

---

RAPPORT

# IN 1062 Arena Fredrikstad

---

OPPDRAAGSGIVER

Fredrikstad kommune

EMNE

Brann- og rømningsplanlegging

DATO / REVISJON: 14.10 2020 / 00

DOKUMENTKODE: +BY5619A-F-81-01

---



Denne rapporten er utarbeidet av LINK Arkitektur, Griff Arkitektur og Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Hvis kunden i samsvar med oppdragsavtalen gir tredjepart tilgang til rapporten, har ikke tredjepart andre eller større rettigheter enn det han kan utlede fra kunden. LINK Arkitektur, Griff Arkitektur og Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det LINK Arkitektur, Griff Arkitektur og Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med LINK Arkitektur, Griff Arkitektur og Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

## RAPPORT

OPPDRAG	Arena Fredrikstad	DOKUMENTKODE	+BY5619A-F-81-01
EMNE	Brann- og rømnings simulering	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	Fredrikstad kommune	OPPDRAGSLEDER	Kjetil Fossler
KONTAKTPERSON	Nina Merete Stene Wilhelmsen	UTARBEIDET AV	Eline Ravik Sørli, Anojan Arumugam

## SAMMENDRAG

Multiconsult er engasjert av Fredrikstad kommune for brannteknisk rådgivning og prosjektering i forbindelse med Arena Fredrikstad.

Hensikten med gjennomførte brannsimuleringer er å undersøke konsekvensene ved en brann i lokalet og kartlegge kritiske tidspunkt ift. rømnings sikkerhet. Brannsimulering sees i sammenheng med rømnings simulering. Denne rapporten vil både beskrive oppsettet av brannsimuleringene, dokumentere valgt inputdata og presentere resultater.

Tiltaket og de branntekniske premisser er beskrevet nærmere i A-F-81-02.

CFD-analysen kommer fram til at det oppstår kritiske forhold på tribunen etter 435 s i 3. etasje og 660 s i 2. etasje. På bakgrunn av evakuerings simuleringene er maksimal personbelastning 4800 innendørs og 250 utendørs. Ved arrangementer som konsert eller lignende i ishallen er maksimal kapasitet 5400 personer (på grunn av ventilasjonstekniske begrensninger, rømningskapasiteten er 6000 personer), med maksimalt 4500 på gulvet. Dersom kun gulvet benyttes er maksimal belastning 4800 personer. Ved arrangementer som konsert eller lignende kan det være maksimalt 200 personer i treningshallen plan 1, men ingen i plan 2.

00	14.10.2020	Brann- og rømnings simulering	Anojan Arumugam, Eline Ravik Sørli	David R U Johansen	Kjetil Fossler
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>5</b>
1.1	Mål og problemstilling .....	5
<b>2</b>	<b>Metode og teori.....</b>	<b>5</b>
2.1	Brannsimulering.....	5
2.1.1	Computational Fluid Dynamics .....	5
2.1.2	Pyrosim .....	6
2.1.3	Fire Dynamics Simulator (FDS) .....	6
2.1.4	Validitet mot problemstillingen .....	7
2.2	Rømningssimulering .....	8
2.2.1	Rømningsteori.....	8
2.2.2	Metode for beregning av forflytningstid.....	9
<b>3</b>	<b>Inngangsparametere.....</b>	<b>10</b>
3.1	Brannsimulering.....	10
3.2	Rømningssimulering .....	12
<b>4</b>	<b>Resultater .....</b>	<b>17</b>
4.1	Sikt, plan 3 .....	17
4.1.1	Sammenligning av sikt med rømning fra ishockeykamp med fulle tribuner (scenario 1) .....	18
4.1.2	Sammenligning av sikt med rømning når begge isflater er i bruk (scenario 2) .....	23
4.1.3	Sammenligning av sikt med rømning fra konsert på gulvet og tribunen (scenario 4).....	29
4.2	Røykfylling.....	35
4.3	Temperaturer under himling .....	38
4.4	Nødvendig rømningstid .....	41
<b>5</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>Vedlegg: Sensitivitet- og følsomhetsanalyse .....</b>	<b>48</b>
7.1	Brannsimulering.....	48
7.2	Rømningssimulering .....	53

## 1 Innledning

### 1.1 Mål og problemstilling

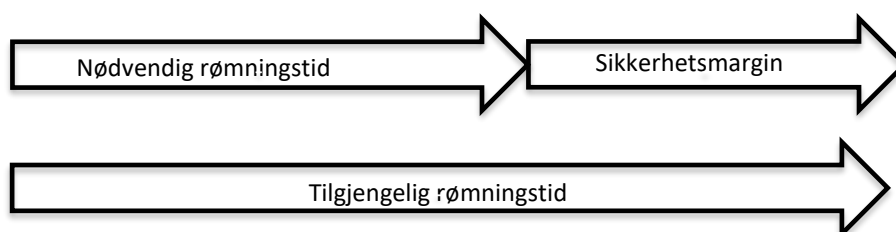
Multiconsult er engasjert av Fredrikstad kommune for brannteknisk rådgivning og prosjektering i forbindelse med Arena Fredrikstad.

Hensikten med gjennomførte brannsimuleringer er å undersøke konsekvensene ved en brann i lokalet og kartlegge kritiske tidspunkt ift. rømningssikkerhet. Brannsimulering sees i sammenheng med rømningssimulering. Denne rapporten beskriver oppsett av simuleringene, dokumenterer valgt inputdata og presenterer resultater.

For en beskrivelse av tiltaket og de branntekniske premisser henvises det til A-F-81-02.

## 2 Metode og teori

I dette oppdraget er det utført en deterministisk analyse. Dvs. at nødvendig og tilgjengelig rømningstid er eksplisitt beregnet og sammenliknet. Rømningstidene er vist i Figur 1, i tillegg til sikkerhetsmargin.



Figur 1 Figuren illustrerer tilgjengelig og nødvendig rømningstid, og sikkerhetsmarginen.

Nødvendig rømningstid er tiden fra brannstart til alle personer i byggverket har evakuert. Tilgjengelig rømningstid er tiden fra brannstart til kritiske forhold mtp. evakuering oppstår. I denne analysen er det tatt høyde for følgende kritiske forhold:

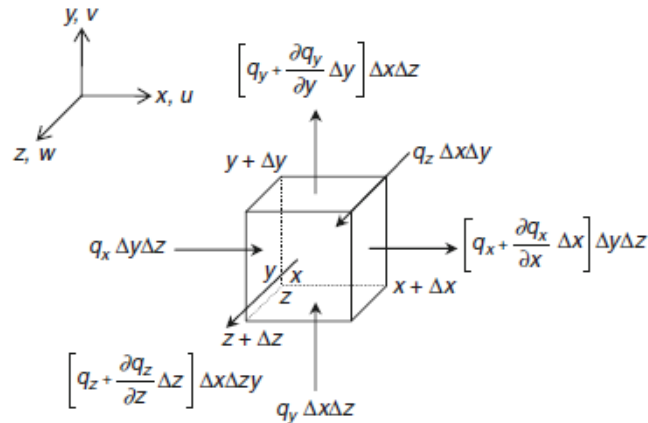
- Sikt (>10 m)
- Temperatur (<80 °C)
- Røyklagshøyde (>1,6 m + 10% av takhøyden)
- Varmestråling fra røyklag (<2,5 kW/m<sup>2</sup>)

Sikkerhetsmarginen er differansen mellom nødvendig og tilgjengelig rømningstid. For at brannsikkerhetsnivået skal være akseptabel må sikkerhetsmarginen være tilstrekkelig stor.

### 2.1 Brannsimulering

#### 2.1.1 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) er analyse av strømningsdynamikk ved hjelp av en tilnærmet numerisk løsning av ligningene for strømning. Disse kan i praksis kun løses ved hjelp av datamaskiner. Verktøyet gir muligheter for å simulere strømning av væsker og gasser i store volum, noe som i praksis vil være umulig ved bruk av håndberegninger. Likningene løses i et tredimensjonalt celledsystem i et gitt beregningsvolum.



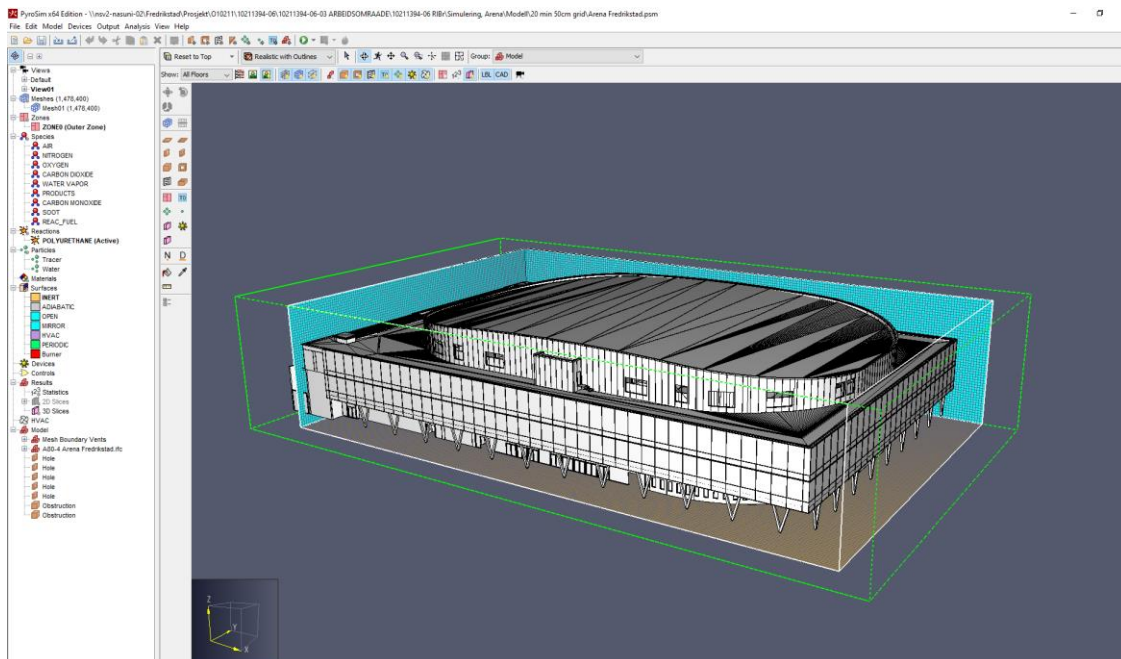
Figur 2: Prinsippet av beregninger som gjøres for hvert beregningsvolum (bevaring av varme) (1)

### 2.1.2 Pyrosim

Programmet er utviklet av Thunderhead Engineering og lisensieres som et verktøy for å effektivisere bruken av FDS, se under. Pyrosim er brukt til å importere geometri fra IFC-modellen, redigere nødvendige parametere i scriptfil og for å ev. starte multi-CPU beregning.

Det er kun scriptfil som produseres, programmet endrer ikke beregningsmetoden.

Thunderhead Engineering har i senere tid utviklet et eget program for å visualisere resultater til simuleringene som en integrert del av programmet Pyrosim, *Pyrosim Results Viewer*.



Figur 3: Skjermbilde av Arena Fredrikstad i Pyrosim, kun ishallen er vurdert

### 2.1.3 Fire Dynamics Simulator (FDS)

FDS er en CFD-modell tilpasset for bruk på transiente strømninger som blir drevet frem av temperaturforskjeller. Programmet benytter seg av en form av Navier–Stokes-ligninger som er tilpasset for bruk på strømninger som blir drevet frem av temperaturforskjeller. Programmet legger vekt på røyk og varmetransport fra brannen.

Ligningene er utviklet fra konserveringsprinsipp for bevaring av:

- Masse,
- Moment, og
- Energi

Ved hjelp av disse ligningene kommer man da frem til de interessante variablene for brannen: røyktetthet, lufthastighet, temperatur, trykk, som funksjon av tid.

FDS benytter seg av et rektangulært grid som ikke kan modellere kompliserte konstruksjonsformer korrekt. Kompliserte konstruksjonsformer vil automatisk tilpasses griden. Blokkeringer kan kun legges på hele sider av celler eller som hele antall celler.

FDS er en velkjent programvare utviklet av National Institute of Standards and Technology (NIST) som benyttes over hele verden. Derfor vurderes det at det er tilstrekkelig å henvise til følgende FDS manualer for en bedre forståelse av programmet:

- *Fire Dynamics Simulator User's Guide (2)*; Brukermanualen for programmet. Beskriver bruken av programmet
- *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model (3)*; Beskriver den teoretiske basisen for programmet
- *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 2: Verification (4)*; Beskriver arbeidet som er gjort for å verifisere at resultatene til simuleringene er riktige, dvs. hvor korrekt resultatene til overordnede bevaringsligninger er
- *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation (5)*; Beskriver alt arbeid som er gjort for å evaluere validiteten av programmet opp mot målinger gjort i forsøk. Denne boken benyttes for å sjekke programmets validitet opp mot problemstillingen
- *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 4: Configuration Management (6)*; Dokumentet beskriver retningslinjer og prosedyrer for utvikling og vedlikehold av programmet

#### **2.1.4 Validitet mot problemstillingen**

FDS er validert av NIST og av andre forskningsinstitusjoner over hele verden. Dokumentasjon på validering er beskrevet i *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation*. FDS er et gratis program som er åpent tilgjengelig for alle. Dermed er alt av dokumentasjon også tilgjengelig for alle.

FDS ble i utgangspunktet utarbeidet for å simulere branner i industrien i USA samt skogbranner. Dvs. relativt små branner i store lokaler og branner utendørs, med andre ord branner som er brenselkontrollert. Over årene har FDS blitt utviklet til å simulere mer krevende brann fenomener som underventilerte branner og aktive branntekniske tiltak som sprinkler. Det er likevel knyttet en del usikkerhet til resultatene når analysen inneholder kompliserte fenomener.

I dette prosjektet skal det kun simuleres brann i en stor åpen hall med høy takhøyde. Hensikten er å simulere mulig brannscenario ifm. denne bruken med fokus på temperatur- og røykutvikling, og se på dette i sammenheng med rømnings simulering.

For å vurdere validiteten til FDS, er det viktig å se på de parametere som skal vurderes og hvilke testforsøk som ligger til grunn for validering av programmet. FDS er validert gjennom flere forsøk og studier. For de parametere som er relevant i dette oppdraget kan det blant annet henvises til

NUREG-1824 (7) hvor følgende temaer er vurdert mtp. nøyaktigheten til å vurdere de forskjellige parametere:

Parameter på engelsk	Parameter på norsk iht. KBT (8)	Vurdering av nøyaktigheten iht. NUREG-1824
<i>Hot gas layer temperature and depth</i>	Røyklagshøyde og -temperatur	FDS vurderes som passende for å vurdere denne parameteren, med god nøyaktighet
<i>Estimating smoke concentration</i>	Estimering av røykkonsentrasjonen	FDS får en medium nøyaktighet til å estimere røykkonsentrasjonen pga. en generell overestimering av konsentrasjonen

Bruk av FDS til simulering av brann i byggverk er dokumentert gjennom mange forsøk, og er blitt det mest vanligste bruken av programmet. FDS vurderes som et verktøy godt egnet til å simulere branner i ishallen i Arena Fredrikstad.

## 2.2 Rømnings simulering

### 2.2.1 Rømnings teori

#### **Deteksjonstid**

Deteksjonstiden er tiden fra en brann starter til den er oppdaget av personer eller av tekniske deteksjonssystemer.

Deteksjonstiden er avhengig av takhøyden. I dette tilfellet er det valgt å se på avstanden fra tribunen der den simulerte brannen er plassert til taket (undersiden av de tekniske arealene) som takhøyden, dette er i underkant av 11,5m. Med en takhøyde på 12m vil deteksjonstiden med røykdetektorer og rask brannveksttid ( $t_g=150s$ ) være 2 minutter (9). Ved en brann utenfor tribunen vil deteksjonstiden kunne være kortere på grunn av lavere takhøyde.

#### **Reaksjonstid**

Reaksjonstiden er summen av tid til fortolkning og tid til å fatte en beslutning. Personers reaksjonstid vil videre blant annet være avhengig av følgende faktorer (10):

- Kjennskap til rømningsveiene
- Fysisk førlighet og evne til å forflytte seg raskt
- Bevissthetstilstand og oppfattelsesevne
- Sosiale roller i en gruppe

Byggforskblad 520.385 angir veiledende reaksjonstider for ulike virksomheter. Det antas at Arena Fredrikstad vil ha tilsvarende reaksjonsmønster som varehus med informativ talevarsling. Varehus med informativ talevarsling har oppgitt reaksjonstid på 1 minutt (10).

#### **Forflytningstid**

Forflytningstiden er den tiden det tar fra personer iverksetter rømning til de er på et sikkert sted. Forflytningstiden vil i hovedsak være avhengig av hvor lett personer kan ta seg fram i bygningen. Forhold som kan påvirke dette er (10):



- *Persontetthet (hvordan personene er fordelt i lokalet).* En økt persontetthet vil redusere mulighetene en person har for å komme seg ut av bygningen. Ganghastigheten til et individ bestemmes derfor i økende grad av gruppens hastighet.
- *Antall rømningsveier og utførelsen av disse.* Innsnevninger i rømningsveier og ved dører vil lede til opphopning av personer. Opphopning av personer vil redusere gruppens ganghastighet og øke forflytningstiden.
- *Hvorvidt personer har behov for assistanse eller kan rømme selv.* Nedsatt fysisk funksjonsevne vil ofte kreve bistand fra andre for å kunne utføre rømning. Personer med lav ganghastighet vil kunne føre til opphopninger i rømningsveier. Redusert fysisk førighet vil i de aller fleste tilfeller føre til økt forflytningstid, dersom ikke andre faktorer er dimensjonerende. En slik faktor kan være bredden på utgangsdører fra områder med stor personbelastning.

### **2.2.2 Metode for beregning av forflytningstid**

For å simulere forflytningstiden for de nye rømningsforholdene er det her valgt å bruke simuleringsverktøyet Pathfinder (versjon 2020.2.0527 x64).

#### **Generelt**

Pathfinder er en agent-basert evakueringsimulator, som kan vise rømningsprosessen i 2D og 3D. Simuleringsprogrammet benytter to ulike metoder for å beskrive personers bevegelser; «SFPE-mode» og «steering mode».

SFPE-mode implementer rømningskonseptene beskrevet i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Dette er en strømningsmodell, der ganghastigheter er bestemt av persontettheten innenfor et rom. Strømningshastigheten ut av dører er kontrollert av døras bredde. I SFPE-mode kan personer overlappe hverandre når de beveger seg og ved kødannelser. (11)

Steering mode er basert på en idè om invers styrings-oppførsel. Steering gjør det mulig å ha en mer kompleks oppførsel, som følge av bevegelsesalgoritmer. Dette gjør det mulig å eliminere beregning av persontetthet og køer ved dører. (11)

I Pathfinder brukes det en geometrisk 3D-modell hvor det defineres et triangelformet navigasjonsmesh (navigation mesh) i 2D. Dette meshet representerer området hvor personer kan bevege seg. Vegger og andre ugjennomtrengelige områder blir representert som hulrom i meshet. Navigasjonsmeshet kan tegnes manuelt eller genereres automatisk ved hjelp av en importert geometri (FDS-filer, DXF-format samt DWG-filer). (11)

Det er ifm. denne analysen valgt å benytte Steering mode, da dette er den mest virkelighetsnære beregningsmetoden. Det henvises generelt til *Technical Reference, Pathfinder 2016* (11) for en detaljert beskrivelse av denne metoden.

### 3 Inngangsparametere

#### 3.1 Brannsimulering

Med mindre det er nevnt spesifikt i dette kapittelet, er «*default*»-verdier benyttet.

##### **Brannen**

Inngangsparametere for brannen er basert på BBRAD 3 (12), og videre følger hvilke verdier som er benyttet i simuleringen.

Det er valgt å legge til grunn en brann med maksimal effekt på 10 MW. Det er angitt at 10 MW kan benyttes som dimensjonerende effektutvikling for forsamlingslokaler. Brannen er lagt inn som to horisontale flater som til sammen har et areal på 20 m<sup>2</sup> med en varmeavgivelsesrate på 500 kW/m<sup>2</sup>. 500 kW/m<sup>2</sup> er en standard varmeavgivelsesrate for blant annet bibliotek (13), som tradisjonelt har høy brannenergi.

Brannens veksthastighet er en parameter som kan benyttes for å beregne tiden det tar før brannen oppnår maksimal effekt. Det er angitt at dimensjonerende vekstrate for forsamlingslokaler er 0,047 kW/s<sup>2</sup>. Dette gir en veksttid («ramp-up time») på 461 sekunder (7 min og 41 min) før brannen oppnår 10 MW, og dette er benyttet i simuleringen. Dette beregnes med følgende formel:

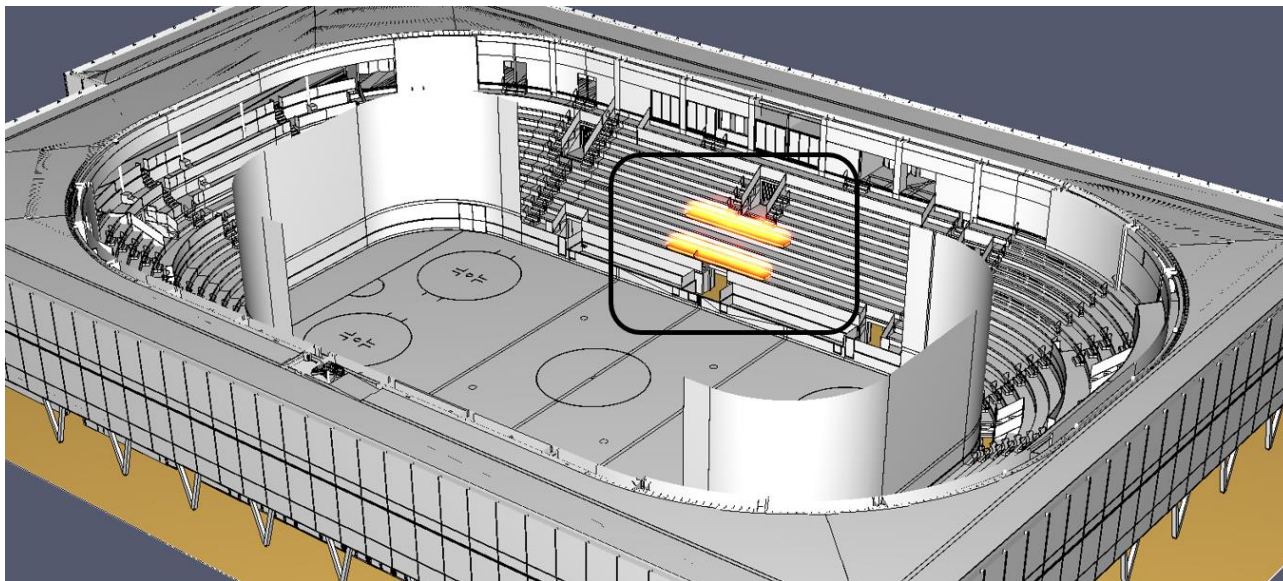
$$Q = at^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{Q}{a}}$$

Her er  $Q$  maksimal branneffekt,  $a$  er vekstraten og  $t$  er tiden det tar før brannen oppnår maksimal effekt.

Forbrenningsvarmen er satt til 20 MJ/kg. Det er angitt at det kan benyttes en dimensjonerende forbrenningsvarme på 20 MJ/kg for forsamlingslokaler, og det betyr at brannen avgir 20 MJ per kilo brensel.

##### **Brannlokasjon**

Det er valgt å se på et scenario der det oppstår en brann på tribune. Brannen er sentrert på en av langsidene som et verst tenkelig tilfelle.



