



# Brannsikkerhet ved oppføring og rehabilitering av bygg

RISE RAPPORT 2023:130

Janne Siren Fjærestad

Christoph Meraner

Lei Jiang

Reidar Stølen

RISE Fire Research

# Brannsikkerhet ved oppføring og rehabilitering av bygg

Janne Siren Fjærestad, Christoph Meraner, Lei Jiang,  
Reidar Stølen

## Abstract

### **Fire safety during construction and rehabilitation of buildings**

This study deals with how the covering of buildings during the construction or rehabilitation of buildings affects fire safety and to what extent the regulations take this into account. The main focus has been mapping relevant requirements, recommendations, and performances related to the covering of buildings, mapping available materials, investigating the material's fire properties, and modelling the spread of smoke within the covering.

A mapping of the relevant laws and regulations applied for constructing and rehabilitating buildings has been carried out. The mapping has shown that demands are placed on owners, users, project owners, builders, businesses, employers, planners and contractors through many different laws and regulations. The people involved can have several roles, and similar roles have different names in the various regulations. For buildings in use, fire safety must be ensured for both the users and workers. It also applies that both the owner and the users are responsible for ensuring fire safety. It requires good communication and cooperation between different actors to ensure that fire safety is maintained for all involved, during the construction and rehabilitation of buildings.

When covered scaffolding is used, the *Regulations concerning the performance of work, use of work equipment and related technical requirements* [10] require that the covering satisfy the fire requirements for materials used in escape routes (§17-20). The guideline to the Norwegian *Regulations on technical requirements for construction works, TEK10*, (Veiledningen til TEK10) §11-9, provides pre-accepted performance levels. For escape routes, class B-s1,d0 (In 1) is specified for walls and ceilings. There is no requirement for fire classification of the walkways in the scaffolding under the applicable laws and regulations. We believe there should be requirements for fire classification of the walkways, in the same way as for the covering, i.e., B-s1,d0 (In 1) for surfaces on walls and ceilings and Dfl-s1 (G) for surfaces on floors.

The simulations of the spread of smoke from a fire inside a building during construction or rehabilitation show that the spread of smoke is affected when the scaffolding around the building is covered. Covering around the sides leads to a greater horizontal spread of smoke in the scaffolding than without covering. When the cover also has a roof, the smoke first accumulates underneath the cover's roof before it eventually also fills up with smoke down the floors of the scaffolding. The simulations showed that establishing an open field in the upper part of the cover would ventilate the smoke gases effectively, and the spread of smoke was essentially the same as for a cover without a roof. In addition, the simulation indicated that the air flow through the walkways in the scaffold could be an important factor in reducing the covering's negative effect on the spread of smoke.

Of the 64 different products used for covering found in the survey, 35% had full classification according to EN 13501-1 (such as B,s1-d0). About 6% stated that the product was not flame retardant. Of the remainder, it was evenly distributed between those who stated a fire classification according to other test methods, those who did not provide any information on the fire properties and those who stated that the product was flame retardant without further

specification. The mapping also indicates that the products from market leaders used by large general contractors provide products with documented fire properties.

Conversations with two of Norway's largest fire and rescue services shed light on several challenges connected to covering scaffolding and construction during firefighting activities. They pointed out that the covering could cause challenges and delays throughout their efforts. The covering gives a reduced visual overview of the spread of smoke and the location of doors and windows. This information is important for planning both extinguishing and smoke diver efforts. In addition, the covering can be an obstacle to the actual extinguishing effort, the use of an extinguishing agent and smoke divers and rescue efforts.

Key words: Smoke spread, CFD simulation, review of regulations, scaffolding, covering, construction, fire safety, construction site, fire and rescue service.

Røykspredning, CFD-simulering, gjennomgang av regelverk, stillas, tildekking, konstruksjon, brann sikkerhet, byggeplass, brann- og redningstjeneste

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE-rapport 2023:130

ISBN: 978-91-89896-17-8

Prosjektnummer: 20650-2

Kvalitetssikring: Tian Li

Finansiert av: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK)

Forsidebilde: RISE

Trondheim 2023



# Innhold

<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>4</b>
<b>Forord</b> .....	<b>6</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Introduksjon</b> .....	<b>9</b>
1.1 Bakgrunn.....	9
1.2 Målsetning.....	9
1.3 Omfang og begrensinger.....	9
1.4 Metodebeskrivelse.....	9
1.5 Ordliste.....	10
<b>2 Kartlegging</b> .....	<b>11</b>
2.1 Regelverk.....	11
2.1.1 Ansvar og plikter.....	11
2.1.2 Materielle krav.....	15
2.1.3 SHA-planen – vurdering av brannrisiko.....	17
2.1.4 Byggearbeider i eksisterende byggverk.....	18
2.2 Testmetoder for klassifisering av materialers egenskaper ved brannpåvirkning.....	18
2.3 Tilgjengelige produkter på markedet.....	19
2.3.1 Testresultater fra klassifiseringstester.....	21
2.4 Rømning.....	21
2.5 Litteratur.....	22
<b>3 Simulering av røykspredning</b> .....	<b>24</b>
3.1 Metode.....	24
3.1.1 Brannstørrelse.....	24
3.1.2 Sikt.....	26
3.1.3 FDS modell.....	26
3.2 Scenarier.....	33
3.3 Resultater.....	36
3.3.1 Stillas uten tildekking.....	36
3.3.2 Stillas med tildekning på sidene.....	40
3.3.3 Stillas med tildekning på sidene og over tak.....	43
3.3.4 Risikoreduserende tiltak for stillas med tak.....	46
3.3.5 Parameterstudie – Åpningsgrad i stillaslemmene.....	48
<b>4 Hvordan påvirker tildekking brann sikkerheten?</b> .....	<b>52</b>
4.1 Røykspredning.....	52
4.2 Brannspredning i tildekning og stillas.....	53

4.3	Rømning .....	54
4.4	Brann- og redningsvesenets innsats .....	54
<b>5</b>	<b>Konklusjoner og videre arbeid .....</b>	<b>56</b>
5.1	Konklusjoner .....	56
5.2	Forslag til videre arbeid.....	57
<b>6</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>58</b>
<b>Vedlegg A - Utdrag fra forskriftene .....</b>		<b>60</b>
A.1	Arbeidsplassforskriften .....	60
<b>Vedlegg B - SHA-planen (beskrivelse fra Arbeidstilsynet) .....</b>		<b>62</b>
B.1	SHA-begrepet .....	62
B.2	SHA-planen - unik for hvert enkelt bygge- eller anleggsprosjekt .....	62
<b>Vedlegg C – Utfyllende simuleringsdata .....</b>		<b>64</b>
C.1	Scenario 1 - Oppføring av nybygg uten tildekking, brenselskontrollert brann.....	64
C.2	Scenario 2 - Oppføring av nybygg med tildekking, brenselskontrollert brann.....	66
C.3	Scenario 3 - Oppføring av nybygg med tildekking og tak, brenselskontrollert brann.....	69
C.4	Scenario 4 - Rehabilitering uten tildekking, brenselskontrollert brann .....	73
C.5	Scenario 5 - Rehabilitering med tildekking, brenselskontrollert brann .....	75
C.6	Scenario 6 - Rehabilitering med tildekking og tak, brenselskontrollert brann .....	78
C.7	Scenario 7 - Rehabilitering uten tildekking, ventilasjonskontrollert brann .....	82
C.8	Scenario 8 - Rehabilitering med tildekking, ventilasjonskontrollert brann .....	85
C.9	Scenario 9 - Rehabilitering med tildekking og tak, ventilasjonskontrollert brann .....	89
C.10	Scenario 10 - Rehabilitering med tildekking og tak, ventilasjonskontrollert brann – risikoreduserende tiltak .....	93
C.11	Scenario 12 - Rehabilitering med tildekking, ventilasjonskontrollert brann – økt luftgjennomstrømning i stillas.....	94

## Forord

Dette prosjektet er finansiert av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) som en del av prosjektporteføljen under forskningsavtalen mellom DSB og RISE Fire Research.

Vi vil takke representanter fra brann- og redningsvesenet, Arbeidstilsynet, produsenter og leverandører av stillas og stillastildekking og andre aktører involvert i byggeprosjekter som har bidratt med informasjon og svart på våre henvendelser i dette prosjektet.

Vi vil også takke Vidar Stenstad som har bidratt i kartleggingen av regelverket, befarings og ellers støttet prosjektet med sin brannfaglige kunnskap.

Janne Siren Fjærestad, prosjektleder

Trondheim, desember 2023

## Sammendrag

Denne studien omhandler hvordan tildekking av bygg ved oppføring eller rehabilitering av byggverk påvirker brannsikkerheten og i hvilken grad regelverket tar hensyn til dette. Hovedfokus har vært på kartlegging av relevante krav, anbefalinger og ytelser knyttet til tildekking av bygg, kartlegging av tilgjengelige materialer og undersøkelse av deres brannegenskaper, samt modellering av røykspredning innenfor tildekkingen.

Det er gjennomført en kartlegging av lover og forskrifter som er relevante for byggeperioden ved oppføring og rehabilitering av byggverk. Kartleggingen har vist at det gjennom mange ulike lover og forskrifter stilles krav til både eiere, brukere, tiltakshavere, byggherrer, virksomheter, arbeidsgivere, prosjekterende og utførende. De involverte kan ha flere roller, og lignende roller har ulike betegnelser i ulike forskrifter. For bygninger som er i bruk skal brannsikkerheten ivaretas for både brukere av og arbeidere i bygget. Da gjelder også at både eier og bruker har ansvar for å ivareta brannsikkerheten. Det krever god kommunikasjon og godt samarbeid mellom ulike aktører for å sikre at brannsikkerheten opprettholdes for alle involverte både ved oppføring og rehabilitering av bygg.

Når det gjelder tildekking av stillaser stiller Forskrift om utførelse av arbeid [10] i §17-20 krav til at inndekkingen skal tilfredsstillende brannkravene for materialer brukt i rømningsvei. Veiledningen til TEK10 §11-9 gir preaksepterte ytelser, og for rømningsveier angis klasse B-s1,d0 (In 1) for vegger og i himling/tak. Det stilles ikke krav til brannklassifisering av gangbanene i stillasene i gjeldene lover og forskrifter. Vi mener at det bør stilles krav til brannklassifisering av gangbanene, på samme måte som det gjøres for tildekkingen. For overflater på vegger og himling/tak er dette B-s1,d0 (In 1) og for overflater på gulv er dette D<sub>fl</sub>-s1 (G).

De utførte simuleringene av røykspredningen fra en brann inne i ett byggverk under oppføring eller rehabilitering viser at røykspredningen påvirkes når stillaset rundt byggverket tildekkes. Ved tildekking rundt sidene får man en større horisontal røykspredning i stillaset enn uten tildekking. Når tildekkingen også har tak samles røyken først opp under tildekkingens tak, før det etter hvert også fylles opp med røyk nedover etasjene i stillaset. Simuleringene viste at det å etablere et åpent felt i øvre del av tildekkingen effektivt vil kunne ventilere ut røykgassene, og røykspredningen var i stor grad lik som for tildekking uten tak. I tillegg indikerte simuleringen at luftgjennomstrømmingen gjennom gangbanene i stillaset kan være en viktig faktor for å redusere tildekkingens negative effekt på røykspredningen.

Av de 64 ulike produktene brukt til tildekking som ble funnet i kartleggingen hadde 35% fullstendig klassifisering etter EN 13501-1 (som f.eks. B,s1-d0). Omtrent 6% oppga at produktet ikke var flammehemmende. Av de resterende var det jevnt fordelt mellom de som oppga brannklassifisering etter andre testmetoder, de som oppga ingen informasjon om brannegenskaper og de som oppga at produktet var flammehemmende uten videre spesifisering. Kartleggingen tyder også på at de ledende aktørene som benyttes av store totalentreprenører leverer produkter med dokumenterte brannegenskaper.

Samtaler med to av landets største brann- og redningsvesen belyste flere utfordringer tildekkingen av stillas og byggverk får for deres innsats ved en brann. De påpekte at tildekkingen vil kunne gi dem utfordringer og forsinkelser underveis i hele innsatsen deres.

Tildekkingen gir dårligere visuell oversikt over både røykspredning og plassering av dører og vinduer. Dette er informasjon som er viktig for planlegging av både slukkeinnsats og røykdykkerinnsats. I tillegg kan tildekkingen være til hinder for selve slukkeinnsatsen, bruken av slökkemiddel og ved røykdykker- og redningsinnsats.



# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Det er uttrykt bekymring for at brannsikkerheten i varierende grad blir ivaretatt ved oppføring og rehabilitering av byggverk<sup>1</sup>. Arbeidsplassforskriften [1] sier at arbeidsplasser på utendørs stillas skal om nødvendig være dekket med presenning eller lignende og ha lokal oppvarming og belysning. DiBK har mottatt tilbakemeldinger fra brann- og redningsvesen etter innsats i slike byggverk som viser at tildekkingen kan medføre at brann- og røykgasser sprer seg på innsiden av tildekkingen og langs fasaden. Det er derfor ønsket fra DSB og DiBK at det gjøres en vurdering av hvordan tildekking av bygg ved nybygging og rehabilitering påvirker brannsikkerheten og rømningsforholdene i bygget.

## 1.2 Målsetning

Målet med prosjektet er å vurdere hvordan tildekking av bygg ved oppføring eller rehabilitering av byggverk påvirker brannsikkerhet og i hvilken grad regelverket tar hensyn til dette.

Fokus er kartlegging av relevante krav, anbefalinger og ytelser knyttet til tildekking av bygg, kartlegging av tilgjengelige materialer og undersøkelse av deres brannegenskaper, samt modellering av røykspredning innenfor tildekkingen.

## 1.3 Omfang og begrensinger

Prosjektet omhandler kun brannsikkerhet med hensyn på tildekning av byggene, andre aspekter ved brannsikkerhet på byggeplasser inngår ikke.

Modelleringen fokuserer på røykspredningen. Spredningen av brannen utover arnestedet til andre materialer og deler av bygget er ikke studert.

## 1.4 Metodebeskrivelse

Det er utført en kartlegging av norske regelverk som er relevant for brannsikkerheten i byggeperioden ved oppføring og rehabilitering av nybygg. For å få innsikt i hvordan regelverket oppfattes og praktiseres har vi kontaktet og fått informasjon fra Arbeidstilsynet og ulike aktører som er involvert i byggeprosjekter (byggherre, prosjekterende og utførende).

For å kartlegge hvilke produkter som brukes til tildekking av stillas ble det gjennomført søk på internett. I tillegg ble det også gjennomført en ringerunde til noen ledende aktører i det norske markedet. Disse ble valgt ut på bakgrunn av at de benyttes av store totalentreprenører og antas å være representative for større prosjekter. Vi har også fått informasjon om bruk av produkter til tildekking av stillaser fra ulike aktører (utførende, stillas- og produktleverandører).

---

<sup>1</sup> Informasjon gitt til denne studien av kontaktperson hos DiBK.  
© RISE Research Institutes of Sweden

For å studere hvordan bruk av stillastildekking påvirker røykspredningen er det gjennomført totalt 12 simuleringer av brann inne i to ulike typer bygg med varierende grad av tildekking og ulike brannstørrelser. Simuleringene er utført i Fire Dynamics Simulator (FDS) versjon 6.7.9.

Det er gjennomført samtaler med to av de større brann- og redningsvesenene i landet. I samtalen fikk de beskrive ulike deler av innsatsen og hvordan de mener tildekking av bygget vil påvirke de ulike deler av innsatsen. Ett av brann- og redningsvesenene hadde egen erfaring med brann i et helt tildekket bygg. Informasjonen som omhandler tildekking av stillas og bygg er sammenfattet og ble sendt brann- og redningsvesenene for gjennomlesing i ettertid.

## 1.5 Ordliste

Nedenfor forklares forkortelser og begreper som er berørt i denne rapporten.

**Tabell 1-1: Forkortelser og begreper brukt i rapporten.**

Begrep/forkortelse	Definisjon/forklaring
DSB	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
Branncelle	Hel eller avgrenset del av byggverk hvor en brann fritt kan utvikle seg uten å spre seg til andre bygninger eller deler av byggverket i løpet av en fastsatt tid [2].
Byggherre	Enhver fysisk eller juridisk person som får utført et bygge- eller anleggsarbeid [3].
DiBK	Direktoratet for byggkvalitet.
Evakuering	Prosess der mennesker og dyr ved egen hjelp eller assistert av andre forflytter seg eller forflyttes til et sikkert sted etter at varsling om evakuering er gitt [2]. I denne rapporten brukes kun begrepet «rømning».
FDS	Fire Dynamics Simulator.
FIGRA	Indeks som angir hastigheten for brannutvikling, og som brukes til klassifiseringsformål [2].
Fluktvei	Del av en branncelle, som brukes til rømning og evakuering fram til rømningsvei eller til sikkert sted [2].
HRR	Heat Release Rate, varmeavgivelseshastighet. Varmemengde som avgis per tidsenhet ved forbrenning av et materiale under angitte prøvingsbetingelser [2].
PE	Polyetylen.
PES	Polyester.
PHRR	Peak Heat Release Rate.
PP	Polypropylen.
PVC	Polyvinylklorid.
Rømning	Prosess der mennesker ved egen hjelp eller assistert av andre forflytter seg eller forflyttes til et sikkert sted [2].
Rømningsvei	Én eller en rekke brannceller tilrettelagt for rømning mellom oppholdsrom/branncelle og sikkert sted [2].
SBI	Single Burning Item, testmetode for vurdering og klassifisering av byggevarers egenskaper ved brannpåvirkning [4]
SHA plan	Plan for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø [3].

Begrep/forkortelse	Definisjon/forklaring
SMOGRA	Smoke Growth Rate.
Tiltakshaver	Tiltakshaver etter denne lov er den person eller foretak tiltaket utføres på vegne av. Skifte av tiltakshaver under gjennomføringen skal straks meldes til kommunen av både den opprinnelige og nye tiltakshaver [5].

## 2 Kartlegging

### 2.1 Regelverk

Det gis her en kort oversikt over lover og forskrifter som er relevante for brannsikkerheten i byggeperioden ved oppføring og rehabilitering av byggverk.

Bakgrunnen for prosjektet er en bekymring for at brannsikkerheten i varierende grad blir ivaretatt både ved oppføring av nye bygg og ved rehabilitering av eksisterende bygg. Prosjektet fokuserer derfor på ansvar og plikter som regelverket pålegger aktørene.

Prosjektet omhandler spesielt problemstillinger knyttet til tildekking av stillas og byggverk, og det er undersøkt hvilket krav regelverket stiller til dette.

#### 2.1.1 Ansvar og plikter

I avsnittene under gjengis informasjon fra norske lover og forskrifter om ansvar og plikter i forbindelse med oppføring og rehabilitering av bygg.

##### 2.1.1.1 Plan og bygningsloven (2009)

Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven, pbl) [5] med forskrifter gjelder ved gjennomføring av byggearbeider (tiltak).

Tiltakshaver er den personen eller det foretaket tiltaket (byggearbeidet) utføres på vegne av. Tiltakshaver er ansvarlig for at tiltak utføres i samsvar med kravene som er gitt i eller i medhold av pbl. Med unntak for enkelte (mindre) tiltak, og tiltak som er unntatt søknadsplikt, skal imidlertid tiltakshaver videreføre sitt ansvar til ansvarlige foretak, jf. pbl § 23-1.

Pbl § 28-2 stiller krav om sikringstiltak ved byggearbeider mv. Her sies det blant annet at bygge- eller rivningsarbeid ikke kan igangsettes uten at de ansvarlige på forhånd har truffet nødvendige tiltak for å sikre mot at skade kan oppstå på person eller eiendom. Stillaser og alt utstyr for byggearbeid skal være forsvarlig innrettet og vedlikeholdt, og driften skal være ordnet slik at fare for liv og helse ikke oppstår.

Etter pbl §§ 23-5 og 23-6 er det ansvarlig prosjekterende og ansvarlig utførende som har ansvar for hhv. prosjektering og gjennomføring av nødvendige sikringstiltak etter § 28-2.

Ansvarlig brannprosjekterende blir i en del tilfeller engasjert av utførende for å vurdere og prosjektere brannsikkerheten også i byggeperioden. Dette ser ut til å være vanligst i forbindelse med rehabilitering/ombygging av et eksisterende byggverk som er i bruk i byggeperioden, men også ved etablering av tilbygg der man har et grensesnitt mot det eksisterende byggverket.

#### 2.1.1.2 Brann- og eksplosjonsvernloven (2002)

Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brann- og redningsvesenets redningsoppgaver (brann- og eksplosjonsvernloven) [6] med forskrifter, gjelder for eksisterende byggverk. Kravene gjelder også ved ombygging eller rehabilitering av eksisterende byggverk.

Eier av byggverk skal sørge for nødvendige sikringstiltak for å forebygge og begrense brann, eksplosjon eller annen ulykke. Eier og bruker av byggverk skal også holde bygningstekniske konstruksjoner, sikkerhetsinnretninger og øvrige sikringstiltak til vern mot brann, eksplosjon eller annen ulykke i forsvarlig stand og påse at disse til enhver tid virker etter sin hensikt, jf. §6.

Pliktene som ligger på eiere og brukere av byggverk er konkretisert i forskrift om brannforebygging, jf. nedenfor.

#### 2.1.1.3 Arbeidsmiljøloven (2006)

Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv. (arbeidsmiljøloven) [7] med forskrifter, stiller krav til forholdene på byggeplassen som arbeidsplass under oppføring og rehabilitering av bygg. Loven gjelder for virksomheter med arbeidstakere, og formålet er å sikre arbeidstakerne et godt og sikkert arbeidsmiljø og hindre fysiske og psykiske skader.

Arbeidsgiver skal sørge for at det utføres systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid på alle plan i virksomheten. Arbeidsgiver skal kartlegge farer og problemer, og på denne bakgrunn vurdere risikoforholdene i virksomheten, utarbeide planer og iverksette tiltak for å redusere risikoen.

#### 2.1.1.4 Forskrift om brannforebygging (2016)

Forskrift om brannforebygging [8] er hjemlet i brann- og eksplosjonsvernloven.

Under følger utdrag fra noen relevante bestemmelser i forskriften:

Utdrag fra §4 – Kunnskap og informasjon om brannsikkerhet i byggverk

Eieren av et byggverk skal ha kunnskap om bygningsdeler, installasjoner og utstyr i byggverket som skal oppdage brann eller begrense konsekvensene av brann.

Eieren skal gjøre den som har rett til å bruke byggverket kjent med kravene som gjelder for bruken av byggverket, og med alle egenskapene ved byggverket som har betydning for brannsikkerheten

Utdrag fra §5 – Kontroll og vedlikehold av bygningsdeler og sikkerhetsinnretninger

Eieren skal sørge for at bygningsdeler, installasjoner og utstyr i byggverket som skal oppdage brann eller begrense konsekvensene av brann, blir kontrollert og vedlikeholdt slik at de fungerer som forutsatt.

Utdrag fra §11 – Brannsikker bruk av byggverk

Den som har rett til å bruke et byggverk skal:

- Sørge for at byggverket brukes i samsvar med kravene til brannsikkerhet som gjelder for byggverket,
- Unngå unødig risiko for brann, og sørge for at rømningsveiene opprettholder sin funksjon, herunder at fremkommeligheten ikke reduseres.
- Ved forhold som vesentlig reduserer brannsikkerheten, straks gjennomføre ekstraordinære tiltak inntil risikoen er normalisert.

Disse kravene vil også gjelde ved ombygging og rehabilitering av byggverk. Det betyr at også brukeren av byggverket har et ansvar dersom tiltenkte rømningsveier blir påvirket av et stillas med eller uten tildekking.

#### 2.1.1.5 Internkontrollforskriften (1997)

Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter (internkontrollforskriften) [9] er hjemlet i bl.a. brann- og eksplosjonsvernloven og arbeidsmiljøloven, og gjelder for virksomheter som omfattes av disse lovene (med flere), jf. § 2.

Virksomhetene skal blant annet kartlegge farer og problemer og på denne bakgrunn vurdere risiko, samt utarbeide tilhørende planer og tiltak for å redusere risikoforholdene. Dette skal dokumenteres skriftlig, jf. § 5. Dokumentasjon av internkontrollen vil variere etter virksomhetens art, aktiviteter, risiko og størrelse.

Når flere virksomheter utøver arbeid på samme arbeidsplass, skal de, når det er nødvendig, skriftlig avtale hvem av dem som skal ha ansvaret for å samordne internkontrollen for deres felles aktiviteter eller områder, jf. § 6.

Dersom en byggherre er arbeidsgiver og utfører arbeid med egne arbeidstakere på byggverket, vil internkontrollforskriften gjelde for ivaretagelse av helse, miljø og sikkerhet for arbeidstakerne, jf. kommentar til § 2.

#### 2.1.1.6 Byggherreforskriften (2010)

Forskrift om sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplasser (byggherreforskriften) [3] er hjemlet i arbeidsmiljøloven.

Kravene i forskriften retter seg mot byggherren og de han engasjerer i et byggeprosjekt, jf. § 3. Byggherren er definert som enhver fysisk eller juridisk person som får utført et bygge- eller anleggsarbeid.

Formålet med forskriften er å verne arbeidstakerne mot farer ved at det tas hensyn til sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplasser i forbindelse med planlegging, prosjektering og utførelse av bygge- eller anleggsarbeid, jf. § 1.

Byggherren kan skriftlig avtale at en juridisk eller fysisk person på byggherrens vegne skal gjennomføre pliktene etter forskriften (byggherrens representant). Avtalen skal klargjøre hvilke



plikter og fullmakter byggherrens representant skal ha. Valg av byggherrens representant fritar ikke byggherren fra sitt ansvar, jf. § 16.

Dersom det er flere prosjekterende eller utførende, skal arbeidet med sikkerhet, helse og miljø koordineres. Byggherren kan selv koordinere (bekreftes skriftlig), eller kan utpeke en ekstern koordinator (skriftlig avtale). Selv om det er utpekt en ekstern koordinator, fritar ikke dette byggherren for ansvar. Byggherren skal jevnlig følge opp at koordinatoren oppfyller sine plikter, og skal dokumentere oppfølgingen, jf. § 13.

Byggherren skal før oppstart av arbeidet sørge for at det utarbeides en skriftlig plan for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA-plan), jf. § 7. Byggherren kan utarbeide SHA-planen selv, eller overlate dette helt eller delvis til koordinator.

SHA-planen skal dokumentere at arbeidet som skal utføres er planlagt og risikovurdert før arbeidet starter, og at arbeidet kan utføres uten fare for liv og helse. Planen skal være lett tilgjengelig på bygge- eller anleggsplassen, og skal oppdateres fortløpende dersom det oppstår endringer som har betydning for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø.

#### 2.1.1.7 Arbeidsplassforskriften (2011)

Forskrift om utforming og innretning av arbeidsplasser og arbeidslokaler (arbeidsplassforskriften) [1] er hjemlet i arbeidsmiljøloven og retter seg mot arbeidsgiver.

Formålet med forskriften er å sikre at arbeidstakernes sikkerhet, helse og velferd ivaretas ved at arbeidsplasser og arbeidslokaler tilrettelegges og utformes i forhold til arbeidet som utføres, den enkelte arbeidstaker og til særskilte risikoforhold, jf. § 1-1. Forskriften gjelder for alle faste og midlertidige arbeidsplasser, atkomstveier og for nye og eksisterende arbeidslokaler.

Forskriften stiller noen konkrete, materielle krav, jf. nedenfor.

#### 2.1.1.8 Forskrift om utførelse av arbeid (2011)

Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav (forskrift om utførelse av arbeid) [10] er hjemlet i arbeidsmiljøloven og retter seg mot arbeidsgiver.

Formålet med forskriften er å sikre at utførelse av arbeid og bruk av arbeidsutstyr blir gjennomført på en forsvarlig måte, slik at arbeidstakerne er vernet mot skader på liv eller helse.

Forskriften stiller noen konkrete, materielle krav, jf. nedenfor.

#### 2.1.1.9 Oppsummering

Ved gjennomføring av byggarbeider skal reglene ivareta sikkerhet, helse og miljø for arbeidstakerne. Ved byggarbeider i eksisterende byggverk som er i bruk i byggeperioden, skal reglene også ivareta sikkerheten for brukerne.

Det stilles krav til både eiere og brukere (eksisterende byggverk), byggherrer/tiltakshavere, virksomheter, arbeidsgivere, prosjekterende og utførende. Ulike størrelser og typer prosjekter (nybygg eller rehabilitering), og ulik organisering av byggeprosjekter, kan gi ulike utfordringer.

Dette understreker viktigheten av god kommunikasjon og godt samarbeid mellom aktørene. I tillegg er det viktig med skriftlige avtaler som beskriver ansvaret og oppgavene som ligger hos de ulike aktørene.

Ved utførelse av byggearbeider i nye og eksisterende byggverk stiller plan- og bygningsloven krav om sikringstiltak. Ansvaret for prosjektering og utførelse av nødvendig tiltak ligger hos de ansvarlige prosjekterende og utførende foretakene.

Ved gjennomføring av byggearbeider i et eksisterende byggverk har både eier og bruker ansvar for å ivareta brannsikkerheten i samsvar med brann- og eksplosjonsvernloven og forskrift om brannforebygging. Bruker av byggverket er ikke nødvendigvis eier av byggverket. Oftest vil eier også være byggherre.

Utførende har et selvstendig ansvar som arbeidsgiver og virksomhet, og skal oppfylle krav i arbeidsmiljøloven, arbeidsplassforskriften, forskrift om utførelse av arbeid, og internkontrollforskriften.

Byggherreforskriften regulerer sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- og anleggsplasser. Forskriften plasserer ansvaret for å ivareta brannsikkerheten i byggeperioden på byggherren.

Med unntak for profesjonelle byggherrer, vil de konkrete oppgavene gjerne bli delegert til andre aktører (byggherrepräsentant og koordinator). Slik delegering fritar imidlertid ikke byggherren for ansvar.

Formålet med byggherreforskriften er å verne arbeidstakerne mot farer. Planen for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA-planen) er det sentrale dokumentet ved gjennomføring av byggearbeider. I SHA-planen skal det inngå en vurdering av risikoforholdene og redegjøres for hvordan brannsikkerheten skal ivaretas i byggeperioden.

Byggherren har ansvaret for at SHA-planen blir utarbeidet og fulgt opp, men arbeidsoppgavene kan delegeres. Det er viktig at alle relevante krav i de ulike regelverkene blir ivaretatt i planen. Dette forutsetter kommunikasjon og samarbeid mellom de ulike aktørene.

Når det blir valgt en utførende/entreprenør skal denne (som arbeidsgiver) følge SHA-planen, jf. byggherreforskriften § 18, men utførende antas i stor grad å styre de konkrete valgene som gjøres for å ivareta brannsikkerheten i byggeperioden. Relevante deler av SHA-planen skal innarbeides i internkontrollsystemet til utførende.

Utførende skal informere byggherren om risikoforhold som ikke er dekket av spesifikke tiltak i SHA-planen og om behov for endringer i planen.

## 2.1.2 Materielle krav

### 2.1.2.1 Arbeidsplassforskriften (2011)

Arbeidsplassforskriften [1] stiller krav om tilstrekkelige rømningsveier og nødutganger (§ 2-21) og krav om nødbelysning ved svikt i den ordinære belysningen (§ 2-13). Krav om nødbelysning gjelder både på arbeidsplasser, i flukt- og rømningsveier og ved nødutganger.

Arbeidsplasser på utendørs stillas skal om nødvendig være dekket med presenning eller lignende og ha lokal oppvarming og belysning. Arbeidstakerne skal raskt kunne forlate arbeidsplassen ved fare, eller skal raskt kunne reddes (§ 2-24).

Det stilles også krav om alarm- og varslingsutstyr (§ 4-1), rømnings- og redningsutstyr (§ 4-2) og brannforebygging, eksplosjonsforebygging og brannsløkkingsutstyr (§ 4-3).

De nevnte paragrafene finnes i sin helhet i Vedlegg A.

Det stilles dessuten en rekke krav til skilting, merking, lyd- og lyssignaler med mer i kapittel 5 av arbeidsplassforskriften.

### 2.1.2.2 Forskrift om utførelse av arbeid (2011)

Forskrift om utførelse av arbeid [10] stiller i kapittel 5 en rekke krav som skal forhindre brann og andre ulykker ved varmt arbeid.

Kapittel 17 stiller krav som gjelder ved arbeid i høyden, bl.a. krav som gjelder stillaser. Stillas skal ha sikker, bekvem og hensiktsmessig atkomst, fortrinnsvis med eget trappetårn (§ 17-12). Usikret avstand mellom stillas og vegg skal ikke overstige 0,30 meter (§17-14). Trematerialer skal være umalte og uskadet (§17-15), men ellers stilles det ikke spesifikke krav til materialbruk i stillaser (for eksempel i stillasgulv/gangbaner).

Brannfare omtales i paragraf 17-20:

***Når det brukes dekkede stillaser, skal inndekkingen tilfredsstillende brannkravene for materialer brukt i rømningsvei.***

Til denne paragrafen sier Arbeidstilsynet i sin kommentar at:

*I tilfelle brann vil stillaser i de fleste tilfeller være rømningsvei(er) for de som oppholder seg på stillaset, og i enkelte tilfeller også for de som oppholder seg inne i bygget. Materialer for tildekking av stillaset må derfor oppfylle brannkravene for materialer brukt i rømningsvei.*

*Krav til materialer i innvendig rømningsvei finnes i TEK 10. Ett-sjikts tak av duk og folie må tilfredsstillende klasse B-s3, d0 (Ut1) for tak- over tak – konstruksjoner og for inndekking av fasadestillas. Valg av duk må vurderes med tanke på i hvilken grad en eventuell røykutvikling kan unnsnippe til det fri, det vil si hvor tett man lager inndekkingen. Som pre- aksepterte løsninger vises det til TEK 10 § 11-9 og til NS EN 13501-1.*

Den preaksepterte ytelsen som det her vises til i veiledningen til TEK10 [11], er videreført i veiledningen til TEK17.

Krav til materialer og produkters egenskaper ved brann stilles i byggt teknisk forskrift, TEK17, § 11-9 [12]. Kravet er at materialer og produkter skal ha egenskaper som ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Det skal legges vekt på muligheten for antennelse, hastigheten av varmeavgivelse, røykproduksjon, utvikling av brennende dråper og tid til overtenning.

**Veiledningen til TEK17 §11-9 gir preaksepterte ytelser, og for rømningsveier angis klasse B-s1,d0 (In 1) for vegger og i himling/tak.**

Veiledningen gir også preaksepterte ytelser for takteknisk, og for ett-sjikts tak av duk og folie angis klasse B-s3,d0 (Ut 1). Dette gjelder for taktekningsprodukter som for eksempel benyttes

på hallkonstruksjoner. Denne ytelsen er i utgangspunktet ikke beregnet for tak-over-tak-konstruksjoner eller stillastildekking, som gir andre problemstillinger blant annet knyttet til rømning.

I denne sammenhengen er det også relevant å se på preaksepterte ytelser som gjelder for svalganger som rømningsvei. For svalgang angir veiledningen til TEK17 § 11-14 at overflaten på vegg og tak kan være i klasse B-s3,d0 (Ut 1). Forutsetningen er da at svalgangen er mest mulig åpen slik at røyk- og branngasser kan unnslippe. En åpenhet på 50 % av «veggflaten» mot det fri anses tilfredsstillende. Det er den øverste delen av veggflatene som må være åpen. Åpning i rekkverk er ikke å anse som åpent areal.

Tildekking av et fasadestillas med duk eller presenning vil hindre utslipp av røyk- og branngasser. Et produkt i klasse B-s3,d0 vil ikke ha noen begrensninger i røykproduksjon (angitt ved underklasse s3) slik et produkt i klasse B-s1,d0 har.

Kommentaren til Arbeidstilsynet angir derfor også at valg av duk må vurderes med tanke på i hvilken grad en eventuell røykutvikling kan unnslippe til det fri, det vil si hvor tett man lager inndekkingen, jf. ovenfor.

Hensikten med tildekking av stillaser (og ev. tak-over-tak) vil vanligvis være å gi best mulig beskyttelse mot vær og vind, både for arbeiderne og også for å oppnå ønskede klimatiske forhold for arbeidet som skal utføres. Det vil si at det ikke vil være tilstrekkelige åpninger som kan gi utlufting av røyk- og branngasser, som på en svalgang. Kravet i forskrift om utførelse av arbeid § 17-20 betyr derfor at produkter som benyttes til tildekking av stillaser, og tak over tak-innbygging, etter vår vurdering må tilfredsstillende klasse B-s1,d0.

### 2.1.3 SHA-planen – vurdering av brannrisiko

Etter byggherreforskriften [6] skal byggherre før oppstart av arbeidet sørge for at det utarbeides en skriftlig plan for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA-plan), jf. § 7. Arbeidstilsynet gir på sine hjemmesider en kort beskrivelse av SHA-begrepet og SHA-planen. Denne beskrivelsen er gjengitt i sin helhet i Vedlegg B. Beskrivelsen er generell og det nevnes ikke noe spesifikt angående brannsikkerhet.

