



Rapport

CFD-simulering av brann i luftespalte bak luftet trekledning

Rapport

RAPPORTNR. 10001-RAP-1	REVISJON 0	DATO 2021-12-02
CFD-simulering av brann i luftespalte bak luftet trekledning		
OPPDRAAGSGIVER(E) Talgø Møretre AS	OPPDRAAGSGIVERS REF. Terje Talgø	
PROSJEKTNR. 10001	ANTALLSIDER OG VEDLEGG: 24 + 0 vedlegg	
SAMMENDRAG Safezone AS har bistått Royalprodusentene og Boligprodusentenes Forening i gjennomføringen av laborieforsøk der brannutviklingen og flammespredningen i overflate og hulrom til en utvendig behandlet trekledning er studert og kartlagt. Laborieforsøkene er gjennomført i laboratoriene til RISE Fire Research AS. I den forbindelse har Safezone AS supplert prosjektet med numeriske beregninger (CFD) for å fremskaffe et grunnlag for oppsett av de fysiske modellene i laboratoriet, samt utarbeide underlag for fornuftig instrumentering (valg av målestørrelser og plassering av målepunkter). Studien ble begrenset til å undersøke brannutvikling og flammespredning på utvendig overflate. I tillegg vil CFD simuleringene kunne visualisere noen av prosessforløpene som kan oppstå i hulrommet bak kledningen Resultatet fra CFD simuleringene er sammenfallende med resultatene fra de gjennomførte laborieforsøkene, som er publisert i egne separate rapporter utarbeidet av RISE Fire Research AS. Denne rapporten beskriver resultater fra CFD simuleringene.		
SAKSBEHANDLER Finn Drangsholt Geir Drangsholt		
INTERNKONTROLL Christian Sesseng	SIGNATUR <i>Christian Sesseng</i>	

Revisjonshistorikk

REVISJON	DATO	REVISJONSBEKRIVELSE	SAKSBEH.	KONTR.
0	2021-10-19	Første versjon.	FDr/GDr	CS

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	4
2. Generelt om CFD	4
3. Hulromsproblematikk (litteratur)	5
4. Termodynamiske egenskaper – behandlet og ubehandlet trevirke	7
5. Oppbygging av numeriske modeller	8
5.1. Brannmodell	8
5.1.1. Kalibrering brannmodell mot TGA analyser	9
5.2. Modelloppbygging og GRID oppløsning	10
6. Simuleringsresultat	10
6.1. Plassering av brannkilde	10
6.2. Liggende panel	13
6.2.1. Simuleringer med ubrennbare materialer	14
6.2.2. Restriksjoner på inn- og utløp (?)	15
6.2.3. Simuleringer med brennbart materialer	16
6.2.4. Beregning av maksimal varmeutvikling i hulrom	18
6.3. Stående panel	20
6.4. «Stor brann»	21
7. Oppsummering	23
8. Referanser	24

1. Innledning

Tilsyn (DiBK) har avdekt at panel som er impregneret, malt eller royalbehandlet kan være deklart i feil brannklasse. Tilsynet har videre avdekt at produsentene av royalbehandlet trepanel har deklart dette produktet i klasse D-s2,d0 uten at det foreligger dokumentasjon i form av prøvning. Dette har resultert i at tre produsenter av royalbehandlet kledning har gjennomført en rekke branntekniske tester for å kartlegge betydningen av kledningens overflatebehandling. Testene omfatter småskala kalorimetertester, og senere storskala branntester. Resultat fra disse testene er publisert i egne rapporter. Storskala testene ble gjennomført av RISE Fire Research AS (Trondheim). Formålet med disse testene var å undersøke brannutviklingen i trekledning med ulike former for behandling, samt å belyse hva resultatene kan ha å si for brannsikkerheten/sikkerhetsnivået i bygninger med slik kledning. Studien ble begrenset til å undersøke brannutvikling og flammespredning på utvendig overflate.

I etterkant av storskالاتestene er det reist spørsmål rundt hulromsproblematikk og hvordan trepanel som er behandlet på alle sider vil kunne påvirke brannutviklingen i hulrommet. Produsentene Talgø MøreTre, Alvdal Skurlag, Marna Bruk og Boligprodusentenes Forening har i den sammenheng engasjert RISE Fire Research (RISE) og Safezone til å se nærmere på problemstillingen. Primært skal problemstillingen belyses gjennom branntester i RISE sitt laboratorium i Trondheim. Laboratorietestene er i tillegg supplert med numeriske beregninger (CFD). Formålet med CFD beregningene har vært å lage grunnlag for oppsett av fysiske modeller i laboratoriet, samt utarbeide underlag for fornuftig instrumentering (valg av målestørrelser og plassering av målepunkt). I tillegg vil CFD simuleringene kunne visualisere noen av prosessforløpene som kan oppstå i hulrommet bak kledningen. Denne rapporten beskriver resultater fra CFD simuleringene.

2. Generelt om CFD

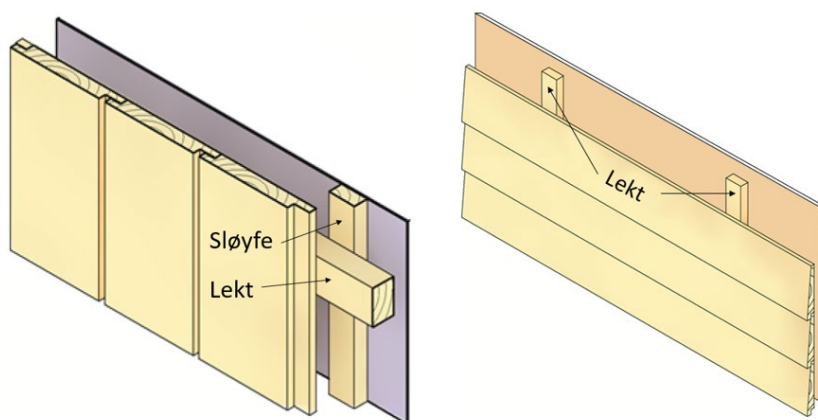
Programkoden (FDS 6.7.6), som er benyttet i denne studien, er utviklet av National Institute of Standards and Technology, USA. Programkoden benytter "Large Eddy simulation" -teknikk for å beskrive turbulent innblanding av gassformig brensel og forbrenningsprodukter med omliggende atmosfære. For å kunne simulere brannforløp må også brannen kunne modelleres matematisk. Praktiske matematiske modeller av brann er av relativ ny dato. Detaljert modellering av brann omfatter geometri, flerfasestrømning, turbulent omblending og forbrenning, samt stråling og varmetransport. I motsetning til enkle 2-sonemodeller tar numeriske beregninger blant annet hensyn til fysiske hindringer, overflatetemperaturer, hastighetskomponenter og brannlokasjoner.

Programmet som er benyttet i denne studien bygger på et kartesisk koordinatsystem, hvilket innebærer at eksisterende geometri og planløsning må tilpasses et rutemønster med gitt oppløsning. I hvert kontrollvolum beskrives de fysiske hendelsene ved hjelp av matematikk som løses simultant for hele romvolumet. Løsning av ligningssystemet skjer ved hjelp av en iterasjonsprosedyre koplet til en tidsgenerator.

Kvaliteten på CFD beregningene begrenses gjerne av parametervalg som gridoppløsning, detaljutforming av geometri og pyrotekniske egenskaper til den modellerte brannen.

3. Hulromsproblematikk (litteratur)

Problemstillingen rundt akselererende brannforløp i luftet kledning er kjent. I Norge er det tradisjon for å utføre kledning med luftespalte som er åpen i både bunn og topp. Luftespalten hindrer direkte vannekspnering av bakveggen, lufter ut fukt og gir gode forhold for både bakvegg og kledning. Luftespalten mellom bakvegg og kledning etableres med utlekting. Stående panel utføres med vertikale (sløyfer) og horisontale lekter, liggende panel har kun vertikale lekter. Prinsippene er vist i Figur nr. 3.1.



Figur nr. 3.1.: Prinsippet for luftespalte, stående og liggende panel.