Figur 4: Brannlokasjon i simulering

### Grid

Oppløsningen på celledsystemet, eller grid, er avgjørende for nøyaktigheten i analysen. Desto høyere oppløsning, desto flere kontrollvolum og dermed høyere pålitelighet, som følge av at sannsynligheten for at relevant informasjon går tapt pga. gjennomsnittsbetraktninger over cellene blir mindre.

Mens man på den ene siden ønsker seg så høy oppløsning som mulig, må det også tas hensyn til begrensninger i prosessorkapasitet og mellomlagringsressurser. Med dagens vanlige datamaskiner vil det være nødvendig å begrense antall celler til noen få millioner.

Det er mulig å få en indikasjon på om cellestørrelsen er liten nok for hvert enkelt scenario ved å regne ut forholdet mellom brannens karakteristiske diameter og størrelsen på cellene,  $\delta x$ . Den karakteristiske diameteren er definert som:

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

Parameterne som benyttes er  $Q$  – brannens effektutvikling [kW],  $\rho_{\infty}$  – tetthet [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] som settes til  $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $c_p$  – varmekapasitet [ $\text{kJ}/(\text{kgK})$ ] som settes til  $1,0 \text{ kJ}/(\text{kgK})$ ,  $T_{\infty}$  - omgivelsestemperatur [K] som settes til 293 K (dvs. 20 grader Celsius) og  $g$  – tyngdeakselerasjon  $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ . Dette deles på  $\delta x$ , som er største sidelengde på cellene [m].

Brukermanualen angir at verdien av  $D^*/\delta x$  bør være mellom 4 og 16 for å kunne modellere brannen med tilstrekkelig nøyaktighet (2).

Det er valgt å legge til grunn en cellestørrelse på 0,5 meter. Dette gir  $D^*/\delta x$  en verdi på 4,83. En gridsensitivitetsanalyse er blitt utført og er beskrevet i eget avsnitt.

### Materialer

Alle overflater og materialer er tillagt egenskapen inert i modellen. Dette som følge av at man gjør en vurdering av temperatur i utkanten av materialer. Det sees også på sikt/røykfylling av lokalet, noe som vil være uavhengig av materialvalg på omkringliggende konstruksjoner.

### **Lengde på simulering**

Det er valgt en simuleringslengde på 20 minutter. Dette med bakgrunn i brannens «ramp-up time», dvs. tiden det tar før brannen oppnår maksimal effekt, som er på 7 minutter og 41 sekunder. Det er også med bakgrunn i rømningssimuleringene som har gitt en indikasjon på hvor lang tid det vil ta før hele byggverket er evakuert.

### **Tilluft/utlufting**

Byggverket planlegges med åpninger for tilluft/utluft så dette er medtatt i brannsimuleringen, da dette vil ha innvirkning på både røykfylling/sikt og temperatur i hallen. Det bemerkes at tilluftsareal angitt i dette avsnittet er en vesentlig forutsetning for denne analysen, og endring i dette vil medføre at resultatene endres. I brannkonseptet datert 16.04.2020 (optimaliseringsfase) er det angitt at det må være minimum 57 m<sup>2</sup> åpninger for tilluft og minimum 114 m<sup>2</sup> åpninger for utlufting i plan 4, og ved å etablere mer tilluftsåpninger i fasaden kan åpninger for utluft reduseres. Optimalisering av åpningsstørrelser gjøres i senere fase.

I simuleringsmodellen er det etablert tilluftsåpninger på totalt 52,7 m<sup>2</sup> og åpninger for utluft på 121,5 m<sup>2</sup>. Grunnen til at det er noe ulikt det som står i brannkonseptet er av praktiske årsaker. Ved etablering av åpninger er det hovedsakelig valgt å fjerne enkelte elementer i modellen, som for eksempel dører og vinduer, i stedet for å etablere nye åpninger i eksisterende elementer. Dette er for å gjøre minimalt med inngrep i selve modellen, som igjen vil minimere usikkerheten i resultatene.

## **3.2 Rømningssimulering**

### **Generelt**

Simuleringene skal måle tiden til hvert enkelt plan er tømt, samt når hele bygningen er tømt. Tiden til hvert enkelt plan er tømt vil si tiden det tar før alle i den aktuelle etasjen har entret en rømningskorridor/-trapp eller har kommet seg ut av etasjen via intertrapp. Det er identifisert fire aktuelle scenarier som skal analyseres og hvert enkelt scenario er nærmere beskrevet nedenfor. I tillegg er de gjort en vurdering av om det maksimale persontallet kan økes ved konsert, denne vurderingen er kalt scenario 5.

### **Scenario 1 – Hockeykamp**

I dette scenariet er det kun ishallen og taket som er i bruk, treningshallen med tribune er uten personer. Det er benyttet maksimalt persontall i bygningen på 5050 personer. 250 personer er utendørs på taket. Det er 50 personer på isflaten og 4100 på tribunen. I VIP-rommene i 3. etasje er det 150 personer og i restauranten i 3. etasje er det 150 personer. Det er 350 personer som er fordelt utenfor tribunen i de ulike etasjene, med 20 personer i 1. etasje, 80 personer i 2. etasje og 250 personer i 3. etasje.

### **Scenario 2 – Begge isflatene benyttes med publikum**

I dette scenariet er begge isflatene i bruk med publikum. Det er tatt utgangspunkt i maksimalt persontall for bygningen på 5050 personer, hvorav 250 personer er utendørs på taket. Treningshallen har 200 personer, og tribunen på treningshallen har 200 personer. På isflaten i ishallen er det 50 personer, det er 3800 personer på tribunen og de resterende 550 personene er fordelt utenfor tribunen i plan 1, 2 og 3.

### **Scenario 3 – Konsert – gulv**

I dette scenariet er det bare isflaten/gulvet i ishallen og taket som er i bruk. Det er benyttet maksimalt persontall i bygningen på 5050 personer, hvorav 250 av de er utendørs på taket og 4800

personer på gulvet. I dette scenariet er vantet rundt banen åpnet slik at rømningsbredden er tilsvarende som åpningene/hullene under tribunen. Av isflatens areal på ca. 1650 m<sup>2</sup> er 250 m<sup>2</sup> holdt av som scene. Det er ikke anslått personer på scenen siden de har tilgang til to utganger fra isflaten som ikke øvrige publikum har tilgang til og følgelig vil trolig ikke personer på scenen være dimensjonerende for nødvendig rømningstid. Ved endring i sceneoppsett må nye simuleringer utføres, og det kan bli endring i persontall.

#### **Scenario 4 – Konsert – gulv og tribune**

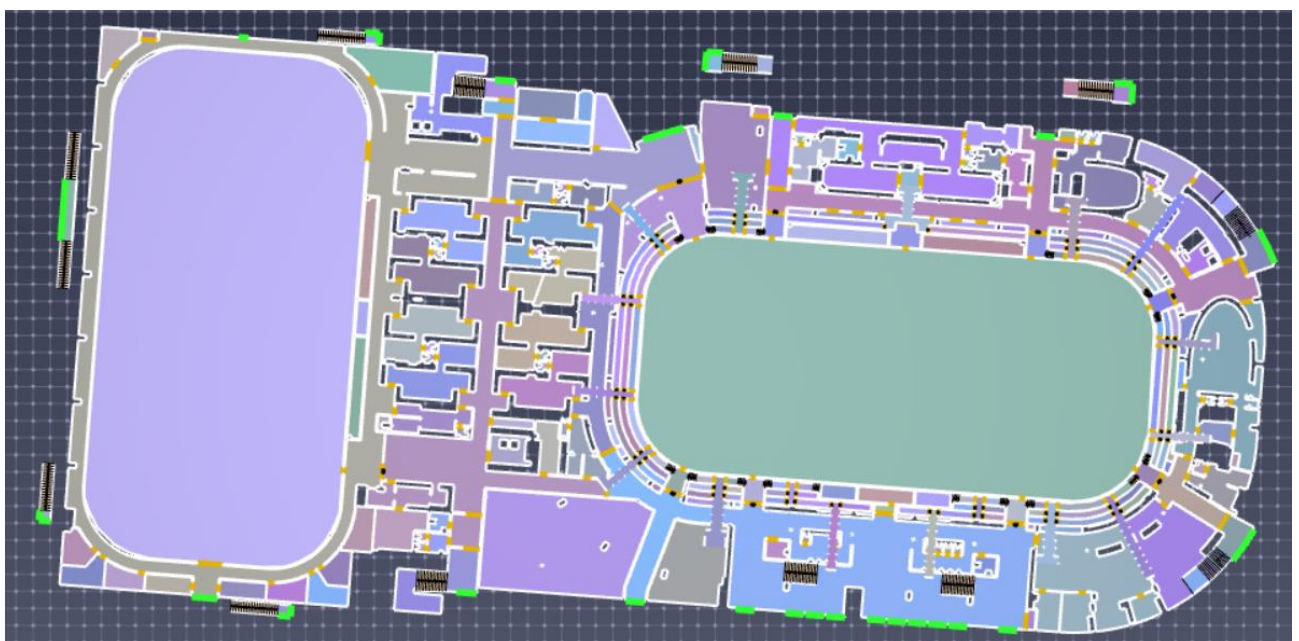
I dette scenariet er det bare isflaten/gulvet og tribunen i ishallen og taket som er i bruk. Det er benyttet maksimalt persontall i bygningen på 5050 personer, hvorav 250 av de er utendørs på taket, 2800 personer på gulvet og 2000 personer på tribunen. I dette scenariet er vantet rundt banen åpnet slik at rømningsbredden er tilsvarende som åpningene/hullene under tribunen. Av isflatens areal på ca. 1650 m<sup>2</sup> er 250 m<sup>2</sup> holdt av som scene. Det er ikke anslått personer på scenen siden de har tilgang til to utganger fra isflaten som ikke øvrige publikum har tilgang til og følgelig vil trolig ikke personer på scenen være dimensjonerende for nødvendig rømningstid. Ved endring i sceneoppsett må nye simuleringer utføres, og det kan bli endring i persontall.

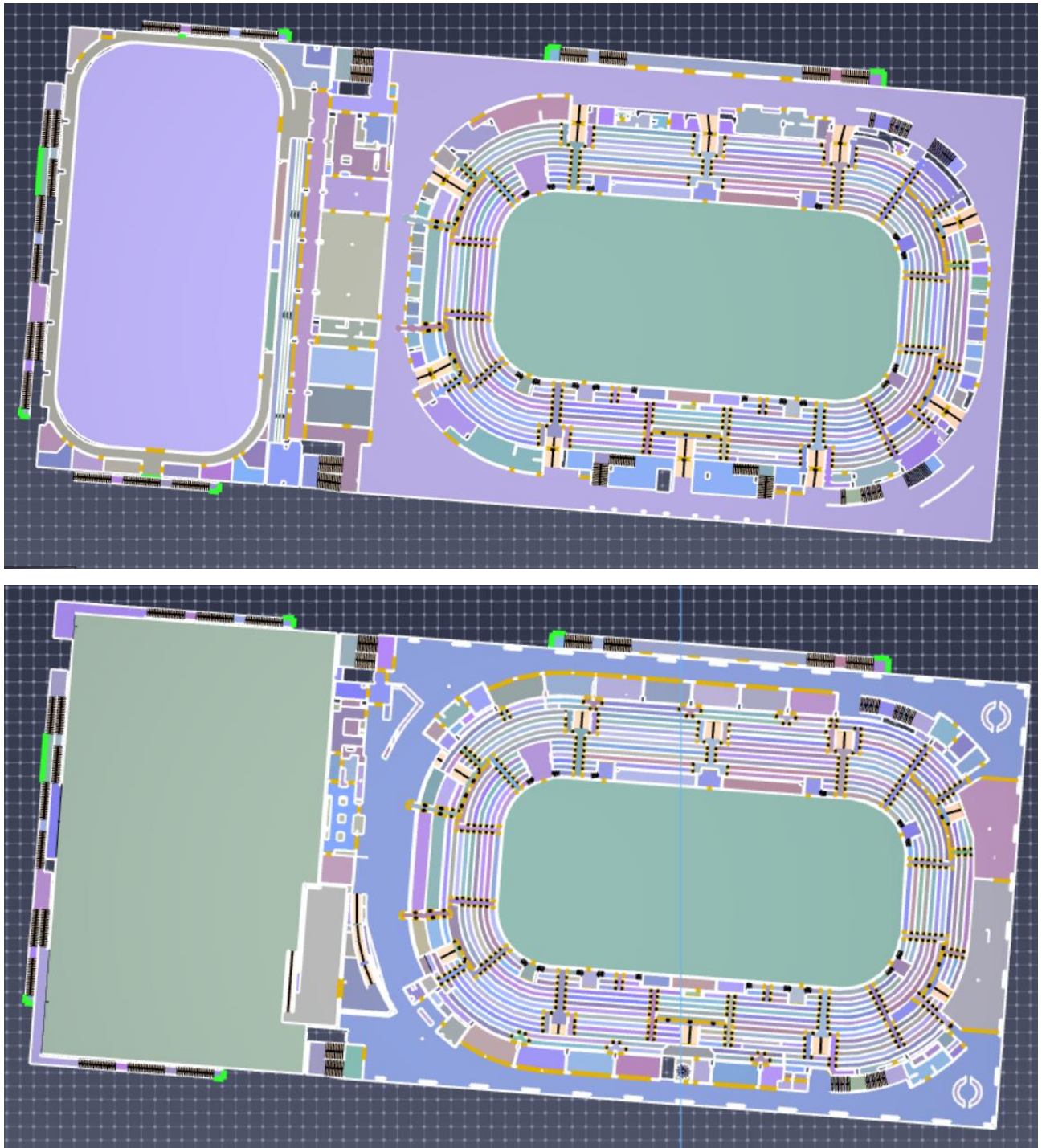
#### **Scenario 5 – Konsert – se på absolutt maksimalt persontall**

I denne vurderingen er det sett på ulike oppsett av maksimalt persontall på isflaten og tribunen i ishallen. Øvrige deler av byggverket forutsettes å ikke være i bruk, foruten plan 1 i treningshallen og taket som har uavhengige rømningsveier. Persontall på taket er derfor ikke medtatt i disse vurderingene. Det er sett på totalt persontall fra 4800 personer til 6000 personer med ulik fordeling mellom antall personer på tribunen og på isflaten. Av isflatens areal på ca. 1650 m<sup>2</sup> er 250 m<sup>2</sup> holdt av som scene. Det er ikke anslått personer på scenen siden de har tilgang til to utganger fra isflaten som ikke øvrige publikum har tilgang til og følgelig vil trolig ikke personer på scenen være dimensjonerende for nødvendig rømningstid. Ved endring i sceneoppsett må nye simuleringer utføres, og det kan bli endring i persontall.

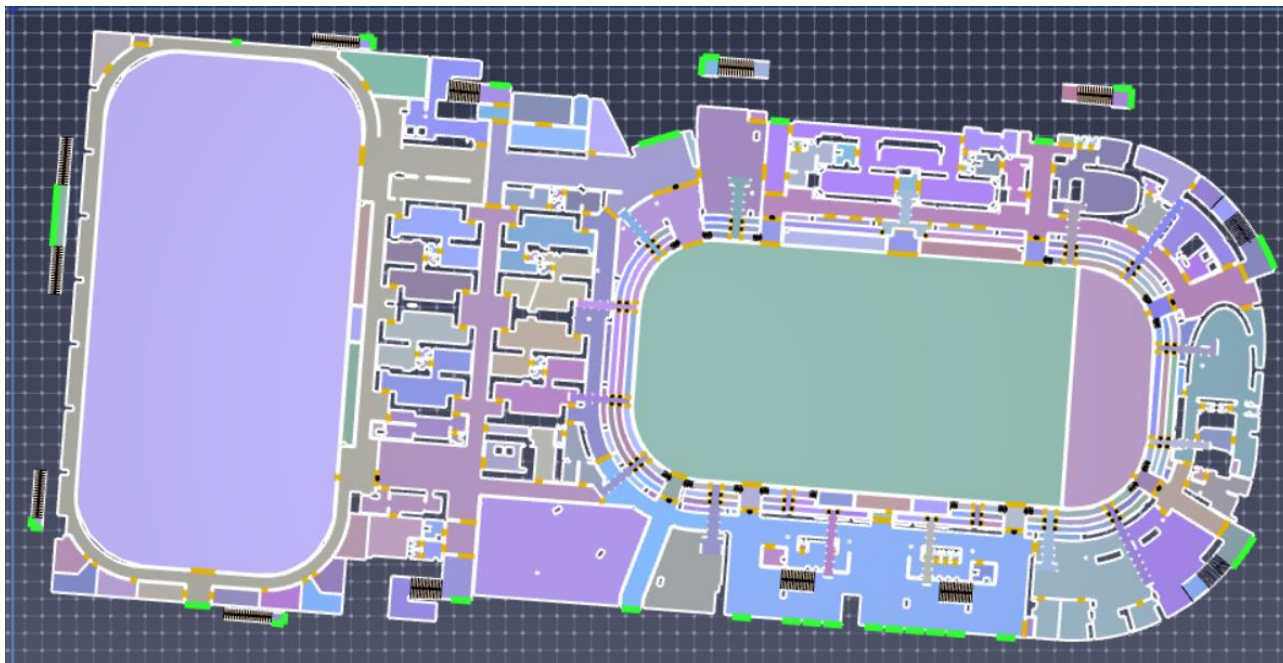
#### ***Modell***

Figur 5 og Figur 6 viser modellene som ble brukt til analyser i Pathfinder. Modellen er basert på import av DWG-filer som er utarbeidet på bakgrunn av plantegninger fra Griff Arkitektur mottatt den 2.6.2020. Lysegrønne streker illustrerer tilgjengelige utgangsdører fra bygget.





Figur 5: Modell for rømningsmodellering av ishockeykamp og trening (Scenario 1 og 2), plan 1-3



Figur 6: Modell for rømningsmodellering av konsert (Scenario 3-5), plan 1. Plan 2 og 3 er tilsvarende som vist i figur 4.

### **Personegenskaper/-oppførsel**

Personer kan settes inn i modellen enten som enkeltindivider eller som grupper. Hver enkelt person blir tildelt en unik id (seed). Denne id'en blir linket til en personprofil slik at personen får faste parametere. Person-profilen (profile) gjør det mulig å definere ulike personers egenskaper, som f.eks. prioritering, maksimale hastighet, skulderbredde, høyde, etc.

Når en legger til en gruppe med personer i Pathfinder er det mulig å velge fordeling av personer i henhold til profiltypen. En kan f. eks. spesifisere at gruppen skal bestå av 50 % kvinner (< 30 år) og 50 % menn (30-50 år). Disse profiltypene må derimot defineres manuelt. I disse simuleringene er det benyttet default-verdiene for alder og kjønn.

Verdiene i personprofilen er angitt i Tabell 1.

Fordelingen av personene er generelt gjort ved å legge til en gruppe med tilfeldig plassering («random»). I scenario 1 og 3 er det for mange personer på hhv. tribunen og gulvet til at Pathfinder klarer en tilfeldig fordeling, så der dette ikke var mulig er det valgt uniform fordeling («uniform spacing») for å få til persontallet.

Tabell 1: Parametere i person- og oppførselsprofilen til Pathfinder

	Parameter	Verdi	Kommentar/henvisning
Karakter- istikk	Prioriteringsnivå	0	Ikke benyttet
	Hastighet	0,6 m/s*	BBRAD 3, Tabell 4 (12)
	Skulderbredde	45,58 cm	Default
Forflyt- ning	Bruke trapper	Ja	Default
	Ignorere dører som kun er enveis	Nei	IR
	Benytte rulletrapper	Nei	IR
Valg av dører/ utganger	Gjeldende rom forflytningstid-faktor	1,0 (konstant)	Default
	Gjeldende rom køtid-faktor	1,0 (konstant)	Default
	Global forflytningstid-faktor	1,0 (konstant)	Default
	Gjeldende dørpreferanse	35,0 % (konstant)	Default
	«Current room travel penalty»	35,0 m	Default
Avanserte parametere	Høyde	1,8288 m	Default
	Aksellerasjonstid	1,1 s (konstant)	Default
	Reduksjonsfaktor	0,7	Default
	Komfortavstand	0,08 m	Default
	Ventetid før rute endres ved kollisjoner	1,0 s	Default
	Responstid før kollisjon	1,5 s	Default
	Saktefaktor	0,1	Default
	Avstand til vegger	0,15 m	Default
Oppførsel	Kan alle utganger benyttes	Ja	Goto Any Exit-behavior
	Utsatt tid fra simuleringstart til rømningsstart	0,0 s	Reaksjonstid er ikke medtatt i simuleringen
	Utganger	Alle	



## 4 Resultater

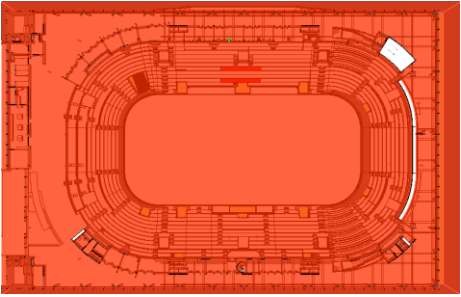

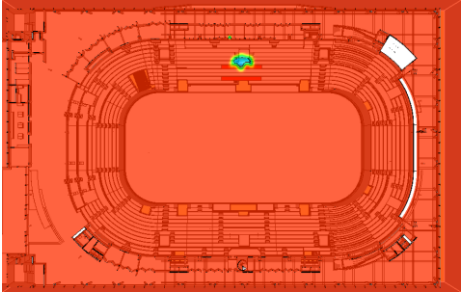

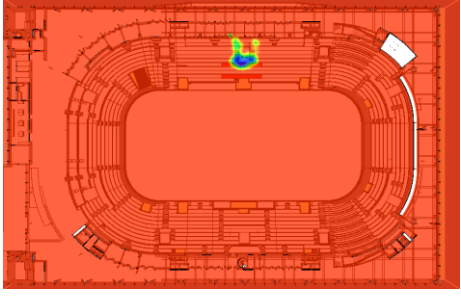



### 4.1 Sikt, plan 3

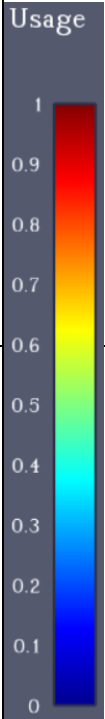
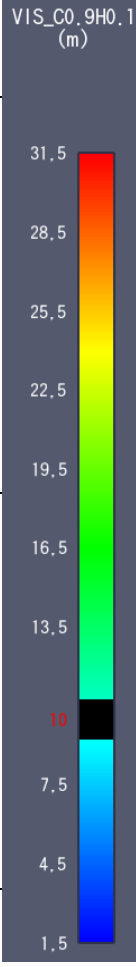
Resultatene fra Pyrosim (brannsimulering) viser sikt ift røykfylling, hvor kritisk sikt er < 10 meter. Grenseverdien er derfor satt til 10 meter, dvs. det som er på innsiden av de sorte linjene (vises blått i resultater) viser områder med sikt lavere enn 10 meter. Utsnittet viser sikt ved to meters høyde på plan 3.

