

FDS DOKUMENTASJON - RØYKVENTILASJON ROMSDAL VGS

OPPDRAGSNAVN: ROMSDAL VGS	OPPDRAGSNR.: A049314	
UTGIVELSESDATO: 21.11.14	OPPDRAG: Simulering og dimensjonering av røykventilasjon	
OPPDRAGSGIVER: Møre- og Romsdal Fylkeskommune	OPPDRAGSGIVERS REFERANSE: Per Olaf Brækkan	
GNR/BNR: 26/263	ADRESSE OG KOMMUNE: Langmyrvegen 83, 85, 6415 MOLDE	
UTARBEIDET AV: Mikael Jacobsen Vang	KONTROLLERT: Stein Kyrre Kvinge	
REVISJON: -	DATO: -	BESKRIVELSE: -

1	INNHOLD	
2	Bakgrunn for oppdraget	2
3	Forutsetninger for simuleringen	2
4	Overordnet mål for simulering	2
5	Krav til røykventilasjon i glassgård som følge av FDS simulering	2
6	Dokumentasjon FDS-simulering	3
7	Resultat – FDS dokumentasjon	9
8	Konklusjon	17
9	Referanser	17
10	Vedlegg: Begrensninger i FDS:	18

2 Bakgrunn for oppdraget

I forbindelse med Romsdal VGS er det utført FDS-analyser (brannsimulering) for å undersøke kapasitetsbehov, og bestemme utforming av røykventilasjonsystemet i glassgården. Glassgården med tilstøtende rom er modellert i Pyrosim og simuleringer er kjørt i FDS versjon 6.

3 Forutsetninger for simuleringen

Simuleringen er basert på IFC-modell utarbeidet av HUS arkitekter AS lastet ned fra webhotell 15.05.14, og forutsetter at det ikke gjøres vesentlige endringer i geometri.

Røykventileringen forutsettes å utformes iht. eget notat *Notat: Røykventilering Romsdal VGS*, datert 23.07.14.

4 Overordnet mål for simulering

Målet med simuleringen er å dokumentere at kravene som stilles i Byggteknisk forskrift (TEK 10) med veiledning, er ivaretatt. Der hvor byggverk inneholder overbygde gårder eller gater stilles bla. følgende krav:

§ 11-14 6. ledd angir at overbygget gård eller gate kan benyttes som rømningsvei dersom den er tilrettelagt for sikker rømning. Det skal i tillegg finnes alternativ rømningsvei utenom det overbygde arealet. Mindre brannceller som ligger på gårdsplanet, kan benytte det overbygde areal som rømningsvei fra begge utgangene, forutsatt at arealet er tilrettelagt for sikker rømning.

Iht. veiledning til TEK 10 § 11-8 2. ledd, skal overbygde gårder og gater ha røykventilasjon for å hindre røykspredning mellom ulike brannceller som ligger ut mot den overbygde gården.

Se for øvrig brannprosjekteringsrapport for uttømmende angivelse av krav i brannkonseptet, og angivelse av rømningsveier og traséer.

5 Krav til røykventilasjon i glassgård som følge av FDS simulering

Spesifikasjoner for viftene er nærmere angitt i *Notat: Røykventilering Romsdal VGS*.

Spesifikasjoner for viftene og tilluft:

- > Viftene må samlet yte minimum 80 m³/s, fordelt som angitt i eget notat.
- > Viftene må fungere i minst 60 minutter ved brannpåkjenning med lufttemperatur opp til 200 °C.
- > All nødvendig tilluft må åpnes automatisk ved detektert brann. Tilluft må kunne åpnes under de aktuelle driftsforhold, bl.a. ved vind og snølast.
- > Vifter må ha sikret strømtilførsel i 60 minutter enten gjennom sprinklerbeskyttelse eller funksjonssikkerkabel/innstøpning 30 mm overdekning.
- > Fri strømningsbane. Det må sikres fri strømningsbane for luften/røyken foran og etter tilluftsluker, eller begrenset strømningsbane må tas hensyn til når det beregnes effektiv virkningsgrad.
- > Ventilasjonssystemet må funksjonstestes jevnlig.

Spesifikasjoner for viftene er nærmere angitt i *Notat: Røykventilering Romsdal VGS*.

6 Dokumentasjon FDS-simulering

FDS-simuleringer har en rekke tekniske begrensninger som representerer forenklinger eller unøyaktigheter i prediksjon av reelle forhold. FDS versjon 6 er vurdert som egnet for bruken for de aktuelle simuleringene. Se vedlegg 1 for en oversikt over de viktigste begrensningene i FDS.

For simuleringer av røykventilering er det lagt vekt på faktorer som har betydning for røykbevegelse, røyktemperatur og sikt, da tiltaket er myntet på å tillate tømning gjennom atrium og å lette brannvesenets innsats.

6.1 Oppsett og scenario

Metodikken som er lagt til grunn for utarbeidelse simuleringen og påfølgende vurderinger følger hovedprinsippene i forslag til standard *INSTA Technical Specification 950 Fire Safety Engineering – Verification of fire safety design in buildings* (prINSTA TS 950) [5].

Valg av brannscenario ble gjort på bakgrunn av «worst credible case» metodikk. Dette vil si at alle inndata som benyttes er konservative innenfor rimelighetens grenser (typisk opp mot 90 % konfidensintervall i statistiske distribusjoner). Iht. prINSTA TS 950 har en som forutsetning at brannsikringstiltak (brannalarm og vifter) er vedlikeholdt og ikke i ustand.

Valg av brannscenario:

Det er etter kvalitativ vurdering av risiko for brann (sannsynlighet x konsekvens), og innledende forsøk med brann ved forskjellige plasseringer tilknyttet til atrium valgt å se nærmere på to spesifikke brannscenarier.

Glassgården, også kalt atrium, er et kommunikasjonsareal som skal fungere som rømningsvei for plan 0-2. Av bruken følger det at innredning er begrenset med påfølgende lav forventet brannenergi per kvadratmeter. Kledning i glassgården skal minimum ha brannklasse B-s3,d0 [Ut 1], og skal gi minimalt bidrag til en eventuell brann.

Med unntak av kantine/vestibyle og eventuelt garderober med stålskap (avventer avklaring om garderober skal skilles ut) er glassgården skilt av som en egen branncelle mot tilstøtende rom. Glassgården skal dekket av sprinkleranlegg, som bygningen for øvrig.

Brann i kantine: En brann i kanten er vurdert som et høyst aktuelt brannscenario, da takhøyden i rommet kan føre til raskere brannutvikling enn glassgården for øvrig. Og fordi rommet er noe fjernet fra selve gården, noe som gir mindre termisk oppdrift i røyken sammenlignet med en brann like ved røykavtrekket. Det bemerkes at kantine er skilt fra tilhørende kjøkken med branncellebegrensende konstruksjon, og brannenergien vil fortrinnsvis være i form av løst inventar som stoler og bord.

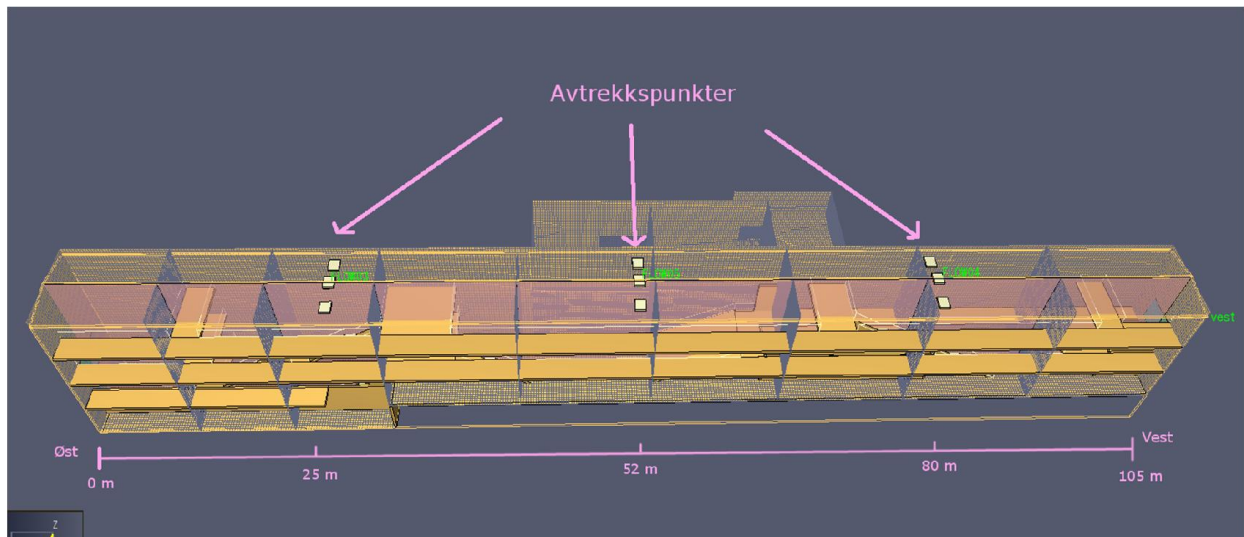
Brann i sokkeletasje: En brann i sokkeletasjen vil medføre større høydeforskjell, noe som gir mer friksjon og avkjøling. Brannenergien i sokkeletasjen vurderes å være tilsvarende kommunikasjonsareal i glassgården for øvrig, med sporadisk bruk av løst inventar i form av sittegrupper ol.

