



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# «HJELP, JEG BOR VED EN SVALGANG»

## SVALGANGSPROBLEMATIKK VED BRANN



HOVEDPROSJEKT UTFØRT VED  
HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND - AVD. HAUGESUND – INGENIØRFAG

---

SIKKERHET, BRANNTEKNIKK

AV

MORTEN BERGMÅL

KAND. NR. 10

STIAN EKRE WANG

KAND. NR. 7

---

HAUGESUND

MAI 2013

# HOVEDPROSJEKT

**STUDENTENES NAVN:** Morten Bergmål, Stian Ekre Wang

---

**LINJE & STUDIERETNING** Sikkerhet, Brann

**OPPGAVENS TITTEL:** «Hjelp, jeg bor ved en svalgang»  
Svalgangsproblematikk ved brann

**OPPGAVETEKST:**

Svalgang er en løsning som er, og gjennom tidene har vært, mye brukt i boligprosjekter. I denne oppgaven skal brannproblematikk som kan oppstå ved slik bruk, vurderes nærmere.

Utfordringer som kan oppstå i svalganger ved brann og ved prosjektering av brannsikkerhet i svalganger skal identifiseres og vurderes.

Det skal utformes et sett med løsninger som skal verifiseres opp mot de identifiserte utfordringene. Verifiseringen skal gjøres ved bruk av simuleringer, beregninger og/eller kvalitative vurderinger.

**ENDELIG OPPGAVE GITT:** 07.03.2013

**INNLEVERINGSFRIST:** Fredag 10.mai 2013 kl. 12.00

**INTERN VEILEDER** Jan Torgil Josefsen

**EKSTERN VEILEDER** Morten Svandal, ResQ

**GODKJENT AV  
STUDIEANSVARLIG:**

Brit Fulbo

**DATO:**

24/4 - 13



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund

Studie for ingeniørfag

Bjørnsonsgt. 45

5528 HAUGESUND

Tlf. nr. 52 70 26 00

Faks nr. 52 70 26 01

<b>OPPGAVENS TITTEL</b>		<b>RAPPORTNUMMER</b>
«Hjelp, jeg bor ved en svalgang» Svalgangsproblematikk ved brann		(Fylles ikke ut)
<b>UTFØRT AV</b>		
Morten Bergmål, Stian Ekre Wang		
<b>LINJE</b>	<b>STUDIERETNING</b>	
Sikkerhet	Brannteknikk	
<b>GRADERING</b>	<b>INNLEVERT DATO</b>	<b>VEILEDERE</b>
Åpen		Jan Torgil Josefsen, HSH Morten Svandal, ResQ

<b>EKSTRAKT</b>
<p>Ved prosjektering av svalgang må det tas hensyn til flere elementer, og flere utfordringer kan oppstå. Veiledningen til byggt teknisk forskrift (VTEK, 2010) gir føringer for hvordan noen av disse utfordringene kan løses.</p> <p>Gjennom simuleringer identifiseres det trender ved røykbevegelser i svalganger ved brann. Noen av de veiledende løsningene kommer av erfaringer gjort etter tidligere branner, mens andre hentet direkte ut fra lignende områder i veiledningen. Det fokuseres på røykspredning på utsiden av bygget. I lys av dette utformes det løsninger alternative til veiledningsløsningen, VTEK (2010).</p> <p>For å vurdere løsningene gjøres det sammenlignende analyser ved hjelp av simuleringer. Først sammenlignes løsningene kvalitativt, før noen utvalgte løsninger sammenlignes både kvalitativt og kvantitativt mot en preakseptert løsning.</p> <p>Det konkluderes med at svalganger med rekkverk som tillater stor luftgjennomstrømning – spiler, smijern, etc. – øker tilgjengelig rømningstid ved å begrense røykspredningen. Dersom det i tillegg benyttes en løsning med et skrånende tak, med røykskille under taket mellom hver boenhet/leilighet – eller andre løsninger for å begrense røykspredning – vil dette gi en stor økning i brann- og personsikkerhet.</p>

## Forord

Hovedprosjektoppgaven er en avslutning av branningeniørstudiene ved Høgskolen Stord/Haugesund. Oppgaven er skrevet vårsemesteret 2013, og er vektlagt med 15 studiepoeng.

Tiltenkte lesere av rapporten er personer med arbeid eller interesser innen brannprosjektering og krever noen forkunnskaper innen fagfeltet brann.

Vi vil takke veilederne våre; **Morten Svandal** ved ResQ AS, og **Jan Torgil Josefsen** ved HSH.

*- Takk for gode råd og tilbakemeldinger gjennom oppgavens gang.*

Oppgaven er skrevet i samarbeid med ResQ AS. Vi vil derfor takke alle på kontorene på ResQ AS i Haugesund for at vi fikk låne kontorplasser og ressurser – spesielt da dartbrettet – og for at vi fikk bli en del av gjengen. Det har vært hyggelig med gode historier, god kaffe og gode innspill til oppgaven vår.

*- Takk for gode kaker og kaffe.*

Takk til **Einar Sjøvik** ved OPUS Arkitekter AS, og **Håkon Winterseth** ved Skansen Consult for gode råd og tilbakemeldinger, både på løsningene og på oppgaven vår.

*- Takk for innsikt og råd!*

Vi vil til slutt beklage til **Olav Kolltveit** for alle dartpilene som dessverre kom ut av kurs, og traff baksiden av kontorveggen hans.

*- Beklager hvis vi forstyrret deg i arbeidet.*

Vi håper at rapporten er opplysende og åpner for nye ideer i forhold til svalganger!

Sted: *Haugesund*

Dato: *07.05.2013*

  
Morten Bergmål

  
Stian Ekre Wang



## Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>iv</b>
<b>Figuroversikt</b> .....	<b>vii</b>
<b>Tabelloversikt</b> .....	<b>viii</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>ix</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Svalgang – definisjon.....	2
1.2 Antakelser og begrensinger .....	3
1.3 Aktuell teori.....	4
<b>2 Metode</b> .....	<b>8</b>
2.1 Innhente informasjon om tidligere svalgangsbranner .....	8
2.2 Gjennomgang av aktuelt lovverk .....	8
2.3 Gjennomgang av brannteori .....	8
2.4 Møter og drøfting med branningeniører og arkitekter.....	8
2.5 AutoCAD .....	8
2.6 CFD Simulering – FDS, PyroSim .....	8
<b>3 Historie</b> .....	<b>9</b>
3.1 Svalgangens opprinnelse og eldre historie .....	9
3.2 Bruk i nyere tid .....	10
3.3 Utvalgte svalgangsbranner.....	12
3.4 Utviklingen av byggteknisk forskrift (TEK) mht. svalganger .....	18
3.5 Utviklingen av veiledningen mht. svalganger .....	18
<b>4 Elementer og utfordringer ved brannprosjektering av svalganger</b> .....	<b>21</b>
4.1 Utforming av svalgang.....	21
4.2 Brannklassifiserte materialer og overflater .....	23
4.3 Trapper .....	24
<b>5 Data for simulering</b> .....	<b>25</b>
5.1 Den generelle leiligheten .....	25
5.2 Byggets geometri .....	28
5.3 Inndata i PyroSim .....	29
<b>6 Identifisering av problemer vha. simulering</b> .....	<b>31</b>
<b>7 Preakseptert løsning</b> .....	<b>34</b>
7.1 Kvalitative resultater fra simulering.....	35



<b>8</b>	<b>Forslag til løsninger på røykspredningsproblemer .....</b>	<b>37</b>
8.1	«Bjønnbåsen-løsning».....	37
8.2	Skråtak.....	41
8.3	Røykskiller .....	44
8.4	Skråtak med røykskiller .....	48
<b>9</b>	<b>Resultater fra kvantitativ sammenligning av løsningene .....</b>	<b>51</b>
9.1	Løsninger med rekkverk .....	52
9.2	Løsninger uten rekkverk.....	55
<b>10</b>	<b>Diskusjon .....</b>	<b>58</b>
<b>11</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>61</b>
<b>12</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>i</b>
<b>13</b>	<b>Vedleggliste.....</b>	<b>iii</b>
<b>14</b>	<b>Vedlegg 1: Verktøydokumentasjon .....</b>	<b>iv</b>
<b>15</b>	<b>Vedlegg 2: Tabell 3.5 i <i>Enclosure Fire Dynamics</i>.....</b>	<b>vi</b>
<b>16</b>	<b>Vedlegg 3: Tabell 3.6 i <i>Enclosure Fire Dynamics</i>.....</b>	<b>vii</b>
<b>17</b>	<b>Vedlegg 4: Utdrag fra e-post til Vidar Stenstad ved DiBK. ....</b>	<b>viii</b>
<b>18</b>	<b>Vedlegg 5: Simuleringsparametre i PyroSim .....</b>	<b>viii</b>
<b>19</b>	<b>Vedlegg 6: Tegninger til den preaksepterte løsningen.....</b>	<b>ix</b>
<b>20</b>	<b>Vedlegg 7: Tegninger til Bjønnbåsen-løsningen.....</b>	<b>x</b>
<b>21</b>	<b>Vedlegg 8: Tegninger til skråtak-løsningen.....</b>	<b>xii</b>
<b>22</b>	<b>Vedlegg 9: Tegninger til røykskille-løsningen .....</b>	<b>xiii</b>
<b>23</b>	<b>Vedlegg 10: Tegninger til kombinert røykskille/skråtak-løsning.....</b>	<b>xiv</b>

## Figuroversikt

Figur 1.1: Illustrasjoner av svalgang (Byggforsk 526.301).....	2
Figur 1.2: De tre sonene i den oppdriftsstyrte aksesymmetriske røyksøyle modellen (Karlsson & Quintiere).....	4
Figur 1.3: Noen karakteristika til en oppdriftsstyrt aksesymmetrisk røyksøyle.(Figur 4.6 i EFD, Karlsson & Quintiere) .....	4
Figur 1.4: En idealisering av røykbevegelse under tak ( <i>ceiling jet</i> ). (Karlsson & Quintiere (2000), Figur 4.17).....	6
Figur 1.5: Tålegrenser for personer under rømning (NS 3901:1998).....	6
Figur 1.6: En enkel design-brannkurve. (Karlsson & Quintiere (2000), Figur 3.15) .....	7
Figur 3.1: Gamle Hvam Museum, Svalgangsbygning fra 1728.....	9
Figur 3.2: Vindlausloftet, fra omtrent 1167, og er den eldste ikke-kirkelige trebygningen i Norge.10	
Figur 3.3: Kombinering av svalgang og balkong.....	11
Figur 3.4: Plassering av møbler (og andre brennbare objekter) i svalgang. ....	11
Figur 3.5: Bilde fra Nannestad-brannen.....	13
Figur 3.6: Bilde fra Kabelvåg-brannen.....	14
Figur 3.7: Bilde fra Nannestad-brannen viser brannspredning under svalgangstaket i andre etasje. .....	16
Figur 4.1: Åpning fra svalgang ut mot fri luft, h – i forhold til total veggflate, H. (Bjarne Kristoffersen, 2003) .....	23
Figur 5.1: Standard leilighet med dimensjoner, sett forfra.....	26
Figur 5.2: Standard leilighet med dimensjoner, sett fra siden.....	27
Figur 5.3: Tett rekkverk tillater ikke luftgjennomstrømning (t.v.). Utett rekkverk tillater mye luftgjennomstrømning (t.h.).....	28
Figur 5.4: Modell av sammensatte leiligheter i PyroSim.....	28
Figur 6.1: Presentasjon av røykspredning ved gitte tider i grovsimulering – med og uten rekkverk .....	31
Figur 6.2: Røykutvikling i grovsimulering, sett forfra .....	32
Figur 6.3: Røyktetthet i svalgangen, 0,8 meter fra fasaden ved grovsimulering .....	33
Figur 7.1: Preakseptert løsning fra PyroSim.....	34
Figur 7.2: Røykspredning ved preakseptert løsning etter 180 sekunder, sett forfra.....	35
Figur 7.3: Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen ved preakseptert løsning etter 180 sekunder .....	36
Figur 8.1: Bjønnbåsen-løsning fra PyroSim .....	37
Figur 8.2: Røykspredning ved Bjønnbåsen-løsning, etter 180 sekunder, sett forfra .....	39
Figur 8.3: Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen ved Bjønnbåsen-løsning etter 180 sekunder .....	40
Figur 8.4: Skråtak fra PyroSim .....	41
Figur 8.5: Røykspredning ved skråtaksløsning etter 180 sekunder, sett forfra. ....	42
Figur 8.6: Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen ved skråtaksløsning etter 180 sekunder .....	43
Figur 8.7: Røykskiller fra PyroSim.....	44
Figur 8.8: Røykspredning med bruk av røykskiller, ved 180 sekunder, sett forfra .....	46

Figur 8.9: Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen med bruk av røykskiller, ved 180 sekunder .....	47
Figur 8.10: Skråtak med røykskiller fra PyroSim .....	48
Figur 8.11: Røykspredning ved kombinasjon av skråtak og røykskiller, etter 180 sekunder, sett forfra .....	49
Figur 8.12: Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen ved kombinasjon av skråtak og røykskiller, etter 180 sekunder .....	50
Figur 9.1: Oversikt over klassifiseringer brukt i matrise for kritiske forhold.....	51
Figur 9.2: Temperaturoversikt i svalgangen etter 600 sekunder i løsninger med rekkverk. ....	54
Figur 9.3: Temperaturoversikt i svalgangen etter 600 sekunder i løsninger uten rekkverk. ....	57

## Tabelloversikt

Tabell 3.1: Oversikt over byggene i tidligere branner.....	12
Tabell 3.2: Oversikt over veiledninger til TEK med årstall.....	18
Tabell 4.1: Oversikt over brannklasser i risikoklasse 4 (VTEK, 2010) .....	23
Tabell 4.2: Brannmotstand til branncellebegrensende bygningsdeler, overflater og kledning i svalgang. ....	24
Tabell 5.1: Oversikt over MESH (cellestørrelser) brukt i simuleringene .....	29
Tabell 5.2: Inndata til brannene brukt i simuleringene.....	30
Tabell 5.3: Oversikt over tverrsnitt (slice) utdata .....	30
Tabell 5.4: Oversikt over isometrisk overflate (isosurface) utdata .....	30
Tabell 9.1: Matrise for kritiske forhold for den preaksepterte løsningen med rekkverk. ....	52
Tabell 9.2: Matrise for kritiske forhold for løsningen med skråtak og røykskiller med rekkverk. ...	52
Tabell 9.3: Matrise for kritiske forhold for den preaksepterte løsningen uten rekkverk. ....	55
Tabell 9.4: Matrise for kritiske forhold for løsningen med skråtak og røykskiller uten rekkverk....	55



## Sammendrag

I de 20 siste årene har det vært branner hvor svalganger har bidratt til brannforløp eller forandret utfall av brannene. Granskninger av brannene har påpekt et negativt bidrag til flere av brannene. Hovedsakelig i granskningsrapportene har det da vært fokus på svalgangens detaljutføring, og oppsamling av røyk og branngasser under tak.

Ved prosjektering av svalgang må det tas hensyn til flere elementer. Dette gjelder brannklassifisering og utforming av gulv, vegger og tak samt lengde og bredde på svalgang. Det kan oppstå flere utfordringer knyttet til hver enkelt av disse punktene og til som å forhindre brannspredning og sikre rømning.

Veiledningen til byggt teknisk forskrift (VTEK, 2010) gir føringer for hvordan noen av disse utfordringene kan løses. Noen av de veiledende løsningene kommer av erfaringer gjort etter tidligere branner, mens andre er hentet direkte ut fra lignende områder i veiledningen. Eksempelvis er regler for rømning i korridor mer eller mindre overført til rømning i svalgang.

Gjennom simuleringer identifiseres det trender ved røykbevegelser i svalganger ved brann. Det fokuseres på røykspredning på utsiden av bygget – både horisontalt og vertikalt i svalgangene. I lys av dette utformes det løsninger alternative til veiledningsløsningen, VTEK (2010).

For å vurdere løsningene gjøres det sammenlignende analyser ved hjelp av simuleringer. Først sammenlignes løsningene kvalitativt, før noen utvalgte løsninger sammenlignes både kvalitativt og kvantitativt mot en preakseptert løsning.

Det konkluderes med at svalganger med rekkverk som tillater stor luftgjennomstrømning – som spiler, smijern, etc. – øker tilgjengelig rømningstid ved å begrense røykspredningen. Dersom det i tillegg benyttes en løsning med et skrånende tak, med røykskiller under taket mellom hver boenhet/leilighet – eller andre løsninger for å begrense røykspredning – vil dette gi en stor økning i brann- og personsikkerhet.

## 1 Innledning

I Norge har det lenge vært tradisjon å bygge med svalganger. Byggeskikken strekker seg helt tilbake til middelalderen hvor hovedgrunnen for å bygge svalganger var for å skjerme mot vær og vind når man forflyttet seg utendørs mellom rom. Dagens motiver for å bygge med svalganger har endret seg fra dette til å dreie seg mer om kostnadsbesparinger. Motivet for å bygge med svalganger er fremdeles for å verne mot vær og vind, men er mer for å bedre utnyttelse av arealene til en lavere kostnad.

I de 20 siste årene har det vært branner hvor svalganger har bidratt til brannforløp eller forandret utfall av brannene. Granskninger av brannene har påpekt et negativt bidrag til flere av disse brannene. Hovedsakelig i granskningsrapportene har det da vært fokus på svalgangens detaljutføring, og oppsamling av røyk og branngasser under tak.

En direkte følge av noen av brannene og rapportene har vært en utvikling i regelverket for svalganger, rømning og horisontal brannspredning. Nye ytelseskrav har blitt tilført i veiledningene for svalganger, først nevnt i 1. utgave av REN - Veiledning til byggt teknisk forskrift av 1997.

Ved prosjektering av svalgang må det tas hensyn til flere elementer. Dette gjelder brannklassifisering og utforming av gulv, vegger og tak samt lengde og bredde på svalgang. Det kan oppstå flere utfordringer knyttet til hver enkelt av disse punktene og til forhold som å forhindre brannspredning og sikre rømning.

Veiledningen til byggt teknisk forskrift (VTEK, 2010) gir føringer for hvordan noen av disse utfordringene kan løses. Noen av de veiledende løsningene kommer av erfaringer gjort etter tidligere branner, mens andre er hentet direkte ut fra lignende områder i veiledningen. Eksempelvis er regler for rømning i korridor mer eller mindre overført til rømning i svalgang.

Gjennom simuleringer identifiseres det trender ved røykbevegelser i svalganger ved brann. Det fokuseres på røykspredning på utsiden av bygget – både horisontalt og vertikalt i svalgangene. I lys av dette skal det utformes løsninger alternative til den preaksepterte løsningen gitt i VTEK (2010).

For å vurdere de utarbeidede løsningene gjøres det sammenlignende analyser ved hjelp av simuleringer. Først sammenlignes løsningene kvalitativt, før noen utvalgte løsninger sammenlignes både kvalitativt og kvantitativt mot en preakseptert løsning.

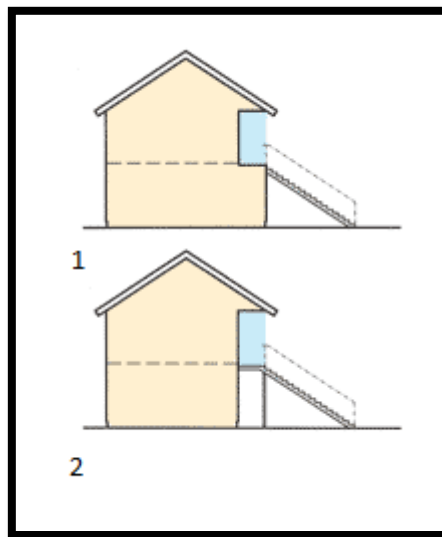
Til slutt konkluderes det med hvilke løsninger som vil være best ved de gitte avgrensinger oppgaven gir, og det foreslås muligheter for videre arbeid innen temaet svalganger og brann.

## 1.1 Svalgang – definisjon

Definisjon av svalgang fra *SINTEF Byggforskblad 526.301*:

Svalgang er en overbygd eller inntrukket atkomstvei. Svalgangen er minst én etasje opp fra terrengnivå. Dette betyr vanligvis at den er en rømningsvei eller en del av en rømningsvei. Atkomsten til svalgangene skjer via åpne trapper eller trapperom. Figur 1.1 viser løsninger for bygninger i to etasjer, men er aktuell også for boliger i flere etasjer, men da med atkomst via utvendig trapperom.

Andre begreper brukt for svalgang er atkomstbalkong og inngangsbalkong.



Figur 1.1: Illustrasjoner av svalgang (Byggforsk 526.301)

1. Snitt av hus med langsgående, inntrukket svalgang (overbygd) og utvendig atkomsttrapp
2. Snitt av hus med langsgående, overbygd svalgang og utvendig atkomsttrapp

## 1.2 Antakelser og begrensinger

**Simuleringene er gjort med hensyn til røykspredning i og utenfor svalgangene.** Dette vil si at påvirkningen av flammer ikke vil være til stede, foruten i brannoverflaten. Dette fører blant annet til at det ikke vil bli flammer ut i svalgangen.

**Oppgaven ser bare på hvordan endringer i byggets geometri vil påvirke røykspredningen.** Det tas ikke hensyn til materialenes egenskaper, foruten standard egenskaper gitt i simuleringprogrammet. Generelt er overflatene ubrennbare, og vil oppta varme fra varme gasser i omgivelsene.

**Oppgaven ser bare på boligbygg i form av blokkleiligheter.** Dette er på grunn av hovedvekten av svalganger finnes i slike bygg, og det er i slike bygg rømningssikkerhet vil være mest kritisk. Dette vil da si at lagerbygg, offshoreinstallasjoner, kontorbygg osv. ikke vil vurderes, selv om noen av funnene trolig kan brukes i situasjoner som omhandler noen av de ekskluderte typene bygg.

**Oppgaven ser bort fra vindpåvirkning i simuleringene.** Dette er i hovedsak for å begrense antallet variabler og behovet for svært mange simuleringer. I simuleringene kunne det vært aktuelt med vindpåvirkning fra tilnærmet alle kanter.

Dette fører til at alle simuleringene må ses i sammenheng med at dersom det hadde vært vindpåvirkning ville mest sannsynlig resultatene vært annerledes.

**Oppgaven ser bort fra gasskonsentrasjoner og varmestråling, og tar bare for seg gasstemperaturer og sikt (røyktetthet) ved simulering i forhold til rømning og NS 3901:1998.**

**Oppgaven bygger i stor grad på simuleringer.** Det ble ikke gjort noen virkelige forsøk av røykspredningen i svalganger, da dette ble forventet å ta mye tid i forhold til hvor mye brukbart datamateriale dette ville gitt.

**I oppgaven antas det at sprinkleranlegg ikke er installert eller svikter.** Ved brann vil sprinkleranlegg normalt sett begrense eller slukke en brann. Da oppgaven fokuserer på svalganger, vil det være nødvendig å ha en situasjon hvor et sprinkleranlegg ikke spiller inn i brannforløpet. Det antas også at det ikke er installert sprinkleranlegg i svalgangen.

**Oppgaven tar bare for seg en rett/flat fasade.** Simuleringene ser ikke på ulike utforminger av byggets fasade (hesteskoformet, bøyd, rund, osv.).

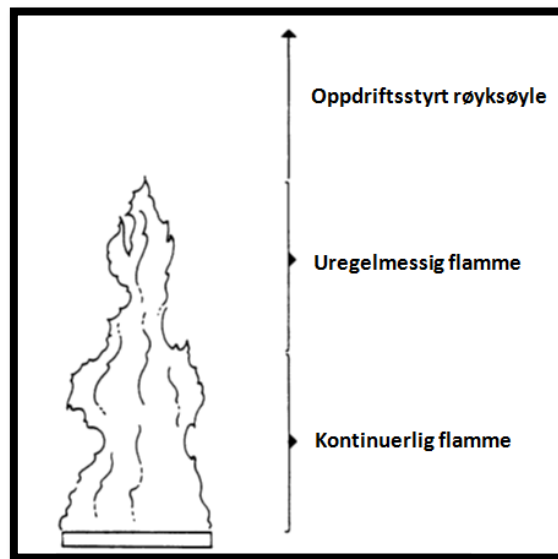
**Det antas at det er tilfredsstillende trapperom i hver ende av svalgangene i simuleringene.**

### 1.3 Aktuell teori

Kapittelet tar for seg aktuell brannteori i forbindelse med brann- og røykspredning. Litt generell teori om hvilke modeller som har blitt lagt til grunn vil også presenteres.

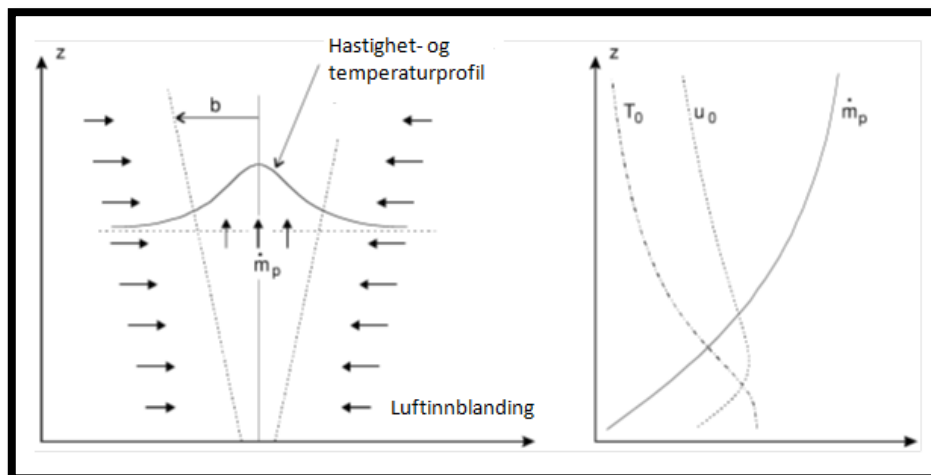
#### 1.3.1 Den oppdriftsstyrte aksesymmetriske røyksøyle modellen

Den oppdriftsstyrte aksesymmetriske røyksøyle modellen (*buoyant axisymmetric plume*) er den mest brukte røyksøylemodellen innen prosjektering av brannsikkerhet (Karlsson & Quintiere). Modellen er delt inn i tre soner; kontinuerlig flamme, uregelmessig flamme og den oppdriftsstyrte røyksøyle. Dette vises i Figur 1.2.



Figur 1.2: De tre sonene i den oppdriftsstyrte aksesymmetriske røyksøyle modellen (Karlsson & Quintiere)

I den kontinuerlige flammesonen øker oppdriftshastigheten med høyden. I den uregelmessige flammesonen er hastigheten forholdsvis konstant og i den oppdriftsstyrte røyksøyle avtar hastigheten med høyden. Figur 1.3 viser hvordan temperatur, hastighet og røykmengde varierer med høyden i røyksøyle.



Figur 1.3: Noen karakteristika til en oppdriftsstyrte aksesymmetrisk røyksøyle. (Figur 4.6 i EFD, Karlsson & Quintiere)

Av Figur 1.3 kan det trekkes ut noen generelle karakteristika om en oppdriftsstyrt aksesymmetrisk røyksøyle. Den høyeste hastigheten i søylen er ved senterlinjen av røyksøylen. Hastighetsprofilen er på sitt maksimale i midten av søylen og avtar ut mot kantene. Hastigheten ( $u_0$ ) på søylen avtar med økende høyde. Dette skyldes nedkjøling av røyken på grunn av innblanding av kald luft fra omgivelsene.