Liggende kledning bør minimum lektes ut med 19 mm, helst 23mm [1]. For stående panel anbefales at de vertikale sløyfene har en minste tykkelse på 19 mm, helst 23 mm. For de vannrette lektene anbefales en tykkelse på 36 mm hvis kledningen spikres og 30 mm hvis kledningen skrues. I områder med lite slagregn kan tømmermanskledning festes uten bruk av sløyfer. På yrkesbygg kan tekniske installasjoner medføre at hulrommet blir vesentlig dypere enn det som er beskrevet her.

Minimum 5 mm kontinuerlig åpning oppe og nede vil normalt sikre god gjennomstrømning og utlufting av fukt.

Luftgjennomstrømning i hulrommet påvirkes av termiske drivkrefter, høyde på vegg, friksjon, tverrsnittsendringer og støttap. Horisontale lekter representerer både tverrsnittsendringer og støttap. Det samme gjelder musebånd, luftebeslag og parapet/gesimsbeslag som utgjør del av utluftingsveien. Balanseligning for utluftingspalten blir som følger:

$$(\rho_0 - \rho_s) * g * H = 0.5 * \lambda * \frac{H}{D_h} * \rho_s * v_s^2 + \sum 0.5 * \xi * \rho_s * v_s^2$$

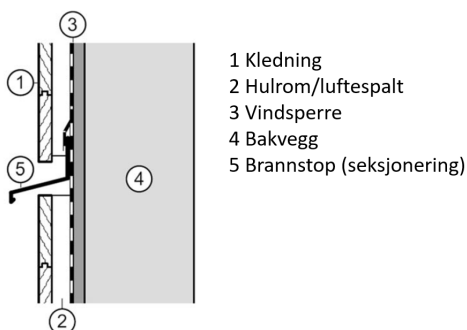
Drivtrykk
Friksjonstap
Støttap

- H : høyde på vegg
- ρ : tetthet,
- λ : friksjonstall

- ξ : støttap
- v : vertikal hastighet i hulrommet

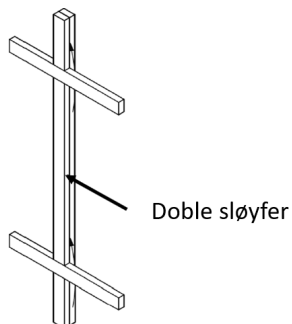
Av ligningen ser vi at høyde (H), tverrsnittsareal (D_h), utforming (ξ) og antall enkeltmotstander (Σ) er parametere som kan påvirkes gjennom utforming/oppbygging av en vegg.

Flere andre studier har sett på ulike metoder som kan benyttes til å redusere gjennomstrømningen i hulrom (fire stop). Det finnes på markedet produkter som tetter luftespalten helt ved eksponering av varme [2]. Ved å dele vegger opp i flere vertikale seksjoner som avsluttes med toppbeslag kan hastigheten på brannspredningen reduseres (se Figur nr. 3.2) [3].



Figur nr. 3.2.: Vertikal seksjonering av kledning

Det er ikke likegyldig hvordan toppbeslag utformes. Stikker det for langt ut kan det generere turbulens som øker brannspredningshastigheten. Panelbordenes tykkelse har betydning for gjennombrenning og tidsforløp. Tilgang til oksygen har betydning for brannutviklingen i hulrommet. Fullskallatester [3] viser at liggende panel kommer bedre ut enn stående panel fordi denne byggemåten hindre luft (oksygen) i å komme inn fra sidene. Benyttes doble sløyfer på stående panel (se Figur nr. 3.3) kan en oppnå samme effekt med denne byggemåten. Hulrommet på stående panel blir likevel noe dypere enn hulrommet på liggende panel (23mm vs 23/59mm)

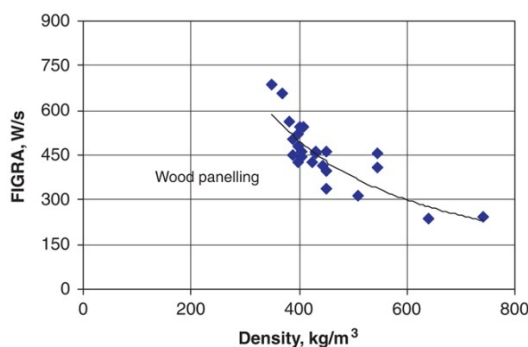


Figurnr. 3.3.: Doble sløyfer vil hindre lufttilgang (oksygen) fra sidene.

4. Termodynamiske egenskaper – behandlet og ubehandlet trevirke

Tetthet på trevirke kan variere betydelig. Hurtigvoksende tømmer har større årringer enn tømmer som vokser langsomt. Mengde fukt i trevirket påvirker også tettheten. For furu er variasjonsområdet for virke med 12 % fukt 300 – 890 kg/m³, med en snittverdi på 470 kg/m³. [4]. For gran med 12 % fukt varierer tettheten fra 320 – 680 kg/m³, med en snittverdi på 510 kg/m³ [5]. Brennverdien på tørt trevirke er nokså lik for gran og furu og ligger i området 18 000 -19 200 kJ/kg.

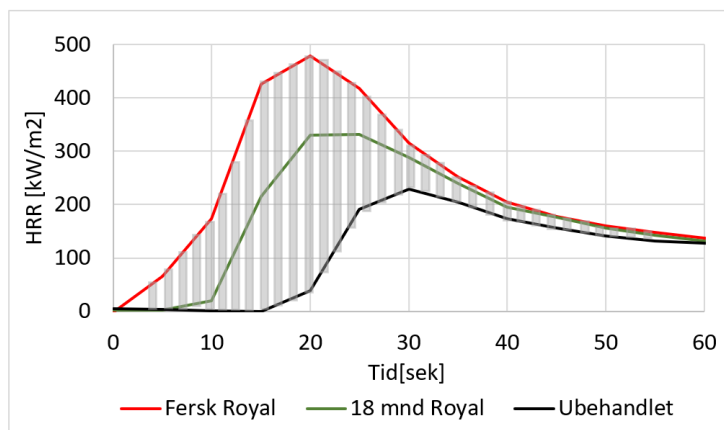
Stor variasjon i tetthet fører til at også FIGRA verdien for ubehandlet trekledning vil variere. Figur nr. 4.1 viser at trekledning kan ha et variasjonsområde som går fra 230 til +600 W/s [6].



Figur 4-1 FIGRA-verdi for trepanel som funksjon av tetthet

Royalbehandling av trevirke innebærer at trykkimpregnert trevirke kokes i olje under vakuum i 6 til 8 timer. Prosessen trekker ut fukt fra materialet og «fyller» porene i materialets yttersjikt (1-3mm) med olje. Resultatet er en tørket trelast som inneholder olje på alle sider.

Med basis i konkalorimålinger er det gjort overslag på hvor mye produktets brennverdi øker med denne behandlingen. Ved å se på forskjell i varmeavgivelse på ubehandlet og behandlet trekledning og summere differansene over tid får en fram hvor mye olje som er tilført materialet. Prinsippet er visualisert i Figur nr. 4.2. Beregningen viser at «oljetilskuddet» for fersk Royal utgjør ca. 2,2 kWh pr kvadratmeter overflate. Med en brennverdi på oljen på 37 000 kJ/kg og en tetthet på 920 kg/m³ utgjør dette ca. 2,3 dl olje pr. m² overflate



Figur nr. 4.2.: Varmeavgivelse (konkallorimeter) fra behandlet og ubehandlet kledning /7/

5. Oppbygging av numeriske modeller

5.1. Brannmodell

Programkoden FDS inneholde inneholder ulike brannmodeller. De enkleste modellene innebærer at brukeren spesifiserer maksimal varmeavgivelse (kW/m^2), et brannutviklingsforløp, eventuelt også en radiell brannspredningshastighet (m/s). Brannutviklingen kan kobles til en kvadratisk tidsfunksjon eller spesifiseres stegvis som funksjon av tid. Brannen starter uten bruk av tennekilder.