6.2 Modelloppsett

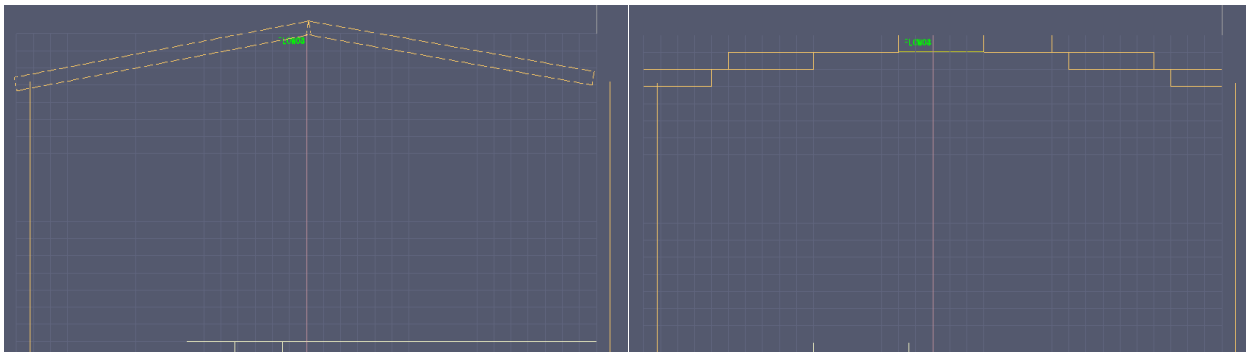
Geometrisk modell:

Simuleringsmodellens rutenett er delt opp i kubiske kontrollvolumer hvor hver side har mål 0,25 m x 0,25 m¹. Modellen er delt opp 12, med 9 mesh langs gårdens lengde og 3 i kantinen.

Dimensjoner på modellen er lengde, 105 m, bredde 20 m (8,25 m i selve gården), og høyde 17,5 m fra sokkel til høyeste punkt, som gir 1.218.004 kontrollvolumer.



Modellillustrasjon fra Pyrosim.



Modellens representasjon av skråtak med svak helning sammenlignet med ideell modell fra Pyrosim. Plassering av avtrekksvifter vises som røde streker.

Modellen er satt opp etter IFC-modell med nøyaktighet ned til nærmeste 25 cm.

Det bemerkes at garderober langs nordlige langside av 1. etasje i glassgården ikke er tatt med i simuleringen. Enten det bestemmes om disse skal være lukket eller åpne mot gården med stålskap vurderes disse å ikke ha noen påvirkning på resultatene i simuleringen.

¹ I brannrommet i kantinen ble størrelsen på kontrollvolumene redusert til 0,125 m x 0,125 m. Tanken for å gi mer representativ flammetemperatur i brannen. Dette ble etter hvert vurdert som unødvendig da det temperaturen blir utjevnert når røyken blander seg med tilstrømmende luft og trekkes ut i glassgården, og modellen ble følgelig ikke endret for simuleringene med brann i sokkeletasjen.

Materialeegenskaper:

Materialer i gulv vegg og tak er definert som "INERT", hvor det blir beregnet et forenklet varmetap til omhyllingen, med varmetap beskrevet med formelen under. Fordelen med å bruke INERT-materialtypen er at modellen ikke bruker tid på å kalkulere materialets egen varme, men gjør isteden en forenklet beregning med antagelsen at materialet alltid holder omgivelsestemperatur. Omgivelsestemperaturen ble satt til 20 °C. Forenklingen vurderes som passende for tilfellet, spesielt da varmetap vil domineres av tap gjennom ventilasjon, og temperaturen i røyklaget var forholdsvis lav.

$$q'' = \varepsilon\sigma(T_{eff}^4 - T_{gass}^4) + h(T_{eff} - T_{omgivelser})$$

q'' = varmetap (W)

ε = emmissivitet, 0,9 for INERT og ADIABATIC overflatetyper.

σ = $5.6703 \cdot 10^{-8}$ (W/m²K⁴) Stefan-Boltzmann konstanten

T_{eff} = effektiv gasstemperatur hentet fra strålingsmodellen i fds (K)

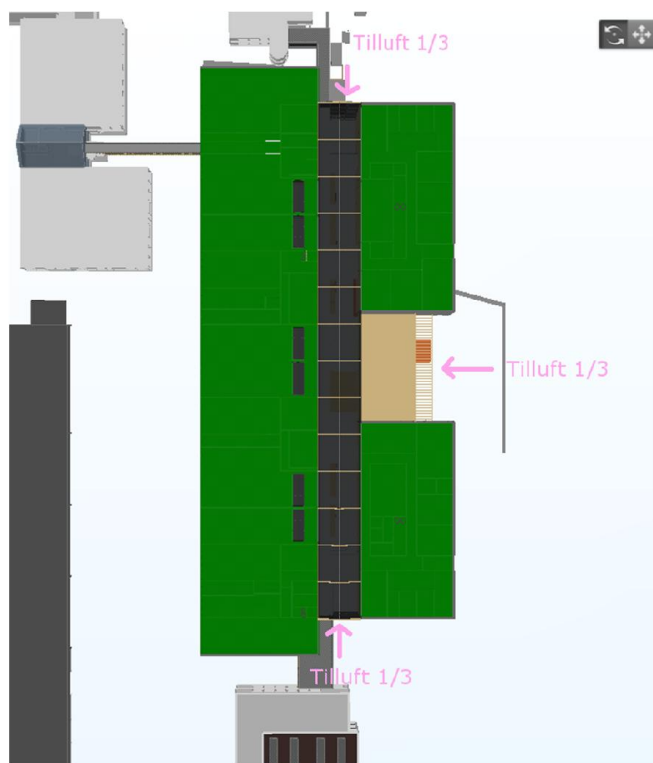
T_{gass} = gasstemperatur ved veggen

$T_{omgivelser}$ = omgivelsestemperatur, ambient (K)

h = varmetapskoeffisient (W/(m²K))

Ventilasjonsforhold:

Simuleringene er gjort med 9 avtrekkspunkter (exhaust vents) med konstant volumstrøm (avtrekk) på 8,89 m³/s hver, som gir totalt 80,01 m³/s avtrekk. Tilluft er representert som 3 stk. 12 m² hull til omgivelsene i de aktuelle meshene.



Figuren viser plassering av tilluftsåpninger i simuleringen. For øvrig kan åpningene ses som rosa rektangler i 3d-modellene vist på figurer i resultatkapittelet.

Tilluftsluker som representeres gjennom hull mot omgivelsene (ambient conditions) eliminerer kontraksjonsfaktoren og trykktap som følge av friksjon ved åpningene, som ellers ville oppstått om en simulerte et hull direkte i modellen. Dette gir godt grunnlag for videre prosjektering, forutsatt at de reelle åpningenes virkningsgrad tas med i beregningen når en designer tilluftsåpninger innenfor spesifikasjonene angitt i eget notat.

Avtrekksviftenes reelle ytelse må også tilpasses de aktuelle forholdene for å gi tilsvarende avtrekk på punktene som er angitt i simuleringene.

Egenskaper for brannen:

Valg av brannkurve:

For fastsettelse av brannkurven bruker man en såkalt designbrann. Dette er en brann som skal representere utviklingen av brannscenarioet på best mulig måte i tråd med målene med simuleringen. Den viktigste faktoren for å bestemme en designbrannkurve er hva vurderer som kan brenne i brannscenarioet. En vanlig forenkling er å benytte designbrann, $Q = \alpha t^2$, hvor brannen angis av gjennom standardiserte utviklingskurver for byggverk med tilsvarende bruk og dermed antatt tilsvarende brennbart materiale.

