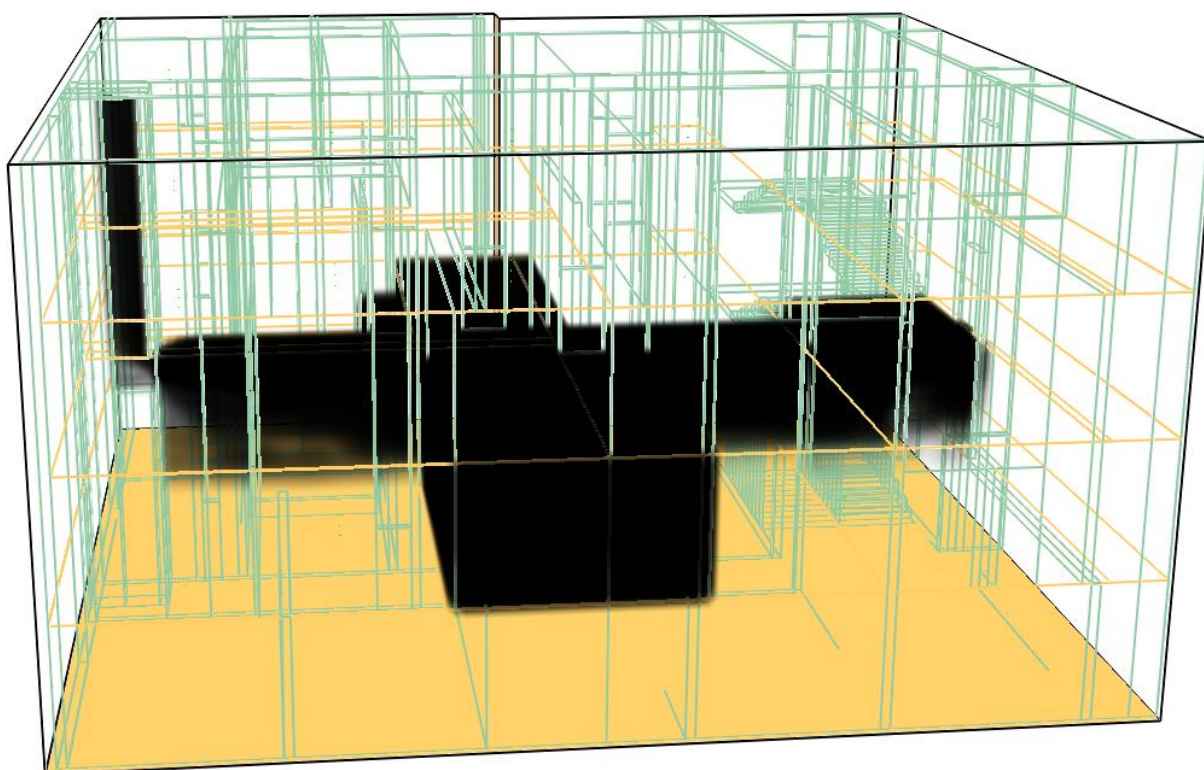




HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Mekanisk røykventilasjon av rømningsvei



BachelorOppgave utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Sikkerhet, Brannteknikk

Av: Ronny Dirdal
Preben Skjelbred

Kandidatnr. 12
Kandidatnr. 8

Haugesund

Våren 2010

BACHELOROPPGAVE

Studentenes navn: Ronny Dirdal
Preben Skjelbred

Linje & studieretning Brann, sikkerhetsingeniør

Oppgavens tittel: Mekanisk røykventilasjon i rømningsvei

Oppgavetekst:

I branner med flere omkomne, dør de fleste av røyk og ofte andre steder enn i startbrannrommet. Når røyk fra brannen sprer seg gjennom bygningen kan det fort oppstå kritiske forhold i rømningsvei. Mekanisk røykventilasjon er da et mulig tiltak som hindrer eller reduserer røykspredningen.

Denne oppgaven fokuserer på potensialet for mekanisk røykventilasjon i rømningsvei, herunder spesielt korridorer i tilknytning til trapperom. For å vurdere kapasitet og muligheter for dette branntekniske tiltaket skal det utføres flere simulering ved bruk av CFD programmet FDS.

Endelig oppgave gitt: Fredag 5. mars 2010

Innleveringsfrist: Fredag 7. mai 2010 kl. 12.00

Intern veileder Jan Torgil Josefsen

Ekstern veileder Stefan Owe Andersson, Norconsult

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**

Monika Metallinou
28/4 -10

Forord

Denne hovedoppgaven er skrevet våren 2010 på Høgskolen Stord/Haugesund som avslutning på utdannelsen som branningeniør. Arbeidet med denne oppgaven har vært tid krevende og lærerik. Det er i stor grad blitt jobbet selvstendig både med hvordan oppgaven har blitt utført og presentert.

Det har i denne oppgaven blitt arbeidet mye med dataprogrammene PyroSim og FDS, i tillegg til lovverket som regulerer de aktuelle emnene i oppgaven. Den opparbeidede kunnskapen sees på som meget nyttig i våre karrierer, da det blir mer aktuelt å bruke dataprogrammer for å dokumentere brannsikkerhet ved prosjektering.

Vi ønsker å takke Stefan Owe Andersson for opplæring i PyroSim, og for mange gode innspill og motiverende støtte gjennom dette prosjektet.

Vi ønsker også å takke alle andre personer som har hjulpet oss, spesielt følgende:

Jan Torgil Josefsen, HSH

For internveiledning.

Bjarne P. Hussted, HSH

For nyttige tips til FDS.

Haugesund 07.05.10

Ronny Dirdal

Preben Skjelbred

Sammendrag

Denne oppgaven fokuserer på potensialet for mekanisk røykventilasjon i korridor som er del av rømningsvei i tilknytning til trapperom. Erfaringer fra tidligere branner har vist at korridor kan være et farlig sted, da omkomne ofte blir funnet her. Røykventilasjon er et tiltak som kan forbedre forholdene i korridor ved å ventilere bort giftige branngasser. Det vil derfor bli vurdert hvor mye dette branntekniske tiltaket forbedrer forholdene i korridor ved brann.

Det finnes to prinsipp for røykventilasjon, mekanisk og naturlig. Denne oppgaven har blant annet sett på Colt sjakt som er en mekanisk røykventilasjonsløsning, og BRE sjakt som er en naturlig røykventilasjonsløsning.

For å forstå hvilke faktorer som påvirker brannens størrelse og røykspredningen, blir generell branndynamikk forklart. Det blir også beskrevet hvilke komponenter som finnes i røykgass, og hvordan de påvirker mennesker ved inhalering.

Det finnes flere metoder å dimensjonere nødvendig kapasitet på røykventilasjonen. Det kan gjøres ved håndberegninger eller ved bruk av tabeller som er beskrevet i temaveiledningen HO-3/2000. En annen mulighet er ved bruk av dataprogrammer. Oppgaven inneholder simuleringer av katastrofebranner hvor personer har omkommet i korridor. Det sammenlinkes ulike forhold i korridor med og uten røykventilasjon.

Simuleringer viste at:

- Forholdene i korridor er bedre ved installasjon av Colt sjakten sammenliknet med BRE sjakten, ved brann i leilighet tilknyttet korridor. Sjaktene greide å hindre røykspredning til andre etasjer, og redusere giftigheten til røykgassen.
- Plassering av mekanisk røykventilasjon i korridor har stor betydning for røykspredningen ved brann. Er det ett avtrekkspunkt bør det plasseres i midten av korridoren. Plasseres avtrekket i enden, risikerer man at forholdene ved brann blir kritiske i hele korridoren.
- I katastrofebrannene var svikt av passive tiltak, en av årsakene til utfallet. I disse byggene kunne røykventilasjon i korridor redusert konsekvensen av brannene.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning.....	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Bakgrunn	1
1.3. Metode.....	1
1.4. Begrensninger.....	2
2. Brann- og røykutvikling	3
2.1. Generelt om brannutvikling.....	3
2.2. Faktorer som påvirker brannutviklingen	4
2.3. Røyk fra brann.....	5
2.4. Skorsteinseffekt	6
2.5. Akseptkriterier ved rømning	6
3. Hva er røykventilasjon.....	8
3.1. Mekanisk røykventilasjon	8
3.2. Naturlig røykventilasjon.....	8
3.3. Dragsug	8
4. Regelverk.....	9
4.1. Norsk regelverk i forhold til røykventilasjon	9
5. Prosjektering av røykventilasjon	11
5.1. Håndberegninger	11
5.2. Dimensjonering etter temaveiledningen HO-3/2000.....	14
5.3. Dataprojektering	16
6. Røykventilasjon av korridor	17
6.1. Fordeler ved røykventilert korridor	17
6.2. Erfaringer fra England på utførelse	17
7. Analyse av røykventilasjon i korridor	19
7.1. Fire Dynamics Simulator.....	19
7.2. Brannscenarier.....	20
7.3. Inngangsdata.....	22
7.4. Akseptkriterier.....	24
7.5. Resultater.....	24
7.6. Oppsummering av resultater	30
7.7. Usikkerhet ved resultater.....	31
8. Konklusjon	32
9. Videre arbeid	33
10. Referanser.....	34
11. Vedlegg.....	I

Figurliste

Figur 1: Brannutvikling (23)	3
Figur 2: Plassering av brennbart materiale (7)	4
Figur 3: Bruk av brennbart materiale (8).....	5
Figur 4: Trykkdifferanse på grunn av skorsteinseffekt (9).....	6
Figur 5: Dragsug (Plugholing) (22).....	8
Figur 6: Mekanisk røykventilasjon (15).....	11
Figur 7: Naturlig røykventilasjon (15)	11
Figur 8: Mekanisk røykventilasjon (8).....	12
Figur 9: Naturlig ventilasjon (8).....	13
Figur 10: BRE sjakt (17)	18
Figur 11: Colt sjakt (16).....	18
Figur 12: Rom delt inn i kontrollvolum	19
Figur 13: Urtegata 31 (25).....	20
Figur 14: Bergseng bo- og servicesenter (26)	21
Figur 15: Fiktivt bygg.....	21
Figur 16: Plasseringer Urtegata 31	23
Figur 17: Plasseringer Bergseng bo- og servicesenter	23
Figur 18: Plasseringer fiktivt scenario.....	24
Figur 19: Urtegata 31, Scenario 1, Røykfylling 3. plan	25
Figur 20: Urtegata 31, Scenario 1, Røykfylling 4. plan	25
Figur 21: Urtegata 31, Scenario 2, Røykfylling 3. plan	26
Figur 22: Urtegata 31, Scenario 3, Røykfylling 3. plan	26
Figur 23: Bergseng, uten mekanisk røykventilasjon, Røykfylling	27
Figur 24: Bergseng, uten mekanisk røykventilasjon, Oksygen konsentrasjon.....	27
Figur 25: Bergseng 1 MW, med røykventilasjon, Røykfylling	28
Figur 26: Fiktiv, uten mekanisk røykventilasjon, Røykfylling	28
Figur 27: Fiktiv, med mekanisk røykventilasjon til venstre i korridoren, Røykfylling.....	29
Figur 28: Fiktiv, med mekanisk røykventilasjon i midten av korridoren, Røykfylling.....	29
Figur 29: Fiktiv, med mekanisk røykventilasjon til høyre i korridoren, Røykfylling	30

Tabelliste

Tabell 1: Akseptkriterier ved rømning (24).....	7
Tabell 2: Brannveksttid (13).....	15
Tabell 3: Brannareal utvikling over tid avhengig av brannveksttid (13).....	15
Tabell 4: Korreksjonsfaktor F1 (13).....	16

1. Innledning

1.1. Tema

Denne oppgaven fokuserer på potensialet for mekanisk røykventilasjon av korridor som er del av rømningsvei i tilknytning til trapperom. For å vurdere kapasitet og forventet effekt for dette branntekniske tiltaket skal det utføres simuleringer av branner hvor personer har omkommet i rømningsvei. Det er viktig å redusere mengden røykgasser i rømningsvei fordi inhaling kan medføre tap av bevissthet og død. Det finnes to prinsipp for røykventilasjon, naturlig og mekanisk. Ved naturlig røykventilasjon er det termiske oppdriftskrefter som driver røykgassene ut av en åpning, samtidig som det blir tilført luft. Mekanisk røykventilasjon bruker en vifte som ventilerer bort et gitt volum til enhver tid. Det er mange løsninger på røykventilasjon, men en av de mest anerkjente er BRE sin sjakt for naturlig ventilasjon. Colt Group har utviklet en mekanisk ventilasjonsløsning med samme effekt som BRE sjakten, men opptar 80 % mindre areal. Det har derfor blitt tatt utgangspunkt i disse sjaktene ved simuleringer av røykventilasjon.

For å forstå røykspredning er det viktig å ha kunnskap om brannutvikling. Utviklingshastigheten og størrelsen til brannen er essensielt for å estimere hvor mye røyk som dannes. Et estimat av brannens størrelse blir brukt for å dimensjonere nødvendig kapasitet på røykventilasjonen.

1.2. Bakgrunn

Fra 1999 til og med år 2008 døde 644 personer som følge av branner i Norge (1), (2). Norsk statistikk viser at 57 % av de omkomne ved brann, oppholdt seg i ett annet rom enn der hvor brannen oppstod (3). Det føres ingen norsk statistikk på hva de omkomne ved brann dør av. Brannstatistikk fra England (4) viser at ca 64 % av de omkomne ved brann, dør på grunn av inhalering av brannrøyk, eller en blanding av brannskader og inhalering av brannrøyk. Generelt vil røyk fra branner, som opprinnelig var begrenset til en liten del av bygningen, spres raskt til steder i bygningen som ligger relativt fjernt fra startbrannrommet. Røyken spres via korridorer, sjakter, ventilasjonskanaler, himlinger og andre generelle utettheter i skiller. En slik røykspredning kan føre til vanskeligere rømningsforhold.

En medvirkende faktor til valg av oppgave er at røykventilasjon er aktuelt for fremtiden. En ny lov med krav til universell utforming og forsvarlighet er til høring i Stortinget (5). Universell utforming betyr at det stilles krav til at alle mennesker skal kunne bruke byggverk på en likestilt måte så langt det er mulig, uten spesielle tilpasninger eller hjelpemidler. Mellom 2006 og 2009 steg boligmassen i Norge med ca 86 000 boenheter, av disse var 60 % i boligblokker (6). Da beboere i boligblokker kan ha forskjellige fysiske forutsetninger for å evakuere under en brann, kan mekanisk røykventilasjon av korridor være et tiltak som gir eldre og personer med funksjonshemninger en bedre mulighet til å komme seg ut, før det oppstår livstruende forhold.

1.3. Metode

For å danne en kunnskapsplattform om røykventilasjon ble det gjort et litteratursøk i norske lover, forskrifter, standarder og veiledninger. Det er også blitt sett på erfaringer fra England for oppføring av røykventilasjon. For å få kunnskap om bakenforliggende teori til røykventilasjon, er faglitteratur for brannodynamikk blitt nyttet.

For å studere virkningsgraden av røykventilasjon i korridor ble det besluttet å gjøre simuleringer i Fire Dynamics Simulator (FDS). FDS er et program som gjør det mulig å simulere brannforløp. Det er et anerkjent program som ofte blir brukt i forbindelse med brannprosjektering av byggverk. For at simuleringene skal bli så realistiske som mulig, kreves kunnskap om forhold som påvirker brannutvikling.

Simuleringene ble designet i PyroSim, som er utviklet av Thunderhead Engineering i USA. PyroSim brukes til å lage grafiske fremstillinger av byggverk. Når byggverket er ferdig, genererer PyroSim en tekstfil med koder som gjenspeiler grafikken. Denne tekstfilen kan brukes i FDS.

1.4. Begrensninger

Oppgaven fokuserer på å finne potensialet for røykventilasjon i korridor i tilknytning til trappeperom. Det er sett på relativt små branner som er 1 og 2 MW. Dette kan være en brann i seng, sofa eller søppeldunk. Se vedlegg C for eksempler på ulike branner og effekten de representerer. Det blir studert forhold i en tidlig fase av brannen, da det er denne fasen som er kritisk i forhold til evakuering.

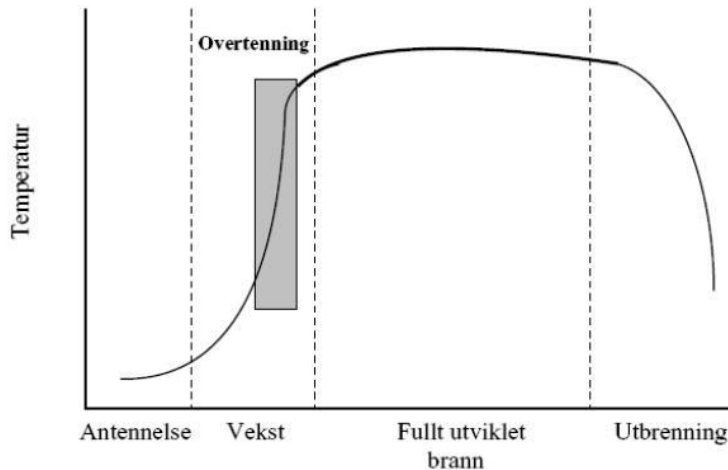
Det er i forbindelse med denne oppgaven ikke gjennomført noen praktiske forsøk, da dette er meget kostbart og komplisert. Det er ikke gjennomført et tilfredsstillende antall simuleringer til å kunne si noe om påliteligheten, men resultatene gir en indikasjon på hva en kan fokusere på i videre arbeid.

2. Brann- og røykutvikling

Dette kapittelet beskriver hvordan en brann utvikler seg fra antennelse til den er utbrent. Det er mange faktorer som påvirker brannens utvikling, som branntekniske tiltak, brensel og rommets geometri. Det er viktig å ha kjennskap til brannutvikling for å forstå røykspredning og røykutvikling.

2.1. Generelt om brannutvikling

Et fullstendig brannforløp er delt inn i fire faser. Antennelse, vekst, fullt utviklet brann og utbrenning, som figur 1 viser.



FIGUR 1: BRANNUTVIKLING (23)

Antenning kan inntreffe som følge av en åpen flamme, gnister eller ved selvantennelse av et materiale. I denne fasen kan et håndsløkkingsapparat være alt som trengs for å hindre videre vekst. Hvis brannen får utvikle seg fritt går brannen over i vekstfasen.

I vekstfasen vil røykdetektor varsle om brann. De vanligste røykdetektorene i boliger er optisk- og ionisk detektorer. Optisk detektor er best til å detektere store partikler som dannes ved ulmebrann. Ulmebrann er rolig forbrenning av for eksempel tekstiler, stoppede møbler eller elektrisk utstyr. Ionisk detektor er best til å detektere små partikler som dannes ved brann i lett antenkelig og godt brennbar materiale som gardiner eller brennbar væske. Valg av detektor er viktig med tanke på at det kan være noen minutters forskjell i deteksjonstid. Tiden røykvarsleren bruker på deteksjon varierer med brannvekst, høyde og plassering av varsleren.

Røykventilasjon og sprinkling er tiltak som kan påvirke vekstfasen til en brann. Røykventilasjon ventilerer bort røyk som gjør at temperaturen i røyklaget reduseres. Det medfører at strålingen fra røyklaget til rommet begrenses, og tidspunkt for overtenning blir utsatt. Sprinkleranlegg kan redusere vekstfasen til en brann i form av å kontrollere eller slokke den. Hvis temperaturen i brannrommet når 500°C - 600°C eller strålingen fra røyklaget ved gulvnivå når $20\text{kW}/\text{m}^2$ vil det oppstå en overtenning, som det skraverte område av figur 1 viser (7). Ved overtenning brenner alle brennbare overflater i rommet og ofte knuses ruter. Hvor fort det oppstår overtenning er avhengig av mange faktorer, som for eksempel hva slags brensel som brenner, påvirkning fra omgivelsene og tilgang på oksygen.

Når en brann er fullt utviklet er temperaturen og strålingen ved sitt høyeste. Røykgassene har en temperatur mellom 700°C - 1200°C (7). En fullt utviklet brann som begrenses av tilgangen på oksygen, kalles for ventilasjonskontrollert forbrenning. Hvis oksygen ikke begrenser bran-

nen er det brenselkontrollert forbrenning, hvor brannens størrelse og omfang begrenses av mengde og type brensel. For å hindre eller kontrollere spredningen av brann og røyk blir byggverk delt inn i brannceller. Brannceller er et passivt tiltak hvor bygningsdeler er oppført med brannmotstand for å opprettholde sin funksjon ved brann i et gitt tidsrom.

Etter en gitt tid har brannen forbrent det meste av brenselet og vil bevege seg over i utbrenningsfasen. I denne fasen vil en ventilasjonskontrollert brann gå over til å bli brenselkontrollert.

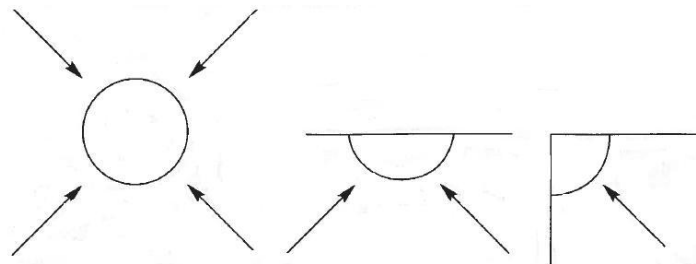
2.2. Faktorer som påvirker brannutviklingen

Faktorer som påvirker brannutviklingen i ett rom kan bli delt inn i to hovedkategorier, brensel og brannrommets geometri.

Brennbart materiale og plassering:

Type og mengde av brennbart materiale er en av de viktigste komponentene for å forutsi en brannutvikling. I bygninger er brenselet ofte faste materialer som møbler og annet interiør. Når trebaserte møbler brenner, kan det resultere i en rolig brannvekst, med kraftig røykutvikling.

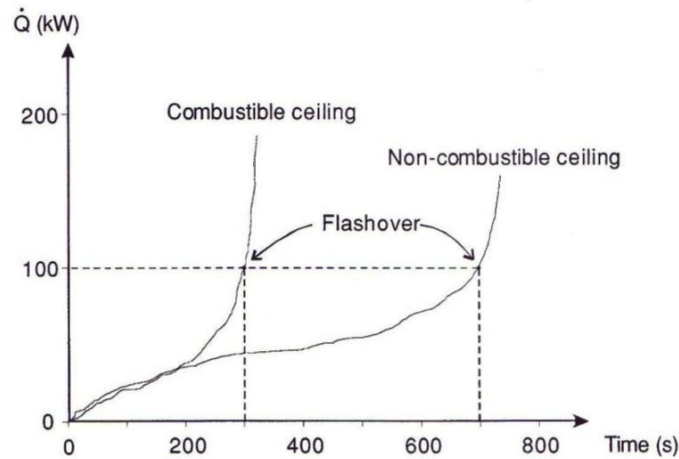
Plassering av brennbart materiale kan også ha en betydning på brannutviklingen. Hvis det brennbare materialet er plassert midt i rommet blir det en innblanding av luft fra alle kanter. Er det plassert inntil en vegg, blir bare halvparten av lufttilførselen innblandet. Står det brennbare materialet i et hjørne blir bare en fjerdedel av lufttilførselen innblandet. Figur 2 illustrerer dette.



FIGUR 2: PLASSERING AV BRENNBART MATERIALE (7)

Grunnen til at plassering av brennbart materiale er en viktig parameter, er at temperaturen synker roligere med høyden når mengden innblandet luft synker. Det vil si at ved plassering av brensel i et hjørne vil temperaturen i røyklaget bli lavere enn ved plassering midt i et rom (7).

Bruk av brennbart materiale i vegger og tak kan forårsake hurtig brannvekst. Figur 3 viser resultater fra en småskala rom test hvor det er gjort to forsøk. Et med brennbart materiale i vegger og tak, og et med brennbart materiale i bare vegger. I begge forsøkene var antennelseskilden en åpen flamme på en sofa i hjørnet av rommet. I første forsøk sprer flammen seg hurtig via vegg og opp til taket. Flammene spres med røykgassene, som fører til en hurtig brannvekst. Uten brennbart tak sprer flammen seg langs gulvet som gir en roligere brannutvikling. Det resulterer i at overtenning ved brennbart tak skjer etter bare 4 minutter, mens det ved ubrennbart tak er overtenning etter 12 minutter (8).



FIGUR 3: BRUK AV BRENNBART MATERIALE (8)

Geometriske faktorer som påvirker brannutviklingen:

Temperaturen og tykkelsen på røyklaget har stor betydning på brannens utvikling. Røyklaget som dannes vil stråle ned og varme opp brenselet og andre brennbare komponenter i rommet, som øker forbrenningsraten.

Ved en gitt brann i et rom med liten takhøyde blir det dannet et røyklag relativt fort. I et rom med like stort areal, men med større takhøyde tar det lengre tid før det blir dannet et røyklag. Grunnen til dette er at røyksøylen trekker inn mer kald luft, som reduserer den termiske oppdriften, da avstanden til taket er lengre.

I rom med åpninger har størrelsen og plasseringen betydning for brannens utvikling. Størrelsen påvirker tilgangen på oksygen. En høy plassering av ventilasjonsåpningen i rommet gjør at røykgassene i brannens tidlige fase kan bli ventilert ut. Det gjør at strålingen til rommet fra røyklaget blir redusert og utviklingsraten til brannen blir mindre.

2.3. Røyk fra brann

Principles of Smoke Management definerer brannrøyk som: ”luftbårne faste-, væskepartikler, gasser som dannes når et materiale undergår pyrolyse eller forbrenning, og luft er det som utgjør røyk” (9).

Med brannrøyk menes synlige partikler som blir dannet ved forbrenning eller pyrolyse, som sot. Sot er rester av karbon fra forbrent og uforbrent brensel i dråpeform. Selv om store mengder sot produseres, består røyken hovedsaklig av luft. Grunnen til dette er at flammen trekker til seg mye mer luft enn nødvendig for støkiometrisk forbrenning. Resten av denne luften (ca 90 %) vil da stige opp og blande seg med forbrenningsproduktene (10).

2.3.1. Kjemiske forbindelser i brannrøyk

Brannrøyk inneholder flere gasser som kan skape en livstruende atmosfære. De vanligste er karbonmonoksid (CO), karbondioksid (CO₂) og Hydrogencyanid (HCN). Alle disse gassene vil ha en effekt på personen som inhalerer dem. Hvor stor effekten blir, blant annet avhengig av dose og pustefrekvens.

Karbonmonoksid er et stoff som binder seg til hemoglobin 250 ganger lettere enn oksygen (11). Dette medfører at en liten økning av karbonmonoksid konsentrasjonen vil redusere menneskers evne til å ta opp oksygen.

Hydrogencyanid binder seg ikke til hemoglobin som karbonmonoksid, men binder seg til cellene og hindrer dem i å benytte oksygen. En konsentrasjon på bare 130 ppm (0,0013 %) kan være dødelig hvis eksponeringstiden overgår 30 minutter. En konsentrasjon på 180 ppm (0,0018 %) kan bli fatal etter eksponering i 10 minutter.

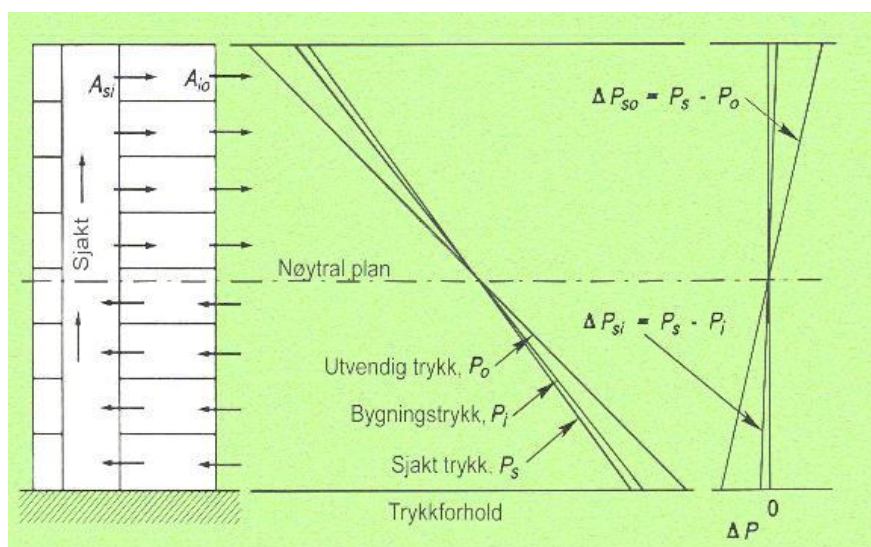
Karbondioksid vil ved en konsentrasjon på 2 % øke pustefrekvensen til mennesker med 50 %, og ved 3 % vil den være doblet. Økt pustefrekvens medfører at opptaket av giftige gasser som karbonmonoksid og hydrogencyanid blir større.

Oksygenkonsentrasjonen i brannrøyk er også av betydning. Oksygen finnes i luften hvor konsentrasjonen er ca. 21 %, synker andelen til 14-10 % blir mennesker utmattet og får nedsatt dømmekraft. Synker konsentrasjonen ytterligere til 10-6 %, vil mennesker miste bevisstheten og omkomme etter noen minutter (12).

2.4. Skorsteinseffekt

Skorsteinseffekt har stor betydning for røykspredningen ved brann. Skorsteinseffekt er en termisk oppdriftseffekt som oppstår på grunn av trykkforskjellen innad i bygg. Varm luft har lavere tetthet en kald luft og som følge av dette vil den varme luften stige og skape en trykkforskjell. Som det fremgår av figur 4 er det minst trykk nede, og størst trykk øverst.

Utettheter i bygg medfører at kald luft fra utsiden strømmer inn hvor trykket er mindre enn utsiden. De varme røykgassene vil gjøre skorsteinseffekten større en den egentlig er, ved at trykket øverst i bygget øker som følge av temperaturøkningen. I et bygg hvor utetthetene er uniformt fordelt vil nøytralplanet ligge midt i bygget. Nøytralplanet angir hvor lufttrykket er det samme som utenfor bygget. Alle rom under nøytralplanet har mindre trykk enn utsiden, og derfor vil luft trenge inn gjennom utettheter.



FIGUR 4: TRYKDIFFERANSE PÅ GRUNN AV SKORSTEINSEFFEKT (9)

2.5. Akseptkriterier ved rømning

Akseptkriteriene som blir beskrevet under er lagt til grunn for personer med normal helse som ikke behøver assistanse ved rømning.

Tabell 1 viser forhold mennesker ikke kan utsettes for under rømning. Blant annet skal sikt i rømningsvei ikke være mindre enn 10 meter.

TABELL 1: AKSEPTKRITERIER VED RØMNING (24)

Varmestråling: Intensitet under 6 sekunder: Samlet strålingsenergi:	10 kW/m ² 60 KJ/m ² pluss energi fra 1 kW/m ²
Gasstemperatur:	60 °C
Innhold av gasser: CO CO ₂ O ₂	maks 2000 ppm maks. 5 % min. 15 %
Sikt i 2 meters høyde I startbranncelle I rømningsvei	min. 3 m min. 10 m

Det stilles også krav til frisikthøyde, det vil si avstanden fra gulv og opp til røyklagsjiktet. Frisikthøyde kan regnes ut etter formelen:

$$1,6m + (0,1 * H)$$

Der H (m) er rommets takhøyde i meter. For rom med stor takhøyde benyttes en frisikthøyde på 3 meter (13).

3. Hva er røykventilasjon

Det er dokumentert at ved brann omkommer de fleste et annet sted enn startbrannrommet, ofte som følge av inhalering av giftige branngasser. Røykventilasjon ventilerer bort røykgasser samtidig som det blir tilført luft. Dette medfører bedre rømningsforhold og at røykgasstemperaturene blir redusert slik at overtenning i rommet kan bli utsatt. Røykventilasjon er derfor et egnet tiltak for å øke sikkerheten i byggverk. Det finnes to prinsipp for røykventilasjon, mekanisk og naturlig. Mekanisk røykventilasjon kan baseres på røykgassvifte kombinert med tilluft, tilluftsvifte kombinert med røykluker, eller balansert ventilasjon med både tilluftsvifte og røykgassvifte. Denne oppgaven tar for seg røykgassvifte med tilluft.

3.1. Mekanisk røykventilasjon

Mekanisk røykventilasjon baserer seg på en elektrisk røykgassvifte som ventilerer røykgassene fra brannen. Når røyk blir detektert vil viften begynne å ventilere og røykgassene vil kunne bli ført inn i en sjakt eller direkte ut i det fri. Det blir tilført kald luft for å kompensere for røyken som blir ventilert ut, slik at det ikke blir undertrykk. Denne løsningen er mindre avhengig av vindtrykk og oppdrift. Den vil fungere bra på mindre branner hvor røyken er forholdsvis kald. Ulempen er at det krever stor ventilasjonskapasitet og sikker strømtilførsel i hele driftsperioden. Videre vil kapasiteten til å fjerne røykgasser reduseres ved høy branngasstemperatur på grunn av volumøkningen luften får ved oppvarming. Det er også fare for dragsug ved mekanisk ventilasjon (14).

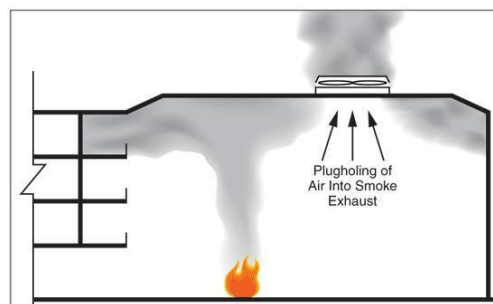
3.2. Naturlig røykventilasjon

Naturlig røykventilasjon baserer seg på oppdriftskreftene til de varme røykgassene. Når det blir detektert røyk, åpnes det en luke i rommet. Luken er plassert høyt i rommet. Dette gjør at de varme røykgassene kan sive ut. Samtidig blir det tilført kald luft for å kompensere for den varme røyken som siver ut. Naturlig ventilasjon er ikke avhengig av strøm under brannforløpet. Ventilasjonskapasiteten minker ikke ved høye branngasstemperaturer. Ulempen er at løsningen ikke fungerer like bra ved kald røyk, noe som ofte er tilfellet ved ulmebranner. Det er fordi røyken ikke vil danne ett røyklag, men blande seg med luften i rommet. Det må tas hensyn til fare for dragsug ved prosjektering.

3.3. Dragsug

Dragsug vil si at luft istedenfor røyk blir ventilert bort, slik som det fremgår av figur 5. Dragsug kan oppstå når punktavtrekket har for høy hastighet, hvis en bruker for få eller plasserer punktavtrekkene feil.

For å unngå dragsugeffekt ved mekanisk røykventilasjon bør det velges en begrenset kvadratisk avtrekksåpning med avtrekkshastighet på maksimum 15 m/s. Ved naturlig røykventilasjon med røykluker, bør lengste sidekant på lukene maksimalt være lik avstanden fra underkanten av takluka til underkanten av røyklaget. Avstanden mellom taklukene må være minst det dobbelte av dette (14).



FIGUR 5: DRAGSUG (PLUGHOLING) (22)

4. Regelverk

Norge er et demokratisk samfunn hvor lover er lagt til grunn for samspillet mellom mennesker. Det er Stortinget som vedtar nye lover og bestemmer om en lov skal forandres. Norge har to lover som omhandler brannsikkerheten i byggverk. Disse er Plan- og bygningsloven (Pbl) og Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver (brann- og eksplosjonsvernloven).

Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK), som har hjemmel i Pbl, stiller funksjonskrav til blant annet brannsikkerheten. Det vil si at kravet er ikke konkretisert, men det er en funksjon som må oppfylles, som for eksempel TEK § 7-1: ”Byggverk skal utformes, utføres og utstyres slik at de ikke utgjør fare for personer og slik at de ikke ved sammenbrudd eller ulykke fører til uakseptabelt store materielle eller samfunnsmessige skader.”

VTEK er veiledningen til teknisk forskrift og inneholder løsninger som er preakseptert. Det vil si at løsningene tilfredsstiller kravene beskrevet i TEK. Det er tre måter å dokumentere akseptabel sikkerhet i byggverk. Den ene er preaksepterte løsninger beskrevet i VTEK, eller analyser som dokumenterer at kravene i TEK følges eller en blandingsløsning.

4.1. Norsk regelverk i forhold til røykventilasjon

Forskrift om brannforebyggende tiltak og tilsyn med hjemmel i brann- og eksplosjonsvernloven, stiller først og fremst krav til røykventilasjon i bygninger som vurderes å ha dårligere sikkerhet enn det som aksepteres i nye bygninger. Målet med forskriften er å bringe brannteknisk sett svake bygninger opp mot det sikkerhetsnivå som kreves i nye bygninger (13).

I TEK § 7-27 del 1 står det: ”I den tid branncelle eller rømningsvei skal benyttes til rømning av personer, skal det ikke forekomme temperaturer, røykgasskonsentrasjoner eller andre forhold som hindrer rømning”. Videre står det at rømningsvei skal være utført som en egen branncelle. I rømningsvei som går over flere etasjer skal trapperommet bli utført som en egen branncelle og skilt fra resten av rømningsvei.

I TEK § 7-27 del 2 står det: ”Byggverk beregnet for virksomhet i risikoklasse 4 skal alltid ha nødvendig antall røykvarslere, mens byggverk beregnet for virksomhet i risikoklasse 5 og 6 skal ha automatisk brannalarmanlegg”. Byggverk i risikoklasse 4 er for eksempel boliger, mens risikoklasse 5 og 6 er typisk kjøpesenter og hotell. Videre står det ”Der slike tiltak ikke er tilstrekkelige, skal tilgjengelig tid for rømning økes ved bruk av aktive tiltak, som automatisk brannsløkkingsanlegg, røykkontroll m.v.”

VTEK har beskrevet løsninger hvor det må brukes røykventilasjon for å ivareta kravene beskrevet i TEK. Det er trapperom Tr 1, Tr 2 og Tr 3 som er rømningsvei i bygninger med flere en 2 etasjer, og overbygde gårder og gater. VTEK § 7-27 sier: ”Røykventilasjon i rømningsvei kan være et meget godt egnet tiltak for å sikre optimale forhold for personene som rømmer en bygning”.

Som det er beskrevet i lovverket er det ingen krav om røykventilasjon i korridor som er rømningsvei. Det er nevnt som et mulig tiltak i TEK § 7-27, om tilgjengelig rømningstid er for lav.

Gitt en har to bygg på henholdsvis 3 (lavt byggverk) og 10 (høyt byggverk) etasjer i risikoklasse 4 (boligformål) som tilfredsstiller de preaksepterte løsningene i VTEK. Bygget med 3 etasjer skal ha to Tr 1 trapperom (eller ett Tr 3 trapperom). Bygget med 10 etasjer skal ha to Tr 3 trapperom. Kravet til trapperom i de to byggene er ulike, men den branntekniske sikker-

heten i korridoren er lik for begge. Brannteknisk sikkerhet er altså bare økt i en del av rømningsveien.

Skulle det oppstå en brann i 9. etasje i bygget med 10 etasjer, kan lekkasjer og åpning av dører føre til at det oppstår røykkonsentrasjoner i korridor som medfører uakseptable rømningsforhold. Dette er brudd på kravet i TEK § 7-27 del 1, om det ikke skal forekomme røykgasskonsentrasjoner eller andre forhold som hindrer rømning i rømningsvei.

Ved brann i 2. etasje i bygget med 3 etasjer, vil røykspredningen medføre de samme uakseptable rømningsforholdene. Forskjellen for lave byggverk er at det er muligheter for å rømme igjennom vinduer istedenfor ut i korridor. Brannvesenet vil også ha større mulighet for hurtigere slokking og evakuering av lave byggverk. Dette er med på å hindre brann og røykspredning til resten av bygget. Siden brannvesenet ikke har denne muligheten ved høye byggverk, er det viktig å sikre hele rømningsveien og ikke bare delvis.

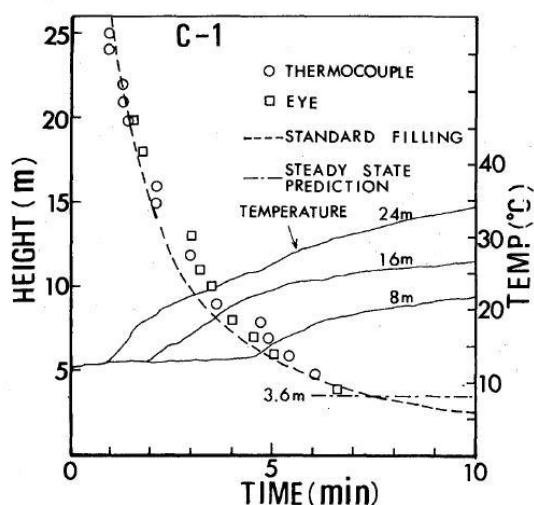
5. Prosjektering av røykventilasjon

Dette kapittelet beskriver ulike måter å beregne nødvendig kapasitet på røykventilasjon. Det kan gjøres ved håndberegninger, tabeller, eller dataprogrammer. Nødvendig kapasitet på røykventilasjon avhenger av om det brukes mekanisk eller naturlig røykventilasjon. Ved naturlig er det arealet i toppen av rommet som må defineres. Ved mekanisk er det volumet som viften klarer å ventilere i ett gitt tidsrom som må defineres.

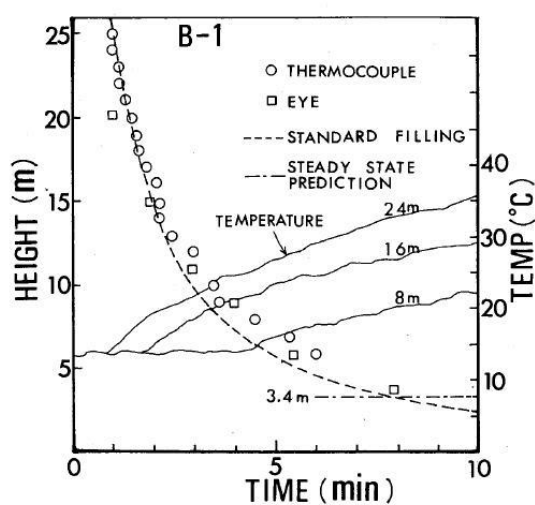
Dimensjonering av røykventilasjon er knyttet til brannens utviklingsfase. Brannen dimensjoneres etter antatt størrelse i det tidspunkt hvor alle har rømt bygget, sprinkleranlegget utløses eller brannmannskapene har startet slukking.

5.1. Håndberegninger

Det blir beskrevet to ulike metoder, mekanisk- og naturlig røykventilasjon. Beregningene som blir presentert er utviklet av Yamana, T. og Tanaka, T. som gjorde en rekke forsøk i 1985 hvor de så på røykfylling av et stort atrium. De hadde en 1,3 MW brann bestående av metanol. Atriet hadde en grunnflate på 720m² og en høyde på 26,3 meter (15). Forsøkene ble gjort for å validere formlene de hadde utviklet for håndberegning av røyklagshøyde i forbindelse med naturlig og mekanisk ventilasjon. Figur 6 og 7 viser resultater fra forsøkene sammenliknet med utregnede verdier for røykfylling. Begge forsøkene viste at de utregnede verdiene som er den stiplede linjen, var tilnærmet lik de målte verdiene som er de runde punktene. Konklusjonen var at håndberegningene gir en god tilnærming til de virkelige resultatene.