Neste steg blir å trekke inn materialeegenskapene til objektet som skal brenne (ledningsevne, varmekapasitet og tetthet) og knytte dette opp mot antennelsestemperatur og et brannutviklingsforløp. Denne modellen krever at det finnes en initialbrann (tennekilde).

De mest avanserte brannmodellene i FDS beskriver reaksjonene som oppstår i et materiale når det brenner (complex pyrolysis models). Pyrolysemodellene i FDS tillater at en bygger opp en brennbar flate av flere lag. Hvert lag kan gjennomgå reaksjoner som utløses ved forskjellige temperaturer. En reaksjon kan produsere forbrenningsgasser, partikler, ubrennbare gasser og nye faststoffer som også kan gjennomgå en reaksjon. Lagene og reaktantene kan gis forskjellige egenskaper som avviker fra det gassformige brenselet en har valgt som drivstoff for gassfasen (for eksempel propan). Dersom brennverdien for et lag eller reaktant er forskjellig fra brennverdi på valgt drivstoff, justeres massefluksen av gass slik at varmeavgivelsen blir i henhold til materialets brennverdi.

Hastigheten til reaksjonene beregnes med *Arrheniusligningen*. Ligningen beregner reaksjonshastigheten (Y_s) som funksjon av temperatur (K).

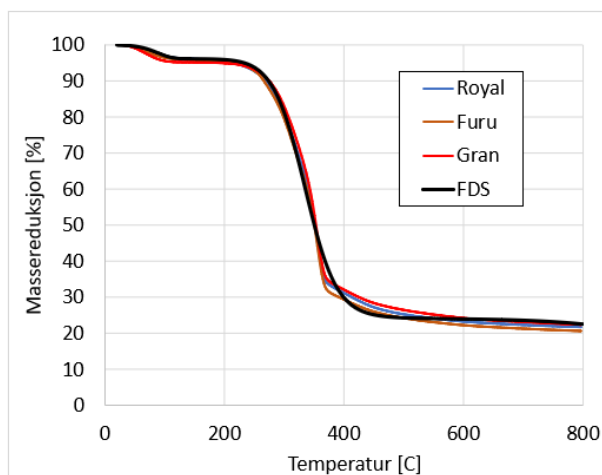
$$\frac{dY_s}{dt} = -A Y_s \exp(-E/RT_s)$$

- A: konstant
- E: aktiveringsenergi
- R: universell gasskonstant
- T: materialtemp

Konstanten A og aktiveringsenergi E må fastlegges for alle reaksjonene som inngår i materialbeskrivelsen. Dette gjøres ved hjelp av termogravimetrisk analyse (TGA). TGA er en teknikk som måler endringen i vekt av en materialprøve når den varmes opp med et kontrollert temperaturprogram i en inert atmosfære (for eksempel nitrogen). I denne studien har en benyttet den avanserte pyrolysemodellen i FDS.

5.1.1. Kalibrering brannmodell mot TGA analyser

Materialprøver for TGA analyse er hentet fra materialene som er levert til storskalaforsøkene (RISE, Trondheim). Det er tatt ut prøvebiter fra ubehandlet gran, furu og royalbehandlet furu. TGA-analysene er utført ved RISEs laboratorium i Sverige. Numerisk TGA-analyse av pyrolysemodellen som er benyttet i de påfølgende simuleringene er plottet sammen med analyseresultatene i Figur nr. 5.1. Av figuren ser en at det er oppnådd rimelig god overensstemmelse mellom numerisk modell og analyseresultat. For øvrig ser vi av kurvene fra konkalorimetermålingene, at denne analysemetoden ikke er egnet til å få fram forskjellen mellom behandlet og ubehandlet kledning. Årsaken kan være at nedbryting av prøvematerialer går over lang tid (temperaturrendringen er 5K/min).

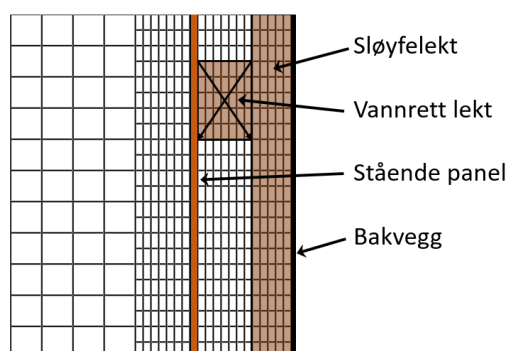


Figur nr. 5.1.: TGA-analyser, lab-resultat vs numerisk modell (FDS)

En brannmodell som simulerer royalbehandling er forsøkt etablert ved å legge til et materialsjikt på overstående modell. Her er to varianter utprøvd – den ene tar utgangspunkt i at tilsatt olje fordeler seg jevnt i de 3 ytterste millimeterne av panelet, den andre modellen fordeler oljen på den ytterste millimeteren. Fordeles oljen jevnt på 3 mm får sjiktet en brennverdi på 19 500 kJ/kg gitt at trevirke har en fuktighet på 12 %. Tilsvarende tall for sjikt på 1 mm blir 23 000 kJ/kg. Egenvekt for sjiktet på 3 mm blir 560 kg/m³, egenvekt for sjiktet på 1 mm blir 700 kg/m³. Modellen er ikke på noen måte evaluert, og må sees på som eksperimentell.

5.2. Modelloppbygging og GRID oppløsning

Oppløsning på det tredimensjonale rutenettet som benyttes i CFD beregningen kan påvirke resultatet negativt dersom dette er for grovt. Dette gjelder særlig i områder med store gradienter. Der er derfor viktig å teste ut ulike konfigurasjon. Utfordring i denne sammenheng er ressursbruk (CPU-tid) versus oppløsning. Halveres størrelsen på rutene øker antall ruter med 8. Jo høyere oppløsning desto lenger tid tar det å gjennomføre en simulering. Valgt oppløsning i modellene som er benyttet i denne studien bygger delvis på anbefalinger fra litteratur og brukermanual og delvis på utprøving hvor resultat fra simuleringer med ulik oppløsning sammenlignes. Det har resultert i at en i nærområdet rundt brannobjektet har benyttet en oppløsning på 10x5x10 mm (ΔX , ΔY , ΔZ), mens i fjernfeltet er det benyttet en oppløsning på 20x20x20 mm. Eksempel på rutenett som er benyttet på stående kledning er vist i Figur nr. 5.2.

