvensgrad.

- Liten konsekvens for scenario 7.1, 7.2 og 7.3.

7.3.8 Scenario 8

Sannsynlighet: Sannsynligheten for at vinduet står åpent i leilighet 1.2 antas å være like stor som at det skal stå åpent i leilighet 1.3. At vinduet skal stå åpent i både leilighet 1.2 og 1.3 ansees som mindre sannsynlig. Forfatterne av oppgaven har ikke lyktes med å finne statistikk på dette området. Det anslås allikevel en sannsynlighet på rundt 10-20% for at vinduet skal stå åpent i en av leiligheten ved brann. Dette er basert på Bjellands funn om at dører uten selvlukker har 30% sannsynlighet for å stå åpne. At vinduer står åpne regnes som noe mindre sannsynlig. Med dette som grunnlag vurderes sannsynlighetsgraden til å være:

- Sannsynlighetsgrad 2 for scenario 8.1 og 8.2.
- Sannsynlighetsgrad 1 for scenario 8.3.

Konsekvens: Av resultatet observeres det relativt store forskjeller i røykspredningen i de tre scenariene. Samtlige oppnår kritiske siktforhold i korridoren. For 8.1 er sikten mer enn 5 meter i naboileiligheten, mens den i scenario 8.2 blir mindre enn 3 meter. I scenario 8.3 er sikten i naboileiligheten mellom 3 og 5 meter. Det gis dermed følgende konsekvensgrader:

- Liten konsekvens for scenario 8.1.
- Middels konsekvens for scenario 8.3.
- Stor konsekvens for scenario 8.2.

Scenario	Parameter	Verdi	Kritiske siktforhold	
			Korridor	Nabo leil.
0	-	-	Ja	Nei
1.1	HRR	1100 kW	Ja	Nei
1.2	”	1200 kW	Ja	Nei
1.3	”	1300 kW	Ja	Nei
2.1	Brannforløp	75 s	Ja	Ja
2.2	”	150 s	Ja, <3 m	Ja
2.3	”	450 s	Ja	Ja
2.4	”	600 s	Ja	Ja
3.1	Sot.prod.	0.05 kg/kg	Nei	Nei
3.2	Sot.prod.	0.09 kg/kg	Ja	Ja
4.1	Lufttilførsel	0 l/s	Ja, <3 m	Ja, <3 m
4.2	”	7.8 l/s	Ja	Ja
4.3	”	19.2 l/s	Ja	Nei
4.4	”	27.0 l/s	Ja	Nei
5.1	Temperatur vindusbrudd	100 °C	Nei	Nei
5.2	”	300 °C	Ja, <3 m	Ja, <3 m
5.3	”	Intet brudd	Ja, <3 m	Ja, <3 m
6 ^a	Lekkasjeareal	-	-	-
7.1	Ventilplassering	V/vegg, z=2.2m	Ja	Nei
7.2	”	I rom, z =2.2m	Ja	Nei
7.3	”	I rom, z=2.4m	Ja	Nei
8.1	Ventilasjonsforhold	Vindu	Ja	Nei
8.2	”	Vindu	Ja	Ja, <3 m
8.3	”	Vindu	Ja	Ja

Tabell 7.3: Oversikt kritiske siktforhold

^aScenario 6 presenteres ikke her på grunn av feil

Kons. \ Sanns.	Svært liten	Liten	Moderat	Alvorlig	Svært alvorlig
5					
4	[3.1], [5.1]		[3.2]	[5.2]	
3		[S0],[S1], [S7],[4.3],	[2.3], [4.2]	[2.2]	
2		[8.1], [4.4]	[2.1], [2.4]	[8.2], [5.3]	
1			[8.3]	[4.1]	

Tabell 7.4: Risikomatrise

7.3.9 Oppsummering

Tabell 7.4 viser en oversikt over risikobildet. Det observeres at kun 4 av scenariene har sannsynlighetsgrad 4 eller høyere. Av disse er det kun scenario 3.2 og 5.2 som er av betydelig konsekvens. I kolonnen med alvorlig konsekvens er det i tillegg 4 andre scenarier. Av disse er det kun scenario 2.2 som har middels sannsynlighet for at skjer. De resterende har liten eller svært liten sannsynlighet for å forekomme. Det totale risikobildet vurderes derfor til å være av liten til moderat størrelse. Det kan imidlertid oppstå skumle situasjoner der man har en kombinasjon av scenarioene som er i det røde området i matrisen. En forholdsvis rask brannvekst med sent vindusbrudd og høy sotproduksjon vil skape svært redusert sikt og kan gjøre evakuering vanskelig. Det må påpekes at risiko for brannspredning ikke er tatt med i vurderingen, og denne dimensjonen vil utgjøre en fare i seg selv i brannsituasjonen.

8 Oppsummering av analyse

I dette kapitlet vil de forskjellige scenariene sammenlignes for å forsøke å finne hvilke parametre som påvirker spredningsfaren mest.

8.1 Trykkoppbygning

En avgjørende faktor for røykspredningsfaren er brannrommets trykkoppbygning. Det er derfor interessant å undersøke hvor mange prosent trykket endrer seg i forhold til prosentvis endring av parameterene. Disse verdiene er regnet ut og presentert i tabell 8.1. Det kommer frem at det ved scenario 2.1, 2.2 og 5.3 forekommer størst trykkendring. Spesielt for 2.1 er trykket urealistisk høyt, da vinduet antageligvis ville knust som følge av det høye trykket på et tidligere stadium. Det samme kan sies om scenario 5.3, der vinduet aldri gikk til brudd. Trykket i scenario 2.2 er i grenseland for hva som kan anses å være realistisk under en brann i et lukket rom.

Felles for de tre nevnte scenariene er at relativt store endringer av parameteren ble gjort. Det er imidlertid gjort like stor eller større prosentvis endring i andre scenarier, med mindre utslag på trykket. Dette viser at parameterne brannforløp (scenario 2) og temperatur vindusbrudd (scenario 5) er de mest utslagsgivende for trykkoppbygningen i modellen. Sistnevntes betydning underbygges i tillegg av resultatet fra scenario 5.1, der halvering av temperatur som fører til vindusbrudd medførte 90% reduksjon av maksimalt trykk.

I tillegg til hvor stor trykktoppen blir er også lengden på perioden der trykket er høyere enn viftetrykket interessant. Mengden luft som presses inn i tilluftskanalen til en hver tid avhenger riktignok av hvor stort romtrykket er, slik at større mengder røyk spres med økende romtrykk. Økende trykk skyldes økende temperatur, og

dermed vil vinduet i disse situasjonene knuse tidlig. Røykspredningen vil derimot foregå over en lengre periode i de tilfellene temperaturen og dermed trykket stiger senest.

8.2 Røykspredning

Tid til og mengde røykspredning er interessante funn. Også tid til eventuelle kritiske forhold er viktig. Tid til røykspredning defineres som den tiden det tok før luftstrømmen i brannleilighetens tilluftskanal snudde. Mengde røykspredning er en kombinasjon av partikkelmengde og luftstrøm. Sikt indikerer også mengde røykspredning, samtidig som det er eneste parameter som skaper kritiske forhold. Det henvises til tabell 8.2 for oppsummering av hvilken effekt de ulike parameterendringene har hatt på røykspredningen. Innholdet i tabellen vil kommenteres i de følgende avsnittene.

Tid til røykspredning var ved referansescenariet 181 sekunder. De fleste scenarioene ga tilsvarende verdier, med få sekunders utslag. Brannforløpsendringen i scenario 2 resulterte derimot i store endringer. Med 75 % raskere brannvekst ble tiden til røykspredning redusert med 61 %. Med en halvering av brannveksten økte derimot tiden til røykspredning med 80 %. Tiden til røykspredning ble også kraftig redusert når anlegget var avslått. Når det gjelder røykmengder er sotfraksjonen i kanalnettet brukt som sammenligningsgrunnlag. Sotmengden varierer i flere av scenariene, og må sies å være sensitiv for endring av parametre. Størst sotmengde i kanalene ble oppnådd i scenariet der vinduet aldri knuste. Også i scenariet med hevet knusningstemperatur økte røykfraksjonen mye. Dramatiske nivåer ble nådd også når anlegget var avslått. Tid til kritiske forhold endrer seg mest i scenario 2. Alle andre scenarier medfører lav til ingen endring på dette punktet.

I så godt som alle scenarioene foregikk røykspredningen via ventilasjonskanalene før vinduet knuste og trykket i brannrommet ble utlignet. Eneste unntak var da anlegget ikke gikk. Det registreres at mengden røyk spredd via ventilasjonen har meget stor sammenheng med temperaturen og dermed trykkoppbygningen i brannrommet. Videre trengs det kun trykk høyere enn viftetrykket for å få spredning, men med høyere trykk vil trykkavlastningen øke og dermed vil mer

Scenario	Parameter	Verdi	Endring fra ref.scenario	Maks trykk [Pa] ^a	Endring av trykk[%]
0	-	-	-	1150	-
1.1	HRR	1100 kW	10 %	1300	12
1.2	”	1200 kW	20 %	1350	18
1.3	”	1300 kW	30 %	1400	20
2.1	Brannforløp	75 s	-75 %	7750	576
2.2	”	150 s	-50 %	3550	210
2.3	”	450 s	50 %	600	-47
2.4	”	600 s	100 %	400	-65
3 ^b	Røykprod.	-	-	-	-
4.1	Lufttilførsel	0 l/s	-100 %	1550	34
4.2	”	7.8 l/s	-42 %	1500	31
4.3	”	19.2 l/s	42 %	900	-23
4.4	”	27.0 l/s	100 %	650	-42
5.1	Temperatur vindusbrudd	100 °C	-50 %	112	-90
5.2	”	300 °C	100 %	1500	31
5.3	”	Intet brudd	-	4850	325
6 ^c	Lekkasjeareal	-	-	-	-
7.1	Ventilplassering	V/vegg, z=2.2m	-	1100	-5
7.2	”	I rom, z =2.3m	-	1100	-5
7.3	”	I rom, z=2.4m	-	1050	-8
8.1	Ventilasjonsforhold	Vindu	Åpent leil 1.3	1050	-7
8.2	”	Vindu	Åpent leil 1.2	1300	12
8.3	”	Vindu	Åpent leil 1.2 & 1.3	1000	-12

Tabell 8.1: Effekten parameterendring har på trykkoppbygningen

^aAvrundet til nærmeste 50

^bPåvirker ikke trykkoppbygning

^cScenario 6 presenteres ikke her på grunn av feil

røyk spres. Dette kommer til syne blant annet i scenario 2, se figur 6.25, 6.31 og 6.34. Sotkurvene for tilluftskanalen tilsier at mer sot transporteres ved scenario 2.4 enn 2.1. Benevningen langs y-aksen er g/kg, og fordi større trykkavlastning skjer i 2.1 er de totale sotmengdene faktisk ikke så forskjellige. Dette gjenspeiles i siktkurvene for naboleiligheten og korridoren.

Ingen av scenariene medførte i nærheten av kritiske CO-verdier i noen av modellens områder. CO produseres gjerne i store mengder først i sluttfasen av en brann, eller ved andre situasjoner der oksygenivået er lavt. Det har vært god tilgang på oksygen i samtlige scenarier i denne oppgaven, og dette har medført lave CO-verdier. CO-grafene viser, i likhet med sot-grafene, transportpotensialet av røyk gjennom ventilasjonsanlegget og hvordan dette øker med økende trykkoppbygning i brannrommet.

Sikten ble i mange av tilfellene kritisk i korridoren. I tabell 8.2 er verdiene i kolonnen "Tid krit." tiden det tok før kritisk nivå ble nådd i modellen. Dette skjedde, for samtlige tilfeller som nådde kritiske tilstander, i korridoren først. Det påminnes om at meshet i korridoren hadde celler á 20 cm, mens cellestørrelsen i naboleiligheten var 10 cm. En kan dermed ikke ukritisk sammenligne tid til kritiske nivåer i korridor og naboleilighet. Sammenligninger av tid til kritisk nivå i henholdsvis korridor og naboleilighet mellom scenariene lar seg derimot gjøre hver for seg.

Input		Output					
Sc.	Δ ref.sc	Tid [sek]	Δ ref.sc [%]	Mengde [g/kg] ^a	Δ ref.sc [%]	Tid krit. [sek]	Δ ref.sc [%]
0	-	121	-	1.17	-	181	-
1.1	10 %	118	-2.5	1.27	5	176	-3
1.2	20 %	118	-2.5	1.19	2	174	-4
1.3	30 %	112	-7.5	1.35	11.5	168	-7
2.1	-75 %	47	-61	1.01	-13.5	77	-57.5
2.2	-50 %	74	-39	1.54	31.5	117	-35.5
2.3	50 %	165	36.5	1.47	25.5	238	31.5
2.4	100 %	218	80	1.53	31	292	61.5
3.1 ^b	-29 %	121	0	0.94	-19.5	Aldri	-
3.2	29 %	121	0	1.67	42.5	178	-1.5
4.1	-100 %	53	-56	2.60	122	181	0
4.2	-42 %	120	-1	1.33	13.5	181	0
4.3	42 %	123	1.5	1.24	6	181	0
4.4	100 %	125	3.5	1.17	0	181	0
5.1	-50 %	121	0	0.59	-50	Aldri	-
5.2	-100 %	121	0	3.16	170	181	0
5.3	∞	121	0	7.17	513	181	0
6 ^c	-	-	-	-	-	-	-
7.1	Ventilplass. ^d	113	-6.5	1.33	13.5	181	0
7.2	Ventilplass.	113	-6.5	1.15	-1.5	181	0
7.3	Ventilplass.	113	-6.5	1.31	12	181	0
8.1	Vindu leil 1.3	121	0	1.18	1	182	0.5
8.2	Vindu leil 1.2	121	0	1.96	67.5	184	1.5
8.3	Vindu leil 1.2&1.3	121	0	1.16	-1	182	0.5

Tabell 8.2: Effekten parameterendring har på røykspredning

^aMaksverdier

^bSotendring

^cUtgår på grunn av feil

^dSe tabell 8.1 for endringer

Del III

Diskusjon og konklusjon

9 Diskusjon

9.1 Diskusjon rundt litteraturstudie

9.1.1 Dagens situasjon

Det er ikke til å legge skjul på at ventilasjonsløsningene som har blitt brukt i Norge de siste tiårene kunne vært bedre brannsikret. Standardløsningen har vært å la anlegget gå som normalt ved brann, uten andre sikringstiltak enn en meter isolasjon på hver side av et brannskille. Det er spesielt spredning av røyk i kanalnettene som er problematisk. Det synes merkelig da gode løsninger mot dette var beskrevet allerede på 80-tallet. En forklaring på dette er at da de detaljerte beskrivelsene forsvant fra forskriftsveiledningene sent på 90-tallet forsvant også villigheten til å benytte seg av løsningene i det hele tatt. Løsningene på problemet har altså vært der lenge. Man kan argumentere med at de tidligere preaksepterte løsningene vil medføre større kostnader enn løsninger som også vil tilfredsstille forskriftskravene. Forskriften sier nemlig bare at tekniske installasjoner ikke skal bidra *vesentlig* til spredning av brann og røyk. Før 2014 sertifiserte attpåtil daværende teststandard, NT Fire 034, enklere løsninger. Da var det ikke økonomisk forsvarlig å sette inn de tidligere preaksepterte løsningene.

I en kommentar fra DiBK ble vi fortalt at ventilasjonsanlegg vanligvis ikke kommer under §11-10 annet ledd. Dette betyr at myndighetene ikke anser ventilasjonsanlegg som en teknisk installasjon som skal ha en funksjon ved brann. På bakgrunn av dette kan en forsvare praktiseringen med manglende bruk av bypass og røykvifte eller brannspjeld. Men forfatterne av oppgaven reagerer på noe som kan sies å være en motsetning. I VTEK, som er utgitt av nettopp DiBK, står det følgende om §11-10 første ledd:

”Kanaler, kabler og andre installasjoner som føres gjennom branncellebegrensende konstruksjoner, må ikke svekke konstruksjonens brannmotstand.”

Ordet *vesentlig* er altså ikke nevnt i veiledningen, noe som kan bety at myndighetene tolker forskriften dithen at ventilasjonsanlegg ikke skal svekke brannskillet. Det reageres på at hvis ventilasjonskanalene ikke skal svekke brannskillet ved gjennomskjæringen (§11-10 første ledd), *må* anlegget ha en funksjon ved brann (§11-10 annet ledd). Hvis ventilasjonssystemet ikke er gitt noen funksjon ved brann kan anlegget stoppe på grunn av tett filter, for høy temperatur i aggregatet eller på grunn av andre årsaker, lenge før hva brannskilleveggene er dimensjonert for. Dette må sies å være en svekkelse av konstruksjonens brannmotstand. Samtidig har det vært stort fokus på å ha gode brannskiller. De skal ikke lede eller smitte varme til ueksponert side i en gitt periode. Man bygger med andre ord meget robuste og dyre vegger samtidig som man lar en kanal lede røyk og varme tvers gjennom. I de fleste tilfeller vil det dog ikke spille noen stor rolle. Men dersom filteret går tett, eller avtrekksviften blir overopphetet og stopper vil avtrekkskanalen stå trykløs. Det påfølgende trykket i branncellen som følge av temperaturstigningen vil etterhvert bli større enn trykket i tilluftskanalen, og røyk vil presse seg inn og spres i systemet. Det har rett og slett ikke vært balanse i styrkeforholdet mellom brannskille og ventilasjonskanal. Forfatterne av denne oppgaven finner det derfor viktig at brannsikring av ventilasjonssystemer har kommet på dagsorden.