FIGUR 6: MEKANISK RØYKVENTILASJON (15)

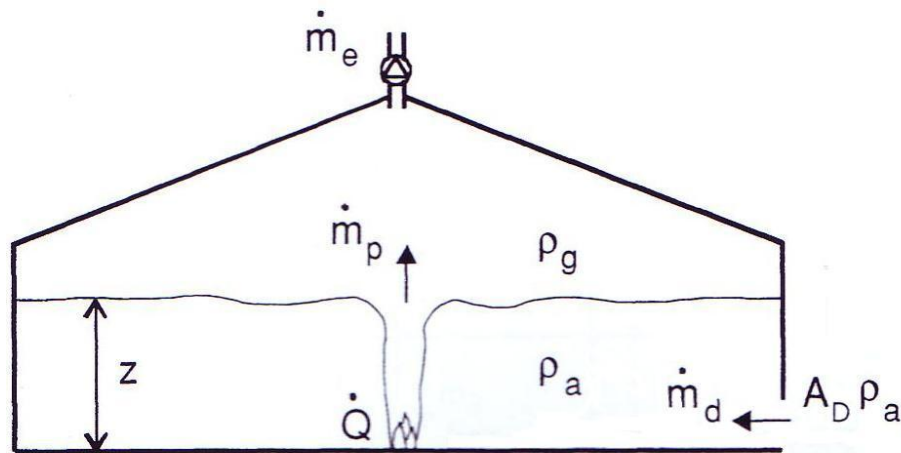


FIGUR 7: NATURLIG RØYKVENTILASJON (15)

Begrensninger ved håndberegninger:

- De er validert i et atrium og er vanskelige å bruke for å regne på røykspredning i flere rom.
- Det antas at det vil oppstå likevekt etter en gitt tid. Det vil si at det er like mye røyk som kommer inn i røyklaget som forlater det gjennom røykventilasjonen.
- Spesifikk varmekapasitet C_p forandres ikke ved temperaturen.
- Lekkasjearealet antas å være gitt selv om det er vanskelig å estimere i virkelige bygninger.
- Energi frigitt ved forbrenning er konstant. (Gjelder ved bruk av Zukoski sin røyksøy-le-formel)

5.1.1. Mekanisk røykventilasjon



FIGUR 8: MEKANISK RØYKVENTILASJON (8)

Røyken blir ventilert bort i toppen av en røykgassvifte som figur 8 viser. Når det skjer vil det bli undertrykk inne i rommet som gjør at det vil strøkke kald luft utenfra og inn i rommet.

Z Er høyden fra gulvet til røyklaget. [m]

\dot{Q} Er effekten til brannen. [kW]

\dot{m}_p Er massestrøm fra røyksøylen. [kg/s]

\dot{m}_e Er massestrøm røyk som blir ventilert bort. [kg/s]

ρ_g Er tettheten til røyklaget. [kg/m^3]

ρ_a Er tettheten til luften. [kg/m^3]

A_D Er arealet av luftåpning. [m^2]

\dot{m}_d Er massestrøm luft utenfra og inn. [kg/s]

h Konvektiv varmeovergangs koeffisient. [kW/m^2K]

A_w Areal i kontakt med røykgass. [m^2]

\dot{V}_e Kapasitet til mekanisk ventilasjon. [m^3/s]

C_p Spesifikk varmekapasitet ved konst. trykk. [$kJ/kg \cdot K$]

Ved utregning må røykfri høyde antas. Deretter skal massestrøm fra røyksøylen regnes ut. Det er mulig å bruke Heskestad sin røyksøylemodell isteden for Zukoski sin som Yamana og Tanaka brukte.

$$\dot{m}_p = 0,21 \left(\frac{\rho_a g}{C_p T_a} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z^{5/3}$$

Deretter skal temperaturen til røyklaget beregnes:

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{C_p \dot{m}_p + h A_w}$$

Tettheten til røykgassen må regnes ut, denne formelen er en utledning av $PV = nRT$ hvor det er antatt at forholdene er ved NTP:

$$\rho_g = \frac{353}{T_g}$$

Massestrøm røyk som blir ventilert bort finnes ved:

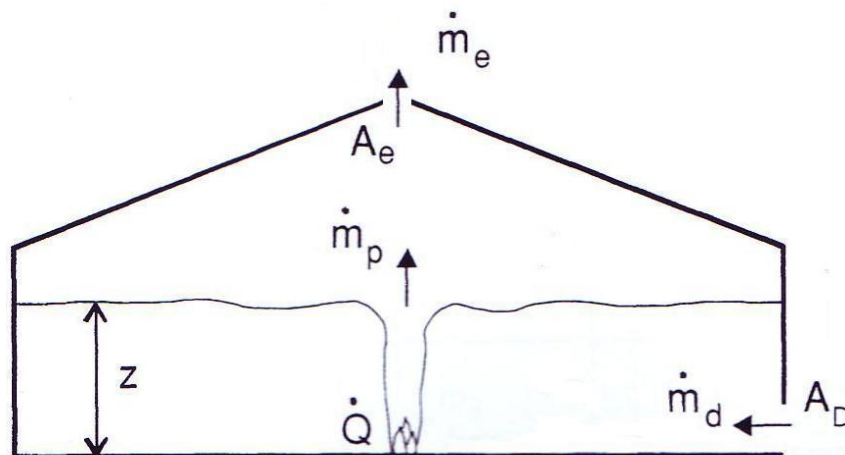
$$\dot{m}_e = \dot{V}_e \rho_g$$

Det siste som gjøres er å sjekke om det har oppstått likevekt ved at massestrøm inn og ut av røyklaget er lik:

$$\dot{m}_e \approx \dot{m}_p$$

Hvis dette ikke stemmer så må den antatte verdien justeres slik at: $\dot{m}_e \approx \dot{m}_p$.

5.1.2. Naturlig ventilasjon



FIGUR 9: NATURLIG VENTILASJON (8)

Røyken blir ventilert bort i toppen gjennom en luke, derfor blir det undertrykk i rommet. Det gjør at kald luft strømmer inn i rommet utenfra. Den luften kommer inn i den nedre åpningen, som det framgår i figur 9.

Z Er høyden fra gulvet til røyklaget. [m]

\dot{m}_p Er massestrøm fra røyksøylen. [kg / s]

\dot{Q} Er effekten til brannen. [kW]

\dot{m}_e Er massestrøm røyk som blir ventilert bort. [kg / s]

ρ_g Er tettheten til røyklaget. [kg / m³]

ρ_a Er tettheten til luften. [kg / m³]

A_D Er arealet at luftåpning. [m²]

\dot{m}_d Er massestrøm luft utenfra og inn. [kg / s]

h Konvektiv varmeovergangs koeffisient. [$kW / m^2 K$]

A_w Areal i kontakt med røykgass. [m^2]

ΔP_1 Trykkendring. [Pa]

C_p Spesifikk varmekapasitet ved konst. trykk. [$kJ / kg \cdot K$]

C_d Flyt koeffisient, tar høyde for hastighetstap ved åpninger i rom. [-]

Ved utregning av nødvendig ventilasjonsåpningen i taket, må først røykfri høyde antas. Deretter skal røyksøylen regnes ut, alternativt kan Heskestad sin røyksøylemodell benyttes.

$$\dot{m}_p = 0,21 \left(\frac{\rho_a g}{C_p T_a} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z^{5/3}$$

Bruker likning 2 som blir utledet i vedlegg D, for å regne ut trykkforskjellen:

$$\Delta P_1 = \frac{\dot{m}_p^2}{2\rho(C_d A_D)^2}$$

Temperaturen regnes ut på samme måte ved mekanisk ventilasjon:

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{C_p \dot{m}_e + hA_w}$$

Det samme gjelder for tettheten til røykgassen:

$$\rho_g = \frac{353}{T_g}$$

For å finne massestrøm ut av rommet må denne likningen løses:

$$\dot{m}_e = C_d A_e \sqrt{2\rho_g (-\Delta P_1 + (\rho_a - \rho_g)g(H_e - z))}$$

Det siste som gjøres er å sjekke om det har oppstått likevekt ved at massestrøm inn og ut av røyklaget er lik:

$$\dot{m}_e \approx \dot{m}_p$$

Hvis dette ikke stemmer så må den antatte verdien justeres slik at: $\dot{m}_e \approx \dot{m}_p$.

5.2. Dimensjonering etter temaveiledningen HO-3/2000

Temaveiledningen beskriver hvordan en kan komme frem til nødvendig kapasitet på ventilasjon. Fremgangsmåten er å lese av tabeller og bruke enkle beregninger. Ved dimensjonering av nødvendig ventilasjon må først brannens utvikling bestemmes, ved hjelp av tabell 2. Den er basert på omfattende brannforsøk fra branner i møbler, biler og liknende. Effekten er basert på $500kW/m^2$, det vil si at en brann med effekt på $1000kW$ tilsvarer en brannflate på $2 m^2$.

Ved bruk av tabell 2 og 3 kan karakteristisk brannareal (A_b) for lokalet bestemmes. Ved en brann på en skole som pågår i 5 minutter, er fremgangsmåten slik: Les av tabell 2 for å finne

brannveksttid for skole. Bruk deretter tabell 3 og se at ved brannveksttid på 225 s og tid på 5 minutter blir karakteristisk brannareal 4 m².

TABELL 2: BRANNVEKSTTID (13)

Brannbelastning (MJ/m ² Omhyln. Flate)	Brannveksttid tg (Tid til 1000 kW)	Eks. på lokale
Under 50	300 s (5 Min)	Kirke, idrettshall, kantine
50 - 200	225 s (3.75 Min)	Mekanisk verksted, skole, bolig, garasje
200 - 400	150 s (2.5 Min)	Resturant, klesbutikk
Over 400	75 s -150 s Må vurderes spesielt	Trevarefabrikk

TABELL 3: BRANNAREAL UTVIKLING OVER TID AVHENGIG AV BRANNVEKSTTID (13)

Tid (min)	Brannveksttid tg (s)			
	75 s	150 s	225 s	300 s
3.0	12 m ²	3 m ²	1 m ²	1 m ²
5.0	32 m ²	8 m ²	4 m ²	2 m ²
7.5	72 m ²	18 m ²	8 m ²	5 m ²
10.0		32 m ²	14 m ²	8 m ²
15.0		72 m ²	32 m ²	18 m ²

Deretter må frisikthøyden bestemmes. Den regnes ut ved bruk av formel:

$$1,6m + (0,1 * H)$$

Hvor H er rommets takhøyde. For rom med stor takhøyde benyttes en frisikthøyde på 3 meter.

5.2.1. Mekanisk ventilasjon

For å bestemme nødvendig kapasitet på den mekaniske ventilasjonen må først brannarealet regnes ut. Da kan samme fremgangsmåte som beskrevet i forrige avsnitt nyttes. Når brannarealet er definert brukes tabellen i vedlegg C for å lese av nødvendig kapasitet.

5.2.2. Naturlig ventilasjon

Når brannarealet og frisikthøyde er bestemt kan taklukenes åpningsareal (Av) finnes i tabell. Se vedlegg C.

Beregninger har vist at det er viktig å ha like stort tilluftsareal som åpningsareal. I tilfeller hvor det kan være vanskelig å få til, må det kompenseres ved at åpningsarealet økes. Hvor stort åpningsarealet må være, kan regnes ut ved formelen:

$$Av(\text{avlest verdi}) * F1 * F2.$$

Hvor F1 finnes fra tabell 4.

TABELL 4: KORREKSJONSFAKTOR F1 (13)

$A_{\text{tilluft}}/A_{\text{v,avlest}}$	1.0	0.75	0.5	0.33
F1	1.0	1.3	1.7	2.5

F2 er en korreksjonsfaktor som finnes ved å ta forholdet mellom forutsatt virkningsgrad 0,6 og dokumentert virkningsgrad C_v . Dokumentert virkningsgrad er en faktor som tar hensyn til gjennomstrømningstap rundt taklukene. Finnes ingen dokumentert C_v brukes F2 verdi på 1.

5.3. Dataprojektering

Ved prosjektering av røykventilasjon med dataprogrammer, må det dokumenteres at funksjonskravene i Tek er tilfredstilt. Aktuelle dataprogrammer er da sonemodeller og CFD programmer.

Argos er et eksempel på et relativt enkelt simuleringsprogram. Det er en to-sonemodell som ser på rom som en del med luft, og en del med brannrøyk. I computational fluid dynamics (CFD) programmer er det flere antagelser lagt til grunn, noe som gjør CFD programmer litt mer komplisert. Dessuten kan Argos bare simulere ti rom i samme simulering, og er derfor ikke egnet til å se på røykbevegelser i store komplekse bygg.

For å dokumentere brannteknisk sikkerhet med dataprogrammer er det nødvendig med stor kunnskap om aktuelt dataprogram og brannutvikling, da små forandringer i inndata til programmet kan gi store utslag på resultatet.

6. Røykventilasjon av korridor

Med røykventilasjon av korridor, menes et system som reduserer mengden brannrøyk som samles i korridor ved brann. Det må samtidig tilføres luft som kompenserer for å få brannrøyken ventilert bort, slik at det ikke blir undertrykk i korridor. Kapittelet beskriver hva man oppnår ved å røykventilere korridorer. Det blir også beskrevet ulike systemer for røykventilasjon.

6.1. Fordeler ved røykventilert korridor

Brann i nærliggende branncelle til korridor, som er del av rømningsvei, vil kunne medføre røykfylling i korridor. Hvor mye røyk som når inn i korridoren er avhengig av brannens størrelse, røykutvikling og åpninger til korridoren. Over tid strømmer det store mengder røyk inn i korridoren og det oppstår kritiske forhold. Fordelen ved å røykventilere korridorer er at det saktere oppstår kritiske forhold. Personer som skal rømme gjennom korridorer får derfor en lettere og hurtigere evakuering. Altså tilgjengelig rømningstid øker.

Røykventilasjon øker også sikkerheten for bygget. Ved å fjerne røykgasser reduseres spredningen som medfører at røykskadene ved brann blir mindre. Adkomsten for brannvesenet er bedre når mengden røyk i korridor er redusert. Sløkking kan da starte på et tidligere tidspunkt. Røykventilasjon kan også utsette overtenning ved at temperaturen i røyklaget blir redusert.

6.2. Erfaringer fra England på utførelse

Den norske temaveiledningen for røykventilasjon er først og fremst laget for bruk til dimensjonering av store bygninger med enkel geometri og glassoverbygde gårder og gater. Tema-veiledningen egner seg derfor ikke til dimensjonering av røykventilasjon i komplekse bygg. Derfor ble det sett på erfaringer fra England på røykventilering av korridor.

Building Research Establishment (BRE) er et privat firma som blant annet driver med forskningsbasert konsultering og testing. Gjennom forskning kom BRE fram til en løsning for naturlig røykventilasjon av trapperom og korridor, som har blitt en anerkjent løsning.

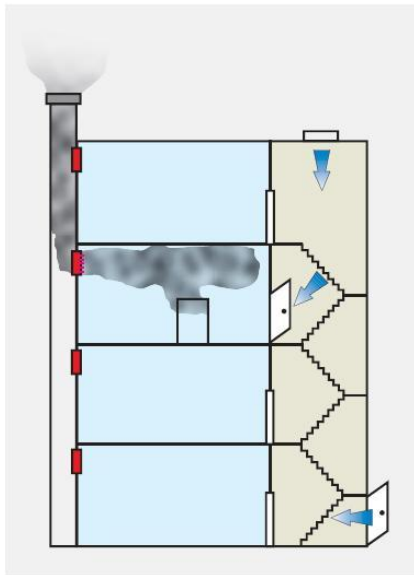
Colt Group er et privat firma som har spesialisert seg på utvikling og oppføring av ventilasjonsprodukter. Colt har utviklet et system for mekanisk røykventilasjon. De har gjort en mengde CFD simuleringer og reelle forsøk (16) for å dokumentere at effekten av deres system tilsvarer BRE sin løsning. Fordelen med Colt sin løsning er at det innvendige arealet i sjakten er $0,6 \text{ m}^2$, som er en reduksjon på 80 % i forhold til BRE sjakten (17). Bygget får da et større bruksareal, som igjen medfører gevinst for eier. I et bygg som har 8 etasjer vil besparelsen være på 400 000 kr, regnet ut med gjennomsnittlig kvadratmeterpris på bolig i Norge fra 2008 (18).

6.2.1. BRE sjakt

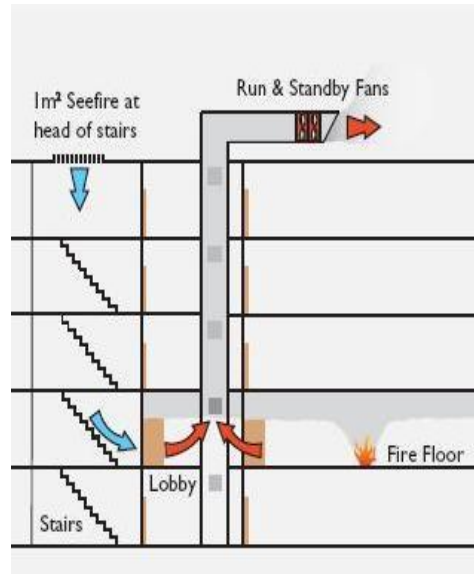
BRE sin løsning består av en sjakt med et innvendig areal på 3 m^2 som har forbindelse til en korridor med et $1,5 \text{ m}^2$ stort spjeld. Den er plassert høyt i korridoren, som figur 10 viser. Spjeldene åpnes automatisk når røyk har blitt detektert av alarmsystemet. Deteksjonstiden er hurtig sammenliknet med andre aktive tiltak som for eksempel sprinkleranlegg. Den varme røykgassen stiger på grunn av oppdriftskreftene, og vil forlate korridoren via sjakten. Kald luft blir tilført korridoren fra et spjeld på 1 m^2 øverst i trapperommet, og vil redusere mengden røykgass inn i trapperommet. Kald luft vil også bli tilført når dører fra trapperommet åpnes.

6.2.2. Colt sjakt

Colt sjakten er et mekanisk røykventilasjonsystem hvor sjakten har et innvendig areal på 0,6 m². Oppsett for en Colt sjakt er illustrert på figur 11. Prinsippene er de samme som i en BRE sjakt med detektorer som åpner spjeld i aktuell etasje. Den mekaniske viften starter også ved deteksjon, som da sørger for at røykgass blir trukket opp i sjakten. Korridoren blir tilført luft via trapperom som medfører at det tar lengre tid før røyken når trapperommet. Viften reguleres også av trykket i korridor. Hvis alle dører er lukket, reduseres ventilasjonsraten automatisk slik at det ikke blir et kraftig undertrykk i korridoren, men røyk som siver inn vil fortsatt bli ventilert ut.



FIGUR 10: BRE SJAKT (17)



FIGUR11: COLT SJAKT (16)

7. Analyse av røykventilasjon i korridor

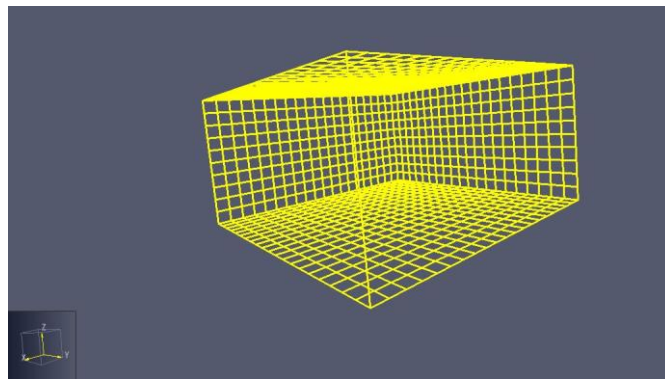
Dette kapitlet inneholder analyser av røykventilasjon i korridor. Det blir sett på katastrofebranner hvor personer har omkommet i rømningsvei. For å dokumentere effekten av røykventilasjon i korridor som er del av rømningsvei, er CFD programmet FDS valgt. FDS ble valgt fordi det er et godt dokumentert og anerkjent gratis program som er tilgjengelig for allmennheten.

7.1. Fire Dynamics Simulator

Fire Dynamics Simulator (FDS) ble utviklet av National Institute of Standards and Technology (NIST) på oppdrag fra US Department of Commerce. Det har vært under utvikling i over 25 år, men ble offentlig tilgjengelig først i år 2000 (19). FDS er en computational fluid dynamics (CFD) modell.

CFD programmer løser likninger som beskriver hvordan en brann og branngasser beveger seg i et volum. Det gjøres ved å anta at gass oppfører seg som fluid, og da kan en bruke Naviere – Stokes likninger for å regne ut hvordan fluiden beveger seg (19).

For å regne ut hvordan fluiden beveger seg må en definere ett rom (mesh) og så dele rommet inn i mange små kontrollvolum (celler). Figur 12 viser ett rom som inneholder 4000 celler, noe som er et lavt antall kontrollvolum.



FIGUR 12: ROM DELT INN I KONTROLLVOLUM

Ved bruk av et CFD program er det alltid tre deler som går igjen:

1. Skrive inn kommandoer som definerer størrelsen på objektet, størrelsen på cellene, geometrien til objektet, materialegenskaper, lufteåpninger og brannen. En må også spesifisere hva slags utdata som er ønskelig før enn stater simuleringen.
2. Simuleringen gjennomføres. Denne delen kan ta lang tid, avhenger av antall celler.
3. Resultatene av simuleringene fremstilles i Smokeview som gir en 3-D fremvisning av brannforløpet.

FDS har en annerledes tilnærming til turbulensberegning enn andre CFD modeller. FDS bruker large eddy simulator for å filtrere bort alle de små turbulente strømmingene, slik at bare de store strømmingene mellom cellene blir kalkuleret. Det betyr at en får redusert kalkulasjonstiden betraktelig, men samtidig oppnår en bra simulering.

Fordeler med FDS er at det er bra dokumentert og anerkjent. Ulemper med FDS er at det krever store kunnskaper om brann samt at det er tidkrevende.

7.2. Brannscenarier

Brannscenariene ble valgt ut etter følgende kriterier.

- Ikke for gammel.
- Har skjedd i Norge.
- Omkomne i rømningsvei.

Brannene som passet kravene er, brannen i Urtegata 31 i Oslo 13.12.08 og brannen i Bergseng bo- og servicesenter i Harstad 18.03.01. Urtegata 31 og Bergseng bo- og servicesenter har arkitektoniske utfordringer som gjør det vanskelig å flytte på ventilasjonskanaler ved simulering. Derfor har det i tillegg til disse to blitt laget et fiktivt scenario som kunne vært en etasje i en generell leilighetsblokk, hvor det er mulig å teste forskjellige plasseringer på røykventilasjon.

7.2.1. Urtegata 31



FIGUR 13: URTEGATA 31 (25)

Brannen i Urtegata 31 i Oslo 13. Desember 2008 tok livet av 6 personer. Urtegata 31 er en bygård som ble bygd i 1902, figur 13 viser et bilde av bygget fra 2008. Bygningen inneholder 57 boenheter fordelt på 5 plan (4 etasjer). Det er fortsatt ikke kjent hvordan brannen oppsto, men den startet i hovedtrappeoppgangen, som er en av tre trappeoppganger. I følge vakthavende brannsjef, ble ingen av de omkomne funnet på sine rom. I hver etasje er det en brannsikker dør inn fra hovedtrappa til korridorene. Det som har skjedd ifølge brannsjefen er at noen har åpnet de brannsikre dørene slik at røyken har kunnet spre seg fritt rundt i korridorene. Grunnen til at røyken spredte seg fort inn i korridorene var at det ble trekk inne i bygget, som medførte at skorsteinseffekten ble større. Det ble reddet ut 33 beboere gjennom vinduer og tak. Bygget hadde et automatisk varslingsanlegg (20).

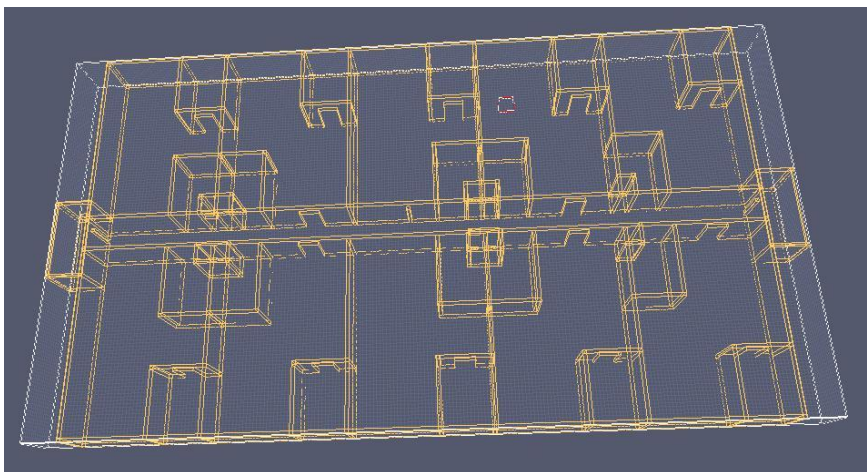
7.2.2. Bergsens bo- og servicesenter



FIGUR 14: BERGSENG BO- OG SERVICESENTER (26)

Brann i Bergsens bo- og servicesenter i Harstad 18. mars 2001 tok livet av tre personer. Figur 14 viser et bilde av bygget. Brannen startet i kjøkkenet hvor den utviklet seg fort. Døren fra kjøkkenet og ut til korridoren sto åpen under hele brannforløpet. Det er fortsatt uklart hva som kan ha forårsaket brannen. Brannen spredte seg fort over til en isoporkasse som inneholdt ferdigmat innpakket i plast. Isopor og plast er elementer som når de brenner gir fra seg en stor mengde med røyk. På grunn av dette ble korridoren raskt fylt med røyk. Det var i motsatt ende av korridoren de tre omkomne ble funnet. Kjøkkenet er utformet som en egen branncelle og det var installert helautomatisk brannalarmanlegg i bygget (21).

7.2.3. Fiktivt bygg



FIGUR 15: FIKTIVT BYGG

Det fiktive bygget er utformet som en typisk etasje i et leilighetskompleks, som figur 15 viser. Korridor leder til trapperom på hver ende og leiligheter på sidene. Det er fem leiligheter på hver side av korridoren som gir en total på ti leiligheter i etasjen. Brannen starter i en av leilighetene, og døren ut til korridor er åpen.

7.3. Inngangsdata

Det ble fremskaffet plantegninger over byggverkene. Disse ble brukt for å tegne skisser av byggene i programmet PyroSim. Da det ikke er kommet ut informasjon nok til å kunne simulere de virkelige brannene som skjedde i Urtegata 31 og Bergseng bo- og servicesenter er det likt brensel i alle simuleringene, polyurethane (PUR). PUR er et stoff som brukes til å lage skum produkter, som finnes i sofaer, stoler og senger. Se vedlegg A for mer informasjon om brannene.

I alle simuleringene ble det målt konsentrasjoner av CO, CO₂ og O₂ i korridor. Det ble også tatt bilder av sikt og røyklagshøyde i korridor. Se vedlegg A for detaljer.

Kapasiteten til viften i det mekaniske røykventilasjonsanlegget ble satt til 7,2 m³/s og åpningsarealet er tilnærmet 0,6 m². Colt har ikke beskrevet kapasiteten til viften som ble brukt ved validering, og derfor er kapasiteten valgt ut fra en norsk leverandør på mekaniske brannvifter. Se vedlegg E for detaljer til viften.

I figurene under vises de simulerte byggverkene. De røde firkantene er plasseringer av branner og de blå firkantene er plassering av røykventilasjon.

7.3.1. Urtegata 31

Brannen i Urtegata 31 startet i trapperom i 2. plan. Det ble simulert for å se om røykventilasjon kunne forbedret forholdene i korridor. Brannens størrelse i trapperom ble satt til 1 MW da det er en sannsynlig størrelse på den virkelige brannen i startfasen. I tillegg til brann i trapperom ble det sett på hvordan røykspredning fra brann i leilighet, i 3. plan, påvirket forholdene i korridor. Figur 16 viser oppsett av Urtegata 31, samt hvor brannene og røykventilasjonen er plassert. Følgende scenarioer ble simulert:

Scenario 1, brann i trapperom på 1 MW i 2. plan:

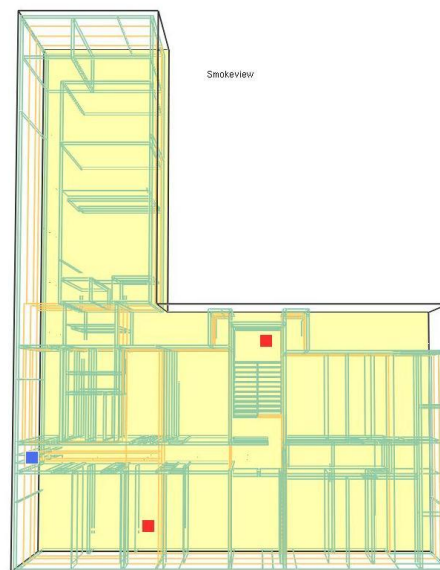
- Simulering 1: Uten røykventilasjon, tilluft fra hovedinngang.
- Simulering 2: BRE sjakt, tilluft fra trapperom.
- Simulering 3: Colt sjakt, tilluft trapperom.

Scenario 2, brann i leilighet på 1 MW i 3. plan:

- Simulering 4: Uten røykventilasjon, tilluft fra hovedinngang.
- Simulering 5: BRE sjakt, tilluft trapperom.
- Simulering 6: Colt sjakt, tilluft trapperom.

Scenario 3, brann i leilighet på 2 MW i 3. plan:

- Simulering 7: Uten røykventilasjon, tilluft fra hovedinngang.
- Simulering 8: BRE sjakt, tilluft trapperom.
- Simulering 9: Colt sjakt, tilluft trapperom.

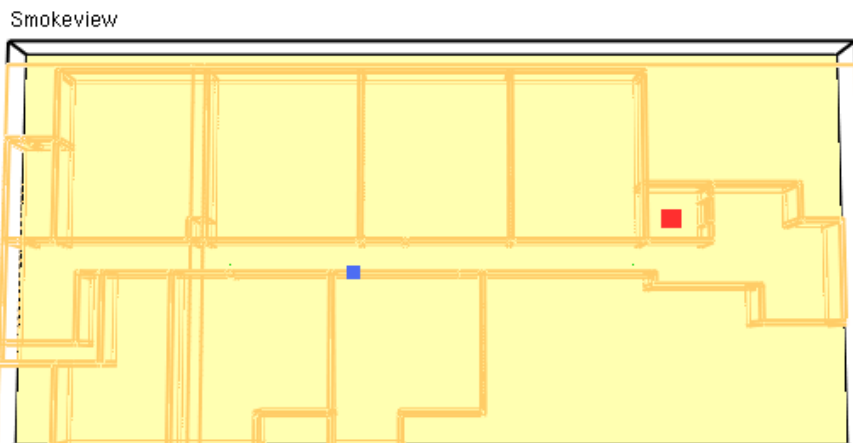


FIGUR 16: PLASSERINGER URTEGATA 31

7.3.2. Bergseng bo- og servicesenter

Da brannen i Bergseng bo- og servicesenter pågikk i den ene seksjonen av 1. etasje, ble denne delen studert. Figur 17 viser plassering av brannen og mekanisk røykventilasjon. Det ble gjennomført tre simuleringer av Bergseng.

- Simulering 1: Brann i kjøkken på 1MW, uten røykventilasjon.
- Simulering 2: Brann i kjøkken på 1 MW, med mekanisk røykventilasjon.
- Simulering 3: Brann i kjøkken på 2 MW, med mekanisk røykventilasjon.

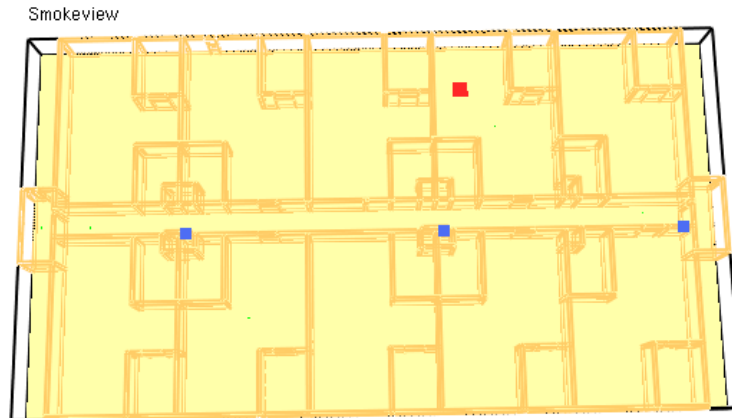


FIGUR 17: PLASSERINGER BERGSENG BO- OG SERVICESENTER

7.3.3. Fiktivt bygg

Brannen på 1 MW ble plassert i den samme leiligheten i alle simuleringene som vist på fig 18. Plassering av viftene ble variert for å se hvordan plasseringen påvirket forholdene i korridor. Det ble gjennomført fire simuleringer av det fiktive bygget:

- Simulering 1: Uten røykventilasjon.
- Simulering 2: Mekanisk røykventilasjon til venstre i korridoren.
- Simulering 3: Mekanisk røykventilasjon midt i korridoren.
- Simulering 4: Mekanisk røykventilasjon til høyre i korridoren.



FIGUR 18: PLASSERINGER FIKTIVT SCENARIO

7.3.4. Avgrensninger

Rammebetingelsene til simuleringene er ikke like de som var under katastrofebrannene. Faktorer som vær, vind og trykk påvirker brann- og røykspredningen, noe som gjør det vanskelig å kopiere en brann.

Det er også uklart hvor store branner systemene til Colt og BRE er dimensjonert for å takle. Det vites heller ikke hvor stor kapasitet den mekaniske viften i Colt sjakten er validert for.

Røykventilasjonssystemene er ikke detaljprosjektert. Simuleringene er satt opp på et basisnivå for å kunne se på virkningen av mekanisk og naturlig røykventilasjon i korridor som er rømningsvei.

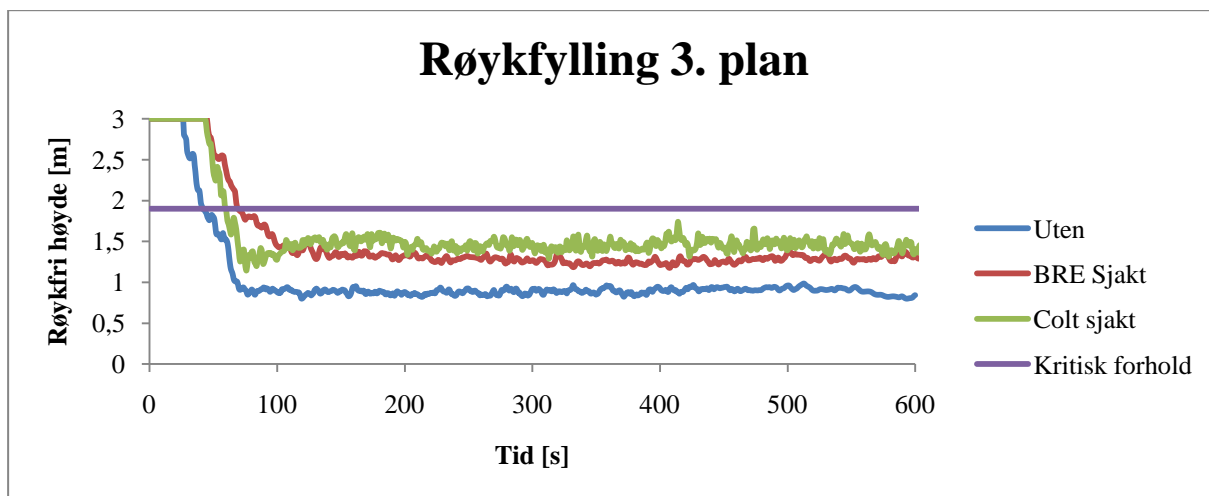
7.4. Akseptkriterier

Akseptkriterier for personer under rømning er beskrevet i kapittel 2.5. Er disse kriteriene fulgt vil man tilfredsstillende kravene beskrevet i TEK § 7-21 del 1 om rømningsforhold.

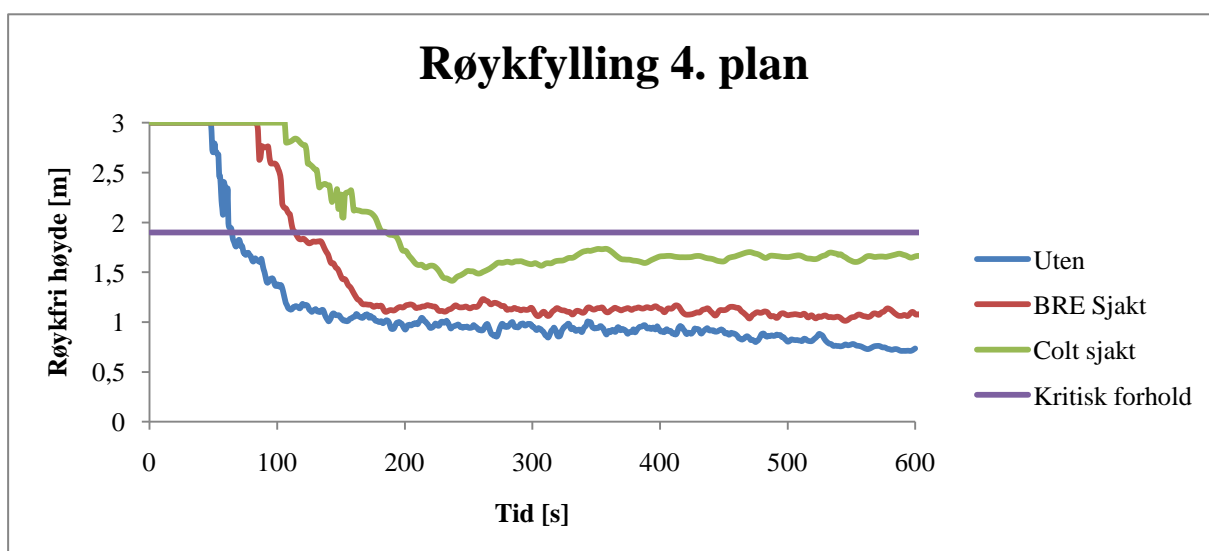
7.5. Resultater

Resultatene fra simuleringene er nøye dokumentert i vedlegget. Under blir bare de viktigste faktorene tatt med. Først blir Urtegata 31 scenarioene presentert, deretter Bergseng bo- og service senter og fiktivt bygg.

7.5.1. Urtegata 31

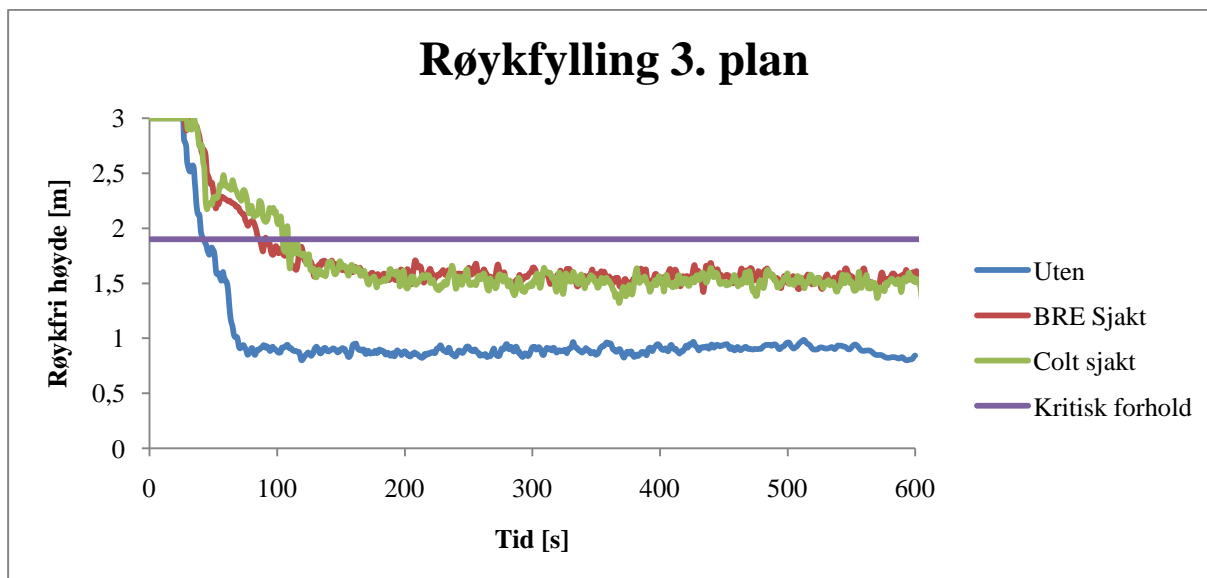


FIGUR 19: URTEGATA 31, SCENARIO 1, RØYKFYLLING 3. PLAN



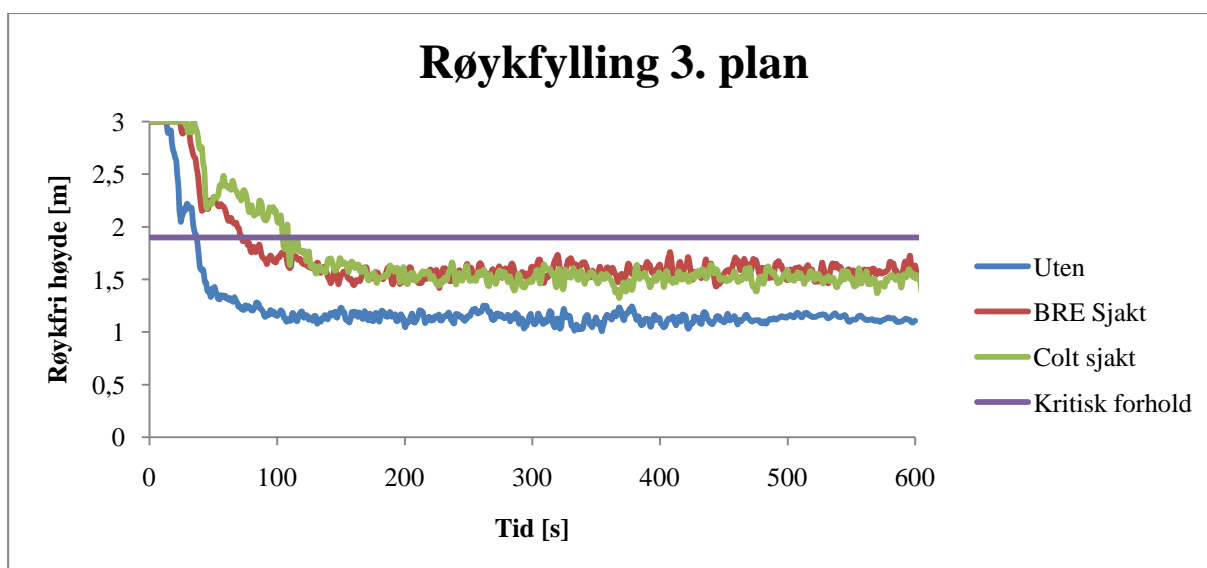
FIGUR 20: URTEGATA 31, SCENARIO 1, RØYKFYLLING 4. PLAN

Resultatene for scenario 1, brann på 1 MW i trapperom i 2. plan, viser at det oppstår kritiske forhold med hensyn til røykfri høyde i 3-5 plan. Figur 19 og 20 viser hvordan røyken spredde seg fra trapperom og inn i korridorene i 3. og 4. plan. Røykventilasjon vil ikke kunne hindre røyklaget i å synke til under kritisk verdi. Andre målinger som er beskrevet i vedlegg B viser at røykventilasjon reduserer mengden giftig gass i røyklaget.