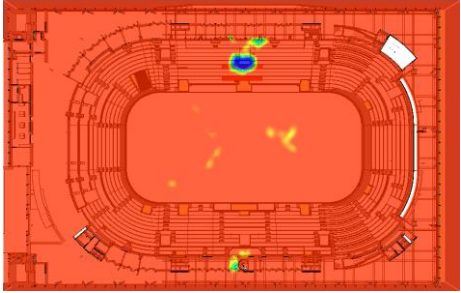
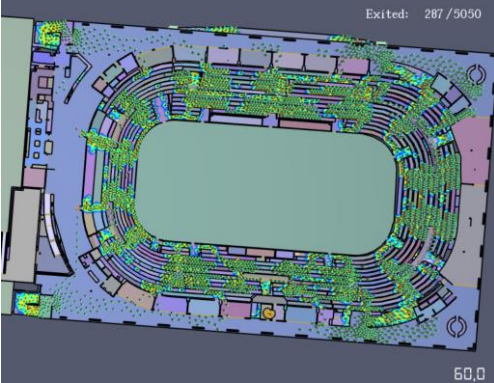
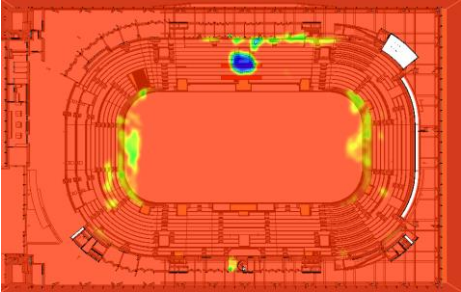
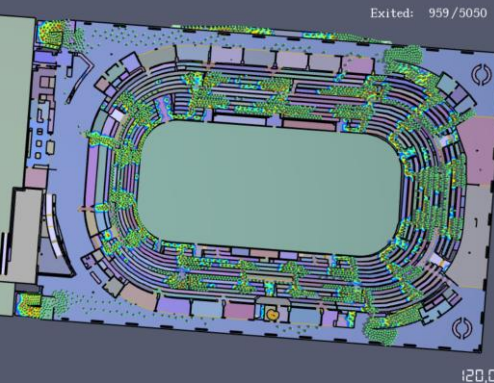
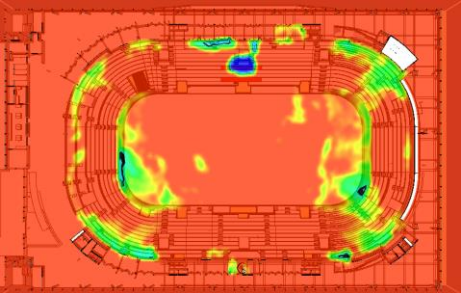

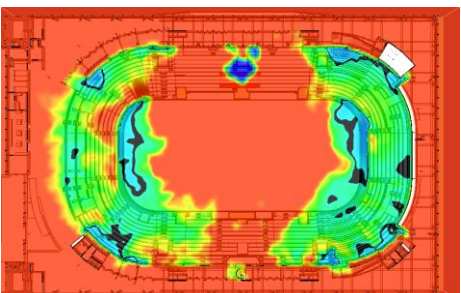
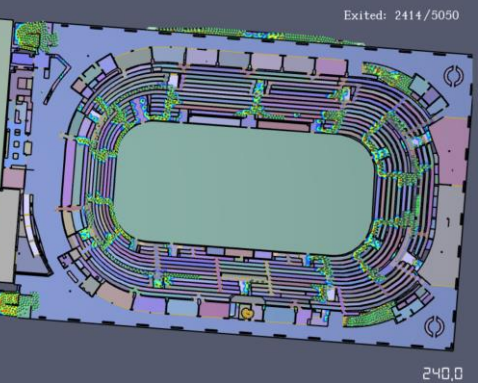
Resultatene fra Pathfinder (rømningssimulering) viser plasseringen av personene i de ulike scenariene på samme tid som brannsimuleringen. Det vil da være enkelt å sammenligne om kritiske forhold har oppstått eller ikke. Det er tatt hensyn til en deteksjonstid på ca. 2 minutter og en reaksjonstid på ca. 1 min, slik at rømningssimuleringen er 3 minutter forskjøvet sammenlignet med brannsimuleringen (9) (10). I tabellene under er det kun sett på rømning fra plan 3 opp mot sikten, rømningstid fra øvrige etasjer er angitt i kapittel 4.4. Det er ikke sett på rømning opp mot sikt i plan 3 for scenario 3 (Konsert med tilskuere på gulvet) fordi all publikum er i 1. etasje og der vil det ikke oppstå kritiske situasjoner mht. sikt.

For å få så store bilder som mulig og enkelst mulig sammenligbarhet mellom resultatene i tabellene under, er delen over treningshallen klippet bort (og dermed personer på taket). Personer på taket har uavhengige rømningsveier av andre arealer i bygningen og er ikke dimensjonerende for den nødvendige rømningstiden.

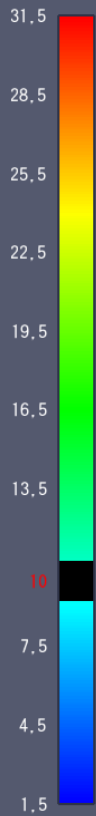
4.1.1 Sammenligning av sikt med rømning fra ishockeykamp med fulle tribuner (scenario 1)

Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, ishockeykamp med fulle tribuner, scenario 1)
0  VIS_CO_9H0.1 (m)		
1		
2		
3		 <p>Rømnings simuleringen begynner 3 minutter etter brannsimuleringen for å ta hensyn til deteksjonstid og reaksjonstid.</p>

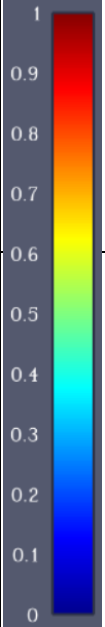


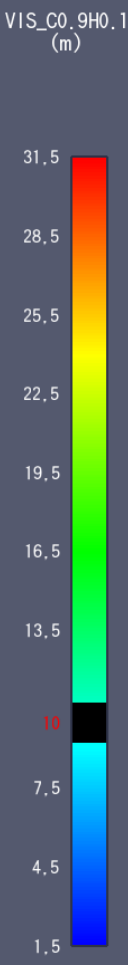
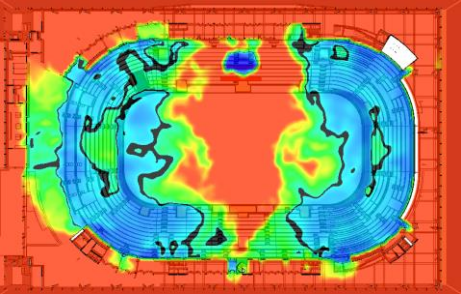
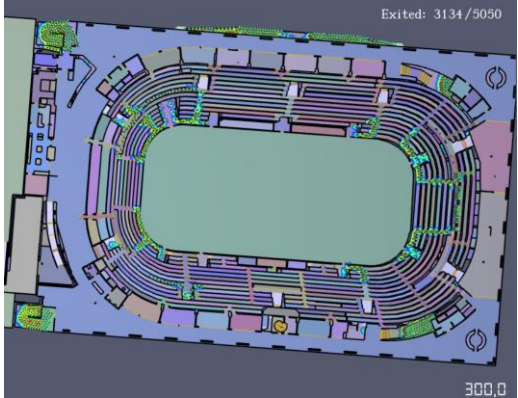
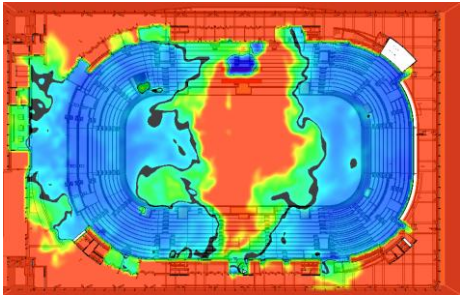

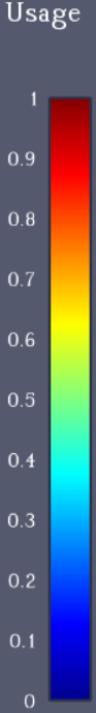
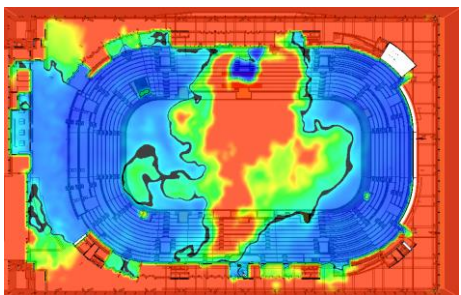
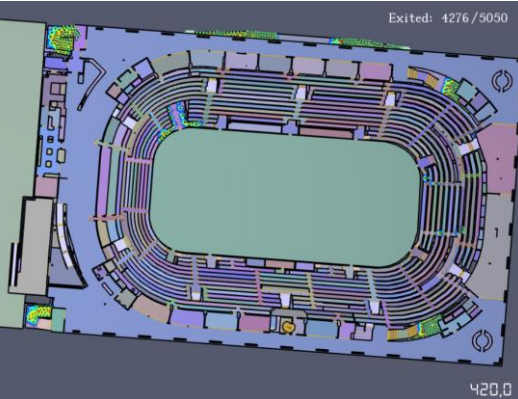
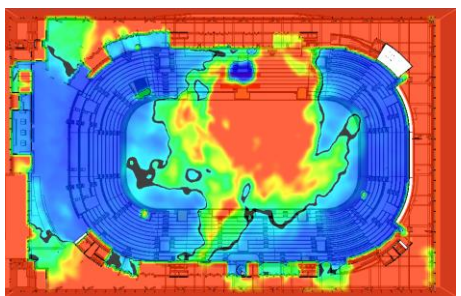
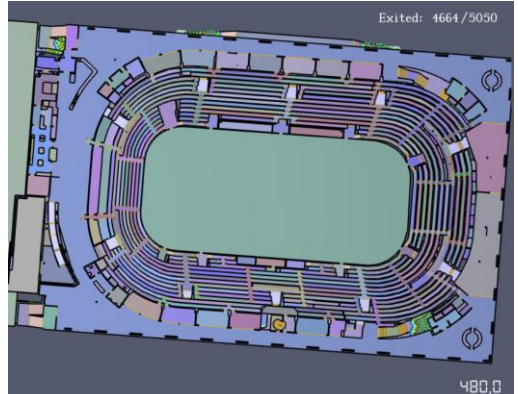
Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, ishockeykamp med fulle tribuner, scenario 1)
4		
5		
6		 <p data-bbox="823 1473 1378 1541">Etter ca. 6 minutter og 55 sek fra brannstart er det ingen personer igjen på tribunen i plan 3.</p>
7		

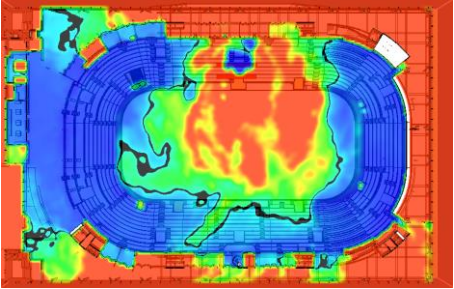
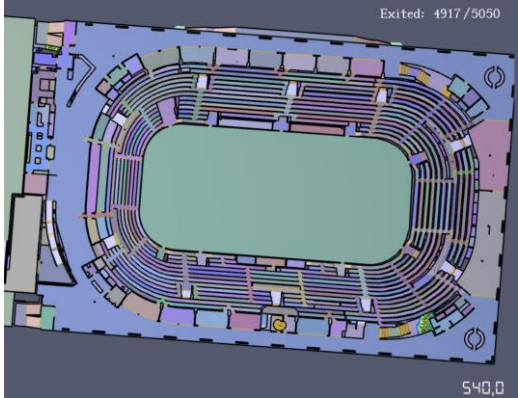
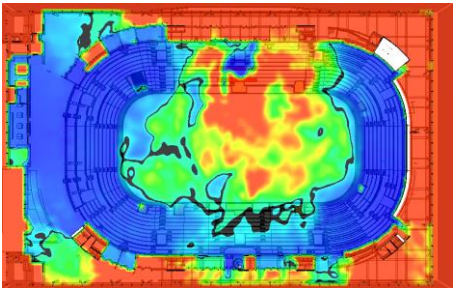
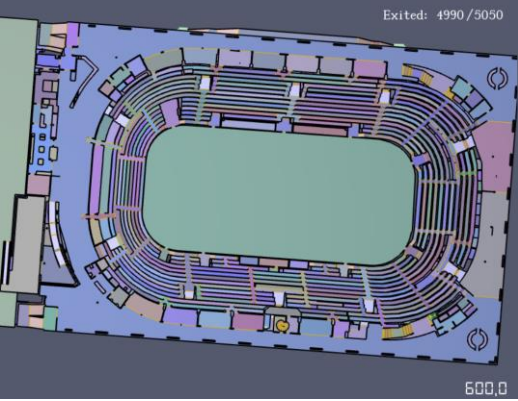
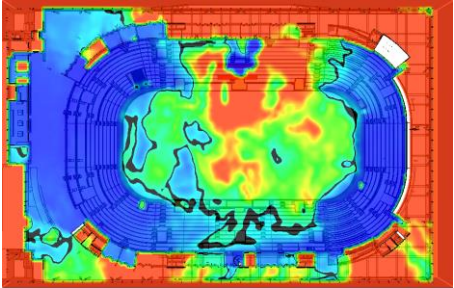

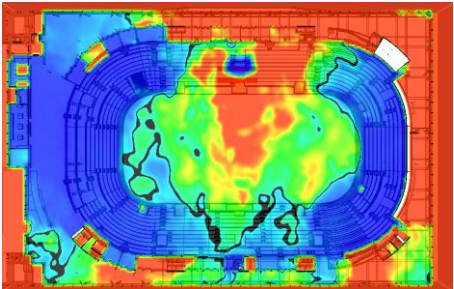

VIS\_CO\_9H0.1 (m)

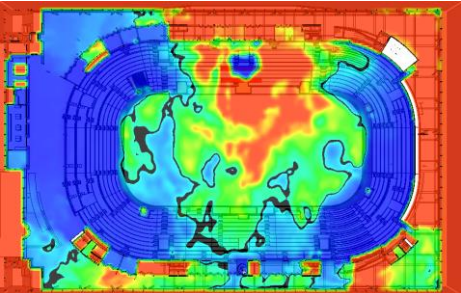
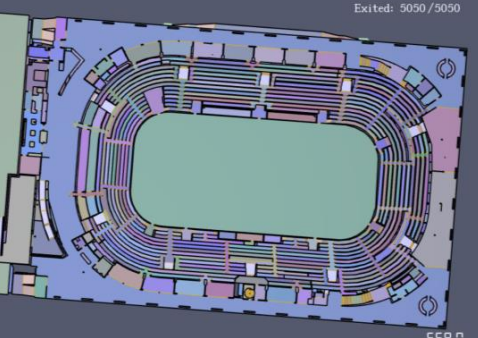
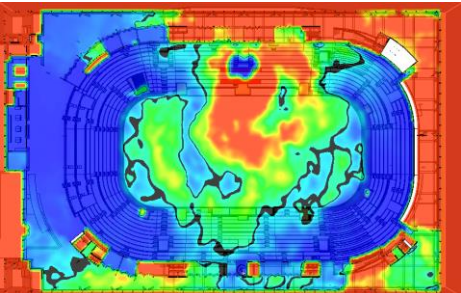
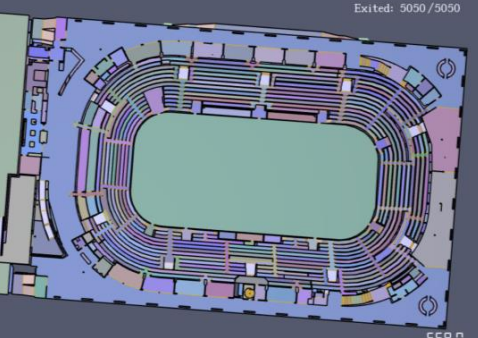
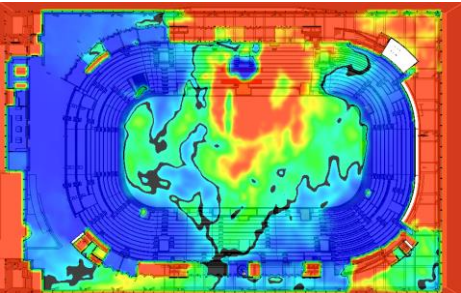
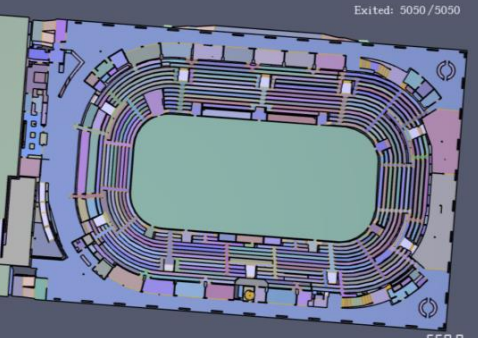
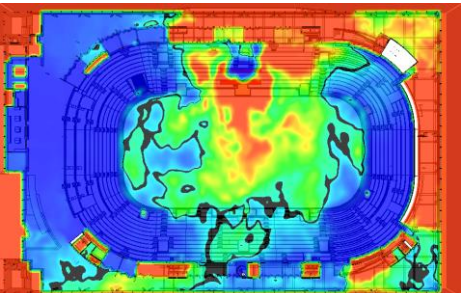
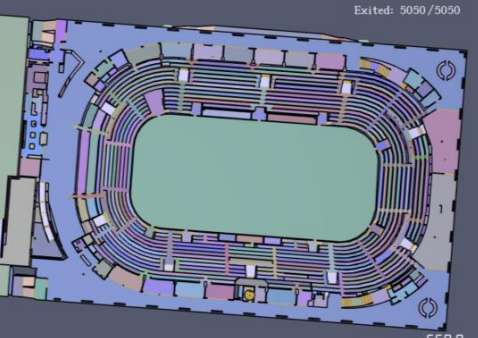
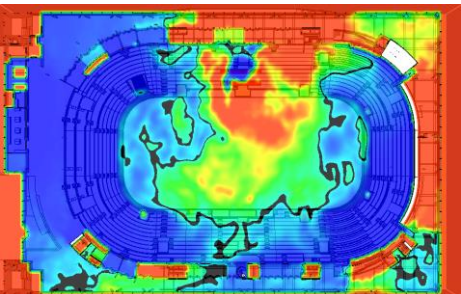
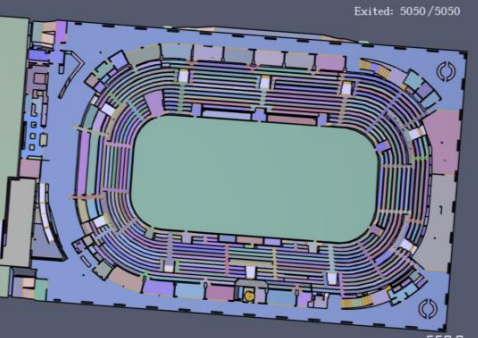


Usage



Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, ishockeykamp med fulle tribuner, scenario 1)	
<p>8</p> <p>VIS_CO.9H0.1 (m)</p> 		 <p>Etter ca. 8 minutter og 55 sekunder fra brannstart er alle personer i 3. etasje enten i interntreppen eller i rømningsstrapper (ingen igjen i etasjen).</p>	
<p>9</p>			<p>Usage</p> 
<p>10</p>			
<p>11</p>			

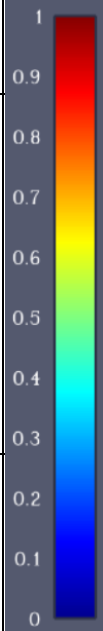
Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, ishockeykamp med fulle tribuner, scenario 1)	
12  VIS_CO_9H0.1 (m)  31.5 28.5 25.5 22.5 19.5 16.5 13.5 10 7.5 4.5 1.5			
			Usage 1 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0
		 <p data-bbox="823 1514 1286 1581">Etter ca. 11 minutter og 8 sekunder er alle personene ute av bygningen</p>	
			

Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, ishockeykamp med fulle tribuner, scenario 1)	
16			
17			
18			
19			
20			

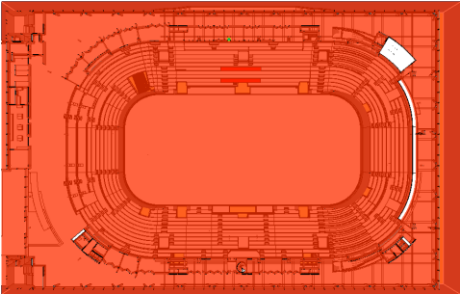

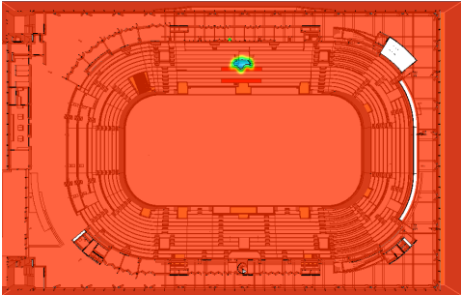

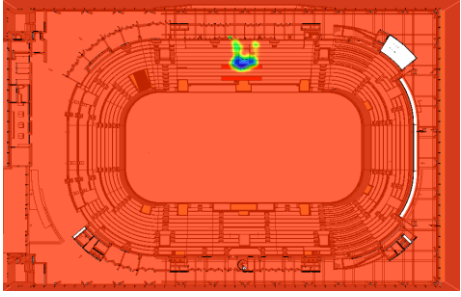



VIS\_CO\_9H0.1 (m)



Usage



4.1.2 Sammenligning av sikt med rømning når begge isflater er i bruk (scenario 2)

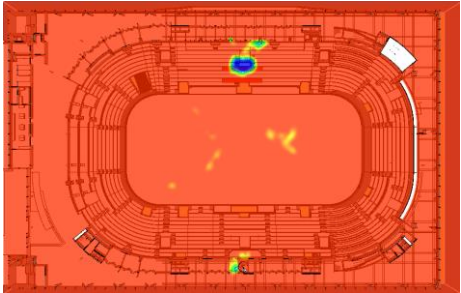
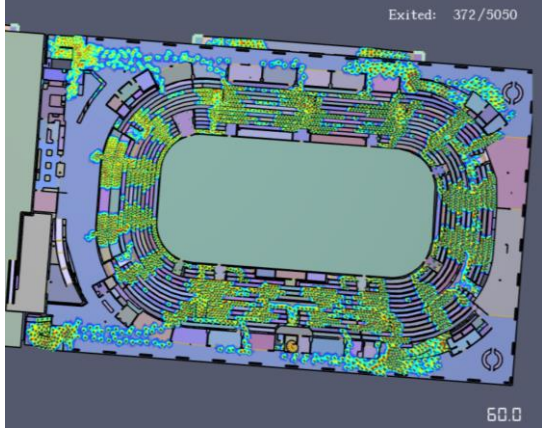
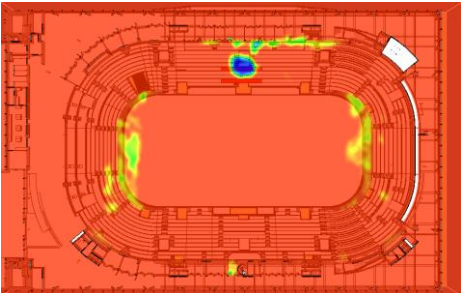
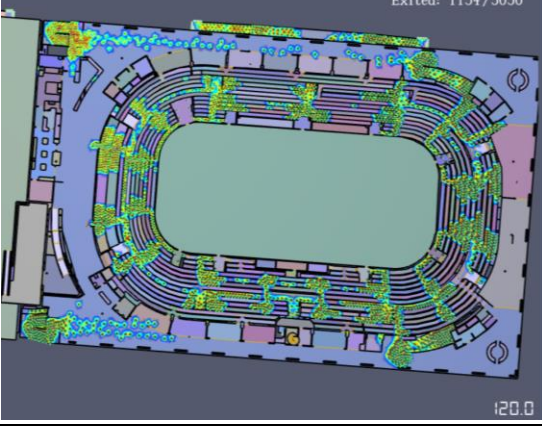
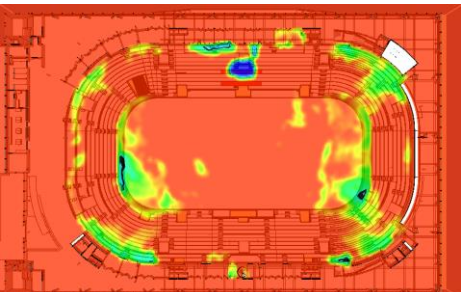
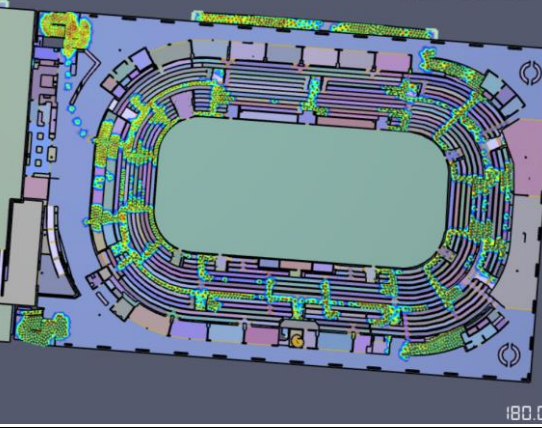
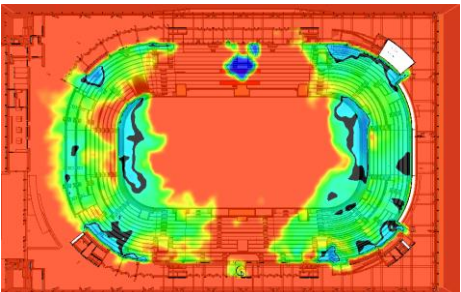
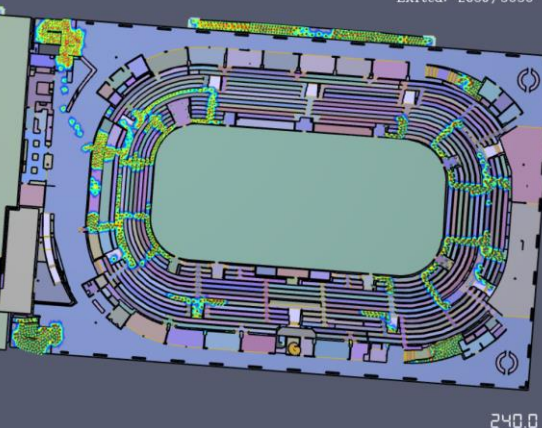
Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømningssimulering, begge isflater i bruk, scenario 2)
0		
1		
2		
3		 <p data-bbox="823 1906 1385 2004">Rømningssimuleringen begynner 3 minutter etter brannsimuleringen for å ta hensyn til deteksjonstid og reaksjonstid.</p>

