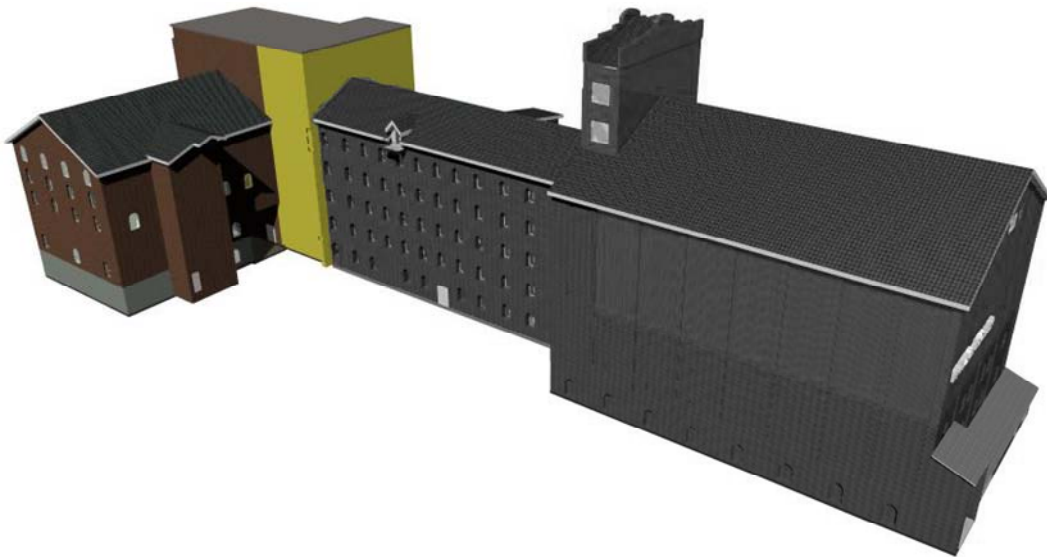




HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Analyse av personsikkerheten ved brann i Pakkeriet ved Larvik Mølle



Bacheloroppgaven er utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Sikkerhet, Brannteknikk

Av: Kjartan Ervik
Alexander Hinna Piroud

Kand.nr. 93
Kand.nr. 94

Haugesund

Våren 2009

BACHELOROPPGAVE

Studentenes navn: Kjartan Ervik
Alexander Hinna Piroud

Linje & studieretning Brann, sikkerhetsingeniør

Oppgavens tittel: Analyse av personsikkerheten ved brann i Pakkeriet i
Larvik Mølle

Oppgavetekst:

Larvik mølle er en eksisterende bygning som skal bygges om fra mølle til kontorbygg med forsamlingslokale. Bygningen planlegges utført med 8 åpne plan i den delen som kalles for Pakkeriet. Det finnes i dagens regelverk ikke preaksepterte løsninger for å ha mer enn 3 sammenhengende åpne plan.

Denne problemstillingen gjør det nødvendig å benytte analysemetoder for å kunne finne frem til tilfredsstillende løsninger og nødvendige tiltak for å oppnå tilstrekkelig personsikkerhet. Det skal derfor utføres noen simuleringer med hensyn til nødvendig- og tilgjengelig rømningstid for å kunne vurdere personsikkerheten for denne delen av bygget.

Endelig oppgave gitt: Fredag 6. mars 2009

Innleveringsfrist: Fredag 8. mai 2009 kl. 12.00

Intern veileder: Stefan Owe Andersson

Ekstern veileder: Gjermund Hybbestad, Norconsult

Godkjent av
Studieansvarlig:
Dato:

Monika Metallinon
6. mai 2009

Forord

Som en del av den 3-årige branningeniørutdannelsen ved Høgskolen Stord/Haugesund skal studentene gjennomføre en avsluttende Bacheloroppgave. Denne oppgaven utgjør 15 studiepoeng og skal behandle problemstillinger som har tilknytning til et eller flere av de underviste fagområdene ved Høgskolen. Hovedprosjektet har som mål at studentene selvstendig skal få løse en konkret problemstilling.

Etter kjennskap i Norconsult AS i Larvik ble det tilbudt å skrive oppgave om Larvik Mølle der person-sikkerheten ved brann skulle vurderes. Mølla er et reelt prosjekt for Larvik kommune og har gitt mange utfordringer i forbindelse med analysemetoder og praktisk tenkning innenfor brann som fagfelt.

En detaljert risikoanalyse er gitt som vedlegg til rapporten, mens det i hovedrapporten er oppsummert det viktigste fra analysen. Arbeidet har vært tids- og ressurskrevende og har gitt gode innblikk i ulike analyseverktøy. Prosjektet er relevant i forhold til utdannelsen da den fokuserer på brannteknisk prosjektering som er en del av hverdagen for en brannrådgiver.

Vi vil gjerne takke intern veileder Stefan Andersson og ekstern veileder Gjermund Hybbestad i Norconsult AS for hjelp underveis i prosjektet, samt Siv Abrahamsen Anholt i Vestfold fylkeskommune for en utdypende rapport om Hammerdalen og Larvik Mølle.

Haugesund 07.05.09

Alexander Hinna Piroud

Kjartan Ervik

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Innholdsfortegnelse	II
Sammendrag	V
1. Innledning	- 1 -
1.1. Bakgrunn/problemstilling	- 1 -
1.2. Metoder	- 1 -
1.3. Begrensninger	- 2 -
1.4. Forutsetninger.....	- 2 -
1.5. Formål/muligheter	- 2 -
2. Om Larvik Mølle	- 3 -
3. Om analysemetoder	- 4 -
4. Analyseverktøy	- 5 -
4.1. Håndberegninger	- 5 -
4.2. Simulex.....	- 5 -
4.3. FDS og Pyrosim.....	- 6 -
5. Analyse av Pakkeriet	- 7 -
5.1. Behov for analyse.....	- 7 -
5.2. Akseptkriterier	- 8 -
5.3. Nødvendig rømningstid.....	- 8 -
5.3.1. Forutsetninger	- 8 -
5.3.2. Resultater.....	- 10 -
5.4. Tilgjengelig rømningstid	- 10 -
5.4.1. Forutsetninger	- 10 -
5.4.2. Resultater.....	- 12 -
6. Resultater i forhold til akseptkriterier	- 14 -
6.1. Nødvendig rømningstid.....	- 14 -
6.2. Tilgjengelig rømningstid	- 14 -
6.3. Sikkerhetsmargin.....	- 15 -
7. Diskusjon	- 15 -
8. Konklusjon	- 16 -
9. Referanser	- 17 -
10. Vedlegg	- 18 -

Vedlegg A – Risikoanalyse

1. Generelt	- 19 -
1.1. Hva oppdraget og ansvaret omfatter	- 19 -
1.2. Identifisering av prosjektet og byggverket.....	- 20 -
1.3. Om Larvik Mølle og Hammerdalen	- 20 -
1.3.1. Historikk	- 20 -
1.3.2. Mølla	- 21 -
1.3.3. Området.....	- 22 -
1.4. Branntekniske forutsetninger for prosjektet	- 22 -
1.5. Opplysning om prosjekteringsmodell	- 23 -
1.6. Hovedutformingen av bygget og installasjoner	- 24 -
1.7. Branntegninger/bygningstegninger	- 24 -
2. Brannteknisk analyse	- 25 -
2.1. Vurdering av Pakkeriet i Larvik Mølle.....	- 25 -
2.2. Vurdering av behovet for verifikasjon.....	- 25 -
2.3. Grunngivning for valg av analysemetoder	- 26 -
2.4. Kvalitativ analyse.....	- 26 -
2.5. Akseptkriterier	- 27 -
2.6. Metoder og programmer benyttet ved utregninger.....	- 28 -
2.6.1. Nødvendig og tilgjengelig rømningstid	- 28 -
2.6.2. Håndberegninger	- 29 -
2.6.3. Simulex.....	- 29 -
2.6.4. FDS med Pyrosim	- 30 -
2.7. Forutsetninger for utregninger og inndata som er benyttet	- 31 -
2.7.1. Håndberegninger	- 32 -
2.7.2. Simulex.....	- 34 -
2.7.3. FDS og Pyrosim	- 37 -
2.8. Resultater	- 45 -
2.8.1. Håndberegninger	- 45 -
2.8.2. Simulex.....	- 45 -
2.8.3. FDS	- 48 -
2.9. Vurdering av resultater i forhold til akseptkriteriene	- 58 -
2.9.1. Håndberegninger og Simulex.....	- 58 -
2.9.2. FDS	- 58 -
2.9.3. Sammenligning av resultater	- 61 -
2.10. Diskusjon rundt resultater med analyse av usikkerheter.....	- 62 -

Vedlegg til risikoanalyse (vedlegg A)

Vedlegg A.1 – Dimensjonering av antall personer for Pakkeriet ved Larvik Mølle	- 64 -
Vedlegg A.2 – Håndberegning av forflytningstid for Pakkeriet ved Larvik Mølle.....	- 65 -
Vedlegg A.3 – Plantegninger av Mølla og Pakkeriet fra Asplan Viak.....	- 66 -
Vedlegg A.4 – Simulex inndata, plantegninger i dxf format.....	- 74 -
Vedlegg A.5 – Simulex utdata, tider fra rømningssimuleringer	- 74 -
Vedlegg A.6 – FDS/Pyrosim inndata, fds filer.....	- 74 -
Vedlegg A.7 – Branntekniske tegninger for Larvik Mølle i dwg format	- 74 -
Vedlegg A.8 – FDS utdata med Smokeview filer	- 74 -

Sammendrag

Oppgaven er gjort for Norconsult AS i Larvik, og omhandler et prosjekt i regi av Riksantikvaren som en del av et nasjonalt prosjekt for verdiskapning og bevaring av kulturminner.

Hensikten med denne oppgaven har vært å gjøre en vurdering av personsikkerheten ved Pakkeriet i Larvik Mølle ved en eventuell brann. Mølla er et gammelt kulturminne som skal endre bruksområde til næringsvirksomhet, noe som i dag har blitt en vanlig problemstilling vedrørende personsikkerhet ved brann for gamle byggverk. Pakkeriet er et problematisk bygg med tanke på rømning grunnet både bruken og materialene i byggverket. Det er derfor valgt å utføre branntekniske analyser for rømning og brannspredning for deretter å sammenligne resultatene og vurdere rømningsforholdene. Hovedrapporten er en oppsummering fra en fullstendig risikoanalyse i henhold til veiledning gitt av Statens Bygningstekniske Etat, som er vedlagt i rapporten.

For å utføre analysen av personsikkerheten ble det valgt å benytte dataverktøyene Simulex og FDS, samt håndberegninger. Gitte bygningstegninger samt beregninger etter ulike standarder har vært lagt til grunn for valg av inndata i analyseverktøyene med tanke på branner og bygningsforhold. De ulike gjennomførte simuleringer har blitt valgt ut i fra pålitelighetsstatistikker for aktive brannvernstiltak satt opp i et hendelsestre.

Resultatene fra analysene ble sammenlignet opp mot anerkjente akseptkriterier for personers tålegrense under rømning. Dette for å avgjøre om angitte personantall for Pakkeriet vil være akseptable for forsvarlig rømning ved brann. Rapporten konkluderer med et forslag til dimensjonerende personantall for Pakkeriet og nødvendig rømningstid for disse, samt tiden som er tilgjengelig for rømning på bakgrunn av ulike brannforløp.

Denne rapporten kan legges til grunn for tilsvarende analyser og vurderinger av lignende bygg i fremtiden, da det ofte vil forekomme de samme problemstillingene.

1. Innledning

1.1. Bakgrunn/problemstilling

Formålet med denne oppgaven er å vurdere personsikkerheten ved Larvik Mølle ved en eventuell brann. Mølla er et gammelt industribygg med møllevirksomhet som bruksområde frem til begynnelsen av 2000-tallet. Området der Mølla ligger, Hammerdalen, er en del av et nasjonalt verdiskapningsprosjekt engasjert av Miljøverndepartementet og Riksantikvaren. Prosjektet har som formål å skape nye næringsmuligheter ved å restaurere og endre bruken til bygg som faller under kulturminner, og dermed ivareta kulturmiljøet i tillegg til å skape økonomiske verdier.