FIGUR 21: URTEGATA 31, SCENARIO 2, RØYKFYLLING 3. PLAN

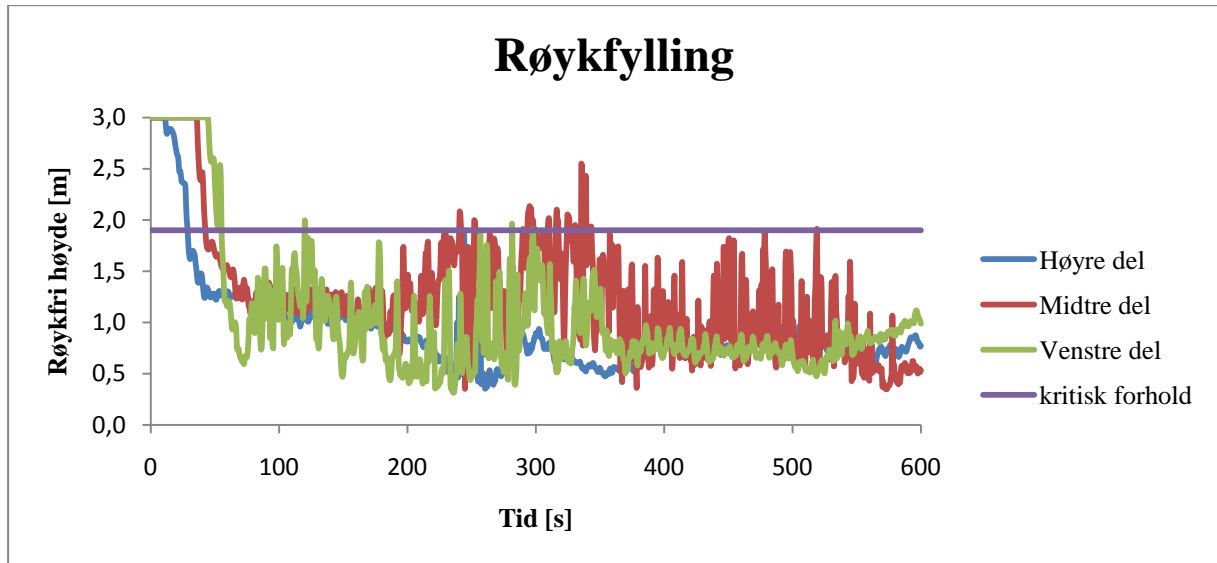
Resultatene fra scenario 2, brann på 1 MW i leilighet i 3. plan, viser at røykspredning medfører kritiske forhold med hensyn til røykfri høyde i 3.-5. plan uten røykventilasjon, som figur 21 viser. Med BRE og Colt sjakt blir det bare kritiske forhold i 3. plan, i tillegg tar det lengre tid før det oppstår kritiske forhold i 3. plan, som figur 21 viser. Det går henholdsvis ca 40 sek uten røyk ventilasjon, ca 85 sek med BRE sjakt og ca 105 sek med Colt sjakt før røykfri høyde er mindre enn 1,9 m.



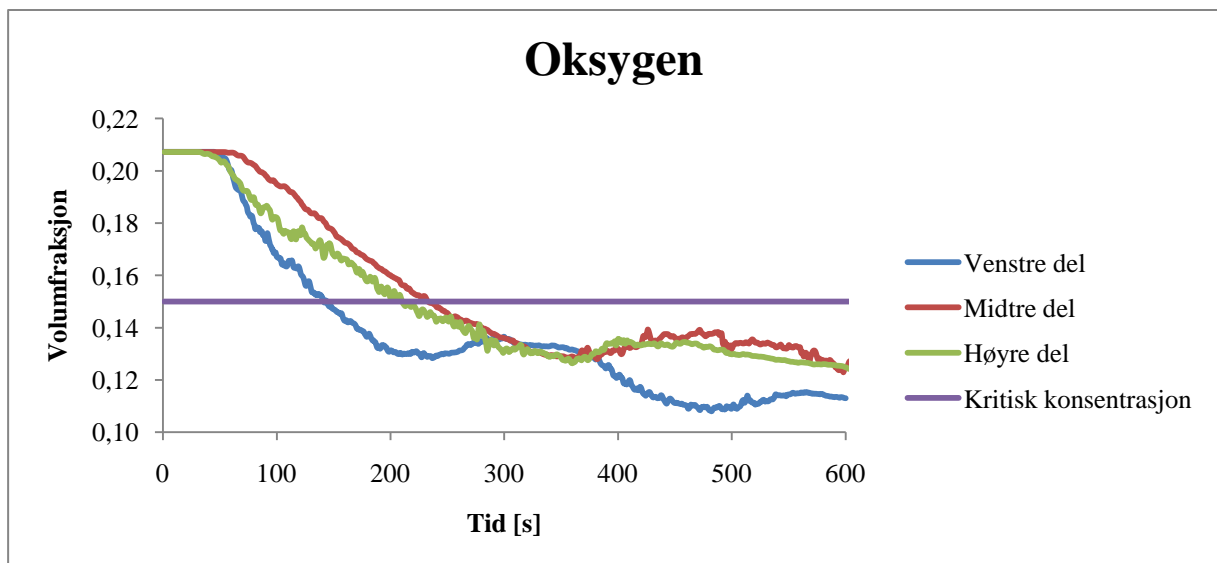
FIGUR 22: URTEGATA 31, SCENARIO 3, RØYKFYLLING 3. PLAN

Resultatene for scenario 3, brann på 2 MW i leilighet i 3. plan, viser at røykspredning er tilnærmet lik scenario 2, men forholdene blir mer kritiske i korridor. Som figur 22 viser, vil røykventilasjon redusere mengden røyk i korridor. Resultatene i vedlegg B viser at oksygen konsentrasjonen i røyklaget synker til kritisk verdi på under 15 %.

7.5.2. Bergseng bo- og service senter

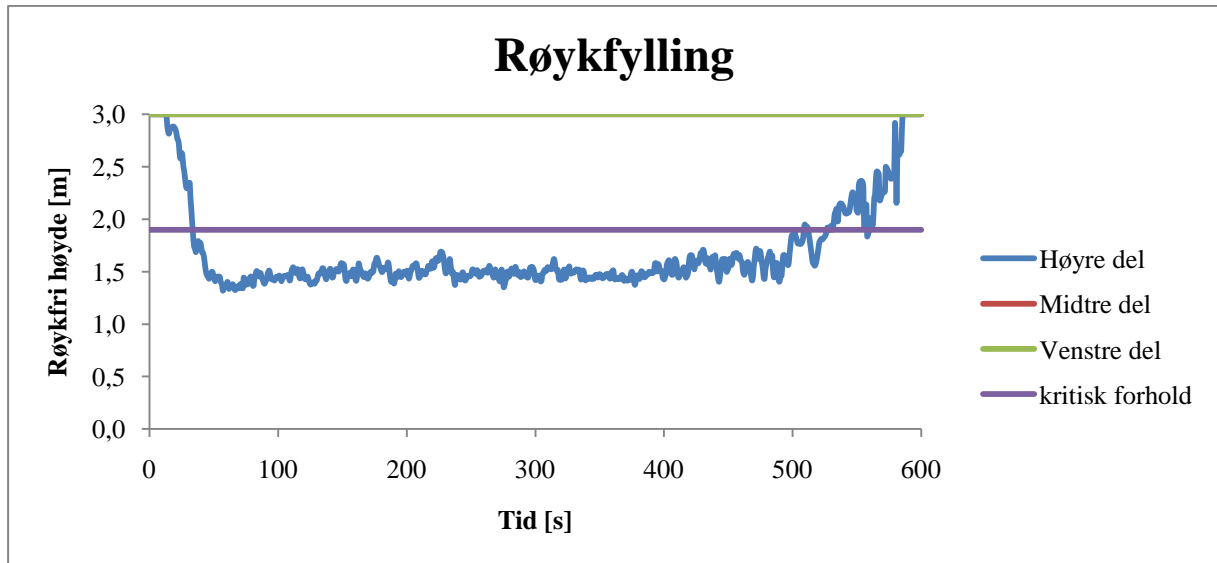


FIGUR 23: BERGSENG, UTEN MEKANISK RØYKVENTILASJON, RØYKFYLLING



FIGUR 24: BERGSENG, UTEN MEKANISK RØYKVENTILASJON, OKSYGEN KONSENTRASJON

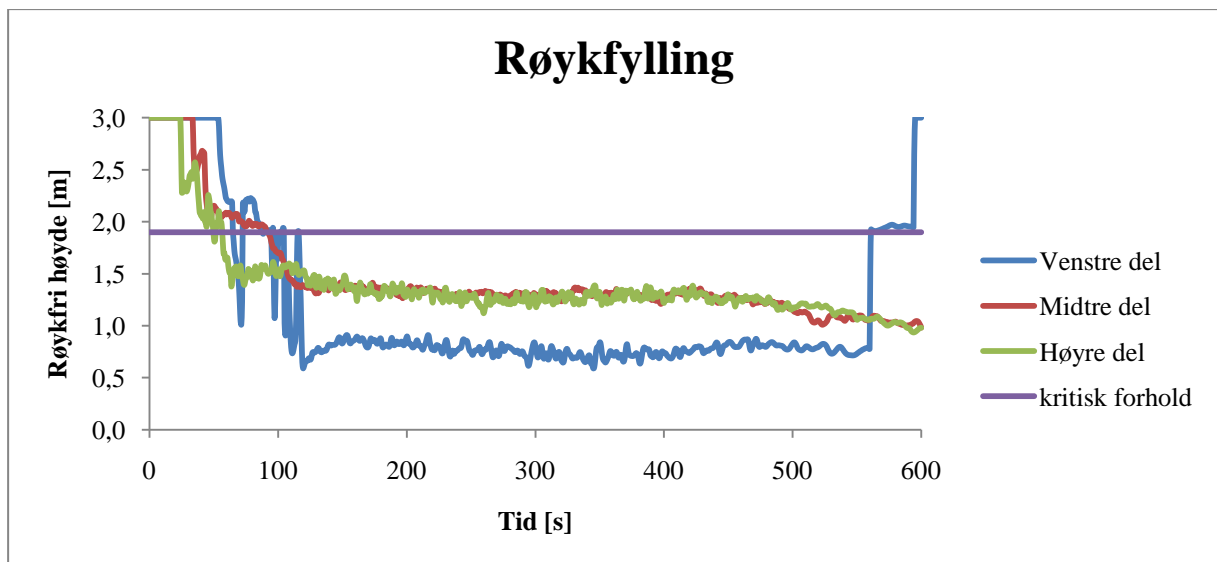
Korridoren blir studert som tre deler, da røykfyllingen skjer gradvis. Uten mekanisk røykventilasjon oppsto det kritiske verdier for alle målingene. Dette kommer tydelig frem ved røykfylling og oksygenkonsentrasjon, som en kan se på figur 23 og figur 24. I venstre del av korridoren hvor de omkomne ble funnet går oksygenkonsentrasjonen ned til nesten 10 % og karbondioksidkonsentrasjonen går opp til nesten 8 %, se vedlegg B.



FIGUR 25: BERGSENG 1 MW, MED RØYKVENTILASJON, RØYKFYLLING

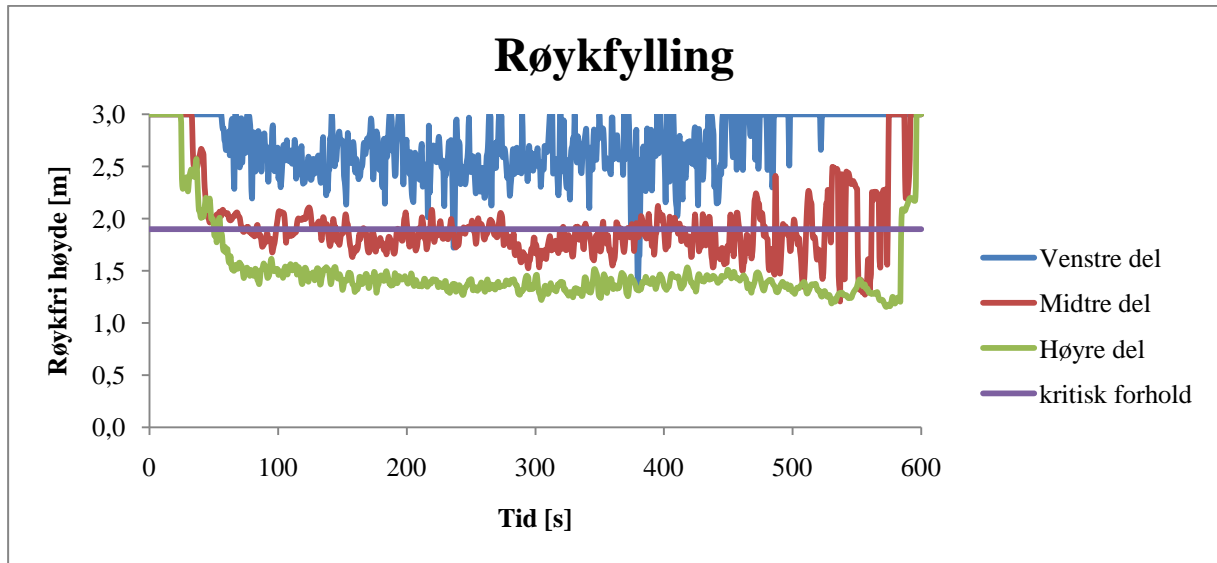
I simuleringen med mekanisk røykventilasjon og 1 MW brann, oppstår det bare kritiske verdier i høyre del av korridor. Det er fordi den mekaniske røykventilasjonen er plassert til høyre og trekker opp all røyk i korridoren. Figur 25 viser hvordan røyklaget forsvinner mot slutten av simuleringen når brannen har brent ut. Resultatene fra simulering 3 var tilnærmet lik resultatene fra simulering 2, det vises i vedlegg B.

7.5.3. Fiktivt scenario



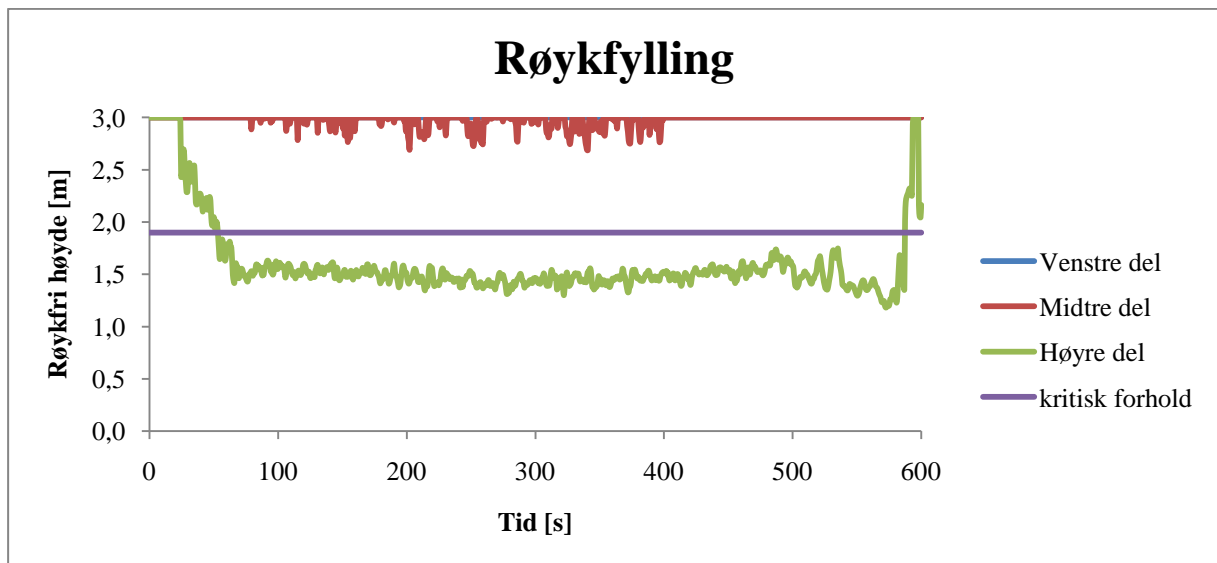
FIGUR 26: FIKTIV, UTEN MEKANISK RØYKVENTILASJON, RØYKFYLLING

I det fiktive scenarioet ble også korridoren studert som tre deler, da røykfyllingen skjer gradvis. Uten mekanisk røykventilasjon oppstår det kritiske forhold i hele korridoren med hensyn til røykfri høyde, som figur 26 viser. Vedlegg B viser mer detaljer om simuleringen.

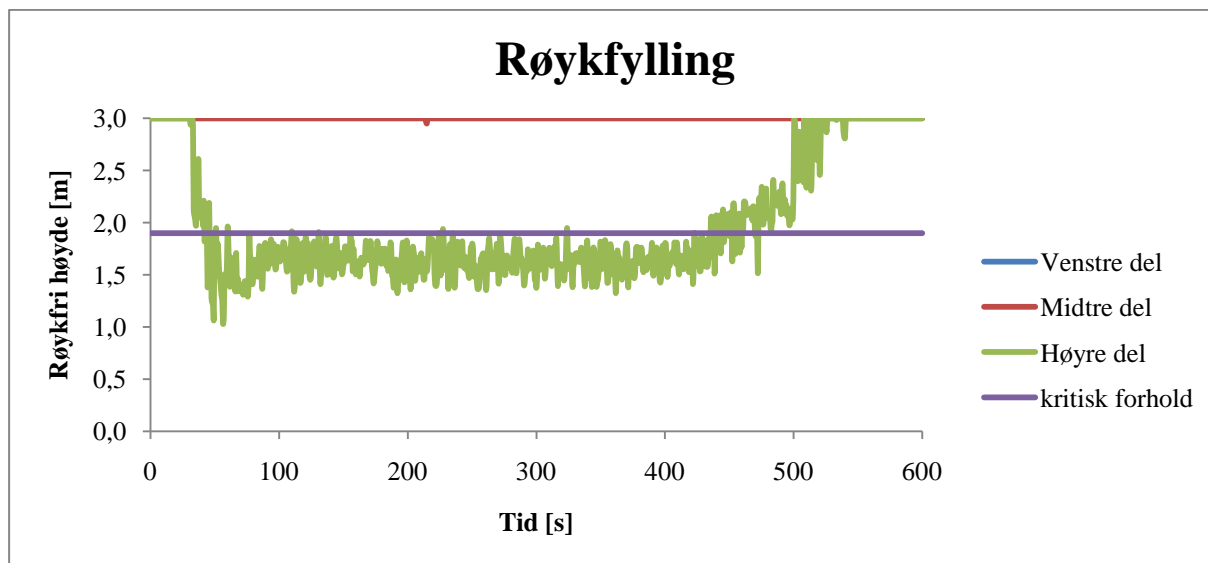


FIGUR 27: FIKTIV, MED MEKANISK RØYKVENTILASJON TIL VENSTRE I KORRIDOREN, RØYKFYLLING

I simuleringen med mekanisk røykventilasjon til venstre oppstår det kritiske forhold i hele korridoren bortsett fra venstre del, med hensyn til røykfri høyde, som figur 27 viser.



FIGUR 28: FIKTIV, MED MEKANISK RØYKVENTILASJON I MIDTEN AV KORRIDOREN, RØYKFYLLING



FIGUR 29: FIKTIV, MED MEKANISK RØYKVENTILASJON TIL HØYRE I KORRIDOREN, RØYKFYLLING

I simuleringene med mekanisk røykventilasjon i midten og til høyre i korridoren, ble det bare kritisk forhold i høyre del av korridoren, som figur 28 og 29 viser, se vedlegg B for flere resultater.

7.6. Oppsummering av resultater

Hadde det vært installert røykventilasjon i korridor i Urtegata 31, kunne det redusert røkspredningen noe. Grunnen til at røykventilasjonen ikke klarer en brann i trapperom er at sjakten hvor røyken skal forlate bygget, er plassert i korridor. Dermed blir tilluftsåpningen i toppen av trapperommet en lettere vei ut for røyken. Røyken som ikke kommer ut i trapperommet blir da spredd til resten av bygget. Røykventilasjonen ville derimot hatt større påvirkning på giftigheten av røykgassen, slik at ved den virkelige brannen kunne det vært færre omkomne.

Resultatene fra Bergseng bo- og servicesenter viser at mekanisk røykventilasjon ville hatt en markant innvirkning på utfallet av brannen. I venstre og midtre del av korridoren, hvor de omkomne ble funnet, ble det ikke røykfylling i noen av simuleringene hvor det var installert mekanisk røykventilasjon. Det ble derimot røykfylling i høyre del av korridoren, mellom viften og startbrannrommet. Selv om det oppsto røykfylling med mekanisk røykventilasjon, ble det ikke kritiske verdier for oksygen og karbondioksid.

Resultatene fra det fiktive bygget viser at plassering av røykavtrekk er av betydning. I simuleringen med mekanisk røykventilasjon til venstre i korridoren var korridoren nesten like røykfylt som i simuleringen uten mekanisk røykventilasjon. I simuleringene med mekanisk røykventilasjon i midten og til høyre ble det bare røykfylling og i høyre del av korridoren. Det oppsto ingen kritiske verdier for oksygen og karbondioksid i noen av simuleringen.

7.7. Usikkerhet ved resultater

Størrelsen på kontrollvolumene i simuleringen påvirker resultatet. Simuleringene har kontrollvolum på 20 * 20 * 20 cm. Begrunnelse for valg størrelse finnes i vedlegg A.

Det er simulert branner på 1 og 2 MW, med en hurtig vekstfase. Det er usikkert hvor store branner røykventilasjonssystemet klarer å takle med hensyn til røykproduksjon. Vedlegg A beskriver vekstfasen til brannen og hva som brenner.

Det er vanskelig å vite hvordan luften beveger seg i bygg, spesielt i fleretasjers bygg. I simuleringene er det ikke lagt inn beskrivelser av hvordan luften beveger seg. I virkeligheten kan dette ha betydning for effekten av røykventilasjon.

Antall simuleringer gjennomført er ikke tilfredsstillende for å kunne si noe om sannsynligheten for at resultatet er riktig. Hver simulering burde blitt simulert gjentatte ganger med små forandringer i inngangsdataene, slik at det hadde vært mulig å kvantifisere et standardavvik.

8. Konklusjon

Det er i denne rapporten studert hvilken innvirkning mekanisk og naturlig røykventilasjon har på korridor som er del av rømningsvei i tilknytning til trapperom. Mekanisk og naturlig røykventilasjon har blitt simulert i FDS gjennom en rekke scenarier. Scenarioene ble også simulert uten noen form for røykventilasjon. Resultatene ble deretter sammenliknet for å se om rømningsforholdene i korridorene ble forbedret.

Det fremgår fra simuleringene at forholdene i korridor er bedre ved installasjon av Colt sjakten sammenliknet med BRE sjakten. Simuleringene viste at ved brann i leilighet tilknyttet korridor, klarer sjaktene å hindre røykspredning til andre etasjer og redusere giftigheten til røykgassen.

Plassering av mekanisk røykventilasjon i korridor har stor betydning for røykspredningen ved brann. Er det ett avtrekkspunkt bør det plasseres i midten av korridor. Plasseres røykavtrekket i enden av korridor risikerer man at forholdene ved brann blir kritiske i hele korridoren.

I katastrofebrannene var svikt av passive tiltak, som åpne dører, en av årsakene til utfallet. I disse byggene kunne røykventilasjon i korridor redusert konsekvensen av brannene. Simuleringene viste at det oppstår kritiske forhold i deler av korridoren med røykventilasjon. Selv om det er brudd på akseptkriteriene med røykventilasjon, er forholdene i korridor forbedret betraktelig sammenliknet med simuleringene uten røykventilasjon.

9. Videre arbeid

Simuleringene ser på hvordan røykventilasjon klarer å forbedre forholdene ved brann med åpen dør. Det hadde det kunne vært nyttig og sett på hvordan forholdene hadde vært med lukket dør. En måte å studere det er ved fullskala forsøk, slik at en får røykspredning gjennom små utettheter som kan være vanskelige å legge inn i simuleringer. I tillegg blir luftstrømmingene i bygget tatt hensyn til ved testing.

Det kunne også vært interessant å studere effekten til andre metoder av mekanisk røykventilasjon i korridor. Som for eksempel tilluftsvifte kombinert med røykluker, eller balansert ventilasjon med både tilluftsvifte og røykgassvifte.

10. Referanser

1. **DSB.** Brann- og uhellsstatistikk 2003. [Internett] [Sisert: 15 01 2010.] <http://www.dsb.no/Global/Publikasjoner/2004/Rapport/brann-uhell2003.pdf>.
2. —. Brann- og uhellsstatistikk 2008. [Internett] [Sisert: 15 01 2010.] http://www.dsb.no/Global/Publikasjoner/2009/Rapport/brann%20og%20uhell_08.pdf.
3. **SINTEF, NBL.** *Menneskelig sikkerhet ved bygninger*. s.l. : Pedersen, Steinart Lundberg og Kjell Schmidt, 1982.
4. **Government, Communities and Local.** Fire Statistics, United Kingdom. [Internett] 2007. [Sisert: 01 02 2010.] <http://www.communities.gov.uk/documents/statistics/pdf/1320522.pdf>.
5. **Lovdata.** Lov om planlegging og byggesaksbehandling § 29-3. [Internett] [Sisert: 25 03 2010.] <http://lovdata.no/all/hl-20080627-071.html#29-3>.
6. **Statistisk sentralbyrå.** SSB. [Internett] [Sisert: 09 04 2010.] <http://www.ssb.no/boligstat/>.
7. **Drysdale, Dougal.** *An Introduction to fire Dynamics*. 1998.
8. **Quintere, Bjørn Karlsson og James G.** *Enclosure Fire Dynamics*. 2000.
9. **John H. Klote, James A. Milke.** *Principles of Smoke Management*. 2002.
10. **SINTEF, NBL.** *Røykproduksjonen ved branner offshore*. s.l. : Stensaas, Jan P., 2007.
11. **SINTEF NBL as.** Håndbok i Branntekniske Analyser og -Beregninger, 1998. [Internett] [Sisert: 25 03 2010.] <http://nbl.sintef.no/handbook/>.
12. **NFPA.** *Fire Protection Handbook, Volume 2*. 2003.
13. **Statens Byggetekniske Etat.** *Røykventilasjon Temaveiledning, HO-3/2000*. 2000.
14. **SINTEF, Byggeforsk.** *NBI 520.380 Røykkontroll i bygninger*. 2006.
15. **Yamana, Toshio og Tanaka, Takeyoshi.** SMOKE CONTROL IN LARGE SCALE SPACES. *Fire Science and Technology*. Vol 5.No.1, 1985.
16. **Colt, Group.** List of Brochures. *Colt Shaft Tests*. [Internett] [Sisert: 23 02 2010.] <http://www.coltinfo.co.uk/Literature/>.
17. **Colt.** Sammenlikning. [Internett] [Sisert: 20 02 2010.] http://www.coltinfo.co.uk/view.aspx?/products/colt-shaft/comparisons-between-pressurisation-systems_-bre-shafts-and-colt-shaft.pdf.
18. **Statistisk sentralbyrå.** Gjennomsnittlig kvadratmeterpris. [Internett] 2008. [Sisert: 21 04 2010.] <http://www.ssb.no/kvadenebol/tab-2009-05-20-01.html>.
19. **NIST.** *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. s.l. : National Institute of Standards and Technology, 2009.
20. **NTB.** Nettavisen. [Internett] [Sisert: 10 Mars 2010.] <http://www.nettavisen.no/innenriks/article2471673.ece>.

21. **DSB.** Publikasjoner. [Internett] 10 Mars 2010.
<http://www.dsb.no/Global/Publikasjoner/Granskingsrapporter/Bergseng.pdf>.
22. **John H. Klote, D.SC., P.E.** Prevent plugholing: Smoke control done right. [Internett] [Sisert: 18 02 2010.] <http://www.nxtbook.com/nxtbooks/reed/cse1108/index.php> .
23. **Hagen, Bjarne Cristian.** *Grunnleggende brannteknikk.* 2004.
24. **NORGES STANDARDISERINGSFORBUND.** *NS 3901 Risikoanalyse av brann i byggverk.* s.l. : NORSK STANDARD, 1998.
25. **Wikimedia.** [Internett] [Sisert: 10 Mars 2010.]
http://images.google.no/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/Urtegata_31.jpg&imgrefurl=http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Urtegata_31.jpg&usg=__ZCiSCnr5VvCoKHYusAIFofwTFnk=&h=746&w=902&sz=581&hl=no&start=2&um=1&itbs=1&tbnid.
26. **Harstad Kommune.** [Internett] [Sisert: 10 Mars 2010.]
<http://www.harstad.kommune.no/hk/side/bergseng-bofellesskap>.

11. Vedlegg

1. Vedlegg A - Inngangsdata til simuleringer	III
1.1. Validering av cellestørrelse	III
1.2. Oppsetting av bygg	IV
1.3. Brannen.....	IV
1.4. Mekanisk ventilasjon	V
1.5. Tid.....	V
1.6. Ønsket utdata	V
2. Vedlegg B – Resultater	VI
2.1. Urtegata 31	VI
2.2. Bergseng	XXIV
2.3. Fiktivt bygg.....	XXXI
3. Vedlegg C - Tabeller.....	XLIII
3.1. Branneffekter	XLIII
3.2. Nødvendig åpningsareal ved naturlig ventilasjon	XLIV
3.3. Nødvendig viftekapasitet ved mekanisk røykventilasjon.....	XLV
4. Vedlegg D – Utledning av trykkdifferanse	XLVI
5. Vedlegg E – Mekanisk vifte detaljer	XLIX

Figurliste

Figur 1: Sammenlikning av cellestørrelse	III
Figur 2: Urtegata 31 laget i PyroSim.....	VI
Figur 3: Urtegata 31, Scenario 1, Sikt etter 60 s. uten r.v.	XI
Figur 4: Urtegata 31, Scenario 1, Sikt etter 60 s. BRE sjakt	XI
Figur 5: Urtegata 31, Scenario 1, Sikt etter 60 s. Colt sjakt	XI
Figur 6: Urtegata 31, Scenario 1, Temperatur etter 120 s. Uten r.v.	XII
Figur 7: Urtegata 31, Scenario 1, Temperatur etter 120 s. BRE sjakt	XII
Figur 8: Urtegata 31, Scenario 1, Temperatur etter 120 s. Colt sjakt	XIII
Figur 9: Urtegata 31, Scenario 2, Sikt etter 120 s. Uten r.v.	XVII
Figur 10: Urtegata 31, Scenario 2, Sikt etter 120 s. BRE sjakt	XVII
Figur 11: Urtegata 31, Scenario 2, Sikt etter 120 s. Colt sjakt	XVIII
Figur 12: Urtegata 31, Scenario 2, Temperatur etter 120 s. Uten r.v.	XVIII
Figur 13: Urtegata 31, Scenario 2, Temperatur etter 120 s. BRE sjakt	XVIII
Figur 14: Urtegata 31, Scenario 2, Temperatur etter 120 s. Colt sjakt	XIX
Figur 15: Urtegata 31, Scenario 3, Sikt etter 120 s. Uten r.v.	XXII
Figur 16: Urtegata 31, Scenario 3, Sikt etter 120 s. BRE sjakt	XXII
Figur 17: Urtegata 31, Scenario 3, Sikt etter 120 s. Colt sjakt	XXII
Figur 18: Urtegata 31, Scenario 3, Temperatur etter 120 s. Uten r.v.	XXIII
Figur 19: Urtegata 31, Scenario 3, Temperatur etter 120 s. BRE sjakt	XXIII
Figur 20: Urtegata 31, Scenario 3, Temperatur etter 120 s. Colt sjakt	XXIII
Figur 21: Bergseng med inndeling av korridor	XXIV
Figur 22: Bergseng, Simulering 1, Temperatur etter 120 s	XXVI
Figur 23: Bergseng, Simulering 1, Sikt etter 120 s	XXVI
Figur 24: Bergseng, Simulering 2, Sikt etter 120 s	XXVIII
Figur 25: Bergseng, Simulering 2, temperatur etter 120 s	XXIX
Figur 26: Bergseng, Simulering 3, Sikt etter 120 s	XXXI
Figur 27: Bergseng, Simulering 3, Temperatur etter 120 s	XXXI
Figur 28: Fiktiv med inndeling av korridor.....	XXXII
Figur 29: Fiktiv, Simulering 1, Sikt etter 120 s	XXXIV
Figur 30: Fiktiv, Simulering 1, Temperatur etter 120 s	XXXIV
Figur 31: Fiktiv, Simulering 2, Sikt etter 120 s	XXXVI
Figur 32: Fiktiv, Simulering 2, Temperatur etter 120 s	XXXVII
Figur 33: Fiktiv, Simulering 3, Sikt etter 120 s	XXXIX
Figur 34: Fiktiv, Simulering 4, Temperatur etter 120 s	XXXIX
Figur 35: Fiktiv, Simulering 4, Sikt etter 120 s	XLII
Figur 36: Fiktiv, Simulering 4, Temperatur etter 120 s	XLII
Figur 37: Trykk med en åpning (8)	XLVI
Figur 38: Trykk med to åpninger (8)	XLVII

Tabelliste

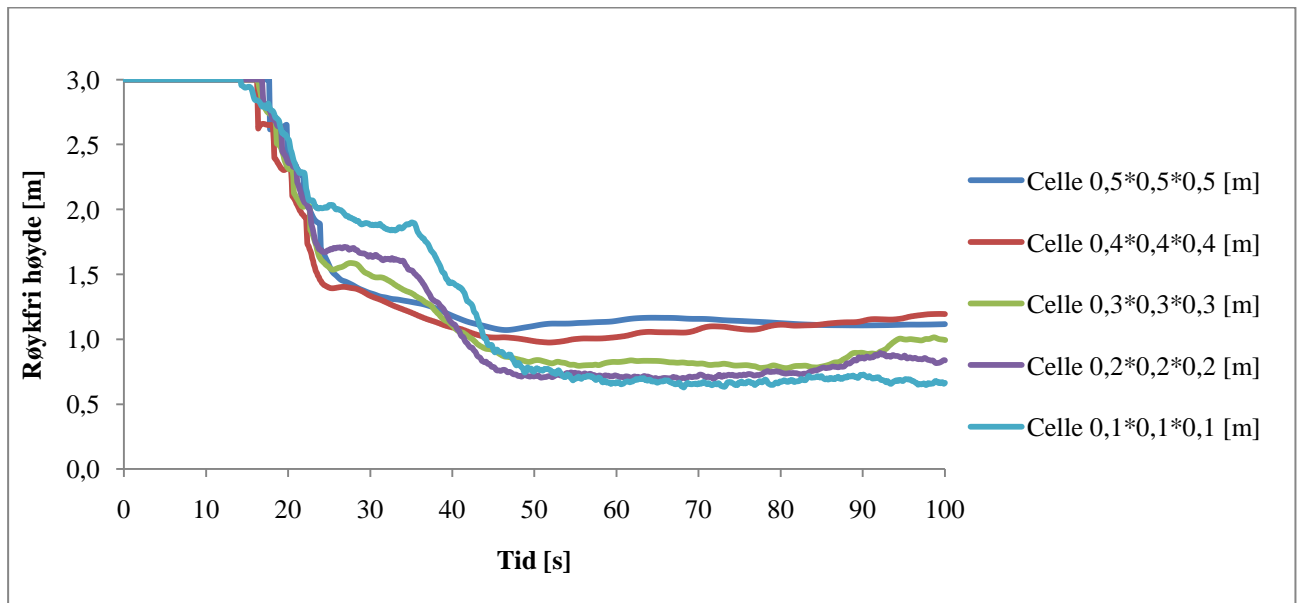
Tabell 1: Utrekning av D^*/dx	IV
Tabell 2: Brannens utvikling	IV
Tabell 3: Typiske branneffekter (13).....	XLIII
Tabell 4: Beregning av åpningsareal ved naturlig røykventilasjon (13)	XLIV
Tabell 5: Beregning av viftekapasitet ved mekanisk røykventilasjon (13)	XLV

1. Vedlegg A - Inngangsdata til simuleringer

Før en simulering kan starte er det mange parametre som må defineres. Dette kapittelet beskriver avgjørelsene som er gjort ved simuleringene i denne oppgaven.

1.1. Validering av cellestørrelse

Da temperaturen i cellen er et gjennomsnitt, medfører det at store celler kan gi resultater som avviker fra virkeligheten. Samtidig som simulering med små celler tar lang tid. Det er derfor ønskelig å ha en cellestørrelse hvor en får et resultat mest mulig likt virkeligheten, samtidig som simuleringen kan gjøres på minst mulig tid. Derfor ble det gjort en sensitivitetsanalyse. Analysen ser på hvordan størrelsen på cellene påvirker røykspredningen. Brannen som ble simulert en rombrann på 1 MW med spredning til korridor. Figur 1 viser resultatene av røykfylling i korridor med de fem forskjellige cellestørrelsene.



FIGUR 1: SAMMENLIKNING AV CELLESTØRRELSE

Celler med sider på 0,5m og 0,4m størrelser skiller seg ut med at røyklaget ikke kommer like lavt som ved de andre simuleringene. Derfor kan det se ut som om det er best å ha celler med en størrelse mellom 0,1m og 0,3m. For å bli sikker på valg av cellestørrelse kan D^* / dx forholdet regnes ut. Det er et forhold på antall celler som brannens areal kan deles opp i.

For å finne den karakteristiske diameteren til brannen brukes formelen:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (19)$$

Utregning av simuleringene fra figur 1, vises i tabell 1:

TABELL 1: UTREGNING AV D^*/dx

Forsøk	Cellestørrelse [m]	D^*	D^*/dx
1	0,5	0,959	1,918
2	0,4	0,959	2,398
3	0,3	0,959	3,197
4	0,2	0,959	4,795
5	0,1	0,959	9,590

Det anbefales å ha et D^*/dx forhold mellom 4 og 10. Beregningene tyder dermed på at en cellestørrelse fra 0,1m til 0,2m er akseptabel. Når en tar hensyn til tidsaspektet ved simulering er det en fordel å velge celler med en størrelse på 0,2m. Det er også forenelig med figur 1.

1.2. Oppsetting av bygg

Tegneprogrammet PyroSim er brukt for å skissere byggverkene. PyroSim tillater brukeren å importere plantegninger, og bruke disse som bakgrunnsbilde. Alle gulv, vegger, tak, trapper og åpninger er konstruert på en slik måte. PyroSim bruker da skissen for å generere koder som skal tilsvare bygget, som kan brukes ved simulering i FDS.

1.2.1. Urtegata 31

Viser til vedlagte filer i CD.

1.2.2. Bergseng bo- og service senter

Viser til vedlagte filer i CD.

1.2.3. Fiktivt bygg

Viser til vedlagte filer i CD.

1.3. Brannen

Polyuretan som brukes mye i skum eller faste plastmaterialer er brukt som brensel i samtlige simuleringer, fordi det skaper store mengder tykk svart røyk når det brenner (12).

Brannen effektutvikling er som tabell 1 viser. Brannen har en veldig hurtig utvikling da det var ønskelig å få dannet mye røyk i en tidlig fase av simuleringene.

TABELL 2: BRANNENS UTVIKLING

Tid [s]	Effekt [%]
0	0,1
10	0,2
20	0,5
40	1
360	1
420	0,5
480	0

1.4. Mekanisk ventilasjon

Det finnes mekaniske vifter med kapasitet fra 1 m³/s til over 100 m³/s, men det har blitt simulert med en vifte som har kapasitet på 7,2 m³/s. Det er en viftekapasitet som ikke oppnår hastighet hvor det er stor fare for dragsugeffekt. Arealet til viften ble satt til 0,6 m² for å etterligne Colt`s løsning. Flere spesifikasjoner om viften kan leses i vedlegg F.

1.5. Tid

Hver simulering varer i ti minutter, hvorav det brenner i åtte minutter. Det brenner ikke de siste to minuttene fordi røykventilasjonens evne til å fjerne røyk ble studert.

1.6. Ønsket utdata

Det må defineres på forhånd hva som skal måles i simuleringen. Det er vektlagt å sammenlikne resultater med akseptkriterier som er definert i 2.5. akseptkriterier i hovedrapporten. De forskjellige parametrene er derfor mengde oksygen, karbondioksid og karbonmonoksid. Frysikthøyde er også en viktig parameter å sammenlikne.

1.6.1. CO₂

For å måle karbondioksid konsentrasjonen ble det plassert gassmålerapparat i høyden 2 m, 1,75 m og 1,5 m. Disse ble plassert med jevne mellomrom i korridor. Apparaturen som ble satt inn er karbondioksid volum fraksjon.

1.6.2. CO

For å måle karbonmonoksid konsentrasjonen ble det plassert gassmålerapparat i høyden 2 m, 1,75 m og 1,5 m. Disse ble plassert med jevne mellomrom i korridor. Apparaturen som ble satt inn er karbonmonoksid volum fraksjon.

1.6.3. O₂

For å måle oksygen konsentrasjonen ble det plassert gassmålerapparat i høyden 2 m, 1,75 m og 1,5 m. Disse ble plassert med jevne mellomrom i korridor. Apparaturen som ble satt inn er oksygen volum fraksjon.

1.6.4. Røyklagshøyde

For å få finne ut hvor fort røyklaget beveger seg mot gulvet ble det satt inn røykmålerapparat (layer zoning device) som logger røyklagshøyden en gang hvert 0,6 sekund. Disse ble plassert med jevne mellomrom i korridor.