Brannsikringen av ventilasjonssystemer har altså ikke vært optimal. Om den har vært tilstrekkelig er derimot et interessant spørsmål. Andersson fortalte at det er få eksempler på tap av menneskeliv på grunn av spredning av røyk i ventilasjonskanaler. I de fleste tilfeller vil dagens løsning være tilstrekkelig for å sikre evakuering av byggets brukere, spesielt i typiske dagbruksbygg. Man kan argumentere for at dagens løsning er god nok i slike bygg, fordi brukerne *burde* rekke å evakuere bygget innen ventilasjonsanlegget svikter. Å basere seg på dette vil dog være et brudd på forskriftskravet om evakueringstid i henhold til byggets brannklasse. Spørsmålet vil derfor dreie seg om regelverkets innhold. Argumentet synes bare gyldig for selve evakueringen. Brannmannskaper

som skal inn i bygget kan oppleve ugunstigere forhold enn forskriftskravene tilsier (brannskiller skal holde så og så lenge). Økte materielle skader kan også forekommme. I bygg tenkt for overnatting eller behandling av pleiende er imidlertid den reelle evakueringstiden lengre, og røykspredning via kanalnettets kan få alvorlige konsekvenser. At ventilasjonsanlegget ikke bidrar til spredning av brann og røyk er derfor meget viktig. Å bruke argumentet om at alle personer burde rekke å evakuere innen ventilasjonsanlegget stanser blir for tynt i denne sammenheng. Det synes derfor, uavhengig av regelverk, at ventilasjonsanlegg i slike bygg bør ha en god brannsikring, enten med bruk av brannspjeld eller en trekk ut-variant.

9.1.1.1 Preakseptert løsning

Som nevnt var det gitt eksempler på hvordan brannsikker ventilering kunne gjennomføres i veilederen til BF 87. Både en trekk ut-løsning med bruk av bypass, og en steng inne-variant med bruk av røykdetektorstyrte spjeld var beskrevet. Som kjent gir ikke VTEK slike eksempler. Men løsningene gitt i Rett og slett er faktisk bare noen små modifikasjoner unna å tilfredsstille dagens forskrift. De gamle løsningene var testet etter NT FIRE 034, som ikke tok hensyn til strømmende luft i kanalene. Den nye teststandard tar hensyn til dette, og den praktiske forskjellen er at man nå må isolere hele avtrekket ved trekk ut-løsningen. Med denne modifikasjonen mener vi trekk ut-løsningen fra Rett og slett fortsatt kan anses som en preakseptert løsning.

Vi har forsøkt å finne ut hvorfor løsningene fra Rett og slett ikke har blitt praktisert, og etter samtaler med forskjellige bransjefolk har vi slått fast at det er et spørsmål om kostnader. Mentaliteten om at "siden ingen andre gjør det, hvorfor skal jeg?" har preget rådgivermiljøet. I tillegg har faren for røykspredning via kanalnettets blitt mindre prioritert enn faren for spredning ved selve gjennomføringen.

9.1.2 Vurdering av strategier

Valg av brannstrategi må gjøres på grunnlag av de valgte brannscenariene for bygget. Man må vurdere risiko, usikkerhet og robusthet til de ulike strategiene. Det er dermed ikke nødvendigvis et fasitsvar på hvorvidt man burde velge steng inne eller trekk ut, men visse retningslinjer for hvilken løsning som lønner seg

finnes.

Det er dyrt med brannsikring av ventilasjonssystemer. Fra et samfunnsøkonomisk perspektiv kan det diskuteres om det er noe vits med ytterligere sikring. Få dokumenterte tilfeller der spredning via ventilasjonsanlegg har ført til dødsfall er et sterkt argument mot ytterligere sikring. Det er diskutabelt hvor stor økningen av personsikkerheten blir ved å tilleggs sikre ventilasjonsanlegget. Hvor mye man er villig til å betale for denne økningen er imidlertid opp til myndighetene å bestemme.

9.1.2.1 Trekk ut

Trekk ut-strategien er en kompleks løsning. Det er nødvendig med komponenter og et system som tåler røyk- og brannpåkjenning. I tillegg må avtrekkskanalene brannisoleres for ikke å stråle varme og spre brann. Med kravet om 8 cm isolasjon rundt hele kanalen øker plassbehovet, og dermed kostnaden. Kravet medfører at avtrekkskanalen totalt blir 16 cm tykkere på grunn av isolasjon, og ved kryssende kanaler får man 32 cm ekstra tykkelse. Med begrenset plass i himlingen vil dette i mange tilfeller ikke la seg gjøre uten å bygge høyere etasjer. Man kan derimot benytte seg av automatiske slokkeanlegg for å unngå isolasjonskravene. Flere sprinklete bygg anses derfor som en realistisk utvikling fremover.

9.1.2.2 Steng inne

Steng inne-strategien er en meget brannsikker løsning på problemet. Den største kostnaden knyttet til dette konseptet er det store behovet for brannspjeld. Dette er en dyr komponent, og for bygg med mange brannceller vil dette bli en kostbar modell. Etter kravet om 8 cm isolasjon rundt hele avtrekkskanalen for trekk ut-løsningen har kostnadsforskjellen mellom de to strategiene blitt mindre. En ulempe ved strategien er behovet for manuelt vedlikehold av spjeldene. Minstekravet om én kontroll i året, med anbefaling om fire, setter en naturlig begrensning for hva slags bygg som kan nytte denne løsningen. Systemair, en leverandør av ventilasjonsløsninger i Norge, anbefaler på sin side ukentlig kontroll av spjeldene. Alternativt kan automatiske spjeld benyttes, men løsningen blir da enda dyrere. Steng inne-anlegg egnes dermed godt i usprinklete bygg med få brannceller.

9.2 Analysen

Resultatene fra analysen tilsier at røykspredning via ventilasjonskanalene forekommer ved de aller fleste tilfellene. Det påpekes at det kun er siktforhold som fører til kritiske forhold i modellen. CO-verdiene i naboileilighet og korridor var ikke i nærheten av å bli kritiske ved noen av scenariene. Ved videre undersøkelse ble det funnet at det aldri ble kritisk i brannleiligheten heller. CO-konsentrasjoner på rundt 900 ppm ble målt for referansescenarioet i brannleiligheten. I samme scenario var høyeste CO-måling for naboileilighet omtrent 14 ppm. En kraftig forverring kreves dermed for å skape kritiske CO-nivåer andre steder i bygningen.

Det presiseres at resultatene fra den kvantitative analysen i stor grad avhenger av valgene tatt i den kvalitative analysen. Valgene derfra dreier seg om mulige hendelser forfatterne av oppgaven har identifisert. Det kan dermed hende mer relevante og sannsynlige hendelser er oversett og utelatt.

En viktig parameter som ikke er tatt hensyn til i analysen er tetting av filter. I så og si alle scenarioene transporterer avtrekkskanalen røyk ut fra boenhetene. I virkeligheten er det mulig partiklene fra røyken ville tettet filteret etterhvert. Kanalen ville da stått trykløst, og spredning ville forekommet, som simulert i scenario 4.1. Det kan dermed tenkes at det i alle scenarioer ville forekommet røykspredning også senere i brannforløpet. I tillegg er avtrekk og tilluft fullstendig seppartert fra hverandre i modellen. I virkeligheten varmegjenvinnes gjerne noe av varmen fra avtrekket. Røyk kan sige over fra avtrekk til tilluft i denne prosessen, noe som heller ikke er tatt høyde for i denne oppgaven.

9.2.1 Scenario 6: Trykkoppbygging

Som en del av analysen var det ønskelig å undersøke hvorvidt tettheten i konstruksjonen har noen betydning for trykkoppbyggingen i cellen og dermed spredningsfaren via kanalnett. Dette skulle undersøkes ved å sette inn trykksoner i modellen, for så å definere et lekkasjeareal fra en trykksone til en annen. Det forventede resultatet var at med lavere lekkasjetall ville trykktoppbyggingen bli

høyere i rommet. Som omtalt i avsnitt 6.9.1 var resultatene heller overraskende. Trykkoppbygningen i branncellen var mer eller mindre lik i de tre tilfellene, på tross av at lekkasjearealet ble økt med opptil 150%. Flere justeringer ble gjort for å finne feilkilden, noe som kun resulterte i enda større avvik fra hypotesen. Blant endringene var å bruke egendefinerte overflater i stedet for den innlagte lekkasjeoverflaten i PyroSim. Dette resulterte imidlertid kun i høyere trykkoppbygning med høyere lekkasjeareal.

Denne biten av analysen ble ansett som meget interessant på grunn av at argumentet om at tettere bygg skaper større spredningsfare er hyppig brukt av mange. I tillegg blir bygg bare tettere og tettere, slik at faktorer som ikke medførte problemer tidligere muligens vil utgjøre et faremoment nå. Av disse grunner ble feilsøkingen utført grundig, og mye tid ble investert for å utbedre modellen. Det ble opprettet kontakt med utgiveren av FDS for å løse problemet. De forklarte at det i den siste versjonen av FDS (6.2.0) var utbedret mangler ved trykksonene som gikk over flere mesh, og at å oppdatere til seneste versjon muligens ville hjelpe. Dette ble imidlertid ikke gjort fordi PyroSim foreløpig kun støtter FDS 6.1.2.

Det er vanskelig å si hva som gikk galt i scenario 6. Det ble forsøkt å forenkle modellen til kun å bestå av startbranncellen og ventilasjon inn og ut av cellen. Da simulering ble kjørt på denne modellen ble trykkoppbygningen som forventet: størst ved lavt lekkasjeareal, og vice versa. Dette funnet gjorde kuriositetene rundt scenario 6 enda mer uforståelig, da ingenting ble tilført eller endret, kun fjernet. Valget om å ikke gå videre med denne parameteren ble dermed tatt, til stor frustrasjon for forfatterne.

9.3 Usikkerheter ved modellen

Det er foretatt valg og antagelser ved oppbygningen av modellen som kan ha påvirket simuleringsresultatene i stor grad. I det følgende avsnittet vil de antatt mest betydelige valgene diskuteres.

9.3.1 Geometri

Modellen forestiller en etasje i et leilighetsbygg, fullstendig isolert fra andre etasjer og omverden. Dette ble gjort for å holde fokus ved spredning i ventilasjonskanalene ved hjelp av FDS' HVAC-funksjon. Å benytte flere etasjer ble dermed vurdert som unødvendig. Det ble valgt å benytte tre boenheter i tillegg til korridoren. Dette betyr at røykgassene blir spredd til tre forskjellige steder. Det konservative valget ville vært å la én celle motta all røyk.

En annen forenkling gjort i modellen er utelatelsen av innredning i leilighetene. Å dele inn enhetene i mindre rom kunne påvirket forholdene i brannleiligheten, men ble utelat for ikke å hindre røyken i å nå ventilene på et relativt tidlig stadium av simuleringen. Dette fordi det var datakraftbesparende. Det kan godt hende større utslag mellom scenariene ville forekommet om brannen var i et annet rom enn ventilene eller vinduet.

Videre ble sensitiviteten til branncellens volum aldri undersøkt. Volumet har betydning for trykkoppbyggelsen i rommet, og en endring ville således ført til andre spredningsresultater. En rimelig antagelse er imidlertid at det i hovedsak er tid til spredning som ville endret seg ved volumendring.

9.3.2 Ventilasjonens oppbygning

Svakheter rundt selve HVAC-funksjonen er berørt tidligere i oppgaven, og vil ikke gjentas her. Det er imidlertid viktig å huske at den er rimelig enkel.

Å sette opp ventilasjonsanlegget på en tilfredsstillende måte var en av de mest tidkrevende enkeltpostene ved arbeidet med denne oppgaven. Det ble fokusert på å sørge for ønsket tilluftsmengde til hver enhet, rett trykkfall i systemet, samt balanse mellom tilluft og avtrekk. En liten justering i en ende av systemet kunne endre oppførselen til hele anlegget. Dette medførte noe ”prøving og feiling” ved implementeringen av ventilasjonsanlegget.

Viftekurven som definerte tilluftsmengdene ble satt opp med utgangspunkt i en reell vifte fra produsenten Exhausto. Det vil si, den ble nedskalert til å levere mindre mengder. Dette valget ble imidlertid fattet for å oppnå ønsket luftmengder

for referansescenariet. En mer omfattende analyse av nødvendig vifte kraft kunne vært utført, men ble utelatt da det er noe perifert i forhold til problemstillingen. Inndataene benyttet i forbindelse med ventilasjonsanlegget kan dermed være avvike noe fra reelle ventilasjonsanlegg.

9.3.3 Luftlekkasje

Problematikken rundt luftlekkasje i fasadeveggen er gjennomgått i avsnitt 9.2.1. Det legges til at luftlekkasje trolig ville spilt en avgjørende rolle for både tid til og mengde røykspredning. Dette fordi trykkoppbygningen antageligvis ville blitt forskjellige med ulik lufttetthet, og som sett i flere scenarioer var dette en vesentlig faktor.

9.3.4 Brannen

Summen av alle valgene tatt gjennom både den kvalitative og den kvantitative analysen representerer kun en snever del av mulige brannsituasjoner. Valgene som ble gjort i den kvalitative analysen, og usikkerheten tilknyttet de, ble videreført til den kvantitative analysen. Her vil andre faktorer som tilfører modellen usikkerhet bli nevnt.

Forbrenningsmodell: Det ble bestemt å bruke en standard HRR-kurve med definert maksnivå og veksttid. Dersom bruk av forbrenningsreaksjoner hadde blitt brukt som simuleringsgrunnlag, kunne helt andre resultater oppstått.

Konstant areal: Brannen er simulert med konstant kvadratisk brannareal, noe som ikke er tilfelle i virkeligheten. De faktiske brannforholdene vil dermed være annerledes enn simuleringsoppsettet.

Arnested: Brannens plassering ble beholdt konstant gjennom alle scenariene. Plasseringen ble valgt tilfeldig, omtrentlig midt i rommet. Det kunne vært interessant å variere dette, både med tanke på røyksøylen og temperaturen ved vinduet. I tillegg kan det tenkes at plassering i forhold til ventilasjonsventilene innvirker på røykspredningen.

Brensel: I en standard leilighet er det gjerne en et større mangfold av

forbrenningsmidler. Dette kan ha konsekvenser for sot- og røykproduksjon. I tillegg kan det tenkes at kritiske situasjoner kunne oppstått dersom et plastisk materiale med avgivelse av HCN hadde brent.

10 Konklusjon

Et balansert ventilasjonsanlegg er simulert i FDS med forskjellige utgangspunkt. Det er funnet at røykspredning via anlegget foregår så lenge trykket i brannrommet overstiger trykket i ventilasjonskanalen. Dette varer frem til annen trykkavlastning blir mulig, for eksempel ved at et vindu knuser. Det er som forventet tilluftskanalen som sprer røyken videre til andre brannceller, mens avtrekket transporterer branngassene ut av bygget.

Med røykproduksjonen benyttet i denne oppgaven ble det aldri kritiske konsentrasjoner av CO i nabocellene. Store sotmengder sørget derimot for kritiske siktlengder i flere av situasjonene.

Bygningen benyttet i modellen tilhører risikoklasse 4, brannklasse 1, så brannskilene må holde i 30 minutter. Ventilasjonsanlegget skal ikke vesentlig svekke dette. Røykspredning forekom få minutter etter brannstart i de fleste scenarioene, men i så liten grad at det må sies å ikke ha svekket brannskillet vesentlig. Sot- og CO-kurvene fra tilluftskanalen viser dog at spredningspotensialet er tilstede, og dersom brensløst hadde vært av en mer ugunstig karakter kunne svekkelsen blitt vesentlig. Manglende redundans i systemet er derfor bekymringsverdig.

Videre er det funnet at variasjon av hvor hurtig brannen vokser gir store utslag på tid til røykspredning. Med rask brannvekst stiger romtrykket hurtig, og høyere enn hva som kan anses realistisk. På bakgrunn av den relativt lange tiden til røykspredning ved langsom brannvekst kan det likevel konkluderes med at parameteren spiller en viktig rolle. Tid til alternativ trykkavlastning er også avgjørende for hvor alvorlig røykspredningen blir. I tillegg er det fare for røykspredning sent i brannforløpet, fordi filteret kan gå tett.