Temperaturen i røyksøylen ( $T_0$ ) avtar med høyden, når kald luft blir blandet inn i røyken og kjøler den ned. Det observeres også at det er en viss likhet og derfor en viss sammenheng med temperatur og hastighet. Den største forskjellen på de to er at temperaturen avtar øyeblikkelig etter å ha forlatt flammeområdet.

Massestrømmen i røyksøylen betegnes  $\dot{m}_p$  og ofte gitt i kilogram per sekund (kg/s). Strømningen øker jevnt med høyden ettersom luft blandes inn. For øvrig stammer bare en liten del av røyksøylen opprinnelig fra forbrenningsproduktet. Eksempelvis vil en brennende søppelkasse med samlet effekt på rundt 100 kW, gi en massestrøm på 1 kg/s, ved en høyde på 2 meter over brannen. Til sammenligning vil den samme brannen gi en massestrøm på ca. 3 kg/s, i 4 meters høyde.

Røyksøylens radius ( $b$ ) har en spredningsgrad med en vinkel på omtrent  $15^\circ$  i forhold til vertikalaksen.

### 1.3.2 Røykspredning

Ved en flamme/brann vil varm røyk stige opp grunnet forskjeller i tetthet ( $\text{kg/m}^3$ ) mellom de varme røykgassene og den omliggende luften. Dette kan for øvrig virke motsatt dersom luften utenfor et bygg er varmere enn luften inne i et bygg. Røyken vil da bevege seg nedover i bygget.

Modeller for røykspredning er noe ulike, men de fleste tar utgangspunkt i at røyk stiger i en V-form. I boken fra Karlsson og Quintiere (2000) finner man likheter i alle røyksøylemodellene; oppdriftsstyrt aksesymmetrisk røyksøyle, den ideelle røyksøylen og Heskestads formel. Forskjellene er utgangspunktene for hvordan beregningene utføres.

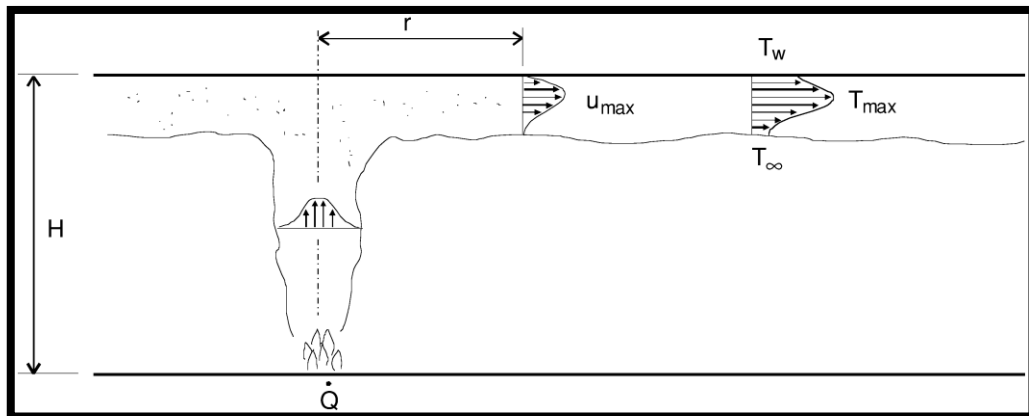
Når røyken treffer taket vil den bre seg utover i alle retninger til den møter en vegg eller andre hindringer og etter hvert danne et røyklag. Slik vil røyken fylle opp rommet inntil den når en åpning hvor den kan slippe ut og spre seg.

Røyken er årsaken til flest dødsfall ved brann. Dette ved blokkering av rømningsveier og inhalering av giftgasser (Opstad & Stensaas, 1998).

### 1.3.3 Røykspredning under tak (*Ceiling Jet*)

Når røykøylen støter opp mot et tak, spres de varme gassene radielt utover. Dette kalles en *ceiling jet*. Faktorer av interesse er temperaturen, farten eller tettheten på røyken under taket. Dette brukes blant annet til å bestemme responstiden på varslingsutstyr i taket. Videre er det interessant å kunne bergene flammens forlengelse langs taket når brannen blir såpass intens. Dette kan være nyttig for estimering av stråling og varmeoverføring til objekter bortenfor selve brannen.

Figur 1.4 viser røykens flytmønster langs taket.



Figur 1.4: En idealisering av røykbevegelse under tak (*ceiling jet*). (Karlsson & Quintiere (2000), Figur 4.17)

### 1.3.4 Tålegrenser ved rømning

I NS 3901:1998 (Norges Standardiseringsforbund, 1998), tabell 1 angis det tålegrenser for personer under rømning. Tabellen presenteres i Figur 1.5. Disse verdiene vil bli brukt i de kvantitative simuleringene.

**Tabell 1 – Tålegrenser for personer under rømning<sup>1)</sup>**

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

MERKNAD Unntatt ved ulmebrann kan kravet til innhold av gasser antas å være oppfylt når siktkravet er oppfylt. Verdiene i tabellen gjelder for normalt friske personer uten spesielt verneutstyr mot varme eller røykgasser. For innsatspersonell med slikt utstyr velges verdiene avhengig av utstyret.

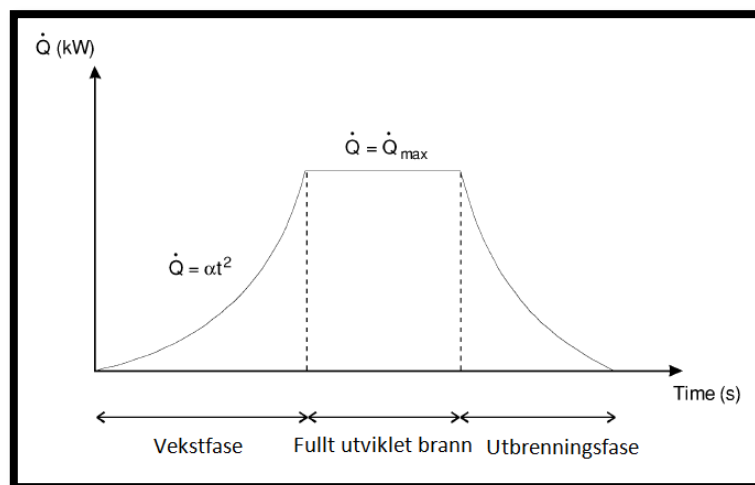
Figur 1.5: Tålegrenser for personer under rømning (NS 3901:1998)

### 1.3.5 $\alpha t^2$ – brann

Teorien er hentet ut ifra Enclosure Fire Dynamics, EFD (Karlsson og Quintiere, 2000).

En  $\alpha t^2$ -brann («alfa-t-i-annen-brann») modellerer vekstfasen i en design brann.  $\alpha$  er vekstfaktorraten til materialet som brenner, målt i  $\text{kW/s}^2$ .  $t$  er tiden gitt i sekunder. Brannforløpet baserer seg på antakelser av mengden brennbart materiale og hvor effektivt materialet vil brenne.

Eksempler på hvor mye energi et materiale avgir er presentert i tabeller (Vedlegg 3: Tabell 3.6 i *Enclosure Fire Dynamics*). Tabellen presenterer også vekstraten for materialet. Denne deles opp i fire kategorier; sakte, medium, raskt og ultra raskt. Vekstraten brukes for å velge vekstratefaktoren,  $\alpha$  i tabell 3.5 i EFD (Vedlegg 2: Tabell 3.5 i *Enclosure Fire Dynamics*). Denne faktoren bestemmer tiden brannen vil bruke på å oppnå maks effekt,  $Q_{max}$ .



Figur 1.6: En enkel design-brannkurve. (Karlsson & Quintiere (2000), Figur 3.15)



## 2 Metode

Oppgaven tar for seg å identifisere utfordringer og vurdere ulike løsninger av disse. Dette vil bli gjort ved å gjennomføre samtaler med fagpersoner, kvalitative analyser og CFD simuleringer.

### 2.1 Innhente informasjon om tidligere svalgangsbranner

Ved å benytte seg av HSHs databaser, bøker, forskjellige tidsskrifter og magasiner kan det hentes ut informasjon om tidligere svalgangsbranner. På denne måten kan det identifiseres aktuelle problemområder for oppgaven.

### 2.2 Gjennomgang av aktuelt lovverk

Tidligere og gjeldende lovverk for svalganger mht. brann skal gjennomgås. På denne måten kan utviklingen i regelverket bli vurdert opp mot tidligere erfaringer og gjeldende regelverk. Det vil også identifiseres krav de foreslåtte løsningene må oppfylle.

### 2.3 Gjennomgang av brannteori

For lettere å presentere og vurdere de foreslåtte løsningene, vil det være nyttig å ha gjennomgått aktuell brannteori. I tillegg vil det være nødvendig å ha en forståelse for den aktuelle brannteorien for å kunne foreslå gode løsninger.

### 2.4 Møter og drøfting med branningeniører og arkitekter

Da det meste av arbeidet med oppgaven vil foregå i ResQ AS' lokaler i Haugesund, vil det være brannrådgivere tilgjengelig. Det vil være nyttig å få identifisert hvilke utfordringer som gjentar seg i sammenheng med prosjektering av svalgang og hvilke løsninger «bransjen» bruker, foruten de preaksepterte. Det vil også være aktuelt å drøfte løsningene som utarbeides med både branningeniører og arkitekt. Dette vil være nyttig for å få forslag til nye løsninger.

### 2.5 AutoCAD

For å kunne skissere forslag til løsninger og generelle bygg vil AutoCAD brukes.

### 2.6 CFD Simulering – FDS, PyroSim

For å vurdere de utarbeidede løsningene vil det gjøres sammenlignende analyser. Først sammenlignes løsningene kvalitativt ved hjelp av simuleringer, før noen utvalgte løsninger sammenlignes både kvalitativt og kvantitativt mot en preakseptert løsning. Alle simuleringene vil bli gjort ved CFD simulering, hhv. ved FDS med PyroSim brukergrensesnittet.

Mer informasjon om inndata i simuleringene kommer i kapittel 5.3, Inndata i PyroSim.

### 3 Historie

Bruk av svalganger er en tradisjon som strekker seg tilbake til middelalderen.<sup>1</sup> Svalganger er den dag i dag mye brukt i nybygg. I hovedsak brukes svalganger for effektivt å utnytte arealet og samtidig spare penger.

#### 3.1 Svalgangens opprinnelse og eldre historie

I samtale med riksantikvar, Einar Karlsen, kom det frem at svalganger har vært brukt over store deler av verden, og spesielt i Europa helt siden 1100-tallet, i middelalderen. Også kanskje tidligere enn dette. Det var flere grunner for å bygge med svalganger. Blant annet var den et svar på trappeproblemet som oppstod ved å utvide fra én til to etasjer. Ved videre utvikling ble både svalgang og trapp ofte bygget inn og integrert i huset.<sup>2</sup> Svalgangen var hovedsakelig en beskyttelse mot vær og vind når man beveget seg mellom rom utendørs (eks. Figur 3.1), men også en beskyttelse for husets fasade. På så måte er svalgangens bruk ikke mye forandret gjennom tidene. Bruk av svalganger har «alltid» vært utbredt i byer<sup>3</sup>, men også på stavkirker, eldhus, loft<sup>4</sup> og stabbur (Universitet i Stavanger). Blant annet var Vindhausloftet i Telemark (Figur 3.2) opprinnelig bygd med en svalgang rundt andre etasje (Store Norske Leksikon [a]).



Figur 3.1: Gamle Hvam Museum, Svalgangsbygning fra 1728  
(<http://www.visitnorway.com/no/Product/?pid=28342>)

<sup>1</sup> Etter telefonsamtale med Einar Karlsen, Riksantikvar

<sup>2</sup> Elisabeth Johanne Seip, Professor ved Arkitektur- og designhøgskolen i Oslo

<sup>3</sup> Etter telefonsamtale med Einar Karlsen, Riksantikvar

<sup>4</sup> Loft: Bygningstype med to etasjer som fantes i Norge allerede i tidlig middelalder.  
(Store Norske Leksikon [b])



Figur 3.2: Vindlausloftet, fra omtrent 1167, og er den eldste ikke-kirkelige trebygningen i Norge.  
(<http://www.ta.no/pulsen/article3979218.ece>)

### 3.2 Bruk i nyere tid

Svalganger blir hovedsakelig brukt i nyere tid for å øke kost/nytte raten. Ved å flytte korridorene til utsiden av bygget, i form av svalganger, kan arealet på tomten utnyttes bedre. Blant annet står det i TEK10, § 6-3, at

***Avstanden [mellom naboer] måles som korteste avstand horisontalt mellom byggverkets fasadeliv og nabobyggverkets fasadeliv eller nabogrense. For byggverk med utstikkende bygningsdeler økes avstanden tilsvarende det bygningsdelen stikker mer enn 1,0 m ut fra fasadelivet.***

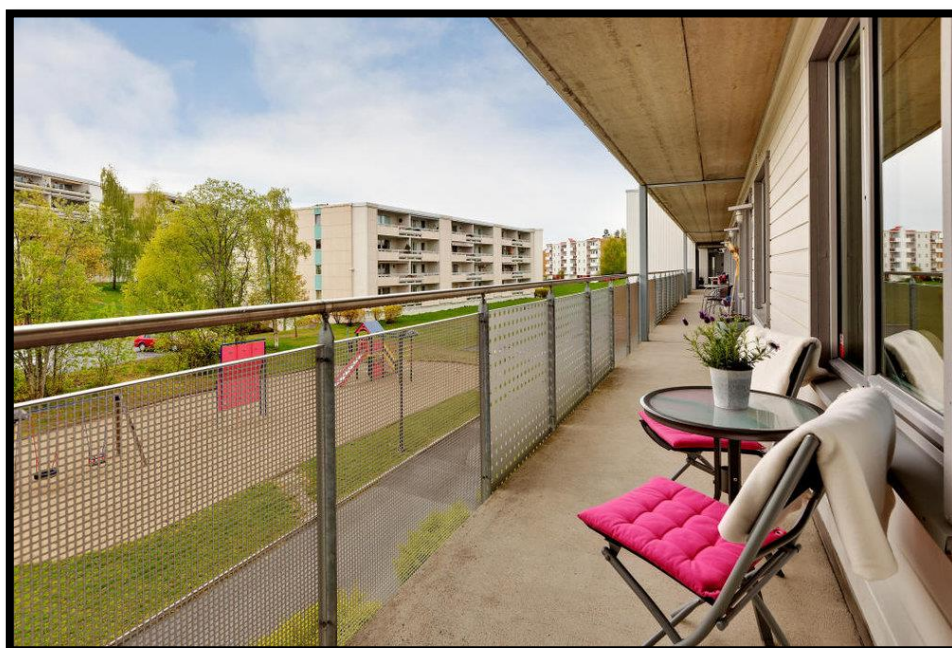
(TEK10)

Svalgangene blir også til tider brukt som «halvprivate» balkonger, hvor da deler av svalgangen bygges ut. Et eksempel på dette vises på Figur 3.3. Et resultat av at svalgangene skal være brede nok for rullestolbrukere er at de tilgjengelige flatene misbrukes til å settes ofte møbler og annet brennbart materiale ut i svalgangene. Et eksempel på dette vises i Figur 3.4. Einar Søvik, sivilarkitekt ved OPUS Arkitekter AS, legger til at det kan være ønskelig å skape slike «halvprivate» balkonger for å få utnyttet kveld- og morgensol. I tillegg vil dette gjøre det mulig for naboer, spesielt da enslige, å møte hverandre for å slå av en prat, legger Søvik til. «Gitt de nye kravene til sprinkling i svalgang (kapittel 3.5.4), vil det nå være få insentiver for arkitekter å tegne bygg med svalganger, men heller bruke lukkede korridorer.»<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Samtale med Einar Søvik, Sivilarkitekt ved OPUS Arkitekter AS, 29.04.2013.



Figur 3.3: Kombinering av svalgang og balkong.  
([http://www.rinderekon.no/Global/Pictures/RindeRekon/Content/Rinderekon\\_Spangereid%20\\_480px.JPG](http://www.rinderekon.no/Global/Pictures/RindeRekon/Content/Rinderekon_Spangereid%20_480px.JPG))



Figur 3.4: Plassering av møbler (og andre brennbare objekter) i svalgang.  
([http://krogsveen.no/var/krogsveen/storage/images/itmobjects/1142292742/pict/1140883970\\_big.jpg](http://krogsveen.no/var/krogsveen/storage/images/itmobjects/1142292742/pict/1140883970_big.jpg))

### 3.3 Utvalgte svalgangsbranner

Ulike svalgangsløsninger har påvirket flere branner – både positivt og negativt; både ved å bidra til sikker rømning, så vel som å bidra til ytterligere – og kanskje raskere – brannspredning.

I følgende underkapitler omtales branner hvor svalganger har hatt en negativ innvirkning på brannforløpet. I hovedsak nevnes det bare informasjon relevant for svalganger, og det vil derfor være elementer som ikke nevnes i teksten, men allikevel kan ha bidratt til brannene. I Tabell 3.1 vises en oversikt over byggene i de aktuelle brannene.

Tabell 3.1: Oversikt over byggene i tidligere branner.

Brann	Leiligheter pr. etasje	Antall etasjer	Totalt antall leiligheter
Nannestad	7	2	14 (16)*
Bergen	5	2	10
Kabelvåg	4	2	8
Lillehammer	5 (11)**	2	10 (22)**

\* To av leilighetene var delt opp i to mindre leiligheter. I fasaden var der derfor bare 14 inngangsdører.

\*\* Det var et trapperom på midten av bygget som delte det i to. Det regnes bare med den delen det brant i.

#### 3.3.1 Leilighetskompleks på Nannestad (2008)

Etter Nannestad-brannen ble det utformet en granskningsrapport (DiBK, 2009). Under er et sammendrag av relevant informasjon, hentet ut fra rapporten.

28.09.08, før kl. 06.00 om morgenen, oppstod det brann i et leilighetskompleks på Nannestad. Brannen ble trolig påsatt utvendig på vestsiden av bygget, på en terrasse i første etasje. I andre etasje var det balkonger. På østsiden var det en svalgangsløsning i andre etasje. I første etasje var det terrasseløsninger med skjermvegger av tre mellom de forskjellige leilighetene. Skjermveggen strakk seg ikke helt opp til svalgangen over, men var avsluttet slik at det ble en åpning i underkant av en meter under svalgangen.

Det var sterk vind, opptil liten kuling, under brannen.

Som en følge av rømningen var flere dører blitt stående åpne. Dette førte til at vinden raskt kunne skyve med seg brannen fra balkongsiden til svalganssiden. På denne måten spredte brannen seg gjennom leilighetene i begge etasjer omtrent samtidig. I selve svalgangssiden spredte brannen seg over tilnærmet hele fasaden og videre inn i leilighetene.

Statens Bygningstekniske Etat (nå: DiBK) foretok granskninger etter brannen og offentliggjorde granskningsrapporten.

***(...) utvendig utforming av balkonger og svalgang, tilgang på brennbare materialer utenfor leilighetene (møbler mv.), bruk av trematerialer/-overflater og sterk vind, har til sammen bidratt til at spredningen gikk raskt og at skadene ble så omfattende.***

***Denne, og andre lignende branntilfeller, gir grunnlag for å vurdere om de ytelsene for svalganger som er gitt i veiledningen til TEK er tilstrekkelige. Dette gjelder blant annet overflater/materialer og rekkverk. Flere inntrufne***

*branner har vist at eksempelvis golvbelegg klasse G (...) bidrar til brannutvikling og brannspredning når brannen blir av en viss størrelse. Utforming som tillater flammer/røyk- og branngasser å unnsnippe ut fra byggverket fra underkant av svalganger og balkongdekker er viktig.*

*Det er likevel ikke riktig å overfokusere på svalgangsløsningen. (...) Svalgangsløsningen vil normalt være en minst like god rømningsveg som en innvendig korridor.*

(DiBK, 2009, s. 4)



Figur 3.5: Bilde fra Nannestad-brannen  
([http://www.vg.no/uploaded/image/bilderigg/2008/09/28/1222581281938\\_192.jpg](http://www.vg.no/uploaded/image/bilderigg/2008/09/28/1222581281938_192.jpg))

### 3.3.2 Leilighetskompleks i Kabelvåg (2008)

Utdrag fra artikkel om brannen i Kabelvåg, hentet fra tidsskriftet Brannmannen.

*(...) bygget var bygget med en utvendig svalgang og kun en oppgang til denne svalgangen. (...) hele inngangspartiet til alle fire leilighetene i andre etasje var fullstendig overtent i løpet av minutter (...).*

*[...] det er gitt dispensasjon fra forskriften om at det skal være to trappeløp opp til den utvendige svalgangen. Her var det gitt dispensasjon til én vei opp/ned, uten at det var stilt krav til kledning av den ene trappen ned fra svalgangen.*

*[...] Bygget inneholdt åtte leiligheter fordelt på 2 etasjer.*

(Brannmannen, Nr. 2, 2008)



Figur 3.6: Bilde fra Kabelvåg-brannen.

([http://gfx.dagbladet.no/pub/artikkel/5/53/530/530404/brann\\_960\\_1206305161.jpg](http://gfx.dagbladet.no/pub/artikkel/5/53/530/530404/brann_960_1206305161.jpg))

### 3.3.3 Solplassen bo- og servicesenter i Bergen (2000)

Utdrag fra artikkel om brannen i Bergen, hentet fra tidsskriftet Brannmannen.

**[22. november 2000] kl. 20.22 får brannvakten i Bergen melding om at det brenner i [et soverom i] Kjøkkelvikbrekkene 22 (...). Huset er i en rekke som (...) består av 10 boliger fordelt på to plan. [...] Kl. 20.41 melder brannvesenets brigadeleder at hele rekken brenner. [...] Kl. 21.46 er brannen under kontroll.**

**[...] Bygningskonstruksjonen med en svalgang (...) langs hele bygget, og værforholdene med vindretning parallelt langs bygningen denne kvelden, resulterte i en hurtig spredning av brannen via fasade.**

**Svalgangen virket som en "liggende skorstein" og spredte branngasser og flammer i hele byggets lengde. Den horisontale spredningen foregikk – ifølge øyenvitner – i løpet av noen få minutter.**

**[...] På grunn av at leiligheten ble forlatt med åpne dører, ble de branncellebegrensende bygningsdeler (brannskiller) satt ut av funksjon og brannen ble spredt til inngangsparti/svalgang uten hindringer.**

**[...] Når først branngassene og brannen var kommet ut av leiligheten, bidro bygningen (takutstikk / svalgang / sportsboder) til en eksplosjonsartet spredning av branngasser og brann. Branngassene har, ved hjelp av vinden, forflyttet seg raskt langs takutstikket. Dette forhold medfører hurtig spredning av brannen via brennende branngasser. De brennende branngassene har deretter antent bordkledning (...).**

(Brannmannen, nr. 6, 2000)

### 3.3.4 Søre Ål bo- og servicesenter på Lillehammer (1995)

Utdrag fra sammendraget i granskningsrapport fra tidligere Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern (nå: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, DSB) vises under.

*Søndag 1.1.95 oppstod det brann i en leilighet i Søre Ål bo- og servicesenter på Lillehammer. Brannvesenet fikk melding om brann i en sofa. Ved brannvesenets ankomst til stedet var to leiligheter overtent og brannen hadde spredd seg til taket. 10 eldre mennesker ble reddet ut av bygningen (...).*

*[...] Brannen spredte seg mellom leilighetene som følge av konstruksjonsmessige feil. Takkonstruksjonen over svalgang bidro sterkt til brannspredning, slik at brannvesenet hadde store problemer med å slokke.*

*[...]gransking av brannen viser at bygget ikke er ført opp i tråd med krav i Byggeforskrift 1987. Brannsikkerhetsmessige krav i byggetillatelse er også fraveket.*

---

(Madsen & Bergersen, 1995)

### 3.3.5 Erfaringer fra tidligere branner

Fra de nevnte brannene kommer det frem flere punkter. Av disse er det tre hovedpunkter som ser ut til å påvirke brannene mest:

- utforming av tak
- bruk av ubrennbare materialer
- utføringen av svalgangen

**Det er viktig at utformingen av taket** legger best mulig til rette for at røyk skal unnslippe. Dette vil si at det ikke skal være konstruksjoner som kan føre til røykoppsamling. Ved Nannestad-brannen var det en drager ytterst i taket i første etasje. I taket på svalgangen var det også en planke/list, i tillegg til at taket helte noe nedover. Dette gjorde at det ble en oppsamling av røyk som spredte seg til begge sider både under svalgangen og i taket over svalgangen (DiBK, 2009). Også i brannen i Bergen bidro svalgangen en rask brannspredning ved at den fungerte som en «liggende skorstein» (Brannmannen, 2000).





Figur 3.7: Bilde fra Nannestad-brannen viser brannspredning under svalgangstaket i andre etasje. (DiBK, 2009)

I forhold til materialbruk er det viktig at alle materialer i både svalgang og kledning på bygget er ubrennbare – eller minst begrenset brennbare. Dette er for å sikre rømning og hindre brannspredning. Ved Lillehammer-brannen var svalgangen oppført i trekonstruksjon uten å ha brannklassifisering på kledningen i taket. Dette førte til at hele svalgangen raste ned i første etasje (DSB, 1995). Ved Nannestad-brannen var det brukt vanlige trematerialer i rekkverk. Dette kan ha bidratt til brannspredning fra første til andre etasje og horisontal brannspredning i selve svalgangen.

I alle brannene er det et eller flere tilfeller av **feil i utføring i sammenheng med svalgangen**. I Nannestad-brannen ble det påvist at det ikke var samsvar mellom prosjektert brannklassifisering og utført brannklassifisering i ytterveggen. Dette inkluderer også innsugsventiler installert i ytterveggen uten brannklassifisering. Det var også en luftspalte/hulrom i taket (DiBK, 2009). Dette var det også i Bergen-brannen (Brannmannen, 2000). Selv om dette nok ikke har bidratt særlig til brannforløpet er dette et eksempel på feil i utføring i forhold til prosjektering og lovverk. I brannen i Kabelvåg var det prosjektert med bare ett trappeløp, uten å ha tatt i bruk kompenserende tiltak for å sikre rømning (Brannmannen, 2008). I Lillehammer-brannen var det for så vidt ikke feil utført, men feil prosjektering av svalgang gjorde at den falt ned. Men at brannen nådde helt til svalgangen var hovedsakelig en følge av feil utføring av takkonstruksjonen i bygget generelt.

Foruten de tre hovedpunktene kan det gjøres andre erfaringer fra de nevnte brannene.

- Det er en klar trend at branner oppstår i leiligheter for så å spre seg ut til svalgang, og ikke motsatt. Det er derfor et poeng å nevne at veggen mellom leilighet og svalgang må ha tilstrekkelig brannklassifisering. Samtidig vil ikke konstruksjonen fungere som tiltenkt dersom dører og vinduer blir stående åpne i forbindelse med lufting og/eller rømning. Det er for øvrig

krav til at vinduer i rømningsvei, med brannklassifisering ikke skal kunne åpnes. Når dette er nevnt vil det alltid være en mulighet for at branner kan bli påsatt som ved Nannestad-brannen eller på grunn av uvøren bruk av åpen flamme eller fyrverkeri.

