



SHO6261

Mastergradsoppgave i teknologi

Brannsikring av ventilasjonskanaler
Fire safety in ventilation ducts

Sigve Aastorp-Tangen

Jan Rachid Gjendem

Juni, 2016

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
Institutt for bygg, energi og materialteknologi

<i>Tittel:</i> Brannsikring av ventilasjonskanaler Fire safety in ventilationducts		<i>Dato:</i> 20.06.16
		<i>Gradering:</i> Åpen
<i>Forfatter:</i> Sigve Aastorp-Tangen (23.07.89) Jan Rachid Gjendem (06.09.84)		<i>Antall sider:</i> 149 Inklusiv vedlegg
		<i>Vedlegg:</i> 2
<i>Fakultet:</i> Ingeniørvitenskap og teknologi	<i>Institutt:</i> Bygg, energi og materialteknologi - Master Integrert bygningsteknologi	
<i>Veileder:</i> Harald Landrø (UIT)		
<i>Oppdragsgiver:</i> Asplan Viak AS Erichsen & Horgen AS	<i>Oppdragsgiver kontaktperson:</i> Arnfinn Moksnes Geir Fossum	
<i>ekstrakt:</i> Brannsikring av ventilasjonssystemer har fått svært mye fokus de siste årene, på grunn av uklare retningslinjer for prosjekterende. TEK10 setter kun funksjonskrav for hvordan tekniske installasjoner skal brannsikres, og det er dermed opp til de prosjekterende å sette opp løsninger innenfor lovverket. På bakgrunn av det uklare regelverket ble det nedsatt en gruppe med rådgivere for å utarbeide en veileder som bransjen kunne enes om. Veilederen har imidlertid endt opp med å skape store diskusjoner i bransjen, da det er delte meninger om hvorvidt den angir for konservative og fordyrende løsninger. Veilederen er etter hvert blitt godtatt som en bransjestandard. Den ikke hjemlet med lov eller forskrift og er derfor ikke juridisk bindende. Rapporten drøfter om dagens metode for brannsikring av ventilasjonsanlegg er nødvendig. Rapporten omhandler også vurdering av tidligere anerkjente metoder for brannsikring av ventilasjonskanaler. I den sammenheng er det gjennomført et litteraturstudium og en kvantitativ analyse. <ul style="list-style-type: none"> I litteraturstudiet gjøres det rede for ulike sikkerhetsstrategier som gjennom årenes løp har vært benyttet for å hindre brannspredning via ventilasjonsanlegget. Det gjøres også en mindre gjennomgang av tidligere registrerte brannforløp med spredning via ventilasjonskanaler 		

- Den kvantitative analyse inneholder beregninger av varmeledning i kanalgoods, blandingstemperaturer mellom luft og røykgasser i kanalnett. Til den kvantitative analysen ble CFD-programmet Pyrosim og simuleringsprogrammet Flixo benyttet.

Hovedkonklusjon:

Når det kommer til praktisk utførelse konkluderes det med at delvis isolering kanalen i en viss avstand (avhengig av ønsket brannmotstand) på hver side av gjennomføring vil være tilstrekkelig for å hindre brannspredning forårsaket av varmgang i kanal. Det anbefales også at det monteres et røykgasspjeld for å hindre at varme røykgasser varmer opp kanal på gjennomføringens motsatte side, samt hindrer spredning av varm røyk. Dette kan da eksempelvis være et brannspjeld med smeltesikring. Dette er i henhold til gjeldende metode for brannsikring av ventilasjonsanlegg i Sverige.

Extract:

Fire safety in ventilation ducts has received a lot of attention in recent years in Norway. This is due in large part to unclear guidelines for the engineers responsible for fire safety design of buildings. The new regulations, TEK10, only provide functional requirements, thereby making the engineers responsible for design that.

In light of the unclear regulatory framework, an advisory group was set up to develop guidelines, which the industry could endorse/agree upon. The guidelines presented by the advisory group, however, have created discussions among the industry stakeholders, who disagree on whether they specify too conservative and costly solutions. The guidelines have gradually become accepted industry standards, but are not authorized by law or regulations, and therefore not legally binding.

This thesis discusses whether today's methods of fire safety in ventilation ducts are necessary or exaggerated. This thesis also includes an evaluation of whether previous solutions for fire safety in ventilation ducts are adequate. The basis for this evaluation is a review of relevant literature quantitative analyses.

- The literature review account for different strategic measures that over time have been applied to prevent fire spread in ventilation ducts. This includes a review of previous fires where fire spread through the ventilation ducts have been the cause.
- The quantitative analysis contains numeric calculations of heat transfers in the duct material, mixed temperature when air and fire smoke blends inside the ducts. The quantitative analysis is performed with the use of CFD-program Pyrosim and the simulation program Flixo.

Main conclusion:

Regarding assembly of ventilation ducts through fire barriers, it is recommended that the use of partial isolation of the ducts length, is sufficient to prevent fire spread. As a result of heat transfer in the duct material. Assuming that the ducts are fitted with smokedampers to prevent the spread of hot smokegases and heating the duct from the inside, on the other side of a fire barrier. This can for example be a damper with a thermal melting mechanism (meltingfuse). This proves to be in accordance with the current solutions for fire safety in ventilation ducts that are in use in Sweden.

Forord

Masteroppgaven ble skrevet som avsluttende arbeid i studiet Integrert bygningsteknologi ved UiT, Norges Arktiske Universitet. Oppgaven utgjør 30 studiepoeng per student i emnet SHO6261 – Hovedoppgave-M-IB.

Formålet med denne masteroppgaven er å utarbeide en rapport som avdekker om dagens metode for å forhindre brannspredning via ventilasjonsanlegg er nødvendig. Det er også ønskelig å undersøke om foregående isoleringsmetode er tilstrekkelig.

Temaet ble valgt delvis grunnet store uenigheter i det branntekniske miljøet, samt særskilt interesse for fagfeltet og problemstillingen.

Vi ønsker å takke hovedveileder Harald Landrø for gode råd underveis. En takk rettes også til branngruppen i Asplan Viak AS v/ Arnfinn Moksnes og Erichsen & Horgen AS v/ Geir Fossum, som har vært våre sekundære veiledere under oppgaven.

I tillegg ønsker vi å takke Nina Aastorp Blindheimsvik ved Rambøll AS og Stein Omar Gjendem for bidrag og bistand til oppgaven.

Oslo 20.06.2016



Sigve Aastorp Tangen



Jan Rachid Gjendem

Sammendrag

Brannsikring av ventilasjonssystemer har fått svært mye fokus de siste årene. Ved utarbeidelse av brannkonsept i byggeprosjekter skal det dokumenteres at funksjonskravene angitt i byggt teknisk forskrift (TEK10) [11] er tilfredsstillt. Dette kan gjøres ved at det benyttes det som kalles preaksepterte ytelser fra veiledningen (VTEK) [12], eller ved at det utarbeides analyser som skal ha til hensikt å dokumentere at valgte løsninger tilfredsstiller det gjeldende funksjonskravet i TEK10 og dermed gir tilfredsstillende sikkerhet. Verken funksjonsbeskrivelsen i TEK10 eller ytelsesbeskrivelsene i VTEK kvantifiserer krav om tiltak for å begrense brannspredningen via ventilasjonsanlegg. Dette resulterer i at det er opp til de ansvarlige prosjekterende for ventilasjonsanlegg og brannrådgivere å komme opp med løsninger som tilfredsstiller funksjonskravet.

De uklare retningslinjene har de senere årene skapt mye diskusjoner i fagmiljøene der brannrådgiveren blir sett på som det konservative og fordyrende leddet i prosjekteringen. For å klarne opp i problemstillingen ble det nedsatt en gruppe med rådgivere i bransjen. Målet med arbeidet var å utarbeide en veileder som bransjen kunne enes om. Veilederen er dog ikke hjemlet med lov eller forskrift og er derfor ikke juridisk bindende.

Formålet med denne masteroppgaven er å undersøke om dagens metode for å forhindre brannspredning via ventilasjonsanlegg er nødvendig. Rapporten omhandler også en undersøkelse om foregående isoleringsmetode gir tilstrekkelig sikkerhet. I den sammenheng er det gjennomført et litteraturstudium samt en kvantitativ analyse.

- I litteraturstudiet gjøres det rede for ulike sikkerhetsstrategier som gjennom tiden har vært benyttet for å hindre brannspredning via ventilasjonsanlegget. Det gjøres også en mindre gjennomgang av tidligere registrerte brannforløp med spredning via ventilasjonskanal
- Den kvantitative analyse inneholder beregninger av varmeledning i kanalgodts, blandingstemperaturer mellom luft og røykgasser i kanalnett. Til den kvantitative analysen ble CFD-programmet Pyrosim benyttet og simuleringsprogrammet Flixo.

I litteraturstudiet ble det funnet at beskrivelser av ytelseskrav har blitt vagere og vagere opp gjennom årene. Regelverk angir fortsatt de samme funksjonskravene som tidligere. Hvordan man tilfredsstiller funksjonskravene ble tidligere angitt i veiledningen til byggt teknisk forskriften. I 2003 og opptil i dag har de preaksepterte løsningene gradvis blitt fjernet i forskriftens veiledning. Dagens regelverk angir ingen preaksepterte løsninger som skal tilfredsstille funksjonskravene.

Når det kommer til praktisk utførelse konkluderes det med at delvis isolering i en viss avstand på hver side av gjennomføring vil være tilstrekkelig for å hindre brannspredning forårsaket av varmgang i kanal. Forutsatt at det monteres røykgasspjeld for å hindre at varme røykgasser varmer kanal i og gjennomføringens motsatte side. Dette kan da eksempelvis være et brannspjeld med smeltesikring. Dette er i henhold til gjeldende metode for brannsikring av ventilasjonsanlegg i Sverige.

Abstract

Fire safety in ventilation ducts has received a lot of attention in recent years in Norway. This is due in large part to unclear guidelines for the engineers responsible for fire safety design of buildings. The new regulations, TEK10, only provide functional requirements, thereby making the engineers responsible for design that.

In light of the unclear regulatory framework, an advisory group was set up to develop guidelines, which the industry could endorse/agree upon. The guidelines presented by the advisory group, however, have created discussions among the industry stakeholders, who disagree on whether they specify too conservative and costly solutions. The guidelines have gradually become accepted industry standards, but are not authorized by law or regulations, and therefore not legally binding.

This thesis discusses whether today's methods of fire safety in ventilation ducts are necessary or exaggerated? This thesis also includes an evaluation of whether previous solutions for fire safety in ventilation ducts are adequate. The basis for this evaluation is a review of relevant literature and quantitative analyses.

The literature review account for different strategic measures that over time have been applied to prevent fire spread in ventilation ducts. This includes a review of previous fires where fire spread through the ventilation ducts have been the cause

The quantitative analysis contain numeric calculations of heat transfer in the duct hull, mixed temperature when air and fire smoke blends inside the ducts. The quantitative analysis are performed with the use of CFD-program Pyrosim and the simulation program Flixo.

The thesis makes the following observations and recommendations:

The literature review clearly shows that performance criteria for fire protection of ventilations ducts in regulations and associated guidelines have become less detailed? The functional criteria in the regulations are still the same. How to comply with the regulations where once given in the functional requirements, but are no longer included. Therefore, today's regulations do not give any guidelines on how to satisfy the regulation.

Regarding assembly of ventilation ducts through fire barriers, it is recommended that the use of partial isolation of the ducts length is sufficient to prevent fire spread as a result of heat transfer in the duct material. assuming that the ducts are fitted with smokedampers to prevent the spread of hot smokegases and heating the duct from the inside on the other side of a fire barrier. This can for example be a damper with a thermal closing mechanism. This proves to be in accordance with the current solutions for fire safety in ventilation ducts that are in use in Sweden.

Innholdsfortegnelse

Figurliste.....	XI
Tabelliste.....	XII
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Avgrensning av problemstillingen.....	1
1.3 Retningslinjer, praktiske erfaringer anbefalinger.....	2
2 Oversikt over branntekniske begreper.....	5
3 Brannteori.....	7
3.1 Brannforløp.....	7
3.2 Overtenning.....	8
3.3 Standardbrann.....	8
3.4 Brann- og røykspredning.....	8
3.4.1 Varmeledning.....	8
3.4.2 Konveksjon.....	9
3.4.3 Varmestråling.....	9
3.4.4 Flyvebrann.....	9
4 Ventilasjonsanlegg og brann.....	11
4.1 Overordnet beskrivelse av ventilasjonssystemer.....	11
4.2 Komfortventilasjon.....	12
4.3 Naturlig ventilasjon (oppdriftsventilasjon).....	12
4.4 Balansert mekanisk ventilasjon (avtrekksventilasjon).....	12
4.5 Kjøkkenventilasjon.....	13
4.6 Brann- og røykventilasjon.....	13
4.7 Trykksetting.....	14
4.8 Komfortventilasjon.....	14
4.9 Brannsikring av kanalnettes oppheng.....	15
4.10 Brann- og røykspredning via ventilasjonsanlegg.....	15
4.10.1 Varmeledning i kanal.....	16
4.10.2 Tetting av gjennomføringer.....	16
4.10.3 Forhindre spredning av varme røykgasser i kanalnettet.....	16
5 Tidligere branner.....	17
5.1 Larvik sykehjem.....	17
5.2 Sveio omsorgssenter.....	17

6	BV Nett – Veileder for brannsikker ventilering.....	19
7	Historiske krav til brannbeskyttelse av ventilasjonsanlegg	21
7.1	Byggeforskriften 1987 med veiledning.....	21
7.1.1	Sikring mot branntilløp i anlegget:	21
7.1.2	Sikring mot spredning av brann:.....	21
7.1.3	Sikring mot spredning av varme røykgasser.....	25
7.2	TEK og VTEK 1997-1999	26
7.2.1	Brann og røykspredning på grunn av utettheter mellom kanal og bygningsdel	26
7.2.2	Brannspredning på grunn av varmeledning.	27
7.2.3	Røykspredning i ventilasjonskanaler.....	29
7.2.4	Oppheng av kanaler og ventilasjonsutstyr.....	30
7.3	TEK og VTEK 2003 (revidert utgave av 97):	30
7.3.1	Oppheng:.....	30
7.3.2	Gjennomføring i branncellebegrensende bygningsdel:.....	30
7.3.3	Gjennomføring i seksjoneringsvegg.....	30
7.4	TEK og VTEK 2007 (revidert utgave av 97):	31
7.5	TEK 10 med veiledning. Nåtidens krav og praktisk utførelse:.....	31
7.6	Utenlandske forskriftskrav/metoder for brannsikring av ventilasjonsanlegg.....	32
7.6.1	Dansk regelverk	32
7.6.2	Svensk regelverk	32
8	Teknisk Case studie – Beregninger.....	37
8.1	Beregning av varmeledning i kanalogs Flixo Energy pluss:	38
8.1.1	Simuleringsmodeller	39
8.1.2	Forutsetninger og begrensninger:	40
8.2	Beregning av røykgasstemperaturer i kanalnett. (Blandingstemperatur).....	48
8.2.1	Blandingstemperatur - Norsk Metode:	49
8.2.2	Blandingstemperatur - Svensk metode:.....	49
8.2.3	Beregning av utvendig overflate temperatur til kanal.....	50
8.2.4	Beregning av utvendig stråling fra kanalens overflate.....	52
9	Teknisk Case studie – Brannteknisk simulering	59
9.1	Beregningsmodell.....	59
9.2	Inputdata og verifikasjon	59
9.3	Modellens geometri og branneffekt	60
9.4	Geometri/planløsning:.....	60
9.5	Ventilasjon	61
9.6	Tilførsel av friskluft	61

9.7	Varmeavgivelsesrate (HRR) og brannvekst	61
9.8	Mesh oppløsning / Gridstørrelse:.....	63
9.9	Strålingsmodell:.....	65
9.10	Turbulens modell.....	66
9.11	Simuleringstid.....	66
9.12	Målepunkter.....	66
10	Resultater Brannteknisk simulering – Beregning av blandingstemperaturer	69
10.1	Temperatur i kanaler	69
10.2	Temperatur i rom	72
10.3	Temperatur ved vinduer	75
10.4	Trykk i rom	78
10.5	Heat release rate	81
11	Diskusjon	85
11.1	Vurdering av tidligere forskrifter.....	85
11.1.1	Byggeforskriften 87, med veiledning	85
11.1.2	TEK og VTEK 1997-1999:	86
11.1.3	TEK og VTEK 2003 og 2007	86
11.1.4	TEK og VTEK 2010	86
11.1.5	Sammenligning av tidligere forskrifter oppimot dagens regelverk	87
11.2	Vurdering av strategier – Veileder for brannsikker ventilasjon	88
11.2.1	Trekk ut - metode 1	88
11.2.2	Steng inne - metode 2.....	89
11.3	Brannspredning via varmeledning i gods.....	90
11.4	Brannspredning via varme røykgasser i kanalnett.	91
11.4.1	Varmeledning:	91
11.4.2	Stråling til underliggende møblement	92
11.5	Vurdering av resultater fra brannteknisk simulering	92
11.5.1	Temperatur i kanaler	92
11.5.2	Temperatur i rom.....	93
11.5.3	Temperatur ved vinduer	94
11.5.4	Trykk i rom.....	94
11.5.5	Heat release rate.	95
11.6	Påvirkning av aktive tiltak, Sprinkleranlegg, vanntåke (automatiske slokkeanlegg).	95
12	Oppsummering og konklusjon.....	97
12.1	Vurdering av tidligere forskrifter.....	97
12.1.1	Byggeforskriften 87 med veiledning:	97

12.1.2	TEK 97-99 / VTEK 99.....	97
12.1.3	TEK97 og VTEK 2003 og 2007	97
12.1.4	TEK10 og VTEK	97
12.1.5	Tidligere forskrifter og dagens regelverk	97
12.1.6	Konklusjon – Strategier	98
12.1.6.1	<i>Trekk ut - metode 1</i>	98
12.1.6.2	<i>Steng inne - metode 2</i>	98
12.2	Konklusjon - Brannspredning via varmeledning.....	98
12.3	Konklusjon - Brannspredning via varme røykgasser i kanalnett.	98
12.4	Konklusjon - resultater fra brannteknisk simulering	98
12.4.1	Temperatur i kanaler	98
12.4.2	Temperatur i rom.....	98
12.4.3	Temperatur ved vinduer	99
12.4.4	Trykk i rom.....	99
12.4.5	Heat release rate	99
12.5	Konklusjon - Påvirkning av aktive tiltak	99
13	Hoved konklusjon – Behov for brannsikring av ventilasjonsanlegg.....	101
14	Forslag til videre arbeid.....	103
	Referanser	105
15	Vedlegg.....	109
15.1	Vedlegg A – Oppgavetekst.....	109
15.2	Vedlegg B – FDS – koder	114
15.2.1	Scenario 1 – 2MW Treg brannvekst.....	114
15.2.2	Scenario 2 – 2MW Rask brannvekst.....	118
15.2.3	Scenario 3 – 4MW Treg brannvekst.....	122
15.2.4	Scenario 4 – 4MW Rask brannvekst.....	126
15.2.5	Scenario 5 – 8MW Treg brannvekst.....	130
15.2.6	Scenario 6 – 8MW Rask brannvekst.....	134

Figurliste

Figur 1 - Skisse ventilasjonsanlegg Hentet fra veileder for brannsikker ventilasjon (BV-NETT).[8]	11
Figur 2 - prinsipp naturlig ventilasjon. [29]	12
Figur 3 - Prinsippskisse termisk røykventilasjon [10].....	14
Figur 4 - Prinsippskisse Trykksetting [20]	14
Figur 5 – Prinsippskisse omrøring av luft. [38]	15
Figur 6 - Skisse 47:2 A og B. Veiledning byggeforskrift 87 [39]	22
Figur 7 - Skisse 47:2 C og D, Veiledning byggeforskrift 87 [39]	23
Figur 8 - Skisse 47:2 E til og med h, Veiledning byggeforskrift 87 [39]	24
Figur 9 - Skisse 47:2 i og tabell 47:2 a., Veiledning byggeforskrift 87 [39]	25
Figur 10 - Figur fra VTEK 99, §7-24 - Utettheter rundt kanal [40]	27
Figur 11 - Figur fra VTEK 99, §7-24. Varmeledning i mindre ventilasjonskanaler. [40]	28
Figur 12 - Figur fra VTEK 99, §7-24. Varmeledning i ventilasjonskanaler med større tverrsnitt enn 80 cm ² [40]	29
Figur 13 - Isolasjonsmetoder for stillestående luft [44]	34
Figur 14 - Beregnede blandingstemperaturer og isolasjonsbehov [44].....	35
Figur 15 - Standard brannkurve ISO 834 [36]	37
Figur 16 - Grafisk fremstilling av modelloppbygning.	38
Figur 17- Grafisk fremstilling av grid.....	39
Figur 18 - Grafisk fremstilling av modelloppbygning.	40
Figur 19 - Materialoppbygning i beregningsobjektet scenario 1.....	41
Figur 20 – Resultater. Simulering scenario 1.....	42
Figur 21 - Geometri av beregningsobjektet scenario 2.....	43
Figur 22 – Materialoppbygning i beregningsobjektet scenario 2.	44
Figur 23 - Resultater. Simulering scenario 2.....	45
Figur 24 – Geometri av beregningsobjektet scenario 3.	46
Figur 25 – Materialoppbygning i beregningsobjektet scenario 3.	46
Figur 26 - Resultater. Simulering scenario 3.....	47
Figur 27 - Beregning av stråling case 1	53
Figur 28 - Utklipp fra [17, Figur 8.14] Beregning av geometriske synsfaktorer.....	53
Figur 29 - Utklipp fra [17, Figur 8.16] Geometrisk synsfaktor: Rektangel over et lite element	54
Figur 30 - Beregning av stråling case 2.....	55
Figur 31 - Utklipp fra [17, Figur 8.14] Beregning av geometriske synsfaktorer.....	55
Figur 32 – Oversiktsbilde av modellen – Pyrosim.....	60
Figur 33 - Oversiktsbilde av modellen – Smokeview.	60
Figur 34 - Forskjellige brannvekst-rater (Madrzykowski 1996) [49]	62
Figur 35 - Mesh/grid oppløsning fra venstre 2,5, 5, 10 og 20 cm cellestørrelse per 1m ³ [30]	63
Figur 36 - Oppdeling av mesh.....	64
Figur 37 - Plassering av målepunkter, trykk og temperatur.....	67
Figur 38 - Plassering av målepunkter, trykk og temperatur.....	68
Figur 39 - Plassering av målesnitt (slice)	68
Figur 40 - Temperatur i kanaler. Scenario 1 - 2MW, treg vekst.	69
Figur 41 - Temperatur i kanaler. Scenario 2 - 2MW, rask vekst.	69
Figur 42 - Temperatur i kanaler. Scenario 3 - 4 MW, treg vekst.....	70
Figur 43 - Temperatur i kanaler. Scenario 3 - 4MW, rask vekst.	70
Figur 44 - Temperatur i kanaler. Scenario 5 - 8 MW, treg vekst.....	71
Figur 45 - Temperatur i kanaler. Scenario 6 - 8 MW, rask vekst.....	71
Figur 46 - Temperatur i rom. Scenario 1 - 2MW, treg vekst.....	72

Figur 47 - Temperatur i rom. Scenario 2 - 2MW, rask vekst.	72
Figur 48 - Temperatur i rom. Scenario 3 - 4MW, treg vekst.....	73
Figur 49 - Temperatur i rom Scenario 4 - 4MW, rask vekst.	73
Figur 50 - Temperatur i rom. Scenario 5 - 8 MW, treg vekst.....	74
Figur 51 - Temperatur i rom. Scenario 6 - 8 MW, rask vekst.....	74
Figur 52 - Temperatur ved vinduer. Scenario 1 - 2MW, treg vekst.	75
Figur 53 - Temperatur ved vinduer. Scenario 2 - 2MW, rask vekst.	75
Figur 54 - Temperatur ved vinduer. Scenario 3 - 4MW, treg vekst.	76
Figur 55 - Temperatur ved vinduer. Scenario 4 - 4MW, rask vekst.	76
Figur 56 - Temperatur ved vinduer. Scenario 5 - 8 MW, treg vekst.	77
Figur 57 - Temperatur ved vinduer. Scenario 6 - 8 MW, rask vekst.	77
Figur 58 - Trykk i rom. Scenario 1 - 2MW, treg vekst.....	78
Figur 59 - Trykk i rom. Scenario 2 - 2MW, rask vekst.....	78
Figur 60 - Trykk i rom. Scenario 3 - 4MW, treg vekst.....	79
Figur 61 - Trykk i rom. Scenario 4 - 4MW, rask vekst.....	79
Figur 62 - Trykk i rom. Scenario 5 - 8 MW, treg vekst.....	80
Figur 63 - Trykk i rom. Scenario 6 - 8 MW, rask vekst.	80
Figur 64 - Heat release rate. Scenario 1 - 2MW, treg vekst.	81
Figur 65 - Heat release rate. Scenario 2 - 2MW, rask vekst.	81
Figur 66 - Heat release rate. Scenario 3 - 4MW, treg vekst.	82
Figur 67 - Heat release rate. Scenario 3 - 4MW, rask vekst.	82
Figur 68 - Heat release rate. Scenario 5 - 8 MW, treg vekst.	83
Figur 69 - Heat release rate. Scenario 6 - 8 MW, rask vekst.	83
Figur 70 - Eksempel på brannspjeld Spiro og kvadratisk. Spjeld fra Micro Matic [27, 28].....	89
Figur 71 - Brannspjeld med smeltesikring. Fra TROX Auranor Norge AS [47].....	90

Tabelliste

Tabell 1 - Lengdefaktorer for beregning av konfigurasjonsfaktor	56
Tabell 2 - Input branneffekt og vekstrater.	63
Tabell 3 - Beregnede D^*/dx –verdier for simulering.....	65
Tabell 4 - Sammenligning av regelverk. - Branntekniske krav til ventilasjonsanlegg	88
Tabell 5 - Maks oppnådde temperatur midt i gjennomføring. Målte punkt 8 og 11 i figur 32-37	93

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Brannsikring av ventilasjonssystemer innebærer i hovedsak tre viktige tiltak: Sørge for tette gjennomføringer, forhindre varmeledning i selve kanalgodset, samt forhindre at røyk- og branngasser sprer seg med kanalene. Dette løses i hovedsak med brannisolering av kanal og/eller benyttelse av brannsikre spjeld ved gjennomføringer i branncellebegrensende skiller.

Tidligere teststandard NT Fire 034 [31] resulterte i at isolasjonsprodusentene ga råd om å isolere ventilasjonskanaler 1m ut på hver side av en branncellebegrensende konstruksjon, eventuelt 2m på en side av gjennomføringen.

I henhold til ny teststandard NS-EN 1366-1 [32] og bransjens veileder BV-Nett [8] er ikke denne løsningen lenger tilstrekkelig. Derfor har den nye metoden i henhold til produsentene av isolasjon pålegg om å brannisolere kanaler i sin helhet, eller montere brannsikre spjeld i alle gjennomføringer av brannskiller, hvilket er meget kostnadskrevenende.

Etter at den nye teststandard ble tatt i bruk, så er testene kun blitt gjennomført med mål om at isolasjonsmaterialet skal være tilstrekkelig isolerende. Det er ikke gjort tester med mål om å oppnå kortest mulig isolasjonslengde for å bruke minst mulig isolasjon, derfor oppgir produsentene at ventilasjonskanaler må isoleres i sin helhet.

Per dags dato er det lite dokumentasjon som tilsier at eldre løsning ikke var tilstrekkelig. Det kan dermed stilles spørsmål om hva som er bakgrunnen for ny metode? Er det behov for en mer omfattende isolering av kanalnett. Finnes det en begrensning på hvor stor kanal-dimensjon kan være uten brannisolasjon, og er det en bedre løsning at de prosjekterende i dag velger å utelate all isolasjon ved gjennomføringer og benytte sprinkleranlegg som argument for at varmeledning og stråling ikke lenger vil være årsak til spredning mellom brannceller?

Det finnes lite teknisk dokumentasjon ved eldre og nyere metoder for å forhindre brannspredning via et ventilasjonsanlegg.

I 2012 kom det en ny veileder for brannsikker ventilering [8]. Denne veilederen har ført til ny bransjestandard for brannbeskyttelse av ventilasjonsanlegg. Denne veilederen er ikke hjemlet i dagens regelverk og er dermed kun en veileder med forslag til hvordan brannspredning via ventilasjonsanlegg kan forhindres.

1.2 Avgrensning av problemstillingen

Spredning av kalde røykgasser i kanalnettet til andre brannceller omfattes ikke. Oppgaven begrenses i hovedsak til å se på brannspredning via ventilasjonskanaler. Det vil si varmeledning i kanalgod og spredning av varme røykgasser.

Prosjektoppgaven omhandler ikke avtrekk fra husholdningskjøkken eller storkjøkken. Dette anses som et særskilt anlegg, da det kan være høy andel av brennbare stoffer som fett og støv i kanal. Oppgaven omhandler kun komfortventilasjon under brann.

Brann- og røykventilasjon, samt trykksetting av trapperom vil det ikke bli satt fokus på i denne rapporten da det anses å ligge utenfor oppgavens avgrensning.

1.3 Retningslinjer, praktiske erfaringer anbefalinger

Ved utarbeidelse av brannkonsept skal det dokumenteres at funksjonskravene angitt i teknisk forskrift (TEK10) [11] er tilfredsstillt. Dette kan gjøres ved at det benyttes såkalte preaksepterte ytelser fra veiledningen (VTEK) [12], eller at det utarbeides en analyse som dokumenterer at valgt løsning tilfredsstiller det gjeldende funksjonskravet og gir tilfredsstillende sikkerhet.

Når det gjelder ventilasjon er det §11-10 i TEK10 som skal tilfredsstillles.

Funksjonskravet i TEK §11-10 angir følgende:

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

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.

Veiledning til TEK angir preaksepterte ytelseskrav som tilfredsstiller funksjonskravet i TEK. Ytelseskravet i VTEK §11-10 er følgende:

Ventilasjonsanlegg må utføres slik at de ikke bidrar til brann- og røykspredning i kanalnettet eller på grunn av utettheter mellom kanal og den bygningsdelen som kanalen går gjennom, eller brannspredning på grunn av varmeledning i kanalgodset.

Da verken funksjonsbeskrivelsen i TEK eller ytelsesbeskrivelsene i VTEK kvantifiserer krav om tiltak for å begrense røykspredningen via ventilasjonsanlegg, utover det som er angitt. Er det ofte opp til de prosjekterende for ventilasjonsanlegg og brannrådgivere å komme opp med løsninger som de mener tilfredsstiller dette.

Dette har i de senere år skapt mye diskusjon i fagmiljøene der brannrådgiver blir sett på som det konservative og fordyrende leddet ved prosjekteringen. For å rette opp i dette ble det nedsatt en gruppe med rådgivere i bransjen for å klarne opp i problemstillingen ved å utarbeide en veileder som bransjen skulle enes om. Veilederen er imidlertid ikke hjulmet ved lov eller forskrift og er derfor ikke juridisk bindende.

Tidligere praksis med brannsikring av ventilasjonskanaler var som nevnt i ovenstående kapittel gjort etter NT FIRE 034 [31]. Fra 1. januar 2014 trådte NS-EN 1366-1 [32] i kraft og NT FIRE 034 utgikk som en del av overgangen til et felles europeisk sertifiseringssystem.

Hovedforskjellen på testmetodene er at den nye standarden innebærer transport av varme røykgasser på innsiden av kanalen, i motsetning til den utgåtte testmetoden der det kun ble testet med varmepåkjennning fra utsiden av kanalen. Dette medfører at der den utgåtte standarden hadde kald, stasjonær luft inne i kanalen som måtte varmes opp av brannen fra utsiden. Har den nye standarden satt krav til at luften som føres gjennom kanalen, skal være oppvarmet luft.

NS-EN 1366-1 Produsentene av isolasjon har derfor testet sine produkter med hensyn til isolasjonstykkelse, men behovet for isolasjonslengde inngår ikke i teststandard. Standarden sier bare hvordan testen skal utføres for å få godkjent produktet, etter gitte kriterier. Dette har enkelte produsenter benyttet til sin fordel, ved å angi at kanaler må isoleres i sin helhet. De

har ikke testet med gradvis reduksjon i isolasjonstykkelse, eller hvor langt ut fra konstruksjonen det må isoleres. De angir derfor kun krav til tykkelse på isolasjonen som må til for å oppnå de ulike kvalitetene på en branncellebegrensende konstruksjon (30-60 minutter). Videre gis det ingen opplysninger om lempinger vedr. isolasjon dersom det installeres sprinkleranlegg/røykventilasjon i bygg.

2 Oversikt over branntekniske begreper

Tiden bygningsdeler opprettholder sin branntekniske funksjon (15, 30, 60, 90, 120 eller 240 minutter):

- **R** - lastbærende funksjon
- **E** - integritet
- **I** - isolasjon
- **M** - mekanisk motstand

Underklasser for R, E, I og M:

- **S_m** - røyktetthet ved varm røyk (200°C, dører og luker)
- **S_a** - røyktetthet ved kald røyk ((20°C, dører og luker)
- **W** - evne til å redusere varmestråling (foreløpig ikke benyttet i Norge)
- **C** - selvlukkende (dører og luker) NS-EN 14600, CO – C5 etter robusthet

Materialers egenskaper ved brannpåvirkning:

- **A1** - ubrennbart materiale, eks. betong
- **A2** - begrenset brennbart materiale, eks. gips
- **B** - overtenning må ikke inntreffe (10 min)
- **C** - overtenning må ikke inntreffe (20 min)
- **D** - overtenning må ikke inntreffe (2 min), trevirke
- **E** - krav til begrenset antenelighet, eks. skumplast
- **F** - ingen krav, skumplast

Tilleggsklasser for A2, B, C og D:

- **s1** - svært begrenset røykproduksjon
- **s2** - begrenset røykproduksjon
- **s3** - ingen krav til røykproduksjon
- **d0** - ingen brennende dråper / partikler
- **d1** - begrenset mengde brennende dråper / partikler
- **d2** - ikke krav til brennende dråper / partikler

- **Kledning**

k2 10 i kombinasjon med A2-s1,d0, B-s1,d0 og D-s2,d0

- **Gulvbelegg**

A1_{fl}, A2_{fl}, B_{fl}, C_{fl} og E_{fl} sammen med s1 og s2

- **Tak**

B_{ROOF} (t2)

- **Isolasjon**

Generelt: A2-s1,d0,

Rør og kanalisolasjon: P I (ubrennbar), P II og PIII (brennbar)

3 Brannteori

3.1 Brannforløp

En brann deles opp i tre faser/forløp. Alle fasene har sine kjennetegn og blir beskrevet i dette kapittelet.

En brann vil starte ved at et eller flere stoffer, enten i gass, væske eller fast form, blir antent. Årsaken til antennelse kan være alt fra ildspåsettelse til selvantennelse av materialet. I de fleste tilfeller er det imidlertid tilstedeværelse av en åpen flamme, gnist eller glør som er den utløsende årsaken. Denne hendelsen refereres ofte til det som i engelsk brannterminologi kalles for «pilot ignition». Der en brann starter uten en tennkilde vil det være to alternative måter en brann kan oppstå på. Det ene er spontanantennelse forårsaket av en ytre varmpåkjenning fra omgivelse ved hjelp av stråling som varmer opp materialet til det når temperatur der det begynner å brenne. Denne temperaturen refereres til som spontanantennelsestemperatur for materialet. Den andre situasjonen er det som kalles selvantennelse. Dette oppstår fordi materialet på egenhånd produserer så mye energi at det antenner seg selv.

Etter at antennelsen har inntruffet vil brannen utvikle seg og vokse. Hvor stor brannen kan bli og hvor raskt den utvikler seg avhenger av flere faktorer, blant annet mengde brennbart materiale og tilgangen på oksygen. Aggregattilstanden på materialet som antennes spiller en viktig rolle i utviklingen. Der en gass antennes direkte, vil et fast materiale varmes opp og omdannes til gass før det antennes. Dette medfører at forbrenning av faste stoffer må avgi vesentlig mer energi for å underholde forbrenningen.

Videre vil brannen kunne utvikle seg på 3 måter: slukke, brenne konstant eller vokse. Dersom en brann forbrenner mer gass enn den er i stand til å produsere vil brannen dø ut. Dersom gassproduksjonen er tilsvarende forbrenningen vil den være konstant. Om gassproduksjonen er større enn forbrenningen vil den vokse. Dette betyr at brannens utvikling er kontrollert av tilgangen på brensel.

En fullt utviklet rombrann kan ikke bli større, uten å spre seg til omkringliggende rom. I slike situasjoner kan det derfor ofte observeres at den røyken som kommer ut av brannrommet antennes på utsiden. Årsaken til dette er at tilgangen på oksygen ikke er tilstrekkelig til å forbrenne all gassen inne i rommet fordi åpningene i rommet ikke gir tilstrekkelig tilgang på oksygen til at alt kan forbrenne inne i rommet og forbrenningen skjer først når gassene kommer ut og får tilstrekkelig tilgang på oksygen.

3.2 Overtenning

Overtenning er hendelse som inntreffer i det en brann går fra vekstfase til fullt utviklet brann. Overtenning blir ofte feiltolket og ansett som en av fasene i et brannforløp. Dette skyldes at en brann kan gå fra vekstfase til fullt utviklet brann uten at overtenning inntreffer.

Kjennetegnet på overtenning er når alle brennbare overflater og røyklaget antenner samtidig. Det vil si et meget raskt brannforløp. Når overtenning inntreffer blir det en kraftig økning i varmeproduksjonen. Fordi forholdene rundt overtenning ikke er fullstendig klarlagt blir følgende to kriterier lagt til grunn for å definere når overtenning inntreffer [17]:

Temperaturen i røyklaget overstiger 600 C° .

Varmestrålingen fra røyklaget overstiger 20kW/m^2 .

Av disse to kriteriene er det varmestrålingen på 20kW/m^2 som er det mest konservative kriteriet. Det er viktig å finne ut når overtenning vil inntreffe i en brann, fordi det er av stor viktighet med hensyn til personsikkerhet for de som befinner seg i bygningen. I overgangen fra vekstfase til fullstendig utviklet brann, endrer brannen seg fra å være brenselskontrollert til å bli ventilasjonskontrollert.

3.3 Standardbrann

For å lette arbeidet med usikkerhetene i en rombrann er det utviklet standardbranner. Disse er uttrykt som tid-temperaturkurver. Brannene er ikke ment å skulle forutsi brannutviklingen, men er ment å skulle benyttes for prøving og testing av materialer og bygningskonstruksjoner egenskaper. Standardbrannene er likevel viktige fordi de skal være konservative i forhold til en forventet bygningsbrann. Standard tid-temperaturkurven som benyttes i Norge er beskrevet i ISO-834 [36] og er angitt i henhold til følgende ligning [17]:

$$T - T_0 = 345 \times \log_{10}(8t + 1)$$

Hvor:

t er tiden i minutter

T er temperaturen i rommet ved tiden t ($^\circ\text{C}$)

T_0 er start-temperaturen i rommet ved tiden lik null ($^\circ\text{C}$)

3.4 Brann- og røykspredning

Brann kan spre seg på flere måter, de viktigste beskrevet i kapittel 3.4.1-3.4.4.

3.4.1 Varmeledning

Brannspredning via varmeledning skjer ved at et materiale tar opp varme, og leder det gjennom seg til andre materialer som igjen kan antennes, dersom energimengden er tilstrekkelig stor. Et eksempel kan være en ventilasjonskanal av stål som blir utsatt for direkte brannpåkjenning. Kanalgodset vil absorbere varmen og føre denne varmen gjennom en vegg, dersom det er tilstrekkelig høye temperaturer vil det være fare for antennelse av nærstående brennbart materiale i naborommet.

3.4.2 Konveksjon

Ved konveksjon spres brann ved at røyk eller flammer distribuerer så mye energi fra brannen til et annet materiale og antenner dette. Varm røyk og flammer vil forvarme brennbare materialer det kommer i kontakt med og dermed bidra til at det lettere tar fyr når brannen når dette materialet.

3.4.3 Varmestråling

Alle flater som har en høyere temperatur enn omgivelsene avgir varmemestråling.

Brannspredning via varmemestråling vil inntreffe når den termiske strålingen eller røyklaget i en brann er så kraftig at den forårsaker en spontanantennelse fordi strålingen varmer opp det bestrålte materialet til en så høy temperatur at det spontanantenner.

Varmestråling og bidra til å forvarme brennbare materialer slik at de lettere antenner når brannen har spredd seg til disse.

3.4.4 Flyvebrann

Dersom en brann blir så kraftig at den sprer seg til utsiden av et bygg og antenner fasaden kan det produseres gnister og glør som transporteres med vinden til nærliggende bygninger.

4 Ventilasjonsanlegg og brann

4.1 Overordnet beskrivelse av ventilasjonssystemer

For å få et godt innemiljø er tilgang på frisk uteluft kritisk for utskiftning/uttynning av de forurensningene som tilføres inneluft, samt opprettholdelse av riktig temperatur.

Et ventilasjonsanlegg har til hensikt å skape et godt inneklima, begrense mulighetene for fuktskader og bidra til en god energiøkonomi.

Ventilasjonsanleggets uteluftinntak plasseres slik at uteluften blir av best mulig kvalitet, og slik at varmebelastningen i den varme årstiden blir minst mulig. Ved plasseringen må det derfor tas hensyn til solforhold, forurensning fra trafikk, skorsteiner, spillvannslufting og ventilasjonsavkast,

For å oppnå tilfredsstillende luftkvalitet må det nødvendige behovet for friskluft tilførselen dimensjoneres. Dette bestemmes ut fra forventet forurensningsbelastning.

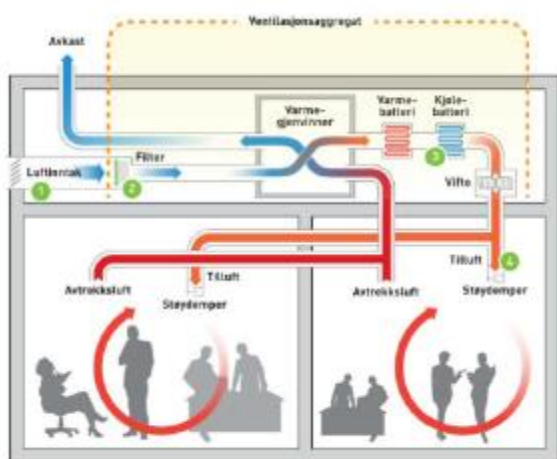
Forurensningsbelastningen avhenger av materialbruk, antall personer og aktiviteter. Frisklufttilførsel må derfor vurderes ut fra følgende tre forhold [11,12]:

- A. - personbelastning
- B. - materialbelastning (forurensning fra bygningsmaterialer, inventar og installasjoner)
- C. - forurensning fra aktiviteter og prosesser

Frisklufttilførselen beregnes med utgangspunkt i forholdene (A + B) og C. De to forholdene (A + B) og (C) sammenlignes og den største forholdet legges til grunn for dimensjonering av ventilasjonsinstallasjonene. Det samlede avtrekk må være tilpasset mengden tilført friskluft.

Dagens byggverk får stadig strengere krav til tetthet og god isolasjonsevne. Dette medfører at ventilasjonsanleggets funksjon blir stadig mer belastet.

Et ventilasjonsanlegg består ofte av et kanalnett, aggregat/vifte, varmegjenvinnere, støydemper, filtre, kjøle/varme batteri og en varmegjenvinner.



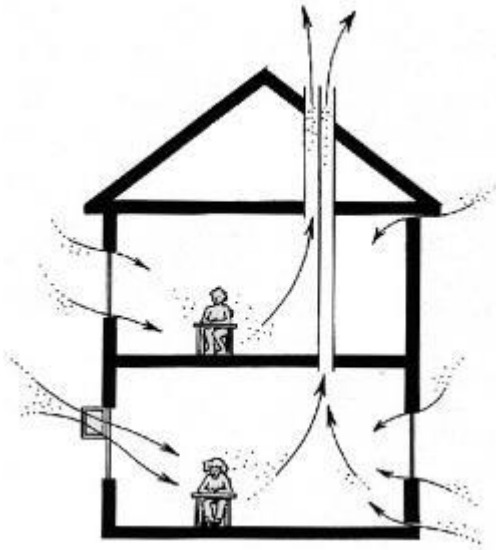
Figur 1 - Skisse ventilasjonsanlegg Hentet fra veileder for brannsikker ventilasjon (BV-NETT).[8]

Ventilasjonsanlegg i bygg brukes som en samlebetegnelse for hovedsakelig tre ulike ventilasjonssystemer i de fleste bygg. Disse tre er Komfortventilasjon, kjøkkenventilasjon og brann/røykventilasjon. Dette er tre ulike ventilasjonssystemer som er separate i bygg.

4.2 Komfortventilasjon

Når man i dagligtale snakker om ventilasjonsanlegg er det som regel komfortventilasjon som omtales. Komfortventilasjon skal tilføre de ulike rommene i et bygg kjølig frisk luft og trekke ut forurenset luft, lukt, varme og fukt. Dersom et slikt ventilasjonsanlegg er prosjektert og utført forsvarlig, kan varmen som trekkes ut, varme opp kald tilluft ved hjelp av varmegjenvinning. For komfortventilasjon er det tre hovedprinsipper som benyttes: Naturlig, balansert mekanisk eller hybrid ventilasjon.

4.3 Naturlig ventilasjon (oppdriftsventilasjon)



Figur 2 - prinsipp naturlig ventilasjon. [29]

Dette er den enkleste ventilasjonsformen, der luft skiftes ut ved hjelp av termiske krefter. Der varm luft stiger opp, mens kald luft synker grunnet forskjeller i densitet (tetthet). Denne ventilasjonsformen fungerer best når temperaturforskjellene er av en viss størrelse slik at luften som trekkes ut er varmere enn omgivelsestemperaturen (utetemperatur).

4.4 Balansert mekanisk ventilasjon (avtrekksventilasjon)

Balansert mekanisk ventilasjon er et viftesystem med tur- og returkanaler som leverer friskluft og trekker ut brukt luft. Mye av varmen som trekkes ut kan benyttes til å varme opp tilluften til ønsket temperatur ved hjelp av en gjenvinner der tilluften kan varmes opp til ønsket temperatur. Dette bidrar til at behovet for å forvarme tilluften reduseres.

Ventilasjonsprinsippet krever imidlertid en bygningskropp med tette konstruksjoner slik at all tilluft/utluft skjer via kanalnett. Et balansert ventilasjonsanlegg kan styres ved hjelp av spjeld, slik at behovet for tilluft begrenses til de rommene som har behov for frisk luft. På denne måten reduseres effektbehovet og ventilasjonssystemet kan driftes på en energieffektiv måte.

4.5 Kjøkkenventilasjon

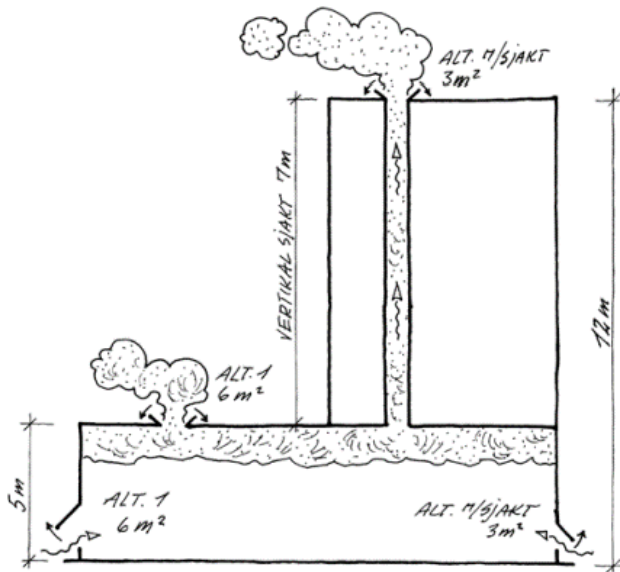
Kjøkken har ofte høy forurensning (matlukt røyk) og dermed utføres avtrekk herfra som eget system adskilt fra komfortventilasjonen med eget kanalnett. Dette er et meget godt tiltak for å oppnå godt inneklime. I branner der media ofte har beskrevet at brannen spredde seg via ventilasjonsanlegget [48], viser det seg i majoriteten av tilfellene er det kjøkkenavtrekket som er den delen av ventilasjonssystemet som er det store problemet. Dette kan underbygges ved å se nærmere på de ulike branner og statistikker som finnes tilgjengelig.

Kjøkkenavtrekk drar med seg mye fett som lett avsettes i kanalnettet. Ved brann dras det store mengder varm luft i kanalnettet som forvarmer opp fett i kanalen. Dersom temperaturen blir høy nok kan fett ta fyr og dermed oppstår det brann inne i kanalnettet. I Byggeforskrift 87 (BF 87) [39] er dette nevnt konkret «*Avtrekkskanaler fra storkjøkken, frityanlegg m.m bør utføres i minst A30 helt til utblåsningsrist, eventuelt føres i egen sjakt. Avtrekkskanaler fra kjøkken i boenheter o.l. bør tilsvarende utføres i minst A15 hvis de ikke ligger i sjakt*» (Statens bygningstekniske etat, 1990). Dette burde være klart for de aller fleste i bransjen, men må alltid påpekes i overfor prosjekterende og utførende i samtlige byggeprosjekter.

4.6 Brann- og røykventilasjon

Dette er et aktivt sikringstiltak for å hindre brann- og røykspredning i et bygg og må derfor ikke forveksles med komfortventilasjon. Formålet med denne typen ventilasjon er å få kontroll på røykspredningen i et bygg ved brann. Dette kan oppnås ved å benytte seg av termisk ventilasjon i form av naturlig oppdrift, ved bruk av vifter (tvungen konveksjon) eller trykksetting (trykkforskjeller mellom ulike rom (brannceller)).