10.1 Anbefalinger

- Ventilasjonsanlegget bør gå så lenge som mulig ved brann, om ikke brannspjeld benyttes;
- For å minimere røykspredningen bør, om mulig, ventilasjonsanlegget automatisk gå til fulldrift ved brann;
- Regelmessig vedlikehold og kontroll av ventilasjonssystemer for å oppnå best mulig drift, samt forebygging av farmomenter.
- Simuleringene viser at det er fare for røykspredning via kanalnett. Grunnet brannens karakter ble det aldri kritiske konsentrasjoner av karbonmonoksid i luften. Det kan allikevel tenkes at verre spredning kan forekomme under andre omstendigheter. Det anbefales derfor at brannsikkerheten blir ivaretatt på et tidlig tidspunkt i prosjekteringsfasen og at god kommunikasjon opprettholdes mellom RIBr og RIV.

11 Forslag til videre arbeid

Rapporten tar for seg en relativt unik situasjon både med tanke på brannutvikling og modellens oppbygning. Med mer tid og ressurser tilgjengelig kunne det vært interessant å vurdere følgende:

- Vurdere flere parametere som kan innvirke på røykspredningen. Det er for eksempel av interesse å se på hvordan branncellens størrelse og kanalnettets dimensjoner påvirker røykspredningen;
- Simulere en situasjon der ventilasjonssystemet er utformet vertikalt over flere etasjer;
- Fordi FDS kun benytter enkle oppsett for regning på gasstrykket gjennom et kanalnett, må man manuelt sette inn trykktap i kanalene. Disse verdiene hadde det vært interessant å kontrollere med et program som for eksempel COMSOL;
- Det er alltid spennende å vurdere hvordan bruk av analytiske verktøy stemmer overens med virkeligheten. En liknende, enkel modell kunne blitt bygget og en designbrann laget. Dette kunne gitt verdifull kunnskap om både røykspredning, samt bruk av dataprogrammer;
- Tetting av filter er ikke tatt hensyn til i dette studiet. Implementering av dette elementet vil være av interesse.

Bibliografi

- [1] **Jensen L.** Skydd mot rökspridning via ventilation med stoppade fläktar och förbigångar-riskbedömning och dimensionering. *TVIT*, 2006.
- [2] **Geving S & Thue JV.** *Fukt i bygninger*. Norges byggforskningsinstitutt. 5. opplag, 2002.
- [3] **Direktoratet for byggkvalitet** . Forskrift om tekniske krav til byggverk av 26. mars 2010 nr. 489. (6. utg.), 2014.
- [4] **Direktoratet for byggkvalitet.** VTEK10, §11-1 Sikkerhet ved brann, 2010.
- [5] **Holst JN.** Foredrag: *Brannsikker ventilasjon*. Midtnorsk brannforum, Trondheim, november. Teknoconsult, 2014.
- [6] **BV Nett.** *Veileder for brannsikker ventilerings*, BV Nett, 2. opplag, 2012.
- [7] **Ingebrigtsen S.** Intervju med Sturla Ingebrigtsen, Systemair. Foretatt av Knut Magnus Collett, november 2014.
- [8] **Statens bygningstekniske etat.** Rett og slett: en veiledning til byggeforskrift 1987. 1990.
- [9] **Andersson S.** Intervju med Stefan Andersson, Norconsult. Foretatt av Knut Magnus Collett, november 2014.
- [10] **Meland S, Jensen G & Skåret E.** *Røykkontroll*. Skarland Press A/S, 1. utgave, 1989.
- [11] **Røstad H & Havelen V.** Ventilasjon. *Store norske leksikon*, februar 2009.

- [12] **Vaage OF.** Utendørs 2.5 time - menn mer enn kvinner. *Samfunnsspeilet*, 2012/4, Statistisk sentralbyrå, oktober 2012.
- [13] **Awbi H.** *Ventilation of Buildings*. Spon Press, second edition, 2003.
- [14] **Ingebrigtsen S.** Ventilasjon av leiligheter, 2014. Tilgjengelig: <http://www.vvsforum.no/artikkel/6329/ventilasjon-av-leiligheter.html>.
- [15] **Andersson S.** Brannsikring av ventilasjonsanlegg - tilfredsstilles regelverket? *Norsk VVS*, Findexa Forlag AS, juli 2014.
- [16] **SINTEF Byggforsk.** 321.025 - Brannsikkerhet. Dokumentasjon av prosjektering, utførelse og kontroll-oversikt. Norges byggforskningsinstitutt, 2013.
- [17] **Direktoratet for byggkvalitet.** Veiledning om tekniske krav til byggverk. 2011.
- [18] **Standard Norge.** Krav til risikovurdering av brann i byggverk. *NS 3901:2012*, Standard Norge, 2012.
- [19] **SINTEF Byggforsk.** 626.102 - Dokumentasjon av brannsikkerhet for bygninger i bruk., Norges byggforskningsinstitutt, 2013.
- [20] **Standard Norge.** Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler: Del 1: klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning. *NS 13501-1*, Standard Norge, 2009.
- [21] **Standard Norge.** Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler: Del 2: klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving, unntatt ventilasjonssystemer. *NS 13501-2*, Standard Norge, 2008.
- [22] **Standard Norge.** Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler: Del 3: klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving av produkter og deler brukt i ventilasjonsanlegg: kanaler og spjeld med brannmotstand. *NS 13501-3*, Standard Norge, 2009.

- [23] **Standard Norge.** Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler: Del 4: klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving av komponenter i røykkontrollsystemer. *NS 13501-4*, Standard Norge, 2009.
- [24] **Standard Norge.** Ventilasjon i bygninger - branntiltak for luftfordelingsystemer i bygninger. *NS-EN 15423:2008*, Standard Norge, 2008.
- [25] **Standard Norge.** Prøving av brannmotstanden til tekniske installasjoner. *NS-EN 1366*, Standard Norge, 2009.
- [26] **Glava.** *Nye krav til brannisolering. Hentet fra: <http://www.glava.no/vvs-va-industri/nye-krav-til-brannisolering/>.* Glava, 2014.
- [27] **Standard Norge.** Brannventilasjonsystemer - del 10: Strømforsyning. *NS-EN 12101-10:2005*, Standard Norge, 2006.
- [28] **Standard Norge.** Brannventilasjonsystemer - del 7: Røykkanalseksjoner. *NS-EN 12101-7:2011*, Standard Norge, 2011.
- [29] **Standard Norge.** Brannventilasjonsystemer - del 8: Spjeld for røykkontroll. *NS-EN 12101-8:2011*, Standard Norge, 2011.
- [30] **Standard Norge.** Laster på konstruksjoner ved brann. *NS-EN 1991-1-2:2002NA:2008*, Standard Norge, 2008.
- [31] **Sintef Energiforskning.** *Enøk i bygninger.* Gyldendal Norsk Forlag AS, 3. opplag, 2007.
- [32] **SINTEF Byggforsk.** 552.305 - Balansert ventilasjon av leiligheter., Norges byggforskningsinstitutt, 2008.
- [33] **Ukjent forfatter.** Tekniske løsninger - ventilasjon, 2014. Tilgjengelig: <http://www.aktivhms.no/skoler/TekniskeLosninger/Ventilasjon.htm>.
- [34] **Sørensen BR.** Innemiljø - ventilasjon, 2006. Tilgjengelig: <http://ansatte.hin.no/brs/fag/emner/iaq/pdf/ventilasjon.pdf>.
- [35] **Andersson S.** Brannsikring av ventilasjonsanlegg, Norconsult, *Brannvern-konferansen 2014.* 2014.

- [36] **SINTEF Byggforsk.** 552.340 - Varmegjennvinnere i ventilasjonsanlegg, Norges byggforskningsinstitutt, 2002.
- [37] **Mathisen, HM.** Samtale med Hans M. Mathisen, gjennomført av Mikael Rise Gallala, november 2014.
- [38] **SINTEF Byggforsk.** 552.331 - Filtrering av luft i ventilasjonsanlegg, Norges byggforskningsinstitutt, 2005.
- [39] **SINTEF Byggforsk.** 552.308 - Viftestøy og energiforbruk til vifter, Norges byggforskningsinstitutt, 2002.
- [40] **Stene J.** Oppvarmingssystemer for lavenergiboliger, SINTEF Energiforskning, 2006.
- [41] **SINTEF Byggforsk.** 552.303 - Balansert ventilasjon i småhus, Norges byggforskningsinstitutt, 2006.
- [42] **SINTEF Byggforsk.** 550.401 - Opphengssystemer for tekniske installasjoner. Norges byggforskningsinstitutt, 2013.
- [43] **Børresen BA.** Spjeld. *Store Norske Leksikon*, februar 2009.
- [44] **SINTEF Byggforsk.** 520.342 - Branntetting av gjennomføringer, Norges byggforskningsinstitutt, 2014.
- [45] **Systemair.** Systemair brannspjeld, hentet fra <http://www.systemair.com/> Systemair, 2014.
- [46] **Mysen M.** Energioptimal behovsstyrt ventilasjon, *Norsk VVS*, Findera Forlag AS, november 2014.
- [47] **Klote JH.** Fire and smoke control: An historical perspective. *MD ASHRAE Journal*, Number 7, 36, July 1994.
- [48] **Semple JB.** Smoke control: How hvac can reduce smoke and fire losses. *VA Building Standards*, 1977.

- [49] **Klote JH.** Air moving systems and fire protection. *National Institute of Standards and Technology, MD 20899*, July 1993.
- [50] **Wilson AG & Schmidt WA.** Design considerations for fire safety. *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*, 1971.
- [51] **Hobson PJ & Stewart LJ.** Pressurisation of escape routes in buildings. *Fire Research Note no. 958*, December 1972.
- [52] **Store Norske Leksikon.** Konveksjon: fysikk. *Store norske leksikon*, februar 2009.
- [53] **Kruppa J, Buchanan A, Fontana M, Jackman P, Kokkala M & Landrø H et.al.** Rational fire safety engineering approach to fire resistance of buildings, CIB Report, Publication 269, 2001.
- [54] **Jensen G & Landrø H.** Consequential factor-oriented fire safety engineering. *Engineered Fire Protection Design: Applying Fire Science to Fire Protection Problems*, pages 132–141, 2001.
- [55] **International Organization for Standardization.** Iso 834-1 fire-resistance tests - elements of building construction part 1: General requirements. 1999.
- [56] **Kiehne TM.** Dynamic assessment of thermal management strategies aboard naval surface ships. In *Electric Ship Technologies Symposium (ESTS), 2011 IEEE*, April 2011.
- [57] **Mysen M & Schild PG.** *Behovsstyrt ventilasjon, DCV - krav og overlevering*. SINTEF Byggforsk, 2013.
- [58] **Michaelsen F.** Rapport etter evaluering av brann. august 2014.
- [59] **Haveråen HM.** Brannevalueringsrapport. august 2014.
- [60] **Meland Ø.** Brannen ombord i scandinavian star. en vurdering av ventilasjonsanleggets betydning i det tidlige brannforløpet. rapport stf25 a91018. *SINTEF NBL*, 1991.

- [61] **Danø E & Pedersen KS.** Brannen på m/s ”scandinavian star” 7 april 1990. sakkyndig uttalelse om det fysiske brannforløp. rapport stf25 a91021. Technical report, SINTEF NBL, 1991.
- [62] **Nystedt F & Frantzich H.** Kvalitetsmanual för brandtekniska analyser vid svenska kärntekniska anläggningar. 2011.
- [63] **Yii EH, Buchanan AH & Fleischmann CM.** Simulating the effects of fuel type and geometry on post-flashover fire temperatures. *Fire Safety Journal* 41 (2006)62-75, 2006.
- [64] **Drysdale D.** *Fire Dynamics*. John Wiley & sons, Ltd, third edition, 2011.
- [65] **Hägglund B, Nierus K & Werling P.** An experimental study of the smoke spread via ventilation ducts, 1998.
- [66] **Stensaas JP & Hansen PA.** Røykspredning i bygninger. rapport stf25 a93044. Technical report, SINTEF NBL, 1993.
- [67] **Magnusson SE.** Rökspredning i byggnader: kunnskapsöversikt och forskningsbehov. *LUTVDG/TVBB-3013-SE*, 1983.
- [68] **Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.** Kjennetegn og Utviklingstrekk Ved Dødsbranner og Omkomne i Brann. En Gjennomgang av DSBs Statistikk Over Omkomne i Brann 1986-2009, 2010.
- [69] **Direktoratet for byggkvalitet.** VTEK10, §11-2 Risikoklasser, 2010.
- [70] **Direktoratet for byggkvalitet.** VTEK10, §11-3 Brannklasser, 2010.
- [71] **Babrauskas V & Peacock RD.** Heat release rate: The single most important variable in fire hazard. *Fire Safety Journal* 18.3, 1992.
- [72] **Hartin E.** 62 Watt Street, Modeling the Backdraft, 2010.
- [73] **Statens bygningstekniske etat.** Melding ho-3/2000 røykventilasjon temaveiledning. 2000.

- [74] **National Fire Protection Association.** The Consequences of Fire, Hentet 08.04.2015 fra <http://www.nfpa.org/press-room/reporters-guide-to-fire-and-nfpa/consequences-of-fire>, 2014.
- [75] **Stensaas JP.** Røykproduksjon ved brann offshore - rev. 1. rapport nbl a06133. Technical report, SINTEF NBL, 2007.
- [76] **Haraldsen H.** Karbonmonoksid. *Store norske leksikon*, februar 2009.
- [77] **Kristoffersen B & Stenstad V.** Bruk av brennbar isolasjon. rapport stf22 a00851. Technical report, SINTEF NBL, 2001.
- [78] **Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.** Blåsyre-Hydrogencyanid, 2005.
- [79] **Bjelland H.** Brannsikkerhetskonsepter for boligblokker – tiltak med betydning for risiko. Master's thesis, Universitetet i Stavanger, 2009.
- [80] **Stensaas JP.** Toxicity, visibility, and heat stresses of fire effluents - human tenability limits. *Norwegian Fire Research Laboratory Report STF25 A91022*, 1991.
- [81] **Boverket.** Skydd mot brandgassspredning via ventilationssystem. *Rapport 1994:13*, 1995.
- [82] **Robbins AP & Wade CA.** Soot yield values for modelling purposes - residential occupancies. *BRANZ Study Report 185*, 2007.
- [83] **Blom P & Uvsløkk S.** Bygg tett! *Prosjektrapport 98, SINTEF Byggforsk*, 2012.
- [84] **Keski-Rahkonen O.** Breaking of window glass close to fire. *Fire and Materials 12.2*, pages 61–69, 1988.
- [85] **Skelly M, Roby R & Beyler C.** An experimental investigation of glass breakage in compartment fire. *Fire Protection Engineering*, 1991.
- [86] **Cuzzillo BR & Pagni PJ.** Thermal breakage of double-pane glazing by fire. *Journal of Fire Protection Engineering 9.1*, 1998.

- [87] **Direktoratet for byggkvalitet**. VTEK10, §11-8 Brannceller, 2010.
- [88] **Ingebrigtsen S**. mailkorrespondanse, april 2015.
- [89] **McGrattan K, Hostikka S, McDermott R & Floyd J**. *Fire Dynamics Simulator User's Guide*. National Institute of Standards and Technology, 2013.
- [90] **Boehm BW**. Software risk management: Principles and practices. *IEEE Computer Society Press*, 1989.
- [91] **SSB**. Bebodde boliger og bosatte i boligene, etter bygningstype. *Folke- og boligtellingen, boliger, 19. november 2011*, 2011.
- [92] **McGrattan K**. Verification and validation of selected fire models for nuclear power plant applications. *U.S. Nuclear Regulatory Commission*, 2007.
- [93] **Boehmer H, Floyd J & Gottuk DT**. Fire dynamics and forensic analysis of limited ventilation compartment fires volume 2: Modeling. 2009.
- [94] **McGrattan K, Floyd J, Forney G & Baum H**. Improved radiation and combustion routines for a large eddy simulation fire model. *Proceedings of the Seventh International Symposium*, 2003.
- [95] **McGrattan K, Hostikka S & Floyd J**. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model*. National Institute of Standards and Technology, 2013.
- [96] **Babrauskas V**. The generation of CO in bench-scale fire tests and the prediction for real-scale fires. *Fire and Materials* 19.5, 1995.
- [97] **Gann RG, Averill JD, Johnsson EL, Nyden MR & Peacock RD**. Smoke component yields from room-scale fire tests. *NIST Technical Note 1453*.
- [98] **Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap**. Rapport Brann- og uhelsstatistikk 2007, 2007.

- [99] **Utstrand J.** Intervju med John Utstrand, COWI. Foretatt av Mikael Rise Gallala, desember 2014.
- [100] **Direktoratet for Byggkvalitet.** E-postkorrespondanse mellom Knut Magnus Collett og DiBK, november 2014.