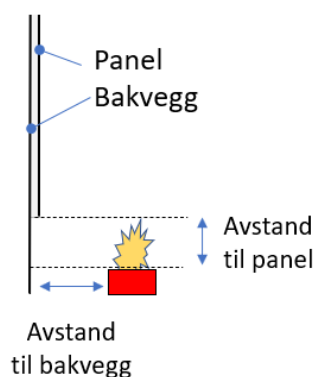


Figur nr. 5.2.: Eksempel på rutenett – stående kledning

6. Simuleringsresultat

6.1. Plassering av brannkilde

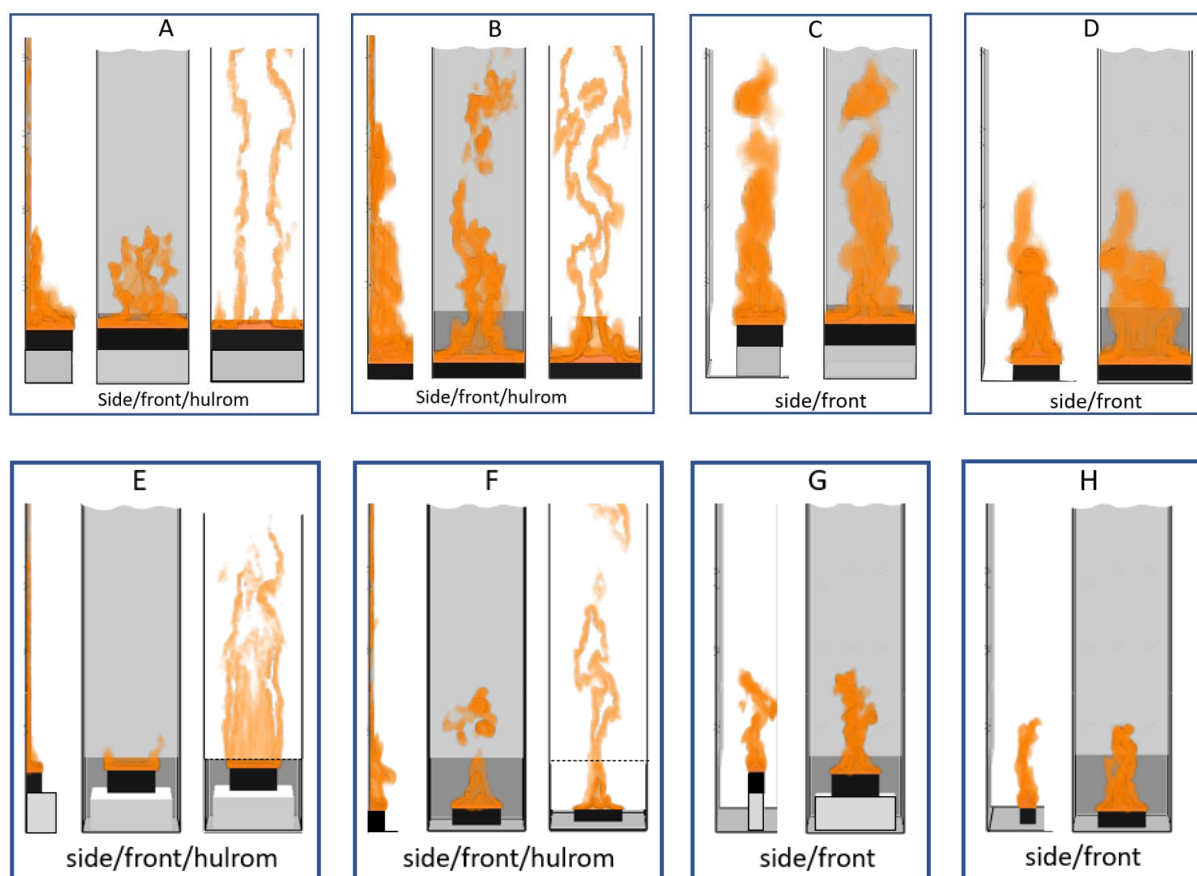
I starten av CFD-studiet ble gjennomført en serie simuleringer hvis formål var å lande størrelse og plassering av tennkilde (startbrann). Et brannscenarium er i høyeste grad påvirket av brannstørrelse, branngemetri og plassering. All den stund det tidlig ble besluttet at man i storskalatestene skulle benytte kar med heptan, var geometri og spesifikk varmeavgivelse langt på vei gitt. I disse simuleringene er det benyttet ubrennbart materiale, da det det primære med simuleringene var å studere flammebildet. Figur nr. 6.1 viser hvilke plasseringer som er modellert og hvilke effekter som er valgt.



Figur 6.2/6.3	Breann effekt [kW]	Avstand fra bakvegg [cm]	Avstand til panel [cm]
A	180	0	6
B	180	0	30
C	180	20	6
D	180	20	30
E	30	0	6
F	30	0	30
G	30	20	6
H	30	20	30

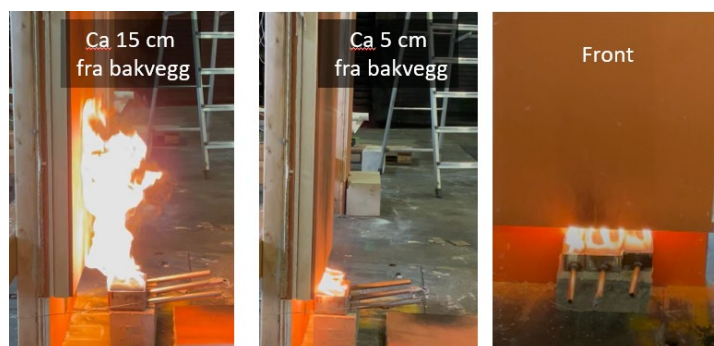
Figur nr. 6.1.: Plassering av brannkilde

Resultat fra simulering med 180 kW initialbrann (30x60 cm karoverflate) og 30 kW initialbrann (10x30 cm karoverflate) er vist i Figur nr. 6.2. Alle beregningene er gjennomført med 25 mm hulromsdybde. Av beregningen ser vi at når brannen plasseres inntil bakveggen «suges» flammene inn i hulrommet mellom panel og bakvegg. Effekten er størst når det er kort avstand mellom panel og brannflate (Figur nr. A/E). Økes denne avstanden blir panelets forside mer eksponert (Figur nr. B/F). Stor initialbrann eksponerer forsiden av panelet mer enn en liten initialbrann. Flyttes initialbrannen vekk fra bakveggen får en ingen direkte eksponering av hulrommet (Figur nr. C/G og Figur nr. D/H)



Figur nr. 6.2 Flammebilde – 180 kW øverst, 30 kW nederst. Plassering som angitt i Figur nr. 6.1

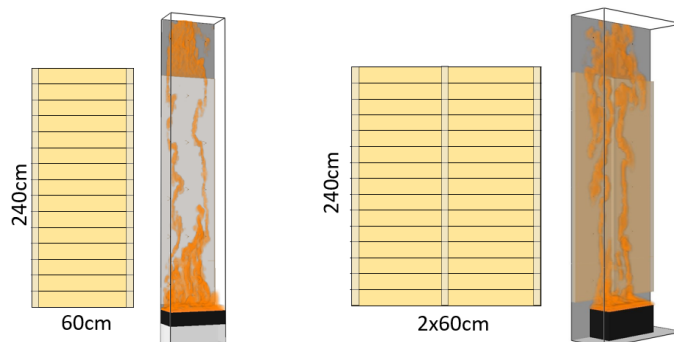
Fenomenet med at flammene «suges» inn i hulrommet når avstanden til bakveggen blir tilstrekkelig kort er også belyst med laboratorieprøving. Figur nr. 6.3 viser eksempel med 3 kar a 10x10 cm fylt med heptan



Figur nr. 6.3.: Flammebilde med Heptankar (30-50 kW) – forsøk i lab.

6.2. Liggende panel

For liggende panel er det utarbeidet to modeller med ulik bredde (60cm og 2x60cm). Begge modellene har en høyde på 240 cm. Modellen med bredde på 60 cm har to avstandslekker, en på hver sidekantene. Modellen på 2x60 cm har også en midtlekt. Oppbyggingen er vist i Figur nr. 6.4.



Figur nr. 6.4.: CFD modeller av liggende panel med henholdsvis et og to separate hulrom.

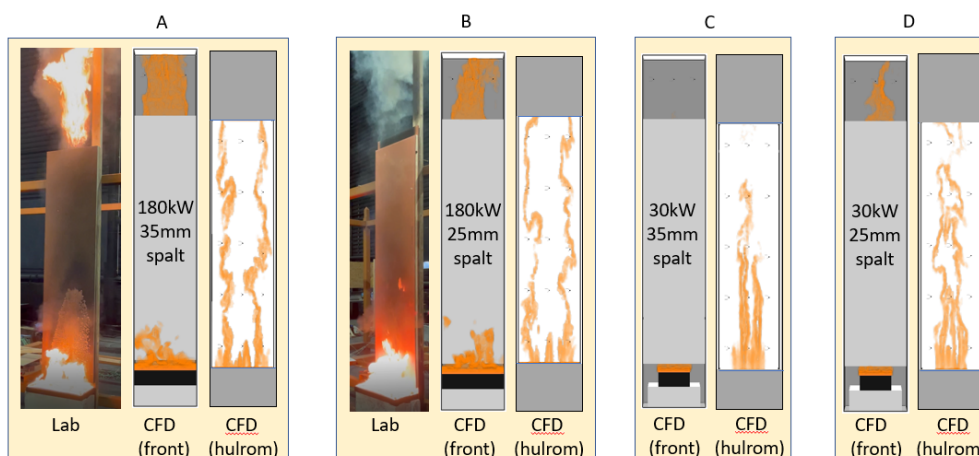
Beregningene er gjennomført med henholdsvis 30/180 kW initialbrann. Brannkilden, som simulerer et kar med heptan, er plassert inntil bakveggen, avstand fra brannflaten til underkant panel er 6 cm. Det er gjennomført beregninger med 2 ulike lekttykkelser 25(~23) mm og 35(~36) mm.