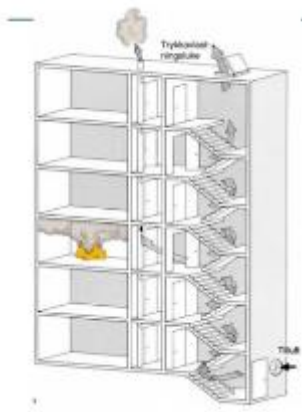
Termisk ventilasjon ventilerer branngasser ut av bygget for å hindre eller forsinke overtenning gjennom å hindre røykgasstemperaturene i å nå temperaturer der gassen selvantenner. Dette vil også kunne bidra til å øke tilgjengelig rømningstid og lette innsatsen for slökkemannskaper ved brann. Dette tiltaket er mest egnet i store gårder mellom bygg (glassgårder) og bygg med store volum over en etasje. For eksempel Idrettshaller, lagerbygg og lignende.



Figur 3 - Prinsippskisse termisk røykventilasjon [10]

4.7 Trykksetting

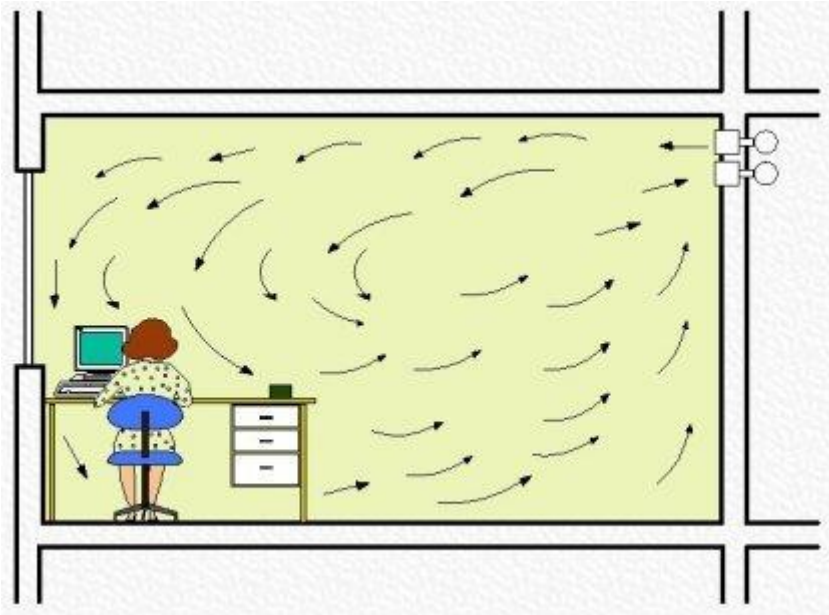
Trykksetting er et tiltak som benyttes for å hindre røykinntrænging i trapperom ved å skape et overtrykk i trapperommet ved hjelp av vifter. Dette skal bidra til å øke sikten og hindre at personer får i seg farlig røyk på vei ut av bygget. Brann- og røykventilasjon, samt trykksetting av trapperom vil det ikke bli satt fokus på i denne rapporten da det anses å ligge utenfor oppgavens avgrensning.



Figur 4 - Prinsippskisse Trykksetting [20]

4.8 Komfortventilasjon

I moderne bygg går en stor del av energiforbruket med til å opprettholde et godt innemiljø, ventilasjon og luftbehandling. Stadig blir kravene til innemiljø strengere, som igjen setter krav om stadig mere luftutskifting slik at forurensninger, overskuddsvarme, uønsket odør og fukt fjernes fra bygget. Den generelle oppfatningen i dag er at store luftutskiftninger gir godt innemiljø mens få utskiftninger gir dårligere innemiljø. Ved å utnytte luften som tilføres bedre kan man imidlertid redusere det nødvendige volumet. Dette kan gjøres ved å sende den luften som trengs direkte til de rommene som har behov for tilførsel av frisk luft. Slik kan man redusere behovet for luft og energi til å distribuere luften. Dette prinsippet kalles for VAV (Variable Air Volume) [38].



Figur 5 – Prinsskisse omrøring av luft. [38]

Dersom nye ventilasjonsanlegg skal vurderes opp mot eldre metoder vil forholdene være noe forskjellig. Dagens anlegg er mer spisset med hensyn på energisparing. Et godt eksempel er anlegg med balansert ventilasjon. Et slikt anlegg vil styres etter behov. Derfor vil anlegget vil til tider nesten stå helt stille (nattsinking). Dette må også ses i sammenheng med stadig tettere konstruksjoner som gir lavere naturlig trykkavlastning gjennom konstruksjoner. Dette fører til at nyere anlegg har noe lavere luftstrømning og mindre undertrykk/sug i anlegget en eldre anlegg.

4.9 Brannsikring av kanalnettes oppheng.

I henhold til Byggforskblad 520.346 [25] angis det krav om at opphengssystem for kanaler, kabelbroer og andre rør må være utført slik at det ikke faller ned og dermed bidrar til økt fare for spredning av brann og røykgasser. Dette kravet må også ses i sammenheng med sikkerheten til for eksempel røykdykkere ved brann.

Alle deler som benyttes til oppheng må derfor ha samme temperaturobestandighet og brannmotstand som er påkrevd for installasjonene det bærer. Innfesting av oppheng som bærer installasjonene må derfor skje i bærende konstruksjoner med minst samme brannmotstand som opphenget.

Det er viktig at opphengssystemet er beregnet for installasjonen det skal bære og at hvert opphengspunkt har omtrent lik belastning.

4.10 Brann- og røykspredning via ventilasjonsanlegg

I branncellebegrensende konstruksjoner er ofte det svakeste punktet gjennomføringer i konstruksjonene [15]. Som det blir nevnt i en rapport fra SINTEF NBL utgitt i 2002 [4]: «Årsaken til at branner sprer seg ut over branncellen skyldes ofte at detaljer er planlagt og/eller utført på en feil eller uheldig måte. Kvaliteten av gjennomføringstettinger synes å ha stor betydning for påliteligheten av veggene» (Aamnes Mostue & Opstad, 2002). Det finnes mange produkter på markedet i dag som på ulike måter tetter gjennomføringer, uten å svekke

brannmotstanden til konstruksjonene de er beregnet på. Ved valg av produkt for tetting av gjennomføring er det derfor viktig å kontrollere produktenes godkjenningssdokumentasjon og være bevisst på type veggmaterialer tettemassen skal benyttes i.

En fuge beregnet på betongvegger er ikke nødvendigvis godkjent for bruk i lettvegger bestående av gips eller vegger av massivtre. Bygningsdelens gjennomføring må ikke belastes med egenvekten av kanalen som føres gjennom. Dersom gjennomføringer kan vibrere er det viktig å velge en fuge/tetteprodukt med høy elastisitet slik at den opprettholder sin brannmotstand over tid.

Brannsikring av ventilasjonsanlegg forenkles ofte til tre grunnleggende faktorer som må ivaretas:

1. Forhindre varmeledning i kanalogs
2. Tetting av gjennomføringer
3. Forhindre spredning av varme røykgasser i kanalnett

4.10.1 Varmeledning i kanal

Når varme gasser trekkes inn i kanalnett vil stålkanelene varmes opp. Tilsvarende vil varmestråling fra brannrommet bidra til å varme opp kanalogs fra utsiden. Om stålet i ventilasjonskanaler blir varmt nok kan det føre til at brennbart materiale som ligger nærme nok kanalen i en tilliggende branncelle antennes.

Varmeledning i kanal kan forhindres ved følgende metoder:

- Isolere ventilasjonskanal.
- Automatisk slokkeanlegg som kjøler ned kanal på eksponert side.
- Montere spjeld i gjennomføringen.

Den vanligste metoden for å motvirke varmeledning via kanalogs er å kle inn kanalen med ubrennbar isolasjon. Isolasjonstykkelse og isolasjonslengde vil variere ut fra produkt og kanaldimensjon. Produsentene av brannisolasjon skal ha tekniske godkjenninger med monteringsanvisninger for hvordan dette gjøres på de ulike kanaldimensjonene.

4.10.2 Tetting av gjennomføringer

Uavhengig av valgt metode for å hindre røyk- og brannspredning, vil gjennomføringer måtte tettes slik at det ikke er utettheter mellom brannskillende konstruksjon og kanalogs [25].

4.10.3 Forhindre spredning av varme røykgasser i kanalnett

For å forhindre spredning av røykgasser i kanalnett må kanalnett være i drift. Dersom avtrekk og tilluft ikke er i drift, vil det kunne oppstå situasjoner der kanalnett ender opp med å distribuere brann- og røykgasser. Røykgasser spres raskt fra brannrommet til omkringliggende brannceller på samme kanalnett, grunnet trykkforskjeller mellom rommene. Dette på grunn av høyere trykk i kanalnett enn omliggende rom, gjør at undertrykket drar inn røyk fra kanalnett.

Selv om anlegget er i drift vil det alltid være fare for at røyk kan spre seg til andre brannceller. Dersom spredning av varmerøykgasser via kanalnett skal forhindres under et helt brannforløp må det benyttes brannspjeld.

5 Tidligere branner

5.1 Larvik sykehjem

Brannen omtales i rapport fra SINTEF NBL i 2010 [43]. Larvik sykehjem ble oppført i 1952 og senere ombygget i 1972. Sykehjem består av en tre- og fire-etasjers bygning med et bruttoareal på 1500 m². Sykehjemmet huset 118 beboere, hvorav 58 befant seg i fløyen som brant.

Brannen startet på et beboerrom i 1. etasje der beboeren røyket. Brannen medførte sterk røykutvikling med utvendig røykspredning. Røykspredningen foregikk via ventilasjonsanlegget. Grunnet uttetheter i etasjeskillet spredte det seg og røyk til 3. og 4. etasje. I tillegg ble åpne dører blir også betegnet som en sterkt medvirkende årsak til brannspredningen.

5.2 Sveio omsorgssenter

Brann i Sveio omsorgssenter. [1]

Brannen startet i et lintøyrom i byggets første etasje. I samme etasje som lintøyrommet lå det 7 beboerrom, samt 6 beboerrom i underetasjen. Lintøyrommet hadde et areal på 13,2 m². Det ble ført en inventarliste over det som befant seg i rommet av materiell. Rommet for øvrig var utformet som en branncelle med brannmotstand EI 60 [B 60] og dører med slagretning inn i rommet med brannmotstand EI 30 [B 30].

Inventarlisten viste at det var svært lite brennbart materiale i rommet. Det er i rapporten fra politiets etterforskning angitt at brannen startet på baksiden av et kjøleskap i rommet.

Brannalarmanlegget detekterte brann og i løpet av 3 minutter var brannen spredd til korridoren.

Brannforløpet vurderes slik at brannen i løpet av kort tid ble ventilasjonsstyrt. Dette vil si at tilgangen på oksygen ble lavere enn det som trengtes for å forbrenne gassene i rommet. Dermed ble det utviklet en mengde ufullstendig forbrente gasser. De ansatte åpnet døren til lintøyrommet for å sjekke den utløste brannalarmen. Fordi de så at rommet var fylt med røyk var de raske med å lukke døren igjen etter kort tid. Tiden døren var åpen synes imidlertid å ha vært tilstrekkelig nok til at de uforbrente gassene fikk blandet seg med oksygen slik at branngassene antente, hvorpå en stor temperatur- og trykkøkning inntraff. Dette fikk døren med karm til å blåse ut av veggen den var festet i på en eksplosjonsartet måte. Brann- og røykgasser spredte seg deretter raskt til korridoren som ble antent og kort tid etter overtent.

Korridoren var delt i 2 av en røykskilledør. Denne var imidlertid satt i åpen posisjon ved hjelp av en trekile (dørstopper). Dette har vært en medvirkende årsak til at brannen fikk spre seg uhindret til hele korridoren.

Alle rommene i korridoren var utsatt for røykinnmengning via ventilasjonsanlegget. Verst gikk det utover et hobbyrom i samme korridor. Ventilasjonsanlegget var automatisk avslått under brannen for å forhindre forstyrrende støy og trekk fra anlegget. Trolig en form for nattsenking. Dette medførte at ventilasjonsanlegget stod trykkløst og dermed bidro til at overtrykket i brannrommet ble avlastet ved at røyk- og branngasser spredte seg til andre rom via kanalnett.

Evalueringen til Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) [13] angir at dersom ventilasjonsanlegget hadde vært i drift ville trolig brannforløpet ha fortonet seg annerledes og muligens fortonet seg annerledes. Dersom døren til lintøyrommet ikke hadde blitt åpnet ville brannen ha kunnet fortsatt som en ventilasjonsstyrt brann og sløkket av seg selv.

Om ventilasjonsanlegget hadde gått som ved normalt drift er det stor sannsynlighet for at brannen hadde utviklet seg annerledes. Brannen ville med høy sannsynlighet ha utviklet seg mer som en «normalbrann». Det ville ha trolig ha oppstått en overtenning i lintøyrommet, men brannen ville i større grad ha vært mer lokal og ikke spredd seg så raskt til de andre rommene som utfallet ble her med den eksplosjonsartede brannen helt i starten av brannforløpet.

6 BV Nett – Veileder for brannsikker ventilering

På bakgrunn av manglende beskrivelser i gjeldende forskrifter ble BV-Netts Veileder for brannsikker ventilering [8] utarbeidet. Veilederen beskriver mer spesifikke anbefalinger for hvordan funksjonskravet i TEK kan tilfredsstilles. Veilederen er derimot ikke hjulmet ved lov eller forskrift og derfor ikke juridisk bindende. Allikevel er det blitt bransjestandard å henvise til denne.

Dersom det benyttes eldre metoder som f.eks. å isolere 1 m ut på hver side med isolasjon som tilfredsstillende den gitte brannmotstanden, vil dette ofte registreres som avvik ved uavhengig kontroll, da dette ikke samsvarer med løsninger i BV-Netts veileder. Det er i utgangspunktet opp til de ansvarlig prosjekterende innenfor brann og ventilasjon, å velge løsninger som tilfredsstillende de gjeldende funksjonskravene, samt utarbeide dokumentasjon på valgte løsninger, uavhengig av hva veilederen måtte anbefale.

Veilederen er utarbeidet av norske rådgivere i brann- og ventilasjonsbransjen, hvor også Direktoratet for byggkvalitet (DIBK) og DSB har undergått som observatører i prosessen. Ved utarbeidelsen av veilederen ble det sett bort fra tidligere norske og nordiske standarder og veiledninger.

I veilederens introduksjon beskrives disse løsningene som blir angitt er i henhold til VTEK [11]. Løsningene skal være likestilte som preaksepterte løsninger og dersom det henvises til disse skal det ikke stilles krav til ytterligere dokumentasjon/ analyse.

Veilederen skal i utgangspunktet kompletteres senere av en håndbok for brannprosjekterende til bruk for alternative løsninger som dokumenteres ved analyse. Denne skal utarbeides av Norconsult.

Veilederen er utarbeidet på bakgrunn av funksjonskrav i gjeldende byggteknisk forskrift (TEK10) med veiledning, samt ut fra forutsetninger gitt i produkt-, klassifiserings- og teststandarder. Disposisjon og øvrig innhold er i stor grad hentet fra Danske DS 428 [2].

Forhold som ikke er dekket i Veiledningen:

- Fullstendig beregning av anlegg for å lede røyk til det fri.
- Automatikk for styring av eksempelvis omluft og røykkontrollspjeld, ved brann i trekk-ut systemer
- Dokumentasjon av løsninger med sikkerhetsavstand til brennbart materiale som alternativ til isolering av kanalnett i trekk ut-systemer (eksempelvis som benyttet i Sverige 250 mm eller i England 500 mm)
- Brannklassifisert himling under fordelingskammer som alternativ til brannklassifisert kanal i trekk-ut systemer
- Ventilering av isolat i sykehus, batterirom, ex-soner og lignende.
- Praktiske utførelser knyttet til oppheng, fugetetting, sjakter, store kanaler, spjeld for store tverrsnitt forutsettes dekket av produktdokumentasjon fra leverandører, det vil si ”som testet”
- Uvanlig form, ytelse eller størrelse iht. standarder for utvidet anvendelse dokumenteres av leverandør

Funksjonskravet i TEK går ut på at det skal forhindres:

- Brannspredning via ventilasjonsanlegg eller via gjennomføringer i brannskiller
- Røykspredning via ventilasjonsanlegg eller via gjennomføringer i brannskiller
- Risiko for at brann oppstår i deler av ventilasjonsanlegg eller at anlegger kan bidra til brannspredning skal reduseres.

Veilederen fra BV-nett angir følgende akseptkriteriet:

Gjennomføringer og komponenter i ventilasjonsanlegg må ikke redusere brannmotstand til brann- og røykskiller. Spredning av røyk fra ventilasjon må ikke vesentlig redusere personsikkerhet som følger av risikoklassen. [8]

I hovedsak går dette ut på det samme som funksjonsbeskrivelsen i TEK. Det siste leddet i akseptkriteriet kan tolkes slik at de angitte løsningene tillater noe røykspredning, men ikke i slik grad at personsikkerheten reduseres. Hvor mye røykspredning som da er tillatt er noe som må vurderes i vært enkelt tilfelle. Akseptkriteriet for røykspredning må inngå som en del av en analyse/brannteknisk simulering. Dette nevnes ikke i veilederen.

I branner med stor varmeutvikling og et lukket volum eller et volum med begrenset ventilasjon vil det kunne oppstå en rask og stor trykkøkning. Dette kan medføre at røykgasser sprer seg ukontrollert via kanalnettet internt i branncellen og eventuelt til andre brannceller, dersom det ikke er iverksatt forhindrende tiltak. For å forhindre brannspredning i selve ventilasjonsanlegget må i hovedsak alle komponenter utføres i ubrennbare materialer.

Valg av strategier kan fritt velges så lenge det kan dokumenteres at funksjonskravet i TEK er tilfredsstillt. TEK 10 verken inkluderer eller ekskluderer metoder for å brannsikre ventilasjonsanlegg står de prosjekterende relativt fritt til å velge løsninger. Prosjekterende kan fritt velge alternative metoder som:

- Eget system for hver branncelle.
- Fjerning av brannskiller.
- Velge lavt-sittende ventilarmaturer med trykkavlastning i brannceller.

Veilederen viser derimot videre til 3 forskjellige måter og brannsikre ventilasjonsanlegg på:

1. Trekk ut
2. Steng inne
3. Blandingsløsning av metode 1 og 2.

De 3 metodene er basert på at anlegg skal motstå varme og røyk fra brann utenfra, samt håndtere varme og røyk som kommer inn i nettet på en slik måte at kanalnettet selv ikke bidrar til spredning av brann eller svekker brannskiller. Dette er også grunnprinsippet som det norske regelverket og NS-standarder bygger på. De forskjellige metodene blir beskrevet dypere i kap 11.2 og 12.1.6.

7 Historiske krav til brannbeskyttelse av ventilasjonsanlegg

7.1 Byggeforskriften 1987 med veiledning

Byggeforskriften 1987 [9] angir generelle krav for brannsikring av ventilasjonsanlegg.

Tilsvarende nyere forskrifter angir denne årgangen også at anlegget skal være slikt utført at det ikke medfører økt risiko for brann eller brann- og røykspredning. Krav til brannsikring av ventilasjonsanlegg står ikke i kapitlet som omhandler branntekniske retningslinjer (kapittel 30). Branntekniske krav for ventilasjonsanlegg er beskrevet i et eget kapittel som kun tar for seg ventilasjonsanlegg i sin helhet (kapittel 47).

Kap 47:41. Alle kanaler skal være tette og være utført i materialer som har nødvendig bestandighet mot forutsatte påkjenninger. Feste anordninger for kanaler skal være dimensjonert slik at de tåler forutsatt belastning. (Det antas her at dette punktet er skrevet blant annet med hensyn på brann, dette kommer dog ikke klart frem i forskriften).

Kap 47:42. Kanalgjennomføringer i branncellevegg skal utføres slik at bygningsdelens brannskillende funksjon opprettholdes

Kap 47:43. Der ventilasjonskanal skal fungere som avtrekk for røyk skal det ikke monteres brannspjeld eller annen form for selvlukkende spjeld i kanal.

Byggeforskrift 87 angir videre ingen branntekniske retningslinjer for brannsikker utførelse av ventilasjonsanlegg. Veiledningen til Byggeforskriften 87 [39] beskriver mer detaljer hvordan kravene i kap. 47: 41-43 kan ivaretas.

Der det angis at tillegg til å tilfredsstillende de ventilasjonstekniske kravene, skal anlegget også oppfylle forskriftens krav om sikkerhet mot spredning av røyk og brann i bygningen. Der det angis at følgende tiltak må vurderes og dokumenteres:

1. Sikring mot branntilløp i anlegget
2. Sikring mot spredning av brann
3. Sikring mot spredning av varme røykgasser

7.1.1 Sikring mot branntilløp i anlegget:

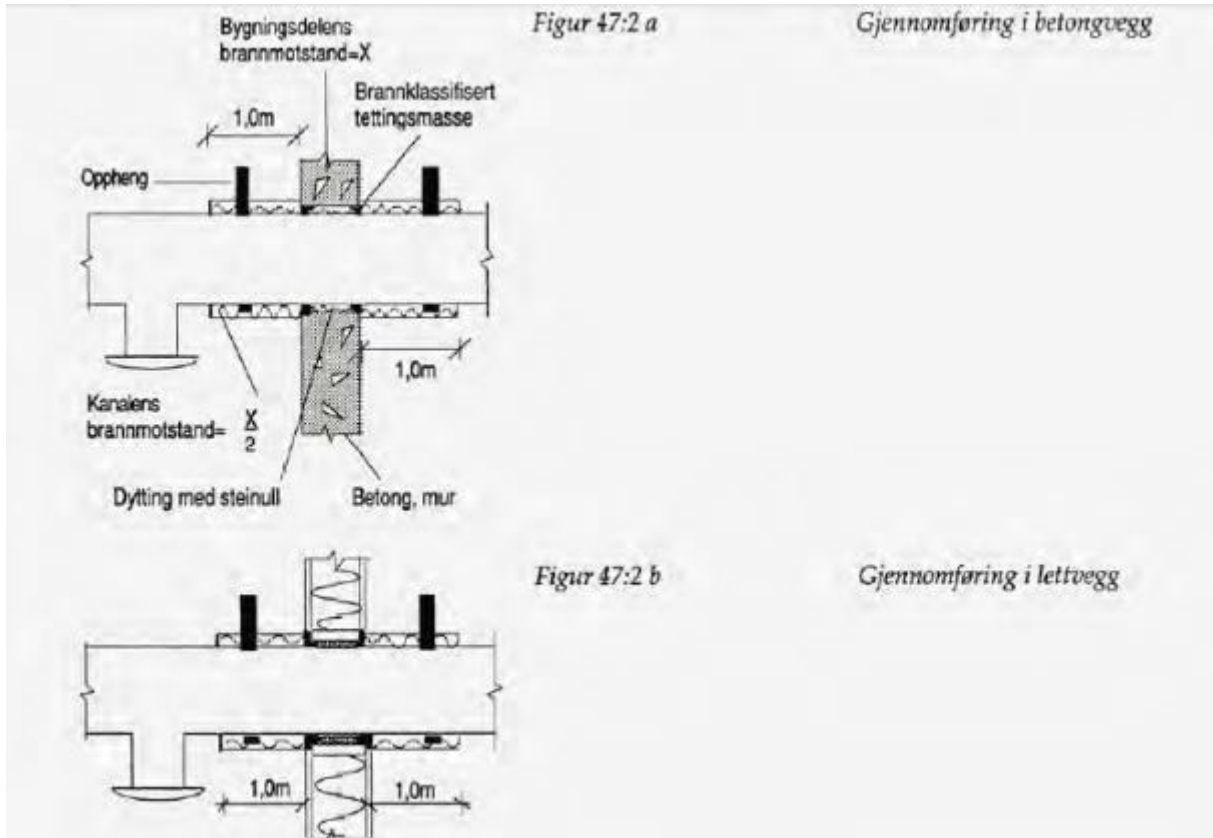
For å sikre at brann i selve anlegget vises det til at selve kanalnett må utføres i ubrennbare materialer, med unntak av filtre og som detaljer som tetningstape og lignende, under forutsetning av at de er typegodkjent for bruk i ventilasjonsanlegg. Byggeforskriften åpner også for bruk av produkter som er unntatt fra godkjenningskravet. Statens byggetekniske etat ga i den tid ut en liste over hvilke produkter som er unntatt typegodkjenning. For ventilasjonsanlegg gjelder unntakene i hovedsak for bruk av skumplast som kanalisolasjon dersom skumplasten er innkledd i stålplater.

7.1.2 Sikring mot spredning av brann:

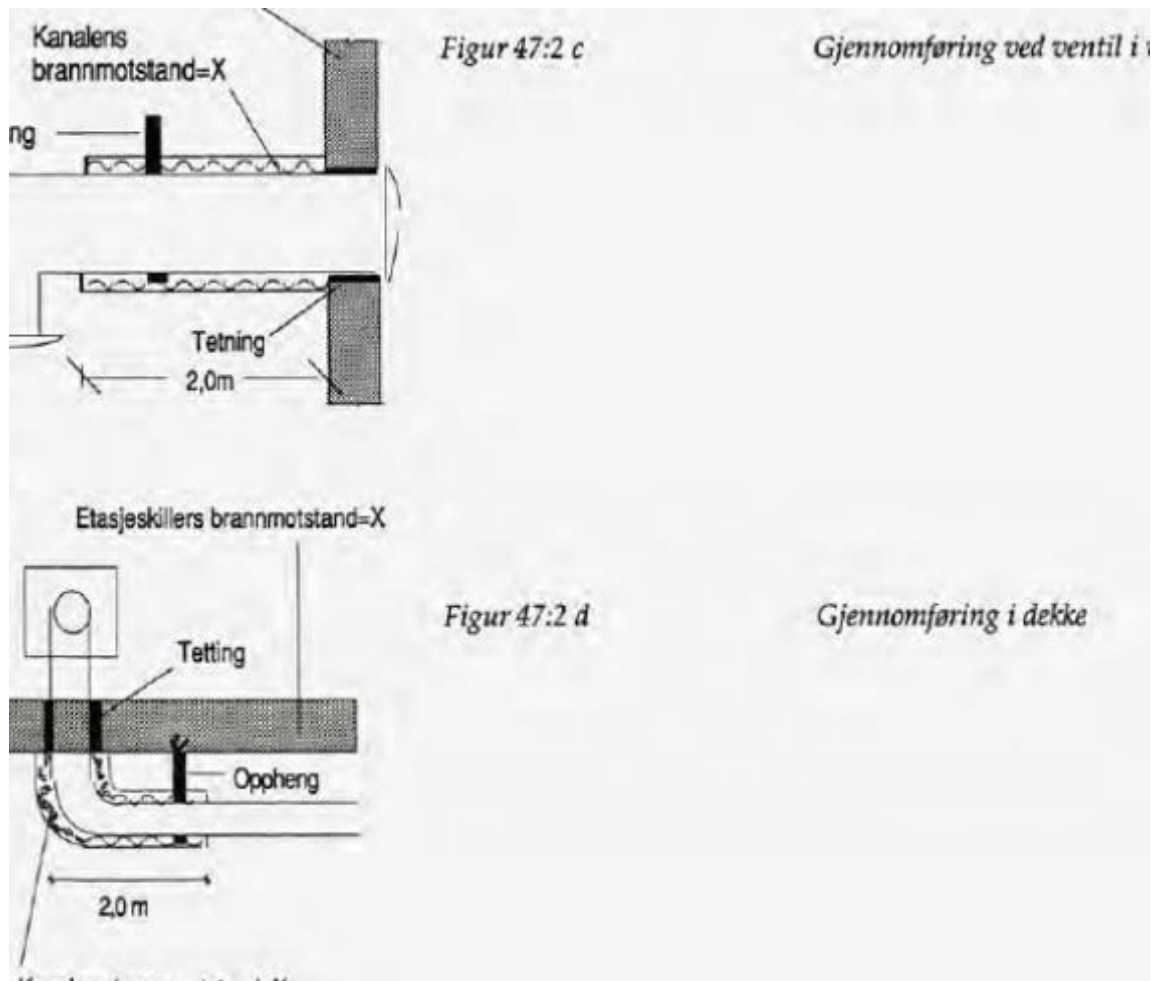
Kanaler som bryter gjennom branncellebegrensende bygningsdel og brannvegg/branndekke, skal utføres slik at bygningsdelens brannmotstand ikke svekkes Dette medfører krav til kanalens bestandighet (inklusive oppheng og skjøter), krav til maksimal temperaturoverføring og krav til tetthet rundt kanalen under brann. Ventilasjonsanleggets gjennomføring skal utføres slik at det gir tilfredsstillende sikkerhet i den tid som bygningsdelen skal holde.

Løsninger for skille i branncellebegrensende konstruksjoner:

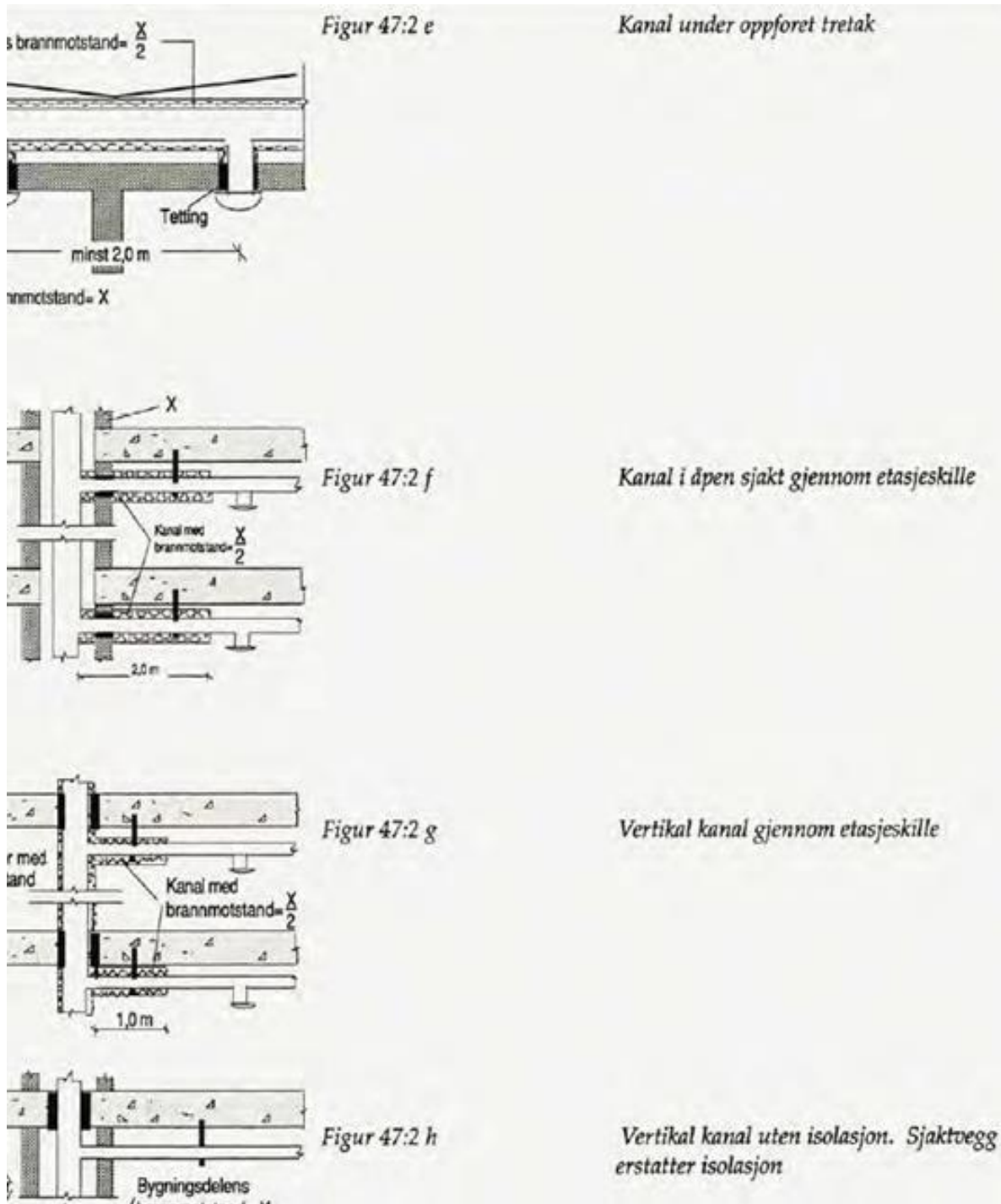
Spredningsfaren ved kanalgjennomføringer ligger i første rekke på utsiden av kanalen. For å forhindre dette vises det til følgende skisser for preaksepterte løsninger (Se Figur 6, Figur 7 og Figur 8):



Figur 6 - Skisse 47:2 A og B. Veiledning byggeforskrift 87 [39]



Figur 7 - Skisse 47:2 C og D, Veiledning byggeforskrift 87 [39]

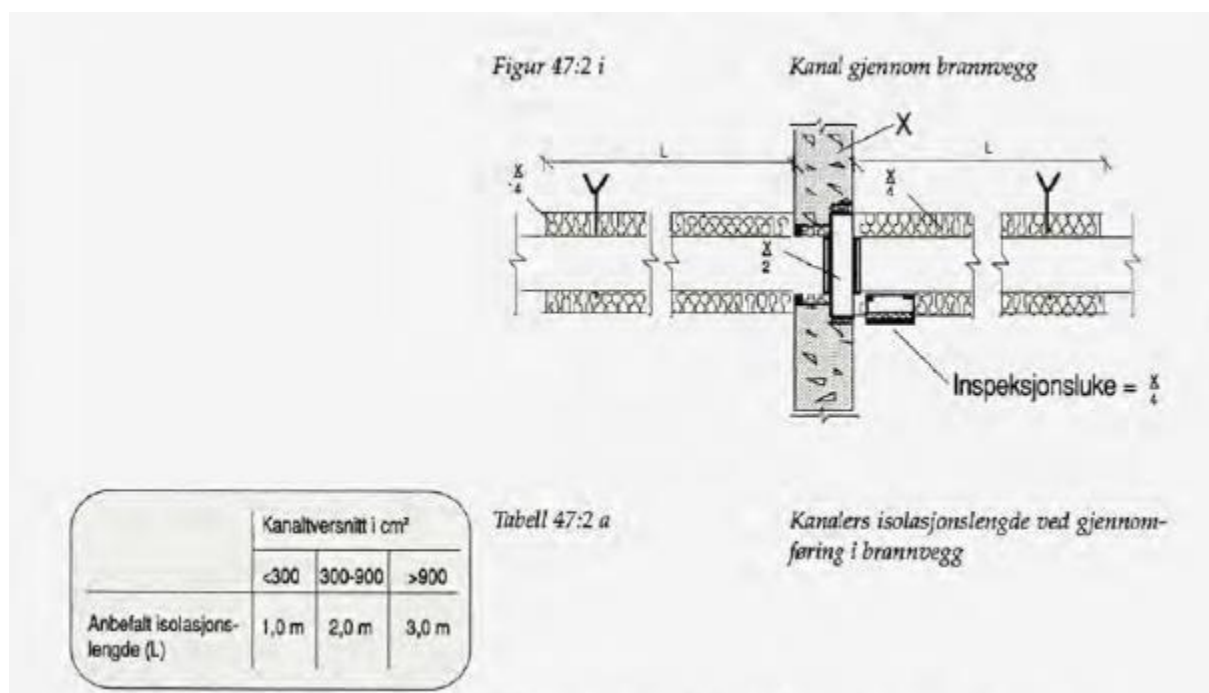


Figur 8 - Skisse 47:2 E til og med h, Veiledning byggeforskrift 87 [39]

Løsninger for kanalgjennomføringer i seksjoneringsvegger:

Veiledningen anbefaler noe strengere løsning for kanalgjennomføring, seksjoneringsvegg og dekker. Det påpekes i forskriften at kanalgjennomføringer i en slik type konstruksjon bør unngås så langt det er mulig, og at det heller bør monteres separate anlegg i de forskjellige seksjonene.

Dersom det likevel skal føres en kanal gjennom en slik vegg skal det monteres et brannspjeld i tillegg til utvendig brannisolering av kanalen. Brannspjeldet må minst ha 50% av konstruksjonens brannmotstand, samt monteres fast i veggen. Slik at det ikke kan falle ut dersom deler av kanalnettet skulle kollapse. Det stilles også krav til at spjeldet skal ha inspeksjonsmulighet. Det henvises til Figur 9 for preakseptert løsning:



Figur 9 - Skisse 47:2 i og tabell 47:2 a., Veiledning byggeforskrift 87 [39]

7.1.3 Sikring mot spredning av varme røykgasser

For å redusere muligheten for spredning av branngasser gjennom ventilasjonsanlegget, anbefales det at anlegg med balansert ventilasjon baseres på full drift under brann. Undertrykket i avtrekkskanalene vil innebære at branngasser trekkes av og blåses til friluft. Overtrykket i luftkanalene vil motvirke at branngasser trenger inn i anlegget og sprer seg gjennom dette.

Ventilasjonsanlegg som skal være i drift under brann, må planlegges slik at:

- Eventuelle omluftspjeld går i stengt stilling ved brann, og slik at lekkasjen over spjeldet blir minst mulig.
- Avtrekksluften føres utenom eventuelle varmegjenvinnere ved brann.

For å forhindre innsug av røyk i tilluftskanal bør inntaket plasseres så nær bakken som mulig. I tillegg må det monteres røykdetektor i tilluftskanalen, etter aggregatet som stopper viften.

For ventilasjonsanlegg som skal være i drift under brann skal det ikke monteres brannspjeld.

For byggverk med høy personbelastning som for eksempel sykehus, hoteller, kjøpesentre og lignende, anbefales det at ventilasjonsanlegget skal ha brannsikkerstrømtilførsel. Dette angis derimot ikke som et direkte krav. For andre byggverk stilles det ikke krav/anbefaling om sikkerstrømtilførsel av anlegget, selv om det skal ha en funksjon under brann. Grunnlaget for dette begrunnes med at: *Det er først og fremst i den tidlige fase av en brann det er viktig å unngå røykspredning.* [39]

For byggverk med høy personbelastning anbefales det også separate kanalsystemer for rømningsveier, og at disse bør settes under overtrykk. [39]

Det beskrives også en særskilt anbefaling til ventilering av trapperom. Trapperom bør ha en egen separat kanal, uten åpninger til andre rom. Der kanal føres gjennom trapperom uten å ventilere trapperommet, bør kanalen ha brannmotstand.

7.2 TEK og VTEK 1997-1999

TEK 97 [21] angir grovt at brannspredning i tekniske installasjoner, derav ventilasjonsanlegg, må forhindres.

«§7-24 Tekniske installasjoner Tekniske installasjoner skal utføres eller utstyres slik at installasjonen ikke vesentlig øker faren for at brann oppstår eller at brann sprer seg. Installasjoner som er forutsatt å ha en funksjon under brann, skal være slik utformet og bygget at deres funksjon opprettholdes i nødvendig tid.» [21]

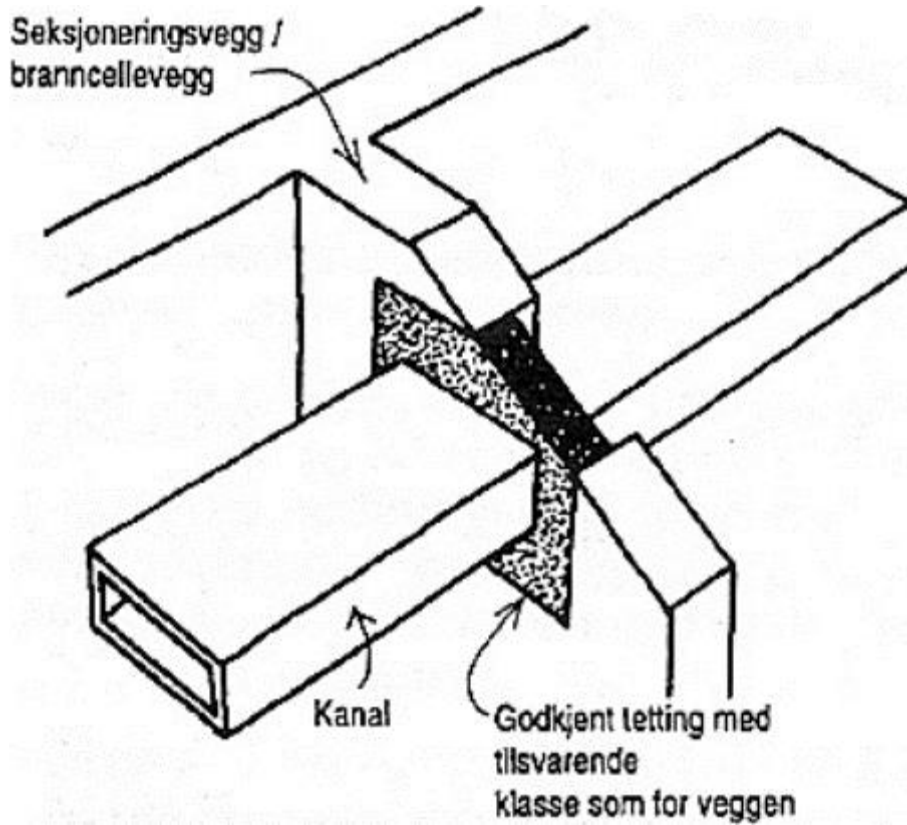
Videre er det angitt spesifikt i veiledningen til VTEK 1997-99 [40] hvordan dette skal sikres. Veiledningen angir at alle tekniske installasjoner skal opprettholde sin funksjon og brannmotstandsevne i den tid som anses nødvendig. Tekniske installasjoner skal ikke direkte eller indirekte bidra til brann- eller røykspredning. Det må dermed forhindres at en brann kan oppstå i selve installasjonen samt at installasjonen ikke bidrar til økt fare for røykutvikling og røykspredning.

Det angis at brann- og røykspredning i tilknytning til ventilasjonsanlegg kan skje på tre ulike måter [40]:

1. *Brann- og røykspredning på grunn av utettheter mellom kanal og den bygningsdelen som kanalen går gjennom*
2. *Brannspredning på grunn av varmeledning i kanalgodset*
3. *Røykspredning i kanalnett.*

7.2.1 Brann og røykspredning på grunn av utettheter mellom kanal og bygningsdel

Veiledning angir at brannspredningsfaren ved kanalgjennomføringer i hovedsak er via utsiden av kanalen på grunn av utettheter mellom kanal og vegg. Dermed må alle utettheter mellom kanal og vegg/dekke som har en brannteknisk funksjon branntettes rundt gjennomføringen. Som vist på Figur 10.

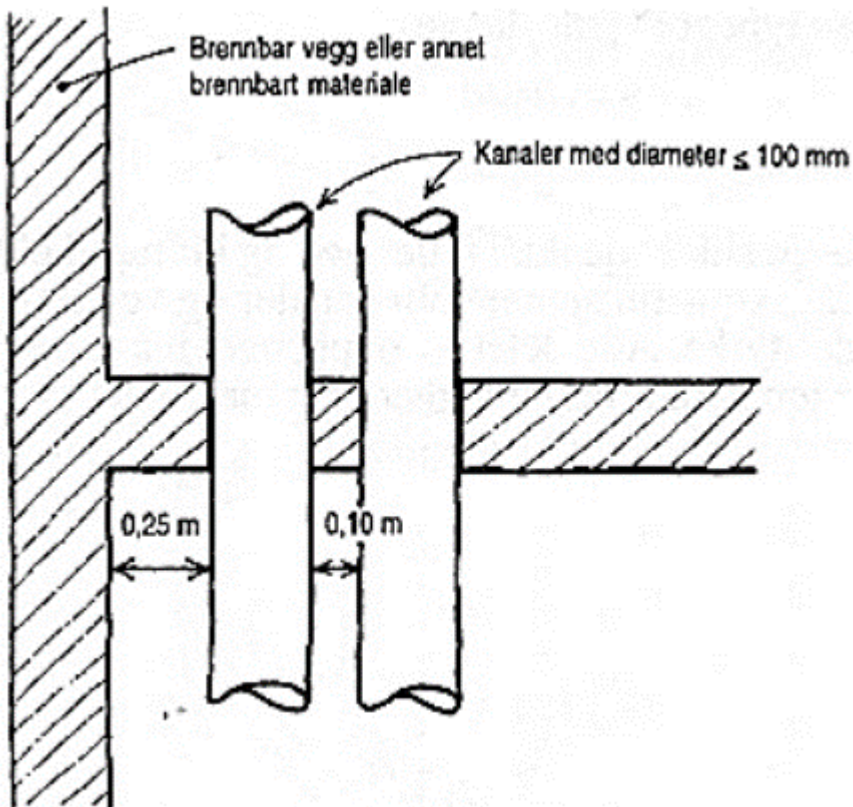


Figur 10 - Figur fra VTEK 99, §7-24 - Utettheter rundt kanal [40]

7.2.2 Brannspredning på grunn av varmeledning.

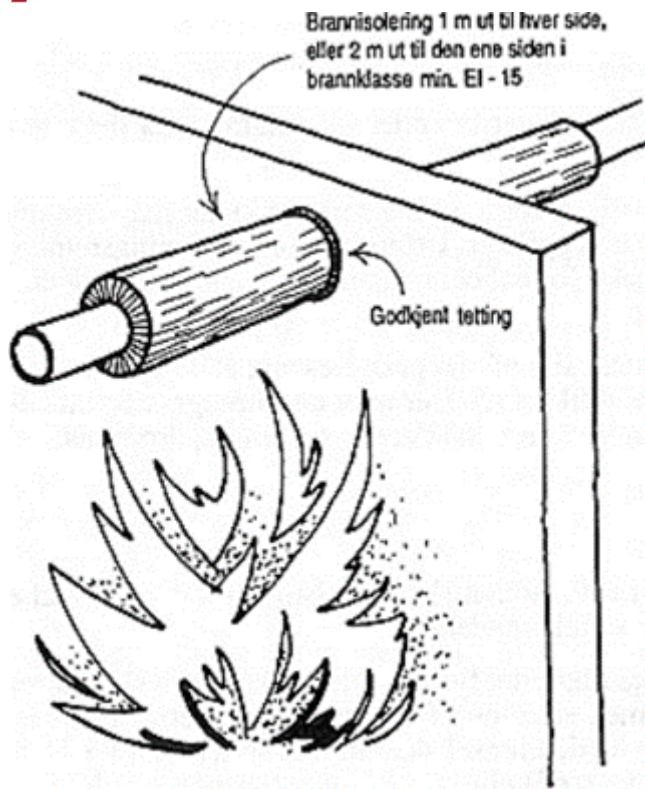
Veiledningen angir at varmeledning (konduksjon) i selve kanalen kan forårsake antennelse av brennbart materiale som ligger inntil kanalen. Her menes de da på motsatt side av et brannskille.

For å forhindre dette angir veiledningen at det må minst være 250 mm mellom ventilasjonskanal og ubrennbart materiale. Som angitt i Figur 11 og Figur 12.



Figur 11 - Figur fra VTEK 99, §7-24. Varmeledning i mindre ventilasjonskanaler. [40]

Det stilles også spesifikt krav til kanaler som har et større tverrsnitt enn 80 cm². Kanaler med slik størrelse må brannisoleres. Behov for isolasjonslengde kan enten dokumenteres ved prøving eller det kan benyttes preakseptert løsning, og brannisolere 1 m ut til hver side av kanalen eller 2 m ut på den ene siden med minimum brannklasse EI 15. Se Figur 12. Det angis ikke krav til isolasjonstykkelsen. På Figur 12 angis det at kanalgjennomføringen må brannisoleres til minst EI 15.



Figur 12 - Figur fra VTEK 99, §7-24. Varmeledning i ventilasjonskanaler med større tverrsnitt enn 80 cm² [40]

Veiledningen angir strengere krav til kanalgjennomføring i seksjoneringsvegger, hvor kun brannisolering av kanal ikke lengre er tilstrekkelig. I kanalgjennomføring må det benyttes brannspjeld som har tilsvarende brannmotstand som seksjoneringsveggen. Alternativt kan det benyttes brannspjeld med brannmotstand tilsvarende halve veggens brannmotstand i kombinasjon med brannisolering. Summen av spjeldets brannmotstand og isolasjon må imidlertid minimum ha samme totale brannmotstanden som seksjoneringsveggen.

7.2.3 Røykspredning i ventilasjonskanaler.

Veiledningen angir at ventilasjonsanlegget kan bidra til å avhjelpe forholdet med spredning av røyk og branngasser under følgende betingelser:

- Ventilasjonsanlegget holdes i normal drift også etter at brann har oppstått. Dette betinger at strømtilførselen til ventilasjonsaggregatet må sikres i den tiden spredning av brann- og røykgasser skal forhindres.
- Eventuelle omluftspjeld stenges så tidlig som mulig etter at røyk/branngasser er detektert. I bygg med omrøringsventilasjon stenges lufttilførselen til brannrommet/brannområdet ved bruk av røyktett spjeld som aktiviseres ved deteksjon.
- Det må ikke benyttes automatiske spjeld i avtrekkskanaler, da disse stenger kanalene ved brann. Kanal gjennom seksjoneringsvegg må likevel ha brannspjeld. Om disse styres av termiske følere, må de koble ut ventilasjonsaggregatet ved lukking.
- Separate kanaler fra den enkelte branncelle må lede til det fri.

Sikring mot spredning av brann i ventilasjonsanlegg Ventilasjonsanlegget må normalt utføres i ubrennbare materialer.

7.2.4 Oppheng av kanaler og ventilasjonsutstyr.

Krav til oppheng av kanaler og ventilasjonsutstyr beskrives også i forskriften. Disse må være festet slik at de ikke faller ned og bidrar til økt fare for brann- og røykspredning. Dette gjøres ved at alle deler av opphenget må bestå av ubrennbart materiale samt ha samme temperaturbestandighet som ventilasjonskanalen. For kanaler som utføres med krav til brannmotstand, må også opphenget ha samme brannmotstand som kanalen. Kanaler som går gjennom brannklassifiserte konstruksjoner må ha oppheng i samme brannmotstand som konstruksjonen for å hindre at kanalen faller ned og åpninger i konstruksjonen oppstår.

7.3 TEK og VTEK 2003 (revidert utgave av 97):

Teksten som omhandler tekniske installasjoner i teknisk forskrift 2003 [23] er helt identisk med hovedutgaven i 97 [21]. Det vil si at det er ingen ending av funksjonskravets beskrivelse.