Iht. Tabell 241 i *Tilgjengelig rømningstid ved brann* [6] kan middels hurtig brannvekst legges til grunn, hvor en har brannenergi tilsvarende "hotellresepsjon/hotellrom/kontor med In1-overflater". Glassgården i Romsdal vgs skal riktignok ha Ut 1, overflater, men kriteriet for bidrag til brannenergi er det samme for begge klassene. Tilsvarende effektutvikling er angitt for skoler i annen litteratur, *Selecting design fires* [s. 34, ref. 7]

Gitt hurtig til middels brannvekst $\alpha = 0,012$ (kW/s²) vil brannen ha en effekt på 4,3 MW etter 10 minutter.

I forbindelse med brannkurven er det verdt å merke seg at volumer med stor takhøyde ikke nødvendigvis vil oppnå konvensjonell overtenning, da overtenning er avhengig av tilbakestråling fra omhylling (fortrinnsvis tak). Selv i laveste del av kantinen er takhøyden forholdsvis stor, med sine ca. 3,75 m. Takhøyden i glassgården er maksimalt 17,5 m fra sokkel til høyeste punkt på tak, og 3,75 m fra plan til plan.

Videre må en se på hvor lenge en ønsker å simulere brannen. Da røykventilasjonen først og fremst har som funksjon å tillate rømning, vil et naturlig sted å starte være å simulere brannforløp i nødvendig rømningstid. Det er ikke gjort inngående analyse av nødvendig rømningstid, men det er rimelig å anta at denne er i størrelsesorden 10 minutter, da elever og ansatte forventes å være kjent med bygget og persontall delt på bredde i rømningsveier er ikke av en slik karakter at en vil forvente oppstuvning. Videre er innsatstiden til brannvesenet ≤ 10 minutter. Brannvesenet vil ha gode forutsetninger for å hindre videre brannvekst når de ankommer skolen, da branneffekt i kommunikasjonsareal med høy takhøyde og sprinkleranlegg gir begrenset sannsynlighet for utstrakt og hurtig brannutvikling samt at røykventilasjonen bidrar til enkel og oversiktlig tilkomst til brannen. Sprinkleranlegg vil også kunne redusere brannutviklingen i en gitt brann og minke sannsynligheten for videre spredning.

prINSTA TS 950 og *Verifying design alternatives in buildings with fire sprinkler systems* [8], foreslår at effekten av sprinkleranlegg kan antas å hindre videre brannvekst ved sprinklerutløsning for branner over 5 MW, slik at effekten holdes konstant ved utløsningen og ut simuleringen. For branner der sprinkleranlegget slår ut før brannen har nådd 5 MW foreslås det å holde effekten konstant ved aktiveringseffekt, for så å lineært redusere effekten til 1/3 av aktiveringseffekten.

For visualisere brannstørrelsen utover den standardiserte brannkurven viser tester at en 5 MW brann f.eks. kan representere brann i pult med to hyller med 110 kg papir i tillegg til 2-3 sofaer ved punktet for maksimal varmeavgivelse.

Offices

Computer work station with a computer desk and a bookcase at right angles to each other.

Computer desk: The desk had a set of 4 shelves above
Plastic laminate covered 16 mm hardboard
Size: 0.60 / 0.24 x 1.24 x 1.52 m³
Mass: 58.1 kg
Paper load: 44.9 kg distributed on the 4 shelves

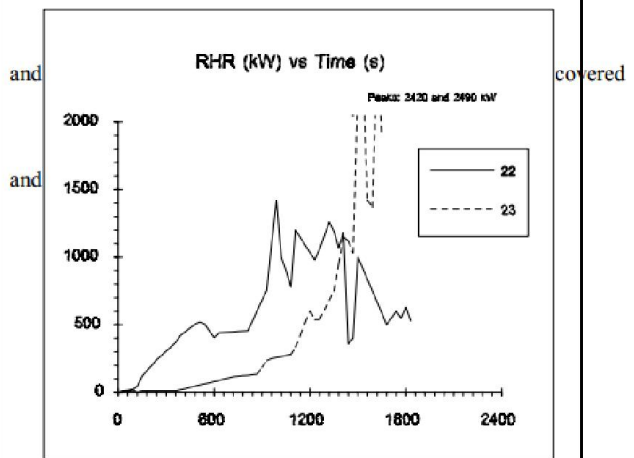
Book case: 5 shelf construction
Plastic laminate covered 16 mm hardboard
Size: 0.3 x 0.91 x 1.83 m²
Mass: 46.3 kg
Paper load: 72.6 kg distributed on the 5 shelves.

22:
Freeburning
Test 101

23:
In room
Test 102

Test procedure:

Methods:
Sample 22: Freeburning in calorimeter
Sample 23: Room calorimeter
Ignition sources: In the corner between the desk and the book case.
Sample 22: 50 kW gas burner.
Sample 23: Steel trash can with 1.7 kg paper,



Y0/22-23

Reference:

Walton, W. D. & Budnick, E. K.
Quick response Sprinkler in Office Configurations: Fire
Test Results NISTIR 88-3695
U.S.A 1988

Figuren viser varmeavgivelsesrate for en branntest av en arbeidsplass med brannlast som angitt. Hentet fra *Initial fires* [9].

Sofas

Commercial 3-seat sofas

10: Sofa-bed

Frame: Wood
Filling: Ordinary PU foam
Cover: 100% viscose fabric, 665 g/m²
Mass: appr. 65 kg
Test 4

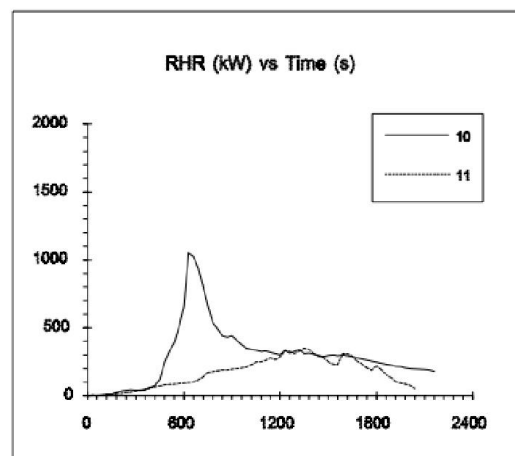
11: Old design sofa

Filling, seat cushions: Latex rubber foam
Filling, back cushions: Cotton felt
Cover: 100% wool fabric, 420 g/m²
Mass: appr. 40 kg
Test 5

Test procedure:

Method: Freeburning in furniture calorimeter.
Ignition source: 126 g wooden cribs, positioned in the corner where seat, back and arm rest cushion meet.

Y5.4/10-11



Figuren viser varmeavgivelsesrate for en branntest av to sofaer som angitt. Hentet fra *Initial fires* [9].

Branninput:

Som det er redegjort for i forrige avsnitt ble det simulert et brannscenario med konstant branneffekt 5 MW. For å unngå numerisk ustabilitet ble det brukt en lineær "ramp" fra 0 til 5 MW ilt. simuleringens første minutt.

Den viktigste enkeltparameteren ved angivelse av brann er varmeavgivelsesraten (effekten målt i kW), og brannkurven angir den til enhver tid gjeldende varmeavgivelsesraten i brannen. Basert på brenselets forbrenningsvarme vil FDS slippe ut tilsvarende mengde brensel fra brannoverflaten til å generere angitte effekt ved forbrenning i tilstrekkelig mengde luft. Altså behøver ikke den reelle varmeavgivelsesraten til enhver tid å være lik den brukerdefinerte brannkurven, først og fremst da brenselet må blandes med tilstrekkelig mengde luft for å forbrennes.

I FDS' standard forbrenningsmodell, simple chemistry mixing controlled combustion, forflyttes kun tre forskjellige typer gasser i modellen, nemlig luft, brensel og forbrenningsprodukt. Forekomster av O_2 eller CO_2 løses altså ikke eksplisitt, men hentes fra blandingsforholdet av disse gassene (kalt lumped species). Forbrenningsreaksjonen løses gjennom balansering av kjemisk ligning med forbrenning av brensel i luft. Forbrenningsproduktet blir resultatet av en støkiometrisk balansering hvor en medregner de angitte mengdene produkter av ufullstendig forbrenning (C (sot), H (hydrogen i soten) og CO) som skal inkluderes i den kjemiske reaksjonen.