I Norge i dag finnes det mange ulike kulturminner. Disse er enestående og uerstattelige og det er ofte en stor utfordring å beskytte dem mot brann. Når slike bygg og monumenter skal sikres med tanke på brann, vil det ofte være svært vanskelig å utføre branntekniske tiltak opp mot dagens regelverk. Dette grunnet både bygningsmetodikken og materialer som er benyttet, samt ulike vern for beskyttelse mot vesentlige arkitektoniske forandringer. Teknisk Forskrift til Plan- og Bygningsloven vil ikke alltid være tilstrekkelig for å kunne beskrive branntekniske tiltak, så det må derfor ofte benyttes alternative metoder med mer omfattende analyser.

I dagens samfunn er det stadig mer vanlig å endre bruksområdet til ulike typer bygg, og det er derfor viktig å kunne vurdere om den nye bruken passer til de eksisterende sikkerhetstekniske tiltakene. Ved bruksendring må blant annet brannsikkerheten revurderes, så det ligger store utfordringer for dagens branningeniører å utarbeide løsninger for sikkerhet i eldre, og ofte kompliserte bygninger.

Et av målene ved å utføre oppgaven om personsikkerheten ved Larvik Mølle er i å få en dypere innsikt i analysemetoder og dataverktøy for bruk ved brannteknisk prosjektering.

1.2. Metoder

Larvik Mølle er et komplisert eksisterende bygg der de planlagte endringene for bygget samt bruken av dette går utenfor løsninger som er preakseptert i Teknisk Forskrift til Plan- og Bygningsloven (TEK). Det vil derfor være nødvendig å benytte analysemetoder for å utarbeide akseptable branntekniske løsninger som vil oppnå likt sikkerhetsnivå som angitt i Teknisk Forskrift.

I prosjektet er det benyttet anerkjente analysemetoder og verktøy for å analysere mulige brannforløp, samt rømningsforholdene rundt disse. Oppgaven fokuserer på bruk av ulike dataverktøy og metoder for brann- og rømningssimulering, uten å gå vesentlig i dybden til gyldigheten og beregningsmetodene for disse.

Det er valgt å utarbeide en risikoanalyse for personsikkerheten ved Mølla som er basert på tema-veiledninga *"Rettleiing for tilsyn i byggjesaker"* fra Statens Bygningstekniske Etat anno 2007. Hovedrapporten henviser til risikoanalysen som ligger som et eget vedlegg, og er en oppsummering av de viktigste elementene og resultatene fra denne. Risikoanalysen er dokumenter opp imot dagens gjeldende regelverk og standarder.

Alle bilder og figurer i oppgaven som ikke er tatt ut ifra eget arbeid er hentet fra artikler og nettstedene nevnt under referanser.

1.3. Begrensninger

Larvik Mølle er et stort og komplisert bygg som har hatt atskillige påbygninger i løpet av en periode på mer enn 100 år. Det er i denne rapporten blitt valgt å gjøre begrensninger av både området som analyseres og formålet med analysen. Dette både av tids- og ressursmessige grunner. Analysen er derfor begrenset til Pakkeriet med tilhørende silo, som er den nest eldste delen av Mølla, datert fra 1874-1959. Ønsket med analysen er å vurdere personsikkerheten ut i fra eksisterende og tenkte løsninger. Pakkeriet er antatt å være den mest kritiske delen av Mølla i forbindelse med sikkerhet ved rømning da denne delen av bygget er planlagt å inneholde et forsamlingslokale i øverste etasje i tillegg til kontorvirksomhet i de underliggende etasjene.

1.4. Forutsetninger

I forkant av rapporten er det gjort en befaring på Larvik Mølle for å få kjennskap til bygningen og dets nåværende tilstand. Det ble her tatt enkelte bilder for å kunne dokumentere ulike forhold. All teknisk informasjon om Mølla samt brann- og bygningstegninger er gitt av Norconsult AS i Larvik ved Gjermund Hybbestad. Informasjon om området Hammerdalen er gitt av Vestfold Fylkeskommune.

For analysen av personsikkerhet ved Pakkeriet er det gjort en del antagelser på grunn av usikkerheter rundt tenkte løsninger fra bl.a. arkitekter. Derfor er de gitte plantegningene blitt benyttet som utgangspunktet for oppgaven selv om disse ikke nødvendigvis er endelige utkast. Det er også flere branntekniske tiltak som antas å være tilfredsstillende i forkant av sikkerhetsvurderingen. Dette gjelder f.eks. type materialer samt aktive og passive branntekniske tiltak.

1.5. Formål/muligheter

Larvik Mølle er et typisk gammelt kulturminneverdig bygg bestående av mur, med innvendig bæresystem og kledning i treverk. Resultatene av analysen med fokus på personsikkerhet har som mål å vurdere tilgjengelig tid for rømning fra bygget, samt angi forsvarlig personbelastning. Disse resultatene vil kunne være aktuelt å sammenligne med fremtidige tilsvarende prosjekter for bruksendring av gamle byggverk, da lignende sikkerhetstekniske forhold ofte vil kunne forekomme. Denne oppgaven gir muligheter for å få en innsikt i problemløsning i forbindelse med bruksendring av eksisterende byggverk.

2. Om Larvik Mølle

Mølla er en gammel bakermølle på ca 9000m² fordelt på 8 etasjer. Bygget består av tre deler, Siloene, Mølla og Pakkeriet med tilhørende silo. Pakkeriet som denne risikoanalysen tar for seg består av 7 etasjer pluss kjeller, med åpne løsninger mellom flere plan. 6 etasjer skal benyttes til kontorvirksomhet, mens øverste etasje skal være et forsamlingslokale. Det er planlagt å opprette interne trapperom i Pakkeriet, og disse er antatt å være plassert mellom 1. og 3. samt 4. og 7. etasje. Hver av etasjene har et areal på ca 400m². De to nederste kontoretasjene i Pakkeriet er delt opp med en gjennomgang på midten. Bilde 1.1 viser Mølla med Pakkeriet merket av i rødt. Det røde påbygget til Pakkeriet er planlagt å rives ved oppussing av Larvik Mølle.



BILDE 1.1 – LARVIK MØLLE MED PAKKERIET MARKERT

Pakkeriet vil falle under brannklasse 3 grunnet mange etasjer og høy risikoklasse på grunn av forsamlingslokalet. Bygget er et klassisk skorsteinsbygg med innvendig kledning og bæresystem i tre og fasade i mur, se bilde A.1.5 og A.1.6 i vedlegg A. Det antas å ville være mye utettheter mellom etasjene til tross for nye etasjeskiller og vegger som vil opprettes ved restaurering av Mølla. Bilde 1.2 på neste side viser et etasjeskille med gjennomføringer slik det ser ut i dag i Pakkeriet.

Dimensjonerende personantall for Pakkeriet i etasjene med kontorer, er gitt på grunnlag av bruksareal for etasjene og dimensjonering av fri bredde i rømningsvei i Veiledning til Teknisk Forskrift. Denne vurderingen gjøres da kontoretasjene er i risikoklasse 2 med forholdsvis lav personbelastning. For forsamlingslokalet i øverste etasje vil tiden herfra være kritisk med tanke på tømming av bygget, og derfor vil personantallet her bli vurdert ut ifra risikoanalysen. Beregnet personbelastning ut i fra bruksareal er gjort til 345 personer for forsamlingslokalet og mellom 10-30 for hver av etasjene med kontorer, se vedlegg A.1.

Larvik Mølle som brannklasse 3 bygg vil ha krav til ubrennbare materialer i bæresystem og etasjeskiller samt branncelleinndeling. Grunnet Møllas oppbygging vil det ikke være mulig å ivareta disse kravene, så hovedutfordringen vil være å tilpasse rømningsveier og branntekniske tiltak for at forholdene skal være akseptable ved en rømnings situasjon.

Forutsetninger som er gjort i forkant av analysen av personsikkerheten ved Pakkeriet i Larvik Mølle er at bygget er fullsprinklet etter dagens regelverk, at det er installert et heldekkende automatisk brannalarmanlegg kategori 2 samtidig som det må utarbeides 2 trapperom utført som Tr2 for sikker rømning. Dessuten vil det være krav til fullt ledesystem grunnet forsamlingslokalet i øverste etasje der folk uten kjennskap til bygget kan oppholde seg. I kapittel 2.1 i risikoanalysen er alle forutsetningene for bygget beskrevet.



BILDE 1.2 – INNVENDIG ETASJESKILLER OG GJENNOMFØRINGER

3. Om analysemetoder

Teknisk forskrift setter krav om å ivareta sikkerheten til personer i bygninger og nabobygninger ved brann og samtidig sikre redningsmannskapenes innsats ved brann. Forskriften stiller også krav til at branner ikke skal kunne føre til store samfunnsmessige tap. Dette gjelder f.eks. ved verneverdige og samfunnsviktige bygg. Larvik Mølle er et kulturminne og vil falle under denne kategorien.

Da det er flere forhold ved Pakkeriet som viker fra funksjonskrav i Teknisk Forskrift er det vurdert nødvendig å gjøre en omfattende analyse med blant annet simuleringer for å vurdere personsikkerheten. Det er valgt å benytte ulike data- og håndberegningsverktøy for analysere forhold i Mølla ved en brann. Det finnes mange forskjellige beregnings- og simuleringprogrammer som beregner ulike sider av dette. Noen programmer inkluderer bare ett element, som rømningstid i f.eks. Simulex, mens andre kan inkludere flere faktorer som f.eks. 3D-visualisering, røyk, gasstemperatur osv, i CFD modeller. For å kunne benytte slike programmer må brukeren ha gode forkunnskaper om brannens egenskaper, da det blant annet må velges inngangsdata nøye for å kunne få ut fornuftige resultater.

Ved branntekniske analyser må man være sterkt kritisk til de resultatene man får ut av programmer og beregninger, og kunne begrunne dette nøye med valgt inndata. Dette kan gjelde type brann, materialer, sprinkleregenskaper osv. Når inndataene er vurdert fornuftige må resultatene ses på opp mot akseptkriteriene. Dette krever at brukeren er har god oversikt over alle deler av analysen og samtidig har gode kunnskaper om alle sider ved en brann og dets forløp.

4. Analyseverktøy

Det er valgt å benytte dataverktøy for å beregne brann og forflytningstider i Pakkeriet. I tillegg er det gjort håndberegninger for forflytning av personer for å kunne sammenligne resultatene med dataverktøyet. Under følger en beskrivelse av de ulike verktøyene som er benyttet. Utdyping av disse finnes beskrevet i kapittel 2.6 i vedlegg A.

4.1. Håndberegninger

Håndberegninger er gjort i henhold til Byggedetaljbladet 520.385 – Nødvendig rømningstid ved brann, som er anerkjent som dokumentasjonsgrunnlag av funksjonskrav til rømningssikkerhet i Teknisk Forskrift til Plan- og Bygningsloven. Detaljbladet beskriver metoder for å kunne beregne forflytningstid i et bygg ut i fra bruksmessige forhold som trapper, utganger og etasjer, samtidig som å veilede til metoder for å angi deteksjons- og reaksjonstid samt sikkerhetsmargin.

4.2. Simulex

For rømningssimulering er det valgt å benytte Simulex som er et anerkjent simuleringsprogram utviklet av *Integrated Environmental Solutions Ltd*, for å beregne forflytningstid, og vurdere arkitektoniske forhold med tanke på rømning. Simuleringene skjer på grunnlag av valgte digitale plantegninger og innsatte predefinerte trapperom. Deretter må personer i bygget plasseres og angis ulike fysiske egenskaper som vil påvirke deres handlingsmønster ved rømning.