- Brannspredning i svalgang skyldes i stor grad spredning av røyk og varmegasser under taket, og i mindre grad spredning fra flammer.
- Anbefalingen er å ha strengere krav til gulv/gulvbelegg i rømningsvei. Dette kommer frem i både rapporten om Nannestad-brannen og i VTEK. Generelt påstås det at gulvbelegget bidrar til brannutvikling ved høyere temperaturer.
- Både brann- og røykspredningen i en svalgang – og for så vidt ved branner generelt – vil være avhengig av både topografi og «vær og vind». Dette kommer frem i både Nannestad-brannen, hvor vinden «blåste» brannen gjennom leilighetene, og Bergen-brannen hvor vind bidro til rask spredning av røyk under taket i svalgangen.
- At skilleveggene var åpne under taket i første etasje ved Nannestad-brannen, kan ha bidratt til videre brann- og røykspredning under svalgangen. Konstruksjonsmessig er utsiden av første etasje sammenlignbar med oppbygningen av en svalgang med dekke, tak og tilknytning til byggets fasade. Sett i sammenheng med hvordan røyk bidrar til videre brannspredning, bør det vurderes løsninger som begrenser horisontal røykspredning under svalgangstaket.

### 3.4 Utviklingen av byggt teknisk forskrift (TEK) mht. svalganger

Byggt teknisk forskrift har ikke spesifikke regler for svalganger. Kravene stilt til svalganger i TEK10 er avhengig av svalgangens tiltenkte funksjon. Et eksempel er om svalgangen skal brukes som rømningsvei. Da vil § 11-14 Rømningsvei i TEK10 være gjeldende.

### 3.5 Utviklingen av veiledningen mht. svalganger

Preaksepterte løsninger for svalganger er nevnt første gang i 1. utgave av REN (1997). Siden 1997 har det kommet endringer i regelverket, – noen som følge av erfaringer gjort etter tidligere branner – og ytelseskravene har blitt både strengere og klarere med hensyn til brannprosjektering av svalganger.

Tabell 3.2: Oversikt over veiledninger til TEK med årstall

Veiledningsutgave	Veiledning til -:	Årstall	(Referanse)
REN, 1. utgave	Forskrift om krav til byggverk (TEK)	1997	(DiBK, 1997)
REN, 2. utgave	Forskrift om krav til byggverk (TEK)	1999	(DiBK, 1999)
REN, 3. utgave	Forskrift om krav til byggverk (TEK)	2003	(DiBK, 2003)
Veiledning til TEK07 (VTEK)	Byggt teknisk forskrift 2007 (TEK07)	2007	(DiBK, 2007)
Veiledning til TEK10 (VTEK)	Byggt teknisk forskrift 2010 (TEK10)	2010	(DiBK, 2013)

#### 3.5.1 REN (1. utgave) og REN (2. utgave)

Fra 1. utgave til 2. utgave av REN er det ingen endringer i regelverket for svalganger.

*Svalgang kan være rømningsvei eller del av rømningsvei. Med mindre branncellene også har direkte utgang til sikkert sted, må svalgangen utføres slik at den tilfredsstillende forutsetningene om to uavhengige rømningsveier (...) og krav om omsluttende branncellebegrensede bygningsdeler. I ytterveggen mot svalgangen vil det som regel være vinduer som kan åpnes og som ikke har den nødvendige branntekniske klassifisering. En brann i branncellen bak vinduet vil på kort tid kunne hindre eventuell rømning, og alternative rømningsveier må derfor etableres. Det ansees nødvendig at følgende forhold legges til rette:*

- *Svalgangen må være mest mulig åpen, slik at røyk- og branngasser kan unnsnippe. Om den åpne delen er 1/3-del av den totale «veggflaten», vil dette være tilfredsstillende.*
- *Rekkverk og øvrige konstruksjoner bør bestå av minst mulig brennbare materialer. Gulv i svalgang må være utført som branncellebegrensede konstruksjon.*
- *Svalgangen bør være minst 1,20 meter bred for at den skal fungere som flammeskjerm.*

- *Svalgangen må ha minst to trapper til terreng, en i hver ende. Avstanden mellom trappene må ikke være over 60 m. I bygninger oppført i brannklasse 1 hvor det er tilrettelagt for bruk av vindu som rømningsvei, er det tilstrekkelig med én trapp under forutsetning av at avstanden fra dørene i branncellene til trappen ikke er over 15,0 m.*
- *Trappene må være beskyttet mot strålevarme fra en eventuell brann i bygget. Derfor må enten de veggene som vender mot bygget utføres som branncelle- begrensende konstruksjon eller byggets yttervegg mot trappen og 5,0 m til hver side for denne, være utført i branncellebegrensende konstruksjon med tilsvarende krav til bygningsdelene (...).*

(REN 1. utgave, DSB)

### 3.5.2 Endringer fra REN (2. utgave) til REN (3. utgave)

De første endringene skjedde ved overgangen fra 2. utgave til 3. utgave av REN. Kravene til svalgangens åpning mot friluft økte fra at «åpningen skulle være 1/3 av den totale veggflaten» til 50 % av den totale veggflaten. Det ble presisert at «åpningen skulle være øverst i svalgangen» og at «rekkverket ikke var å medregne som del av åpningen». Det ble også stilt krav til at kledning skulle «ha brannklasse tilsvarende som for rømningsvei». I tillegg ble det presisert at «tak over svalgang var svært uheldig og burde unngås med mindre tak og overflater hadde gode branntekniske egenskaper».

I forhold til prosjektering i brannklasse 1, der det var «tilrettelagt for bruk av vindu som rømningsvei og det var tilstrekkelig med én trapp under forutsetning av at avstanden fra dørene i branncellene til trappen ikke var over 15 m», ble det lagt til «at rømning ikke forutsattes forbi uklassifisert vindu i annen branncelle».

### 3.5.3 Endringer fra REN (3. utgave) til VTEK (2007)

Fra 3. utgave av REN til VTEK (2007) ble følgende innledningstekst **fjernet**.

«I ytterveggen mot svalgangen vil det som regel være vinduer som kan åpnes og som ikke har den nødvendige brannmotstand. En brann i branncellen bak vinduet vil på kort tid kunne hindre eventuell rømning, og alternative rømningsveier må derfor etableres.»

### 3.5.4 Endringer fra VTEK (2007) til VTEK (2010)

Fra VTEK (2007) til VTEK (2010) ble det utført noen større endringer i regelverket. I en uttalelse fra DiBK i 2009 (tidl. BE) kom det frem følgende i forbindelse med utviklingen av regelverket fra VTEK (2007) til VTEK (2010).

*I forbindelse med revisjon av regelverket er vi nå i ferd med å gjøre en mer generell vurdering av byggeskikk/byggemåter sett i forhold til hva man kan/ikke kan forvente av brannvesenets slokkeinnsats. Utviklingen går trolig mot at vi må gjøre byggene mer robuste.*

*I forhold til mulige endringer vedrørende svalganger i veiledningen til TEK som følge av brannen i Nannestad, og andre lignende branner, vil vi vurdere endringer fra bør til må. Vi vurderer om det skal angis kun ubrennbare overflater/materialer og ubrennbart rekkverk. Flere inntrufne branner har vist at eksempelvis golvbelegg klasse G, som vi i mange tiår har hatt som krav i rømningsveger, trolig ikke er godt nok. Utforming som tillater flammer/røyk- og branngasser og unnslippe ut fra byggverket (horisontal himling, eller ingen himling, over) er viktig.*

*Det er likevel også viktig å ikke overfokusere på svalgangsløsningen. Vår tradisjonelle trehusbebyggelse gir mange muligheter for brannspredning. Det er derfor viktig å tenke helhet, og å analysere alle mulige spredningsveger. Svalgangsløsningen vil for øvrig normalt være en vesentlig bedre rømningsveg enn en innvendig korridor. Dette har vi nylige erfaringer på.*

(Brann og sikkerhet, 2009)

I VTEK (2010) ble det gitt ytelseskrav til brannklassifisering av gulv og kledning til B-s3,d0. Bygg over to etasjer fikk også strengere krav til rekkverk og øvrige materialer, dvs. klasse A2-s1,d0. Det ble lagt til at «takutstikk må utføres horisontalt og tett (mot for eksempel oppforet tak/kaldt loft) slik at røyk- og branngasser kan slippe uhindret ut til det fri».

Kravet til svalgangens bredde på 1,2 meter for at den skal fungere som flammeskjerm er endret fra *bør* til *må*. Det blir også lagt til et nytt ytelseskrav om at «svalganger som er lengre enn 30 m må oppdeles med branncellebegrensende bygningsdeler med innbyrdes avstand på maksimum 30 m for å begrense den horisontale brannspredningen».

**1. april 2013, ble VTEK (2010) revidert** med tanke på svalgang og sprinkling. «Svalganger eller felles balkonger som er rømningsvei må dekkes av sprinkleranlegget.» Dette gjelder da dersom det er krav til sprinkling av bygget ellers.

## 4 Elementer og utfordringer ved brannprosjektering av svalganger

Ved prosjektering av svalgang må det tas hensyn til flere elementer. Antall trapper, brannklassifisering på overflater, brannteknisk oppdeling og begrensing av røykspredning er alle viktige punkter i brannprosjekteringen av svalganger. I forbindelse med prosjekteringen av disse kan det oppstå utfordringer i forbindelse med at beboernes ønsker ikke nødvendigvis er i overensstemmelse med hva lovverket tillater eller uklarheter i lovverkets ordbruk.

Noen utfordringer kommer også dersom svalgangen er tiltenkt en spesiell funksjon. Dette kommer blant annet frem når svalganger prosjekteres som rømningsvei eller del av rømningsvei. Da vil det stilles de samme kravene som ved en innvendig rømningsvei (VTEK, 2010).

### 4.1 Utforming av svalgang

Kapitlet tar for seg de ulike elementene i forhold til utformingen av svalganger, som lengde, bredde, utforming av tak og åpning av svalgang mot det fri.

#### 4.1.1 Lengde

I veiledningen stilles det krav til at «Svalganger som er lengre enn 30 m må oppdeles med branncellebegrensende bygningsdeler med innbyrdes avstand på maksimum 30 m for å begrense den horisontale brannspredningen» (VTEK, 2010). Oftest brukes skillevegger med dører for å danne denne branncellebegrensende bygningsdeler.

I e-post forklarer Vidar Stenstad, senioringeniør ved Direktoratet for byggkvalitet, at kravet om skillevegg ble adoptert fra kravene ved innvendig rømningsvei<sup>6</sup>. Ut ifra dette antas det at det ikke er tatt spesielle hensyn til forskjell i forholdene ute og inne. Dette er selv om vind har en stor betydning for brannspredningen, slik det ble det ble påpekt etter brannen i Nannestad (kapittel 3.3.1) og i Bergen (kapittel 3.3.3).

I forhold til «hensiktsmessig oppdeling» (TEK10), kan det oppstå utfordringer ved bruk av lange svalganger. Ved å introdusere skillevegger oppstår det hindringer i den daglige bruken. For å gjøre svalgangen lettere å bruke kan det tenkes at dørene sperres i åpen stilling. Dette er forhold det må tas hensyn til ved prosjektering.

#### 4.1.2 Bredde

Veiledningen gir et minstekrav til bredde på svalgangen på 1,2 meter der den skal fungere som flammeskjerm. Ellers kan krav til bredden på svalgangen variere mellom 1,2 meter til 1,8 meter, alt etter hvor mange beboere bygget har og krav mht. universell utforming.

---

<sup>6</sup> E-post vedlagt i Vedlegg 4.

### 4.1.3 Tak

I forbindelse med utforming av tak, står det følgende i veiledningen:

***Tak over svalgang er svært uheldig og må unngås med mindre overflater på vegger og tak har gode branntekniske egenskaper. Takutstikk må utføres horisontalt og tett (mot for eksempel oppforet tak/kaldt loft) slik at røyk- og branngasser kan slippe uhindret ut til det fri.***

---

VTEK (2010)

I all hovedsak viser dette punktet til at en oppsamling av røyk- og branngasser vil være ugunstig i et brannforløp. For å sikre at røyk- og branngasser skal kunne slippe ut i det fri må det unngås løsninger hvor det dannes områder under taket, hvor røyk kan samle seg. I Figur 4.1 observeres det at løsningen i det nederste planet er ugunstig. På grunn av tverrbjelken dannes det et volum under svalgangstaket, hvor røyk- og branngasser ikke vil kunne unnslippe.

### 4.1.4 Åpning av svalgang mot det fri

Et viktig element i prosjektering av svalganger er åpningen mot det fri. Åpningen er viktig for at brann- og røykgasser skal kunne slippe ut. Langsgående bjelker som strekker seg ned fra taket og gjør at røyk kan samles opp bør unngås. Ved korrekt utføring av svalgang i henhold til veiledningen vil røykoppstillingen i svalgangen minimeres.

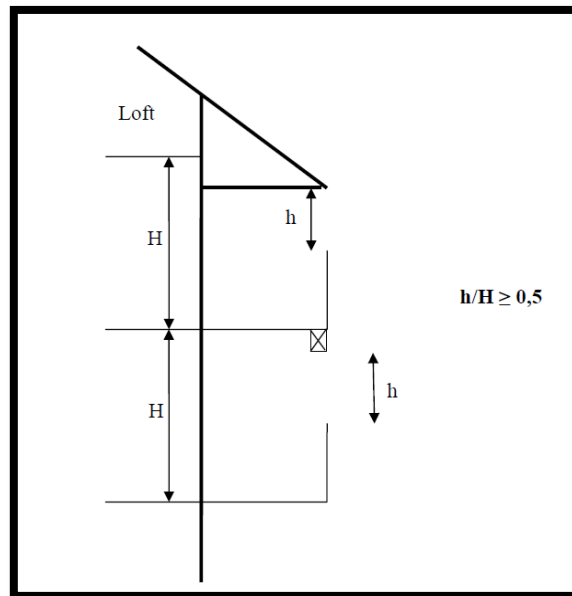
I veiledningsteksten står det følgende om åpninger i svalganger.

***Svalgangen må være mest mulig åpen, slik at røyk- og branngasser kan unnslippe. Om den åpne delen er 50 % av den totale «veggflaten», antas dette å være tilfredsstillende. Det er den øverste delen av veggflatene som må være åpen. Åpning i rekkverk er ikke å anse som åpent areal.***

---

VTEK (2010)

Meningen av den totale «veggflaten» kan være uklar. Bjarne Kristoffersen, ved SINTEF Byggforsk (2003) har vist dette ved hjelp av Figur 4.1. Av figuren forstås det at høyden på den totale «veggflaten» er det samme som den totale etasjehøyden.



Figur 4.1: Åpning fra svalgang ut mot fri luft,  $h$  – i forhold til total veggflate,  $H$ . (Bjarne Kristoffersen, 2003)

## 4.2 Brannklassifiserte materialer og overflater

Bruken av ubrennbare eller begrenset brennbare overflater og materialer er svært viktig for å begrense brannspredning.

Det stilles krav i TEK10 om at «brannceller skal være slik utført at de forhindrer spredning av brann og branngasser til andre brannceller i den tid som er nødvendig for rømning og redning.» Kravet til branncellekonstruksjonen er avhengig av hvilken risikoklasse (RKL) og brannklasse (BKL) bygget befinner seg i. Eksempelvis befinner bolighus (RKL 4) seg i BKL 1 inntil 2 etasjer, BKL 2 ved 3 og 4 etasjer og BKL 3 ved mer enn 4 etasjer (VTEK, 2010).

Tabell 4.1: Oversikt over brannklasser i risikoklasse 4 (VTEK, 2010)

Risikoklasse	Etasje		
	< 3	3 og 4	4 <
4	BKL 1	BKL 2	BKL 3

I veiledningen kommer det frem at

*golv i svalgang må være utført som branncellebegrensende konstruksjon med overflate  $D_f-s1$  (G). Kledning på vegg og tak må være som for rømningsvei. Overflaten kan være B-s3,d0 (Ut 1). I byggverk med mer enn to etasjer må rekkverk og øvrige konstruksjoner bestå av ubrennbare eller begrenset brennbare materialer, dvs. klasse A2-s1,d0.*



Utfordringene med brannceller er at de opprettholder tenkt funksjon ved brann. Dersom en branncellebegrensende dør i en branncellebegrensende konstruksjon står åpen under et brannforløp mister branncellen sin funksjon. For å forhindre at dette skal skje kan det installeres en dørpumpe, men dette medfører krav til automatisk åpning på grunn av begrensinger til maks kraft behøvd for å åpne døren ikke skal overstige 20 N. Dermed dukker det opp ytterligere krav til dørautomatikk, som krever drift i en time etter brannstart fra en uavhengig strømforsyning.

Vinduer i branncellebegrensende konstruksjoner skal ha samme brannklassifisering som veggene de står i, og skal ikke kunne åpnes. I forhold til dette oppstår det en utfordring, i og med at det ofte er ønskelig å åpne vinduer for utlufting av soverom.

Dagens krav til brannklassifisering på gulv i svalgang er  $D_{fi-s1}$  [G]. Det samme kravet stilles til innvendig rømningsvei. I veiledningen står det at «flere inntrufne branner har vist at golvbelegg klasse  $D_{fi-s1}$  [G] bidrar til brannutvikling og brannspredning når brannen blir av en viss størrelse. I byggverk med mer enn to etasjer bør derfor golvbelegget være ubrennbart eller begrenset brennbart, dvs. klasse A2-s1,d0» (VTEK, 2010). Det anbefales i VTEK (2010) strengere klassifisering på gulvkonstruksjon, slik at unødvendige bidrag til brannspredning ikke oppstår.

Tabell 4.2: Brannmotstand til branncellebegrensende bygningsdeler, overflater og kledning i svalgang.

Bygningsdel	Brannklasse		
	1	2	3
Branncellebegrensende bygningsdel - generelt	EI 30 [B 30]	EI 60 [B 60]	EI 60 A2-s1,d0 [A 60]
Overflater	B-s3,d0 [Ut 1]	B-s3,d0 [Ut 1]	B-s3,d0 [Ut 1]
Kledning	$K_210$ B-s1,d0 [K1]	$K_210$ A2-s1,d0 [K1-A]	$K_210$ A2-s1,d0 [K1-A]
Gulv	$D_{fi-s1}$ [G]	$D_{fi-s1}$ [G]	$D_{fi-s1}$ [G]
Rekkverk og øvrige konstruksjoner	A2-s1,d0	A2-s1,d0	A2-s1,d0

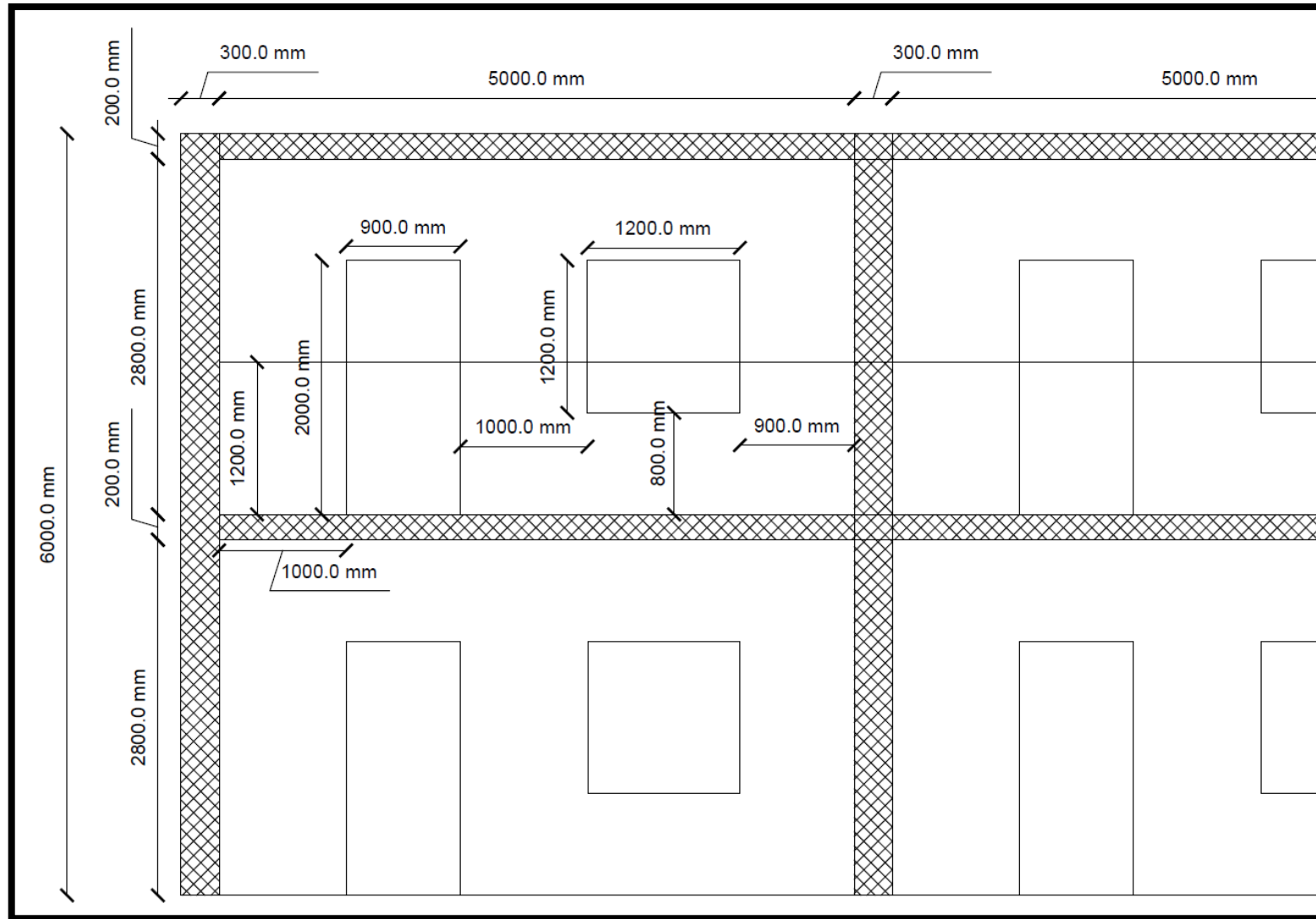
### 4.3 Trapper

I forbindelse med rømning stilles det krav til at «der rømningsvei går over flere etasjer, skal trapp skiller fra den øvrige rømningsvei og andre brannceller, slik at trappens funksjon som sikker rømningsvei ivaretas i den fastlagte tilgjengelige rømningstid» (TEK10).

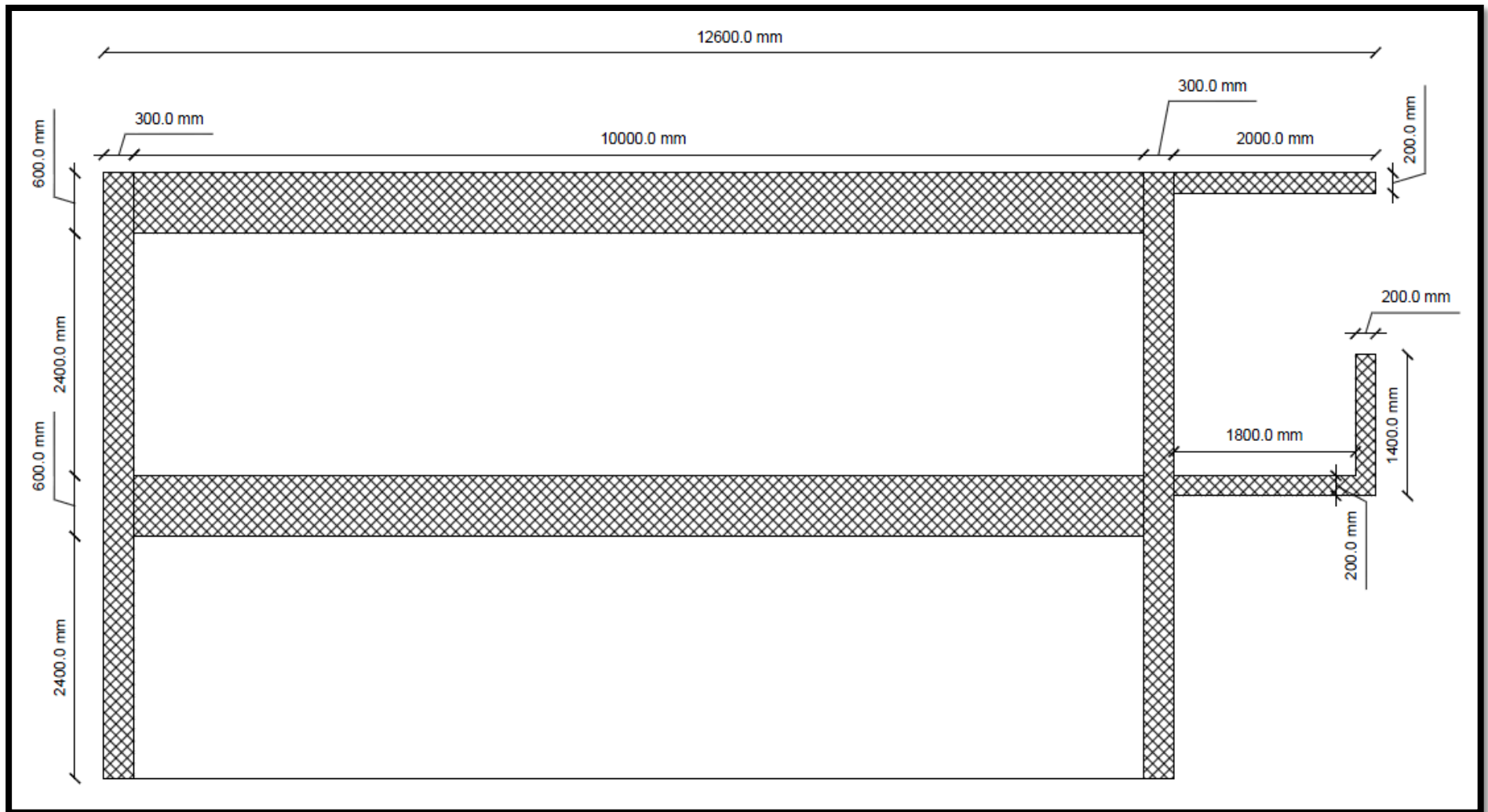
## 5 Data for simulering

### 5.1 Den generelle leiligheten

Det er utarbeidet tegninger av modellen benyttet i simuleringene. For å få inkludert ytelseskravet «om branncellebegrensende bygningsdel med innbyrdes avstand på maksimum 30 m», er det nødvendig at bygget strekker seg mer enn 30 meter horisontalt. Byggene settes sammen av leiligheter med faste dimensjoner. Disse vises i Figur 5.1 og Figur 5.2.



Figur 5.1: Standard leilighet med dimensjoner, sett forfra.

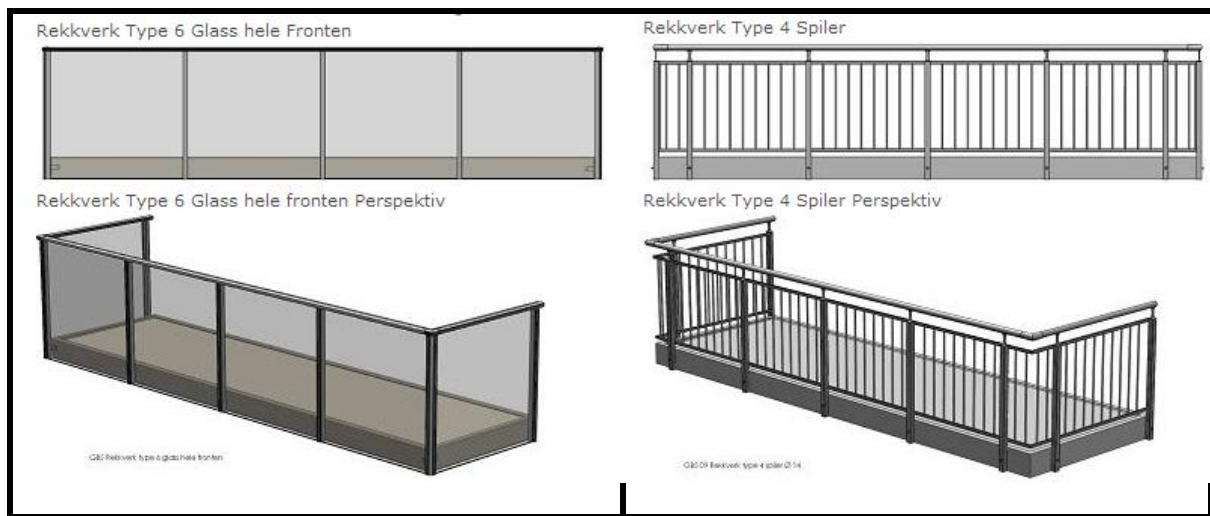


Figur 5.2: Standard leilighet med dimensjoner, sett fra siden.