Det må bemerkes at FDS-simuleringen ikke direkte simulerer sprinkleranlegget i bygget. Dette fører til røyken kan være noe varmere enn en reel brann.

FDS krever at en definerer én forbrenningsreaksjon som er representativ for hele forbrenningsprosessen i modellen. Det er tatt utgangspunkt i polyuretanskum som brensel basert på kjemisk sammensetning og annen data fra *SFPE Handbook of fire protection engineering* [10]. Det ble imidlertid gjort et unntak for soot yield, som er en brukerdefinert parameter som angir mengden sot som frigis per masseenhets brensel som forbrennes. Parameteren har dermed mye å si for røyktettheten/sikten i røyklaget.

Soot yield:

Ved brannsimulering benytter en normalt brensel tilsvarende polyuretan-skum. Dette grunner i at møbler utgjør store deler av brannenergien i bygninger, og fordi skummaterialer og andre plastikkmaterialer har en tendens til å gi mer ufullstendig forbrenning og dermed utvikle mer sot og giftige gasser enn andre materialer en finner i byggverk med møblelement tilsvarende boliger og kontorer.

En omfattende studie foretatt av BRANZ [11] indikerer at brann i skummøbler i 95% av vurdert statistikk har $y_s \leq 0,097$, mens gjennomsnittet ligger på $y_s = 0,040$. Til sammenligning har treverk oppgitt $y_s = 0,015$ i alle kilder som er benyttet i BRANZ studien. Studien konkluderer med at det anbefales å bruke soot yield $y_s = 0,070$ for simulering av brann i stoppede møbler.

Da en antar at brann i møbler og andre plastikkprodukter som finnes i glassgården eller kantinen vil utgjøre størst sotforekomst i brannen, har valgt soot yield $y_s = 0,070$. Dette vurderes som et konservativt estimat basert på underliggende data, og til sammenligning så anbefaler *Selecting design fires* soot yield på $y_s = 0,030$ for skoler.

Øvrige parametere er satt til default for FDS 6/Pyrosim 2014.

6.3 Akseptkriterier

Akseptkriterier for akseptable forhold er at rømning kan foregå i atrium i angitte tidsrom innenfor normative tålegrenser for brannpåvirkning.

Tabell 1 i *NS 3901* [12] angir tålegrenser for rømmende personer som representerer bransjenormer som bla. også brukes i britisk regelverk, BSI. Tabellen under viser relevante akseptkriterier som er benyttet i simuleringen.

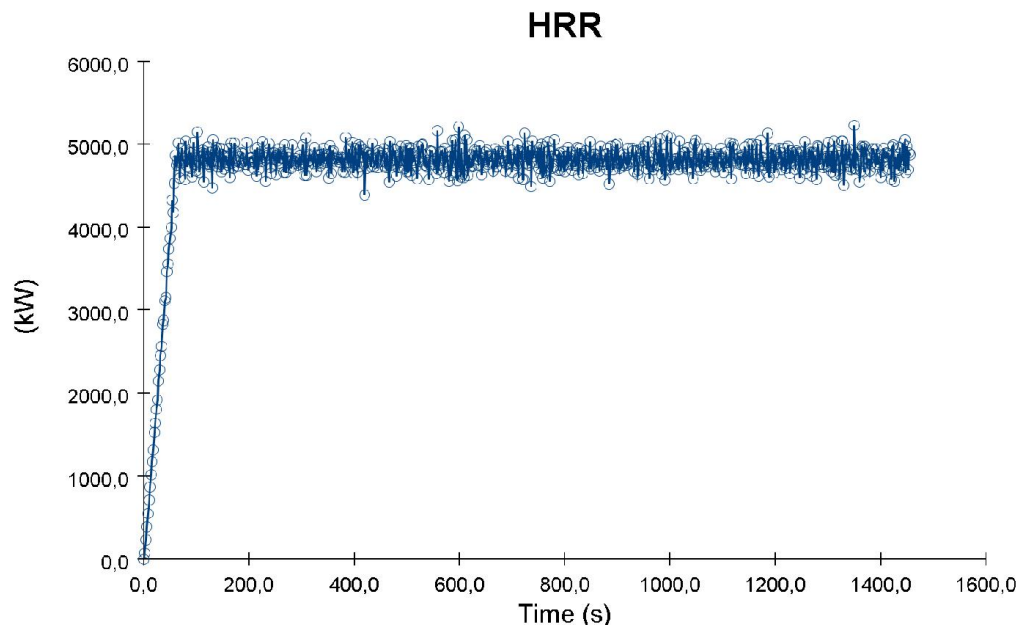
Varmestråling: Intensitet under 6 sekunder Samlet strålingsenergi:	10 kW/m ² 60 kJ/m ² pluss energi fra 1 kW/m ²
Gasstemperatur:	60 °C
Sikt i 2 meters høyde: I startbranncelle I rømningsvei	min. 3 m min. 10 m

Normalt kan det antas at tålegrenser for giftige gasser som CO, er ivaretatt når siktkriteriet er innenfor tålegrensen. Dette fordi de skadelige stoffene dannes ved ufullstendig forbrenning og sotmengden – som er definerende for sikten – er direkte avhengig av hvor ufullstendig forbrenningen er. Sikt over 10 m indikerer dermed at røyken inneholder begrensede mengder ufullstendig forbrenningsprodukt.

7 Resultat – FDS dokumentasjon

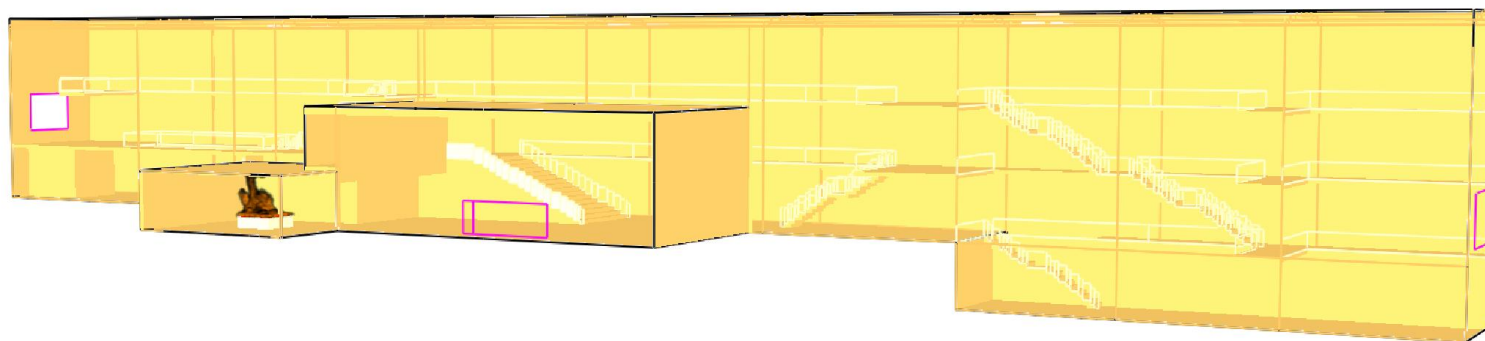
Brann:

Branneffekten er godt representert gjennom hele forløpet i begge simuleringer.

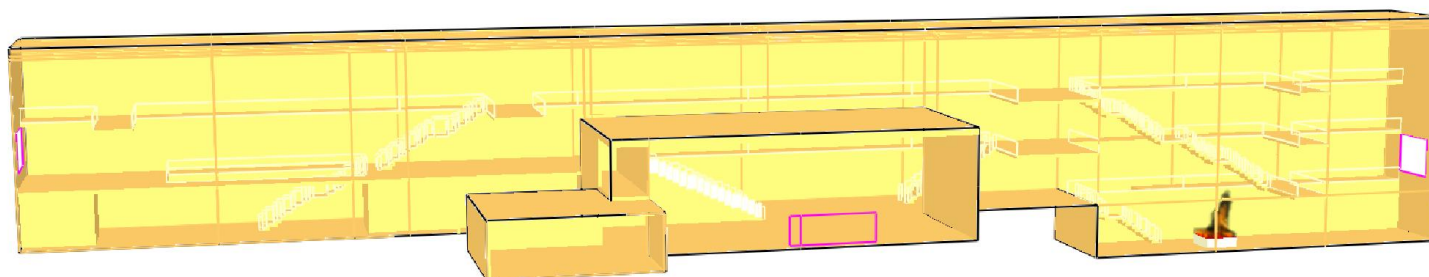


Brannenergi, Thermal history plot fra en representativ simulering, hentet fra Pyrosim.