Innledende simuleringer med grov oppløsning indikerte ganske tidlig at det var lite tilleggsinformasjon å hente fra beregningene med bredde på 2x60 cm. Videre arbeid ble derfor konsentrert rundt modellen med bredde på 60 cm. I alt er det utført 8 beregninger med denne modellen, 4 med ubrennbart materiale, og 4 med brennbart materiale som følger nedbrytningskarakteristikken gitt i Figur nr. 5.1.

Valg av ubrennbart materiale i 4 av beregningene har hatt som formål å se nærmere på hva som skjer inne i hulrommet bak panelet når brann og branngasser «suges» inn på grunn av oppdriftskrefter (skorsteinseffekt). Beregningene med brennbart panel belyser tilleggseffektene når vi får når hulrommet inneholder brennbart materiale.

6.2.1. Simuleringer med ubrennbare materialer

Simuleringer med ubrennbart materiale (gips) på begge sider av hulrommet, avdekker at når initialbrannen suges inn i hulrommet følger det med varierende mengde branngasser som ikke antennes på grunn av oksygenmangel. Når disse kommer ut i toppen av hulrommet og får tilgang på oksygen viser beregningene at vi får en flammefront i overkant av vegg. Hvor stor andel av branngassene som brenner i hulrommet, på forsiden av panelet og i overkant av panelet er avhengig av initialbrannens utforming, effekt og plassering. Figur nr. 6.5 viser flammebilde fra forsøk og simuleringer med hulromsdybde på henholdsvis 35 og 25 mm. I CFD-beregningene er branneffekt på initialbrannen satt til 180 kW (lab-forsøkene benytter Heptankar med noe høyere og varierende branneffekt).



Figur nr. 6.5.: Flammebilder fra forsøk og CFD simuleringer med ubrennbart material.

Simuleringene med ubrennbart materiale viser at når flammer og branngassene fra initialbrannen suges inn i hulrommet får vi en ventilasjonskontrollert forbrenning som styres av tilgang på oksygen (luft). Liggende panel med stående sløyfer får kun tilgang av luft fra undersiden. Er initialbrannen stor nok vil store mengder uforbrent gass passere hulrommet og frigjøres i toppen av panelet. Her vil gassen selv antennes om gasstemperaturen er høy nok. Finnes eksterne tennekilder (flammer og glødende partikler fra utvendig brann), vil en også kunne få antenning selv om gassen holder for lav temperatur til å selv antennes.

Figur nr. 6.5 (A) viser tydelig denne problemstilling. Her ser en at en større del av forbrenningen foregår over panelet. Figur nr. 6.5 (B) viser at lab oppsett hvor branngassene ikke antennes. Lab-forsøk (A) og (B) har samme initialbrann, men spaltedybden er forskjellig (36mm vs 23mm). I CFD beregningene får vi antenning, men det er fordi det er valgt et modelloppsett som automatisk antenner en branngass om betingelsene for forbrenning er til stedet. Med dette modelloppsettet får en visuelt frem om brenselet er brent opp før det når toppen av panelet. Modellen vist i Figur nr. 6.5 (C) er eksempel på oppsett hvor en ikke har «etterbrenning» av branngasser over panelet. Her er initialbrann liten (30 kW) og spaltedybden 35mm. Noen størrelser fra overnevnte simuleringene er vist i Tabell nr. 6.1. Temperatur og oksygenverdier er middelverdier over spaltetverrsnittet (300 målepunkt).

Tabell nr. 6.1: Måleverdier fra CFD beregningene med ubrennbart materiale

Effekt startbrann [kW]	Hulroms-dybde [mm]	Volumstrøm topp m ³ /s	Temperatur topp [C]	Temperatur bunn [C]	Oksygen topp [%]	Oksygen bunn [%]	HRR Bunn-topp [kW]
180	35	0.093	479	599	9	15	38
180	25	0.053	376	572	9	14	21
30	35	0.063	266	217	16	20	29
30	25	0.041	283	325	14	19	24

Beregning av varmeavgivelse (HRR) i Tabell nr. 6.1 følger metodikk beskrevet i ISO 9705, Annex E

$$HRR = h * V_{298} * X_0(O_2) * \left(\frac{\emptyset}{\emptyset * (\alpha - 1) + 1} \right)$$

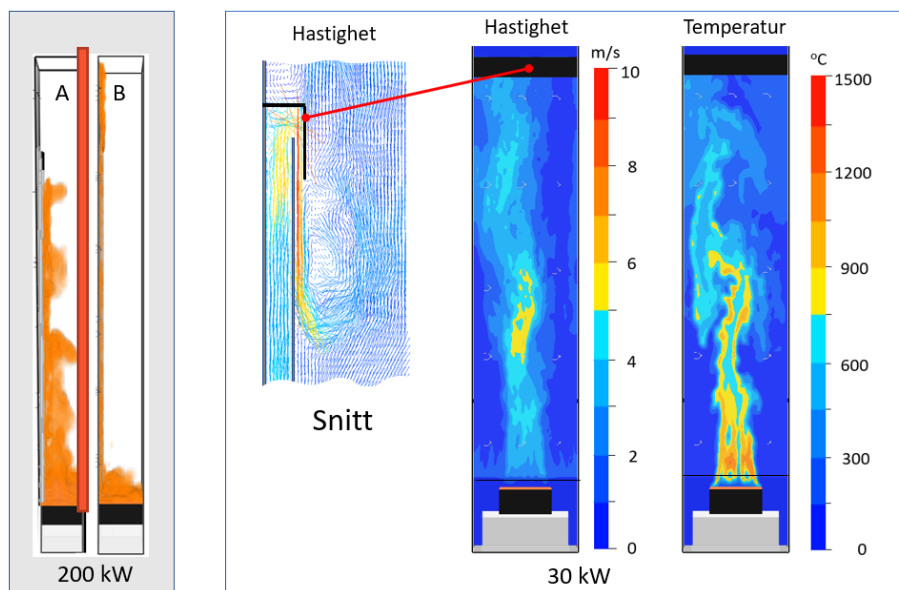
$$\emptyset = \frac{X_0(O_2) * (1 - X(CO_2) - X(CO)) - X(O_2) * (1 - X_0(CO_2))}{X_0(O_2) * (1 - X(CO_2) - X(CO) - X(O_2))}$$

- h: spesifikk varmeavgivelse
- V₂₉₈ : volumstrøm
- X : gassfraksjon
- a: faktor (1.105)

Tallene som viser forbrenning inne i hulrommet (HRR) indikerer at det er liten forskjell i avgitt varmeeffekt, selv om initialbrannene har et forholdstall 1:6. Dette skyldes i all hovedsak at forbrenninger er underventilert

6.2.2. Restriksjoner på inn- og utløp (?)

Restriksjoner på inn og utløp (for eksempel beslag og musebånd) vil øker strømningsmotstanden i hulrommet. Det er gjennomført simuleringer med toppbeslag på som vist i Figur nr. 6.6. Figuren til venstre viser resultat for panel med 25 mm hulromsdybde og 30 kW initialbrann. Sammenlignet med løsning uten beslag er gjennomstrømningen og varmeavgivelsen inne i hulrommet halvert.