## 5.2 Byggets geometri

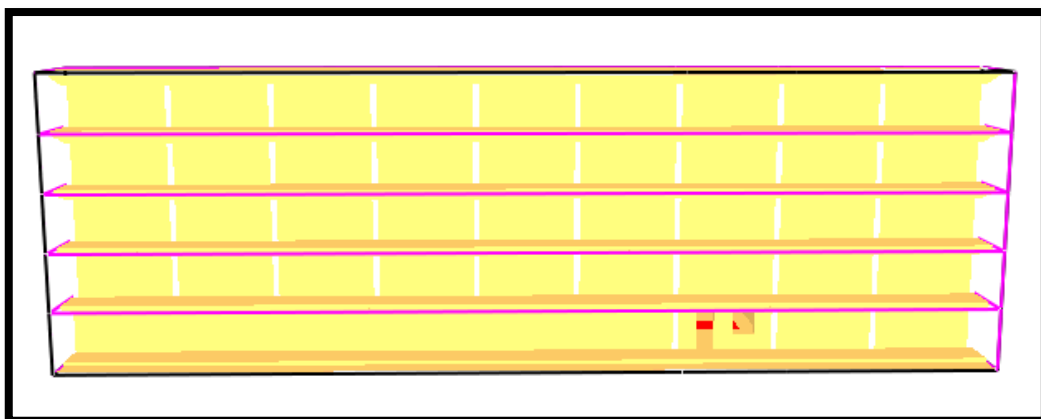
Simuleringene tar for seg røykspredning i svalgangene ved brann i en av leilighetene. Det ble sett på hvordan røyken spredde seg i både høyden og lengden av bygget. For å slippe mest mulig røyk ut i svalgangen var både dør og vindu i leiligheten åpent. I simuleringene ble det sett på et bygg satt sammen av den generelle leiligheten, vist i kapittel 5.1. Det ble antatt at dører og vinduer var lukket i alle leiligheter, foruten leiligheten hvor brannen var plassert.

Det ble for øvrig sett på forskjellen på svalganger med tett og utett rekkverk. Med tett og utett menes for øvrig tillater ikke og tillater luftgjennomstrømning, vist i Figur 5.3. For å illustrere et rekkverk med stor gjennomstrømning ble det simulert uten rekkverk.



Figur 5.3: Tett rekkverk tillater ikke luftgjennomstrømning (t.v.). Utett rekkverk tillater mye luftgjennomstrømning (t.h.).

(<http://www.gbsprodukter.no/sider/tekst.asp?side=75&valgtmenypunkt=71>)



Figur 5.4: Modell av sammensatte leiligheter i PyroSim

## 5.3 Inndata i PyroSim

PyroSim er et grafisk brukergrensesnitt (*Graphical User Interface, GUI*) til FDS. Ved simulering skriver programmet ut en kildekode-fil (\*.fds). Koden er FDS-kode og kan brukes uavhengig av PyroSim. Koden er vedlagt oppgaven for lettere å kunne gjenskape simuleringene. Disse filene er vedlagt på CD.

Mer detaljerte inndata for simuleringene finnes i *Vedlegg 5: Simuleringsparametre i PyroSim*.

### 5.3.1 Cellestørrelser/Rutenett (MESH)

*MESH* brukes for å beskrive størrelsen på rutenettet eller cellestørrelsen i simuleringen, og angir oppløsningen og nøyaktigheten av simuleringene.

I simuleringene ble det brukt to ulike cellestørrelser, avhengig av hva hensikten var med simuleringen. En oversikt over rutenettene brukt kan leses av i Tabell 5.1.

- For å identifisere og illustrere aspekter og trender ved røykspredning i svalganger ble det først utført simuleringer med **grove** cellestørrelser. Cellestørrelsene var på 20x20x20 cm.
- For å få et mer nøyaktig bilde av røykspredningen ble det valgt å bruke et **finere** rutenett da virkningen av de foreslåtte løsningene skulle simuleres. Cellestørrelsene ble derfor satt til 10x10x10 cm.

Tabell 5.1: Oversikt over MESH (cellestørrelser) brukt i simuleringene

Beskrivelse	Brukt i simuleringer i kapittel:	Cellestørrelse
<b>Grovt</b>	5	20 x 20 x 20 cm
<b>Fint</b>	6, 7 og 8	10 x 10 x 10 cm

### 5.3.2 Brannen

Det ble valgt å benytte seg av tunge, stoppede møbler (*Heavyweight Type A upholstered Furniture*) med en effekt på 5100 kW/m<sup>2</sup>, hentet fra tabell 3.6 i *Enclosure Fire Dynamics (EFD)* (Karlsson & Quintiere).

Det ble benyttet en designbrann. Dette er et brannforløp, der vekstfasen er en  $\alpha t^2$ -brann, gitt ved  $\dot{Q} = \alpha t^2$ , og den fullt utviklede brannen har en konstant effekt. Vekstraten,  $\alpha$ , i  $\alpha t^2$ -brannen er fra tabell 3.5 i EFD.

Brannoverflaten ble for begge brannene plassert midt i brannleiligheten.

Hensikten med kvalitative simuleringene var å se på røykspredning. Av denne grunn var det ikke hensiktsmessig å ta hensyn til vekstfasen.

Ved de kvantitative simuleringene var det derimot hensiktsmessig å få noen realistiske verdier sammenlignbare med forhåndsbestemte krav. Derfor var det relevant å ta hensyn til brannveksten.

Data for de forskjellige brannene presenteres i Tabell 5.2.

Tabell 5.2: Inndata til brannene brukt i simuleringene

Type brann	Brannens vekstfaktor, $\alpha$	Tid til maks effekt (ramp up time), $t$	Effekt per areal (HRPUA)	Areal	Total (maks) effekt, $\dot{Q}$
Stor brann	30,6 MW/s <sup>2</sup>	1 s	5100 kW/m <sup>2</sup>	6 m <sup>2</sup>	30,6 MW
Realistisk brann	0,047 kW/s <sup>2</sup>	~ 465 s	5100 kW/m <sup>2</sup>	2 m <sup>2</sup>	10,2 MW

Det kan leses av Tabell 5.2 at den store brannen gir en totaleffekt på 30,6 MW. Dette tilsvarer omtrent en 4,9 m høy stabel med polystyrenkrukker, fordelt på en overflate på 2 m<sup>2</sup>, i brann (Karlsson & Quintiere). Dette er høyt for brann i en leilighet. Ettersom oppgaven skal sammenligne ulike løsninger mht. røykspredning, vil det være hensiktsmessig å produsere mest mulig røyk.<sup>7</sup> Så lenge brannen forblir lik i alle simuleringene vil ikke en overdimensjonering av brannen være av stor betydning.

### 5.3.3 Overflater og materialer

Oppgaven er avgrenset til å fokusere på den geometriske oppdelingen av svalgangen og røykens bevegelse i forhold til dette. Overflatetypen er **INERT**, definert i PyroSims brukermanual. «Overflaten [INERT] holder seg konstant på valgt romtemperatur. Det vil være varmeoverføring fra gasser til INERT-overflater. Dette er standard overflate i PyroSim» (Thunderhead Engineering Consultants Inc.).

### 5.3.4 Valgte utdata i PyroSim

For å vise resultatene var det nødvendig å definere hvilke utdata PyroSim skal gi. Valgte utdata var:

Tabell 5.3: Oversikt over tverrsnitt (slice) utdata

Slice	Plassering
Temperatur	0,8 meter fra fasade i svalgang, i y-planet*
Lufthastighet	0,8 meter fra fasade i svalgang, i y-planet*
Røyktetthet	0,8 meter fra fasade i svalgang, i y-planet*

\* Snittet er parallelt med fasaden i svalgangen

Tabell 5.4: Oversikt over isometrisk overflate (isosurface) utdata

Isosurface	Verdi
Temperatur	60 °C
Røyktetthet	10 meter

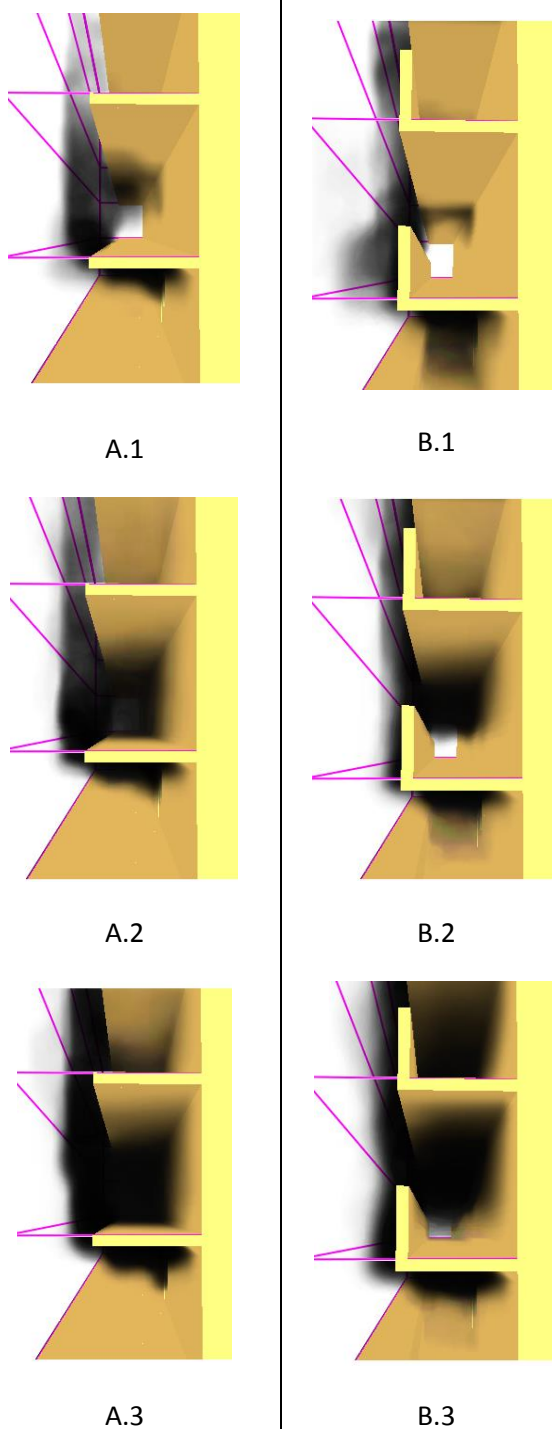
PyroSim gir flere standard utdata. Dette inkluderer varmeavgivelsesrate (effekt per sekund), varmetap, sotproduksjon (3D-smoke), med flere.

<sup>7</sup> Røykproduksjon er ikke bare bestemt av størrelsen på brannen, men er også avhengig av blant annet materialet som brenner og effektiviteten av forbrenningen. I PyroSim ble det valgt å øke størrelsen og effekten på brannen, da dette virket å være den minst kompliserte måten å få produsert mer røyk.

## 6 Identifisering av problemer vha. simulering

For å identifisere problemer og trender ved røykspredning i svalganger, ble det utført to simuleringer med et grovt rutenett. Resultatene av simuleringen presenteres og vurderes videre i dette kapitlet.

Svalgang uten rekkverk | Svalgang med rekkverk



Figur 6.1: Presentasjon av røykspredning ved gitte tider i grovsimulering – med og uten rekkverk

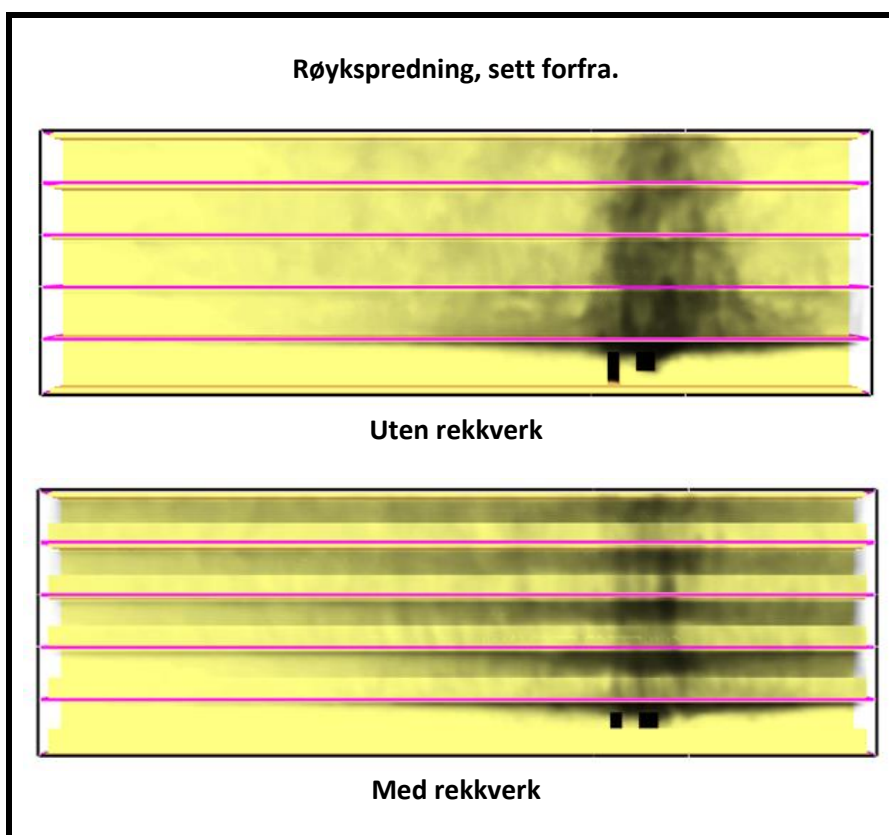


I Figur 6.1 vises røykspredningen i svalgangene til utvalgte tider. Det er fokusert på andre etasje, men første og tredje etasje kommenteres også. Bildene er merket **A.1 – A.3** (uten rekkverk) og **B.1 – B.3** (med rekkverk).

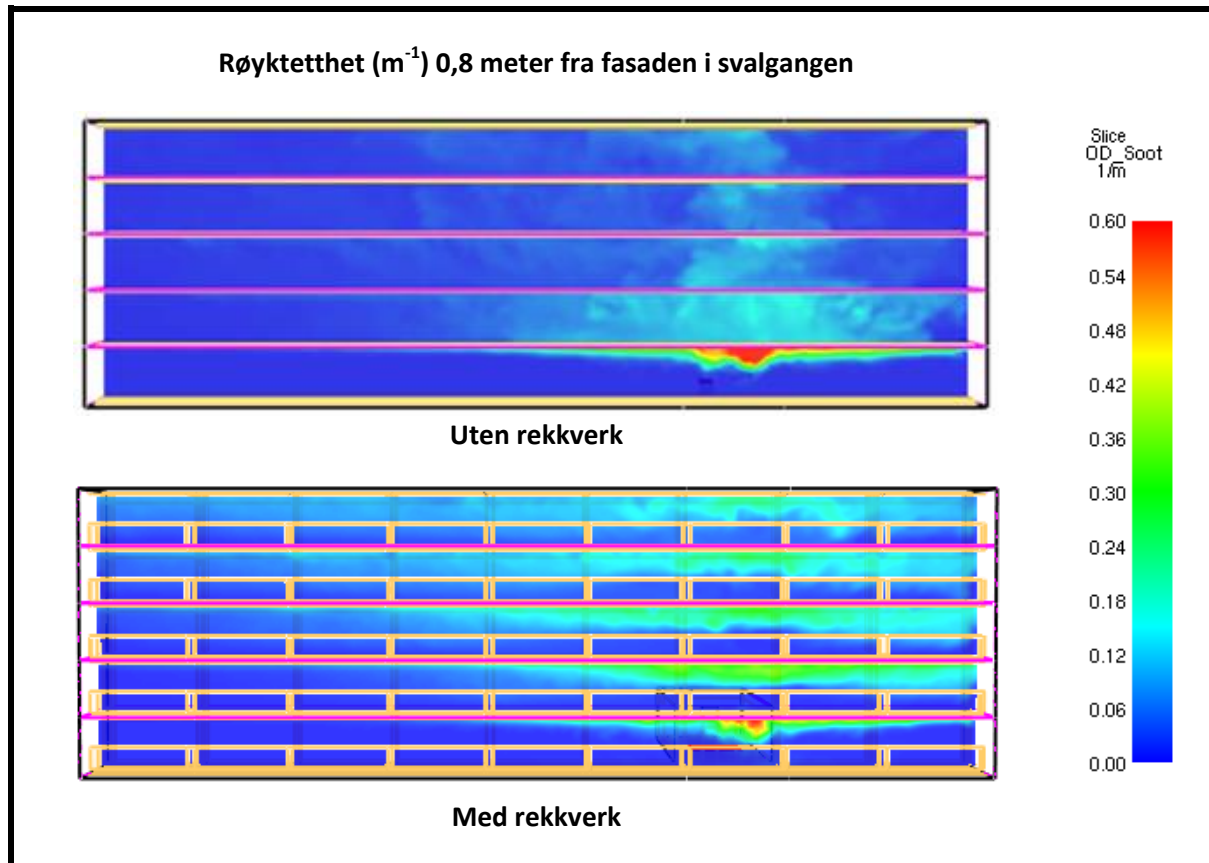
A.1 viser hvordan røyken beveger seg inn i svalgangen rett etter å ha passert skillet fra etasjen under, og en liten del av røyken stiger videre oppover. B.1 viser hvordan rekkverket begrenser mengden røyk som strømmer inn i svalgangen, og at mesteparten av røyken stiger videre oppover. I første etasje i A.1 er det svært lite oppsamling av røyk, utenom der hvor røyken strømmer ut fra brannleiligheten. I B.1 er det noe røykoppsamling i første etasje, men dette er hovedsakelig på grunn av den raske brannen. Dette vises ut ifra B.2 og B.2 hvor røyklaget ligger opp mot taket og ikke i svalgangen.

Videre på A.2 og A.3 vises det hvordan svalgangen fylles med røyk i både andre og tredje etasje, men likevel mest i området over brannleiligheten. I B.2 og B.3 er det klarere at det er to soner, med et røyklag under taket og frisk luft ved gulvet. Røyklagets høyde strekker seg nærmere gulvet utover i brannforløpet. I A.3 er taket i andre etasje mer synlig enn det er i B.3. Dette tyder på at røyklaget i B.3 strekker seg lenger ut i svalgangen.

Ved en generell sammenligning av røykspredningen ved de to løsningene trekkes det ut to poeng. Røykspredningen i høyden av den enkelte svalgangen er verre ved A.1 – A.3 enn ved B.1 – B.3, men spredning i bredden er verst ved B.1 – B.3.



Figur 6.2: Røykutvikling i grovsimulering, sett forfra



Figur 6.3: Røyktetthet i svalgangen, 0,8 meter fra fasaden ved grovsimulering

I Figur 6.3 vises det hvordan røyken fordeler seg, 0,8 meter ut fra fasaden i svalgangen. Fra denne vises det klart at røyken sprer seg til sidene, under taket i svalgangen med rekkverk. Røyklaget holder seg stort sett over rekkverkshøyden, selv om det er tynnere røyk lenger ned mot gulvet. Det observeres også at spredningen i svalgangens lengde øker med svalgangens høyde over bakken.

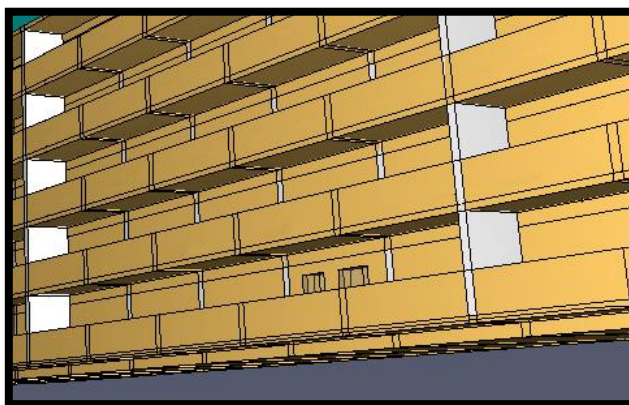
I bygget uten rekkverk viser det seg at den generelle spredningen i lengden på svalgangen er et mye mindre problem, men spredningen i høyden på svalgangen er mye større. I svalgangen rett over brannleiligheten har røyken spredt seg både mer i høyden og i lengden av svalgangen, enn i bygget med rekkverk.

Av denne grunn vil det være nødvendig å vurdere de ulike løsningene i bygg både med og uten rekkverk.

## 7 Preakseptert løsning

Den preaksepterte løsningen bygger på ytelseskravene gitt i VTEK (2010). Dette er også løsningen det er mest hensiktsmessig å sammenligne de andre løsningene med.

Svalgangen har et horisontalt tak, uten sperrer som kan stenge røyken inne og har skillevegger med innbyrdes avstand på 27 meter på grunn av leilighetenes størrelse og plassering. I veiledningen er det for øvrig krav om største innbyrdes avstand på 30 meter mellom brannskillebegrensende bygningsdeler (skilleveggene). Skilleveggene skal være brannklassifisert. Tegninger med mål finnes i Vedlegg 6: Tegninger til den preaksepterte løsningen.



Figur 7.1: Preakseptert løsning fra PyroSim

Med tanke på horisontal røykspredning vil røyken kunne strømme ut ifra åpen dør og vindu ved en brann i leiligheten. Røyken vil spre seg radially ut fra der den treffer taket. Når sirkelen av røyk blir større vil mer og mer røyk unnsnippe svalgangen. Skilleveggene vil stoppe røyk under taket fra å spre seg videre horisontalt. Dette vil øke både rømningsikkerhet og brannsikkerhet på motsatt side av skilleveggen. Dersom fordelingen gjør at det blir et stort antall personer på en av sidene av skilleveggen, kan dette øke faren for oppstuvning ved rømning. Dette fordi at flere skal passere gjennom den samme døren.

Om brannen produserer mye røyk vil området mellom skilleveggene kunne få røykopsamling under taket, og muligens også videre ned mot gulvet i svalgangen. Dette vil redusere både rømningsikkerhet og brannsikkerhet i området mellom skilleveggene.

Gitt at skilleveggene står parallelt oppover i etasjene over vil nok den vertikale røykspredningen mellom etasjene i stor grad begrenses til områdene mellom skilleveggene.

Med en økende vindpåvirkning kan det antas løsningen vil bli tilsvarende dårligere mht. vertikal røykspredning, men forbli relativt robust i etasjen brannen oppstår i. Ved vind vil mer frisk luft blandes inn i røyken og faren for at kritiske forhold skal oppstå vil reduseres.

Skilleveggene vil, dersom utført riktig, være tette og generelt sett lette å vedlikeholde. For å kunne passere veggen vil det være nødvendig med en dør. Dette kan blant annet føre til utettheter, at døren sperres i åpen stilling og at det kreves mer vedlikehold.

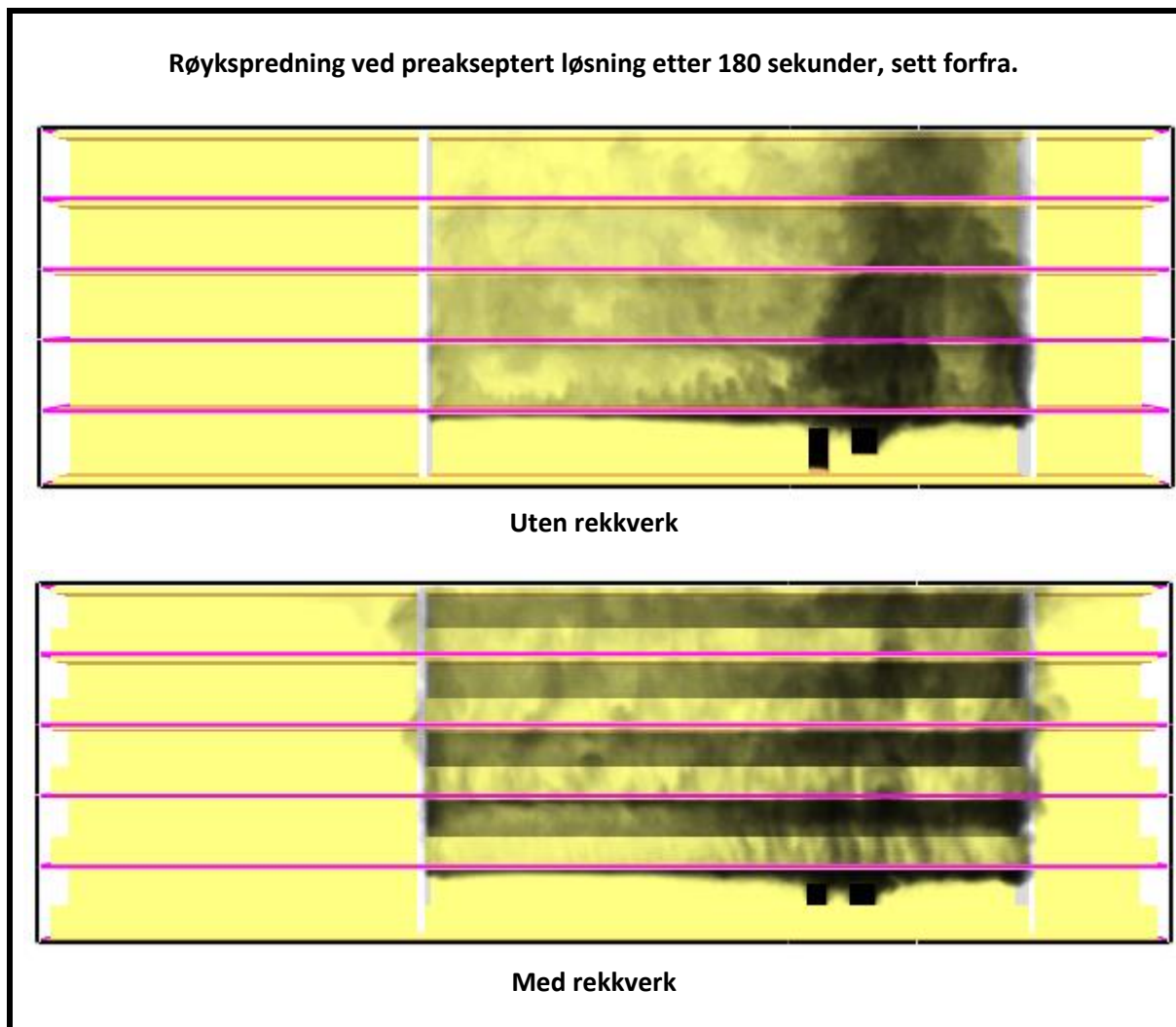
Den økonomiske merkostnaden for løsningen er antatt å være liten til svært liten. Med tanke på at det mest sannsynlig ikke oppføres mer enn to vegger per etasje – til tider bare én – vil verken materialkostnader eller arbeidstid være betydelige.

Sett forfra vil nok ikke skilleveggene spille så stor rolle på det estetiske. Sett fra siden vil derimot skilleveggene kunne føre til at svalgangen og fasaden på bygget vil virke mindre åpen og mindre oversiktlig.