2. Vedlegg B – Resultater

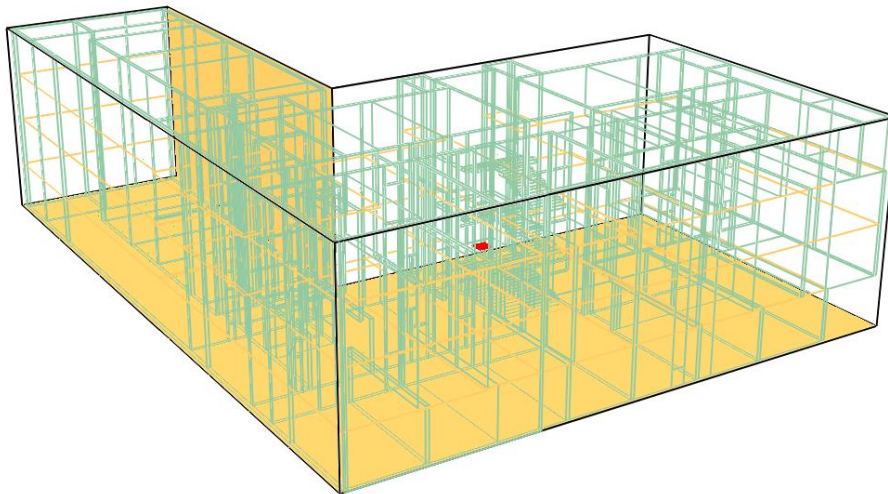
Alle resultatene for røykfylling, oksygen, karbondioksid og karbonmonoksid blir presentert i form av diagrammer. Det er også lagt inn figurer fra Smokeview som viser sikt og temperatur i korridor. Akseptkriteriet for sikt i rømningsvei er 10 meter og figurene viser denne grensen med et tynnt svart sjikt. Denne grensen kan være vanskelig å se i noen av figurene, men ligger mellom det grønne og blå området. Akseptkriteriet for temperatur i rømningsvei er 60°C og figurene viser denne også som et tynnt svart sjikt. Akseptkriteriet kan være vanskelig å se i noen av figurene fordi fargene varierer med maks temperatur i røyklaget.

2.1. Urtegata 31

Figur 2 viser Urtegata 31 laget i PyroSim. Plan 1 som er kjelleren er ikke med i simuleringene, derfor er 2. plan den nederste etasjen.

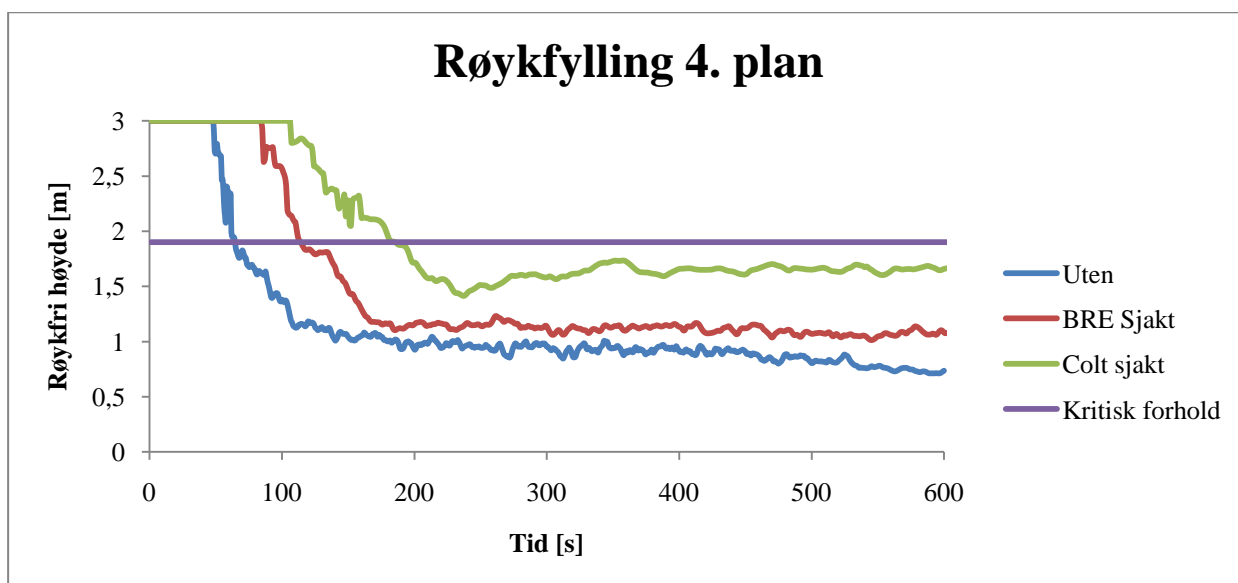
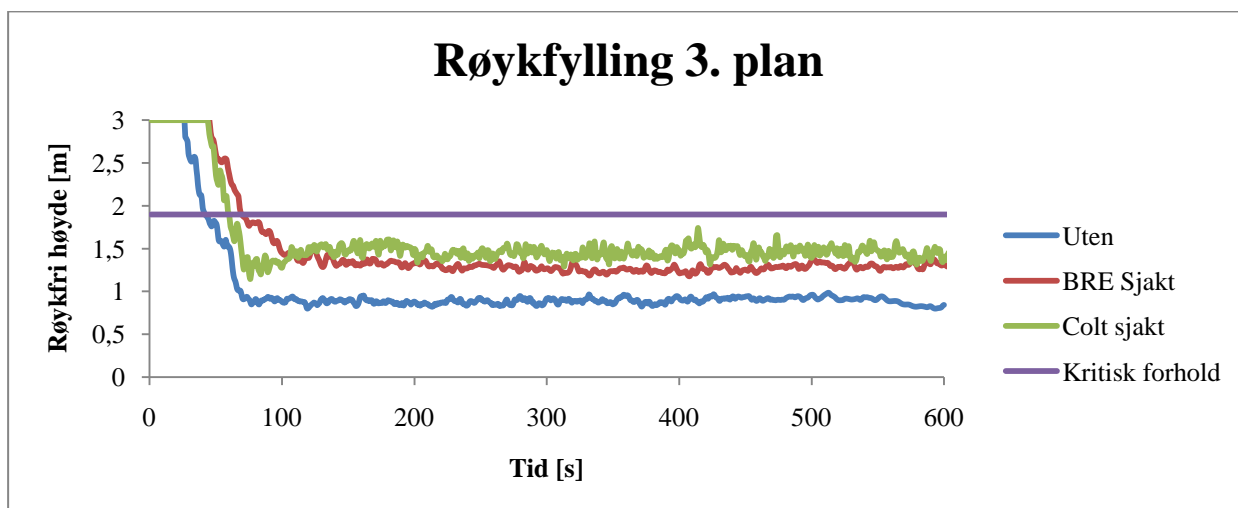
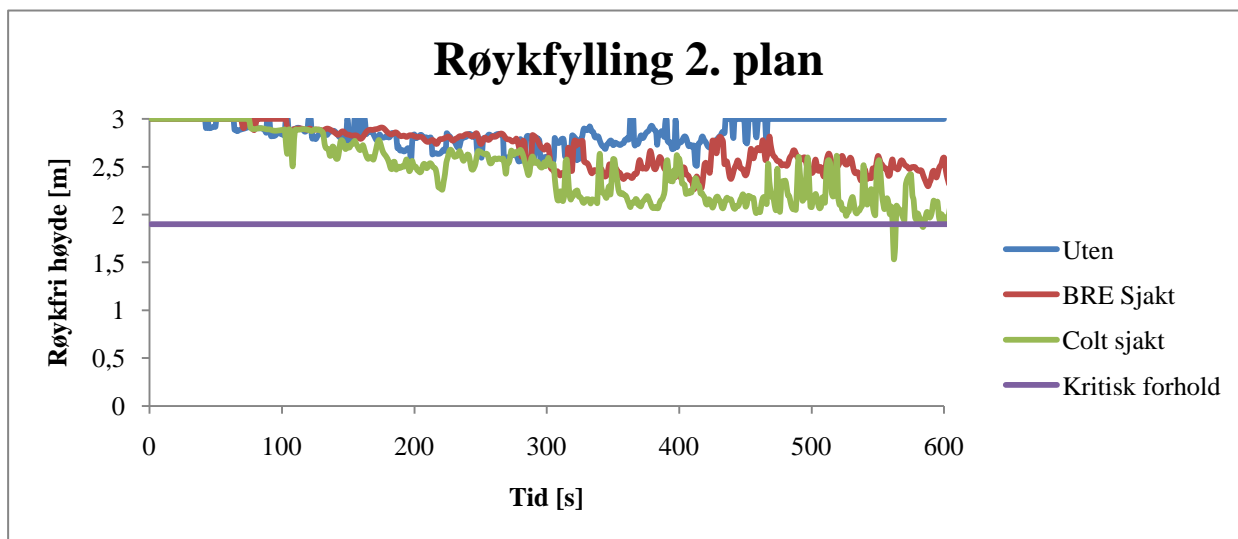
Etter gjentatte simuleringer ble det funnet ut hvilken del av bygget røyken spredde seg til. Derfor ble den aktuelle delen simulert i videre forsøk. Først blir det presentert hvordan røykfylling skjer i planene i Urtegata 31. Deretter vises røykgassens innhold i de planene hvor røyklaget synker under akseptkriteriet på 1,9 meter. Til slutt er det bilder av temperaturen og sikten i røyklaget.

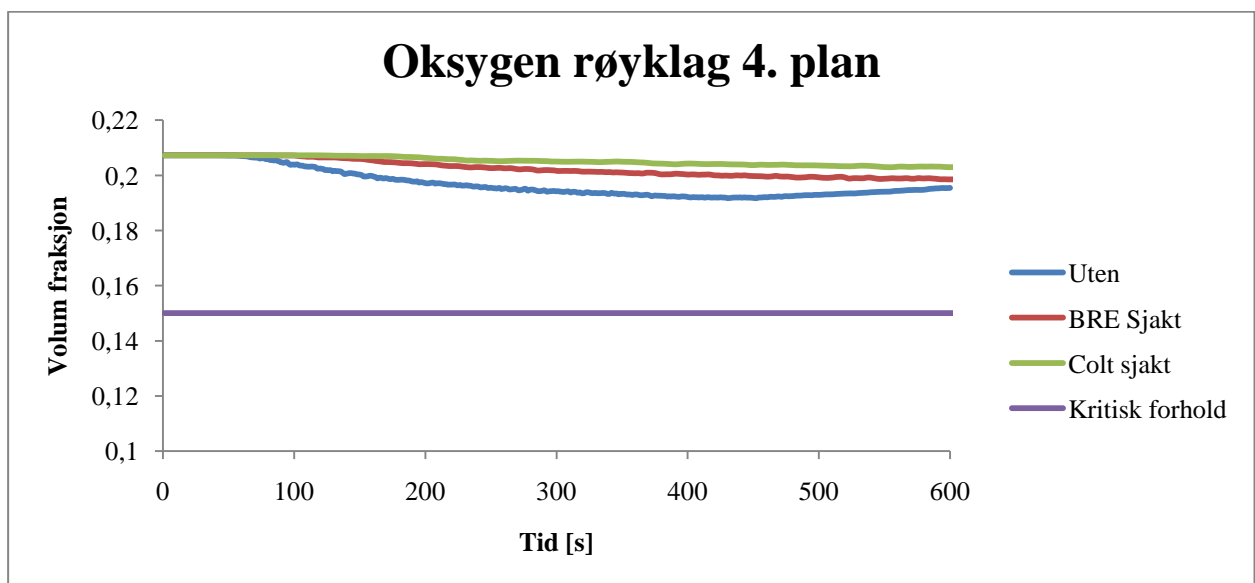
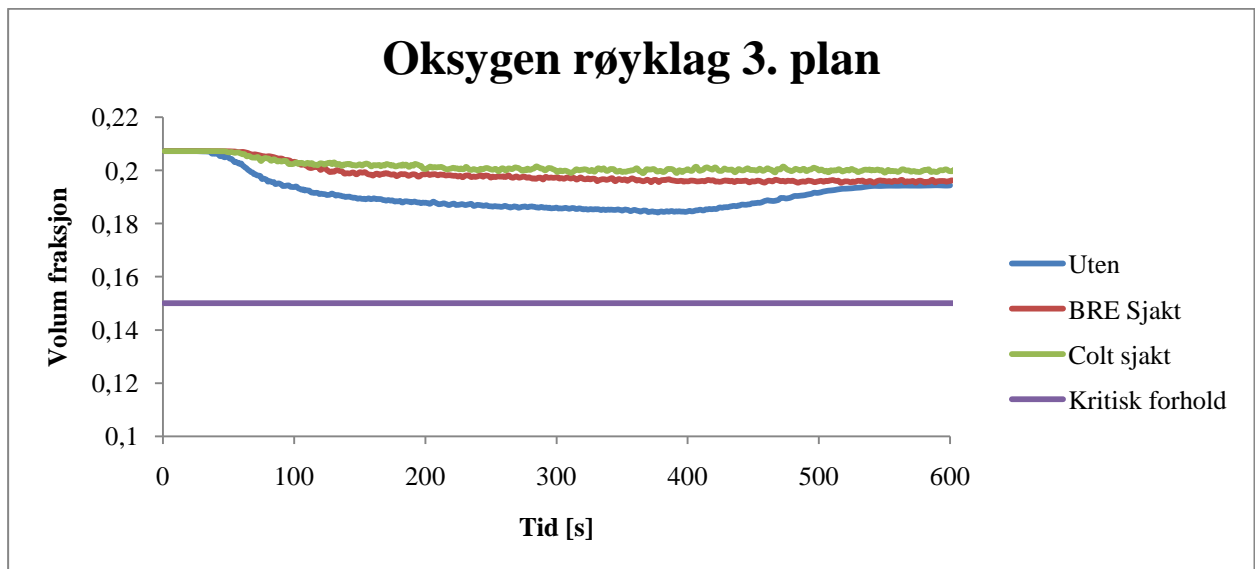
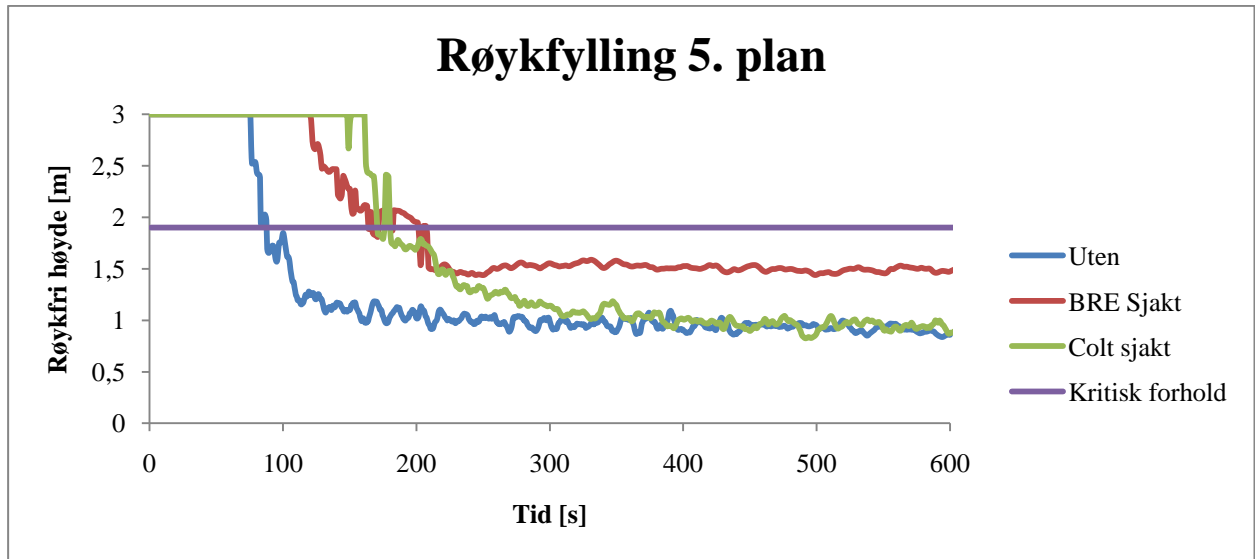
Smokeview 5.4.8

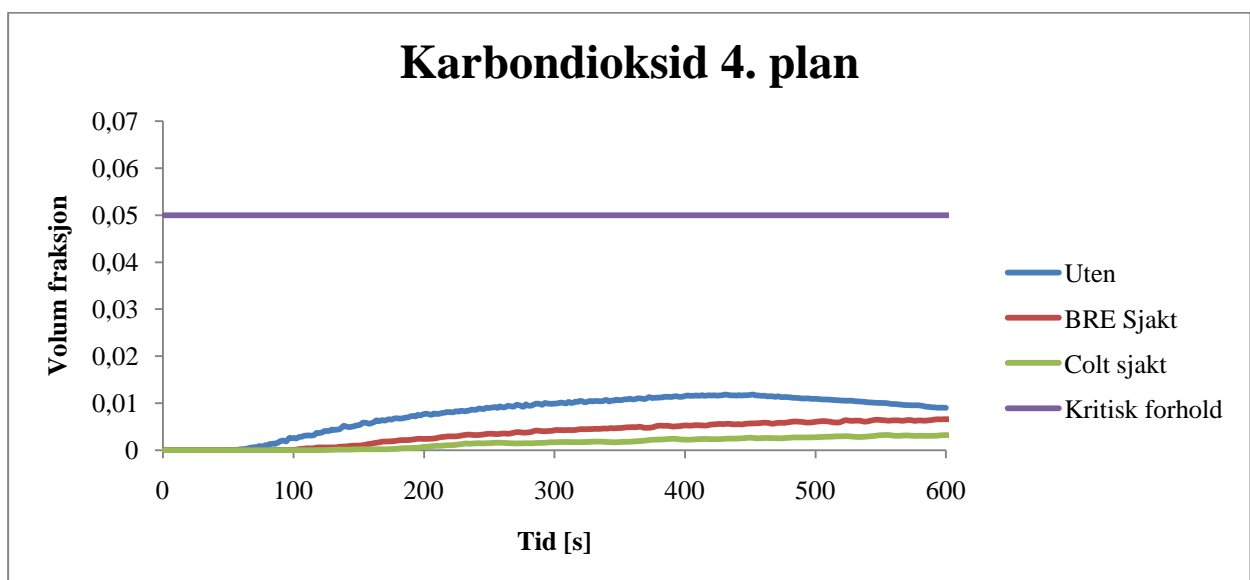
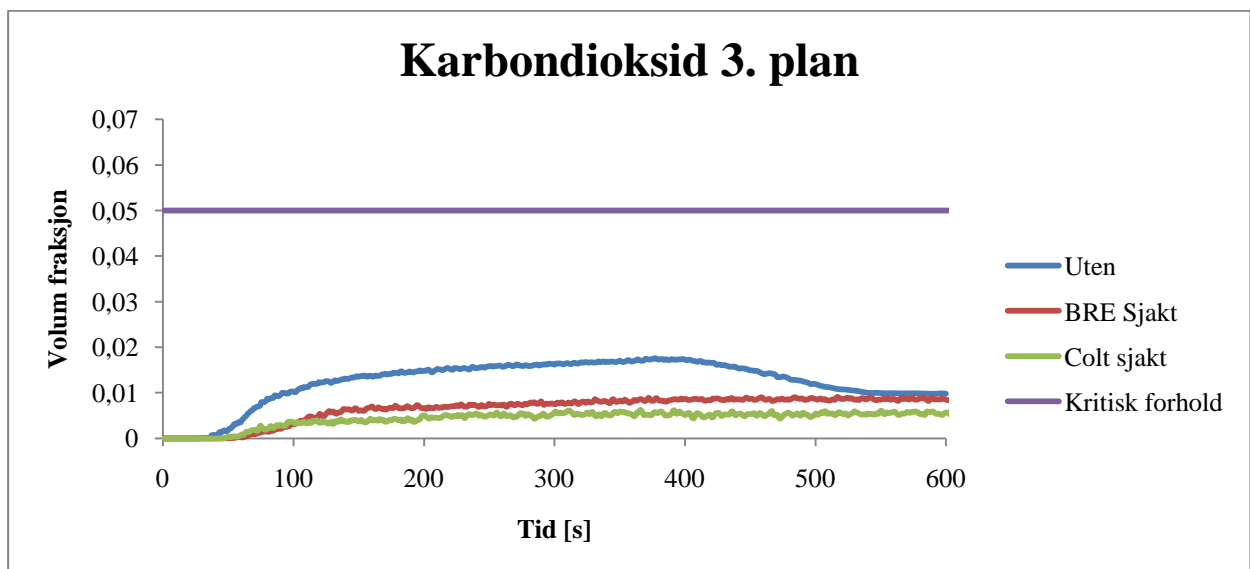
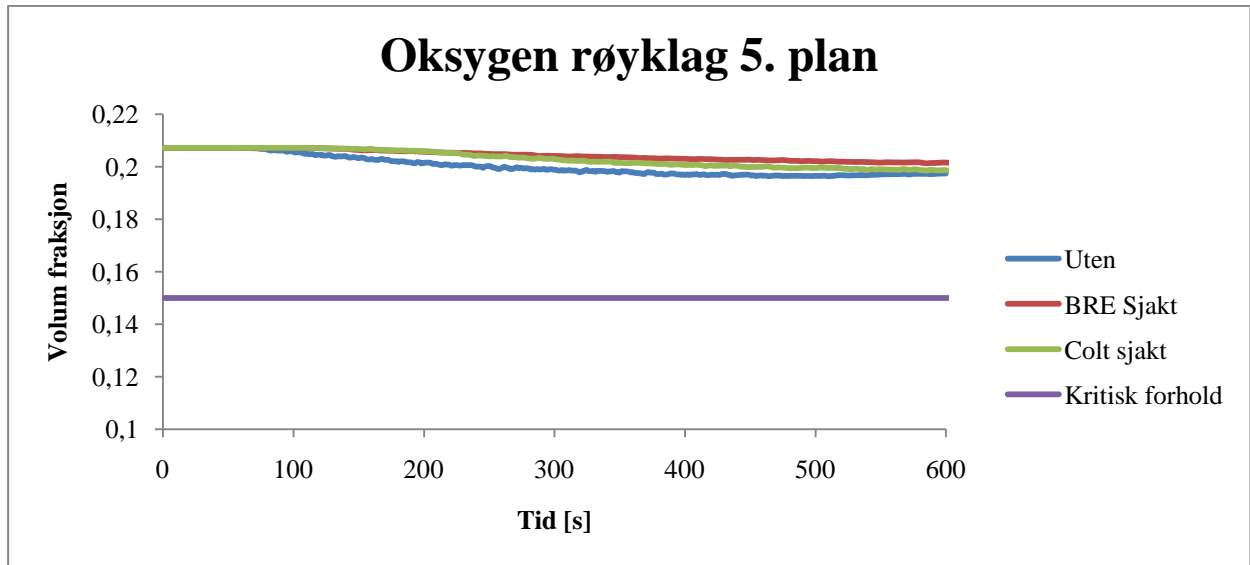


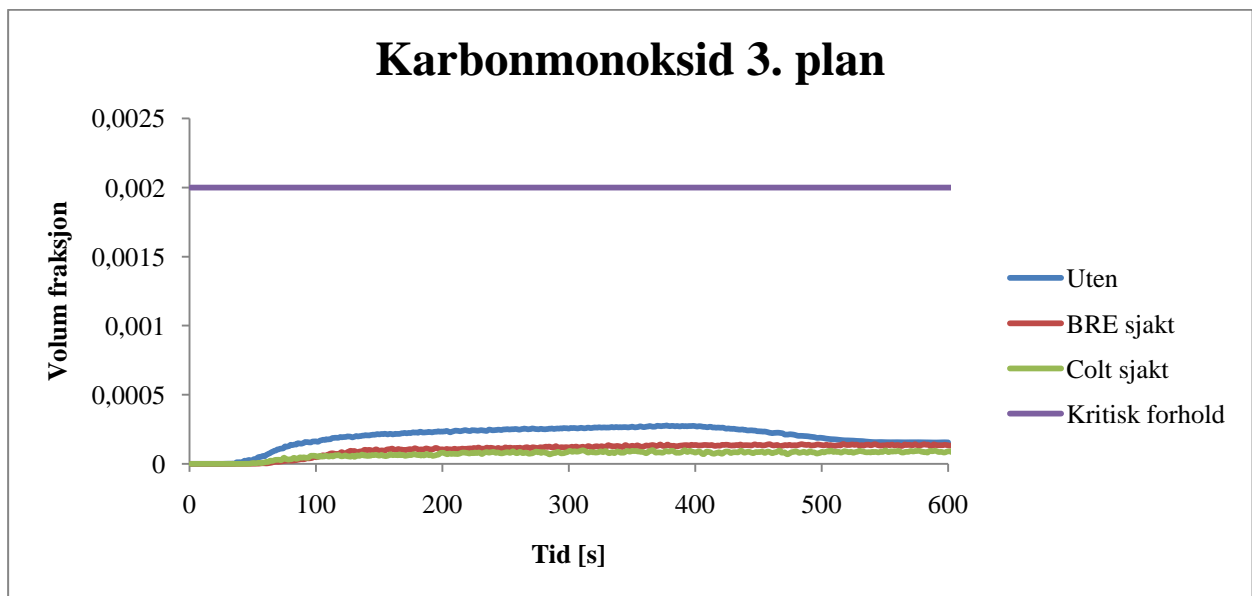
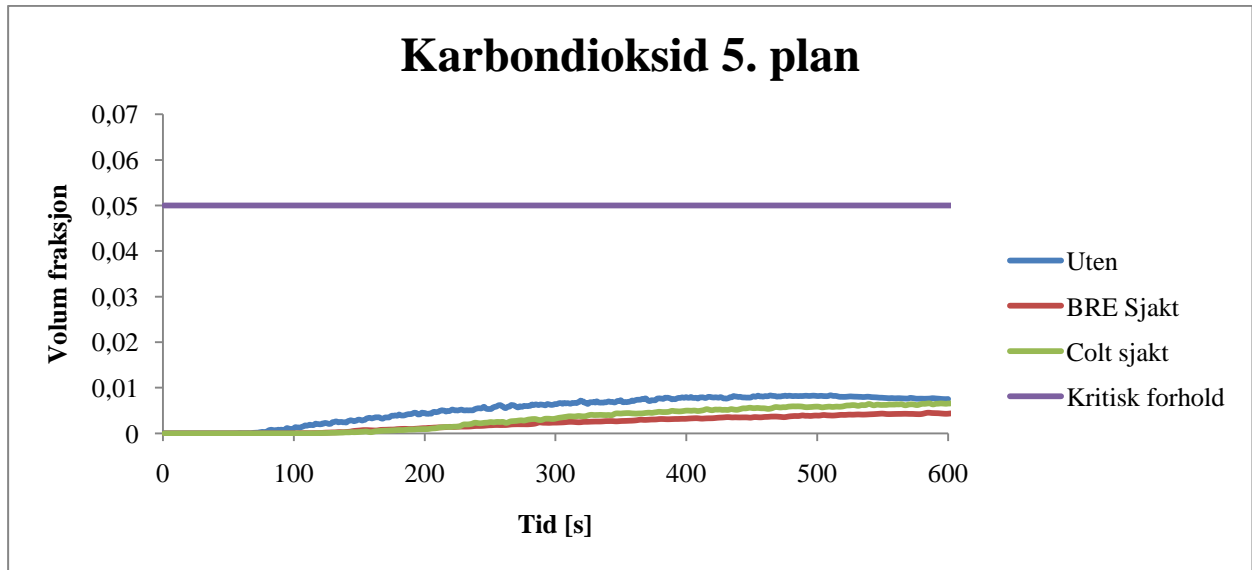
FIGUR 2: URTEGATA 31 LAGET I PYROSIM

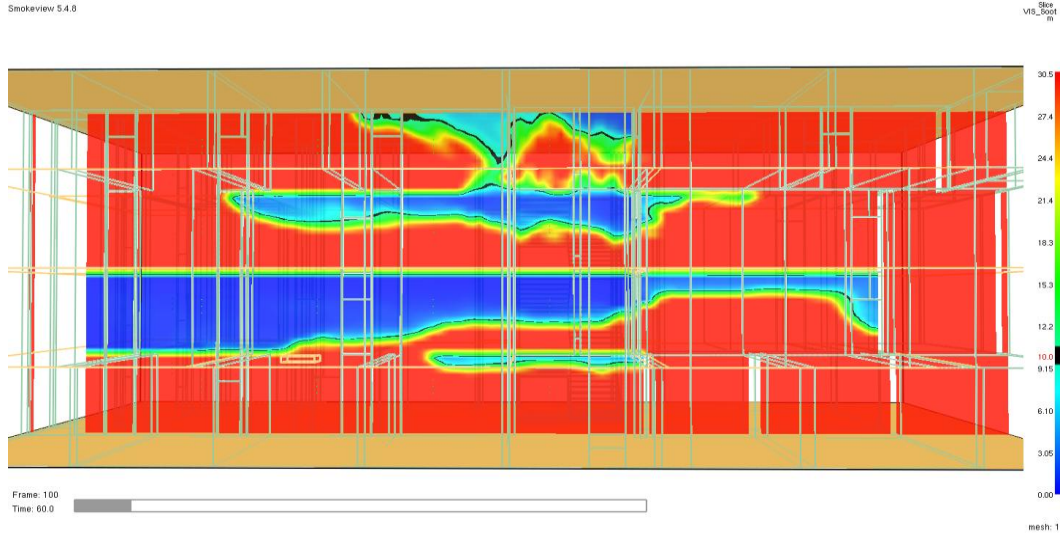
2.1.1. Scenario 1, brann i trapperom på 1 MW



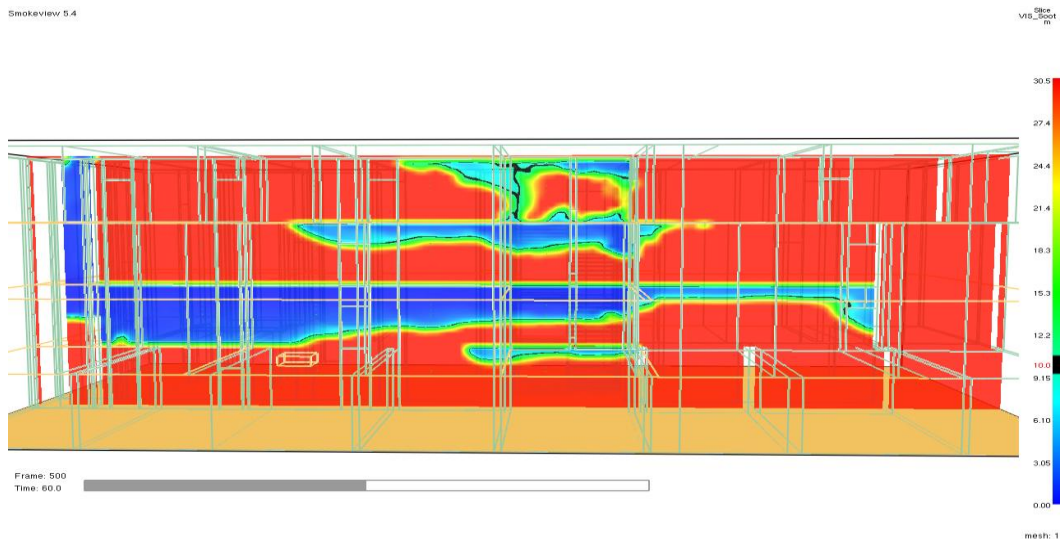




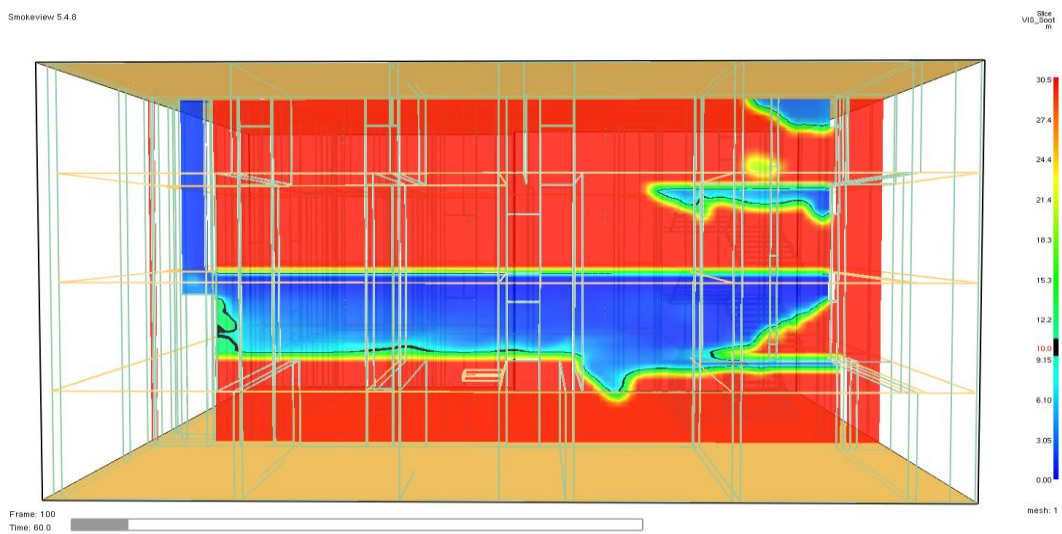




FIGUR 3: URTEGATA 31, SCENARIO 1, SIKT ETTER 60 S. UTEN R.V.

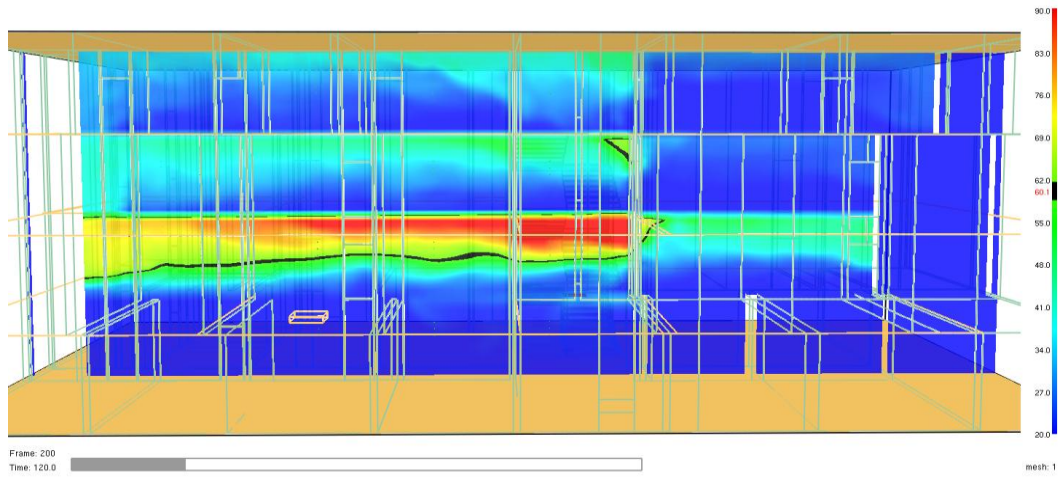


FIGUR 4: URTEGATA 31, SCENARIO 1, SIKT ETTER 60 S. BRE SJAKT



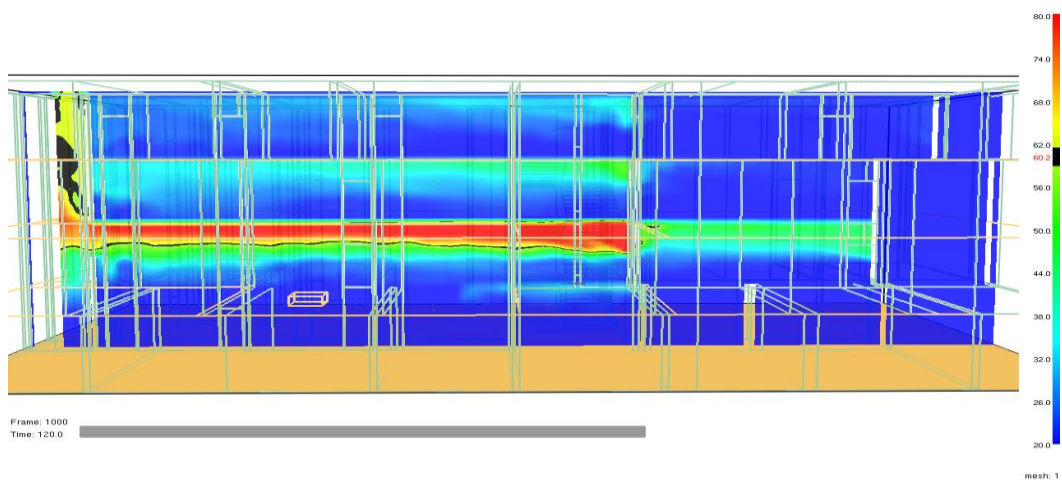
FIGUR 30: URTEGATA 31, SCENARIO 1, SIKT ETTER 60 S. COLT SJAKT

Smokeview 5.4.0



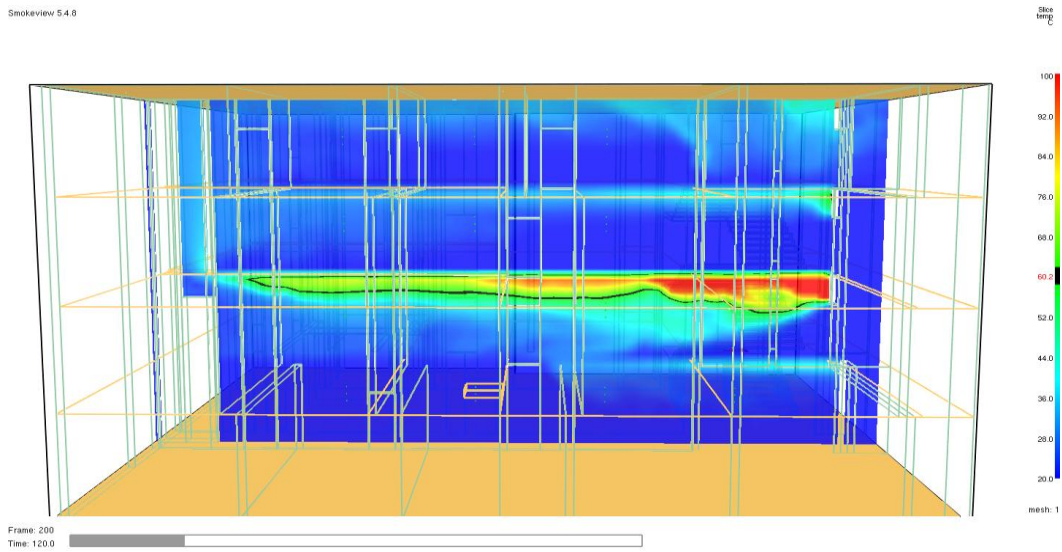
FIGUR 6: URTEGATA 31, SCENARIO 1, TEMPERATUR ETTER 120 s. UTEN R.V.