Følgende figurer illustrerer brannplasseringene:



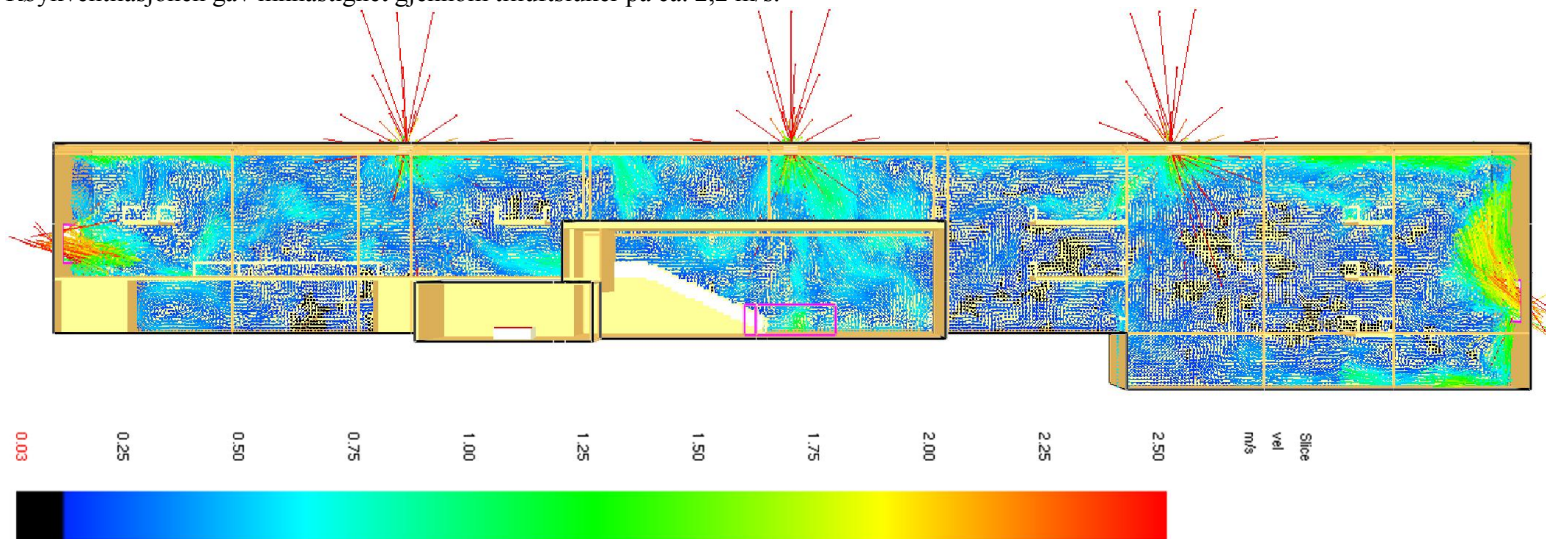
Brann i kantine



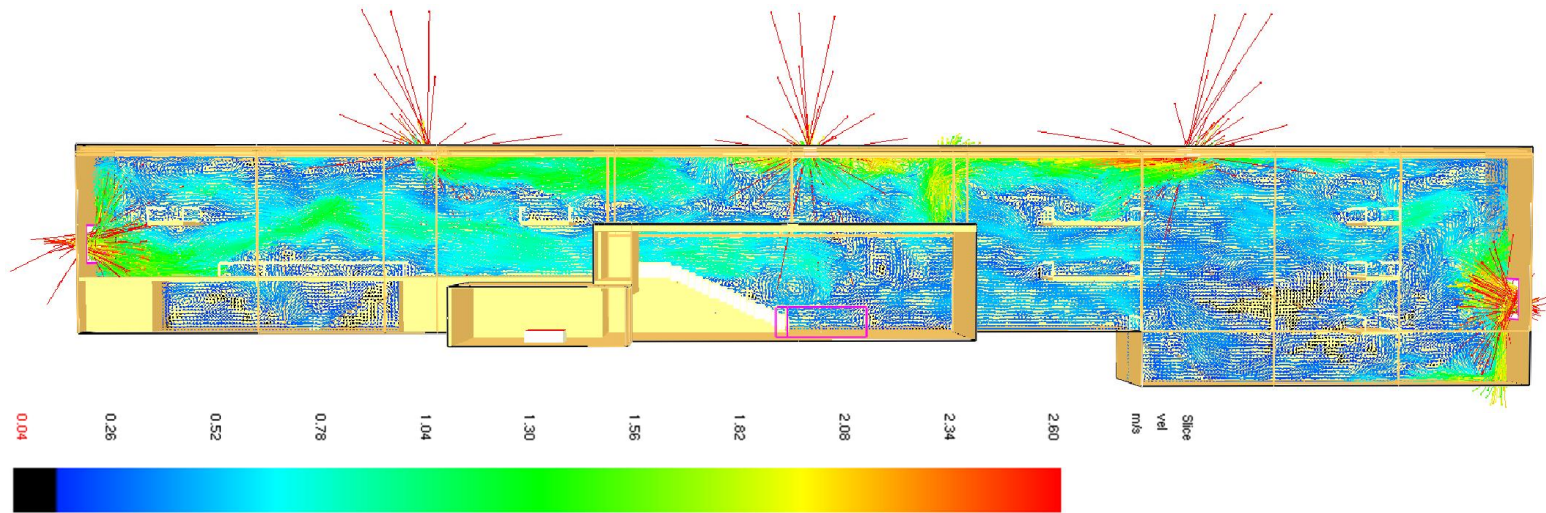
Brann i sokkelettasje

Ventilasjon:

Røykventilasjonen gav innhastighet gjennom tilluftsluker på ca. 2,2 m/s.



Figuren viser luftgjennomstrømmingen, m/s, langs senteraksen i glassgården uten brann i simuleringen.



Figuren viser luftgjennomstrømmingen, m/s, langs senteraksen i glassgården ved brann i kantine etter 1000 s.

Temperatur:

Etter at brannen på 5 MW har fått stabilisert et røyklag viser temperaturene i glassgården seg å være fra 45 °C og ned mot omgivelsestemperatur. I rømningstraséen i 2. etasje er temperaturen tilnærmet lik omgivelsestemperatur.

Iht. grunnleggende formel for stråling fra et svart legeme (under ideelle forhold) vil røyklagstemperatur på 45 °C gi en resulterende varmestråling på ca. 0,6 kW.

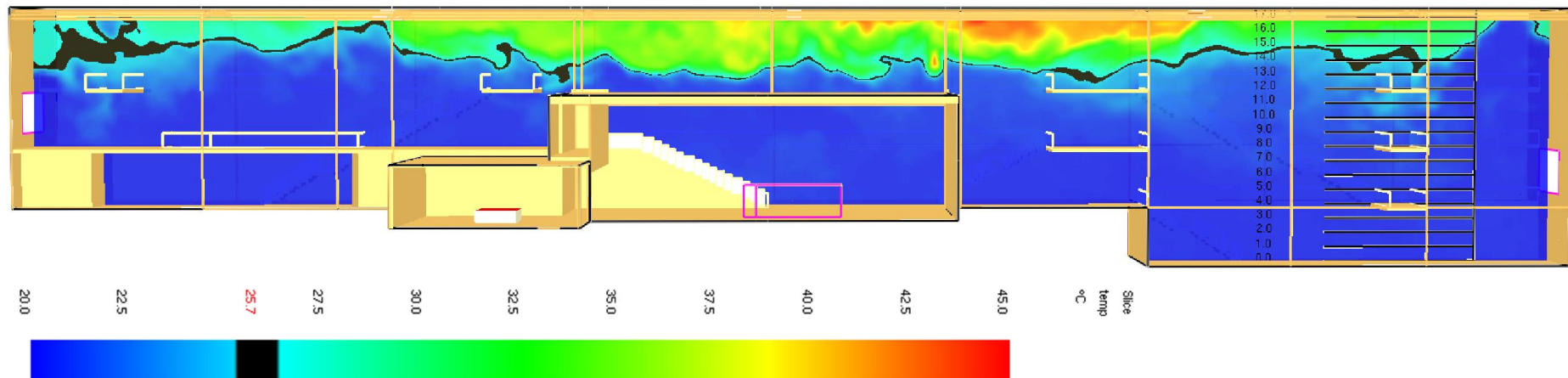
$$q / A = \sigma T^4 \text{ [W/m]} \rightarrow (5.67 \times 10^{-8})(318^4) = 579,81 \text{ [W/m]}$$

q = varmetap (W)