SHA-planen skal beskrive risikoforhold og hvordan arbeidstakernes sikkerhet, helse og arbeidsmiljø blir ivaretatt i byggeperioden. Basert på samtale med fagansvarlig SHA i en stor boligutbygger mener vi at noen vurderinger og avklaringer angående brannsikkerhet må gjøres i SHA-planen, slik som:

- De som arbeider på/i byggverket må ha tilfredsstillende rømningsforhold.
- Lyd- og lysvarsling, belysning og merking i rømningsveier, brannsløkkingsutstyr osv. må ivaretas. Bruk av røykvarslersystemer kan gi utfordringer med feilutløsninger, f.eks. i støvete omgivelser. Manuelle brannmeldere kan derfor være mer hensiktsmessig.
- Vurdering av produkter for tildekking av stillas og bygg. Fra fagansvarlig SHA i en stor boligutbygger er det opplyst at det er vanlig å angi i SHA-planen at det skal benyttes brannhemmende produkter (B-s3,d0 eller bedre), men at konkret valg av produkt som regel gjøres av et stillasfirma. RISE tolker at kravet i forskrift om utførelse av arbeid tilsier at tildekkingsprodukter må tilfredsstillende klasse B-s1,d0, jf. vurdering av materielle krav ovenfor.

- Valg av stillasgulv/gangbaner. Bruk av brennbare materialer vil bidra til brannutvikling og brannspredning.
- Ved brann bak et tildekket stillas (ev. tak-over-tak-systemer) kan det være en utfordring å få ut røyken. Dette kan påvirke rømningsforholdene. Det kan være behov for å tilrettelegge slik at det om nødvendig kan lages åpninger i tildekkingen.

### 2.1.4 Byggearbeider i eksisterende byggverk

Dersom byggverket er i bruk i byggeperioden, må også sikkerheten til beboere/brukere ivaretas. Ansvar for dette ligger hos eier og brukere av byggverket. Det er viktig å vurdere om byggarbeidene, og ev. tildekking av stillaser, kan påvirke brannsikkerheten, og om det må iverksettes kompensierende tiltak. For eksempel må det tas hensyn til at:

- Nødvendige rømningsveier for beboere/brukere må opprettholdes.
- Byggverket kan ha rømningsveier via svalganger og rømningsbalkonger, eller balkonger og vinduer som er forutsatt å være tilgjengelige for brann- og redningsvesenet (hvis brukere/beboere bare har tilgang til ett trapperom). Ved montering og tildekking av stillaser kan disse bli blokkert i større eller mindre grad.
- Det kan være nødvendig å kompensere for brannsikringstiltak som blir midlertidig satt ut av drift, f.eks. alarm- og sløkkeanlegg.

## 2.2 Testmetoder for klassifisering av materialers egenskaper ved brannpåvirkning

Materialers egenskaper ved brannpåvirkning er viktige for hvordan en brann vil utvikle seg. Disse egenskapene testes og dokumenteres i et harmonisert sett av standarder i Europa som kalles euroklasser. Dette systemet som er basert på 5 ulike testmetoder er beskrevet i NS EN 13501-1 og gir en klassifisering av produkter ut i fra hvor godt de brenner, hvor mye røyk de avgir og om det produseres brennende dråper [13].

For å tilfredsstille kravene i regelverket om at stillastildekkingen skal ha brannegenskaper som tilfredsstiller B-s1,d0, eller B-s3,d0 må produktene testes etter testmetodene, NS-EN ISO 11925-2 (Liten flamme) [14] og EN 13823 «Single Burning Item» (SBI) [4].

I «liten flamme» testen skal en bit av materialet som er 250 mm lang og 90 mm brei monteres vertikalt i en ramme og den nederste kanten eksponeres for en 20 mm lang gassflamme. Kravet for å oppnå klasse B er at flammen ikke skal spre seg lenger enn 150 mm oppover materialet i løpet av 30 sekunder med eksponering for flamme og i 30 sekunder etter eksponeringen. I tillegg skal ikke et papir som ligger under prøvestykket antennes for å kunne oppnå klasse d0 for brennende dråper.



Produktene må i tillegg testes etter SBI-testmetoden. Her monteres prøvestykket opp i et innvendig hjørne sammensatt av to flater med bredde 0,5 m og 1,0 m og med høyde 1,5 m. For frittstående materialer, som stillaspresenninger, monteres disse med minst 80 mm luft bak prøvestykkene. I hjørnet av prøvestykket blir det tent en gassflamme på 30 kW som brenner i 20 minutter. Det blir registrert brennende dråper, flammespredning sidelengs, røykproduksjon og varmeavgivelse. Ut fra dette beregnes verdier for hvor raskt en brann utvikler seg i materialet (FIGRA), og hvor raskt materialet avgir røyk (SMOGRA) som avgjør hvilken klassifisering produktene oppnår.

For å oppnå klasse B må  $FIGRA_{0,2MJ}$ -verdien være maksimalt 120 W/s og total varmeavgivelse over 10 minutter ( $THR_{600s}$ ) være maksimalt 7,5 MJ, i tillegg til at brannen ikke kan spre seg ut til kanten av prøvestykket.

Klasse s1 for røykmengde oppnås ved SMOGRA-indeks inntil  $30 \text{ m}^2/\text{s}^2$  og total røykmengde over 10 minutter ( $TSP_{600s}$ ) inntil  $50 \text{ m}^2$ . Klasse s2 gis til produkter med SMOGRA under  $180 \text{ m}^2/\text{s}^2$  og  $TSP_{600s}$  over  $200 \text{ m}^2$ , klasse s3 er for produkter som ikke tilfredsstiller dette og har ingen øvre grense for hvor mye røyk som kan avgis. Detaljer rundt utregning av FIGRA og SMOGRA verdier finnes i EN 13823 [4].

Klasse d0 krever at det ikke observeres noen brennende dråper som faller ned fra prøvestykket i løpet av 10 minutter.

## 2.3 Tilgjengelige produkter på markedet

Tilgjengelige produkter ble kartlagt ved søk på Google med stikkord som «stillastildekking», «stillasduk» og «stillasnett». I denne kartleggingen ble det funnet 64 ulike typer nett, presenning og krympeplast for stillastildekking fra 20 ulike leverandører. Noen av disse produktene stammer fra samme produsent og er trolig identiske.

Produktene kan plasseres i kategoriene tette presenninger, krympeplast og nett. De fleste av produktene er laget av polyetylen (PE), men også polypropylen (PP), polyester (PES) og polyvinylklorid (PVC) er nevnt som materiale for enkelte produkter. Presenningsdukene er oppgitt til å veie typisk omkring  $200 \text{ g}/\text{m}^2$ , og nett er oppgitt til typisk rundt  $80 \text{ g}/\text{m}^2$ . Ingen av krympeplastproduktene hadde oppgitt arealvekt, men er oppgitt til å være mellom 0,2 og 0,3 mm tykke. Det er også funnet en type isolerende duk som er oppbygd med en kjerne av skum og vekt fra 600 til  $1600 \text{ g}/\text{m}^2$ . Løsningene leveres på rull i ulike bredder og lengder, og festes til stillaset med ulike typer strikk eller klemmer. Krympeplasten kan i tillegg klebes sammen ved hjelp av varme. Figur 2-1 viser bilde av et bygg under oppføring der store deler av fasaden er tildekket av en type tett presenning.

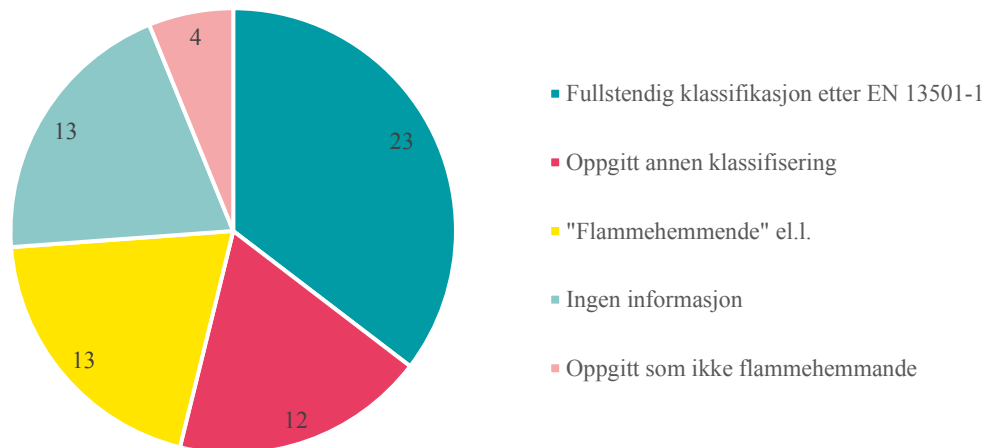


**Figur 2-1:** Eksempel på bygg under oppføring der store deler av fasaden er tildekket.  
Foto: RISE Fire Research.

Produktene var i de fleste tilfeller beskrevet som «flammehemmet», men informasjon om klassifisering manglet. Produkter fra noen få produsenter var oppgitt med klassifisering B-s1,d0, B-s2,d0 eller B-s3,d0 etter EN 13501-1. Noen produkter refererte til alternative testmetoder som for eksempel DIN 4102-1 [15]. Leverandørene med mangelfull informasjon om brannklassifisering ble forespurt om hvilke branntekniske egenskaper produktene hadde, og det ble mottatt svar med utfyllende informasjon for 16 produkter. Basert på mottatt informasjon om brannegenskapene til produktene kan de sorteres i fem kategorier:

- Fullstendig klassifikasjon etter EN 13501-1, for eksempel B,s1-d0.
- Brannklassifisering etter annen testmetode, for eksempel DIN 4102.
- Informasjon om at produktet er «flammehemmet» eller tilsvarende uten videre spesifisering.
- Ingen informasjon om brannegenskaper.
- Informasjon om at produktet ikke er flammehemmet.

Fordelingen av produktene i disse kategoriene er vist i Figur 2-2. Omtrent 35% av produktene hadde fullstendig klassifikasjon etter EN 13501-1 (som f.eks. B,s1-d0) og omtrent 6% oppga at produktet ikke var flammehemmende. Av de resterende var det jevnt fordelt mellom de som oppga brannklassifisering etter andre testmetoder, de som oppga ingen informasjon om brannegenskaper og de som oppga at produktet var flammehemmende uten videre spesifisering.



**Figur 2-2: Antall kartlagte produkter for stillastildekking med oppgitt brannklassifisering.**

Ringerunden som ble utført til noen av de ledende aktører i markedet viste at det var produkter med dokumenterte brannegenskaper etter EN 13501-1 som blir brukt av disse. Disse benyttes av store totalentreprenører, det er derfor trolig at produktene som benyttes av disse stillasfirmaene er representative for større prosjekter.

### 2.3.1 Testresultater fra klassifiseringstester

For 10 ulike produkter deriblant både nett, duker og krympeplast, ble det mottatt datablad som viste produktets klassifisering etter NS EN 13501-1 og i tillegg testresultater etter «liten flamme» test og SBI-test. Alle disse produktene hadde oppnådd klassifiseringen B, med god margin med under 10% av kravet for total varmeavgivelse. De fleste produktene hadde også tilfredsstillt kravene til klasse s1 med mellom 2% og 50% av kravet for total røykproduksjon. Ett produkt hadde avgitt noe mer røyk og oppnådde klasse s2. En av dukene med skumkjerne hadde oppgitt brannklasse B,s3-d0, som betyr at den hadde avgitt enda mer røyk, men testresultater fra dette produktet har ikke vært tilgjengelig. Alle produktene med tilgjengelig dokumentasjon hadde oppgitt klasse d0, som betyr at de ikke har avgitt brennende dråper under testene.

Av bildene som var tilgjengelig i testrapportene fra produktene etter eksponering for flammen på 30 kW i SBI-testen kunne det observeres at det var brent hull i dukene opp til omtrent 0,5 meter over brenneren og at brannen ikke har spredd seg videre verken lenger oppover eller utover til sidene.

## 2.4 Rømning

Rømning er prosessen der mennesker ved egen hjelp eller assistert av andre forflytter seg eller forflyttes til et sikkert sted [2]. Rømning kan skje gjennom en fluktvei eller en rømningsvei. Fluktvei er en del av en branncelle som brukes til rømning og evakuering fram til rømningsvei

eller til sikkert sted [2]. En rømningsvei er én eller flere brannceller som er tilrettelagt for rømning fra der man oppholder seg og til et sikkert sted [2].

TEK17 §11-13 første ledd [12] stiller følgende krav til antall utganger fra en branncelle: *Fra en branncelle skal det minst være én utgang til sikkert sted, eller utganger til to uavhengige rømningsveier, eller én utgang til rømningsvei som har to alternative rømningsretninger som fører videre til uavhengige rømningsveier eller sikre steder.*

TEK17 § 11-13 annet ledd [12] gir imidlertid et alternativ for byggverk i risikoklasse 4 (boligbygning mv.) med inntil 8 etasjer:

*Brannceller i byggverk i risikoklasse 4 med inntil 8 etasjer kan ha utgang til ett trapperom utført som rømningsvei. Dette forutsetter at hver boenhet har minst ett vindu eller balkong som er tilgjengelig for rednings- og slokkeinnsats, jf. § 11-17.*

Dette alternativet forutsetter altså at vindu eller balkong skal kunne nås med brann- og redningsvesenets høyderedskaper, jf. preakseptert ytelse i veiledningen til TEK17 §11-17.

Bestemmelsen må også ses i sammenheng med kravet om automatisk slokkeanlegg i byggverk i risikoklasse 4 hvor det kreves heis.

Som det fremkommer av Forskrift om brannforebygging [8] plikter brukeren av et byggverk å sørge for at byggverket brukes i samsvar med kravene til brannsikkerhet som gjelder for byggverket, sørge for at rømningsveiene opprettholder sin. Av veiledningen til forskriften fremkommer det at plikten til å sørge for at rømningsveiene opprettholder sin funksjon innebærer både et forbud mot å plassere gjenstander eller andre hindringer i rømningsveiene, og en plikt til å fjerne etablerte hindringer i rømningsveiene.

Arbeidsplassforskriften [1] stiller krav til arbeidernes flukt- og rømningsveier på arbeidsplasser. Det stilles ikke konkret krav til antall rømningsveier, men «*Rømningsveienes og nødutgangenes antall, fordeling og dimensjoner skal avpasses etter arbeidsplassens bruk, utstyr og dimensjoner, og etter det høyeste antall personer som kan være til stede.*». Det er krav om nødbelysning i flukt- og rømningsveier.

## 2.5 Litteratur

Branner på byggeplasser kan være påsatt i f.eks. søppelcontainere, de kan skyldes varme arbeider, selvantennning i f.eks. linolje eller elektriske feil [16]. I en NFPA<sup>2</sup>-rapport utgitt i 2022 ble det anslått at det i USA årlig oppstod 4 300 branner i bygninger under bygging fra 2016 til 2020 [17]. 76% av disse brannene var i boligbygninger. De viktigste årsakene til disse brannene var varmekilder for nærmest brennbare materialer (matlaging, sveising, varme arbeider), avfall og elektriske feil. Omtrent en tredel av brannene involverte antenning av strukturelle elementer slik som kledning, isolasjon og tak.

30. mars 2022 brant det i et bygg på 5 etasjer som var under oppføring i Hemsedal. Brannen startet i fasaden på bygget og bare 7 minutter etter at brann- og redningsvesenet mottok alarm hadde brannen spredt seg til nabobygget. Brannspredningen skjedde via en rask brannutvikling i plastlemmene i stillaset og den resulterende strålevarmen var stor nok til å antenne nabobygget

<sup>2</sup> The National Fire Protection Association (NFPA), USA.  
© RISE Research Institutes of Sweden

[18]. I april i år brant det kraftig i et boligbyggeprosjekt i Bollmora i Sverige. Brannårsaken er ikke kjent, men brannen skal ha startet på utsiden av bygget i tildekkingen av stillaset før den spredte seg til isolasjonen og videre inn i bygningen [19]. I 2007 oppstod en brann i Deutsche Bank i New York mens rivearbeid pågikk i den opprinnelig 40 etasjer høye bygningen. To brannkonstabler omkom i denne brannen, og røyk som ble fanget i en labyrint av polyetylentildekking var en av grunnene til det fatale utfallet. Brannkonstablene som omkom befant seg i en av etasjene under brannen da de plutselig ble omringet av ild og røyk [20].

I Norge er de to håndbøkene «Sikkerhet ved bruk av stillas» [21] og «Sikkerhetshåndbok for stillasbruk» [22], utgitt av hhv. Regionale verneombud (RVO) og Stillasentreprenørens Forening (SEF), laget for å bedre sikkerheten ved bruk av stillas. Informasjonen i håndbøkene er lik, og det nevnes at trappetårn/utvendig trapp er den beste løsningen for adkomst. Det eneste som nevnes angående brannsikkerhet er at det pga. brannfaren ved bruk av presenning og duk/not bør brukes brannhemmende materialer.

I Sverige har Brandskyddsföreningen gitt ut «Regler för brandsäker byggarbetsplats» [23] og håndboken «Brandsäker byggarbetsplats med regler och checklistor» [24]. Ifølge håndboken er ikke brannegenskapene for tildekkingen (vädskydd) regulert i Sverige, men de anbefaler at minimum Euroklasse E oppfylles. For tilfeller der bygget er bebodd når arbeidet pågår anbefaler de høye krav, som f.eks. B-s2,d0. Er tildekkingen tett med tak bør det etableres løsning for ventilasjon av branngassene. Dette sammenfaller med et dokument med regler for en brannsikkerbyggeplass utarbeidet av Locum<sup>3</sup> på oppdrag av Region Stockholm [25]. Disse dokumentene gir også noen detaljerte krav/retningslinjer til rømning og redningstjenestens tilgang, slik som at normalt ikke skal være med enn 45 m til nærmeste trappetårn og at det er viktig at utvendige trappehus som skal benyttes til rømning ikke blir satt ut av spill av samme brann som det innvendige trappehuset. Bengtson med flere [16] anbefaler i en rapport om brannsikkerhet på byggeplassen at stillastildekkingen bør være helt eller delvis flammehemmet. Det er ikke spesifisert noen eksplisitte krav til dette, men det bør vurderes å ha flammehemmet duk nederst på stillaset for å redusere faren for påsatt brann og foreslår brannklassifisering B,s2-d0 etter EN 13501-1. På bakgrunn av både litteraturstudie og branntester anbefaler også Lennartsson og Majtorp i en masteroppgave at duker som brukes til tildekking bør oppnå minst Euroklasse E, samt at de bør være selvslukkende og ikke gi brennende dråper [26].

Midlertidige haller og telt bruker ofte presenninger og duker som ligner produktene brukt til stillastildekking. Gjennom branntesting er det funnet at duker av PVC og PES brukt til midlertidige haller og telt hadde gode brannegenskaper med liten brannspredning og begrenset omfang av brennende nedfall, men at de hadde stor røykproduksjon. Det eneste produktet brukt til tildekking av stillas som ble testet var en duk av polyetylen. Den hadde både større brannspredning og så mye brennende nedfall at det ga risiko for brannspredning. [27]. Basert på simuleringer har Andersson og Lennqvist funnet at det ikke vil bli hull for ventilasjon av branngassene i slike duker før flammene når taket (av hallen/teltet), og at dette er for sent i brannforløpet for å kunne bidra til personsikkerheten [28]. Rapporten av Blomqvist med flere [27] anbefaler også Euroklasse E for tildekking som brukes som tildekking av bygninger/stillas, og det etterlyses at krav til slik tildekking (vädskydd) spesifiseres av Arbetsmiljöverket. Testresultater fra ytterligere åtte slike produkter er publisert i en SP rapport [29].

<sup>3</sup> Locum er en av Sveriges største eiendomsforvaltere med ansvar for å sørge for at sykehus og andre omsorgsinstitusjoner i Region Stockholm har egnede lokaler.

En håndbok om brannsikkerhet på byggeplasser utgitt av HSE<sup>4</sup> i Storbritannia inkluderer brann i stillastildekking blant disse farene [30]. Her beskrives det at det skal brukes flammehemmet tildekking dersom stillaset er en del av rømningsveien. Videre anbefales det å bruke flammehemmet tildekking dersom bygningen har eksponert tre, brennbar isolasjon, eller dersom bygningen er i bruk. Trappetårn og rømningsstiger skal heller ikke dekkes til for å redusere faren for røyk i rømningsveien og for å gi brann- og redningsvesenet enklere tilgang. Det er gitt eksempler på relevante brannklassifiseringer som Loss Prevention Standard LPS 1215 [31] og Technical Schedule TS 62 [32] som er sertifiseringsordninger fra BRE Global og Warringtonfire. Begge disse sertifiseringsordningene krever at produktene testes etter BS 476-12 [33] og en test der et kar med diameter 300 mm fylt med vann og heptan skal antennes under en oppspent duk på minst 2 m × 2 m.

## 3 Simulering av røykspredning

For å studere røykspredning ble brannsimuleringer benyttet. Formålet var å undersøke hvordan spredningen av røyk fra en brann inne i et byggverk spres til stillaset utenfor og hvordan røykspredningen påvirkes av om stillaset er tildekket eller ikke. Brannsimuleringene ble gjennomført i Fire Dynamics Simulator (FDS) versjon 6.7.9. To ulike typer bygg undersøkes, ett bygg som er under oppføring og ett ferdig bygg som er under renovering. Det er brukt ubrennbare vegger i simuleringen, da spredning av brannen ikke var en del av denne studien. Begge byggene hadde samme størrelse og bestod av 4 etasjer. Brannkilden var plassert i 1. etasje i alle simuleringene.

### 3.1 Metode

#### 3.1.1 Brannstørrelse

To ulike branner ble simulert, en brenselskontrollert brann og en ventilasjonskontrollert brann. I en ventilasjonskontrollert rombrann med kun én åpning er den maksimale varmeavgivelseshastigheten (HRR) begrenset av ventilasjonsfaktoren  $A_0\sqrt{h_0}$ , der  $A_0$  er arealet av åpningen (m<sup>2</sup>) og  $h_0$  er høyden på åpningen (m). I en slik rombrann er den maksimale varmeavgivelseshastigheten,  $\dot{Q}_{max}$ , er funnet å være [34]:

$$\dot{Q}_{max} = 1500A_0\sqrt{h_0}$$

For et rom med to vinduer av størrelsen 1,5 m x 1,2 m (BxH) gir dette en maksimal HRR på omtrent 6 000 kW basert på mengden luft som kan trekkes inn gjennom åpningene. Ligningen ble utviklet for en enkel romkonfigurasjon og det innebærer derfor noe usikkerhet når den er brukt for andre konfigurasjoner. I dette tilfelle ble verdien kun brukt som et estimat for å etablere brannstørrelsen i simuleringene. Større eller flere åpninger vil gi økt tilgang på luft som kan opprettholde en større brann.

Brannstørrelsen inne i en bygning varierer betydelig avhengig av hvilket og hvor mye brensel som er tilgjengelig. I en ofte brukt standard for branntesting av fasader, SP Fire 105 [25], er

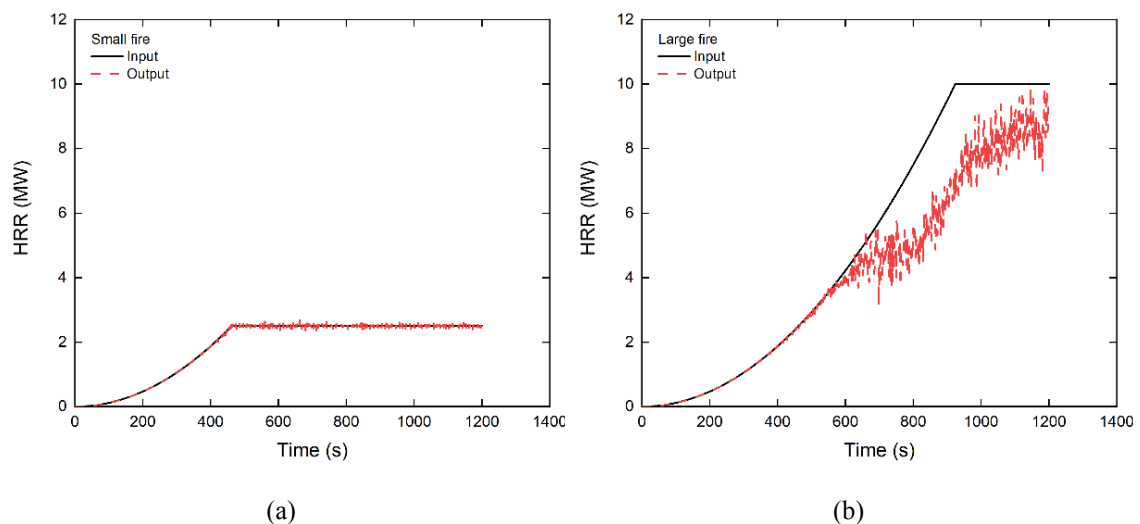
---

<sup>4</sup> The Health and Safety Executive.  
© RISE Research Institutes of Sweden

brannkilden 60 liter heptan, med en brannbelastning på ca. 110 MJ/m<sup>2</sup>. Med denne brannkilden er tar det omtrent 13 minutter (780 s) å nå maksimal HRR på 2 500 kW, som omtales som *peak heat release rate* (PHRR) [35]. PHRR fra SP Fire 105 testen ble brukt for å etablere brannstørrelsen for den brenselskontrollerte brannen i simuleringene. For å beskrive brannveksten ble en  $t^2$  medium kurve, med en brannvekstrate,  $\alpha$ , på 0,01172 kW/s<sup>2</sup>. Det vil si at brannstørrelsen,  $Q$ , øker over tid,  $t$ , i henhold til  $Q = \alpha t^2$ . Den valgte brannvekstraten tilsvarende en medium brannvekst i følge til NFPA 72 [36]. Brannvekstfasen var dermed 462 s.

Brannkildestørrelsen var 4 m<sup>2</sup> (2 m × 2 m), som ga en varmeavgivelseshastighet per arealenhet (HRRPUA) på 625 kW/m<sup>2</sup>. Denne verdien er egnet til å modellere en kontorbrann i henhold til Hopkin med flere [37]. Figur 3-1 (a) viser HRR for denne brenselskontrollerte brannen i bygget under renovering. Svart linje viser den nominelle HRR som blir gitt til modellen og rød linje viser den resulterende HRR fra simuleringen av brannen. Siden de to linjene er like betyr det at brannen på 2 500 kW var godt ventilert, også for bygget under rehabilitering som bare hadde to åpne vinduer.

For å studere en situasjon med en større underventilert brann med flammer som strekker seg utover vindusåpningene, ble simuleringer også utført med en stor brann på 10 000 kW, altså en brann som er signifikant større enn den teoretiske grensen for en brenselskontrollert brann. Brannveksten for denne brannen fulgte også en  $t^2$  middels kurve og brannvekstfasen var 924 s. Figur 3-1 (b) viser varmeavgivelseshastigeten for denne ventilasjonskontrollerte brannen. Her ser man at ved omtrent 5 000 kW begynner brannen å få for lite oksygen. De varme, uforbrente gassene vil da gå ut av vinduet og antenne når de får tilgang til tilstrekkelig med oksygen på utsiden av rommet. Brannen utvikler seg videre der til en maksimal HRR på omtrent 9 000 kW.



**Figur 3-1** Varmeavgivelseshastighet for den brenselskontrollerte brannen i bygget under renovering i (a) og den ventilasjonskontrollerte brannen i bygget under renovering i (b).

### 3.1.2 Sikt

En viktig parameter i denne studien er sikten man har i områdene med røyk, og denne sikten vil være knyttet til hvilken sotproduksjon som benyttes i simuleringene. Sotproduksjonen oppgis som mengde sot produsert pr mengde brensel (g/g) og vil variere sterkt avhengig av blant annet brensel og tilgang til oksygen. I følge Węgrzyński og Vigne [38] er sikten veldig sensitiv for endringer av sotproduksjonen så lenge sotproduksjonen ligger under 0,1 g/g. Når sotproduksjonen er mer enn 0,1 g/g er sikten ikke lenger like sensitiv for endringer. I denne studien ble derfor sotproduksjonen satt til 0,1 g/g for å sikre at simuleringene er representative for flest mulige scenarier. For en godt ventilert, liten brann forventes sotproduksjonen å være mindre og siktforholdene dermed bedre.

En viktig begrensning ved å evaluere sikten basert på sotkonsentrasjonen i ett punkt, er at det ikke tas hensyn til andre faktorer. For eksempel vil det ha stor innvirkning på sikten om brannen oppstår om natta eller på dagtid. Det blir heller ikke tatt hensyn til i hvilken grad selve tildekningen påvirker sikten på grunn av endrete lysforholdene. Videre er sikten retningsavhengig, det er altså mulig at man står et sted der man ikke har sikt i én retning, mens man likevel har sikt og kan rømme i motsatt retning.

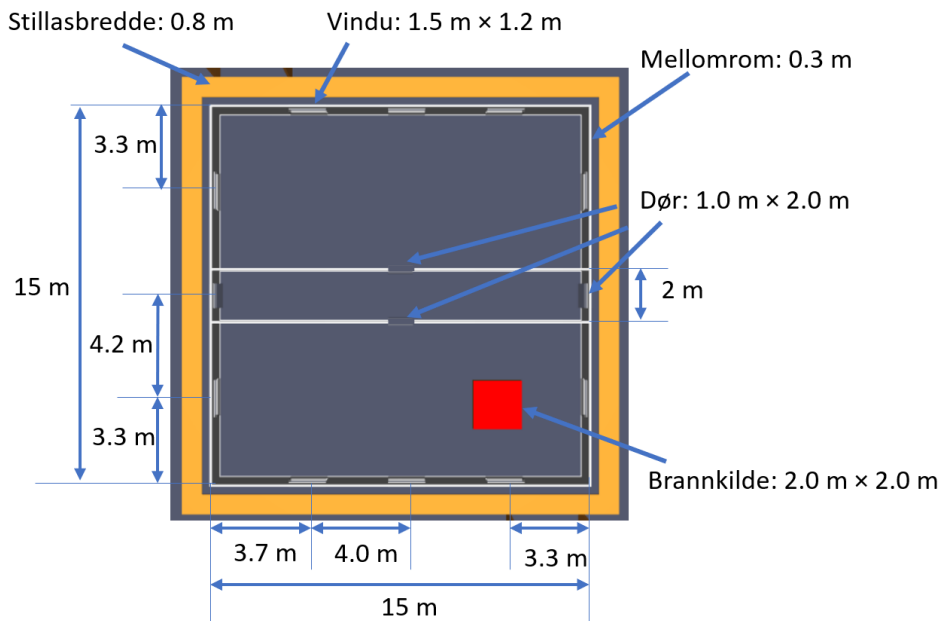
### 3.1.3 FDS modell

#### 3.1.3.1 Bygg

To ulike typer bygg ble undersøkt, ett bygg som er under oppføring og ett ferdig bygg som er under renovering. En etasje av bygget under oppføring er vist i Figur 3-2. Størrelsen på en etasje var 15 m × 15 m × 2,7 m (LxBxH). Bygget bestod av to like store rom med en korridor mellom. Korridoren hadde en bredde på 2 m. Brannkilden ble plassert nær ene enden av brannrommet, med midten av brannen 3,5 m fra høyre sidevegg og 3 m fra yttervegg. Vinduet var 1,5 m bredt og 1,2 m høyt, med en avstand på 0,8 m fra gulvet. Døren var 1,0 m bred og 2,0 m høy, og gikk rett fra gulvet. Det var totalt ti vindusåpninger på hver etasje, tre i frontvegg, tre i bakvegg og to på hver av sideveggene. I korridoren var det 4 døråpninger i hver etasje, en til hvert av rommene og en i hver ende (yttervegg). Alle dørene var plassert midt på veggene. For å simulere et bygg under oppføring med stor åpningsgrad var alle dører og vinduer åpne. Bygget hadde totalt 4 etasjer og alle etasjene var like. Brannkilden var plassert i 1. etasje og størrelsen på brannrommet var 15 m × 6,5 m × 2,7 m (LxBxH). Størrelsen på brannkilden var 2 m × 2 m × 0,6 m (LxBxH).

Avstanden mellom stillaset og bygningsveggen ble satt til 0,3 m. Dette er den maksimale tillatte avstanden iht. forskrift om utførende arbeid [7]. Gangbanene i stillaset hadde en bredde på 0,8 m. Tildekkingen var i alle simuleringene med bygget under oppføring plassert helt inntil gangbanene i stillaset. I virkeligheten er det ofte store forskjeller mellom åpningene i en tildekking, både hvor store de er og hvor de er plassert. Det kan være større åpninger for transport av materiell inn til bygget eller det kan være en langsgående åpning mellom nedre kant av tildekkingen og bakken. Slike åpninger gir tilførsel av luft inn til en evt. brann og i modellen ble det lagt inn en åpning på 0,3 m mellom stillastildekningens nedre kant og bakkeplanet. Denne åpningen ble holdt lik for alle simuleringene.

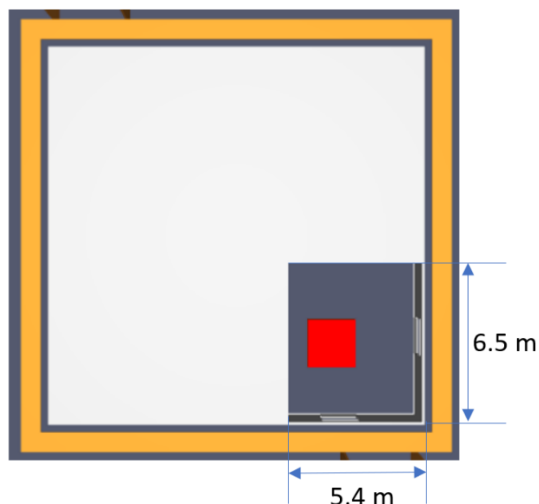




**Figur 3-2:** Planløsning av første etasje for bygget under oppføring. Alle dører og vinduer ble holdt åpne for å simulere et bygg underoppføring med stor åpningsgrad. Bygget hadde fire etasjer og alle etasjene var like.

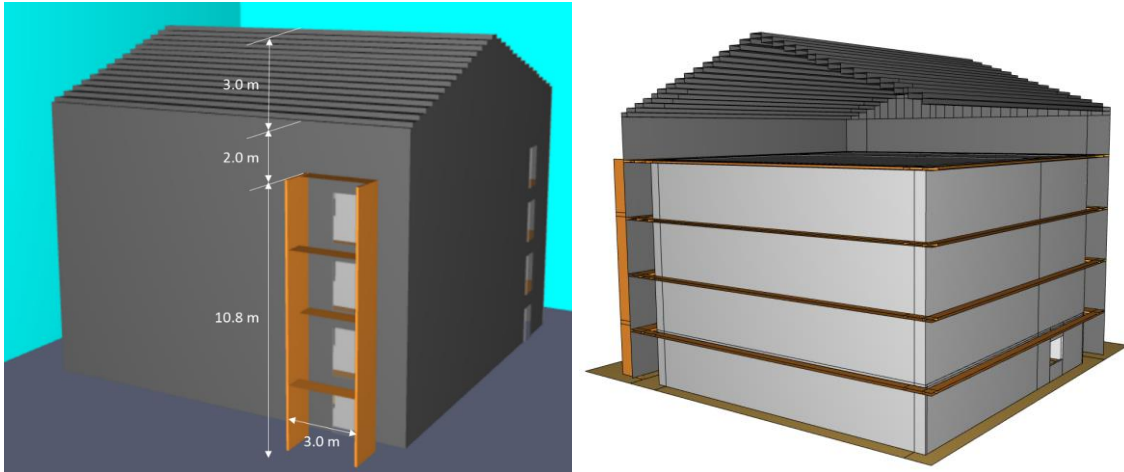
En etasje av bygget under rehabilitering er vist i Figur 3-3. Størrelsen på selve etasjen var lik som for bygget under oppføring, men størrelsen på brannrommet er redusert for å tilsvare et oppholdsrom i en leilighet. Brannkildens plassering i forhold til ytterveggene var lik som for bygget under oppføring. I dette bygget er det kun de to vinduene i brannrommet som er åpne, de resterende vinduene og dørene er lukket. I tillegg er brannrommet begrenset til 35,1 m<sup>2</sup>. Størrelsen på vinduene var lik som for bygget under oppføring. For å redusere beregningstiden ble alle rom i bygget utenom brannrommet ekskludert fra simuleringene. Bygget hadde totalt 4 etasjer og alle etasjene var like. Brannkilden var plassert i 1. etasje og størrelsen på brannrommet var 5,4 m × 6,5 m × 2,7 m (LxBxH).

Avstanden mellom stillaset og bygningsveggen ble som for bygningen under oppføring holdt til 0,3 m. Tildekkingen var i alle simuleringene utenom én plassert helt inntil gangbanene i stillaset. I den ene simuleringen var det lagt til en ekstra åpning mellom ytterkanten av gangbanen og tildekking for å studere effekten av forskjellige åpningsgrader i gangbanen.



**Figur 3-3:** Planløsning av første etasje for bygget under rehabilitering. De to vinduene i brannrommet er åpne, ellers er alle dører og vinduer holdt lukket. Bygget hadde fire etasjer og alle fire etasjene var like.

Bygget med stillastildekning er vist i Figur 3-4, tildekningen var lik for bygget under oppføring og bygget under rehabilitering. Det ble plassert to trappetårn 0,2 m utenfor presenningen, en på forsiden av bygget og en på baksiden. Trappetårnet hadde en lengde på 3 m, en bredde på 1,6 m og en høyde på 2,7 m for hver etasje. Presenningen hadde åpninger i hver etasje på alle fire sider, hver med en størrelse på 1 m × 2 m (BxH). For simuleringene der tildekningen ikke hadde tak gikk den opp til øvre kant av bygget, dvs. en total høyde på 10,8 m. For simuleringene der tildekningen også hadde tak gikk tildekningen langs veggene ytterligere 2 m opp for å muliggjøre arbeid på taket av bygningen. Tildekningen av taket ble laget som et skrått tak over dette, slik at total høyde på tildekningen med tak i høyeste del var 15,8 m.