Smokeview 5.4



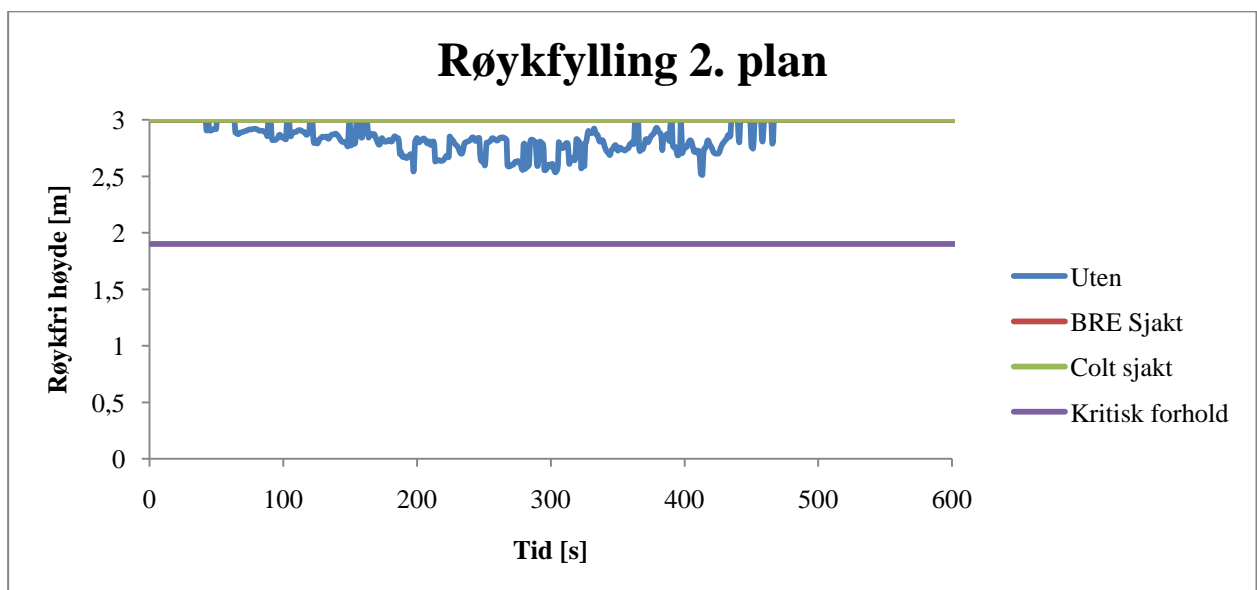
FIGUR 7: URTEGATA 31, SCENARIO 1, TEMPERATUR ETTER 120 s. BRE SJAKT

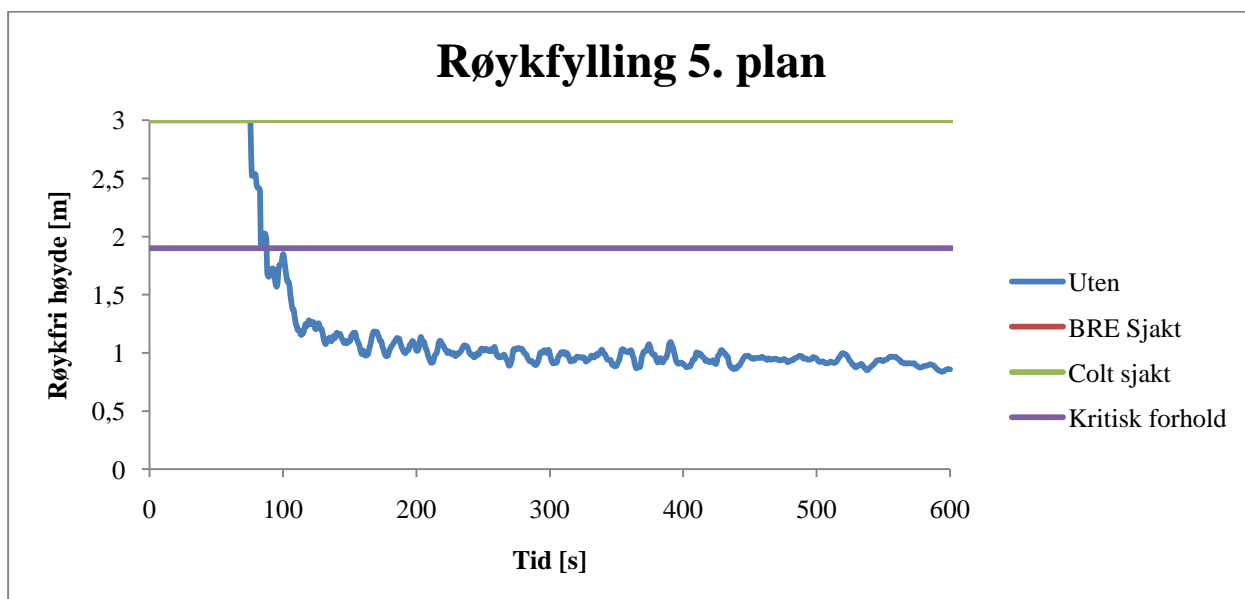
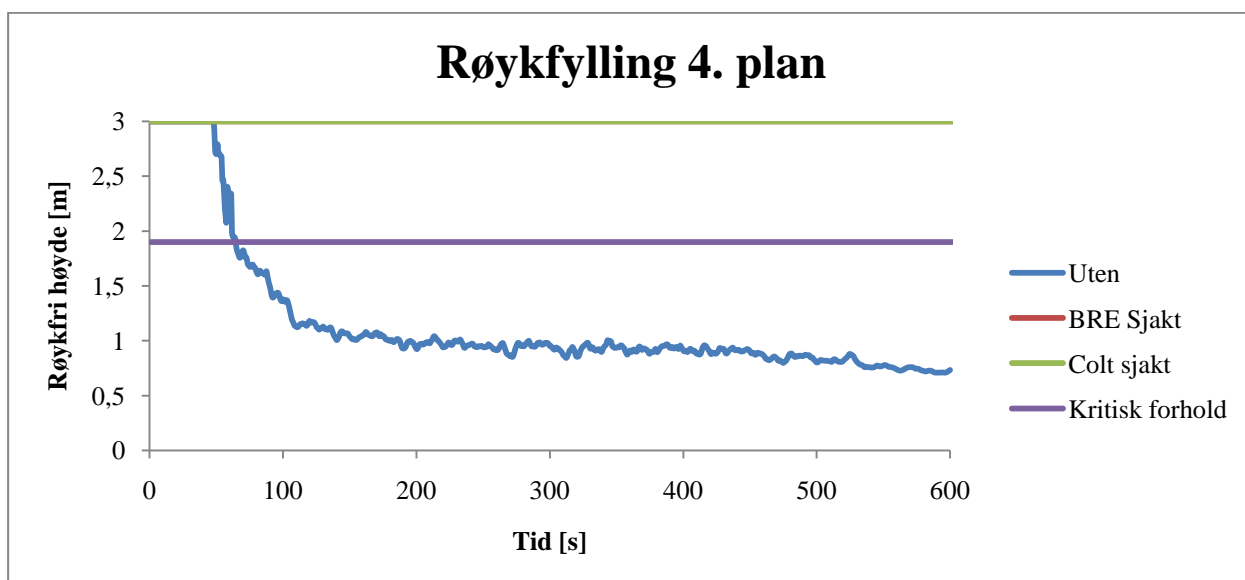
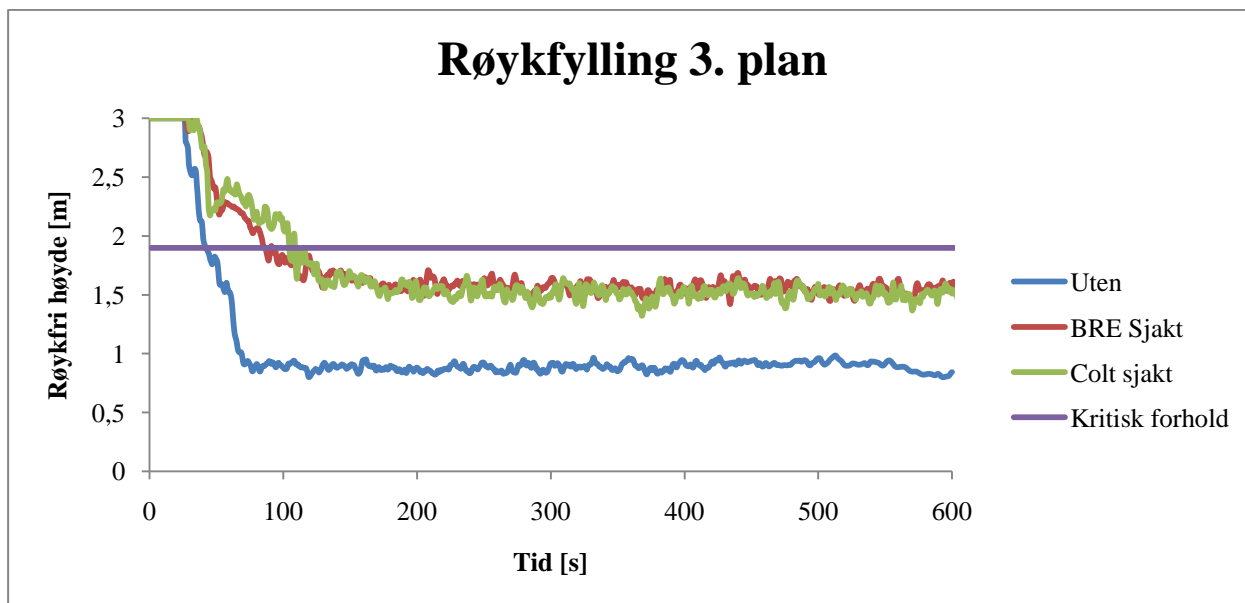
Smokeview 5.4.0

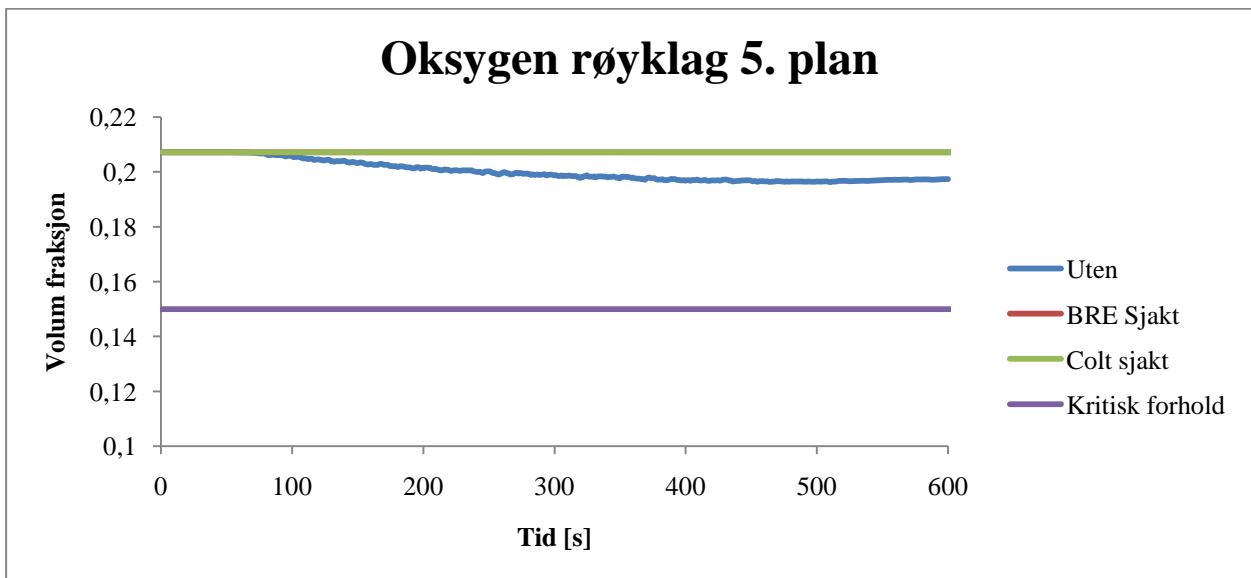
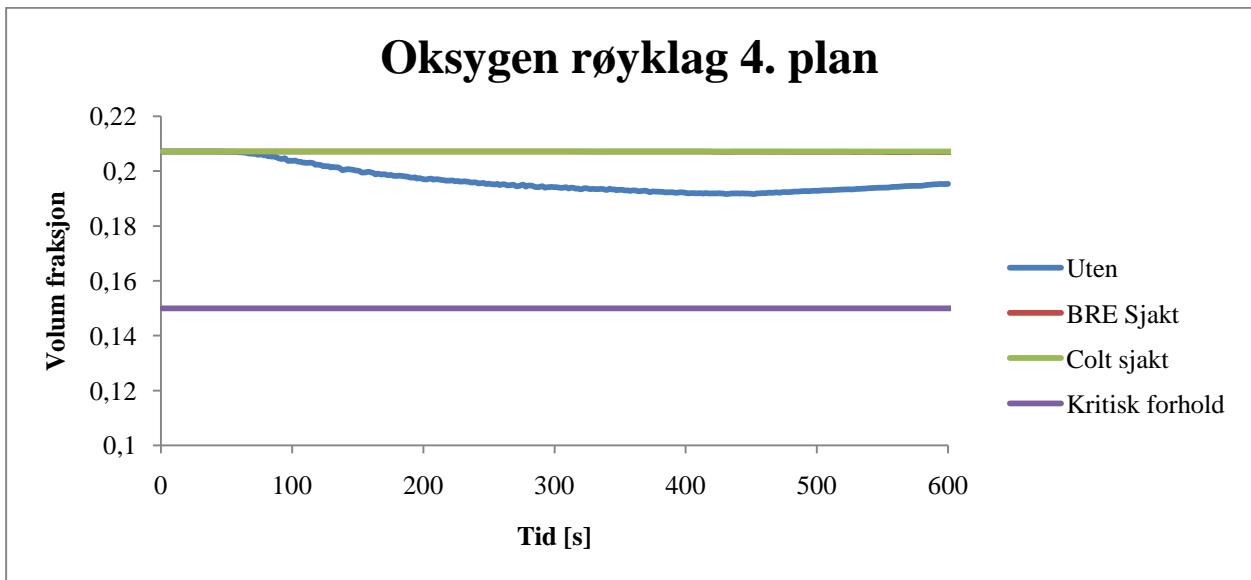
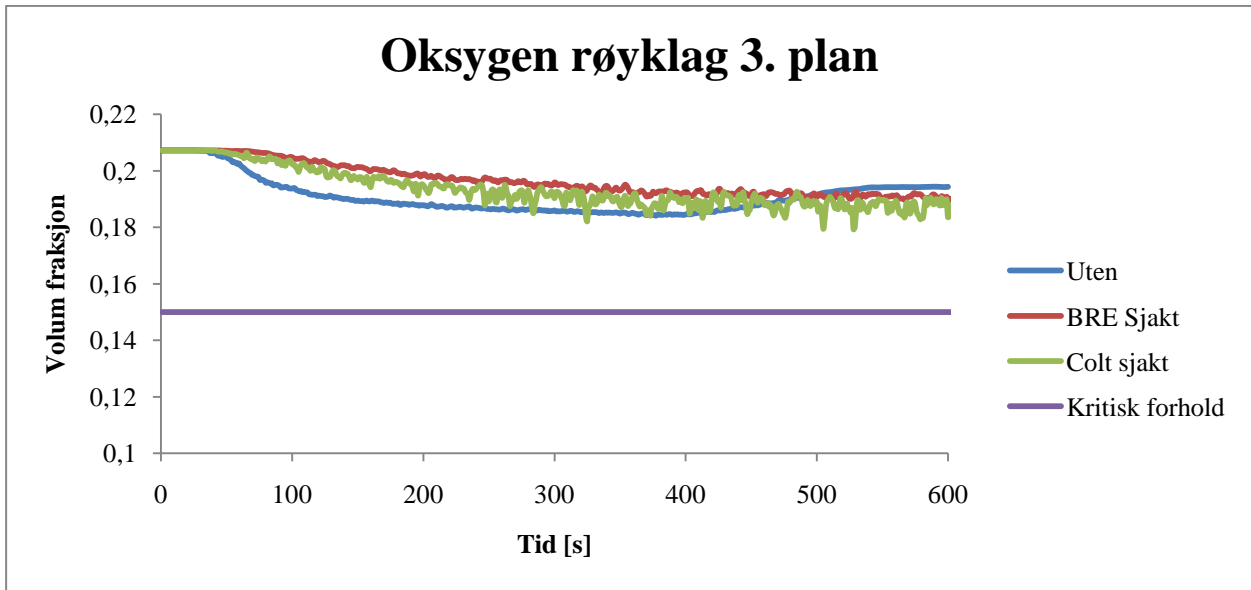


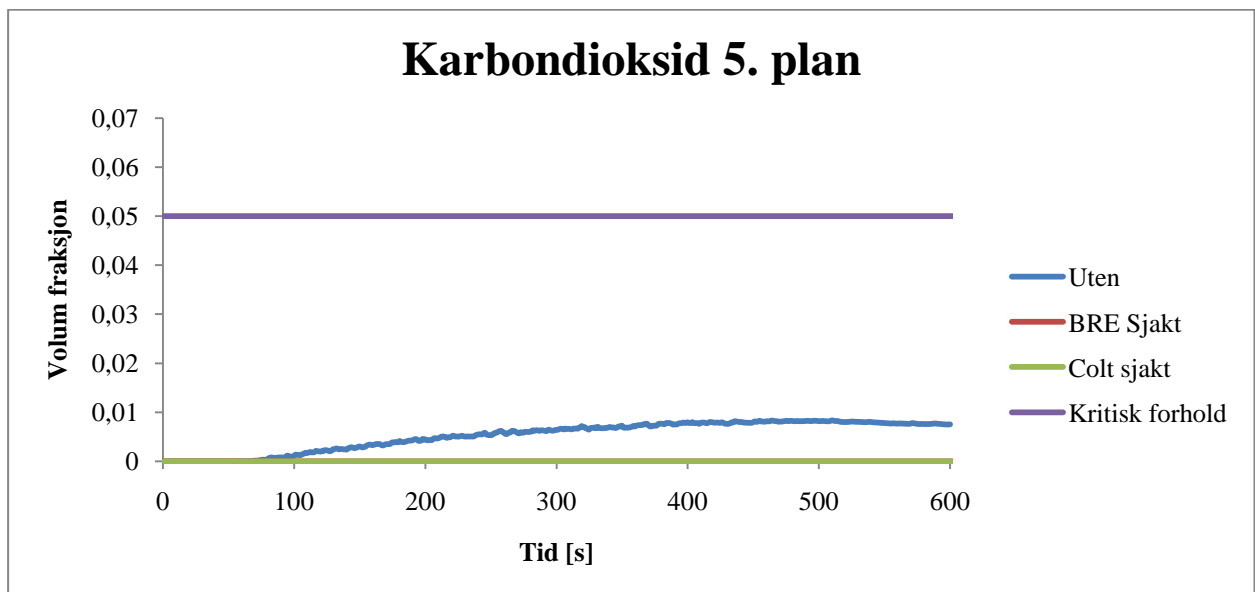
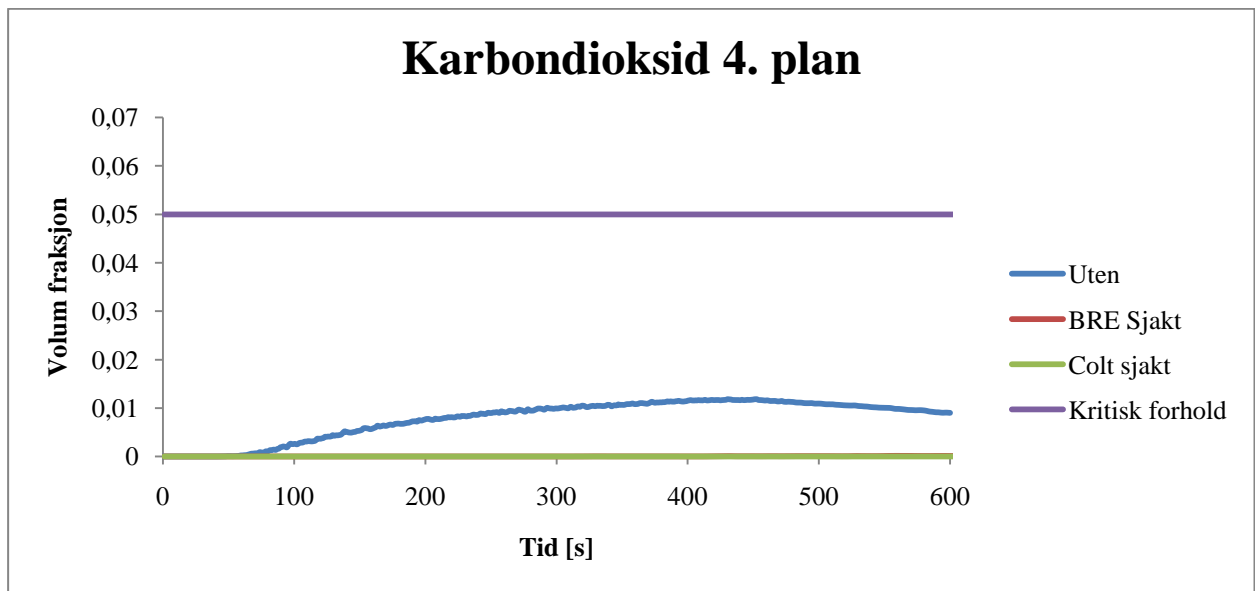
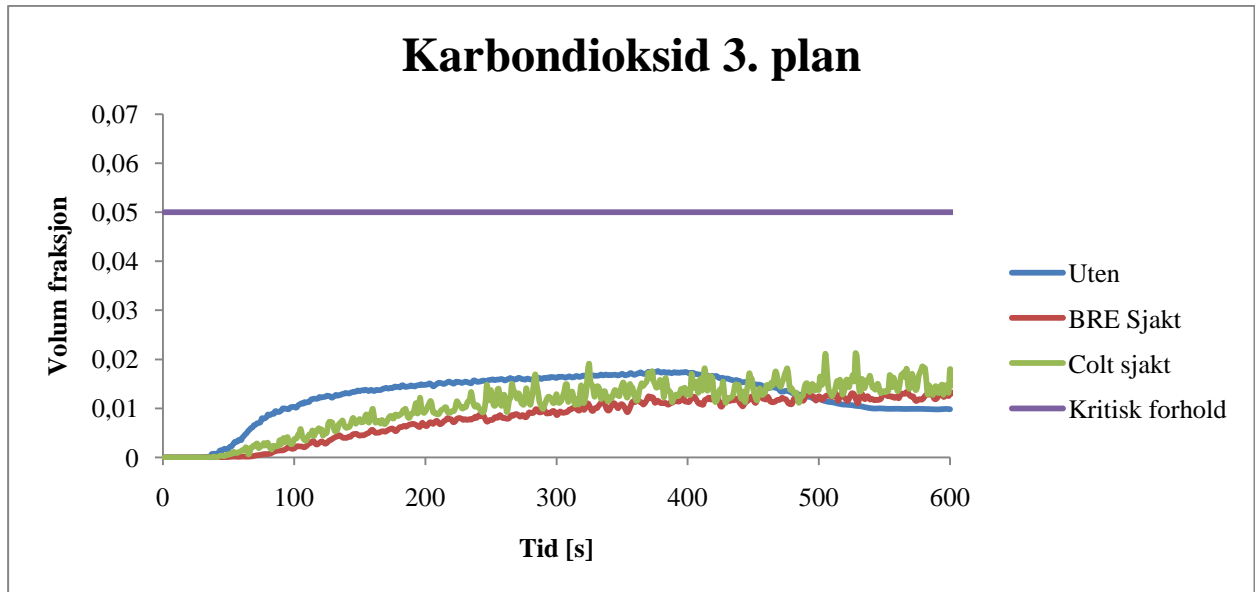
FIGUR 8: URTEGATA 31, SCENARIO 1, TEMPERATUR ETTER 120 S. COLT SJAKT

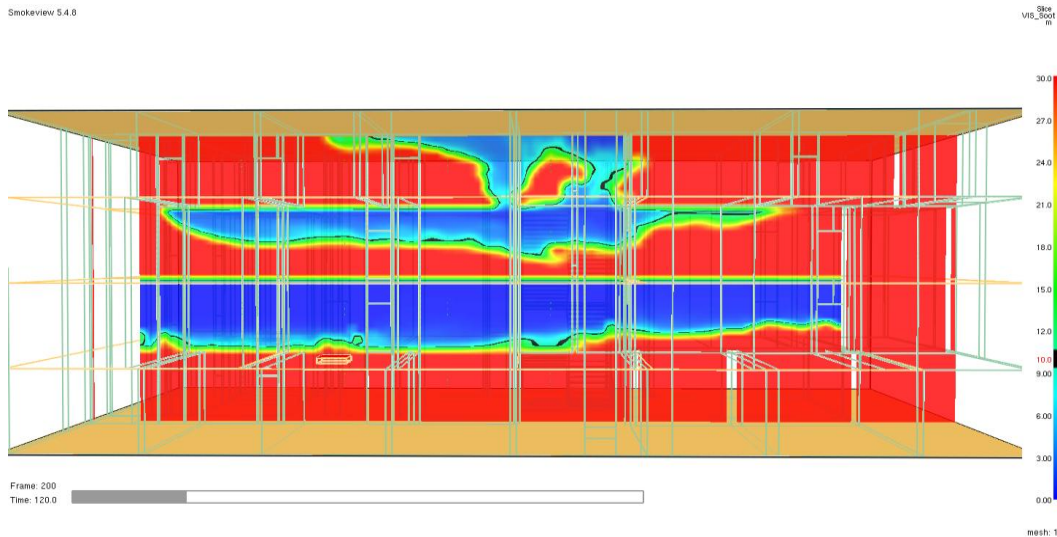
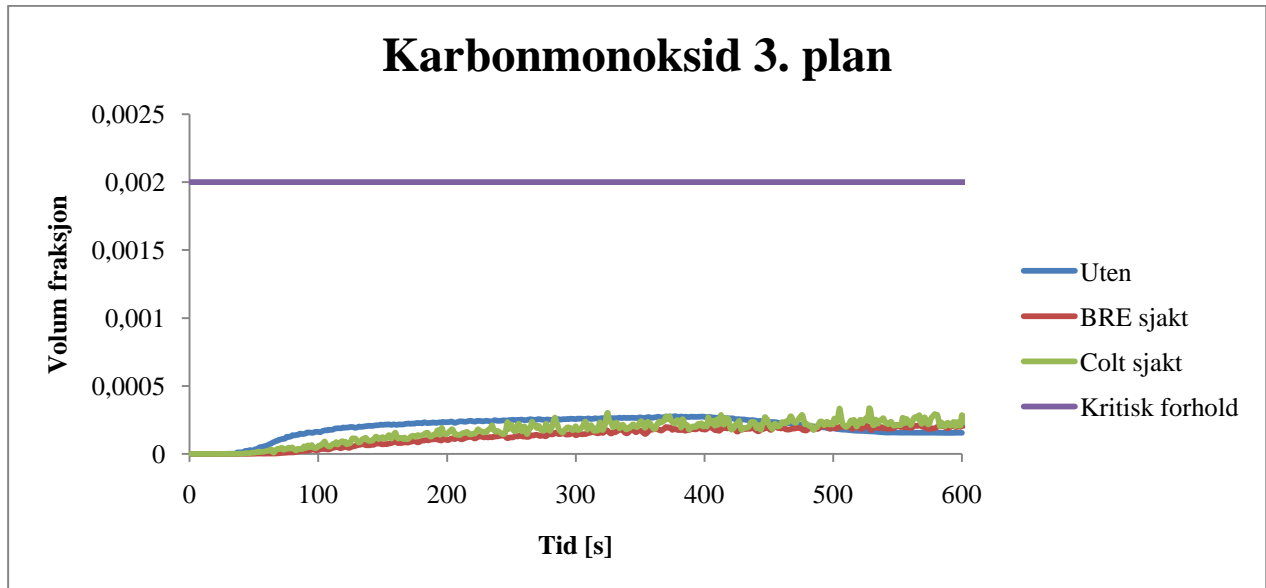
2.1.2. Scenario 2, brann i leilighet på 1 MW



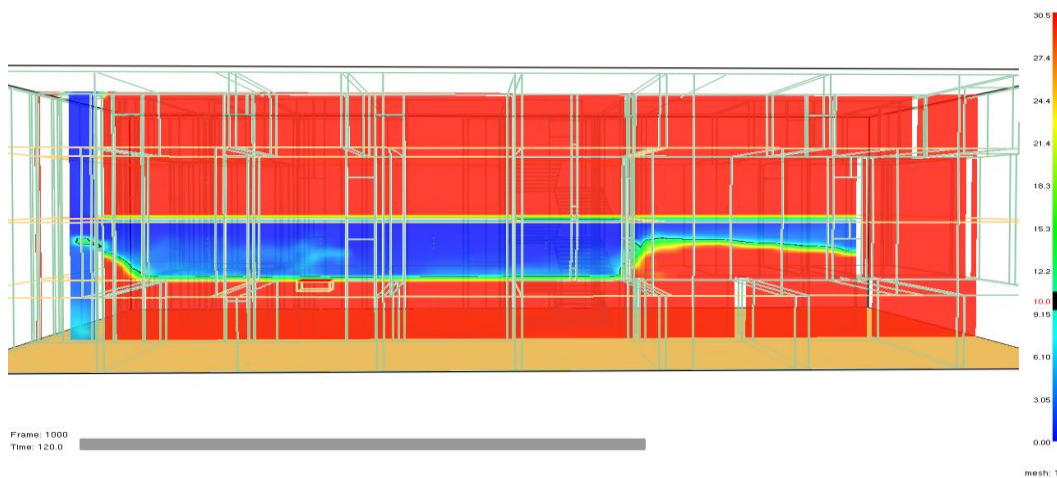








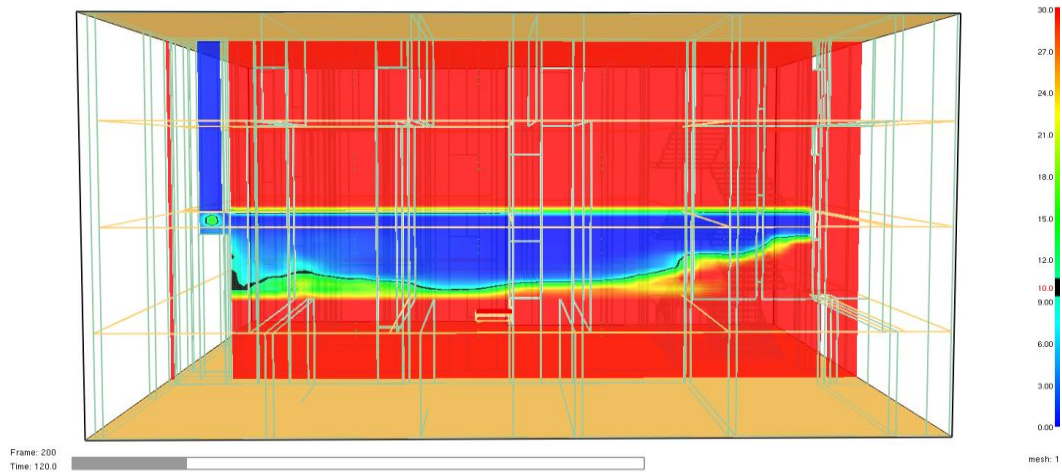
FIGUR 9: URTEGATA 31, SCENARIO 2, SIKT ETTER 120 s. UTEN R.V.



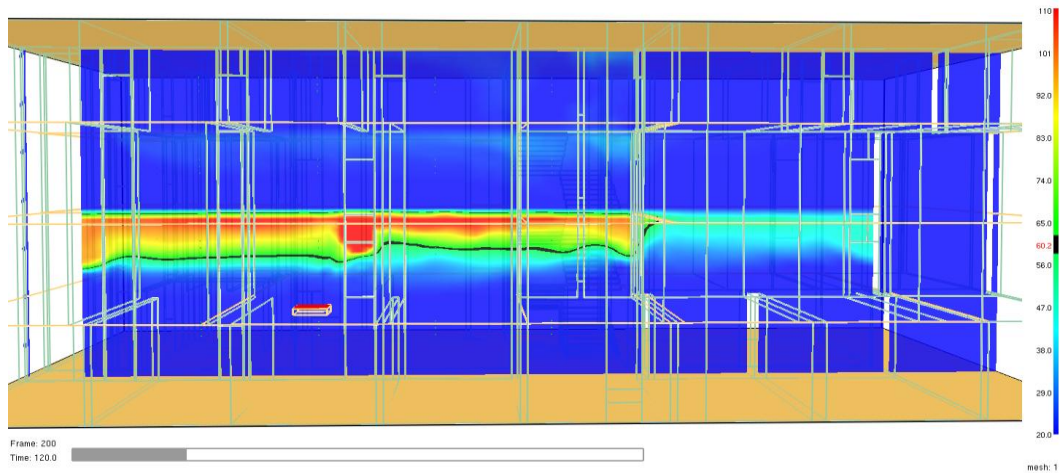
FIGUR 10: URTEGATA 31, SCENARIO 2, SIKT ETTER 120 s. BRE SJAKT

Smokeview 5.4.0

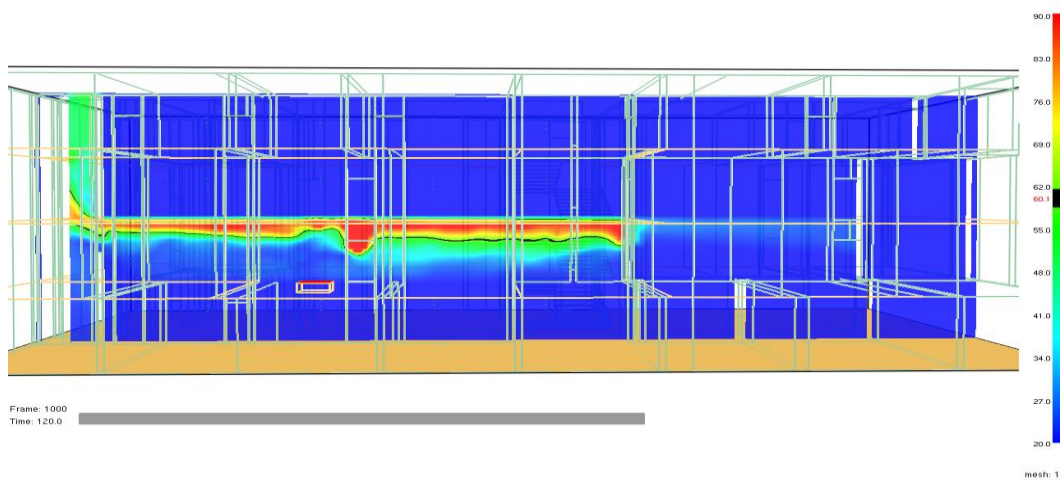
Size
Vis_Sjakt
m



FIGUR 11: URTEGATA 31, SCENARIO 2, SIKT ETTER 120 S. COLT SJAKT



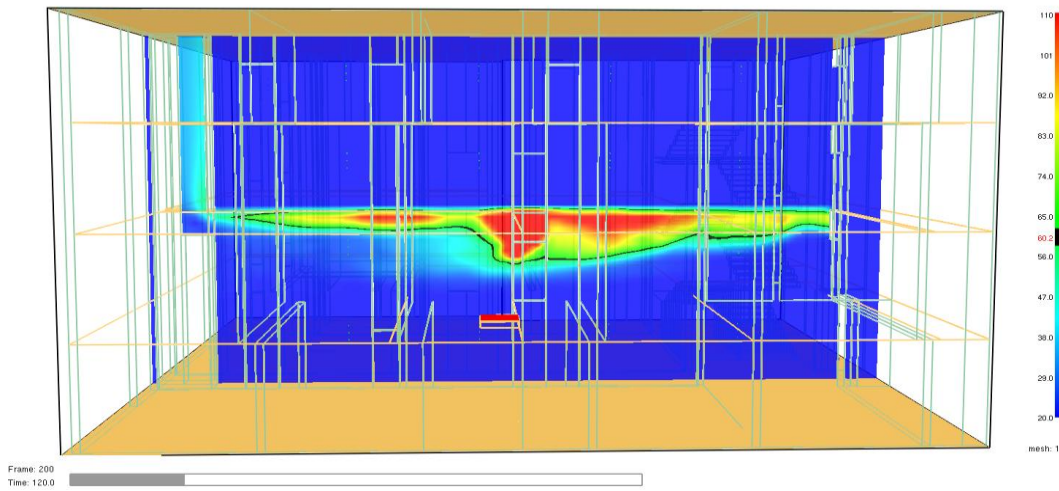
FIGUR 12: URTEGATA 31, SCENARIO 2, TEMPERATUR ETTER 120 S. UTEN R.V.



FIGUR 13: URTEGATA 31, SCENARIO 2, TEMPERATUR ETTER 120 S. BRE SJAKT

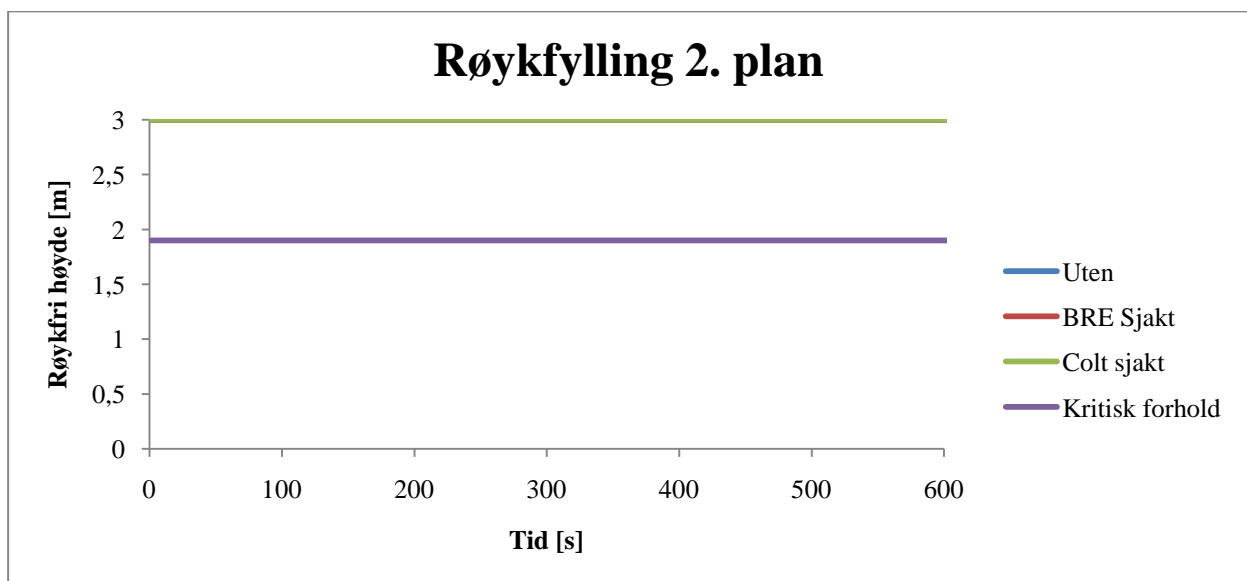
Smokeview 5.4.0

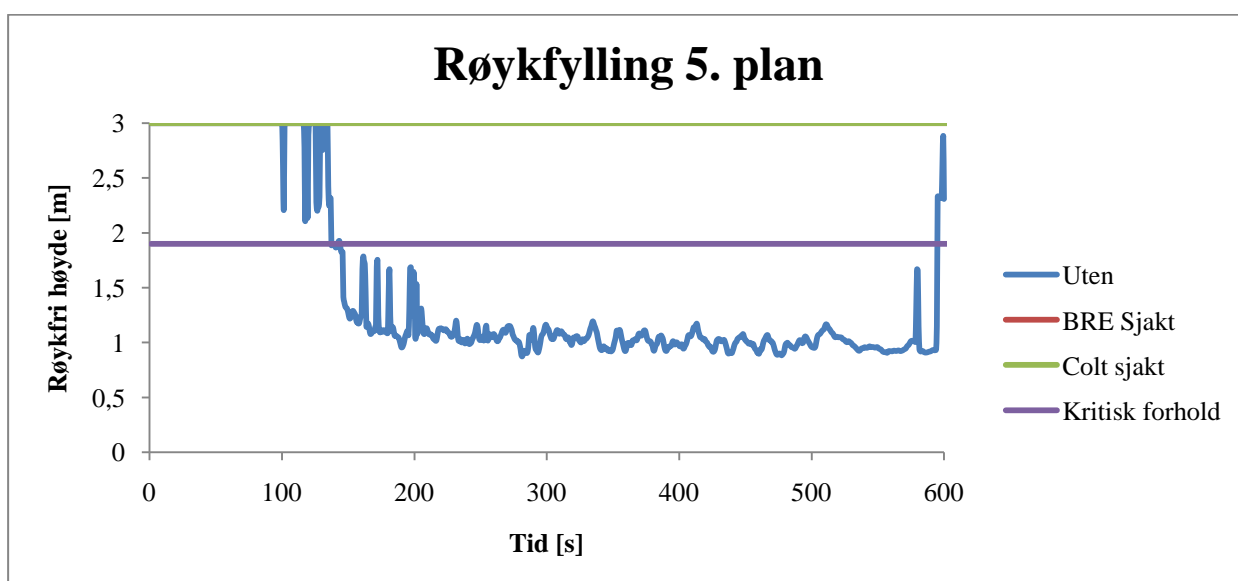
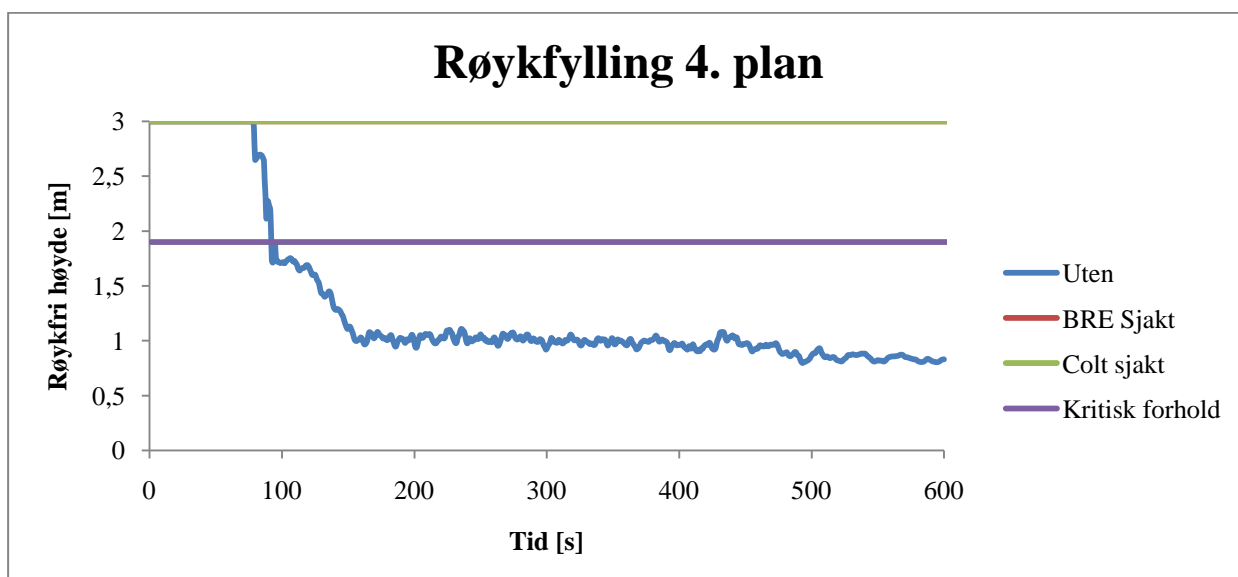
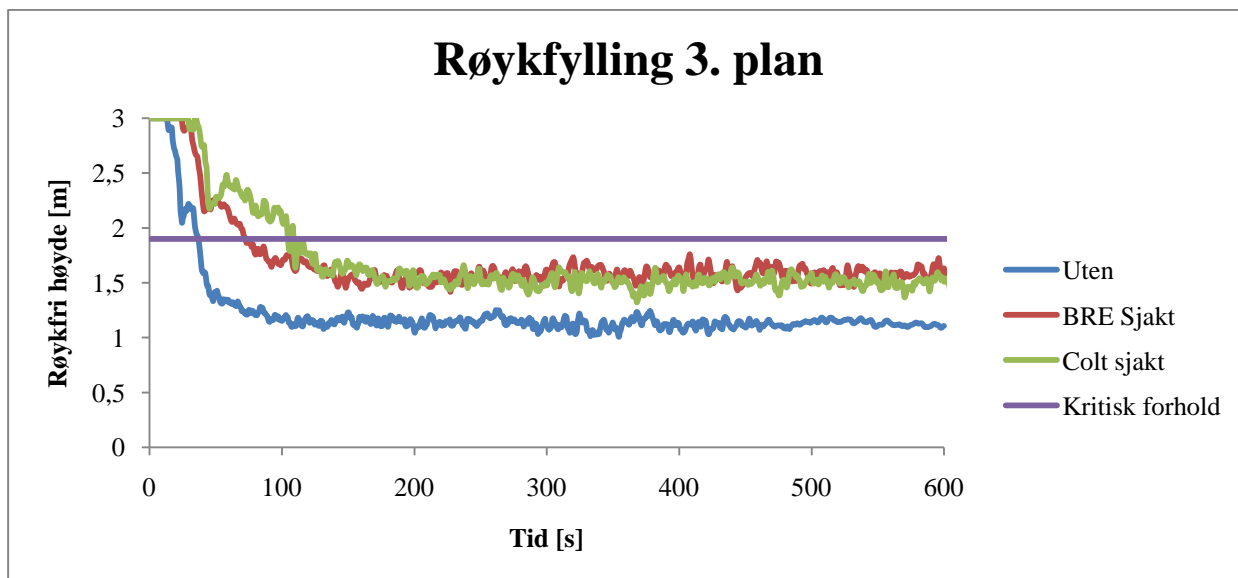
Size
mmg.