I veiledningen [23] er derimot ytelsesbeskrivelsen som omhandler brannsikkerutførelse av ventilasjonsanlegg kraftig redusert.

Veiledningen angir som tidligere at ventilasjonsanlegget må utføres i ubrennbart materiale (A2-s1, d0), med unntak av filtre og lydfeller som er typegodkjent. De detaljerte skissene som viser sikkerutførelse er fjernet. Det er satt inn særskilte krav til kjøkkenavtrekk. De samme krav for kjøkkenavtrekk er gjengitt i dagens regelverk.

7.3.1 Oppheng:

Kanaler og ventilasjonsutstyr må være festet slik at de ikke faller ned og bidrar til økt fare for brann- og røykspredning. Det stilles dermed ikke lengre direkte krav om at oppheng må ha samme brannmotstand som kanalen.

7.3.2 Gjennomføring i branncellebegrensende bygningsdel:

Kanal som føres gjennom brannklassifisert bygningsdel må ikke svekke konstruksjonenes brannmotstand. Utførelsen kan dokumenteres ved prøving eller ved at det benyttes anerkjente løsninger.

Veiledningen henviser ikke videre til anerkjente løsninger eller metoder.

7.3.3 Gjennomføring i seksjoneringsvegg

Som tidligere beskrives det at kanalgjennomføring i seksjoneringsvegg bør unngås så langt det er mulig, samt at det anbefales separate anlegg per seksjon. For sikker kanalgjennomføring i seksjoneringsvegg er krav som beskrevet fra veiledning 99 videreført. Veiledningen beskriver 2 alternative metoder:

- *kanal må utstyres med brannspjeld som har tilsvarende brannmotstand som seksjoneringsveggen.*
- *kanal må utstyres med brannspjeld (med brannmotstand tilsvarende minimum halve veggens brannmotstand) i kombinasjon med brannisolering. Summen av spjeldets brannmotstand og isolasjon må imidlertid tilsvare minimum brannmotstanden i veggen.*

Videre angis ingen særskilte krav for ventilasjonsanlegg.

7.4 TEK og VTEK 2007 (revidert utgave av 97):

Teksten som omhandler tekniske installasjoner i teknisk forskrift 2007 [24] er identisk med hovedutgaven fra 1997. Det vil si at det er ingen ending av funksjonskravets beskrivelse.

Teksten i veiledningen her identisk med utgaven fra 2003 [42].

7.5 TEK 10 med veiledning. Nåtidens krav og praktisk utførelse:

TEK 10 [11] angir grovt de branntekniske funksjonskravene til tekniske installasjoner som den prosjekterende må ivareta:

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

Dette er samme funksjonskrav som teknisk forskrift fra 1997 [21].

Når det kommer til brannsikring av ventilasjonsanlegg er det begrenset med spesifikke ytelseskrav. Forskriften angir at ventilasjonsanlegg må utføres slik at de ikke bidrar til brann- og røykspredning i selve kanalnettet, eller på grunn av utettheter på utsiden av kanal i selve gjennomføringen eller brannspredning på grunn av varmeledning i kanalgodset.

For å ivareta disse kravene angir veiledningen til TEK følgende preaksepterte ytelser:

Ventilasjonsanlegg må utføres i materialer som tilfredsstillende klasse A2-s1,d0 [ubrennbare materialer]. For kanaler gjelder dette hele tverrsnittet. Unntak kan gjøres for små komponenter som ikke bidrar til spredning av brann.

Avtrekkskanaler fra storkjøkken, fritureanlegg og lignende må utføres med brannmotstand EI 30 A2-s1,d0 helt til utblåsningsrist, eventuelt føres i egen sjakt med samme brannmotstand.

Avtrekkskanaler fra kjøkken i boenheter o.l. må utføres med brannmotstand EI 15 A2-s1,d0 hvis de ikke ligger i sjakt. I tilslutning mellom komfyrhette og avtrekkskanal kan det benyttes fleksible kanaler.

Fra kjøkken i småhus må det benyttes avtrekkskanal av materiale som tilfredsstillende klasse A2-s1,d0 [ubrennbart materiale], f.eks. stål eller aluminium. I tilslutning mellom komfyrhette og avtrekkskanal kan det benyttes fleksible kanaler.

For småhus kan det også benyttes kanal av materialer som tilfredsstillende klasse E samt fleksibel kanal av spiralfalset aluminium.

Kanal som føres gjennom seksjoneringsvegg kan oppnå nødvendig brannmotstand ved at kanal utstyres med lukkeanordning (f.eks. brannspjeld) som har tilsvarende brannmotstand som seksjoneringsveggen. Veiledningen angir videre at dette bør unngås så langt det er mulig, og det det beste er at hver seksjon utføres med separate ventilasjonsanlegg.

For brannsikring av oppheng nevnes det at kanaler og ventilasjonsutstyr må være festet slik at de ikke faller ned og bidrar til økt fare for brann- og røykspredning. Det angis ikke hvordan dette skal ivaretas.

Veiledningen beskriver også at kjøkkenavtrekk må ha fettfilter, og avtrekkskanalene må kunne rengjøres i hele sin lengde for å redusere faren for antennelse og brann. Dette er noe som ikke har vært beskrevet tidligere.

7.6 Utenlandske forskriftskrav/metoder for brannsikring av ventilasjonsanlegg.

7.6.1 Dansk regelverk

I Danmark er det Trafik- og byggeristyrelsen som utgir forskrifter til byggeloven. Disse heter bygningsreglementet (BR15) [2] og tilsvarer TEK10 i Norge.

I denne forskriften omtales brannsikring av ventilasjonsanlegg i kapittel 5.5.2 og 8.3. Gjennomføringer for installasjon i brannskillende konstruksjoner skal tettes slik at de adskillende konstruksjonenes egenskaper ikke forringes.

I veiledningen til bygningsreglementet utdypes dette ytterligere:

Enhver gjennomføring for installasjoner i en brannskillende bygningsdel bør utføres slik at brandmotstanden ikke forringes.

Bygninger skal oppføre og innrettes slik at en brann kan begrenses til den branntekniske enhet der brannen oppstår (den enkelte branncelle).

Spredning av brann og røyk til andre branntekniske enheter skal forhindres i den tid som er nødvendig for evakuering redningsselskapets innsats. (Trafik- og byggestyrelsen, 2016) [45]

8.3 Ventilasjonsanlegg skal utføres som anvist i DS 428 *Norm for brandtekniske installasjoner av ventilasjonsanlegg*. (Trafik- byggestyrelsen, 2016)[45]

DS 428 angir prinsipper for utførelse av ventilasjonsanlegg og er angitt i BV-Nett sin veileder for brannsikker ventilerings.

7.6.2 Svensk regelverk

Sverige: I Sverige er det Boverket som utgir nasjonale forskrifter til Plan og byggnadslagen. Boverkets byggregler (BBR) [7] tilsvarer vår TEK10.

Her omtales utførelse av ventilasjonsanlegg i branncellebegrensende konstruksjoner i kapittel 5:533:

Branncelleinndeling "luftbehandlingsanlegg skal plasseres og henges opp på en slik måte at beskyttelsen mot brann og branngasspredning mellom brannceller opprettholdes. Risikoen for brannspredning på grund av varmeoverføring gjennom luftbehandlingsinstallasjoner til brennbart materiell i andre brannceller skal vurderes. Installasjonene skal utformes slik at alle deler som er nødvendig for å opprettholde branncelleinndelingen kan motstå den forventede temperaturøkningen som de må påregnes å bli utsatt for. (BFS 2011:26)" [7]

I tillegg til selve forskriftsteksten er det utarbeidet «allmänne råd» som kan forstås detaljerte anbefalinger til den enkelte bestemmelsen fra Boverket på samme måte som vi har utarbeidet *veiledning til forskrift om tekniske krav til byggverk (VTEK)* her til lands.

Tilfredsstillende beskyttelse mot spredning av brann og branngasser gjennom luftbehandlingsinstallasjoner mellom brannceller kan oppnås ved at installasjoner, inkludert oppheng, ventilasjonskanaler og gjennomføringer utformes slik at de kan opprettholde branncelleskillet i nødvendig tid. Installasjonene bør utformes med brannmotstand som kan forventes ut fra brann på begge sider av branncelleskillet. I utformingen skal være faren for at brann og branngasser spres gjennom luftbehandlingsinstallasjoner vurderes. Fare for brann på grunn av varmeoverføring gjennom ventilasjonskanaler bør vurderes ved å isolere kanalene ved gjennomføring i branncellebegrensende konstruksjoner.

Om luftbehandlingsanlegg ikke er separat utført for den enkelte branncelle bør ventilasjonskanalene utstyres med spjeld i gjennomføringen med brannmotstand tilsvarende den branncellebegrensende konstruksjon den står i. (*BFS 2011:26*).» (Svensk Ventilation, 2014) [44]

Ut fra dette har fagorganisasjonen Svensk Ventilasjon utgitt en håndbok *Praktiska lösningar brandskydd ventilasjon* [44]. Formålet med håndboken har vært å utarbeide løsninger for ventilasjonsbransjen som tilfredsstiller Boverkets funksjonsbaserte krav. Boken ble første gang utgitt i 2004 og har blitt revidert i takt med endringer i BBR. Håndbokens omhandling av isolasjon på ventilasjonskanaler ser imidlertid ikke på bruken av isolasjon ved gjennomføringer i branncellebegrensende konstruksjoner i kombinasjon med automatisk slukkeanlegg.

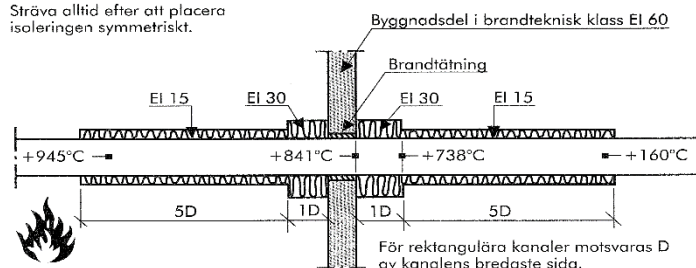
Kapittel 7.2.2 Brandisolering av ventilasjonskanaler som føres gjennom branncellebegrensende bygningsdel.

Ved stillestående luft i kanalnettet kan isolasjonen utføres på to måter:

Alternativ 1

Figur 7.2.2.2

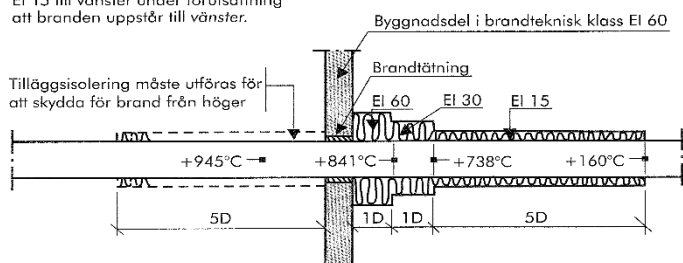
Sträva alltid efter att placera isoleringen symmetriskt.



Alternativ 2

Figur 7.2.2.3

Isoleringsmodellen fungerar utan EI 15 till vänster under förutsättning att branden uppstår till vänster.



Figur 13 - Isolasjonsmetoder for stillestående luft [44]

Figur 13 illustrerer to metoder for å isolere ventilasjonskanaler som krysser branncellebegrensende konstruksjoner.

Alternativ 1 viser et eksempel på isolasjon av ventilasjonskanal gjennom en branncelle med brannmotstand EI 60 der isolasjonen er gjort med hensyn på at brann kan oppstå i begge retninger og isolasjonslengden er jevnt fordelt mellom branncellen. Eksempelvis mellom to rom med lik utforming og lik enkelhet for utførelse av isolering. Det legges opp til at 1 lengde tilsvarer kanaldimensjonen, dersom kanaldimensjon $\varnothing=400$ mm så vil 1D tilsvare 400 mm. Ved å isolere hver side med 1D EI 30, og 5D EI 15 vil (400 mm EI 30 + 2000 mm EI 15) kanalen være tilstrekkelig isolert mot brannspredning som følge av varmeoverføring fra den brannutsatte branncellen til nabobranncellen på andre siden av branncellebegrensende konstruksjon.

Alternativ 2 i Figur 13 Viser til et eksempel der hoveddelen av isolasjonen er plassert på en side av gjennomføringen. Dette er hovedsakelig tiltenkt der det ikke lar seg gjøre å isolere likt på begge sider, for eksempel der ventilasjonskanalen går inn i en sjakt eller et rom med lav takhøyde. Dersom ventilasjonskanalen kun kan utsettes for brann fra en side er det ikke nødvendig med isolasjon på motsatt side av branncellebegrensende konstruksjon. Dersom brann kan oppstå på begge sider må den siden som ikke isoleres til EI 60, isoleres til EI 15 i tillegg.

Krav på brandcellsgräns	Andelar luft som kommer från den brandcell som brinner	Andelar 20°C luft som kommer från övriga brandceller som inte brinner	Ger en beräknad blandnings-temperatur på följande	Följande isolering behöver användas för att klara BBR:s krav	Rekommenderad brandisolering
EI 60	1 andel 945°C	0	945°C	EI 60	EI 60
EI 60	1 andel 945°C	1	324°C	EI 15	EI 15
EI 60	1 andel 945°C	2	202°C	EI 15	EI 15
EI 60	1 andel 945°C	3	150°C	EI 15	EI 15
EI 60	1 andel 945°C	4	121°C	Oisolerad	EI 15
EI 60	2 andelar 945°C	8	121°C	Oisolerad	EI 15
EI 60	1 andel 945°C	5	103°C	Oisolerad	EI 15
EI 60	1 andel 945°C	9	68°C	Oisolerad	Oisolerad
EI 60	1 andel 945°C	23	40°C	Oisolerad	Oisolerad
EI 30	1 andel 842°C	0	842°C	EI 30	EI 30
EI 30	1 andel 842°C	1	299°C	EI 15	EI 15
EI 30	1 andel 842°C	2	188°C	EI 15	EI 15
EI 30	1 andel 842°C	3	140°C	Oisolerad	EI 15
EI 30	1 andel 842°C	4	113°C	Oisolerad	EI 15
EI 30	2 andelar 842°C	8	113°C	Oisolerad	EI 15
EI 30	1 andel 842°C	5	97°C	Oisolerad	EI 15
EI 30	1 andel 842°C	9	64°C	Oisolerad	Oisolerad
EI 30	1 andel 842°C	22	39°C	Oisolerad	Oisolerad

Figur 14 - Beräknade blandningstemperaturer og isolasjonsbehov [44]

Figur 14 angir brannmotstandskravet isolasjonen rundt ventilasjonskanalen må tilfredsstille dersom det er luftstrømning med innblanding av kald luft i ventilasjonskanaler ved brann. Dette åpner for at prosjekterende kan legge til grunn en lavere temperatur i de varme røykgassene som transporteres i kanalnettet dersom de blandes tilstrekkelig med kjøligere luft fra andre brannceller som ikke er utsatt for brann. Det gjøres et beregningseksempel ut fra denne metoden i kapittel 8.2.

For å hindre røykgassspredning mellom brannceller der ventilasjonsanlegget stanser ved brann, er det i håndboken *praktiska lösningar brandskydd ventilation* (Svensk Ventilation, 2014)» angitt at ventilasjonskanaler skal utstyres med «brandgasspjäld eller brand/brandgasspjäld med motsvarande brandmotstånd mellom brandcellar». [44]

Dersom ventilasjonsanlegget utformes for å gå ved brann kan en av to metoder benyttes. Ventilasjonssystemet eller brannrommet trykkavlastes gjennom å installere trykkavlastende installasjoner.

Røykgasser kan tillates i ventilasjonsanlegget, men systemet utformes slik at spredning av røyk mellom brannceller oppfyller *sikkerhetsnivå 1 eller 2, der sikkerhetsnivå 1* innebærer at spredning av røykgasser skal forhindres og *sikkerhetsnivå 2* innebærer at spredning av røykgasser skal «avsevärt försvåras», som best oversettes til begrenses på norsk.

Typiske bygninger som får krav til sikkerhetsnivå 1 er bygninger beregnet for overnatting som f.eks. bolig, hotell, pleieinstitusjoner, rømningsveier og forsamlingslokaler med høy personbelastning. sikkerhetsnivå 2 omfatter bygninger som ikke er beregnet for sovende personer: kontorer, butikker, daghem og skoler.

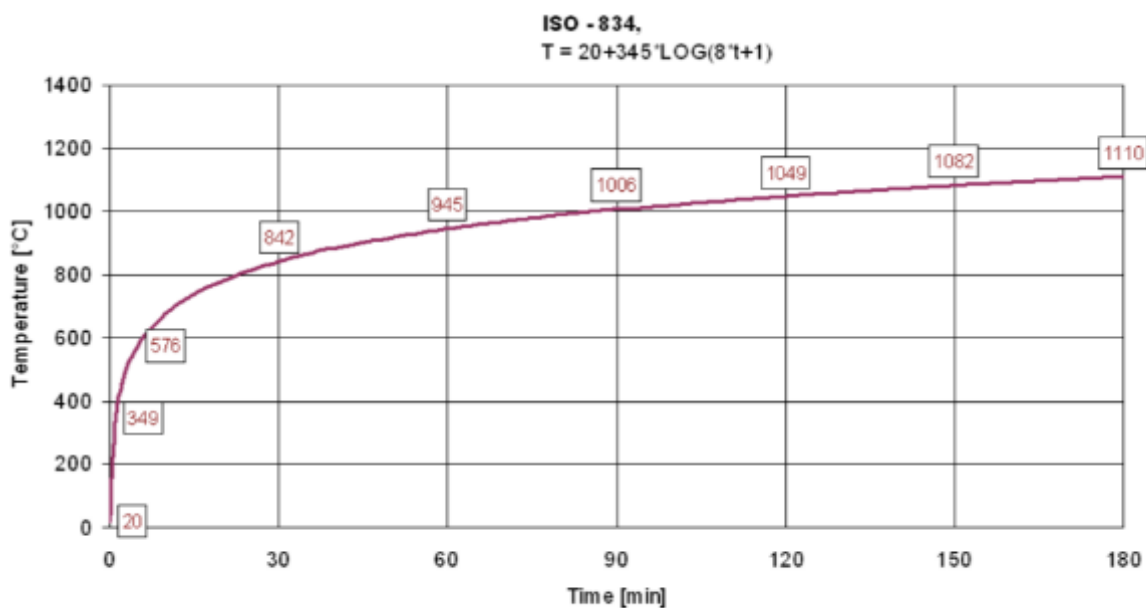
8 Teknisk Case studie – Beregninger

En branncelle skal være helt omsluttende og forhindre brann og røykspredning til andre brannceller i den tid som anses nødvendig. Tidskravet henger direkte sammen med byggets aktuelle brannklasse. For byggverk i brannklasse 1 er kravet minst 30 minutter fra brannstart. For byggverk i brannklasse 2 og 3 er kravet minst 60 minutter fra brannstart.

VTEK stiller krav til at tekniske installasjon som et ventilasjonsanlegg ikke skal svekke branncellebegrensende konstruksjoner. Dette betyr at dersom ventilasjonsanlegget skal være i drift under brann, gjelder samme krav til driftstid som tidskravet til branncellebegrensende konstruksjoner.

I dette prosjektet er kriteriet at brannspredning via ventilasjonsanlegget ikke skal forekomme innen de første 60 minuttene, da dette er det strengeste kravet for branncellebegrensende konstruksjoner som gjengis i TEK [11].

Temperaturer Standard brannkurve (ISO 834) [36] er lagt til grunn for utarbeidelse av preaksepterte ytelser. De fleste reelle branner vil som regel ikke følge den standardiserte Iso-kurven, men ved testing og utvikling av produkter i bruk i Norge er dette denne temperatur/tid kurven som legges til grunn. Disse temperaturene benyttes også i håndberegningene utført i denne rapporten.



Figur 15 - Standard brannkurve ISO 834 [36]

Figur 15 viser hvilke temperaturer branntekniske konstruksjoner og produkter skal testes oppimot. Branncellebegrensende konstruksjoner og tekniske installasjoner som skal opprettholde funksjon i 60 minutter, må dermed kunne motstå temperaturer på oppimot 945°C. Komponenter som kun skal ha 30 minutters brannmotstand må kunne motstå en noe lavere temperatur (842 °C).

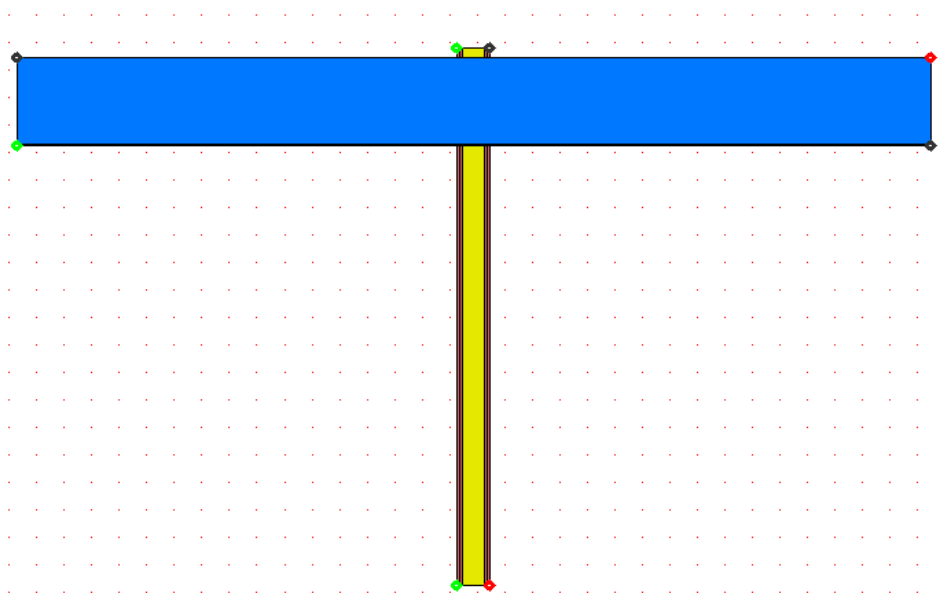
Temperaturer fra Figur 15 er lagt til grunn for videre beregning av varmeledning gjennom kanalogs og beregning av blandingstemperatur i kanal.

8.1 Beregning av varmeledning i kanalogs Flixo Energy pluss:

For beregning for varmeledning i kanalogs brukes simuleringsprogrammet Flixo Energy pluss [14]. Flixo er i hovedsak et anerkjent kuldebro-beregningsprogram utviklet i samsvar med EN ISO 10211:2007. Programmet beregner 2D – Stasjonære forhold. Dette betyr at simuleringen tar utgangspunkt i at varmfordelingen har stabilisert seg iht. gjeldende rand- og start kriterier.

Flixo er et verktøy som analyserer de termiske egenskapene til en modellert 2D konstruksjon. Programmet beregner og gir et estimat av temperatur og varmefluks. Programmet kan eksempelvis brukes til å finne overflate- og indre temperaturer i en konstruksjon, varmestrøm gjennom konstruksjonen, kuldebroverdi for den aktuelle detaljen simulert og U-verdi for det aktuelle snittet.

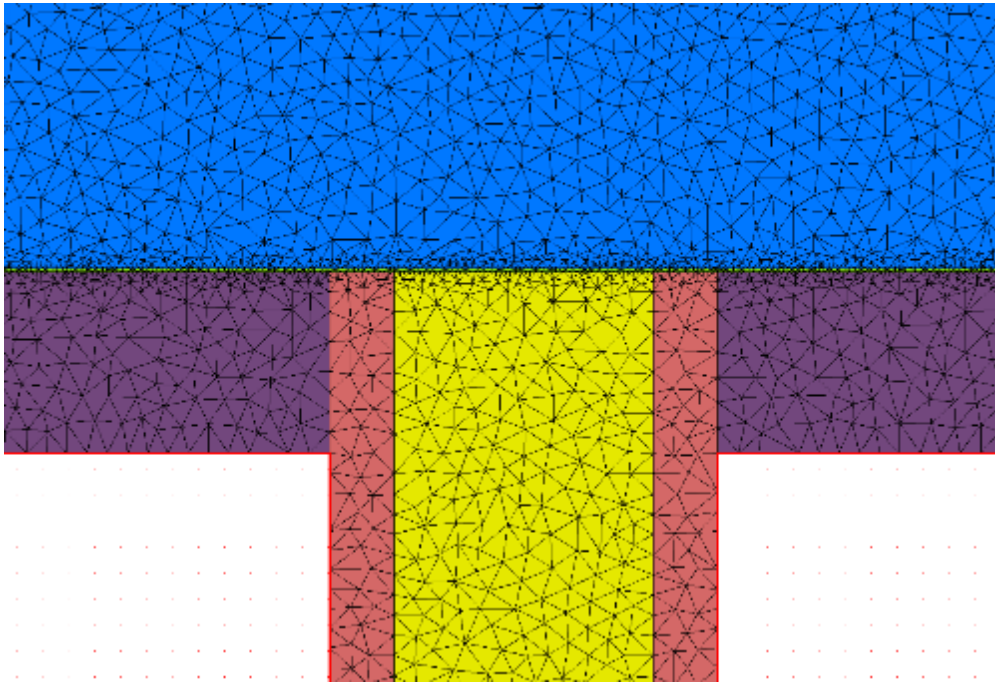
Beregningen utføres ved at et 2D snitt av ønsket problemstilling tegnes opp. Hver del i detaljen tildeles sitt eget materiale med tilhørende termiske egenskaper som lambdaverdi, tetthet og spesifikke varmekapasitet. Et beregningseksempel er anvist i Figur 16. Hver farge representerer sitt homogene materiale med sine tilhørende varmetekniske data.



Figur 16 - Grafisk fremstilling av modelloppbygning.

Ønsket simuleringsobjekt får så påsatt nødvendige grensebetingelser. Ved utførte beregninger i denne rapporten, er det grensebetingelser for temperatur som er påsatt. Grensebetingelsene er vist i Figur 16. Grensebetingelsene er anvist som grønne, røde og sorte prikker.

Programmet simulerer ved element metode, en numerisk løsningsmetode for partielle differensialligninger og integralligninger. Programmet deler modellen inn i mange, små grid som hver representerer en situasjon i beregningen. Denne inndelingen er vist i Figur 17.



Figur 17- Grafisk fremstilling av grid

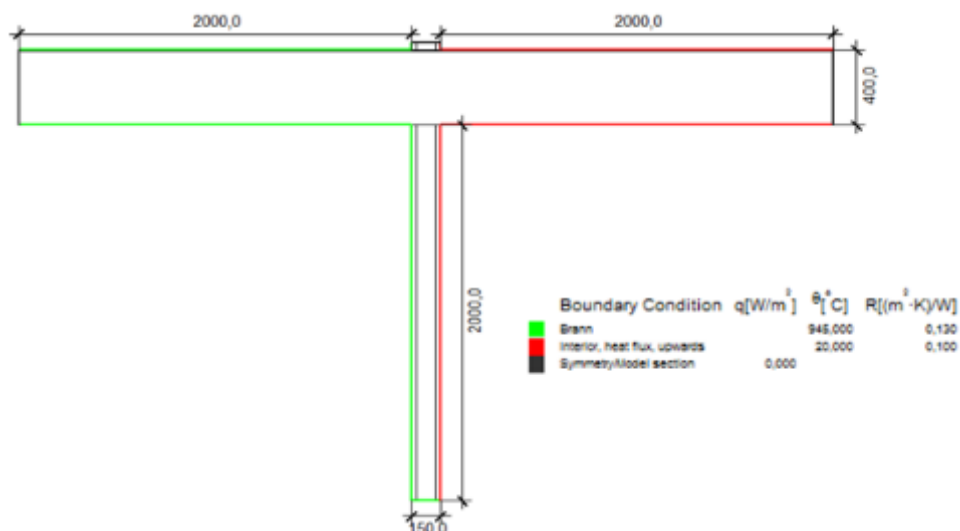
Programmet er i hovedsak utviklet for beregning av kuldebroer, men det fungerer også fint for beregning av varmegjennomgang ved høyere temperaturer. Ligningene som ligger til grunn er de samme.

8.1.1 Simuleringsmodeller

Det er valgt tre forskjellige scenarier som skal simuleres i Flixo:

1. Varmeledning i kanal – Uisolert.
2. Varmeledning i kanal – Isolert 1m ut på hver side, med 7mm isolasjon termisk konduktivitetskoeffisient 0,035.
3. Varmeledning i kanal – Isolert i sin helhet, med 7mm isolasjon termisk konduktivitetskoeffisient 0,035.

Det er tatt utgangspunkt i en ventilasjonskanal med lengde 4000 mm (2 m ut på hver side av veggskillet). Kanalen ellers har lik geometri som tidligere beregninger med bredde på 600 mm og høyde på 400 mm. Kanalen går gjennom en lettvegg bestående av bindingsverk og 100 mm mineralull med gips på hver side. Gipsveggen er skillevegg mellom to rom med ulike temperaturer. Det ene rommet har temperaturer tilsvarende en brann i et kanalnett og den andre har temperaturer tilsvarende normal romtemperatur. Modellens utgangsgeometri (scenario 1) er vist i Figur 18.



Figur 18 - Grafisk fremstilling av modelloppbygning.

Som Figur 18 angir er grensesnittene temperatur på 945 °C (grønn linje) og normal romtemperatur på 20 °C (rød linje), samt en symmetrilinje (sort linje). I videre beregninger i dette kapitlet vil grønn linje betegnes som «brannside» mens rød linje vil betegnes som «romtemperert side»

8.1.2 Forutsetninger og begrensninger:

Programmet kan ikke brukes til å utføre dynamiske beregninger eller 3D beregninger. Programmet beregner dermed kun varmegjennomgang i kanalgodset og ved stillestående luft. Det vil si når varmfordelingen er ved helt stabile forhold. Den tar dermed ikke hensyn til temperatur forandringer over tid. 945 °C er valgt da dette er isokurvens høyeste temperatur i tidsintervallet fra 0-60 minutter. Dette blir dermed en svært forenklet modell i forhold til virkelig scenario da det ikke tas hensyn til luftens bevegelse eller temperaturøkning med hensyn til tid.

Modellen tar kun hensyn til stasjonær varmfordeling i luften.

Ved oppvarming av luft vil de termiske oppdriftskreftene igangsette naturlig bevegelse. Dette vill bidra til raskere og økt varmfordeling i kanalen.

Typisk kanal tykkelse variere fra 0,6-1,3 mm.

Fouriers lov (varmeledning)

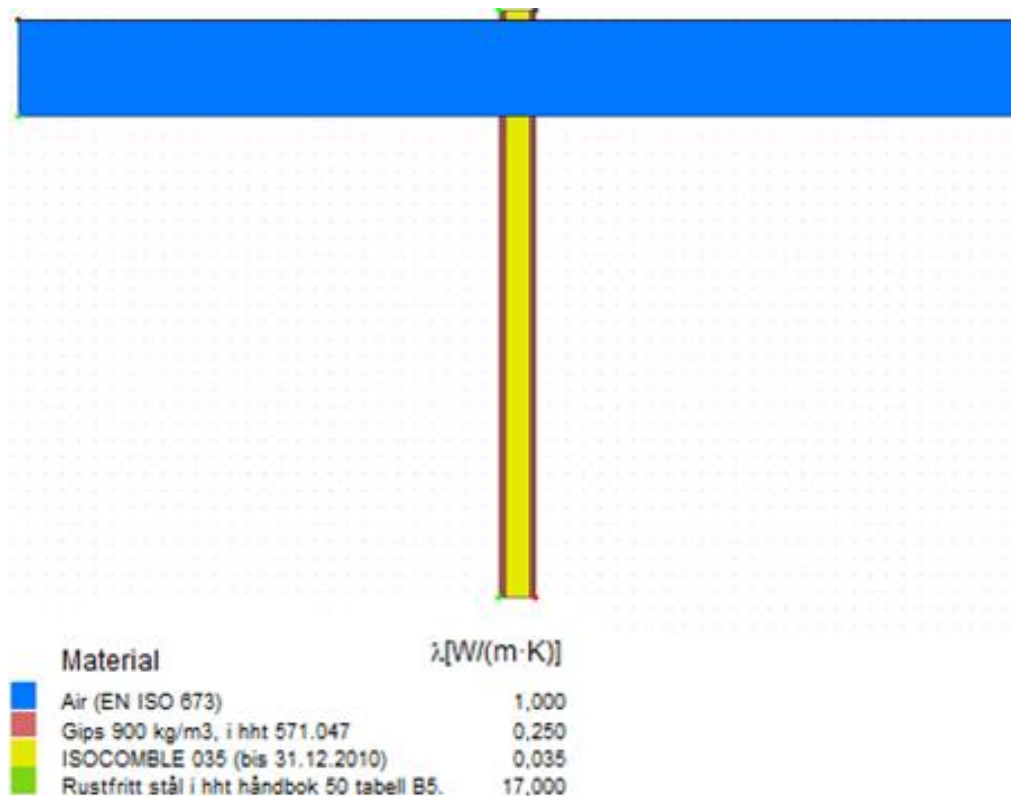
$$\dot{Q} = -kA * \frac{dT}{dx} \text{ (W)}$$

Der:

- \dot{Q} = Watt
- k = termisk konduktivitetskoeffisient (W/mK), Stål for ventilasjonskanal = 50 W/mK
- A = Areal
- dT = Temperaturgradient (Temperatur på varmside minus temperatur på kald side)
- dx = Materialets bredde

8.1.2.1 Scenario 1: Uten isolasjon:

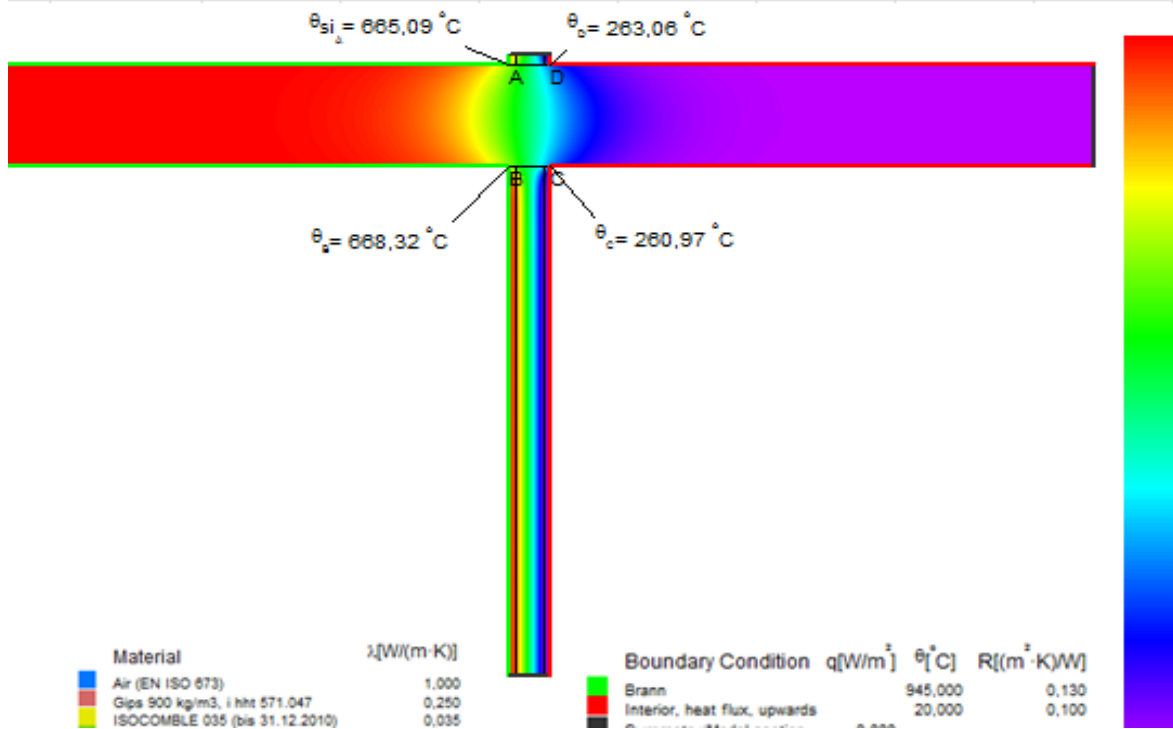
I scenario 1 er det tatt utgangspunkt i en uisolert ventilasjonskanal. Kanalens materialoppbygning er anvist i Figur 19.



Figur 19 - Materialoppbygning i beregningsobjektet scenario 1.

Resultatene fra simuleringen er anvist i Figur 20. Det er valgt å fokusere på fire overflatetemperaturer.

- θ_{SiA} – overflatetemperaturen i overgangen kanal-vegg på overside av kanalen på brannside. θ_B – overflatetemperaturen i overgangen kanal-vegg på undersiden av kanalen på brannside.
- θ_C – overflatetemperaturen i overgangen kanal-vegg på undersiden av kanalen på romtemperert side.
- θ_D – overflatetemperaturen i overgangen kanal-vegg på oversiden av kanalen på romtemperert side.

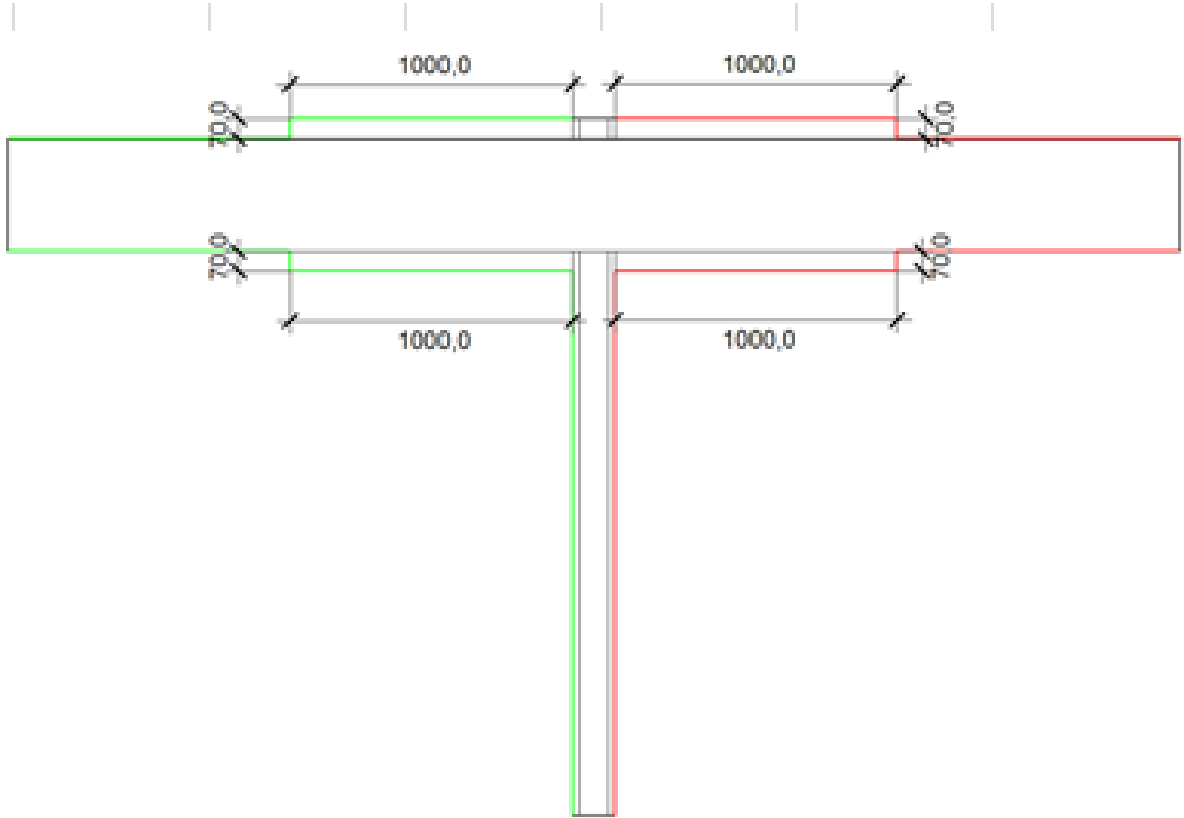


Figur 20 – Resultater. Simulering scenario 1

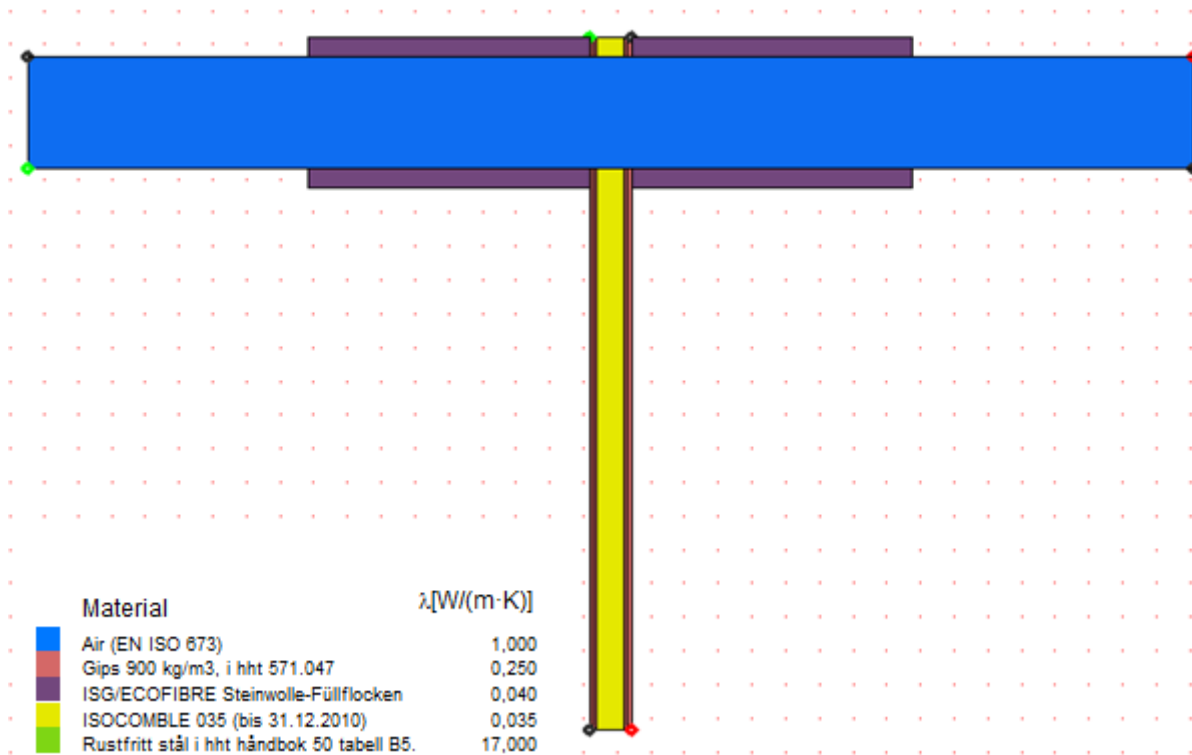
Som beregningen viser i Figur 20, vil temperaturen i kanalen påvirke overflatetemperaturen i naborommet. Temperaturvandringen er anvist med fargeskala.

8.1.2.2 Scenario 2: Isolert kanal 1meter ut fra skillevegg:

I scenario 2 er det tatt utgangspunkt i at ventilasjonskanalen er isolert med 70 mm steinull 1 m ut på hver side so, vist i Figur 21



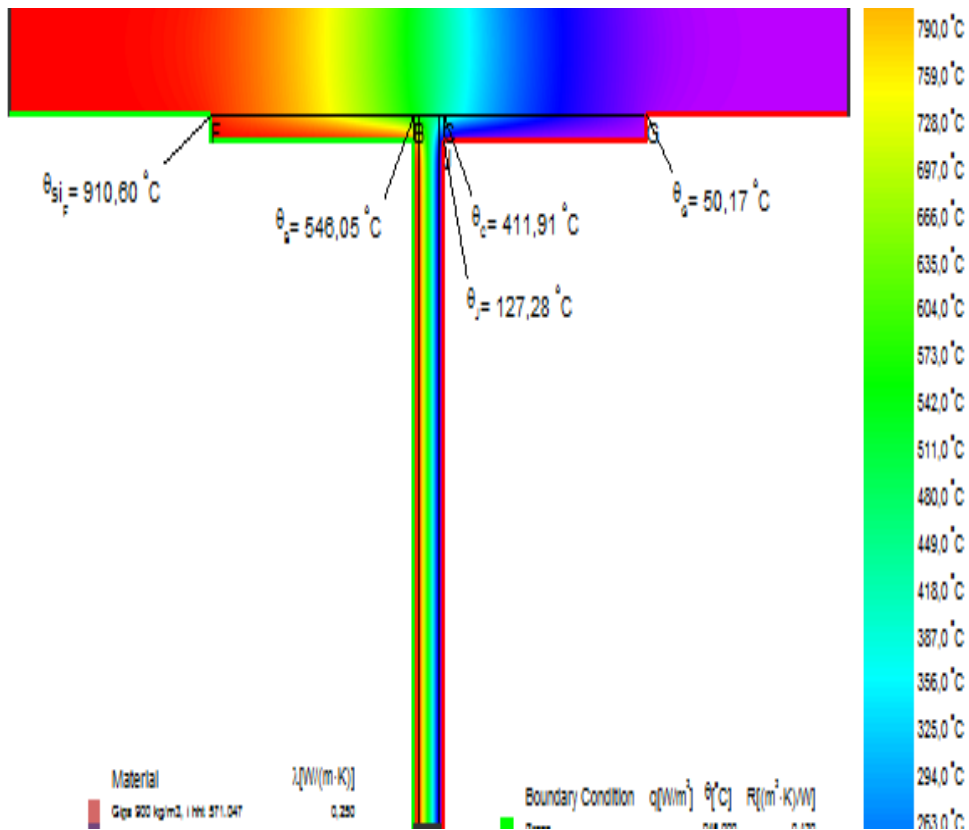
Figur 21 - Geometri av beregningsobjektet scenario 2.



Figur 22 – Materialoppbygning i beregningsobjektet scenario 2.

Resultatene fra simuleringen er anvist i Figur 23Figur 34siden av isolasjonen. I tillegg er det lagt til 4 ekstra overflate-temperaturer.

- θ_E – overflatetemperaturen i overgangen isolasjon-kanal på oversiden av kanalen på brannside.
- θ_F – overflatetemperaturen i overgangen isolasjon-kanal på undersiden av kanalen på brannside.
- θ_G – overflatetemperaturen i overgangen isolasjon-kanal på undersiden av kanalen på romtemperert side.
- θ_H – overflatetemperaturen i overgangen isolasjon-kanal på oversiden av kanalen på romtemperert side.
- θ_I – overflatetemperaturen i overgangen isolasjon-kanal-vegg på oversiden av kanalen på romtemperert side.
- θ_J – overflatetemperaturen i overgangen isolasjon-kanal-vegg på undersiden av kanalen på romtemperert side.



Figur 23 - Resultater. Simulering scenario 2

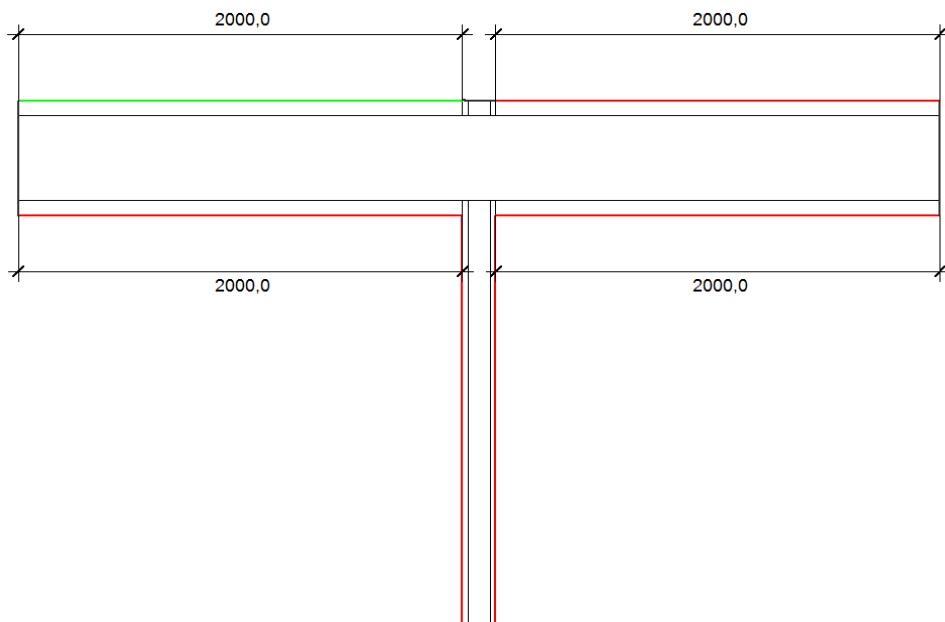
Som beregningen i Figur 23Figur 34det å isolere kanalen med 70 mm i en bredde på 1 meter påvirke overflatetemperaturene langs kanalen, sammenlignet med scenario 1...