**Figur 3-4:** Bygning dekket av stillaspresenning med tak fra utsiden (venstre), bygning dekket av stillaspresenning med tak, men med deler av tildekking fjernet for å vise også innsiden (høyre). Tildekkingen var lik for bygget under oppføring og bygget under rehabilitering.

### 3.1.3.2 Gridstørrelse

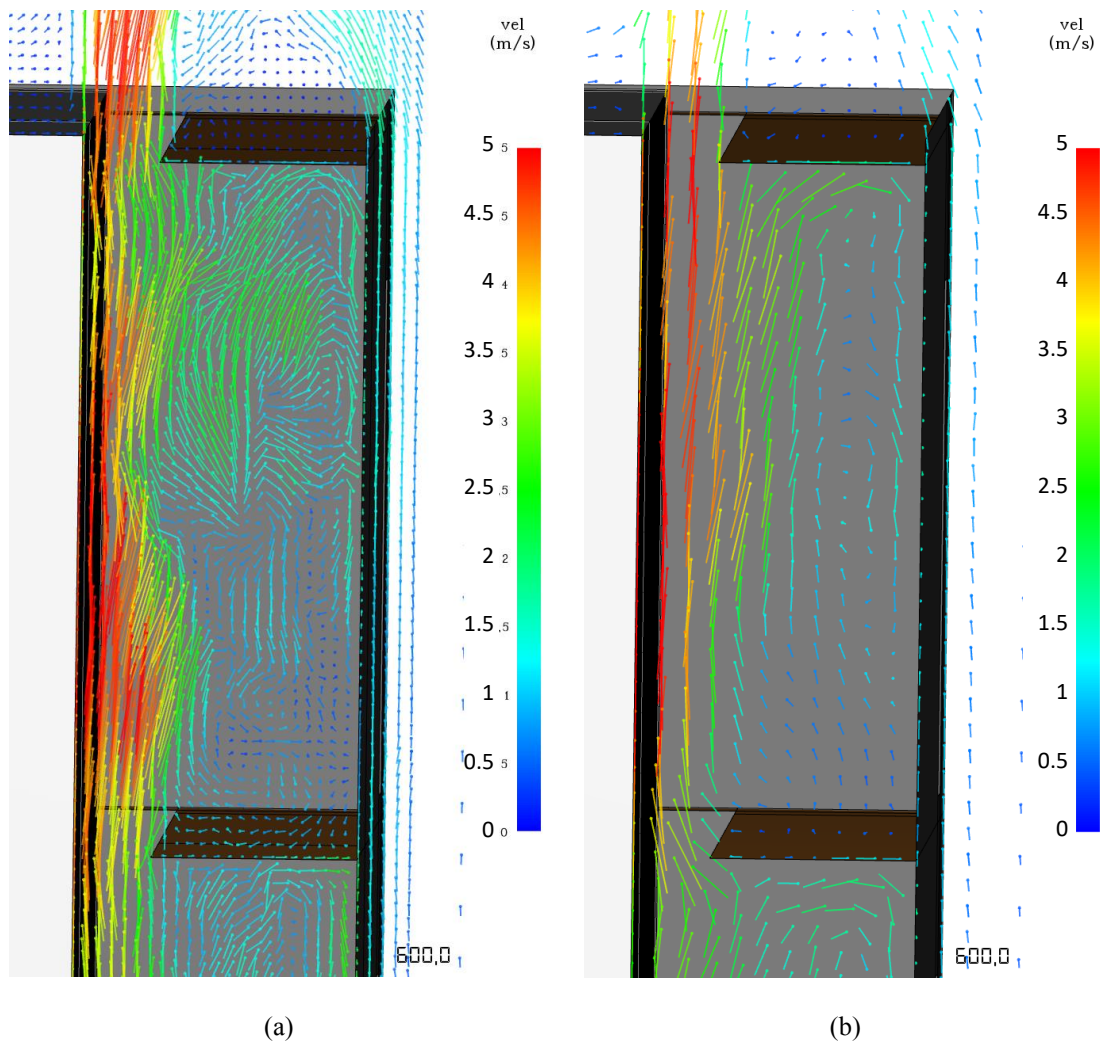
En viktig parameter i numeriske simuleringer er gridstørrelsen,  $\delta x$ . Forholdet mellom den karakteristiske brann diameteren  $D^*$  og gridstørrelsen  $\delta x$  bør være i intervallet  $4 \leq D^*/\delta x \leq 16$ , og 10 er vanligvis passende [39]. Brann diameteren er gitt som:

$$D^* = \left( \frac{\dot{Q}}{\rho_0 c T_0 \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (1)$$

der  $\dot{Q}$  er varmeavgivelseshastigheten (kW),  $\rho_0$  er omgivelsesluftens tetthet ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $c$  er luftens spesifikke varmekapasitet ( $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$ ),  $T_0$  er omgivelsestemperaturen (K) og  $g$  er gravitasjonskonstanten ( $\text{m}/\text{s}^2$ ). For en 2 500 kW brann blir da egnet gridstørrelse 0,14 m og for en 10 000 kW brann blir egnet gridstørrelse 0,24 m. Da disse gridstørrelsene er bestemt fra den maksimale HRR kan finere gridstørrelse være hensiktsmessig i brannutviklingsfasen. Denne tidlige fasen av brannen som krever den fineste gridstørrelsen er likevel mindre relevant når det gjelder rømningsforholdene i hele stillaset og bygningen.

I de fleste deler av modellen ble det valgt å bruke en gridstørrelse på 0,2 m. Det ble likevel vurdert at en finere gridstørrelse var nødvendig i området mellom stillaset og bygningsveggen da åpningene mellom stillaset og veggen i dette området var 30 cm. Det ble derfor brukt en gridstørrelse på 0,1 m i modelleringen av området nær disse åpningene. Beregningsdomenet var  $25 \text{ m} \times 25 \text{ m} \times 18 \text{ m}$  (LxBxH). Beregningsdomenet besto av 11 områder og det totale celledatallet var omtrent 2,6 millioner. Som en parameterstudie ble det også utført en simulering med større åpningsgrad mellom etasjene i stillaset. Dette ble gjort ved å legge til en åpning på 20 cm mellom stillaset og tildekkingen i en simulering. Også nær dette området ble det for den aktuelle simuleringen brukt en gridstørrelse på 0,1 m, slik som for området mellom stillaset og veggen.

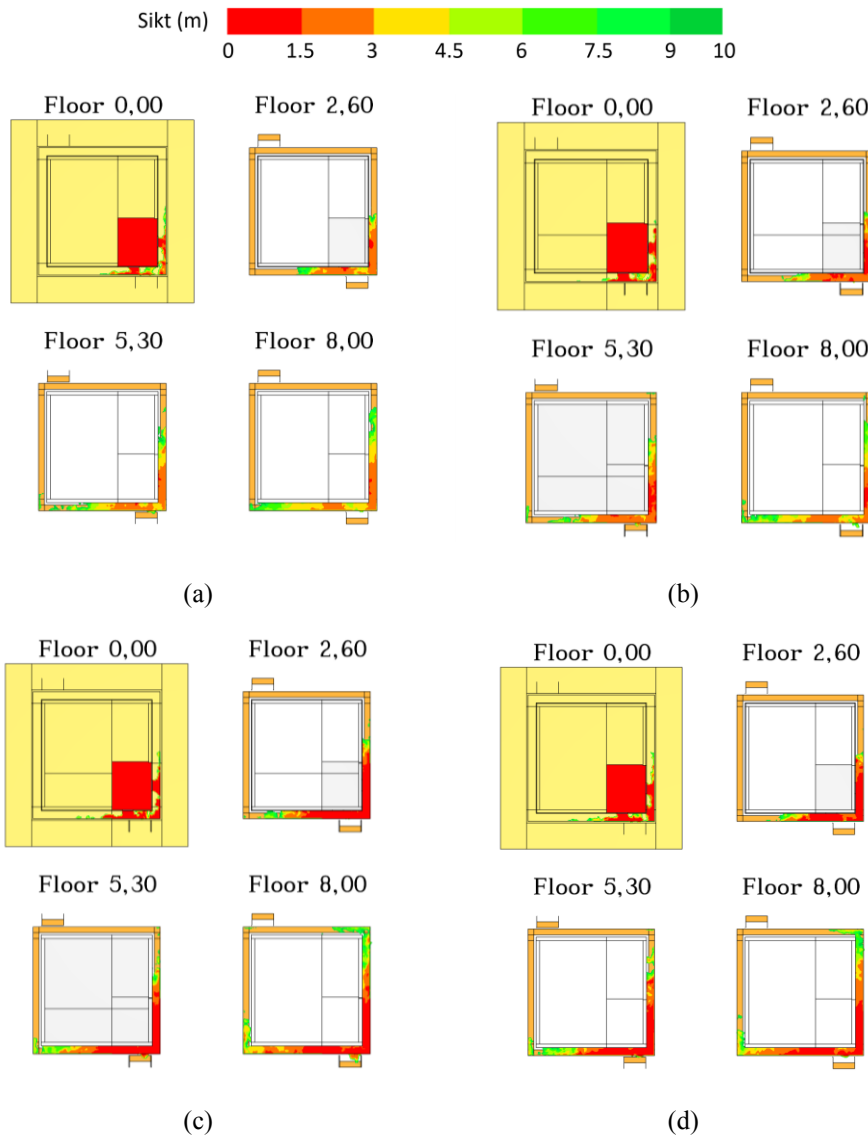
En sensitivitetsanalyse med et finere grid (5,2 millioner celler med en minstestørrelse på 0,05 m) ble gjennomført for å undersøke om gridets oppløsning påvirker resultatene. Figur 3-5 viser resulterende strømningshastighet i stillasområdet med det finere gridet i (a) og det grovere gridet (2,6 millioner) i (b). Det grove gridet oppløser en til to av de store resirkulasjonssonene som dannes rundt stillaset. På grunn av få celler i åpningen mellom stillaset og fasaden oppløser det grove gridet ikke de komplekse strømningsforholdene som vises i simuleringen med det fine gridet. Dette fører også til forskjellige lokale makshastigheter. Dette er imidlertid mest relevant for de lokale strømningsforholdene, og påvirker kun i liten grad de overordnede resultatene.



**Figur 3-5:** Strømningshastighet mellom stillaset og bygningen for en brenselkontrollert brann med tildekket stilas. (a) med minste cellestørrelse på 0,05 m og (b) med minste cellestørrelse på 0,1 m.

I Figur 3-6 vises beregnet sikt i et plan 2 m over gulvet i alle fire etasjene i bygningen under rehabilitering etter 5 og 20 minutter for en brenselkontrollert brann. Beregnet sikt etter 5 minutter vises i (a) for det fine gridet og i (b) for det grovere gridet. Beregnet sikt etter 20 minutter vises i (c) for det fine gridet og i (d) for det grovere gridet. Selv om hastighetsfeltet

påvirkes lokalt av gridopløsningen gir begge simuleringene en veldig lik situasjon med tanke siktforholdene, som vil være viktig for evne til å rømme. Derfor ble alle simuleringene gjennomført med det grovere gridet (2,6 millioner celler).



**Figur 3-6:** Beregnet sikt ved en høyde på 2 m over gulvnivå i alle fire etasjer. (a) og (b) viser situasjonen etter 5 minutter for hhv. minste cellestørrelse lik 0,05 m og 0,1 m. (c) og (d) viser situasjonen etter 20 minutter for minste cellestørrelse lik hhv. 0,05 m og 0,1 m.

### 3.1.3.3 Objekttykkelse

Tykkelsen av ulike komponenter som inngår i modellen varierer fra mindre enn 1 mm (stillastildekking) til 10 cm (veggtykkelse). Tykkelsen på stillastildekkingen er altså mye mindre enn gridstørrelsen på 0,1 m. For å minimere tykkelsens effekt på strømningsfeltet ble

stillaset og stillastildekningen bygget som tynne objekter, dvs. med objekter med null tykkelse. I FDS påvirkes strømningsberegningene av objekttykkelsen og de endimensjonale varmeoverføringsberegningene av tykkelsen på overflatene.

Disse to tykkelsene er uavhengige av hverandre og lar en hindring feste seg til det lokale gridet, men varmeoverføringsberegningene vil likevel baseres på den faktiske tykkelsen. Den termiske tykkelsen på presenningen ble satt til 0,5 mm. Overflateegenskapen til stillaset ble definert som ikke-brennbar. Den ikke-brennbare overflaten i FDS er en overflate med temperatur lik omgivelsestemperaturen. FDS beregner den nødvendige varmeoverføringskoeffisienten og dermed varmeoverføringen mellom overflaten og gassfasen, for å opprettholde overflatetemperaturen.

### 3.1.3.4 Materialer

De fysiske egenskapene til materialene i simuleringen er gitt i Tabell 3-1, hvor den termiske ledningsevnen og den spesifikke varmekapasiteten til PVC er temperaturavhengige. Materialet valgt til bygningsveggen var betong og veggtykkelsen var 0,1 m for den endimensjonale varmeoverføringsberegningen. Materialet brukt til stillaspresenningen var PVC.

**Tabell 3-1: Fysiske egenskaper ved materialene som er brukt i simuleringen. Verdiene er hentet fra [40].**

Materiale	Termisk ledningsevne, $k$ , (W/(m·K))	Tetthet, $\rho$ , (kg/m <sup>3</sup> )	Spesifikk varmekapasitet, $c$ , (kJ/(kg·K))
Betong	1.8	2280	1.04
PVC	0.192 (23 °C)	1380	1.29 (23 °C)
	0.175 (50 °C)		1.35 (50 °C)
	0.172 (75 °C)		1.41 (75 °C)
	0.147 (100 °C)		1.47 (100 °C)
	0.141 (125 °C)		1.53 (125 °C)
	0.134 (150 °C)		1.59 (150 °C)

### 3.1.3.5 Begrensninger

Brannforløpet og røykspredningen i en komplisert geometri er i høyeste grad scenarioavhengig. Derfor var modelleringsstrategien å bruke en enkel modell og å fokusere på sammenlignbarhet mellom simuleringene. Det betyr også at resultatene ikke gir verdier som kan interpretere kvantitativt.

Simuleringene er basert på et predefinert brannforløp som følger en konstant, medium brannvekstrate. Det ble altså ikke tatt hensyn til pyrolyseprosessen og samspillet mellom brannenes varmeavgivelse og brannspredningen. En reell brann kan utvikle seg raskere eller

saktere enn det simulerte brannforløpet. Hovedmålet med å bruke et predefinert nominelt brannforløp var å gjøre simuleringene med de forskjellige bygg og tildekkingsgrader sammenlignbare. Det vil imidlertid ikke være mulig å bruke resultatene for å evaluere en reell brann. Simuleringene fokuserte på røykspredningen og inkluderte ikke brannspredning. Spesielt for den ventilasjonskontrollerte brannen, som brenner også utenfor brannrommet, må det forventes at brannen kan spre seg til andre bygningsdeler som for eksempel fasaden. Å simulere brannspredning som involverer flere typer materialer i en kompleks geometri er krevende og involverer store usikkerheter. Simulering av brannspredningen ble derfor ikke inkludert i modellen.

Lufttettheten på gangbanene i stillaset og tildekkingsmaterialet rund stillaset har en stor innvirkning på ventilasjonsforholdene og brannodynamikken. Gangbanene og tildekkingsmaterialet var helt lufttette i simuleringene. Dette er dermed et ytterpunkt av mulige konfigurasjoner som kan anses å være konservative med tanke på lateral brannspredning langs gangbanene. I hvilken grad tettheten av tildekkingsmaterialet påvirker resultatene er usikkert. Videre vil tildekkingen ødelegges ved høyt nok temperatur. Når deler av tildekkingen som er direkte eksponert til flammene ødelegges vil det påvirke ventilasjonsforholdene og tilføre mer oksygen til brannen. Dette er ikke reflektert i modellen.

På grunn av disse forenklingene og fordi simuleringene omfatter kun generiske bygg, er det viktig at kvantitative resultatene ikke brukes direkte for å evaluere reelle byggeprosjekter. Resultatene gir likevel en god forståelse hvilke effekter som kan forventes fra tildekking av stillaser og de gir indikasjoner for hvilke risikosenkendetiltak som kan vurderes hensiktsmessige.

## 3.2 Scenarier

Totalt 12 scenarier ble simulert for de to bygningstypene bygg under oppføring og bygg under rehabilitering. Parameterne som ble variert i de ulike scenariene var brannstørrelse, hvilken grad av tildekking stillaset hadde og hvor stor luftgjennomstrømning det var mellom etasjene i stillaset.

Som beskrevet i kapittel 3.1.1 ble det brukt to ulike brannstørrelser. Den ene hadde en maksimal HRR på 2 500 kW og var brenselkontrollert, som vil si at brannen hele tiden fikk nok oksygentilførsel. Den andre brannstørrelsen som ble brukt hadde en maksimal HRR på 10 000 kW. Denne fikk ikke tilstrekkelig oksygentilførsel og var dermed ventilasjonskontrollert.

Hovedsakelig tre ulike grader av tildekking av stillaset ble brukt: ingen tildekking, tildekking på alle sidene og tildekking på både sidene og tak. I tillegg ble det i ene scenariet lagt inn en 1 m åpning øverst på sidene av tildekkingen rett under taket, for å se effekten av et mulig sikkerhetstiltak.

Det ble utført simulering av to ulike grader av luftstrømning mellom etasjene i stillaset. I den ene kunne lufta kun strømme i den 30 cm store åpningen mellom bygningsveggen og stillaslemmene. I tillegg ble det også undersøkt hvordan en 20 cm stor åpning mellom stillaslemmene og stillastildekningen ville påvirke resultatene. Den økte åpningen kan for eksempel tilsvare at det er luftgjennomstrømning gjennom stillaslemmene.

En oversikt over de ulike scenariene som ble simulert er gitt i Tabell 3-2.

**Tabell 3-2: Oversikt over simulerte scenarier.**

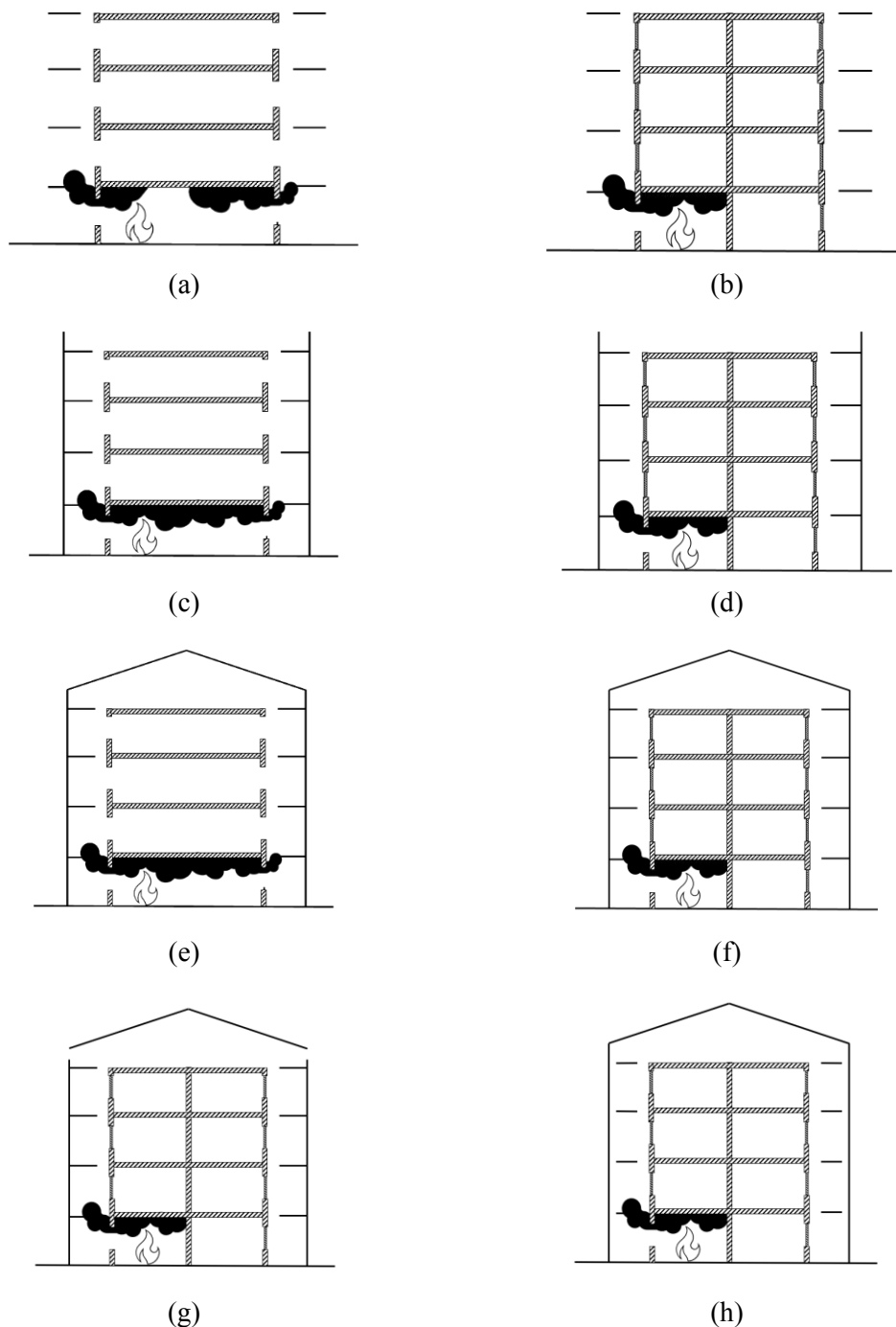
#	Bygning	Brannstørrelse	Tildekking sidevegger	Tildekking tak	Kommentar
1	Oppføring	Brenselskontrollert	Nei	Nei	
2	Oppføring	Brenselskontrollert	Ja	Nei	
3	Oppføring	Brenselskontrollert	Ja	Ja	
4	Rehabilitering	Brenselskontrollert	Nei	Nei	
5	Rehabilitering	Brenselskontrollert	Ja	Nei	
6	Rehabilitering	Brenselskontrollert	Ja	Ja	
7	Rehabilitering	Ventilasjonskontrollert	Nei	Nei	
8	Rehabilitering	Ventilasjonskontrollert	Ja	Nei	
9	Rehabilitering	Ventilasjonskontrollert	Ja	Ja	
10	Rehabilitering	Ventilasjonskontrollert	Ja	Ja	1 m åpning mellom tildekkingens sidevegger og tak
11	Rehabilitering	Brenselskontrollert	Ja	Nei	Gridsensitivitet
12	Rehabilitering	Brenselskontrollert	Ja	Nei	Ekstra luftgjennomstrømning mellom etasjer i stillaset

Scenariene 1-3 ble alle utført med et bygg under oppføring og en brenselskontrollert brann. Det ble utført en simulering uten tildekking (1), en med tildekking på kun sidene (2) og en med tildekking på både sidene og over taket (3). Scenariene 4-12 er alle utførte med et bygg under rehabilitering. Av disse er scenariene 4-6 tilsvarende som scenariene 1-3 for bygget under oppføring. For scenariene 7-9 ble det brukt en ventilasjonskontrollert brann for de samme variasjonene i grad av tildekking. I scenario 10 ble effekten av et sikkerhetstiltak med en 1 m åpning øverst mellom tildekkingens sidevegger og tak undersøkt. Scenario 11 ble brukt for å studere effekten av å bruke mindre gridstørrelse nær brannkilden. I dette tilfellet ble gridstørrelsen nær brannen redusert til 0,05 m × 0,05 m × 0,05 m. Beregningsdomenet besto av 18 områder og det totale celledetallet var omtrent 5,15 millioner. I scenario 12 er grad av luftstrømning mellom etasjene i stillaset undersøkt. I modellen er det brukt tette stillaslemmer uten luftgjennomstrømning. Det finnes ulike typer stillaslemmer. Stillaslemmer i tre eller komposittmaterialer har liten luftgjennomstrømning mens stillaslemmer av aluminium er perforerte og har en betydelig luftgjennomstrømning. Det er i FDS ingen enkel funksjonalitet for å modellere en slik jevn luftgjennomstrømning gjennom perforerte stillaslemmer og det ble i stedet lagt til et 0,2 m bredt mellomrom mellom stillastildekkingen og stillaslemmen for å øke luftgjennomstrømningen. Alle simuleringene ble gjennomført uten ekstern vind.

Skisser av de ulike gradene av tildekning og luftgjennomstrøm for de to ulike byggene er vist i Figur 3-7 (a) – (h). Figur 3-7 (a) og (b) viser de to typene bygg med stillas uten tildekking. Figur 3-7 (c) og (d) viser de to typene bygg med tildekking av veggene. Figur 3-7 (e) og (f) viser de to byggene med tildekking også over taket. Figur 3-7 (g) viser et mulig sikkerhetstiltak med



åpning mellom tildekkingens sidevegger og tak for å ventilere ut røykgasser. Figur 3-7 (h) viser scenarier med økt luftgjennomstrøm gjennom stillaslemmene.



**Figur 3-7:** Skisser av de ulike geometriene som ble brukt i simuleringene. (a) nybygg med stillas uten tildekking, (b) rehabilitering med stillas uten tildekking, (c) nybygg med stillas med tildekking på sidene, (d) rehabilitering med stillas med tildekking på sidene, (e) nybygg med stillas med tildekking på sider og tak, (f) rehabilitering med stillas med tildekking på sider og tak, (g) rehabilitering med tildekket stillas og ventilasjonsåpning i øvre del og (h) rehabilitering med tildekket stillas og økt luftgjennomstrømning mellom etasjene.

## 3.3 Resultater

Dette kapitlet viser resultatene fra simuleringene. Alle simuleringene ble gjennomført for en periode på 20 minutter. Resultatene presenteres og diskuteres for enkelthets skyld hovedsakelig etter 5, 10, 15 og 20 minutter. Den ventilasjonskontrollerte brannen oppnådde sin maksimale størrelse etter ca. 15,5 minutter. Det vil si at simuleringen etter 20 minutter viser en stabil brannstørrelse.

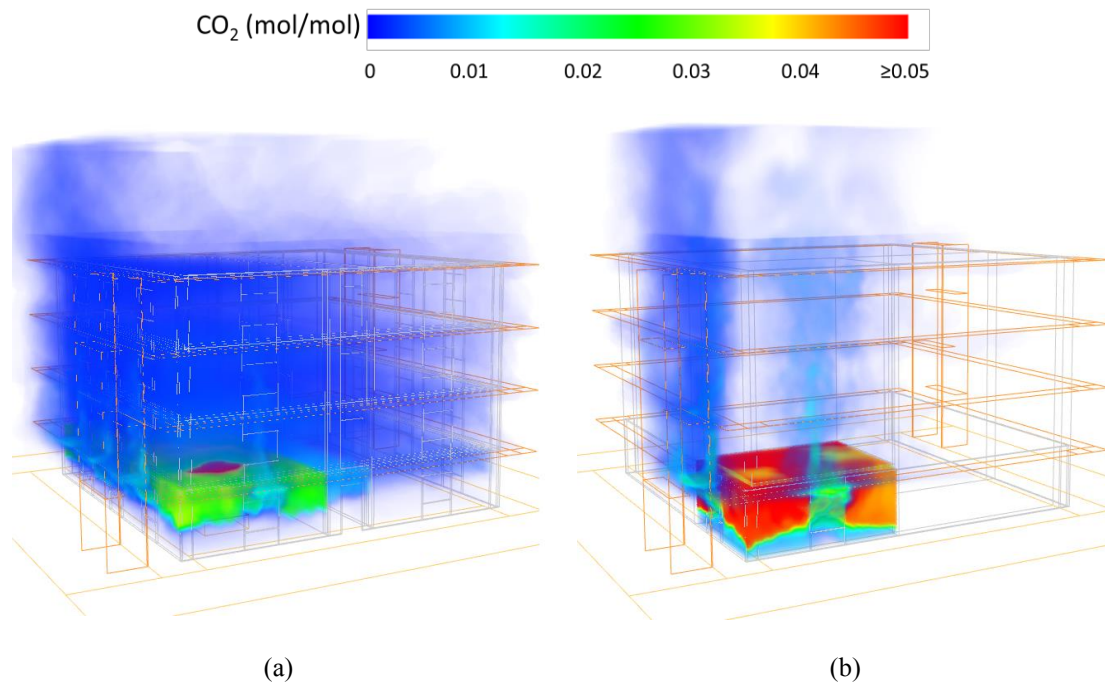
### 3.3.1 Stillas uten tildekking

I scenariene 1, 4 og 7 ble røykspredningen simulert uten at stillaset var tildekket. Scenario 1 og 4 er brenselkontrollerte branner i hhv. nybygg og bygg under renovering, scenario 7 er ventilasjonskontrollert brann i bygg under renovering.

Figur 3-8 viser konsentrasjonen av forbrenningsproduktet CO<sub>2</sub> etter 20 minutter for et bygg under oppføring i (a) og et bygg som blir rehabilitert i (b). Røykspredningen korrelerer med spredningen av CO<sub>2</sub> slik at dette også gir et godt bilde av hvordan røyken sprer seg i og utenfor de to bygningstypene. Brannen var i disse tilfellene brenselkontrollert. Rød farge betyr at grenseverdien på 5%, i henhold til SN-INSTA/TS 950:2014 [41] overstiges. For bygget under oppføring overstiges denne grenseverdien bare ved selve brannen, mens for bygget som rehabiliteres overstiges grenseverdien i store deler av brannrommet.

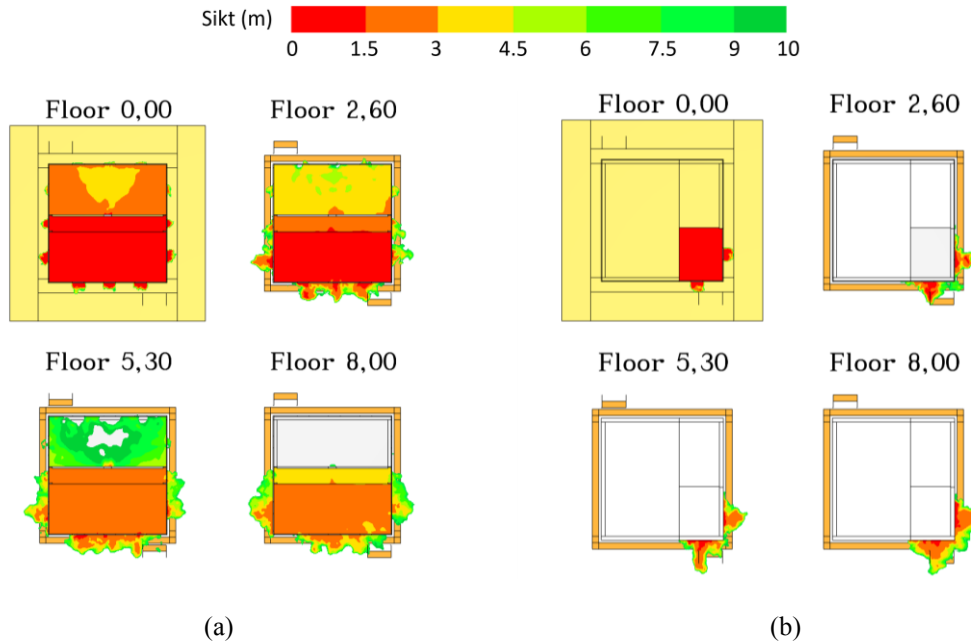
Bygget under oppføring har store åpne rom og røyken spres først i brannrommet før den spres både inn i korridoren og ut av vinduene i brannrommet. Det er vindusåpninger på alle yttervegger av brannrommet slik at røykspredningen fra brannrommet ut i stillaset skjer for omtrent halve bygget. Røyk i korridoren spres så videre til naborommet i andre enden av bygget. Røyk som går ut av vinduene stiger opp og spres inn i bygget igjen via åpne vindusflater i etasjene over.

Bygget under rehabilitering har et mindre brannrom med lukket innvendig dør. Røykspredningen går her ut av de to vinduene og opp på utsiden av bygget. Det er svært liten røykspredning horisontalt i stillaset utenfor bygningen.



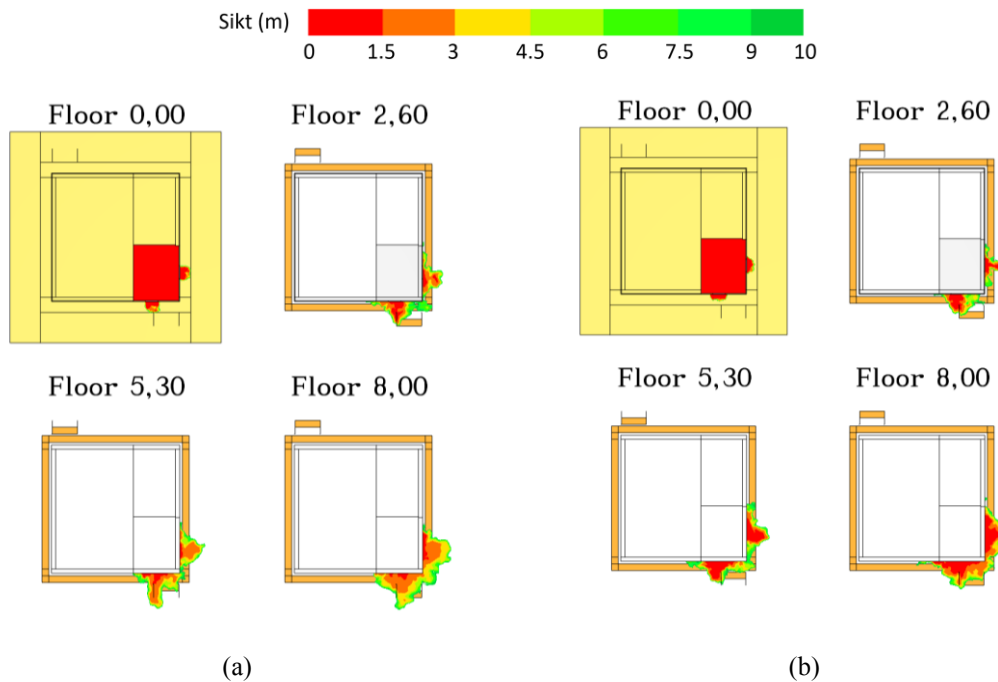
**Figur 3-8:** (a) CO<sub>2</sub> konsentrasjon etter 20 minutter for bygg under oppføring uten tildekking (scenario 1) og (b) CO<sub>2</sub> konsentrasjon etter 20 minutter for bygg under rehabilitering uten tildekking (scenario 4).

Figur 3-9 viser den beregnede sikten man har etter 20 minutter i et plan 2 m over gulvet i hver av de fire etasjene for de to bygningene. I områdene uten farge er sikten lenger enn grenseverdien på 10 m som brukes i rømningsveier og rom større enn 100 m<sup>2</sup>. Oransje og rødt viser områdene der sikten er kortere enn grenseverdien på 3 m som brukes i brannrommet når arealet er mindre enn 100 m<sup>2</sup> [41]. Områdene med sikt mellom 3 m og 10 m vises med gult og grønt. Disse figurene viser også at når stillaset ikke er dekket til så sprer røyken seg stort sett rett oppover etter at den har kommet ut gjennom vinduene. Merk at simuleringene ble gjennomført uten ekstern vind. Vindforholdene kan ha stor påvirkning på røykspredningen i en reell brann. For nybygget førte romstørrelse, geometri og antallet vinduer i brannrommet til at røyken spres til utsiden av omtrent halve bygningen via vinduene. Røyken på utsiden av bygget spredte seg ikke helt bort til vinduene på rommene i den andre enden av bygningen, det vil si at røykspredningen til disse rommene i den andre enden av bygningen skjedde innvendig rom for rom, og ikke inn via vinduene på andre siden av bygget. For bygget under oppføring var vinduene i alle andre rom enn brannrommet lukket, og simuleringene sier derfor ikke noe om røykspredningen inn igjen i denne bygningstypen. Dette trenger ikke være tilfelle for en reell brann, hvor vinduene kan være åpne.



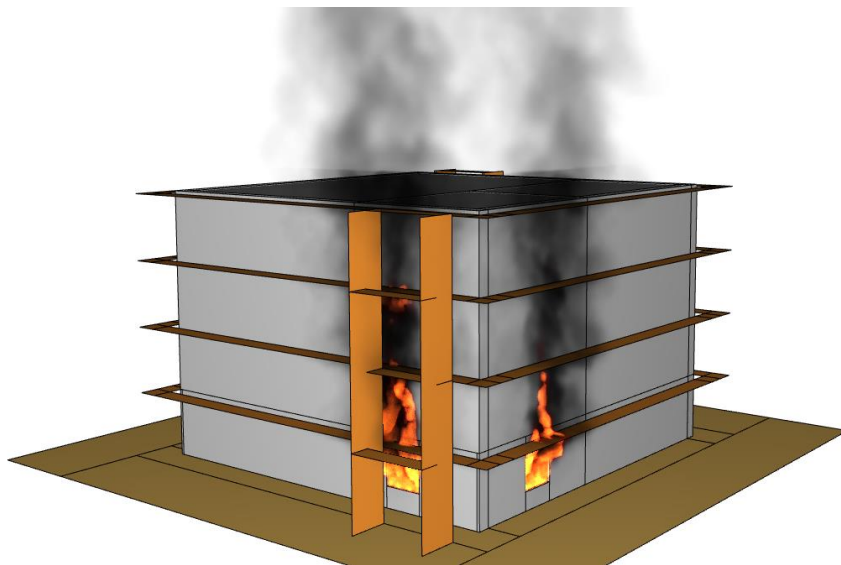
**Figur 3-9:** Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter 20 minutter (1 200 sekunder) med brenselskontrollert brann. (a) nybygg (scenario 1) og (b) rehabilitering (scenario 4). De fire figurene for hvert bygg viser øverst fra venstre 1. og 2. etasje, og nederst fra venstre 3. og 4. etasje.