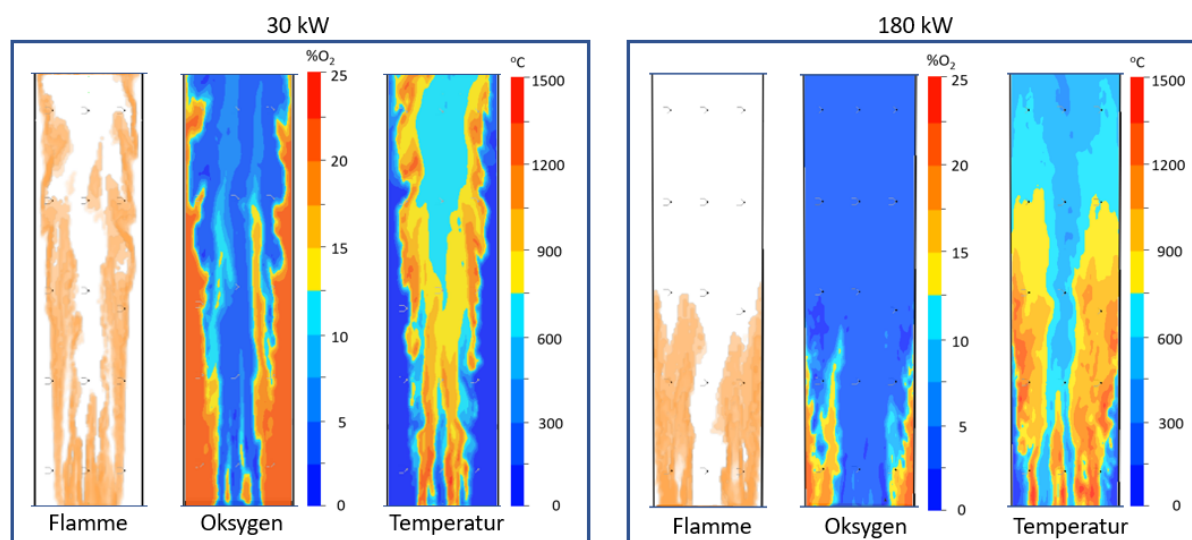


Figur nr. 6.6.: Panel med toppbeslag som øker gjennomstrømningsmotstanden i hulrommet

Figuren til venstre viser flamme bilde for konstruksjon med (A) og uten beslag (B) og initialbrann på 180 kW. Med beslag reduseres suget i underkant av panel betydelig, til gjengjeld eksponeres forsiden av panelet mer.

6.2.3. Simuleringer med brennbart materialer

Det er gjennomført fire simulering med ubehandlet trepanel. Modellene er oppbygd etter samme prinsipp som de ubrennbare, men ubrennbart panel i front er byttet ut med panel som har branntekniske egenskaper i henhold til beskrivelse i avsnitt 5.1.1 (TGA analyser). Simuleringene er gjennomført med samme branneksposering og hulromsdybde som tidligere beregninger (30/180 kW - 25/35mm). Branntekniske data for disse simuleringene er hentet ut på et tidspunkt hvor varmeavgivelsen inne i hulrommet er størst. Figur nr. 6.7 viser hulromstilsand for modell med 25 mm hulromsdybde og initialbrann på henholdsvis 30/180 kW.



Figur nr. 6.7.: Hulromstilsand for modell med brennbart panel, hulromsdybde 25mm

Relevante størrelser fra overnevnte simuleringene er vist i Tabell nr. 6.2. Høyeste varmeeffekt inne hulrommet er beregnet til 84 kW og gjelder for modell med hulromsdybde på 34 mm og initialbrann på 30 kW. Av tabellen ser vi at oksygenkonsentrasjonen i utløpet da er nede i 4 % O₂. For spaltedybde på 25 mm er høyeste avgitte varmeeffekt inne i hulrommet 30 kW. Spaltedybden har med andre ord stor betydning for varmeavviklingen inne i hulrommet. Den påvirker også mengde ufullstendig forbrente gasser som strømmer ut i overkant av konstruksjonen. Når det gjelder hatighetsprofilen i Figur nr. 6.6, er det en svakhet i FDS at ruhet (veggfriksjon), ikke kan kobles til forkullingsprosessen. Hastigheten som vises i fargekartet kan derfor være litt for høy.

Tabell nr. 6.2.: Måleverdier fra CFD beregningene med trepanel

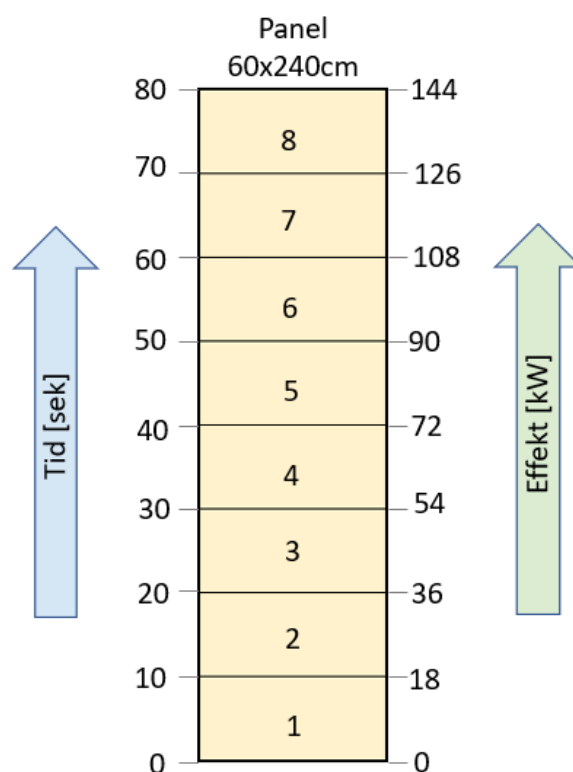
Effekt startbrann [kW]	Hulromsdybde [mm]	Volumstrøm topp m ³ /s	Temperatur topp [C]	Temperatur bunn [C]	Oksygen topp [%]	Oksygen bunn [%]	HRR Bunn-topp [kW]
180	35	0.115	700	600	4	13	68
180	25	0.067	650	500	4	11	30
30	35	0.120	756	260	5	19	84
30	25	0.066	650	360	6	16	29

Simuleringer med panel tilsatt linolje (Royal) avviker ikke særlig fra overnevnte resultater. Det kan være flere årsaker til dette. For eksempel kan det tenkes at modellen som er utviklet ikke gjenspeiler den termiske nedbrytningsprosessen godt nok, eller at rutemønsteret (grid) som er benyttet er for grovt. Eventuelt kan det også være at lokale forhold i hulrommet gjør at forskjellen ikke er blir så stor som den man ser av konkalorimålingene (Figur nr. 4.2).

6.2.4. Beregning av maksimal varmeutvikling i hulrom

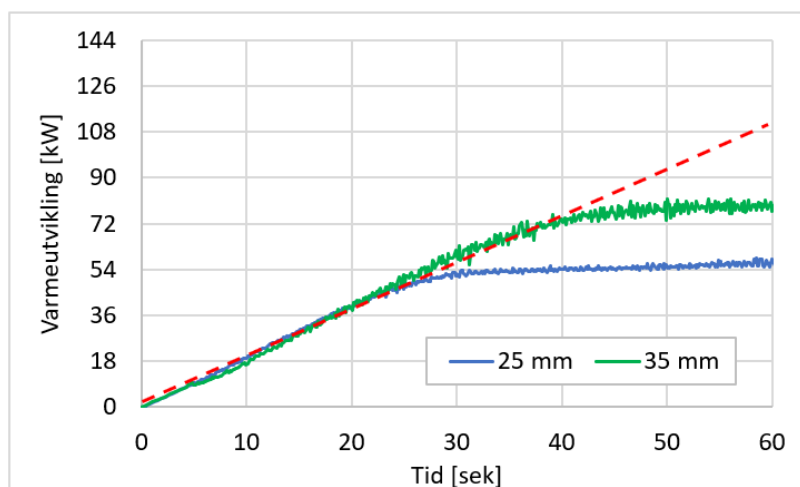
Simuleringer med brennbart trepanel indikere at inne i hulrommet styrer oksygentilgangen varmeavgivelsen og brannspredningen. For å få en idé om hva som vil være maksimal varmeavgivelse inn i hulrommet er det lagd en forenklet modell (60x240 cm) hvor brennbart panel er erstattet med 8 felt hvor det strømmer ut brennbar gass (propan). Hvert felt er gitt en høyde på 30 cm. Maksimal utstrømning tilsvarende en effektavgivelse på 100 W/m². To modeller er utprøvd, en med hulromsdybde på 25 mm og en med hulromsdybde på 35 mm. Figur nr. 6.9 illustrer oppsettet.