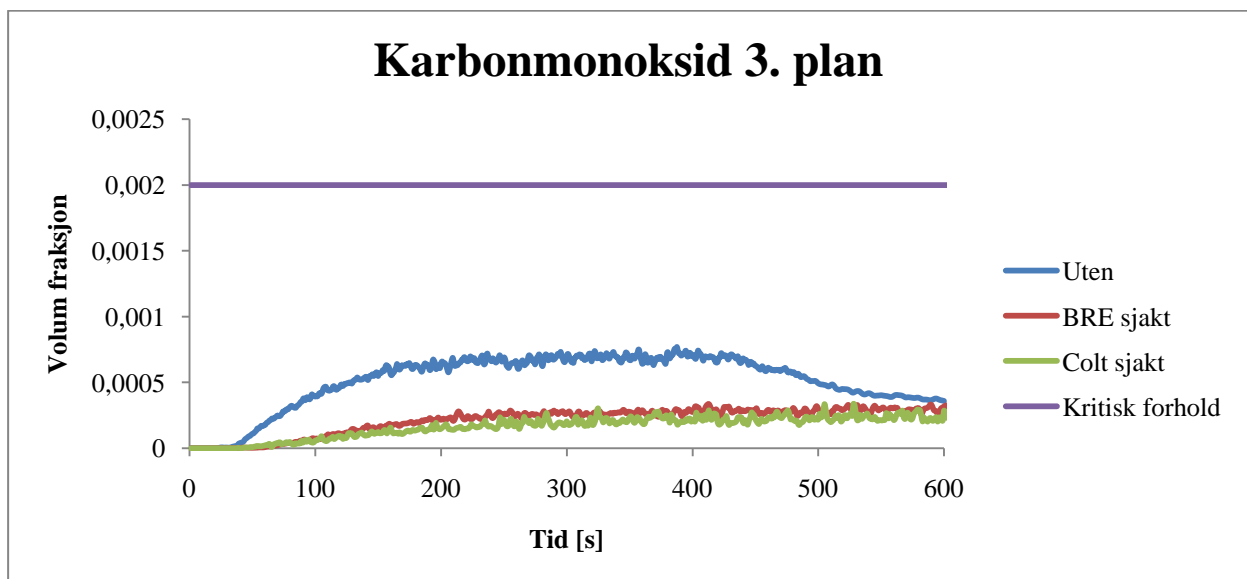
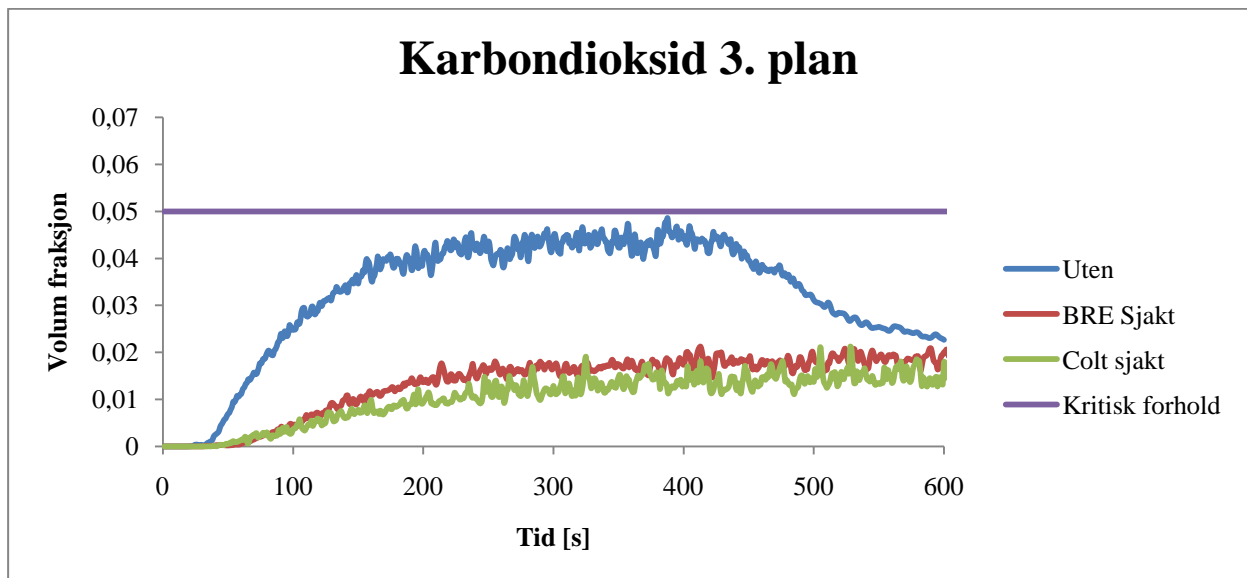
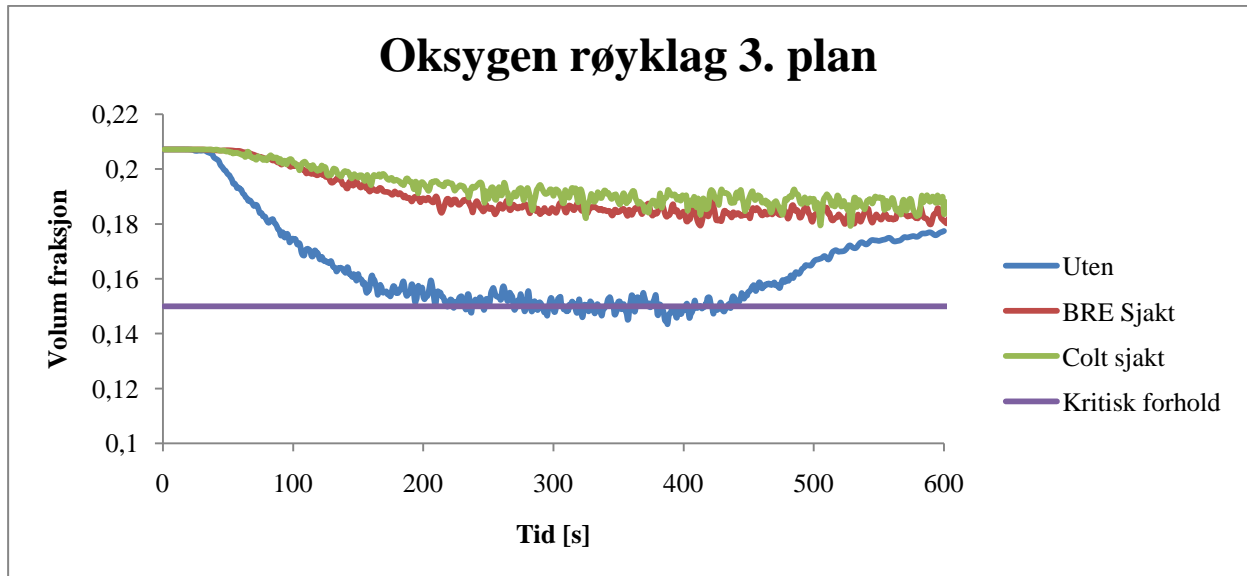


FIGUR 14: URTEGATA 31, SCENARIO 2, TEMPERATUR ETTER 120 S. COLT SJAKT

2.1.3. Scenario 3, brann i leilighet på 2 MW

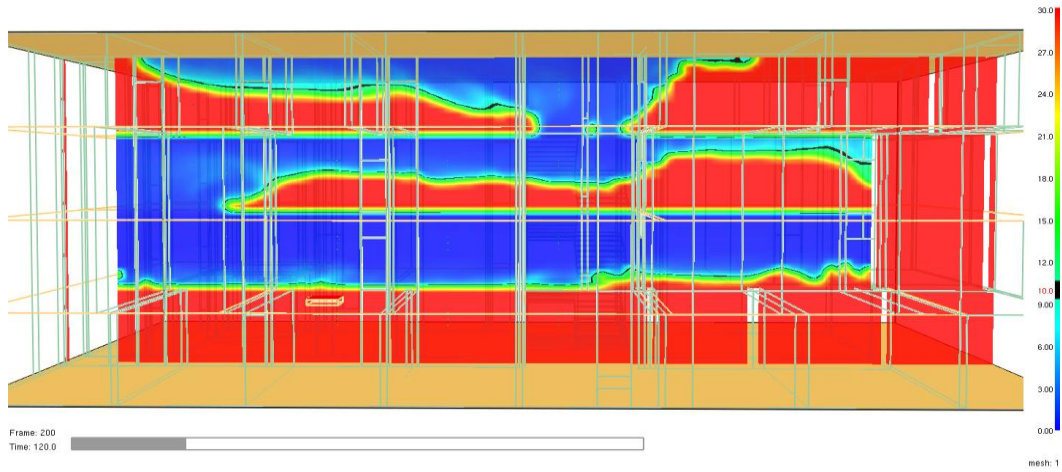






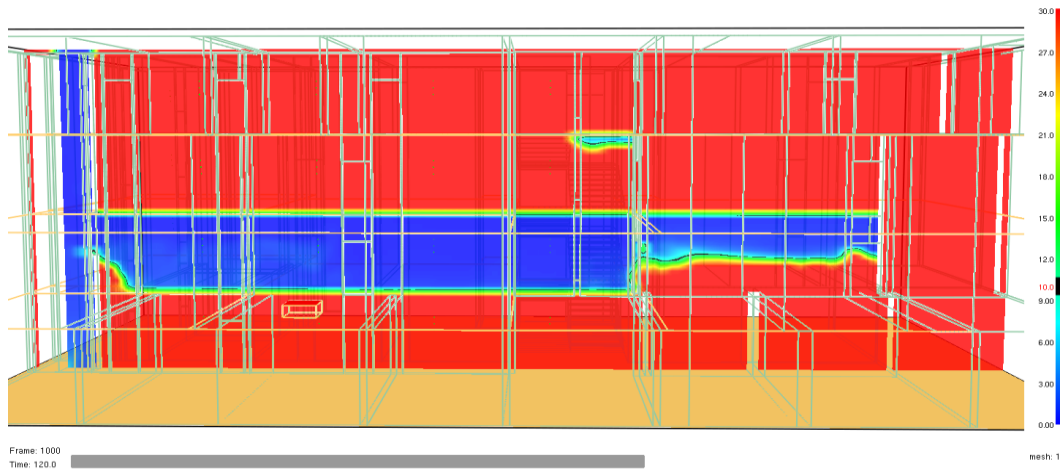
Smokeview 5.4.0

Size
Vis_Sight
m



FIGUR 15: URTEGATA 31, SCENARIO 3, SIKT ETTER 120 s. UTEN R.V.

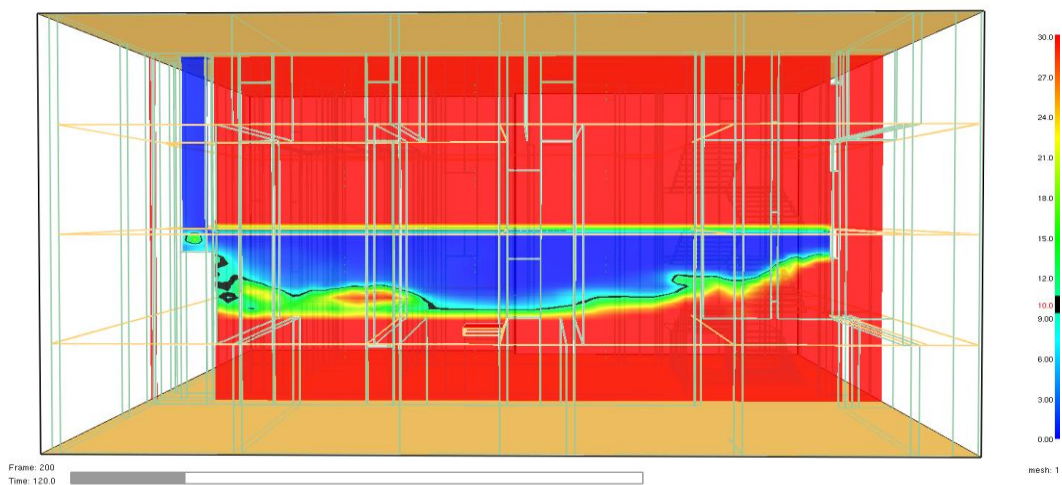
Smokeview 5.4.0



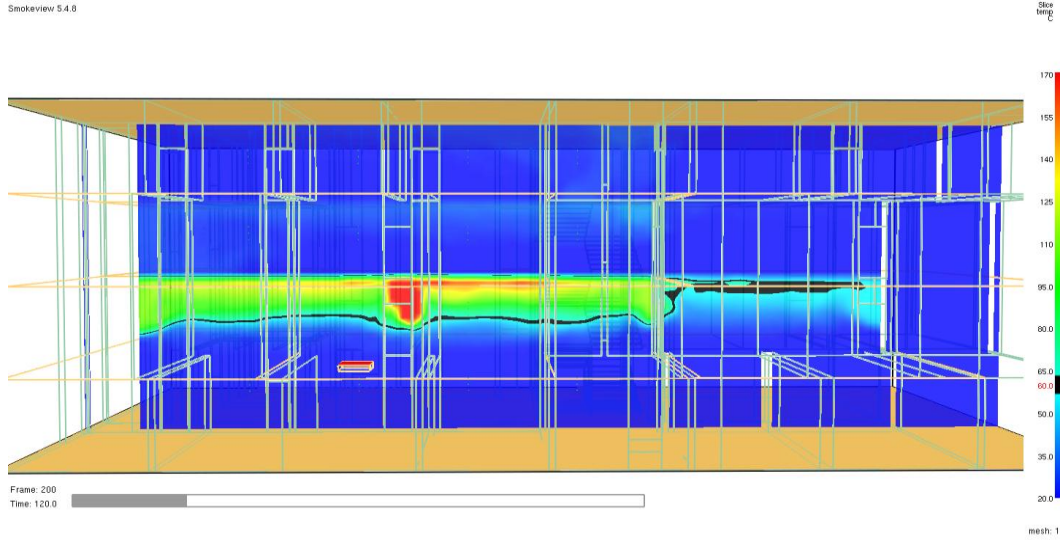
FIGUR 16: URTEGATA 31, SCENARIO 3, SIKT ETTER 120 s. BRE SJAKT

Smokeview 5.4.0

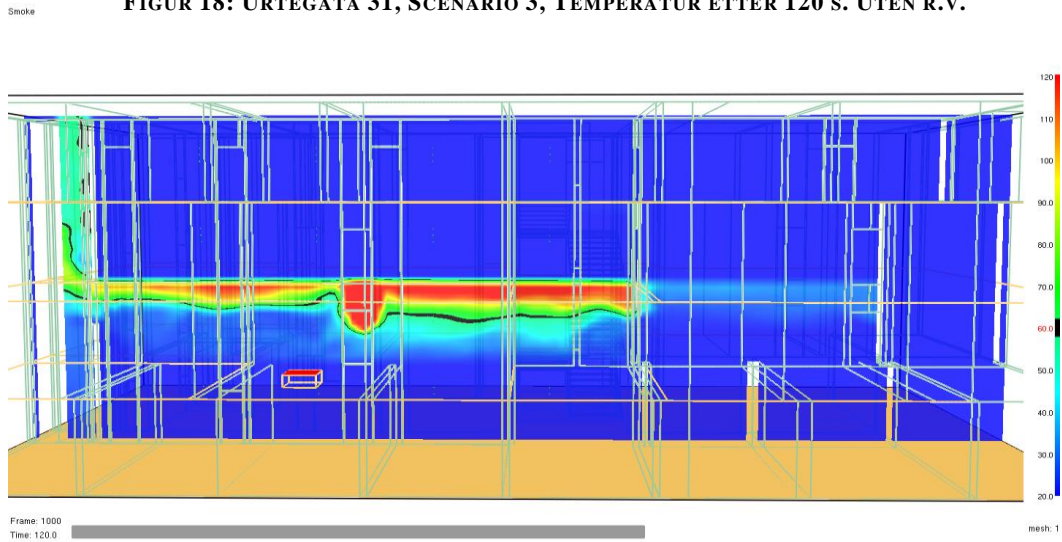
Size
Vis_Sight
m



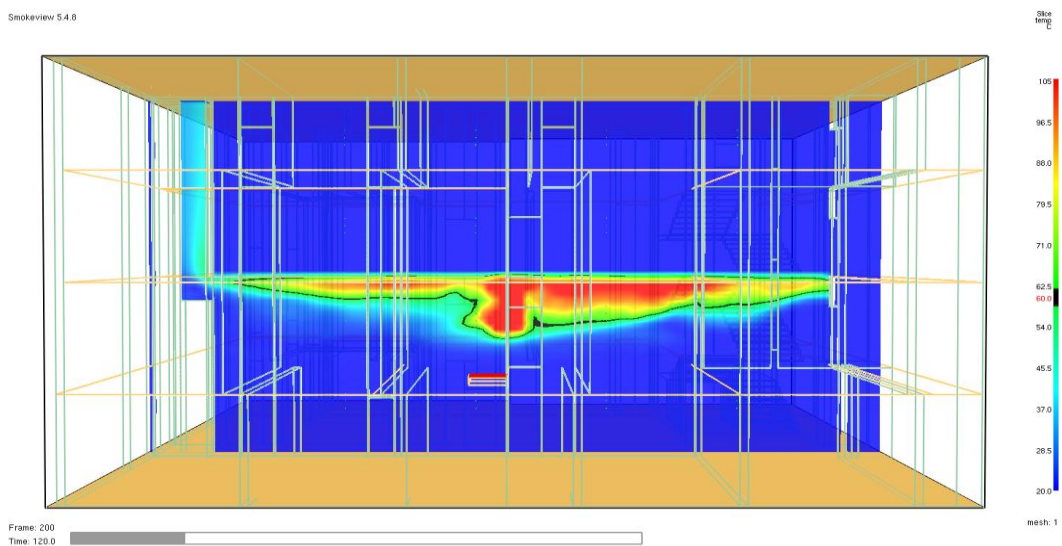
FIGUR 17: URTEGATA 31, SCENARIO 3, SIKT ETTER 120 s. COLT SJAKT



FIGUR 18: URTEGATA 31, SCENARIO 3, TEMPERATUR ETTER 120 S. UTEN R.V.



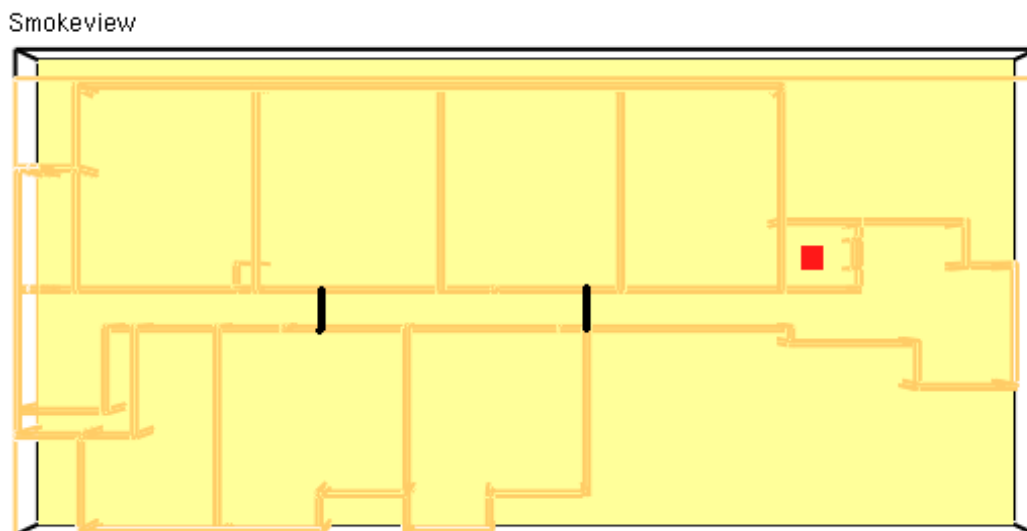
FIGUR 19: URTEGATA 31, SCENARIO 3, TEMPERATUR ETTER 120 S. BRE SJAKT



FIGUR 20: URTEGATA 31, SCENARIO 3, TEMPERATUR ETTER 120 S. COLT SJAKT

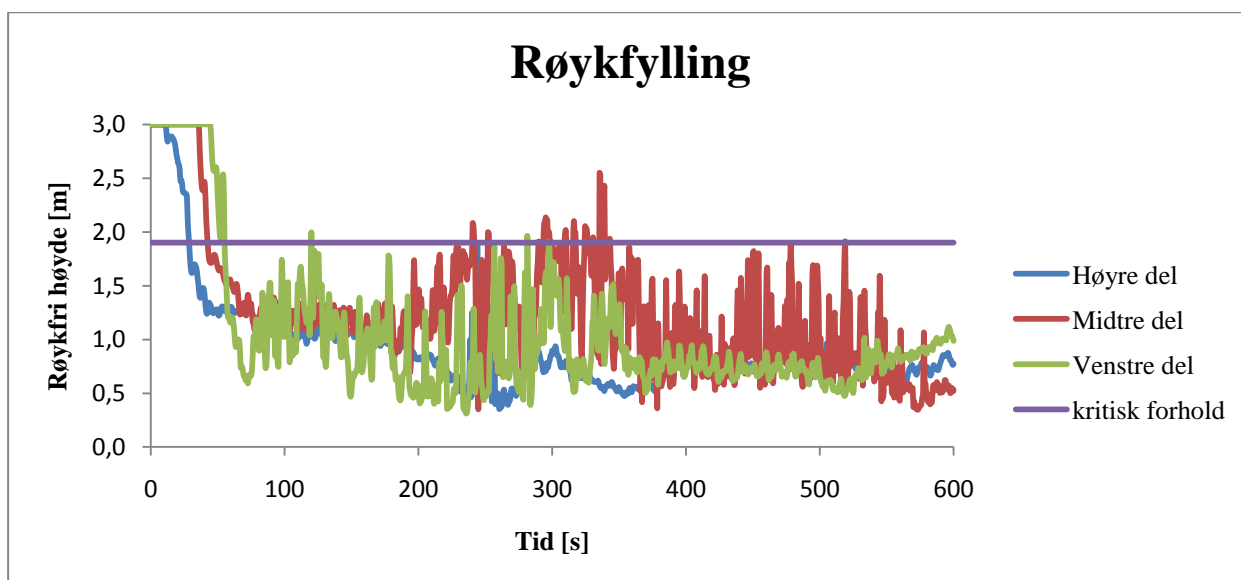
2.2. Bergseng

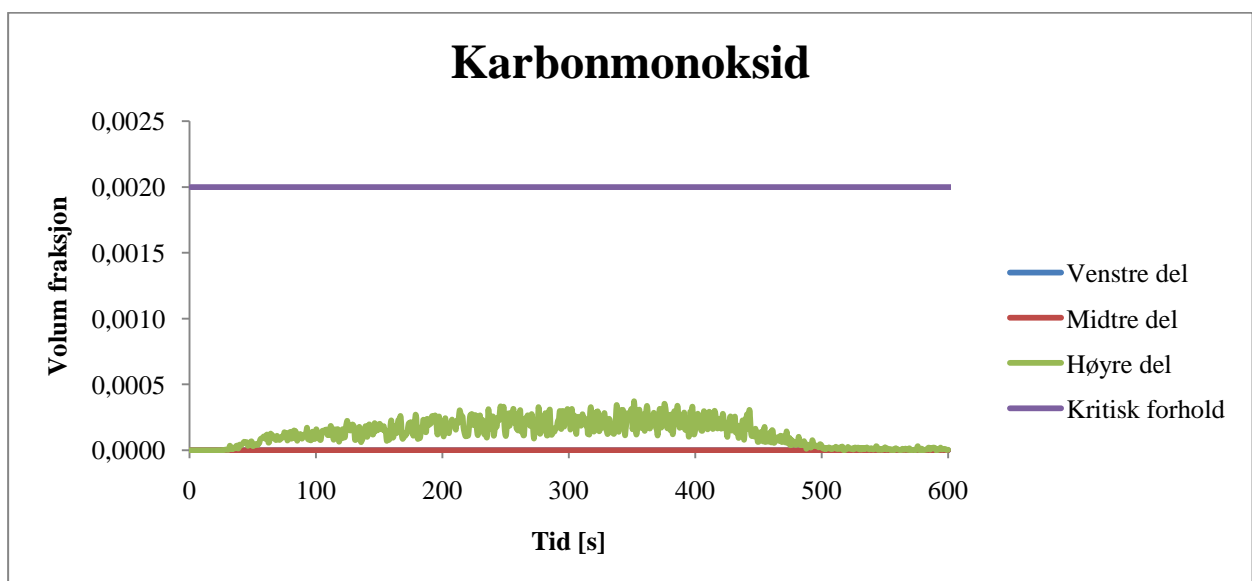
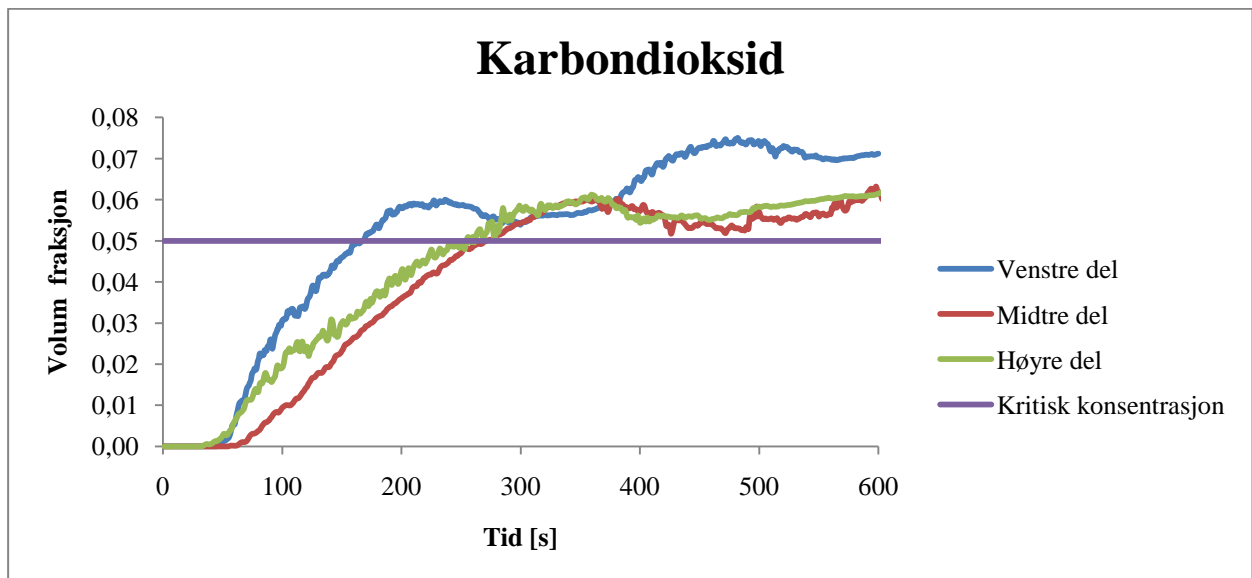
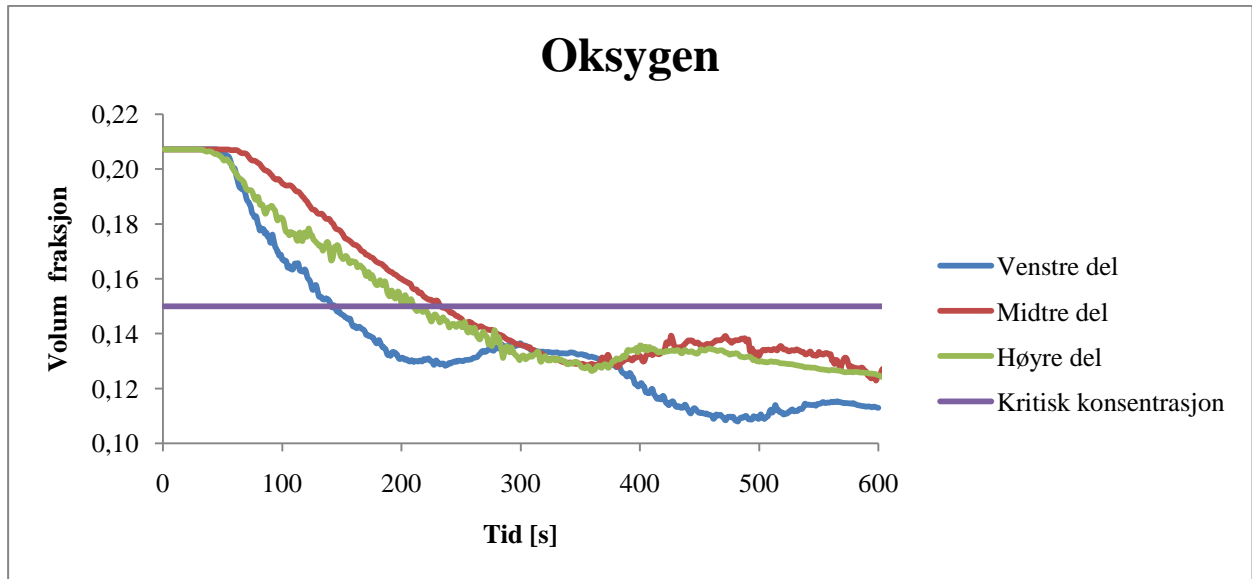
Korridoren ble delt i tre deler, så ble snittet beregnet fra alle målepunktene i den respektive delen, før det ble laget en grafisk fremstilling av resultatene. Brannen er i høyre del av bygget, se figur 21. Alle resultatene ble sammenlignet med de andre delene av korridoren og kritisk verdi. Det ble sett på røykfylling i korridoren, konsentrasjon av oksygen, karbondioksid og karbonmonoksid. Det ble også sett på sikt og temperatur i korridoren. Oppsettet er likt for alle tre simuleringer.



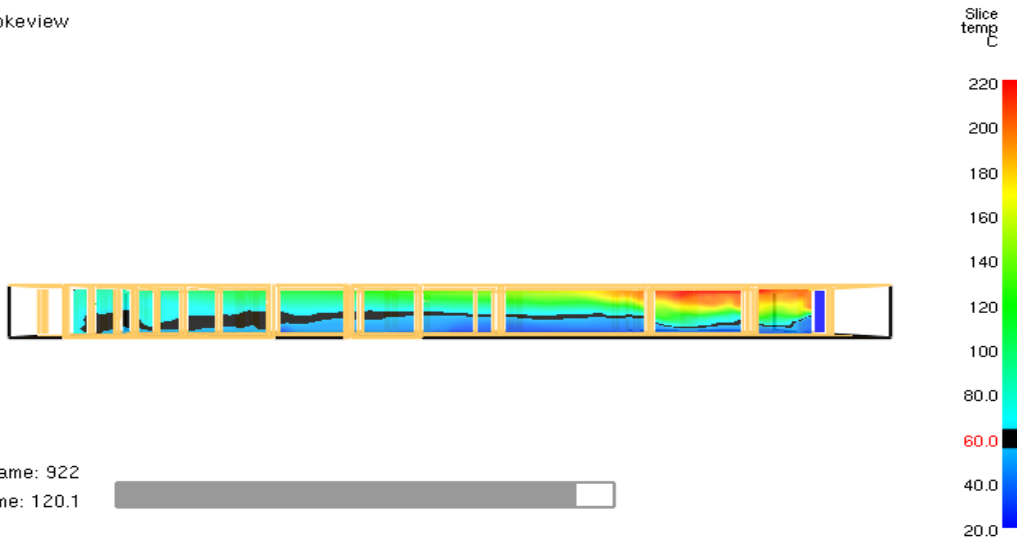
FIGUR 21: BERGSENG MED INNDELING AV KORRIDOR

2.2.1. Simulering 1, brann i kjøkken på 1MW, uten røykventilasjon.



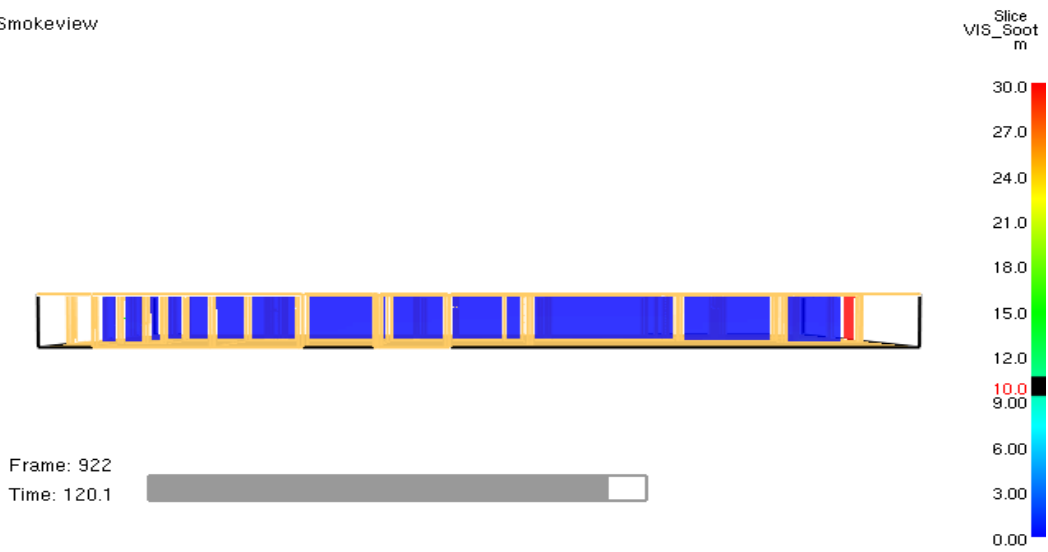


Smokeview



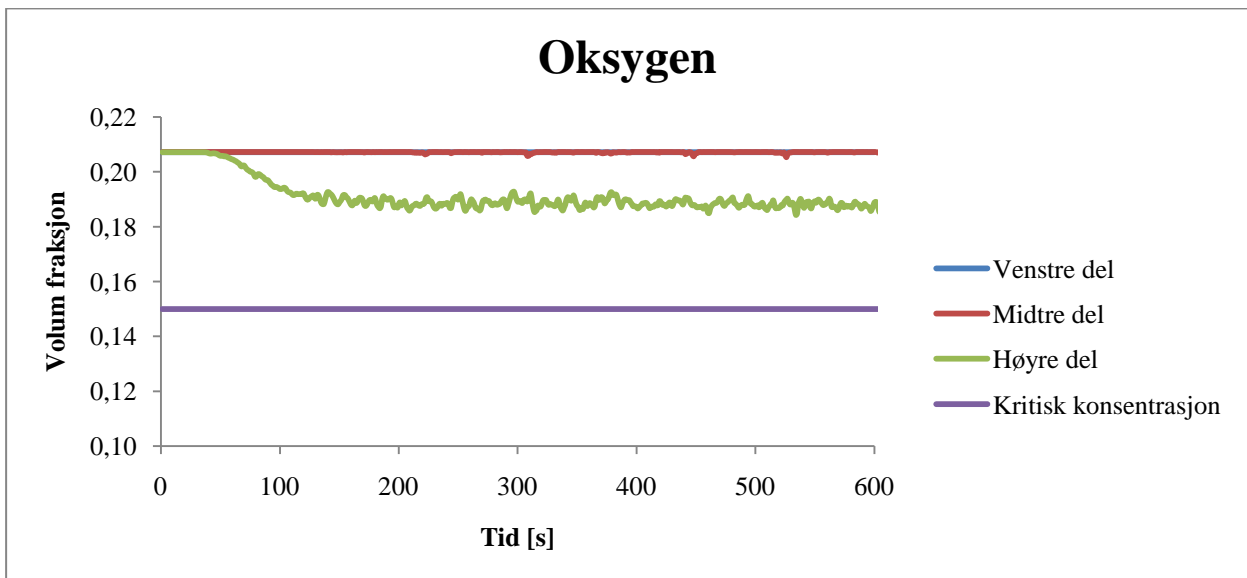
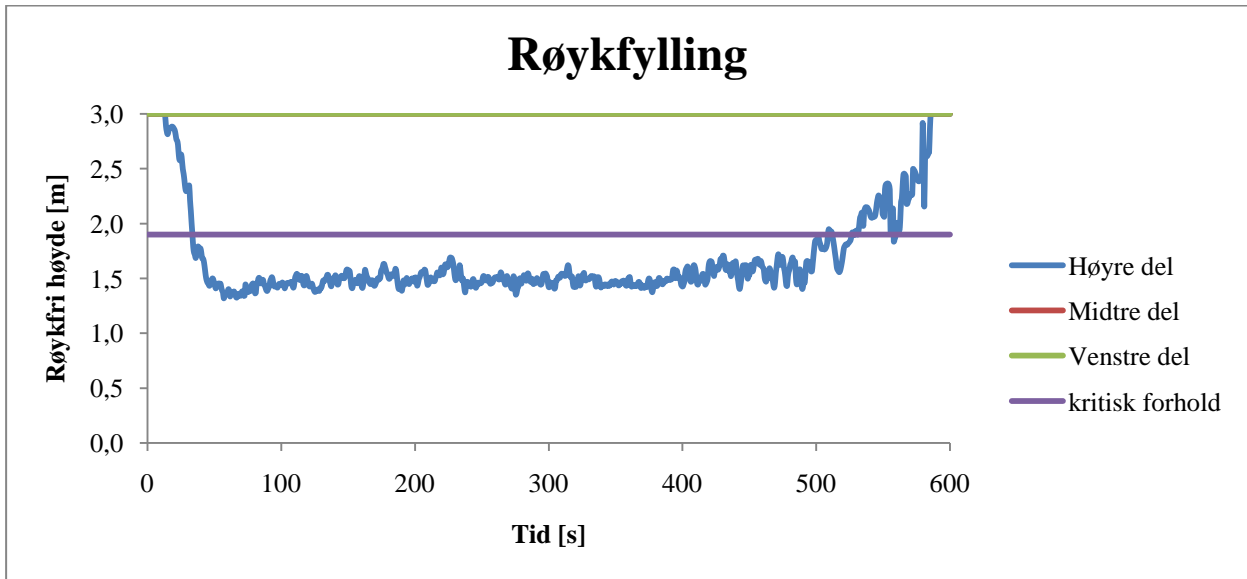
FIGUR22: BERGSENG, SIMULERING 1, TEMPERATUR ETTER 120 s

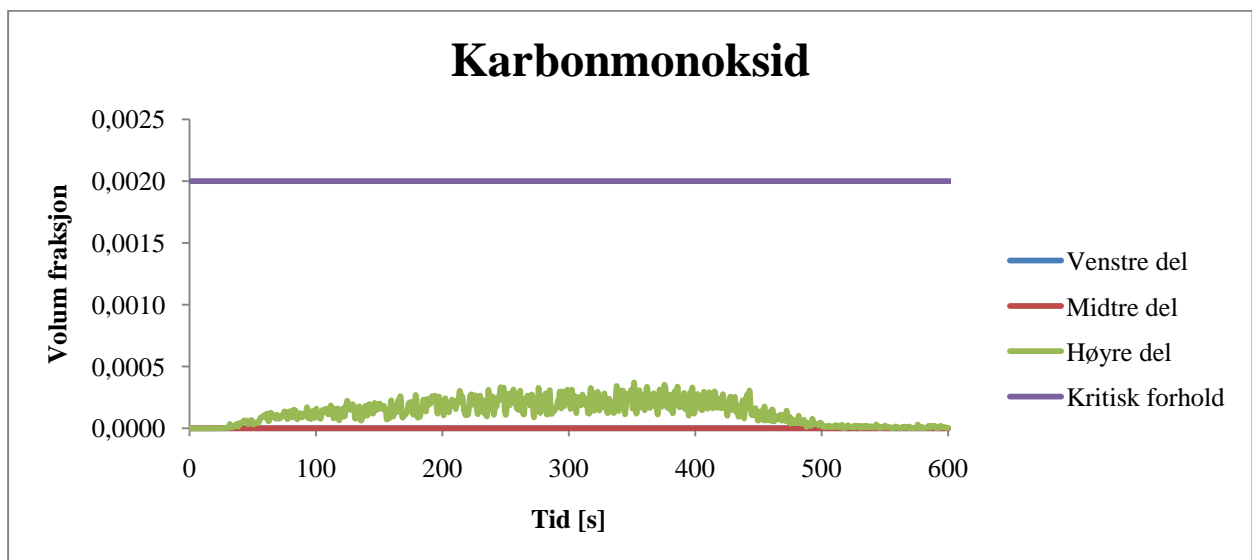
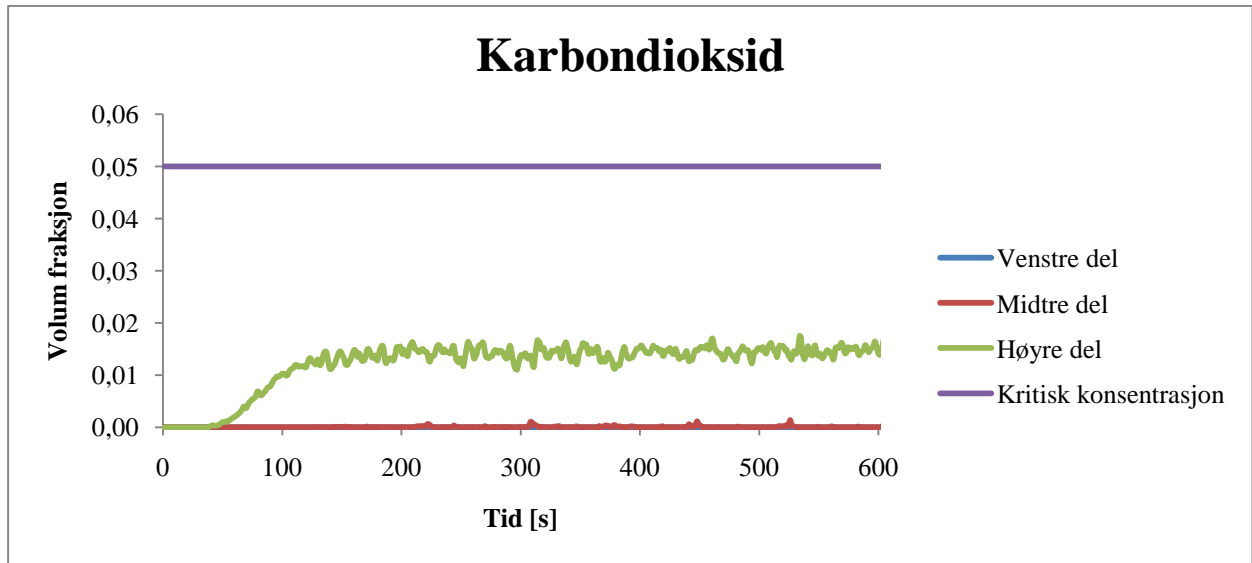
Smokeview



FIGUR 23: BERGSENG, SIMULERING 1, SIKT ETTER 120 s

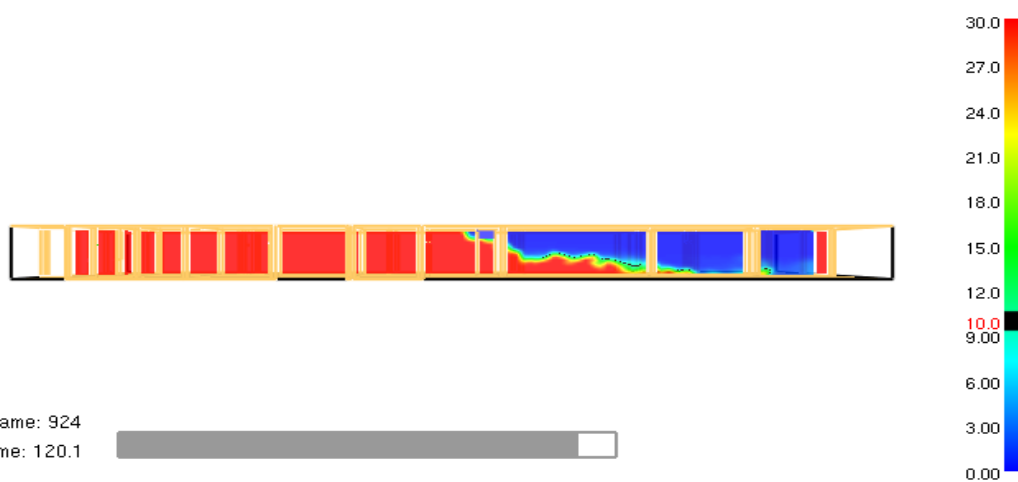
2.2.2. Simulering 2, brann i kjøkken på 1 MW, med mekanisk røykventilasjon.