Det ble også gjort simuleringer med en større ventilasjonskontrollert brann i bygget under rehabilitering. Brannutviklingen er lik den brenselskontrollerte brannen de første 7,7 minuttene til HRR passerer 2 500 kW. Brannutviklingen følger videre samme medium  $t^2$ -kurve, før den når 10 000 kW etter 924 s. Det er kun en liten ytterligere reduksjon i sikten som følge av denne større ventilasjonskontrollerte brannen sammenlignet med for den brenselskontrollerte brannen, se Figur 3-10 hvor scenario 4 med brenselskontrollert brann er vist i (a) og scenario 7 med ventilasjonskontrollert brann er vist i (b). Selv med den ventilasjonskontrollerte brannen spres ikke røyken utover områdene i stillaset som hadde røykspredning også med den brenselskontrollerte brannen.



**Figur 3-10:** Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter 20 minutter. (a) med en brenselskontrollert brann (scenario 4) og (b) med en større ventilasjonskontrollert brann (scenario 7).

Figur 3-11 viser en visualisering av den ventilasjonskontrollerte brannen i bygget under oppføring. Når det blir for lite oksygen i brannrommet vil uforbrente branngasser sive ut av åpningene hvor de vil kunne antenne når de kommer i kontakt med nok oksygen. Dette vil kunne gi brannspredning videre til både bygningsfasade, gangbaner i stillaset og en eventuell tildekking av stillaset om brennbare materialer er benyttet. I modellen er alle overflater og fasader definert som ikke-brennbare, og derfor vil ikke brannen spre seg i bygget, i fasaden eller i stillaset i simuleringene.

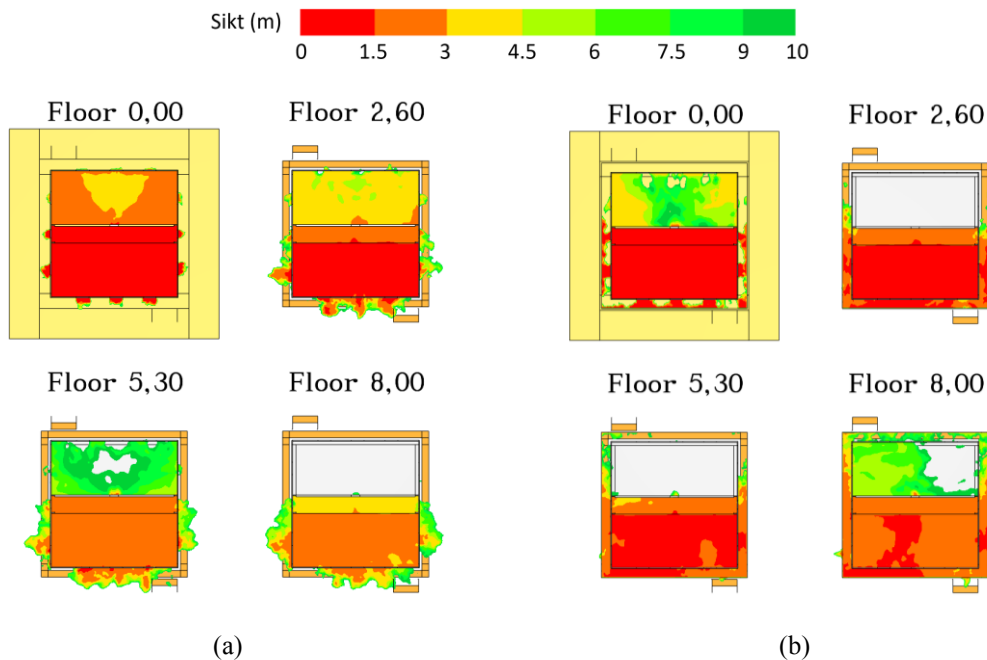


**Figur 3-11:** Visualisering av eksterne flammer fra en ventilasjonskontrollert brann uten tildekning (scenario 7).

### 3.3.2 Stillas med tildekning på sidene

Stillas med tildekning på sideveggene ble simulert i scenariene 2, 5 og 8. Scenario 2 og 5 er brenselskontrollerte branner i hhv. nybygg og bygg under renovering, scenario 8 er ventilasjonskontrollert brann i bygg under renovering.

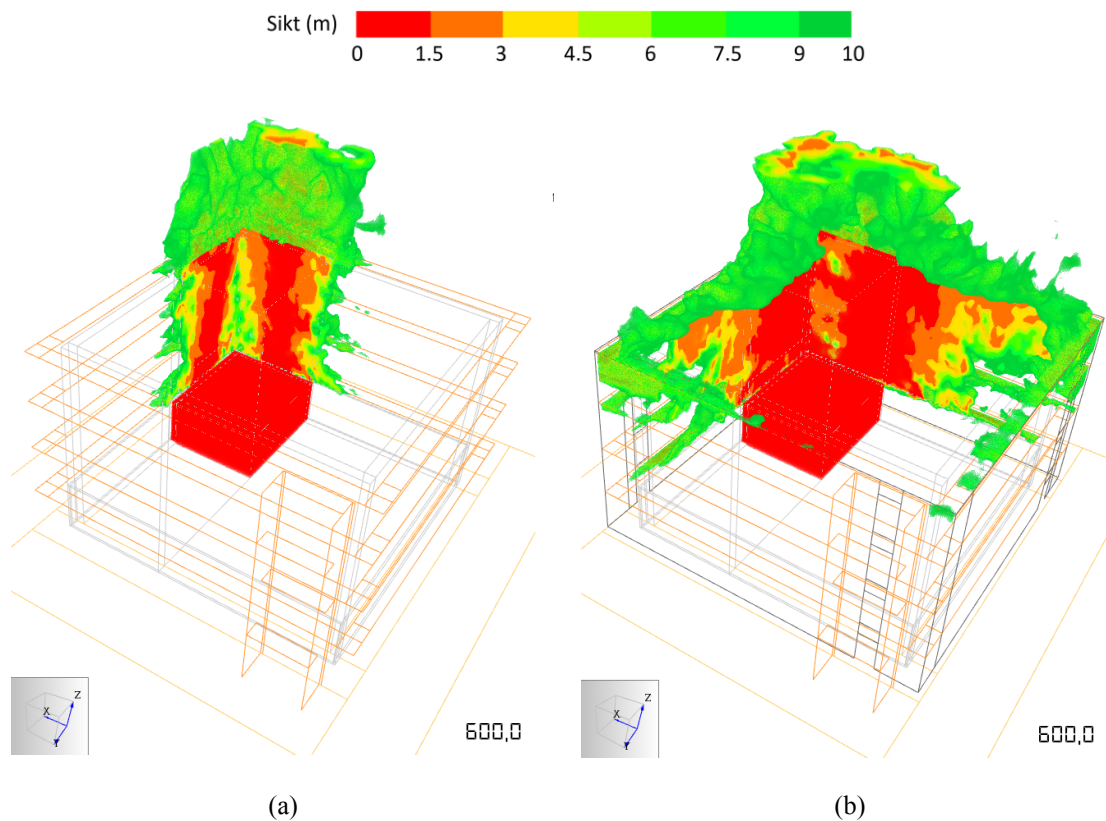
I Figur 3-12 (a) er beregnet sikt vist etter 20 minutter for en brenselskontrollert brann i bygget under oppføring uten stillastildekning. Figur 3-12 (b) viser tilsvarende beregnet sikt i samme bygg, men med tildekning rundt sidene av stillaset. Når stillaset er tildekket spres røyken i større grad langs med ytterveggene av bygningen enn uten tildekning. Etter 20 minutter er røykspredning så stor at sikten er redusert rundt hele bygget i 4. etasje. Avstanden røyken har spredd seg horisontalt i stillaset er høyest i øverste etasje og avtar nedover etasjene.



**Figur 3-12: Beregnet sikt etter 20 minutter (1 200 sekunder) ved brenselskontrollert brann i bygget under oppføring. (a) ingen tildekking av stillaset (scenario 1) og (b) tildekking rundt alle sidene av stillaset (scenario 2).**

Også røykspredningen inne i bygget påvirkes av at stillaset er tildekket. Akkurat hvordan denne røykspredningen varierer mellom de to tilfellene vil avhenge av bl.a. romstørrelsene, men for bygget uten tildekking ser man at røykspredningen i rommene over brannrommet skjer ved at deler av røyken som stiger rett opp fra vinduene i brannrommet går inn vinduene til rommene rett over. Røykspredningen til rommene i den andre enden av bygget skjer så etasje for etasje ved at røyk sprer seg fra rommet over brannrommet til korridoren og så etter hvert videre til rommet på andre sida av bygget. For bygget med tildekking ser man at røykspredningen til rommet på den andre sida av bygget skjer via vinduene på dette rommet. I 4. etasje er røyken spredt i stillaset rundt hele bygget, dette medfører da at det er dårligere sikt i rommet på andre sida av bygget i 4. etasje enn i 3. etasje.

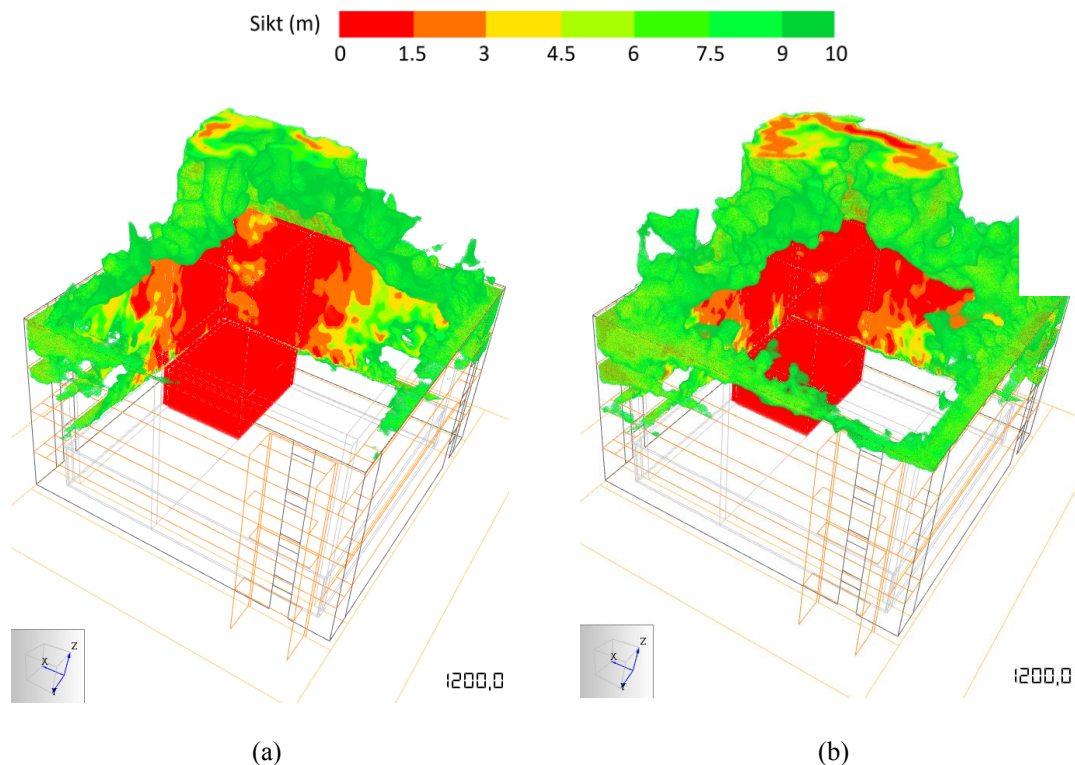
I Figur 3-13 (a) er beregnet sikt vist etter 10 minutter for en brenselskontrollert brann i bygget under rehabilitering uten stillastildekking. Figur 3-13 (b) viser tilsvarende beregnet sikt i samme bygg, men med tildekking rundt sidene av stillaset. Her ser man også tydelig at når stillaset er tildekket så presses røyken utover langs sideveggene i en vifteform slik at et større område dekkes i de øvre etasjene. Etter 10 minutter har røyken i 4. etasje spredt seg langs hele sidene hvor de to åpne vinduene er plassert, og også så vidt rundt hjørnene til de to resterende sidene, dvs. en røykspredning på over 15 m. Fra figuren i (b) ser man også at røyken i hver av etasjene i stillaset sprer seg mest oppunder stillaslemmene.



**Figur 3-13:** Beregnet sikt etter 10 minutter (600 sekunder) ved brenselkontrollert brann i bygget under rehabilitering. (a) ingen tildekking av stillaset (scenario 4). (b) tildekking rundt alle sidene av stillaset (scenario 5).

I scenario 8 er det studert hvordan en større ventilasjonskontrollert brann påvirker røykspredningen i bygget under rehabilitering når stillaset er tildekket. Siktforholdene etter 20 minutter er vist Figur 3-14 for en brenselkontrollert brann i (a) og den ventilasjonskontrollerte brannen i (b). Etter 20 minutter er siktforholdene ganske like for de to brannstørrelsene, man ser en liten forverring oppunder stillaslemmene i 4. etasje, men den praktiske forskjellen er trolig liten. Brannutviklingen for de to brannstørrelsene følger samme utvikling de første 462 sekundene frem til en HRR på 2 500 kW er oppnådd. Man ser at selv denne brannstørrelsen gir nok røyk til at det ved 2 m høyde er redusert i sikt i stillasets 2. etasje og at dette ikke endres av en ytterligere økning i brannstørrelsen.



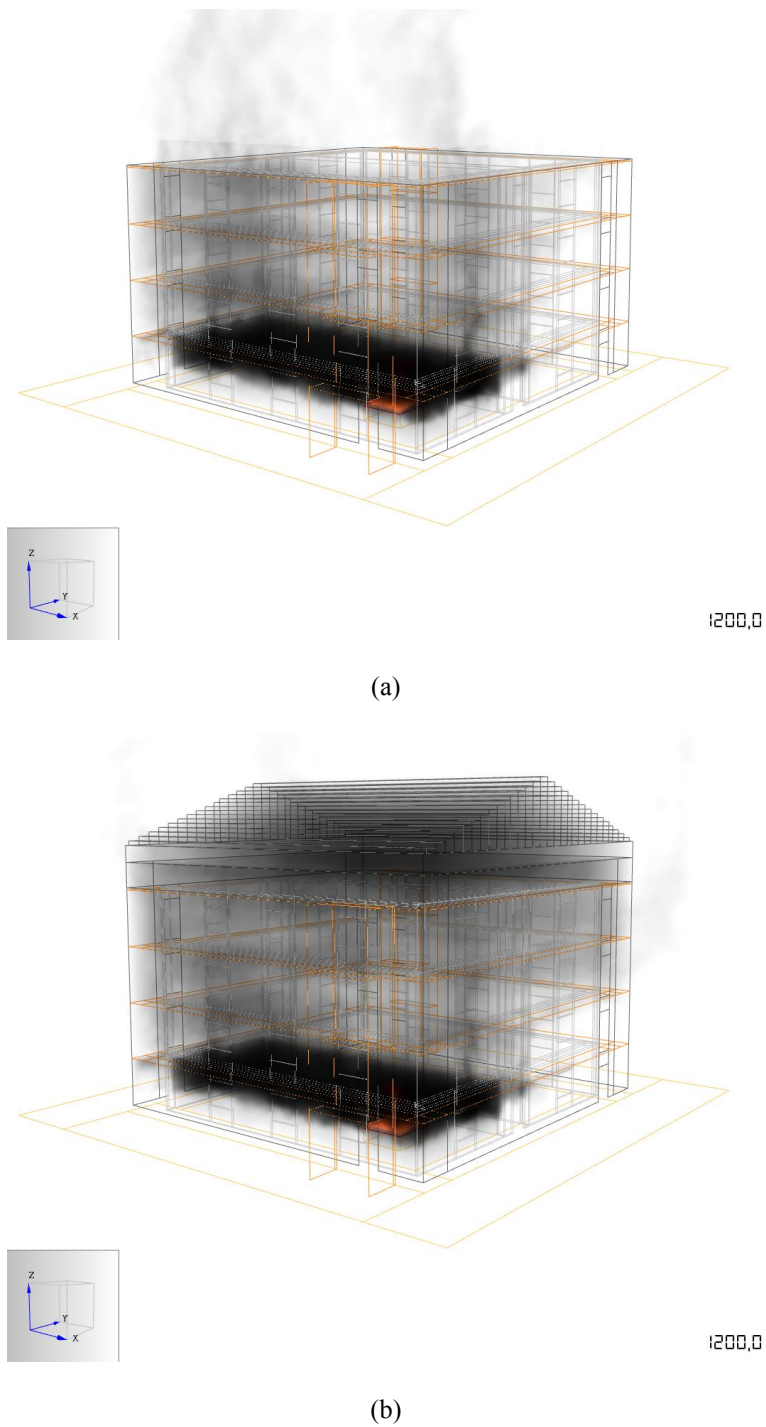


**Figur 3-14:** Beregnet sikt etter 20 minutter (1 200 sekunder) for et bygg under rehabilitering med tildekket stillas. (a) en mindre brenselkontrollert brann (scenario 5) og (b) en større ventilasjonskontrollert brann (scenario 8).

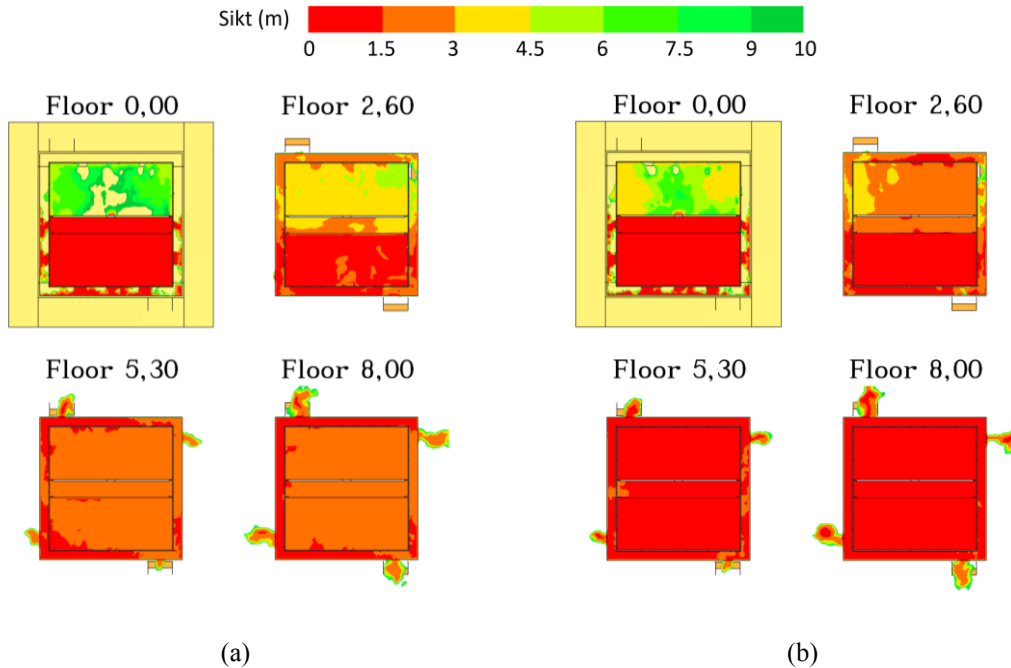
### 3.3.3 Stillas med tildekning på sidene og over tak

I scenario 3 ble det utført simulering av røykspredningen når stillaset hadde tildekning både over taket og på sidene. En visualisering av hvordan dette påvirker røykspredningen er vist i Figur 3-15. I (a) ser man hvordan røykspredningen var etter 20 minutter når stillastildekningen bare var langs sideveggene og i (b) ser man tilsvarende røykspredning når tildekningen også hadde tak. Man ser altså at etter 20 minutter er volumet mellom taket på bygningen og tildekningstaket fylt med røyk og at røyken presses nedover på utsiden av bygget. Merk at visualiseringen av røyken ikke kan brukes til å vurdere hvor det er sikt og ikke.

I Figur 3-16 illustreres sikten i et plan 2 m over gulvnivå for hver etasje av bygget under oppføring når det er tildekning både rundt stillas og over tak. Figur 3-16 (a) viser situasjonen etter 10 minutter og Figur 3-16 (b) viser situasjonen etter 20 minutter. Når stillastildekningen også har tak reduseres sikten betydelig rundt hele bygningen helt ned til 2. etasje allerede etter 10 minutter. Etter 20 minutter er sikten i simuleringene under 1,5 m i omtrent hele 3. og 4. etasje og under 3 m i nesten hele 2. etasje.

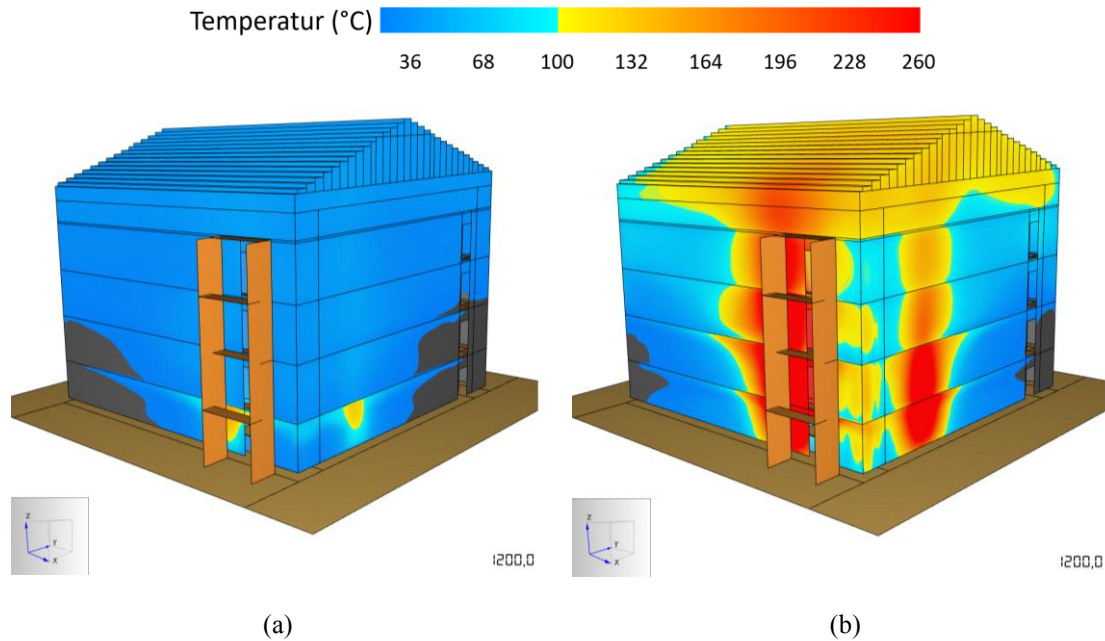


**Figur 3-15:** Visualisering av røykspredning etter 20 minutter for bygget under oppføring. (a) tildekte vegger rundt stillaset (scenario 2) og (b) tildekningen rundt både vegger og tak i stillaset (scenario 3).



**Figur 3-16:** Beregnet sikt i et plan 2 m over gulvet for et bygg under oppføring når stillastildekningen også har tak (scenario 6). (a) etter 10 minutter og (b) etter 20 minutter.

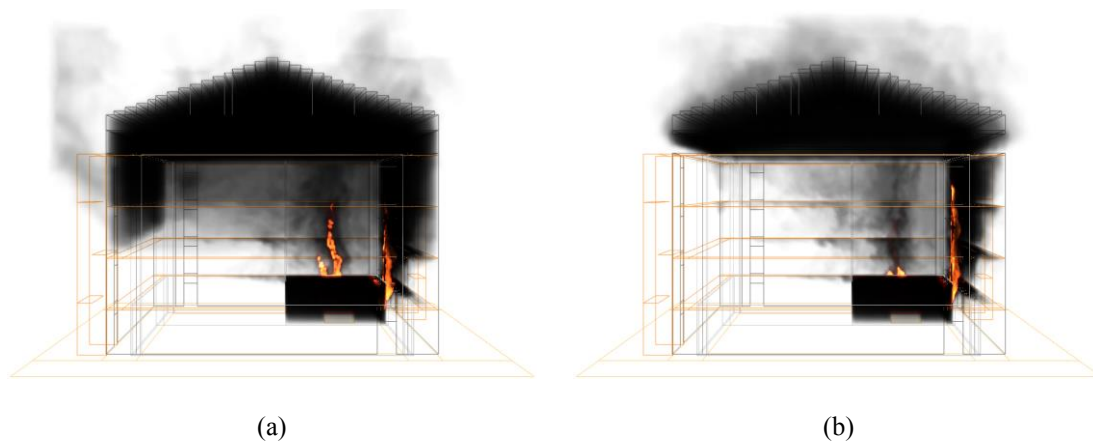
Figur 3-17 viser simulert temperatur på stillastildekkingens utside for scenario 6 i (a) og scenario 9 i (b). På grunn av den tynne tykkelsen er temperaturen på inn- og utsiden i praksis lik. Smeltetemperaturer for typiske tildekkingsmaterialene ligger mellom 100 °C og 260 °C, dette temperaturområde vises derfor i rød/gul fargene. Med den mindre, brenselskontrollerte brannen i Figur 3-17 (a) var det kun to små områder ved vindusåpningene som fikk temperaturer på mellom 100 °C og 120 °C, ellers var temperaturen ikke høyere enn omtrent 40°C noen andre steder. For den større, ventilasjonskontrollerte brannen i (b) ble det funnet en temperatur på over 100°C i omtrent hele taket. Det vises også en kraftigere temperaturøkning i tildekningen i alle etasjer ved og over de åpne vinduene i brannrommet. Den kraftigste rødfargen viser en temperatur på 240°C.



**Figur 3-17:** Simulert temperatur på stillastildekkingen etter 20 minutter for bygget under rehabilitering med stillastildekking på alle sider og over tak. (a) Scenario 6 med en brenselkontrollert brann, og (b) scenario 9 med en ventilasjonskontrollert brann.

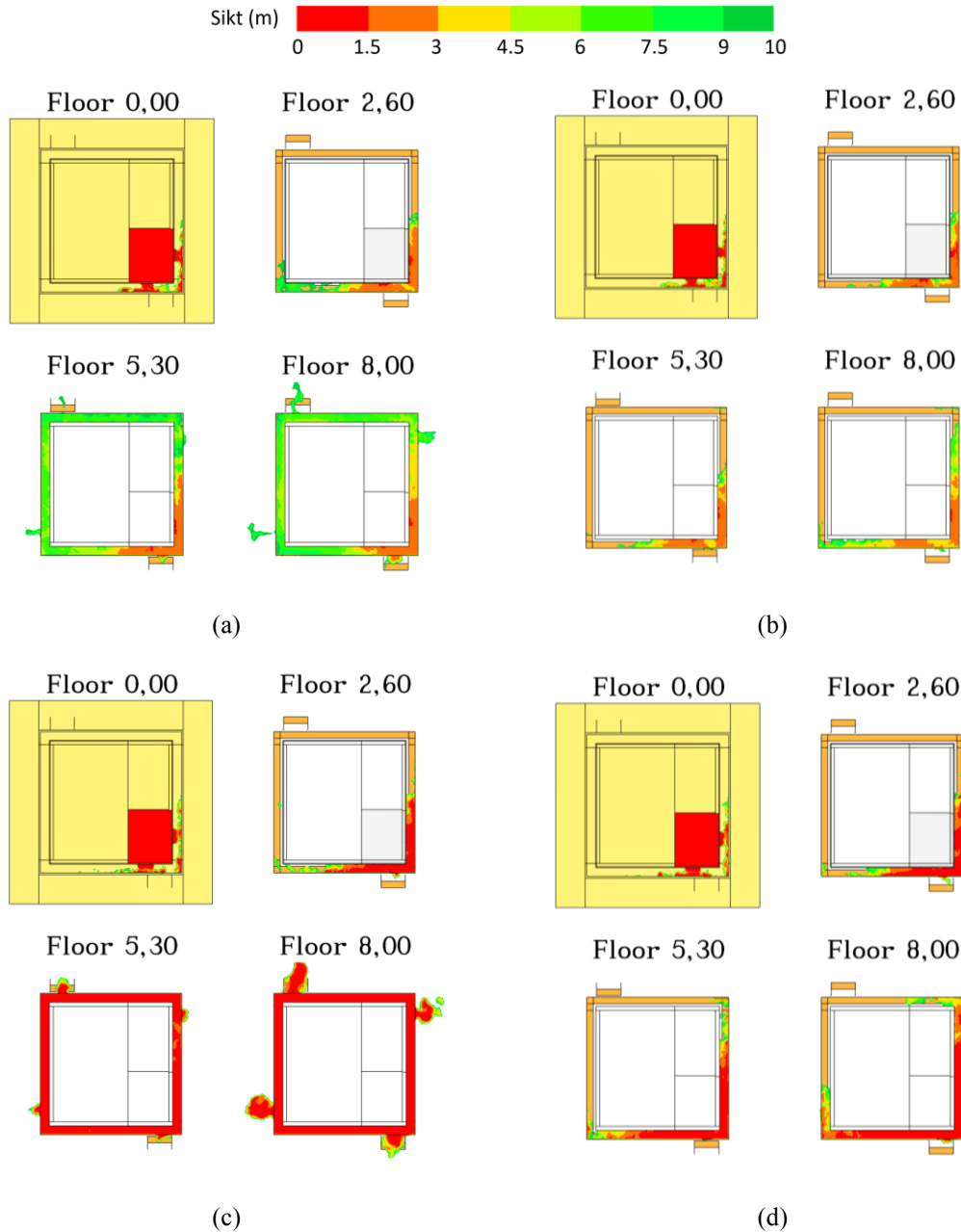
### 3.3.4 Risikoreduserende tiltak for stillas med tak

I scenario 10 ble det undersøkt hvordan et mulig risikoreduserende tiltak ville påvirke røykspredningen. Det ble da lagt inn en 100 cm høy ventilasjonsåpning øverst på tildekningen langs alle fire sidene. Figur 3-18 visualiserer røyk og flammer for en ventilasjonskontrollert brann i bygget under rehabilitering med tildekking av stillas på både vegger og tak i (a). Her stiger røyken til toppen av stillaset, og etter hvert som mer røyk dannes fylles det også opp med røyk nedover etasjene i stillaset. I (b) visualiseres røyk og flammer for en ventilasjonskontrollert brann i bygget under rehabilitering med tildekking av stillas på både vegger og tak, men med en ventilasjonsåpning i toppen. Rommet over ventilasjonsåpningen fylles med røyk, men etter rommet er fylt sørger ventilasjonsåpningen for at røyken slipper ut i stedet for at det fylles opp med røyk også nedover etasjene i stillaset.



**Figur 3-18:** Visualisering av røyk og flammer for en ventilasjonskontrollert brann etter 20 minutter i et rehabiliteringsbygg med tildekking på alle sidene og tak. (a) scenario 9 uten ventilasjonsåpning og (b) scenario 10 med 1 m ventilasjonsåpning.

Den beregnede sikten i et plan 2 m over gulvet er vist i Figur 3-19 for de to samme scenarioene. Figur 3-19 (a) og (b) viser beregnet sikt etter 5 minutter for hhv. tildekking med tak og tildekking med tak og ventilasjonsåpning. Figur 3-19 (c) og (d) viser tilsvarende beregnet sikt etter 20 minutter. Når tildekkingen har tak ser man at den beregnede sikten allerede etter 5 minutter er under 10 m og etter 20 minutter er under 1,5 m i hele 3. og 4. etasje. Ved å etablere ventilasjonsåpningen i øvre del av tildekkingen ser man at området med sterkt redusert sikt i disse to etasjene er omtrent halvert sammenlignet med uten ventilasjonsåpningen ved begge tidspunkt. Med ventilasjonsåpningen får man en beregnet sikt som tilsvarer det man fikk med tildekking uten tak.



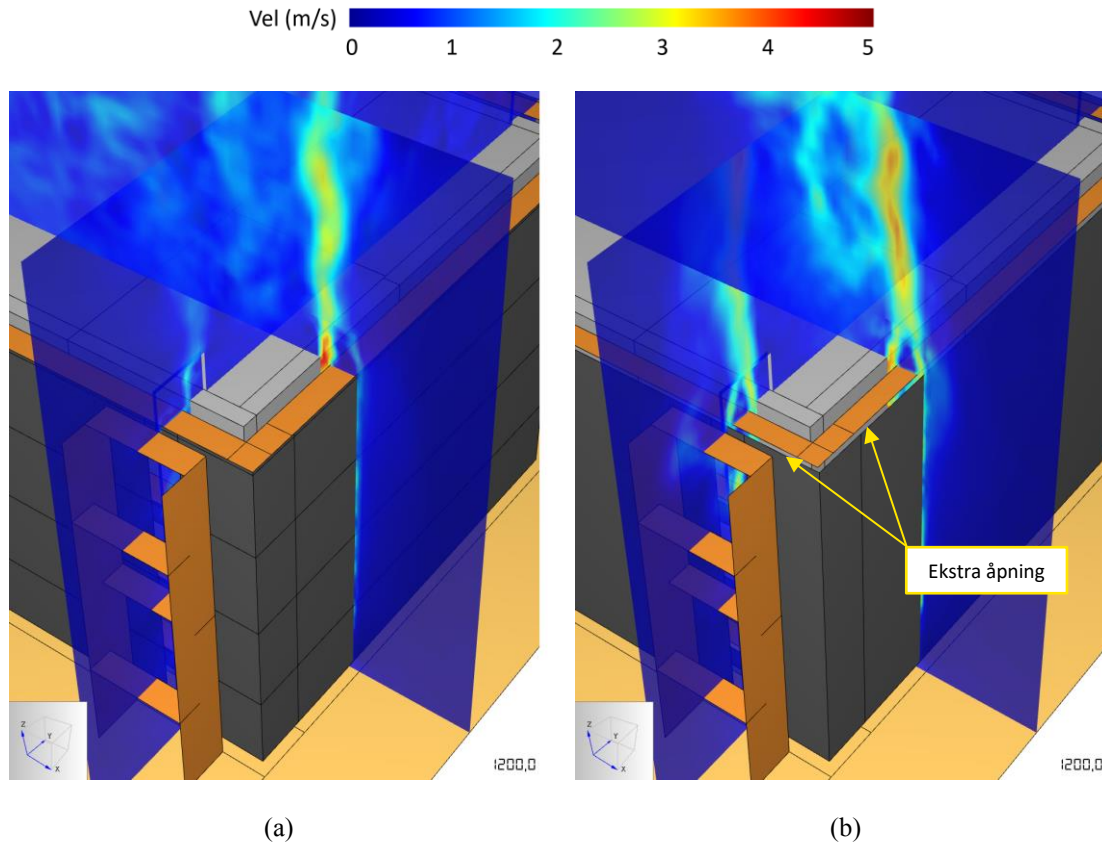
**Figur 3-19:** Beregnet sikt i et plan 2 m over gulvet for et bygg under renovering. (a) og (b) viser beregnet sikt etter 5 minutter for hhv. tildekking med tak (scenario 9) og tildekking med tak og ventilasjonsåpning (scenario 10). (c) og (d) viser tilsvarende beregnet sikt etter 20 minutter.

### 3.3.5 Parameterstudie – Åpningsgrad i stillaslemmene

I scenario 12 ble det lagt inn en åpning på 20 cm mellom stillaset og tildekkingen. Dette ble gjort for å studere effekten av bedre luftgjennomstrømning mellom etasjene i stillaset. Figur 3-20 viser strømningshastighet for scenario 5 med åpning kun mot bygningsvegg i (a) og for scenario 12 med en ekstra åpning mellom stillaset og tildekkingen i (b). Den ekstra åpningen

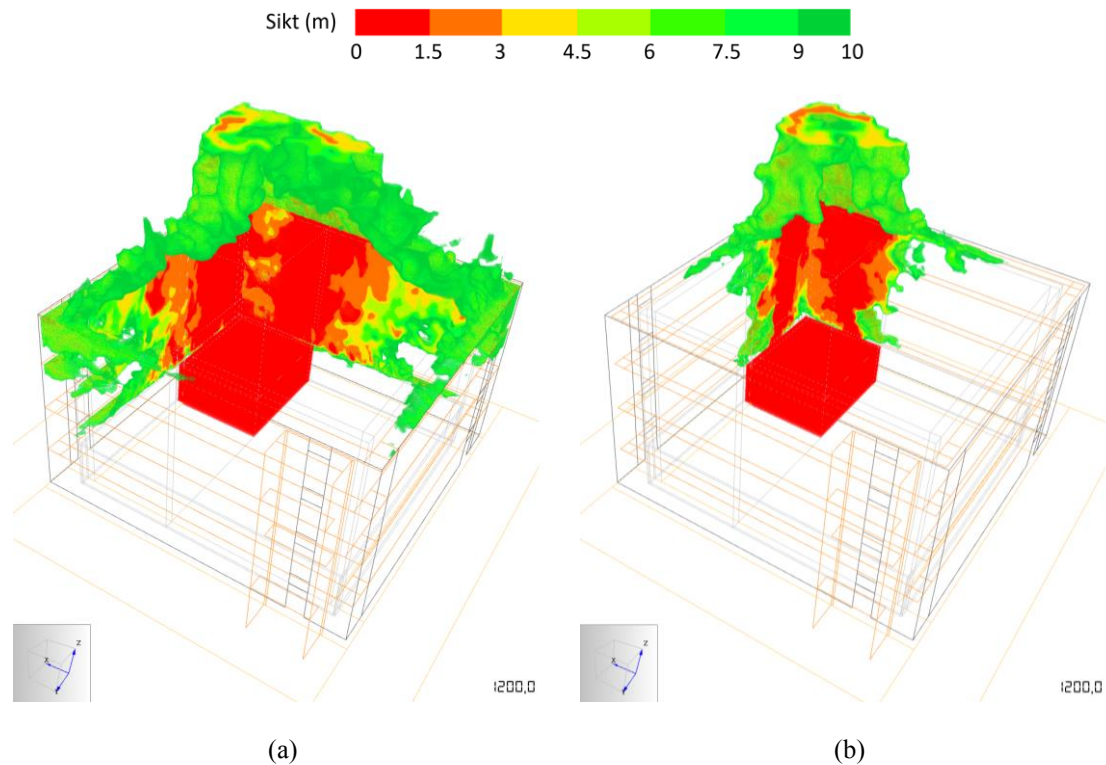


medførte at hastighetsfeltet ble noe endret. Det går nå luft opp på begge sider av stillaslemmene og hastigheten i åpningen mot bygget reduseres noe som følge av det større åpne arealet.