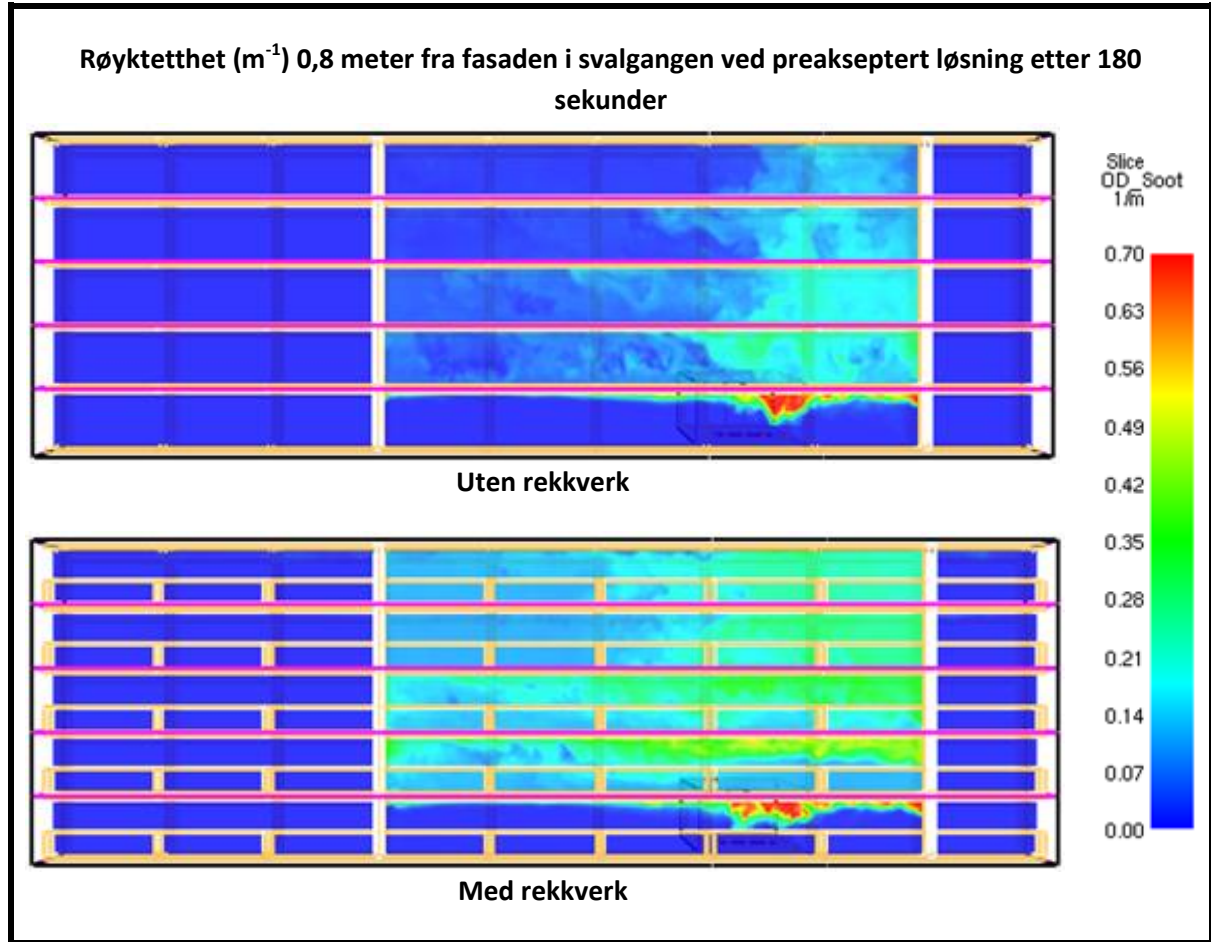
### 7.1 Kvalitative resultater fra simulering

Figur 7.2 og Figur 7.3 viser hvordan løsningen hindrer røykspredning til områdene mellom skilleveggene, både horisontalt og vertikalt. Røyktettheten er størst i områdene parallelt over brannleiligheten. Røyksøylen virker noe tykkere i løsningen uten rekkverk hvor røyken unnslipper, imens i løsningen med rekkverk der mer av røyken beveger seg inn i svalgangen.

I bygget uten rekkverk ser det ut til at røyken lettere unnslipper, da røyktettheten klart er tynnere enn i bygget med rekkverk. Røyken fordeler seg noe ulikt i svalgangene i de to byggene. Også her er det minst røykopsamling i løsningen uten rekkverk. I Figur 7.3 vises en klar forskjell i hvordan røyken sprer seg i svalgangen, og løsningen uten rekkverk viser klart bedre forhold.



Figur 7.2: Røykspredning ved preakseptert løsning etter 180 sekunder, sett forfra.



Figur 7.3: Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen ved preakseptert løsning etter 180 sekunder

## 8 Forslag til løsninger på røykspredningsproblemer

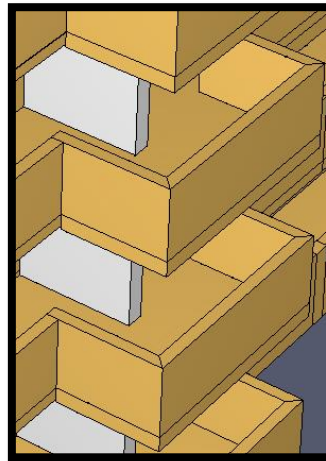
Kapitlet tar for seg løsninger som ikke følger ytelseskravene gitt i VTEK (2010) til svalganger, men oppfyller funksjonskravene.

Det gjøres først en innledende kvalitativ vurdering. Denne tar for seg hvordan løsningen påvirker brann- og røykspredning, rømningssikkerhet, økonomiske konsekvenser og estetikken ved bygget. Etterpå simuleres løsningene, hvorpå resultatene fra simuleringer presenteres og forklares kvalitativt. Til slutt vil den beste løsningen mht. røykspredning, simuleres med et realistisk brannforløp. Resultatene sammenlignes så med den preaksepterte løsningen, simulert med det samme brannforløpet.

Tegninger med mål for løsningene presenteres i vedlegg 7-10.

### 8.1 «Bjønnebåsen-løsning»

Løsningen er noe lik den preaksepterte løsningen i den forstand at den bruker de samme skilleveggene med en innbyrdes avstand på 27 meter. Ytelseskravet i VTEK (2010) er for øvrig (fremdeles) 30 meters innbyrdes avstand. Forskjellen er at den preaksepterte bruker dør i skilleveggen, imens i Bjønnebåsen-løsningen bygges svalgangen ut slik at den går rundt veggen, vist i Figur 8.1.



Figur 8.1: Bjønnebåsen-løsning fra PyroSim

#### 8.1.1 Kvalitativ vurdering

Det antas at denne løsningen vil gi tilnærmet samme effekt som den preaksepterte løsningen.

Hovedforskjellen i løsningen er at skilleveggen ikke strekker seg helt ut til enden av taket. Dette tillater at røyk kan forflytte seg forbi skilleveggen og videre i svalgangen. Det antas likevel at størsteparten av røykmengden vil bli hindret av skilleveggene og ikke drive forbi.

På grunn av utstikket løsningen introduserer rundt skilleveggen, antas det at den vertikale røykspredningen vil bli mer betydelig. Den varme røyken som stiger oppover vil lettere kunne treffe taket i overliggende «utstikkende» del, og slik spre seg videre horisontalt i overliggende svalgang.

Dersom brannen produserer mye røyk vil området mellom skilleveggene kunne få røykopsamling under taket, og muligens også videre ned mot gulvet i svalgangen. Dette vil redusere både rømningssikkerhet og brannsikkerhet i området mellom skilleveggene. Trolig vil det ikke oppstå kritiske forhold andre steder enn mellom overliggende parallelle skillevegger.

Det antas at løsningen vil være noe sårbar i forhold til vind. Med økende vindpåvirkning vil trolig røyk lettere vil finne veien forbi skilleveggene og spre seg raskere ut i svalgangen. Ved vind vil mer frisk luft blandes inn i røyken og faren for at kritiske forhold skal oppstå vil reduseres.

Den økonomiske merkostnaden ved løsningen vil være betydelig. Da svalgangen må bygges enda lenger ut fra fasaden enn normalt. Både i materialer og arbeidstid vil dette trolig være merkbart dyrere enn den preaksepterte løsningen. Det er også et poeng i at når fasaden stikkes lenger ut kan påvirke innsparingene svalgangen gir i forhold til nabogrenser. En positiv effekt ved å fjerne dørene i skilleveggene – selv om effekten er relativt liten – er at behovet for vedlikehold vil reduseres.

Løsningen vil helt klart ha en merkbar innvirkning på byggets uttrykk. Både sett på avstand og fra innsiden av svalgangen. Om denne påvirkningen er negativ eller positiv er vanskelig å si, og vil nok være helt avhengig av arkitektens egenskaper. Løsningen er den beste med hensyn til det arkitektoniske, i følge Sivilarkitekt, Einar Sjøvik ved OPUS Arkitekter AS. «Dette er fordi man får brutt opp den monotone fasaden med utstikk, og man får nye opplevelser og vertikal innsikt.»<sup>8</sup>

Det vil for øvrig være mulig å bevege seg fra ende til annen i svalgangen, uten å måtte forsere dører og lignende. Skilleveggene vil også være tette og antatt å være relativt lette å vedlikeholde.

---

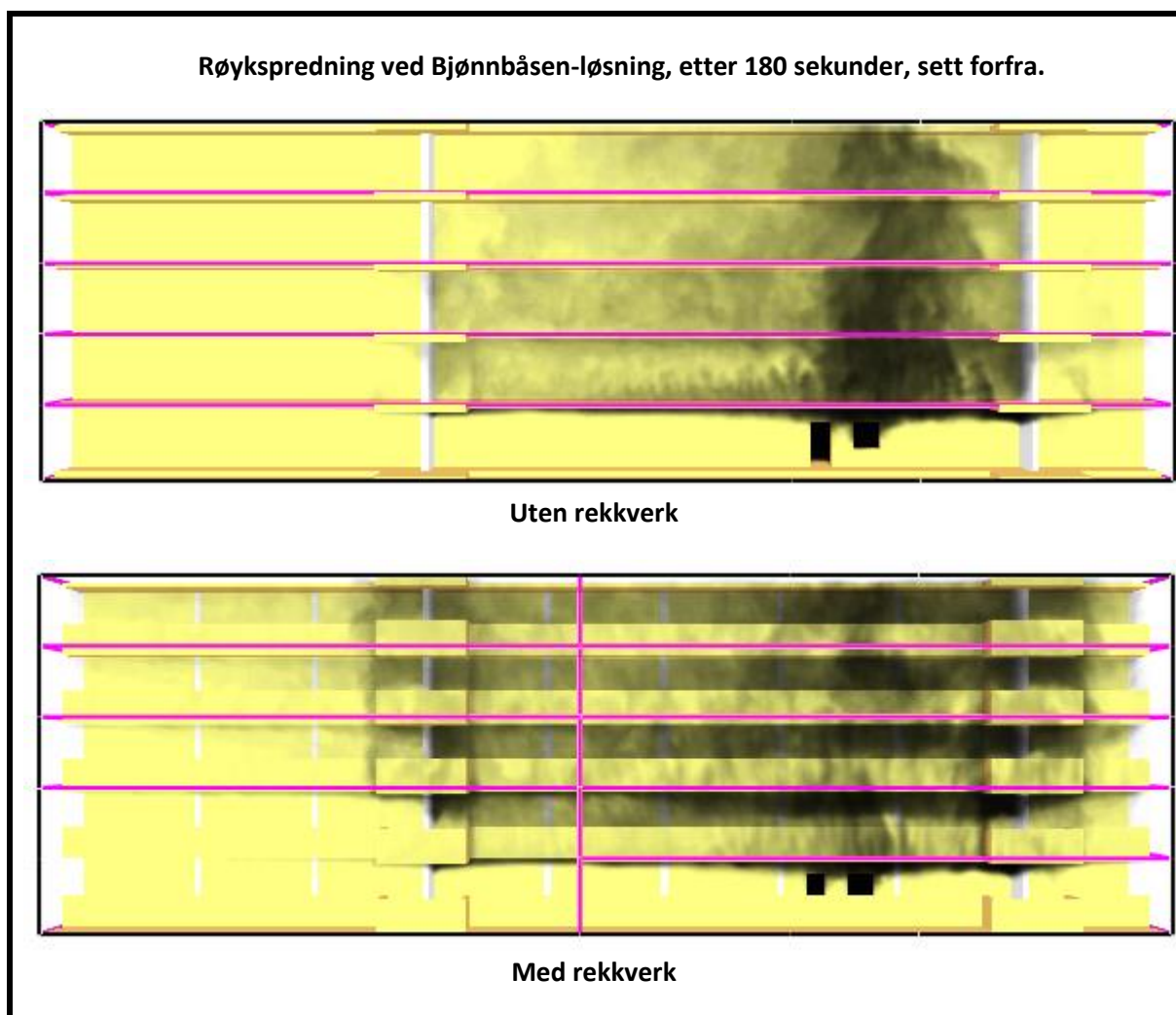
<sup>8</sup> Samtale med Einar Sjøvik, Sivilarkitekt ved OPUS Arkitekter AS, 29.04.2013.

### 8.1.2 Kvalitative resultater fra simulering

Figur 8.2 og Figur 8.3 viser røykspredningen for Bjønnbåsen-løsningen.

I løsningen med rekkverk spres røyken forbi skilleveggene. Det er lite røyk i første etasje, men i etasjene over er det et relativt tykt røyklag. Uten rekkverk blir det noe tynnere røyklag, og spredningen er noe mindre i de øverste etasjene.

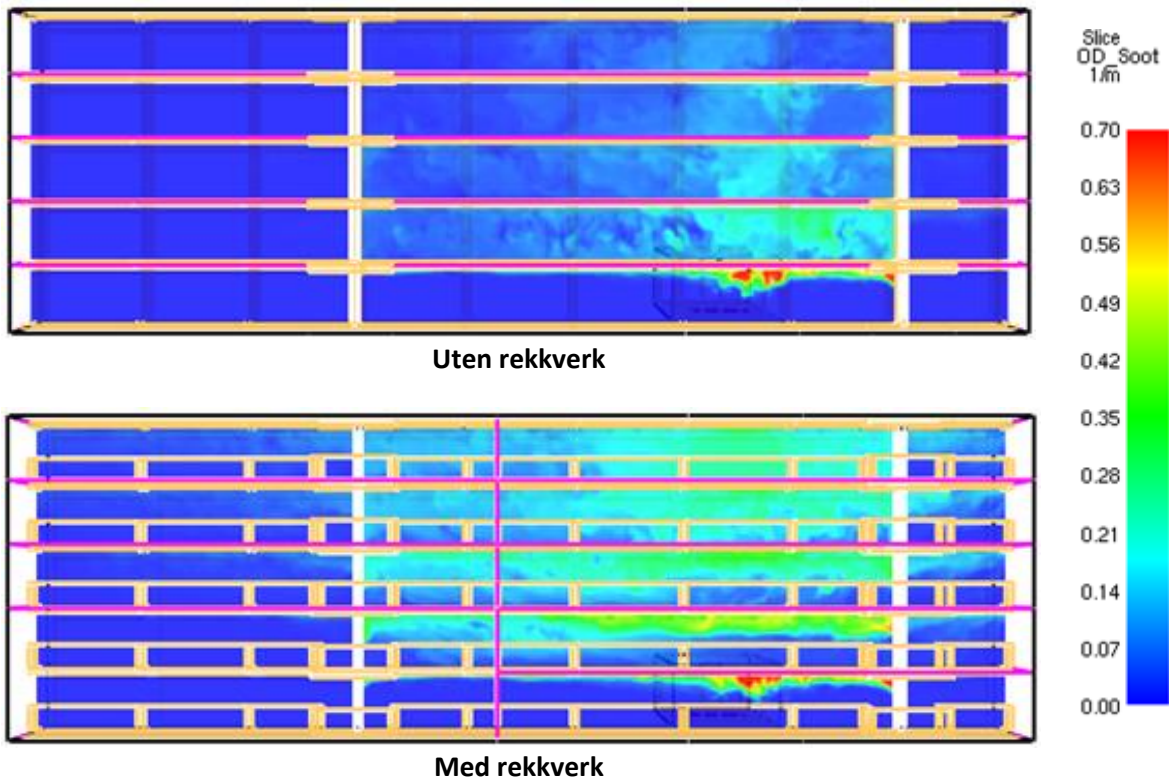
I svalgangen med rekkverk er det svært tett røyk i store deler av svalgangen mellom skilleveggene i andre etasje og oppover. Det er også noe røyk på begge sider av skilleveggene. Uten rekkverk er røyken begrenset til området innenfor skilleveggene, og i all hovedsak da parallelt over brannleiligheten. Røyken fyller også opp hele høyden av svalgangen rett utenfor leilighetene i andre og tredje etasje, direkte over brannleiligheten.



Figur 8.2: Røykspredning ved Bjønnbåsen-løsning, etter 180 sekunder, sett forfra



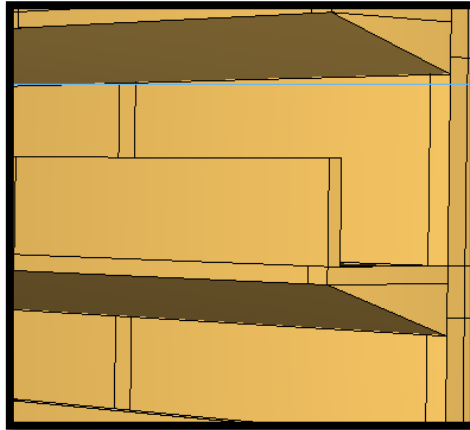
Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen ved Bjønnbåsen-løsning etter 180 sekunder



Figur 8.3: Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen ved Bjønnbåsen-løsning etter 180 sekunder

## 8.2 Skråtak

Varm røyk stiger, og av den grunn vil den først samle seg oppunder taket i svalgangen. Under et horisontalt tak må røyken bevege seg horisontalt ut til kanten på taket for å slippe ut i det fri. Ved å vinkle taket opp- og utover benyttes oppdriften i den varme røyken til raskere å transportere røyken ut i det fri. Taket må for øvrig ha en tilfredsstillende brannklassifisering og det er viktig at taket utføres tett og ikke tillater røyk å spre seg i et eventuelt mellomrom mellom dekke for svalgangen over og taket.



Figur 8.4: Skråtak fra PyroSim

### 8.2.1 Kvalitativ vurdering

Med tanke på horisontal røykspredning vil røyken kunne strømme ut ifra åpen dør og vindu ved en brann i leiligheten. Røyken vil spre seg radially ut fra der den treffer taket. Her vil den følge minste motstands veg, og på grunn av oppdriften vil dette være ved å følge skråtaket ut i det fri. På denne måten vil røyken bevege seg raskere oppover enn bortover. På denne måten vil det skrånende taket begrense både røykoppstillingen under taket og den horisontale røykspredningen i svalgangen.

Ved å begrense den horisontale røykoppstillingen og -spredningen vil brannspredningen begrenses og tilgjengelig rømningstid økes. Dette i form av at ved redusert oppsamling av røyk vil temperaturen og strålingen fra røyklaget reduseres.

Vertikal røykspredning reduseres antageligvis også ved bruk av denne løsningen. Røyk vil bevege seg langs taket og ut mot friskluft i alle etasjer.

Det antas at det er begrenset hvordan løsningen påvirkes av vindretning i forhold til spredning av røyken. Ved vind vil mer frisk luft blandes inn i røyken og faren for at kritiske forhold skal oppstå vil reduseres.

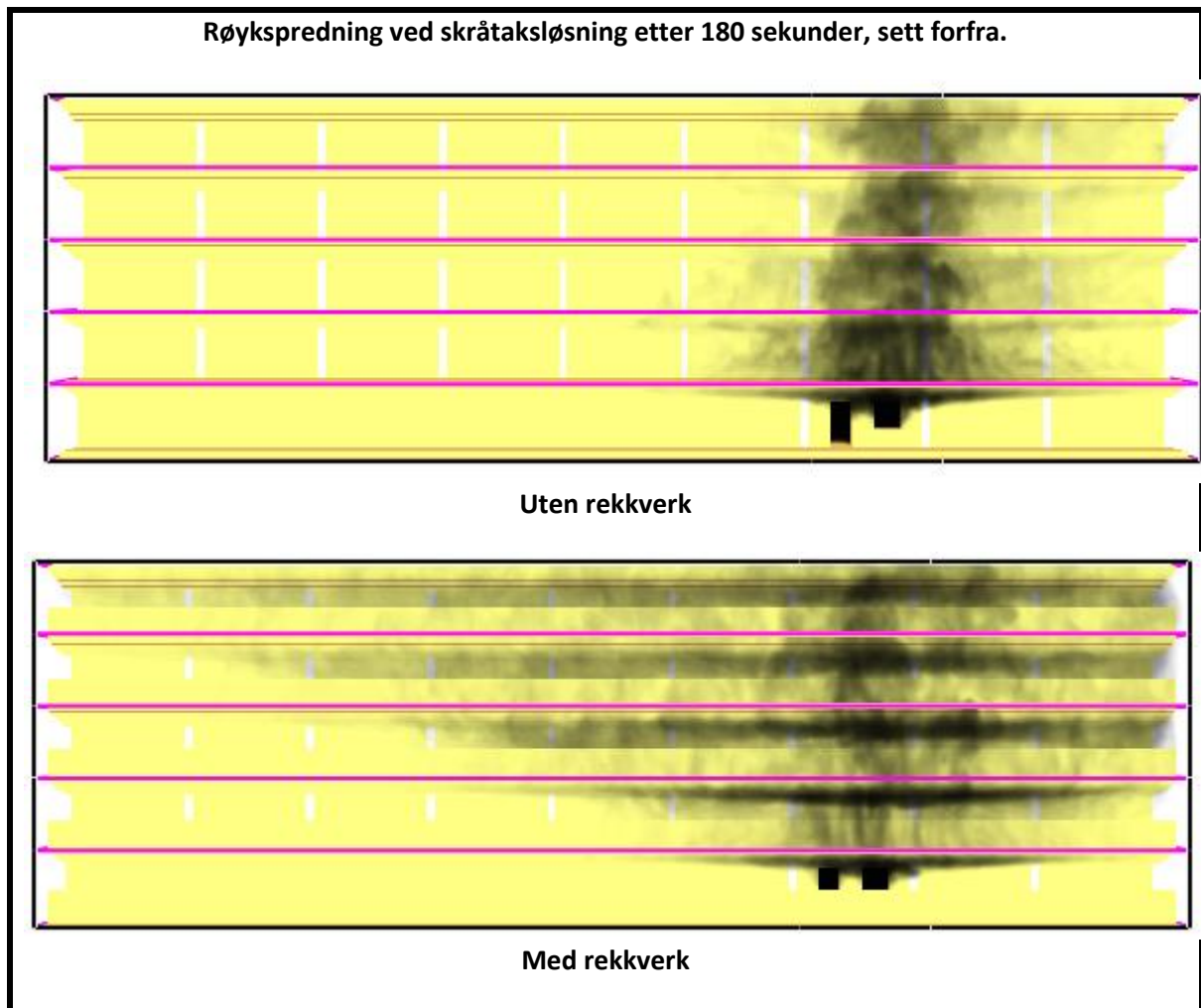
Den økonomiske merkostnaden er antatt å være liten. Forskjellen mellom materialbehovet ved skrått tak og flatt tak er trolig relativt lite. Arbeidstid behøvd for å montere taket vil trolig være noe høyere enn for et flatt tak.

Rent estetisk vil nok ikke løsningen gjøre noen stor forskjell på byggets uttrykk. Takhøyden kan komme til å føles lavere innerst mot fasaden, men dette er heller tvilsomt gitt høyden på løsningen.

### 8.2.2 Kvalitative resultater fra simulering

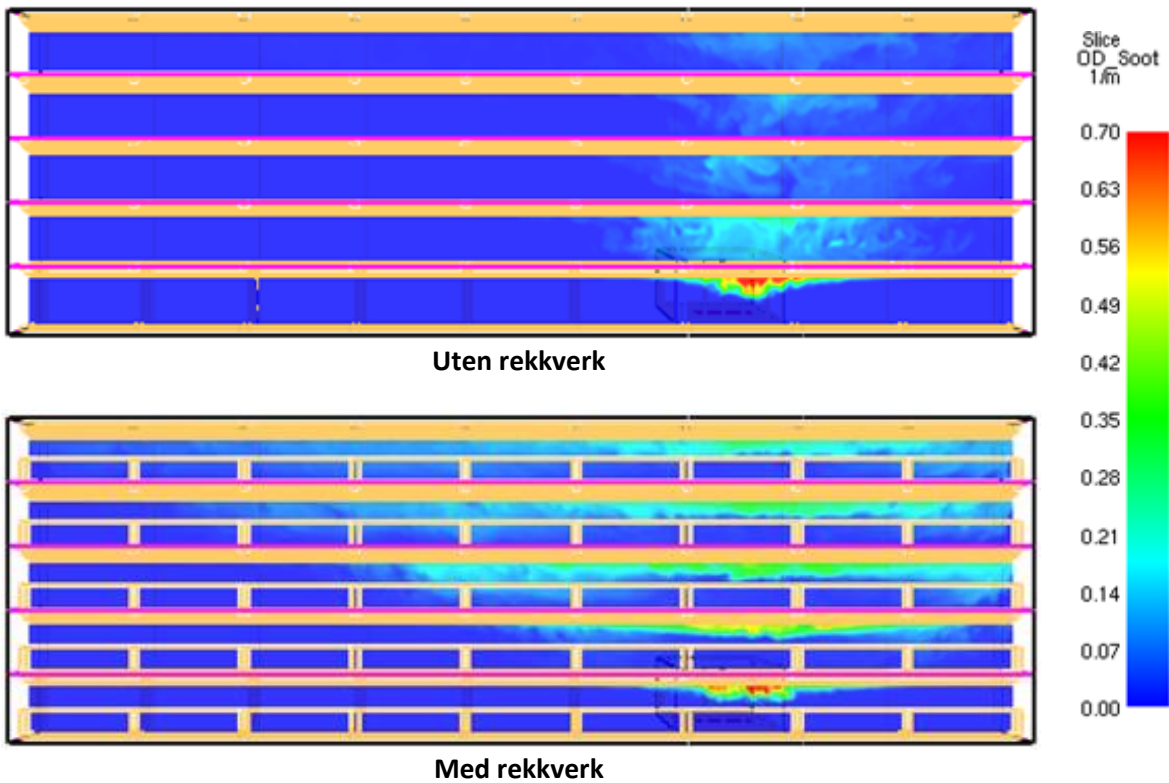
Det vises en klar forskjell mellom de to løsningene. Røykspredningen i løsningen uten rekkverk er begrenset i bredden. Røykspredningen i bredden er begrenset til én leilighetsbredde på hver side av brannleiligheten. Dette vises bedre i Figur 8.5 og Figur 8.6.

Figurene viser også hvordan røyken spres i svalgangene. I løsningen med rekkverk legger røyken seg i et klart lag under svalgangstakene i hver etasje. I svalgangen uten rekkverk er røyklaget mer turbulent og brer seg over hele høyden på svalgangen i andre etasje. Spredning i bredden er svært begrenset og røyken er også tynnere enn i løsningen med rekkverk.



Figur 8.5: Røykspredning ved skråtaksløsning etter 180 sekunder, sett forfra.