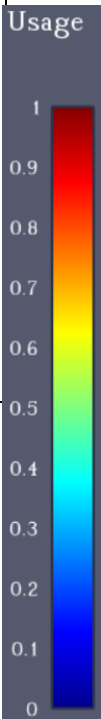
VIS\_CO\_9H0.1 (m)



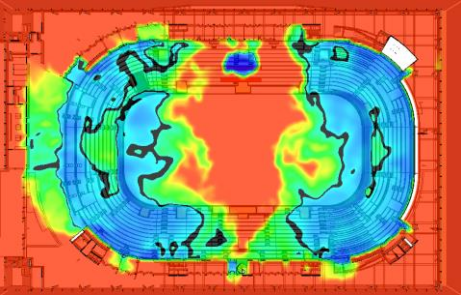
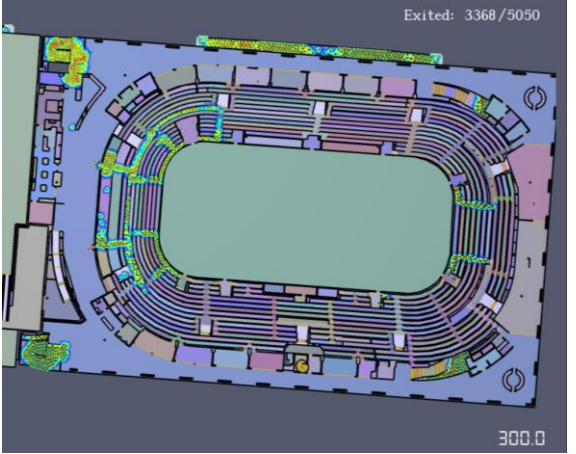
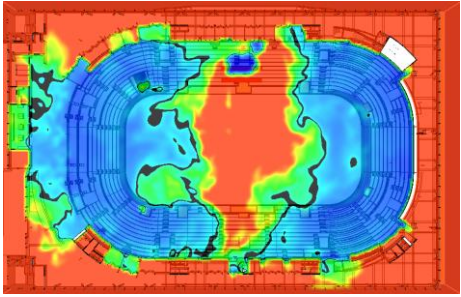
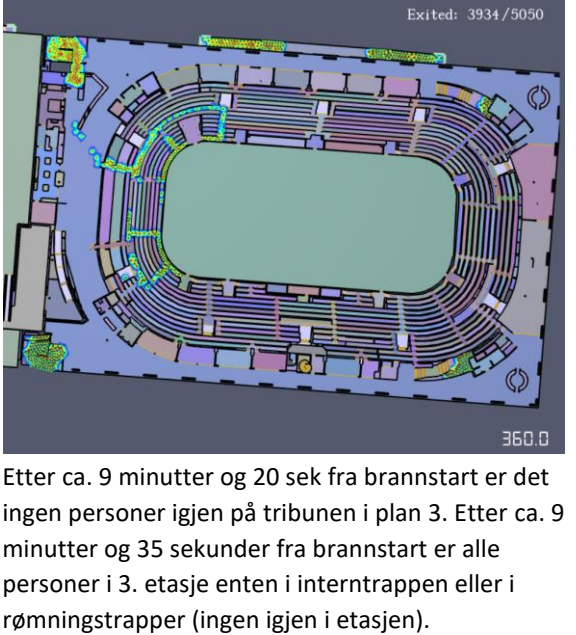
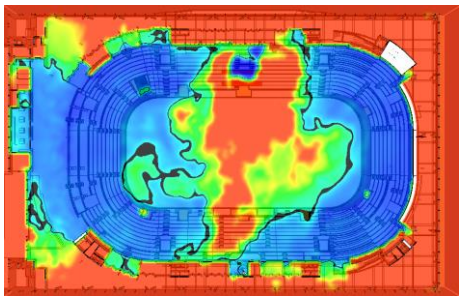
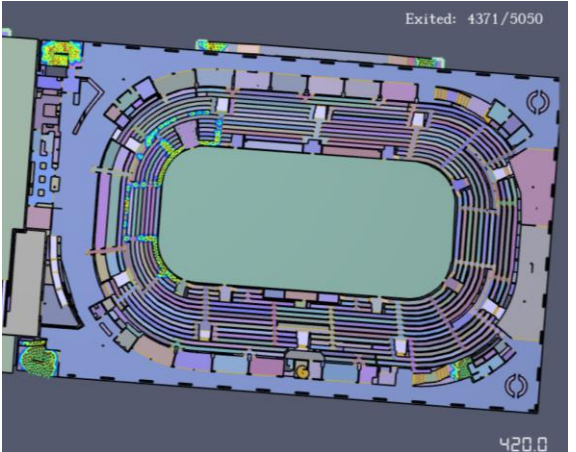
Usage

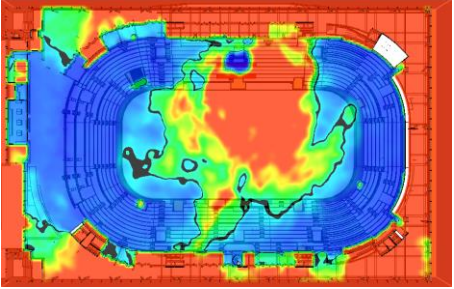
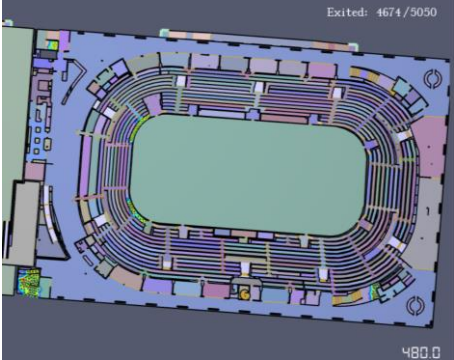
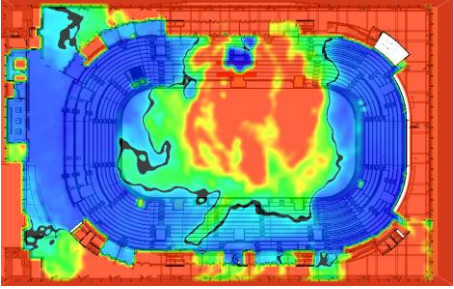
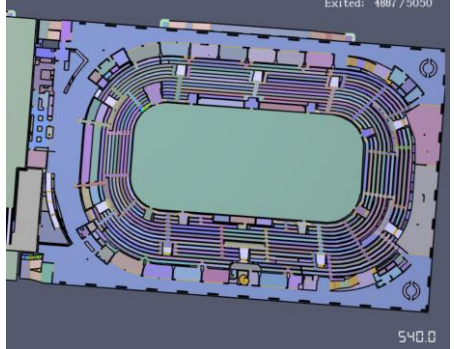
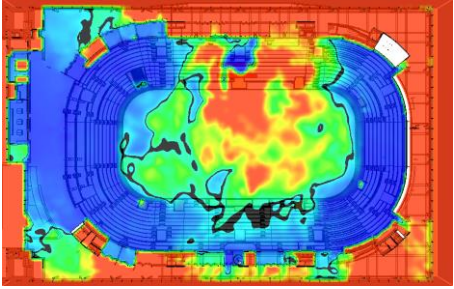

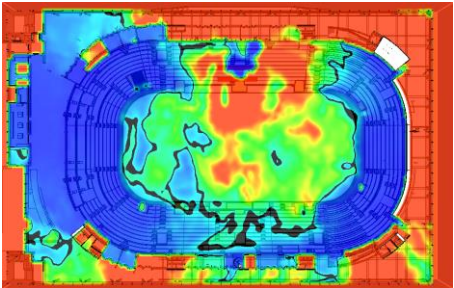



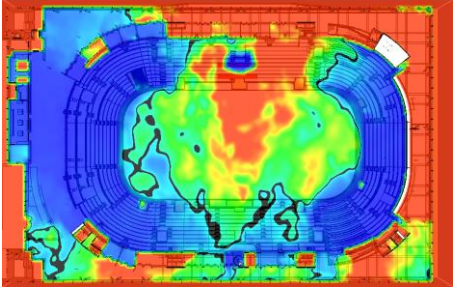

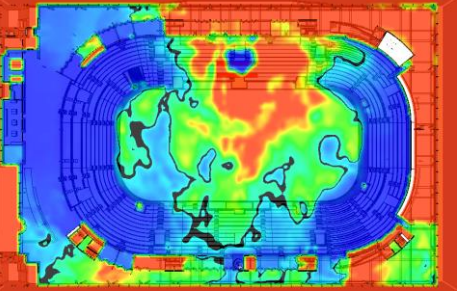
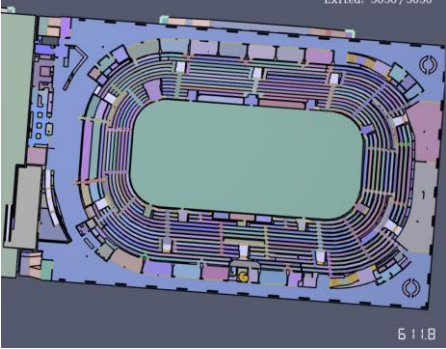
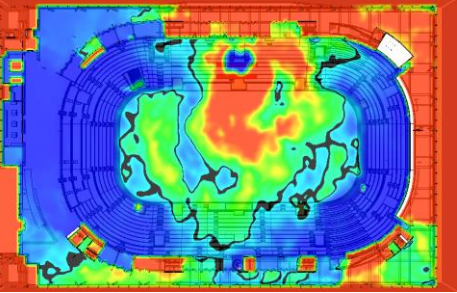
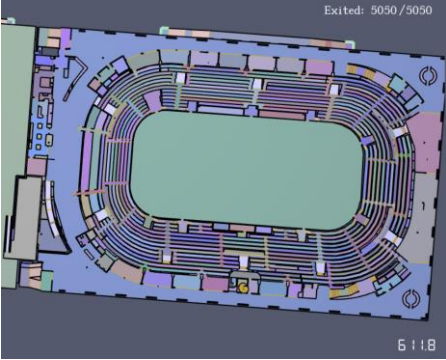
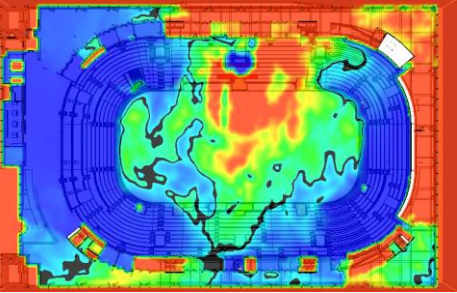
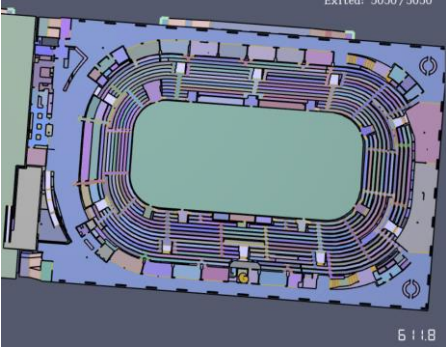
Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, begge isflater i bruk, scenario 2)
4  VIS_CO_9H0.1 (m)  31.5 28.5 25.5 22.5 19.5 16.5 13.5 10 7.5 4.5 1.5		Exited: 372/5050  60.0
		Exited: 1154/5050  120.0
		Exited: 1914/5050  180.0
		Exited: 2658/5050  240.0





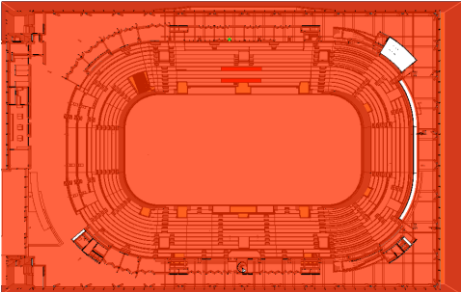
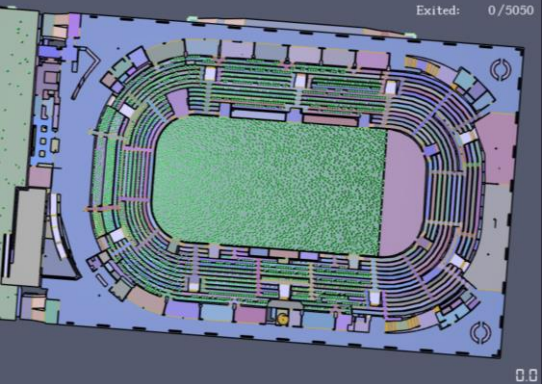
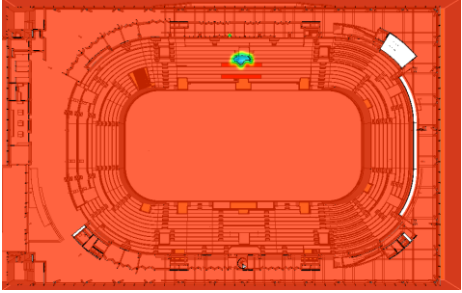
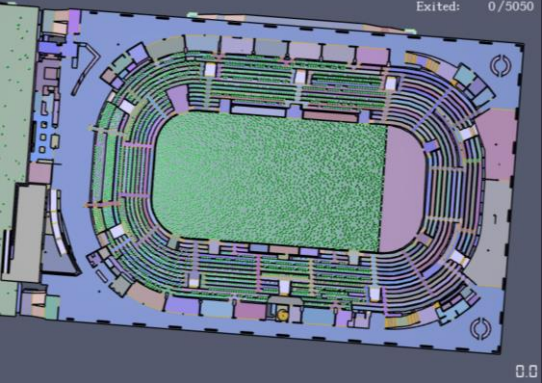
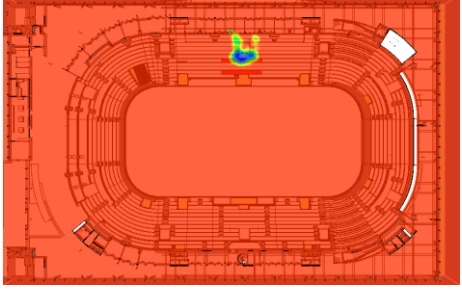
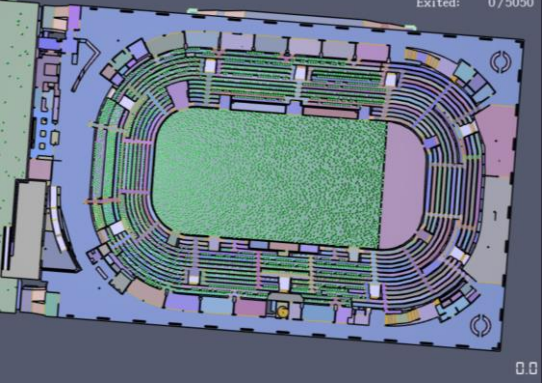
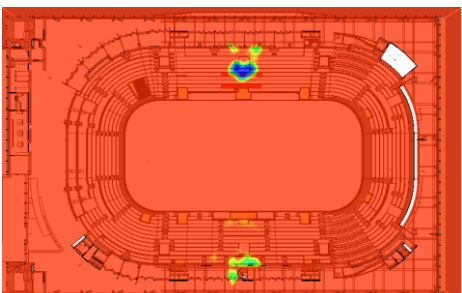
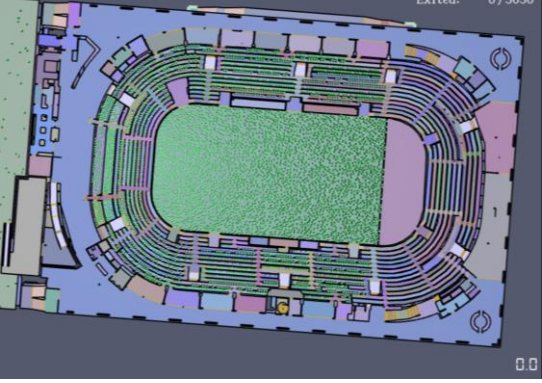
Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, begge isflater i bruk, scenario 2)
8  VIS_CO_9H0.1 (m) 31.5 28.5 25.5 22.5 19.5 16.5 13.5 10 7.5 4.5 1.5		Exited: 3368 / 5050  300.0 Usage 1 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0
9		Exited: 3934 / 5050  360.0 Etter ca. 9 minutter og 20 sek fra brannstart er det ingen personer igjen på tribunen i plan 3. Etter ca. 9 minutter og 35 sekunder fra brannstart er alle personer i 3. etasje enten i interntappen eller i rømningsstrapper (ingen igjen i etasjen).
10		Exited: 4371 / 5050  420.0

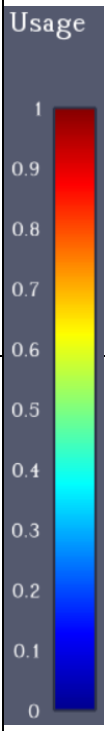
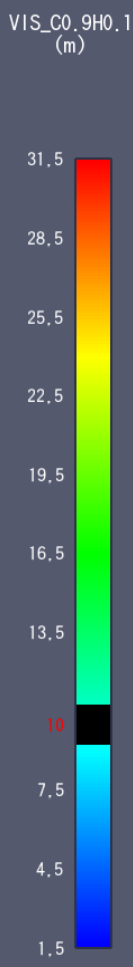
Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, begge isflater i bruk, scenario 2)	
VIS_CO_9H0.1 (m)	11 		
31.5 28.5 25.5 22.5 19.5 16.5 13.5 10 7.5 4.5 1.5	12 		Usage 1 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0
	13 		
	14 		Hele bygningen er tømt etter 14 min. og 12 sek.

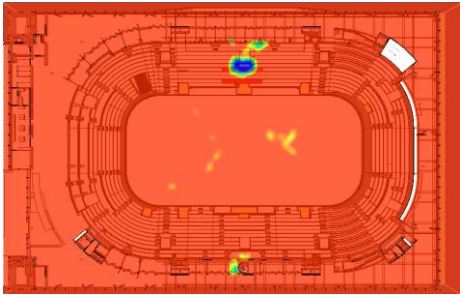
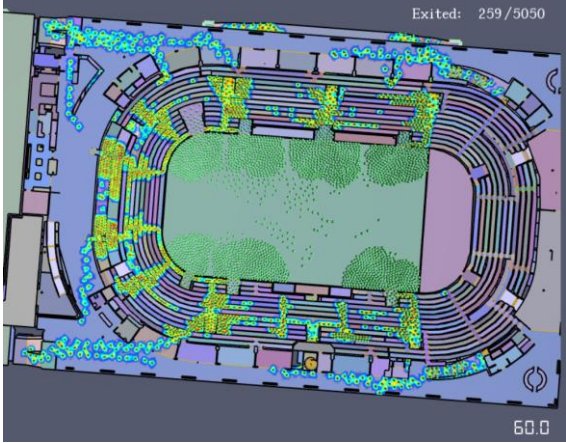
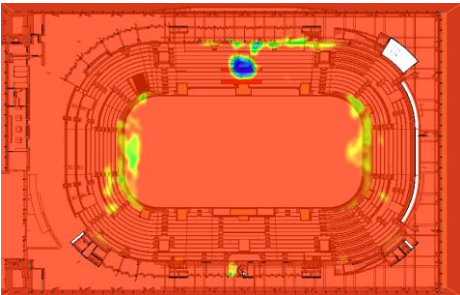
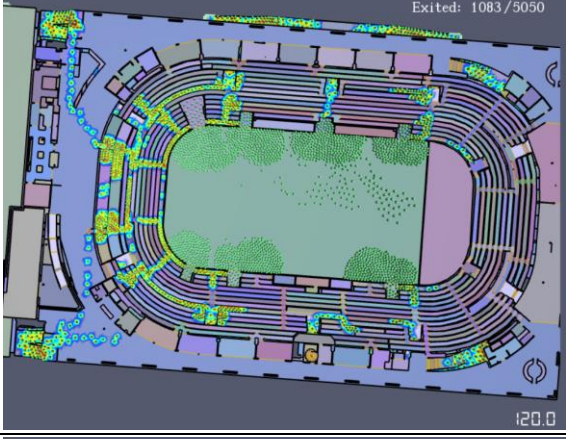
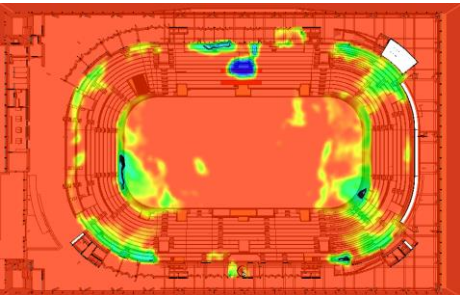
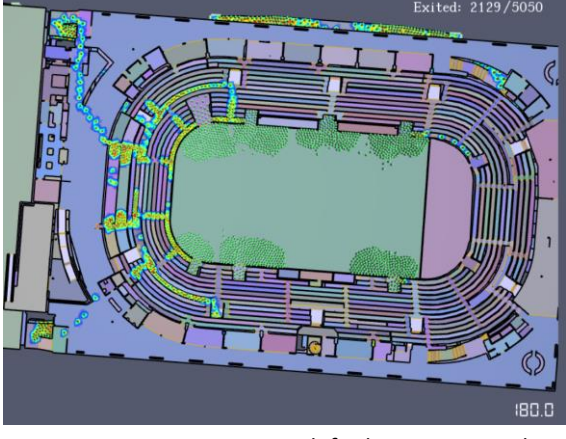
Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, begge isflater i bruk, scenario 2)	
15  VIS_CO_9H0.1 (m)  31.5 28.5 25.5 22.5 19.5 16.5 13.5 10 7.5 4.5 1.5			
16			Usage 1 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0
17			
18			