**Figur 3-20:** Strømningshastighet etter 20 minutter ved en brenselskontrollert brann i et bygg under rehabilitering med tildekking uten tak. (a) 30 cm åpning mellom stillas og fasaden på bygget (scenario 5) og (b) 30 cm åpning mellom stillas og fasaden på bygget og 20 cm åpning mellom stillas og tildekking (scenario 12).

I Figur 3-21 er beregnet sikt etter 20 minutter med en brenselskontrollert brann i bygget under rehabilitering vist for scenario 5 i (a) og for scenario 12 i (b). Simuleringen viser at åpningsgraden i stillaset har innvirkning på hvordan røyken sprer seg. Med den større åpningsgraden sprer røyken seg mindre horisontalt i stillaset enn når åpningsgraden var mindre.

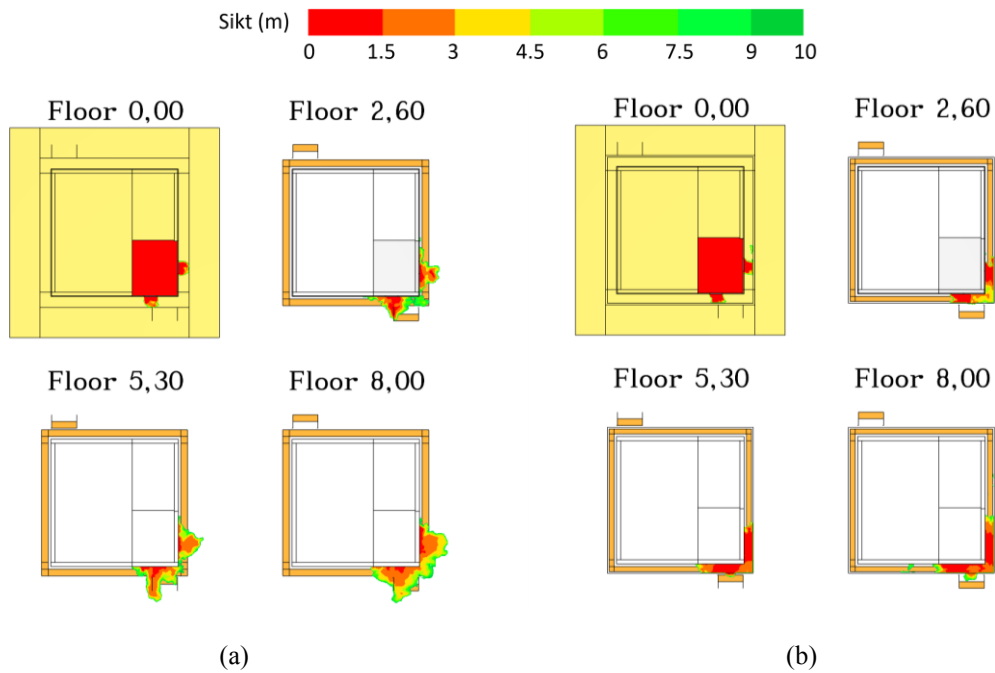


**Figur 3-21:** Sikt etter 20 minutter ved en brenselskontrollert brann i et bygg under rehabilitering med tildekking uten tak. (a) 30 cm åpning mellom stillas og fasaden på bygget (scenario 5) og (b) 30 cm åpning mellom stillas og fasaden på bygget og 20 cm åpning mellom stillas og tildekking (scenario 12).

I Figur 3-22 er beregnet sikt på et plan 2 m over gulvet i hver etasje vist for scenario 1 i (a) og scenario 12 i (b) etter 20 minutter. Begge scenariene hadde brenselskontrollerte branner i et bygg under rehabilitering, men i scenario 1 var det ingen tildekking og i scenario 12 var veggene tildekket, men med bedre luftgjennomstrømning mellom etasjene i stillaset. Utstrekninga av området i stillaset som er beregna å ha mindre enn 10 m sikt er lik i de to scenaria. Sikta innenfor dette området med sikt  $< 10$  m er likevel beregnet å være noe dårligere i scenario 12.

Simuleringene tyder altså på at åpningsgraden mellom etasjene er en viktig faktor som påvirker i hvor stor grad røyken sprer seg horisontalt i stillaset. Utgangspunktet som er brukt i 11 av simuleringene er at selve stillaslemmene er tette og at det er en åpning på 30 cm mellom stillaset og bygningsfasaden. At stillaslemmene er tett er et konservativt valg som gir mest mulig røykspredning horisontalt i stillaset.





**Figur 3-22:** Beregnet sikt etter 20 minutter (1 200 sekunder) ved brenselkontrollert brann i bygget under rehabilitering. (a) ingen tildekking av stillaset (scenario 1) og (b) tildekking rundt alle sidene av stillaset med større åpningsgrad i stillasgulvet (scenario 12).

## 4 Hvordan påvirker tildekking brannsikkerheten?

### 4.1 Røykspredning

Resultatene som er presentert i kapittel 3.3 viser at ulike grader av tildekking av stillaset rundt bygningen påvirker røykspredningen.

Når stillaset ikke er tildekket spres røyken ut av vinduene og videre oppover på utsiden av bygningen. På utsiden av bygningen stiger røyken i stor grad rett opp, og det er liten røykspredning horisontalt i stillaset. Noe av røyken som stiger oppover spres inn gjennom åpne vinduer i etasjene over brannen. Hvor stort omfanget av røykspredningen inn gjennom vinduene blir vil avhenge av hvordan vinduene åpnes, størrelsen og utformingen av dem, og også hvordan vindforholdene er. I simuleringene er røykspredning inn gjennom vinduene kun studert i bygningen under oppføring og der var vindusåpningen stor ettersom hele vindusflaten manglet. For f.eks. et boligbygg under rehabilitering vil dette kunne gi røykspredning inn i leilighetene rett over brannen dersom de har åpne vinduer.

Når stillaset er tildekket på sidene spres røyken som kommer ut gjennom vinduene også horisontalt i stillaset. I simuleringen av et bygg under renovering medførte dette at den horisontale røykspredningen i løpet av 10 minutter reduserte den beregnede sikten til under 10 m i en avstand på over 15 m til siden for røykkilden. For situasjonen med et boligbygg under rehabilitering vil en slik horisontal røykspredning potensielt kunne medføre røykspredning inn til mange flere leiligheter enn hva tilfelle ville vært uten tildekking. Alle simuleringene, med unntak av én, er konservative med tanke på horisontal røykspredning, samtidig som de ikke tar hensyn til en eventuell horisontal brannspredning.

Når stillastildekningen også hadde tak, fikk man for bygget under oppføring (scenario 9) allerede etter 5 minutter redusert sikten til under 10 m for hele de to øverste etasjene av stillaset. Dette skjedde ved at røyken fylte seg opp under taket på tildekkingen og etter hvert begynte å fylle opp tilgjengelig volum også nedover i stillaset. Ved å legge inn en ventilasjonsåpning på 100 cm i øvre kant av veggene på tildekkingen fikk man effektivt ventilert ut røyken og unngikk dermed at det fylte seg opp med røyk nedover etasjene i stillaset. Simuleringene viser altså at tiltakene som er beskrevet i de svenske håndbøkene [24] og [25] har en god effekt for å redusere omfanget av røykspredning i det tildekkede stillaset.

Hull i tildekningen kan potensielt også oppstå som følge av brannen dersom flammene når tildekningen eller temperaturen er så høy at tildekningen smelter. PE smelter typisk ved mellom 105 og 130 °C [42]. For den mindre, brenselskontrollerte brannen var det kun to små områder rett ved vindusåpningene som fikk temperatur på mellom 100 °C og 120 °C etter 20 minutter. For brannen i dette scenarioet ville ventilasjonseffekten av dette hullet likevel trolig ikke vært så stor, da området med høy nok temperatur til at tildekkingen kunne smelte var forholdsvis lite. For den større ventilasjonskontrollerte brannen ble det beregnet temperaturer på over 240 °C i hele tildekningens høyde i området ved de åpne vinduene til brannrommet. Det ble også beregnet at temperaturen i taket på tildekkingen kom opp i rundt 120 °C. Det var etter 20 minutter altså varmt nok til å smelte hull i både tak og sider av tildekkingen, men også i dette scenarioet vil det være vanskelig å fastslå hvordan ventilasjonseffekten av et smeltet hull vil bli. Dette vil avhenge bl.a. av hvor hullet oppstår, hvor stort det blir og hvor mye varme som slippes

ut. Spesielt den større ventilasjonskontrollerte brannen vil kunne spre seg til utvendige materialer dersom de er brennbare, denne brannspredningen er ikke simulert, men vil også kunne føre til at det oppstår hull i tildekkingen.

Dukene som er klassifisert med røykproduksjon s1 etter EN 13501-1 [13] vil avgi lite røyk. Flere av dukene der testresultatene har vært tilgjengelig har vist at dette kravet er innfridd med god margin. Duker med brannklasse s3 etter EN 13501-1 [13] har ingen øvre grense for røykmengde.

Simuleringene tyder også på at luftgjennomstrømningen mellom etasjene i stillaset påvirker hvordan røyken sprer seg, og at mer luftgjennomstrømning er positivt for å redusere den horisontale spredningen av røyken bortover stillaset. Modellen som ble brukt er en forenkling av virkeligheten og det ble ikke studert hvordan faktiske stillaslemmer med hullmønster påvirker røykspredningen.

Det er mange parametere som vil påvirke både brannutviklingen og røykspredningen, slik som type brensel, geometri og størrelse på både brannrom, vindusåpninger og stillas, mulig brannspredning til brennbare materialer osv. Beregnede siktdistanser og tider oppgitt her gjelder derfor bare i disse spesifikke simulerte scenariene, men trendene for hvordan ulike grader av tildekking påvirker røykspredningen vil være mer generelle.

## 4.2 Brannspredning i tildekking og stillas

Duker som tilfredsstillt krav til B,s1-d0 etter EN 13501-1 [13] vil i liten grad avgi varme ved en eventuell brann og de vil i liten grad bidra til brannspredning oppover, sidelengs eller nedover. De dukene som har hatt tilgjengelige testrapporter fra testing etter EN 13823 (SBI) [4] har vist at det smelter et hull i disse der brannpåkjenningen er, uten at brannen spres videre i duken. Duker som ikke tilfredsstillt B og d0 etter EN 13501 kan avgi mer varme og bidra til brannspredning i duken oppover, sidelengs, og i tillegg nedover ved brennende dråper.

Typiske duker som er funnet i kartleggingen har en vekt på omkring 200 g/m<sup>2</sup>, og noen kraftige duker veier opp til 600 g/m<sup>2</sup>. Til sammenligning kan vekten av stillasgulv i brennbare materialer som tre eller kompositt være mange ganger høyere enn dette. For stillasgulv stilles det ingen krav til brannegenskaper i regelverket. For brann i stillas og fare for spredning til nabobygg vil det derfor kunne være mye mer tilgjengelig energi i stillasgulvet enn i selve duken. Vi mener at det bør stilles krav til brannklassifisering av stillasgulvene, slik det gjøres for tildekkingen, og at stillasgulvene derfor bør tilfredsstillt krav til materialer brukt i rømningsveier. Preaksepterte ytelse for materialer brukt i rømningsveier er gitt i veiledningen til TEK17 §11-9 [12], og for overflater på vegger og himling/tak er dette B-s1,d0 (In 1) og for overflater på gulv er dette D<sub>n</sub>-s1 (G). Testmetoder for klassifisering av gulv er også beskrevet i EN 13501-1 [13]. Da stillaslemmene vil være både himling og gulv er begge disse kravene relevante.

I simuleringene består modellen av ikke-brennbare materialer, og det er derfor ikke studert hvordan brannen ville spredd seg i de simulerte scenariene.

## 4.3 Rømning

Det er flere forhold som må være ivaretatt i flukt- og rømningsvei for at rømningsforholdene skal være tilstrekkelige. Sikten bør ikke være dårligere enn 3 m i brannrom med mindre enn 100 m<sup>2</sup> gulvareal og ikke dårligere enn 10 m i en høyde på 2 m i rømningsveier og rom med areal større enn 100 m<sup>2</sup>. I tillegg bør ikke temperaturen overstige 80 °C, konsentrasjonen av CO og CO<sub>2</sub> bør være under hhv. 2 000 ppm og 5 % og konsentrasjonen av O<sub>2</sub> bør være over 15 %. Er sikten over 5 m er det ikke nødvendig å vurdere gasskonsentrasjonen [41].

Simuleringene viser at når stillaset dekkes til får man større grad av røykspredning horisontalt i stillaset og arealet av stillaset der sikten reduseres til mindre enn både 10 m og 3 m øker. Den horisontale spredningen av røyk i stillaset kan videre gi røykspredning inn i deler av bygningen som ligger lenger unna brannen dersom det enten er åpne vinduer eller en mer åpen fasade som for et bygg under oppføring. Dersom dette skjer i bebodde bygninger vil det kunne ha negativ innvirkning på muligheten personene som oppholder seg der har til å rømme, spesielt om det skjer om natta når de sover.

For simuleringene med den mindre, brenselskontrollerte brannen steg ikke temperaturen til over 80 °C verken i stillaset eller andre rom enn brannrommet for noen av de simulerte scenariene. For den større, ventilasjonskontrollerte brannen uten tildekking ble den beregnede temperaturen i stillaset over 80 °C i røyksøylen som stiger ut fra vinduene i brannrommet og rett oppover. Det antas at dette ikke påvirker mulighetene for rømning i særlig grad da resten av stillaset ikke er påvirket. For scenarioene med tildekking både med og uten tak steg temperaturen over 80 °C i et større område. Spesielt for scenariet med tildekking også over taket antas dette å kunne påvirke rømningsforholdene negativt da temperaturen oversteg 80 °C i hele stillasets 4. etasje, i tillegg til over taket på bygget.

For bygg som er i bruk mens de rehabiliteres er det viktig at rømningsveiene opprettholdes også i byggeperioden. Dersom det er forutsatt at boenhetene har minst ett vindu eller balkong som skal kunne nås med brann- og redningsvesenets høyderedskaper, jf. preakseptert ytelse i veiledningen til TEK17 §11-17, er det viktig at denne muligheten ivaretas også mens arbeidet pågår. Alternativt må det etableres nye, midlertidige rømningsveier.

For større publikumsbygg kan det være lagt opp til rømning ut flere nødutganger langs f.eks. fasaden i 1. etasje. Det er viktig at dette tas hensyn til dersom stillaset tildekkes også på bakkeplanet slik at nødvendig areal til rømning opprettholdes og tildekkingen ikke hindrer trygg rømning.

## 4.4 Brann- og redningsvesenets innsats

Ett av brann- og redningsvesenene vi snakket med hadde for noen år siden hatt erfaring med en brann i et tildekket bygg som var under totalrehabilitering. Det var i dette tilfellet tidlig klart at det ikke var personer inne i bygningen og at bygningen var å anse som tapt. Innsatsen til brann- og redningsvesenet fokuserte derfor på å hindre spredning til omkringliggende bebyggelse og vegetasjon. De som deltok på innsatsen, beskrev at det var utfordrende å komme til med sløkkevann og at de derfor måtte skjære bort deler av tildekkingen. De beskrev også at det var

kraftig oppdrift innenfor tildekkingen og at dette førte til at brennende biter ble kastet ut fra toppen, noe som kan bidra til brannspredning. Figur 4-1 viser et bilde fra denne hendelsen og man ser at store deler av tildekkingen er intakt til tross for kraftig brannutvikling.



**Figur 4-1:** Bilde fra en brann i et tildekket bygg under totalrehabilitering. Bildet viser at store deler av tildekkingen er intakt til tross for kraftig brannutvikling i bygget. Foto: Bergen brannvesen.

De videre beskrivelsene i dette avsnittet baserer seg på samtaler med to av landets største brann- og redningsvesen.

Når brann- og redningsvesenet ankommer et brannsted, er det viktig at de får oversikt over situasjonen slik at de kan planlegge innsatsen og prioritere ressursene best mulig. De ser da blant annet etter hvor det brenner, hvor det kommer røyk og hvor dører og vinduer er plassert. Det brukes også IR kamera til å få oversikt over varmespredningen. Dersom det er et tildekket stillas rundt hele eller deler av bygningen vil det gi brann- og redningsvesenet redusert sikt og et dårligere visuelt bilde av både selve bygningen og brannen. I tillegg kan tildekkingen påvirke hvordan røyken og varmen sprer seg og slipper ut. Alt dette bidrar til at brann- og redningsvesenet får dårligere oversikt over situasjonen.

Personer som befinner seg inne i bygningen kan evakuere ut på stillaset, også i tilfeller der det ikke er definert rømningsvei gjennom vindu eller balkong. Dersom stillaset er innkledd kan det være vanskelig for brann- og redningsvesenet å oppdage personer som oppholder seg i dette arealet. Det kan også være personer som evakuerer mot et vindu uten selv å kunne komme seg ut på stillaset. Disse vil det også være vanskelig for brann- og redningsvesenet å oppdage når stillaset er innkledd. Når brann- og redningsvesenet skal bistå personer som befinner seg enten

et sted i stillaset eller innenfor et vindu i en leilighet med å evakuere, vil de måtte ta stilling til hvorvidt det er trygt for brann- og redningsvesenets mannskap å benytte seg av selve stillaset for å komme frem. Det kan være knyttet usikkerhet til både stillasets og gangbanenes bæreevne, om selve innfestingen av stillaset til bygningen fortsatt er god nok og fare for nedfall fra stillaset. Disse faktorene vil gjelde også selv om stillaset ikke er tildekket, men tildekkingen vil kunne medføre høyere varmebelastning da varmen ikke slippes ut og redusere mulighetene for visuell observasjon av stillaset.

Ved røykdykkerinnsats er det viktig med god oversikt over inngangen og utgangen som brukes, både for røykdykkeren og den eller de røykdykkerne skal hente ut. Et tildekket stillas vil ha redusert oversikt over mulige innganger og utganger, og tildekkingen vil på den måten også kunne påvirke mulighetene for og nødvendig tidsbruk for røykdykkerinnsatsen i negativ grad.

For selve slokkeinnsatsen vil et innkledd stillas kunne være til hinder for slokkemiddelet, og det kan være nødvendig å bruke ressurser på å fjerne problematiske deler av tildekningen. Dersom brann- og redningsvesenet ønsker å åpne opp deler av fasaden som en del av innsatsen vil både selve stillaset og tildekningen kunne være til hinder for dette. Også her vil tildekking av stillaset gi brann- og redningsvesenet dårligere oversikt.

Et annet punkt som ble trukket frem fra ett av brann- og redningsvesenene var hvordan tildekkingen av et stillas på en vegg eller rundt et boligbygg vil påvirke røykspredningen inn via eventuelt åpne vinduer i leilighetene over brannen. De mener tildekking av stillaset vil gi en økt røykspredning inn vinduene over brannen.

## 5 Konklusjoner og videre arbeid

### 5.1 Konklusjoner

Kartleggingen av lover og forskrifter som er relevante for byggeperioden ved oppføring og rehabilitering av byggverk viste at det gjennom ulike lover og forskrifter stilles krav til både eiere, brukere, tiltakshavere, byggherrer, virksomheter, arbeidsgivere, prosjekterende og utførende. De involverte kan ha flere roller, og lignende roller har ulike betegnelser i ulike forskrifter. For bygninger som er i bruk skal brannsikkerheten ivaretas for både brukere av og arbeidere i bygget. Da gjelder også at både eier og bruker har ansvar for å ivareta brannsikkerheten. Det krever god kommunikasjon og godt samarbeid mellom ulike aktører for å sikre at brannsikkerheten opprettholdes for alle involverte både ved oppføring og etablering av bygg.

Når det gjelder tildekking av stillaser stiller Forskrift om utførelse av arbeid [10] i §17-20 krav til at inndekkingen skal tilfredsstillende brannkravene for materialer brukt i rømningsvei.

Arbeidstilsynets kommentar viser til TEK10 for krav til materialer i innvendig rømningsvei. Veiledningen til TEK10 §11-9 gir preaksepterte ytelser, og for rømningsveier angis klasse B-s1,d0 (In 1) for vegger og i himling/tak [11]. Denne preaksepterte ytelsen er videreført i TEK17 [12]. Arbeidstilsynet skriver videre i sin kommentar at ett-sjikts tak av duk og folie må tilfredsstillende klasse B-s3, d0 (Ut1) for tak- over tak – konstruksjoner og for inndekking av

fasadestillas. Dette er uheldig da tildekkingen for å tilfredsstille brannkravene for materialer brukt i rømningsvei må ha klasse B-s1,d0 (In 1).

Det stilles ikke krav til brannklassifisering av gangbanene i stillasene i gjeldene lover og forskrifter. Vi mener at det bør stilles krav til brannklassifisering av gangbanene, på samme måte som det gjøres for tildekkingen. For overflater på vegger og himling/tak er dette B-s1,d0 (In 1) og for overflater på gulv er dette D<sub>n</sub>-s1 (G).

De utførte simuleringene av røykspredning fra en brann inne i ett byggverk under oppføring eller rehabilitering viser at røykspredningen påvirkes når stillaset rundt byggverket tildekkes. Ved tildekking rundt sidene får man en større horisontal røykspredning i stillaset enn uten tildekking. Når tildekkingen også har tak samles røyken først opp under tildekkingens tak, før det etter hvert også siver røyk nedover etasjene i stillaset. Simuleringene viste at å etablere et åpent felt i øvre del av tildekkingen effektivt vil kunne ventilere ut røykgassene, og at røykspredningen da i stor grad var lik som for tildekking uten tak. I tillegg indikerte simuleringen at luftgjennomstrømningen gjennom gangbanene i stillaset kan være en viktig faktor for å redusere tildekkingens negative effekt på røykspredningen.

Samtaler med to av landets største brann- og redningsvesen belyste flere utfordringer tildekking av stillas og byggverk medfører for deres innsats ved en brann. De påpekte at tildekkingen vil kunne gi de utfordringer og forsinkelser underveis i hele innsatsen. Tildekkingen gir dårligere visuell oversikt over både røykspredning og plassering av dører og vinduer. Dette er informasjon som er viktig for planlegging av både slukkeinnsats og røykdykkerinnsats. I tillegg kan tildekkingen være til hinder for selve slukkeinnsatsen, bruk av slukkemiddel og ved røykdykker- og redningsinnsats.

## 5.2 Forslag til videre arbeid

Simuleringene viser at grad av tildekking påvirker røykspredningen, og de gir også en indikasjon på at grad av luftgjennomstrømning mellom etasjene i stillaset har stor betydning for hvordan røyken sprer seg. I tillegg har kartleggingen av regelverk vist at det ikke stilles krav til brannklassifisering av gangbanene i stillaset. Ved å utføre brannforsøk med ulike materialer og geometrier vil man få økt forståelse av hvilke krav og anbefalinger som bør gis, ikke bare til tildekkingen, men også til gangbanene i stillaset. Dette kan være krav til brannklassifisering av de ulike delene, men også andre krav som f.eks. grad av luftgjennomstrømning i gangbanene eller andre geometriske betingelser.

Brann- og redningsvesenene som bidro med informasjon i prosjektet påpekte flere utfordringer tildekking av stillas og bygninger vil få for deres innsats. Ved å utføre kontrollerte brannforsøk der brann- og redningsvesenet deltar vil man kunne få økt kunnskap om hvordan de best mulig kan håndtere slike branner, og hva som fungerer og hva som bør forbedres, både når det gjelder rutiner og utstyr.

## 6 Referanser

- [1] Arbeids- og inkluderingsdepartementet, *Forskrift 6. desember 2011 nr. 1356 om utforming og innretning av arbeidsplasser og arbeidslokaler (Arbeidsplassforskriften)*. 2013.
- [2] “Kollegiet for brannfaglig terminologi,” 2023. [Online]. Available: <http://www.kbt.no>.
- [3] Arbeids- og inkluderingsdepartementet, *Forskrift om sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplasser (byggherreforskriften)*. 2010.
- [4] “EN 13823: 2010 Reaction to fire test for building products - Building products excluding flooring exposed to the thermal attack by a single burning item.” CEN, 2010.
- [5] Kommunal og distriktsdepartementet, *Lov 27. juni 2008 nr. 71 om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*. 2008.
- [6] Justis- og beredskapsdepartementet, *Lov 14. juni 2002 nr. 20 om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver*. 2002.
- [7] Arbeids- og sosialdepartementet, *Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv. (arbeidsmiljøloven)*. 2006.
- [8] Justis- og beredskapsdepartementet, *Forskrift om brannforebygging*. 2015.
- [9] Arbeids- og sosialdepartementet, *Forskrift 12. juni 1996 om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter (Internkontrollforskriften)*. 1996.
- [10] Arbeids- og sosialdepartementet, *Forskrift 6. desember 2011 nr. 1357 om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav (forskrift om utførelse av arbeid)*. 2013.
- [11] Direktoratet for byggkvalitet, *Byggteknisk forskrift (TEK10) med veiledning*. 2010.
- [12] Direktoratet for byggkvalitet, *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. 2017.
- [13] “NS-EN 13501-1:2018 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning.” Standard Norge, 2019.
- [14] “NS-EN ISO 11925-2:2020 Prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning — Antennelighet av byggeprodukter ved direkte påvirkning av flamme — Del 2: Prøving med én enkelt flamme (ISO 11925-2:2020).” Standard Norge, 2010.
- [15] “DIN 4102-1: Fire behaviour of building materials and elements - Classification of building materials - Requirements and testing.” DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Germany.
- [16] S. Bengtson, T. Dittmer, P. Rohlén, and B. Östman, “Brandskydd på byggarbetsplats,” SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Stockholm, Sweden, SP Rapport 2012:11, 2012.
- [17] Richard Campbell, “Fires in Structures Under Construction,” Oct. 2022.
- [18] Lars Brenden, “Evalueringssrapport etter brannen i Hemsedal,” *BRANN & REDNING*, no. 3, pp. 6–7, 2022.
- [19] “Brand i nybygge – kan ha orsakats av cigarett,” *Mitt i Stockholm*, 28 Apr. 2023.
- [20] T. S. Das, “Review of Risk Factors of Construction Site Fire and Suggestions for its Mitigation,” *Asian Rev. Civ. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 13–19, May. 2013.
- [21] RVO - Regionale verneombud, “Sikkerhet ved bruk av stillas.” [Online]. Available: <https://rvofond.no/ba/hms/sikkerhet-ved-bruk-av-stillas>. [Accessed: 04 Oct. 2023].
- [22] Stillasentreprenørenes Forening (SEF), “Sikkerhetshåndbok for stillasbruk,” 2004. [Online]. Available: <https://www.eba.no/siteassets/dokumenter/hms/stillasbruk-sef.pdf>. [Accessed: 04 Oct. 2023].
- [23] “REGELVERK Brandsäker byggarbetsplats,” Brandskyddsföreningen, Stockholm, Sweden, SBF 505:1, Apr. 2020.
- [24] Brandskyddsföreningen, *Brandsäker byggarbetsplats med regler och checklistor*. 2020.
- [25] “Regler för brandsäker byggarbetsplats.” locum., 2022.
- [26] Julia Lennartsson, Sofia Majtorp, “Väderskyddsdukar - Antändlighet och brandspridning,” Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, Report 5507, 2015.



- [27] Per Blomqvist, Anna Bergstrand, Nick Neumann, Ida Larsson and Per Thureson, “Fire safety requirements on textile membranes in temporary building structures,” SP Technical Research Institute of Sweden, SP Report 2013:30, 2013.
- [28] Joel Andersson, Andreas Lennqvist, “A burn-through model for textile membranes in buildings as a tool in performance based fire safety engineering,” Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University, Sweden, Report 5347, 2010.
- [29] Per Blomqvist and Maria Hjöhlman, “Fire tests with textile membranes on the market - results and method development of cone calorimeter and SBI test method,” SP Technical Research Institute of Sweden (RISE), SP Report 2010:23, 2010.
- [30] GREAT BRITAIN: HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, *FIRE SAFETY IN CONSTRUCTION: guidance for clients, designers and those managing and carrying out... construction work involving significant fire risks*. S.I.: HSE BOOKS, 2022.
- [31] “LPS 1215: Requirements for the LPCB Approval and Listing for Fire Performance of Containment Net and Shee Materials for External Use on Construction Sites.” BRE Global Ltd, 2014.
- [32] “Technical Schedule TS 62 Reaction to fire performance requirements: Materials, either sheet or net, used to clad scaffolding.” Warringtonfire Testing and Certification Ltd., 24 Nov. 2021.
- [33] “BS 476-12:1991 Fire tests on building materials and structures - Part 12: Method of test for ignitability of products by direct flame impingement.” BSI - British standards Institution, London, UK, 1991.
- [34] H. Ingason, Y. Z. Li, and A. Lönnemark, *Tunnel Fire Dynamics*. New York, NY: Springer New York, 2015.
- [35] J. Anderson, L. Boström, R. Jansson McNamee, and B. Milovanović, “Modeling of fire exposure in facade fire testing,” *Fire Mater.*, vol. 42, no. 5, pp. 475–483, Aug. 2018.
- [36] “NFPA 72 - National Fire Alarm and Signaling Code.” National Fire Protection Association (NFPA), 1999.
- [37] C. Hopkin, M. Spearpoint, and D. Hopkin, “A Review of Design Values Adopted for Heat Release Rate Per Unit Area,” *Fire Technol.*, vol. 55, no. 5, pp. 1599–1618, Sep. 2019.
- [38] W. Węgrzyński and G. Vigne, “Experimental and numerical evaluation of the influence of the soot yield on the visibility in smoke in CFD analysis,” *Fire Saf. Sci. Proc. 12th Int. Symp.*, vol. 91, pp. 389–398, Jul. 2017.
- [39] K. McGrattan, B. Klein, S. Hostikka, and J. Floyd, “Fire Dynamics Simulator (Version 5) User’s Guide, in: NIST Special Publication 1019-5,” *Natl. Inst. Stand. Technol.*, 2007.
- [40] R. E. Taylor, H. Groot, and J. Ferrier, “Thermophysical Properties of PVC, PE and Marinite,” *Rep. TPRL*, vol. 2958, 2003.
- [41] “SN-INSTA/TS 950:2014 Analytisk brannteknisk prosjektering - Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk.” Standard Norge, 2014.
- [42] “Polyethylene.” [Online]. Available: <https://www.chemeurope.com/en/encyclopedia/Polyethylene.html>. [Accessed: 12 Oct. 2023].
- [43] Arbeidstilsynet, “Forskjellen på HMS og SHA,” 28 Sep. 2023. [Online]. Available: <https://www.arbeidstilsynet.no/hms/hms-i-bygg-og-anlegg/forskjellen-pa-hms-og-sha/>.

## Vedlegg A - Utdrag fra forskriftene

### A.1 Arbeidsplassforskriften

#### § 2-13. Nødbelysning

Arbeidsplasser hvor arbeidstakerne kan bli utsatt for fare ved svikt i den kunstige belysningen, skal være forsynt med nødbelysning av tilstrekkelig styrke.

Flukt- og rømningsveier samt nødutganger skal være utstyrt med nødbelysning tilstrekkelig til å dekke behovet i tilfelle svikt i den ordinære belysningen.

#### § 2-21. Rømningsveier og nødutganger

Ved fare skal arbeidstakerne raskt og på en sikker måte kunne evakueres fra alle arbeidsplasser og personalrom.

Bygninger og arbeidsplasser skal være utformet med tilstrekkelige rømningsveier og nødutganger, som til enhver tid skal være åpne for fri ferdsel og lett kunne åpnes innenfra uten spesielle hjelpemidler. Dører som er plassert i rømningsveien skal åpne i rømningsretningen.

Rømningsveienes og nødutgangenes antall, fordeling og dimensjoner skal avpasses etter arbeidsplassens bruk, utstyr og dimensjoner, og etter det høyeste antall personer som kan være til stede.

Rømningsveier og nødutganger skal så direkte som mulig føre ut i det fri eller til et sikkerhetsområde eller rom som er tilrettelagt for å beskytte mot farer som kan oppstå, og hvor arbeidstakerne kan oppholde seg i sikkerhet inntil de kan reddes eller faren er over.

Ved bergarbeid under jord skal det være minst to solide og lett tilgjengelige utganger til overflaten. Dersom det for annet bergarbeid under jord enn gruvearbeid er umulig å anlegge to utganger, skal det treffes tiltak for å sikre muligheten for sikker rømning.

Rømningsveier og dører som er plassert i rømningsveier, skal være tilstrekkelig merket.

#### § 2-24. Særskilte vernetiltak for utendørs arbeidsplasser

Utendørs arbeidsplasser skal så langt det er mulig være innrettet slik at arbeidstakerne:

- a. er beskyttet mot ugunstige værforhold,
- b. er vernet mot fallende gjenstander,
- c. ikke blir utsatt for skadelig støy eller for skadelige ytre påvirkninger som f.eks. gass, damp eller støv,
- d. raskt kan forlate arbeidsplassen ved fare eller raskt kan reddes,
- e. ikke kan gli eller falle.

Arbeidstakerne skal ha tilgang til lokale hvor de kan oppholde seg når det er nødvendig av hensyn til arbeidstakernes sikkerhet, helse og arbeidsmiljø.

Arbeidsplasser på utendørs stillas skal om nødvendig være dekket med presenning eller lignende og ha lokal oppvarming og belysning.

#### § 4-1. Alarm- og varslingsutstyr

På arbeidsplasser med brannfarlige, eksplosjonsfarlige eller helsefarlige kjemikalier skal det være tilstrekkelige varslings- og kommunikasjonssystemer for å kunne varsle arbeidstakerne og relevante rednings- og nødtjenester om ulykke, skade eller nødsituasjon.

Når det er nødvendig skal det installeres overvåkningsutstyr som automatisk og kontinuerlig registrerer gasskonsentrasjoner på bestemte steder.

Når det har betydning for sikkerhet eller rømning skal alarmsystemene styre tekniske anlegg til sikker funksjon, for eksempel automatisk strømutkoplingssystemer for elektriske anlegg og automatiske stoppsystemer for forbrenningsmotorer.

#### § 4-2. Rømnings- og redningsutstyr

Rømnings- og redningsutstyr skal finnes på steder hvor arbeids- eller rømningsforholdene gjør det nødvendig, for eksempel ved drukningsfare eller at farlig atmosfære kan oppstå.

Kaier, basseng og kummer mv. skal være utstyrt med løs eller fast stige eller annen innretning som gjør det mulig å komme opp uten hjelp fra andre. På kaier og andre steder hvor det er nødvendig, skal redningsbøye, redningshake og eventuelt båt være lett tilgjengelig.

Ved arbeid under jord skal det være mekaniske hjelpemidler for transport, dersom rømning krever store fysiske anstrengelser.

Redningsutstyret skal være funksjonsdyktig og klart til bruk til enhver tid og være lett tilgjengelig.

Oppbevaringssteder for rømnings- og redningsutstyr skal være hensiktsmessig merket.

#### § 4-3. Brannforebygging, eksplosjonsforebygging og *brannsløkkingsutstyr*

Arbeidsplassen skal innrettes slik at brann- og eksplosjonsfare forebygges.

Brannsløkkingsutstyr i tilstrekkelig omfang skal være lett tilgjengelig på arbeidsplasser under jord, i havneområder, der det utføres varmt arbeid og ved maskiner hvor det er fare for brann og eksplosjon.

Operasjonsrom på dykkerplattformen som inneholder komponenter av betydning for sikkerheten ved undervannsoperasjonen, skal være forsvarlig brannsikret.

Manuelt betjent brannsløkkingsutstyr skal være enkelt å bruke og om nødvendig være beskyttet mot skade.

## Vedlegg B - SHA-planen (beskrivelse fra Arbeidstilsynet)

Teksten under er i sin helhet hentet fra Arbeidstilsynets beskrivelse av SHA-begrepet på deres nettsider [43].

### B.1 SHA-begrepet

Begrepet «sikkerhet, helse og arbeidsmiljø» (SHA) er forankret i forskrift om sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplasser (byggherreforskriften).

Byggherreforskriften beskriver hvordan byggherren skal ivareta arbeidstakernes sikkerhet, helse og arbeidsmiljø gjennom prosjektering og gjennomføring av bygge- og anleggsarbeider. Begrepet SHA benyttes bare for denne typen arbeidsplasser.