I hvert felt økes gasstilførselen lineært fra null til maks pådrag i løpet av 10 sekunder. Gasspådraget skjer sekvensielt fra felt til felt, dvs. først felt 1, så felt 2, deretter felt 3 og så videre. Gassen tennes automatisk gitt at det er tilstrekkelig med oksygen til å etablere en forbrenning.



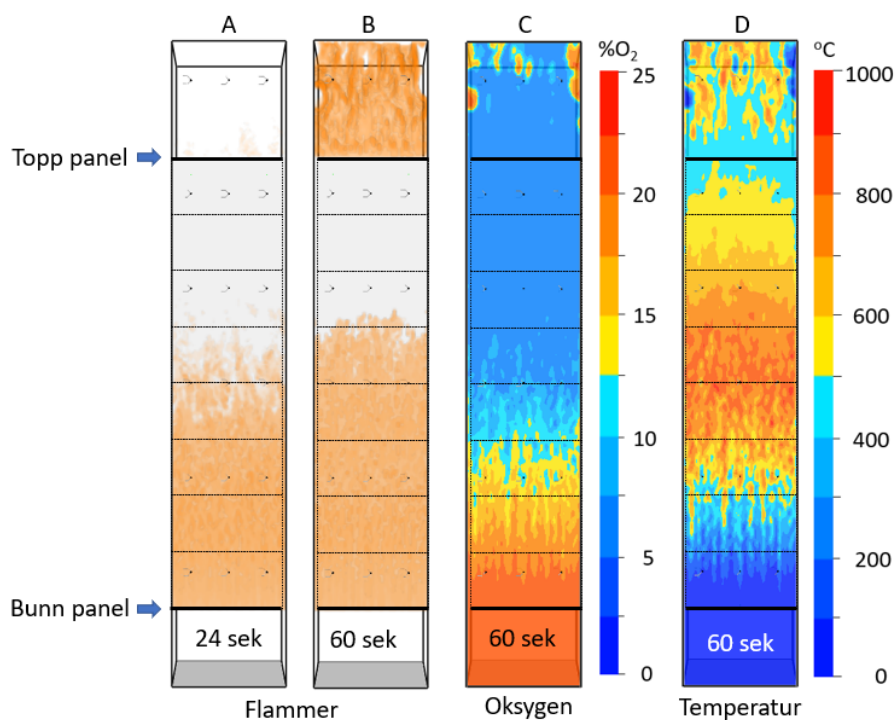
Figur nr. 6.8.: Illustrasjon av modeller for beregning av maksimal varmeavgivelse inne i hulrommet

Resultat fra simuleringene er vist i Figur nr. 6.9 Som vi ser av grafen, inntreffer stasjonær tilstand etter ca 30 sekunder for hulromsdybde på 25 mm og etter ca 40 sekunder for hulromsdybde på 35 mm. Varmeavgivelsen inne i panelet beregnes da til 55 kW for 25 mm spalt og ca. 80 kW for 35 mm spalt. Gasstilførsel utover denne effekten forblir uforbrent inne i hulrommet, men vil ta fyr når den kommer ut i toppen av panelet og får tilgang på oksygen. Stripleddet rødt linje i diagrammet angir prosessforløp om brannen ikke blir underventilert.



Figur nr. 6.9.: Varmeutvikling som funksjon av tid inne i hulrommet, hulromsdybde 23/35 mm

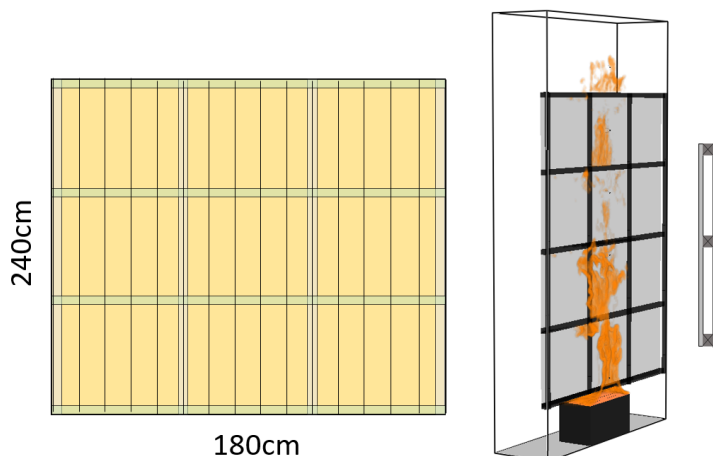
For konstruksjon med hulromsdybde på 25 mm er det tatt ut fargekart som viser flammebilde, oksygenkonsentrasjon og temperaturforhold (Figur nr. 6.10). Flammebilder er tatt ut etter henholdsvis 24 og 60 sekunder. Etter 24 sekunder (A) kan vi så vidt skimte at det begynner å brenne i overkant av panelet, dvs. vi er i ferd med å få en ventilasjonskontrollert brann. Etter dette tidspunktet tiltar forbrenningen i volumet over panelet, mens varmeutviklingen i hulrommet går mot en stasjonær tilstand. Situasjonen etter 60 sekunder fremgår av fargekartene B, C og D i Figur nr. 6.10. På dette tidspunktet er forbrenningen over og inni hulrommet tilnærmet lik i effekt.



Figur nr. 6.10.: Fargekart som viser tilstand i hulrommet etter at forholdene er blitt stasjonær

6.3. Stående panel

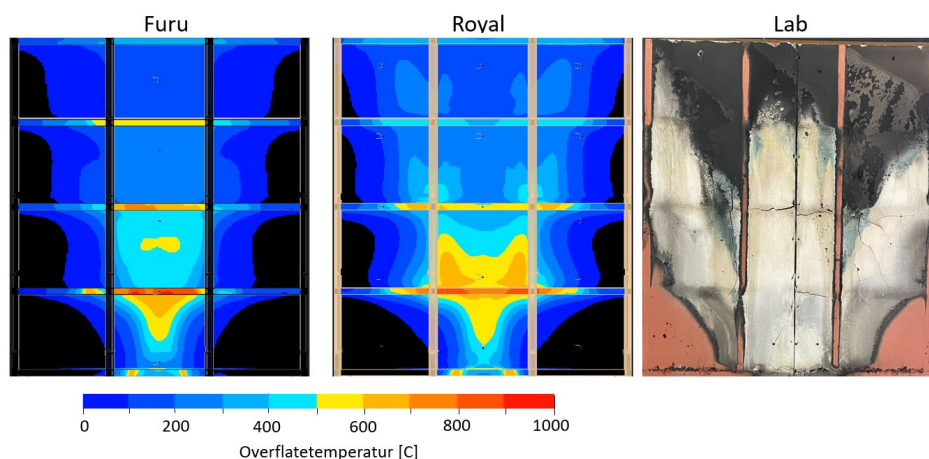
For stående panel er det utarbeide en modell med bredde på 180 cm og høyde på 240 cm. Sløyfelektene er 25mm tykk, vannrette lekter er 35 mm tykk. Sidekantene på modellen er åpne, dvs. lufttilførsel kan skje både fra sidene og underkant av panelt. Brannteknisk blir dette å betrakte som en vegg med større bredde enn 180 cm. Oppbyggingen er vist i Figur nr. 6.11



Figur nr. 6.11.: CFD modell av stående panel med hulrom som er åpent i bunn, topp og på sidene.

Beregningene er gjennomført med 180 kW initialbrann. Brannkilden er plassert inntil bakveggen, avstand fra brannflaten til underkant panel er 6cm. Det er gjennomført en beregning med ubehandlet furupanel og en beregning der det ytterste laget (1 mm) er tilført ca. 2 dl olje (se avsnitt 5.1.1).