- θ_{si_A} har blitt redusert fra 665,09 °C til 539,83 °C
- θ_B har blitt redusert fra 668,32 °C til 546,05 °C
- θ_C har økt fra 260,97 °C til 411,91 °C
- θ_D har økt fra 263,06 °C til 418,02 °C

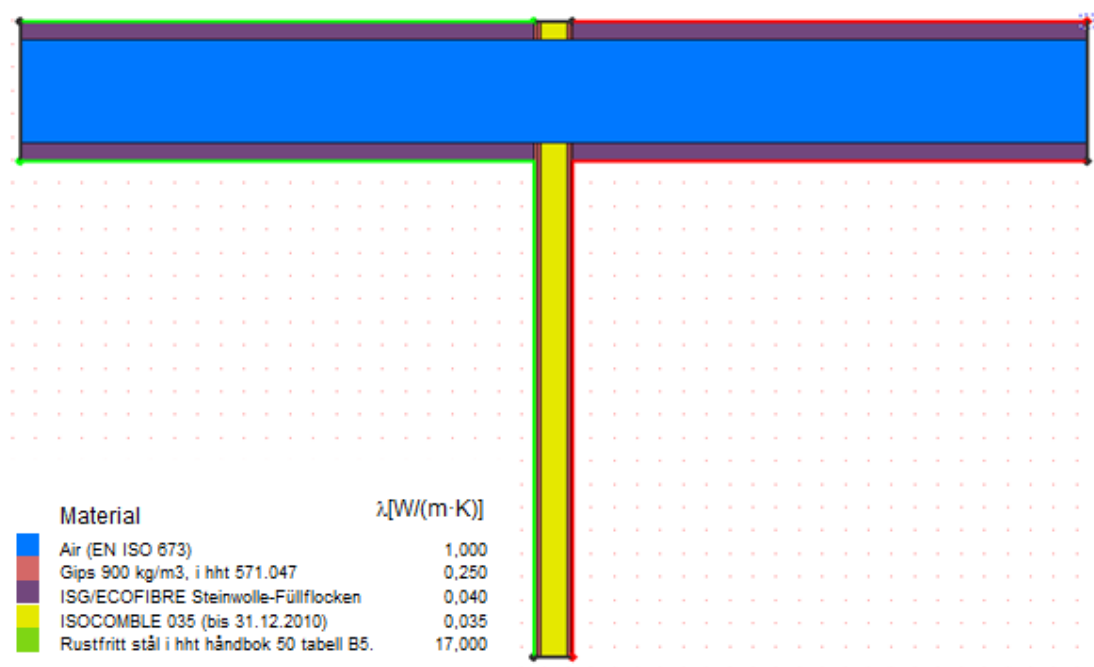
Overflatetemperaturene på innsiden av isolasjonen på brannside har blitt redusert, men tilsvarende temperaturer på romtemperert side har økt.

8.1.2.3 Scenario 3 Kanal isolert i sin helhet

I scenario 3 er det tatt utgangspunkt i at ventilasjonskanalen er fullstendig isolert med 70 mm steinull på hver side som vist i Figur 24. Kanalens materialoppbygning er anvist i Figur 25.

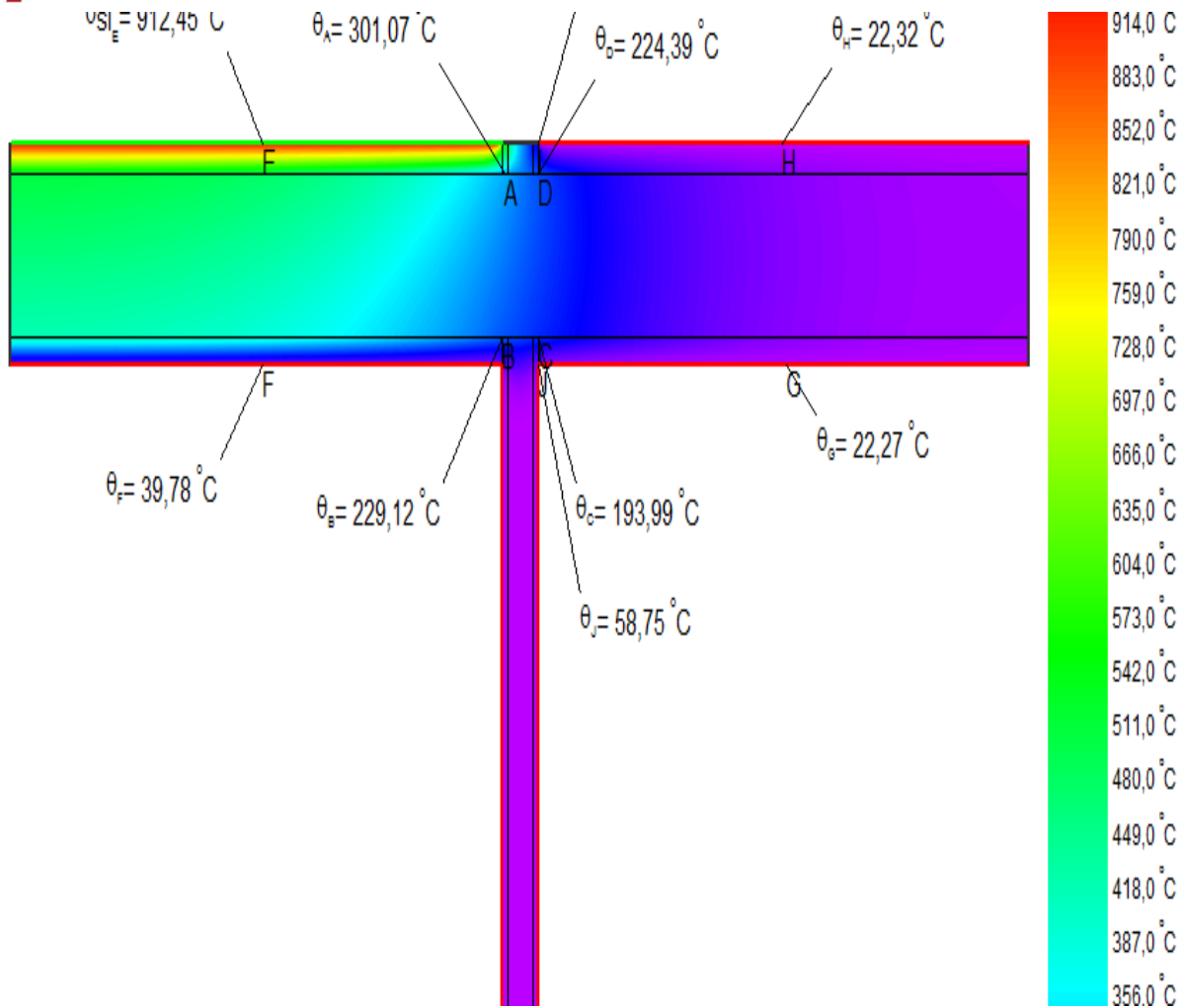


Figur 24 – Geometri av beregningsobjektet scenario 3.



Figur 25 – Materialoppbygning i beregningsobjektet scenario 3.

Resultatene fra simuleringen er anvist i Figur 26.



Figur 26 - Resultater. Simulering scenario 3

Når resultatet i Figur 26 sammenlignes resultatene fra Figur 20 og Figur 23. Vil det å fullt isolere kanalen påvirke overflatetemperaturene langs kanalen.

Det er valgt å fokusere på de samme overflatetemperaturene som i scenario 1 og 2, der:

- θ_{siA} har blitt redusert fra 539,83 °C til 301,07 °C
- θ_B har blitt redusert fra 546,05 °C til 229,12 °C
- θ_C har sunket fra 411,91 °C til 193,99 °C
- θ_D har sunket fra 418,02 °C til 224,39 °C
- θ_E har økt litt fra 910,6 °C til 912,45 °C
- θ_F har sunket litt fra 910,6 °C til 39,78 °C
- θ_G har økt litt fra 22,27 °C til 22,27 °C
- θ_H har sunket litt fra 50,13 °C til 22,32 °C
- θ_I har sunket litt fra 238,93 °C til 139,25 °C
- θ_J har sunket litt fra 127,28 °C til 58,75 °C

8.2 Beregning av røykgasstemperaturer i kanalnett. (Blandingstemperatur)

Røykvifte og kanal må dimensjoneres for å kunne bli utsatt for høy temperatur i den tiden som forventes. Eksempelvis 60 minutter etter brannstart. Normalt skal produsenten dokumentere at anleggets ytelse tilfredsstillende gjeldende funksjonskrav.

Dersom anlegget er i drift under et brannforløp vil luft fra omkringliggende rom blandes med varme røykgasser fra brannrommet.

I denne oppgaven presenteres to ulike beregningsmetoder for blandingstemperatur i avtrekkskanal. Disse kalles norsk og svensk metode. Begge metodene anses å være forenklete beregningsmetoder.

Det vil si at beregning av blandingstemperatur gjøres ved å sammenligne luftmengder fra omkringliggende rom med normal romtemperatur, opp mot luftmengder fra brannrommet med høyere temperatur. Ved forenklet metode tas det ikke hensyn til verken varmetap i kanal, trykkøkning i brannrommet, endring av røykgassenes tetthet. Denne metoden vil dermed ikke kunne gi hundre prosent realistiske resultater, men en tilstrekkelig god pekepinn på hvilke temperaturer som kan forventes i det aktuelle scenarioet.

Ved forenklet beregning vil branncellen med størst volumstrøm angis som brannrommet, på bakgrunn av at dette vil gi høyest blandingstemperatur i kanal. Dersom anlegget har variabel volumstrøm brukes normalt den maksimale volumstrømmen.

For beregning av blandingstemperatur i kanal er følgende parametere lagt til grunn:

- Brannrommets størrelse - 100 m²
- Kanaldimensjon - 400x600 mm
- Temperatur etter ISO 834
- Luftstrømning/luftutveksling - 250 m³/t per rom
- Tidsrommet - 0-60 minutter

8.2.1 Blandingstemperatur - Norsk Metode:

For beregning av blandingstemperatur [5] legges det til grunn maksimal volumstrøm fra brannrommet. For andre rom i kanalnettet, benyttes normalt en samtidighetsfaktor på 0,2 for volumstrømforskjeller mellom minimum og maksimal volumstrøm, uten medtagelse av øvrige samtidighetsfaktorer. Da dette eksempelet kun består av 2 rom med konstant volumstrøm i begge rom, kan samtidighetsfaktoren neglisjeres.

I denne oppgaven beregnes samme brannforløp med 2 separate brannceller på 100 m². Med luftmengder på 250 m³/time per rom.

Temperatur i brannrommet hentes ifra ISO-834 (Figur 15) som angir at etter 60 minutter er temperaturen i brannrommet 945 °C. Temperatur i naborommet er ved normaltilstand 20 °C. Dette gir:

- Brannrommet: 250 m³/timer med røyk på 945 °C (0,0694 l/s)
- Øvrige: 250 m³/timer med luft 20 °C

$$\text{Samlet temperatur: } \frac{250 \cdot 945 + 250 \cdot 20}{250 + 250} = 482,5 \text{ °C}$$

Den forenklete beregningen viser at temperatur i kanal (etter omblending) vil oppnå omtrent 482,5 °C.

8.2.2 Blandingstemperatur - Svensk metode:

Den svenske metoden for beregning av blandingstemperatur er hentet fra [44]. Ved normal tilstand (t= 20 °C) kan massestrømmen gjennom kanalnettet beregnes på følgende måte.

$$m = q \times \rho$$

Der:

- q=volumstrøm: 69,44l/s = 0,069m³/s
- ρ =densistet: 1,2kg/m³
- m=massestrøm:

$$\frac{0,069 \text{ m}^3}{\text{s}} \times \frac{1,2 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 0,0828 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Ved overtenning anses det at brannrommet er trykkavlastet og massestrømmen kan bestemmes ut fra følgende:

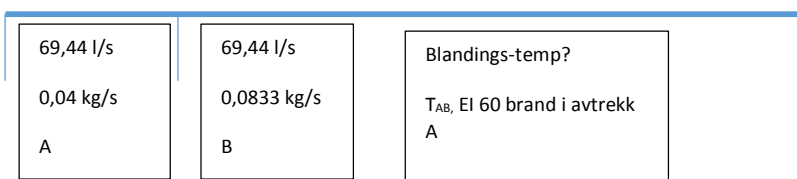
$$\frac{m_n}{m_b} = \left(\frac{T_{nK}}{T_{bK}} \right)^{0,5}$$

$$m_b = m_n \times \left(\frac{T_{nK}}{T_{bK}} \right)^{0,5} = \left(0,0828 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times \left(\frac{293\text{K}}{1218\text{K}} \right)^{0,5} = 0,04 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- b = branntilfelle
- n = normaltemperatur (20°C)
- Tetthet luft $20^{\circ}\text{C} = 1,2 \text{ kg/m}^3$.

Beregning av blandingstemperatur:

To rom med avtrekksvolum $69,44 \text{ l/s}$ i hvert rom.



$$M_b = 0,041 \text{ kg/s}$$

$$T_{AB} = (0,041 \text{ kg/s} * 1218 \text{ K} + 0,0833 \text{ kg/s} * 293 \text{ K}) / 0,12 \text{ s} = 601 \text{ K} (328^{\circ}\text{C}).$$

8.2.3 Beregning av utvendig overflate temperatur til kanal

Da den norske metoden gir høyest temperatur, benyttes dette resultatet videre for vurdering av brannspredning.

Dersom det tas utgangspunkt i Newtons lov for stasjonær varmeledning (konveksjon), kan kanalens utvendige overflate temperatur beregnes. Newtons lov tar utgangspunkt i at forholdene i kanalen er konstant. Det vil si at det ikke tas hensyn til temperaturens forandring over tid. For risikovurdering av utvendig brannspredning fra kanal benyttes dermed maks oppnådde temperatur ($482,5^{\circ}\text{C}$).

Newtons lov (varmeledning via konveksjon) [37]:

$$\dot{Q} = h * A * dT \text{ (W)}$$

Der:

- \dot{Q} = Watt
- h = konveksjonskoeffisienten ($\text{W/m}^2\text{K}$). Merk at h ikke er en fysisk egenskap for fluidet, men en eksperimentelt bestemt parameter som er avhengig av alle variablene som påvirker konveksjonen.
- A = Areal
- dT = Temperaturgradient (Temperatur på varmside minus temperatur på kald side)

I dette regnestykker har vi 2 ukjente parametre. Vi vet ikke varmekraften (Q) og vi vet ikke temperatur på motsatt side av kanal (T_2). Varmekraften kan også beregnes via termisk motstand.

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{total}}$$

Der R totalt er ventilasjonskanalens termiske motstand [37]:

$$R_{total} = R_{i_{konveksjon\ 1}} + R_{1_{ventilasjonsskala}} + R_{konveksjon\ 2}$$

$$R_{total} = \frac{1}{h_1 * A} + \frac{L}{k * A} + \frac{1}{h_2 * A}$$

Konveksjonskoeffisienten vil variere med tiden og hastigheten på luftstrømmen i både kanalen og rommet. I utførte beregning er følgende lagt til grunn:

- h_1 settes til 120 (W/m²K)
- h_2 settes til 50 (W/m²K)

I valgt brannscenario har ventilasjonskanalen en dimensjon på 600x400 m. For beregning av temperatur på motsatt side. Legges det til grunn hele kanal strekket (avtrekk), gir dette følgende overflate areal:

$$A_{ventilasjon} = 10 * 0,6 * 2 + 10 * 0,4 * 2 = 20 \text{ m}^2$$

$$R_i = \frac{1}{120 * 20} = 4,17 * 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_2 = \frac{0,0013}{50 * 20} = 1,3 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_u = \frac{1}{50 * 20} = 0,001 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{total} = 4,17 * 10^{-4} + 1,3 * 10^{-6} + 0,001 = 0,0014 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Temperatur i kanal = 482,5 °C

Temperatur i naborommet = 20 °C

$$\dot{Q} = \frac{482,5 - 20}{0,0014} = 330357,14 \text{ W}$$

Dette gir en total varmefluks på 330,4 kW

Deretter kan temperatur i kanal overflater beregnes [37]:

$$T_{overflate\ varmside} = T_{kanal} - \dot{Q} * R_1 = 482,5 - 330357,14 * 4,16 * 10^{-4} = 345,07$$

$$T_{overflate\ Kald\ side} = T_{overflate\ varmside} - \dot{Q} * R_2 = 345,07 - 330357,14 * 1,3 * 10^{-6} = 344,64$$

Overflatetemperaturen til ventilasjonskanalen er beregnet til 344,64 °C.

8.2.4 Beregning av utvendig stråling fra kanalens overflate

Nå som vi vet temperaturen på kanalens utvendige overflate, kan netto strålingsutveksling mellom kanalens overflate og omgivelsene regnes ut. Dette kan utføres ved benyttelse av følgende formel (Stefan Boltzmanns konstant) [37]:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon * \sigma * A * (T_s^4 - T_o^4) \text{ (W)}$$

Der:

- \dot{Q}_{rad} = Strålingsfluks i Watt
- ε = Emisjonskoeffisienten (resulterende) for flatene. ε er et mål på hvor godt flatene tilnærmer egenskapene til en "svart" flate. Settes konservativt til 1 (sort flate).
- σ = Stefan Boltzmanns konstant ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$)
- A = Overflatens areal (
- T_s = Kanalens overflate temperatur i Kelvin
- T_o = Omgivelsens temperatur i Kelvin

Dette gir følgende:

$$\dot{Q}_{rad} = 1 * 5.67 \times 10^{-8} * 20 * (607.64^4 - 293^4) \text{ (W)}$$

$$\dot{Q}_{rad} = 146238,4 \text{ W} \rightarrow 146,2 \text{ kW}$$

Total stråling fra kanalen er beregnet til 146,2 KW. Dette er samlet varmekraft fra kanal til rommet i sin helhet. Dersom det skal beregnes strålingen til et gitt punkt må det også tas hensyn til konfigurasjonsfaktor. Konfigurasjonsfaktoren kan enkelt forklares som den andel varmestråling som treffer et bestemt punkt fra den totale flaten. Det må den totale strålingen må også begrenses til kun og omfatte kanalens aktuelle overflate [17].

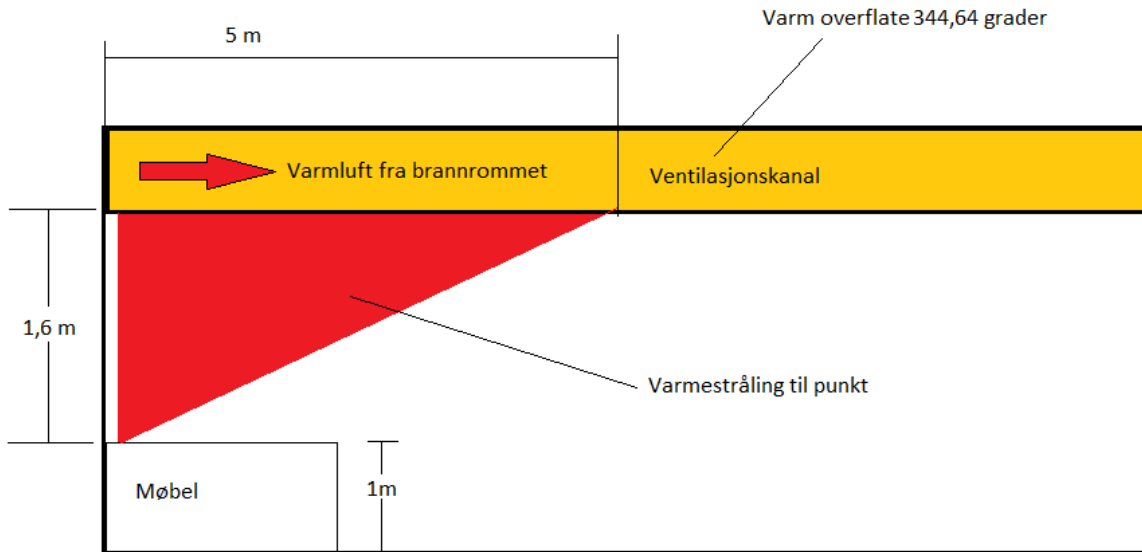
For å undersøke om strålingsintensitet er av slik størrelse at den kan medføre brannsmitte, er det beregnet stråling i 2 forskjellige scenarier:

1. Stråling fra kanal til et punkt på underliggende møblement.
2. Stråling fra kanal til omkringliggende kledning. 10, 15 og 25 cm unna.

8.2.4.1 Case 1. Stråling til møblement rett under kanal:

Følgende faktorer ligger til grunn for beregningen:

- Strålende flateareal: 3 m^2 (5 m langs kanalens underside).
- Avstand til mottagende flate. 1,6 m (vertikal, vinkelrett på).
- Total varmekraft: 43,87 kW.



Figur 27 - Beregning av stråling case 1

For å regne ut hvor mye av denne strålingen som treffer møbelet (Figur 27), må det tas hensyn til konfigurasjonsfaktoren (den geometriske synsfaktoren). For beregning av konfigurasjonsfaktoren benyttes metoden for et rektangel parallelt med et lite element se Figur 28). Det vil bli beregnet stråling til et lite punkt på møblelementet.

Et rektangel parallelt med et lite element. Elementet er plassert ved det ene hjørnet av rektanlet.

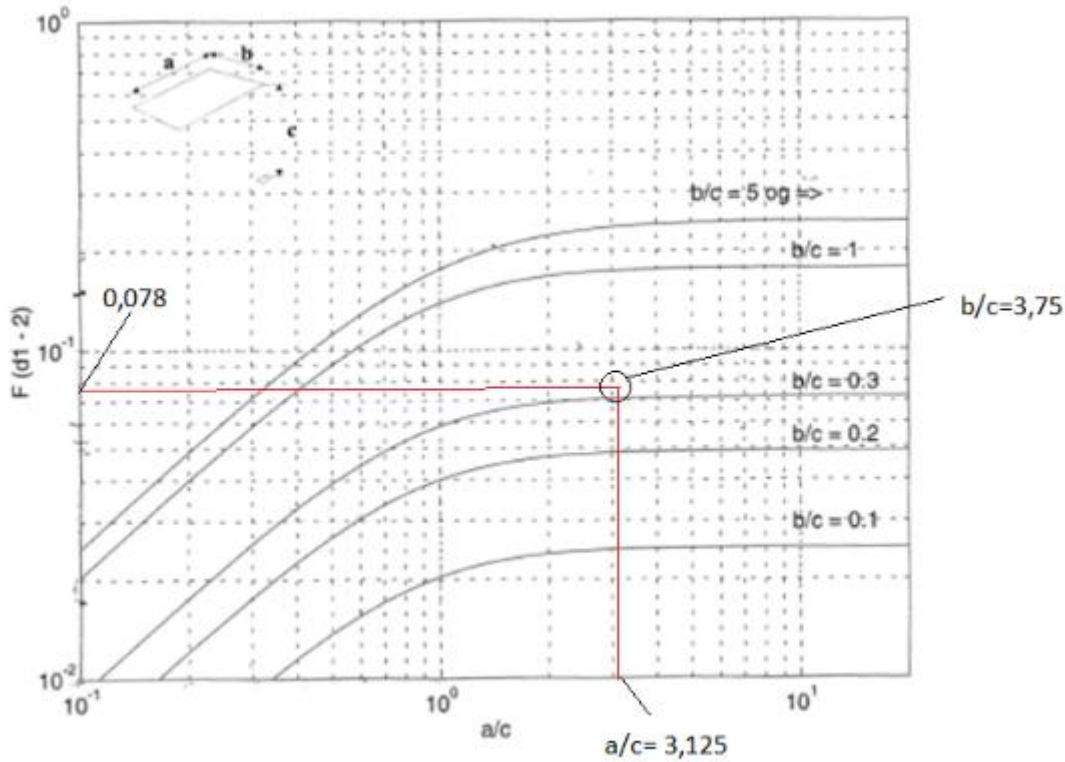


$$\bar{X} = a/c \quad \bar{Y} = b/c$$

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

Figur 28 - Utklipp fra [17, Figur 8.14] Beregning av geometriske synsfaktorer

Gjeldende scenario er a = 5 m, b = 0,6m og c = 1,6m. Dette gir a/c=3,125 og b/c= 0,375. Videre kan vi beregne den geometriske synsfaktor iht. Figur 29.



Figur 29 - Utklipp fra [17, Figur 8.16] Geometrisk synsfaktor: Rektangel over et lite element

Følgende dimensjoner gir en geometrisk synsfaktor på 0,078 m.

For samlet stråling til møblelement multipliserer den totale varmestrålingen med den geometriske synsfaktoren.

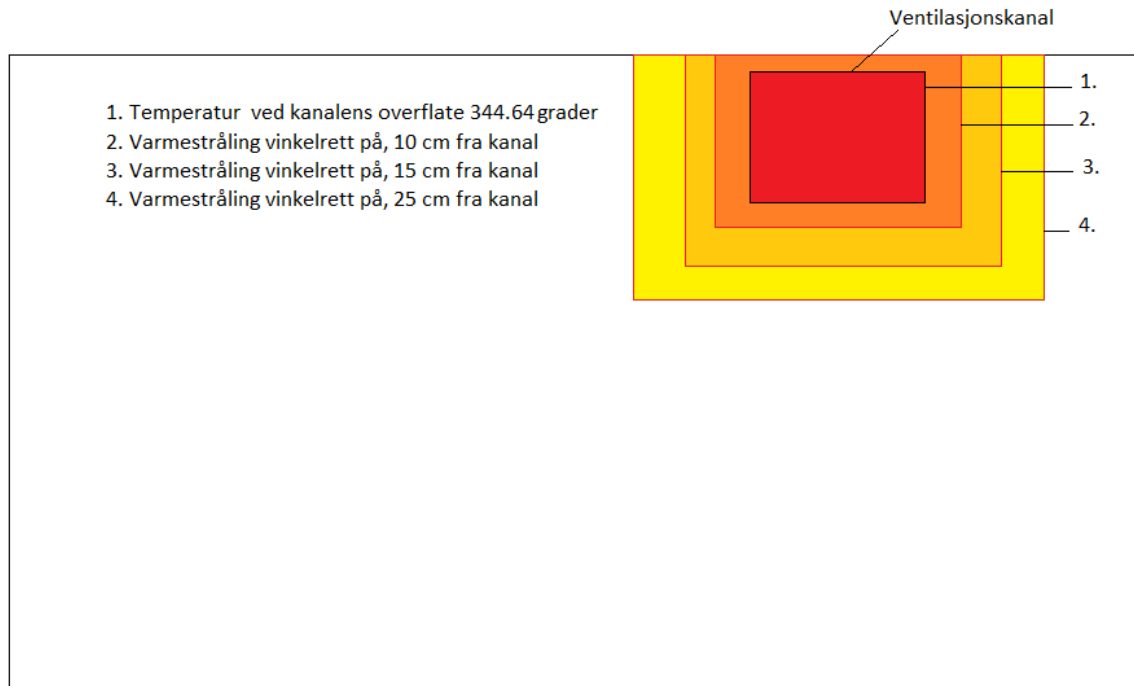
$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{rad} * F(d1 - 2)$$

$$\dot{Q}_{rad} = 1 * 5.67 \times 10^{-8} * 3 * (617.64^4 - 293^4) = 23430,5 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{tot} = \frac{(23430,5 * 0,078)}{1000} = 1,82 \text{ kW}$$

8.2.4.2 Case 2. Stråling til kledning rundt kanal.

I dette kapittelet beregnes varmestråling fra 1m kanal lengde til tilstøtende kledning på vegg.



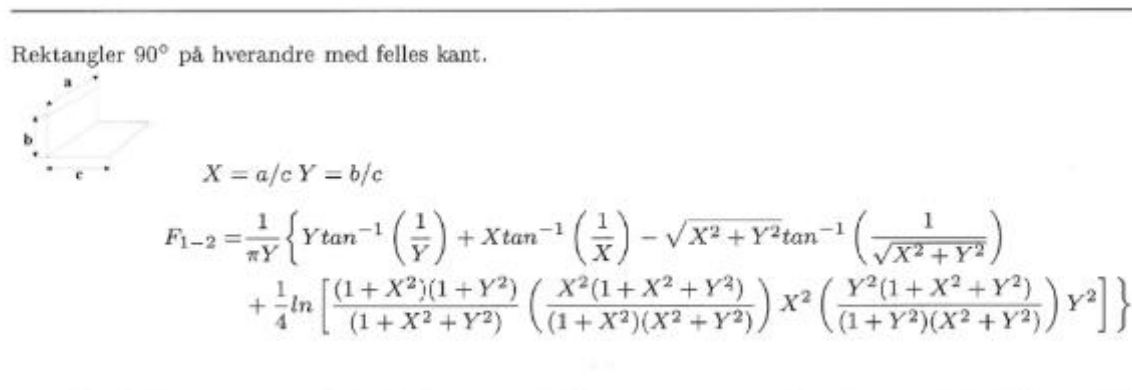
Figur 30 - Beregning av stråling case 2.

For beregning av stråling tas det utgangspunkt i 1 meters kanallengde ut fra vegg. Dette gir et totalt strålingsflateareal på 0,6m². Dette gir følgende avgivelse av energi fra flaten.

$$\dot{Q}_{rad} = 1 * 5.67 * 10^{-8} * 0,6 * (607.64^4 - 293^4) (W)$$

$$\dot{Q}_{rad} = 4387,15 W \rightarrow 4,39 kW$$

For å regne ut hvor mye av denne strålingen som treffer vegg, må det tas hensyn til konfigurasjonsfaktoren (den geometriske synsfaktoren). For utregning av den geometriske synsfaktoren er det benyttet formelen i Figur 31 fra [17].



Figur 31 - Utklipp fra [17, Figur 8.14] Beregning av geometriske synsfaktorer

Det tas utgangspunkt i at det er den første meteren fra veggskille som gir sterkeste stråling mot vegg. Kanalen er 0,6 m bred. Det skal beregnes stråling i flater som er fra som er 0 til 10,15 og 25 cm fra kanalen.

Tabell 1 viser de aktuelle lengde faktorer for beregning av konfigurasjonsfaktorer.

Scenario	A	B	c	x	Y
1	0,6	1	0,1	6	10
2	0,6	1	0,15	4	6,67
3	0,6	1	0,25	2,4	4

Tabell 1 - Lengdefaktorer for beregning av konfigurasjonsfaktor

Med hensyn på dette kan den geometriske synsfaktoren beregnes for de skjellige scenarioene.

Scenario 1:

$$F_{1-2} = \frac{1}{10\pi} \left\{ 10 \tan^{-1} \left(\frac{1}{10} \right) + 6 \tan^{-1} \left(\frac{1}{6} \right) - \sqrt{6^2 + 10^2} * \tan^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{6^2 + 10^2}} \right) + \frac{1}{4} \ln \left[\frac{(1+6^2)(1+10^2)}{(1+6^2+10^2)} * \left(\frac{6^2(1+6^2+10^2)}{(1+6^2)(6^2+10^2)} \right) * 6^2 \left(\frac{10^2(1+6^2+10^2)}{(1+6^2)(6^2+10^2)} \right) * 10^2 \right] \right\}$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{10\pi} \left\{ 0,990 + \frac{1}{4} \ln[95994,8] \right\} = \frac{1}{10\pi} (0,99 + 2,868) = 0,1228 = 12,28\%$$

Scenario 2:

Samme fremgangsmetode er benyttet for Case 2 der C= 0,15. Dette gir

$$F_{1-2} = \frac{1}{6,67\pi} \left\{ 6,67 \tan^{-1} \left(\frac{1}{6,67} \right) + 4 \tan^{-1} \left(\frac{1}{4} \right) - \sqrt{4^2 + 6,67^2} * \tan^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{4^2 + 6,67^2}} \right) + \frac{1}{4} \ln \left[\frac{(1+4^2)(1+6,67^2)}{(1+4^2+6,67^2)} * \left(\frac{4^2(1+4^2+6,67^2)}{(1+4^2)(4^2+6,67^2)} \right) * 4^2 \left(\frac{6,67^2(1+4^2+6,67^2)}{(1+4^2)(4^2+6,67^2)} \right) * 6,67^2 \right] \right\}$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{6,67\pi} \left\{ 0,978 + \frac{1}{4} \ln[8504,42] \right\} = \frac{1}{6,67\pi} (0,978 + 2,262) = 0,1547 = 15,47\%$$

Scenario 3:

Samme fremgangsmetode er benyttet for Case 3 der C= 0,25. Dette gir

$$F_{1-2} = \frac{1}{4\pi} \left\{ 4 \tan^{-1} \left(\frac{1}{4} \right) + 2,4 \tan^{-1} \left(\frac{1}{2,4} \right) - \sqrt{2,4^2 + 4^2} * \tan^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{2,4^2 + 4^2}} \right) + \frac{1}{4} \ln \left[\frac{(1+2,4^2)(1+4^2)}{(1+2,4^2+4^2)} * \left(\frac{2,4^2(1+2,4^2+4^2)}{(1+2,4^2)(2,4^2+4^2)} \right) * 2,4^2 \left(\frac{4^2(1+2,4^2+4^2)}{(1+2,4^2)(2,4^2+4^2)} \right) * 4^2 \right] \right\}$$

$$F_{1-2} = \frac{1}{4\pi} \left\{ 0,942 + \frac{1}{4} \ln[408,26] \right\} = \frac{1}{4\pi} (0,942 + 1,503) = 0,1957 = 19,57\%$$

På bakgrunn av de forskjellige geometriske synsfaktorene kan totalt mottatte stråling beregnes.

Scenario 1:

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{rad} * F(d1 - 2) = 4,39 * 0,1228 = 0,539 \text{ kW}$$

Scenario 2:

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{rad} * F(d1 - 2) = 4,39 * 0,1547 = 0,679 \text{ kW}$$

Scenario 3:

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{rad} * F(d1 - 2) = 4,39 * 0,1957 = 0,859 \text{ kW}$$

9 Teknisk Case studie – Brannteknisk simulering

9.1 Beregningsmodell

Det er utført simuleringer for å undersøke mulighet for brannspredning via ventilasjonskanal. Som verktøy i den kvantitative analysen er det benyttet simuleringsprogrammet Pyrosim fra Thunderhead Engineering. Pyrosim er kun utviklet for å gi Fire dynamics Simulator (FDS) et brukergrensesnitt og programmet er bygget på det kjente simuleringsprogrammet FDS, det er samme kodingen som er lagt til grunn. FDS er utviklet av National Institute of Standards and Technology (NIST) i USA, i samarbeid med VTT Technical Research Center i Finland. Den første versjonen av FDS ble offentliggjort i februar 2000.

Enkelt forklart så er Pyrosim et dataprogram som løser likninger som beskriver utviklingen av brannen. Det leser inndataparametere fra en tekstfil, beregner en numerisk løsning til de styrende ligningene og skriver brukerdefinerte utdata til filer.

Smokeview er et visualiseringsprogram som kan brukes til å vise resultatet av simuleringen ved å produsere animasjoner av angitte data.

Riktig bruk av CFD-modeller gir gode og realistiske resultater. Programvaren krever god forståelse av brannodynamikk og brukerforståelse. Det er mange forhold som påvirker et brannforløp. Hvilke parametere man angir er dermed kritisk for simuleringens resultat.

Ved benyttelse av simuleringeverktøy er det mange parameter som er ukjente. Ukjente parametere blir enten antatt eller neglisjert, avhengig av parameterens betydning for modellen. Simulert case vil dermed ofte være en forenklet beregning, sammenlignet med en virkelig brann.

9.2 Inputdata og verifikasjon

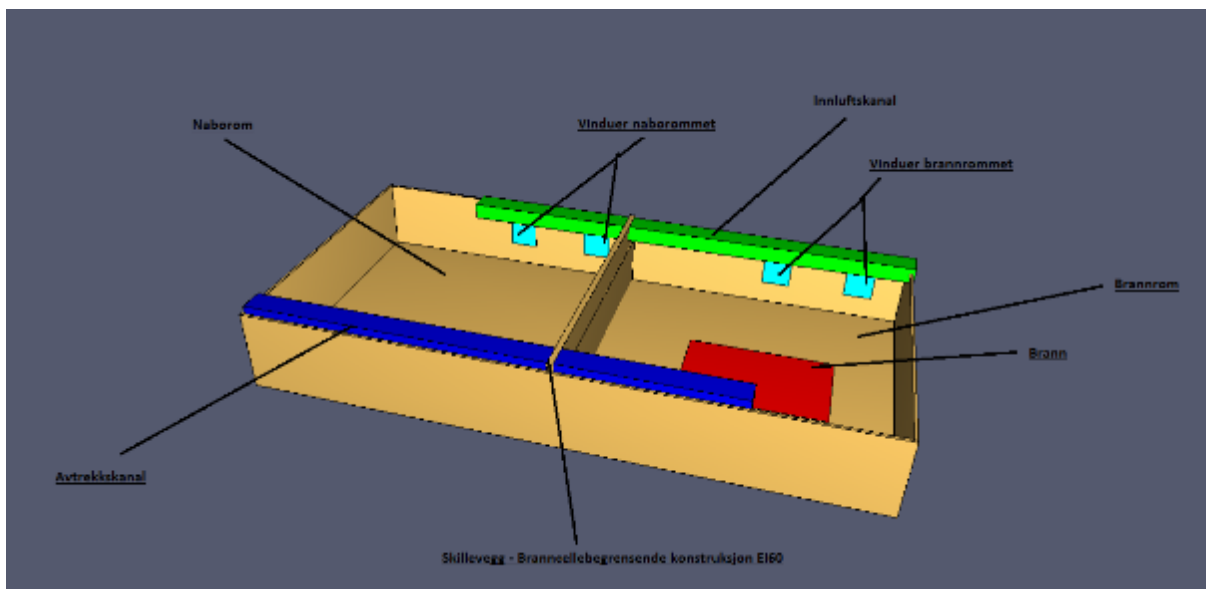
Vurdering av modellens parametere bør inngå som en del av verifikasjonsprosessen. Kort fortalt handler dette om å vurdere de avgjørende parameterens effekt har på simuleringens resultat [26]:

I denne sammenheng er følgende parametere vurdert:

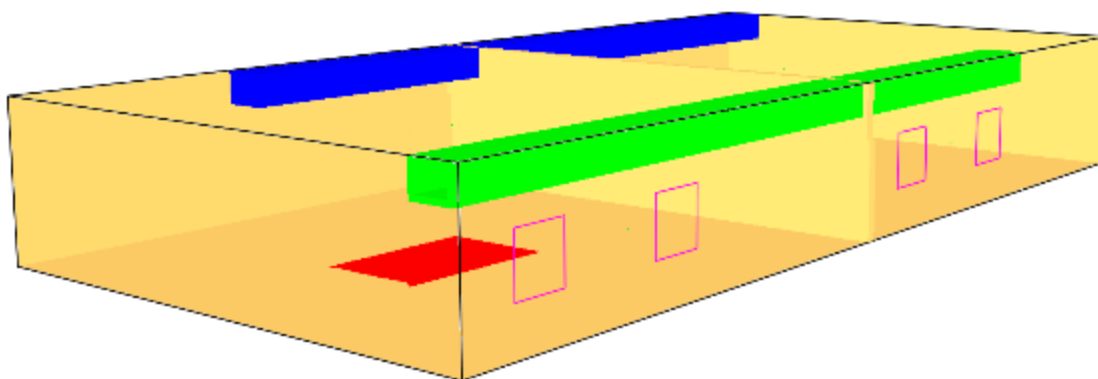
- Byggetekniske parametere
- Grid/Mesh - oppløsningen
- Strålingsmodell
- Varmeavgivelsesrate (HRR)
- Turbulensmodell
- Konduktivitetskoeffisienter til materialer og fluider
- Strømningshastigheter til inn og ut-kanal.
- Målepunkter

9.3 Modellens geometri og branneffekt

De fleste registrerte branner skjer i boligbygg. I denne oppgaven er det derimot valgt å se bort fra type bygg og heller så nøyer på en branncellebegrensende konstruksjon som brytes av 2 ventilasjonskanaler (inn- og ut luft). Se Figur 32 og Figur 33.



Figur 32 – Oversiktsbilde av modellen – Pyrosim.



Figur 33 - Oversiktsbilde av modellen – Smokeview.

9.4 Geometri/planløsning:

Begge rommene har et areal på 100 m^3 ($10 \times 10 \text{ m}$) med en takhøyde på totalt 3 m. Dette tilsvarer samme størrelse som et middels kontorareal eller en leilighet. Planløsningen i rommet er svært forenklet da det ikke er tatt hensyn til innredning eller videre inndeling av interne rom. Det er heller ikke tatt hensyn til brannspredning til overflater/kledninger eller møblelement i rommet. Det er valgt å benytte "inerte" overflater i hele modellen.

Figur 32 og Figur 33 viser 2 rom, som skilles av en vegg. Veggens tykkelse er på 13 cm. Noe som tilsvarer en vanlig EI 60 konstruksjon oppført av 2 lag 13 mm gips, 100 mm isolasjon og stenderverk 48x98 mm. Modellen har en takhøyde på 3 m.

9.5 Ventilasjon

Grønn kanal illustrerer tilluftskanalen og blå kanal illustrerer avtrekket.

Valgte luftmengder er hentet ut i fra angitte funksjonskrav i TEK §13-3: Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning [11].

Gjennomsnittlig frisklufttilførsel skal minimum være 2,5 m³ pr. time pr. m² gulvareal når bygningen eller rommene er i bruk og minimum 0,7 m³ pr. time pr. m² gulvareal når bygningen eller rommene ikke er i bruk. Kravet skal ivareta behov for å ventilere bort lukt og emisjoner fra bygningsmaterialer og inventar.

For å ivareta overliggende funksjonskravet er følgende angitt i simuleringen:

- Avtrekk: Kanaldimensjon: 600x400 mm, totalluftstrøm 500 m³/h (250 pr. rom).
- Tilluft: Kanaldimensjon: 600x400 mm, totalluftstrøm på totalt 500 m³/h (250 pr. rom).

Kanal plasseres opptil tak med lufteventiler 2,46 m over gulv.

Hver kanal har en lufteventil i hvert rom, der hver ventil har et samlet areal på 0,2 m².

For ventilasjonskanaler er det valgt en rektangulær kanal med dimensjon 600*400 mm. Viftene går under hele brannforløpet med et totalt strømningsvolum på 0,139 m³/s. Hver kanal har en lufteventil til hvert rom. Hver ventil har en åpningsdimensjon på 0,2 m².

9.6 Tilførsel av friskluft

For at brannen ikke skal kveles av oksygenmangel er det angitt at hvert rom har 2 vinduer på 1m²

I henhold til «Glass breakage in fires [6]» sprekker et vanlig 3 mm vindusglass ved 340 °C. I modellen er det satt inn temperaturfølere rett ved vinduet. Når disse følerne registrerer en temperatur på 340 °C åpnes/knuses vinduene. Dette vil igjen tilføre nytt oksygen til brannen.

I modellen vil vinduene angis som hull som oppstår i veggen når aktuelle sensor måler ønsket temperatur. Modellen vil dermed betrakte arealet der vinduet er som en del av veggen frem til denne temperaturen oppnås. Når temperaturen oppnås, skjæres det et hull umiddelbart i veggen. Hullet i veggen vil fysisk sett betraktes som et knust vindu av programmet. I en reell situasjon vil glasset sprekke delvis før det eventuelt knuser og faller ned, i de fleste tilfeller vil det være igjen et lite lag med glassbiter rundt karmen. Det tas ikke hensyn til trykk påkjenninger på vinduet.

9.7 Varmeavgivelsesrate (HRR) og brannvekst

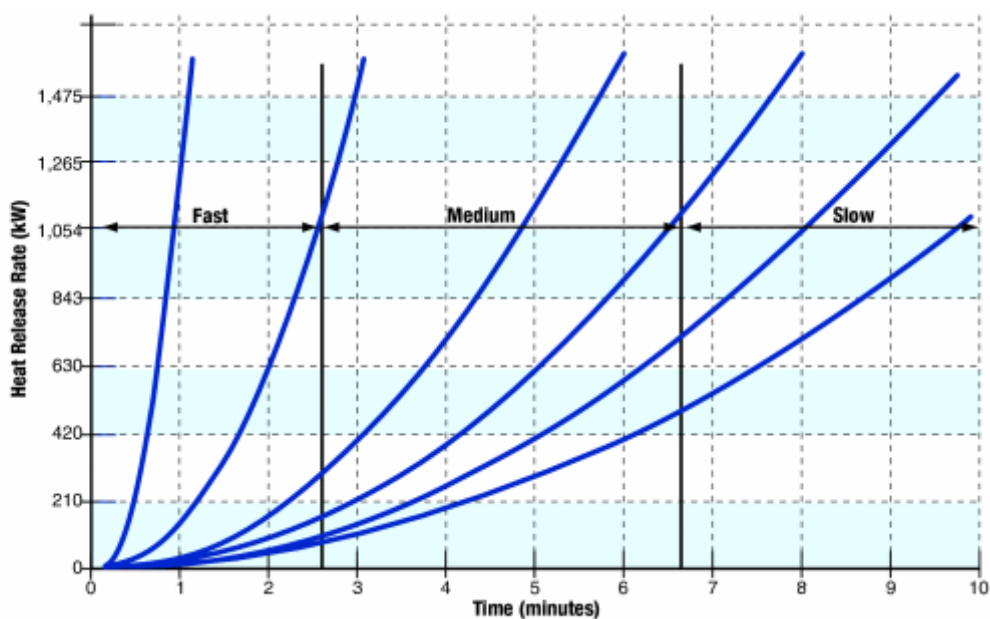
Varmeavgivelsesrate er en parameter varieres i selve i hvert scenario.

Valg av brannens vekst og varmeavgivelsesrate er en viktig parameter i dette scenarioet. En treg brannvekst vil medføre stor produksjon av ubrente røykgasser. Den trege brannen vil derimot avgi lite varmeenergi, som tilsvarer lavere temperaturøkning i rommet.

En raskere brann vil ofte ha renere forbrenning med høyere effekt. Dette tilsvarer høy avgivelse av varmeenergi. I vårt tilfelle er det i hovedsak temperaturen som er kritisk. Spredning av kalde/ medium varme røykgasser vil i hovedsak ikke medføre brannspredning via ventilasjonsanlegget.

For å få et bredt bilde er det simulert 6 forskjellige scenarioer med ulike brannstørrelse og brannvekst, alle med lik modell/planløsning. Dette gjøres for at vi skal kunne se hvilken forskjell økning av brannens effekt eller vekstrate utgjør med hensyn på blandingstemperaturer i kanal og fare for brannspredning til naborommet.

I denne oppgaven er det valgt en t^2 brann, med varierende vekstrate (kW/s^2). Med en t^2 brann vil brannens varmeavgivelsesparameter variere med tiden. En metode for å fastslå en branns vekstrate er å måle hvor lang tid det tar før brannen oppnår 1 MW. Grafen i Figur 34 - Forskjellige brannvekst-rater (Madrzykowski 1996) Figur 34 viser de forskjellige brannvekstratene.



Figur 34 - Forskjellige brannvekst-rater (Madrzykowski 1996) [49]

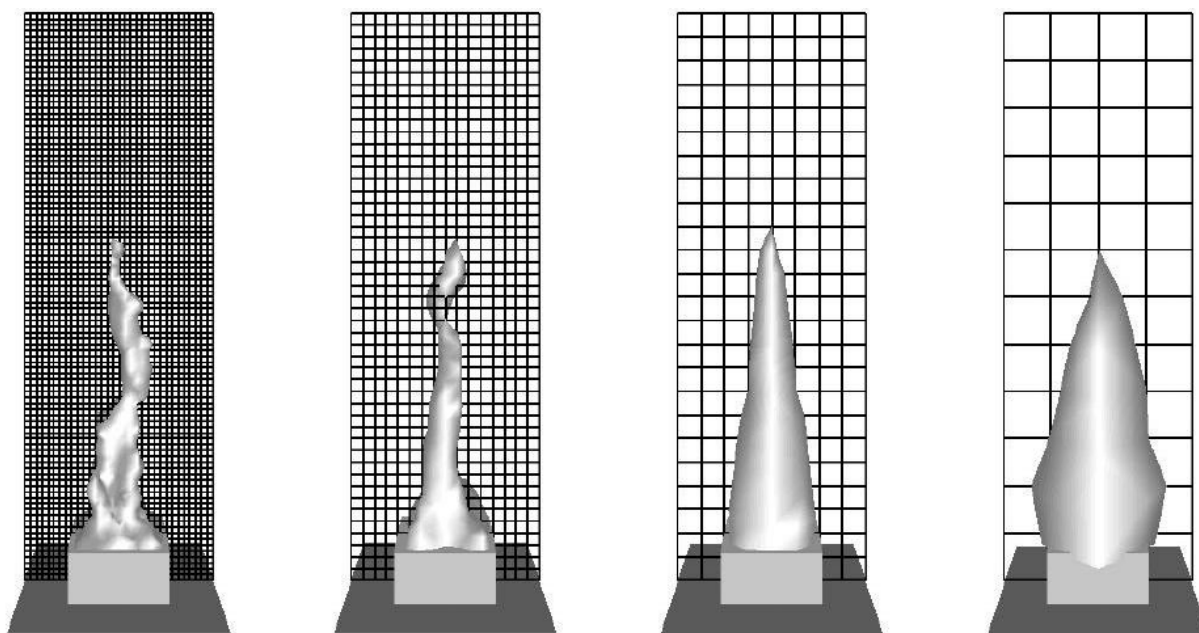
Følgende brannstørrelser og vekstrater er simulert:

Scenario	Branneffekt totalt (kW)	Branneffekt (kW/m ²)	Brannvekst (kW/s ²)	Brannareal (m ²)	Tid til 1MW (s)	Forventet tid til fullt utviklet brann (s)
1	2000 kW	500	0.00293	4	580	827
2	2000 kW	500	0.0469	4	140	207
3	4000 kW	500	0.00293	8	580	1169
4	4000 kW	500	0.0469	8	140	293
5	8000 kW	500	0.00293	16	580	1653
6	8000 kW	500	0.0469	16	140	414

Tabell 2 - Input branneffekt og vekstrater.

9.8 Mesh oppløsning / Gridstørrelse:

Simuleringenes resultater er svært avhengige av valg av riktig oppløsning på mesh. Modellens volum deles inn i små terninger eller celler på eksempel hvis 10x10x10 cm. Dette betyr at per 1m³ vil det være 1000 celler, samlet utgjøres disse cellen et mesh. Programmet beregner hva som skjer i hver enkelt celle. Høyere celleantall per 1m³ gir dermed bedre nøyaktighet. Samtidig gir et høyt antall celler en markant økning i beregningstiden, å setter store kapasitetskrav til datamaskinen som skal utføre arbeidet. En tommelfingerregel er at en halvering av cellestørrelsen medfører en reduksjon av unøyaktigheter med en faktor på 4, samtidig som simuleringstiden multipliseres med en faktor på 16. Se Figur 35.



Figur 35 - Mesh/grid oppløsning fra venstre 2,5, 5, 10 og 20 cm cellestørrelse per 1m³ [30]

Figur 35 viser grafisk hvordan detalj nivået endres i sammenheng oppløsningen til meshet.