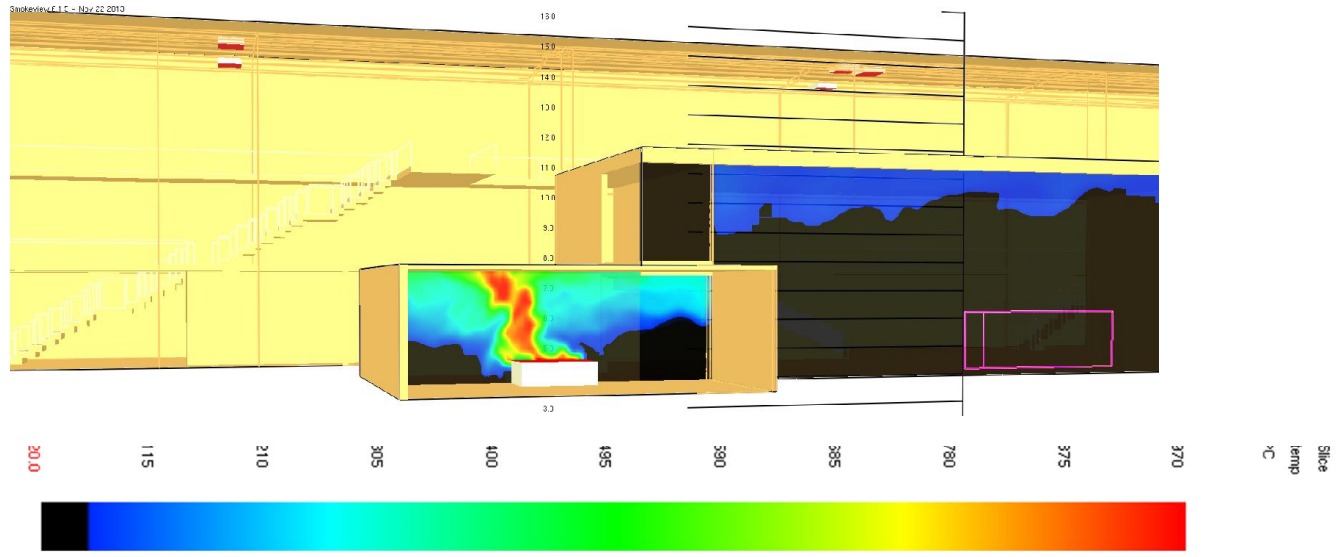
$\sigma = 5.6703 \cdot 10^{-8}$ (W/m²K⁴) Stefan-Boltzmann konstanten

T = absolutt temperatur Kelvin (K)

A = areal av det strålende legemet (m²)



Figuren viser temperaturen etter ca. 1000 s, brann i kantine. Svart linje angir ca. 25 °C. Brann i sokkeletasjen ga tilsvarende temperatur i røyksjiktet langs lengden av glassgården.

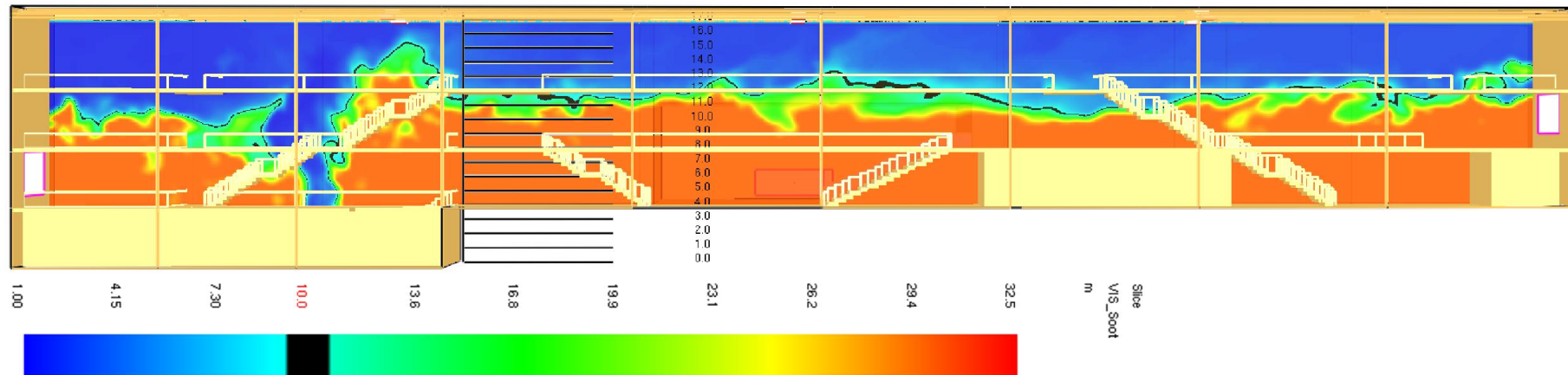


Figuren viser temperatursnitt i brannen i kantinen etter ca. 1000 sekunder.

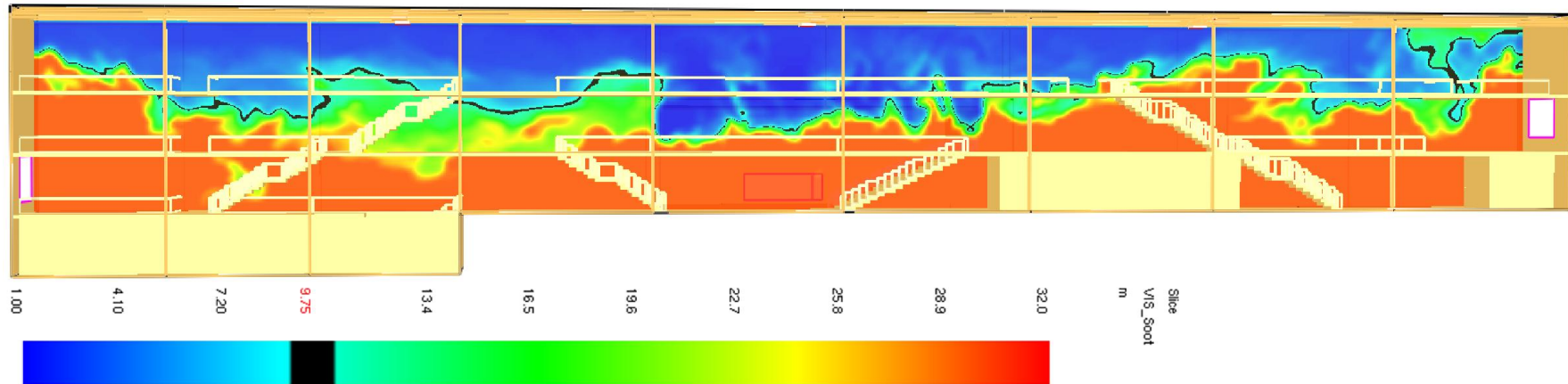
Sikt:

Simuleringene indikerer at røyklaget jevnt over stabiliserer seg ved etasjeskillet til 3. etasje med noe røyk også i 2. etasje for begge brannene. Der hvor røyken finnes i 2. etasje er den forholdsvis tynn, med sikt over 10 m som indikeres av figurene under. Det er i tillegg noe tykkere røykforekomster lavere enn 3. etasje lokalt i gården i nærhet av selve brannen. Lokal forekomst av tykkere røyk i nærhet brannen vurderes som uungåelig ved rømning gjennom areal hvor det foregår aktiv brann, og dette vurderes ikke videre.