A Oppgavetekst

MASTEROPPGAVE

(TBA4905 Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave)

VÅREN 2015

for

Knut Magnus Collett og Mikael Rise Gallala

Brannsikkerhet i ventilasjonssystemer:

En analytisk gjennomgang av røykspredning i ventilasjonsanlegg

BAKGRUNN

Det er i hovedsak tre faktorer som avgjør spredningen av røykgasser i et brennende bygg. Brannens varmeeffekt og brannrommets lufttetthet utgjør to av faktorene. I tillegg er ventilasjonsanleggets egenskaper avgjørende for hvordan spredningen av røyk vil foregå. Anlegget forgrener seg til alle rom og områder i bygningen, og man må påse at dette ikke svekker brannsikkerheten i bygget. I prosjekteringsbransjen har det lenge vært tradisjon for ikke å gi ventilasjonsanlegg noen funksjon ved brann. Dette vil si at anleggene kjøres som normalt ved brann, helt til det eventuelt vil stoppe som følge av brannpåkjenningene. Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonen ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg. Betydningen av begrepet vesentlig er omdiskutert, og er muligens opphavet til det mange mener er manglende brannsikring av ventilasjonssystemer. Det faktum at røyk og giftige gasser er hovedårsaken til de fleste dødsfall i forbindelse med brann har ført til større oppmerksomhet rundt røykutvikling og røykspredning ved brann i bygninger. Ventilasjonssystemet i bygg er med på å påvirke et eventuelt brannforløp og røykspredningen til brannen. Det er derfor viktig å prosjektere ventilasjonssystemet med hensyn på brannsikkerhet.

OPPGAVE

Beskrivelse av oppgaven

Oppgaven vil ta for seg forskjellige ventilasjonsløsninger, og hvilke brannsikringsegenskaper disse har. I den sammenheng vil det undersøkes om et vanlig balansert ventilasjonsanlegg vil bidra til å skape farlige situasjoner ved brann, for så å vurdere om ytterligere sikring er nødvendig. En analyse av risikoen vedrørende spredning av røyk via ventilasjonskanaler vil gjennomføres avslutningsvis.

Målsetting og hensikt

Resultatmål: Innen 10.06.2015 få kartlagt ulike metoder for brannsikring av ventilasjonssystemer. Videre ønskes det å finne ut om, og i hvilken grad, røykspredning skjer via et vanlig, sentralisert ventilasjonsanlegg. I den sammenheng vil det vurderes om kravet om at tekniske installasjoner ikke skal svekke brannskillene vesentlig overholdes

eller ei. I tillegg er det ønskelig å finne ut hvilke parametere som er mest avgjørende for røykspredning via ventilasjonsanlegget.

Effekt mål:

- Klargjøre viktigheten av god brannsikring av ventilasjonsanlegg i bygg;
- Vise hvilken betydning ventilasjonsanlegget har for røykspredning ved brann.

Deloppgaver og forskningsspørsmål

Er vanlige balanserte ventilasjonsanlegg tilstrekkelig sikret mot spredning av brann og røyk? Svarer det til TEK 10 §11-10, eller må ytterligere sikring implementeres?

Hvilken påvirkning har antatt viktige parametere på røykspredningen via ventilasjonskanalene? Disse innebærer, men ikke begrenset til:

- Brannvekst;
 - Effekt
 - Tid
- Lekkasje i fasaden;
- Ventilasjonsmengder;
- Tid til vindusbrudd.

GENERELT

Opgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinaviske språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave befinner seg på <http://www.ntnu.no/bat/studier/oppgaver>.

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ eksternt samarbeidspartner.

Ved innlevering av oppgaven skal kandidaten levere en CD med besvarelsen i digital form i pdf- og word-versjon med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel). Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og eksternt samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om eksternt veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.

Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til sonja.hammer@ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskade-forsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

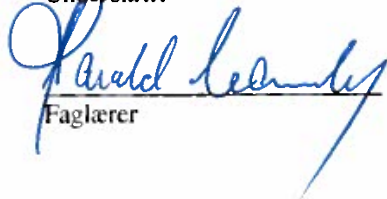
Oppstart og innleveringsfrist er i henhold til informasjon i DAIM.

Faglærer ved instituttet: Harald Landrø

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 08.06.2015

Underskrift



Faglærer

B Håndberegninger

B.1 Brannens karakteristiske effektutvikling

Brennerens areal er gitt ved $A = 2 \times 2 \text{ m} = 4 \text{ m}^2$

Det gjøres en tilnærming da den brukte brenneren er kvadratisk. Formelen, B.1, antar sirkulær brann med diameteren D . Arealet av en sirkel er gitt ved:

$$A = \pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{4}{\pi}} = 1.27 \rightarrow D = 2r = 2.54$$

$$Q^* = \frac{Q}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g D D^{1/2}}} \quad (\text{B.1})$$

$$Q^* = \frac{1000}{1.2 * 1.0 * 293 * \sqrt{9.81 * 2.54 * 2.54^{1/2}}} = \underline{0.45}$$

OK, da godkjente verdier er mellom 0.3 og 2.5 For de øvrige verdiene av Q^* , alle andre verdier holdes til de samme, har vi:

- $Q=1100 \rightarrow Q^*=0.50$, OK;
- $Q=1200 \rightarrow Q^*=0.54$, OK;
- $Q=1300 \rightarrow Q^*=0.59$, OK.

B.2 Varmeavgivelse ved overtenning

Varmeavgivelse ved overtenning er gitt av ligning B.2.

$$Q_{FO} = 7.8A_T + 378A_wH^{1/2} \quad (\text{B.2})$$

Romflater	Bredde [m]	Høyde [m]	Areal [m ²]
Vegg 1	5	2,8	14
Vegg 2	5	2,8	14
Vegg 3	8	2,8	22,4
Vegg 4	8	2,8	22,4
Gulv	5	8	40
Tak	5	8	40

$$A_T = 152,8\text{m}^2$$

Romflate	Bredde [m]	Høyde [m]	Areal [m ²]
Vindu	2	2	4

$$A_w = 4\text{m}^2$$
$$H = 2\text{m}$$

Innsatt for A_T , A_w og H i ligning B.2 blir varmeavgivelse ved overtenning beregnet til å være:

$$Q_{FO} = 7.8 * 152.8\text{m}^2 + 378 * 4\text{m}^2 * 2\text{m}^{1/2} = \underline{3330\text{kW}}$$

B.3 Beregning av sikt

Pyrosim uttrykker siktreduksjonen som prosentvis formørkelse. For å konverte dette over til faktisk sikt, benyttes følgende likninger fra Drysdale [64]:

Uttrykket for sikt kan løses for optisk densitet:

$$D_{10} = \frac{10 \cdot L}{Sikt}$$

Satt inn i uttrykket for optisk densitet gitt ved:

$$D_{10} = -10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \rightarrow$$

$$\frac{10 \cdot L}{Sikt} = -10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Løst for I gir at

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{-L}{v}}$$

Dette kan videre settes inn i uttrykket for prosentvis formørkelse, F, som er gitt ved:

$$F = \frac{I_0 - I}{I_0} \cdot 100\%$$

Dermed får vi at prosentvis formørkelse kan uttrykkes av avstanden L og sikt som:

$$F = \frac{I_0 - (I_0 \cdot 10^{\frac{-L}{v_{vis}}})}{I_0} \cdot 100\% = (1 - 10^{\frac{-L}{v_{sikt}}}) \cdot 100\% \quad (\text{B.3})$$

Innsatt verdier for L og sikt gir følgende prosentvis formørkelse:

Sikt [m]	Lengde [m]	Formørkelse
1	2	99%
3	2	80%
5	2	60%
7	2	50%

Tabell B.1: Sikt og prosentvis formørkelse

B.4 Beregning av lekkasjeareal

For beregning av lekkasjeareal er følgende formel benyttet:

$$A_L = \dot{V}_{leak} \sqrt{\frac{\rho_\infty}{2|\Delta p|}} \quad (\text{B.4})$$

der

- A_L = lekkasjearealet [m^2]
- Δp = trykkforskjell mellom trykksonene [Pa]
- ρ_∞ = luftens densitet [1.2 kg/m^3]

I oppgaven er det innsatt ulike verdier for \dot{V}_{leak} . For $\dot{V}_{leak} = 57.6 \text{ m}^3/\text{h}$, $\rho_\infty = 1.2 \text{ m}^3$ og $\Delta P = 50 \text{ Pa}$ har vi at:

$$A_L = 57.6 \sqrt{\frac{1.2}{2 \cdot 50}} = 6.3 \frac{\text{m}^2 \text{s}}{\text{h}}$$

For at benevnningen skal bli fornuftig må det ganges med 1 time og deles på 3600, antall sekunder i en time. Lekkasjearealet blir dermed:

$$A_L = \frac{6.3}{3600} = 1.75 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = \underline{17.5 \text{ cm}^2}$$

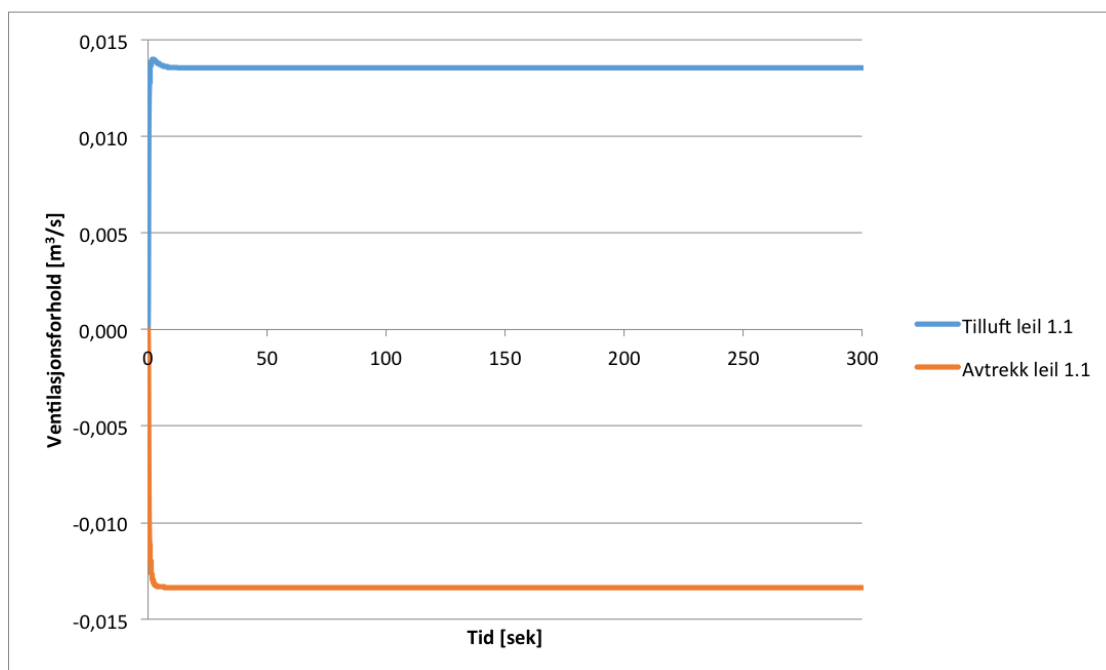
Tilsvarende operasjon er gjort for følgende verdier:

- $\dot{V}_{leak} = 96.0 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow A_L = \underline{29.2 \text{ cm}^2}$;
- $\dot{V}_{leak} = 144.0 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow A_L = \underline{43.8 \text{ cm}^2}$.

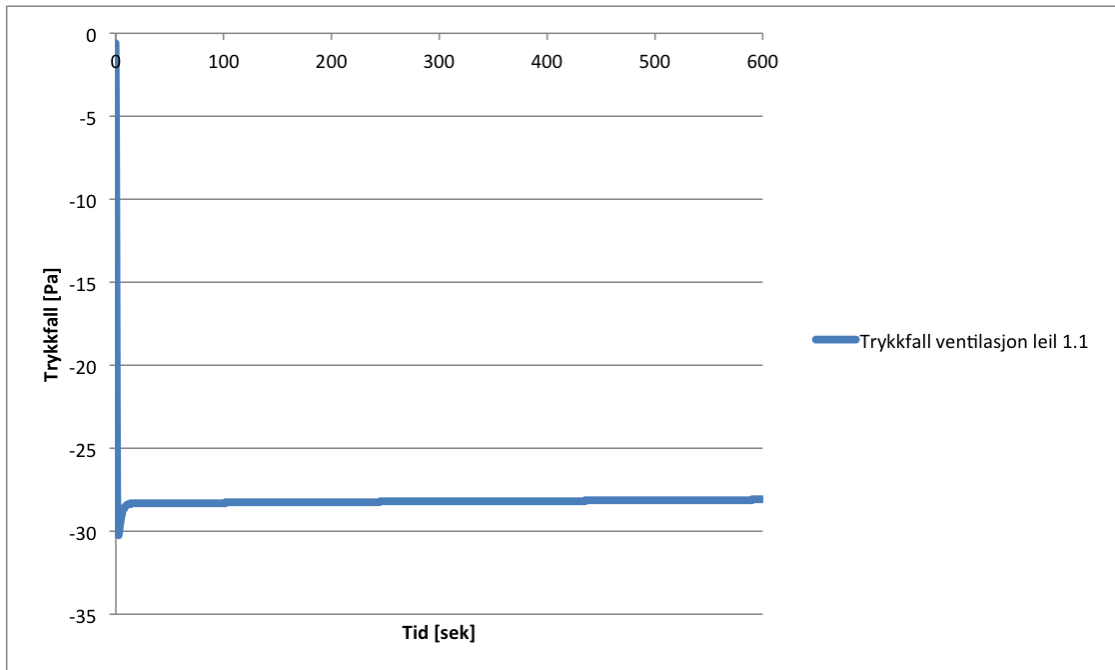
C Andre simuleringresultater

C.1 Referansescenario uten brann

For å komme frem til en god modell ble den bygd ”stein for stein”. Med det menes det at en enkel modell ble satt opp som utgangspunkt, og at denne ble tildelt flere detaljer og attributter etterhvert som ting falt på plass. Den endelige modellen har i oppgaven blitt omtalt som referansescenariet. For å skape denne modellen har det blitt gjennomført mange testsimuleringer uten brann, for å sørge for realistiske forhold i utgangspunktet. De følgende figurer vil vise hvordan forholdene i bygningen var i en tenkt normalsituasjon der det ikke brenner.