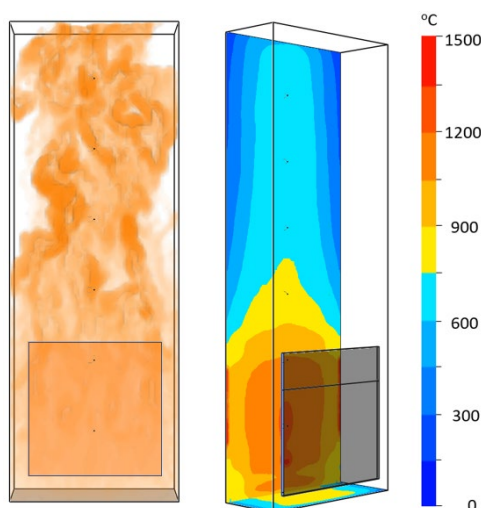
Regnetiden på disse simuleringen er høy (>2 døgn pr minutt). Beregningene som er vist i Figur nr. 6.12 viser situasjonsbilder etter 5 minutter, som er tidspunktet for terminering av disse simuleringene. Fargekartene som viser overflatetemperatur på panelene, har fasong som er i god overensstemmelse med fotavtrykket fra lab-forsøk (avsvetting på bakvegg). Fargekartet viser videre at modellen som simulerer royalimpregnert panel har noe større varmespredningshastighet enn ubehandlet panel. Oksygenmålingene viser at mot slutten av simuleringsperioden blir varmeavgivelsen i hulrommet ventilasjonskontrollert.



Figur nr. 6.12.: Overflatetemperatur etter 5 min simulering og fotavtrykk fra lab-test

6.4. «Stor brann»

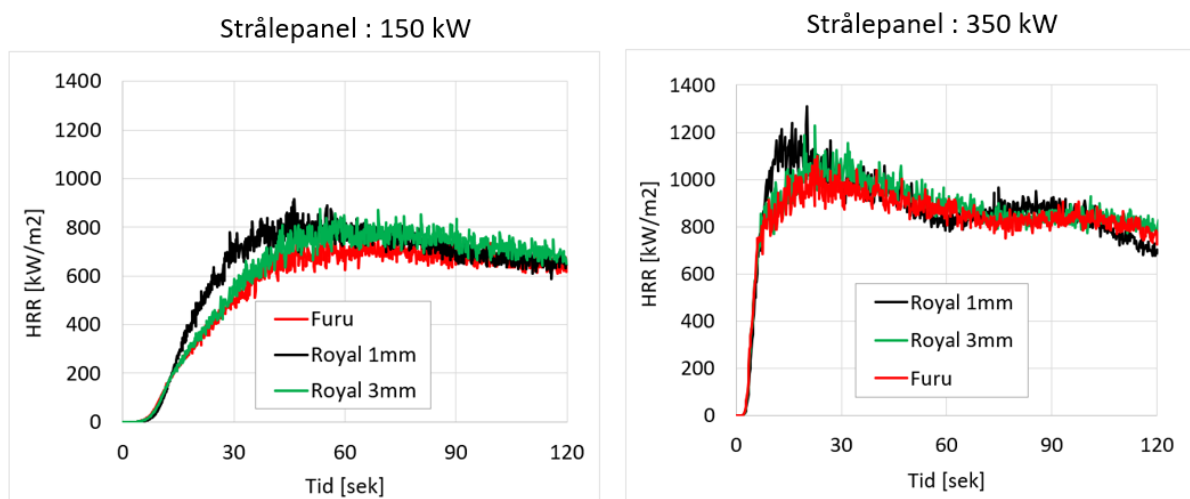
Simuleringer med stående panel (180x240 cm) indikerer at simuleringstiden på større konstruksjoner vil bli lang. For å få et bilde av hvordan en stor brann som eksponerer et større areal ter seg, ble det laget en mindre, forenklet teoretisk modell (120x240 cm) som eksponeres fra et strålepanel tett på brannobjektet. Strålepanelet er på 1x1 m. Avstand mellom panelvegger og strålepanel er satt til 50 cm. Figur nr. 6.13 viser oppsettet.



Figur nr. 6.13 Vegg med trepanel som eksponeres fra et strålepanel på 1x1 m

Det er gjennomført beregninger med 2 ulike effekter på strålekilden (150 kW og 350 kW). Beregningene omfatter ubehandlet furu og behandlet furu. To modeller av behandlet furu er simulert. I den ene modellen er tilsatt olje jevnt fordelt i de 3 ytterste millimeterne av panelet, i den andre modellen fordeles oljen på den ytterste millimeteren. En nærmere beskrivelse finnes i avsnitt 5.1.1.

Resultat fra simuleringene er vist i Figur nr. 6.14. Som vi ser av figurene får vi over en kortere periode noe høyere varmeavgivelse når trevirket er behandlet med olje. Størst forskjell mellom ubehandlet og behandlet trevirke får vi hvis vi antar at all oljen ligger i den ytterste millimeteren. Resultatene i Figur nr. 6.13 må sees i lys av den forenklede modellen som er benyttet. En mer komplett modell bør nok også hensynta tid til antennelse og forskjell i FIGRA-verdier.



Figur 6-1 Varmeavgivelse fra utvendig panel som eksponeres fra strålepanel

7. Oppsummering

Simuleringene som er gjennomført med FDS viser at:

- Initialbrannens effekt og plassering har stor betydning for hvordan hulrommet eksponeres. Initialbrann plassert inntil bakvegg, tett på panelets underkant, gir større eksponering av hulrommet enn om initialbrannen holder avstand.
- Tilgang på oksygen inne hulrommet begrenses av hulrommets utforming, hulromsdybde, branngemetri i og utenfor hulrommet og detaljer knyttet til inn- og utløp (musebånd og toppbeslag).
- Simuleringene indikerer at brannutviklingen i hulrommet begrenses av oksygentilgang. Forbrenningen produsere da uforbrent gasser som kan re-antennes ved utløp. Under gitte forhold kan med andre ord hulrommet fungere både som produsent og transportør av brennbare gasser. Dette er branngasser som både initialbrannen og pyrolysen inne i hulrommet produserer
- Hulromsdybde synes å ha vesentlig større betydning for varmeavgivelsen enn størrelsen på initialbrannen. Initialbrann som dekker hele spaltebredden (liggende panel) reduserer oksygentilgangen til hulrommet mere enn en brann med mindre dekningsgrad.
- Simulering med «gassbrann» indikerer at liggende panel med hulrom 60x240 cm ikke kan produsere mer varme enn 55 kW hvis spaltedybdn er 25 mm. For spaltedybde på 35mm øker tallet til ca. 80 kW. Restriksjoner på inn og utløp vil redusere disse størrelsene.
- Simulering med stående panel (180x240 cm) og åpne sidekanter indikerer noe større sideveis brannspredning når panelet er tilført linolje i yttersjiktet. Beregningene indikerer at også brann i hulrom bak stående kledning blir ventilasjonskontrollert.
- Varmeeksponering av veggflata (120x240cm) med henholdsvis 150 og 500 kW gir tilnærmet momentan antenning av hele veggflata. Modellen med linolje gir noe høyere varmeavgivelse de første minuttene sett i forhold til ubehandlet trepanel.
- Resultatene fra beregningene som er gjennomført i denne studien er nært knyttet til størrelser og geometri på de veggelementene som er modellert, på initialbrannens plassering, effekt og varighet av brannen, på rutenettoppløsning benyttet i CFD - modellene, og på modellene som beskriver egenskapene til de brennbare materialene (furu/Royal). Beregningene indikerer at brann i hulrom styres av oksygentilgangen, men hva som skjer ved en eventuell gjennombranning av kledningen er ikke inkludert i denne studien.

8. Referanser

- /1/ Bygghetall 542.101, «Liggende og stående trekledning», 2021
- /2/ C. Conzalo et al, «Improving the fire resistance of ventilated cladding systems via air cavity replacement», 2018
- /3/ Treteknisk, «Fokus på tre – Gran», 2011
- /4/ Treteknisk, «Fokus på furu – Gran», 2011
- /5/ T. Engle, N. Werther, «Structural Means for Fire-Safe Wooden Facade Design», 2021
- /6/ B.Østman, E. Mikkola, «European classes for the reaction to fire performance of wood products», 2006
- /7/ NOT 01 – ISO 5560 testresultater, rev 00 (Erichsen Horgen)