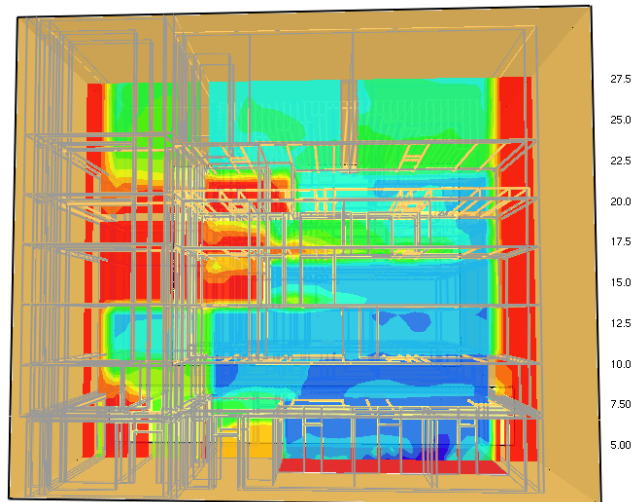
Fordelen ved bruk av Simulex er at man får en 2D visualisering av hele rømningsforløpet over alle etasjer i bygget som simuleres. Samtidig får man et konkret bilde av hvor eventuelle flaskehals oppstår og dette gjør det enkelt å se hvor og hvilke bygningsforhold som skaper problematiske situasjoner. Man får ikke et direkte bilde av rømningssituasjonen ved å benytte håndberegninger, så derfor vil ofte Simulex være bedre å bruke i situasjoner der utenforstående personer må forstå eventuelle konsekvenser i forbindelse med rømningssikkerhet. Et tall fra en beregning er ikke alltid like overbevisende. Bilde 1.3 under viser et skjermbilde fra simulering i Simulex.



BILDE 1.3 – EKSEMPELBILDE FRA SIMULEX SCENARIO

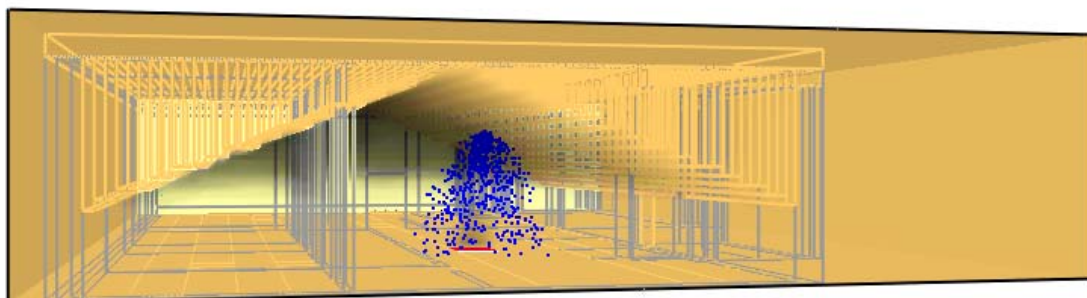
4.3. FDS og Pyrosim

FDS (Fire Dynamics Simulator) er et program utviklet av *National Institute of Standards and Technology* (NIST), og er en anerkjent modell for CFD modeller (Computational Fluid Dynamics models). Programmet løser fluiddynamiske ligninger for strømning med tyngdepunkt på røyk og varmespredning fra branner. FDS er laget for å simulere brannforløp, og samtidig beregne varme- og røykspredning. Resultatene fra en simulering vil kunne vises via et visualiseringsprogram som Smokeview, og her kan det hentes ut en rekke ulike faktorer. Dette gjelder f.eks. 2D eller 3D konturer av gasstrøm samt temperatur- og strømningsprofiler ved valgte plasseringer i et bygg. Bilde 1.4 viser et eksempel på et plott av et 2D siktlag i Smokeview etter simulering i FDS.



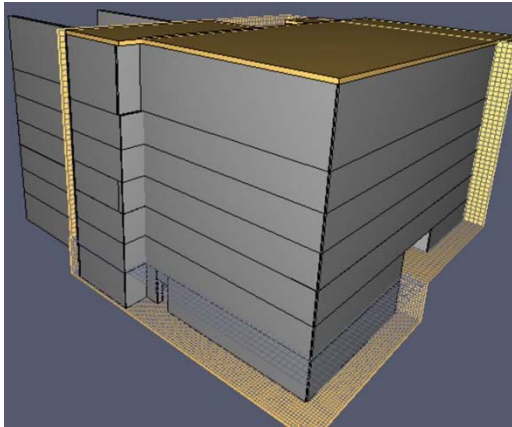
BILDE 1.4 – 2D VISUALISERING AV SIKT I SMOKEVIEW

CFD modeller er svært avanserte og kan benyttes i omtrent alle brannscenarier, der de fleste ønskelige branntekniske tiltakene er mulige å programmere inn. Derfor krever også programmet mye av brukeren samt dataressurser. Det gjelder spesielt å ha gode kunnskaper om brann som fagfelt samtidig som man må kunne se kritisk på både inn- og utdata fra simuleringene. Utdatafilene visualisert i Smokeview vil kunne gi reelle bilder av et brannscenario og dets utfall. Bilde 1.5 under viser et godt eksempel på et rom der en pågående brann blir kontrollert av et utløst sprinklerhode.

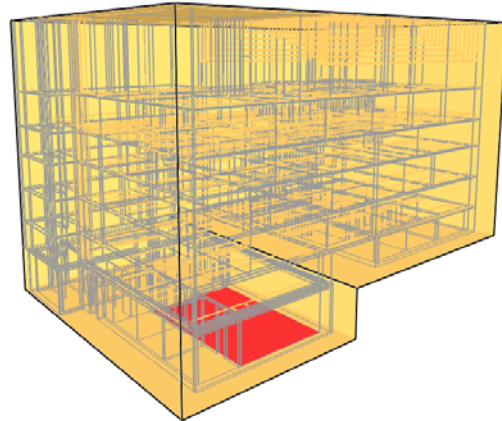


BILDE 1.5 – UTLØST SPRINKLERHODE VIST I SMOKEVIEW (HER PAKKERIET)

Pyrosim er et brukergrensesnitt for å lage modeller som kan visualiseres i CFD programmer, og samtidig gi et godt bilde av hvordan bygget ser ut og hvordan ulike branntekniske tiltak er plassert. Fordelen med Pyrosim er at man slipper å programmere inn all informasjon i et skript, og det vil være lettere å opprette et bygg ved enkel importering av AutoCAD tegninger. Programmet er brukervennlig og gjør det enkelt å redigere alle elementer rundt en simulering som bl.a. brann, bygget og måleområdene. Bilde 1.6 og 1.7 viser eksempler på en modell laget i Pyrosim (her Pakkeriet).



BILDE 1.6 – BYGG VISUALISERT I PYROSIM



BILDE 1.7 – KONTUR AV ET BYGG I PYROSIM

5. Analyse av Pakkeriet

5.1. Behov for analyse

For Pakkeriet i Larvik Mølle vil personrisikoen være dominerende, særlig grunnet forsamlingslokalet øverst. Det finnes flere avvik i forhold til preaksepterte løsninger i Teknisk forskrift for bygget. Å utarbeide effektive løsninger for disse avvikene vil være grunnlaget for analysen. Hovedavvikene for Pakkeriet i forhold til TEK er funnet til:

- Mangel på branncelleinndeling
- Åpne løsninger over flere plan
- Brennbare materialer i bygg i Brannklasse 3
- Dørbredde

Avvikene er utdypet i kapittel 2.2 i risikoanalysen (vedlegg A). Disse sikkerhetsmomentene ønskes det å vurdere opp imot simuleringer og beregninger for å avgjøre om det må utbedres tiltak for rømning.

Det er hovedsakelig forsamlingslokalet i øverste etasje som vil være kritisk med tanke på rømning. I kapittel 2.4 er det gjort en kvalitativ analyse av Pakkeriet for å avgjøre hvilke forhold rundt brannsimuleringer som må gjøres og hvilke konkrete brannforløp som er valgt. Viktige faktorer har her vært oppsett av interne trapperom, utettheter, brannområde, sprinkleranlegg, brannstørrelser og type, samt personbelastning.

Den kvalitative analysen har resultert i at de ulike brannsimuleringene utføres i 1., 4. og i forsamlingslokalet i øverste etasje.

5.2. Akseptkriterier

Forsamlingslokalet vil som nevnt antas å kunne romme et stort antall personer, og det vil derfor være nødvendig at rømning til trapperommene vil skje før forholdene i etasjen blir kritisk med tanke på røykgasskonsentrasjoner og temperaturer. De resterende etasjene med kontorlokaler ses på som mindre kritiske da disse vil inneholde færre personer der disse vil kjenne til bygget, og dermed kunne foreta raskere og sikrere rømning.

Funksjonskrav i TEK gir at tilgjengelig tid for rømning skal være større enn den tiden som er nødvendig for rømning av byggverket. Det skal heller ikke forekomme temperaturer, røykgasskonsentrasjoner eller andre forhold som hindrer rømning. Tabell 1.1 under er fra Norsk Standard 3901 og gir tålegrensene for personer under rømning.

TABELL 1.1 – AKSEPTKRITERIER VED RØMNING

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

I store rom, vil det normalt være siktkriteriet som blir dimensjonerende for rømningssikkerheten.

Tilgjengelig rømningstid er tiden fra en brann starter til det oppstår kritiske forhold sett opp mot akseptkriteriene. Det vil i denne tiden være innbakt en sikkerhetsmargin som er viktig å ta hensyn ved rømning. Sikkerhetsmarginen er primært med tanke på rømning ved tilfeller der branntekniske tiltak ikke fungerer og kan være vanlig å sette til 50 %, avhengig av beregnet nødvendig rømningstid.

Nødvendig rømningstid er summen av deteksjonstid, reaksjonstid og forflytningstid, som totalt vil utgjøre tiden fra brannstart til personene i bygningen har kommet frem til sikkert sted. For Pakkeriet gjelder dette på utsiden av bygget. Definisjonene er forklart nærmere i risikoanalysen, kapittel 2.6.1.

5.3. Nødvendig rømningstid

5.3.1. Forutsetninger

Håndberegninger:

Det dimensjonerende personantallet for Pakkeriet er beregnet ut i fra gitte bygningstegninger (vedlegg A.3) og ved bruk av tabell i Veiledning til Teknisk Forskrift om persondimensjonering i forhold til bruksområde. Personbelastningen for bygget er vist i tabell 1.2 under:

TABELL 1.2 – DIMENSJONERING AV PERSONER FOR PAKKERIET

Dimensjonerende antall personer Pakkeriet	120
1.etg	14
2.etg	22
3.etg	14
4.etg	18
6.etg	26
7.etg	26
8. etg	345
Totalt antall personer dimensjonert for Pakkeriet	465

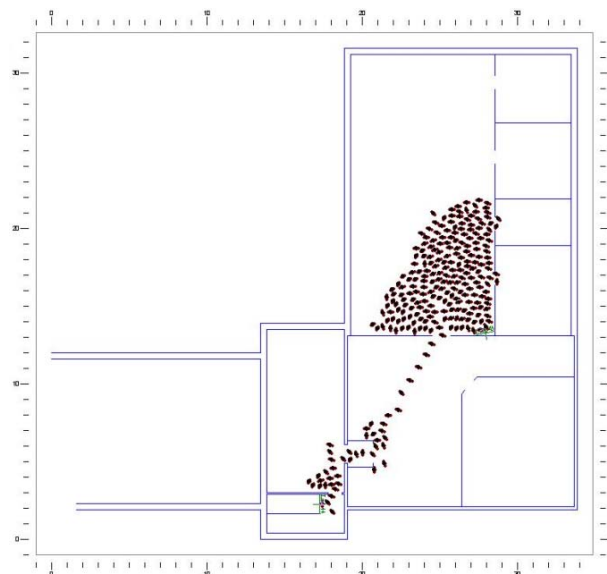
Maksimal personbelastning fra bruksareal er utregnet til 465, derav 345 i forsamlingslokalet. Det har videre i analysene blitt valgt å sammenligne resultater med dette antallet med en belastning på hhv. 200, 150 og 100 personer i forsamlingslokalet.

For håndberegning av nødvendig rømningstid i henhold til byggdetaljblad 520.385 er det gjort en detaljert beskrivelse av bakgrunn for disse beregningene i kapittel 2.7.1.2 i risikoanalysen. Her er det gjort vurderinger som har ført til at de to øverste etasjene har blitt gjeldene som grunnlag for rømningstid.