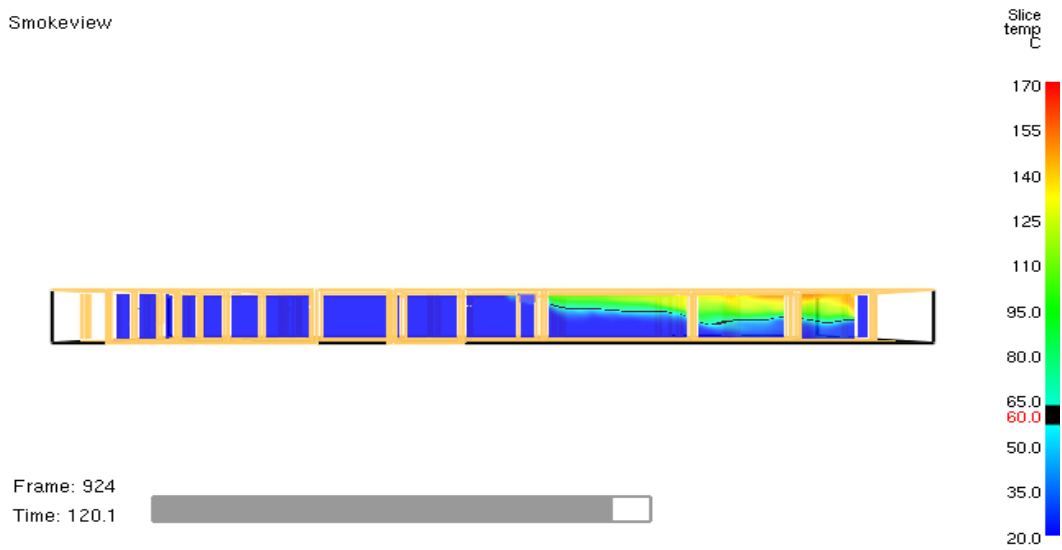
Smokeview

Slice
VIS_Soot
m



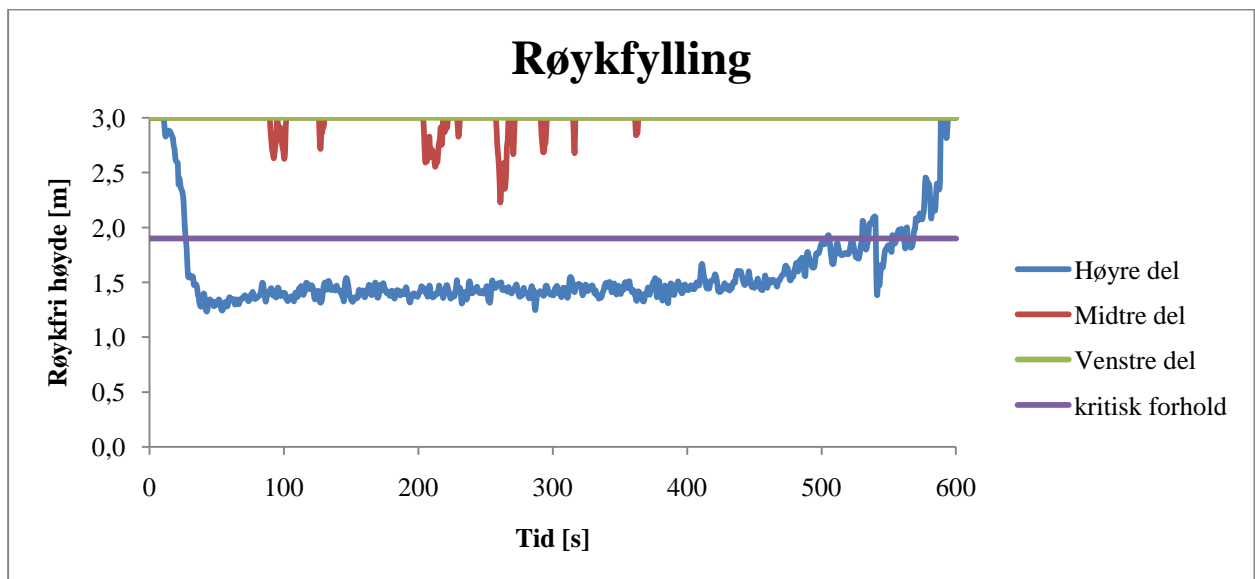
FIGUR 24: BERGSENG, SIMULERING 2, SIKT ETTER 120 S

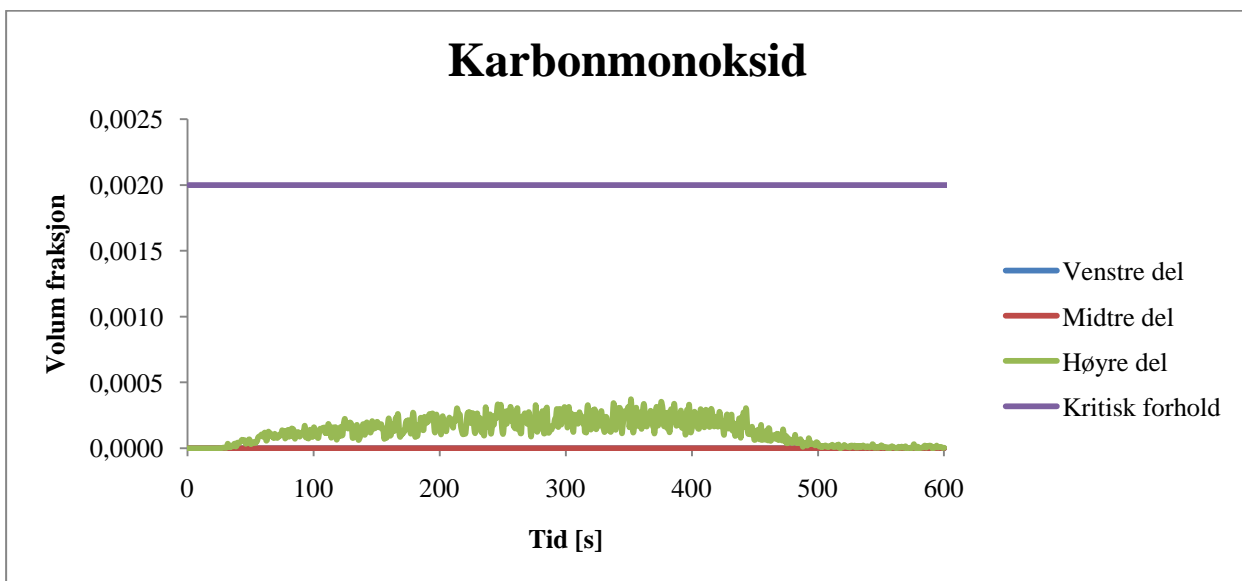
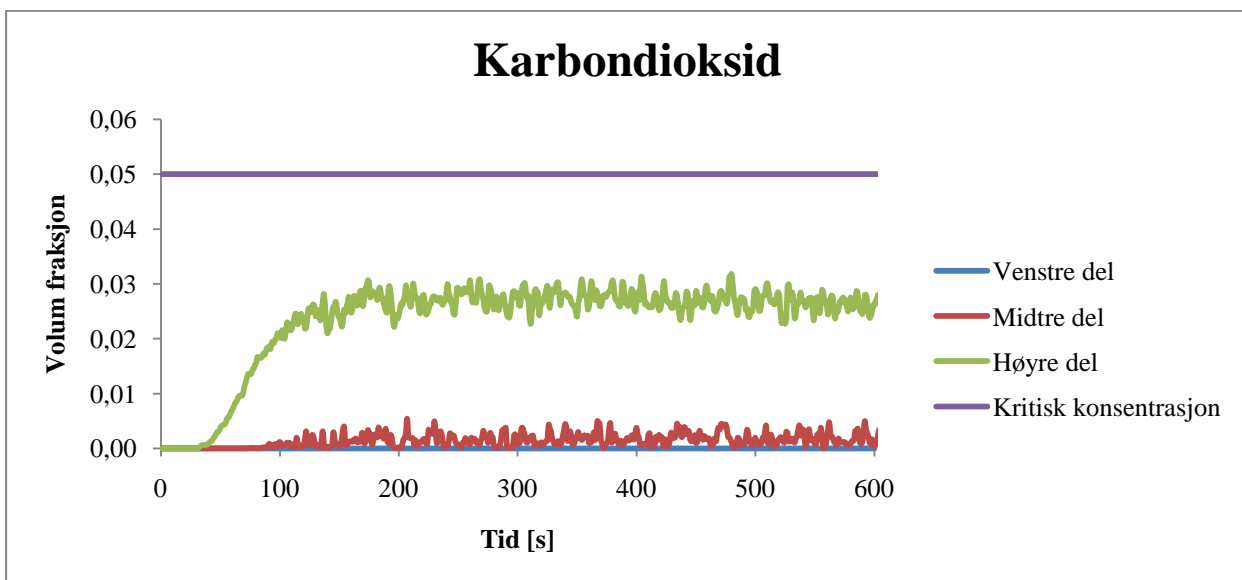
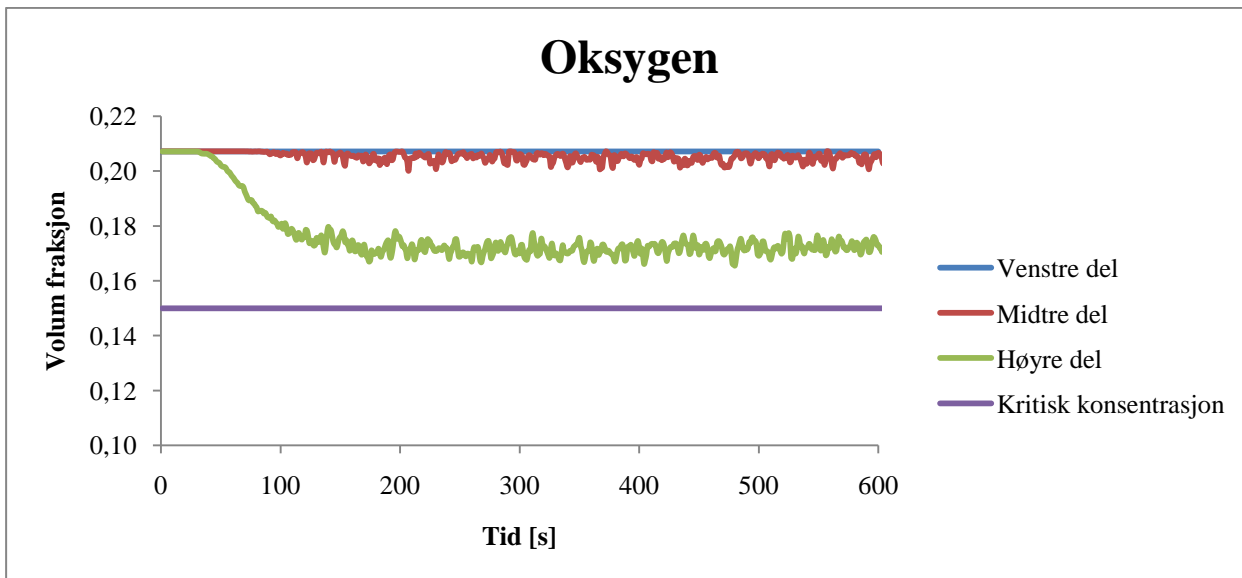
Smokeview



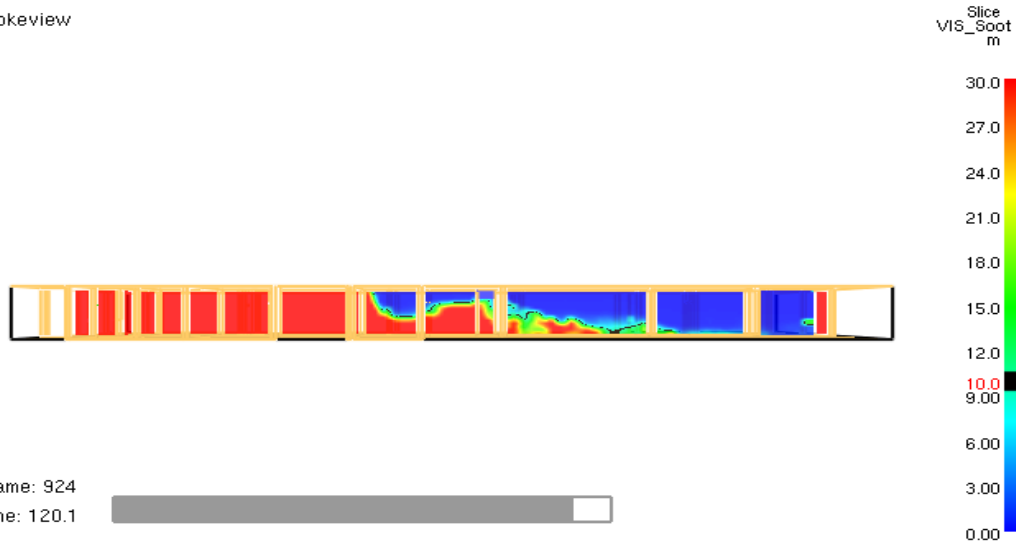
FIGUR 25: BERGSENG, SIMULERING 2, TEMPERATUR ETTER 120 S

2.2.3. Simulering 3, brann i kjøkken på 2 MW, med mekanisk røykventilasjon.



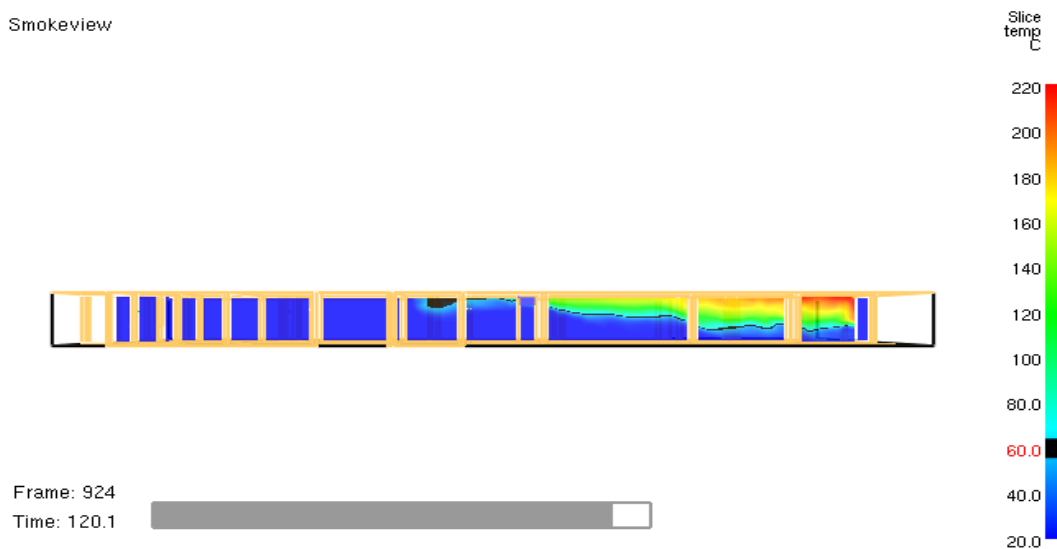


Smokeview



FIGUR 26: BERGSENG, SIMULERING 3, SIKT ETTER 120 S

Smokeview

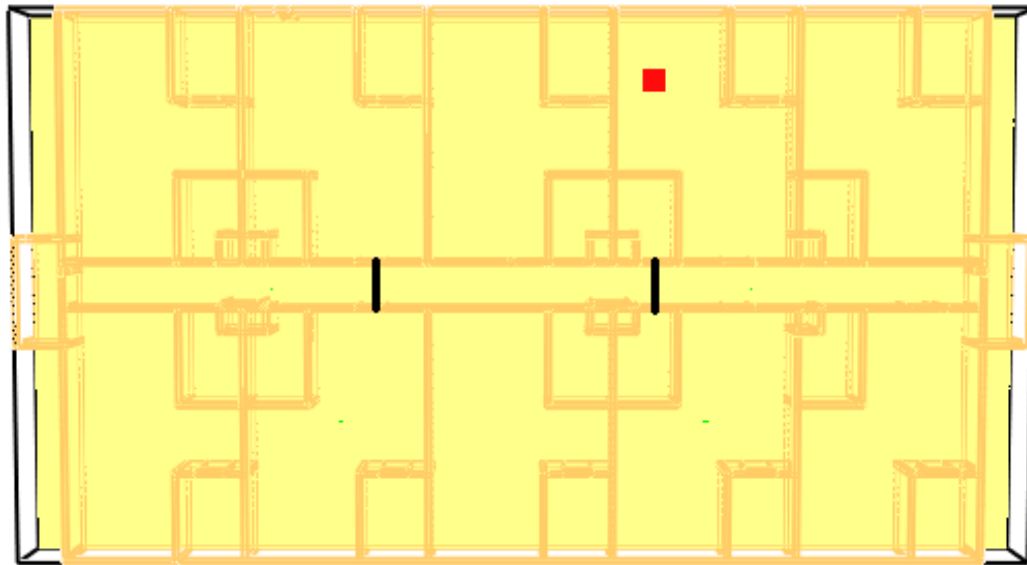


FIGUR 27: BERGSENG, SIMULERING 3, TEMPERATUR ETTER 120 S

2.3. Fiktivt bygg

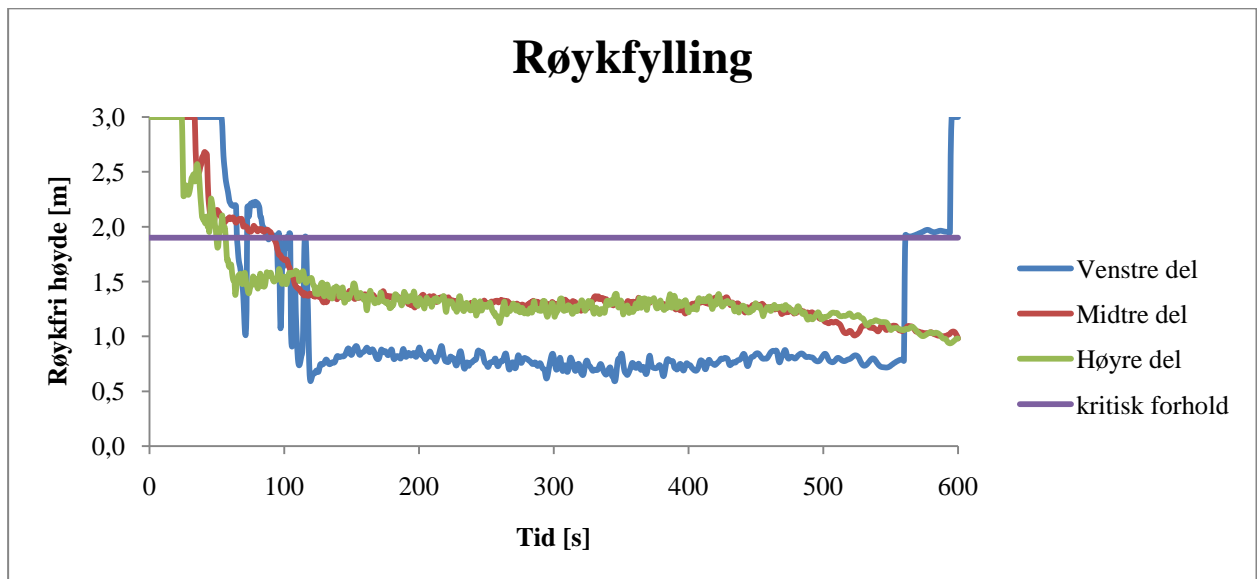
Korridoren ble delt i tre deler, så ble snittet beregnet fra alle målepunktene i den respektive delen, før det ble laget en grafisk fremstilling av resultatene. Brannen er plassert i høyre del av bygget, se figur 28. Alle resultatene ble sammenlignet med de andre delene av korridoren og kritisk verdi. Det ble sett på røykfylling i korridoren, konsentrasjon av oksygen, karbondioksid og karbonmonoksid. Det ble også sett på sikt og temperatur i korridoren. Oppsettet er likt for alle fire simuleringer.

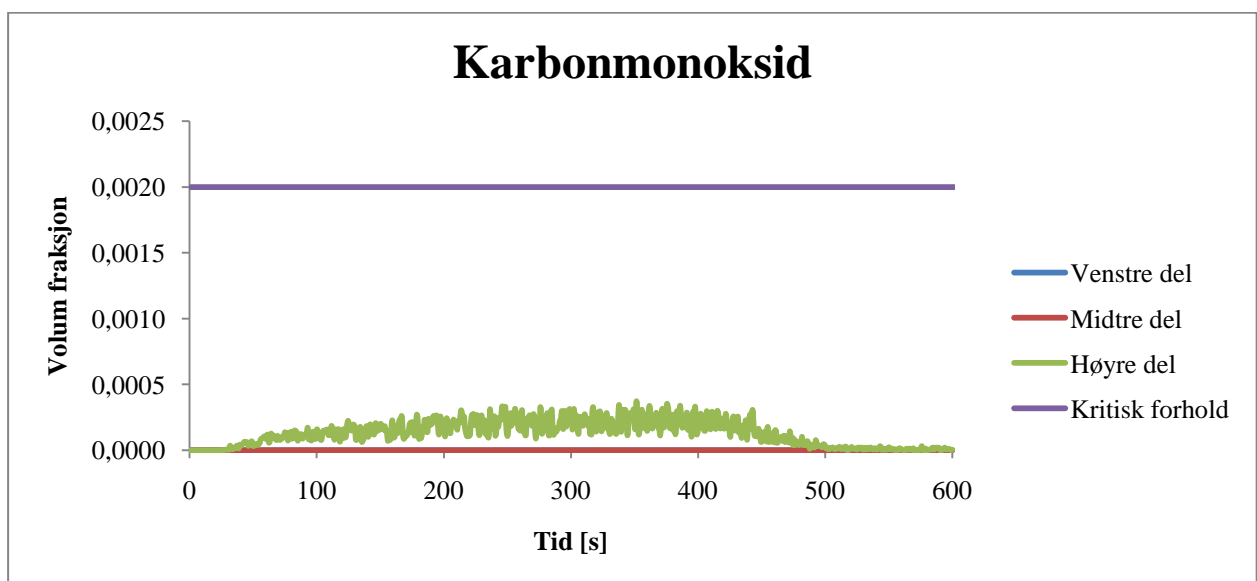
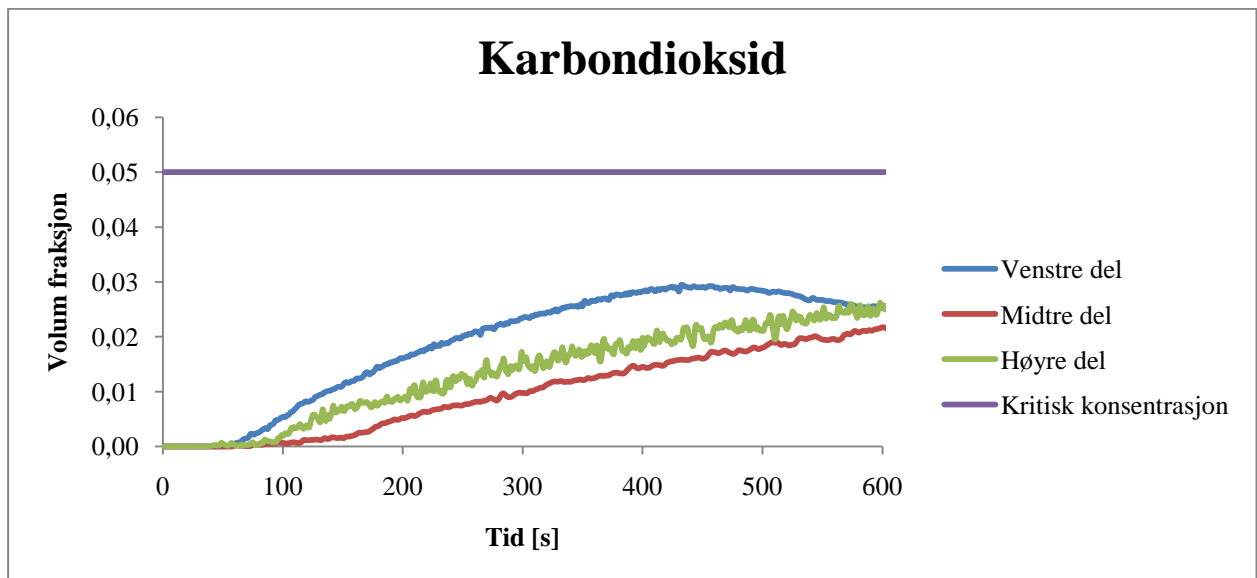
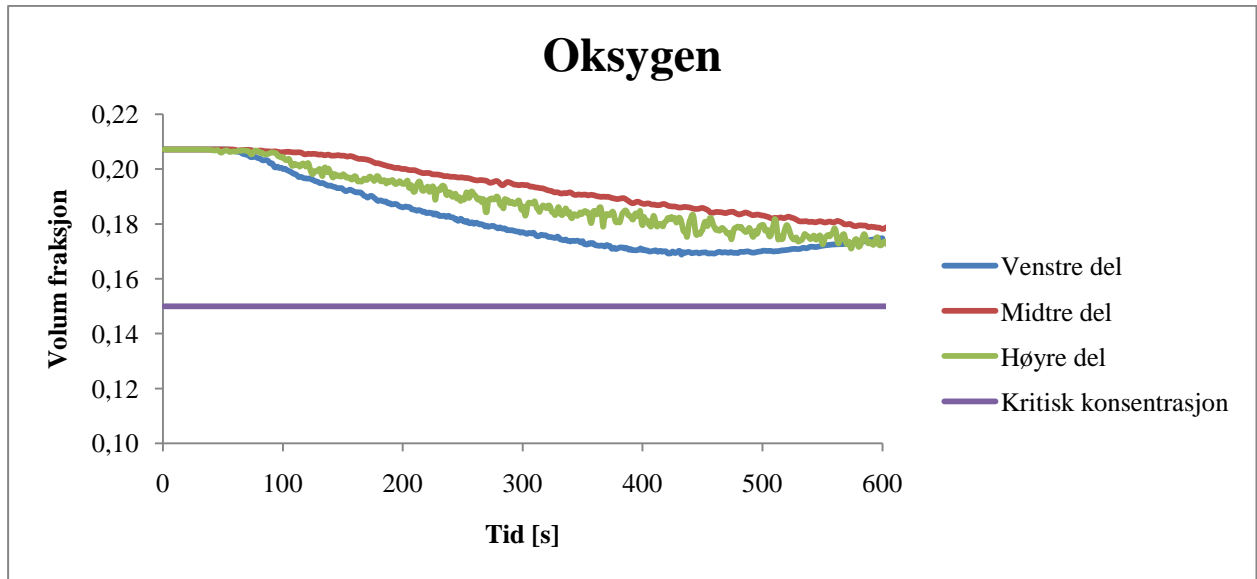
Smokeview



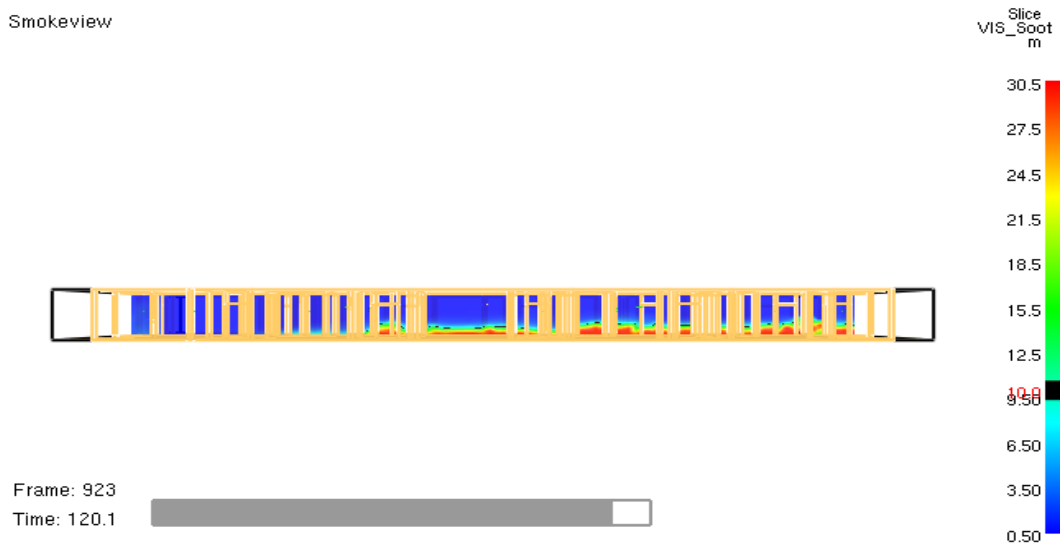
FIGUR 28: FIKTIV MED INNDELING AV KORRIDOR

2.3.1. Simulering 1, uten røykventilasjon.



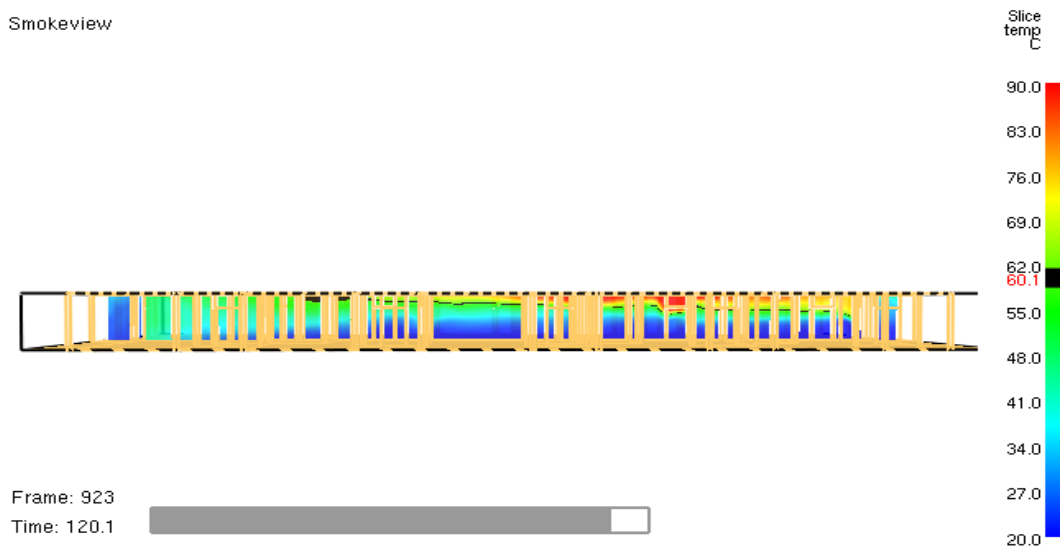


Smokeview



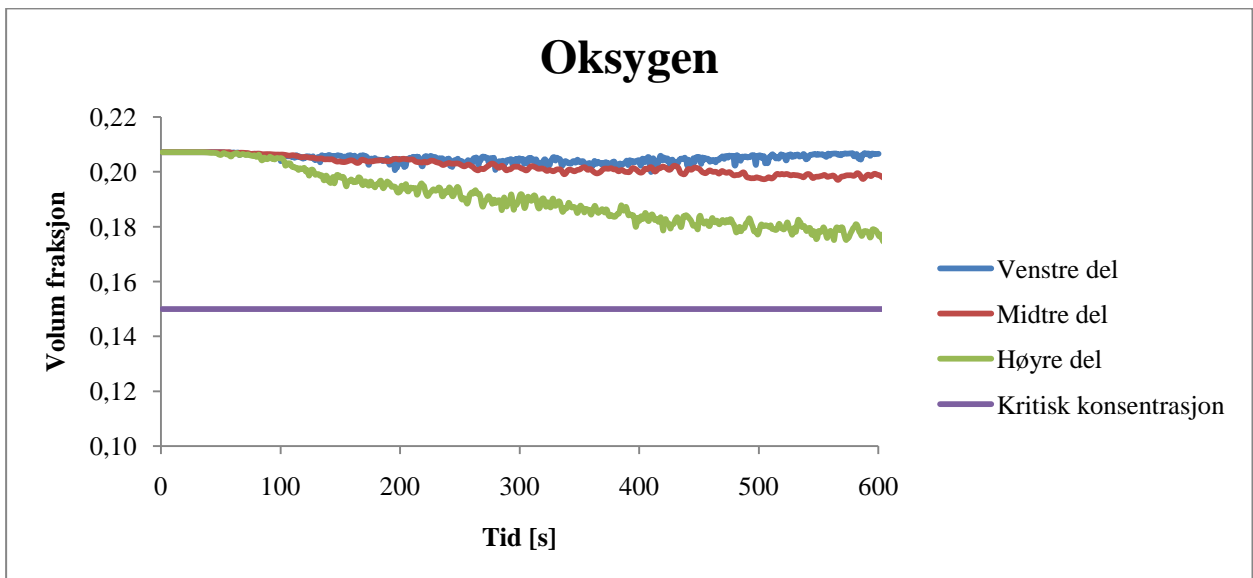
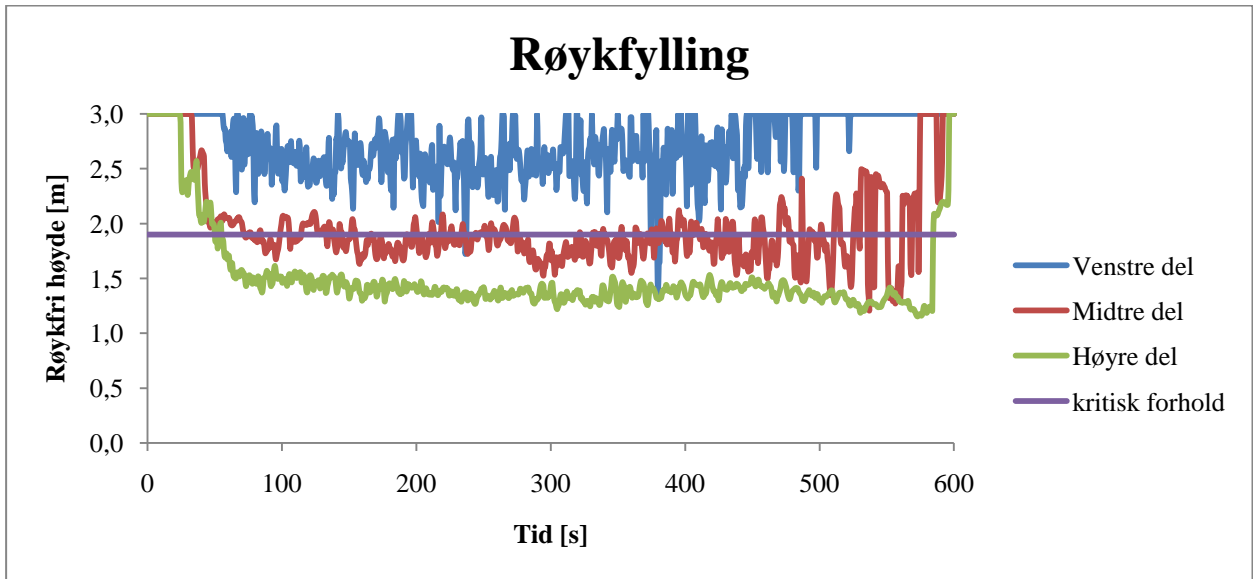
FIGUR 29: FIKTIV, SIMULERING 1, SIKT ETTER 120 S

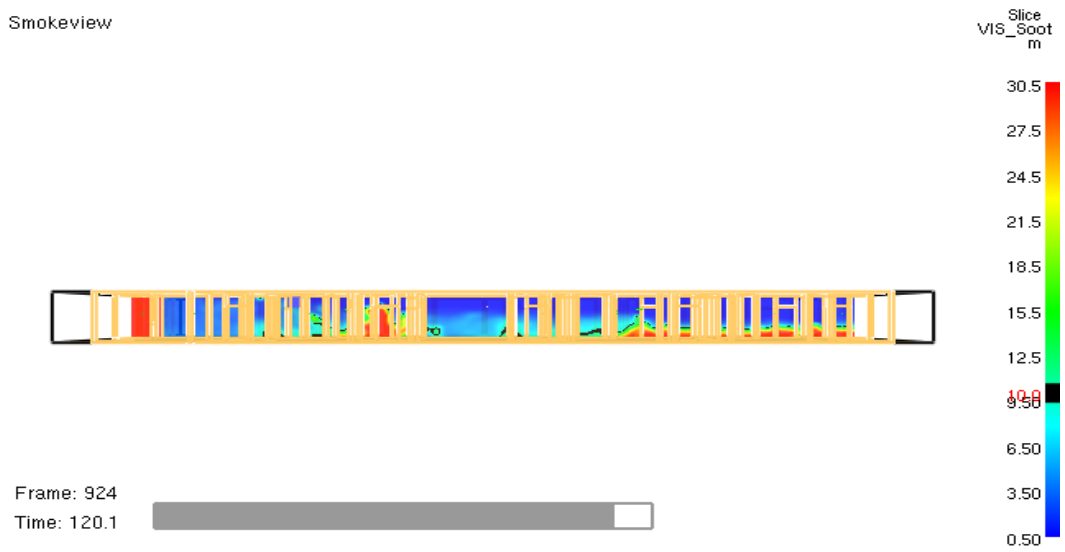
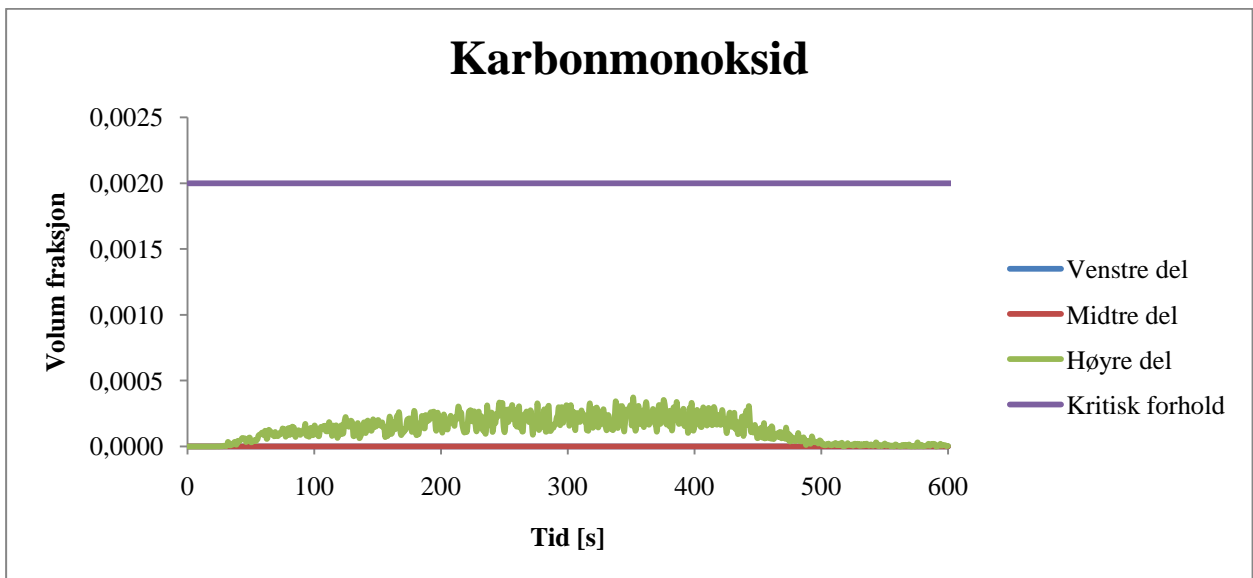
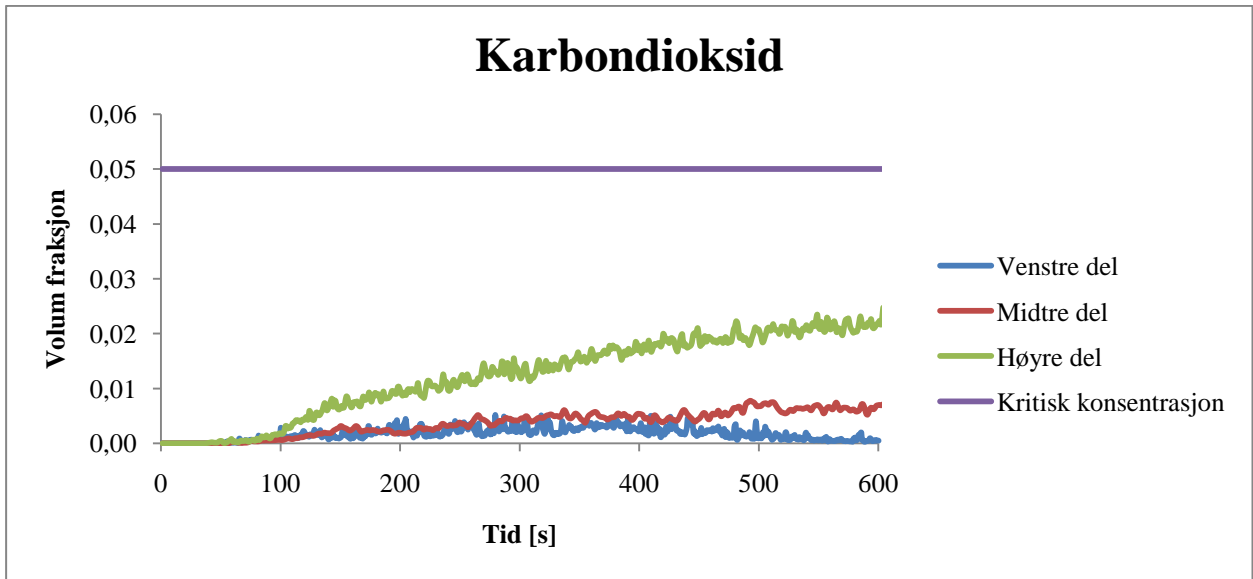
Smokeview



FIGUR 30: FIKTIV, SIMULERING 1, TEMPERATUR ETTER 120 S

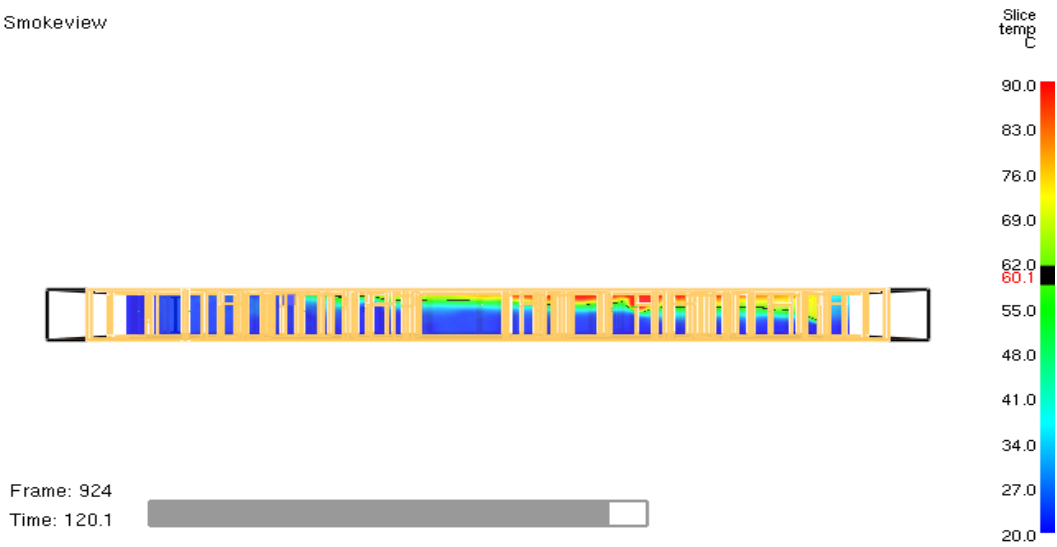
2.3.2. Simulering 2, mekanisk røykventilasjon til venstre i korridoren.