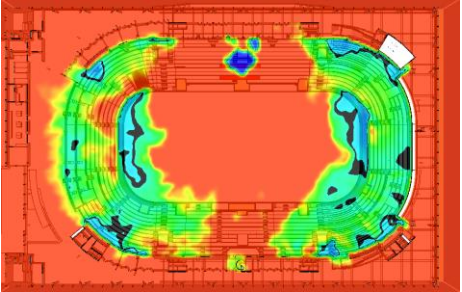
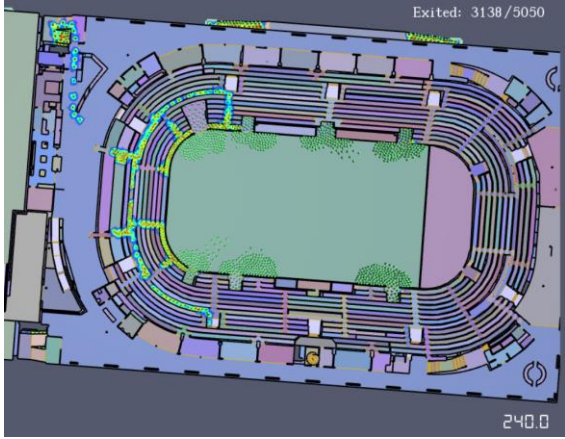
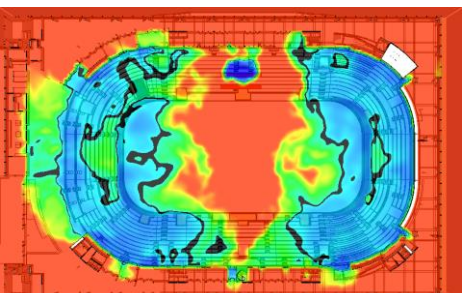
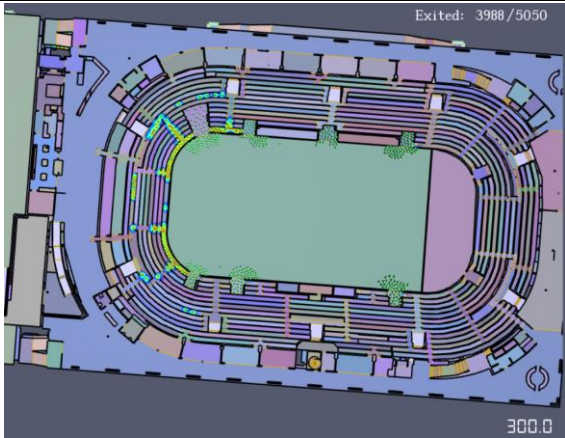
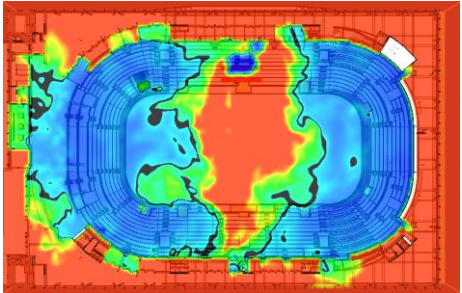

Tid [min]		Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, begge isflater i bruk, scenario 2)
<p>VIS_CO_9H0.1 (m)</p> <p>31.5 28.5 25.5 22.5 19.5 16.5 13.5 10 7.5 4.5 1.5</p>	19		<p>Exited: 5050/5050</p> <p>611.8</p> <p>Usage</p> <p>1 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0</p>
	20		<p>Exited: 5050/5050</p> <p>611.8</p>

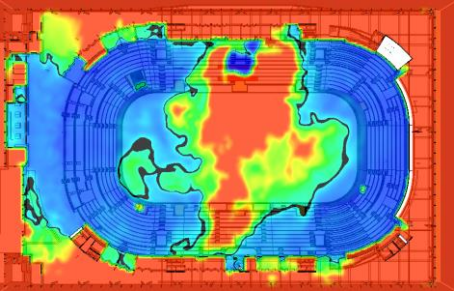
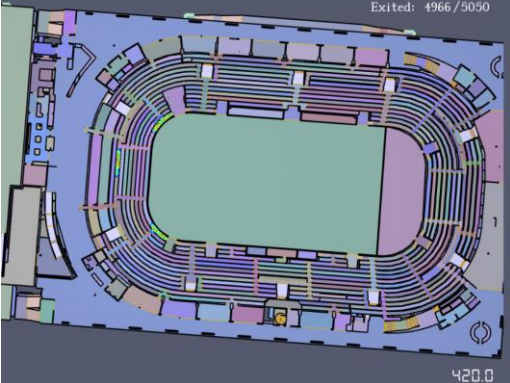
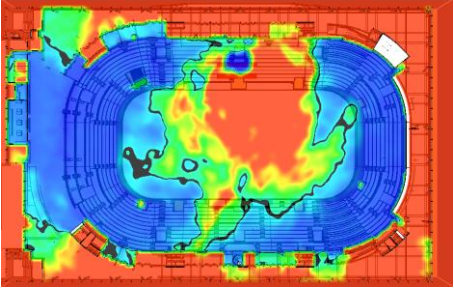
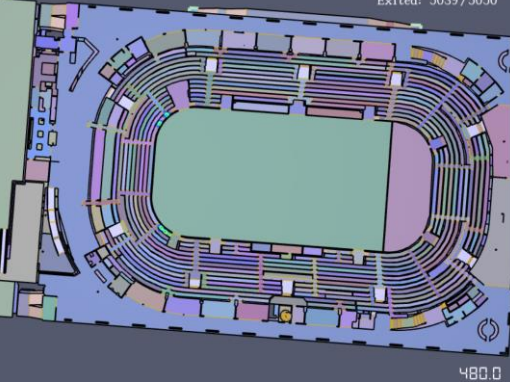
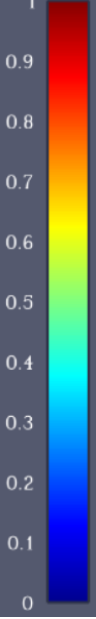
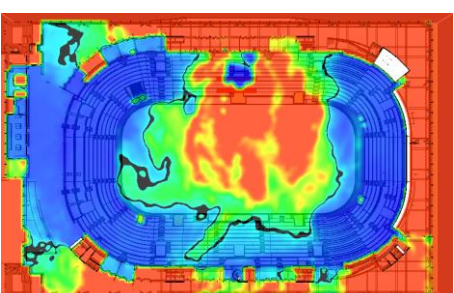

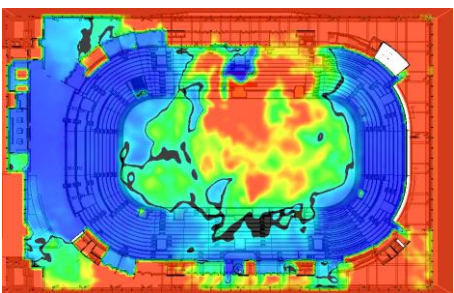
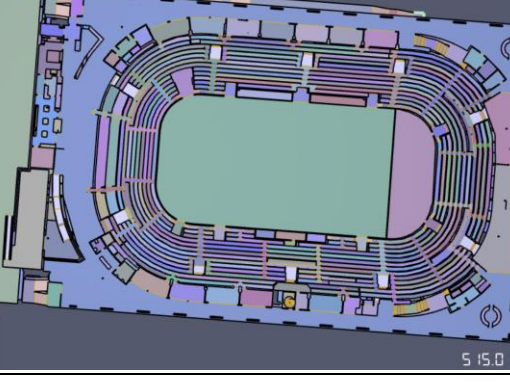
4.1.3 Sammenligning av sikt med rømning fra konsert på gulvet og tribunen (scenario 4)

Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, konsert med publikum på gulvet og tribunen, scenario 4)
0		
1		
2		
3		 <p data-bbox="821 1937 1380 2040">Rømnings simuleringen begynner 3 minutter etter brannsimuleringen for å ta hensyn til deteksjonstid og reaksjonstid.</p>



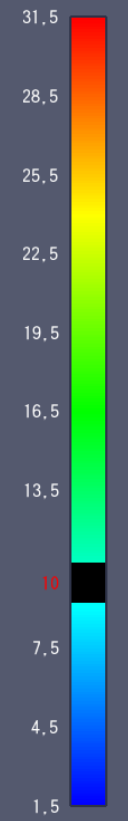
Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, konsert med publikum på gulvet og tribunen, scenario 4)	
4  VIS_CO_9HO.1 (m) 31,5 28,5 25,5 22,5 19,5 16,5 13,5 10 7,5 4,5 1,5			
5			Usage 1 0,9 0,8 0,7 0,6 0,5 0,4 0,3 0,2 0,1 0
6		 <p data-bbox="823 1624 1390 1684">Etter ca. 6 minutter og 55 sek fra brannstart er det ingen personer igjen på tribunen i plan 3.</p>	

Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, konsert med publikum på gulvet og tribunen, scenario 4)
<p>7</p> <p>VIS_CO_9H0.1 (m)</p> 		 <p>Exited: 3138 / 5050</p> <p>240.0</p> <p>Etter ca. 7 minutter og 17 sekunder fra brannstart er alle personer i 3. etasje enten i interntappen eller i rømningsstrapper (ingen igjen i etasjen).</p>
<p>8</p>		 <p>Exited: 3988 / 5050</p> <p>300.0</p>
<p>9</p>		 <p>Exited: 4705 / 5050</p> <p>360.0</p>

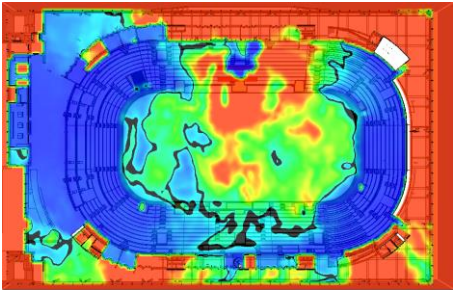

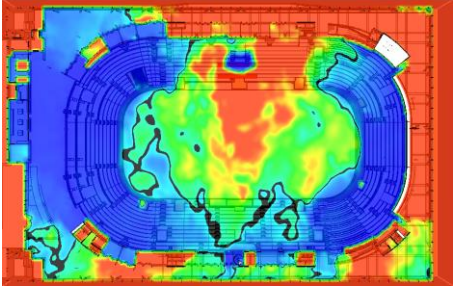
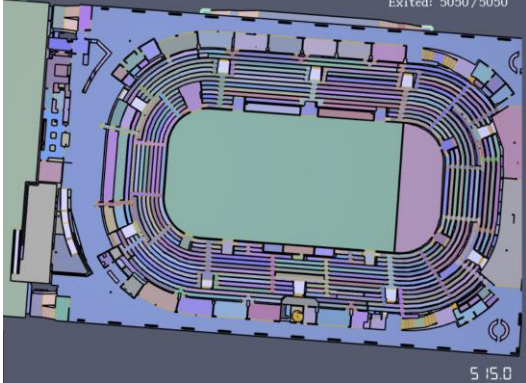
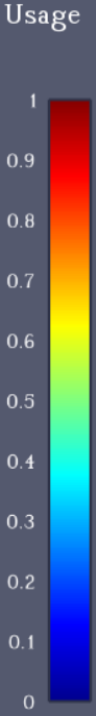
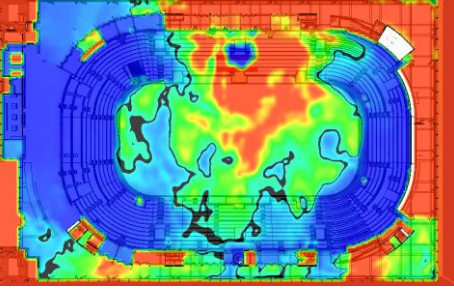
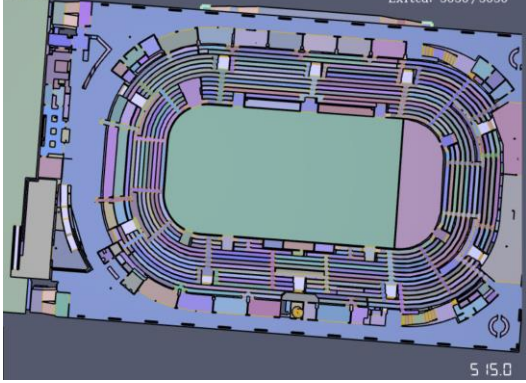
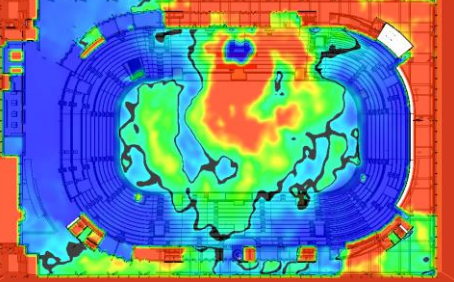

Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, konsert med publikum på gulvet og tribunen, scenario 4)	
10			
11			<p>Usage</p> 
12			
13			

Hele bygningen er tømt etter 11 min. og 35 sek.

VIS\_CO\_9H0.1 (m)



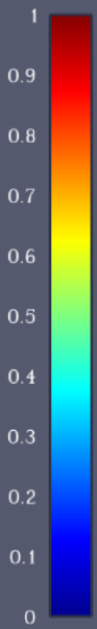


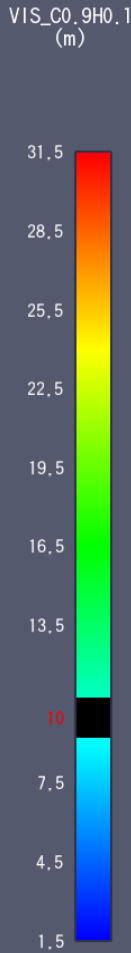
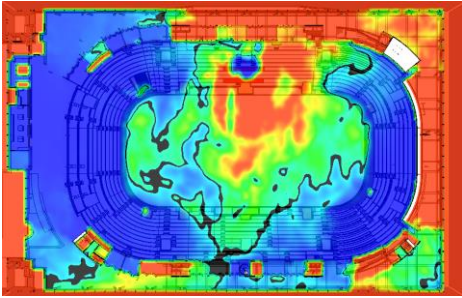

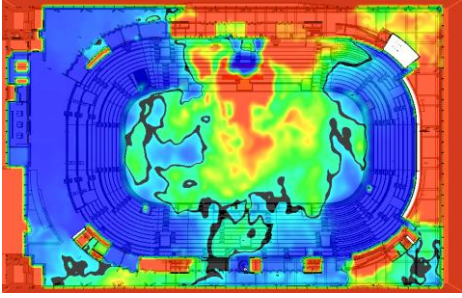

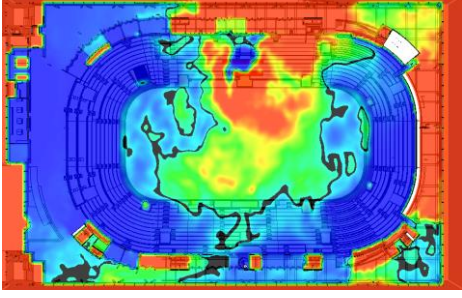
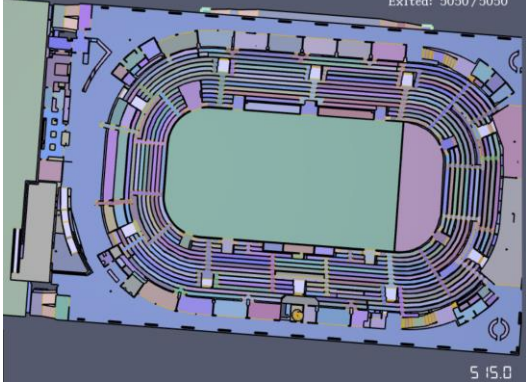
Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, konsert med publikum på gulvet og tribunen, scenario 4)	
14			
15			
16			
17			

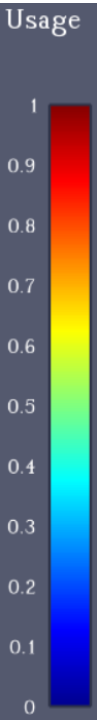
VIS\_CO\_9H0.1  
(m)