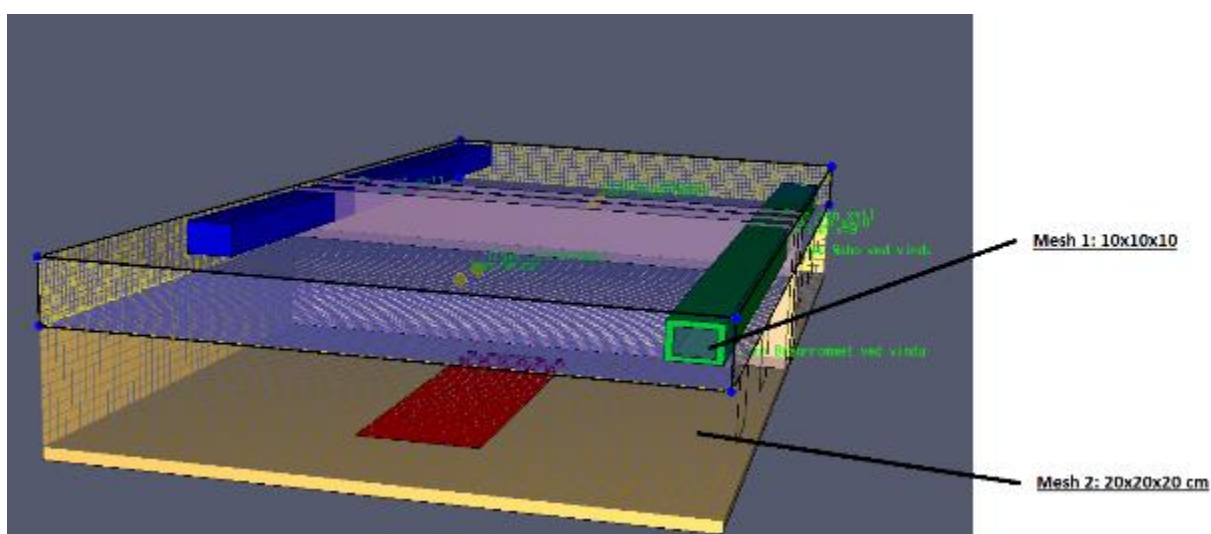
Ved modellens oppbygning er det viktig å vurdere mesh-størrelsen opp mot modellens størrelse og ønsket resultat. Eksempelvis dersom man kun ønsker å se på røykspredning i et

bygg vil det være tilstrekkelig med et stort mesh, eksempelvis 20x20 cm eller 50x50 cm. Dersom man ønsker å se detaljert hva som skjer lokalt ved flammen eller i flammen hvor det er store temperatur gradienter eller i et spesifikt punkt, vil det være behov for et tettere grid.

I vår modell er det interessant å se hvilke temperaturer som oppnås i selve kanalen. Det er derfor valgt å dele meshet inn i 2 deler:

1. Mesh 1 - er øverste del fra 2-3 meter høyde over gulv. Oppløsning på 10x10x10 cm. Totalt 200.000 celler
2. Mesh 2 - er resterende nedre del 0-2 m fra gulv. Oppløsning på 20x20x20 cm. Totalt 45.000 celler

Valgt celleoppløsning vil gi et detaljert bilde i det aktuelle området. Se Figur 36.



Figur 36 - Oppdeling av mesh.

Cellens størrelse/lengste side i meter (dx) kan relateres til brannens karakteristiske diameter D^* . Som en faktor på modellens oppløsning benyttes dermed D^*/dx . Desto høyere faktor denne verdien har, desto mer detaljer/ høyere oppløsning har modellen. Programmets brukermanual anbefaler verdier mellom 4-16.

D^* beregnes via følgende formel [30]:

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

Der:

- Q = Brannens effekt (kW)
- ρ_{∞} = Luftens densitet ($1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
- c_p = luftens varmekapasitet ($1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$)
- T_{∞} = Luftens temperatur i Kelvin (293 K)

- $g = \text{Tynngdekraften } (9,81 \frac{m}{s})$

Programmets brukermanual angir følgende verdier for $D^* \cdot x$ forhold [30]:

- $D^*/dx = 4$ – angir at modellen har grov oppløsning. Lavt detaljnivå og lite ressurskrevende
- $D^*/dx = 10$ – angir at modellen har medium oppløsning. Medium detaljnivå og middels/svært ressurskrevende
- $D^*/dx = 16$ – angir at modellen har høy oppløsning. Høy detaljnivå og svært ressurskrevende

Dette følgende D^*/dx verdier:

Scenario	Q (kW)	D^*	dx Mesh 1/ Mesh 2	D^*/dx Mesh 1/ Mesh 2
1 og 2	2000	0,8	0,1/0,2	8/4
3 og 4	4000	1,05	0,1/0,2	10,6/5,3
5 og 6	8000	1,4	0,1/0,2	14/7

Tabell 3 - Beregnede D^*/dx -verdier for simulering

D^*/dx forhold - Scenario 1 og 2:

Dette vil gi en grov beregning i modellens nedre del. Den øvre delen vil ha en høyere oppløsning. D^*/dx nivåene vil gi en tilfredsstillende oppløsning iht. gjeldende problemstilling og ønsket resultatnivå.

D^*/dx forhold - Scenario 3 og 4:

Dette vil gi en middels beregning i modellens nedre del. Den øvre delen vil ha en høyere oppløsning. D^*/dx nivåene vil gi en tilfredsstillende oppløsning iht. gjeldende problemstilling og ønsket resultatnivå.

D^*/dx forhold - Scenario 4 og 6:

Dette vil gi en middels beregning i modellens nedre del. Den øvre delen vil ha en høy oppløsning. D^*/dx nivåene vil gi en tilfredsstillende oppløsning iht. gjeldende problemstilling og ønsket resultatnivå.

9.9 Strålingsmodell:

Ved brann i et materiale vil det som regel alltid røyken inneholde en andel sotpartikler (med mindre brannen har en 100 % ren forbrenning). Ved en brann vil røykklagets sotinnhold ha stor innvirkning på varmestråling. Sot vil ofte være sort eller mørk grå og ha en høy emissivitet, som raskt absorberer varme fra brannen. Videre vil den også selv stråle ut varme. Et røykklag med høyt sot-innhold vil dermed kunne bli varmere enn et med lavt innhold av sot. I simuleringprogrammet blir sotpartikler oppfattet som helt sorte flater. PyroSim tar

utgangspunkt i at 35 % brannens energiavgivelse består av stråling. Dette blir også lagt til grunn i de gjennomførte simuleringene.

Standard innstilling [30] for sotproduksjonen ved brann er 0,198 kg/kg forbrent materiale. Dette legges til grunn i modellen. Denne sotproduksjonen vil resultere i en kraftig røykproduksjon, med tett svart røyk.

9.10 Turbulens modell

I simuleringene er det benyttet Large Eddy Simulation (LES) [33]. Alternativet med Direct Numerical Simulation (DNS) er svært ressurskrevende og gir begrenset resultatgevinst i gjeldende problemstilling. For teori vedrørende de forskjellige strømningsmodellene henvises det til Pyrosim Manuel [30].

Standardverdier for turbulensverdier er benyttet i forbindelse med simuleringen.

9.11 Simuleringstid

Etter at brannen har oppnådd maksimal effekt vil forholdene stabilisere seg raskt, da det ikke tas hensyn til brannspredning til omkringliggende materialer (kledning og overflater). Brannen har heller ingen økning i effekt, derfor vil det heller ikke være en økning i temperatur. For å spare tid er det valgt og begrense brannens tidsforløp i simuleringene. I de fleste scenariene vil maksimal branneffekt oppnås i løpet av de første 15 minutter. Simuleringstiden for hvert scenario er vurdert opp mot den teoretiske tiden til en fullt utviklet brann. Se Tabell 2 - Input branneffekt og vekstrater.

Hvert scenario har dermed følgende simuleringstid:

- Scenario 1 - 1200 sekunder (Teoretisk maks effekt oppnådd etter 827 sekunder)
- Scenario 2 – 1200 sekunder (Teoretisk maks effekt oppnådd etter 207 sekunder)
- Scenario 3 – 1200 sekunder (Teoretisk maks effekt oppnådd etter 1169 sekunder)
- Scenario 4 – 1200 sekunder (Teoretisk maks effekt oppnådd etter 293 sekunder)
- Scenario 5 – 1800 sekunder (Teoretisk maks effekt oppnådd etter 1653 sekunder)
- Scenario 6 – 1200 sekunder (Teoretisk maks effekt oppnådd etter 414 sekunder)

9.12 Målepunkter

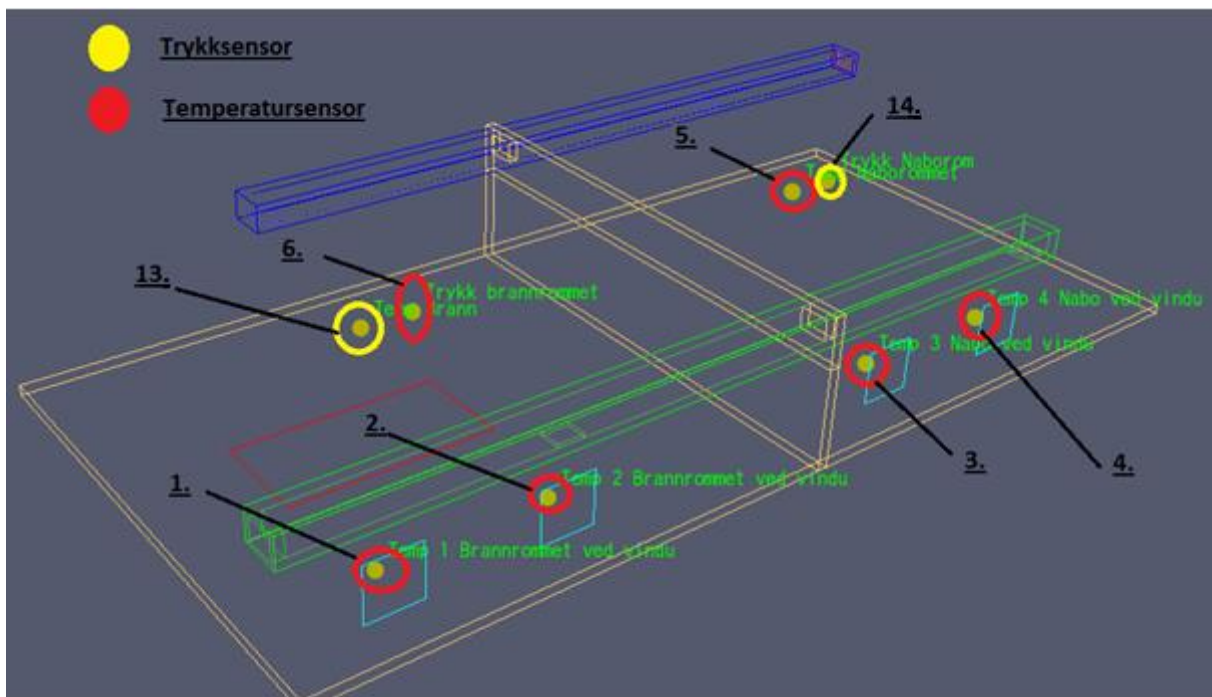
Simuleringen skal forsøke å finne ut hvilke temperaturer som oppnås i kanalene og naborommet. I modellen må det angis hvilke målepunkter det er ønskelig at programmet skal sette fokus på (ut-data). I gjeldende case er det ønskelig og finne ut hvilke temperaturer som oppstår i naborommet. Dette er gjort ved å sette opp diverse temperatursensorer i modellen, samt såkalte målesnitt (slices) som måler temperatur i et bestemt snitt gjennom modellen.

Varme røykgasser vil i hovedsak spre seg via avtrekkskanalen fordi denne vil suge ut en konstant luftmengde under hele brannforløpet. Etter hvert som brannen vokser, vil det oppstå overtrykk i brannrommet, Når trykket i brannrommet blir større enn trykket i tilluftskanalen vil varme røykgasser trenge seg inn i tilluftskanal, og kunne spre seg via kanalen til naborommet. For å et estimat på hvor stort trykket er når røyken trenger inn i tilluftskanalen er det satt inn en trykksensor i hvert rom.

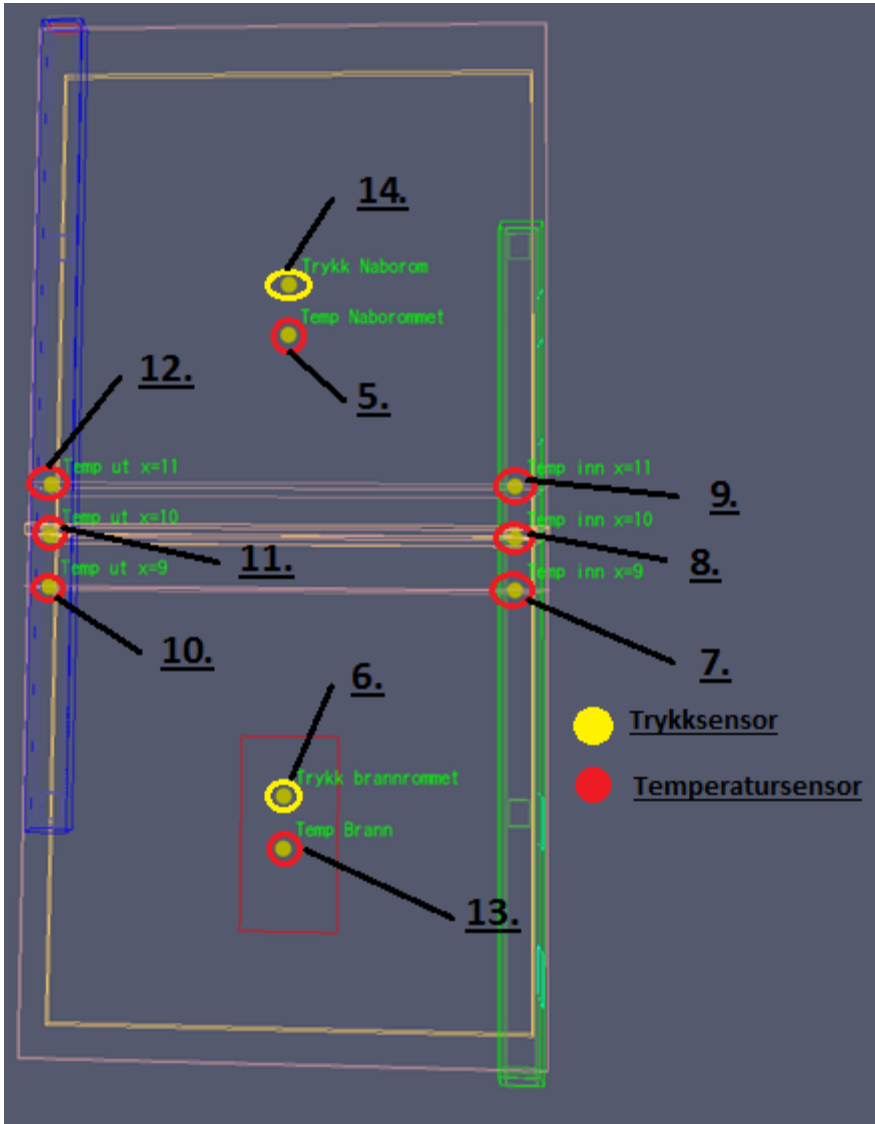
Modellen har følgende målepunkter:

1. Temperatur ved vindu 1 i brannrommet
2. Temperatur ved vindu 2 i brannrommet
3. Temperatur ved vindu 1 i naborommet
4. Temperatur ved vindu 2 i naborommet
5. Temperatur midt i naborommet 2,4 m over gulv
6. Temperatur 2,4 m over brann
7. Temperatur i tilluftskanal ved brannrommet 1m fra vegg
8. Temperatur i tilluftskanal midt i vegg
9. Temperatur i tilluftskanal 1 m fra vegg i naborommet
10. Temperatur i avtrekkskanal ved brannrommet 1m fra vegg
11. Temperatur i avtrekkskanal midt i vegg
12. Temperatur i avtrekkskanal m fra vegg i naborommet
13. Trykksensor i brannrommet
14. Trykksensor i naborommet

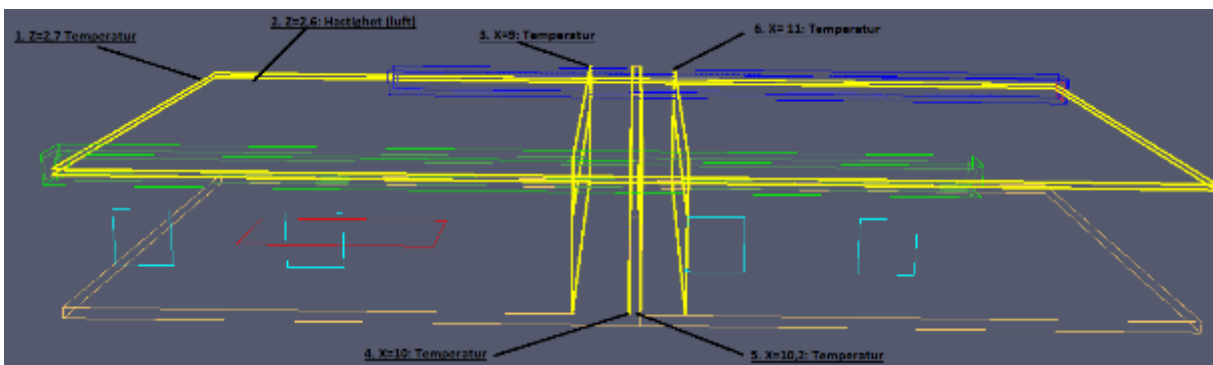
Se Figur 37, Figur 38 og Figur 39 for plassering av målepunkter.



Figur 37 - Plassering av målepunkter, trykk og temperatur



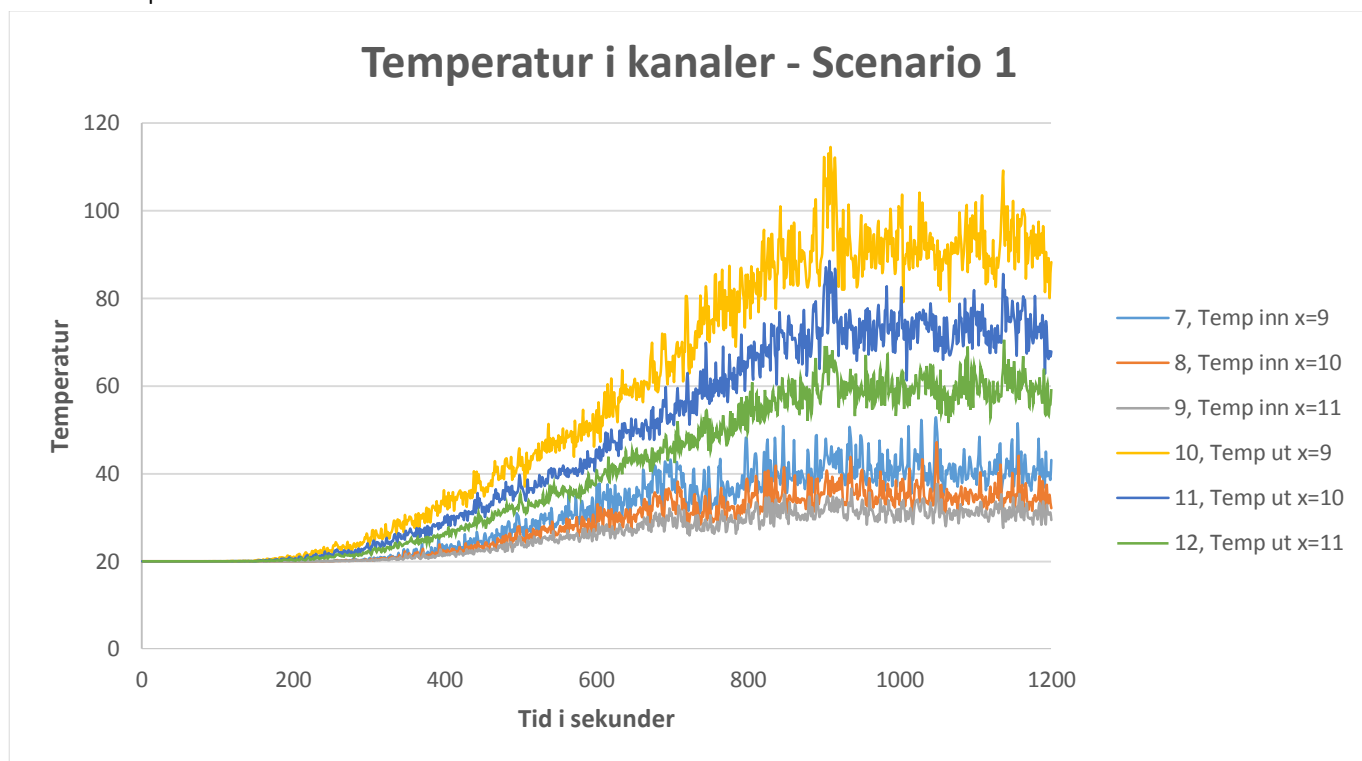
Figur 38 - Plassering av målepunkter, trykk og temperatur.



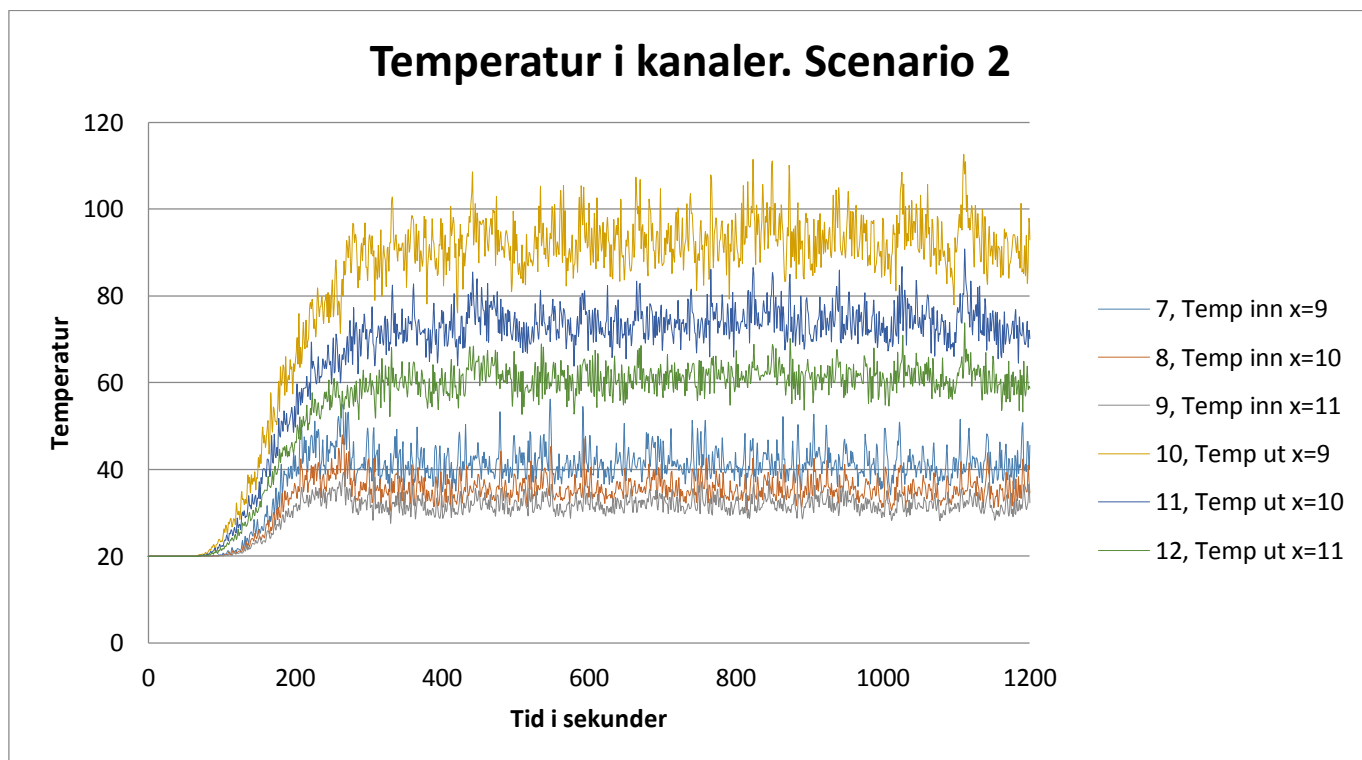
Figur 39 - Plassering av målesnitt (slice)

10 Resultater Brannteknisk simulering – Beregning av blandingstemperaturer

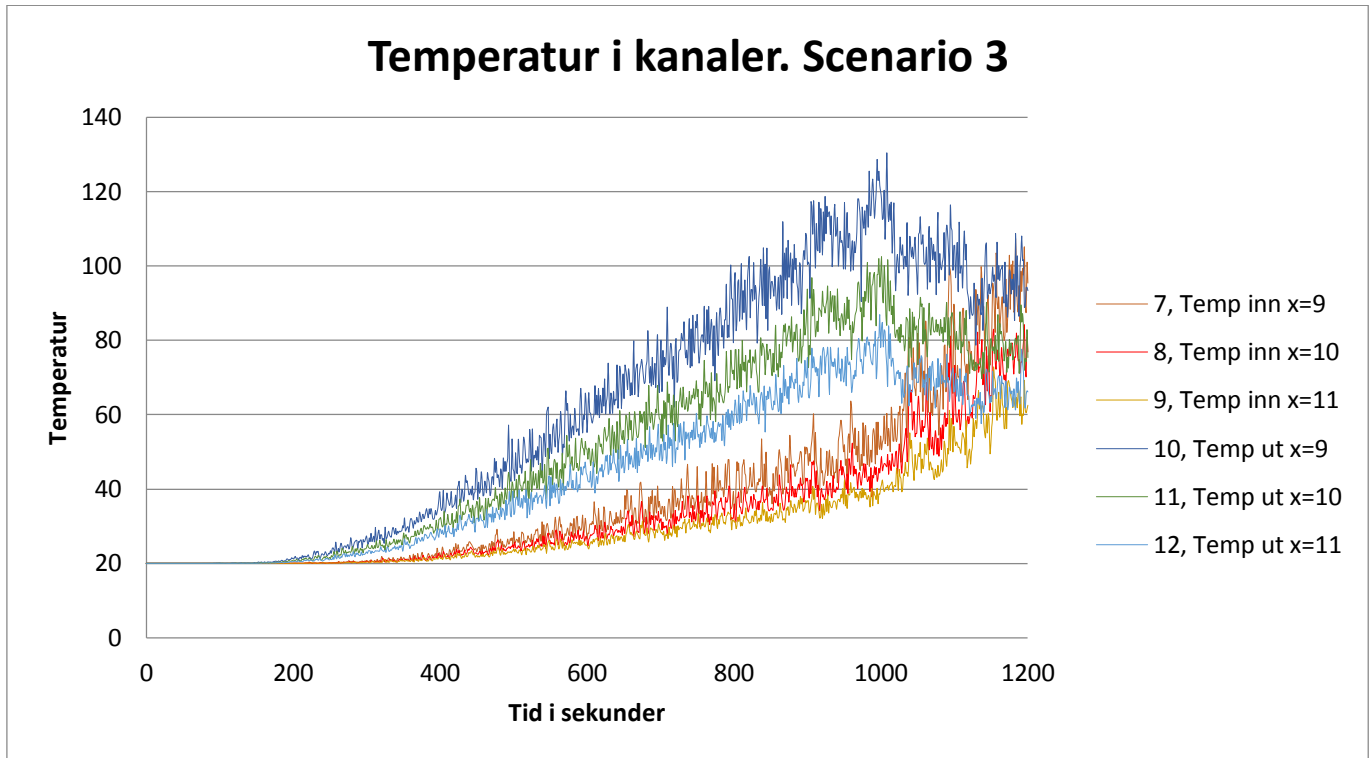
10.1 Temperatur i kanaler



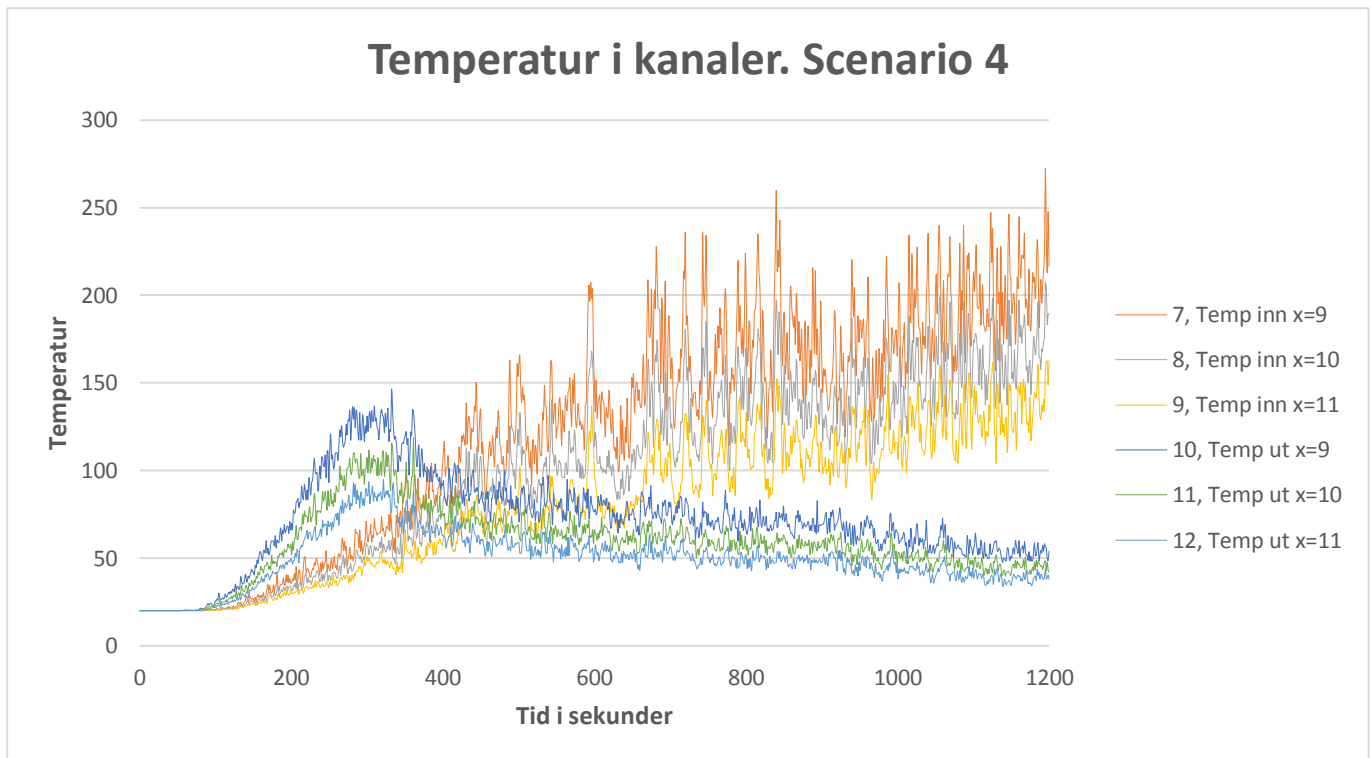
Figur 40 - Temperatur i kanaler. Scenario 1 - 2MW, treg vekst.



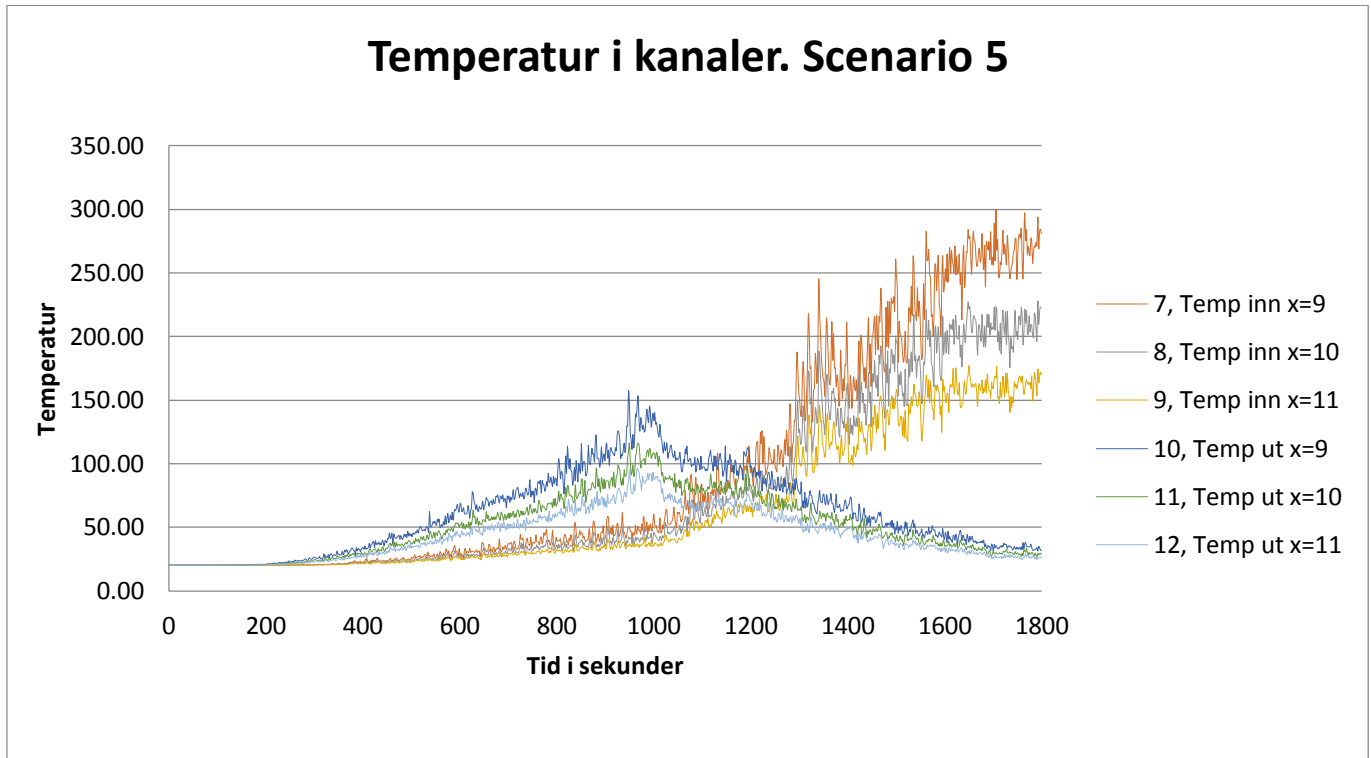
Figur 41 - Temperatur i kanaler. Scenario 2 - 2MW, rask vekst.



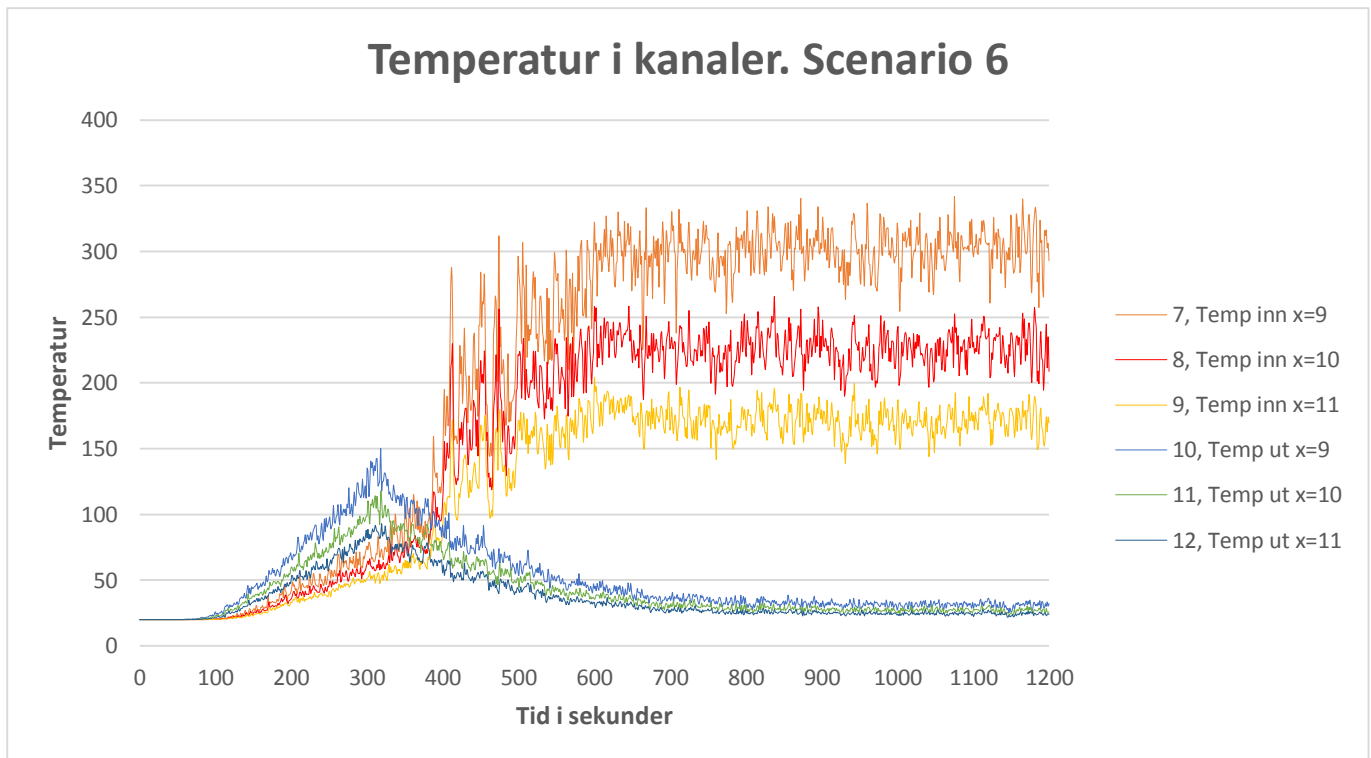
Figur 42 - Temperatur i kanaler. Scenario 3 - 4 MW, treg vekst.



Figur 43 - Temperatur i kanaler. Scenario 3 - 4MW, rask vekst.

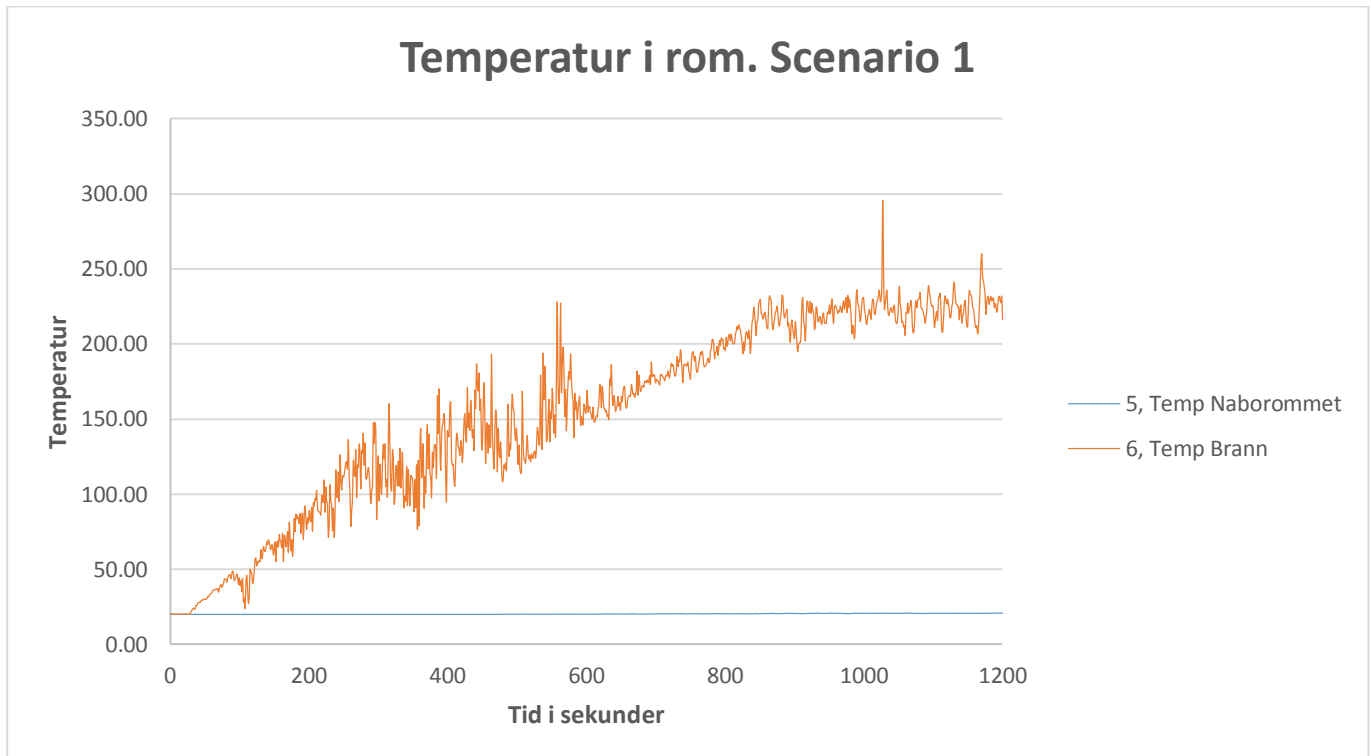


Figur 44 - Temperatur i kanaler. Scenario 5 - 8 MW, treg vekst.

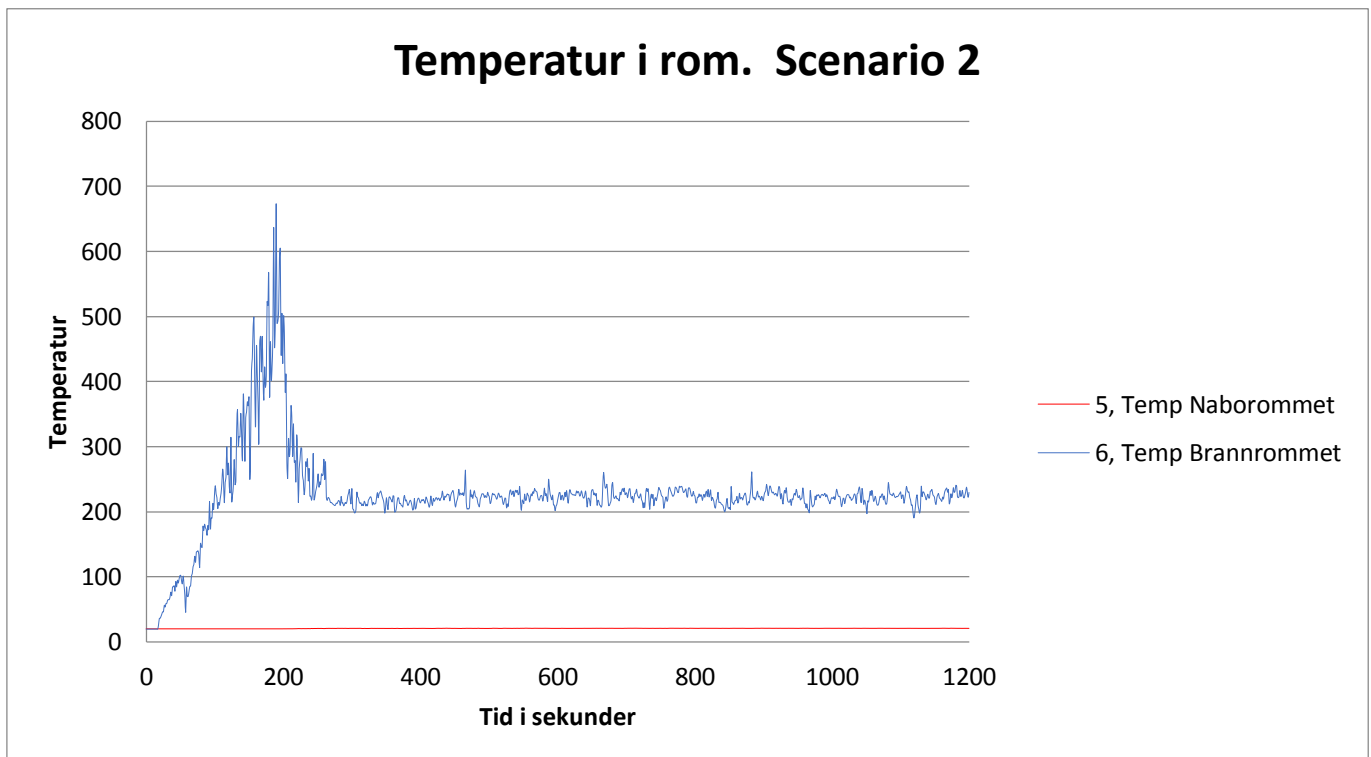


Figur 45 - Temperatur i kanaler. Scenario 6 - 8 MW, rask vekst.

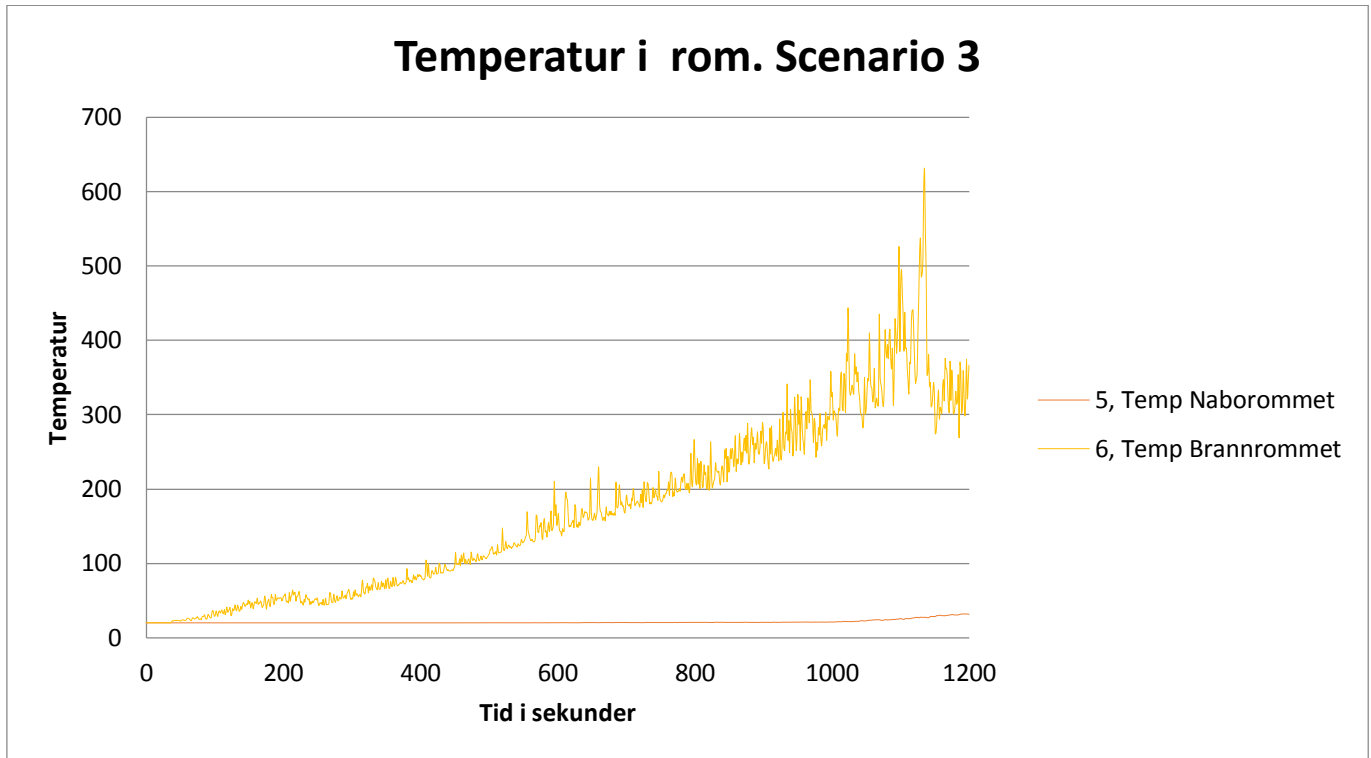
10.2 Temperatur i rom



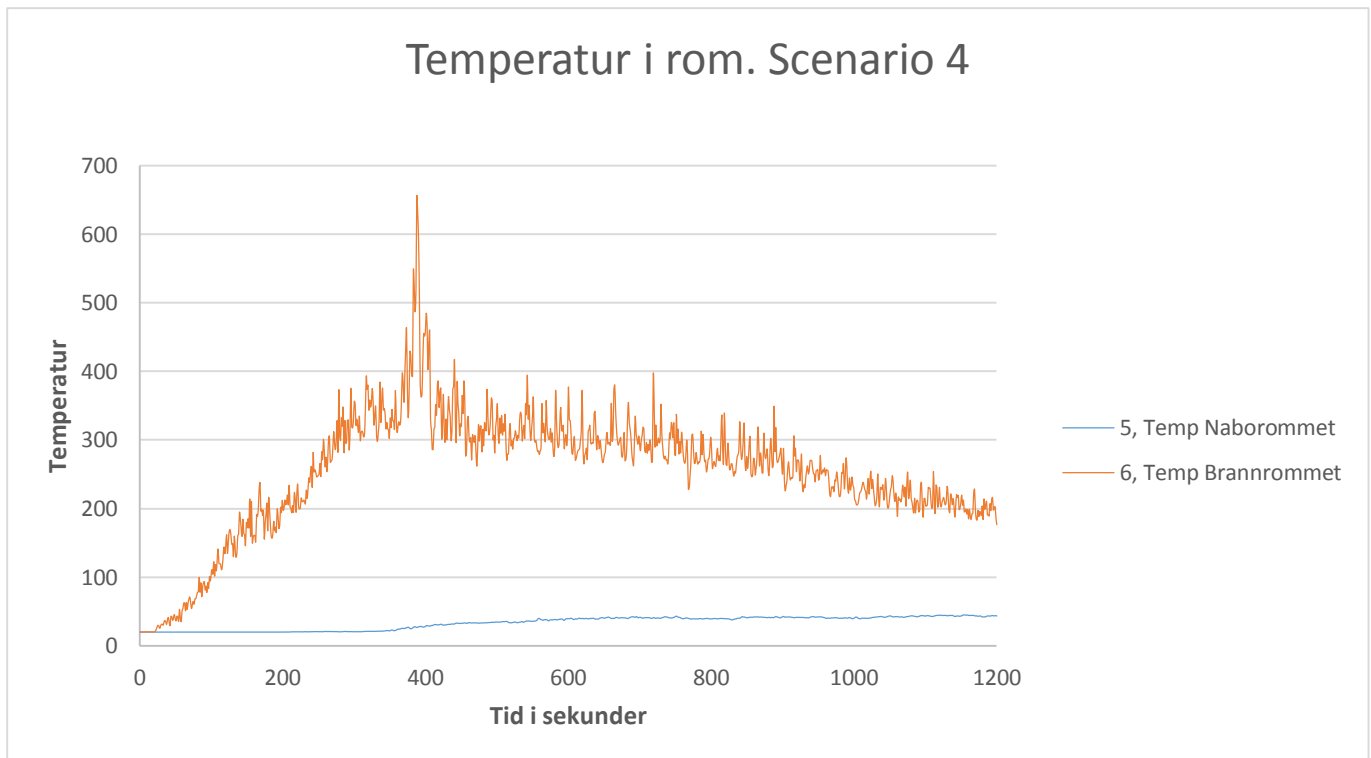
Figur 46 - Temperatur i rom. Scenario 1 - 2MW, treg vekst.