### B.2 SHA-planen - unik for hvert enkelt bygge- eller anleggsprosjekt

Byggherreforskriften § 7 fastslår at det før oppstart av bygge- eller anleggsarbeid skal finnes en skriftlig plan for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA-plan) som beskriver hvordan risikoforholdene i prosjektet skal håndteres. Innholdet i planen framgår av § 8.

En SHA-plan er en unik sikkerhets-, helse- og arbeidsmiljøplan for et spesifikt bygge- eller anleggsprosjekt. Fordi hver arbeidsplass har sine spesielle sikkerhetsmessige utfordringer, vil det være behov for en spesifikk SHA-plan for hvert prosjekt. En kan dermed ikke kopiere en plan fra et prosjekt og bruke den på et annet.

Arbeidet med SHA-planen må starte tidlig i planprosessen til et bygge- eller anleggsprosjekt. Under plan og prosjekteringsarbeidet skal byggherren fortløpende gjennomføre risikovurderinger for å avdekke og fjerne flest mulig risikoforhold som senere i byggeprosessen kan føre til ulykker.

Ved at byggherren beskriver risikoforholdene i planfasen, og tar dette med inn i spesifikasjonene for anbudet, vil entreprenøren i anbudet kunne kalkulere inn de forebyggende tiltak som er ment å redusere risiko. Deretter utarbeider byggherren, ved SHA-koordinator, SHA-planen for det aktuelle bygge- eller anleggsprosjektet.

Planen skal bygge på gjennomførte risikovurderinger og vurderinger av hva som er nødvendig for å forebygge skade på liv og helse.

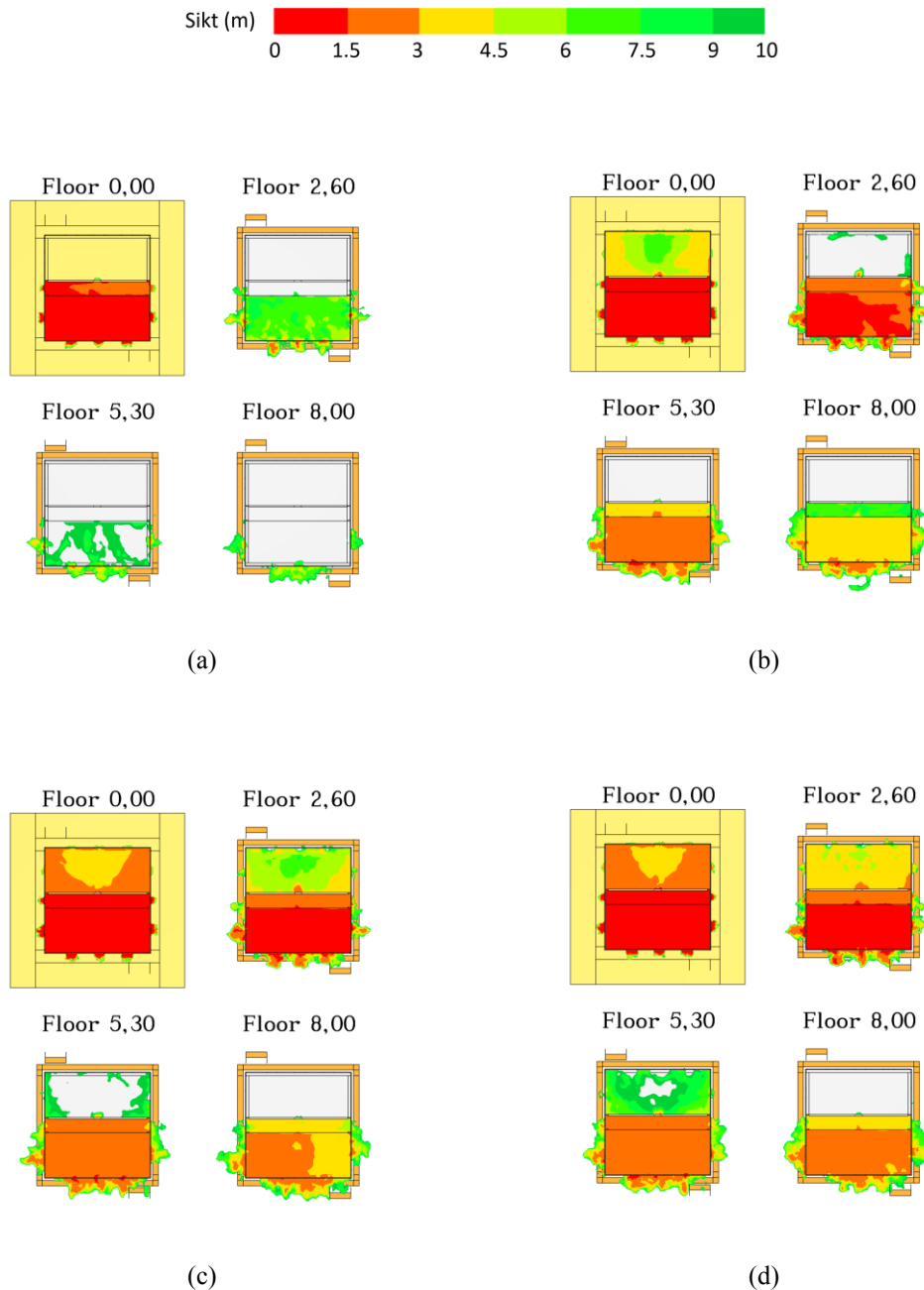
SHA-planen skal inneholde:

- Beskrivelse av bygge- og anleggsplassens organisering, roller, ansvarsfordeling og entreprisform
- Framdriftsplan for anlegget som viser når og hvor de ulike arbeidsoperasjoner skal finne sted
- Beskrivelser av de spesifikke tiltakene knyttet til arbeid som kan innebære fare for liv og helse

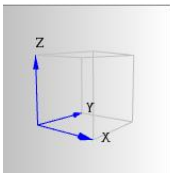
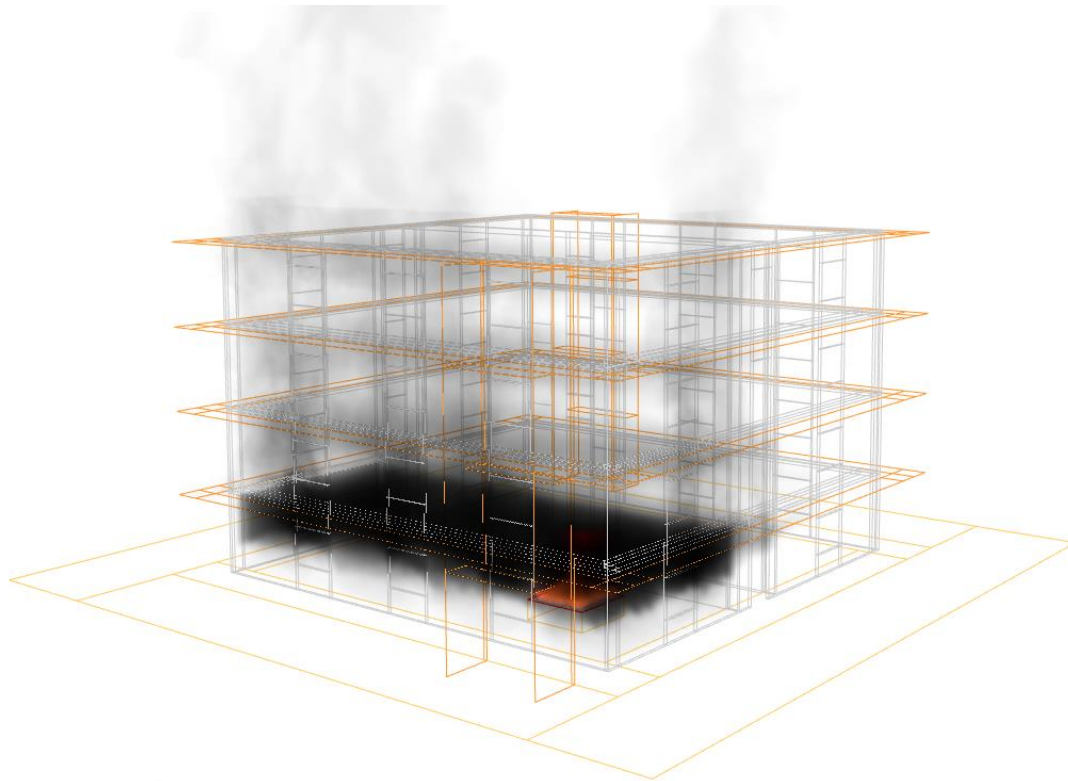
- Rutine for behandling av endringer og oppdatering av planen

## Vedlegg C – Utfyllende simuleringsdata

### C.1 Scenario 1 - Oppføring av nybygg uten tildekking, brenselskontrollert brann

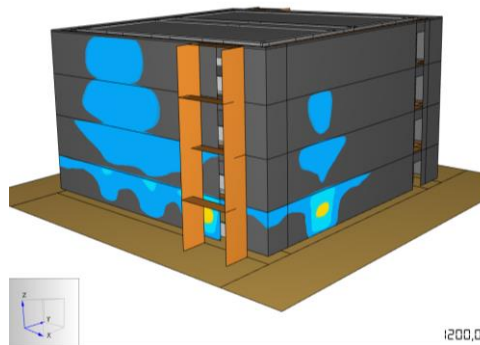


Figur C - 1: Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 1.



1200,0

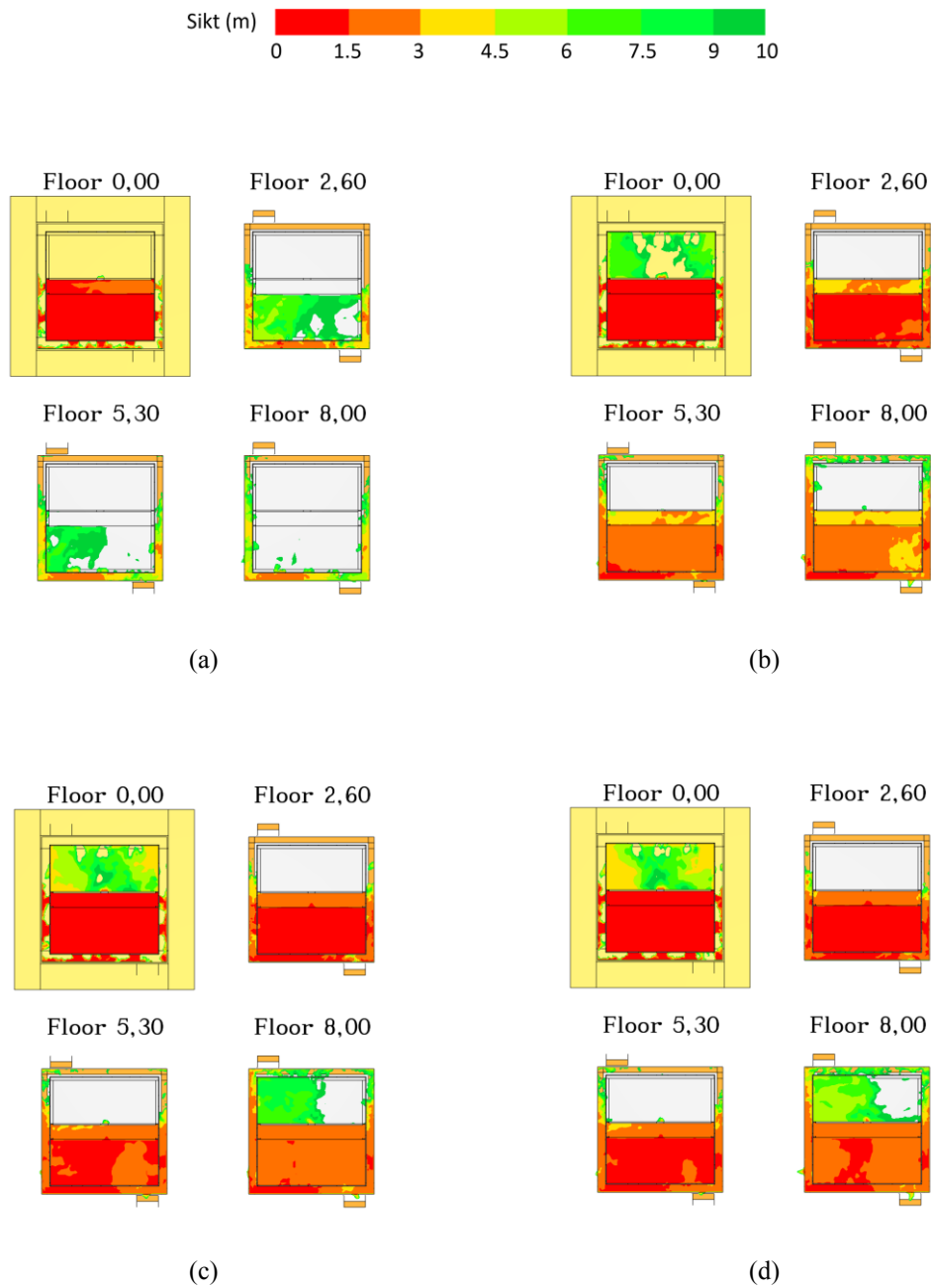
Figur C - 2: Visualisering av røykspredning etter 20 minutter scenario 1.



1200,0

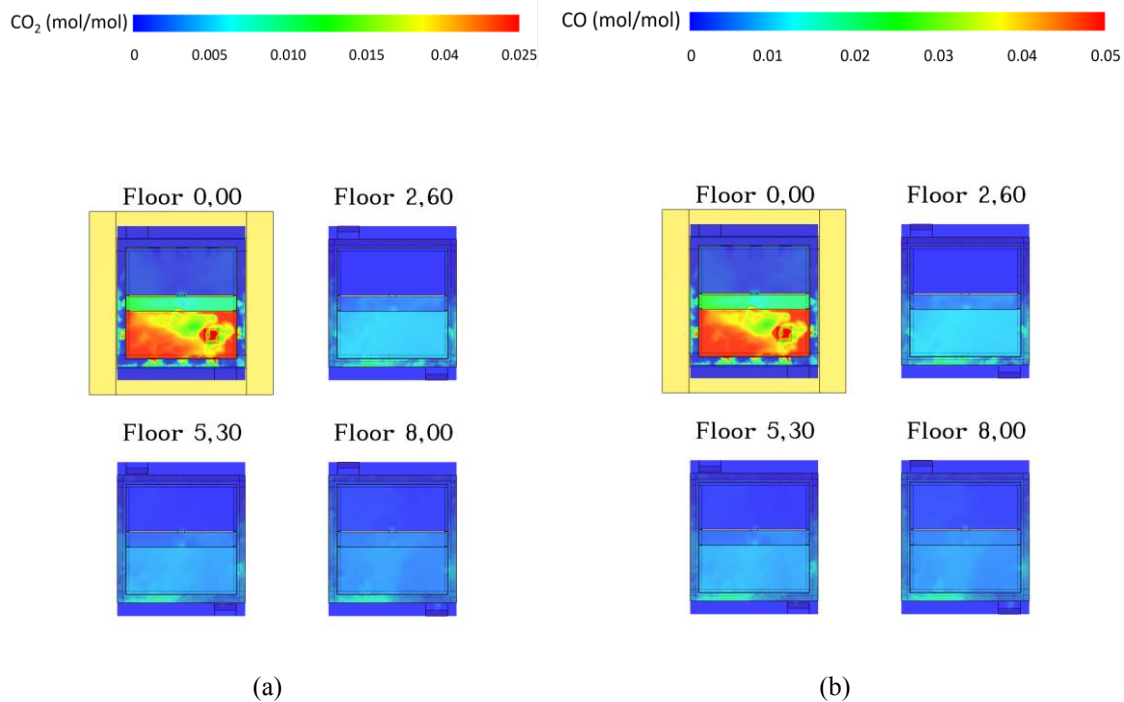
Figur C - 3: Simulert temperatur på stillastildekkingen etter 20 minutter scenario 1.

## C.2 Scenario 2 - Oppføring av nybygg med tildekking, brennselekontrollert brann

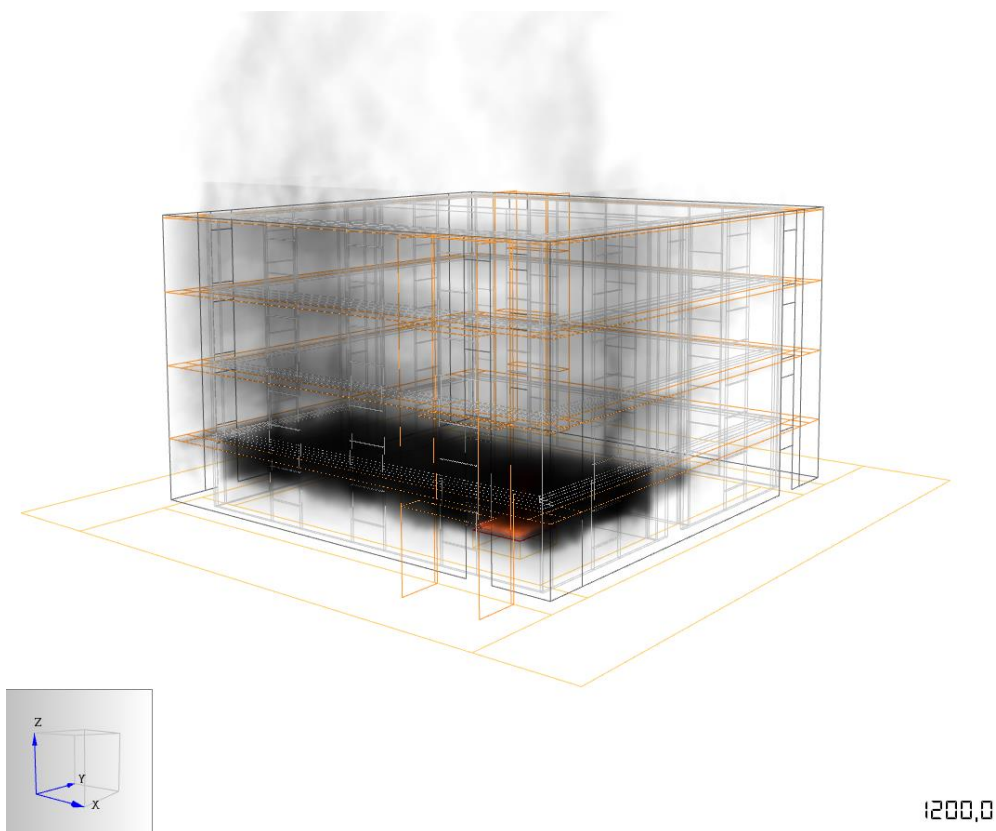


Figur C - 4: Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 2.

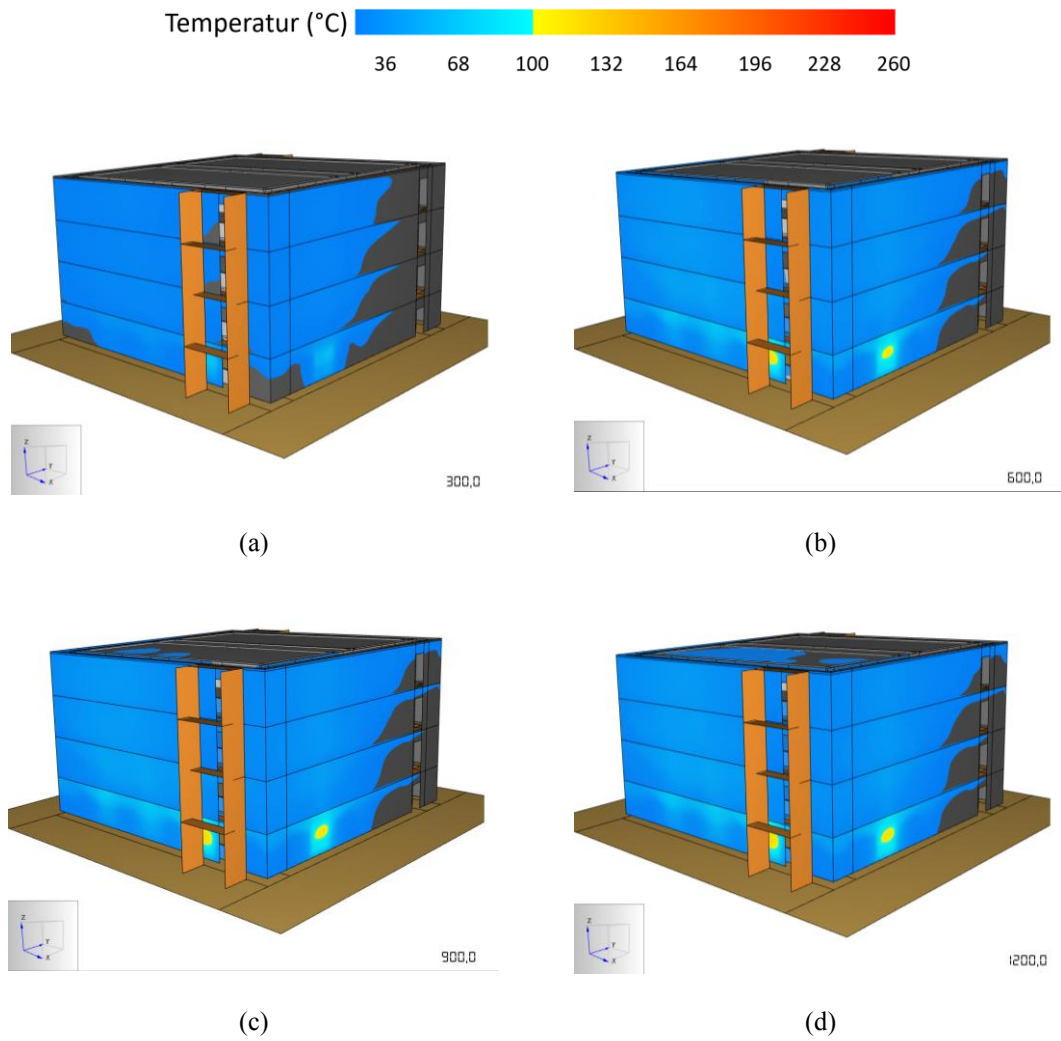




Figur C - 5: Beregnede gasskonsentrasjoner etter 1200 sekunder. (a) CO<sub>2</sub> og (b) CO.

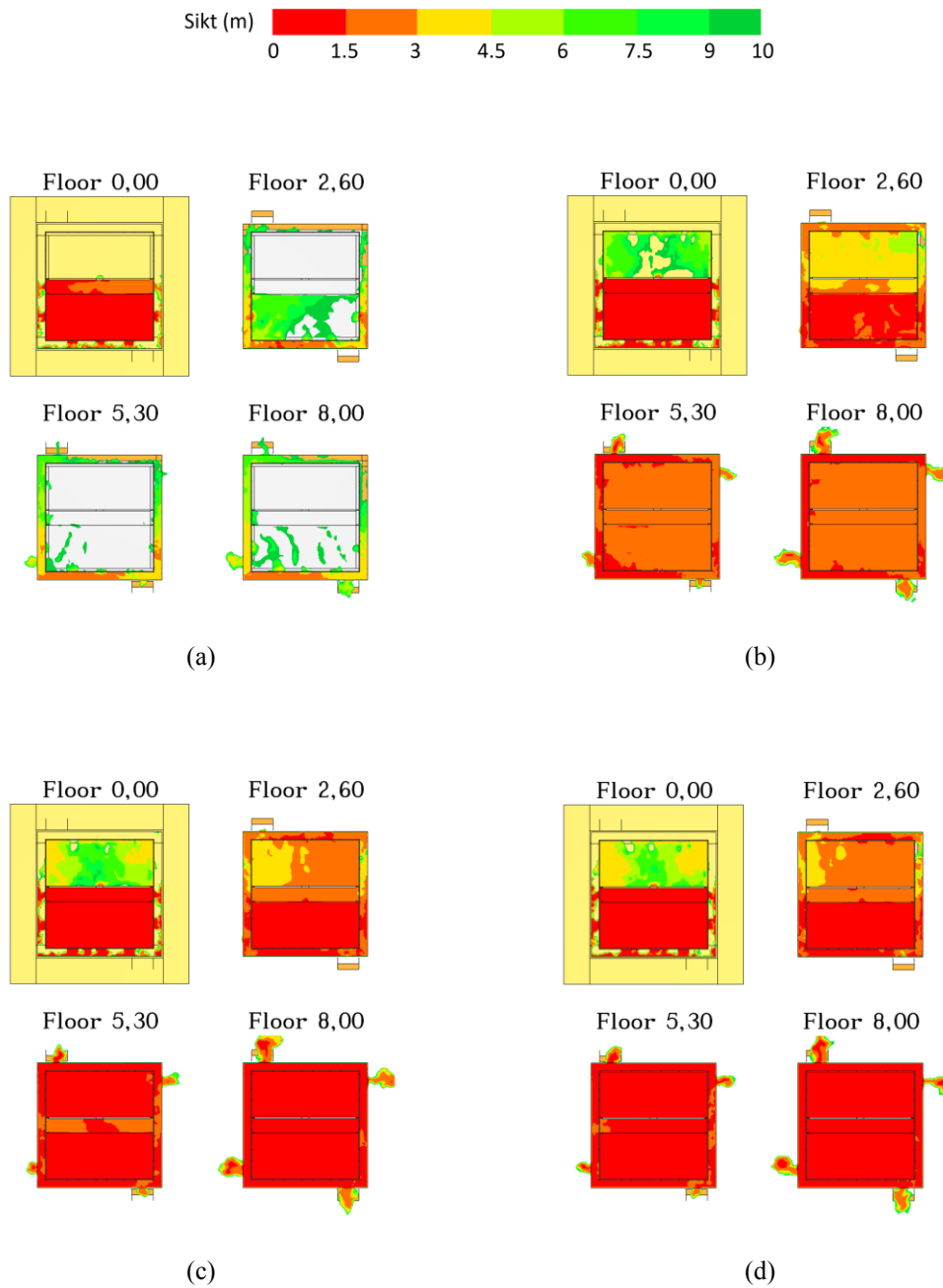


Figur C - 6: Visualisering av røykspredning etter 20 minutter scenario 2.

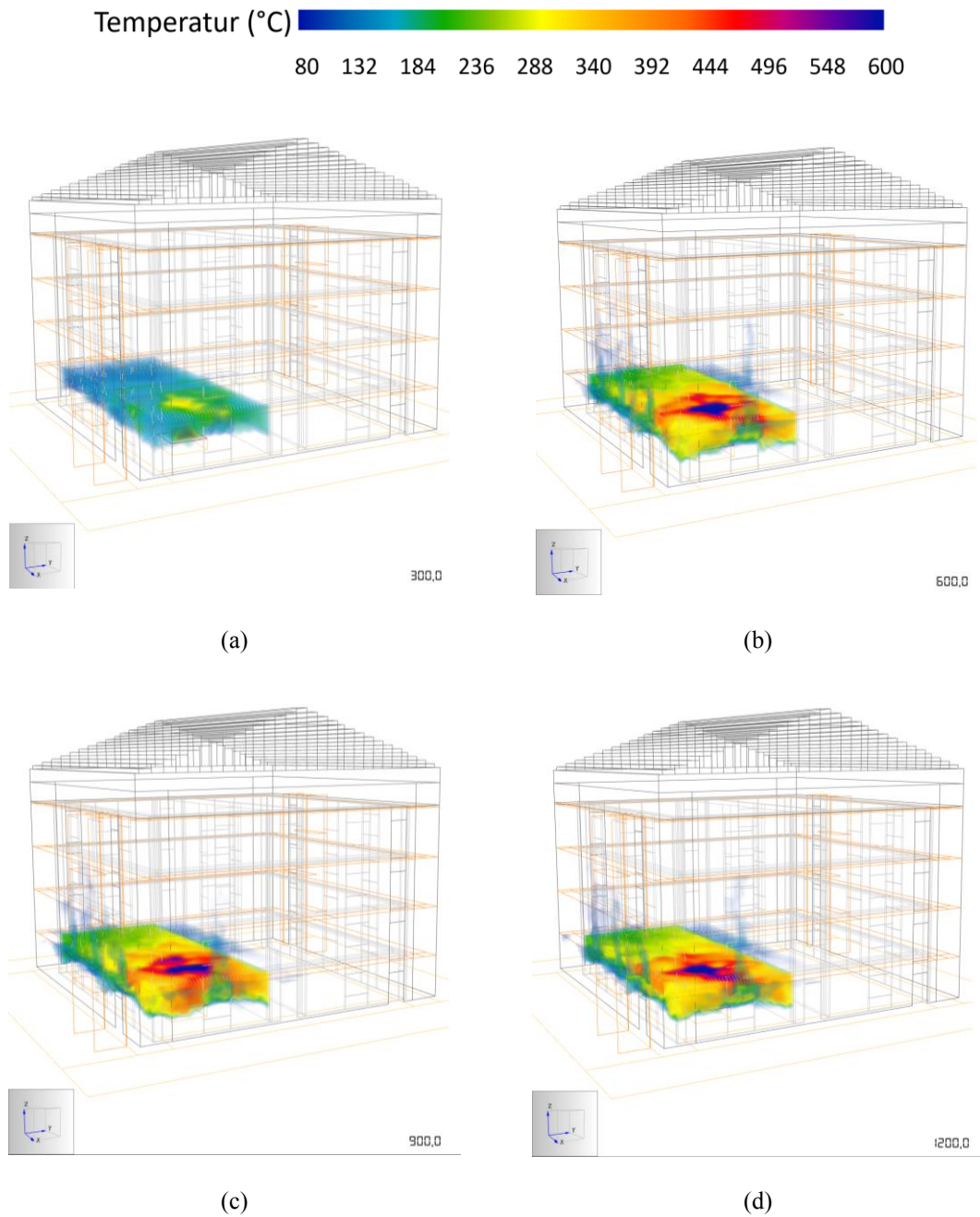


**Figur C - 7:** Simulert temperatur på stillastildekkingen etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekund for scenario 2.

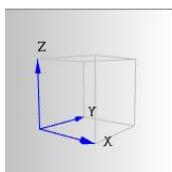
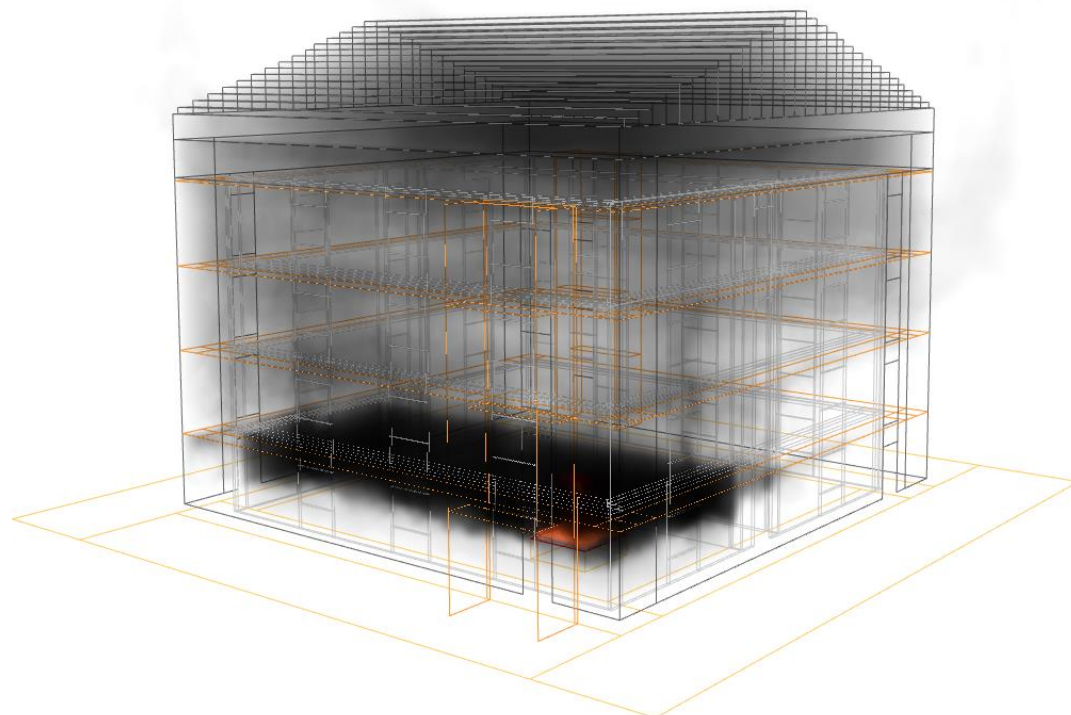
### C.3 Scenario 3 - Oppføring av nybygg med tildekking og tak, brenselkontrollert brann



Figur C - 8: Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 3.

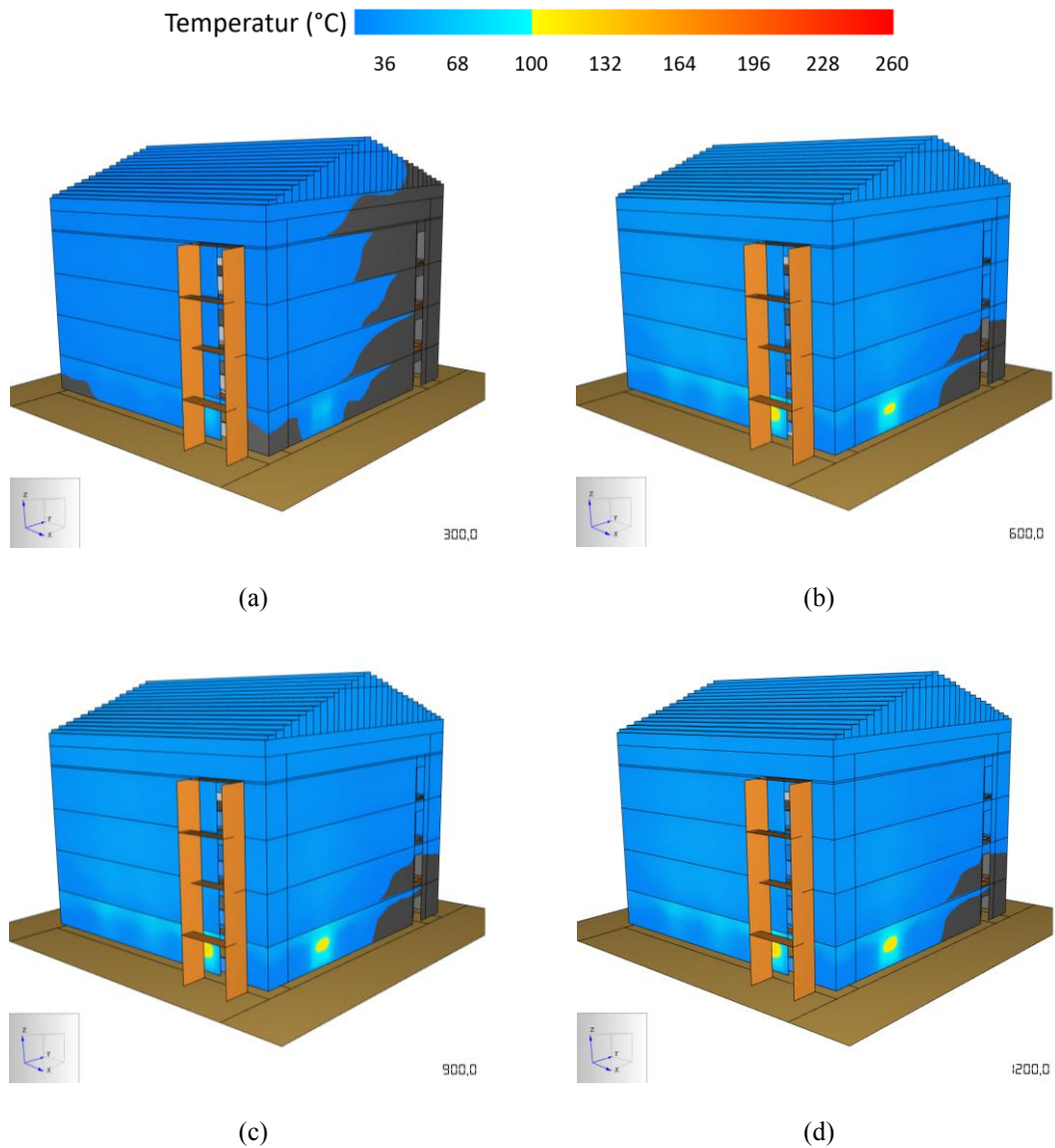


Figur C - 9: Beregnet temperatur etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 3.