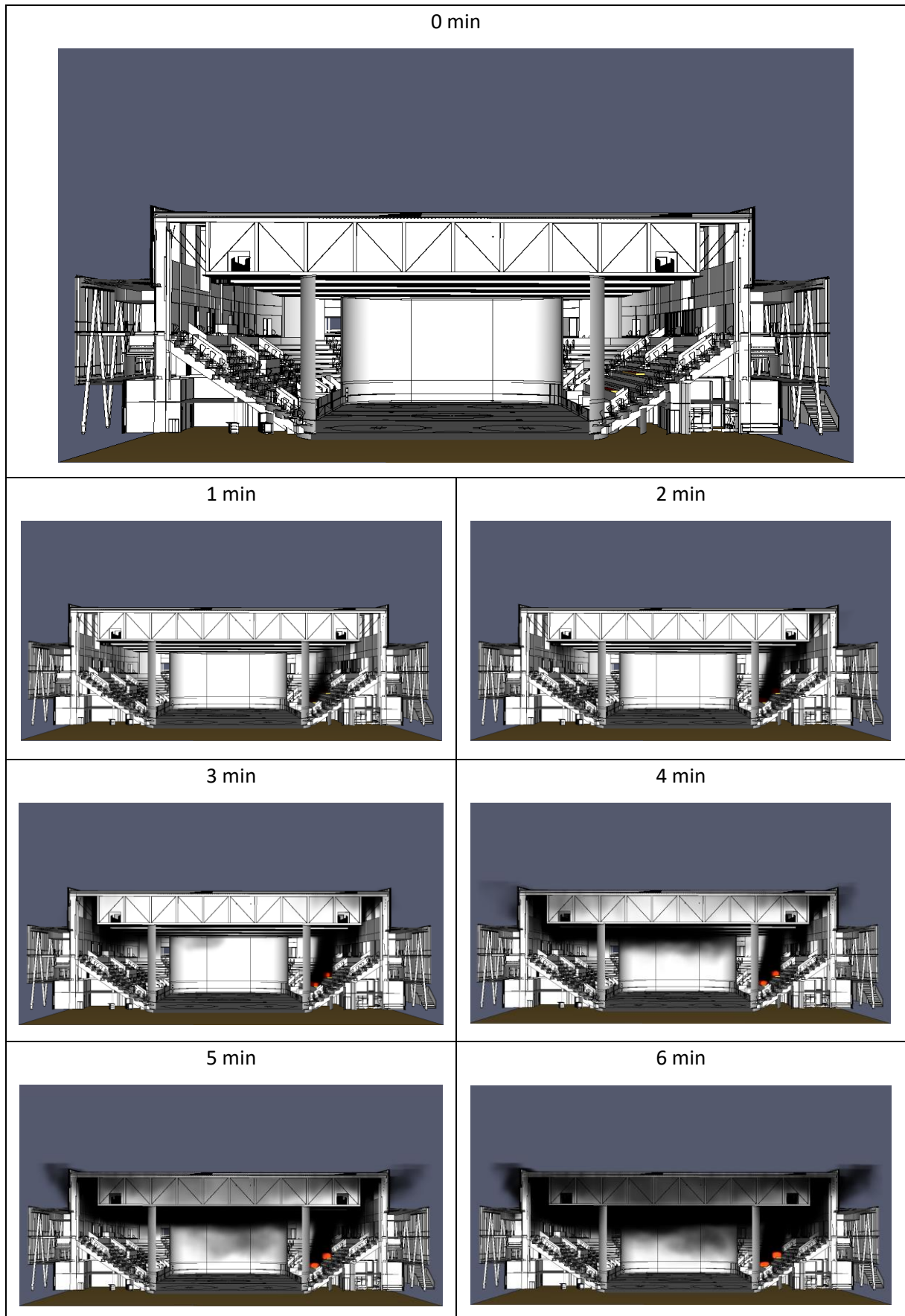
Usage

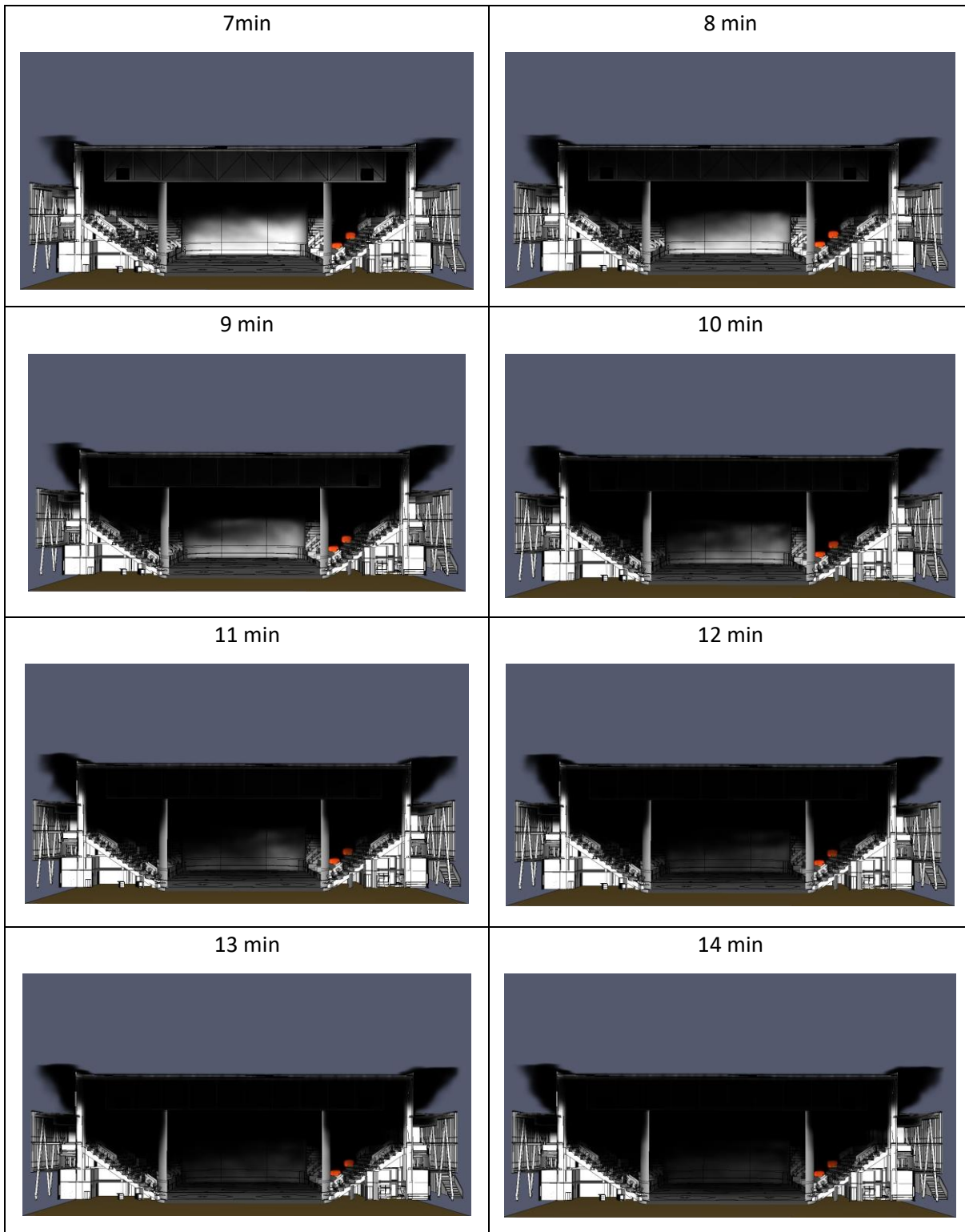


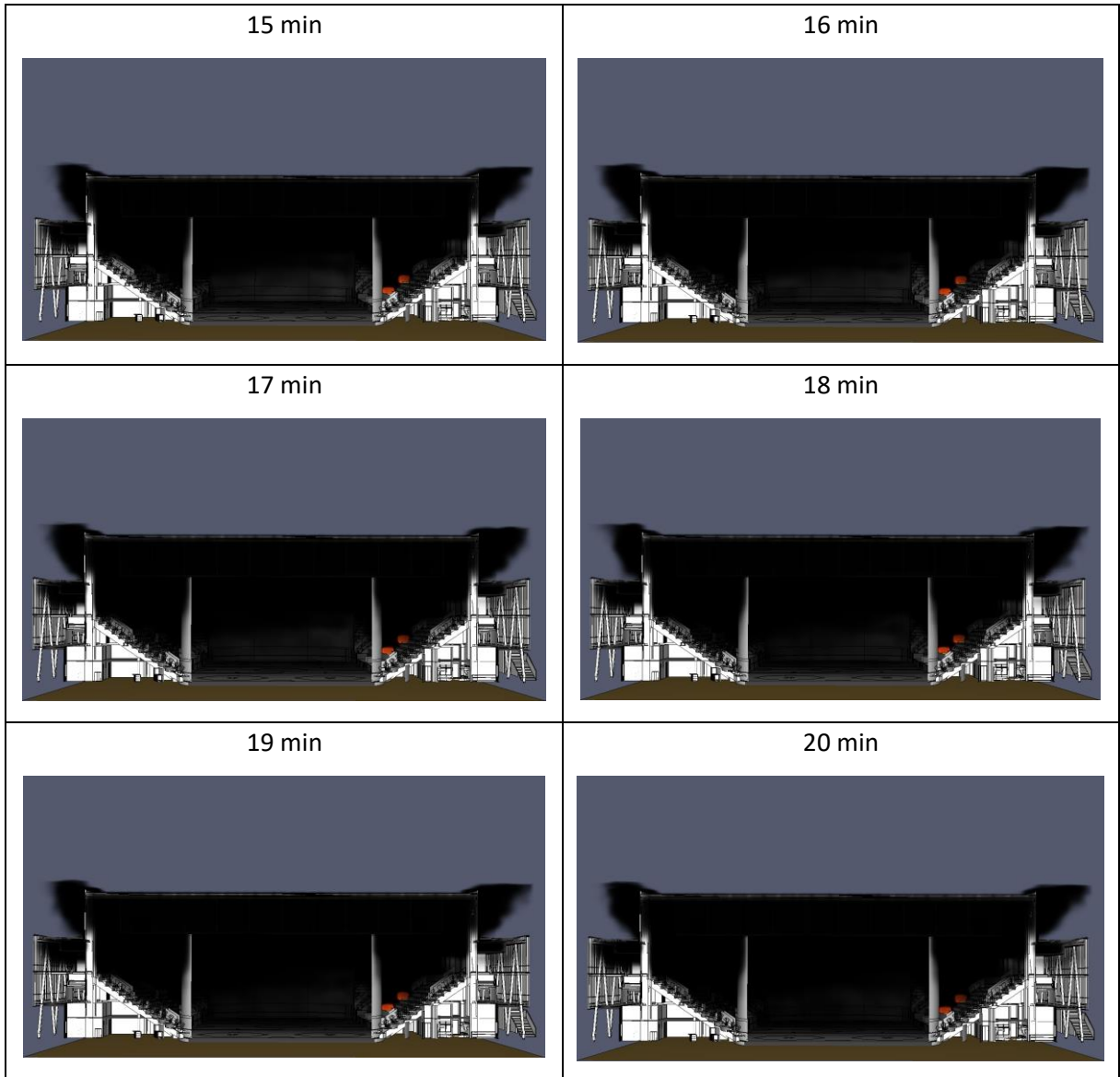
Tid [min]	Pyrosim (brannsimulering)	Pathfinder (rømnings simulering, konsert med publikum på gulvet og tribunen, scenario 4)
<p>VIS_CO_9H0.1 (m)</p> 	<p>18</p> 	 <p>Exited: 5050 / 5050</p> <p>5 15.0</p>
	<p>19</p> 	 <p>Exited: 5050 / 5050</p> <p>5 15.0</p>
	<p>20</p> 	 <p>Exited: 5050 / 5050</p> <p>5 15.0</p>



## 4.2 Røykfylling

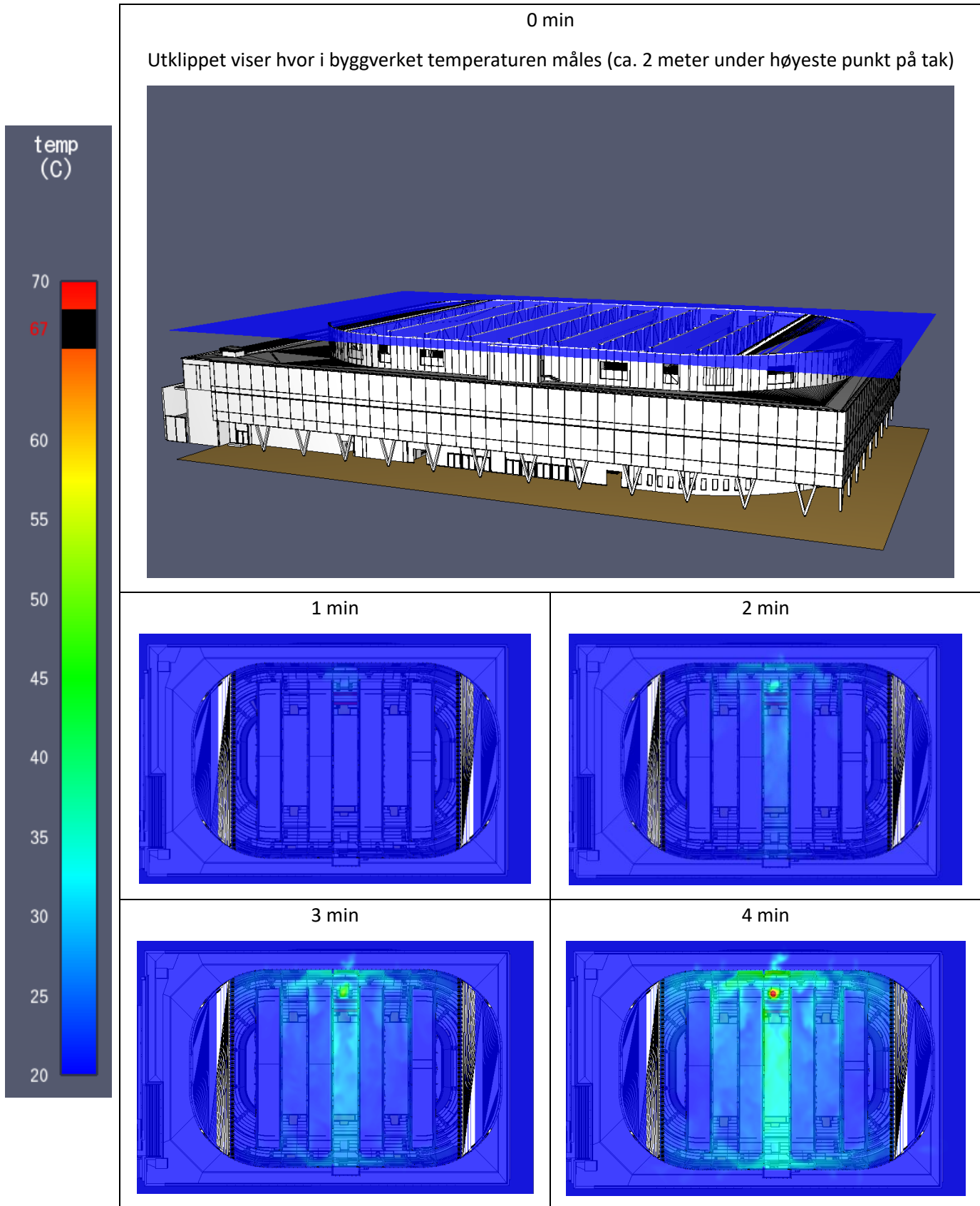


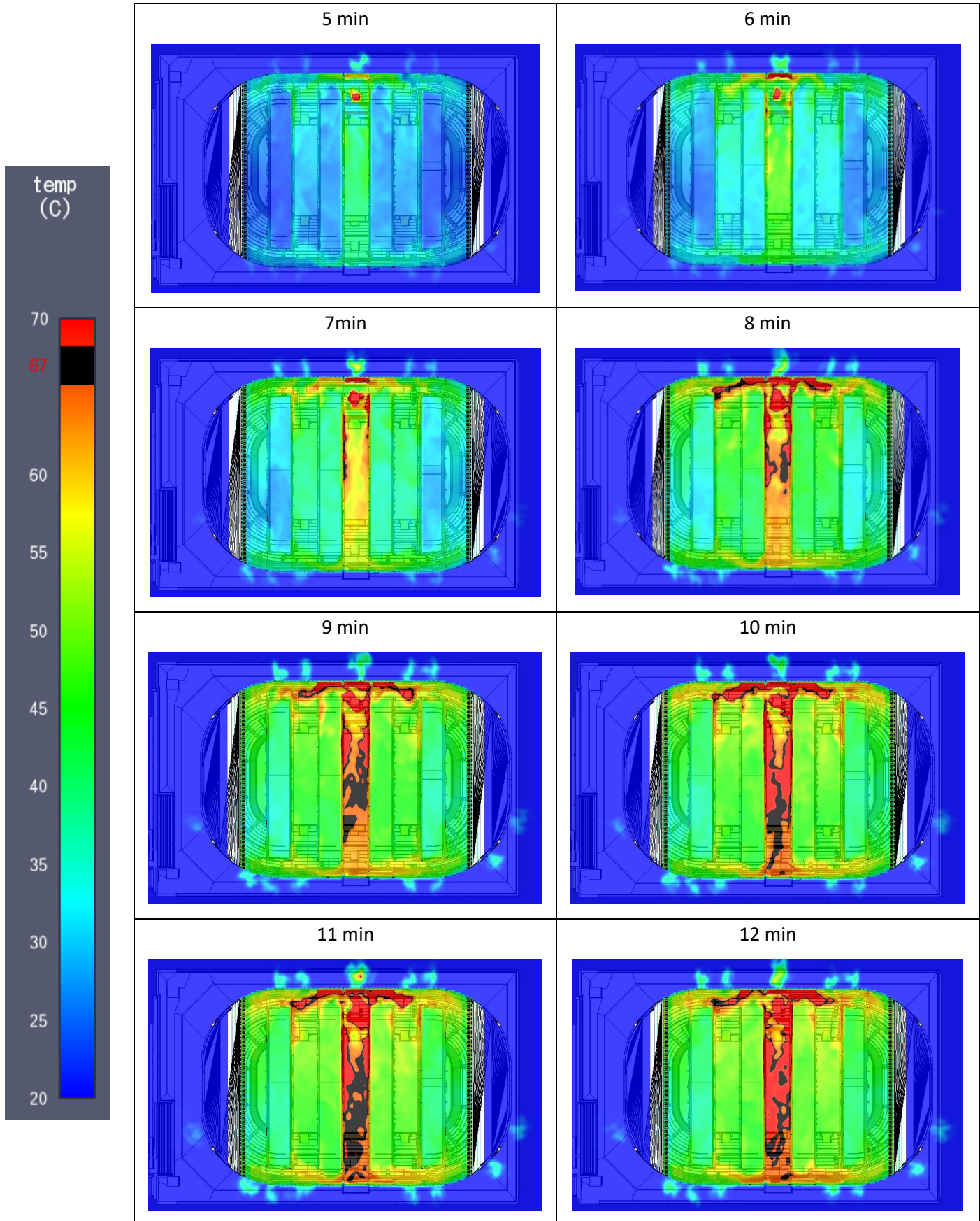


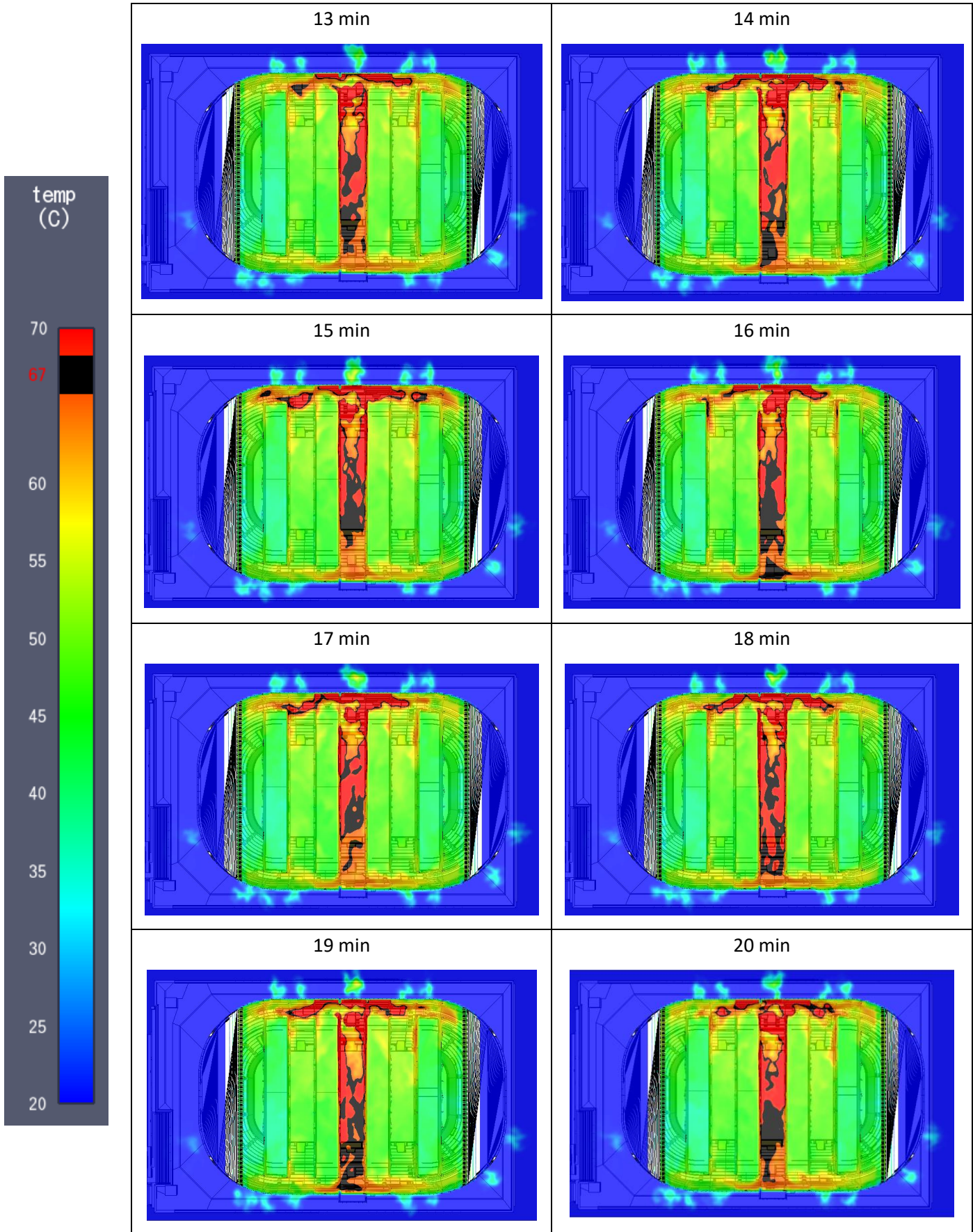


### 4.3 Temperaturer under himling

Resultatene under viser temperaturer som oppstår under himlingen. Simuleringen viser ingen temperaturer som overstiger 70 °C. Grenseverdien er satt til 67 °C, dvs. det som er på innsiden av de sorte linjene (vises rødt i resultater) viser områder med temperaturer høyere enn 67 °C.









#### 4.4 Nødvendig rømningstid

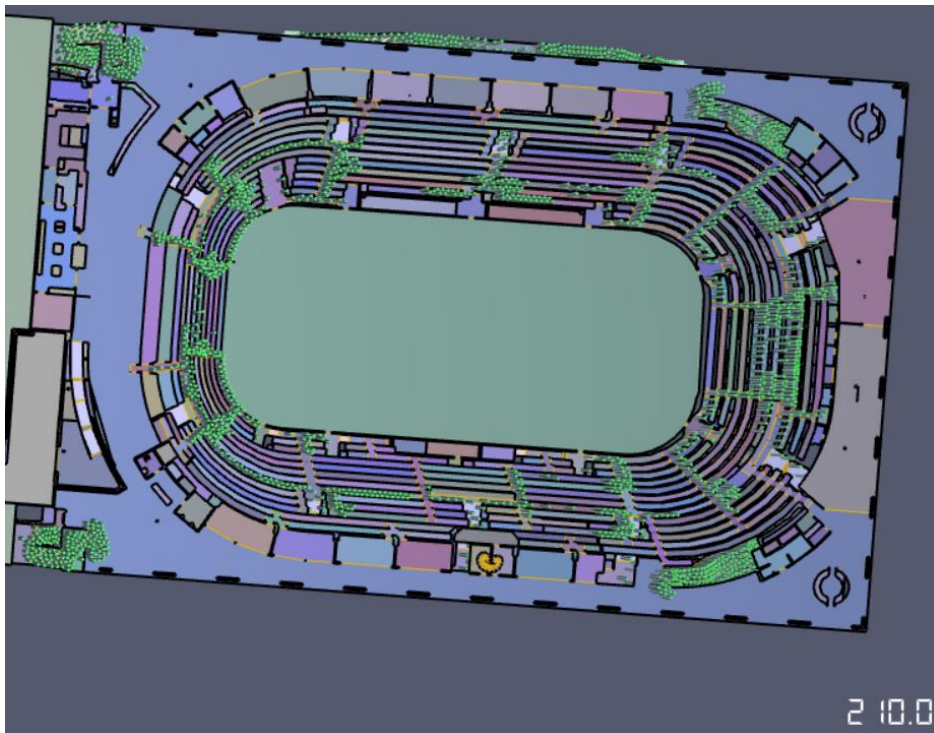
Tabellen under viser den nødvendige rømningstiden fra bygningen for de ulike scenarioene. Det er sett på når det ikke er igjen personer på tribunen i de ulike etasjene, når personer har gått inn i rømningstrapp/sluse eller intertrapp til etasjen under, når de ulike etasjene er tømt og når hele bygningen er tømt. Disse tidene er sammenlignet med resultatene fra brannsimuleringen og når sikten 2 meter over gulvnivå i de ulike etasjene blir mindre enn 10 meter (for ishallen). Det er ikke utført brannsimulering for treningshallen og tid før sikten for denne delen er mindre enn 10 meter er dermed ikke angitt. For resultatene fra rømningssimuleringen er det lagt til 3 minutter (180 sekunder) for å ta hensyn til deteksjonstid og reaksjonstid).

For scenarioene med konsert, vil endret sceneoppsett medføre at det må utføres simuleringer på nytt og resultatet kan bli endret persontall.

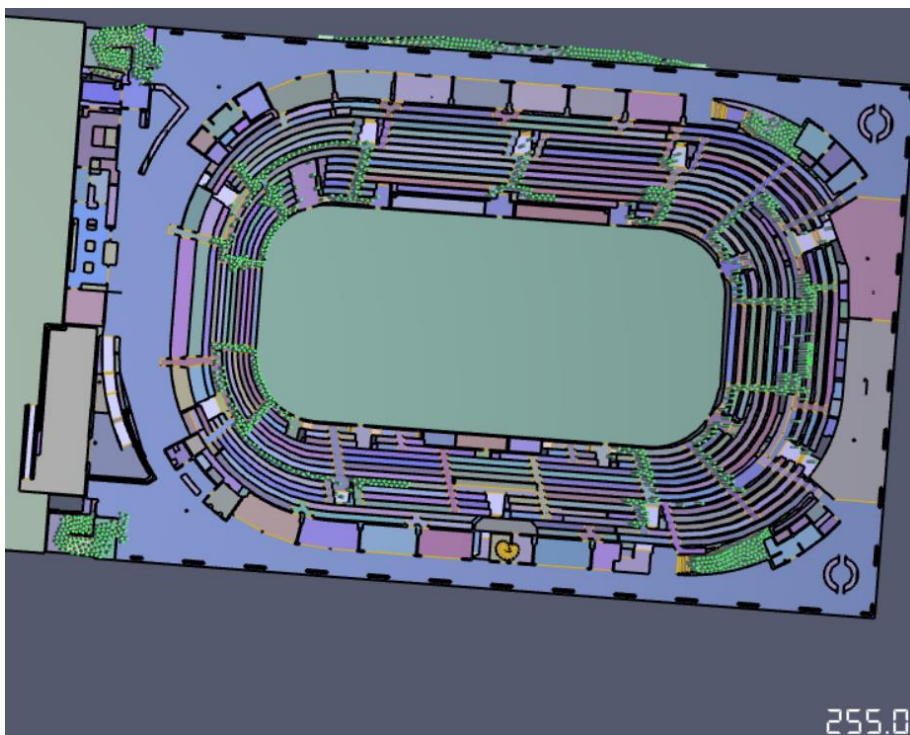
Tabell 2: Nødvendig rømningstid for ulike scenarier. Sikkerhetsmargin står i parentes.