Simulex:

Inngangsdata for Simulex har vært egenproduserte AutoCAD tegninger (vedlegg A.4) på bakgrunn av de gitte plantegningene fra Asplan Viak. Da det er uklarerhet rundt gyldigheten til disse tegningene er det flere antagelser gjort i forbindelse med simuleringene. Dette går primært på plassering av trapperom og innsnevringer rundt disse. Det er også gjort vurdering om utforming av trapperom, noe som kommer tydelig frem i kapittel 2.7.2 i risikoanalysen. Her gjøres også rede for alle forutsetninger rundt simuleringene samt grunnlag for plassering av linker.

Det er også i Simulex gjort simuleringer med ulikt antall personer som ved håndberegninger. Disse har fått ulike egenskaper etter bruken av de forskjellige etasjene, som *"office staff"* og *"shoppers"*. Under i bilde 1.8 vises et eksempel fra en simulering i Simulex (her fra Pakkeriet).



BILDE 1.8 – EKSEMPEL PÅ SKJERMBILDE FRA SIMULEX

Det har ut ifra forskjellige standarder og temaveiledninger blitt definert en deteksjons- og reaksjonstid som begge er på 1 minutt for Pakkeriet i henhold til byggets bruk og utforming (se kapittel 2.7.1.2). Det har også blitt antatt en dørbredde fra øverste etasje til trapperommene på 120 cm og 90 cm i de resterende etasjene. Disse forutsetningene gjelder for både håndberegninger og ved simulering i Simulex.

5.3.2. Resultater

Håndberegninger:

Resultatene fra håndberegninger over nødvendig rømningstid er vist i tabell 1.3 under. I Vedlegg A.2 i risikoanalysen er regnearket for tabellen vedlagt.

TABELL 1.3 – RESULTATER HÅNDBEREGNING

Personbelastning	Deteksjonstid	Reaksjonstid	Forflytningstid	Rømningstid
345	1	1	5,50	7 min 30 sek
200	1	1	4,60	6 min 36 sek
150	1	1	4,30	6 min 18 sek
100	1	1	4,00	6 min

Simulex:

Resultatene for nødvendig rømningstid i Simulex ut ifra ulik personbelastningen er vist i tabell 1.4 under. Utdatafilene fra Simulex ligger ved som vedlegg A.5 til risikoanalysen, der det i kapittel 2.8.2 er forklart detaljer rundt resultatene.

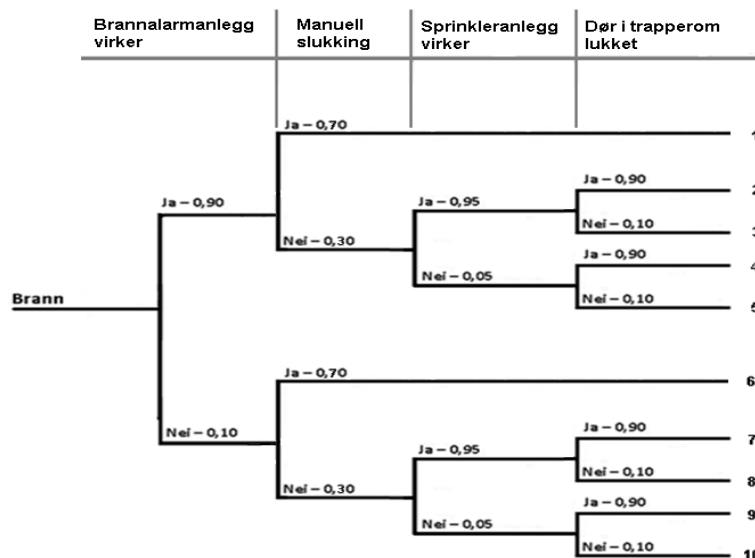
TABELL 1.4 – RESULTATER SIMULEX

Personbelastning	Deteksjonstid	Reaksjonstid	Forflytningstid	Rømningstid
345	1	1	7 min 40 sek	9 min 30 sek
200	1	1	4 min 55 sek	6 min 55 sek
150	1	1	4 min 30 sek	6 min 30 sek
100	1	1	4 min 20 sek	6 min 20 sek

5.4. Tilgjengelig rømningstid

5.4.1. Forutsetninger

Bakgrunnen for valg av brannscenarioer er gjort etter en konsekvensanalyse der ulike branntekniske tiltak har blitt vurdert ut ifra statistiske påliteligheter. Konsekvensanalysen med bakgrunn er fullstendig beskrevet i kapittel 2.7.3 i risikoanalysen i vedlegg A. Særlig kapittel 2.7.3.5 viser påliteligheter for ulike branntekniske tiltak. Ulike hendelsesforløp under en brann har blitt satt sammen til et hendelsestre, der disse analyseres med tanke på konsekvenser og sannsynlighet.



FIGUR 1.1 – HENDELSESTRE FOR ULIKE BRANNSCENARIOER

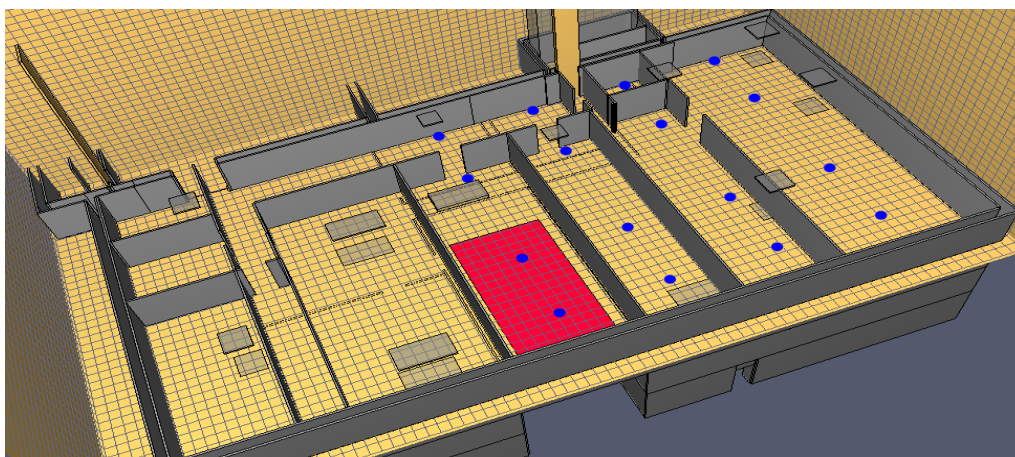
Til hendelsestreet i figuren over (figur 1.9) følger tabell 1.5 for sannsynligheter og konsekvenser av disse hendelsesforløpene. Fargeskalaen markerer konsekvensene av ulike utfall.

TABELL 1.5 – SANNSYNLIGHETER OG KONSEKVENSER PÅ BAKGRUNN AV HENDELSESTRE

Brannscenario	Sannsynlighet	Konsekvens
1	0,630	Ingen vesentlig konsekvens, brann slukkes/begrenses
2	0,2309	Ingen vesentlig konsekvens, brann slukkes/begrenses
3	0,0257	Ingen vesentlig konsekvens, brann slukkes/begrenses
4	0,0122	Middels konsekvenser. Brann slukkes/begrenses ikke. Rømningsveier vil derimot sannsynligvis være røykfrie og rømning vil kunne være mulig ved tidlig varsling.
5	0,0014	Kan få store konsekvenser. Rømningsveier er ikke røykfrie og ingen tiltak begrenser eller slukker brann. Kun varsling gir signal og har innvirkning på utfallet av rømningen.
6	0,070	Ingen vesentlig konsekvens, brann slukkes/begrenses
7	0,0257	Ingen vesentlig konsekvens, brann slukkes/begrenses. Ingen varsling vil kunne føre til begrensede røykspredning, men rømningsveier vil være røykfrie.
8	0,0029	Middels konsekvens. Til tross for sprinkling vil det kunne forekomme røykutvikling som reduserer ganghastighet i rømningsveier.
9	0,0014	Kan få store konsekvenser. Rømningsveier er røykfrie, men ingen tiltak vil varsle eller slukke/begrense en brann.
10	0,0002	Katastrofe. Ingen tiltak fungerer og sannsynligheten for store skader på bygg samt vesentlige skader og død for personer.

Det har ut fra hendelsestreet og drøftingen av behovet for analyse blitt gjort vurderinger som har ført til 9 ulike simuleringer i FDS. Det er gjort 3 ulike scenarier av simuleringer i hhv. 1., 4. og øverste etasje (i forsamlingslokalet). Hvert av scenarioene har blitt utført med voksende brann. Én der sprinkleranlegget fungerer og to der det ikke fungerer, med hhv. åpne og lukkede dører. Kapittel 2.7.3.1 i risikoanalysen viser utdypende grunnlag og vurderinger for branner og brannstart.

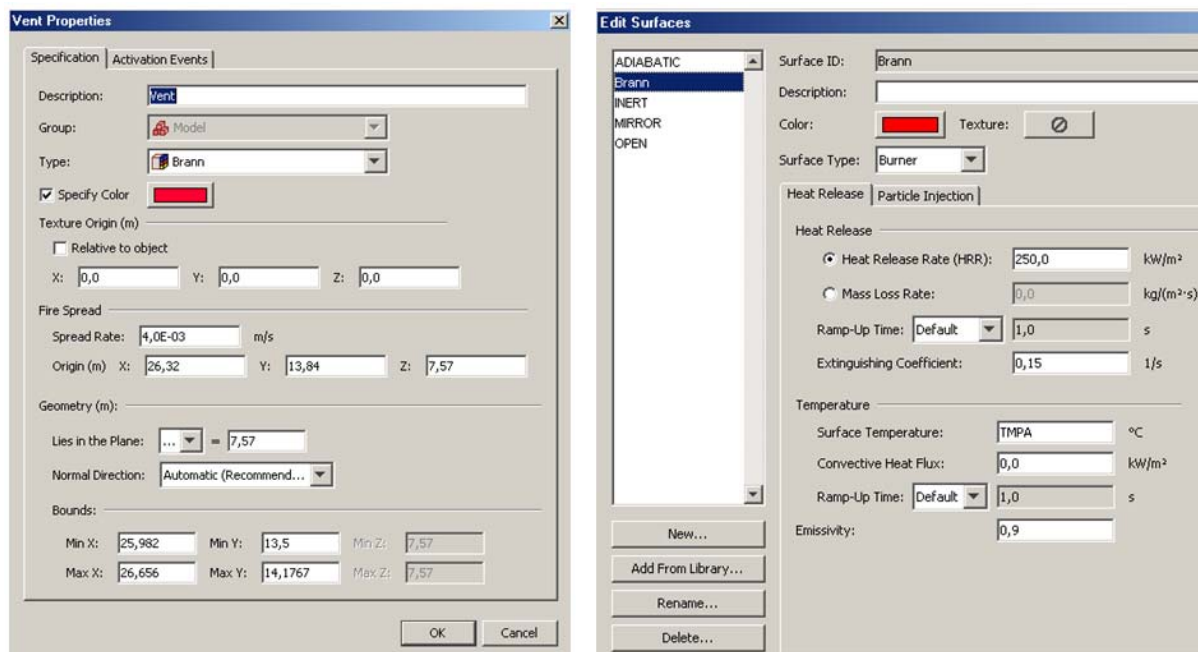
Som ved rømningssimulering i Simulex, er det flere uklarheter rundt byggets utforming. Dette kan være svært viktige faktorer ved bruk av FDS, så det har blitt gjort best mulige tilnærminger ut i fra samtaler med Norconsult samt tegningsgrunnlaget. Takhøyde, utettheter og materialers egenskaper vil gi de største utslagene ved brannsimulering sett opp mot en virkelig brannhendelse. Bilde 1.9 under viser 4. etasje av Pakkeriet fra bygget i Pyrosim. Tegninger for alle de utførte scenarioene ligger i vedlegg A.6 sammen med inndatafilene for FDS simuleringene.



BILDE 1.9 – PYROSIM MODELL MED SPRINKLERE OG BRANNOMRÅDE

På bakgrunn av Norsk Standard NS-EN 1991-1-2 tillegg E, er det gjort beregninger for å tilpasse brannens egenskaper opp mot bruken av Pakkeriet som bygg. Disse beregningene går på bl.a. branneffekt, brannutviklingshastighet og brannstørrelse. Kapittel 2.7.3.2 i vedlegg A viser en detaljert beskrivelse av forholdene rundt brannens egenskaper, samtidig som kapittel 2.7.3.3 gir bakgrunn for bruk av sprinklere under simuleringene.