1200,0

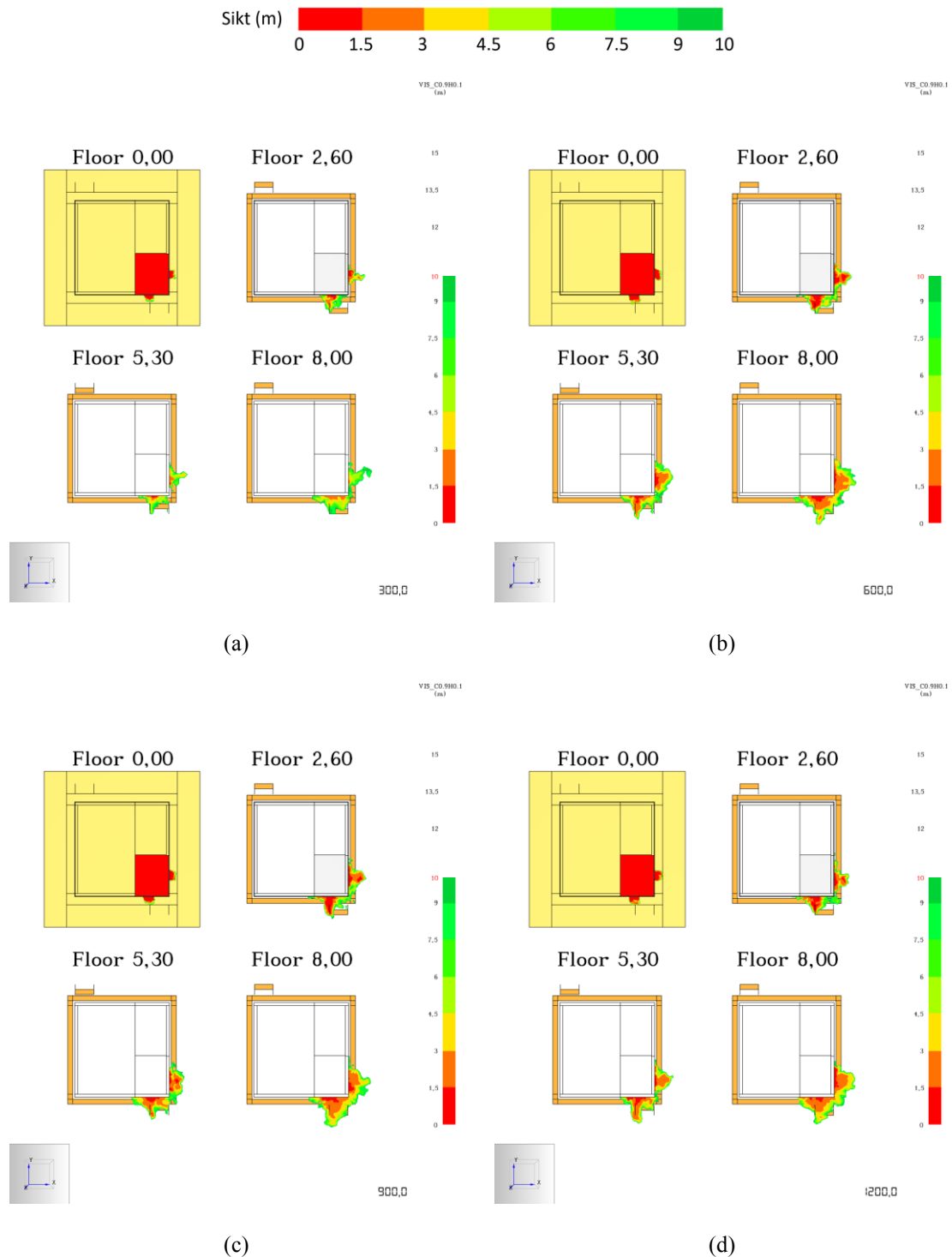
Figur C - 10: Visualisering av røykspredning etter 20 minutter scenario 3.



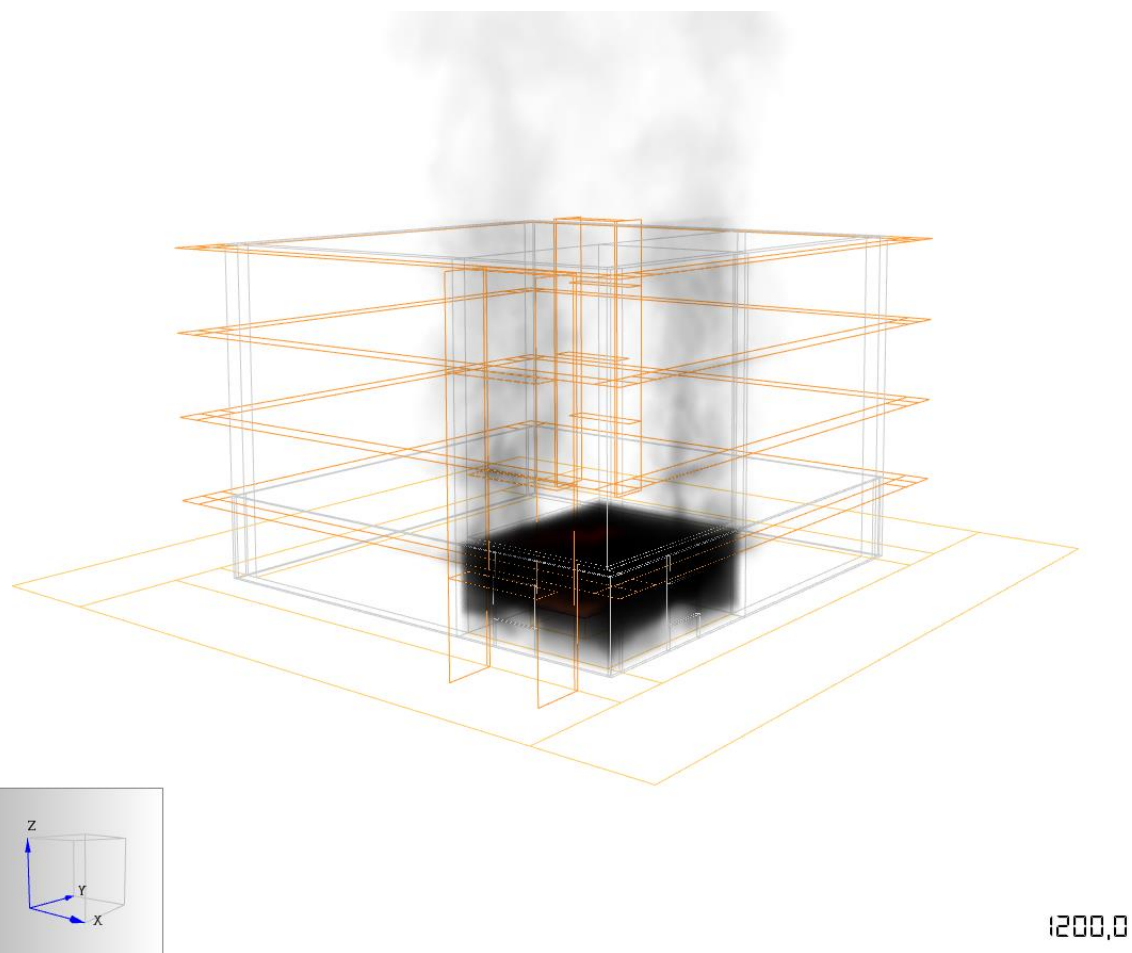
**Figur C - 11:** Simulert temperatur på stillastildekkingen etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 3.



## C.4 Scenario 4 - Rehabilitering uten tildekking, brenselskontrollert brann



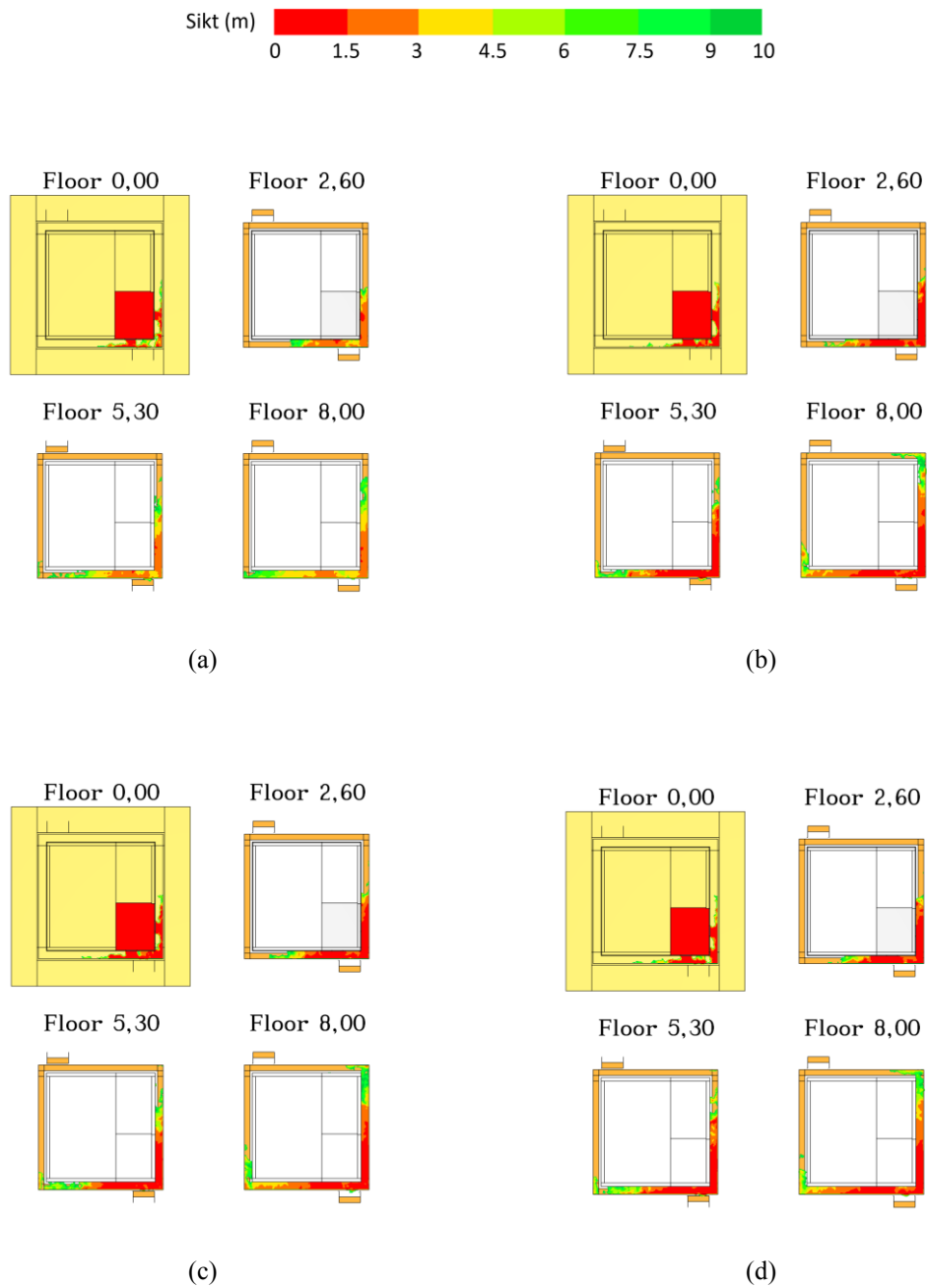
Figur C - 12: Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 4.



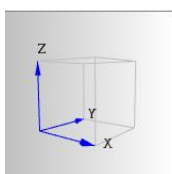
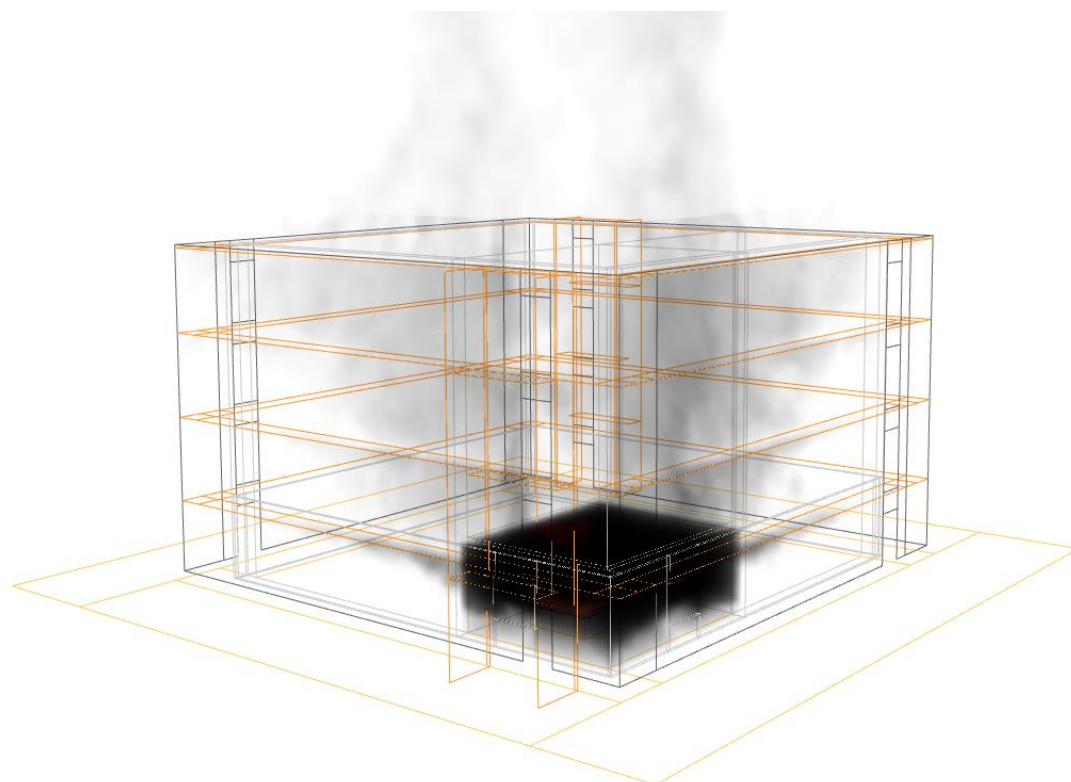
Figur C - 13: Visualisering av røykspredning etter 20 minutter scenario 4



## C.5 Scenario 5 - Rehabilitering med tildekking, brennelsekontrollert brann

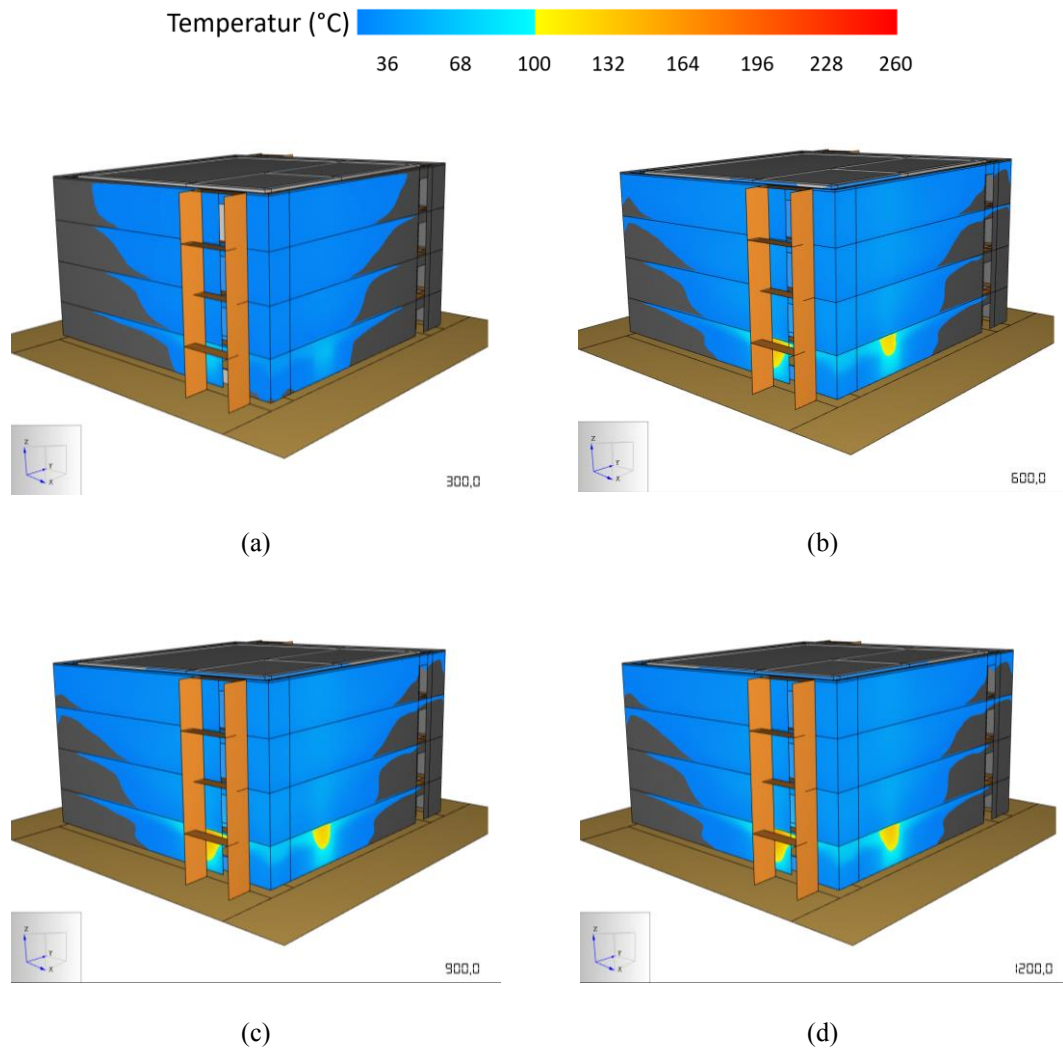


Figur C - 14: Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 5.



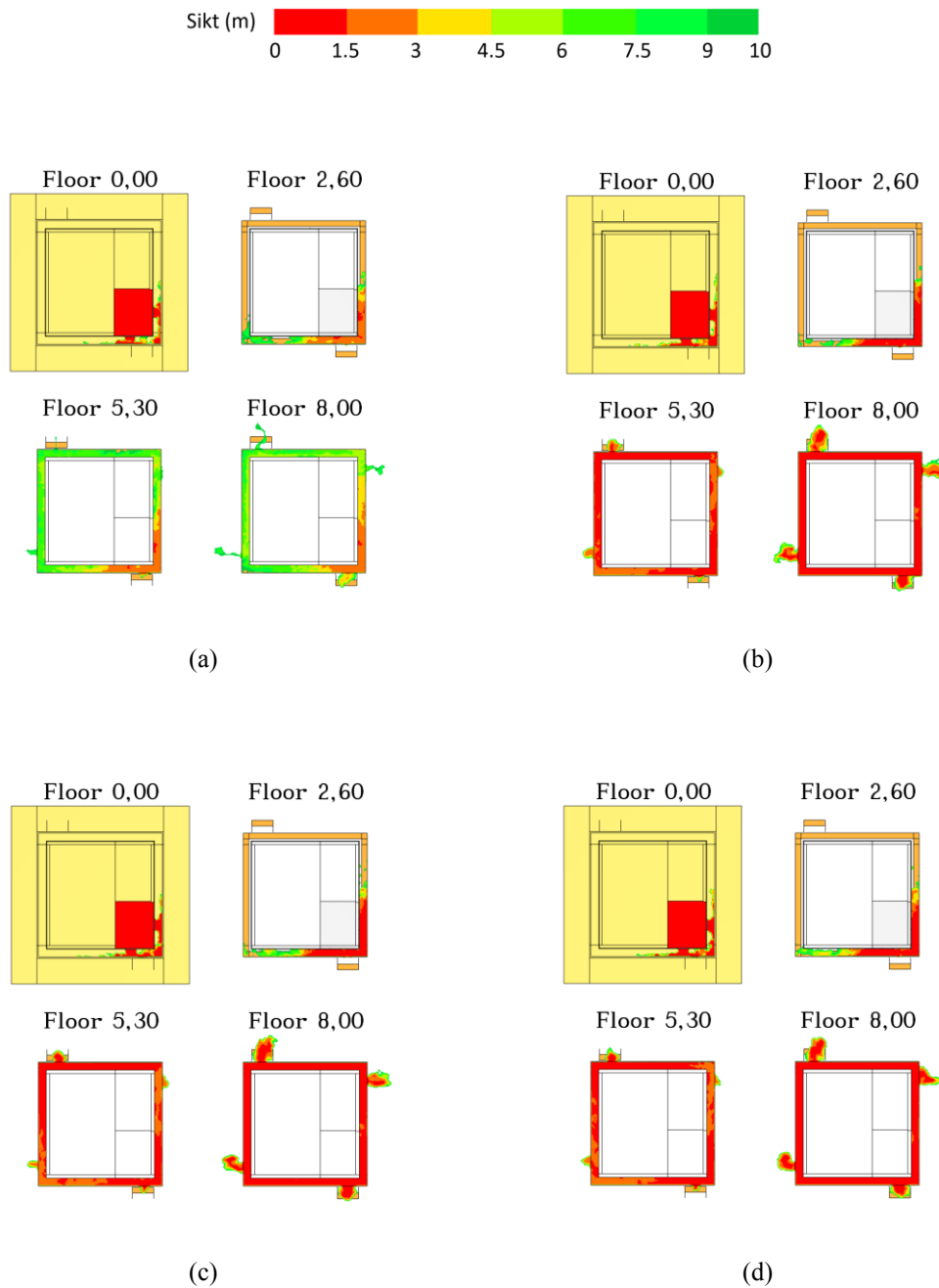
1200,0

Figur C - 15: Visualisering av røykspredning etter 20 minutter scenario 5.

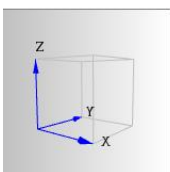
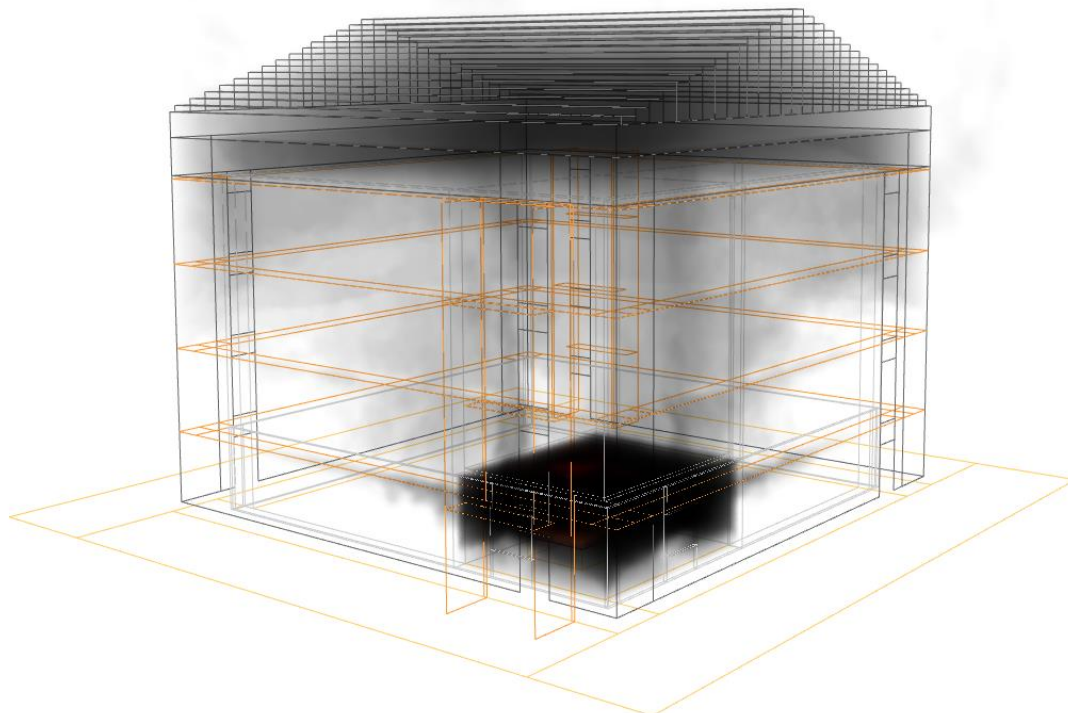


Figur C - 16: Simulert temperatur på stillastildekkingen etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 5.

## C.6 Scenario 6 - Rehabilitering med tildekking og tak, brenselkontrollert brann

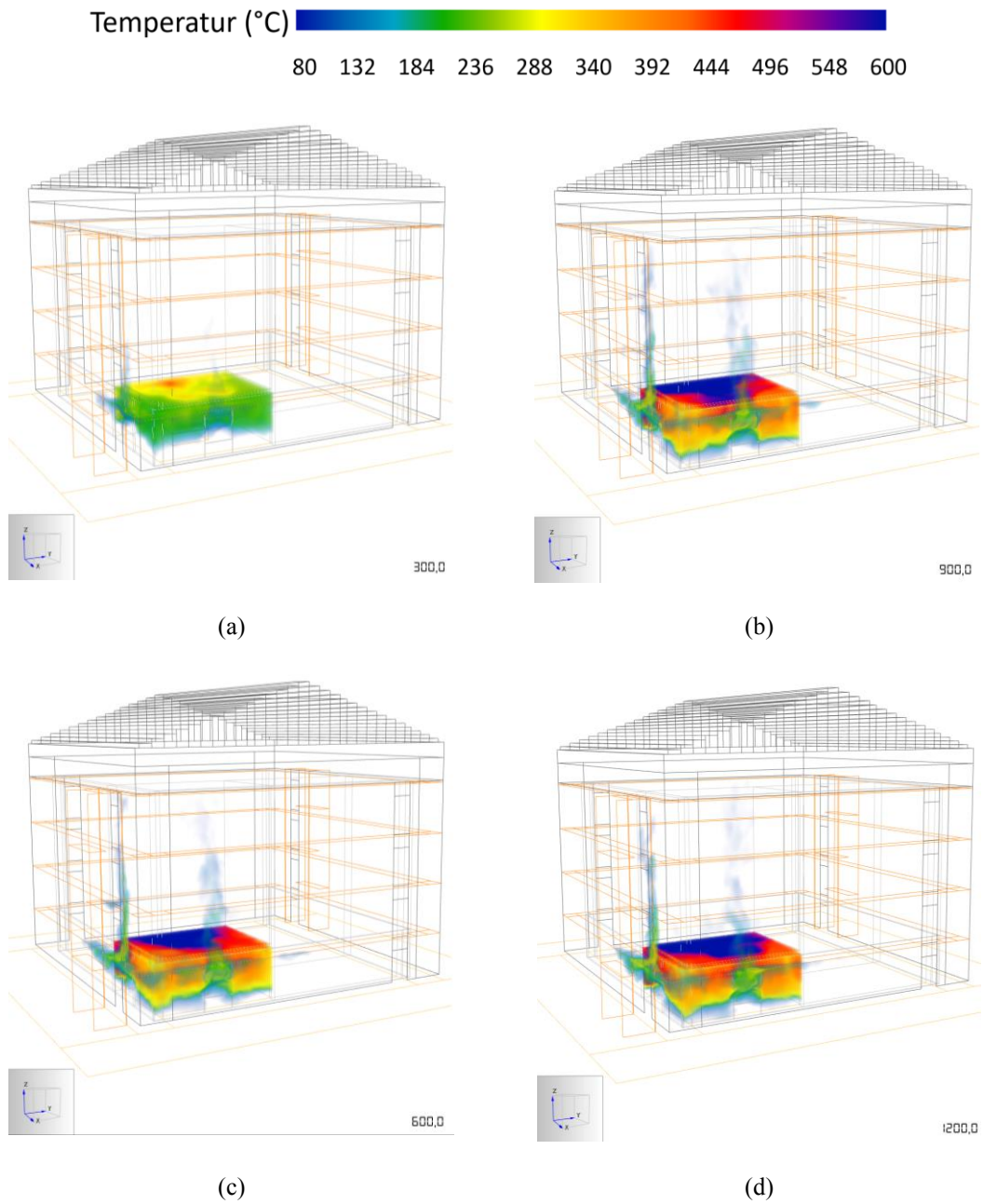


Figur C - 17: Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 6.

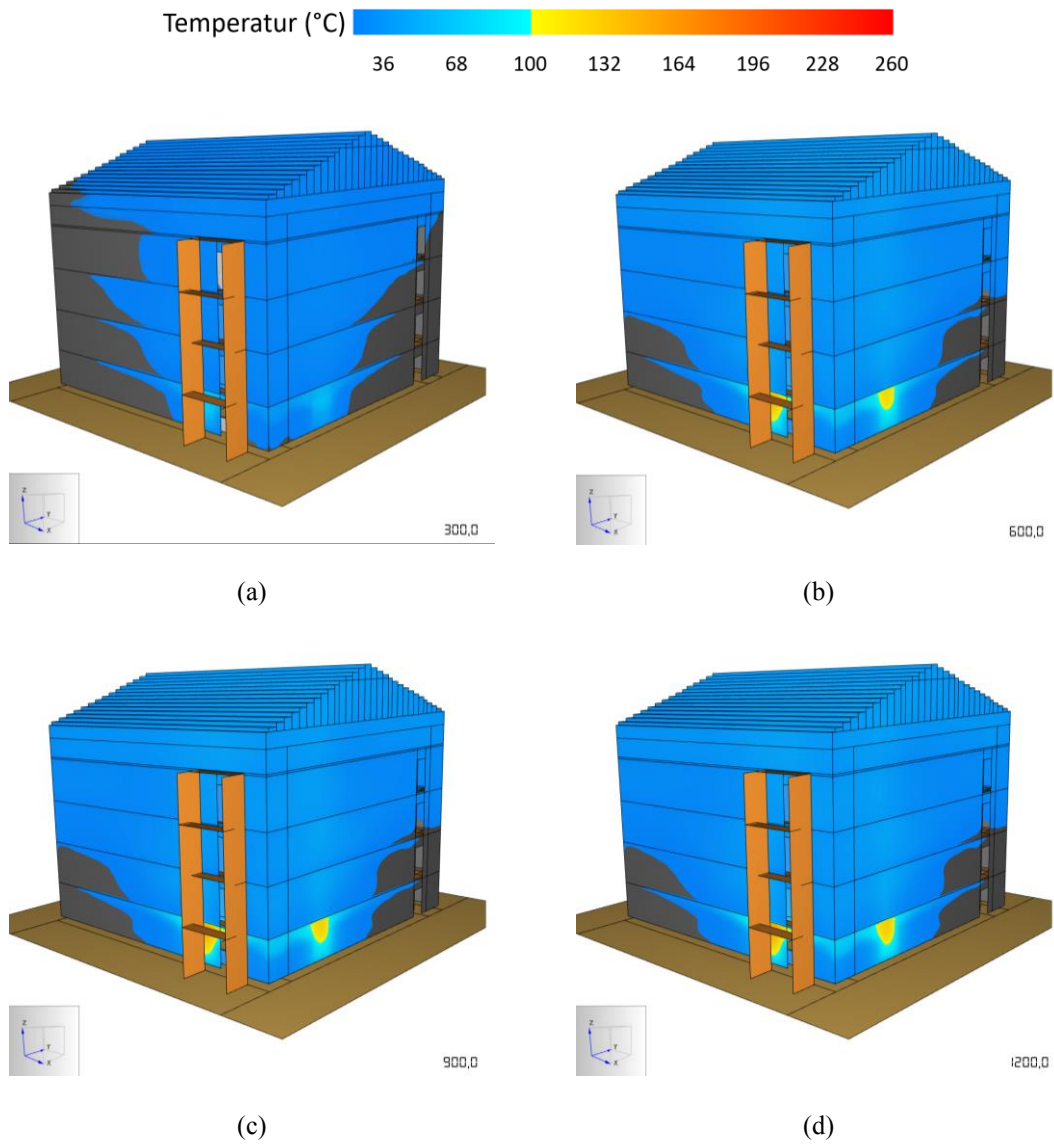


1200,0

Figur C - 18: Visualisering av røykspredning etter 20 minutter scenario 6.

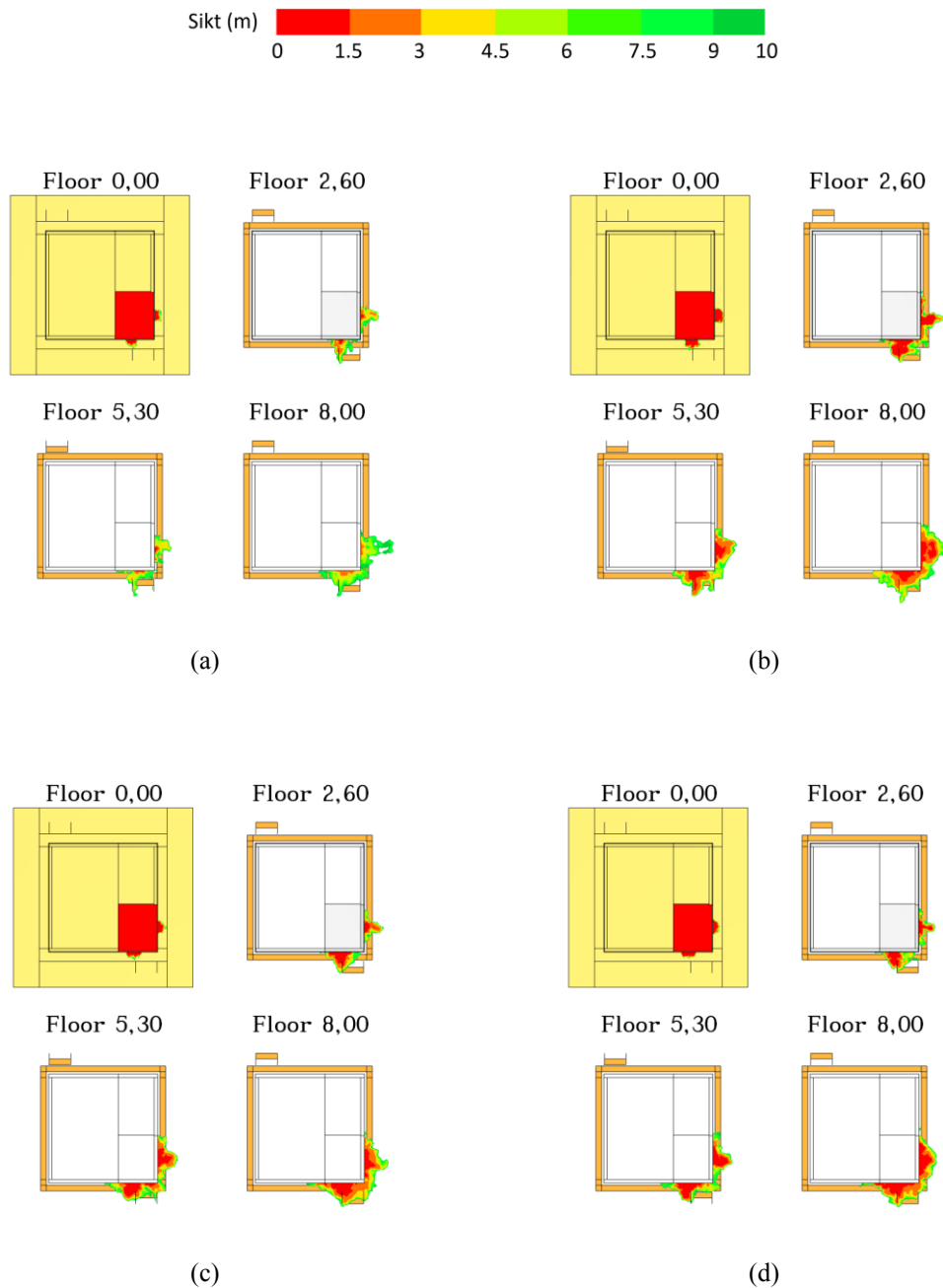


Figur C - 19: Beregnet temperatur etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 6.



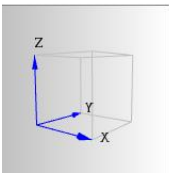
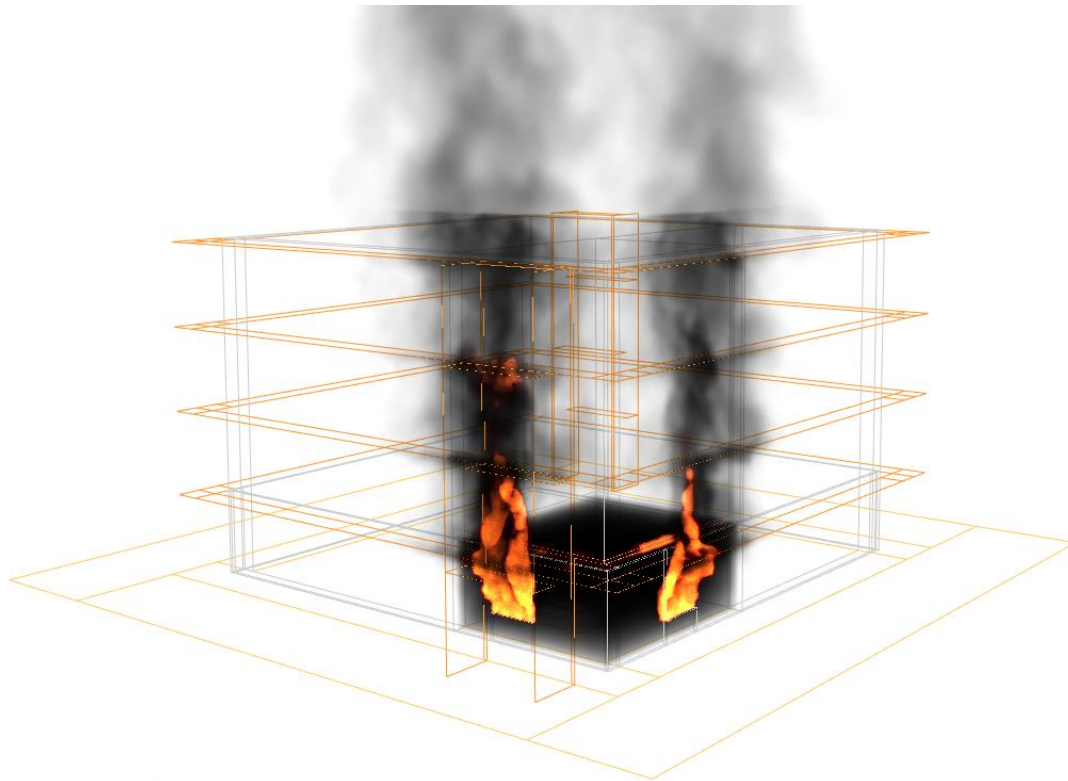
Figur C - 20: Simulert temperatur på stillastildekkingen etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 6.