		Scenario 1 (Hockeykamp)	Scenario 2 (Hockey og trening)	Scenario 3 (Konsert gulv)	Scenario 4 (Konsert gulv og tribune)	Sikt på 10 m i avstand 2 m over gulv iht. brannsimulering
		[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
3. etasje	Tribune, ishall	415 (5%)	560 (-22%)	-	415 (5%)	435
	Intertrapp/rømningstrapp, ishall	418 (29%) (intertrapp)	375 (44%) (intertrapp)	-		540
	Hele etasjen	535 (1%)	575 (-9%)	-		540
2. etasje	Tribune, ishall	621 (6%)	635 (4%)	-	522 (26%)	660
	Tribune, treningshall	-	355	-	-	IR – annen branncelle
	Intertrapp/rømningstrapp, ishall	527 (rømningstrapp)	560 (utendørs trapp) 597 (rømningstrapp)	-	513 (utendørs trapp) 510 (rømningstrapp)	Blir ikke kritisk
	Rømningstrapp, treningshall	-	384	-	-	IR – annen branncelle
	Hele etasjen	775	705	-	522	Blir ikke kritisk
1. etasje	Tribune/bane, ishall	636	742	700	680	Blir ikke kritisk
	Bane, treningshall	-	256 (banen) 133 (branncellen)	-	-	IR – annen branncelle
	Hele etasjen	848	791	825	695	Blir ikke kritisk
	Hele bygningen	848	791	825	695	

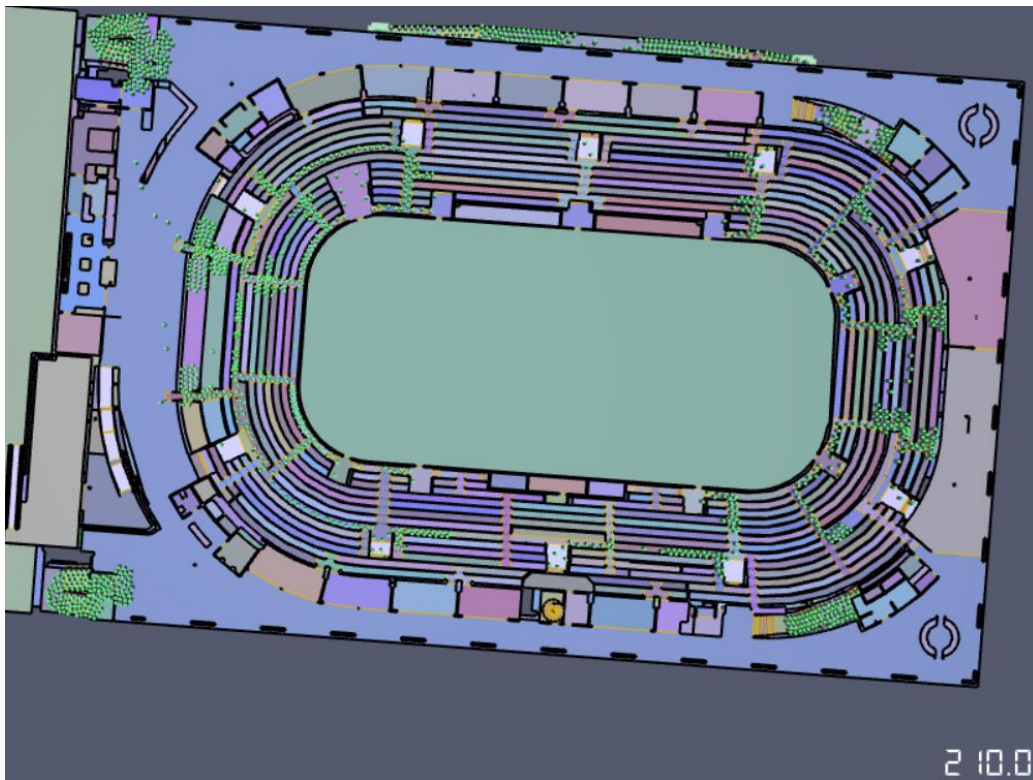
Når man ser på rømningssimuleringen opp mot brannsimuleringen (Tabell 2) vil det i de fleste scenarier være tilfredsstillende. For scenario 2 kan det oppstå kritiske situasjoner på tribunen og i fellesarealene i plan 3 dersom det oppstår en brann tilsvarende som den som er vist i brannsimuleringen. Som vist i kapittel 4.1.2 vil det kun være deler av tribunen og fellesarealene som har dårlig sikt etter tiden som er angitt og sammenlignet med. Personbelastningen på tribunen og i ishallen er litt større i scenario 1 enn scenario 2 siden det er 400 personer på treningshallen og tribunen i scenario 2, likevel viser simuleringene en bedre personflyt i scenario 1 enn scenario 2. Dette er vist i Figur 7 til Figur 10 under.



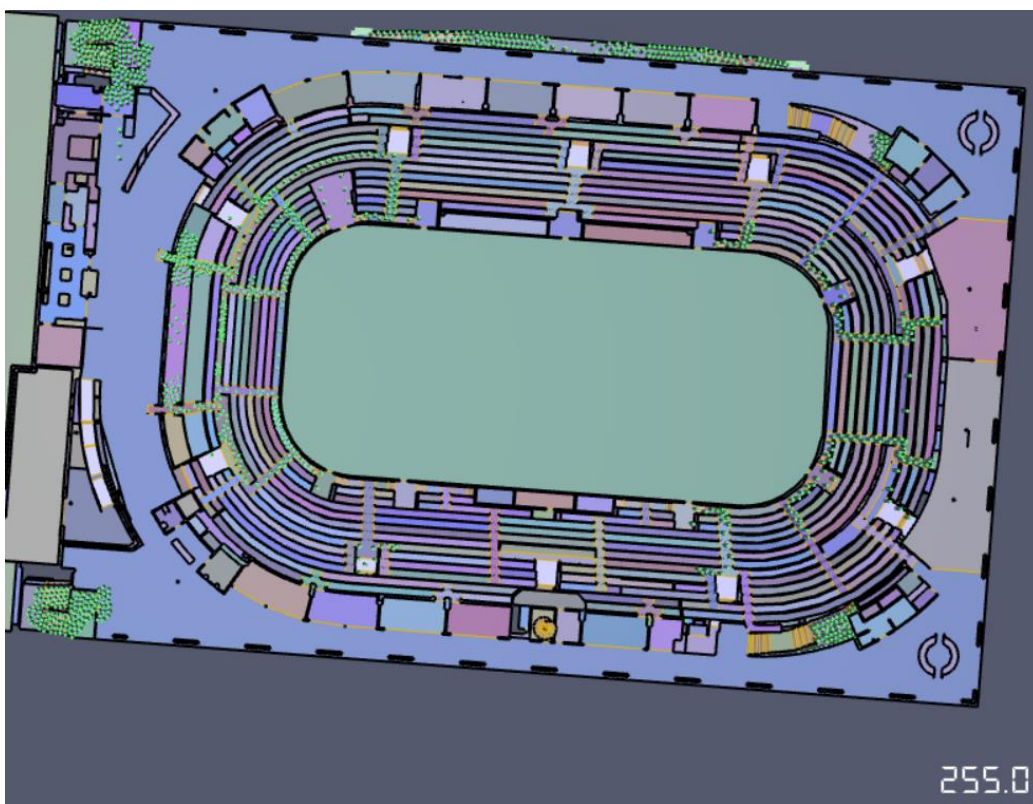
Figur 7: Scenario 1, plan 3 etter 390 sekunder (inkl. deteksjons- og reaksjonstid)



Figur 8: Scenario 1, plan 3, etter 435 sekunder (inkludert deteksjons- og reaksjonstid)



Figur 9: Scenario 2, plan 3, etter 390 sekunder (inkludert deteksjons- og reaksjonstid)



Figur 10: Scenario 2, plan 3, etter 435 sekunder (inkludert deteksjons- og reaksjonstid)

Det er også gjort en vurdering av absolutt maksimal kapasitet ved konsert og hvilken fordeling av persontall på tribune og gulvet som kan være akseptabel (scenario 3 og 4 mht. modellutforming). Dette er vist i tabellen under. For disse rømningssimuleringene er det også lagt til 3 minutter (180 sekunder) for å ta hensyn til deteksjonstid og reaksjonstid). For scenarioene med konsert, vil endret sceneoppsett til for eksempel ( en «øy» i midten eller lignende) medføre at det må utføres simuleringer på nytt og resultatet kan bli endret persontall.

Tabell 3: Vurdering av persontall ved konsert

Totalt antall personer fordelt på gulv og tribune	3. etasje			2. etasje			1. etasje		Hele bygget
	Tribune [s]	Intertrapp/ rømnings- trapp [s]	Hele etasjen [s]	Tribune [s]	Intertrapp/ rømnings- trapp [s]	Hele etasjen [s]	Tribune/ bane [s]	Hele etasjen [s]	
4800-1 4000 gulv+800 tribune	270	291	291	371	330	371	649	757	757
4800-2 4800 gulv+0 tribune	-	-	-	-	-	-	-	820	820
5000-1 2500 gulv+2500 tribune	395	424	424	582	523	582	675	695	695
5000-2 3000 gulv+2000 tribune	430	456	456	587	475	587	683	702	702
5000-3 3500 gulv+1500 tribune	380	408	408	523	425	523	604	704	704
5000-4 4000 gulv+1000 tribune	296	324	324	437	353	437	647	769	769
5000-5 5000 gulv+500 tribune	265	255	265	320	295	320	690	816	816
5000-6 5000 gulv+0 tribune	-	-	-	-	-	-	725	847	847

5500-1 3000 gulv+2500 tribune	420	421	421	579	520	579	648	668	668
5500-2 3500 gulv+2000 tribune	419	446	446	550	525	550	642	710	710
5500-3 4000 gulv+1500 tribune	360	386	386	491	470	491	655	767	767
5500-4 4500 gulv+1000 tribune	302	316	316	552	350	552	697	819	819
5500-5 5000 gulv+500 tribune	265	255	265	324	292	324	745	867	867
5500-6 5500 gulv+0 tribune	-	-	-	-	-	-	781	898	898
6000-1 4000 gulv+2000 tribune	430	460	460	581	492	581	662	772	772
6000-2 4500 gulv+1500 tribune	364	384	384	507	422	507	699	820	820
6000-3 5000 gulv+1000 tribune	310	326	326	510	375	510	749	871	871
6000-4 5500 gulv+500 tribune	265	255	265	319	297	319	803	914	914
6000-5 6000 gulv+0 tribune	-	-	-	-	-	-	835	955	955

Basert på resultatene i Tabell 3 er det vurdert at maksimalt antall personer på konsert kan være 4800 personer (tilsvarende som scenario 3) dersom det bare er personer på gulvet. Ved publikum både på tribunen og på gulvet (tilsvarende som scenario 4) kan persontallet økes til 6000 personer, forutsatt at det ikke er mer enn 4500 personer på gulvet. Det er opplyst i epost fra PGL 26.08.2020 at ventilasjonsaggregatet er dimensjonert for 5400 personer, slik at 5400 personer legges til grunn som absolutt maksimalt persontall.

## 5 Konklusjon

Det er blitt utført en røykspredningsanalyse vha. CFD og evakueringsanalyse for Arena Fredrikstad. Det er valgt å utføre en deterministisk analyse hvor nødvendig og tilgjengelig rømningstid er sammenliknet. Røykspredningsanalysen forutsetter et tilluftsareal på 52,7 m<sup>2</sup> og utluftsareal på 121,5 m<sup>2</sup>. Det er antatt en brann med medium vekstrate og maks branneffekt på 10 MW ihht. BBRAD 3 (12). Kritisk røyklagshøyde oppstår etter 435 s i 3. etasje på tribunen, og 660 s i 2. etasje. Det oppstår ikke kritiske forhold i 1. etasje innenfor simulering lengde på 20 min.

På bakgrunn av røykspredningsanalysen og diverse rømningsforhold, er maksimalt personantall beregnet. Maksimalt persontall på 4800 personer innendørs generelt og 250 utendørs er vurdert å være tilfredsstillende basert på simuleringene. Ved konsert og andre større arrangementer er maksimal kapasitet i ishallen 5400 personer, med maksimalt 4500 personer på gulvet. Dersom det bare er personer på gulvet/isflaten i plan 1, kan det økes til maksimalt 4800 personer, men det forutsetter at det ikke er personopphold på tribunen eller andre deler av ishallen. Ved konsert eller lignende kan det være maksimalt 200 personer i plan 1 i treningshallen og maksimalt 250 personer på taket siden disse arealene har uavhengige rømningsveier. Øvrige arealer av treningshallen må være uten personopphold. For scenarioene med konsert, vil endret sceneoppsett til for eksempel (en «øy» i midten eller lignende) medføre at det må utføres simuleringer på nytt og resultatet kan bli endret persontall.

## 6 Referanser

1. **Yeoh, Guan Heng og Yuen, Kwok Kit.** *COmputational Fluid Dynamics in Fire Engineering - Theory, Modelling and Practice*. Oxford, UK : Elsevier, Inc., 2009. ISBN: 978-0-7506-8589-4.
2. **McGrattan, Kevin, et al.** *Fire Dynamics Simulator user's guide*. Gaithersburg, Md. : National Institute of Standards and Technology (NIST), 2017. NIST Special Publication 1019.
3. —. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model*. Gaithersburg, Md : National Institute of Standards and Technology (NIST), 2017. NIST Special Publication 1018.
4. —. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 2: Verification*. Gaithersburg, Md : National Institute of Standards and Technology (NIST), 2017. NIST Special Publication 1018.
5. —. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 3: Validation*. Gaithersburg, Md : National Institute of Standards and Technology (NIST), 2017. NIST Special Publication 1018.
6. —. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 4: Configuration Management*. Gaithersburg, Md : National Institute of Standards and Technology (NIST), 2017. NIST Special Publication 1018.
7. **U.S. Nuclear Regulatory Commission.** *Verification and validation of selected fire models for nuclear power plant applications - Volume 7: Fire Dynamics Simulator (FDS)*. Washington : U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2007. NUREG-1824 EPRI 1011999.
8. **Kollegiet for brannfaglig terminologi.** Kollegiet for brannfaglig terminologi. [Internett] [Sisert: 4. desember 2018.] <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp>.
9. **Statens Bygningstekniske Etat.** *Temaveiledning Røykventilasjon HO-3/2000*. Oslo : Statens Bygningstekniske Etat, 2000. ISSN: 0802-9598, HO-3/2000.
10. **SINTEF Byggforsk.** *520.385 Nødvendig rømningstid ved brann*. Oslo : SINTEF Byggforsk, 2006. NBI 520.385.
11. **Thunderhead Engineering.** *Technical Reference (Pathfinder 2016)*. Manhattan, KS 66502 : Thunderhead Engineering, 2016.
12. **Boverkets författningssamling.** *Boverkets ändring av verkets allmänna råd (2011:27) om analytisk dimensjonering av byggnaders brandskydd*. Karlskrona, Sverige : Boverket, 2013. BFS 2013:12 BBRAD 3.
13. **Standard Norge.** *NS-EN 1991-1-2:2002+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-2: Allmenne laster - Laster på konstruksjoner ved brann*. Lysaker : Standard Norge, 2008. NS-EN 1991-1-2:2002.
14. **Thunderhead Engineering.** *Verification and Validation (Pathfinder 2016.1)*. Manhattan, KS 66502 : Thunderhead Engineering, 2016.

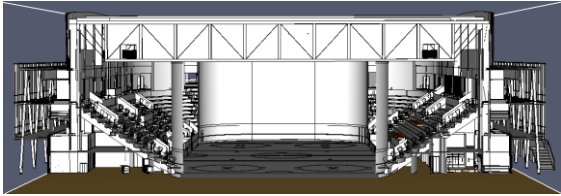

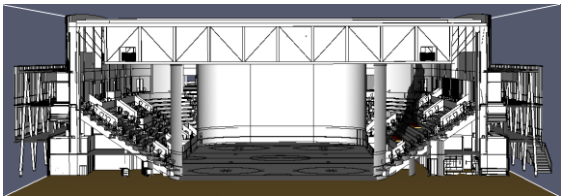

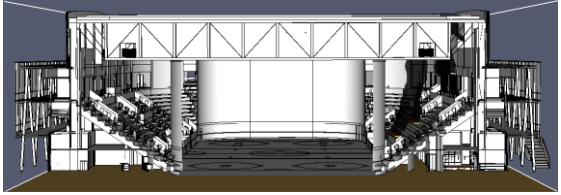
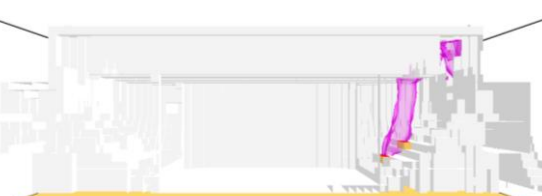
## 7 Vedlegg: Sensitivitet- og følsomhetsanalyse

### 7.1 Brannsimulering

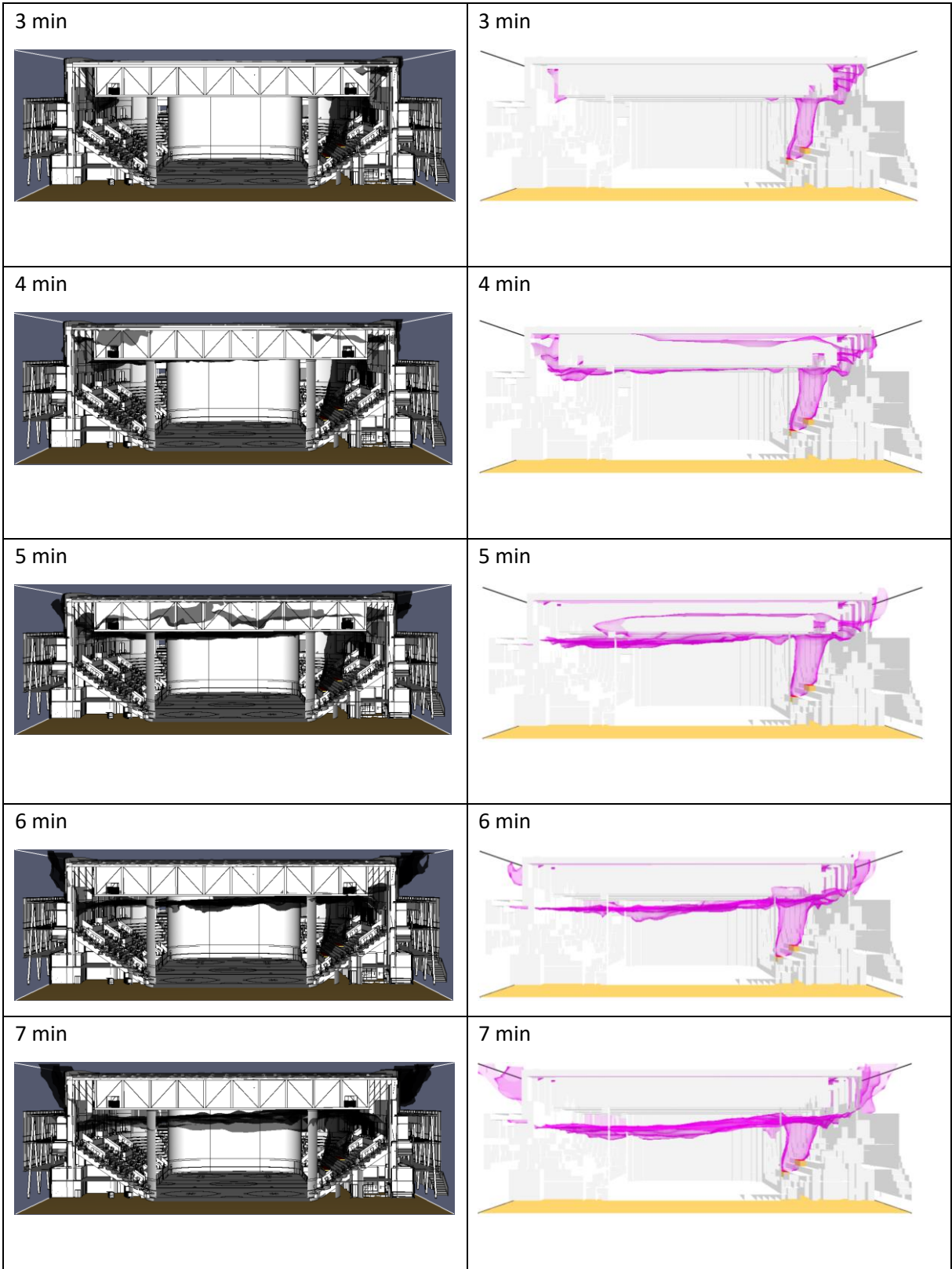
Det er gjennomført en gridsensitivitet. Den tar utgangspunkt i visuell sammenlikning av to simuleringer med ulik gridcellestørrelse. Variabelen analysen er utført for er 3-D flaten hvor sikten er 10 m.

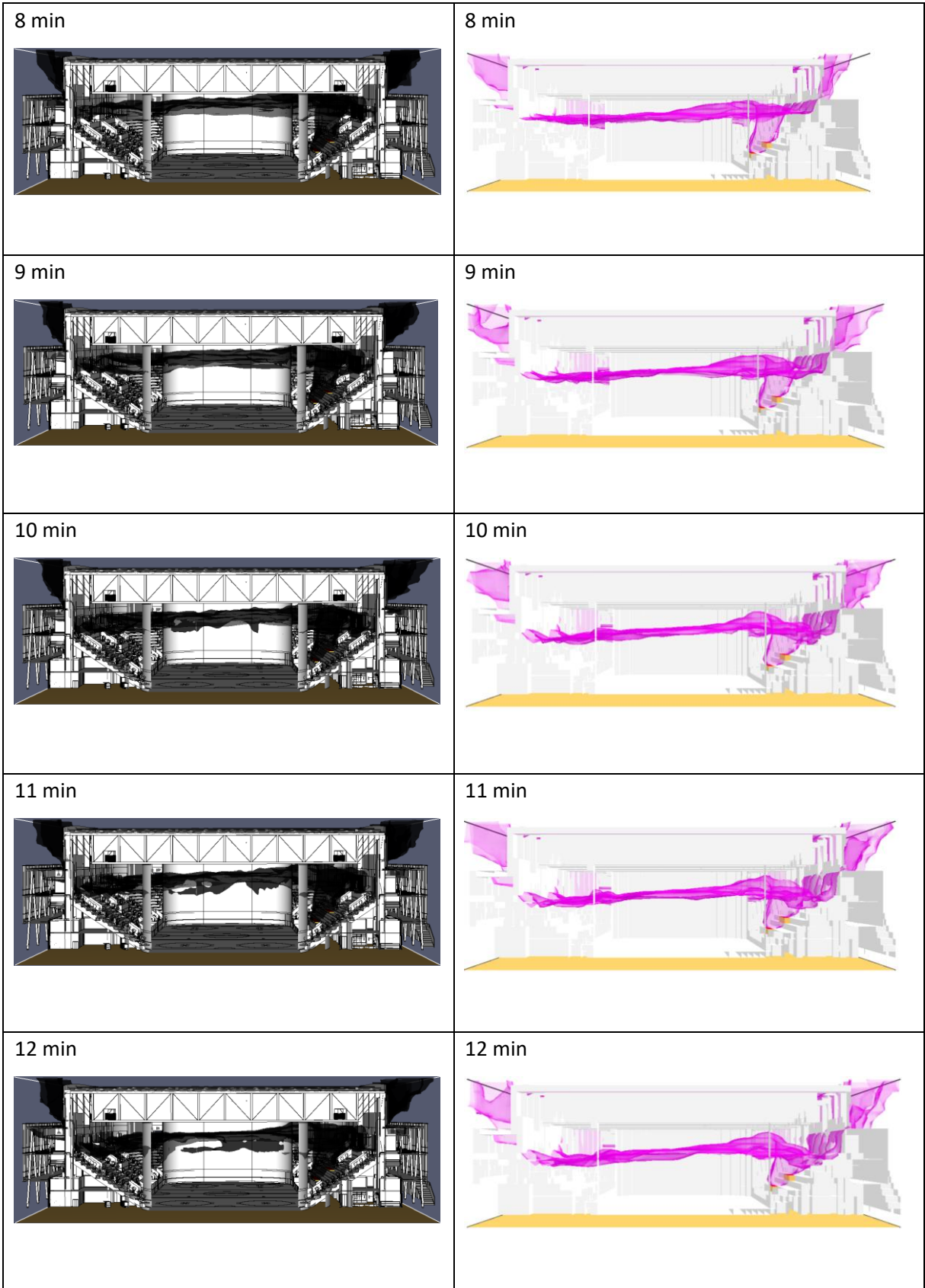
Påliteligheten til resultatet fra FDS avhenger av hvor finmasket grid som anvendes. Jo finere gridet er, jo større del av turbulensen som oppstår i brann blir hensyntatt direkte i beregningen. Turbulens som er mindre enn gridstørrelsen vil løses med sub-modeller. For å avgjøre om gridet er fint nok, kan man legge til grunn anbefalte verdier samt gjøre en kontrollsimulering med finere grid for å vurdere om løsningen har konverget. Kontrollsimuleringen kan også gjøres med grovere grid, og hvis resultatene er tilnærmet like så har løsningen konverget. Dette kan i enkelte tilfeller være hensiktsmessig å gjøre en sensitivitetssimulering med grovere grid dersom det i utgangspunktet er mange celler totalt i modellen, da dette kan være svært tidsbesparende.