Det har ut i fra vurderingen blitt antatt en branneffekt i FDS på 250 kW/m^2 for Pakkeriet der brannspredningshastigheten er beregnet sirkulært til $0,004 \text{ m/s}$. Dette vil være tiden brannen sprer seg på sirkulært over det gitte brannområdet. Bilde 1.10 under viser skjermbilder fra FDS der brannens egenskaper legges inn.



BILDE 1.10 – INNDATA PLOTTING AV BRANNEGSKAPER I FDS

For simuleringene i FDS er det valgt å hente ut informasjon om temperaturer, sikt og oksygeninnhold i Pakkeriet ved de ulike brannene. Resultatene vil vises som lesbare 2D plott i bygget etter faste tidsintervall, og visualiseres i Smokeview.

5.4.2. Resultater

I Norsk Standard 3901 for risikoanalyse av brann i byggverk, er det angitt at ved unntak av ulmebrann kan kravet til innhold av gasser antas tilfredsstillende når siktkravet er oppfylt. Verdiene av sikt, temperatur og O_2 -konsentrasjon for de ulike simuleringene er avlest i Smokeview ut i fra de gitte akseptkriteriene. Resultatene som følger på de neste sidene er utdrag fra kapittel 2.8.3 i vedlegg A der det ligger ved utfyllende kommentarer om forhold rundt i bygget, i tillegg til bilder fra simuleringene.

I tabellene er verdiene for temperatur, sikt i brannområde, sikt i rømningsvei og O₂ konsentrasjon markert med grønt der akseptkriteriene er oppfylt, rødt der de blir brutt, og gult der forholdene ligger i grenseland. Tidsintervallene varierer litt mellom de ulike scenarioene, som er en følge av den totale tiden simuleringene har pågått i FDS.

TABELL 1.6 – RESULTATER FRA 1. ETASJE I FDS

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O ₂ [%/100]
1. etasje med sprinkler				
120	20-23	30,0	30,0	0,20
240	26	30,0	30,0	0,20
360	28	24,5	30,0	0,20
480	28	18,5	30,0	0,20
600	28	15,0	30,0	0,20
1. etasje uten sprinkler med åpne trapperom				
180	38-45	26,0-28,0	30,0	0,20-0,21
360	80-110	10,0-12,0	28,0-30,0	0,19-0,20
540	140-220	5,0-7,5	10,0-15,0	0,17-0,18
720	180-260	< 3,0	5,5-8,0	0,15-0,17
900	300-400	< 2,0	2,0	0,13-0,16
1. etasje uten sprinkler med lukkede trapperom				
150	34-44	28,0-30,0	30,0	0,20-0,21
300	60-80	10,0-15,0	30,0	0,19-0,20
450	120-170	5,0	30,0	0,17-0,19
600	160-260	< 3,0	30,0	0,16-0,19
750	220-320	< 2,0	30,0	0,13-0,16

TABELL 1.7 – RESULTATER FRA 4. ETASJE FDS

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O ₂ [%/100]
4. etasje med sprinkler				
150	25-29	28,6-30,0	30,0	0,20-0,21
300	25-33	23,0-27,0	30,0	0,20-0,21
450	25-33	23,0-25,0	30,0	0,20-0,21
600	25-33	22,8-25,0	30,0	0,20-0,21
750	25-33	22,4-25,0	30,0	0,20-0,21
4. etasje uten sprinkler med åpne trapperom				
120	36-50	29,0-30,0	30,0	0,20-0,21
240	57-75	10,0-15,0	30,0	0,19-0,20
360	100-140	6,5-10,0	30,0	0,18-0,19
480	145-190	4,5-7,0	30,0	0,17-0,19
600	190-260	< 3,0	10,0-17,0	0,16-0,18
4. etasje uten sprinkler med lukkede trapperom				
150	30-50	21,0-26,0	30,0	0,20-0,21
300	60-100	8,0-12,0	30,0	0,19-0,20
450	100-180	< 5,0	30,0	0,18-0,19
600	200-300	< 3,5	30,0	0,16-0,18
750	245-350	< 3,0	30,0	0,13-0,16

TABELL 1.8 – RESULTATER FRA 8. ETASJE FDS

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O2 [%/100]
8. etasje med sprinkler				
120	20-25	30,0	30,0	0,20
240	25-28	28,0	28,0	0,20
360	30-35	17,0	20,0-23,0	0,19
480	30-35	10,0-11,0	15,0-17,0	0,19
600	35-40	< 9,0	10,0-13,0	0,19
8. etasje uten sprinkler med åpne trapperom				
160	25-30	30,0	30,0	0,20-0,21
320	60-100	8,0-12,0	8,0-12,0	0,19-0,21
480	140-180	< 3,5	< 3,0	0,16-0,19
640	230-300	< 1,5	< 1,5	0,12-0,15
800	180-200	< 1,5	< 1,5	< 0,10
8. etasje uten sprinkler med lukkede trapperom				
120	20-23	30,0	30,0	0,21
240	35-58	16,0-18,0	30,0	0,20-0,21
360	80-110	5,5	30,0	0,18-0,19
480	120-170	< 3,0	30,0	0,16-0,18
600	150-240	< 2,0	30,0	0,12-0,14

6. Resultater i forhold til akseptkriterier

Utdypende vurderinger av resultatene sett opp mot de gitte akseptkriterier finnes i kapittel 2.9 i risikoanalysen (vedlegg A).

6.1. Nødvendig rømningstid

For personbelastning med mellom 100 og 200 personer i forsamlingslokalet i øverste etasje, er nødvendig rømningstid beregnet til mellom 6 og 7 minutter for hele Pakkeriet. Ved full personbelastning ble det en relativ stor forskjell i resultatene med et sprik på 2 minutter. Det har derfor blitt gjort en vurdering der en personbelastning på maksimum 200 personer i forsamlingslokalet (320 totalt for bygget) settes som grunnlag for sammenligning med FDS resultatene.

6.2. Tilgjengelig rømningstid

Med sprinkleranlegg:

Med et fungerende sprinkleranlegg viser resultatene at akseptkriteriene ikke vil bli brutt for noen av de tre scenarioene der dette utløses. Simuleringene tar for seg et brannforløp på over 10 minutter, noe som vil være antatt godt over det som er nødvendig for rømning.

Uten sprinkleranlegg med åpne trapperom:

I scenarioene der sprinkleranlegget ikke utløses, vil følgene av en brann fort bli kritiske med tanke på brann- og røykspredning. Da trapperommene holdes åpne vil også røykspredning i rømningsveier skje raskt. For brannområdet vil forholdene være uakseptable etter ca 3-5 minutter både med tanke på gasstemperatur og sikt. For rømning fra kontoretasjene vil dette være antatt tilstrekkelig for forsvarlig rømning grunnet få personer i disse etasjene som har kjennskap til bygget. En brann i 8. etasje vil være kritisk med tanke på rømning herfra, men denne vil sannsynligvis bli raskt oppdaget av personer i etasjen. Dette gjør at forflytning til rømningsveiene vil kunne skje raskt. Dessuten vil røyk bevege seg sakte nedover i etasjene og bevare akseptable forhold. Basert på resultatene bør alle personer være ute av bygget etter ca 8 minutter.

Uten sprinkleranlegg med lukkede trapperom:

Ved lukkede dører til trapperommene vil resultatene være omtrent tilsvarende som ved åpne trapperom. Røyken vil spre seg raskt oppover i etasjene gjennom utettheter og via de interne trappene. I brannområdet vil nivåer ha overskredet akseptkriteriene, primært for sikt og temperatur etter 4-5 minutter. Hele bygget antas å inneha kritiske forhold etter ca 7-9 minutter. De verste forholdene vil oppstå ved forsamlingslokalet i øverste etasje. Hvis brannen starter i denne etasjen, vil det allerede etter 4 minutter oppstå temperaturforhold som bryter med tålegrensene for personer under rømning.

6.3. Sikkerhetsmargin

Siden rømningen fra Pakkeriet vil få kritiske forhold etter mellom 7 og 10 minutter ut i fra de gjennomførte simuleringene av ulike branner, vil disse tidene være større enn nødvendig rømningstid for bygget. Dette gjelder ved personbelastning på maks 200 i forsamlingslokalet, 320 totalt i bygget. Det vil ved denne personbelastningen dermed eksistere en sikkerhetsmargin uavhengig av brannstart og om sprinkleranlegget fungerer eller ikke. Det mest sannsynlige scenarioet der sprinklersystemet vil utløses og kontrollere/slukke en brann, vil gi en sikkerhetsmargin på minst 3-4 minutter.

7. Diskusjon

Det er flere punkter rundt analysen av personsikkerheten i Pakkeriet Larvik Mølle som har ført med seg visse usikkerheter underveis i rapporten, og det har måttet blitt gjort en rekke antagelser. I risikoanalysen kapittel 2.10 gis det grundige vurderinger av alle usikkerhetene, og et ekstrakt av disse følger under.

Tegningsgrunnlag for Pakkeriet:

Grunnet usikkerheter rundt gyldigheten til de gitte plantegningene fra Asplan Viak via Norconsult er det gjort rimelige antagelser med tanke på Pakkeriets utforming, bl.a. med tanke på takhøyde, romfordeling, rom arealer, trappeplasseringer og skråtaket i forsamlingslokalet. Konsekvenser av unøyaktige modeller på grunnlag av gitte tegninger av Pakkeriet kan være mindre avvik i ulike tider for brann- og røykspredning i bygget.

Branntype og materialer:

Den voksende brannen i FDS simuleringene for Pakkeriet tar ikke hensyn til materialer og brannspredning utenom i det definerte brannområdet som er lagt inn. I virkeligheten vil brannspredning via ulike bygningsdeler få konsekvenser for utfallet av en brann. Det er i oppgaven gjort ulike plasseringer av brannene for å vurdere de mest kritiske delene av bygget.

FDS:

Størrelsen på beregningsområdene (gridstørrelse) kan medføre usikkerheter rundt en simulering, men må tas hensyn til grunnet dataressurser. Konsekvenser av dette kan blant annet få utfall i sprinklerens utløsning samt hvordan og hvor raskt røykspredning forekommer.

Simulex:

Største usikkerheter i beregninger ved bruk av Simulex ligger i trappenes utforming og plassering i henhold til de reelle plasseringene som er noe uklare. Også personers oppførsel i en reel rømnings-situasjon vil være umulig å gjengi helt, spesielt ved valg av rømningsvei. De interne trappene har ikke blitt vurdert som kritiske i forbindelse med forskjell i rømningstider.

Resultater:

De største unøyaktighetene ved resultater fra FDS simuleringene er antatt å være i forbindelse med avlesning av ulike verdier. Dette på grunn av gitte tidsintervall i programmet, samt fargerskalaer som må leses av manuelt. Foruten dette har det vært godt samsvar mellom resultatene for de ulike simuleringene og verdiene virker generelt pålitelige sett i sammenheng.

Resultatene fra rømningsberegninger har også vist gode overensstemmelse, foruten ved maksimal personbelastning som vil føre til at nødvendig rømningstid blir for stor i forhold til hva som er tilgjengelig i bygget.

8. Konklusjon

Formålet med analysen har vært å vurdere personsikkerheten for Pakkeriet i Larvik Mølle ved bruk av analyseverktøy for beregning av rømningstider og brannforløp. Framgangsmåten gjennom prosjektet har vært å sammenligne hvor lang tid det tar å rømme det aktuelle bygget, sett opp imot når en eventuell brann vil hindre sikker rømning. Det har blitt valgt å benytte anerkjente dataverktøy for de utførte analysene.

Til tross for usikkerheter rundt ulike forhold gjennom prosjektet, virker resultatene fra hele analysen av Pakkeriet i Larvik Mølle fornuftige og er i godt samsvar med hverandre. Den antatte personbelastningen med 200 personer i forsamlingslokalet, som totalt gir en belastning på 320 personer for hele Mølla, virker reell. Da vil de utregnede rømningstidene oppfylle akseptkriteriene, i tillegg til at det vil være en sikkerhetsmargin for de aktuelle personene i bygget. Brannforløpene som er antatt mest sannsynlig å forekomme, vil også gi de største sikkerhetsmarginene ved rømning.