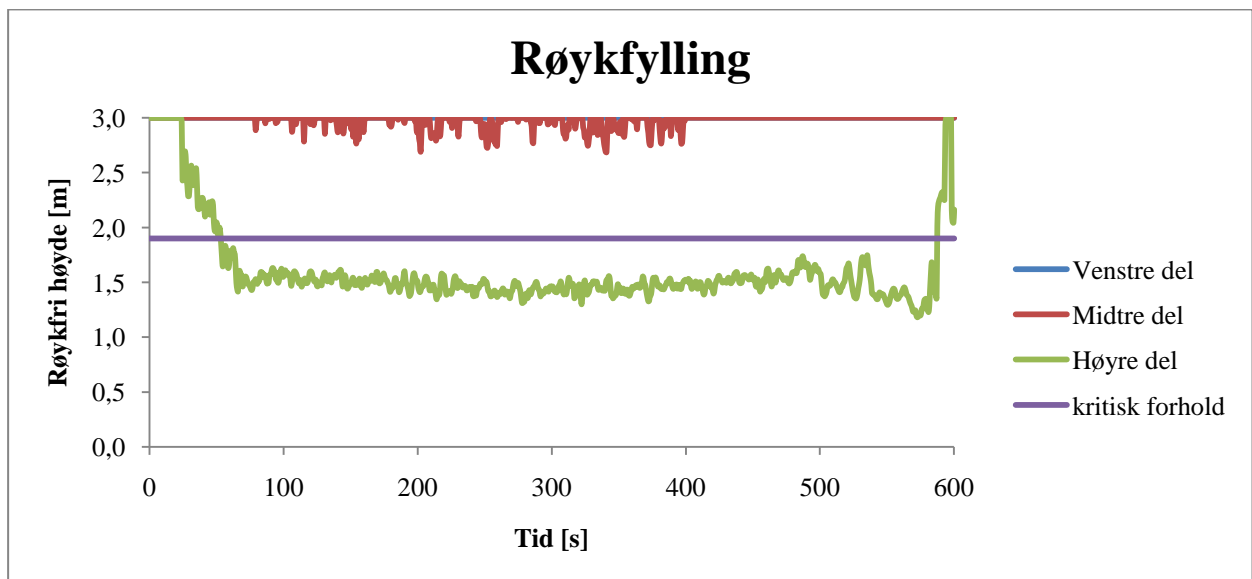
FIGUR 31: FIKTIV, SIMULERING 2, SIKT ETTER 120 S

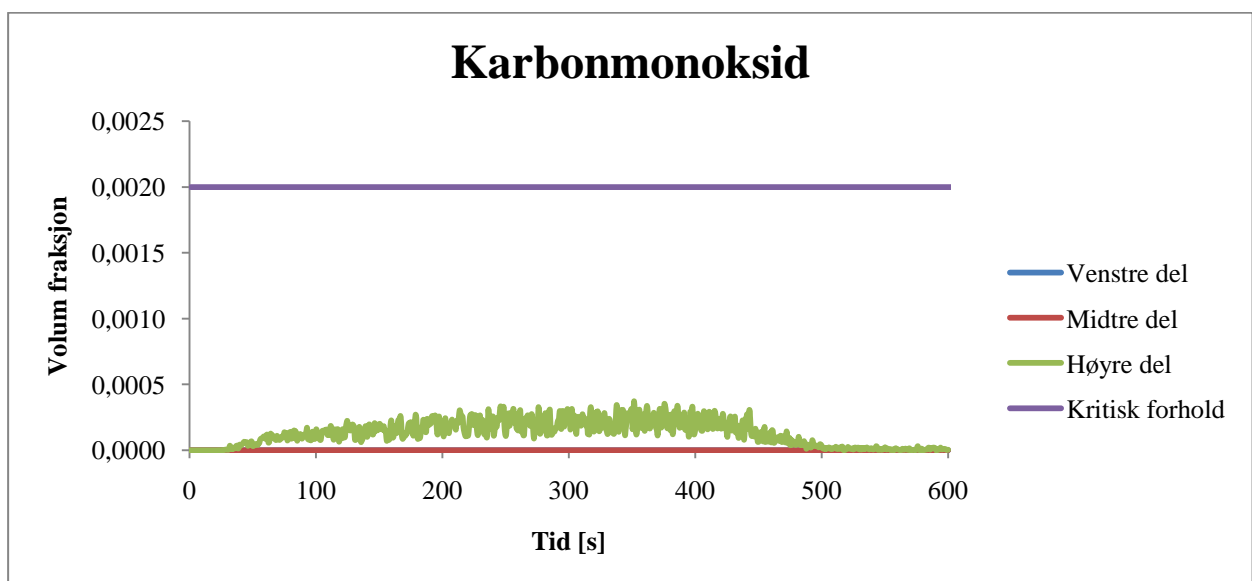
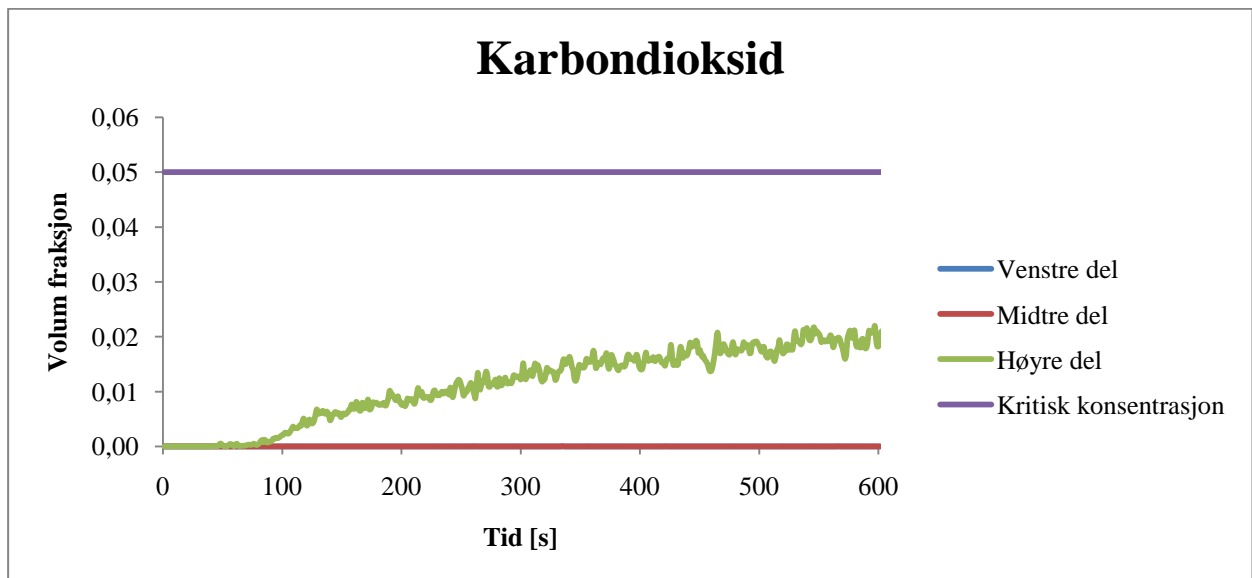
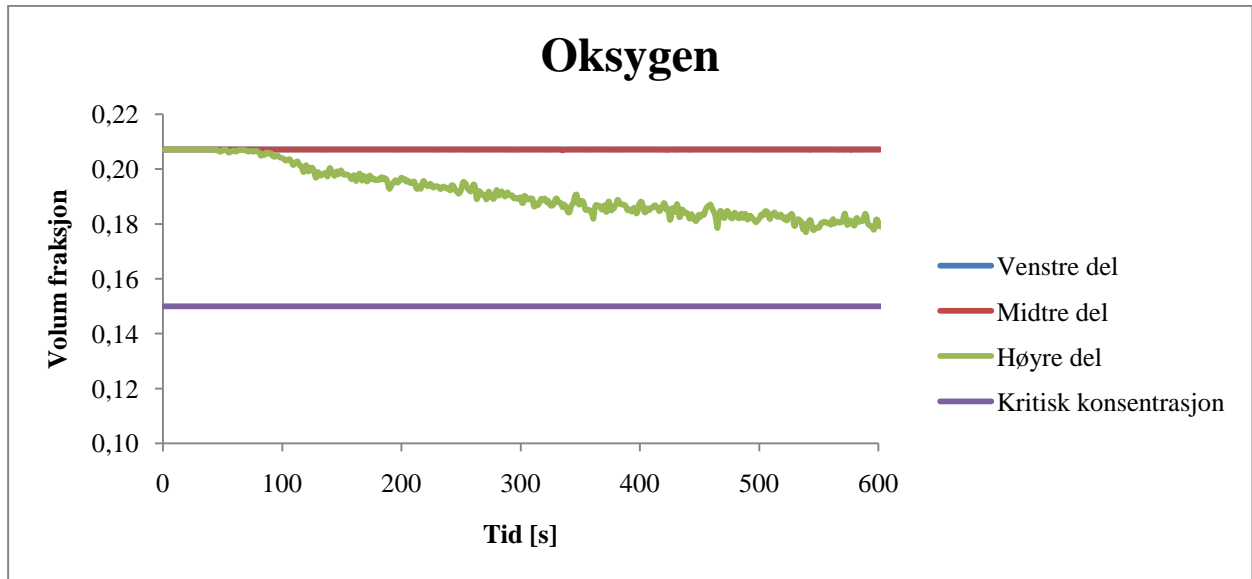
Smokeview



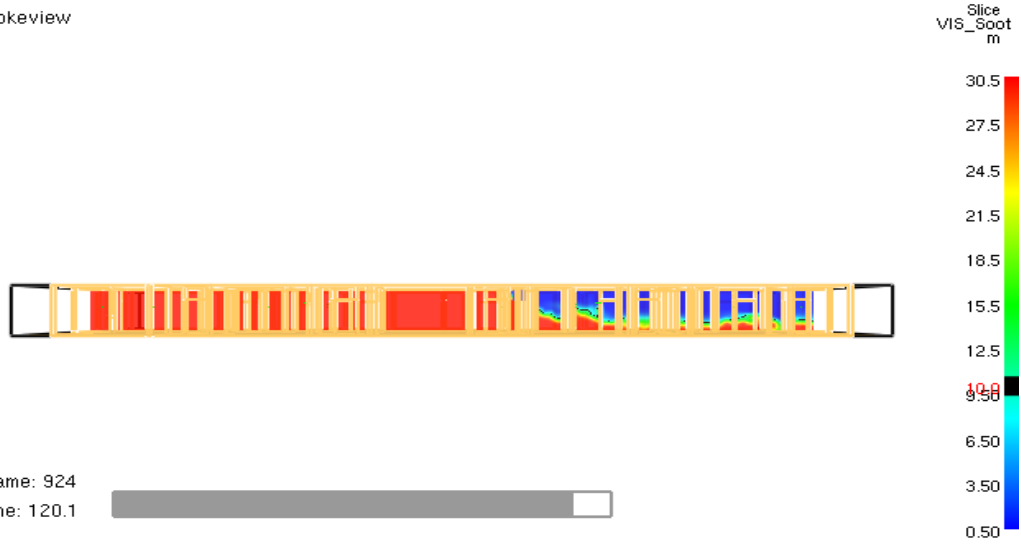
FIGUR 32: FIKTIV, SIMULERING 2, TEMPERATUR ETTER 120 S

2.3.3. Simulering 3, mekanisk røykventilasjjon midt i korridoren.



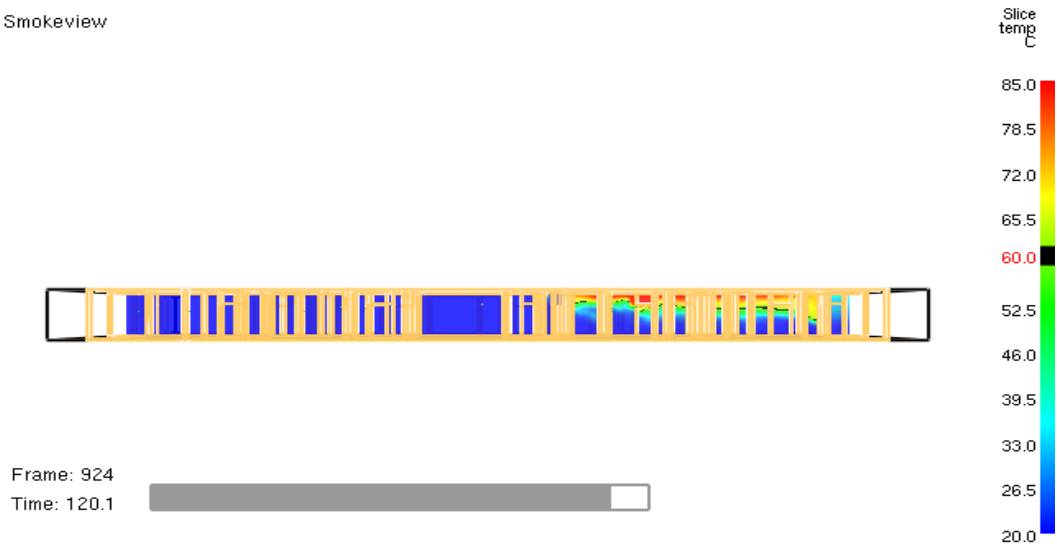


Smokeview



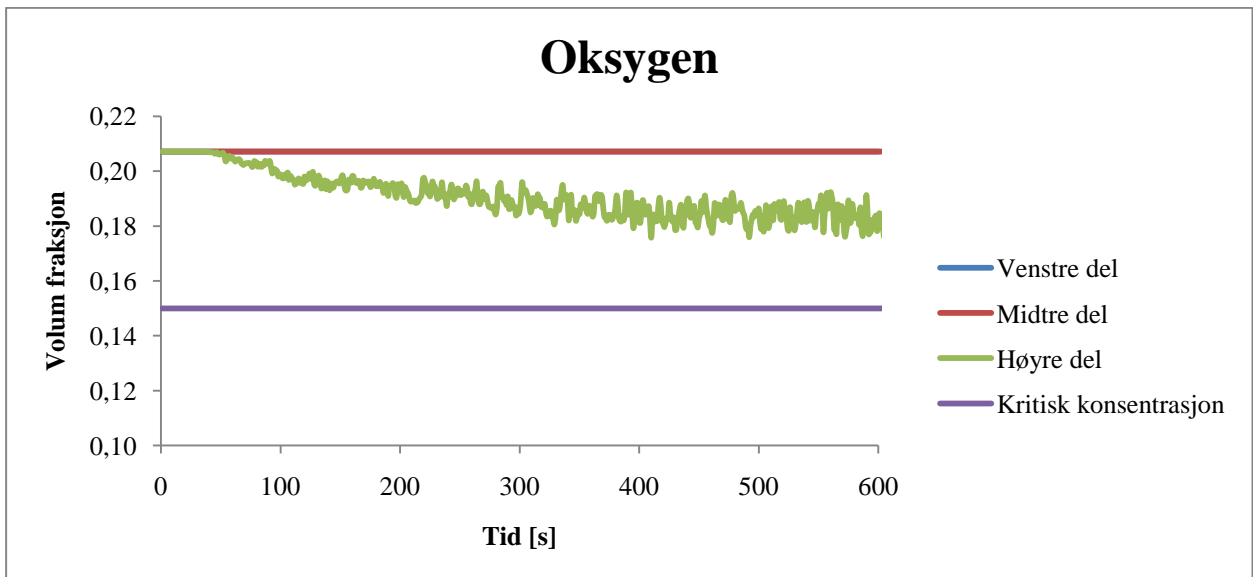
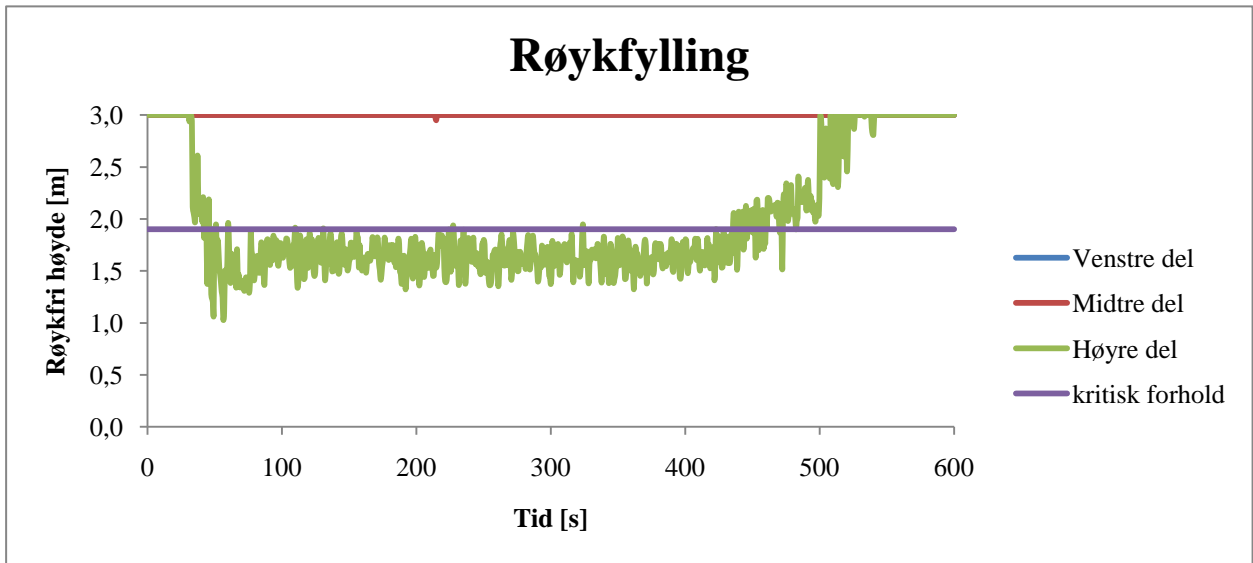
FIGUR 33: FIKTIV, SIMULERING 3, SIKT ETTER 120 S

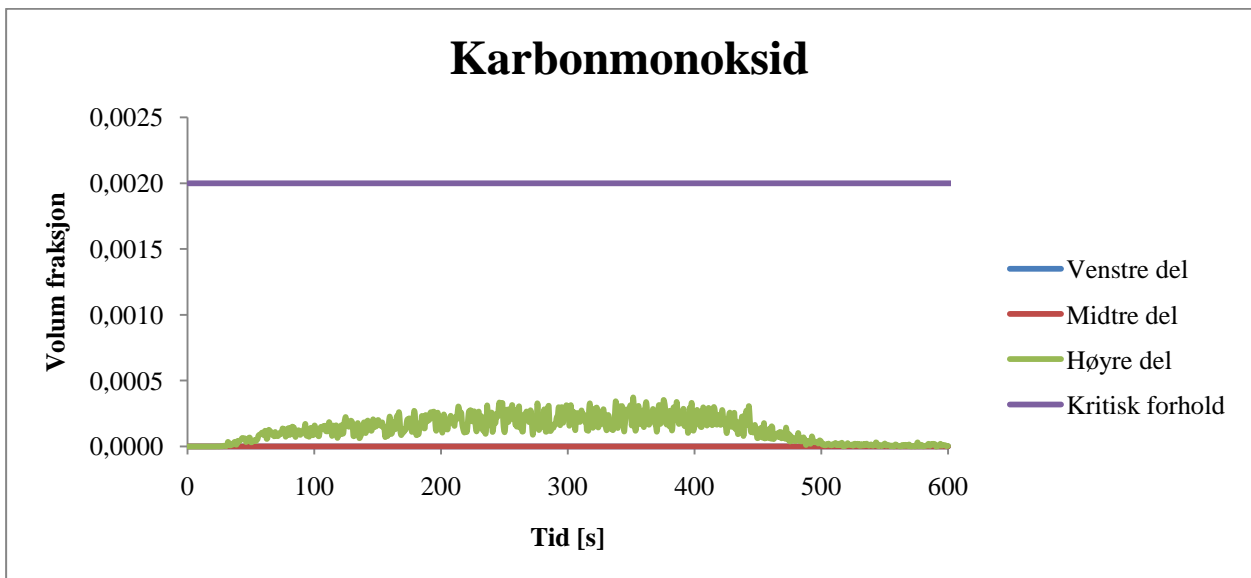
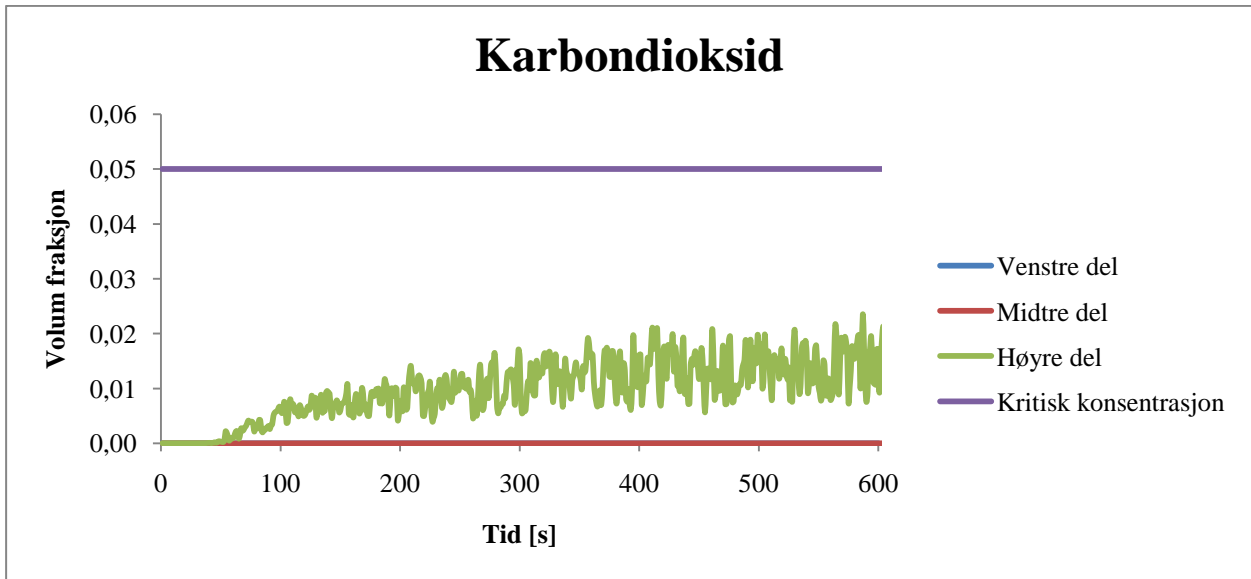
Smokeview



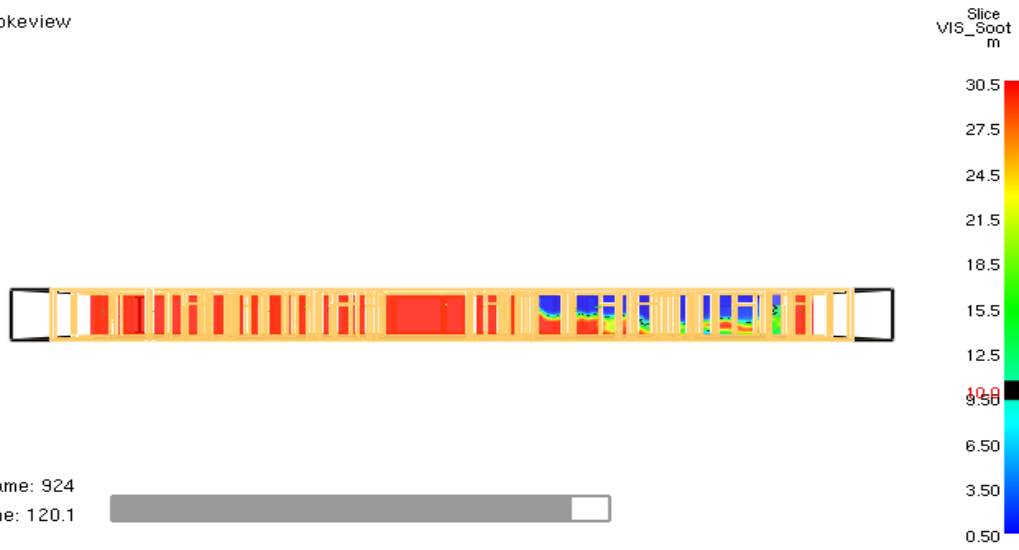
FIGUR 34: FIKTIV, SIMULERING 4, TEMPERATUR ETTER 120 S

2.3.4. Simulering 4, mekanisk røykventilasjon til høyre i korridoren



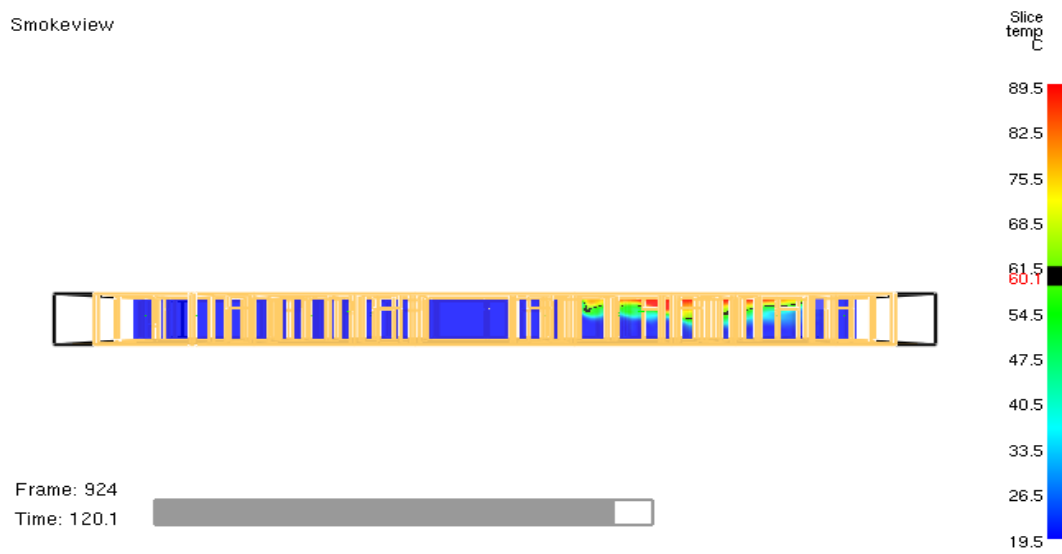


Smokeview



FIGUR35: FIKTIV, SIMULERING 4, SIKT ETTER 120 S

Smokeview



FIGUR 36: FIKTIV, SIMULERING 4, TEMPERATUR ETTER 120 S

3. Vedlegg C - Tabeller

3.1. Branneffekter

TABELL 3: TYPISKE BRANNEFFEKTER (13)

Branneffekter - typiske

SIGARETTGLØ		5 W
PAPIRKURV		0-100 kW
TV		150 kW
GARDINER 1kg		80-100 kW
CARRY-ON HÅNDKUFFERT FLY INNTIL		600 kW
JULETRE TØRT		500-700 kW
STOLER ENKLE		10-100 kW
LENESTOL		300-800 kW
LENESTOL POLYURETAN STOPPING		800-1500 kW
SOFA	—"	2000-3000 kW
SENG, SYKEHUS BRANNHEMMENDE		300-500 kW
SENG		1000-2000 kW
SUPERMARKED, FYLTE HYLLER	PR. M HYLLELENGDE INNTIL	1500 kW
EUROPALLER (TRE) STABLET	PR. M STABELHØYDE	3000 kW
SPRIT/ALKOHOL	PR. M ² OVERFLATE	400-800 kW
METANOL/ETANOL	—"	400 kW
OLJE/BENSIN	—"	2000-2200 kW
PARAFIN	—"	1700 kW

3.2. Nødvendig åpningsareal ved naturlig ventilasjon

TABELL 4: BEREGNING AV ÅPNINGSAREAL VED NATURLIG RØYKVENTILASJON (13)

Høyde H (m)	Røykfri sone h (m)	Nødvendig åpningsareal (A_v)										
		Brannareal A_b (m^2)										
		1	3	5	10	15	25	40	60	90		
4	3	3	5	6	8	10	13	17	22	28		
	2	1	2	2	3	4	6	8	10	13		
5	4	6	8	10	13	16	20	26	32	40		
	2	2	3	4	6	7	9	12	16	20		
6	5	9	13	15	20	23	29	36	44	54		
	4	4	6	7	9	11	14	18	23	28		
	3	2	3	4	5	6	8	10	13	16		
7	5	6	9	11	14	17	21	26	31	38		
	4	3	5	6	8	9	12	15	18	23		
	3	2	2	3	4	5	7	9	11	14		
8	6	9	13	15	20	23	28	34	41	50		
	5	5	7	9	11	13	17	21	25	31		
	4	3	4	5	7	8	10	13	16	20		
	3	1	2	3	4	5	6	8	10	13		
9	7	13	18	21	28	30	37	45	53	64		
	6	7	11	13	16	19	23	28	34	41		
	5	4	6	8	10	12	15	18	22	27		
	4	3	4	4	6	7	9	12	14	18		
	3	1	2	2	3	4	5	7	9	11		
10	7	10	14	17	22	25	30	37	43	52		
	6	6	9	11	14	16	20	24	29	36		
	5	4	6	7	9	10	13	16	20	24		
	4	2	3	4	5	7	8	11	13	16		
	3	1	2	2	3	4	5	7	8	11		
12	9	18	24	28	36	41	48	58	67	80		
	8	17	19	24	28	34	40	47	56			
	7	8	11	13	17	19	23	28	34	40		
	6	5	7	8	11	13	16	20	24	29		
	5	3	5	6	7	9	11	14	17	21		
	3	1	2	2	3	3	4	6	7	9		
14	11	28	38	43	53	61	72	84	96	114		
	10	19	26	31	38	43	51	61	71	83		
	9	14	19	22	27	31	38	45	52	62		
	8	10	13	16	20	23	27	33	39	46		
	7	7	9	11	14	16	20	24	28	34		
	5	3	4	5	7	8	10	12	15	18		
16	9	1	1	2	3	3	4	5	7	8		
	12	29	39	45	56	63	74	87	100	116		
	11	21	29	34	41	47	56	65	76	88		
	10	16	22	25	31	35	42	50	58	68		
	9	12	15	19	23	27	32	38	44	52		
	8	8	12	14	17	20	24	28	33	40		
	6	4	6	7	9	10	13	15	18	22		
18	3	1	1	2	3	3	4	5	7	8		
	14	41	55	63	77	87	101	118	135	155		
	12	24	32	37	45	51	60	71	82	96		
	10	14	19	22	27	31	36	43	50	59		
	8	8	10	12	15	18	21	25	30	36		
21	6	4	5	6	8	9	11	14	17	20		
	3	1	1	2	2	3	3	4	6	7		
	18	82	110	126	152	171	198	228	259	295		
	16	49	66	75	91	103	120	138	158	180		
	14	31	41	48	58	66	77	89	102	117		
	12	19	26	30	37	42	49	58	67	77		
	10	12	16	19	23	26	31	37	43	50		
	8	7	9	11	13	15	18	22	26	31		
6	3	5	6	7	8	10	13	15	18			
3	1	1	2	2	2	3	4	5	7			

3.3. Nødvendig viftekapasitet ved mekanisk røykventilasjon

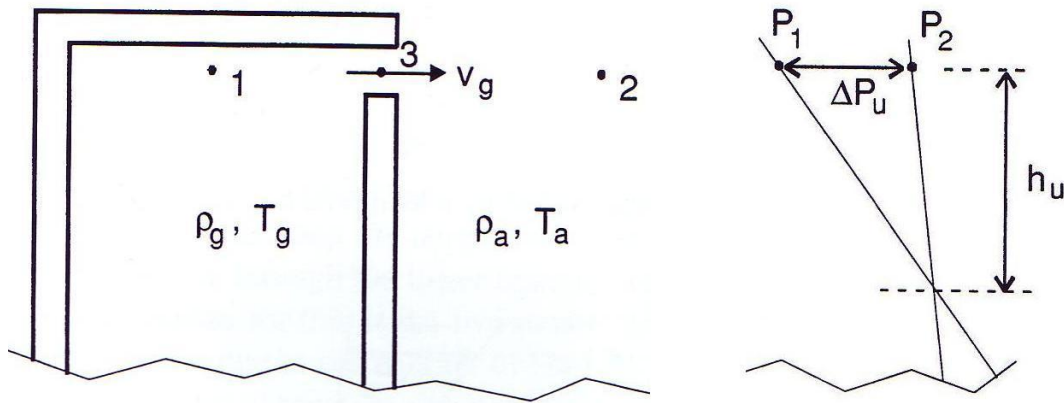
TABELL5: BEREGNING AV VIFTEKAPASITET VED MEKANISK RØYKVENTILASJON (13)

Høyde røykfri sone h (m)	Nødvendig luftmengde avtrekk (m ³ /s)								
	Brannflate A _b (m ²)								
	1	3	5	10	15	25	40	60	90
3	4	8	12	21	28				
4	6	11	16	26	34	51	74		
5	7	14	20	31	41	60	85	117	
6	9	18	24	37	49	70	98	132	181
7	12	21	29	44	57	80	111	149	201
8	14	25	34	52	66	92	126	167	223
9	16	30	40	59	76	104	141	186	246
10	19	34	45	67	86	117	158	206	271
11	22	39	51	85	96	131	175	227	297
12	24	44	58	85	107	145	193	249	324
13	27	49	64	94	119	160	212	272	352
14	30	54	71	104	131	175	231	296	381
15	34	60	78	114	143	191	252	321	411
16	37	66	86	125	156	208	272	346	443
17	40	71	94	136	169	225	294	373	475
18	44	78	101	147	183	242	316	400	509

4. Vedlegg D – Utledning av trykkdifferanse

Utledning av formel for trykkforskjell mellom rom og utsiden med en åpning.

Figur 37 viser et volum med en liten åpning. Det antas at gassen forlater volumet ved punkt 3.



1

FIGUR 37: TRYKK MED EN ÅPNING (8)

gangspunktet for utledning er Bernoullis likning: $P_1 + \frac{1}{2}v_1^2\rho_1 + h_1\rho_1g = P_3 + \frac{1}{2}v_3^2\rho_3 + h_3\rho_3g$

Her må en antakelse gjøres, at hastigheten ved P_1 (v_1) er null. Det gjøres fordi hastigheten ved P_3 antas å være mye større enn ved P_1 .

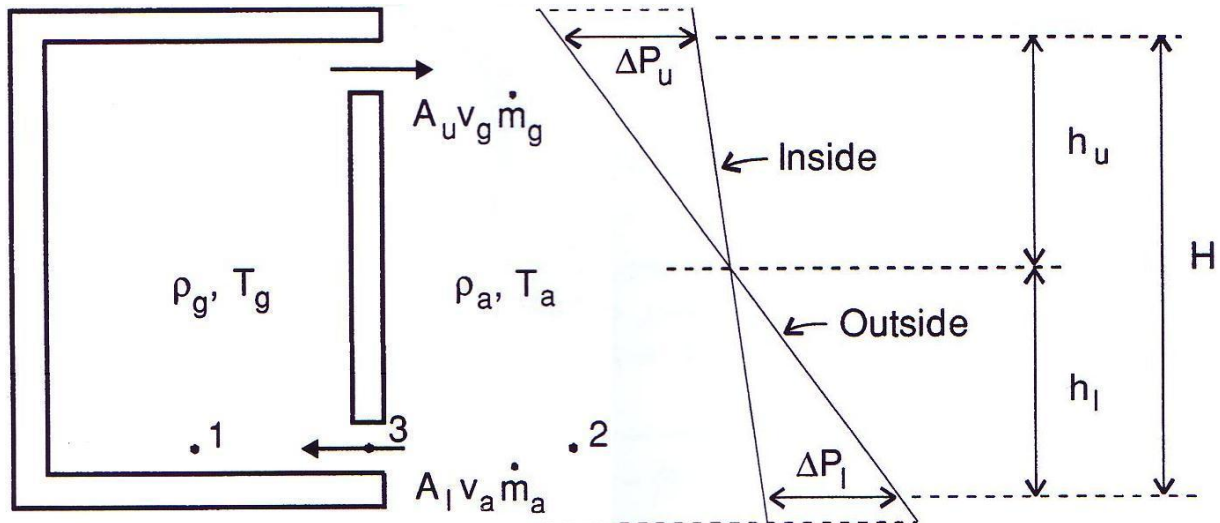
Tettheten til gassene inni volumet er den samme som den som går ut gjennom åpningen slik at, $\rho_1 = \rho_3 = \rho_g$.

Høydene i de to kontrollpunktene er like slik at, $h_1 = h_3 = h_u$.

Da kan en ordre opp i likningen og få: $P_1 - P_3 = \frac{1}{2}v_3^2\rho_3$

I forhold til figur 2 vil den likningen skrives som $\Delta P_u = \frac{1}{2}v_g^2\rho_g$

Utleddning av formel for trykkforskjell mellom rom og utsiden med to åpninger.



FIGUR 38: TRYKK MED TO ÅPNINGER (8)

ved å betrakte punkt 1 og 2 i figur 38:

$$P_1 + \frac{1}{2}v_1^2\rho_1 + h_1\rho_1g = P_2 + \frac{1}{2}v_2^2\rho_2 + h_2\rho_2g \quad \text{da farten er null i punkt 1 og 2 får enn:}$$

$$P_1 - P_2 = h_2\rho_2g - h_1\rho_1g$$

$$\underline{\Delta P_1 = h_1(\rho_a - \rho_g)g}$$

En annen måte å finne det hydrostatiske trykket ΔP_1 på er å bruke Bernoullis likning mellom punktene 2 og 3:

$$P_2 + \frac{1}{2}v_2^2\rho_2 + h_2\rho_2g = P_3 + \frac{1}{2}v_3^2\rho_3 + h_3\rho_3g$$

da må en anta at farten er null i punkt 2 samme antakelser legges til grunn som de ovenfor:

$$P_2 - P_3 = \frac{1}{2}v_3^2\rho_3 \quad \text{Som figur 26 viser er trykket mellom 2 og 3 lik } \Delta P_1.$$

$$\underline{\Delta P_1 = \frac{1}{2}v_a^2\rho_a}$$

(Likning 1)

Da er det mulig å finne ut hva hastigheten er i den nedre åpningen:

$$\Delta P_1 = \Delta P_1$$

$$h_1(\rho_a - \rho_g)g = \frac{1}{2}v_a^2\rho_a$$

$$v_a = \sqrt{\frac{2h_1(\rho_a - \rho_g)g}{\rho_a}} \text{ en annen måte å skrive farten på er:}$$

$$v_a = \sqrt{\frac{2\Delta P_1}{\rho_a}}$$

Massestrøm gjennom åpning er gitt som: $\dot{m}_p = C_d\rho_a v_d A_D$

Fra likning 1 har vi: $\Delta P_u = \frac{1}{2}\rho_a v_d^2$ som gir $v_d = \sqrt{\frac{2\Delta P_u}{\rho_a}}$

Likning 1 og likning for massestrøm gir:

$$\Delta P_u = \frac{m_p^2}{2\rho_a (C_d A_d)^2}$$

Likning 2.

5. Vedlegg E – Mekanisk vifte detaljer

Fläkt Woods Limited

Technical Data Sheet

JM Aerofoil



Project Name :
 Quotation Number :
 Customer :

Date: : onsdag, april 7, 2010
 Fan Code : HT100JM/31/4/9/14
 Item Reference: :

Fan Code HT100JM/31/4/9/14
 Fan Diameter / Size 1000 mm
 Blades 9
 Fan Speed 1470 rpm
 Velocity 9,2 m/s
 Blade Angle 14°
 Form of Running B
 Fan Casing Long

Performance data has been derived from tests carried out in a Flakt Woods laboratory, in accordance with ISO 5801 and is specifically applicable for Ducted installations. When an electronic controller is incorporated, enhanced motor noise can occur - particularly when the operating speed is well below maximum. FWL therefore recommend using an auto transformer speed controller for noise sensitive applications.

Requested Duty 26000m³/h @ 500 Pa (static)
 Actual Emergency Duty 26087m³/h @ 503 Pa (static)
 Outlet Dynamic Pressure 51 Pa

Acoustic data has been derived from tests carried out in a Flakt Woods laboratory, in accordance with BS 848 Pt 2, 1985 under Ducted conditions. The single figure provided is the overall inlet sound pressure level at the specified distance, under spherical, free field conditions. Breakout levels stated are estimated from induct sound power levels and are provided for guidance.

Duty Shaft Power 7,54 kW
 Max Shaft Power 8,28 kW
 Total Efficiency 53 %

Terms and Conditions: This offer is made subject to the terms and conditions detailed on the accompanying letter.

Motor Frame 160L
 Motor Rating 18,00 kW
 Full Load Current 35A
 Starting Current 175 A
 Motor Mounting Pad
 Electrical Supply 380-420 Volts 50 Hz 3 Phase
 Start Type DOL
 Motor Winding Standard
 Enclosure Standard All
 SFP value 1,16 W/(l/s)
 Energy Consumption 16757 kWh (2000 h/year)
 Running Cost/ Year €838

Air Density 1,2 kg/m³ / 20 °C / 0 m / 50% RH
 Smoke Venting 400°C for 2 Hours
 Product Number EF139447

	Sound Spectrum (Hz)								Overall	
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Lw*	LpA @ 3 m**
Inlet*	94	93	98	102	106	103	98	91	110	89
Outlet*	94	93	98	103	106	104	99	93	110	89
Breakout*	84	70	70	76	79	75	78	70	87	63
* Lw dB re 10 ⁻¹² W										** dBA re 2x10 ⁻⁵ Pa

Description	Qty	Unit Price	Price
Fan			
HT100JM/31/4/9/14	1	enquire	enquire
Fan Accessories (Quantities per Fan)			
Estimated Despatch :2 to 3 Weeks			
TOTAL PRICE FAN AND ACCESSORIES (leadtimes subject to parts availability)			enquire

Per Krohgs vei 4C
 1085 Oslo, .
 Tel: +47 40 41 36 80 Fax: +47 23 28 80 91

Website:
 Email: bjerkvoll@vifter.no
 Copyright Fläkt Woods Group 2003 - 2010

Printed on 7. april 2010 Page 1 of 3 Selection Engine: 2.6.0.2