## C.7 Scenario 7 - Rehabilitering uten tildekking, venilasjonskontrollert brann



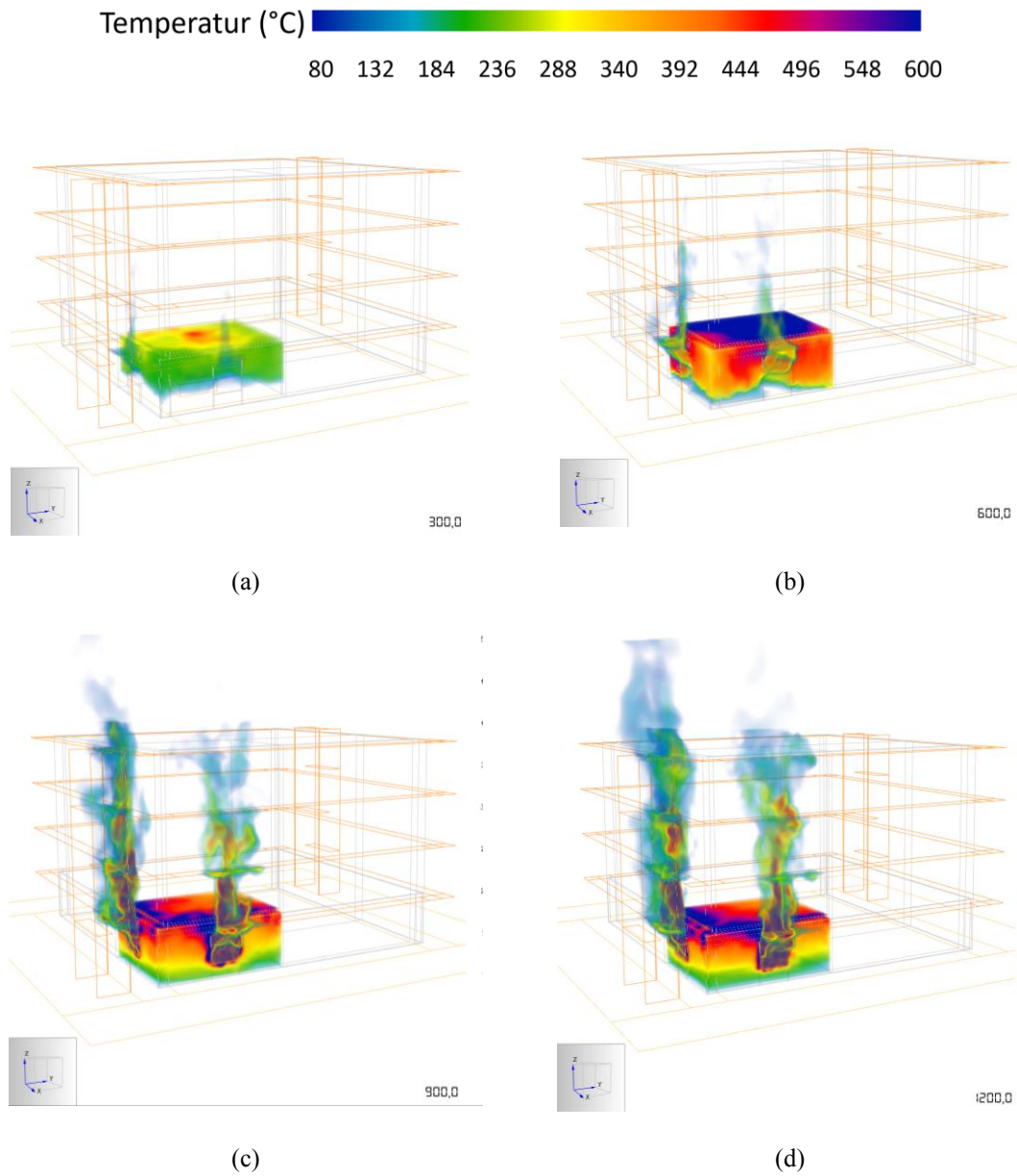
Figur C - 21: Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 7.





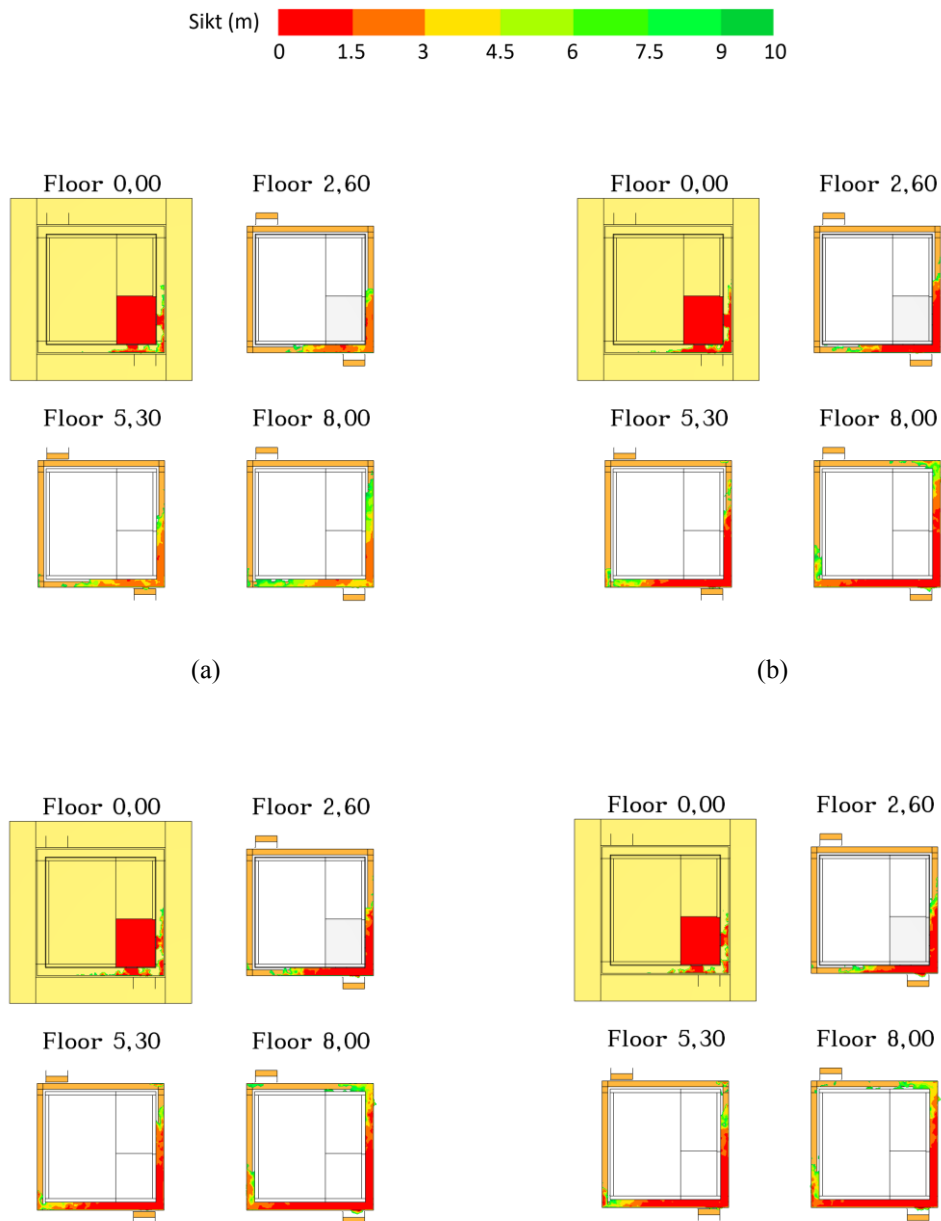
1200,0

Figur C - 22: Visualisering av røykspredning etter 20 minutter scenario 7.

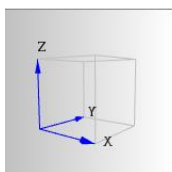
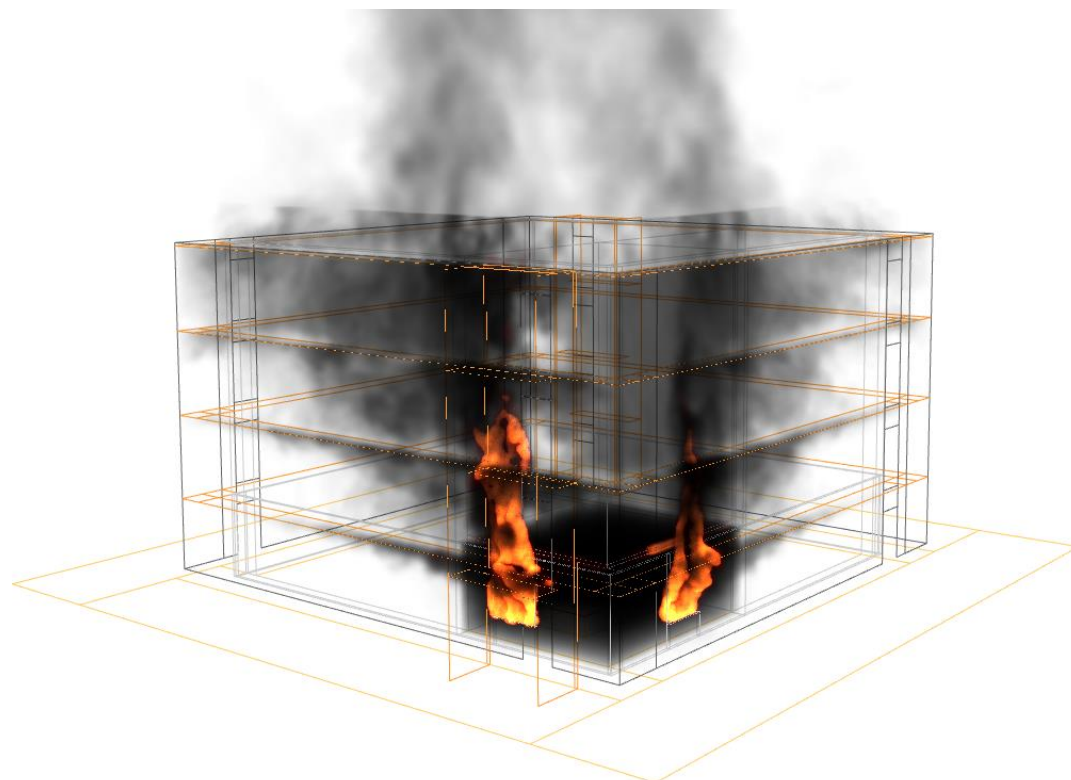


Figur C - 23: Beregnet temperatur etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 7.

## C.8 Scenario 8 - Rehabilitering med tildekking, venilasjonskontrollert brann

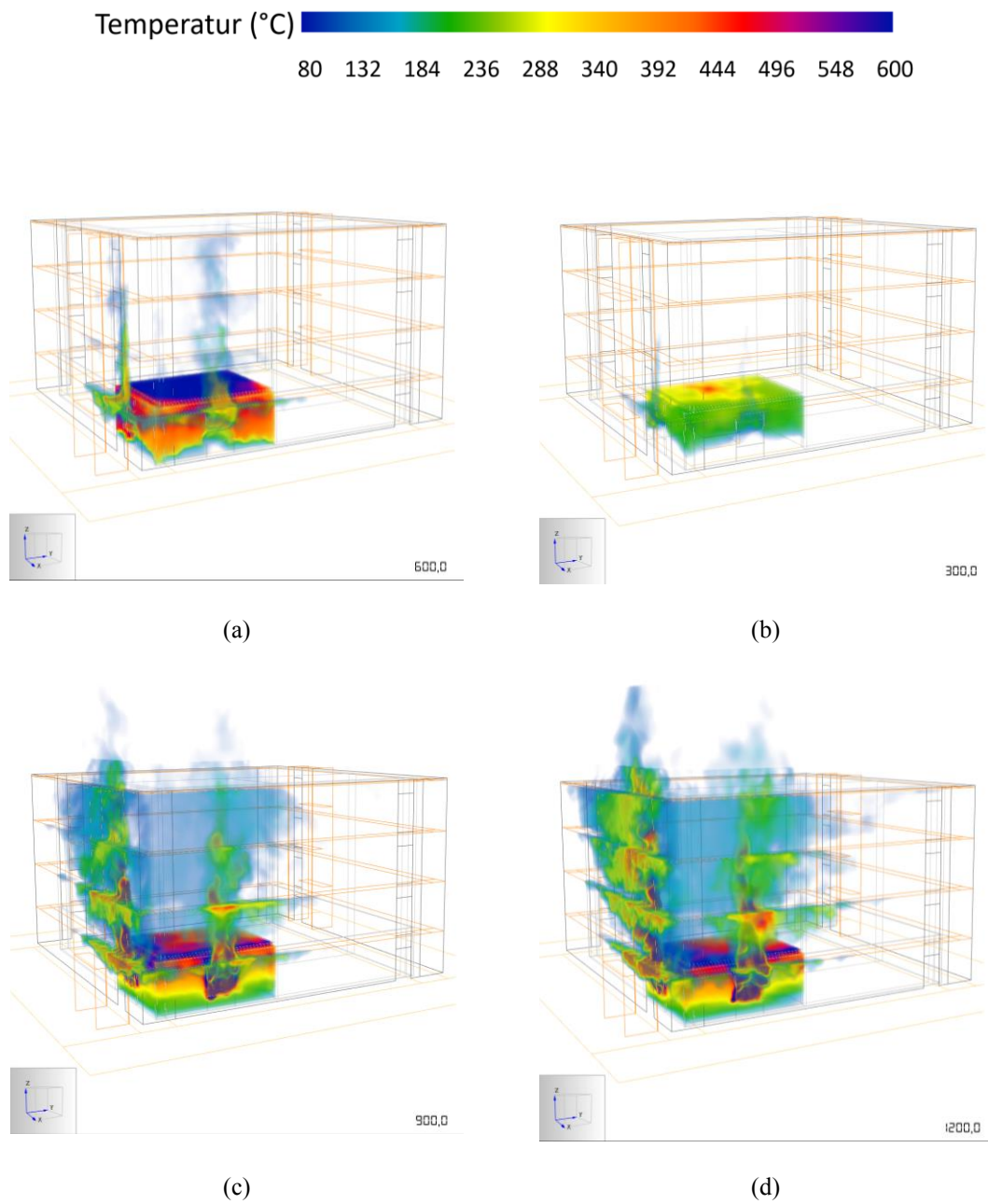


Figur C - 24: Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 8.

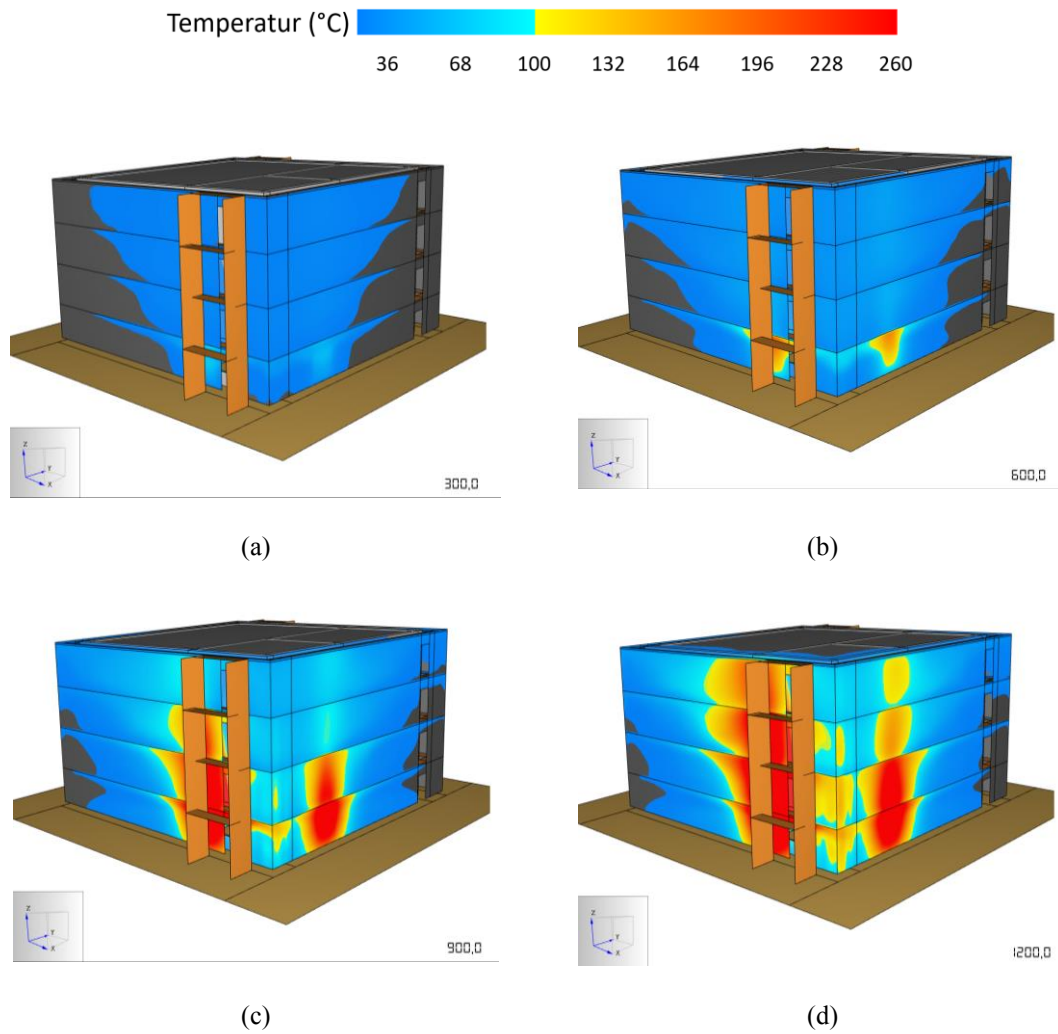


1200,0

Figur C - 25: Visualisering av røykspredning etter 20 minutter scenario 8.

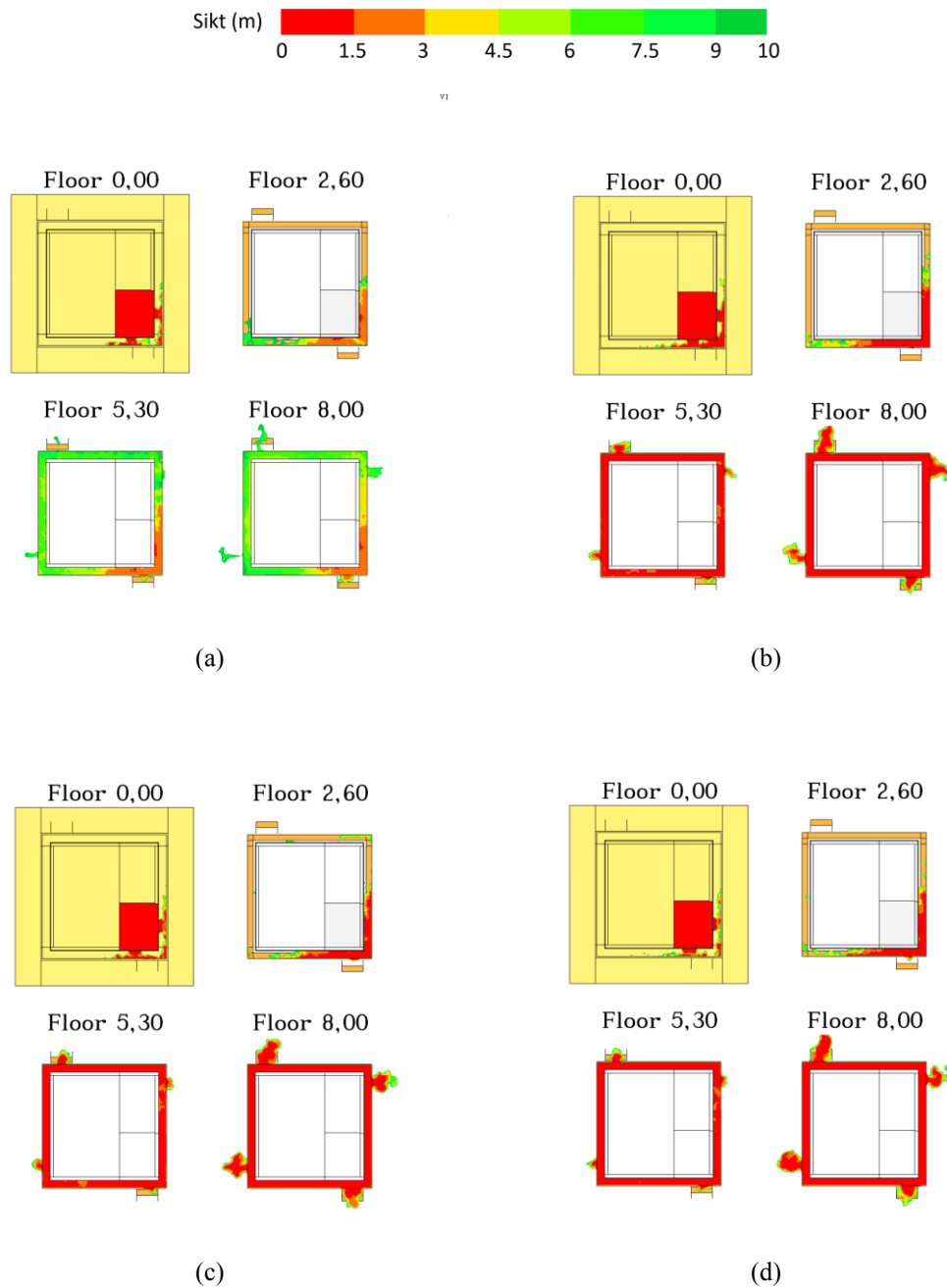


Figur C - 26: Beregnet temperatur etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 8.



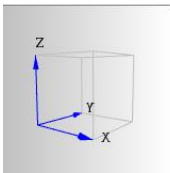
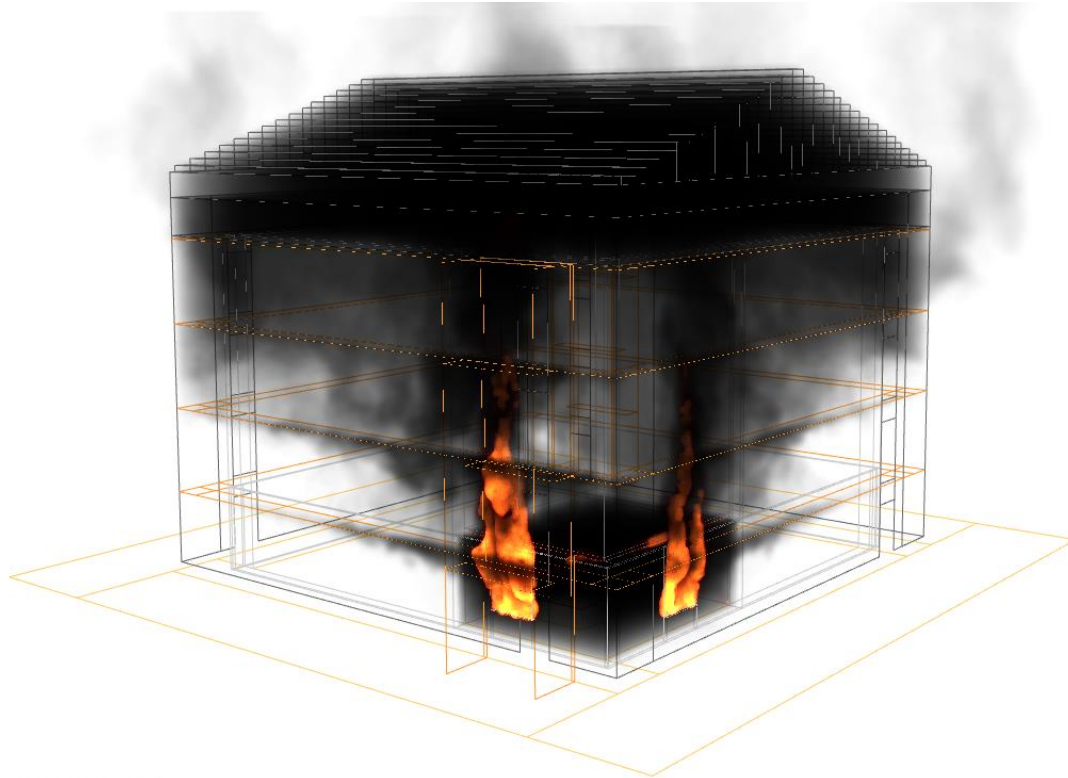
Figur C - 27: Simulert temperatur på stillastildekkingen etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 8.

## C.9 Scenario 9 - Rehabilitering med tildekking og tak, venilasjonskontrollert brann



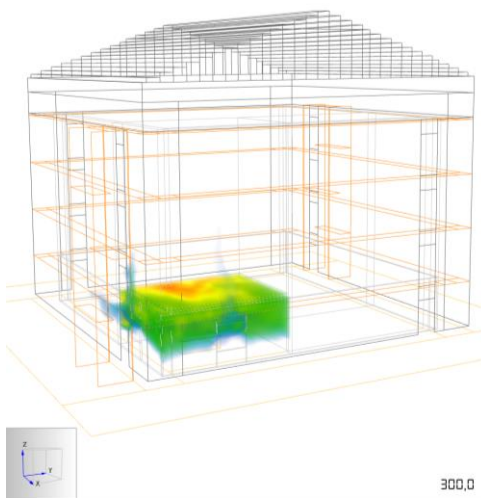
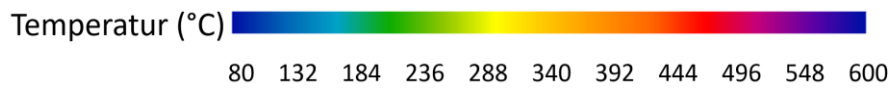
Figur C - 28: Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 9.



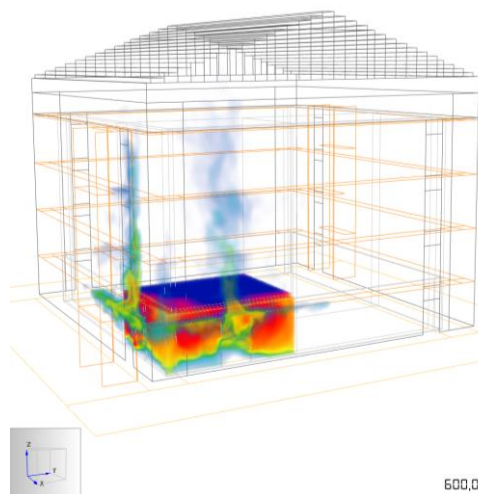


1200,0

Figur C - 29: Visualisering av røykspredning etter 20 minutter scenario 9.

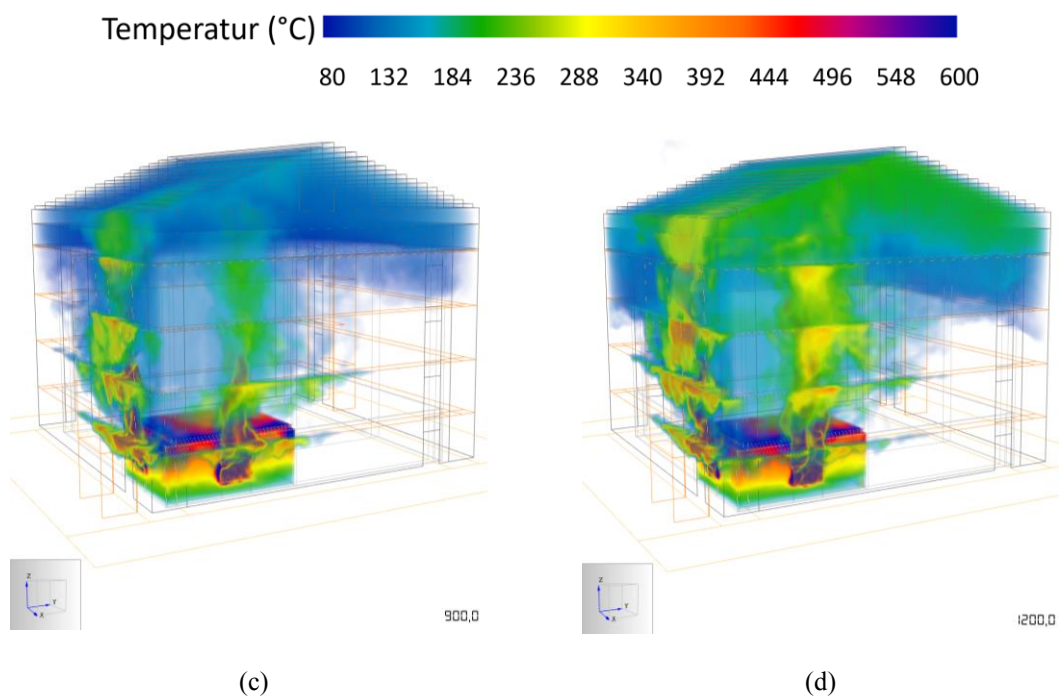


(a)



(b)

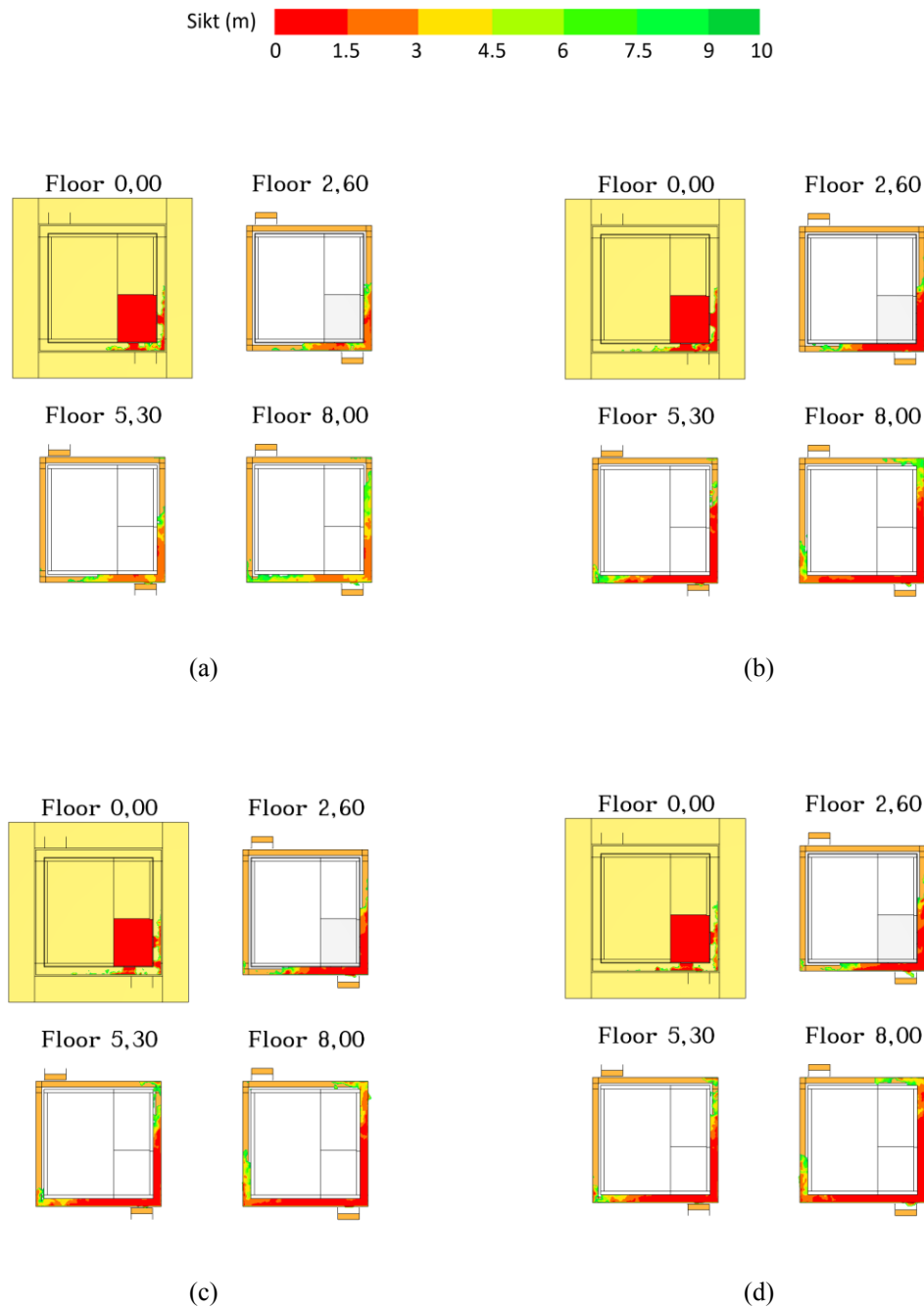




Figur C - 30: Beregnet temperatur etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekund for scenario 9.

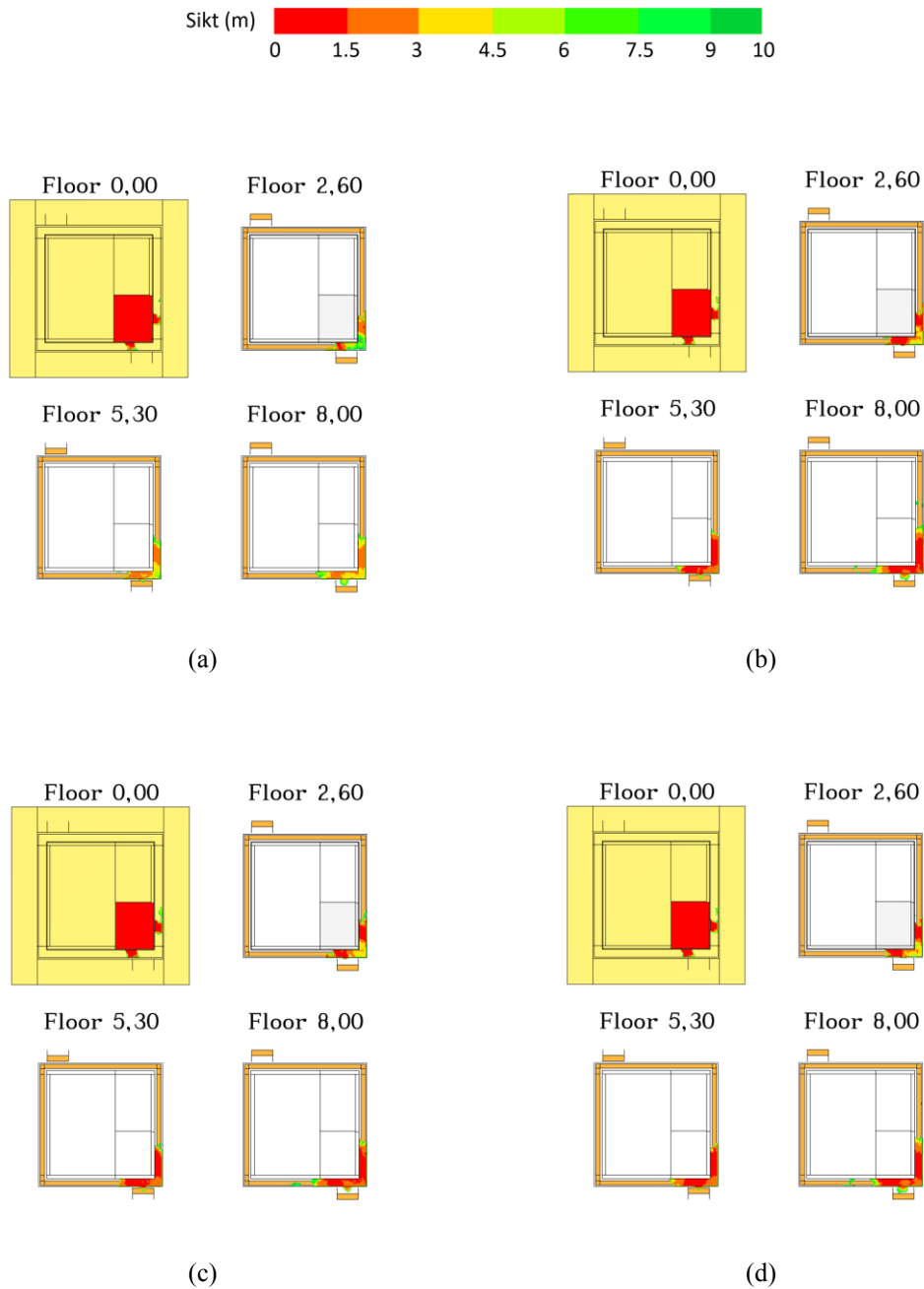


## C.10 Scenario 10 - Rehabilitering med tildekking og tak, venilasjonskontrollert brann – risikoreduserende tiltak



Figur C - 32: Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekunder for scenario 10.

## C.11 Scenario 12 - Rehabilitering med tildekking, venilasjonskontrollert brann – økt luftgjennomstrømning i stillas



Figur C - 33: Beregnet sikt ved en høyde på 2 m etter (a) 300 sekunder, (b) 600 sekunder, (c) 900 sekunder og (d) 1200 sekund for scenario 12.

**RISE – Research Institutes of Sweden**  
ri.se / info@ri.se / post@risefr.no / (+47) 464 18 000 / risefr.no  
Postboks 4767 Torgården, 7465 Trondheim

RISE Fire Research  
RISE Rapport: 2023:130  
ISBN: 978-91-89896-17-8