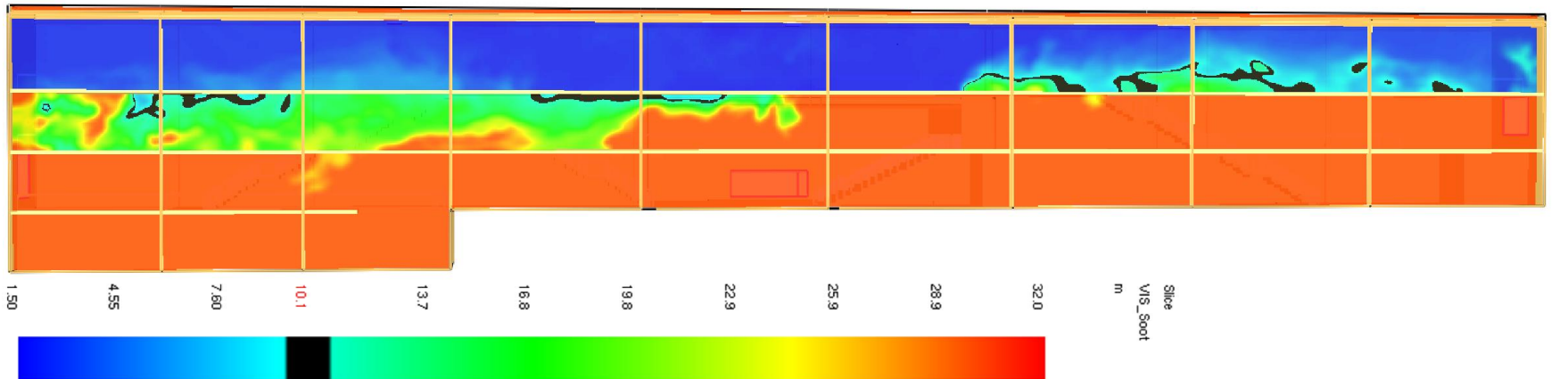
Sikten ble fortrinnsvis vurdert gjennom soot visibility slice plassert i sentrum av rømningstraséene på hver side av glassgården.



Siktforhold i svalganger på sørlig side ved brann i sokkeletasje etter ca. 1000 sekunder, sikt 10 m er markert med svart. Forholdene er tilsvarende også på motsatt side med unntak av sporadiske røykforekomster under svalgangstak lokalt ved brannen i 1. etasje.



Siktforhold i svalganger på sørlig side ved brann i kantine etter ca. 1000 sekunder, sikt 10 m er markert med svart.



Siktforhold i svalganger på nordlig side ved brann i kantine etter ca. 1000 sekunder, sikt 10 m er markert med svart.

7.1 Sensitivitet

Generelt

Det er etter skjønn valgt konservative verdier for all inputdata basert på anerkjent metodikk for designbrann og simuleringer som er redegjort for i avsnitt 6.1-6.2. Videre er scenariooppsettet valgt med omhu for å begrense simuleringens sensitivitet for enkeltvariabler. Det er ikke avdekket noen grunn til å tro at resultatene er følsomme for usikre eller lite representative variabler som ville gitt andre resultater vurdert opp mot akseptkriteriene.

Numerisk oppløsning

En sentral parameter i scenariooppsettet er valg av antall kontrollvolumer som skal kalkuleres for simuleringene. Jo flere kontrollvolumer en har, desto høyere oppløsning vil resultatene ha, og en vil teoretisk forvente bedre resultater ved høyere oppløsning. Simuleringstiden er imidlertid svært avhengig av antall kontrollvolumer, og en vil typisk prøve å finne et kompromiss mellom oppløsning og simuleringstid, der høyere oppløsning vil ha liten praktisk betydning for resultatene. Dermed oppnår en effektiv simulering med hensyn på beregningstid.

Ettersom simuleringen tar for seg et stort volum med stor luftgjennomstrømning vil en generelt ha lave temperaturer i røyklaget, noe som gjør at behovet for numerisk oppløsning er noe lavere enn for simuleringer der en avhengig av nøyaktige lokale verdier for temperatur og innfallende stråling.

I forbindelse med bestemmelse av mesh-oppløsning benytter en seg av brannens karakteristiske diameter, D^* .

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5} = \left(\frac{5000,00}{1,20 \cdot 303,00 \sqrt{9,81}} \right)^{2/5} = 1,80$$

Brannens karakteristisk diameter, D^*

Videre bruker en antall kontrollvolumer som strekker seg over brannens karakteristiske diameter, som mål på oppløsning. Dette fordi behovet for oppløsning i FDS sine kalkulasjoner oftest er avhengig av brannstørrelsen, i stedet for absolutte mål for kontrollvolumer. D^* er en indikasjon på brannens størrelse i domene. Desto høyere $D^*/\delta x$, jo finere er oppløsningen, og feilmargin i beregninger forventes å minke.

Basert $\delta_x = 0,25$, som er benyttet i simuleringen får en følgende tall for oppløsning:

$$\frac{D^*}{\delta_x} = \frac{1,80}{0,25} = 7,20$$

Formel 2: Beregningens oppløsning

Ratioene for karakteristisk diameter delt på cellestørrelse, $D^*/\delta x$, er normalt kontrollert opp mot *NUREG-1824 volume 7* [13], som er en Nord-Amerikansk statlig valideringsrapport for FDS. Rapporten validerte bruken av FDS i brannscenarier med varmeavgivelsesrate fra 500-4000 kW med $D^*/\delta x$ verdier fra 4-16. Samme rapport indikerer også at oppløsninger mellom 5-10 gir akseptable resultater. Den populære oppløsningskalkulatoren utviklet av Kristopher Overholt operer med tre forskjellige oppløsninger gitt ved $D^*/\delta x$, på 4, 10 og 16 som henholdsvis omtales som grov, moderat og fin. Simuleringens oppløsning på med $D^*/\delta = 7,20$ vurderes dermed å gi akseptable resultater.

Også andre forhold, som geometri og åpninger kan være med på å bestemme behovet for kontrollvolumoppløsning. Det ble kontrollert at FDS-blokkene som ble generert av Pyrosim-modellen ga representative størrelsesforhold.

8 Konklusjon

FDS-simuleringene viser at forholdene for rømning i glassgård fra 2. etasje og nedover er tilfredsstillende iht. akseptkriterier med tålegrenser angitt i NS 3901.

Dette krever avtrekk på 80 m³/s med hastighet på tilluft som er tilsvarende eller lavere enn hastigheten i simuleringene for å unngå turbulens og at avtrekk og tilluft plasseres tilsvarende som i FDS-simuleringen. Se eget notat for nærmere spesifikasjoner for utførelsen av røykventilasjonsystemet.

9 Referanser

- [1] Plan- og bygningsloven av 27. juni 2008. nr. 71.
- [2] Brann- og eksplosjonsvernloven av 14. juni 2002 nr. 20.
- [3] Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift) av 26. mars 2010 nr. 489.
- [4] Veiledning til Forskrift om tekniske krav til byggverk, oppdatert 01.04.2014.
- [5] INSTA Technical Specification 950 Fire Safety Engineering – Verification of fire safety design in buildings (prINSTA TS 950), Norsk Standard, 2012.
- [6] Byggdetaljer 520.387, Tilgjengelig rømningstid ved brann, sending 1-2006, SINTEF Byggforsk
- [7] Leif Staffansson, Selecting Design Fires Number Report 7032. Lund University, 2010
- [8] F. Nystedt, "Verifying design alternatives in buildings with fire sprinkler systems," Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University, Lund, Report 3150, 2010.
- [9] S. Sårdqvist, "Initial fires - RHR, smoke production and CO generation from single items and room fire tests," Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, Report 3070, 1993.
- [10] The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th edition, National Fire Protection Association, 2008.
- [11] Robbins, A.P., Wade, C.A., Soot Yield Values for Modelling Purposes – Residential Occupancies, BRANZ, 2008
- [12] NS 3901:1998, Risikoanalyse av brann i byggverk, Norsk Standard
- [13] Verification & validation of selected fire models for nuclear power, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington DC, 2007.
- [14] Melding HO-3/2000, Røykventilasjon, desember 2000.
- [15] NS-EN 12101-3:2002 Brannventilasjonsystemer – Del 3
- [16] Byggforskserien, Byggdetaljer 520.380 – Røykkontroll i bygninger, 2006.
- [17]
- [18] FDS: Technical reference Guide, version 6, Maryland, USA: National Institute of Standards and Technology (NIST), 2013.
- [19] FDS: User's Guide, version 6, Maryland: National Institute of Standards and Technology (NIST), 2013

10 Vedlegg: Begrensninger i FDS:

Beregningsdomene og fluidtransport:

- FDS er en CFD-modell optimalisert for brannsimuleringer. FDS sin modell for transport av fluider benytter seg av Navier-Stokes likninger som forutsetter strøm med underlydshastighet. Ettersom numerisk løsning av turbulens gjennom slike likninger er svært tidkrevende, benyttes en LES-modell (Large Eddy Simulation) for simuleringer hvor cellene er større enn ca. 1 mm^3 . LES-modellen tillater eksplisitt løsning av turbulensstrømming av en viss størrelse, mens mindre eddier kalkuleres implisitt ved hjelp av flere alternative sub-scale modeller (SGS).