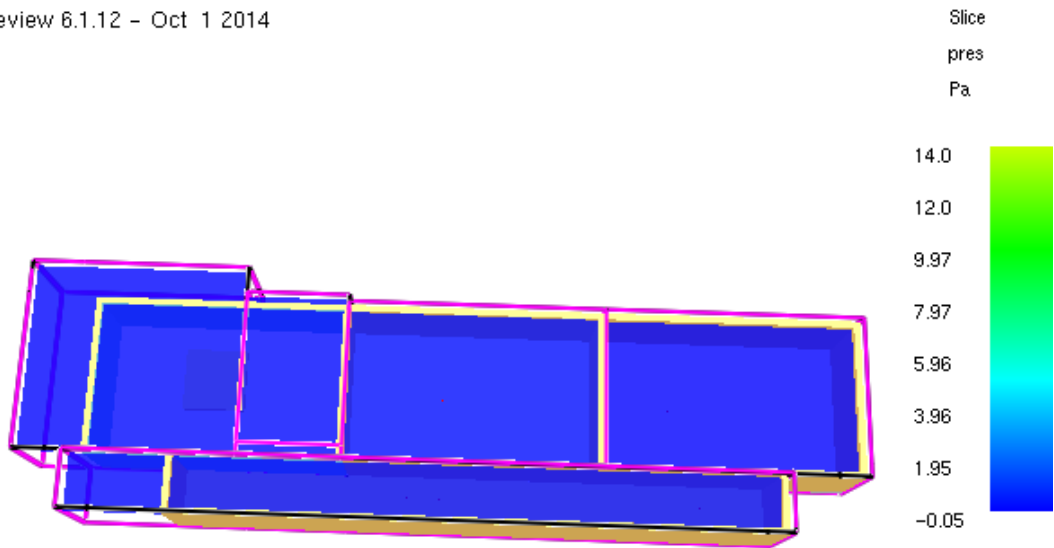


Figur C.1: Ventilasjon i referansescenariet uten brann



Figur C.2: Trykkfall i tilluftskanalen til leilighet 1.1

Smokeview 6.1.12 - Oct 1 2014

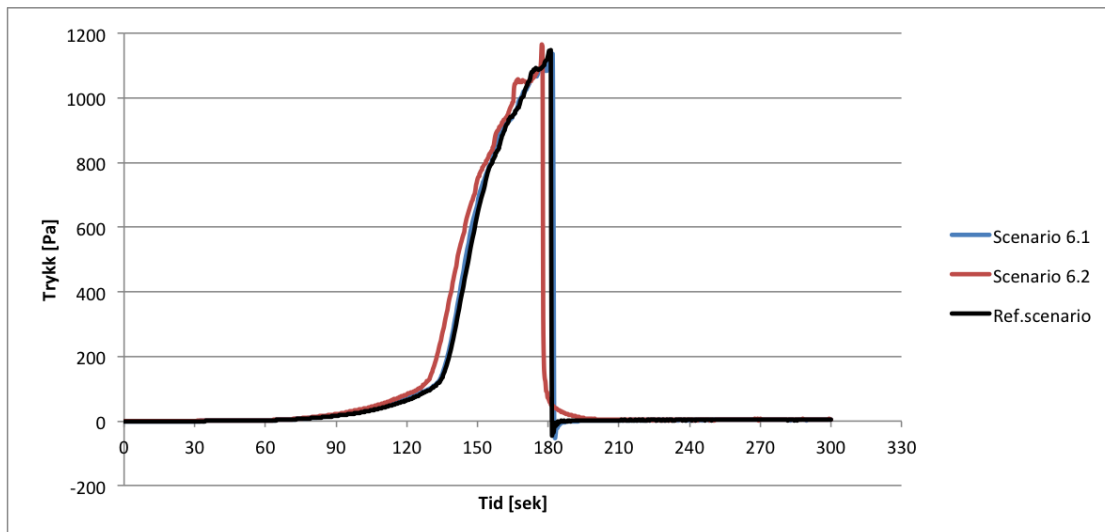


Figur C.3: Trykk i modellen uten brann

C.2 Scenario 6

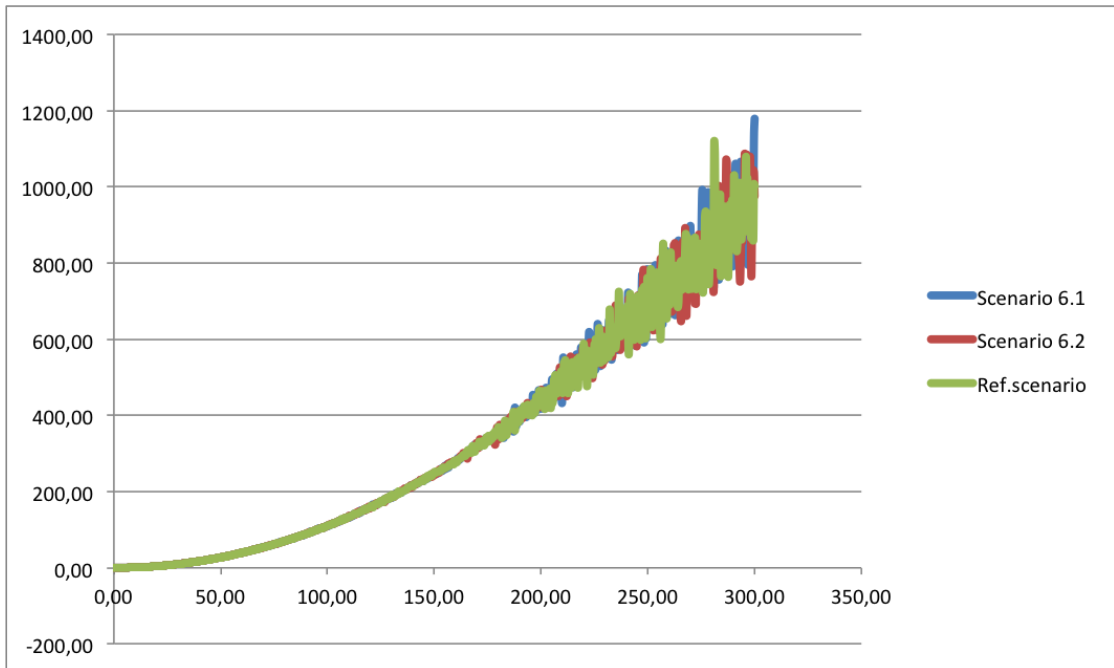
Scenario 6 gikk ikke helt som forventet, og ble utelatt fra selve oppgaven. Resultatene presenteres her. Det er de små utslagene det reageres på.

C.2.0.1 Trykkoppbygning



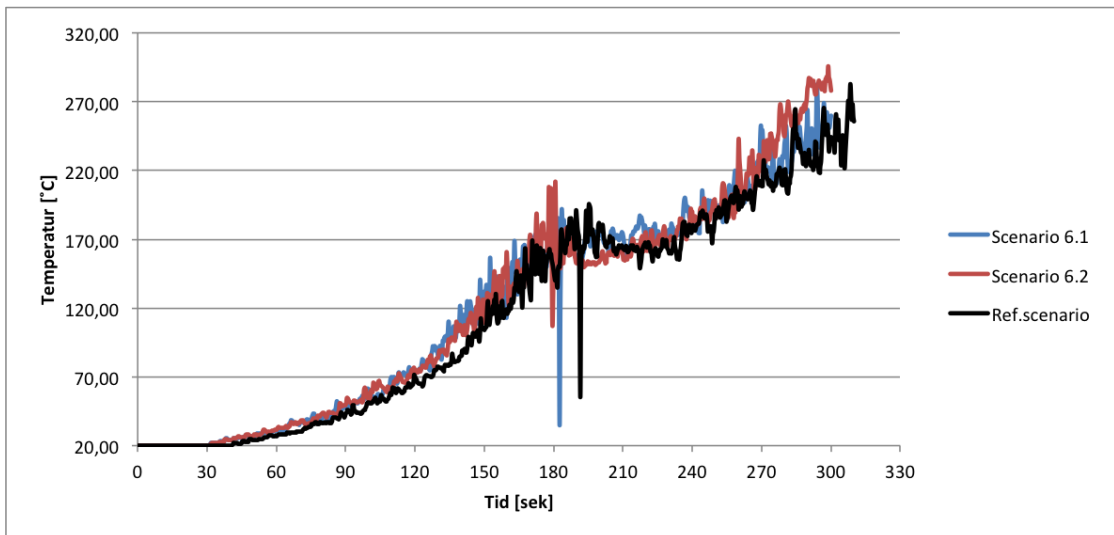
Figur C.4: Trykkoppbygning i brannleiligheten