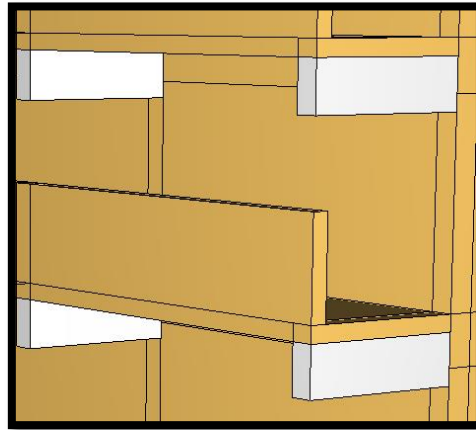
Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen ved skråtaksløsning etter 180 sekunder



Figur 8.6: Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen ved skråtaksløsning etter 180 sekunder

### 8.3 Røykskiller

Bruk av røykskiller/røykgardiner/avtrekksskjørt er mye brukt i forbindelse med røykventilasjon i blant annet større forsamlingslokaler og atrier (Opstad & Stensaas). Røykskiller begrenser den horisontale røyk- og brannspredningen ved å være en fysisk hindring for røyk og flammer. Løsningen består av skiller i taket som strekker seg fra fasaden og ut til enden på taket, fordelt på hensiktsmessige intervaller. I denne løsningen er det valgt å plassere skiller i taket på hver side av leilighetene. Se Figur 8.7: Røykskiller fra PyroSim. Skillene må for øvrig ha en tilfredsstillende brannklassifisering.



Figur 8.7: Røykskiller fra PyroSim

#### 8.3.1 Kvalitativ vurdering

Løsningen er brukt i forbindelse med røykventilasjon i blant annet større forsamlingslokaler og atrier for å begrense den horisontale røykspredningen (Opstad & Stensaas). I så måte er denne løsningen allment akseptert i sammenheng med begrenset røykspredning. Sett i sammenheng med at ventileringen vil være siden ut mot friluft, burde løsningen kunne håndtere store mengder røyk. Samtidig begrenser også skilleveggen spredningen av stikkflammer fra leiligheten.

Ved at skillene er satt så tett sammen, kan det tenkes at oppsamlingen av røyk mellom de to nærmeste skillene vil bli betydelig. Avstanden mellom to skiller og hvor langt ned fra taket skillene strekker, vil trolig spille inn på dette.

Vertikal røykspredning vil mest sannsynligvis holde seg tilnærmet parallelt. Dvs. at dersom den horisontale røykspredningen i brannetasjen blir begrenset mellom to skiller, vil nok den begrensningen også være gjeldende for overliggende etasjer. Også ved den vertikale spredningen vil det være en viss fare for oppsamling av røyk på et mindre areal.

Ved oppsamling av røyk vil både risikoen for brannspredning og rømningsforhold bli dårligere. Men på grunn av den relativt korte avstanden mellom røykskillerne vil kritiske forhold mest sannsynligvis bare oppstå mellom skillene nærmest brannleiligheten. I lys av dette kan det antas at både brann- og rømningsikkerhet generelt i bygget vil øke ved bruk av denne løsningen.

Løsningen vil nok være noe sårbar for vindpåvirkning. Ved vind fra sidene, forfra eller en kombinasjon vil vinden kunne skyve røyken med seg under og forbi skillene i taket. Dette fører da

til at horisontal røykspredning vil være et større problem, men ved vind vil også mer frisk luft blandes inn i røyken og faren for at kritiske forhold skal oppstå vil reduseres.

De økonomiske merkostnadene til å bruke denne løsningen i forhold til den preaksepterte løsningen vil nok ikke være store. Materialkostnaden for å sette opp skillene vil nok være omtrent lik det å bygge skillevegger med dører. Arbeidstid for å sette opp slike skiller vil nok heller ikke være spesielt lang. I vurdering av løsningene nevner sivilarkitekt, Einar Sjøvik at dette nok vil være den beste praktiske og bygningstekniske løsningen. Røykskillene vil kunne være utkragninger fra etasjeskillene og slik eliminere behov for andre bærende konstruksjoner av svalgangen. Ved en slik løsning vil kuldebroer kunne bli en utfordring.<sup>9</sup>

Estetisk vil skillene føre til en åpnere svalgang, hvor man i teorien skal kunne se og bevege seg, uten hindringer, fra den ene enden til den andre. Dette vil trolig føre til at svalgangen føles friere og orientering i svalgangen vil bli lettere – selv om det ikke vil være spesielt komplisert i utgangspunktet, heller.

Vedlikeholdet av skillene vil være minimalt og kan sammenlignes med resten av fasaden. I og med at skillene henger under taket reduserer dette også hvor mye de vil utsettes for påkjenninger av vær og vind.

### 8.3.2 Kvalitative resultater fra simulering

Figur 8.8 og Figur 8.9 viser hvordan røykspredningen vil være ved bruk av røykskiller i taket.

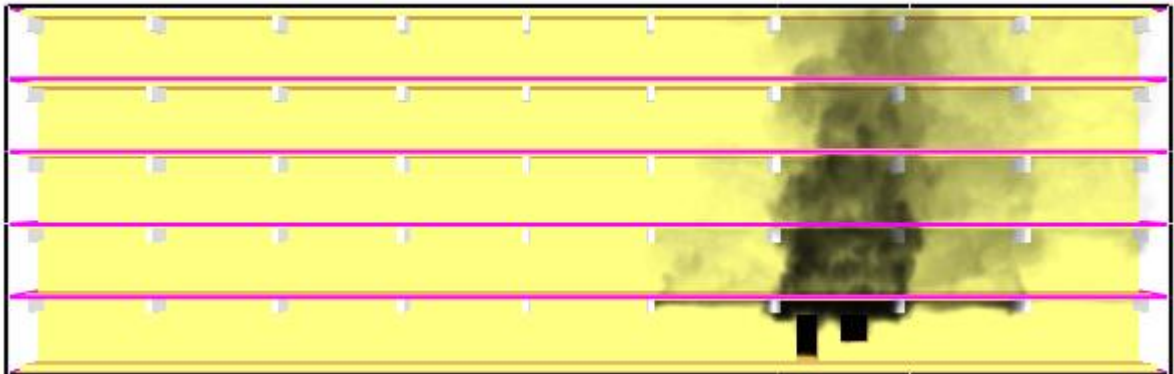
Røykspredningen er, i løsningen uten rekkverk, i all hovedsak begrenset til leilighetene parallelt i høyden med brannleiligheten. I løsningen med rekkverk sprer røyken seg under taket. I andre etasje er røyken spredd med en bredde på én leilighet på hver side av brannleiligheten. I tredje etasje og oppover er røykspredningen på en bredde på to leiligheter på hver side av brannleiligheten. Dette vises nærmere i Figur 8.8 og Figur 8.9.

I svalgangen med rekkverk holder røyken seg hovedsakelig under taket på svalgangen, men trekker nærmere gulvet i de høyere etasjene. Også i svalgangen sprer røyken seg mer i bredden enn med løsningen uten rekkverk. I løsningen uten rekkverk er røyken i all hovedsak samlet under taket mellom de nærmeste røykskillene.

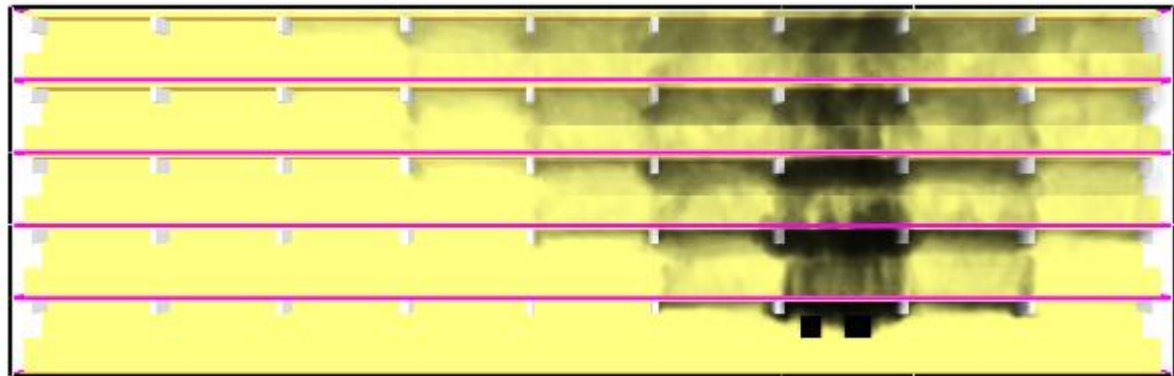
---

<sup>9</sup> Samtale med Einar Sjøvik, Sivilarkitekt ved OPUS Arkitekter AS, 29.04.2013.

Røykspredning med bruk av røykskiller, ved 180 sekunder, sett forfra.



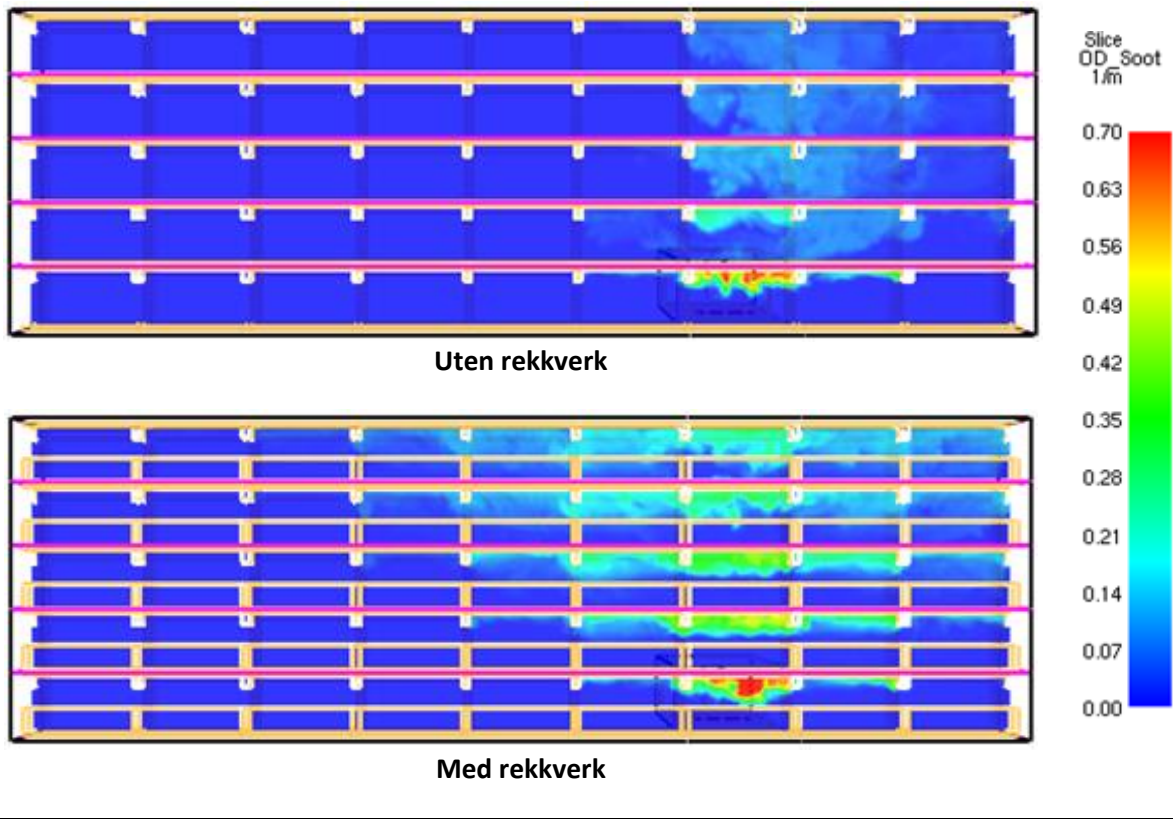
Uten rekkverk



Med rekkverk

Figur 8.8: Røykspredning med bruk av røykskiller, ved 180 sekunder, sett forfra

Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen med bruk av røykskiller, ved 180 sekunder

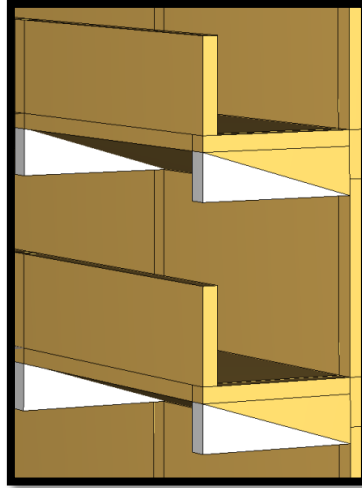


Figur 8.9: Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen med bruk av røykskiller, ved 180 sekunder



## 8.4 Skråtak med røykskiller

Løsningen slår sammen de to foregående løsningene med skråtak og røykskiller. I tillegg til informasjonen i de foregående delkapitlene, kan nevnes at skillene og røykskillet er like høye under taket lengst inne mot fasaden. Selv om taket skråner vil røykskillene være trukket like langt ned helt ut til kanten på taket. Se Figur 8.10.



Figur 8.10: Skråtak med røykskiller fra PyroSim

### 8.4.1 Kvalitativ vurdering

Løsningen slår sammen to av de tidligere nevnte løsningene med røykskiller og skrånende tak. På denne måten er det antatt at effekten av de to vil øke. Volumet mellom de enkelte skillene vil bli halvert på grunn av det skrånende taket. Dette vil nok føre til at mer røyk vil spre seg horisontalt, men likevel vil bli begrenset. I og med at taket skråner vil også røyken unnsnippe raskere ut i det fri. Det er usikkert om røyken slipper ut så mye raskere at det gjør opp for det manglende volumet. Innerst ved fasaden, hvor røykskillene og taket er like høye, vil det i realiteten ikke være et fungerende røykskille. Også på grunn av dette vil nok det bli noe mer horisontal røykspredning.

Tilsvarende de to sammenslåtte løsningene hver for seg, antas det at vertikal røykspredning vil begrense seg til å være direkte ovenfor brannleiligheten. Røyken vil også slippe raskere ut på grunn av det skrånende taket. På denne måten vil brann- og rømningssikkerheten generelt for bygget økes.

Løsningen vil nok være noe mer sårbar for vind enn løsningen med bare røykskiller, men mer robust enn løsningen med bare skrått tak. Dette vil i hovedsak være på grunn av begrensingen røykskillene får lenger inn mot fasaden, hvor taket og skillet har samme høyde. I forhold til løsningen med skrånende tak, vil nok den sammenslåtte løsningen være mindre sårbar på grunn av skillene. Generelt sett antas det at løsningen vil være nokså robust med tanke på vind.

Den økonomiske merkostnaden ved den sammenslåtte løsningen vil logisk nok være høyere enn ved den enkelte løsning hver for seg. Trolig vil kostnaden likevel være akseptabel og mest sannsynlig ikke være betraktelig høyere enn skilleveggene i den preaksepterte løsningen.

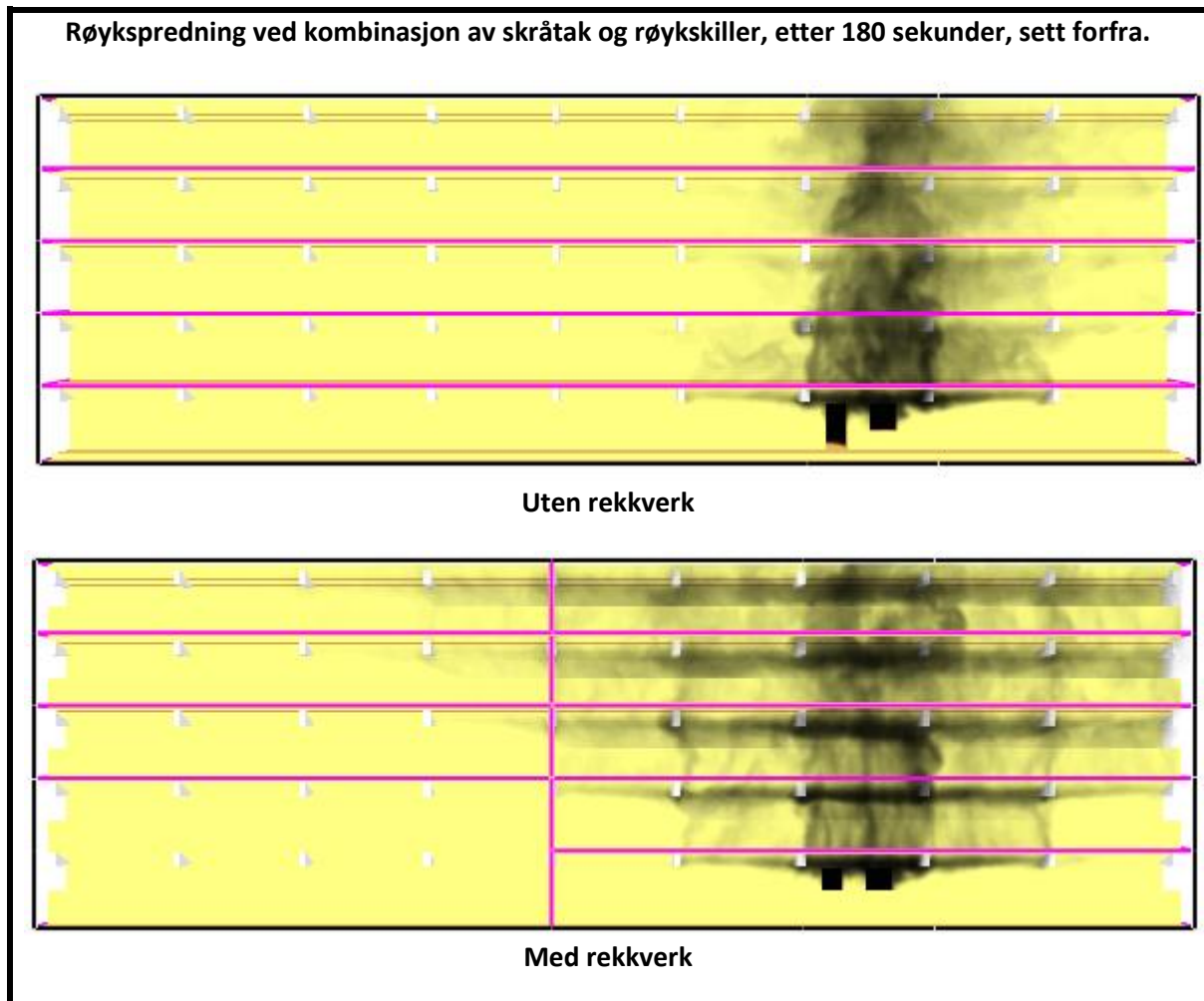
Det estetiske uttrykket vil ikke endres stort, selv om både skiller og skråtak vil vises mer igjen enn ved et horisontalt tak. Igjen vil sammenslåingen av løsningene føre til en sammenslåing av

effektene tiltakene vil ha på bygget. Svalgangen vil bli åpnere, bevegelse i svalgangen vil bli mer frigjort og vedlikeholdet for de sammenslåtte løsningene vil nok muligens øke noe i forhold til den enkelte løsning.

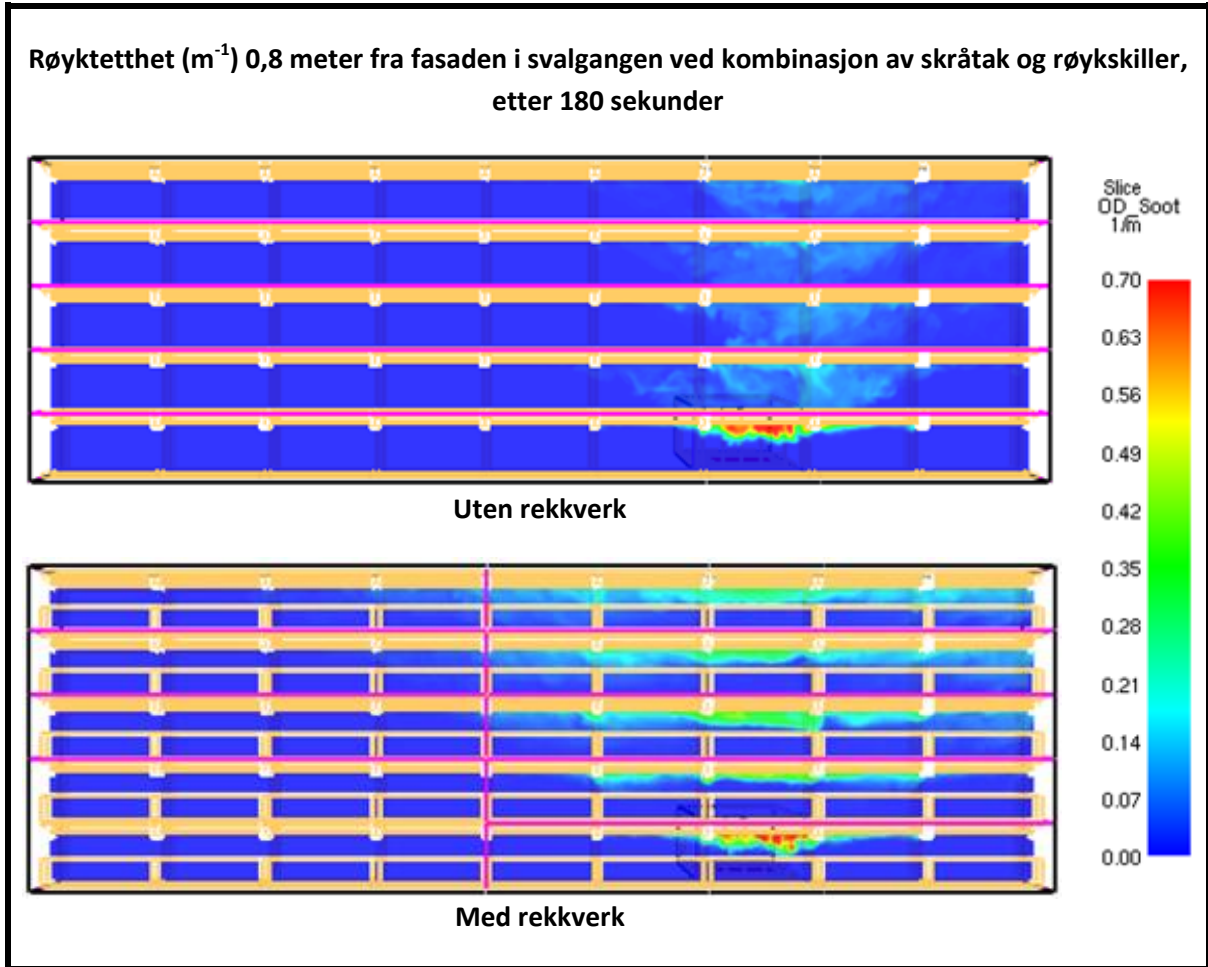
#### 8.4.2 Kvalitative resultater fra simulering

I Figur 8.11 og Figur 8.12 vises røykspredningen ved bruk av en kombinasjonsløsning av skråtak og røykskiller. Røykspredningen i løsningen uten rekkverk er i stor grad begrenset til området parallelt over brannleiligheten. Med rekkverk er det hovedsakelig en utstrekning på én leilighet på hver side av brannleiligheten.

I løsningen med rekkverk ligger røyken hovedsakelig under taket, over rekkverket. Røyken sprer seg i bredden med omtrent én leilighet i hver retning for hver etasje, men ikke lenger enn to leilighetsbredder på hver side av brannleiligheten. Dette vises bedre Figur 8.12. I løsningen uten rekkverk er det i andre etasje og oppover, et tynt røyklag med en bredde tilsvarende to leiligheter.



Figur 8.11: Røykspredning ved kombinasjon av skråtak og røykskiller, etter 180 sekunder, sett forfra

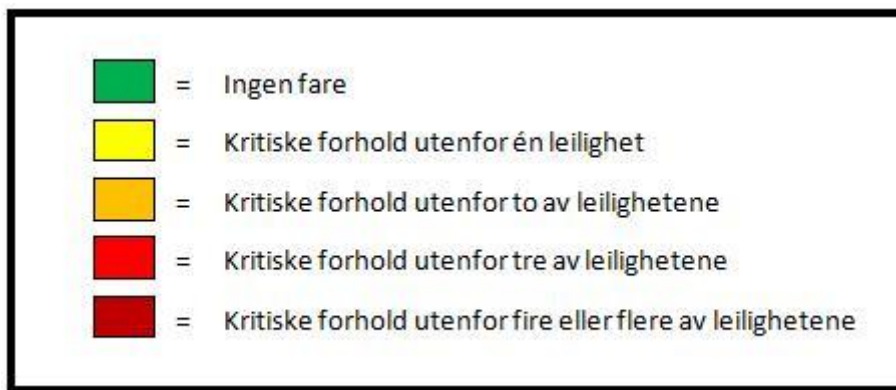


Figur 8.12: Røyktetthet ( $m^{-1}$ ) 0,8 meter fra fasaden i svalgangen ved kombinasjon av skråtak og røykskille, etter 180 sekunder

## 9 Resultater fra kvantitativ sammenligning av løsningene

Ut ifra de kvalitative vurderingene gjort i kapittel 8 er kombinasjonsløsningen med skråtak og røykskiller vurdert til å være den beste løsningen, med tanke på reduksjon av røykspredning i svalgangen. Løsningen ser ut til å gi en tilfredsstillende begrensning av røykspredningen i både horisontal og vertikal retning. For videre å kunne sammenligne løsningene – preakseptert løsning og kombinasjonsløsningen – ved et reelt brannforløp ble det utført simuleringer, hvis resultater presenteres i dette kapittelet.

Kapittelet vurderer når kritiske forhold oppstår utenfor leilighetene i de forskjellige etasjene. For lettest å presentere dette ble det satt opp én matrise for hver løsning. Disse viser når kritiske forhold oppstår med tanke på røykespredning og redusert sikt, og temperatur. I henhold til NS 3901:1998 er kritiske forhold nådd når temperaturen i røyken overstiger 60 °C og/eller sikten er mindre enn 10 meter i 2 meters høyde (Norges Standardiseringsforbund, 1998). I Figur 9.1 vises de ulike graderingene brukt i matrisen.



Figur 9.1: Oversikt over klassifiseringer brukt i matrise for kritiske forhold

I matrisen er det også bokstaver for å vise hvilket kritisk forhold som er mest alvorlig. **R** viser til **kritiske siktforhold**, og **T** viser til **kritiske temperaturforhold**. Eksempelvis vil dette bety at dersom det er kritiske siktforhold utenfor én leilighet og kritiske temperaturforhold utenfor to av leilighetene, vil ruten være farget oransje og merket med en T. Der hvor det ikke står innskrevet en bokstav vil både temperatur og røyk være gi samme forhold.

De innledende simuleringene viste er det en signifikant forskjell i svalganger med tett rekkverk og svalganger med rekkverk som tillater stor luftgjennomstrømning (spiler). Av denne grunn velges det å presentere resultatene i forhold til dette.

## 9.1 Løsninger med rekkverk

I dette delkapitlet presenteres resultatene fra simuleringene gjort for den preaksepterte og den valgte kombinasjonsløsningen med skråtak og røykskiller – begge med rekkverk.

### 9.1.1 Kritiske forhold

I henhold til NS 3901:1998 er kritiske forhold nådd når temperaturen i røyken overstiger 60 °C og/eller sikten er mindre enn 10 meter i 2 meters høyde (Norges Standardiseringsforbund, 1998).

Tabell 9.1: Matrise for kritiske forhold for den preaksepterte løsningen med rekkverk.

		Tid [s]																		
		30	...	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
Etasje	5															R		T		
	4												R			T				
	3												R			R	T			
	2								R	R	R	R								
	1																			

Tabell 9.2: Matrise for kritiske forhold for løsningen med skråtak og røykskiller med rekkverk.