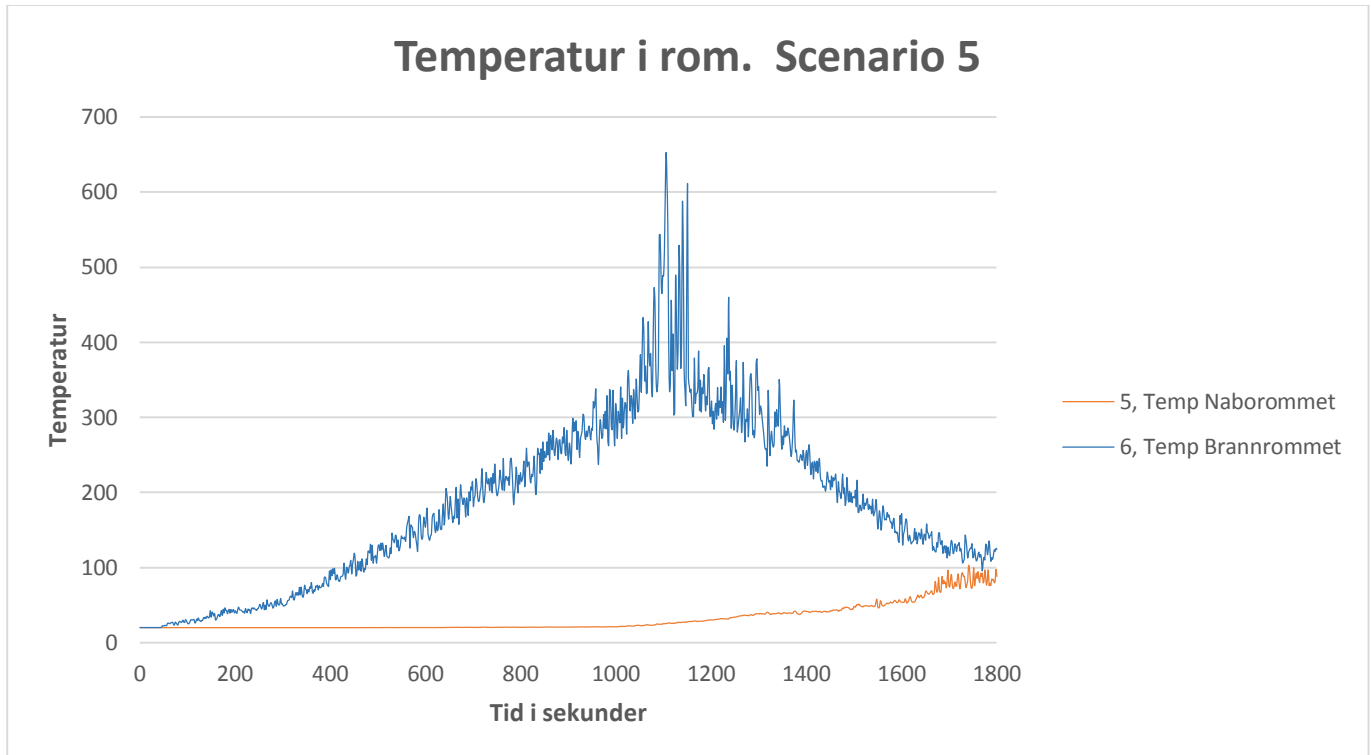
Figur 47 - Temperatur i rom. Scenario 2 - 2MW, rask vekst.



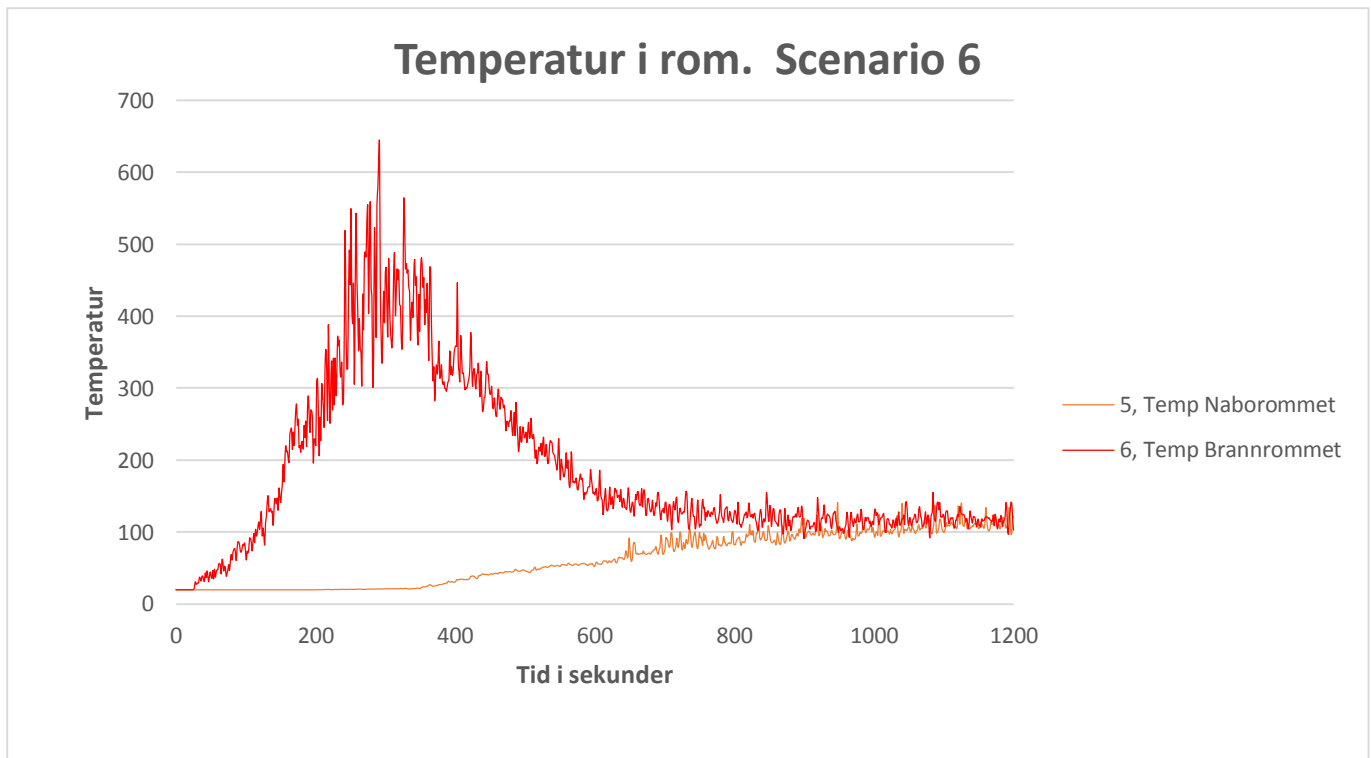
Figur 48 - Temperatur i rom. Scenario 3 - 4MW, treg vekst.



Figur 49 - Temperatur i rom Scenario 4 - 4MW, rask vekst.

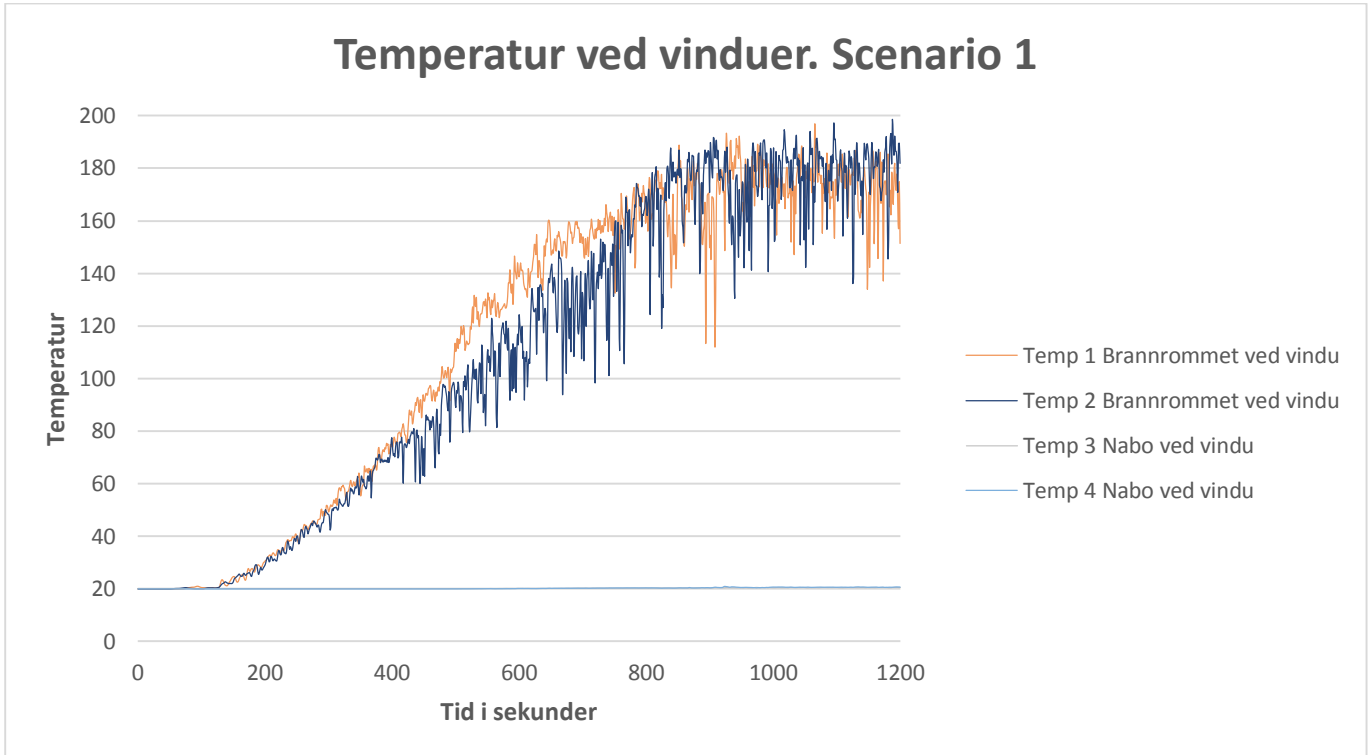


Figur 50 - Temperatur i rom. Scenario 5 - 8 MW, treg vekst.

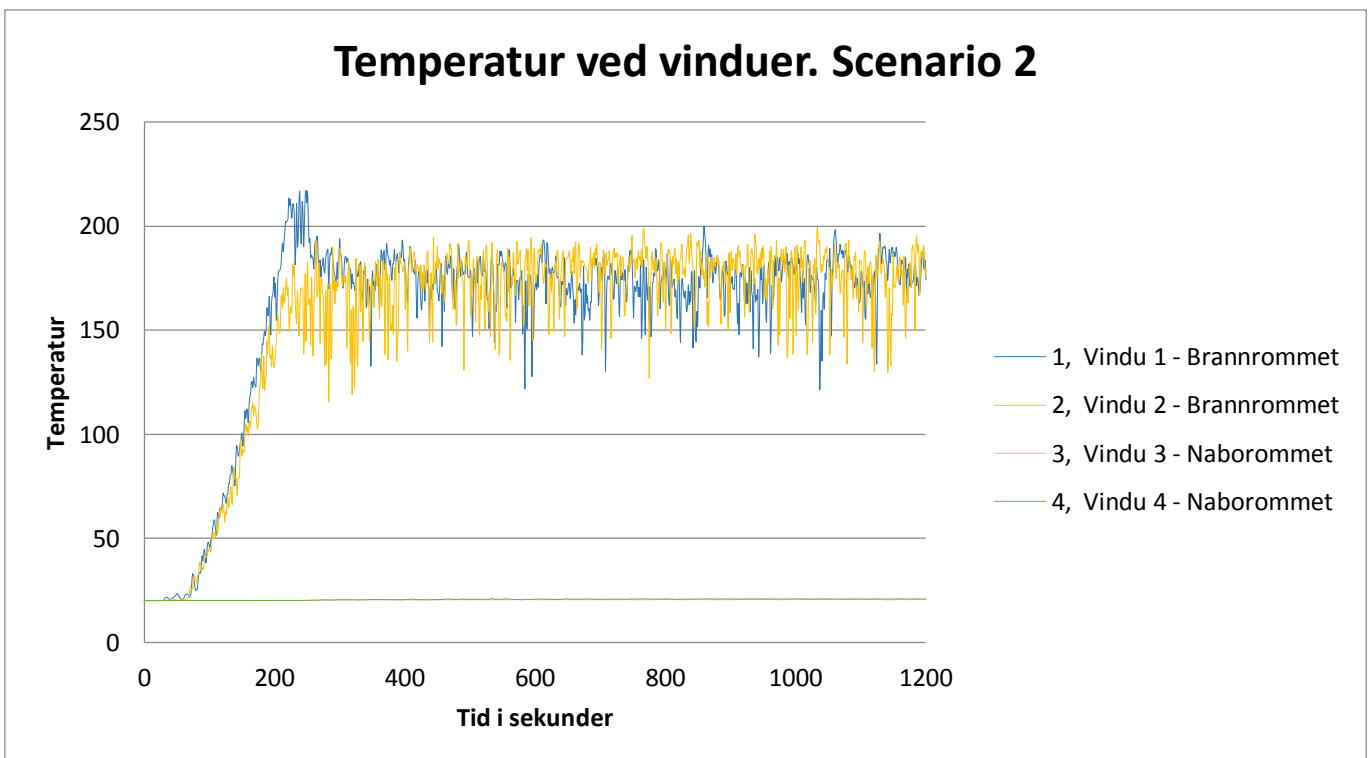


Figur 51 - Temperatur i rom. Scenario 6 - 8 MW, rask vekst.

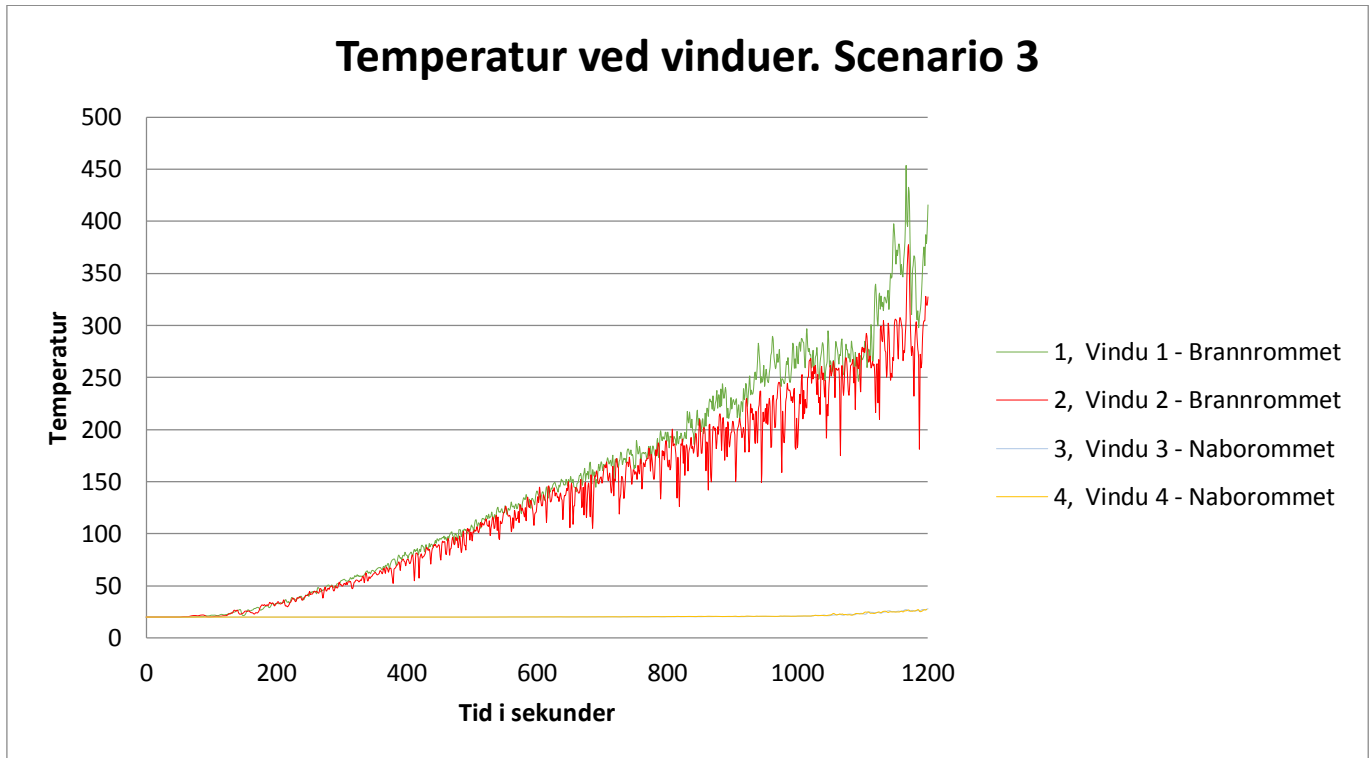
10.3 Temperatur ved vinduer



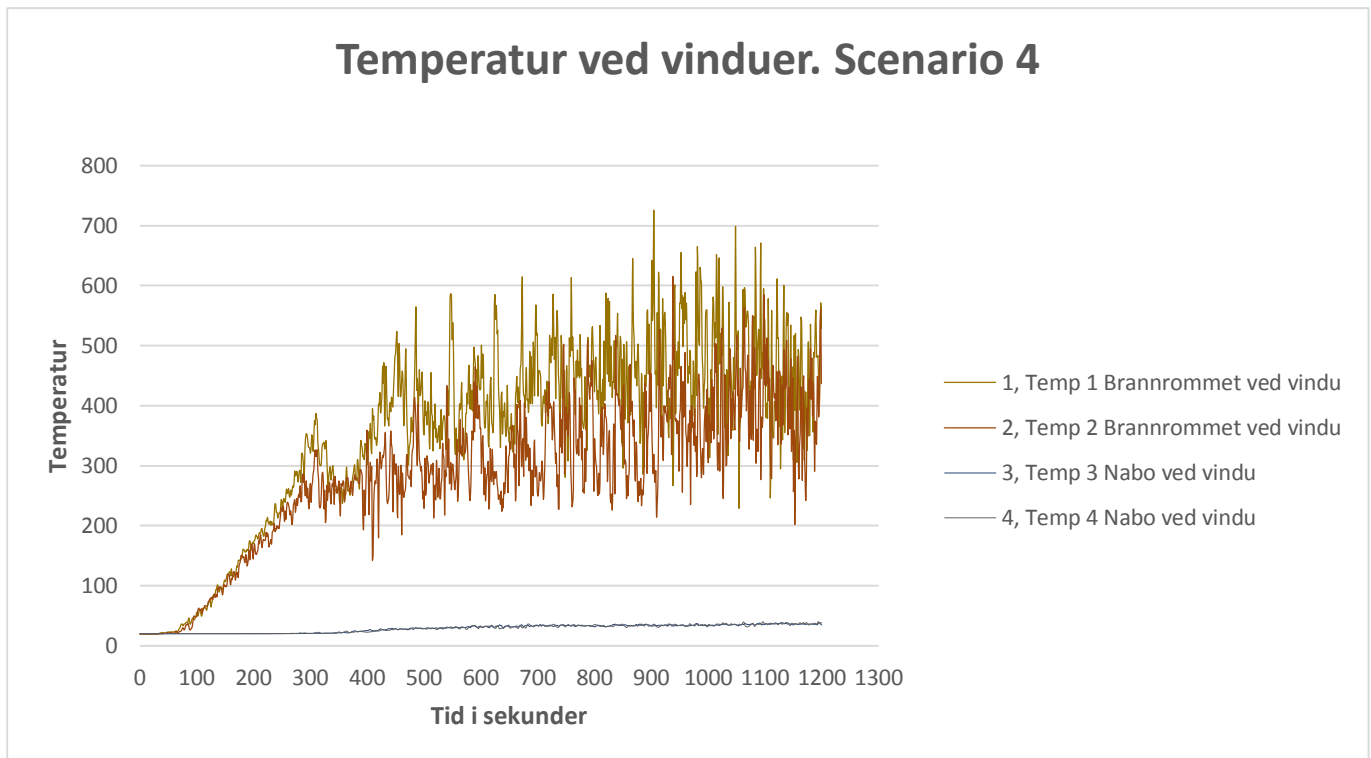
Figur 52 - Temperatur ved vinduer. Scenario 1 - 2MW, treg vekst.



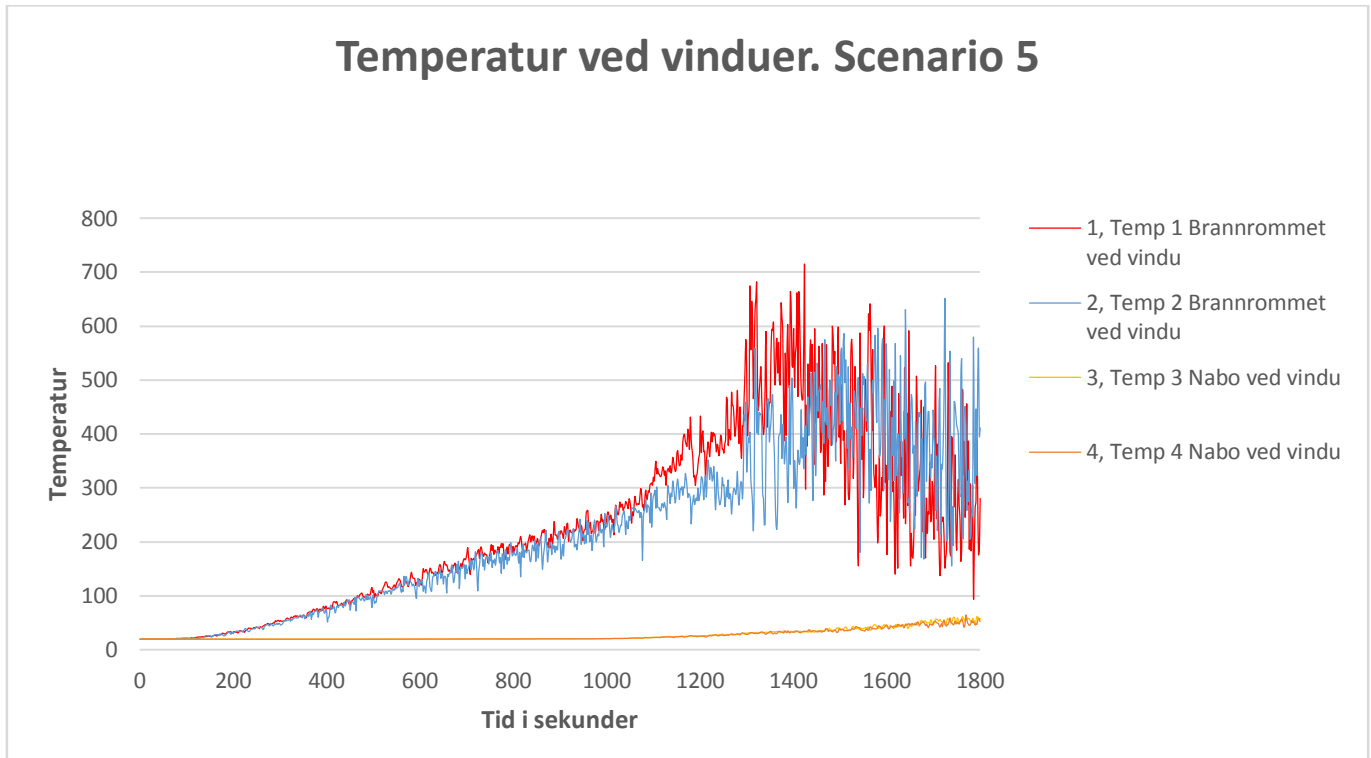
Figur 53 - Temperatur ved vinduer. Scenario 2 - 2MW, rask vekst.



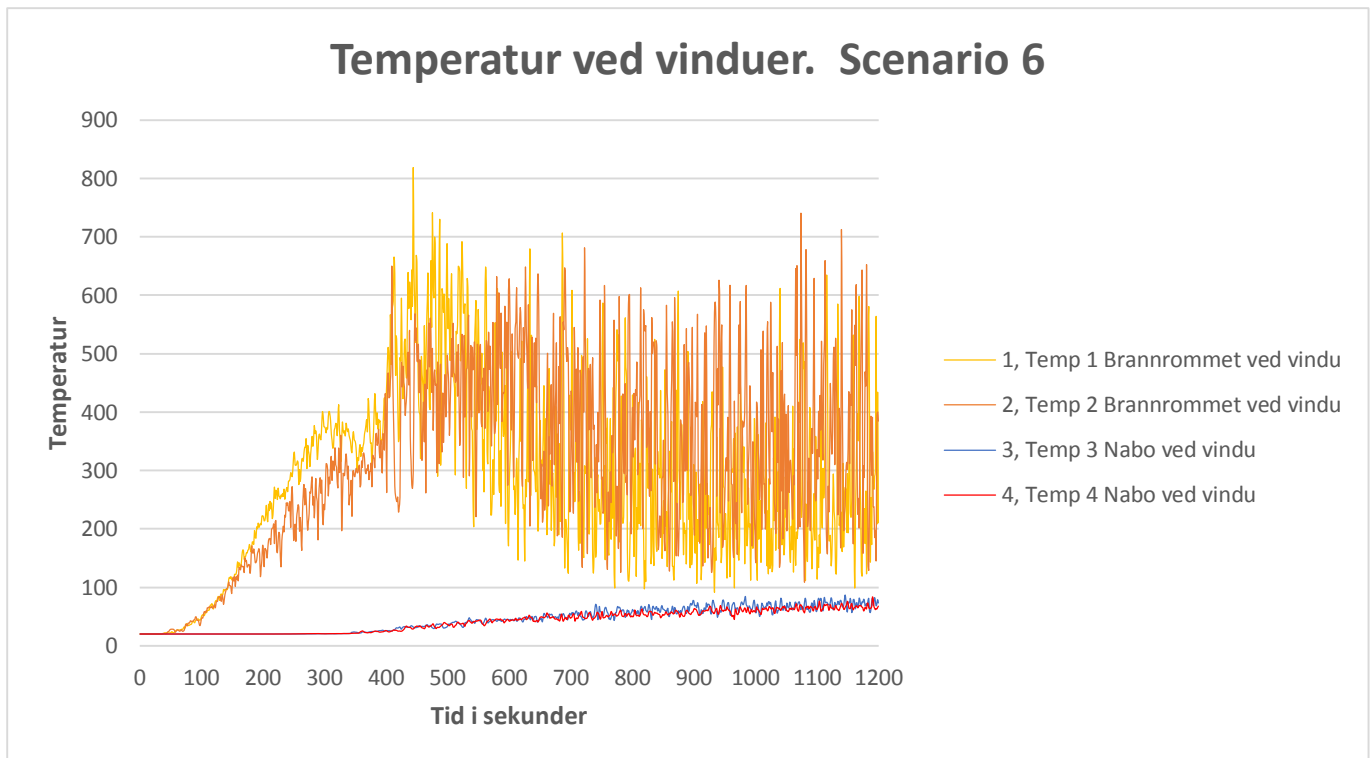
Figur 54 - Temperatur ved vinduer. Scenario 3 - 4MW, treg vekst.



Figur 55 - Temperatur ved vinduer. Scenario 4 - 4MW, rask vekst.

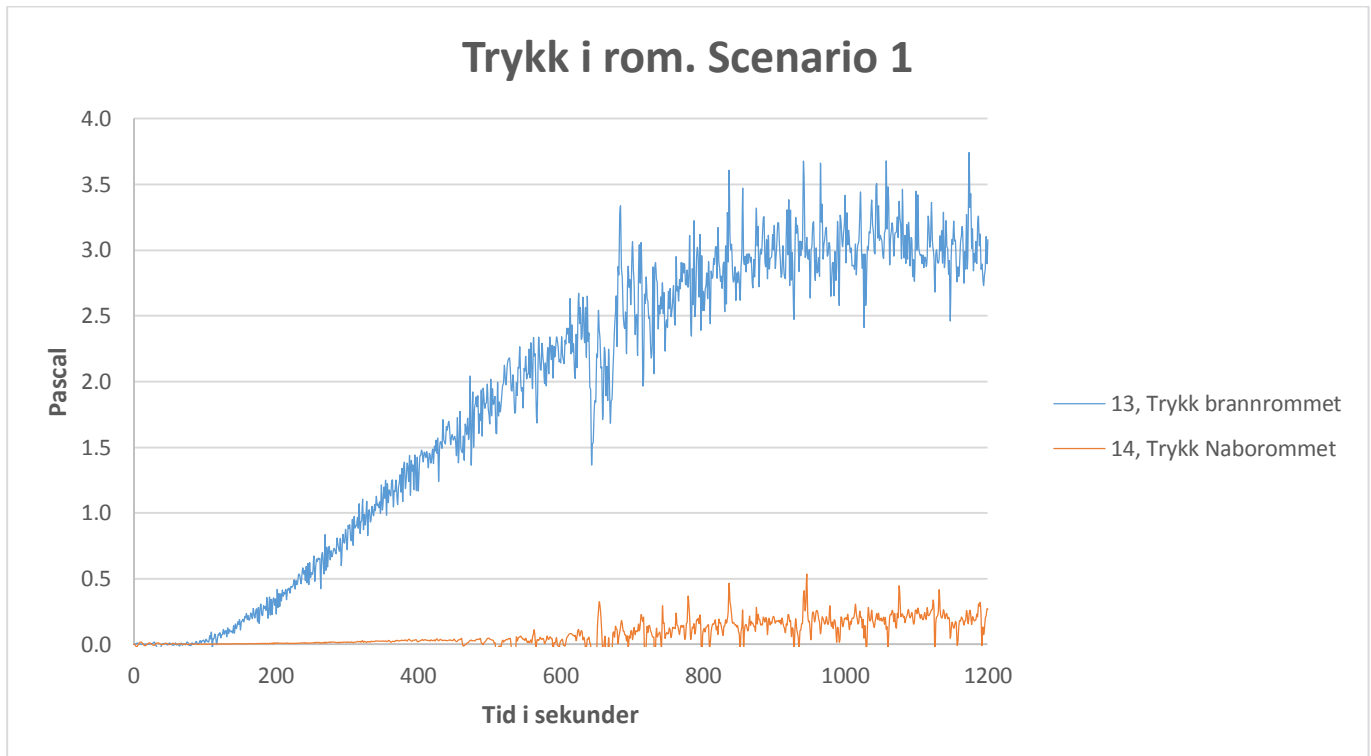


Figur 56 - Temperatur ved vinduer. Scenario 5 - 8 MW, treg vekst.

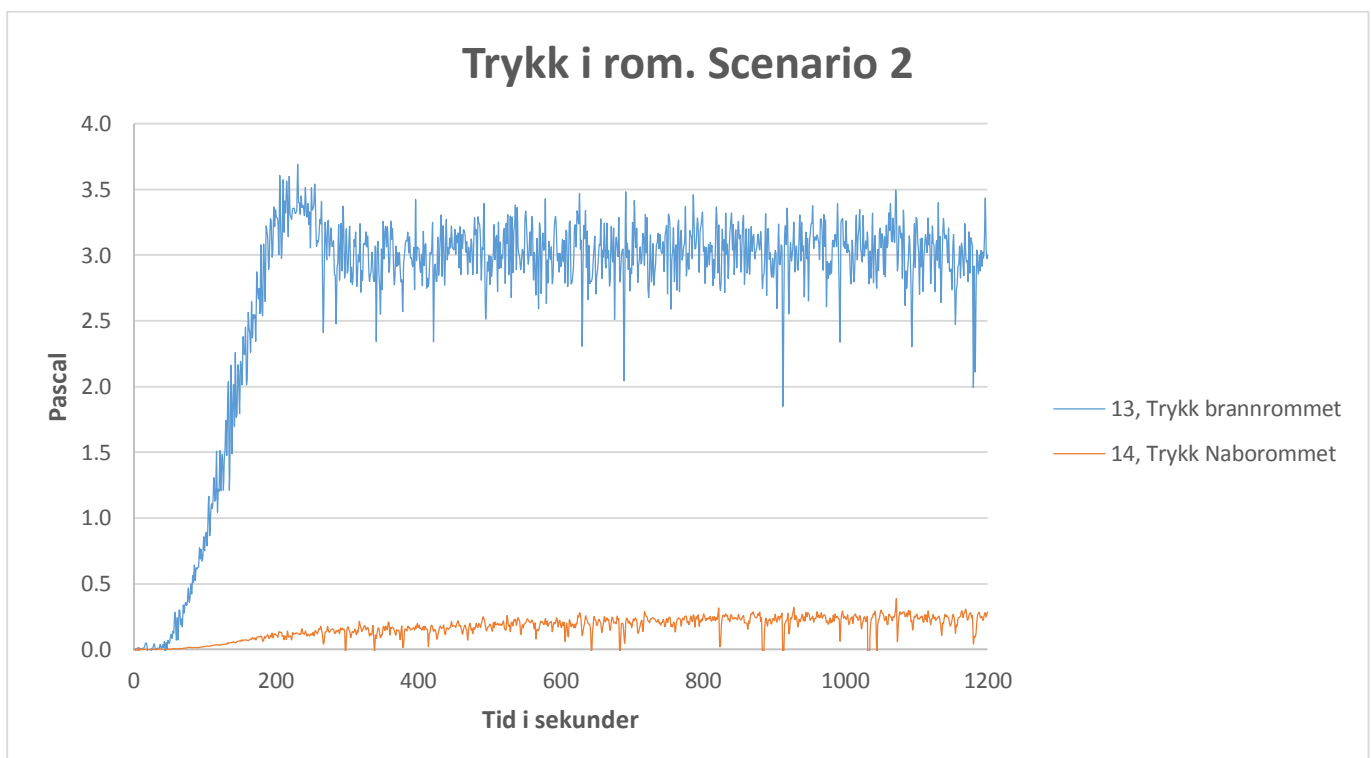


Figur 57 - Temperatur ved vinduer. Scenario 6 - 8 MW, rask vekst.

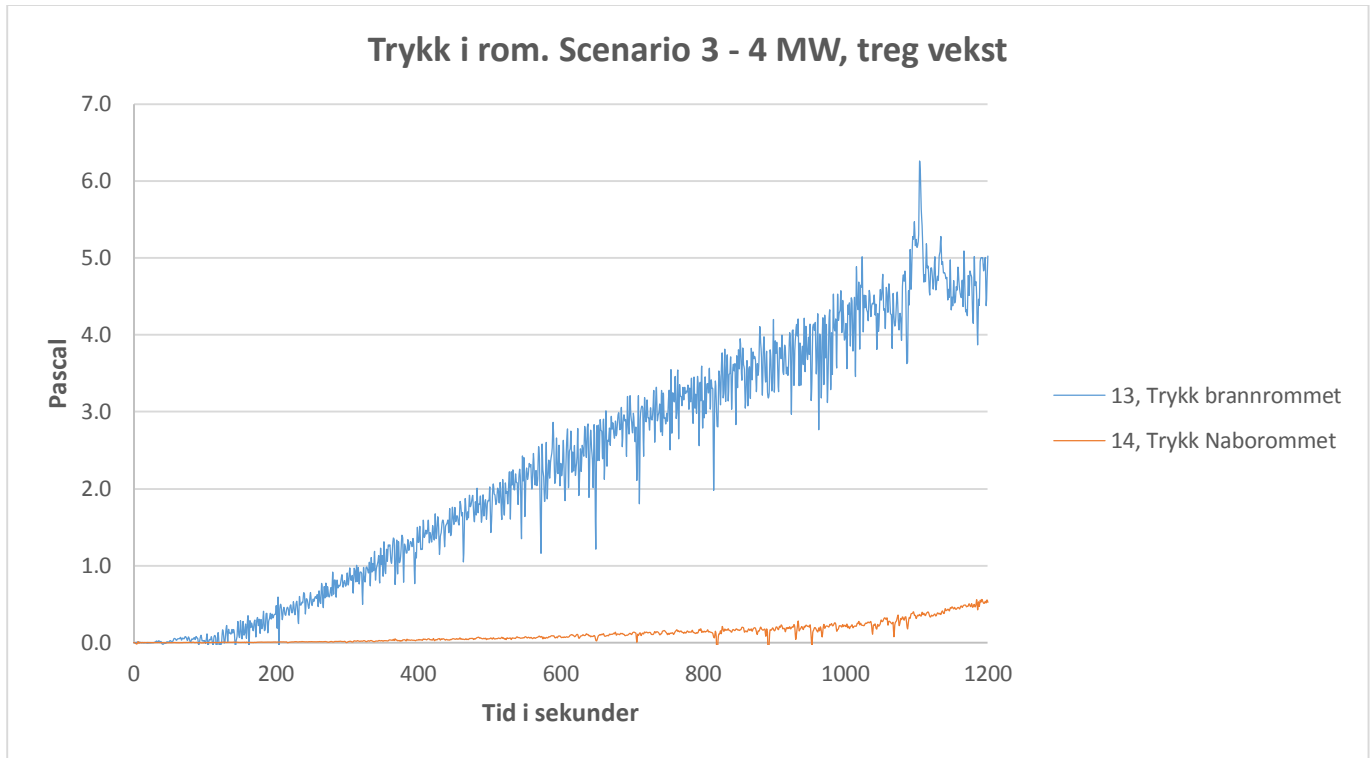
10.4 Trykk i rom



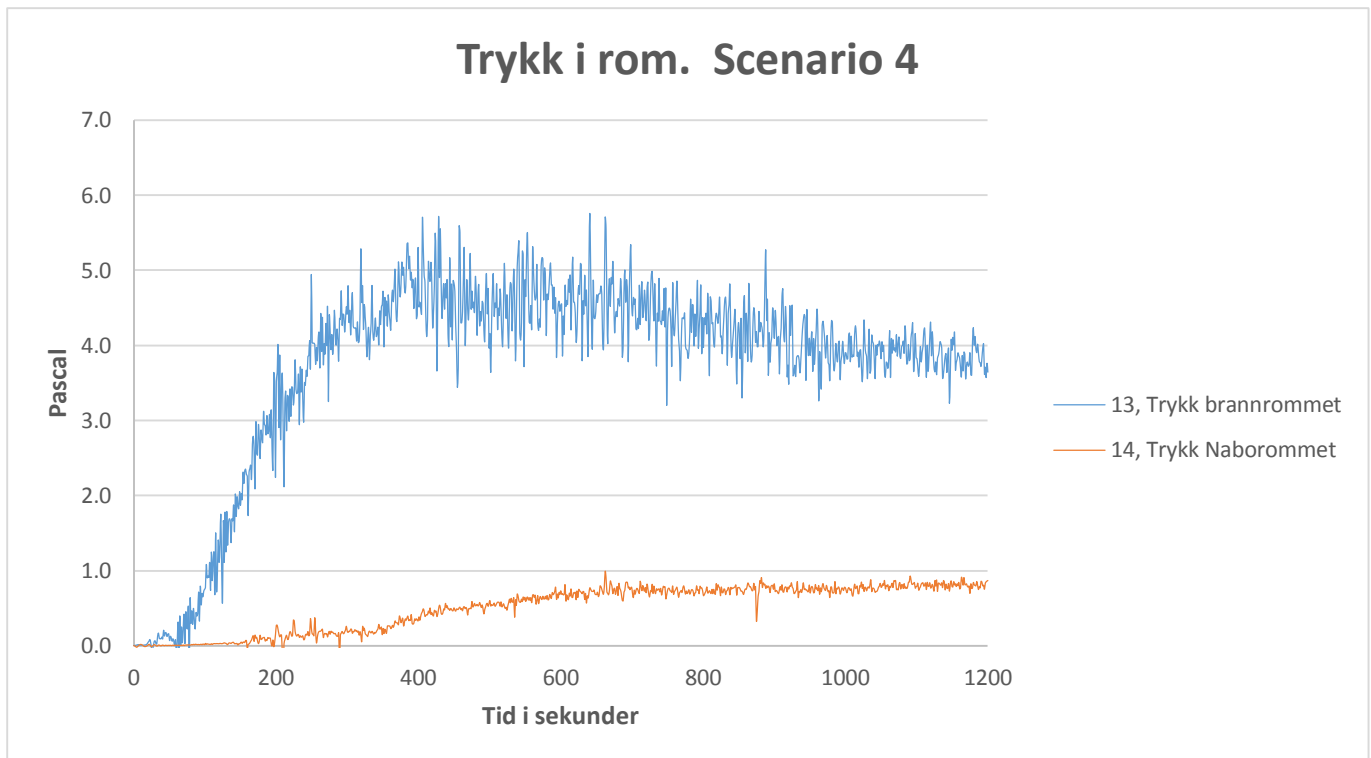
Figur 58 - Trykk i rom. Scenario 1 - 2MW, treg vekst.



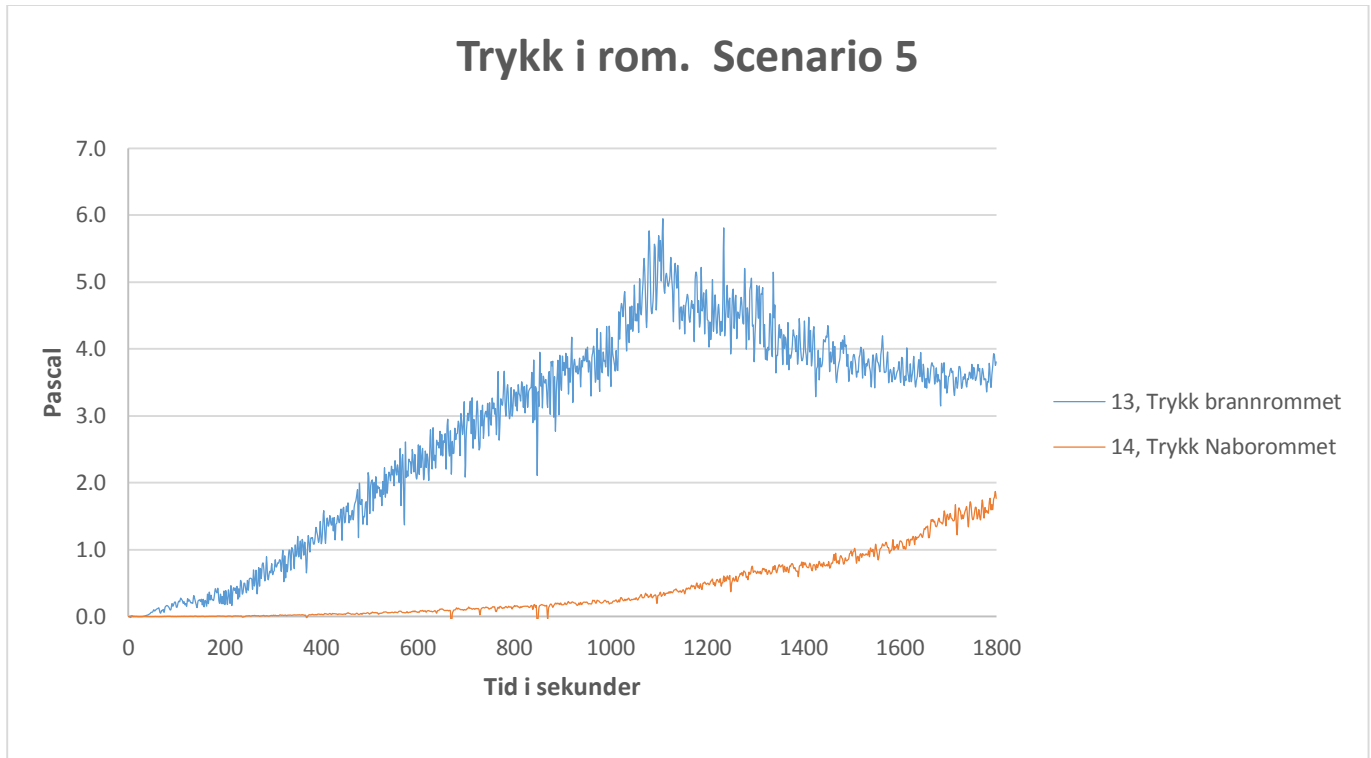
Figur 59 - Trykk i rom. Scenario 2 - 2MW, rask vekst.



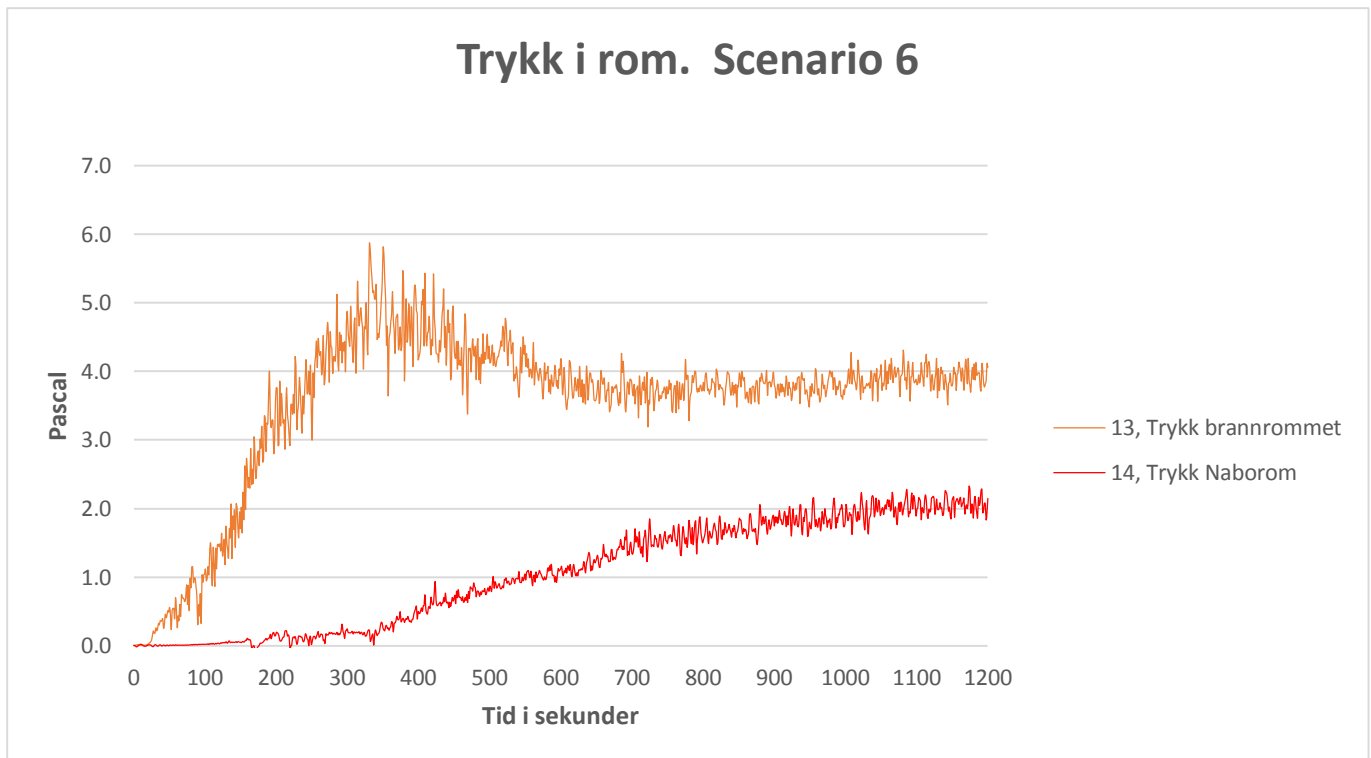
Figur 60 - Trykk i rom. Scenario 3 - 4MW, treg vekst.



Figur 61 - Trykk i rom. Scenario 4 - 4MW, rask vekst.