C.2.0.2 Varmeavgivelsesrate

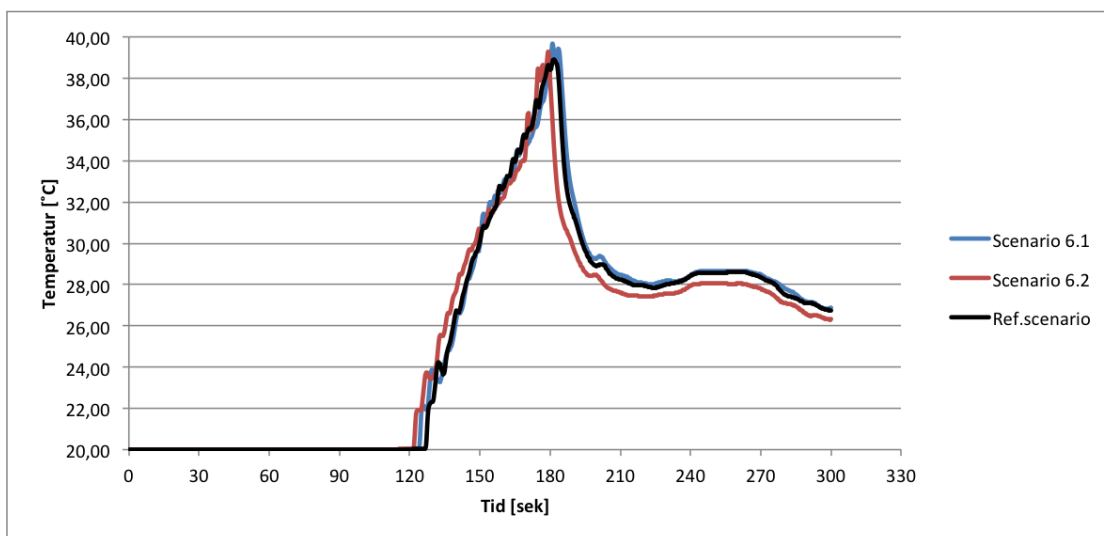


Figur C.5: Varmeavgivelsesrate

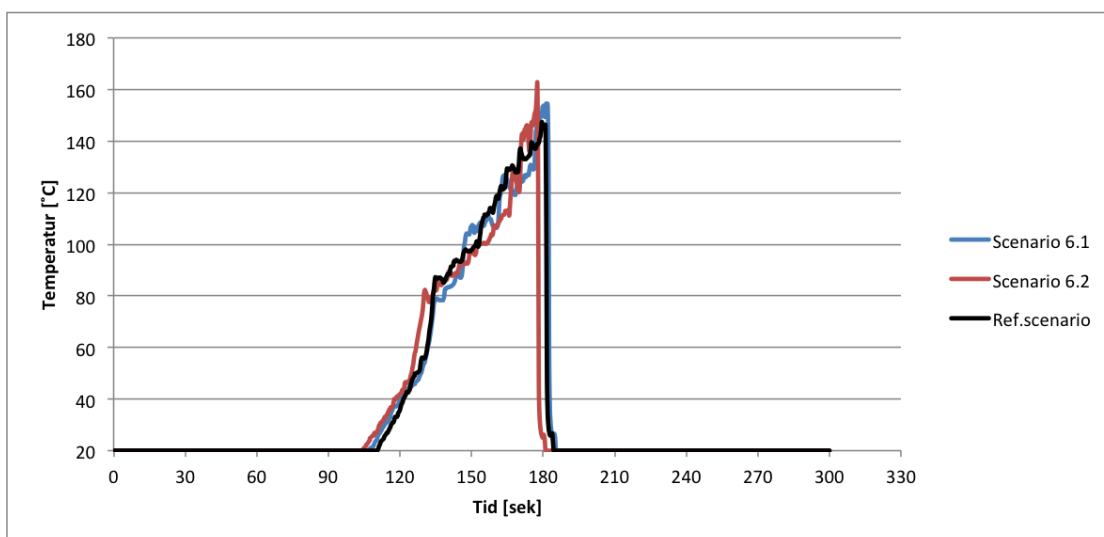
C.2.0.3 Temperatur



Figur C.6: Temperatur ved vindu i brannleiligheten, 1,8 m over gulvet

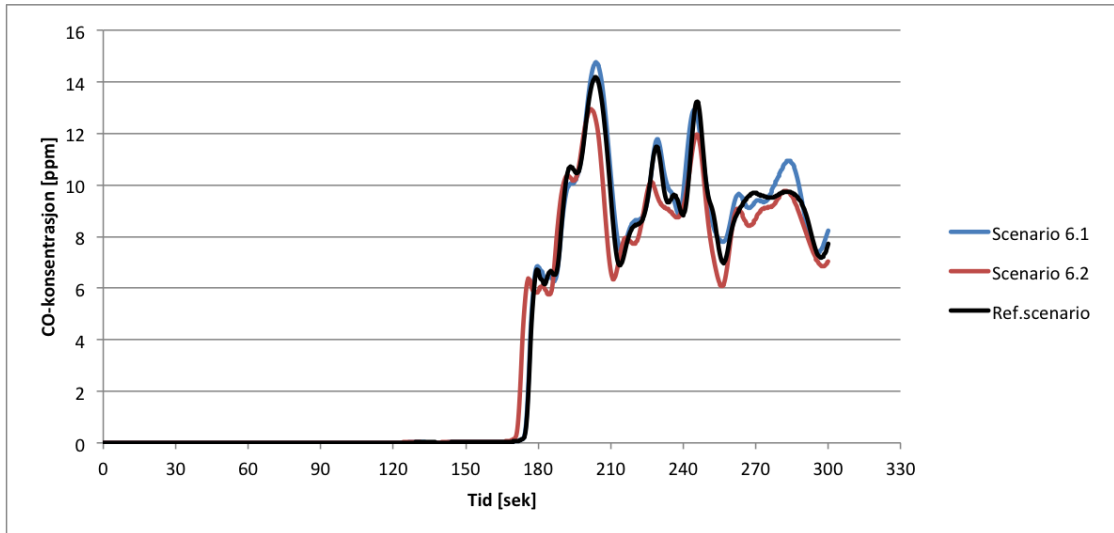


Figur C.7: Temperatur oppunder himling i naboiligheten

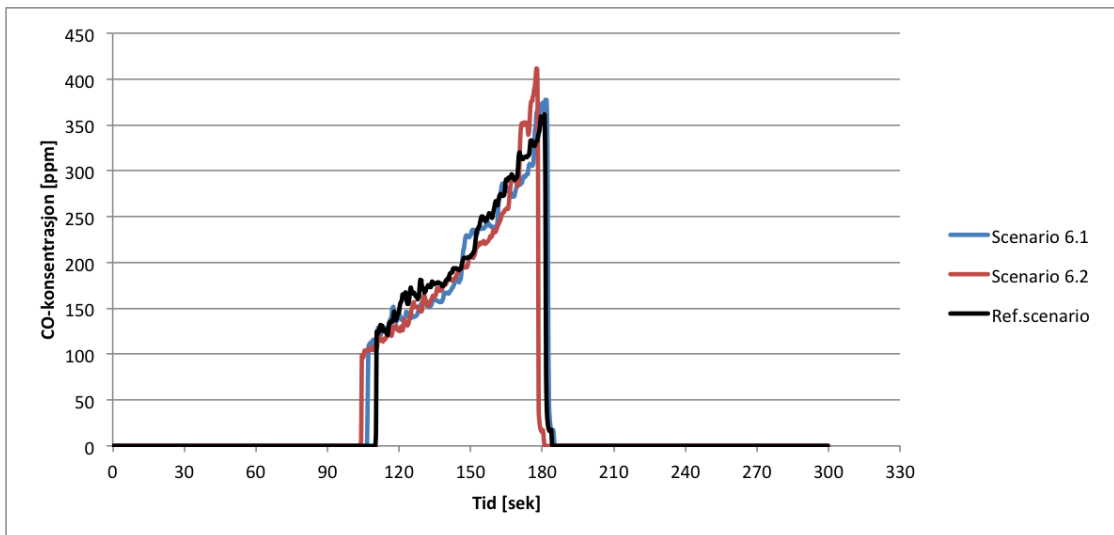


Figur C.8: Temperatur i tilluftskanalen

C.2.0.4 CO-konsentrasjon

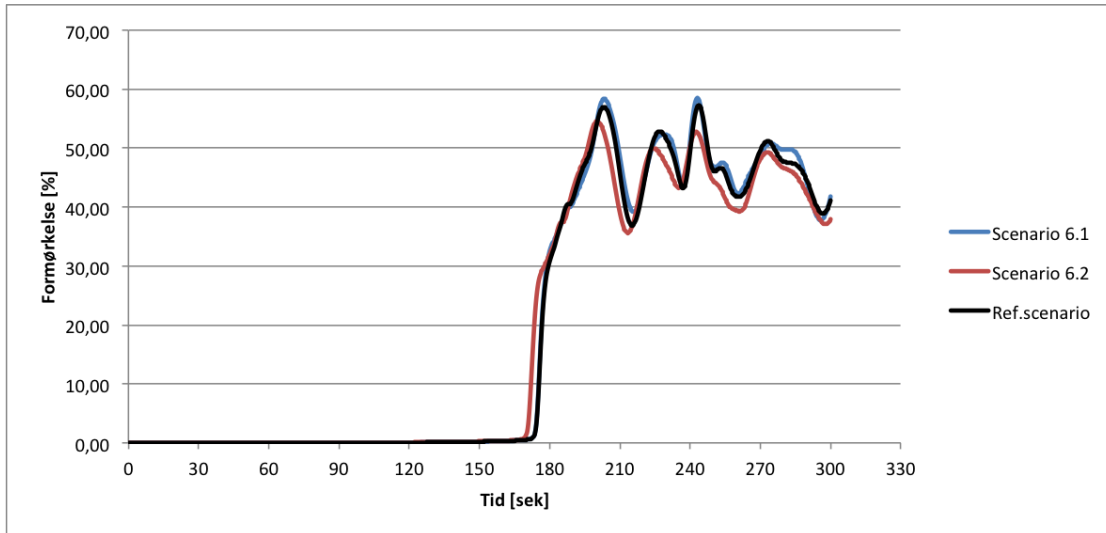


Figur C.9: Karbonmonoksidkonsentrasjon i naboelighet, 2 m over gulvet

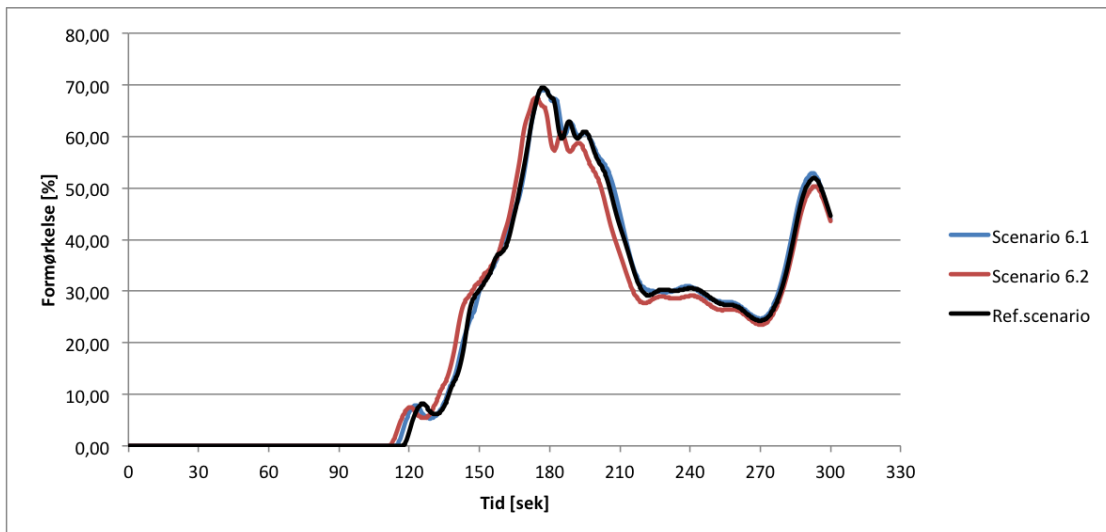


Figur C.10: Karbonmonoksidkonsentrasjon i tilluftskanalen

C.2.0.5 Sikt

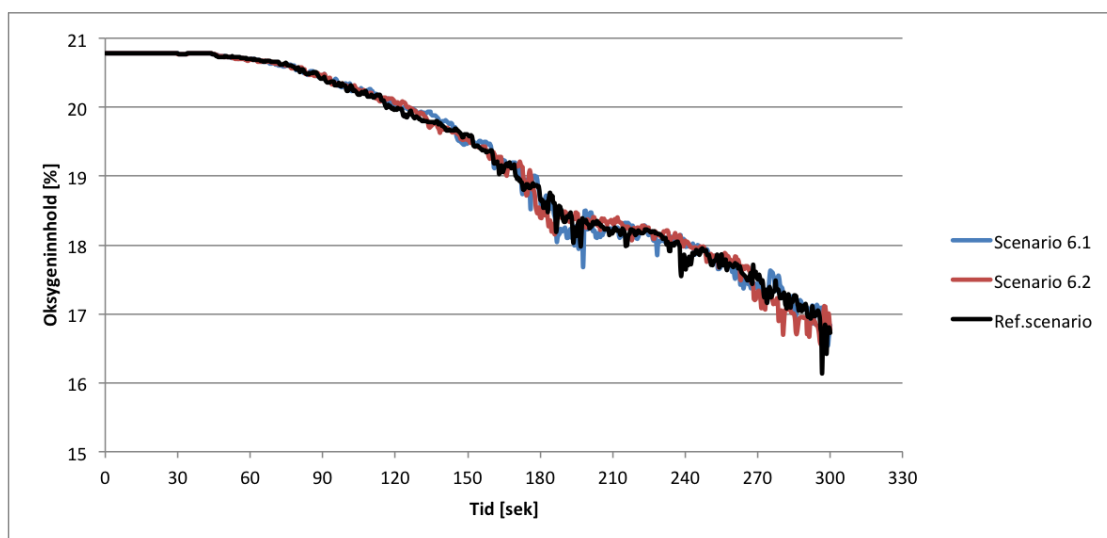


Figur C.11: Formørkelse i naboileilighet, 2 m over gulvet



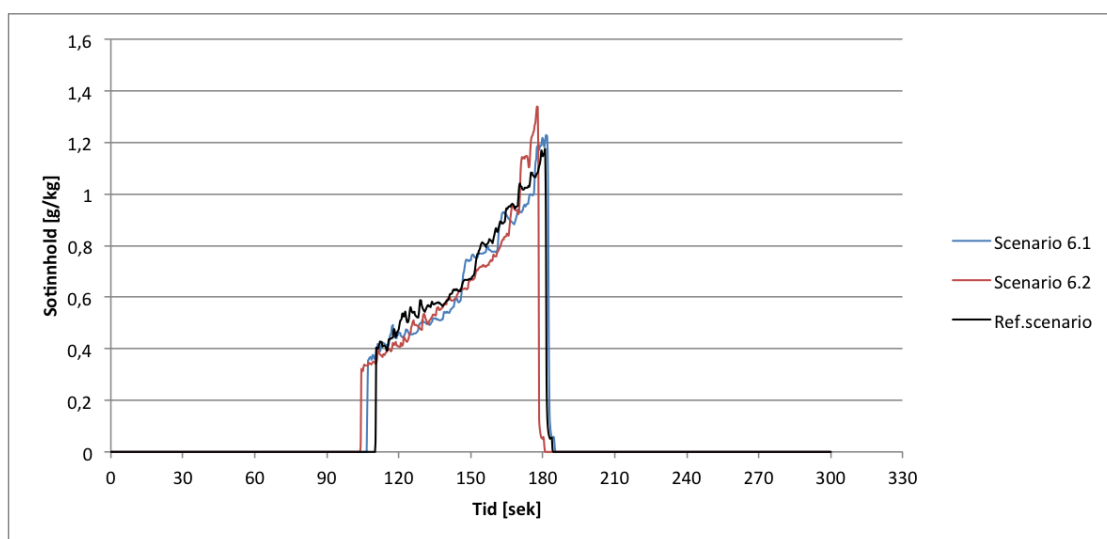
Figur C.12: Formørkelse i korridoren, 2 m over gulvet

C.2.0.6 O₂-innhold



Figur C.13: O₂-innhold i luften i brannleiligheten, 2 m over gulvet

C.2.0.7 Sot



Figur C.14: Sotinnhold i tilluftskanalen

D Intervjuer

Som et ledd i utredningen falt det naturlig å høre med bransjefolk hva de mener om dagens situasjon og utfordringer for fremtiden. I dette kapitlet gjengis derfor deler av intervjuene forfatterne har foretatt seg. Svarene er gjengitt med et skriftlig språk, og ordlyden er dermed endret fra selve intervjuesjonen. Innholdet er derimot det samme. Det er gitt godkjenning fra samtlige intervjuobjekter om å inkludere svarene i oppgaven.

Stefan Andersson, Norconsult [9]

Hva er hovedutfordringene med tanke på ventilasjonssystemer og brannsikkerhet?
Alt kan kobles til gjennomføringer i branncelle- og seksjonsvegger. I henhold til TEK 10 skal ikke tekniske installasjoner bidra vesentlig til spredning av brann, og det er da i praksis spredning forbi brannskiller man vil unngå. Det er tre ting man må passe på ved slike gjennomføringer: Man må unngå spredning ved utettheter i forbindelse med gjennomføringen; ved varmeledning i kanalgodset; og røykspredning i kanalnett. For de to førstnevnte er gode løsninger med branntetting og isolering utviklet, så dette er ikke lenger problematisk. Det må nevnes at det nå skal isoleres etter NS-EN 1366-1, og at den gamle testmetoden beskrevet i NT Fire 034 ikke lenger er gyldig. Man må nå isolere hele avtrekkskanalen dersom varme gasser skal transporteres ved brann. Dette medfører at en trenger mye isolasjon, og med krav om 8 cm tykkelse vil kanalene i realiteten bli 16 cm større i diameter. Siden man skal ha en viss takhøyde medfører dette at man rett og slett må bygge høyere bygg enn før. Kravet gir altså store økonomiske ringvirkninger. Det mest kritiske punktet for sikkerheten er derimot røykspredning i kanalnett. Dette kan løses ved trekk ut- eller steng inne-prinsippene. Førstnevnte betyr at tilluften må blåse så kraftig at ingen gasser

kommer inn, og at avtrekket suger så hardt at gassene blir med helt til utslippet. Som eksempel kan brannen på Scandinavian Star trekkes frem. Rundt to tredeler av de omkomne befant seg i lugarene, som ble røyklagt etter at ventilasjonsanlegget ombord ble avslått. Overtrykket på lugarene forsvant, og røykgasser med høy konsentrasjon av karbonmonoksid seilte inn.

Er bypass vanlig?

Helt siden 1987, om ikke før, har bypassløsning vært skrevet om, men det har ikke vært noen kultur for å bruke det i ventilasjonsmiljøet. Det er litt ”ingen andre gjør det, så hvorfor skal jeg”-preg over det hele. Man får et mer kostbart anlegg, noe ingen egentlig ønsker. Dermed fortsetter man å gjøre som man alltid har gjort. Med det sagt er bypass en god løsning. Man skal dog passe seg litt, for når man kjører all luft forbi varmegjenvinner oppstår det en fare for frysning på kalde dager. Trykkvakta i anlegget registrerer trykket i kanalen, og dersom det synker vil bypassen aktiveres. I første omgang vil noe av luften gå som normalt og noe gå gjennom bypassen, slik at man hverken får tetting av filter eller frysning på grunn av manglende varmegjenvinning. Dersom brannen blir stor nok og trykket synker ytterligere vil bypassen åpnes helt. Faren for frysning er på et slikt tidspunkt neglisjerbar i forhold til brannens størrelse.

Hva er hovedargumentene for trekk ut- og steng inne-anlegg?

Det er et kostnadsspørsmål. De to mulighetene er bare to verktøy i verktøykassen. Steng inne-anlegg blir fort veldig dyre siden spjelda koster 10-15 tusen hver. Så hvis du har mange brannceller blir det veldig kostbart. Mange mener dog at med de nye kravene til isolasjon så er det verdt det. Det skal være brannsikkert men også økonomisk forsvarlig. Det er for øvrig flere som mener at bypass ved trekk ut-anlegg er viktig, men at isolasjonskravene er strengere enn nødvendig. Brannspredning på grunn av varmeledning i kanalgodset har rett og slett ikke vært den største faren, historisk. Man mangler den negative erfaringen som tilsier at det er nødvendig med all den påkrevde isolasjonen. I fremtiden tror jeg isolasjonskravene rundt kanalene vil fires på dersom man har sprinklet bygget. Et kjennetegn på branner der det har gått riktig dårlig, at man har fått flere omkomne, er røykspredning i kanalnett i usprinklede bygg, og i bygg der folk sover. Det er få, om noen, eksempler jeg har

funnet der manglende isolasjon har vært et problem. I sprinklede bygg går det som regel ganske bra. Problemet er når sprinklene ikke fungerer. En ting er dermed å droppe isolasjon rundt kanalene, men å droppe bypass tror jeg blir å gå litt langt.

Med dagens krav til tette bygg får man mindre naturlig ventilering gjennom yttervegger. Har dette bidratt til større spredningsfare i ventilasjonsanleggene?

Dette er et litt betent punkt, med forskjellige meninger. Teorien er at med tettere bygg får man større trykkoppbygning i branncellen etterhvert som temperaturen stiger. Denne teorien er bygget på den ideelle gasslov, og da får man meget høyt trykk når temperaturen stiger, fra typisk 20°C til 300°C. Da vil trykket i rommet være så mye større enn trykket i ventilasjonskanalene at røyken vil presse seg inn. Dette stemmer etter min mening ikke helt, fordi vinduer eller dører vil gi etter for trykk i slike størrelser. For det andre, for å få spredning må man ha tilgang på ventilasjon. Hvis du ikke har det vil brannen kvele seg selv etterhvert på grunn av oksygenmangel. Du får da en høy trykktopp, men brannen kveles før det blir katastrofalt. Selv om ventilasjonsanlegget går i slike situasjoner vil det ikke gi store utslag. Luft har et oksygeninnhold på 21%, og typisk har avtrekket et oksygeninnhold på 15–16%. Det vil si at noe oksygen blir forbrukt, men stort sett ikke nok til å holde brannen i live. Det tyngste beviset mot denne teorien er at når folk sier det er et problem drar de til med så høye trykk at dersom det var sant ville bygget revnet i lemmene.

Sturla Ingebrigtsen, Systemair [7]

Hvordan ser de fleste ventilasjonssystemene ut idag?

Hvis man går ett år tilbake og tar det som utgangspunkt, så var det egentlig ingen strategi på om ventilasjon skulle gå eller ikke ved brann. Det var ingen kobling som startet ventilasjonsanlegget dersom det sto når brannalarmen gikk. Det styres på vanlig urtid, altså etter behov, og både tilluft og avtrekk brannisoleres enten en meter på hver side av brannskillet eller to meter på den ene siden. De fleste ventilasjonsanlegg ser altså slik ut. Men temaet er litt i vinden nå, og vi ser endringer blant annet vedrørende spjeldbruk.

Svarer dagens ventilasjonssystemer til forskriftskravene, med tanke på at det

sjeldent brukes brannspjeld eller bypass?

Saken er at frem til i år brukte man Nortest-metoden NT Fire 034. I den testmetoden var kanalen plugga. Den tok altså ikke hensyn til varme gasser i kanalene. Man testet brannspjeld ved denne metoden, som gikk ut på at en flammetunge ikke skulle passere spjeldet og antenne en bomullsdott på baksiden av spjeldet. En annen ting er at den beskrevne metoden med spjeld fra BF 87 forsvant i veiledningen i 1997, men isoleringen ble fortsatt nevnt. Da begynte folk å kutte ut brannspjeldene, men beholdt isoleringen. De så ikke det at hvis man skulle isolere en meter på hver side av brannskillet så forutsatte det ikke-strømmende gasser i kanalen. Det ble en sedvane i bransjen å gjøre det slik. Et annet punkt jeg reagerte på er at om man skal ha et trekk ut-system, så skal det gå varme gasser i kanalene. Da må man isolere mye mer enn bare de to meterne. Den nye teststandard tar hensyn til strømmende gasser, og man må nå isolere hele avtrekket.

Vil du si at ventilasjonssystemene svekker brannskillet slik de har blitt utformet?

Helt klart, etter min oppfatning. Men så er det noen som mener at siden ingen har dødd av det, og dermed er det greit nok. Forskriftskravene sier at tekniske installasjoner ikke skal svekke brannskillet vesentlig. Det har vært en del diskusjoner rundt betydningen av begrepet *vesentlig*. I bygg der folk antas å være våkne, som kontorbygg, vil man se at det kommer røyk ut av ventilasjonsanlegget og klare å komme seg ut. Men for hoteller, sykehus, pleiehjem og så videre er situasjonen annerledes. På et hotell kan det ligge berusede personer som ikke våkner av brannalarmen, eller døve personer som ikke hører den. Da er det viktig å ha tilstrekkelig tid til å evakuere. I Danmark har man ulike krav til ulike typer bygg med tanke på svekkelse av brannskillet på grunn av ventilasjonsanlegg. I Norge skal imidlertid alt være universelt utformet.

Kan man ikke da si at forskriften er litt uklar?

Jo, mange ønsker en tydeligere forskrift, men myndighetene sier den skal være funksjonsbasert.

Ved behovsstyrt ventilasjon, kan VAV-spjeldene fungere som brannspjeld?

Det finnes regulerbare spjeld på markedet. Så det blir heller litt motsatt, at brannspjeld fungerer som reguleringspjeld. Men etter min mening skal

brannspjeld være en sikkerhetsfunksjon, og skal ha lite belastning slik at de fungerer den dagen det virkelig gjelder.

Hvordan foregår rutinemessig kontroll og vedlikehold av spjeld?

Det meste av brannspjeld som selges er med smeltesikring, og da har du ikke automatisk test. Man må manuelt kontrollere smeltesikringen, og påse at den er inntakt. FOBTOT sier at sikringsfunksjoner skal kontrolleres en gang i året, men med anbefaling om fire kontroller. Dette er veldig viktig, da spjeldene kan gro fast. På begynnelsen av 90-tallet var det en stor brann med flere omkomne på Düsseldorf flyplass. Der var ventilasjonskanalene sikret med smeltespjeld, men de hadde grodd fast på grunn av manglende vedlikehold.

Skjer det at spjeld lukker seg ukontrollert?

For smeltesikringsspjeld er selve smeltesikringen en liten plastbit som smelter ved rundt 70 grader. Når den smelter vil en fjær stenge spjeldet. Hvis denne plastbiten er gammel og morken kan presset fra fjæra ødelegge sikringen, og spjeldet løses ut. For motorstyrte spjeld vil de stå åpne så lenge strømforsyningen virker. Det er meget strenge krav til slike brannspjeldmotorer. De må testes 10400 ganger for å sertifisering som brannspjeldmotor. Det er sjeldent feil på slike spjeld.

Hva foretrekkes av smeltesikrings- og motorstyrte spjeld?

Det selges mest smeltesikringsspjeld, fordi de er billigere. Man kan fint få røykspredning før disse stenges, men de oppfyller forskriftskravene og er dermed lovlige. En rapport fra sertifiseringsorganisasjonen BRE i England påpekte nettopp dette. I en test der ventilasjonsanlegget sto ved røykutvikling var det ingen spjeld som lukket seg før 20 minutter ut i testen. Smeltesikringen var der, i henhold til monteringsanvisning, plassert i nedre del av kanalen, mens den varme røyken passerte i den øvre delen. I Danmark er det krav til funksjonstesting av sikringsinstallasjoner en gang i uken. Hvis dette var tilfelle i Norge ville slike spjeld forsvunnet, da det vil kreve for mye arbeid å kontrollere dem.

Hva er mest brukt av steng inne og trekk ut?

Trekk ut-løsningen var den mest foretrukne, helt til Glava fikk sin nye godkjenning

på brannisolasjon. Etter de nye kravene om å teste etter NS-EN 1366-1 må man isolere mer og tykkere. Avtrekkskanaler må nå isoleres langs hele sin lengde med 8cm på hver side. Hvis du da skal ha kryssende kanaler må du altså ha over 30cm med isolasjon, og det er det ikke plass til. Så vi ser nå en stor økning på salg av brannspjeld.