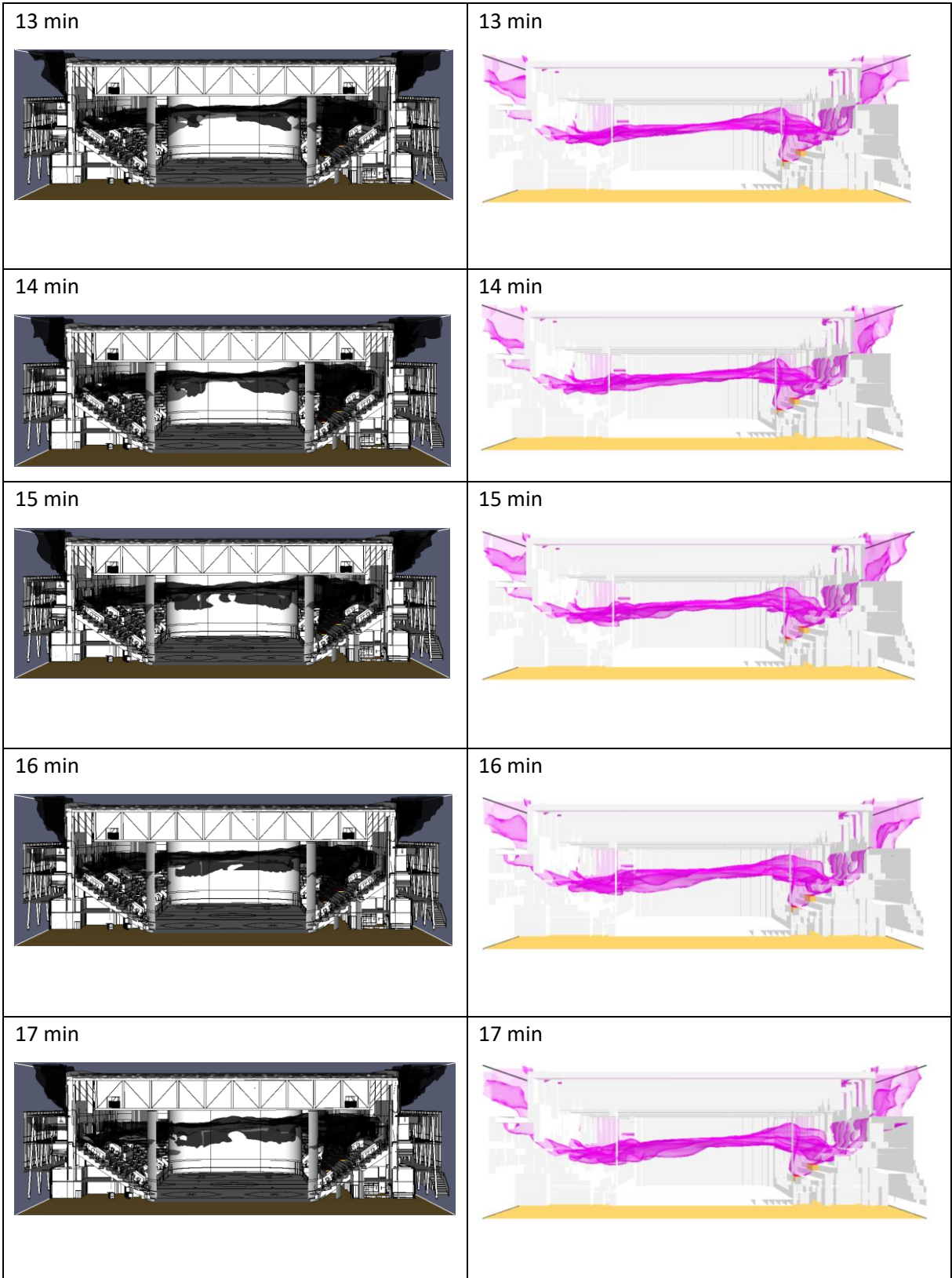
I denne analysen er det gjennomført en sensitivitetssimulering med gridcellestørrelse 1,0 m, dvs. dobbelt så grovt grid enn opprinnelig simulering som hadde en gridcellestørrelse på 0,5 m. Resultatene viser at løsningen konvergerer med en gridcellestørrelse på omkring 0,5.

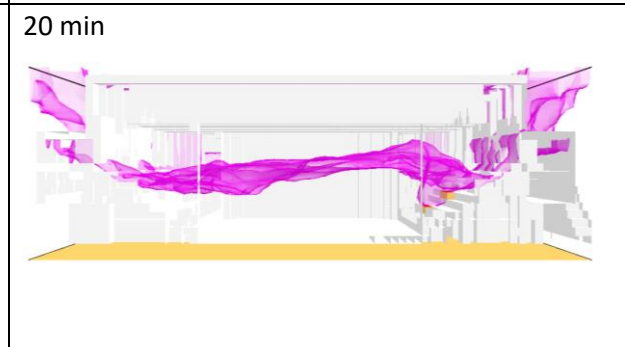
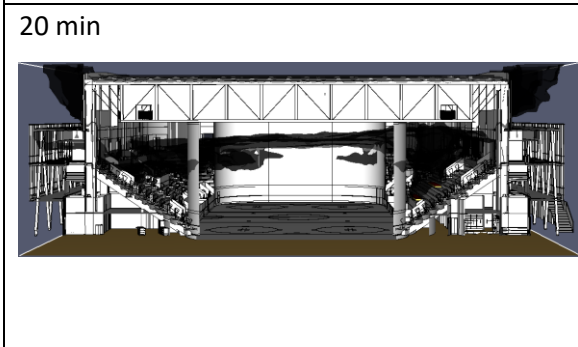
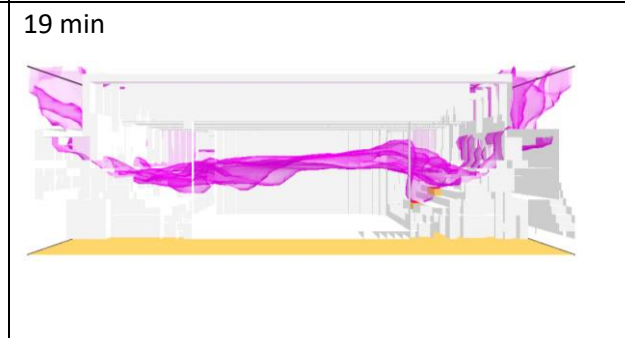
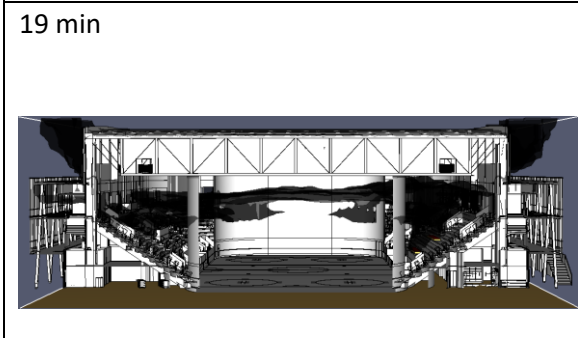
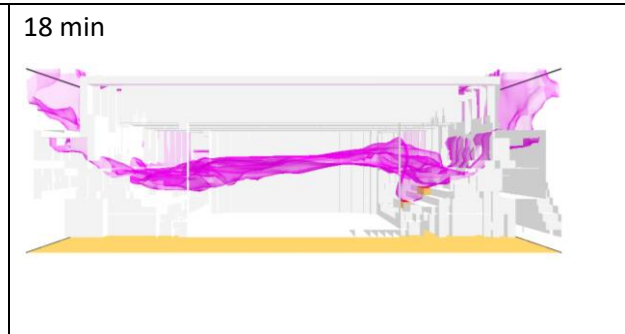
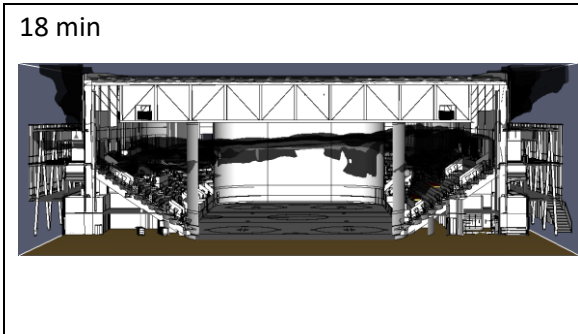
50 cm	100 cm
0 min 	0 min 
1 min 	1 min 
2 min 	2 min 











## 7.2 Rømningssimulering

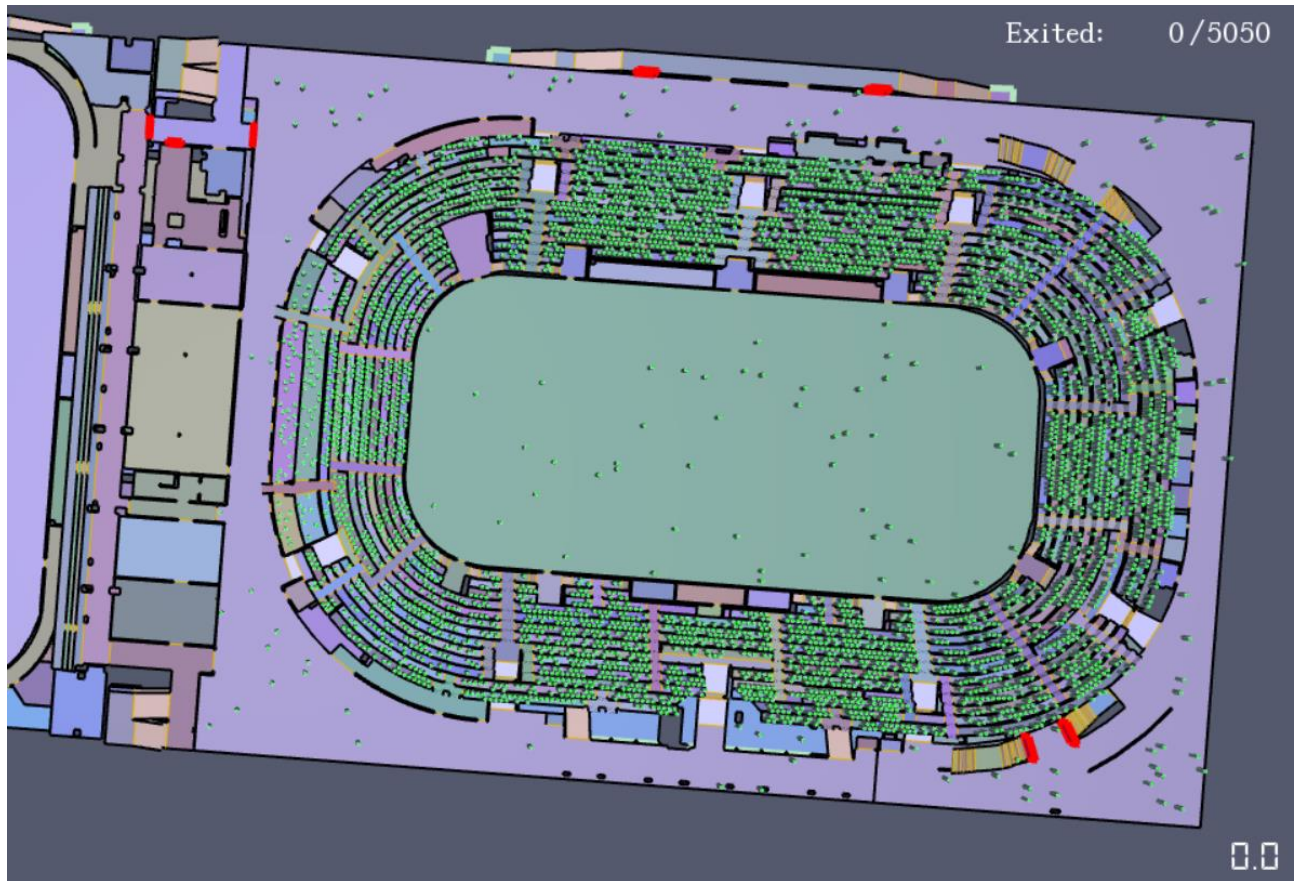
Tilgjengelig og nødvendig forflytningstid er begge identifisert ut fra simuleringer. Tilgjengelig rømningstid er bestemt ut fra brannsimuleringen og tid det tar før sikten blir lavere enn 10 m i en høyde på 2 m over gulvet. For følsomhets- og sårbarhetsanalyse for denne simuleringen henvises det til kapittel 7.1. Følsomhets og sårbarhetsanalysen for rømningssimuleringen og dermed den nødvendige rømningstiden er gjennomført i dette kapittelet. Hensikten med sensitivitet- og følsomhetsanalyse er for å avklare usikkerheten i resultatene av hvor robuste de er ift. endring av inngangsparametere.

Med bakgrunn i brannsimuleringen og de tekniske tiltakene som er prosjektert (sprinkleranlegg, røykventilasjon over isflaten i ishallen, brannalarmanlegg med talevarsling osv.) samt at det stort sett er kjent personell på jobb når det er mange personer i bygningen fokuseres det på sensitivitet- og følsomhetsanalyse for den nødvendige rømningstiden. Treningshallen følger generelt preaksepterte ytelser med hensyn til rømning.

Det vil være en usikkerhet knyttet til persontall og hvor disse befinner seg, ved å gjennomføre simuleringene med maksimalt persontall i bygningen og flere scenarier får man frem styrkene og svakhetene til rømningskonseptet i bygningen. Det er spesielt usikkerhet knyttet til scenario 2, siden persontallet i simuleringen i dette tilfelle kan være konservativ med tilnærmet full bruk av begge flater og tribuner samtidig.

Forflytningstiden kunne vært lavere dersom personer hadde valgt optimal rømningsvei, dvs. fordelt seg jevnere enn hva de selv velger. I gjennomførte simuleringer ser en at enkelte arealer tømmes langt tregere enn øvrige. Fenomenet antas å være konservativt sammenlignet med virkeligheten da det vil være personale til stede som blant annet har som oppgave å bistå i en evakuerings situasjon og løse personer i andre retninger dersom det er stor trengsel ett sted og få personer et annet sted. Det er i hovedsak på/ut av tribunen at det er stort potensiale for kortere forflytningstid og mindre trengsel/kø. I de fleste scenarioene er likevel ikke dette kritisk sammenlignet med tilgjengelig rømningstid fra brannsimuleringene, og det viser en robusthet i rømningsikkerheten til byggverket.

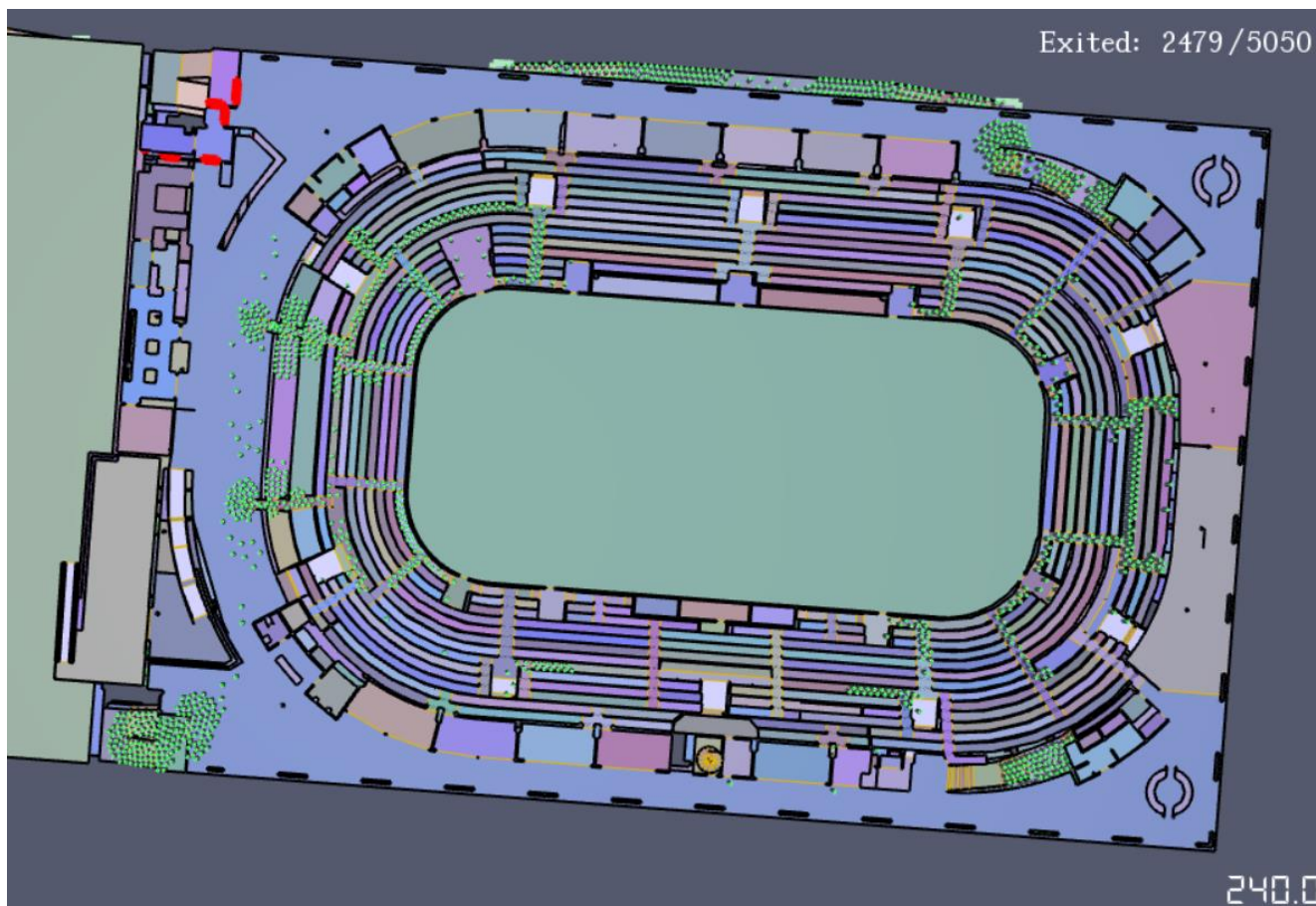
Det er gjennomført sensitivitetsanalyse knyttet til påvirkningen av blokkerte trapperom, interentrapp og dør til det utvendig trapp i plan 2, se Figur 11. Resultatene er vist i Tabell 5. Disse viser at blokkerte trapper, interentrapp og dører både vil gi lenger forflytningstid, men også i enkelte tilfeller kortere forflytningstid. På det meste skiller det nesten 3 minutter i forflytningstid for scenario 2 med blokkert trapperom i nordvest sammenlignet med ingen blokkerte flukt/rømningsveier. Dette skyldes at personer står og venter på å komme ned i tribunen, samtidig som det er god kapasitet i interentrappen, se Figur 12. Dette er en gjentakende oppførsel som kan anses som lite troverdig i et byggverk hvor det mest sannsynlig vil være ansatte tilstede som vil bistå og gjøre evakueringen så smidig som mulig.



Figur 11: Sensitivetsanalyser er gjennomført med blokkert trapperom, blokkert interntrepp og blokkerte dører til utvendig trapp i 2. etg. Blokkerte dører er vist med røde streker i modellen.

Tabell 4: Forflytningstider med blokkerte rømningsveier.

	Scenario 1 (Hockeykamp)	Scenario 2 (Hockey og trening)	Scenario 3 (Konsert gulv)	Scenario 4 (Konsert gulv og tribune)
	[min:sek]	[min:sek]	[min:sek]	[min:sek]
Ingen blokkeringer, samme som i kapittel 4.4	14:08	13:11	13:45	11:35
Blokkert trapperom i nordvest	14:31	16:08	12:50	-
Blokkert interntrepp i sørøst	16:31	14:44	14:13	-
Blokkerte dører (2 stk) til utvendig trapp i 2. etg	14:01	13:23	11:26	-
Stengt utgang fra banen (midt på) ved konsert på gulvet	-	-	-	11:26



Figur 12: Mye kø for å komme ned tribunen, mens intertrappene begynner å få ledig kapasitet

Det vil være usikkerhet knyttet til deteksjonstid og reaksjonstid, men basert på at anslått deteksjonstid og reaksjonstid er tilsvarende i flere anerkjente kilder (Byggdetaljblad og BBRAD 3) og er anerkjent i bransjen vurderes det å være liten usikkerhet knyttet til disse faktorene. Det må forutsettes at eier og bruker av byggverket har tilfredsstillende rutiner for å vedlikeholde de tekniske installasjonene.

Det er i hovedsak benyttet standardverdier for ulike parameter i programvaren, med unntak av hastigheten. For å se om det å variere parameterne knyttet til valg av dører/utganger er det sett på variasjon av disse for scenario 1 (Hockeykamp). Parametrene som er sett på er:

- Gjeldende rom forflytningstid-faktor (current room travel time): Den tiden det vil ta en person å nå målet (ut av rommet) med maksimal hastighet hvis alle andre personer er ignorert. Høyere verdier gjør denne faktoren viktigere i beregningene av forflytningstiden. (11) (14)
- Gjeldende rom køtid-faktor (current room queue time): Påvirker viktigheten av å vente i kø foran dører. Høyere verdier gjør denne faktoren viktigere i beregningene av forflytningstiden. (11) (14)
- Global forflytningstid-faktor (global travel time): Den tiden det vil ta en person å nå målet (ut bygningen) med maksimal hastighet hvis alle andre personer er ignorert. Ved to evakueringsruter som er omtrent like lange (innenfor 10%) vil ruten med den nærmeste døren bli valgt. Høyere verdier gjør denne faktoren viktigere i beregningene av forflytningstiden. (11) (14)
- Gjeldende dørpreferanse (current door preference): Faktorene angir noe om hvor ofte personene vil bytte valg av dører/rømningsrute. En verdi på 100% vil si at personene aldri bytter valgt dør/rute, mens en verdi på 0% vil si at personene hyppig bytter valgt dør/rute. (11) (14)

Resultatene viser at det vil være endringer i tid til tribunene i hver etasje og hver etasje er tømt, men at den totale forflytningstiden ikke er veldig forskjellig. Unntaket er gjeldende rom køtid-faktor på 0,2 hvor forflytningstiden fra tribunen og dermed den totale forflytningstiden er mye lenger enn med default-verdien. Det er derfor vurdert at det mest hensiktsmessige er å benytte default-verdiene. Resultatene er gitt i Tabell 5.

Tabell 5: Resultater sensitivitetssimulering for valg av dører/utganger. Scenario 1 - Hockeykamp

		Gjeldende rom forflytningstid-faktor (default = 1,0)		Gjeldende rom køtid-faktor (default = 1,0)		Global forflytningstid-faktor (default = 1,0)		Gjeldende dør-preferanse (default =35%)		Scenario 1 – Hockey-kamp med default-verdier	Sikt på 10 m i avstand 2 m over gulv iht. brann-simulering
		[sekunder]		[sekunder]		[sekunder]		[sekunder]			
		0,2	2,0	0,2	2,0	0,2	2,0	10%	90%		
3. etasje	Tribune, ishall	475	456	1140	435	639	589	416	656	415	435
	Intertrapp/rømningsstrapp, ishall	721	461	478	664	868	561	615	415	535	540
	Hele etasjen	721	461	1140	664	868	561	615	656	535	540
2. etasje	Tribune, ishall	608	634	1499	594	742	765	568	712	621	660
	Intertrapp/rømningsstrapp, ishall	685	865	562	748	802	685	757	730	775	Blir ikke kritisk
	Hele etasjen	685	865	1499	748	802	765	757	730	775	Blir ikke kritisk
1. etasje	Tribune/bane, ishall	665	703	1552	661	642	818	630	770	636	Blir ikke kritisk
	Hele etasjen	876	940	1572	936	942	838	834	808	848	Blir ikke kritisk
	Hele bygningen	876	940	1572	936	942	838	834	808	848	