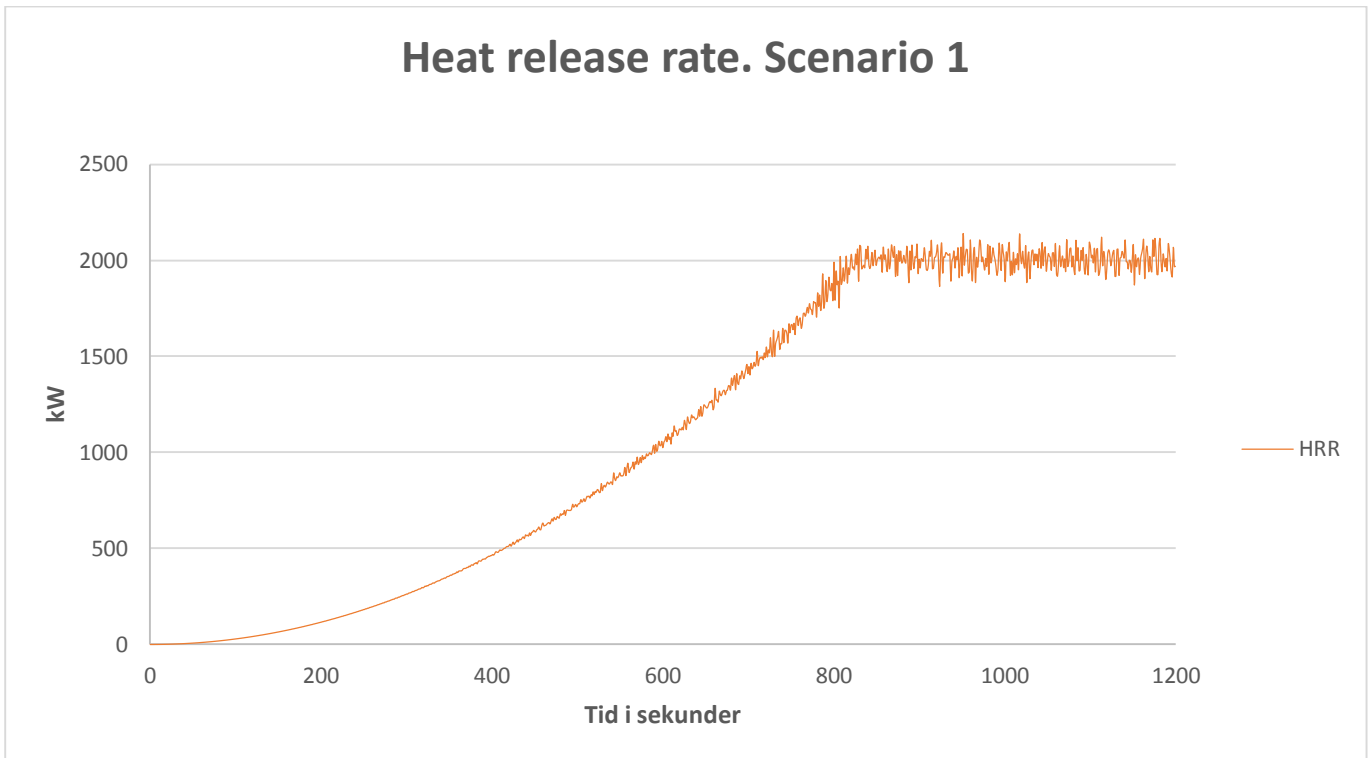


Figur 62 - Trykk i rom. Scenario 5 - 8 MW, treg vekst.

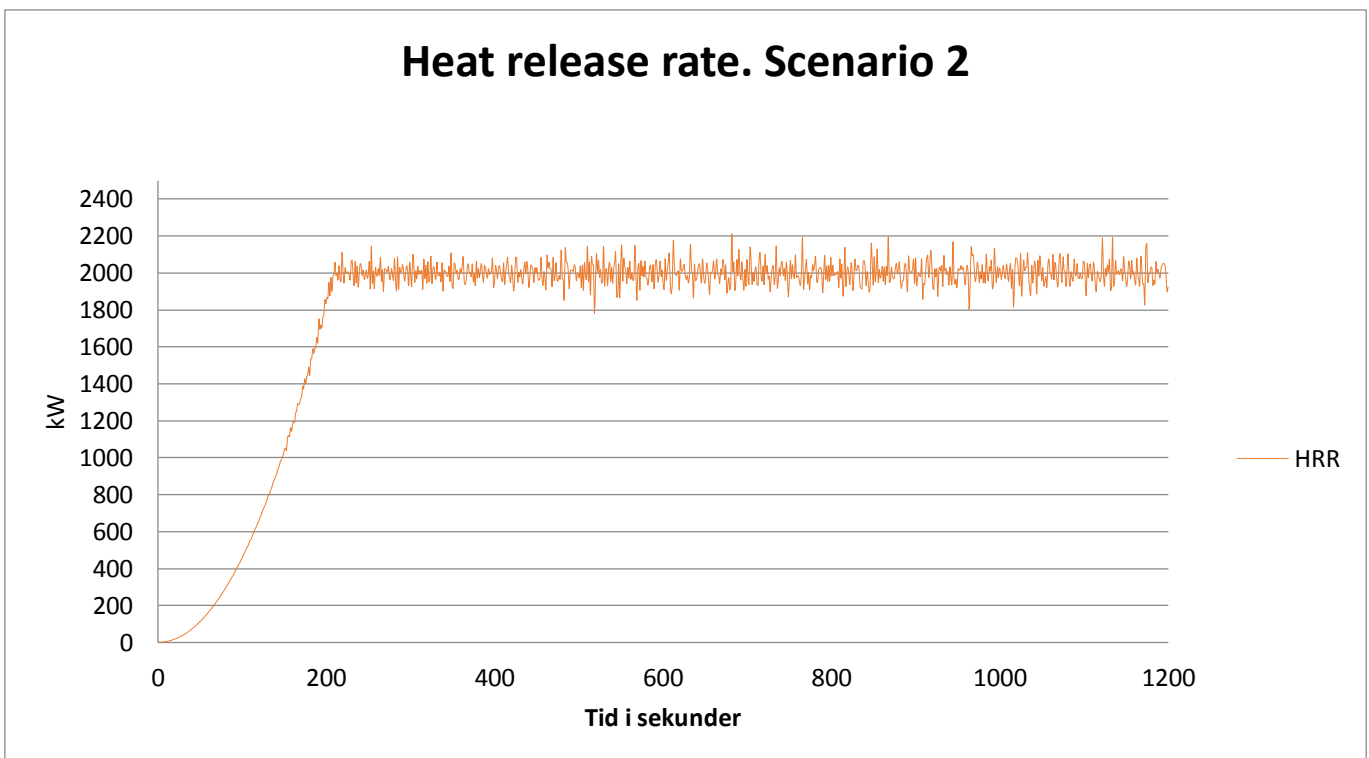


Figur 63 - Trykk i rom. Scenario 6 - 8 MW, rask vekst.

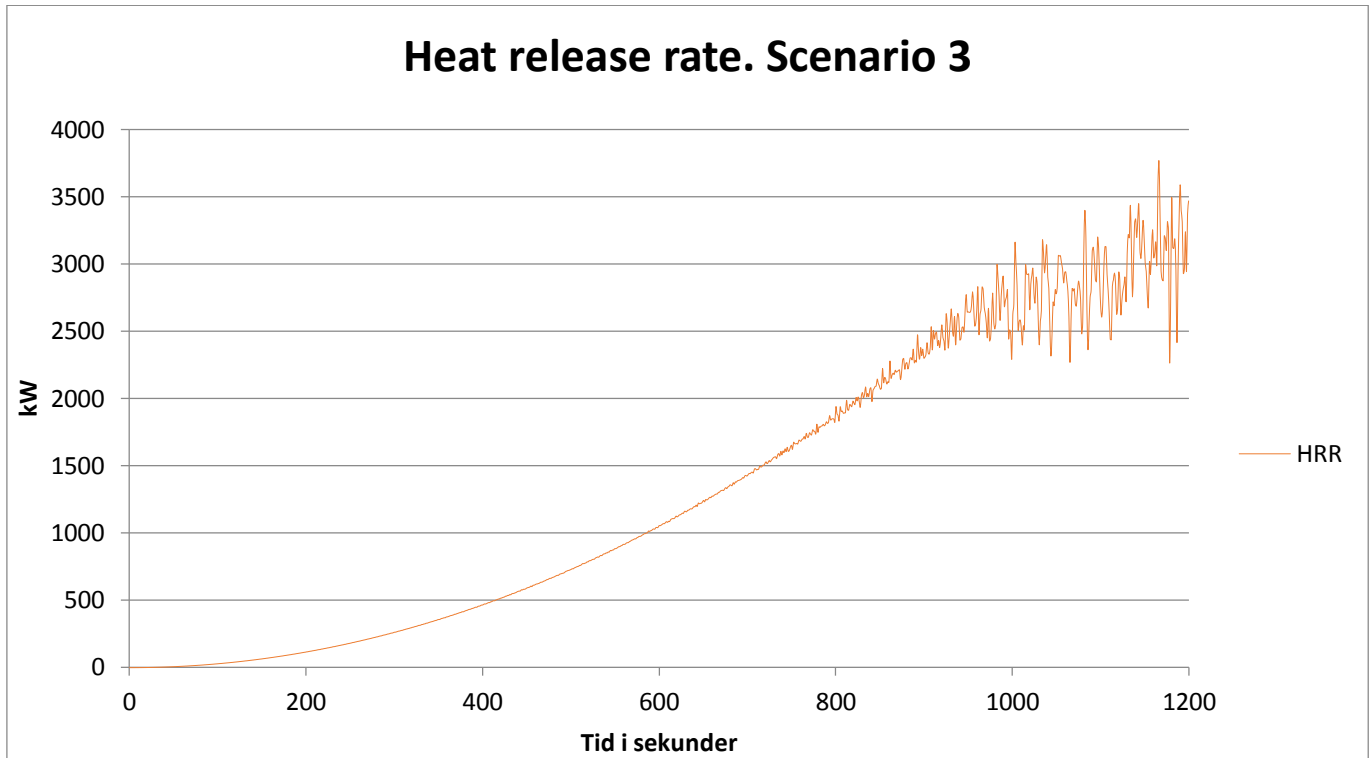
10.5 Heat release rate



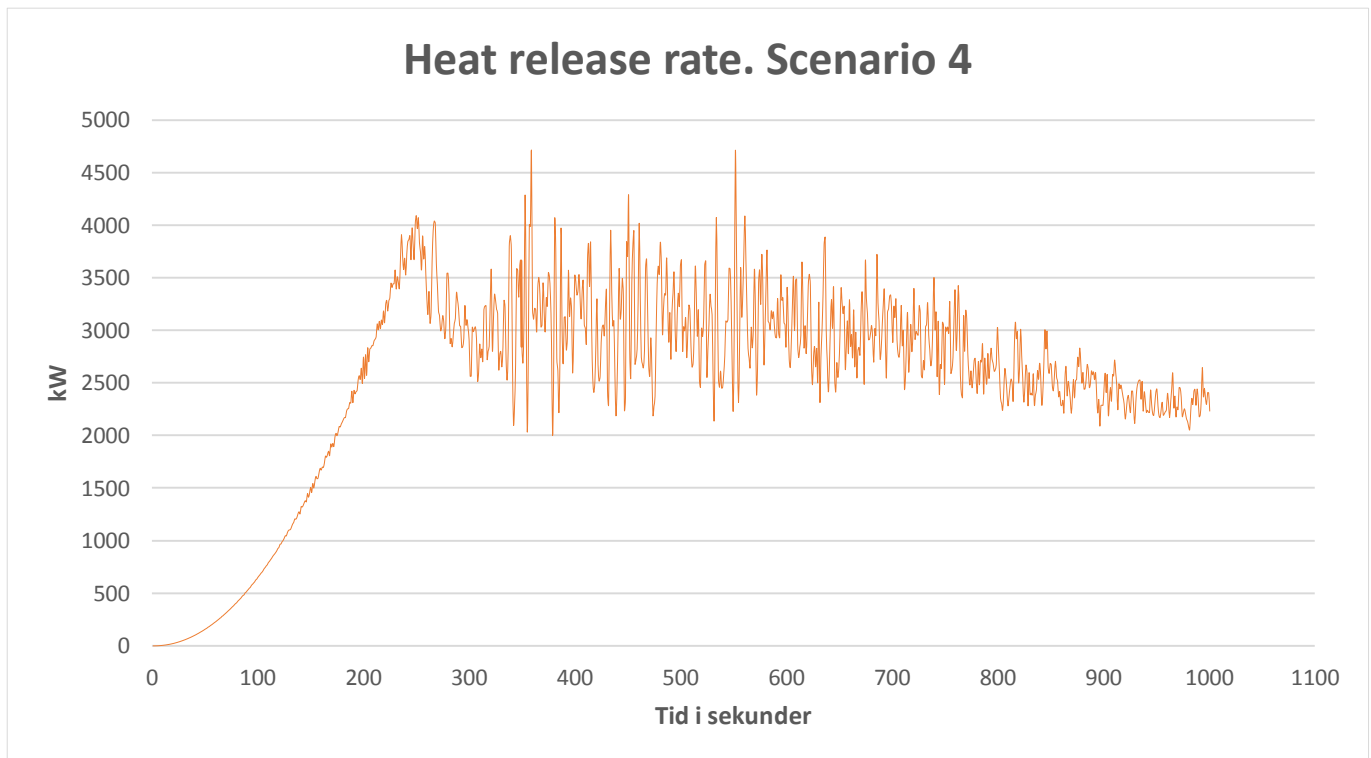
Figur 64 - Heat release rate. Scenario 1 - 2MW, treg vekst.



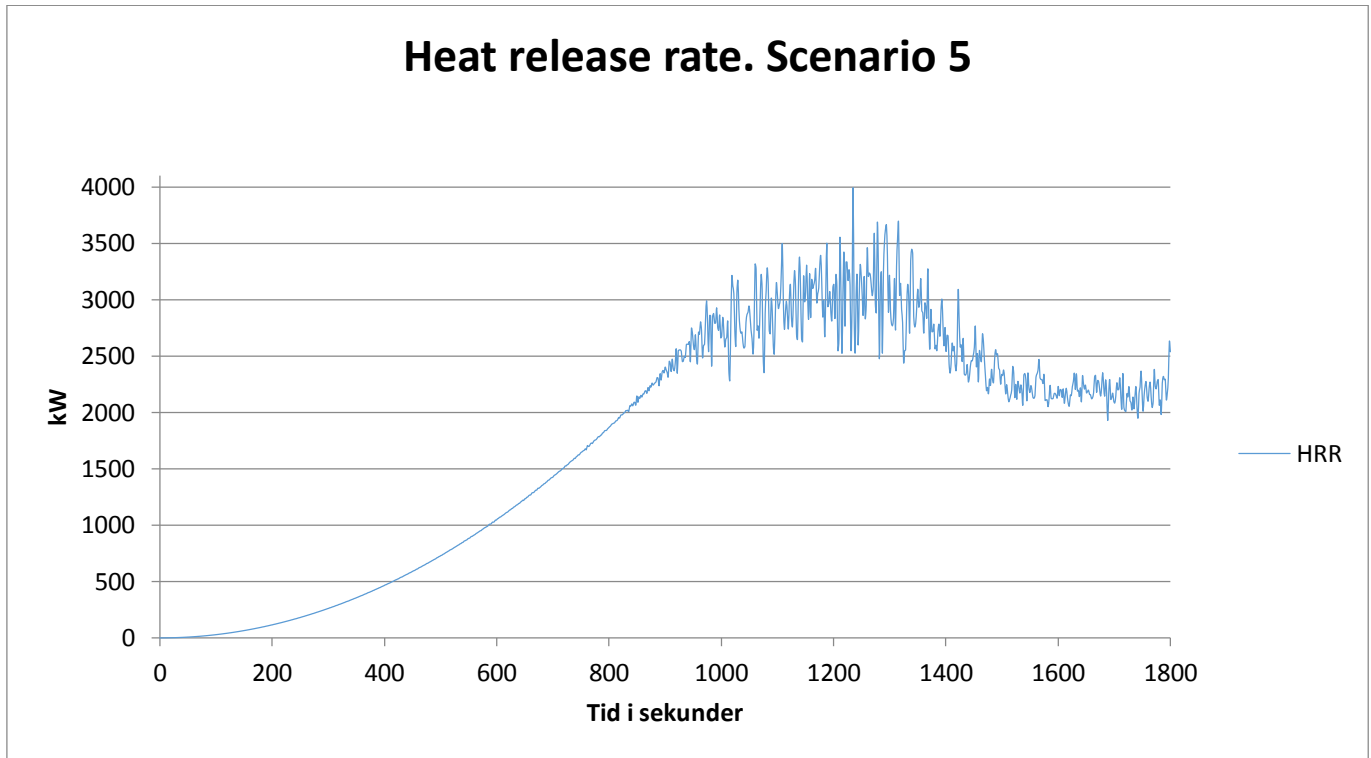
Figur 65 - Heat release rate. Scenario 2 - 2MW, rask vekst.



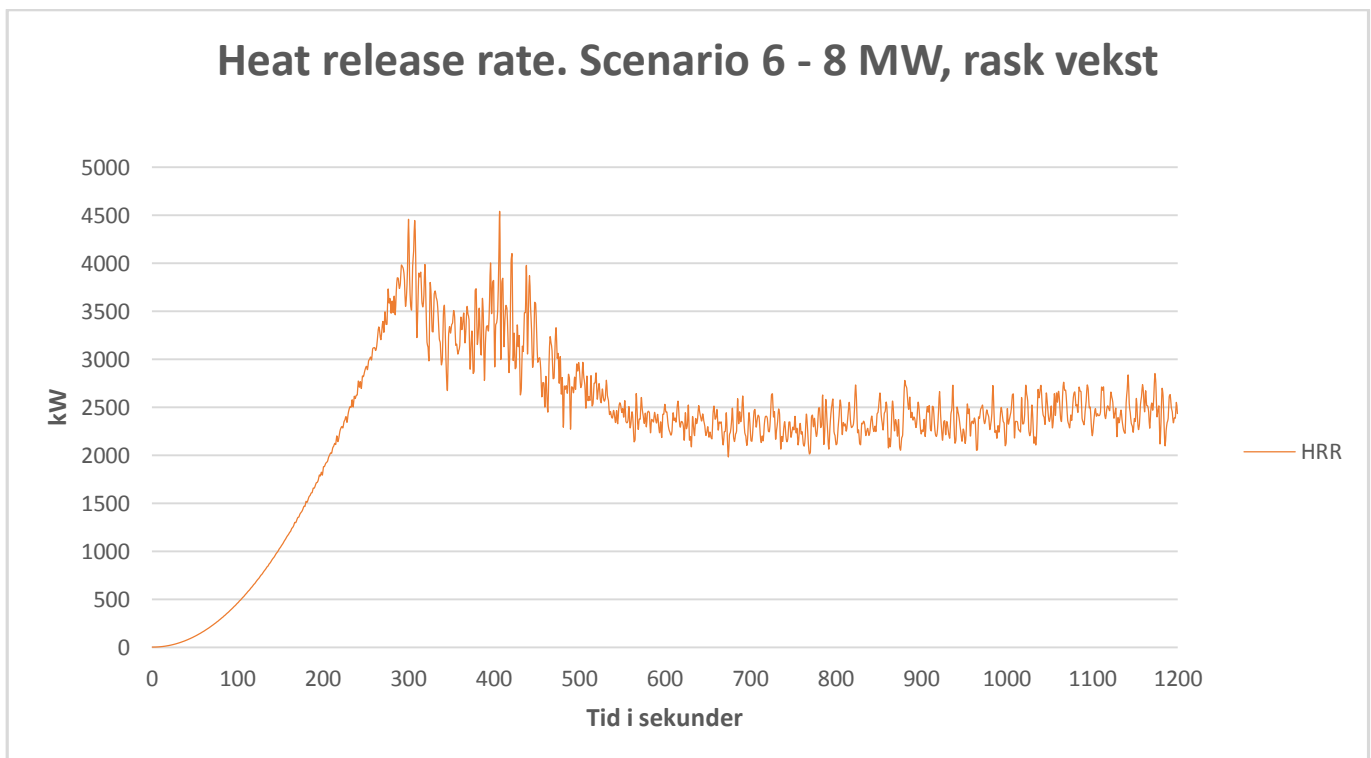
Figur 66 - Heat release rate. Scenario 3 - 4MW, treg vekst.



Figur 67 - Heat release rate. Scenario 3 - 4MW, rask vekst.



Figur 68 - Heat release rate. Scenario 5 - 8 MW, treg vekst.



Figur 69 - Heat release rate. Scenario 6 - 8 MW, rask vekst.

11 Diskusjon

11.1 Vurdering av tidligere forskrifter

11.1.1 Byggeforskriften 87, med veiledning

Denne utgaven av regelverket tar for seg spesifikke krav til brannsikring av ventilasjonsanlegg. Hvor det vises til detaljerte skisser for brannsikre kanalgjennomføringer i branncellebegrensende konstruksjoner og seksjoneringsvegger. Det beskrives at det i hovedsak må fokuseres på å forhindre utettheter rundt kanalgjennomføringer, da dette er kanalens svakeste punkt for brannspredning. De tekniske skissene angir at varmeledning i kanalgoods forhindres ved at kanalen isoleres minst 1 m ut på hver side av den branncellebegrensende konstruksjonen. Der det kun er en ventil på andre siden av vegg må kanalen isoleres 2 m ut fra vegg.

Det beskrives i forskriften av røykspredning via kanal må forhindres, men angir i liten grad direkte løsninger til hvordan denne kan utføres. Det anbefales at ventilasjonsanlegget bør være i drift under brann for å forhindre røykspredning. Men det stilles ingen krav til verken sikring av strømtilførsel, bypass forbi filtre eller temperaturbestandighet for vifte. Det beskrives heller ingen ytelser om brannsikring av ventilasjonskanalens oppheng. Uten bypass vil kan sotpartikler tette filtrene, slik at avtrekket ikke lengre vil fungere. Anlegget vil da bli trykkløst. Dersom brannen er stor nok vil den kunne resultere i et overtrykk i brannrommet. Når trykket blir stort nok vil røyken kunne spre seg til andre brannceller via kanalnettet.

Veiledningen åpner også for bruk av skumplast for isolering av kanalnett. Skumplast har svært gode varmeisolerende egenskaper, lav vekt og høy trykkfasthet. I tillegg er prisen omtrent halvparten av mineralull men skumplast er også en svært brennbar isolasjon, som også vil kunne avgi brennende dråper og svært giftige gasser. Dersom skumplasten tildekkes med et tynt lag stålplater vil dette hindre i at brennende dråper faller ned i startfasen. Da skumplasten er tildekket vil den ikke kunne avgi store bidraget til brannen i en tidligfase, men løsningen kan anses som noe uheldig i større kanalnett med høy brannenergi.

Tidligere i Norge har skumplast i hovedsak blitt benyttet i kjellergulv med overdekning, men også i andre bygningsdeler som isolasjon av ventilasjonskanaler. I dag er det ikke forskriftsmessig lov og brannbeskytte ventilasjonskanaler med skumplast. I dagens marked er det en økning i bruken av skumplast andre steder i bygget, med hovedsak i vegger/tak i lagerhaller, butikker og andre typer industri bygg, som raskt/billige kan oppføres med bruk av sandwich elementer. Dette er plater med et skall av for eksempel metall med en kjerne av skumplast. Disse har falser og kan blant annet brukes til enkelt å sette opp ferdig isolerte vegger.

Ved antennelse utvikler skumplast svært giftige gasser, mange sammensetninger har også like høy brannenergi som fyringsolje. Med hensyn på brannsikkerheten bør benyttelse av skumplast dermed utføres med varsomhet.

11.1.2 TEK og VTEK 1997-1999:

Sammenlignet med tidligere regelverk er beskrivelsene av ytelseskravene noe mer. Dette gir bedre grunnlag for prosjekterende. Det savnes beskrivelse av om krav til hvordan anlegget skal driftes under brann. Regelverk anbefaler at uttrekket går som normalt, men dette er ikke et særskilt krav.

At det også nå stilles krav til oppheng av kanalnett anses som positivt. Veiledningen angir strengere krav til kanalgjennomføring i seksjoneringsvegger, hvor kun brannisolering av kanal ikke lengre er tilstrekkelig.

11.1.3 TEK og VTEK 2003 og 2007

TEK og VTEK 2003 og 2007 angir identiske krav for brannsikring av ventilasjonsanlegg. Sammenlignet med tidligere regelverk (97-99) tar disse utgavene for seg en mer generell fremstilling for brannsikring av ventilasjonsanlegg. Der det kun angis overordnede funksjonskrav som må tilfredsstilles. Da bortsett fra gjennomføringen i seksjoneringsvegg beskrives det ikke hvordan disse kravene faktisk kan ivaretas.

Det angis ikke hvordan varmeledning i kanalgoods eller røykspredning i kanalnett kan forhindres.

Det angis spesifikke krav for brannsikring av kjøkkenavtrekk i boenheter(leilighetsbygg), storkjøkken og småhus. Da disse er særskilt utsatt for brann med tanke på fettansamlinger i avtrekkskanaler.

For resterende deler av ventilasjonsanlegget og gjennomføringer i brannskiller angis det ingen tydelige krav, foruten om at ventilasjonsanlegget må utføres i ubrennbare materialer.

11.1.4 TEK og VTEK 2010

Sammenlignet med tidligere regelverk tar TEK for seg en svært mer generalisert fremstilling for brannsikring av ventilasjonsanlegg. Noe mer utdypet fra 2007-utgaven, men fortsatt mager sammenlignet med utgaven fra 1999. Det angis spesifikke krav for brannsikring av kjøkkenavtrekk i boenheter(leilighetsbygg), storkjøkken og småhus. Da disse er særskilt utsatt for brann med tanke på fettansamlinger i avtrekkskanaler. For resterende deler av ventilasjonsanlegget og gjennomføringer i brannskiller angis det ingen tydelige krav, foruten om at ventilasjonsanlegget må utføres i ubrennbare materialer.

Det beskrives verken nødvendige tiltak som sikrer utettheter rundt kanalgjennomføringer, varmeledning i kanalgoods, Røykspredning via kanal, samt brannsikring av ventilasjonskanalens oppheng.

11.1.5 Sammenligning av tidligere forskrifter oppimot dagens regelverk

Forskrift	Ytelseskrav: Forhindre utettheter mellom kanal og bygningsdel	Ytelseskrav: Forhindre brannspredning på grunn av varmeledning.	Ytelseskrav: Forhindring av brann og røykspredning via kanal	Ytelseskrav: til brannsikert oppheng av ventilasjonskanal
Byggeforskrift 87 med veiledning	Angir detaljerte skisser for sikker utførelse.	Ja. Angir detaljerte skisser for sikker utførelse. Baserer seg i hovedsak på brannisolering 1 m ut til hver side av kanal.	Angir ingen særskilte krav. Anbefaler at anlegget er i drift under brann for uttrekk av røykgasser. Ingen krav til sikker strømtilførsel	Angir ingen særskilte krav
TEK Med veiledning 97-99.	Angir detaljerte skisser og spesifikke krav	Ja. Angir detaljerte skisser for sikker utførelse. Baserer seg i hovedsak på brannisolering 1 m ut til hver side av kanal.	Anbefaler at anlegget er i drift under brann for uttrekk av røykgasser. Angir krav til sikker strømtilførsel dersom anlegget skal være i drift.	Oppheng skal ha samme brannmotstand som kanalen.
TEK Med veiledning 2003	Veiledningen angir at gjennomføringen ikke skal svekke konstruksjonenes brannmotstand. Det henvises ikke til noen preaksepterte løsninger	Veiledningen angir at gjennomføringen ikke skal svekke konstruksjonenes brannmotstand. Det henvises ikke til noen preaksepterte løsninger	Angir ingen krav eller anbefalinger	Angir at kanal skal festet slik at de ikke faller ned og bidrar til økt fare for brann- og røykspredning. Det henvises ikke til noen preaksepterte løsninger
TEK Med veiledning 2007	Veiledningen angir at gjennomføringen ikke skal svekke konstruksjonenes brannmotstand. Det henvises ikke til noen preaksepterte løsninger	Veiledningen angir at gjennomføringen ikke skal svekke konstruksjonenes brannmotstand. Det henvises ikke til noen	Angir ingen krav eller anbefalinger	Angir at kanal skal festet slik at de ikke faller ned og bidrar til økt fare for brann- og røykspredning. Det henvises ikke til noen

		preaksepterte løsninger		preaksepterte løsninger
TEK 10 med veiledning	Ventilasjonsanlegg må utføres slik at det ikke bidrar til brann- og røykspredning i selve kanalnettet eller på grunn av utettheter på utsiden av kanal i selve gjennomføringen. Det henvises ikke til noen preaksepterte løsninger	Ventilasjonsanlegg må utføres slik at de ikke bidrar til brannspredning på grunn av varmeledning i kanalgodset. Det henvises ikke til noen preaksepterte løsninger	Angir ingen krav eller anbefalinger	kanal skal festet slik at de ikke faller ned og bidrar til økt fare for brann- og røykspredning. Det henvises ikke til noen preaksepterte løsninger

Tabell 4 - Sammenligning av regelverk. - Branntekniske krav til ventilasjonsanlegg

11.2 Vurdering av strategier – Veileder for brannsikker ventilasjon

Som angitt i kapittel 6 beskriver veilederen 3 forskjellige måter og brannsikre ventilasjonsanlegg på [8]:

1. Trekk ut
2. Steng inne
3. Blandingsløsning av metode 1 og 2.

11.2.1 Trekk ut - metode 1

Ventilasjonsanlegget utføres slik at det ved brann fortsetter å gå ved trekk ut strategi. Dette betinger at strømtilførselen til ventilasjonsaggregatet må sikres i den tiden spredning av brann- og røykgasser skal forhindres.

All form for omluft mellom brannceller stanses. Avslått ventilasjon slås på ved brann. Avtrekksystem må beskyttes mot innvendig varm røyk som føres ut, styrt av kanaler, røykmotstand og eventuelt røykkontrollspjeld.

For å unngå at filtre går tette etterhvert som brannen utvikler seg, må avtrekket ha et bypass-kammer som sikrer at luften kan trekkes forbi filtre og gjenvinner i den tiden som er nødvendig (30/60 minutter). Dette medfører også at til stiller krav til brannsikker strømforsyning / nødstrøm.

Benyttelse av trekk ut metoden skal hele kanalen isoleres i sin helhet. Det må også være brannsikkert oppheng av kanal, samt at uttrekksvifte må ha tilstrekkelig motstandsevne for høye temperaturer. Denne metoden vil medføre at det trekkes store mengder med varme røykgasser, sot og aske gjennom kanalnettet.

Ved en stor brann vil kanalen i seg selv oppnå meget høye temperaturer. Dersom kanalen ikke er isolert kan dette bidra til at materialer på motsatt side av en branncellebegrensende konstruksjon antennes av stråling og varmeledning fra kanalgodset. Ved denne metoden er det

dermed satt krav til at kanalgodset skal isoleres i sin helhet. Tykkelsen på isolasjonslaget varierer, ofte benyttes det et isolasjonslag på rundt 60-80 mm.

11.2.2 Steng inne - metode 2

Ventilasjonsanlegget utføres med spjeld i alle gjennomføringer i branncellebegrensende konstruksjoner, slik at brann og røyk lukkes inne i startbranncellen. Ventilasjon stanses.

Brannspjeldet bryter kanalen i selve skillet slik at varmeledning via godset forhindres. Spjeld skal ha samme brannmotstand som det brannskillet den står i. EI klassifiserte spjeld krever ikke isolert kanal, men E spjeld krever som regel del-isolasjon. Det stilles heller ikke krav til nødstrøm, bypass, røykkontrollspjeld eller at uttrekksvifte skal dimensjoneres for høye temperaturer. Dersom det benyttes motoriserte brannspjeld må disse midlertidig ha sikker strømtilførsel/ Nødstrøm.

11.2.2.1 Motorisert:

Dersom det benyttes motoriserte spjeld skal det i hovedsak ikke være mulighet for verken brann eller røykspredning via kanalnettet. Spjeld kan styres automatisk via SD-anlegg og brannalarmanlegg, noe som krever mye programmering. Ved detektert brann lukkes spjeldet å tetter kanalen i sin helhet.

Motoriserte spjeld gir høy sikkerhet, men medfører også en høy kostnad. Motoriserte spjeld har strenge krav til vedlikehold og testing som angis av leverandør.

Se Figur 70 for eksempler på motoriserte-brannspjeld.



Figur 70 - Eksempel på brannspjeld Spiro og kvadratisk. Spjeld fra Micro Matic [27, 28].

11.2.2.2 Smeltespjeld

Smeltespjeld har en enklere utforming og gir ikke et like høyt sikkerhetsnivå, men er på en annen side langt rimeligere. Disse spjeldene stenges vha. en termisk sikring (smeltesikring). Smeltesikring utløses ofte ved temperaturer mellom 72 °C og 95 °C (for bruk i varmluftsventilasjon). Inntil spjeldet lukkes vil forholdene tillate spredning av kaldrøyk i kanalnettet. Se Figur 71.



Figur 71 - Brannspjeld med smeltesikring. Fra TROX Auranor Norge AS [47]

Selv om røyken er kald vil den fortsatt kunne ha stor innvirkning på personsikkerheten. Innånding av denne røyken vil fortsatt kunne være livsfarlig. Kald røyk blander seg lett med den øvrige luften, og dersom lekkasjen er stor nok vil det kunne forringe rømningsforholdene i form av redusert sikt. Bruk av smeltespjeld bør derfor ikke benyttes i skiller mot rømningsvei eller andre rom med høy personbelastning. Smeltespjeld vil hindre brannspredning og bør kun brukes i brannskiller til rom hvor spredning av kaldrøyk kan anses som ukritisk, f.eks. mellom tekniske rom, lagre og andre rom ment for sporadisk personopphold. Dette må imidlertid vurderes av den ansvarlig prosjekterende.

11.3 Brannspredning via varmeledning i gods

Utførte simuleringer viser at det å fullisolere en kanal er en foretrukket løsning for å forhindre varmeledning i selve kanalgodset. Ved delvis isolering (1 m ut på hver side av gjennomføringen av vegg) ble temperaturen på isolasjonens overflate inntil vegg beregnet til omtrent 240 °C og i underkant av 30 °C. Dette vil ikke være tilstrekkelige temperaturer til å forårsake spontantanttenning i f.eks. trebaserte overflater og kledninger. Disse temperaturene er beregnet ved stasjonære forhold, det vil si at det har vært en konstant temperatur, 945 °C på den varme siden i så lang tid at varmefordelingen har stabilisert seg. For å oppnå stasjonære forhold i et virkelig forsøk med samme grenseverdier, vil det med stor sannsynlighet vil ta mye lengre tid enn 60 minutter.

Ved scenario 1, hvor kanal ikke var påført noen isolasjon, ble overflatetemperaturen beregnet til over 400 °C. Dette vil være tilstrekkelig temperatur til å antenne brennbart materiale som er nærmere innenfor en avstand på 250 mm. Treverk vil eksempelvis selvantenne ved omtrent 350-450 °C. Det vil si at gassene som er i kontakt med luft vil antennes uten tilstedeværelse av flammer.

11.4 Brannspredning via varme røykgasser i kanalnett.

Beregninger med høy forenklingsgrad vil alltid medføre en høyere grad av usikkerheter i beregningene. Dette vil si at det alltid vil være variasjoner sammenlignet med et reelt brannscenario. Beregninger av blandingstemperatur i kanal er også utført på forenklet grunnlag.

Noen av usikkerhetsmomentene i utført beregning er følgende:

- Beregningene tar utgangspunkt i det er konstante luftmengde som gjøres gjennom kanal.
- Beregningene tar utgangspunkt i at luften blander seg momentant med den varme røykgassen.
- Det tas ikke hensyn til trykkøkningen i brannrommet og kanal.
- Dersom trykkøkningen i brannrommet blir stor nok vil en større andel av varme røykgasser presse seg inn i kanal. Dette vil føre til at blandingstemperaturen i kanal stige, på bakgrunn av at andel romtemperert luft vil reduseres betraktelig.
- Beregningene tar ikke hensyn til oppvarming av kanalgoods.

I kapittel 8.2 ble kanalens utvendige overflatetemperatur er beregnet til 344,64 °C.

Brannspredning fra kanal kan skje på 2 måter. Enten direkte varmeledning via omkringliggende materialer som står i direkte kontakt med kanal. Eller ved varmestraling fra selve kanalen.

11.4.1 Varmeledning:

Dersom en sammenligner denne temperaturen med forskjellige materialers selvantennelsestemperatur vil en kunne estimere faren for brannspredning til naborommet:

Treverk - eksempelvis tre-panel [16]:

- Flammepunkt ved omtrent 230-260 °C. Forbrenningen kan ikke holde seg selv i gang ved denne temperaturen.
- Brennpunkt ved omtrent 260-290 °C. Brennpunktet, det vil si at gasser har fått en sammensetning og temperatur som medfører forbrenning med varmeoverskudd.
- Selvantennelse ved omtrent 350-450 °C, det vil si at gassene som er i kontakt med luft, vil antennes uten tilstedeværelse av flammer.

Tre/ papir basert - Kledning (eksempelvis tapet)

- Brennpunkt omtrent 175-225 °C

Dersom en tar betraktning i beregningenes usikkerhetsfaktorer kan det antas at ventilasjonskanalens overflate oppnår 350 °C. Dette vil si at det vil være fare for at nærliggende materialer av tre vil kunne selvantenne. I skille nærmest brannrommet vil temperaturen være høyere der luftmengdene ikke har fått blandet seg. Det vil også her være fare for brannspredning dersom kanal ikke er tilstrekkelig isolert.

11.4.2 Stråling til underliggende møblement

I kapittel 8.2.4 ble det beregnet stråling fra kanalens underside til et punkt/møblement 1 m over gulv, 1,6 m under kanal. Strålingen til et punkt i møblement under kanal tilsvarer 1,82 kW. I henhold til [16] vil treverk kunne spontant antenne ved 28 kW stråling. En strålingsintensitet på under 2 kW er langt unna kritisk strålingsverdi. Faren for spontanantennelse fra kanal anses som liten.

Det ble også beregnet stråling fra kanalgjennomføring og til omkringliggende kledning/materiale med avstand på 10, 15 og 25 cm fra kanal (Scenario 1-3).

Der følgende resultater ble:

Scenario 1:

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{rad} * F(d1 - 2) = 4,39 * 0,1228 = 0,539 \text{ kW}.$$

Scenario 2:

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{rad} * F(d1 - 2) = 4,39 * 0,1547 = 0,679 \text{ kW}.$$

Scenario 3:

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{rad} * F(d1 - 2) = 4,39 * 0,1957 = 0,859 \text{ kW}.$$

Denne strålingen er såpass lav at den ikke vil medføre noen risiko for brannspredning. Til sammenligning angir [19] 5 kW/m² som akseptkriterium for maksimal stråling på personer i en evakuerings situasjon

11.5 Vurdering av resultater fra brannteknisk simulering

11.5.1 Temperatur i kanaler

Temperaturutviklingen ventilasjonskanalene er gitt i Figur 40 - Figur 45. Samtlige av målingene temperatur i avtrekkskanal følger samme trend og vil derfor kommenteres under ett. 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 vinduer knuser. Høyeste målte temperatur i avtrekkskanalen er omtrent 150 °C. Dette vil ikke være kritisk med tanke på brannspredning til nabobranncelle. Spredningsfaren via avtrekkskanalen vurderes dermed til å være liten.

Tilluftskanalen har en mer varierende temperatur. I scenario 1 og 2 (Figur 40 og Figur 41) er temperaturøkningen i tilluftskanalen svært liten. Etter hvert som brannens effekt øker, øker også temperatur i tilluftskanalen.

Det oppnås høyere temperatur i scenario 3-6. Her knuser vinduene i brannrommet på grunn av at temperaturene nær vindu overstiger 350 °C. Vindu ligger nær tilluftskanalen. Da brannen i scenario 3-6 er ventilasjonskontrollert (mangel på oksygen) vil det oppstå flammer ved vinduet. Her er det størst tilførsel av friskluft. Overliggende tilluftskanal blir dermed utsatt for direkte påkjenning av disse flammene. Dermed oppnår disse målingene høye temperaturer.

Høyeste målte temperatur i tilluft er følgende:

- Scenario 1 – 40 °C
- Scenario 2 – 40 °C
- Scenario 3 – 100 °C
- Scenario 4 – 240 °C
- Scenario 5 – 270 °C
- Scenario 6 – 320 °C

I Figur 40 - Figur 45. Er det grafen som viser temperatur midt i veggens gjennomføring (punkt 8 og 11, X=10) som viser om det er fare for brannspredning eller ikke.

Tabell 5 viser høyeste oppnådde temperatur ved gjennomføring i kanal for inn- og utluft.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
8. Temp inn, X= 10	35 °C	35 °C	75 °C	200 °C	230 °C	230 °C
11. Temp ut, X= 10	75 °C	75 °C	100 °C	110 °C	110 °C	110 °C

Tabell 5 - Maks oppnådde temperatur midt i gjennomføring. Målte punkt 8 og 11 i figur 32-37

Som Tabell 5 viser er høyeste oppnådde blandingstemperatur midt i gjennomføring 230 °C.

11.5.2 Temperatur i rom

Beregnete temperaturer i rom angis i Figur 46 – Figur 51. For samtlige av simuleringene er det registrert små eller ingen temperaturendringer ved målerplassering i naborommet. I selve brannrommet ble det registrert temperaturøkninger på omtrent 330 – 650 °C avhengig av brannvekstraten. Scenariene med rask brannvekstrate oppnådde de høyeste temperaturene.

For scenariene med lav brannvekstrate oppnås det en jevnere temperaturøkning i brannrommet før makstemperaturen nås mot slutten av simuleringen. For scenario 1 (Figur 46) øker temperaturen inntil 200-250 °C. Her blir temperaturen liggende, med et lite unntak der det registreres en liten topp på opp mot 300 °C til simuleringen avsluttes. Denne toppen skyldes trolig at tilgangen på oksygen i et lite øyeblikk blir bedre.

For scenario 3 er det registrert en tilnærmet lineær temperaturvekst med noen raske temperaturvariasjoner, som skyldes at brannen styres av tilgangen på oksygen. Det nås en rask temperaturtopp i underkant på omtrent 680 °C i et lite intervall. Dette samstemmer med når vindu i brannrommet sprekker og tilgangen på oksygen blir vesentlig forbedret. Deretter synker temperaturen raskt ned mot 350 °C, da tilgangen på oksygen fremdeles er for dårlig.

Scenario 5 har en vesentlig tregere, men også tilnærmet lineær brannvekst. Inntil maksimumstemperatur på omtrent 680 °C nås. Dette inntreffer i samme tidsrom som når temperatur ved vinduer i brannrom når 340 °C og knuses. Deretter faller temperaturen gradvis inntil den flater ut mot 100 °C. I dette scenariet registreres det og en temperaturøkning i naborommet på 60-80 °C. Temperaturendringen her kommer hovedsakelig fra varmluft i ventilasjonskanalene.

I scenariene med rask brannvekst (scenario 2,4 og 6) nås en maksimumstemperatur i underkant av 700 °C. Makstemperaturen oppnås vesentlig raskere sammenlignet med scenarioene med treg brannvekstrate. Deretter avtar temperaturen rask og stabiliserer seg med mindre topper. Den pulserende temperaturendringen skyldes trolig at tilgangen på oksygen er ujevn. Dette antyder at brannen er kommet i en ventilasjonskontrollert fase.

11.5.3 Temperatur ved vinduer

Vinduene er i samtlige scenarier angitt med integritetssvikt, slik at disse blir helt åpne når nærliggende sensor når en temperatur på 340 °C. Da anses hele arealet av vindusfeltet som en åpen flate med tilgang på friskluft for brannen.

I scenariene med 2 MW brann (både treg og rask brannvekst) oppnås det ikke temperaturer ved vinduene som medfører svikt i vinduenes integritet.

For de øvrige scenariene (Figur 54-Figur 57) registreres det temperaturer som overstiger 340 °C med det påfølgende resultat at vindusflaten «knuses» og blir en kilde til oksygen for brannen og påfølgende utvikling. Som for temperaturen i brannrommet registreres det en meget rask temperaturutvikling i det vindusfeltet blir åpnet. Dette skyldes i stor grad at uforbrente branngasser i brannrommet får bedre tilgang på oksygen. Dette stabiliserer seg imidlertid raskt inne i rommet og det er kun i vindusåpningen at temperaturen forblir høy. Ved å sammenligne oppnådde temperaturer i rom og ved vindusåpningene for de ulike scenariene, kan en se at det er i vindusåpningene at temperaturen holder seg høyest gjennom brannforløpet.

11.5.4 Trykk i rom

Trykkforskjeller skaper sirkulasjon av luft/gasser. Strømningseffekter øker i takt med trykkforskjellen. Store trykkforskjeller vil dermed kunne skape en sterk strømningseffekt. Trykk i brannrommet og tilstøtende rom blir ofte ikke ansett som en kritisk faktor i forbindelse med vurdering av rømningsforhold. Trykkforskjeller vil ha stor betydning på røykspredning i bygget. En stor forskjell vil medføre en sterkere strømningseffekt.

I 1999 ble det gjennomført fullskala-tester [18] for å undersøke trykkoppbygningens innvirkning i et brannforeløp. Forsøkene ble utført med to typer mekanisk ventilasjonssystemer, der:

Et anlegg kun hadde avtrekk og anlegg nr. 2 hadde både tilluft og avvtrekk. Forsøkene konkluderte med at faktorene som påvirker spredning av røyk og varme gasser til tilstøtende rom var:

- Varmeavgivelsesrate.
- Lekkasjeareal i rom
- Utforming av ventilasjonssystemet.

Ventilasjonssystem som kun har avtrekk utgjorde liten risiko for røykspredning til naborom via kanalnett. Risikoen for røykspredning var derimot stor når de både var tilluft og avtrekk. Det ble også utført tester hvor anlegget ble skrudd av. Dette var det scenarioet som ga mest røykspredning.

Trykkoppbygging i hver av de forskjellige scenarioene følger varmeavgivelsesraten til de samme scenariet. Da trykkoppbyggingen er tilnærmet like stor i alle scenarioene velges det å kommentere trykkøkningen for alle scenarioene i en samlet vurdering. I simuleringene starter

trykkøkningen snart brannen begynner å vokse. På det meste registreres et overtrykk på omtrent 6 Pa, se Figur 58-Figur 63. Dette er en neglisjerbar trykkøkning.

I følge Lars Jensen [50] er det realistisk med en trykkoppbygging på i et brannforeløp "noen tusen Pa". I forsøket utført av «Hägglund og Werling [18] » ble det registrert en trykkøkning på rundt 300 Pa. Ut fra dette kan det vurderes til at trykkoppbygningene som ble registrert i utført simuleringer er langt under realistisk nivå. Lav trykkoppbygging i modellen kan skyldes at det er åpninger (til det fri) for kanal inn og ut. Dette vil bidra til å balansere trykkoppbygningen. Alternativt kan det være feil i modellen.

11.5.5 Heat release rate.

Heat release rate for de ulike scenariene vises i Figur 64-Figur 69. For de to første scenariene med 2 MW effekt viser resultatene at brannen har tilstrekkelig tilgang på oksygen. For de øvrige scenariene er det tydelig at brannen ikke har tilstrekkelig tilgang på oksygen for å kunne oppnå den maksimale effekten som ble angitt.

11.6 Påvirkning av aktive tiltak, Sprinkleranlegg, vanntåke (automatiske slokkeanlegg). Veilederen BV-Nett [8]: *Sprinkling kan påvirke branncelleoppdeling og brannmotstandskrav til skiller. Sprinkling fører til at noen brann-sikkerhets-strategier kan nedgradere designbrann som påkjenner ventilasjonsanlegg. F eks kan ventilasjonsanlegg dimensjoneres til å ventilere ut røyk ved relativt lav temperatur, dvs utføres enklere - samordnet av RIBr og RIV.*

Dette har bidratt til at både RIBr og RIV ofte går helt vekk fra isolasjon på ventilasjonskanaler og anser det automatiske slokkeanlegget alene som godt nok for å hindre brannspredning. I forskriftene og veiledningene før TEK10 ble det ikke åpnet for å fjerne isolasjon ved bruk av automatisk slokkeanlegg. Det kan derfor synes som om deler av bransjen i frykt for å måtte benytte isolasjon som bygger mye i høyden og de utfordringer/kostnader det medfører velger å sette sin lit ene og alene til det aktive tiltaket automatisk slokkeanlegg fremfor å utstyre kanalene med isolasjon ved gjennomføringer som kan bidra til å gi en viss sikkerhetsmargin dersom automatisk slokkeanlegg ikke virker som forutsatt.

12 Oppsummering og konklusjon

12.1 Vurdering av tidligere forskrifter

12.1.1 Byggeforskriften 87 med veiledning:

Forskrift med veiledning angir gode retningslinjer for prosjekterende når det kommer til sikring av kanalgjennomføring i en branncellebegrensende konstruksjon. Forskriften angir i liten grad tiltak for å hindre røykspredning via kanalnett.

12.1.2 TEK 97-99 / VTEK 99

Forskrift med veiledning angir generelt gode retningslinjer for prosjekterende når det kommer til brannsikring av ventilasjonsanlegg. Forskriften angir i liten grad tiltak for å hindre røykspredning via kanalnett. Ytelsesbeskrivelsen er noe skjerpet fra byggeforskriften 87. Det vurderes som at dette regelverket gir bedre grunnlag for sikker prosjektering, selv om det savnes spesifikke ytelseskrav med beskrivelse om hvordan anlegget skal driftes under brann.

12.1.3 TEK97 og VTEK 2003 og 2007

Sammenlignet med tidligere revisjoner angir denne utgaven mindre gode retningslinjer for prosjekterende og detaljprosjekterende for videre vurdering med hensyn på ventilasjonsanlegg, brannspredning og røykspredning. Dette gir dårlig grunnlag for sikker utførelse av ventilasjonsanlegg.

12.1.4 TEK10 og VTEK

TEK 10 med veiledning anses å angi dårlige retningslinjer for prosjekterende og detaljprosjekterende for videre vurdering med hensyn på ventilasjonsanlegg, brannspredning og røykspredning.

12.1.5 Tidligere forskrifter og dagens regelverk

Ved sammenligning av de forskjellige utgitte utgavene av byggteknisk forskrift kommer det klart frem at regelverket som var gjeldende fra 1997 og frem til 2003 ga de beste retningslinjene for brannsikring av ventilasjonsanlegg. I revisjonen som kom i 2003 ble en del detaljbeskrivelser fjernet. Vi har ikke greid å finne frem til hvorfor dette ble gjort.

Tabell 4 viser at de branntekniske beskrivelsene og ytelseskravene for ventilasjonsanlegg har forsvunnet mer og mer fra 2003 og frem til i dag. Som tidligere nevnt gir dagens veiledning til byggeteknisk forskrift tilnærmet ingen beskrivelser på hvordan funksjonskravene i TEK kan tilfredsstilles.

Regelverket som var gjeldende fra 1997-2003 angir best beskrivelse for hvordan brannsikre ventilasjonsanlegg skal prosjekteres. Dagens regelverk angir for dårlige retningslinjer for preaksepterte løsninger.