Simuleringene som er gjort er "worst case" scenarier der bygget er fullt, og branntekniske tiltak ikke nødvendigvis fungerer. Det vil i realiteten antas at det ofte er lite personer i bygget, begrenset til kontorvirksomhet. Dette gjør evakuerings situasjoner betydelige bedre i de fleste situasjoner. Oppstår et "worst case" scenario i realiteten er det fortsatt gode muligheter til at forsvarlig rømning kan skje, sett at personbelastningen begrenses nedad til foreslåtte antall.

Da det i dette prosjektet har vært gjort begrensninger til Pakkeriet for hva analysene har omfattet, vil de utarbeidete resultatene også kunne gi et bilde over hvordan personsikkerheten i andre deler av Larvik Mølle vil fremtre i en brannsituasjon. Siden Mølla er et reelt oppussingsobjekt kan denne rapporten være aktuell å benytte til videre branndokumentasjon.

9. Referanser

- [1] Siri K. Herseth, Fylket sponser Hammerdalen, www.op.no, 7.3.08
- [2] Verdiskapning på kulturminneområdet, www.riksantikvaren.no
- [3] Statens Bygningstekniske Etat, Veiledning til Teknisk Forskrift til Plan- og Bygningsloven, 4. utgave mars 2007
- [4] Norges byggforskningsinstitutt, Nødvendig rømningstid ved brann, Byggdetaljer 520.385 Sending 1-2006
- [5] Sveinung Krokban Berg, Lars Jacob Hvinden-Haug, Kari Charlotte Larsen, Kulturmiljøvurdering i Hammerdalen – Larvik - Rapport 19/08 Arealplan / Bygninger og omgivelse, NIKU, 2008.
- [6] Østlandsposten, Fakta Mølla - <http://www.op.no/kultur/article3271923.ece>, 2008
- [7] Riksantikvaren, Verdiskapningsprogrammet - <http://www.riksantikvaren.no>, 2006
- [8] Norges Standardiseringsforbund, Norsk Standard NS-EN 1991-1-2:2002+NA:2008 – Tillegg E
- [9] Norges Standardiseringsforbund, Norsk Standard NS 3901- Risikoanalyse av brann i byggverk, 2008
- [10] Statens Bygningstekniske Etat, Rettledning for tilsyn i byggjesaker – Prosjektering brannsikkerhetsstrategi, Norsk byggtjenestes forlag, Temarettledning – HO-3/2007
- [11] www.gulesider.no, flyfoto over Larvik Mølle
- [12] SINTEF, Rapport 107104 – Innføring i bruk av branntekniske analyser og beregninger – Muligheter og begrensninger, Norges branntekniske laboratorium AS, 2002
- [13] Statens Bygningstekniske Etat, Røykventilasjon, Temaveiledning HO-3/2000
- [14] Forsikringsselskapenes Godkjennelsesnemnd, Sprinklersystemer, planlegging og installasjon, 2000
- [15] Thunderhead Engineering, Pyrosim Example Guide, 2008
- [16] Event Report: Build Boston, skjermbilde Simulex, 2007

10. Vedlegg

Vedlegg A – Risikoanalyse.....	19
Vedlegg A.1 – Dimensjonering av antall personer for Pakkeriet ved Larvik Mølle	- 64 -
Vedlegg A.2 – Håndberegning av forflytningstid for Pakkeriet ved Larvik Mølle.....	- 65 -
Vedlegg A.3 – Plantegninger av Mølla og Pakkeriet fra Asplan Viak.....	- 66 -
Vedlegg A.4 – Simulex inndata, plantegninger i dxf format.....	- 74 -
Vedlegg A.5 – Simulex utdata, tider fra rømnings simuleringer	- 74 -
Vedlegg A.6 – Pyrosim/FDS inndata, fds filer	- 74 -
Vedlegg A.7 – Branntekniske tegninger for Larvik Mølle i dwg format.....	- 74 -
Vedlegg A.8 – FDS utdata	- 74 -

Vedlegg A – Risikoanalyse

Det har blitt valgt å utføre risikoanalysen ut i fra Temaveiledning HO-3/2007, Prosjektering – brann-sikkerhetsstrategi. Dette gjøres for å få et systematisk oppsett av framgangsmåten for å analysere Pakkeriet ved Larvik Mølle.

1. Generelt

1.1. Hva oppdraget og ansvaret omfatter

Analysen av personsikkerheten omfatter Larvik Mølle, som er et eksisterende bygg som skal ombygges til kontorlandskap med forsamlingslokale i øverste etasje.

Rapporten begrenses til utførelse av analyse med tanke på personsikkerhet ved rømning fra Pakkeriet som er en del av Mølla. Pakkeriet vil være området av Mølla som er mest kritisk med tanke på personsikkerhet ved brann da det skal tilrettelegges for et forsamlingslokale i øverste etasje. Pr i dag finnes det et nyere tilbygg til Pakkeriet som skal rives ved oppussing av Mølla. Bilde A.1.1 viser pakkeriet med Silo for trapperom inne det røde merkede området



BILDE A.1.1 – FOTOGRAFI AV LARVIK MØLLE

1.2. Identifisering av prosjektet og byggverket

Oppdragsgiver:	Norconsult Larvik AS ved Gjermund Hybbestad.
Navn på prosjektet:	Analyse av personsikkerheten ved Pakkeriet i Larvik Mølle
Navn på byggverk:	Larvik Mølle
Adressa til byggverket:	Møllegata 3, 3256 Larvik

Hammerdalen i Larvik er et av 7 pilotprosjekter under Verdiskapningsprosjektet som er et nasjonalt prosjekt for kulturminner satt i gang av Miljøverndepartementet og Riksantikvaren. Prosjektet strekker seg over en fireårsperiode (2007-2010). Prosjektet med Larvik Mølle i Hammerdalen er et spleiselag mellom Larvik kommune, Vestfold Fylkeskommune, Treschow-Fritzøe, Høgskolen i Vestfold og Riksantikvaren.

Verdiskapningsprosjektet i Hammerdalen skal bidra til at kulturarv, kompetanse og næringsutvikling i samspill skal føre til at kulturmiljøet i Hammerdalen ivaretas samtidig som området skaper økonomiske verdier.

1.3. Om Larvik Mølle og Hammerdalen

1.3.1. Historikk

Fritzøe Mølle er et monumentalt bygningskompleks, som i nåværende form er bygget opp rundt tre separate teglbygninger; Pakkeriet, Mølledelen og Kornsiloen. Møllebygningen har vært gjenstand for mange ombygginger og moderniseringer opp gjennom tidene, frem til nåtidens helautomatiske handelsmølle. Driften av Mølla ble nedlagt i 2002. De tre delene av bygget er samlet og utvidet i flere faser, blant annet i 1894, 1953, 1961, 1980 og 1991. Flere av ombyggingsfasene/påbyggingene er godt lesbare i eksteriøret, og selve byggekonstruksjonen er godt bevart. Bilde A.1.2 viser hele Larvik Mølle med Siloene i bakgrunnen, Mølla i midten, og den nyere siloen samt Pakkeriet med tilbygg i forgrunnen.

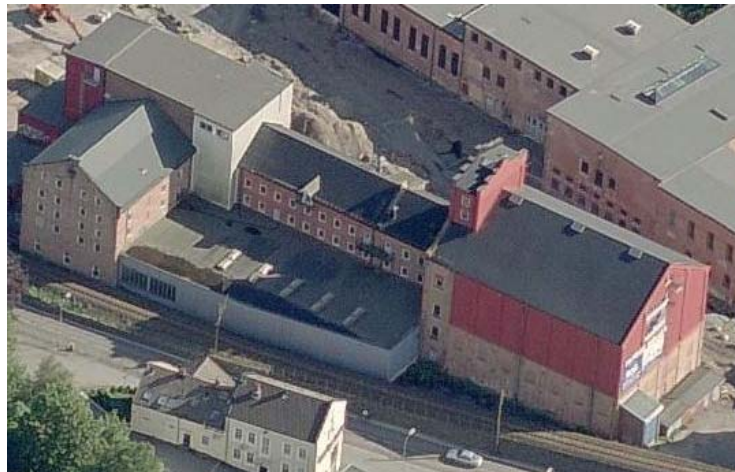


BILDE A.1.2 – FOTOGRAFI AV LARVIK MØLLE

Pakkeriet som denne rapporten tar for seg skal bli kontorlandskap og arbeidslokaler for kunstnere, med et forsamlingslokale i øverste etasje. Mølla skal bli restaurant og ha kafeteria i første etasje, mens det er planer om at det skal være kontorer for forskjellige bedrifter oppover i etasjene. Siloen skal også tilrettelegges for kontorlandskap.

1.3.2. Mølla

Kommune: Larvik
 Sted: Hammerdalen
 Totalareal: ca 9000 m²
 Bygge år: 1859-1878.

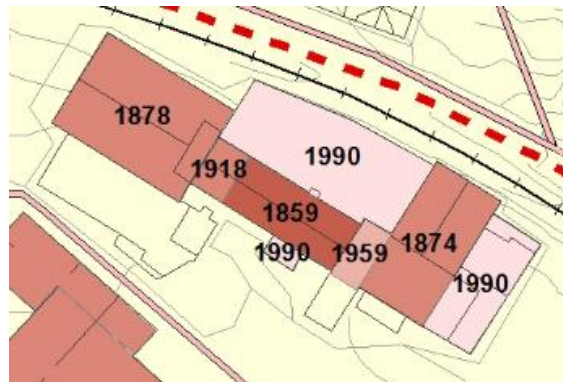


BILDE A.1.3 – FOTOGRAFI LARVIK MØLLE

Den eldste delen av bygningskomplekset er volumet i midtpartiet – Mølla fra 1859. Tidligere var det turbindrift i underetasjen, mens bygningsdelen i sør- øst rommet opprinnelig pakkeri/ferdigvarelager. Her er det solid og godt bevart tømmerverk, og bærekonstruksjonen viser kraftige søyledimensjoner i nedre etasjer og slankere dimensjoner oppover i bygget. Her er det til dels lav etasjehøyde.

Møllevirksomheten, som var den eldste av Fritzøes industrivirksomheter, opphørte i 2002, og lokalene tilrettelegges nå blant annet for ulike kulturbedrifter. Anleggets kvaliteter ligger i det monumentale industripreget som er skapt gjennom de ulike produksjonstilpassende utbyggingsfasene. Anlegget er tydelig lesbart som et produksjonslokale tilpasset ulike behov og byggeepoker.

Det anslås en kostnad på opp mot 120 millioner for å sette hele Mølla i stand. Bilde A.1.3 og A.1.4 viser hhv. dagens utseende på Larvik Mølle med et nybygg som ligger mellom de tre delene av bygget samt en oversikt over når hvilke deler av Mølla ble bygget.



BILDE A.1.4 – BYGGE ÅR PÅ DELER AV MØLLA

1.3.3. Området

Hammerdalen er et område i Larvik med en 600 år gammel industrihistorie. Et stort areal skal omdannes til en bydel med boliger og ny næringsvirksomhet.

Prosjektområdet omfatter det gamle jernverksområdet, som navnet Hammerdalen henspeler på, og strekker seg videre oppover langs Farriselven til Farrisvannet, nedover mot Larviksfjorden og vestover mot bydelen Langestrand. Prosjektområdet inneholder damanlegg, rester etter jernverk fra 1600-tallet og videre langs elva finner man et industriområde med bygninger fra sagbruksdrift samt Larvik Mølle.

En viktig del av prosjektet er å dokumentere Hammerdalens utvikling. I dalen er det fremdeles mange minner etter Fritzøe Verk og viktige faser i industribedriften Treschow-Fritzøes utvikling. Mange spor etter kunstnerisk, håndverksmessig og teknologisk kompetanse er bevart og kan gjenfinnes i dag. Verdiskapningsprosjektet som omfatter alt av arealer og bygninger i Hammerdalen skal nå også ta hånd om utviklingen av Mølla som helhet.