Hva slags endringer tror du vil komme de neste årene?

Vi vil nok se trekk ut-løsninger på de byggene som er sprinklet, fordi da bortfaller kravene til brannisolering av avtrekket. Sprinklene vil kjøle ned kanalen, som da hverken vil lede eller stråle varme. Og så tror jeg at vi vil se mer bypass over filter og varmegjenvinner, for å sikre driften. På usprinklede bygg tror jeg vi vil se mye mer brannspjeld. Samtidig tror jeg vi vil få flere sprinklede bygg, fordi kostnaden sprinkling medfører synker når alternativene blir tatt i betraktning. Det blir på en måte billigere å sprinkle enn det har vært.

John Utstrand, Faglig leder for brannsikkerhet i COWI [99]

Hvordan ser de fleste ventilasjonsanleggene ut i dag med tanke på brannsikkerhet?
Litt usikker, men det vanligste er å la anlegget gå helt til det stanser. Det legges ikke så mye mer i det enn det. Det er litt bruk av bypass.

Hva er hovedutfordringene med tanke på ventilasjonssystemer og brannsikkerhet?
Det som er mest problematisk er at veiledningen til TEK 10 ikke er tydelig på hva som kreves. De uklare formuleringene gjør det vanskelig å forholde seg til.

Svarer dagens ventilasjonssystemer til forskriftskravene, med tanke på at det sjeldent brukes brannspjeld eller bypass?

Et rungende kanskje, fordi forskriftskravet er litt tvetydig. Derfor har vi VTEK som forklarer oss hvordan vi kan oppnå kravene som er gitt i forskriften. Dette fordi den samme forskriften gjelder for tetting av gjennomføringer av rør osv. Det samme forskriftskravet, men med anderledes praksis.

Det skal komme en endring i VTEK10 rundt 1. april 2015. Vet du noe om hva de

vil endre på?

Ja, de skal revidere noe, men jeg er usikker på hva. Jeg tror ikke det blir noen store endringer. Jeg håper de kan si at man krever godkjente, klassifiserte løsninger som er tilpasset brannmotstanden til det gjeldende bygget. Slik blir retningslinjene for hvordan man skal bygge tydeligere.

Hva er hovedargumentene for trekk ut- og steng inne?

Jeg tror brannrådgiveren må beskrive kravene på en slik måte at det går an å velge strategi for RIV. Fordi RIBr må kun være klar på hva som kreves for å hindre brann og røykspredning, så må RIV velge hvordan han skal utforme ventilasjonssystemet. Men generelt vil et bygg med mange små brannceller ikke velge steng inne-strategien fordi det krever mange spjeld. Dette er svært kostbart og blir derfor ikke brukt. Det er nok mer gunstig å gjøre tiltak på aggregatet slik at det kan gå under brann. Men med få brannceller kan nok steng inne være gunstig. Sikkerhetsmessig, dersom det er riktig utført, er de to anleggene ganske like.

Med dagens krav til tette bygg får man mindre naturlig ventilering gjennom yttervegger. Har dette bidratt til større spredningsfare i ventilasjonsanleggene?

Det er en del i bransjen som hevder det fordi man ikke får trykkavlastning ut av bygget, men selv synes jeg at det er vanskelig å si. Fokus på inneklime og bruk av fine filtre kan kanskje utgjøre en like stor risiko som den reduserte trykkavlastningen.

Hva slags endringer i praksis tror du vil komme de neste årene?

For brannrådgiverens del tror jeg det blir lite endringer, forutsatt at vi får en klargjøring i VTEK. Dersom vi ikke får en klargjøring vil det være negativt for bransjen. COWI har gått i bresjen for å få på plass klarere retningslinjer, blant annet med utarbeidelsen av BV-veilederen. Men når DiBK velger å ikke benytte seg av den er vi like langt. Det er svært konkurransehemmende for de rådgiverne som prosjekterer dyrere, men kanskje sikrere løsninger.

DiBK [100]

Vi fikk kun en kort uttalelse fra Direktoratet for byggkvalitet. De opplyste om at at vanlige ventilasjonsanlegg vanligvis ikke kommer under TEK 10 §11-10 annet

ledd.

E FDS-kode

Følgende kode ble brukt i referansescenariet.

```
Referansescenario_med_brann.fds
Generated by PyroSim - Version 2015.1.0130
30.apr.2015 18:42:10

&HEAD CHID='Referansescenario_med_brann', TITLE='Referansescenario med brann'/
&TIME T_END=600.0/
&DUMP RENDER_FILE='Referansescenario_med_brann.ge1', DT_RESTART=300.0/
&RADI RADIATION=.FALSE./

&MESH ID='Mesh16-a', IJK=32,48,30, XB=-4.2,-1.0,0.4,5.2,-0.2,2.8/
&MESH ID='Mesh16-b', IJK=80,50,30, XB=-1.0,7.0,0.0,5.0,-0.2,2.8/
&MESH ID='Mesh16-c', IJK=40,25,15, XB=7.0,15.0,0.0,5.0,-0.2,2.8/
&MESH ID='Mesh16-d', IJK=110,9,16, XB=-9.4,12.6,-1.8,-3.88578E-16,-0.2,3.0/
&MESH ID='Mesh21', IJK=32,4,28, XB=-4.2,-1.0,0.0,0.4,0.0,2.8/
&MESH ID='Mesh23', IJK=68,60,30, XB=-11.0,-4.2,0.0,6.0,-0.2,2.8/

&ZONE ID='Korridor', XB=-6.2,12.4,-1.6,0.0,0.0,2.4/
&ZONE ID='Leil 1.1', XB=-8.6,-1.2,0.4,4.6,0.0,2.4, LEAK_AREA=0.00175/
&ZONE ID='Leil 1.2', XB=-1.0,6.8,0.2,4.8,0.0,2.4/
&ZONE ID='Leil 1.3', XB=7.0,14.8,0.2,4.8,0.0,2.4/

&REAC ID='Brannen',
  FYI='Gjennomsnittreaksjon bolig',
  FUEL='REAC_FUEL',
  C=3.4,
  H=6.2,
  O=2.5,
  CO_YIELD=0.021,
  SOOT_YIELD=0.07/

&DEVC ID='Vindu 1.12', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-8.75,3.0,1.8, SETPOINT=200.0/
&DEVC ID='FLOW', QUANTITY='VOLUME FLOW', XB=-3.05,-2.95,0.21,0.21,2.15,2.25, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='speeds', QUANTITY='DUCT VELOCITY', DUCT_ID='Tilluft leil 1.1'/
&DEVC ID='HRR', QUANTITY='HRR', XB=-7.0,-4.2,1.4,4.4,0.2,2.4, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Sikt leil 1.1 h=1.8x', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=-4.0,-2.0,2.0,2.0,1.8,1.8, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt leil 1.1 h=2x', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=-4.0,-2.0,2.0,2.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt leil 1.1 h=1.8y', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=-3.0,-3.0,1.0,3.0,1.8,1.8, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt leil 1.1 h=2y', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=-3.0,-3.0,1.0,3.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt leil 1.2 h=1.8x', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=2.0,4.0,2.0,2.0,1.8,1.8, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt leil 1.2 h=2x', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=2.0,4.0,2.0,2.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt leil 1.2 h=1.8y', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=3.0,3.0,1.0,3.0,1.8,1.8, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt leil 1.2 h=2y', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=3.0,3.0,1.0,3.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt leil 1.3 h=1.8x', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=8.0,10.0,2.0,2.0,1.8,1.8, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt leil 1.3 h=2x', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=8.0,10.0,2.0,2.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt leil 1.3 h=2y', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=9.0,9.0,1.0,3.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt leil 1.3 h=1.8y', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=9.0,9.0,1.0,3.0,1.8,1.8, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
```



```

&DEVC ID='Sikt korridor start h=1.8', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=0.0,2.0,-1.0,-1.0,1.8,1.8,
SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt korridor start h=2', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=0.0,2.0,-1.0,-1.0,2.0,2.0,
SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt korridor ende h=1.8', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=8.0,10.0,-1.0,-1.0,1.8,1.8,
SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Sikt korridor ende h=2', QUANTITY='PATH OBSCURATION', XB=8.0,10.0,-1.0,-1.0,2.0,2.0,
SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Temperatur leil 1.2 180cm', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.0,2.0,1.8, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Temperatur leil 1.2 239cm', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.0,2.0,2.39, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Temperatur leil 1.3 180cm', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,2.0,1.8, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Temperatur leil 1.3 239cm', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,2.0,2.39, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Temperatur korridor 1 180cm', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-6.0,-1.0,1.8, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Temperatur korridor 2 180cm', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.0,-1.0,1.8, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Temperatur korridor 3 180cm', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,-1.0,1.8, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Temperatur korridor 1 239cm', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=-6.0,-1.0,2.39, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Temperatur korridor 2 239cm', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.0,-1.0,2.39, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Temperatur korridor 3 239cm', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,-1.0,2.39, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Temp tilluft leil 1.1', QUANTITY='DUCT TEMPERATURE', DUCT_ID='Tilluft leil 1.1' /
&DEVC ID='Temp målenode1', QUANTITY='NODE TEMPERATURE', NODE_ID='Målenode korridor 1' /
&DEVC ID='Temp avtrekk leil 1.2', QUANTITY='DUCT TEMPERATURE', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.2' /
&DEVC ID='Temp avtrekk leil 1.1', QUANTITY='DUCT TEMPERATURE', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.1' /
&DEVC ID='Reac_fuel tilluft leil1.1', QUANTITY='DUCT VOLUME FRACTION', DUCT_ID='Tilluft leil 1.1', SPEC_ID='REAC_FUEL' /
&DEVC ID='Reac_fuel tilluft leil1.1 - masse', QUANTITY='DUCT MASS FRACTION', DUCT_ID='Tilluft leil 1.1', SPEC_ID='REAC_FUEL' /
&DEVC ID='Reac_fuel tilluft leil1.2', QUANTITY='DUCT VOLUME FRACTION', DUCT_ID='Tilluft leil 1.2', SPEC_ID='REAC_FUEL' /
&DEVC ID='Reac_fuel tilluft leil1.2 - masse', QUANTITY='DUCT MASS FRACTION', DUCT_ID='Tilluft leil 1.2', SPEC_ID='REAC_FUEL' /
&DEVC ID='Reac_fuel tilluft leil1.3', QUANTITY='DUCT VOLUME FRACTION', DUCT_ID='Tilluft leil 1.3', SPEC_ID='REAC_FUEL' /
&DEVC ID='Reac_fuel tilluft leil1.3 - masse', QUANTITY='NODE MASS FRACTION', NODE_ID='Tilluft leil 1.3', SPEC_ID='REAC_FUEL' /
&DEVC ID='Reac_fuel tilluft korridor', QUANTITY='DUCT VOLUME FRACTION', DUCT_ID='Tilluft korridor ende', SPEC_ID='REAC_FUEL' /
&DEVC ID='Reac_fuel tilluft korridor - masse', QUANTITY='NODE MASS FRACTION', NODE_ID='Tilluft korridor ende',
SPEC_ID='REAC_FUEL' /
&DEVC ID='O2 leil 1.1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', XYZ=-3.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='O2 leil 1.2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', XYZ=3.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='O2 leil 1.3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', XYZ=9.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Sot tilluft leil 1.1', QUANTITY='DUCT MASS FRACTION', DUCT_ID='Tilluft leil 1.1', SPEC_ID='SOOT' /
&DEVC ID='Sot avtrekk leil 1.1', QUANTITY='DUCT MASS FRACTION', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.1', SPEC_ID='SOOT' /
&DEVC ID='Sot tilluft leil 1.2', QUANTITY='DUCT MASS FRACTION', DUCT_ID='Tilluft leil 1.2', SPEC_ID='SOOT' /
&DEVC ID='Sot avtrekk leil 1.2', QUANTITY='DUCT MASS FRACTION', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.2', SPEC_ID='SOOT' /
&DEVC ID='Sot tilluft leil 1.3', QUANTITY='DUCT MASS FRACTION', DUCT_ID='Tilluft leil 1.3', SPEC_ID='SOOT' /
&DEVC ID='Sot avtrekk leil 1.3', QUANTITY='DUCT MASS FRACTION', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.3', SPEC_ID='SOOT' /
&DEVC ID='Sot avtrekk korridor_ut', QUANTITY='DUCT MASS FRACTION', DUCT_ID='Avtrekk korridor 1', SPEC_ID='SOOT' /
&DEVC ID='Sot avtrekk korridor 2', QUANTITY='DUCT MASS FRACTION', DUCT_ID='Avtrekk korridor 2', SPEC_ID='SOOT' /
&DEVC ID='CO tilluft leil 1.1', QUANTITY='DUCT VOLUME FRACTION', DUCT_ID='Tilluft leil 1.1', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE' /
&DEVC ID='CO tilluft leil 1.2', QUANTITY='DUCT VOLUME FRACTION', DUCT_ID='Tilluft leil 1.2', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE' /
&DEVC ID='CO tilluft leil 1.3', QUANTITY='DUCT VOLUME FRACTION', DUCT_ID='Tilluft leil 1.3', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE' /
&DEVC ID='CO tilluft korridor', QUANTITY='DUCT VOLUME FRACTION', DUCT_ID='Tilluft korridor ende', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE' /
&DEVC ID='CO leil 1.2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=2.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='CO leil 1.3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=10.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='CO korridor 1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE',
XYZ=-6.0,-1.0,2.0, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='CO korridor 2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE',
XYZ=2.0,-1.0,2.0, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='CO korridor 3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE',
XYZ=10.0,-1.0,2.0, SETPOINT=0.0, INITIAL_STATE=.TRUE./
&DEVC ID='Hastighet ut tilluft leil1.1', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=-3.0,0.2,2.2, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Hastighet ut tilluft leil1.2', QUANTITY='DENSITY', SPEC_ID='SOOT', XYZ=3.0,0.22,2.2, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Hastighet ut tilluft leil1.3', QUANTITY='DENSITY', SPEC_ID='SOOT', XYZ=9.0,0.22,2.2, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Hastighet ut tilluft korridor', QUANTITY='DENSITY', SPEC_ID='SOOT', XYZ=8.9477,-1.59678,2.2, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Tilluft leil 1.1', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Tilluft leil 1.1' /
&DEVC ID='Avtrekk leil 1.1', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.1' /
&DEVC ID='Tilluft leil 1.2', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Tilluft leil 1.2' /
&DEVC ID='Avtrekk leil 1.2', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.2' /
&DEVC ID='Tilluft leil 1.3', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Tilluft leil 1.3' /
&DEVC ID='Avtrekk leil 1.3', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.3' /
&DEVC ID='Tilluft korridor', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Tilluft korridor ende' /
&DEVC ID='Avtrekk korridor', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Avtrekk korridor ende' /
&DEVC ID='Flow fanduct', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Vifteducten' /