12.1.6 Konklusjon – Strategier

12.1.6.1 Trekk ut - metode 1

I mange tilfeller anses det som en fordel at anlegget trygt kan trekke ut røykgasser fra brannrommet. Dette avlaster trykkøkning og kan ha en reduserende effekt på røyklaget temperatur. Ulempen med metoden er at det stilles behov for økt takhøyde, samt ekstra monteringskostnader i sammenheng med isolering og brannsikkert oppheng.

12.1.6.2 Steng inne - metode 2

Dersom byggverket har få brannceller, vil benyttelse av spjeld være en rimelig og trygg metode for å forhindre brannspredning. Spjeld benyttes også i byggverk med lav takhøyde hvor det er dårlig eller for liten plass til brannisolering av kanalen i sin helhet. Veilederen angir ikke om det må brukes spjeld basert på motor eller smeltesikring.

12.2 Konklusjon - Brannspredning via varmeledning

Dersom ventilasjonskanal føres gjennom en branncellebegrensende konstruksjon må den isoleres for å ivareta funksjon krav forhindring avbrannspredning via eller i kanalnettet.

På bakgrunn av utførte beregninger samt at en kun tar hensyn til varmeledning i kanalgodset vil delvis isolering av kanal anses som tilstrekkelig i de fleste tilfeller. Eksempelvis ved rom med høy brannenergi bør en større grad av kanalen isoleres.

12.3 Konklusjon - Brannspredning via varme røykgasser i kanalnett.

Ved utførte beregninger vil kanalens overflate oppnå rundt omtrent 350 °C Dette vil si at det vil være fare for at brennbart materialer som er i direkte kontakt med kanalen vil kunne selvantenne. Det vil med andre ord være fare for brannspredning dersom kanal ikke er tilstrekkelig isolert.

Med hensyn på stråling fra kanalens overflate er det tidligere påpekt at strålingsintensiteten må opp mot 20kW/m² stråling før treverk kan antennes. Iht. Byggforskblad 520.310 *Brannspredning via fasader* [51] vil det oppstå fare for horisontal brannspredning dersom strålingsintensiteten overstiger 10 kW/m² (momentant). Ingen av de ulike strålingsfluksene i hverken til underliggende møblelement eller vertikal stråling fra kanal til vegg ved gjennomføring vil gi kritisk stråling mot kledning.

12.4 Konklusjon - resultater fra brannteknisk simulering

12.4.1 Temperatur i kanaler

Som Tabell 5 viser utførte beregninger at høyeste oppnådde blandingstemperatur midt i gjennomføringen ligger på 230 °C. Fare for brannspredning på grunn av høy blandingstemperatur i ventilasjonskanal vurderes dermed til å være liten, særskilt om kanalen er isolert et stykke ut fra veggen.

12.4.2 Temperatur i rom

I scenario 1 kan en se at maksimumstemperaturen på 295 °C nås etter omtrent 17 minutter. Etter at maksimumstemperaturen er nådd avtar temperaturen mot slutten av simuleringen.

I scenario 2-6 er det registrert maksimaltemperaturer i overkant av 700 °C.

Maksimumstemperaturene er imidlertid av meget kortvarig karakter. For scenario 2, 4 og 6 inntreffer maksimumstemperaturer etter henholdsvis omtrent 3 minutter, 6,5 minutter og 4 minutter. Dette samstemmer bra med hensyn til at disse scenarioene har en raskere

brannutvikling enn scenario 3 og 5. Maksimaltemperaturen inntreffer etter henholdsvis omtrent 19 og 18 minutter. Dette samstemmer bra med at brannveksten er satt til å være treg.

Grafene i figur 39, 41 og 43 viser at temperaturene generelt ligger vesentlig under maksimaltemperaturen i simuleringene som skyldes den begrensede tilgangen på oksygen grunnet små arealer for tilgang på oksygen. Temperaturtoppene sammenfaller med brudd på vinduer og økt tilgang på oksygen når dette inntreffer. Av scenariene er det scenario 4 som holder høyest temperatur (mellom 300-400 °C) over tid.

12.4.3 Temperatur ved vinduer

Scenario 1 og 2 (2 MW) viser seg å ikke gi høye nok temperaturer ved vinduene til å at vindusglass gir etter. Dermed vil brannen bli kontrollert av tilførselen via tilluftskanalene.

For de fire øvrige scenariene (4 og 8 MW) er brannene kraftige nok til at vinduene når 340 °C og medfører at vinduene gir etter med påfølgende økt tilgang på oksygen og videre brannutvikling. Scenario 3 skiller seg ut ved at temperaturen ved vinduer i brannrommet øker tilnærmet lineært inntil vinduene gir etter. Derfra og ut øker temperaturen raskt ut simuleringen.

For scenario 4, 5 og 6 er det tydelig at vindusåpningene er for små til å holde forbrenningen jevn. Dette medfører store variasjoner i temperaturen når branngasser vekselvis får tilgang på oksygen i åpningen og når det er underskudd på oksygen. Det samme forekommer også i sent i simuleringen i scenario 3. Dog antas det at simuleringen ville vist det samme fenomenet her.

12.4.4 Trykk i rom

Målt trykkoppbygning i simuleringene er så liten at den kan anses som neglisjerbar. Trykkøkningen vil i de fleste tilfeller ha en stor betydning når det kommer til spredning av røykgasser via ventilasjonskanaler. Når overtrykket blir stort nok vil røyken også kunne spre seg i tilluftskanalen. I utførte simuleringen vil trykkoppbyggingen ha liten innvirkning på fare for brannspredning.

12.4.5 Heat release rate

Brannene på henholdsvis 4 og 8 MW (scenario 4-6) ville kunne fått en høyere effekt om tilgangen på oksygen hadde vært bedre. Noe simuleringene trolig ikke har tatt høyde for. Brannceller på 100 m² vil normalt ha større vindusflate enn 2 m². Dette er faktorer som vil kunne ha bidratt til å oppnå effektene på 4 og 8 MW. Resultatene viser at brannene har begrenset tilgang på oksygen, noe som gjenspeiler seg i den svake maksimaleffekten gjennom scenariene, og den vekslende effekten når disse nærmer seg 3 MW.

12.5 Konklusjon - Påvirkning av aktive tiltak

Dette har bidratt til at både RIBr og RIV ofte går helt vekk fra isolasjon på ventilasjonskanaler og anser det automatiske sløkkeanlegget alene som godt nok for å hindre brannspredning. I forskriftene og veiledningene før TEK10 ble det ikke åpnet for å fjerne isolasjon ved bruk av automatisk sløkkeanlegg. Det kan derfor se ut til at bransjen, av frykt for å måtte benytte isolasjon som bygger mye i høyden og de utfordringer/kostnader det medfører, velger å stole ene og alene på at det aktive tiltaket automatisk sløkkeanlegg. Dette velges fremfor å utstyre kanalene med isolasjon ved gjennomføringer som kan bidra til å gi en viss sikkerhetsmargin dersom automatisk sløkkeanlegg ikke virker som forutsatt.

13 Hoved konklusjon – Behov for brannsikring av ventilasjonsanlegg

I litteraturstudiet ble det funnet at beskrivelser av ytelseskrav har blitt vagere og vagere opp gjennom årene. Regelverk angir fortsatt de samme funksjonskravene som tidligere. Hvordan man tilfredsstiller funksjonskravene ble tidligere angitt i veiledningen til byggteknisk forskriften. I 2003 og frem til i dag har de preaksepterte løsningene gradvis blitt fjernet i forskriftens veiledning. Dagens regelverk angir ingen preaksepterte løsninger som skal tilfredsstille funksjonskravene.

Når det kommer til praktisk utførelse konkluderes det med at delvis isolering av kanalen i en viss avstand på hver side av gjennomføring, avhengig av ønsket brannmotstand, vil være tilstrekkelig for å hindre brannspredning forårsaket av varmgang i kanal. Det anbefales også at det monteres et røykgasspjeld for å hindre at varme røykgasser varmer opp kanal på gjennomføringens motsatte side, samt hindrer spredning av varm røyk. Dette kan da eksempelvis være et brannspjeld med smeltesikring. Dette er i henhold til gjeldende metode for brannsikring av ventilasjonsanlegg i Sverige beskrevet i kapittel 7.6.2. [44]

14 Forslag til videre arbeid.

Dette kapittelet gir forslag til relevante temaer for videre arbeid innenfor de ulike områder som er blitt behandlet i masteroppgaven. Forslagene er presentert i punktlisten nedenfor:

- Behov for isolering av ventilasjonskanal og behov for benyttelse av spjeld bør forskes videre på. Det bør utføres fullskala tester som dokumentere det faktiske behovet.
- Etter at behovet er dokumentert ved testing, bør det utarbeides en veileder som angir konkrete løsninger som ivaretar brannsikkerheten. Veilederen bør hjemles i loven (henvises til i VTEK) slik at det ikke er noe tvil om hva som er gjeldende.
- Fare for brannspredning må også ses i sammenheng med fare for spredning av kaldrøyk, samt konsekvensen for dette. Fullisolering av kanal hindrer ikke fare for spredning av kalde/varme røykgasser, men angis fortsatt som en god løsning i BV-netts veileder. Det bør undersøkes videre om dette er den optimale løsningen ved kanalnett som strekker seg over flere brannceller. Eksempelvis rømningsveier.
- Det bør forskes på behovet for bypass og temperatur krav til vifter som skal trekke ut røykgasser. Ved dagens metode må kritisk temperatur regnes ut i hvert enkelt tilfelle.

Referanser

1. (BE), D. f. (2007). *Evaluering av brann 9. juni 2007 i Sveio Omsorgssenter*. Hentet fra <https://www.dibk.no/globalassets/sikkerhet/evalueringsrapport-brann-i-sveio-omsorgssenter-2007.pdf>
2. (DS), D. s. (2010). *Norm for brandtekniske foranstaltninger, DS 428, 3. udgave*. Dansk standard. Hentet fra http://kristiansenco.dk/upl/ds428_lonmark_dk_1.pdf
3. 9-11 Research. (u.d.). *911-research*. Hentet fra A Overview of Fire Protection in Building: http://911research.wtc7.net/mirrors/guardian2/wtc/WTC_apndxA.htm
4. Aamnes Mostue, B., & Opstad, K. K. (2002). *Effekt av brannverntiltak – Vegger og sprinkler. Utgave 1.2*. Trondheim: Sintef NBL.
5. Andersson, S. (2014). *Brannsikring av ventilasjonsanlegg*. Hentet fra <http://www.brannvernforeningen.no/novus/upload/file/BVK/Riktig%20valg%20og%20bruk%20av%20ventilasjonssystemer.pdf>
6. Babrauskas, D. V. (2010). *Doctorfire.com*. Hentet fra Doctorfire.com: <https://www.doctorfire.com/GlassBreak.pdf>
7. Boverket. (2011, 04 19). *Boverkets byggregler*. Hentet fra <http://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/>
8. BV Nett. (2015). *Veileder for brannsikker ventilering Versjon 4*. Hentet fra http://www.cowi.no/SiteCollectionDocuments/cowi/no/menu/Rapporter/Veileder_brannsikker_ventilasjon.pdf
9. Direktoratet for byggkvalitet. (1987). Byggeforskrift. *FOR-1987-05-27 nr. 0458*. Hentet fra https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1987.pdf
10. Direktoratet for byggkvalitet. (2000, 12). *Melding HO-3/2000 - Røykventilasjon, Temaveiledning*. Hentet fra https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/eldre_temaveiledere_og_rundskriv/2000ho-3-roykventilasjon.pdf
11. Direktoratet for byggkvalitet. (2016). *Byggteknisk forskrift (TEK 10)*. (HO-2/2011, Red.) Hentet fra Veiledning om tekniske krav til byggverk - HO-2/2011: <https://www.dibk.no/no/byggeregler/tek/>
12. Direktoratet for byggkvalitet. (2016). *Veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK)*. Hentet fra Direktoratet for byggkvalitet (DIBK): <http://www.dibk.no/no/byggeregler/tek/>
13. Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap og Statens Bygningstekniske etat. (2007). *Evaluering av brann 9. juni 2007 i sveio omsorgssenter*. Tønsberg: Cappelen Media A.S.
14. Energisparehus Norge AS. (2016, 03 13). *Flixo.no*. Hentet fra <http://www.flixo.no/>

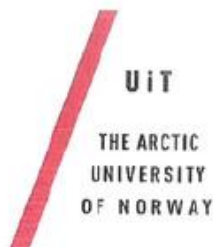
15. Frantzich, H., de Korostenski, T., & Marberg, P.-A. (20114). *Brandskyddshandboken*. Lund: Lunds universitet. Brandteknik; Brandskyddslaget.
16. Glasø, G., Landrø, H., & Aasheim, E. (2012, Februar). Fokus på tre - Tre og brann. Oslo, Norge: trefokus.
17. Hagen, B. C. (2004). *Grunnleggende brannteknikk*. Haugesund: Hagens forlag.
18. Häggglund, B., Nireus, K., & Werling, P. (1999). *An experimental study of the smoke spread via ventilation ducts*. Stockholm: Totlaförsvaret forskningsinstitut.
19. Jan, P. S., & Bodil, A. M. (2005). *Ny kunnskap om brann offshore - En innføring i ny kunnskap om brann offshore, tilegnet gjennom de siste 10 års forskning - 2. utgave*. Trondheim: Sintef.
20. Jensen, G. (2007, 4 17). COWI AS. Hentet fra <http://www.brannforum.com/Presentasjoner/Trykksetting%20trapperom%20GJEN%20April%202007.pdf>
21. Kommunal- og regionaldepartementet. (1997, 01 22). *Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven 1985 1. utgave (TEK97)*. Hentet fra Direktoratet for byggkvalitet: http://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/forskrift-om-krav-til-byggverk.pdf
22. Kommunal- og regionaldepartementet. (1999, 12 13). *Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven 1985 2. utgave (TEK99)*. Hentet fra Direktoratet for byggkvalitet: http://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/tekniske_forskrifter_1999.pdf
23. Kommunal- og regionaldepartementet. (2003, 06 24). *Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven 1985 4. utgave (TEK03)*. Hentet fra Direktoratet for byggkvalitet: http://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/tekniske_forskrifter_2003.pdf
24. Kommunal- og regionaldepartementet. (2007, 01 26). *Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven 1985 6. utgave (TEK97)*. Hentet fra Direktoratet for byggkvalitet: http://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/tekniske_forskrifter_2007_komp.pdf
25. Krohn, J. C., & Kirkhus, A. (2007). *Brannmotstand i opphengssystemer for tekniske installasjoner*. Oslo: Byggforskserien. Hentet fra <https://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=317§ionId=2>
26. McGrattan, D. K. (2007, 05). *United States Nuclear Regulatory Commission*. Hentet fra <http://www.nrc.gov/docs/ML0717/ML071730543.pdf>
27. Micro Matic Norge AS. (2016). *Micro Matic Norge AS*. Hentet fra Brannspjeld FDC40, 230V, EI 120: <https://www.micromatic.no/produkter/hvac/brannspjeld/ko3027/>
28. Micro Matic Norge AS. (2016). *Micro Matic Norge AS*. Hentet fra Brannspjeld FD35, 230V, EI 90: <https://www.micromatic.no/produkter/hvac/brannspjeld/ko4612>
29. Miljølære. (u.d.). *Energibruk og godt inn klima*. Hentet fra <http://www.miljolare.no/tema/energi/artikler/meis/grunnbok6.php>
30. National Institute of Standardisation and Technology. (2016, 04 05). *FDS-SMV Manuals*. Hentet fra FDS Technical User Guide: <https://pages.nist.gov/fds-smv/manuals.html>

31. Nordtest, Method. (1988). Hentet fra Ventilation ducts: Fire resistance (NT FIRE 034): <http://www.nordtest.info/index.php/methods/item/ventilation-ducts-fire-resistance-nt-fire-034.html>
32. Norsk Standard. (2014). NS-EN 1366-1:2014 Prøving av brannmotstanden til tekniske installasjoner - Del 1: Ventilasjonskanaler. Hentet fra <https://www.standard.no/nettbutikk/produktkatalogen/produktpresentasjon/?ProductID=727110#>
33. Nystedt, F., & Frantzich, H. (2011, 01 01). *Lund University Publications*. Hentet fra <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=2158683&fileId=2158685>
34. Pedersen, K. S., & Lundberg, S. (1981). . *Bygningstekniske løsninger, seksjoner, varsling, og sprinkleranlegg sett i relasjon til personalets muligheter for slokking og redning*. Trondheim: Sintef NBL.
35. Pedersen, K. S., & Lundberg, S. (1982). *Branners utvikling og skaderesultat. Analyser av forskjellige faktorer betydning på bakgrunn av de inntrufne branner*. Trondheim: Sintef NBL.
36. Promat Tunnel. (2016). *Fire curves*. Hentet fra <http://www.promat-tunnel.com/en/advices/fire-protection/fire%20curves>
37. Sørensen, B. R. (2008, 10 22). *Høgskolen I Narvik*. Hentet fra SMN 6194 - varmetransport: <http://ansatte.hin.no/brs/fag/emner/tdyn/docs/Varmel%C3%A6re%20del%202.pdf>
38. Sørensen, B. R. (u.d.). *Ventilasjon og ventilasjonseffektivitet*. Hentet fra Høgskolen i Narvik: <http://ansatte.hin.no/brs/fag/emner/vvs/docs/effektivitet/effektivitet.html>
39. Statens bygningstekniske etat. (1987). *Rett og Slett - en veiledning til byggeforskrift*. Hentet fra https://www.dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/rett-og-slett.-veiledning-til-byggeforskrift-1987_illustrert.pdf
40. Statens bygningstekniske etat. (1990). *Rett og slett en veiledning til byggeforskrift*. Hentet fra <http://www.dsb.no/no/Rettskilder/Regelverk/Oppslagsverket/3906/3907/7146/>
41. Statens bygningstekniske etat. (1990). *Veiledning til Byggeforskrift 1987 – Rett og slett*. Hentet fra <http://www.dsb.no/no/Rettskilder/Regelverk/Oppslagsverket/3906/3907/7146/>
42. Statens bygningstekniske etat. (1999). *Veiledning til teknisk forskrift VTEK 1997 2. utgave*. Hentet fra dibk.no: http://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/veiledning-ren-til-forskrift-om-krav-til-byggverk-tek-2-utgave.pdf
43. Steen-Hansen, A., Heskestad, A., Aamnes Mostue, B., & Stensaas, J. (2010). *Brannsikringsnivået i sykehjem og pleieinstitusjoner for eldre*. SINTEF.
44. Svensk Ventilation. (2014). *Praktiska lösningar brandskydd ventilation*. Stockholm, Sverige: Svensk Ventilation.
45. Trafik- byggestyrelsen. (2016, 01 01). *bygningreglementet.dk*. Hentet fra bygningreglementet: http://bygningreglementet.dk/br15_00_id124/0/42
46. Trafik- og byggestyrelsen. (2016, 01 01). *Bygningreglementet.dk*. Hentet fra bygningreglementet: http://bygningreglementet.dk/br15_00_id82/0/42

47. Trox Auranor Norge. (2016). *Trox Auranor Norge*. Hentet fra Trox Auranor Brannspjeld:
<http://www.trox.no/brannspjeld/type-fkr-b2081c61c0e1cbfe>
48. VG Nett. (2014, 09 02). *30 evakuert etter brann på Grünerløkka i Oslo*. Hentet fra
<http://www.vg.no/nyheter/innenriks/30-evakuert-etter-brann-paa-gr-nerloekka-i-oslo/a/10129093/>
49. Madrzykowski (1996). Heat release rate for office module. Hentet fra
http://911research.wtc7.net/mirrors/guardian2/wtc/WTC_apndxA.htm
50. Jensen L. (2006) Skydd mot rökspridning via ventilation med stoppade fläktar och förbigångar -riskbedömning och dimensionering Slutrapport - BRANDFORSK 313-001. Fra år 2006. ISBN 91-85415-02-2 (www.hvac.lth.se/fileadmin/hvac/files/TVIT-3000/TVIT-3003LJweb.pdf)
51. Krohn, J. C., & Almås, J. (2006). Brannspredning via fasader. Oslo: Byggforskserien. ISSN 2387-632

15 Vedlegg

15.1 Vedlegg A – Oppgavetekst



Hovedoppgave

Mastergrad i teknologi

for

Sigve Aastorp Tangen

Jan Rachid Gjendem

Våren 2016

*UIT Norges Arktiske Universitet
IVT-fak.
Institutt for bygnings-, energi- og materialteknologi
Integrert Bygningsteknologi*

Brannsikkerhet i ventilasjonssystemer

Bakgrunn

Brannsikring av ventilasjonssystemer har fått svært mye fokus de siste årene. I 2012 kom det ny veileder for brannsikker ventilering. Denne veilederen har ført til ny bransjestandard for brannbeskyttelse av ventilasjonsanlegg. Denne veilederen er ikke hjemlet i dagens regelverk og er dermed kun en veiledning.

TEK 10 setter kun funksjonskrav for hvordan tekniske installasjoner skal fungere ved brann, og det er dermed opp til de enkelte ansvarlige prosjekterende for å bestemme 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.

Dette løses i hovedsak med brannisolering av kanal og/eller benyttelse av brannsikre spjeld. Tidligere bransjestandard var å isolere ventilasjonskanal 1 m ut på hver side av branncellebegrensende konstruksjon.

Hovedoppgave våren 2016 for
Sigve Aastorp Tangen og Jan Rachid Gjendem



Ny veileder sier at dette ikke er tilstrekkelig. Ny metode vil være å enten brannisolere kanalen i sin helhet eller montere brannsikre spjeld i hvert skille. Per dags dato er det svært lite dokumentasjon som tilsier at eldre løsning ikke var tilstrekkelig. Hva er bakgrunnen for ny metode?

Oppgaven går ut å undersøke hvordan man tilstrekkelig kan brannsikre et ventilasjonsanlegg, dette gjøres ved å vurdere:

- Behov for isolering av kanal.
- Bakgrunn for behov av ny brannteknisk-ventilasjonsveileder
- Fordeler/ulempen ved dagens metode (isolere hele kanal eller steng inne)
- Eldre regelverk og utførelse.
- Simulere/ beregne varmeledning i gods.
- Vurdere fare for brannspredning via ventilasjonskanal. Varm røyk og temperaturer i kanal.
- Tidligere registrerte tilfeller med brannspredning via ventilasjonskanal.

Arbeidet skal omfatte:

1. Innledende arbeid/litteraturstudium med avgrensninger og definisjoner
2. Gjennomgang av tidligere registrerte brannforløp med spredning i ventilasjonskanal.
3. Beregninger av temperaturer, varmeledning i gods og røykgasser i kanal.
4. Branntekniske simuleringer.
5. Forslag til evt. fremtidig/gjenstående arbeid.

Begrensning av oppgaven

- Oppgaven begrenses til å se på brannspredning via ventilasjonskanal. Spredning av kaldrøyk omfattes ikke.
- Avtrekkskanal fra kjøkken inngår ikke i vurderingen. Dette anses som et særskilt anlegg da det kan være høy andel av brennbar fett og støv i kanal.
- Ytterligere avgrensninger eller tilføyelser gjøres i samråd med hovedveileder og skal fremkomme tydelig i den endelige rapporten.

Generelt

Det innledende arbeid og litteraturstudium skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- Analyse av aktuelle kravspesifikasjoner, retningslinjer, praktiske erfaringer og anbefalinger
- Definisjon i forhold til begrensninger og omfang av oppgaven.

Hovedoppgave våren 2016 for
Sigve Aastorp Tangen og Jan Rachid Gjendem

- Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Innen 4 uker etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid og litteraturstudium være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven.

Resultater fra det innledende arbeid inkluderes naturlig inn i innledningen og andre kapitler i masteroppgaven. Framdriftsrapporter og eventuelle avviksrapporter kan legges som vedlegg til hovedrapporten. Ved bedømmelsen av arbeidet legges det vekt på at gjennomføringen er godt dokumentert.

Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport på norsk. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser, beregninger eller logisk argumentasjonsrekker.

Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidatene legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig, velskrevet og godt dokumentert.

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Opgaveteksten skal vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften.

Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Hovedoppgave våren 2016 for
Sigve Aastorp Tangen og Jan Rachid Gjendem



Arbeidet skal resultere i en sluttrapport med vedlagt CD/DVD/minnepenn som er grunnlag for evaluering og karaktersetting. Rapporten med tilhørende materiale skal leveres i én uinnbundet signert original som lett kan kopieres, samt tre innbundne kopier (evt. ekstern(e) samarbeidspartner(e)s materiell kommer i tillegg og skal overleveres av studenten selv), samt ett eksemplar av rapporten i pdf-format, fortrinnsvis på den vedlagte CD/DVD/minnepenn. Det skal benyttes standard forside som finnes på UiTs nett. Det henvises forøvrig til skrevet *Generelle retningslinjer for hovedoppgaven*, samt emnebeskrivelsen for hovedoppgave.

Rapporten med tilhørende materiale skal innleveres (evt. poststemples) senest innleveringsdato til Fakultet for Ingeniørvitenskap og Teknologi ved UiT Campus Narvik.

Utleveringsdato:	11.01.2016
Innleveringsdato:	20.06.2016
Hovedveileder(e) ved UiT:	Professor Harald Landrø, NTNU, harald.landro@ntnu.no , 916 20 014
Kontaktperson ved Asplan Viak AS (med veileder)	Senior ing. Brannteknikk, Arnfinn Moksnes, 97706949, Arnfinn.Moksnes@asplanviak.no
Kontaktperson ved Erichsen&Horgen AS (med veileder)	Seksjonsleder Brannteknikk, Geir Fossum, 906 44329 gfo@erichsen-horgen.no
Kontaktinformasjon	Sigve Aastorp Tangen, 414 51345. Sigve.Tangen@asplanviak.no Jan Rachid Gjendem, 940 15103. jrg@erichsen-horgen.no

Hovedoppgave våren 2016 for
Sigve Aastorp Tangen og Jan Rachid Gjendem



A handwritten signature in blue ink that reads 'Sigve Aastorp Tangen'.

Sigve Aastorp Tangen, student/UiT

A handwritten signature in blue ink that reads 'Jan Rachid Gjendem'.

Jan Rachid Gjendem, student/UiT

A handwritten signature in blue ink that reads 'Harald Landrø'.

Harald Landrø, Veileder/UiT/NTNU

15.2 Vedlegg B – FDS – koder

15.2.1 Scenario 1 – 2MW Treg brannvekst

Case_1_2_MW_treg_brann.fds

Generated by PyroSim - Version 2015.1.0130

23.apr.2016 10:58:33

```
&HEAD CHID='case_1_2_MW_treg_brann'/
```

```
&TIME T_END=1200.0/
```

```
&DUMP RENDER_FILE='case_2_2_MW_treg_brann.ge1', DT_RESTART=300.0/
```

```
&RADI RADTMP=1000.0/
```

```
&MESH ID='MESH-b', FYI='Overside', IJK=200,100,10, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,2.0,3.0/
```

```
&MESH ID='MESH-a', FYI='Underside', IJK=100,50,9, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.2,2.0/
```

```
&REAC ID='POLYURETHANE_REAC',
```

```
  FYI='SFPE Handbook, GM27',
```

```
  FUEL='REAC_FUEL',
```

```
  C=1.0,
```

```
  H=1.7,
```

```
  O=0.3,
```

```
  N=0.08,
```

```
  CO_YIELD=0.042,
```

```
  SOOT_YIELD=0.198/
```

```
&DEVC ID='Temp inn x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,0.6,2.6,  
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
```

```
&DEVC ID='Temp inn x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,0.6,2.6,  
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
```

```
&DEVC ID='Temp inn x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,0.6,2.6,  
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
```

```

&DEVC ID='Temp ut x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp ut x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp ut x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Trykk brannrommet', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=5.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Trykk Naborom', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=15.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp Naborommet', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp 2 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=4.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp Brann', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp 4 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.5,0.5,1.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp 1 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=1.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp 3 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.5,0.5,1.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&CTRL ID='Vindu brann 2', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 2 Brannrommet ved vindu'/
&CTRL ID='Vindu nabo 3', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 3 Nabo ved vindu'/
&CTRL ID='Vindu nabo 4', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 4 Nabo ved vindu'/
&CTRL ID='Vindu Brann 1', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 1 Brannrommet ved vindu'/

&SURF ID='kanal',
    HRRPUA=0.0,
    HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=45.8/

&SURF ID='Luft inn',
    RGB=26,204,26,
    TMP_FRONT=20.0,
    VOLUME_FLOW=-0.1389/

```

&SURF ID='Luft ut',

RGB=255,30,39,

HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=0.05,

TMP_FRONT=20.0,

VOLUME_FLOW=0.1389/

&SURF ID='Brann',

COLOR='RED',

HRRPUA=500.0,

TAU_Q=-827.0/

&OBST XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=10.0,10.2,0.0,10.0,0.0,2.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=-0.2,16.1,0.1,0.9,2.39,2.95, RGB=0,240,0, SURF_ID='kanal'/ Obstruction

&OBST XB=4.3,20.2,9.1,9.9,2.39,2.95, RGB=0,0,240, SURF_ID='kanal'/ Obstruction

&OBST XB=10.0,10.2,0.0,10.0,2.0,3.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=-0.2,16.0,0.21,0.79,2.46,2.86/ Hole

&HOLE XB=4.5,5.0,0.3,0.7,2.39,2.46/ Hole

&HOLE XB=15.5,16.0,0.3,0.7,2.39,2.46/ Hole

&HOLE XB=4.4,20.3,9.21,9.79,2.46,2.86/ Hole

&HOLE XB=4.5,5.0,9.3,9.7,2.39,2.46/ Hole

&HOLE XB=15.5,16.0,9.3,9.7,2.39,2.46/ Hole

&VENT SURF_ID='Luft inn', XB=0.0,0.0,0.2,0.8,2.45,2.85/ luft inn i kanal

&VENT SURF_ID='Luft ut', XB=20.13,20.13,9.2,9.8,2.45,2.85/ Luft ut

&VENT SURF_ID='Brann', XB=3.0,5.0,4.0,6.0,0.22,0.22/ Brann

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=4.0,5.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Brann 2

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=11.0,12.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Nabo 3

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=14.0,15.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Nabo 4

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=1.0,2.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Brann 1

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=9.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=11.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.2/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=2.6/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.7/
&TAIL /

15.2.2 Scenario 2 – 2MW Rask brannvekst

Case_2_2_MW_Rask_brann.fds

Generated by PyroSim - Version 2016.1.0425

04.mai.2016 14:35:36

```
&HEAD CHID='case_2_2_MW_Rask_brann'/
```

```
&TIME T_END=1200.0/
```

```
&DUMP RENDER_FILE='case_2_2_MW_Rask_brann.ge1',  
COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_RESTART=300.0/
```

```
&RADI RADTMP=1000.0/
```

```
&MESH ID='MESH-b', FYI='Overside', IJK=200,100,10, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,2.0,3.0/
```

```
&MESH ID='MESH-a', FYI='Underside', IJK=100,50,9, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.2,2.0/
```

```
&REAC ID='POLYURETHANE_REAC',
```

```
  FYI='SFPE Handbook, GM27',
```

```
  FUEL='REAC_FUEL',
```

```
  C=1.0,
```

```
  H=1.7,
```

```
  O=0.3,
```

```
  N=0.08,
```

```
  CO_YIELD=0.042,
```

```
  SOOT_YIELD=0.198/
```

```
&DEVC ID='Temp inn x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,0.6,2.6,  
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
```

```
&DEVC ID='Temp inn x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,0.6,2.6,  
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
```

&DEVC ID='Temp inn x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp ut x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp ut x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp ut x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Trykk brannrommet', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=5.0,5.0,2.4/

&DEVC ID='Trykk Naborom', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=15.0,5.0,2.4/

&DEVC ID='Temp Naborommet', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.0,5.0,2.4/

&DEVC ID='Temp 2 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=4.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&DEVC ID='Temp Brann', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.0,5.0,2.4/

&DEVC ID='Temp 4 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.5,0.5,1.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&DEVC ID='Temp 1 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=1.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&DEVC ID='Temp 3 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.5,0.5,1.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&SURF ID='kanal',

HRRPUA=0.0,

HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=45.8/

&SURF ID='Luft inn',

RGB=26.0,204.0,26.0,

TMP_FRONT=20.0,

VOLUME_FLOW=-0.1389/

&SURF ID='Luft ut',

RGB=255.0,30.0,39.0,

HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=0.05,

TMP_FRONT=20.0,

VOLUME_FLOW=0.1389/

&SURF ID='Brann',
COLOR='RED',
HRRPUA=500.0,
TAU_Q=-207.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Obstruction', XB=10.0,10.2,0.0,10.0,0.0,2.0, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,16.1,0.1,0.9,2.39,2.95, RGB=0.0,240.0,0.0,
SURF_ID='kanal'/

&OBST ID='Obstruction', XB=4.3,20.2,9.1,9.9,2.39,2.95, RGB=0.0,0.0,240.0,
SURF_ID='kanal'/

&OBST ID='Obstruction', XB=10.0,10.2,0.0,10.0,2.0,3.0, SURF_ID='INERT'/

&HOLE ID='Hole', XB=-0.2,16.0,0.21,0.79,2.46,2.86/

&HOLE ID='Hole', XB=4.5,5.0,0.3,0.7,2.39,2.46/

&HOLE ID='Hole', XB=15.5,16.0,0.3,0.7,2.39,2.46/

&HOLE ID='Hole', XB=4.4,20.3,9.21,9.79,2.46,2.86/

&HOLE ID='Hole', XB=4.5,5.0,9.3,9.7,2.39,2.46/

&HOLE ID='Hole', XB=15.5,16.0,9.3,9.7,2.39,2.46/

&VENT ID='luft inn i kanal', SURF_ID='Luft inn', XB=0.0,0.0,0.2,0.8,2.45,2.85/

&VENT ID='Luft ut', SURF_ID='Luft ut', XB=20.13,20.13,9.2,9.8,2.45,2.85/

&VENT ID='Brann', SURF_ID='Brann', XB=3.0,5.0,4.0,6.0,0.22,0.22/

&VENT ID='Vindu Brann 2', SURF_ID='OPEN', XB=4.0,5.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&VENT ID='Vindu Nabo 3', SURF_ID='OPEN', XB=11.0,12.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&VENT ID='Vindu Nabo 4', SURF_ID='OPEN', XB=14.0,15.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&VENT ID='Vindu Brann 1', SURF_ID='OPEN', XB=1.0,2.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=9.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=11.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.2/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=2.6/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.7/

&TAIL /

15.2.3 Scenario 3 – 4MW Treg brannvekst

Case_3_4_MW_treg_brann.fds

Generated by PyroSim - Version 2016.1.0425

03.mai.2016 18:28:14

&HEAD CHID='Case_3_4_MW_treg_brann'/

&TIME T_END=1200.0/

&DUMP RENDER_FILE='Case_1_4_MW_treg_brann.ge1',
COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_RESTART=300.0/

&RADI RADTMP=1000.0/

&MESH ID='MESH-b', FYI='Overside', IJK=200,100,10, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,2.0,3.0/

&MESH ID='MESH-a', FYI='Underside', IJK=100,50,9, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.2,2.0/

&REAC ID='POLYURETHANE_REAC',

FYI='SFPE Handbook, GM27',

FUEL='REAC_FUEL',

C=1.0,

H=1.7,

O=0.3,

N=0.08,

CO_YIELD=0.042,

SOOT_YIELD=0.198/

&DEVC ID='Temp inn x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp inn x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp inn x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp ut x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='Temp ut x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='Temp ut x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='Trykk brannrommet', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=5.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Trykk Naborom', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=15.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp Naborommet', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp 2 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=4.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp Brann', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp 4 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.5,0.5,1.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp 1 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=1.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp 3 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.5,0.5,1.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&SURF ID='kanal',
HRRPUA=0.0,
HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=45.8/
&SURF ID='Luft inn',
RGB=26.0,204.0,26.0,
TMP_FRONT=20.0,
VOLUME_FLOW=-0.1389/
&SURF ID='Luft ut',
RGB=255.0,30.0,39.0,
HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=0.05,
TMP_FRONT=20.0,
VOLUME_FLOW=0.1389/
&SURF ID='Brann',
COLOR='RED',

HRRPUA=500.0,

TAU_Q=-1169.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Obstruction', XB=10.0,10.2,0.0,10.0,0.0,2.0, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,16.1,0.1,0.9,2.39,2.95, RGB=0.0,240.0,0.0,
SURF_ID='kanal'/

&OBST ID='Obstruction', XB=4.3,20.2,9.1,9.9,2.39,2.95, RGB=0.0,0.0,240.0,
SURF_ID='kanal'/

&OBST ID='Obstruction', XB=10.0,10.2,0.0,10.0,2.0,3.0, SURF_ID='INERT'/

&HOLE ID='Hole', XB=-0.2,16.0,0.21,0.79,2.46,2.86/

&HOLE ID='Hole', XB=4.5,5.0,0.3,0.7,2.39,2.46/

&HOLE ID='Hole', XB=15.5,16.0,0.3,0.7,2.39,2.46/

&HOLE ID='Hole', XB=4.4,20.3,9.21,9.79,2.46,2.86/

&HOLE ID='Hole', XB=4.5,5.0,9.3,9.7,2.39,2.46/

&HOLE ID='Hole', XB=15.5,16.0,9.3,9.7,2.39,2.46/

&VENT ID='luft inn i kanal', SURF_ID='Luft inn', XB=0.0,0.0,0.2,0.8,2.45,2.85/

&VENT ID='Luft ut', SURF_ID='Luft ut', XB=20.13,20.13,9.2,9.8,2.45,2.85/

&VENT ID='Brann', SURF_ID='Brann', XB=2.0,6.0,4.0,6.0,0.22,0.22/

&VENT ID='Vindu Brann 2', SURF_ID='OPEN', XB=4.0,5.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&VENT ID='Vindu Nabo 3', SURF_ID='OPEN', XB=11.0,12.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&VENT ID='Vindu Nabo 4', SURF_ID='OPEN', XB=14.0,15.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&VENT ID='Vindu Brann 1', SURF_ID='OPEN', XB=1.0,2.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=9.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=11.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.2/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=2.6/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.7/

&TAIL /

15.2.4 Scenario 4 – 4MW Rask brannvekst

Case_4_4_MW_rask_brann.fds

Generated by PyroSim - Version 2015.1.0130

15.apr.2016 11:44:41

&HEAD CHID='h'/

&TIME T_END=1200.0/

&DUMP RENDER_FILE='h.ge1', DT_RESTART=300.0/

&RADI RADTMP=1000.0/

&MESH ID='MESH-b', FYI='Overside', IJK=200,100,10, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,2.0,3.0/

&MESH ID='MESH-a', FYI='Underside', IJK=100,50,9, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.2,2.0/

&REAC ID='POLYURETHANE_REAC',

FYI='SFPE Handbook, GM27',

FUEL='REAC_FUEL',

C=1.0,

H=1.7,

O=0.3,

N=0.08,

CO_YIELD=0.042,

SOOT_YIELD=0.198/

&DEVC ID='Temp inn x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp inn x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp inn x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp ut x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='Temp ut x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='Temp ut x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='Trykk brannrommet', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=5.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Trykk Naborom', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=15.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp Naborommet', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp 2 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=4.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp Brann', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp 4 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.5,0.5,1.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp 1 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=1.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp 3 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.5,0.5,1.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&CTRL ID='Vindu brann 2', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 2 Brannrommet ved vindu'/
&CTRL ID='Vindu nabo 3', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 3 Nabo ved vindu'/
&CTRL ID='Vindu nabo 4', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 4 Nabo ved vindu'/
&CTRL ID='Vindu Brann 1', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 1 Brannrommet ved vindu'/

&SURF ID='kanal',
HRRPUA=0.0,
HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=45.8/
&SURF ID='Luft inn',
RGB=26,204,26,
TMP_FRONT=20.0,
VOLUME_FLOW=-0.1389/

&SURF ID='Luft ut',

RGB=255,30,39,

HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=0.05,

TMP_FRONT=20.0,

VOLUME_FLOW=0.1389/

&SURF ID='Brann',

COLOR='RED',

HRRPUA=500.0,

TAU_Q=-293.0/

&OBST XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=10.0,10.2,0.0,10.0,0.0,2.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=-0.2,16.1,0.1,0.9,2.39,2.95, RGB=0,240,0, SURF_ID='kanal'/ Obstruction

&OBST XB=4.3,20.2,9.1,9.9,2.39,2.95, RGB=0,0,240, SURF_ID='kanal'/ Obstruction

&OBST XB=10.0,10.2,0.0,10.0,2.0,3.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=-0.2,16.0,0.21,0.79,2.46,2.86/ Hole

&HOLE XB=4.5,5.0,0.3,0.7,2.39,2.46/ Hole

&HOLE XB=15.5,16.0,0.3,0.7,2.39,2.46/ Hole

&HOLE XB=4.4,20.3,9.21,9.79,2.46,2.86/ Hole

&HOLE XB=4.5,5.0,9.3,9.7,2.39,2.46/ Hole

&HOLE XB=15.5,16.0,9.3,9.7,2.39,2.46/ Hole

&VENT SURF_ID='Luft inn', XB=0.0,0.0,0.2,0.8,2.45,2.85/ luft inn i kanal

&VENT SURF_ID='Luft ut', XB=20.13,20.13,9.2,9.8,2.45,2.85/ Luft ut

&VENT SURF_ID='Brann', XB=2.0,6.0,4.0,6.0,0.22,0.22/ Brann

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=4.0,5.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Brann 2

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=11.0,12.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Nabo 3

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=14.0,15.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Nabo 4

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=1.0,2.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Brann 1

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=9.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=11.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.2/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=2.6/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.7/

&TAIL /

15.2.5 Scenario 5 – 8MW Treg brannvekst

case_5_MW_treg_brann.fds

Generated by PyroSim - Version 2016.1.0425

04.mai.2016 14:35:53

&HEAD CHID='case_5_8_MW_treg_brann'/

&TIME T_END=1800.0/

&DUMP RENDER_FILE='case_3_8_MW_treg_brann.ge1',
COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_RESTART=300.0/

&RADI RADTMP=1000.0/

&MESH ID='MESH-b', FYI='Overside', IJK=200,100,10, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,2.0,3.0/

&MESH ID='MESH-a', FYI='Underside', IJK=100,50,9, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.2,2.0/

&REAC ID='POLYURETHANE_REAC',

FYI='SFPE Handbook, GM27',

FUEL='REAC_FUEL',

C=1.0,

H=1.7,

O=0.3,

N=0.08,

CO_YIELD=0.042,

SOOT_YIELD=0.198/

&DEVC ID='Temp inn x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp inn x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp inn x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp ut x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='Temp ut x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='Temp ut x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,9.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='Trykk brannrommet', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=5.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Trykk Naborom', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=15.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp Naborommet', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp 2 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=4.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp Brann', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.0,5.0,2.4/
&DEVC ID='Temp 4 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.5,0.5,1.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp 1 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',
XYZ=1.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/
&DEVC ID='Temp 3 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.5,0.5,1.4,
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/

&SURF ID='kanal',
HRRPUA=0.0,
HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=45.8/
&SURF ID='Luft inn',
RGB=26.0,204.0,26.0,
TMP_FRONT=20.0,
VOLUME_FLOW=-0.1389/
&SURF ID='Luft ut',
RGB=255.0,30.0,39.0,
HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=0.05,
TMP_FRONT=20.0,
VOLUME_FLOW=0.1389/
&SURF ID='Brann',
COLOR='RED',

HRRPUA=500.0,

TAU_Q=-1653.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Obstruction', XB=10.0,10.2,0.0,10.0,0.0,2.0, SURF_ID='INERT'/

&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,16.1,0.1,0.9,2.39,2.95, RGB=0.0,240.0,0.0,
SURF_ID='kanal'/

&OBST ID='Obstruction', XB=4.3,20.2,9.1,9.9,2.39,2.95, RGB=0.0,0.0,240.0,
SURF_ID='kanal'/

&OBST ID='Obstruction', XB=10.0,10.2,0.0,10.0,2.0,3.0, SURF_ID='INERT'/

&HOLE ID='Hole', XB=-0.2,16.0,0.21,0.79,2.46,2.86/

&HOLE ID='Hole', XB=4.5,5.0,0.3,0.7,2.39,2.46/

&HOLE ID='Hole', XB=15.5,16.0,0.3,0.7,2.39,2.46/

&HOLE ID='Hole', XB=4.4,20.3,9.21,9.79,2.46,2.86/

&HOLE ID='Hole', XB=4.5,5.0,9.3,9.7,2.39,2.46/

&HOLE ID='Hole', XB=15.5,16.0,9.3,9.7,2.39,2.46/

&VENT ID='luft inn i kanal', SURF_ID='Luft inn', XB=0.0,0.0,0.2,0.8,2.45,2.85/

&VENT ID='Luft ut', SURF_ID='Luft ut', XB=20.13,20.13,9.2,9.8,2.45,2.85/

&VENT ID='Brann', SURF_ID='Brann', XB=2.0,7.0,3.5,6.7,0.22,0.22/

&VENT ID='Vindu Brann 2', SURF_ID='OPEN', XB=4.0,5.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&VENT ID='Vindu Nabo 3', SURF_ID='OPEN', XB=11.0,12.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&VENT ID='Vindu Nabo 4', SURF_ID='OPEN', XB=14.0,15.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&VENT ID='Vindu Brann 1', SURF_ID='OPEN', XB=1.0,2.0,0.0,0.0,1.0,2.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=9.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=11.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.2/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=2.6/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.7/

&TAIL /

15.2.6 Scenario 6 – 8MW Rask brannvekst

Case_6_8_MW_rask_brann.fds

Generated by PyroSim - Version 2015.1.0130

23.apr.2016 11:05:25

&HEAD CHID='case_6_8_MW_RASK_brann'/

&TIME T_END=1200.0/

&DUMP RENDER_FILE='case_3_8_MW_RASK_brann.ge1', DT_RESTART=300.0/

&RADI RADTMP=1000.0/

&MESH ID='MESH-b', FYI='Overside', IJK=200,100,10, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,2.0,3.0/

&MESH ID='MESH-a', FYI='Underside', IJK=100,50,9, XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.2,2.0/

&REAC ID='POLYURETHANE_REAC',

FYI='SFPE Handbook, GM27',

FUEL='REAC_FUEL',

C=1.0,

H=1.7,

O=0.3,

N=0.08,

CO_YIELD=0.042,

SOOT_YIELD=0.198/

&DEVC ID='Temp inn x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp inn x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

&DEVC ID='Temp inn x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,0.6,2.6,
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

```
&DEVC ID='Temp ut x=9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.0,9.6,2.6,  
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/  
  
&DEVC ID='Temp ut x=10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=10.0,9.6,2.6,  
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/  
  
&DEVC ID='Temp ut x=11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.0,9.6,2.6,  
ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/  
  
&DEVC ID='Trykk brannrommet', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=5.0,5.0,2.4/  
&DEVC ID='Trykk Naborom', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=15.0,5.0,2.4/  
&DEVC ID='Temp Naborommet', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.0,5.0,2.4/  
  
&DEVC ID='Temp 2 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',  
XYZ=4.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/  
  
&DEVC ID='Temp Brann', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.0,5.0,2.4/  
  
&DEVC ID='Temp 4 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=14.5,0.5,1.4,  
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/  
  
&DEVC ID='Temp 1 Brannrommet ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE',  
XYZ=1.5,0.5,1.4, ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/  
  
&DEVC ID='Temp 3 Nabo ved vindu', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=11.5,0.5,1.4,  
ORIENTATION=0.0,1.0,0.0/  
  
&CTRL ID='Vindu brann 2', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,  
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 2 Brannrommet ved vindu'/  
  
&CTRL ID='Vindu nabo 3', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,  
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 3 Nabo ved vindu'/  
  
&CTRL ID='Vindu nabo 4', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,  
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 4 Nabo ved vindu'/  
  
&CTRL ID='Vindu Brann 1', FUNCTION_TYPE='DEADBAND', SETPOINT=339.0,340.0,  
ON_BOUND='UPPER', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Temp 1 Brannrommet ved vindu'/  
  
  
&SURF ID='kanal',  
  
HRRPUA=0.0,  
  
HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=45.8/  
  
&SURF ID='Luft inn',  
  
RGB=26,204,26,  
  
TMP_FRONT=20.0,  
  
VOLUME_FLOW=-0.1389/
```

&SURF ID='Luft ut',

RGB=255,30,39,

HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=0.05,

TMP_FRONT=20.0,

VOLUME_FLOW=0.1389/

&SURF ID='Brann',

COLOR='RED',

HRRPUA=500.0,

TAU_Q=-414.0/

&OBST XB=0.0,20.13,0.0,10.0,0.0,0.2, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=10.0,10.2,0.0,10.0,0.0,2.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&OBST XB=-0.2,16.1,0.1,0.9,2.39,2.95, RGB=0,240,0, SURF_ID='kanal'/ Obstruction

&OBST XB=4.3,20.2,9.1,9.9,2.39,2.95, RGB=0,0,240, SURF_ID='kanal'/ Obstruction

&OBST XB=10.0,10.2,0.0,10.0,2.0,3.0, SURF_ID='INERT'/ Obstruction

&HOLE XB=-0.2,16.0,0.21,0.79,2.46,2.86/ Hole

&HOLE XB=4.5,5.0,0.3,0.7,2.39,2.46/ Hole

&HOLE XB=15.5,16.0,0.3,0.7,2.39,2.46/ Hole

&HOLE XB=4.4,20.3,9.21,9.79,2.46,2.86/ Hole

&HOLE XB=4.5,5.0,9.3,9.7,2.39,2.46/ Hole

&HOLE XB=15.5,16.0,9.3,9.7,2.39,2.46/ Hole

&VENT SURF_ID='Luft inn', XB=0.0,0.0,0.2,0.8,2.45,2.85/ luft inn i kanal

&VENT SURF_ID='Luft ut', XB=20.13,20.13,9.2,9.8,2.45,2.85/ Luft ut

&VENT SURF_ID='Brann', XB=2.0,7.0,3.5,6.7,0.22,0.22/ Brann

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=4.0,5.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Brann 2

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=11.0,12.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Nabo 3

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=14.0,15.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Nabo 4

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=1.0,2.0,0.0,0.0,1.0,2.0/ Vindu Brann 1

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=9.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=11.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=10.2/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', PBZ=2.6/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.7/

&TAIL /