Diskretisering av de kontinuerlige Navier Stokes-likningene produserer feil i fluidtransporten som er proporsjonal med cellevolumet opphøyet i 2., mens beregnings-tiden teoretisk sett er proporsjonal med cellevolumet opphøyet i 4.. Hvis en halverer cellestørrelsen reduseres feil i fluidtransport til en fjerdedel, mens beregningstiden økes minst 16 ganger. Dermed er det viktig å finne en cellestørrelse som gir feilmarginen innenfor akseptable rammer og samtidig er praktisk gjennomførbar med hensyn på beregningstid.

- Da oppbygningen av beregningsmodellen i FDS opererer med kontrollvolumer, eller celler, i rettlinjede rutenett, vil det være begrensninger når visse geometriske former ikke er i samsvar med det rutenettet.

Forbrenningsmodell:

- Forbrenningsmodellen som er standard i FDS antar at all forbrenning skjer iht. en eller flere forhåndsdefinerte støkiometriske reaksjoner. Denne forbrenningsmodellen kalles ofte «gassbrenner-modellen», fordi den ikke tar for seg pyrolysing av faste materialer, men angir en viss mengde brensel fra en overflate som brukeren angir som brannflaten.

Siden forbrenningsreaksjonen er predefinert vil modellen ikke ha mulighet for å ta høyde for høynet sot- og CO-produksjon ved ufullstendig forbrenning. Forbrenningsreaksjonen kan heller ikke forandres i løpet av samme simulering. Modellen blir således avhengig av et estimat av sot- og CO-produksjon som er relevant for lufttilgangen i forbrenningen, og hva man ønsker å oppnå med simuleringen. Effektene av underventilert forbrenning kan simuleres med den kostbare «finite-rate» forbrenningsmodellen, men er foreløpig mest relevant i forskningssammenheng pga. manglende validering, forlenget simuleringstid, og avhengighet av høy celleoppløsning.

- Varmeavgivelsesraten/brannstørrelsen i FDS er avhengig av at brukeren spesifiserer en representativ brann iht. formålet med simuleringen. Gassbrenner-modellen krever at en angir en gitt massetapsrate for brenselgassen som frigis fra brannområdet, og dersom brannen har tilgang på nok luftblanding vil brannstørrelsen i praksis være helt brukerstyrt. Veksten i en reell rombrann er imidlertid et resultat av komplekse dynamiske pyrolyseringsprosesser, som på nåværende tidspunkt ikke egner seg til å simuleres direkte med hensyn på dokumentasjon av ytelsesbasert design. Dermed er designbrannkurver den mest egnede metoden inntil videre.
- Standardmodellen i FDS baserer seg på en forenklet masstransportmodell slik at gasskonsentrasjoner i et gitt målevolum alltid vil være en fraksjon av tre forhåndsdefinerte gassammensetninger («lumped species»). Sammensetningen er luft (ambient air), brensel (fuel), og forbrenningsprodukt (product). Med unntak av spesielle partikler (Lagrangian particles) som brukeren kan introdusere av forskjellige årsaker, vil innholdet i en gitt celle alltid bestå av et blandingsforhold (mixture fraction) mellom disse tre gassammensetningene. Sammensetningene er de samme som benyttes i den støkiometriske forbrenningsreaksjonen.

- FDS er i liten grad validert for beregninger som er sensitive for produksjon av giftige gasser som CO, gitt begrensningene i forbrenningsmodellen. Bruken av registrerte gasskonsentrasjoner av giftige forbrenningsprodukter må vurderes særskilt.
- I en celle hvor det finnes en blanding av luft og brensel vil FDS vil blandingen kunne antenne så lenge det finnes nok potensiell energi i den støkiometriske forbrenningen til å oppnå en empirisk kritisk adiabatisk flammetemperatur. Denne empiriske sammenhengen er påvist for alle de aller fleste hydrokarboner (med visse unntak se s. 2-117 Appendix D SFPE [10]), men ikke for brensel som inneholder nitrogen eller halogener.

Likningen som er satt opp for antenneskriteriet medtar konsentrasjoner av brensel som er overflødig for støkiometrisk forbrenning, samt forbrenningsprodukter, som «dilutents». Dette gjør at blandinger som er for mettede eller inneholder større konsentrasjoner av forbrenningsprodukter kan føre til at antenne hindres. Forhold med mye luft i forhold til brensel vil imidlertid ikke påvirke antenne, til tross for at blandingen kan være under nedre brennbarhetsgrense (LFL). Dette er for å unngå at antenne av brennbare blandinger lokalt innad i en celle hindres. (En fyrstikk vil kunne antennes i et stort rom til tross for at den brennbare gassen som avgis fra fyrstikken vil gi en luftblanding under nedre brennbarhetsgrense for rommet sett som helhet.)

- FDS trenger ikke at en antenneskilde er tilstede, så lenge den potensielle energien i cellen tilfredsstillende nevnte «extinction»-kriterium. En kan i tillegg definere en tenntemperatur (AIT). Tenntemperatur er som standard satt til 0 °C. Man bør dermed undersøke om antenne av kalde blandinger er realistiske (f.eks. brann langt fra det opprinnelige brannområdet).

Varmetransport:

- Varmetransport gjennom obstruksjoner/faste materialer er endimensjonal. Vegger kan bestå av mange lag materialer mellom varm og kald side, og hvert enkelt lag må på grunn av denne begrensningen ha homogene varmeledningsegenskaper. Varmetransporten gjennom faste materialer kalkuleres ikke basert på målevolumene, men basert på egenskaper og tykkelser definert i de brukerdefinerte overflateegenskapene til materialet. FDS kan overføre varme som er transportert gjennom en obstruksjon til motsatt side (ved å definere backing som EXPOSED), men på grunn av den endimensjonale transporten kan varme ikke bre seg ut (eller «gå sidelengs») i et materiale, da varmen ikke transporteres i andre retninger enn fra varm til kald side.

Strålingsmodell:

- Det er flere begrensninger for strålingsmodellen. FDS-krever at en predefinert andel av varmeavgivelsen ved forbrenning blir omgjort til varmestråling. Denne andelen er i FDS 6 justert slik at det kan finnes lokale variasjoner av avgitt stråling basert på celledemperaturen der forbrenningen skjer. Imidlertid justeres avgivelsen slik at den totale strålingsandelen soma fra brannen alltid vil være den predefinerte konstanten.

Videre er strålingsmodellen som standard satt til en «gray gas» modell, hvor absorpsjons- og emissivitetskoeffisienter for gassblandinger og eventuelle spesielle partikler (Lagrangian particles) settes sammen til et gjennomsnitt for samtlige bølgelengder. I tillegg finnes det en mer tidkrevende modell hvor strålingen deles opp i gjennomsnittlig absorptivitet og emisjon for inntil ni bånd bølgelengder. De nevnte koeffisientene for absorptivitet og emisjon vil kun være gjennomsnittverdier for hele gassblandingen som finnes i en gitt celle. Etersom den forenklete forbrenningsmodellen kun operer med én sammensetning av forbrenningsprodukt, vil det ikke være lokale variasjoner i røykens absorptivitet på grunn av forskjellige kjemiske sammensetninger i røyken (temperatur og produktmengde vil imidlertid påvirke koeffisientene). Representativ absorpsjon og emissivitet er altså

avhengig av at de kjemiske sammensetningene av «lumped species» i den angitte forbrenningsreaksjonen er representativ der en måler strålingen. Dersom simuleringen er sensitiv for varmestråling og inneholder vesentlig grad av kjemiske stoffer med en ujevn frekvensrespons (f.eks CO₂ og H₂O), bør en benytte båndmodellen. Absorpsjons- og emissivitetskoeffisienter for kjemiske stoffer blir hentet fra det innebygde RADCAL-biblioteket. Dersom brukeren angir egendefinerte brensler vil FDS anta RADCAL for metan (med mindre brukeren spesifiserer et annet surrogat fra RADCAL-biblioteket).

- Stålingstransport er som standard kalkulert for 100 faste vinkler, og brukeren kan definere færre eller flere etter ønske. For mål langt borte fra en strålingskilde, kan for få vinkler føre til en skjevfordeling i strålingsenergien, slik at den samles opp på enkelte punkter som svarer til vinklene. Økt vinkelantall vil imidlertid føre til betydelig lengre simuleringstid.

For øvrig validering vises det til programmets verifikasjons- og valideringsguider Technical Reference Guide volum 3 og volum 4.