```

```

&DEVC ID='Flow korridor 1', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Tilluft korridor 1'/
&DEVC ID='Flow i avtrekk tot', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='Avtrekk korridor 1'/
&DEVC ID='Trykk leil 1.1', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=-3.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Trykk leil 1.1_b', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=-3.0,4.0,2.0, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Trykk leil 1.1_c', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=-8.0,4.0,2.0, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Trykk leil 1.1_d', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=-8.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Trykk leil 1.1_e', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=-5.5,0.5,2.0, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Trykk leil 1.2', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=3.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='Trykk leil 1.01', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=9.0,2.0,2.0, SETPOINT=0.0/
&DEVC ID='press intern', QUANTITY='NODE PRESSURE', NODE_ID='Tilluft intern 2'/
&DEVC ID='press1.2', QUANTITY='NODE PRESSURE', NODE_ID='Tilluft leil 1.2'/
&DEVC ID='Trykkfall leil 1.1', QUANTITY='NODE PRESSURE DIFFERENCE', NODE_ID='Tilluft intern 1','Tilluft leil 1.1'/
&DEVC ID='Trykkfall leil 1.2', QUANTITY='NODE PRESSURE DIFFERENCE', NODE_ID='Tilluft intern 2','Tilluft leil 1.2'/
&DEVC ID='Trykkfall leil 1.3', QUANTITY='NODE PRESSURE DIFFERENCE', NODE_ID='Tilluft intern 4','Tilluft leil 1.3'/
&DEVC ID='Trykkfall ende_korridor', QUANTITY='NODE PRESSURE DIFFERENCE',
NODE_ID='Tilluft intern 4','Tilluft korridor ende'/
&CTRL ID='Vindu 1.1', FUNCTION_TYPE='ALL', LATCH=.TRUE., INPUT_ID='Vindu 1.12'/

&SURF ID='ADIABATIC',
COLOR='GRAY 80',
ADIABATIC=.TRUE./
&SURF ID='Burner',
COLOR='RED',
HRRPUA=250.0,
TAU_Q=-300.0/
&SURF ID='airleak',
RGB=127,221,255,
LEAK_PATH=2,0/

&OBST XB=-9.0,15.0,0.0,5.0,-0.2,0.0, SURF_ID='ADIABATIC'/ Obstruction
&OBST XB=-9.0,15.0,0.0,5.0,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='ADIABATIC'/ Obstruction
&OBST XB=-6.4,12.6,-1.8,0.0,-0.2,0.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-6.4,-6.2,-1.8,0.0,0.0,2.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-6.4,12.6,-1.8,0.0,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='ADIABATIC'/ Obstruction
&OBST XB=-6.5,-4.5,2.0,4.0,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-4.2,-1.0,4.8,5.0,0.0,2.4, SURF_ID6='INERT','INERT','airleak','airleak','INERT','INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-1.2,-1.0,0.4,4.8,0.0,2.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-4.2,-1.0,0.0,0.2,0.0,2.4, SURF_ID6='INERT','INERT','airleak','airleak','INERT','INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-1.2,-1.0,0.2,0.4,0.0,2.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-9.0,-8.8,0.2,4.8,0.0,2.4, SURF_IDS='INERT','airleak','INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-9.0,-4.2,0.0,0.2,0.0,2.4, SURF_IDS='INERT','airleak','INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-9.0,-4.2,4.8,5.0,0.0,2.4, SURF_IDS='INERT','airleak','INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-1.0,7.0,0.0,0.2,0.0,2.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-1.0,7.0,4.8,5.0,0.0,2.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=6.8,7.0,0.2,4.8,0.0,2.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=7.0,15.0,0.0,0.2,0.0,2.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=7.0,15.0,4.8,5.0,0.0,2.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=14.8,15.0,0.2,4.8,0.0,2.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=-6.2,12.6,-1.8,-1.6,0.0,2.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction
&OBST XB=12.4,12.6,-1.6,-3.88578E-16,0.0,2.4, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=-9.2,-8.8,2.0,4.0,0.6,2.2, CTRL_ID='Vindu 1.1'/ Vindu 1.1

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-1.0,-1.0,5.0,5.2,-0.2,2.8/ Mesh Vent: Mesh16-a [XMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-4.2,-1.0,5.2,5.2,-0.2,2.8/ Mesh Vent: Mesh16-a [YMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-4.2,-1.0,0.4,0.4,-0.2,4.44089E-16/ Mesh Vent: Mesh16-a [YMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-4.2,-1.0,0.4,5.2,2.8,2.8/ Mesh Vent: Mesh16-a [ZMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-4.2,-1.0,0.4,5.2,-0.2,-0.2/ Mesh Vent: Mesh16-a [ZMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-1.0,-1.0,0.0,0.4,-0.2,4.44089E-16/ Mesh Vent: Mesh16-b [XMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-1.0,7.0,5.0,5.0,-0.2,2.8/ Mesh Vent: Mesh16-b [YMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-1.0,7.0,0.0,5.0,2.8,2.8/ Mesh Vent: Mesh16-b [ZMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-1.0,7.0,0.0,5.0,-0.2,-0.2/ Mesh Vent: Mesh16-b [ZMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=15.0,15.0,0.0,5.0,-0.2,2.8/ Mesh Vent: Mesh16-c [XMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=7.0,15.0,5.0,5.0,-0.2,2.8/ Mesh Vent: Mesh16-c [YMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=12.6,15.0,0.0,0.0,-0.2,2.8/ Mesh Vent: Mesh16-c [YMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=7.0,15.0,0.0,5.0,2.8,2.8/ Mesh Vent: Mesh16-c [ZMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=7.0,15.0,0.0,5.0,-0.2,-0.2/ Mesh Vent: Mesh16-c [ZMIN]

```

```

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=12.6,12.6,-1.8,0.0,-0.2,3.0/ Mesh Vent: Mesh16-d [XMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-9.4,-9.4,-1.8,-3.88578E-16,-0.2,3.0/ Mesh Vent: Mesh16-d [XMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-9.4,12.6,-3.88578E-16,-3.88578E-16,2.8,3.0/ Mesh Vent: Mesh16-d [YMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-4.2,-1.0,-3.88578E-16,-3.88578E-16,-0.2,2.77556E-17/ Mesh Vent: Mesh16-d [YMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-9.4,12.6,-1.8,-1.8,-0.2,3.0/ Mesh Vent: Mesh16-d [YMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-9.4,12.6,-1.8,-3.88578E-16,3.0,3.0/ Mesh Vent: Mesh16-d [ZMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-9.4,12.6,-1.8,0.0,-0.2,-0.2/ Mesh Vent: Mesh16-d [ZMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-4.2,-1.0,-3.88578E-16,0.4,2.8,2.8/ Mesh Vent: Mesh21 [ZMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-4.2,-1.0,-3.88578E-16,0.4,0.0,0.0/ Mesh Vent: Mesh21 [ZMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-4.2,-4.2,5.2,6.0,-0.2,2.8/ Mesh Vent: Mesh23 [XMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-4.2,-4.2,-3.88578E-16,0.4,-0.2,2.77556E-17/ Mesh Vent: Mesh23 [XMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-11.0,-11.0,0.0,6.0,-0.2,2.8/ Mesh Vent: Mesh23 [XMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-11.0,-4.2,6.0,6.0,-0.2,2.8/ Mesh Vent: Mesh23 [YMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-11.0,-9.4,-3.88578E-16,-3.88578E-16,-0.2,2.8/ Mesh Vent: Mesh23 [YMIN]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-11.0,-4.2,-3.88578E-16,6.0,2.8,2.8/ Mesh Vent: Mesh23 [ZMAX]
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=-11.0,-4.2,-3.88578E-16,6.0,-0.2,-0.2/ Mesh Vent: Mesh23 [ZMIN]
&VENT SURF_ID='Burner', XB=-6.5,-4.5,2.0,4.0,0.2,0.2/ Brann
&VENT ID='Vent leil 1.1', SURF_ID='HVAC', XB=-3.05,-2.95,0.2,0.2,2.15,2.25/
&VENT ID='Vent leil 1.2', SURF_ID='HVAC', XB=2.8,3.2,0.2,0.2,2.0,2.4/
&VENT ID='Avtrekk leil 1.1', SURF_ID='HVAC', XB=-4.2,-3.8,0.2,0.2,2.0,2.4/
&VENT ID='Avtrekk leil 1.2', SURF_ID='HVAC', XB=1.8,2.2,0.2,0.2,2.0,2.4/
&VENT ID='Vent', SURF_ID='HVAC', XB=7.8,8.2,0.2,0.2,2.0,2.4/
&VENT ID='Tilluft leil 1.3', SURF_ID='HVAC', XB=8.8,9.2,0.2,0.2,2.0,2.4/
&VENT ID='Vent21', SURF_ID='HVAC', XB=7.8,8.2,-1.6,-1.6,2.0,2.4/
&VENT ID='Vent22', SURF_ID='HVAC', XB=8.8,9.2,-1.6,-1.6,2.0,2.4/
&VENT ID='Vent23', SURF_ID='HVAC', XB=-6.4,-6.4,-1.0,-0.6,2.0,2.4/

&HVAC ID='Tilluft leil 1.1', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.115, NODE_ID='Tilluft intern 1','Tilluft leil 1.1', ROUGHNESS=2.0E-6/
&HVAC ID='Tilluft leil 1.2', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.12, NODE_ID='Tilluft intern 2','Tilluft leil 1.2', ROUGHNESS=2.0E-6/
&HVAC ID='Tilluft leil 1.3', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.125, NODE_ID='Tilluft intern 4','Tilluft leil 1.3', ROUGHNESS=2.0E-6/
&HVAC ID='Tilluft korridor ende', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.08, NODE_ID='Tilluft intern 4','Tilluft korridor ende',
ROUGHNESS=2.0E-6, LENGTH=0.05/
&HVAC ID='Tilluft korridor 2', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.2, NODE_ID='Tilluft intern 1',
'Malenode korridor 1', ROUGHNESS=2.0E-6, LENGTH=0.5/
&HVAC ID='Tilluft start', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Vifteducten', AMBIENT=.TRUE., XYZ=-5.0,-1.0,2.2/
&HVAC ID='Tilluft leil 1.1', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Tilluft leil 1.1', VENT_ID='Vent leil 1.1', LOSS=0.5,25.0/
&HVAC ID='Tilluft leil 1.2', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Tilluft leil 1.2', VENT_ID='Vent leil 1.2', LOSS=0.5,30.0/
&HVAC ID='Tilluft leil 1.3', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Tilluft leil 1.3', VENT_ID='Tilluft leil 1.3', LOSS=0.5,30.0/
&HVAC ID='Tilluft korridor ende', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Tilluft korridor ende', VENT_ID='Vent22', LOSS=0.5,10.5/
&HVAC ID='Tilluft intern 1', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Tilluft leil 1.1','Tilluft korridor 2','Tilluft korridor 1',
XYZ=-3.0,-1.0,2.2, LOSS(1,2:3)=2.0,2.0, LOSS(3,1)=2.0/
&HVAC ID='Tilluft intern 2', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Tilluft leil 1.2','Duct', 'Duct43', XYZ=3.0,-1.0,2.2,
LOSS(1,2:3)=2.0,2.0, LOSS(3,1)=2.0/
&HVAC ID='Tilluft intern 4', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Tilluft leil 1.3',
'Tilluft korridor ende','Duct', XYZ=9.0,-1.0,2.2, LOSS(1,2)=2.0, LOSS(2,3)=2.0, LOSS(3,1:2)=2.0,2.0/
&HVAC ID='Malenode korridor 1', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Tilluft korridor 2','Duct43', XYZ=-2.5,-1.0,2.2/
&HVAC ID='Viftenode', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Vifteducten','Tilluft korridor 1', XYZ=-4.4,-1.0,2.2, LOSS(1,2)=12.0/
&HVAC ID='Vifteducten', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.2, FAN_ID='Fan06', NODE_ID='Tilluft start','Viftenode',
ROUGHNESS=2.0E-6, LENGTH=0.5/
&HVAC ID='Tilluft korridor 1', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.2, NODE_ID='Viftenode',
'Tilluft intern 1', ROUGHNESS=0.001, LENGTH=0.5/
&HVAC ID='Avtrekk korridor 3', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.2, NODE_ID='Avtrekk intern 2',
'Avtrekk intern 3', ROUGHNESS=2.0E-6, LENGTH=6.0/
&HVAC ID='Avtrekk ute', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Avtrekk korridor 1', VENT_ID='Vent23'/
&HVAC ID='Avtrekk intern 1', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.1','Avtrekk korridor 1',
'Avtrekk korridor 2', XYZ=-4.0,-0.8,2.2, LOSS(1,2:3)=2.0,2.0/
&HVAC ID='Avtrekk intern 2', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Avtrekk korridor 3','Avtrekk leil 1.2',
'Avtrekk korridor 2', XYZ=2.0,-0.8,2.2, LOSS(2,1:3)=2.0,,2.0/
&HVAC ID='Avtrekk leil 1.1', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.1', VENT_ID='Avtrekk leil 1.1', LOSS=4.0,0.5/
&HVAC ID='Avtrekk leil 1.2', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.2', VENT_ID='Avtrekk leil 1.2', LOSS=4.0,0.5/
&HVAC ID='Avtrekk leil 1.1', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.07, NODE_ID='Avtrekk intern 1','Avtrekk leil 1.1', ROUGHNESS=2.0E-6/
&HVAC ID='Avtrekk leil 1.2', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.07, NODE_ID='Avtrekk intern 2','Avtrekk leil 1.2', ROUGHNESS=2.0E-6/
&HVAC ID='Avtrekk korridor 1', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.2, FAN_ID='Fan06',
NODE_ID='Avtrekk ute','Avtrekk intern 1', REVERSE=.TRUE., ROUGHNESS=2.0E-6/
&HVAC ID='Avtrekk intern 3', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Avtrekk korridor 3',
'Avtrekk leil 1.3','Avtrekk korridor ende',
XYZ=8.0,-0.8,2.2, LOSS(2,1:3)=2.0,,2.0/

```

```

&HVAC ID='Avtrekk leil 1.3', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Avtrekk leil 1.3', VENT_ID='Vent', LOSS=3.0,0.5/
&HVAC ID='Avtrekk korridor ende', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Avtrekk korridor ende',
VENT_ID='Vent21', LOSS=12.0,0.5/
&HVAC ID='Avtrekk leil 1.3', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.07, NODE_ID='Avtrekk intern 3',
'Avtrekk leil 1.3', ROUGHNESS=2.0E-6/
&HVAC ID='Avtrekk korridor ende', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.07, NODE_ID='Avtrekk intern 3',
'Avtrekk korridor ende', ROUGHNESS=2.0E-6, LENGTH=0.05/
&HVAC ID='Avtrekk korridor 2', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.2, NODE_ID='Avtrekk intern 1',
'Avtrekk intern 2', ROUGHNESS=2.0E-6, LENGTH=6.0/
&HVAC ID='Duct', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.2, NODE_ID='Tilluft intern 2',
'Tilluft intern 4', ROUGHNESS=2.0E-6, LENGTH=6.0/
&HVAC ID='Duct43', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=0.2, NODE_ID='Mälenode korridor 1',
'Tilluft intern 2', ROUGHNESS=2.0E-6, LENGTH=5.5/
&HVAC ID='Fan06', TYPE_ID='FAN', RAMP_ID='Fan06_RAMP_ID'/
&RAMP ID='Fan06_RAMP_ID', T=0.02, F=90.0/
&RAMP ID='Fan06_RAMP_ID', T=0.024, F=80.0/
&RAMP ID='Fan06_RAMP_ID', T=0.03, F=70.0/
&RAMP ID='Fan06_RAMP_ID', T=0.036, F=60.0/
&RAMP ID='Fan06_RAMP_ID', T=0.045, F=50.0/
&RAMP ID='Fan06_RAMP_ID', T=0.06, F=40.0/
&RAMP ID='Fan06_RAMP_ID', T=0.076, F=35.0/
&RAMP ID='Fan06_RAMP_ID', T=0.096, F=30.0/
&RAMP ID='Fan06_RAMP_ID', T=0.12, F=25.0/
&RAMP ID='Fan06_RAMP_ID', T=0.14, F=12.0/
&RAMP ID='Fan06_RAMP_ID', T=0.16, F=0.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.5/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=2.25/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.4/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBZ=2.0/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBZ=2.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.0/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', PBZ=2.0/

```

```

&TAIL /

```

F Godkjenninger



Oslo kommune
Brann- og redningsetaten

Mikael Rise Gallala
mikaelgallala@gmail.com

Dato: 17.02.2015

Deres ref.: Vår ref. (saksnr.): 201500014-49 Saksbeh: Andreas Coll, 91652302 Arkivkode: 542,3

**SVAR PÅ FORESPØRSEL I FORBINDELSE MED MASTEROPPGAVE
OM BRANN- OG RØYKSPREDNING VIA VENTILASJONSANLEGG**

Det vises til Deres epost av 02.02.2015.

I Deres epost opplyses det at i forbindelse med en masteroppgave er det ønskelig med informasjon om branner hvor ventilasjonsanlegg har vært involvert.

Brann- og redningsetaten gjennomfører evaluering av utvalgte branner. I enkelte av disse brannene har ventilasjonsanlegg vært involvert i større eller mindre grad. I den forbindelse følger de aktuelle rapportene vedlagt.

Det understrekes at de vedlagte rapportene er klassifisert som "unntatt offentlighet". Det vil si at innholdet i rapportene ikke må videresendes. En av hovedgrunnene til dette er hensynet til politiets eventuelle pågående etterforskning etter brannen. Andre hensyn som er viktig å trekke frem i denne sammenhengen er også at det i rapportene fremgår bilder av brannsted (ofte i private boliger) og personopplysninger. Samtidig presiseres det at rapportene er kun ment å være interne dokumenter, og innebærer derfor at Brann- og redningsetaten står friere til å anta, tro og "spekulere" i rapportene, uten at dette nødvendigvis skal tåle "dagens lys".

På bakgrunn av de person- og etterforskningsmessige forhold som er nevnt over er adresse og personopplysninger fjernet fra de vedlagte rapportene. For øvrig bes det om at innholdet i rapportene brukes på en redelig måte ut i fra hensynene beskrevet ovenfor.

Med hilsen


Jørn Røed
Seksjonsleder


Andreas Coll
branninspektør

Vedlegg:

1. Brev - Avdekkede bygningsmessige forhold ved brann
2. Brannevalueringsrapport – Garasje
3. Brannevalueringsrapport – Hotel
4. Brannevalueringsrapport – Restaurant
5. Brannevalueringsrapport – Takbrann



Brann- og redningsetaten
www.bre.oslo.kommune.no
postmottak@bre.oslo.kommune.no
Tlf: 02 180

Postadresse:
Arne Garborgs plass 1
0179 Oslo

Besøksadresse:
Arne Garborgs plass 1
Inngang fra Grubbegata

Organisasjonsnr.
876 820 102
Bankgiro
1315.01.01284