		Tid [s]																		
		30	...	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
Etasje	5											R	R							
	4										R	R				R		R	R	R
	3									R	R	R				R	R	R	R	R
	2									R	R					R	R		R	R
	1																			

Tabell 9.1 viser resultatene for den preaksepterte løsningen og viser at det etter 120 sekunder vil oppstå kritiske forhold utenfor brannleiligheten. I denne etasjen vil ikke det oppstå kritiske forhold utenom dette.

Etter 270 sekunder gjør røyktettheten at sikten i andre etasje er kritisk og rømning ikke lenger mulig utenfor to av leilighetene. I løpet av det neste minuttet forverres forholdene seg i andre etasje, og etter totalt 330 sekunder er det kritiske forhold, på grunn av røyktetthet, utenfor fire eller flere leiligheter i andre etasje.

Fra 360 sekunder til 480 sekunder forverres forholdene gradvis i tredje etasje fra å være kritiske utenfor én leilighet til å bli kritiske utenfor fire eller flere.

I fjerde etasje oppstår det kritiske forhold utenfor én leilighet etter 390 sekunder på grunn av røyktettheten. Forholdene forverres gradvis til det er kritiske forhold utenfor tre leiligheter etter totalt 480 sekunder. De kritiske forholdene forverres ikke mer etter dette.

I øverste etasje oppstår det først kritiske forhold utenfor én av leilighetene etter 450 sekunder. Dette forverres slik at det etter totalt 540 sekunder er kritiske forhold utenfor tre av leilighetene. De kritiske forholdene forverres ikke mer etter dette.

**Tabell 9.2 viser resultatene for løsningen med kombinert skråtak og rekkverk.** Fra 120 til 270 sekunder er det kritiske forhold bare i første etasje, utenfor brannleiligheten. For øvrig blir det ikke dårligere forhold utenfor flere leiligheter i første etasje.

Etter 300 sekunder oppstår det kritiske forhold på grunn av røyktettheten utenfor én leilighet i både andre og tredje etasje. 30 sekunder etter dette oppstår det kritiske forhold, på grunn av røyk utenfor én av leilighetene i fjerde etasje. Ved 360 sekunder, oppstår det kritiske forhold utenfor én leilighet i femte etasje. For øvrig blir det ikke dårligere forhold utenfor flere leiligheter i femte etasje.

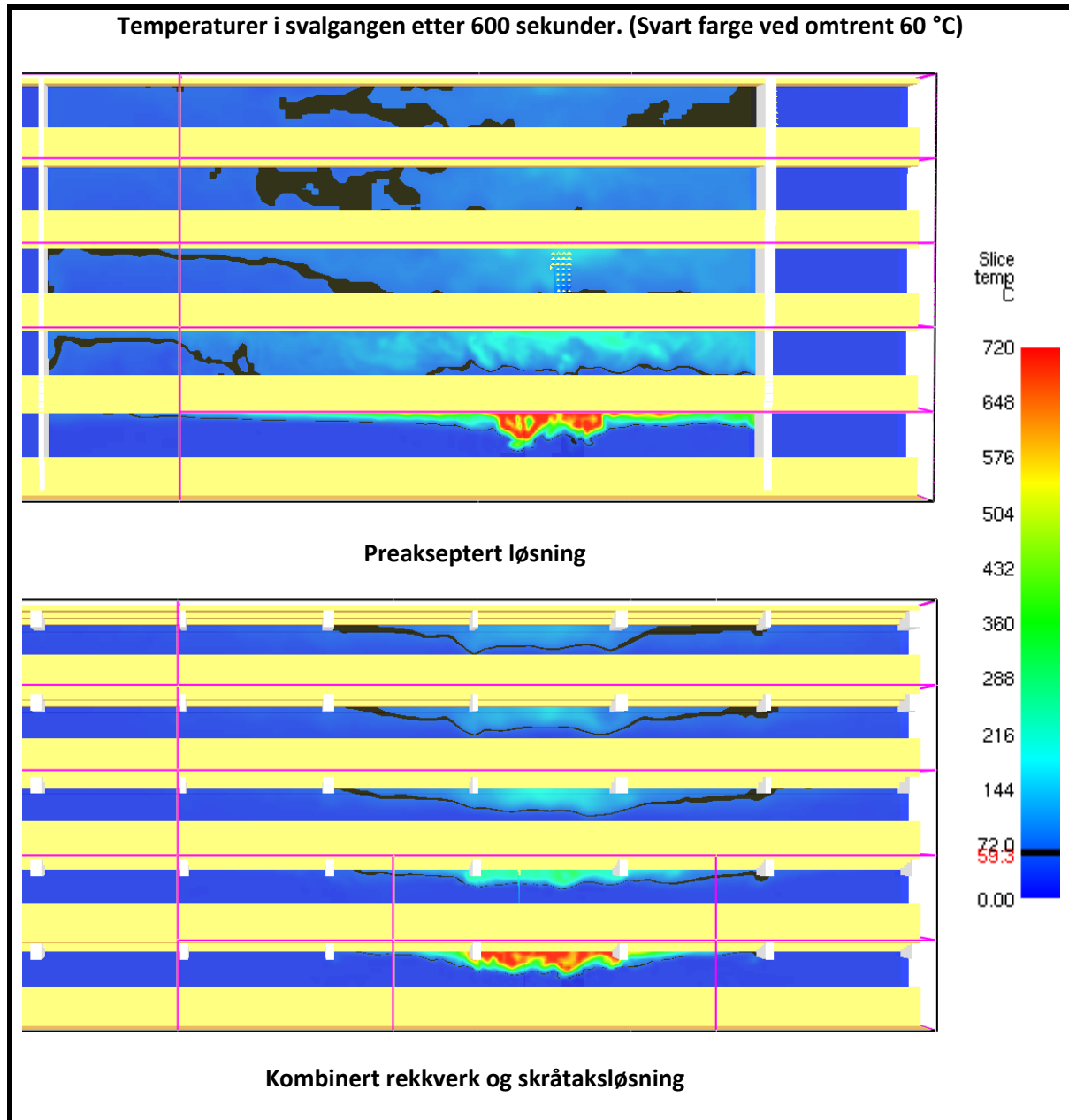
Samtidig viser resultatene at røyken pulserer i andre etasje slik at røyktettheten synker under den kritiske grensen. Pulseringen fortsetter for øvrig gjennom hele brannforløpet i større eller mindre grad.

Forholdene holder seg frem til 480 sekunder ut i brannforløpet. Da sprer røyken seg utover i andre, tredje og fjerde etasje. Det oppstår kritiske forhold utenfor to av leilighetene i tredje og fjerde etasje, og utenfor tre av leilighetene i andre etasje. Alle på grunn av følge av røyk.

I løpet av de neste 2 minuttene, fra 480 til 600 sekunder, varierer røykens utstrekning i andre til fjerde etasje mellom to og tre leiligheter.

### 9.1.2 Temperaturer i svalgangen

Figur 9.2 viser temperaturer i svalgangen etter 600 sekunder. Spesielt markert er når temperaturen er omtrent 60 °C, da dette tilsvarer kritisk temperatur. Selv om stråling ikke er betraktet i denne rapporten, vil det være mulig å gjøre noen antakelser om hvor mye stråling røyklaget kan avgi ved å betrakte temperaturene.



Figur 9.2: Temperaturoversikt i svalgangen etter 600 sekunder i løsninger med rekkverk.

## 9.2 Løsninger uten rekkverk

I dette delkapitlet presenteres resultatene fra simuleringene gjort for den preaksepterte og den valgte kombinasjonsløsningen med skråtak og røykskille – begge uten rekkverk.

### 9.2.1 Kritiske forhold

I henhold til NS 3901:1998 er kritiske forhold nådd når temperaturen i røyken overstiger 60 °C og/eller sikten er mindre enn 10 meter i 2 meters høyde (Norges Standardiseringsforbund, 1998).

Tabell 9.3: Matrise for kritiske forhold for den preaksepterte løsningen uten rekkverk.

		Tid [s]																		
		30	...	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
Etasje	5																			
	4																		T	
	3															T	T	T	T	T
	2												T	T	T	T	T	T	T	T
	1																			

Tabell 9.4: Matrise for kritiske forhold for løsningen med skråtak og røykskille uten rekkverk

		Tid [s]																		
		30	...	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
Etasje	5																			
	4																			
	3																	T	T	T
	2																T	T	T	T
	1																			

Tabell 9.3 viser resultatene for den preaksepterte løsningen. Etter 120 sekunder oppstår det kritiske forhold utenfor én leilighet i første etasje. For øvrig blir det ikke dårligere forhold utenfor flere leiligheter i første etasje.

Etter 360 sekunder oppstår det kritiske forhold utenfor én leilighet i andre etasje. Etter totalt 420 sekunder brer røyken seg ut og det oppstår kritiske forhold utenfor to av leilighetene i andre etasje på grunn av temperatur. 30 sekunder etterpå, totalt 450 sekunder oppstår det kritiske forhold utenfor tre av leilighetene i andre etasje. Det blir ikke dårligere forhold utenfor flere leiligheter i etasjen etter dette.

Etter 480 sekunder oppstår det kritiske forhold utenfor én leilighet i tredje etasje på grunn av temperatur. Det blir ikke dårligere forhold utenfor flere leiligheter i etasjen etter dette.

Etter 570 sekunder oppstår det kritiske forhold utenfor én av leilighetene i fjerde etasje. 30 sekunder etterpå forbedres forholdene og både temperatur og røyktetthet synker til under tålegrensene.

I femte etasje oppstår det ikke kritiske forhold.



**Tabell 9.4 viser resultatene for løsningen med kombinert skråtak og rekkverk.** Etter 120 sekunder oppstår det kritiske forhold utenfor én leilighet i første etasje. For øvrig blir det ikke dårligere forhold utenfor flere leiligheter i første etasje.

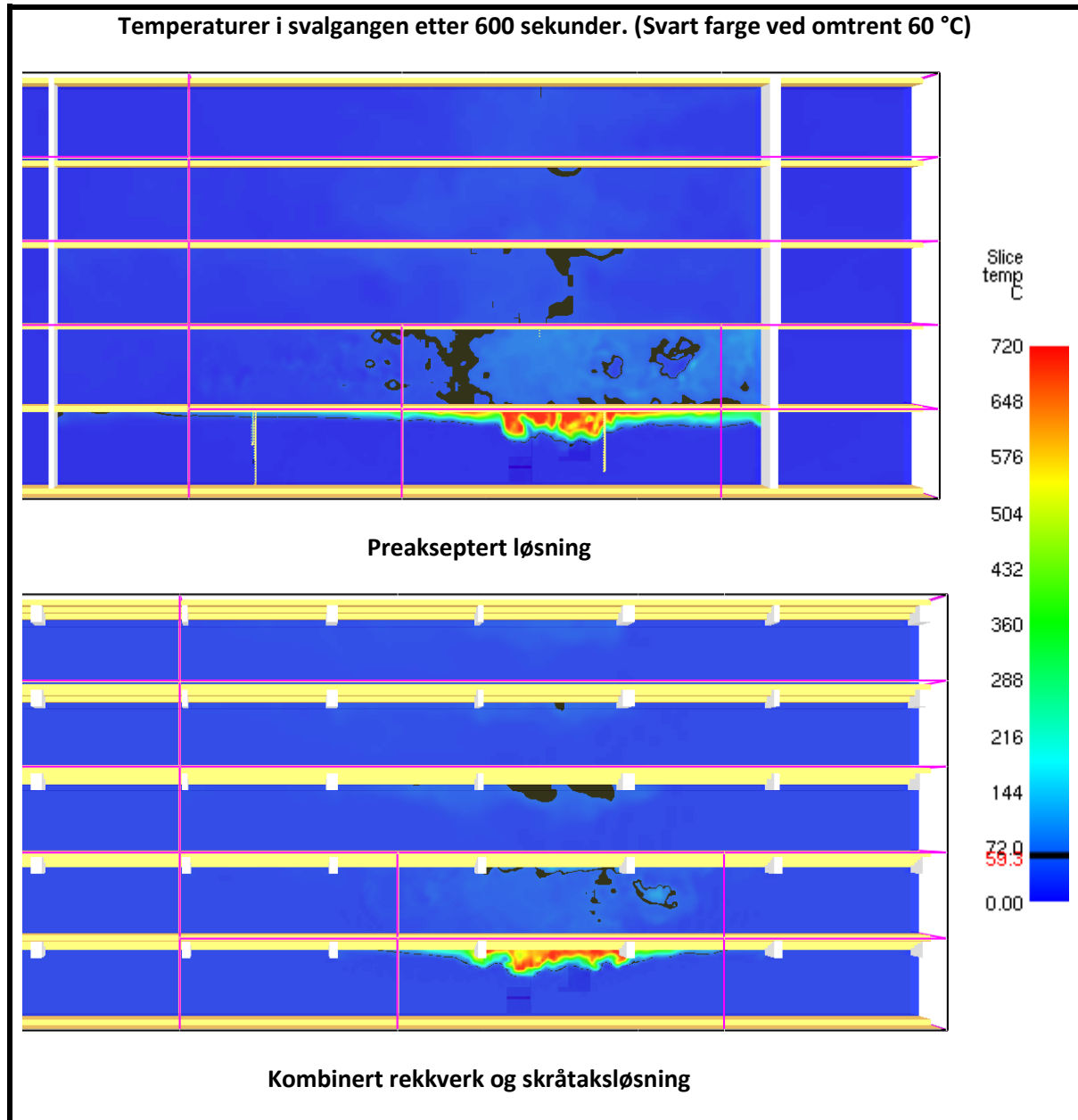
Etter 510 sekunder oppstår det kritiske forhold utenfor én leilighet i andre etasje på grunn av temperatur. Etter 540 sekunder er det kritiske forhold utenfor to av leilighetene i andre etasje. Det blir ikke dårligere forhold utenfor flere leiligheter i etasjen etter dette.

I tredje etasje oppstår det kritiske forhold utenfor én leilighet etter 540 sekunder på grunn av temperatur. Det blir ikke dårligere forhold utenfor flere leiligheter i etasjen etter dette.

I fjerde og femte etasje oppstår det ikke kritiske forhold.

### 9.2.2 Temperaturer i svalgangen

Figur 9.3 viser temperaturer i svalgangen etter 600 sekunder. Spesielt markert er når temperaturen er omtrent 60 °C, da dette tilsvarer kritisk temperatur. Selv om stråling ikke er betraktet i denne rapporten, vil det være mulig å gjøre noen antakelser om hvor mye stråling røyklaget kan avgi ved å betrakte temperaturene.



Figur 9.3: Temperaturoversikt i svalgangen etter 600 sekunder i løsninger uten rekkverk.

## 10 Diskusjon

I en evalueringsrapport fra 2009 ble det konkludert med at «svalgangsløsningen normalt vil være en minst like god rømningsvei som en innvendig korridor» (DiBK, 2009). Sett i lys av at det er kommet nye og strengere krav til brannsikkerheten i svalganger etter 2009, er det naturlig å anta at sikkerhetsnivået har blitt enda bedre og at svalganger fremdeles vil være en minst like god rømningsvei som en innvendig korridor. Målet med denne oppgaven var å finne løsninger bedre enn den preaksepterte veiledningsløsningen med tanke på sikkerhet og kostnad.

Innledningsvis i oppgaven nevnes det noen begrensinger på hvilke faktorer det ble valgt å ta hensyn til. Vindforhold rundt bygg kan variere på uendelig mange måter, og dette måtte begrenses. Generelt i de kvalitative vurderingene kommer det frem at vind kan bidra både positivt og negativt på røykspredningen. Blant annet kan røyken blåses bort fra bygget og svalgangene. Dette fører til en forbedring av rømningsforholdene ved at frisk luft blandes med røyken og røyktettheten reduseres slik at sikten bedres. At vinden skyver røyken foran seg i svalgangen gjør at risikoen for raskere horisontal brann- og røykspredning. Sett i lys av dette må løsningene vurderes om hvorvidt de vil kunne endre oppførsel og virkemåte ved vindpåvirkning.

Opgaven tar heller ikke for seg praktiske forsøk av de foreslåtte løsningene. Av denne grunn ble granskningsrapporter av svalgangsbranner gjennomgått. Med bakgrunn i disse brannene ble det mulig å gjøre realistiske kvalitative vurderinger av de foreslåtte løsningene. I rapportene ble vind, materialer og utføringer av svalgangene identifisert som viktige faktorer.

De tidligere brannene viser at det er flere utfordringer ved brannspredning i svalganger. I kapittel 6, Identifisering av problemer vha. simulering, viste det seg en stor forskjell i svalganger med og uten rekkverk – med meningen **tillater ikke og tillater luftgjennomstrømning**, nærmere vist i kapittel 5.2. Det må nevnes at det aldri vil bygges svalganger uten rekkverk. Derfor kan løsningene simulert helt uten rekkverk være misvisende i forhold til at spiler, stenger og lignende i rekkverket i ulik grad vil påvirke luftstrømningene.

Det er ingen føringer eller anbefalinger i veiledningen om hvordan rekkverk i svalganger skal utføres i forhold til åpenhet med tanke på røyk- og brannspredning. Det nevnes i veiledningen at «rekkverk ikke er å medregne som del av åpningen» i svalgangen. Av denne grunn vil svalganger kunne prosjekteres med både tette og utette rekkverk og det ble valgt å benytte seg av begge ytterpunkter under vurdering av løsningene. Alle resultatene i denne rapporten har vist at en løsning **uten** rekkverk vil være betydelig bedre enn den samme løsningen **med** rekkverk.

På grunn av røykens oppdrift vil en stor del av røyk- og brannspredning foregå oppunder taket. Derfor vil det være mest hensiktsmessig å begrense røykens mulighet for spredning akkurat her. Veiledningen til teknisk forskrift gir en preakseptert løsning for å begrense røyk- og brannspredning i svalgangen. Dette gjøres i hovedsak ved å bygge en skillevegg med maksimal innbyrdes lengde på 30 meter i svalgangen. Ett av målene med denne oppgaven var å finne en løsning bedre enn skilleveggene, for å eliminere kravet til sprinkling av svalgangen når det ble bygget skillevegg. I kapitlet om lowerkets utvikling nevnes den nyeste endringen gjort i veiledningen om krav til sprinkling av svalgangen dersom det er krav til sprinkling ellers i bygget – uavhengig om det bygges med skillevegg eller ikke. Oppgaven viser at flere av løsningene foreslått vil kunne øke brannsikkerheten i bygget til en lavere kostnad enn den veiledende løsningen. I

hovedsak ble dokumentasjon av brannsikkerheten vist gjennom simuleringer. Disse viser at røykspredningen reduseres betraktelig i forhold til den veiledende løsningen.

Simuleringene ble gjort med PyroSim, et grensesnitt for bruk av FDS. I denne sammenheng bør det noteres at FDS-manualen nevner at «programmet er beregnet for brukere kompetente innen fluiddynamikk, termodynamikk, forbrenning, og varmetransport, og bruken er kun ment å supplere en ellers informert vurdering gjort av brukeren» (McGrattan, Klein, Hostikka, Jason, 2007). Gitt at dette er grunnlaget for programmet simuleringene ble utført i, oppstår det noen klare spørsmål om feilkilder i forhold til resultatene. Hvorvidt studenter er kompetente nok innen de tidligere nevnte punktene kan diskuteres, og i hvilken grad disse feilkildene påvirker resultatene er relativt usikkert. Resultatene er sammenlignet med de kvalitative vurderingene gjort før simuleringene. Da de stemmer godt overens, påstås det at resultatene fra simuleringene vil gi et godt bilde på virkeligheten, og at studentene er tilstrekkelig kompetente. Dette er da gitt at avgrensingene i oppgaven er tatt i betraktning.

Oppgaven begrenser seg til å se på byggets geometri – blant annet røykskiller og skrånende tak – og ser bort fra materialenes egenskaper. Dette gir en mulig feilkilde i forhold til resultatene. Ved å se bort fra materialenes egenskaper begrenses bidrag til brann- og røykutvikling ved oppvarming av materialene og varmetap fra røyken til overflatene. Her må det nevnes at det i FDS' INERT-materiale vil forekomme varmetransport, men ingen bidrag til brannen i form av røyk. Materialet er standard i PyroSim og materialets egenskaper kan ikke overføres til virkeligheten.

Det ble heller ikke tatt hensyn til en variasjon av ulike åpninger av dør og vindu. Det ble antatt at både dør og vindu sto helt åpne, og tillot derfor maksimal utstrømning av røyk. Dette ble gjort for å få det verst tenkelige tilfellet (*worst case*) av røykspredning fra leiligheten og ut til svalgangen. I tilfeller der røykspredningen vil være mindre, vil logisk nok sikkerhetstiltakene fungere enda bedre for alle løsninger.

En annen feilkilde i resultatene er avlesing av resultatene. I simuleringene ble det satt opp et tverrsnitt (*slice*) 0,8 meter ut i svalgangen, en isometrisk overflate (*iso surface*) som anga 60 °C og en som anga en røyktetthet på 10 meter. Resultatene ble avlest fra disse utdataene. Det ble noe uklart akkurat hvor høyden på svalgangen var 2 meter – i forhold til NS3901 – og det kunne derfor vært nyttig å ha hatt et tverrsnitt vannrett i 2 meters høyde i hver svalgang. Ved bruk av både de isometriske overflatene og tverrsnittene ble likevel resultatene ganske nøyaktige, og sammenligning av de ulike løsningene var mulig.

Av de ulike løsningene viste det seg å være kombinasjonsløsningen med skrått tak og røykskiller som best begrenset røykspredningen i svalgangene. Dette gjaldt både med og uten rekkverk. Med tanke på de andre løsningene kan det nevnes at Bjønnbåsen-løsningen var den eneste løsningen med **dårligere** resultater enn den preaksepterte løsningen, ved at den tillot røykspredning forbi skilleveggene.

I videre sammenligninger av den utvalgte løsningen – kombinasjonsløsningen med skrått tak og røykskiller – og den preaksepterte løsningen kom det klart frem at det tar lengre tid før kritiske forhold oppstår i kombinasjonsløsningen. Dette gjaldt for både med og uten rekkverk. Dette gjelder ikke for første etasje, der kritiske forhold oppstår etter rundt 120 sekunder på alle

løsningene. I den preaksepterte løsningen oppstod kritiske forhold i andre etasje tidligst etter 270 sekunder og senest etter 360 sekunder. I kombinasjonsløsningen oppstod kritiske forhold i andre etasje tidligst etter 300 sekunder og senest etter 510 sekunder. Dette gjenspeiler forskjellen mellom simuleringene med og uten rekkverk. De tidligste tidene er de med rekkverk og de seneste de uten rekkverk. Og dersom den preaksepterte løsningen med rekkverk sammenlignes med kombinertløsningen uten rekkverk observeres det store forskjeller. I andre etasje oppstår det kritiske forhold etter 270 sekunder i den preaksepterte løsningen med rekkverk, imens det i kombiløsningen oppstår først etter 510 sekunder – 4 minutter senere. Forholdene blir heller ikke så alvorlige i kombiløsningen som ved den preaksepterte løsningen.

Det viser seg at det vil variere om det er røyktetthet eller temperaturer som først vil føre til at kritiske forhold oppstår ved simulering med og uten rekkverk. I løsningene med rekkverk er det siktforholdene som først blir kritiske og fører til at rømning ikke lenger er mulig. Uten rekkverk er det derimot temperaturene som først fører til kritiske forhold. Når dette er sagt må det nevnes at kritiske temperaturforhold oppstår tidligere i løsningene med rekkverk før de oppstår i løsningene uten – hhv. 270 sekunder i preakseptert med rekkverk. mot 360 sekunder uten rekkverk. Hovedgrunnen for dette er hvordan røyken fordeles ved de ulike løsningene. Ved bruk av rekkverk legger røyken seg under taket og beveger seg gradvis ned mot gulvet. Uten rekkverk fordeles røyken på hele høyden i svalgangen i tillegg til at den lettere slipper ut fra svalgangen. På denne måten vil røyken i svalgangene uten rekkverk være tynnere, men etter hvert bli så varm at den overskrider temperaturkriteriene.

Under oppgavens gang har det vært foreslått flere løsninger enn de nevnt i rapporten. Disse løsningene involverte vifter, sjakter, avtrekk, skjermer og annet ble foreslått. Disse kom ikke med i rapporten av ulike grunner. Noen ble forkastet etter en rask kvalitativ vurdering på grunn av antatt store kostnader, begrenset virkningsgrad eller forverring av forholdene. Andre ble forkastet på grunn av at løsningene var ikke gjennomførbare eller ønskelige på et bygg.

## 11 Konklusjon

Svalganger gir store fordeler sammenlignet med andre innvendige rømningsveier i forhold til ventilasjon og tilgjengelighet i forhold til rømning. Røykspredning er et større problem mellom etasjene enn ved lukkede, innvendige rømningsveier. Derfor vil det være nødvendig å begrense spredningen av røyk både i lengden av svalgangen, så vel som i høyden mellom etasjene.

Det konkluderes med at svalganger med rekkverk som tillater stor luftgjennomstrømning – spiler, smijern, etc. – øker tilgjengelig rømningstid ved å begrense røykspredningen. Dersom det i tillegg benyttes en løsning med et skrånende tak, med røykskiller under taket mellom hver boenhet/leilighet – eller andre løsninger for å begrense røykspredning – vil dette gi en stor økning i brann- og personsikkerhet.

For videre arbeid med svalgangsproblematikk ved brann foreslås det å se nærmere på interaksjonen mellom løsninger presentert i oppgaven og bruk av sprinkleranlegg. I tillegg vil det være av stor nytte for videre dokumentasjon av løsningene å teste virkningen under reelle forhold i form av forsøk. Inkludering av én eller flere av de avgrensinger i oppgaven ved videre simuleringer eller forsøk er også av stor interesse for videre utvikling av løsningene. En overordnet målsetting kan være å få videreutvikle én eller flere av løsningene til en veiledningsløsning i samarbeid med DiBK.