1.4. Branntekniske forutsetninger for prosjektet

Dimensjonerende personantall for Pakkeriet i etasjene med kontorer, er gitt på grunnlag av bruksareal for etasjene og dimensjonering av fri bredde i rømningsvei i Veiledning til Teknisk Forskrift § 7-27. Denne vurderingen gjøres da kontoretasjene er i risikoklasse 2 og det antas forholdsvis lav personbelastning i denne delen av Pakkeriet. Når det gjelder forsamlingslokalet i øverste etasje vil tiden herfra være kritisk med tanke på tømning av bygget, og derfor vil personantallet her bli vurdert ut ifra risikoanalysen. Beregnet personbelastning ut i fra bruksareal er gjort til 345 personer for forsamlingslokalet og mellom 10-30 for hver av etasjene med kontorer.

Beregning av personbelastning er vist i vedlegg A.1.

§ 7-22 tabell 1 i Veiledning til Teknisk Forskrift gir risikoklasser ut i fra bruksområder. De 7 nederste planene vil være i risikoklasse 2 da disse skal benyttes til kontorvirksomhet, og øverste etasje vil være i risikoklasse 5 for forsamlingslokale. Bygg med høyere risikoklasse enn 1 og med mer enn 5 etasjer vil falle under brannklasse 3.

Larvik Mølle ligger ca 20 meter fra andre bygg, så brannspredning til omgivelser vil være lite sannsynlig. Med tanke på innsats fra brannvesenet er det god fremkommelighet på hele forsiden av bygget. Baksiden er vendt ut mot togsjennene til Vestfoldbanen, og det kan her være vanskelig å komme til med stigebil

Mølla er et murbygg der alt av bærebjelker, gulv og tak er av treverk. Etasjeskillene bærer preg av mye uttettete gjennomføringer, og bæresystemet gjør det svært vanskelig å kunne oppføre nye brannskillende bygningsdeler. Da kontorene er tenkt for bruk av kunstnere vil det være rimelig å anta en viss mengde maling og kjemikalier som blir oppbevart i bygget. Den største risikoen ved bygget er faren for en svært hurtig brannutvikling og røykspredning til alle etasjene ved en eventuell brann. Bilde A.1.5 og A.1.6 under viser utvendig fasade på bygget og innvendig kledning og bæresystem i tillegg til en av de gamle skruene som går gjennom flere etasjer i bygget.



BILDE A.1.5 – UTVENDIG FASADE PAKKERIET



BILDE A.1.6 – INNVENDIG UTSEENDE PAKKERIET

Regelverk som er lagt til grunn for risikoanalysen er:

- Teknisk forskrift til Plan- og Bygningsloven 1997 med veiledning, 4. utgave mars 2007
- Temaveiledning – Rettleiing for tilsyn i byggjesaker, 1. utgave, 1. opplag, 11-2007
- Byggedetaljer 520.385 – Nødvendig rømningstid ved brann
- Norsk Standard NS-EN 1991-1-2:2002+NA:2008 – Tillegg E
- Norsk Standard NS 3901 – Risikoanalyse av brann i byggverk
- FG reglene for sprinkleranlegg med opprinnelse i CEA 4001:2000-04(en)

1.5. Opplysning om prosjekteringsmodell

Denne oppgaven tar ikke for seg å utarbeide en fullstendig brannstrategi, men er basert på analyser av personsikkerhet ved brann for Pakkeriet i Larvik Mølle. Alle utregninger og foreslåtte tekniske løsninger er gjort på bakgrunn av ulike analysemetoder. Dette er gjort da forhold i Larvik Mølle går utenfor hva som er preakseptert i Teknisk Forskrift til Plan- og Bygningsloven.

1.6. Hovedutformingen av bygget og installasjoner

Delen av Mølla som blir tatt for seg i risikoanalysen, Pakkeriet, skal hovedsakelig bestå av kontorlandskap. Ut i fra samtaler med Gjermund Hybbestad ved Norconsult Larvik, vil det være åpne områder over flere plan og inndelinger i etasjene som ikke er brannskiller. Etasjeskillene vil heller ikke kunne oppføres som brannskiller. Det skal opprettes to trapperom som skal være utført som egne brannceller med tanke på rømning. Det ene i Siloen som ligger inntil Pakkeriet, og det andre som et eksternt utvendig trapperom. Det er i dette prosjektet antatt at det vil være interne trapperom fra 1. til 3. etasje samt fra 4. til 7. etasje.

Da bygget skal være kontorlandskap antas det at det ikke vil være store installasjoner foruten ventilasjonsanlegg for hele bygget samt sprinkleranlegg som vil være heldekkende.

1.7. Branntegninger/bygningstegninger

Tegningene som er brukt i rapporten er mottatt fra Norconsult i Larvik og er utarbeidet av Asplan Viak AS etter oppmålinger på det eksisterende Møllebygget. Disse er de nyeste plantegningene for Mølla som Norconsult kunne gi, og det er derfor blitt utarbeidet AutoCAD tegninger samt tegninger til de ulike simuleringsprogrammene ut ifra disse. Det er disse tegningene som er benyttet til utregning av personbelastning da det er utregnet bruksareal.

Tegningene fra Asplan Viak ligger som vedlegg A.3.

Norconsult i Larvik har utarbeidet branntegninger for Larvik Mølle på grunnlag av eldre plantegninger av det eksisterende byggverket. Branntegningene fra Norconsult har ikke blitt benyttet som grunnlag for simuleringer da det ble avklart at tegningene utarbeidet av Asplan Viak var de nyeste tilgjengelige. Branntegningene ligger som vedlegg A.7.

Plantegningene for Pakkeriet som er utarbeidet til simuleringsprogrammene er målt opp fra Asplan Viak's tegninger gitt i pdf format (vedlegg A.3) og har blitt digitalisert i AutoCAD. Det er på grunnlag av samtaler med Gjermund Hybbestad i Norconsult gjort enkelte antagelser med tanke på innredning og bredde på dører. Disse endringene er beskrevet i kapittel 2.7.2.

2. Brannteknisk analyse

2.1. Vurdering av Pakkeriet i Larvik Mølle

Larvik Mølle som vil være i brannklasse 3 har i følge Veiledning til Teknisk Forskrift krav til ubrennbare materialer for bæresystem, EI90 A2-s1,d0 [A90] samt etasjeskiller, EI60 A2-s1,d0 [A60]. Likeledes stilles det til bygget krav om begrenset brennbare materialer for kledninger, K₂10 B-s1,d0 [K1], og overflater, B-s1,d0 [In1], i hele bygget. Bygget har som kjent bæresystem og kledninger av treverk, og dette vil ikke tilfredsstillende kravet om ubrennbare eller delvis ubrennbare materialer. For rømningsvei stilles det krav til ubrennbare kledninger K₂10 A2-s1,d0 [K1-A] og B-s1,s0 [In1]. Da det skal oppføres to separate trapperom må disse være utført etter gjeldende krav.

Da Larvik Mølle har flere åpne plan med interne trapper samt eksisterende bæresystem i brennbare materialer, vil det ikke være mulig å tilrettelegge for branncelleinndeling i bruksdelen av Pakkeriet. De to trapperommene vil derimot måtte bli utført som egne brannceller og vil være rømningsvei ut av bygget. De utvendige trapperommene må utføres som Tr2 trapperom for å begrense røykspredning ved brann, dvs. at det må være rom utført som egne brannceller mellom trapperom og hver etasje. Det må være minst én utgang til rømningsvei fra hver etasje i bygget, så det må også antas at den eksterne trappen går helt opp til øverste plan til tross for skråtak i etasjen med forsamlingslokale. For etasjene med kontorer vil det være tilstrekkelig med 90 cm bredde på dør i og til rømningsvei, mens det for forsamlingslokalet i risikoklasse 5 stilles krav til 120 cm dørbredde. Avstander innad i bygget til nærmeste rømningsvei tilfredsstiller kravene ut i fra plantegningene.

Larvik Mølle er per i dag fullsprinklet med et gammelt sprinklersystem, og har fullt alarmanlegg. Teknisk Forskrift tilsier at bygg med risikoklasse 5 og flere etasjer må ha fullt automatisk brannalarmanlegg i kategori 2. Dessuten må bygg med åpne plan over flere etasjer med samlet bruttoareal større en 800m² ha installert automatisk slokkeanlegg. Det forutsettes for nye bruken av Mølla som kontorområde at alarm- og sprinkleranlegg er utført etter dagens regelverk. Det forutsettes også fullt ledesystem grunnet risikoklasse 5 for forsamlingslokalet.

2.2. Vurdering av behovet for verifikasjon

For Pakkeriet vil personrisikoen være dominerende. Der er flere områder som viker fra Teknisk Forskrift (TEK) med Veiledning (VTEK) som gir grunnlaget for analysen. Dette innebærer:

- Mangel på branncelleinndeling etter VTEK av etasjer og rom
- Åpen løsning over flere plan i et bygg der det i tillegg ikke er mulighet for brannskiller mellom planene i forbindelse med disse viker fra TEK. Veiledningen til TEK gir at det maksimalt kan være 3 åpne plan sammenhengende og at disse må være utført som en egen branncelle.
- Brennbare materialer i bygg i Brannklasse 3 er et avvik fra VTEK
- Etasjene som er tilrettelagt for kontorlandskap er på plantegningene skissert med 90cm bredde på dører til trapperommene. For forsamlingslokalet i øverste etasje er det planlagt 120cm dørbredde til trapperom

Disse avvikene vil være kritiske for personsikkerheten for Pakkeriet, da de kan føre til rask røykspredning og redusert rømningshastighet. Det er disse sikkerhetsmomentene som er grunnlaget for analysen av Larvik Mølle, avd. Pakkeriet. Det er derfor ønsket å vurdere om løsningene vil være tilstrekkelige som fravik eller om det må utbedres tiltak.

2.3. Grunngivning for valg av analysemetoder

I henhold til byggeforskriften er ingeniørens oppgave å ivareta sikkerheten til personer i bygninger og nabobygninger og samtidig sikre redningsmannskapene ved innsats ved brann. Byggeforskriften stiller også krav til at branner ikke skal kunne føre til store samfunnsmessige tap. Dette gjelder f.eks. ved verneverdige og samfunnsviktige bygg.

Kvantitative branntekniske analyser innenfor brann benyttes i kompliserte tekniske situasjoner, blant annet for eksisterende bygg

- som er bygget etter tidligere byggeforskrifter
- der det er ønskelig med bruksendringer
- der det avdekkes mange avvik, feil og mangler

samt i nye bygg

- der arkitektens planløsninger ikke følger de preaksepterte løsningsvalgene
- der løsningene skal være kostnadsoptimale

Da det er flere forhold ved Pakkeriet i Larvik Mølle som viker fra funksjonskrav i Teknisk Forskrift er det vurdert nødvendig å gjøre en omfattende analyse med blant annet simuleringer for å vurdere personsikkerheten.

2.4. Kvalitativ analyse

Pakkeriet er svært gammelt og bærer preg av årelang slitasje. Dette i form av skader på vegger tak i tillegg til dårlig tetting mellom etasjene. Ved oppussing vil etasjeskiller og vegger bli forsterket, men disse vil ikke kunne bli brannskillende bygningsdeler grunnet treverket i dagens bæresystem. Det er antatt to interne trapper i Pakkeriet i tillegg til at det er avklart med Norconsult at det skal antas ca 5 % lekkasje av røyk mellom etasjene til tross for de nye etasjeskillene som vil bli laget. Dette gjør at rømning fra forsamlingslokalet i toppen av Pakkeriet vil være svært viktig med tanke på personsikkerhet. Røykspredning fra en eventuell brann vil kunne skje svært hurtig uansett startsted, og det er derfor viktig at det finnes et heldekkende brannalarmanlegg i tillegg til fullt sprinkleranlegg for å kunne øke tiden tilgjengelig for rømning samtidig som brannen begrenses i en tidlig fase.