## 12 Referanser

- Adolfson, T. K. & Andersen, T. S. (2009, 5. februar). Brann & Sikkerhet. *Er svalganger sikre? (1-2009)* Hentet 6. februar 2013 fra <http://www.brannvernforeningen.no/Nyheter/Arkiv/2009/Er-svalganger-sikre>
- Brannmannen. (2000, 5. desember). *Brannen i Solplassen bo- og servicesenter – Bergen, (6-2000)*. Hentet 6. februar 2013 fra <http://www.brannmannen.no/arkiv.aspx?M=NewsV2&PID=17&NewsID=1412>
- Brannmannen. (2008, 29. mars). *Dramatisk brann i Kabelvåg, (2-2008)*. Hentet 29. januar 2013 fra <http://www.brannmannen.no/arkiv.aspx?M=NewsV2&PID=17&NewsID=256>
- Dalløkken, P. E. & Hamnes, L. Teknisk Ukeblad. *Forsikringsselskap krever svalgang-tillegg*. (2008, 1. oktober). Hentet fra <http://www.tu.no/bygg/2008/10/01/forsikringsselskap-krever-svalgang-tillegg>
- DiBK (Direktoratet for Byggkvalitet). (1997). *Veiledning til teknisk forskrift til Plan- og Bygningsloven, 1997 1.utgave*. Hentet 11. februar 2013 fra <http://byggeregler.dibk.no/cms/content/uploads/20120130104634302.pdf>
- DiBK (Direktoratet for Byggkvalitet). (1999). *Veiledning til teknisk forskrift til Plan- og Bygningsloven, 1997 2.utgave*. Hentet 11. februar 2013 fra <http://oppslagsverket.dsb.no/content/arkiv/plan-bygg/Veiledning-REN-til-forskrift-om-krav-til-byggverk-%28TEK%29-2-utgave/>
- DiBK (Direktoratet for Byggkvalitet). (2003). *Veiledning til teknisk forskrift til Plan- og Bygningsloven, 1997 3.utgave*. Hentet 11. februar 2013 fra <http://oppslagsverket.dsb.no/content/arkiv/plan-bygg/Veiledning-REN-til-forskrift-om-krav-til-byggverk-%28TEK%29-3-utgave/>
- DiBK (Direktoratet for Byggkvalitet). (2007). *Veiledning til teknisk forskrift til Plan- og Bygningsloven, 1997 4.utgave*. Hentet 11. februar 2013 fra <http://byggeregler.dibk.no/cms/content/uploads/TekVeil07.pdf>
- DiBK (Direktoratet for Byggkvalitet). (2009, 1. september). *Evaluering av brannen i PRESTMOSVEGEN 15, NANNESTAD, 28.09.2008*. Hentet fra <http://www.dibk.no/Documents/Sikkerhet/Evalueringsrapport-Brann%20i%20Prestmosvegen%20Nannestad%202008.pdf>
- DiBK (Direktoratet for Byggkvalitet). (2013). *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. Hentet 23. april 2013 fra <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/tekniskekrav/>
- Drysdale, D. (2000). *An Introduction to Fire Dynamics*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Karlsson, B. & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. Florida: CRC Press LLC

- KRD (Kommunal- og regionaldepartementet). (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Hentet 12. februar 2013 fra [http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html#11-14\\_6s](http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html#11-14_6s)
- Kristoffersen, B. (2003). *Utførelse av svalgang som rømningsvei (SINTEF NBL-rapport nr. A03162)*. Trondheim: Norges branntekniske laboratorium as. Hentet 22. januar 2013 fra [http://nbl.sintef.no/publication/lists/docs/NBL10\\_A03162.pdf](http://nbl.sintef.no/publication/lists/docs/NBL10_A03162.pdf)
- Madsen, H. K. & Bergersen, T. (1995). *Granskningsrapport etter brann i Søre Ål- og servicesenter, Lillehammer 1995 (Granskningsrapport 1/95)* Hentet 12. februar 2013 fra [http://www.dsb.no/Global/Publikasjoner/Granskningsrapporter/sore\\_al.pdf](http://www.dsb.no/Global/Publikasjoner/Granskningsrapporter/sore_al.pdf)
- McGrattan, K., Klein, B., Hostikka, S., Jason, F. (2007). *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. Washington: U.S. Government Printing Office. Hentet 16. april 2013 fra <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire07/PDF/f07053.pdf>
- Norges Standardiseringsforbund. (1998). *Risikoanalyse av brann i byggverk (NS 3901:1998)*. Oslo: Norsk Standardiseringsforbund
- Opstad, K. & Stensaas, J. P. (1998). *Håndbok i Branntekniske Analyser og -Beregninger*. Trondheim: Norges branntekniske laboratorium as. Hentet 11. april 2013 fra <http://nbl.sintef.no/handbook/>
- SINTEF Byggforsk. (2004, februar). *526.301 Svalganger og altanganger i boligbygninger*. Hentet 22. januar 2013 fra <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=3217>
- Store Norske Leksikon [a]. u.å. *Vindlausloftet*. Hentet 14. mars 2013 fra <http://snl.no/Vindlausloftet>
- Store Norske Leksikon [b]. u.å. *loft. – bygningstype*. Hentet 14. mars 2013 fra <http://snl.no/loft./bygningstype>
- Thunderhead Engineering Consultants Inc. (2012) *PyroSim User Manual*. Hentet 27. mars 2013 fra <http://www.thunderheadeng.com/downloads/pyrosim/manual-html/>
- Universitetet i Stavanger. u.å. *Middelalderen i Norge ca. 1000 - 1600 e.Kr.* Hentet 22. januar 2013 fra [http://www1.uis.no/fag/Learningspace\\_kurs/guide/Tidslinjer/Arkitekturhistorie/tekstsider/middelalderen/n\\_middelalderen.htm](http://www1.uis.no/fag/Learningspace_kurs/guide/Tidslinjer/Arkitekturhistorie/tekstsider/middelalderen/n_middelalderen.htm)





## 13 Vedleggliste

Vedlegg 1: Verktøydokumentasjon

Vedlegg 2: Tabell 3.5 i *Enclosure Fire Dynamics*

Vedlegg 3: Tabell 3.6 i *Enclosure Fire Dynamics*

Vedlegg 4: Utdrag fra e-post til Vidar Stenstad ved DiBK.

Vedlegg 5: Simuleringsparametre i PyroSim

Vedlegg 6: Tegninger til den preaksepterte løsningen

Vedlegg 7: Tegninger til Bjønnbåsen-løsningen

Vedlegg 8: Tegninger til skråtak-løsningen

Vedlegg 9: Tegninger til røykskille-løsningen

Vedlegg 10: Tegninger til kombinert røykskille/skråtak-løsning

## 14 Vedlegg 1: Verktøydokumentasjon

### 14.1.1 PyroSim

*PyroSim* er et grafisk brukergrensesnitt for CFD verktøyet *Fire Dynamics Simulator (FDS)*, utviklet av *National Institute of Standards and Technology (NIST)*. Programmet brukes hovedsakelig til å konstruere modeller gjennom inndata til brannsimuleringer i *FDS*.

#### 14.1.1.1 Verifikasjon og validering av PyroSim

Da *PyroSim* er et grafisk brukergrensesnitt for *FDS*, er det *FDS* må verifiseres og valideres. Dette står under *Verifikasjon og validering*.

#### 14.1.1.2 Dokumentasjon av PyroSim

- For mer dokumentasjon om *PyroSim*, som brukerveiledning o.l., vises det til programmets dokumentasjonsside:
  - o <http://www.thunderheadeng.com/PyroSim/PyroSim-documentation/>

### 14.1.2 FDS

*Fire dynamics simulator (FDS)* som brukes til beregningene er utviklet av *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, underlagt *De Forente Staters Department of Commerce*.

*FDS* er en stor-virvelstrøm simuleringskode (*large-eddy simulation code*) for strømninger med lav hastighet, med fokus på røyk- og varmetransport fra branner. *FDS* er en *Computational fluid dynamics (CFD)*-modell.

Verktøyet kan konstruere brannsimulering som ganske nøyaktig kan forutsi røykbevegelser, temperaturer og giftgasskonsentrasjoner som oppstår under en brann.

*CFD* er en gren av fluidmekanikk som bruker numeriske metoder og algoritmer for å løse og analysere problemstillinger som involverer fluidstrømninger. Datamaskiner blir brukt til å utføre beregninger som kreves for å simulere samspillet mellom væsker og gasser, og overflater som har definerte grensebetingelser.

#### 14.1.2.1 Verifikasjon og validering av FDS

Modellen for verifikasjon- og valideringsteknikker er beskrevet i *ASTM E 1355* og brukes for å sikre nøyaktigheten av numeriske løsninger gitt av *FDS*. Ytterligere informasjon om verifikasjon og validering av *FDS* finnes i Volum 2 og 3 av *FDS Technical Reference Guide*.

*FDS* var også en del av en verifisering og valideringsstudie sponset av *US Nuclear Regulatory Commission and the Electric Power Research Institute*. Studiet sammenlignet fem forskjellige simulatorer basert på flere brannscenarier. Alle scenariene kan finnes under i *Dokumentasjon av FDS*.

#### 14.1.2.2 Dokumentasjon av FDS

- *ASTM E 1355*
  - o <http://www.astm.org/Standards/E1355.htm>
- Resultatene av studiet fra *US Nuclear Regulatory Commission og Electric Power Research Institute*:

- [Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications \(NUREG-1824, Vols 1-7\)](#)
- Generell dokumentasjon for *FDS* og *SMV*:
  - <http://code.google.com/p/FDS-smv/>
- Technical Reference Guide – Volume 2: Verification:
  - [https://docs.google.com/folder/d/0B-EZ4HlrI6VDUWtRN1N0MmM5c1U/edit?docId=0B\\_wB1pJL2bFQbFIPVmo1X3pLa2s](https://docs.google.com/folder/d/0B-EZ4HlrI6VDUWtRN1N0MmM5c1U/edit?docId=0B_wB1pJL2bFQbFIPVmo1X3pLa2s)
- Technical Reference Guide – Volume 3: Validation
  - [https://docs.google.com/folder/d/0B-EZ4HlrI6VDUWtRN1N0MmM5c1U/edit?docId=0B\\_wB1pJL2bFQel91N2prdHVsvWjg](https://docs.google.com/folder/d/0B-EZ4HlrI6VDUWtRN1N0MmM5c1U/edit?docId=0B_wB1pJL2bFQel91N2prdHVsvWjg)
- Tredjeparts verktøy brukt i *FDS* og *SMV*
  - [http://code.google.com/p/FDS-smv/wiki/Third\\_party\\_Tools](http://code.google.com/p/FDS-smv/wiki/Third_party_Tools)
- *FDS* Validation Test Reports (*FDS* Valideringsrapporter)
  - <https://docs.google.com/folder/d/0B-EZ4HlrI6VDT2R5SjNFOGtIdTg/edit>

### 14.1.3 Smokeview

Smokeview (*SMV*) er et visualiseringsprogram som brukes for å vise resultatene fra *FDS* simuleringer.

## 15 Vedlegg 2: Tabell 3.5 i *Enclosure Fire Dynamics*

---

**TABLE 3.5**  
**Values of  $\alpha$  for Different Growth Rates**  
**According to NFPA 204M**

Growth Rate	$\alpha$ (kW/s <sup>2</sup> )	Time (s) to reach 1055 kW
ultra fast	0.19	75
fast	0.047	150
medium	0.012	300
slow	0.003	600

*Source:* NFPA, *Guide for Smoke and Heat Venting*, NFPA 204M, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1985.

---

## 16 Vedlegg 3: Tabell 3.6 i *Enclosure Fire Dynamics*

**TABLE 3.6**  
**Energy Release Rate Data**

Description	Growth Rate	kW/m <sup>2</sup> of floor area
Fire retarded treated mattress (including normal bedding)	S	17
Lightweight type C upholstered furniture <sup>b</sup>	M	170 <sup>a</sup>
Moderate-weight type C upholstered furniture <sup>b</sup>	S	400 <sup>a</sup>
Mail bags (full) stored 5 ft high	F	400
Cotton/polyester innerspring mattress (including bedding)	M	565 <sup>a</sup>
Lightweight type B upholstered furniture <sup>b</sup>	M	680 <sup>a</sup>
Medium-weight type C upholstered furniture <sup>b</sup>	S	680 <sup>a</sup>
Methyl alcohol pool fire	UF	740
Heavyweight type C upholstered furniture <sup>b</sup>	S	795 <sup>a</sup>
Polyurethane innerspring mattress (including bedding)	F	910 <sup>a</sup>
Moderate-weight type B upholstered furniture <sup>b</sup>	M	1020 <sup>a</sup>
Wooden pallets 1 1/2 feet high	M	1420
Medium-weight type B upholstered furniture <sup>b</sup>	M	1645 <sup>a</sup>
Lightweight type A upholstered furniture <sup>b</sup>	F	1700 <sup>a</sup>
Empty cartons 15 ft high	F	1700
Diesel oil pool fire (>about 3 ft dia.)	F	1985
Cartons containing polyethylene bottles 15 ft high	UF	1985
Moderate-weight type A upholstered furniture <sup>b</sup>	F	2500 <sup>a</sup>
Particle board wardrobe/chest of drawers	F	2550 <sup>a</sup>
Gasoline pool fire (>about 3 ft dia.)	UF	3290
Thin plywood wardrobe with fire-retardant paint on all surfaces	UF	3855 <sup>a</sup>
Wooden pallets 5 ft high	F	3970
Medium-weight type A upholstered furniture <sup>b</sup>	F	4080 <sup>a</sup>
Heavyweight type A upholstered furniture <sup>b</sup>	F	5100 <sup>a</sup>
Thin plywood wardrobe (50 in. × 24 in. × 72 in. high)	UF	6800 <sup>a</sup>
Wooden pallets 10 ft high	F	6800
Wooden pallets 16 ft high	F	10200

<sup>a</sup> Peak rates of energy release were of short duration. These fuels typically showed a rapid rise to the peak and a corresponding rapid decline. In each case the fuel package tested consisted of a single item.

<sup>b</sup> The classification system used to describe upholstered furniture is as follows:

Lightweight = Less than about 5 lbs/ft<sup>2</sup> of floor area. A typical 6-ft long couch would weigh under 75 lbs.

Moderate-weight = About 5–10 lbs/ft<sup>2</sup> of floor area. A 6-ft long couch would weigh between 75 and 150 lbs.

Medium-weight = About 10–15 lbs/ft<sup>2</sup> of floor area. A 6-ft long couch would weigh between 150 and 300 lbs.

Heavyweight = More than about 15 lbs/ft<sup>2</sup> of floor area. A typical 6-ft long couch would weigh over 300 lbs.

Type A = Furniture with untreated or lightly treated foam plastic padding and nylon or other melting fabric.

Type B = Furniture with lightly or untreated foam plastic padding or nylon or other melting fabric, but not both.

Type C = Furniture with cotton or treated foam plastic padding, having cotton or other fabric that resists melting.

*Source:* From Nelson, H.E., "FPETOOL: Fire Protection Engineering Tools for Hazard Estimation," National Institute of Standards and Technology Internal Report 4380, pp. 93–100, Gaithersburg, MD, 1990.

## 17 Vedlegg 4: Utdrag fra e-post til Vidar Stenstad ved DiBK.

Under følger et utdrag fra e-post fra Vidar Stenstad fra 12. februar 2013, kl. 13:48. Vidar Stenstads svar står i rødt.

---

1) Hva er hensikten med en 30 meters skillevegg? Det er for å hindre røyk og branngasser å spre seg, men er det også for å hindre flammer fra å spre seg? **JA, "brannspredningen" står det i teksten.** (Preaksepterte ytelses – svalganger, pkt. 2)

2) Hvorfor akkurat 30 meter? Er det erfaringer som tilsier at dette er en optimal lengde? **Valgt fordi det samsvarer med veil. til tredje ledd (oppdeling av korridorer). Dette har vært gjeldende lengde.** (Preaksepterte ytelses – svalganger, pkt. 2)

3) Hvorfor er det «bare» 5 meter brannklassifisering fra trapperom? Hvorfor ikke 8 meter som mellom bygg? Begge deler vil jo være avhengig av strålingen? Har det noe med tiden personen som rømmer utsettes for stråling? Noe å la "kortere tid gir mulighet for høyere intensitet uten å skade..?" (Preaksepterte ytelses – svalganger, pkt. 8) **Dette er noe som (så vidt jeg husker) kommer fra veil. til Byggeforskrift 1987. Det er en litt annen situasjon enn brannskille mellom to ulike byggverk. Her skal man beskytte personer i en rømningssituasjon.**

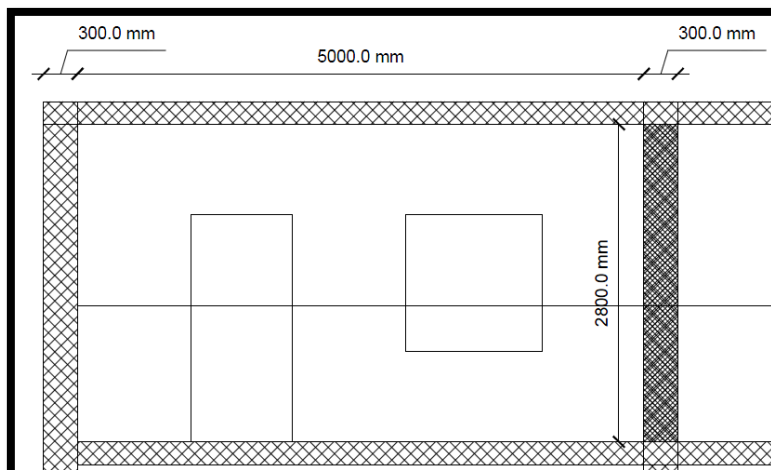
4) Vet du om branner som har omhandlet eller blitt påvirket av svalganger? Kan du eventuelt nevne noen av disse? Vet du om ulykker/branner som spesielt har vært med på å utvikle regelverket som berører svalganger, ev. generelle erfaringer som er gjort som har ført til endring av regelverket. **Se vår rapport om Nannestadbrannen på våre nettsider: <http://www.dibk.no/no/Tema/Sikkerhet1/Publikasjoner/>**

---

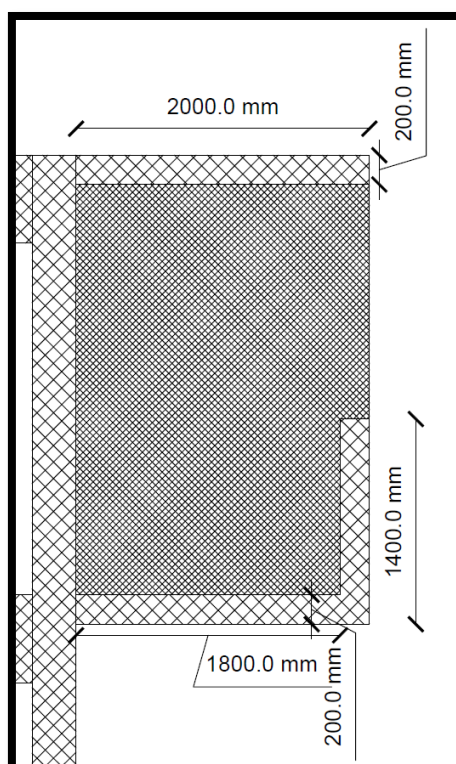
## 18 Vedlegg 5: Simuleringsparametre i PyroSim

Se vedlagt CD.

## 19 Vedlegg 6: Tegninger til den preaksepterte løsningen

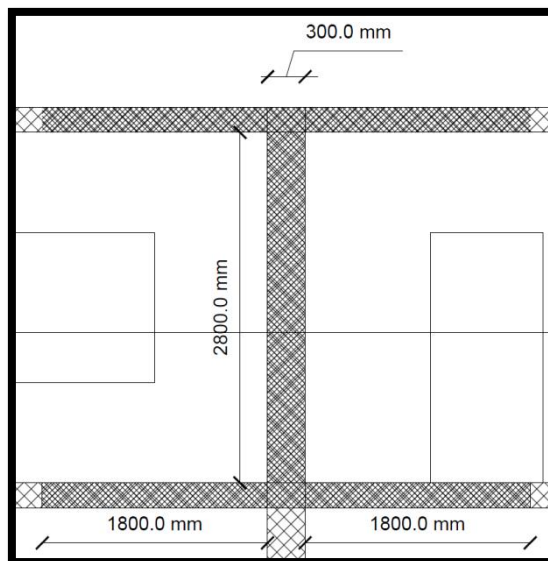


Preakseptert skillevegg sett forfra

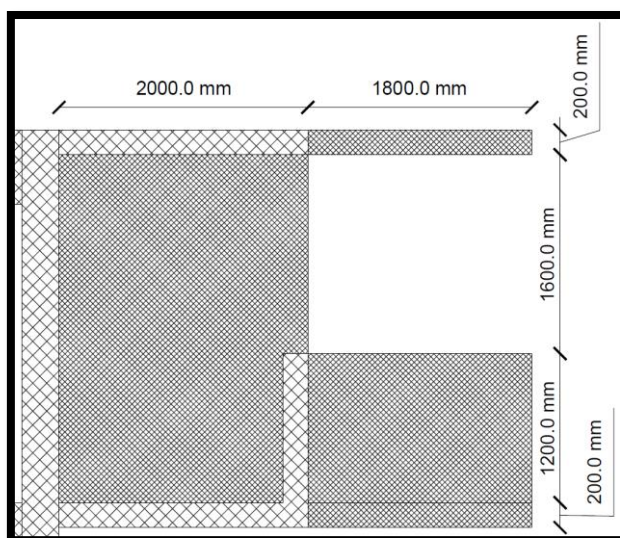


Preakseptert skillevegg sett fra siden

## 20 Vedlegg 7: Tegninger til Bjønnbåsen-løsningen

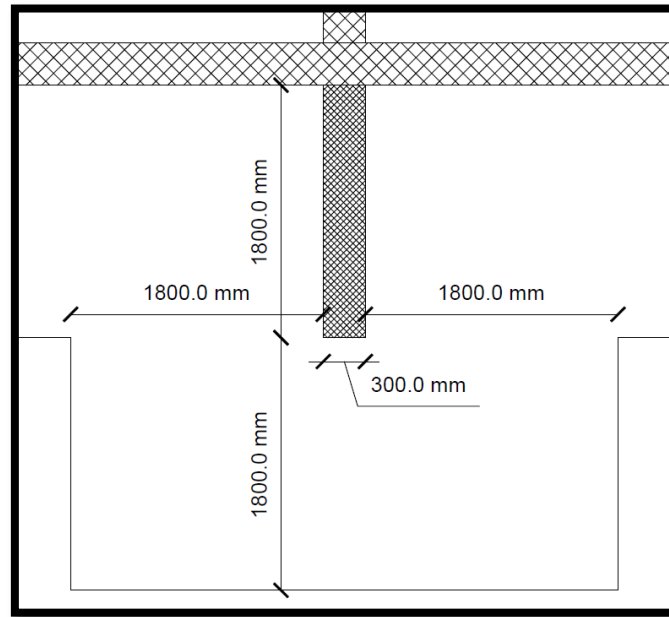


Bjønnbåsen-løsningen sett forfra



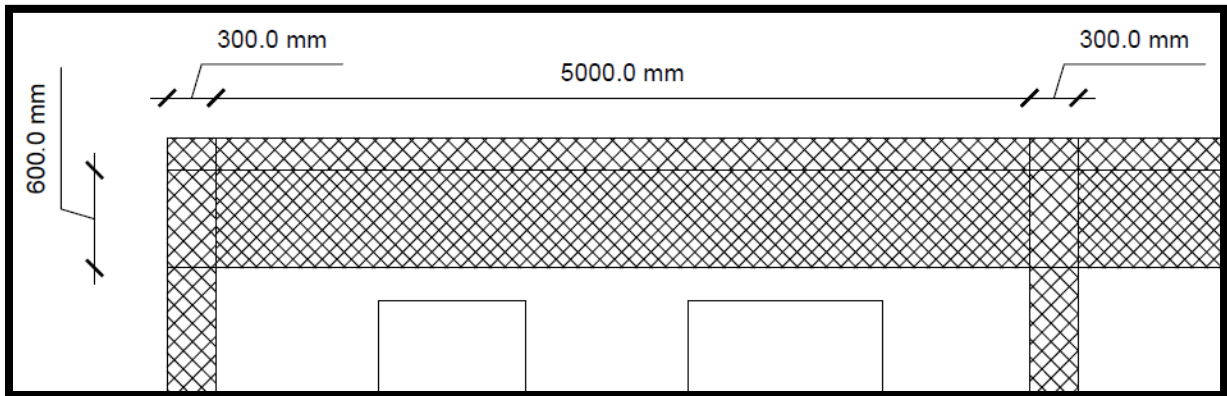
Bjønnbåsen-løsningen sett fra siden



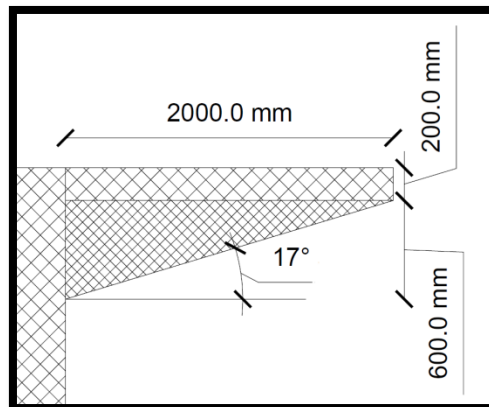


Bjønnbåsen-løsningen sett overifra

## 21 Vedlegg 8: Tegninger til skråtak-løsningen

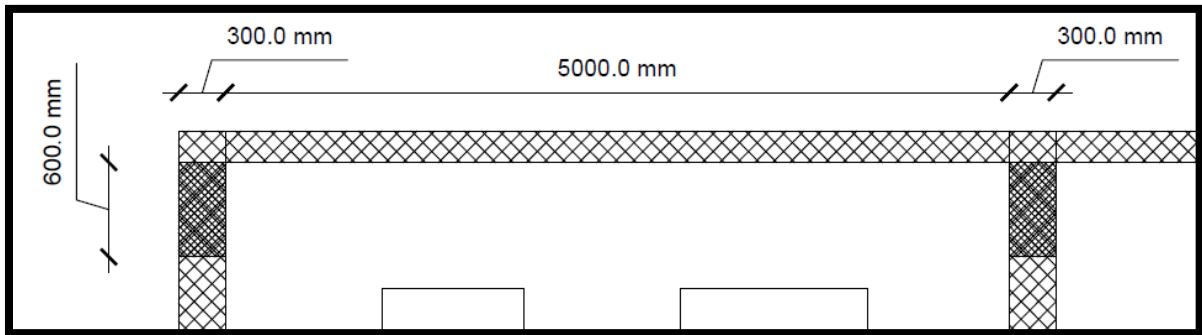


Skråtak-løsningen sett forfra

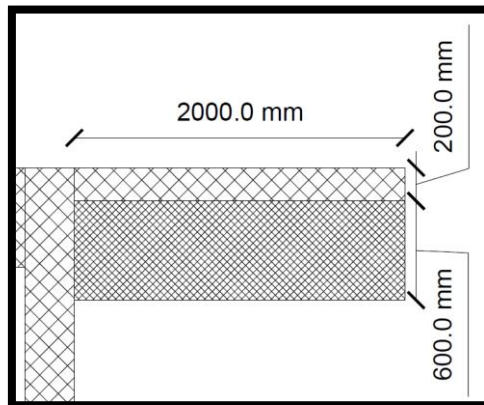


Skråtak-løsningen sett fra siden

## 22 Vedlegg 9: Tegninger til røykskille-løsningen

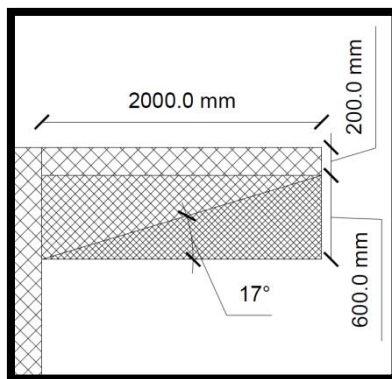


Røykskillene sett forfra

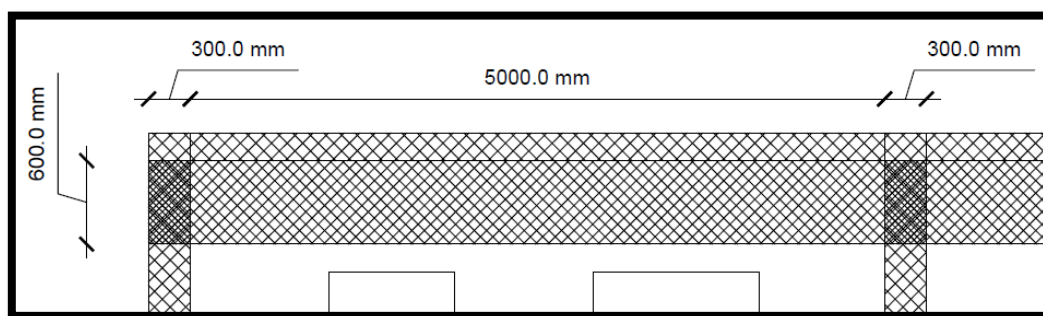


Røykskillene sett fra siden

## 23 Vedlegg 10: Tegninger til kombinert røykskille/skråtak-løsning



Kombinert røykskille/skråtak-løsning sett fra siden



Kombinert røykskille/skråtak-løsning sett forfra