For etasjene med kontorer har det tidligere blitt vurdert et rimelig lavt personantall (vedlegg A.1), og da det må tilrettelegges for rømningsveier med to trapperom vil det ikke bli sett på som kritisk å rømme fra disse etasjene sett at varsling skjer ved røykutvikling i brannområdet. Derimot vil forsamlingslokalet kunne antas å romme et stort antall personer, og det vil derfor være nødvendig at rømning til trapperommene vil skje før forholdene i etasjen blir kritiske med tanke på røykgasskonsentrasjoner og temperaturer. Dersom ikke brannvarslingsanlegget utløses vil røykspredning gjennom etasjeskillene raskt kunne føre til kritiske forhold for rømning. Sprinklingen vil være et viktig tiltak for å begrense brannutviklingen samt å gi økt tid for rømning ved å kjøle ned røykgasser.

Da bygget hovedsakelig vil bli benyttet til kontorvirksomhet for kunstnere vil det ikke være unormal høy brannrisiko. Utfordringene vil ligge i å begrense konsekvensene av en eventuell brann da brann- og røykspredning vil skje svært hurtig grunnet treverk i bæresystem og innvendig kledning samt åpne planløsninger med lekkasje mellom planene. Av dette velges det å utføre kvantitative analyser med blant annet voksende brann, åpne/lukkede trapperom og der brannteknisk sikkerhetsutstyr ikke fungerer. Det mest gunstige hadde vært å analysere flere brannscenarier i alle rom i bygningen men antall mulige brannscenarier i en kompleks bygning kan bli veldig mange, og det vil ikke være ressurser til å gjennomføre dette. I tillegg velges det å utføre rømningsanalyser samt gjøre håndberegninger for å vurdere nødvendig rømningstid opp mot tilgjengelig tid før kritiske forhold oppstår.

For Pakkeriet har det etter samtale med Gjermund Hybbestad ved Norconsult i Larvik blitt enighet om å utføre kvantitative analyser med tre ulike startsteder for en brann med ulike utviklinger. Det er valgt tre etasjer der brannstart vil forekomme for å få et bredest mulig bilde av konsekvenser av brann- og røykspredning:

- 1. etasje
- 4. etasje
- Øverste etasje, forsamlingslokalet

For rømningssimulering er det valgt å utføre scenarier med ulikt antall personer som oppholder seg i forsamlingslokalet for å vurdere om tidsforskjellen gjør det nødvendig å begrense antall personer i bygget.

2.5. Akseptkriterier

Funksjonskrav i Teknisk Forskrift tilsier at tilgjengelig tid for rømning skal være større enn den tiden som er nødvendig for rømning av byggverket. Det skal heller ikke forekomme temperaturer, røykgasskonsentrasjoner eller andre forhold som hindrer rømning.

Norsk Standard NS 3901 – Risikoanalyse av brann i byggverk gir en tabell med grenser for hvilke forhold personer tåler under rømning, og denne blir lagt til rette som akseptkriterium for analysen av Pakkeriet. I tabell A.2.1 er disse akseptkriteriene gitt. Det vil bli gjort simuleringer der disse forholdene analyseres, og dette vil igjen bli vurdert opp mot rømningstiden av de ulike personbelastningene.

TABELL A.2.1 – AKSEPTKRITERIER VED RØMNING FRA NS 3901

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

I store rom, vil det normalt være siktkriteriet som blir dimensjonerende for rømningssikkerheten.

2.6. Metoder og programmer benyttet ved utregninger

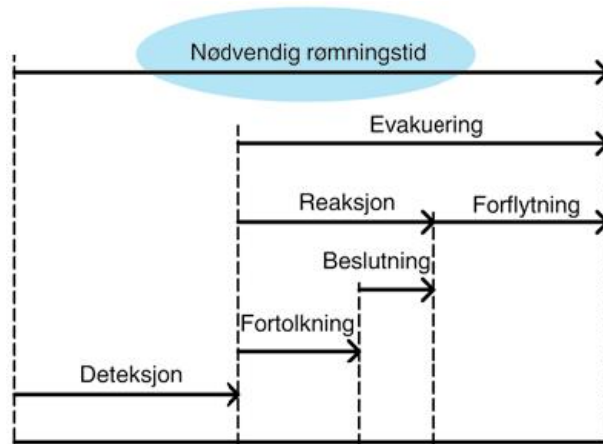
2.6.1. Nødvendig og tilgjengelig rømningstid

For vurdering av personsikkerhet for Pakkeriet er målet å se på resultater for rømningstid opp imot tiden før forhold i bygget blir kritiske. To begrep som er viktige i denne sammenheng er nødvendig og tilgjengelig rømningstid.

Tilgjengelig rømningstid er tiden fra brannstart til det oppstår kritiske tilstander med tanke på tålegrenser for personer. Denne vil være summen av nødvendig rømningstid og en gitt sikkerhetsmargin. Tilgjengelig rømningstid vurderes ut i fra brannsimuleringer der tiden til kritiske forhold oppstår vil bli beregnet.

Nødvendig rømningstid er tiden fra brannstart til personene i bygningen har kommet fram til sikkert sted. Sikkert sted vil for Pakkeriet være utenfor bygget.

Nødvendig rømningstid vil være summen av deteksjonstid, reaksjonstid og forflytningstid, se figur A.2.1 under hentet fra byggdetaljbladet 520.385



FIGUR A.2.1 – ILLUSTRERING AV NØDVENDIG RØMNINGSTID

Deteksjonstid er tiden fra en brann starter til den oppdages, sanses eller detekteres. Den deles i tre:

Oppdagelsestid:	Tid fra brannstart til brannen oppdages
Varslingstid:	Tid fra brannen oppdages til den varsles
Sansingstid:	Tid fra brannen varsles og til noen reagerer

Reaksjonstid er tiden fra brannen er sanset og til rømningen starter. Den deles opp i fortolknings- og beslutningstid.

Fortolkningstid:	Den tid som går med til å erkjenne at det har oppstått en brann i bygningen og gjøre seg en oppfatning om hva det vil være fornuftig å gjøre.
Beslutningstid:	Tid etter fortolkning som går med til å forberede forflytning og velge rømningsvei.

Forflytningstid er den tiden det tar for å bevege seg til sikkert sted.

2.6.2. Håndberegninger

Håndberegningene er utført på grunnlag av byggdetaljer 520.385 - Nødvendig Rømningstid ved brann. Dette er et byggforsksblad fra Norges byggforskningsinstitutt utgitt i 2006. Dette bladet beskriver metoder for å beregne nødvendig rømningstid, og er dokumentert for å kunne brukes i forbindelse med dokumentering av funksjonskravet til rømningssikkerhet i TEK. Håndberegninger vil i tillegg til datasimulering av rømning bli brukt som dokumentasjonsgrunnlag for nødvendig rømningstid for Pakkeriet. Det er valgt å benytte håndberegninger i tillegg til datasimuleringer for å få et bedre bilde av nødvendig rømningstid og for enklere å kunne vurdere eventuelle feilkilder.

Detaljbladet gir i tillegg til utregning av forflytningstiden forslag til beregning og vurdering av deteksjons- og reaksjonstid, som totalt gir nødvendig rømningstid. Det gis også eksempler på utregning av nødvendig rømningstid ved forskjellige scenarioer.

2.6.3. Simulex

Simulex er et anerkjent program brukt verden over for å simulere rømningsforhold i ulike typer bygg. Hensikten med å kjøre simuleringsscenarioer i Simulex er å vurdere behovet for nødvendig forflytningstid samt å vurdere ønskede arkitektoniske forhold i et bygg. Programmet er utviklet av *Integrated Environmental Solutions Ltd.*, et selskap i Glasgow som spesialiserer seg i datateknologi basert på design og bruk av bygninger. Forskere fra ulike land har analysert menneskelig oppførsel ved rømningssituasjoner og brukt disse dataene til å programmere Simulex for mest mulig nøyaktig gjengivelse av slike handlingsmønstre. Versjonen som er blitt benyttet ved rømningssimulering for Larvik Mølle er Simulex – Version 2008.1.0.0

Grensesnittet til Simulex er svært enkelt da det kan benyttes enkle AutoCAD tegninger av et hvilket som helst bygg som grunnlag for simulering. I programmet er det tilrettelagt for å kunne legge inn predefinerte trapperom med ønsket lengde og bredde for å koble sammen ulike plan med linker. Utganger til det fri kan plasseres i alle plan ved en gitt lengde. Når utganger og linker er plassert kan programmet beregne avstander til utganger fra ulike posisjoner i bygget slik at "personene" som rømmer går til nærmeste utgang fra plasseringen.

Personer som plasseres kan gis ulike personlige karakteristika i forhold til rollen de har i det gjeldende bygget. Det er i programmet gitt typiske personbelastninger som kontoransatte, skolebarn, eldre, barn, butikkunder etc. Ved valg av disse egenskapene vil oppførelsesmønsteret til personer i bygget endre seg. Dette gjelder blant annet hastighet og hvor nærme personer kan komme hverandre før hastighet vil bli redusert. Standardinnstillingen for Simulex gjør at personer går slavisk til nærmeste utgang uavhengig av personbelastning. Man kan dog tildele persongrupper andre ruter og utganger enn den korteste som er standard.

En stor fordel ved bruk av Simulex fremfor håndberegninger er at bygningstegninger benyttes og det vil dermed tas hensyn til hindringer i rømnings- og fluktveier. Dette kan påvirke rømningstiden betraktelig sett i forhold til virkelige scenarioer. Inventar, utkragede bygningsdeler, søyler og lignende vil i virkeligheten føre til opphopning av personer, og dette tas hensyn til ved bruk av programmet. Plassering av personer kan også gjøres svært presist i Simulex. Dermed kan det regnes på rømningstider for ulike personbelastninger i forskjellige områder på en svært enkel måte. Når man kjører simulering kan man til enhver tid kunne få informasjon om hvor mange personer det er igjen i ethvert plan eller trappeløp.

Man kan også se hvor opphopning av mennesker vil forekomme grunnet arkitektonisk utforming eller innsnevring. Opphopninger i Simulex kan være et godt grunnlag for brannteknisk prosjekterende til å argumentere mot "farlige" løsninger gitt av arkitekt eller byggherre.

Største begrensningen ved bruk av rømnings simuleringer er personenes ideelle oppførsel. Alle vil starte med å rømme i følge reaksjonstida som puttes inn, og samtlige rømmer til nærmeste utgang hvis ikke noe spesielt er definert. Ved opphopning rundt en utgang som vil ta svært lang tid å komme ut i Simulex, vil ikke personer endre rømningsmønster og eventuelt rømme til en annen utgang uansett belastning ved denne alternative utgangen. Forskning viser at det i virkeligheten oftest forekommer at personer rømmer i flokk uten å vurdere alternative veier, men det vil dog alltid være tilfeller der enkeltpersoner eller grupper vil endre handlingsmønster og forsøke å finne alternative utganger. Dette tas altså ikke hensyn til i prigrammet.

Psykisk oppførsel til personer er heller ikke tatt med i beregninger i Simulex. Ingen personer i programmet får panikk eller handler irrasjonelt, noe som antakeligvis kan skje i virkeligheten. I store uoversiktlige bygg vil det heller ikke være sikkert at alle vet hvor de skal rømme. Dette kan fort øke nødvendig rømningstid.

Det fokuseres i dag mye mer på personer med funksjonshemning enn tidligere, og dette kan ikke tas hensyn til ved bruk av simuleringprogrammet. Forholdene er ideelle for hvert plan, samtidig som trappeløp er definert med standard dimensjon på trinnene. Det er en kjent sak i dag at arkitekter gjerne ønsker å skape unike design på bygg som kan føre til for eksempel forskjellige typer trinnløsninger og spesielle design på trappeløp. Dette er vanskelig å ta hensyn til i Simulex. Som erstatning til for eksempel spiraltrapper kan man minske effektiv bredde til ca 50 % (Byggdetaljer 520.385) på definerte trapper.

Simulex er altså et godt program for å kunne estimere nødvendig rømningstid samt se på tilstander ved rømningsforhold for et bygg. Det vil dog måtte tas hensyn til enkelte faktorer som funksjonshemmede personer og effektive bredder i ganger og trapper, men utenom dette vil programmet kunne gi gode og pålitelige resultater for en rømningssituasjon. Programmet er lett å bruke og da det også er anerkjent er det et godt verktøy for med fordel kan brukes ved branntekniske strategier for rømning av bygninger.

2.6.4. FDS med Pyrosim

Fire Dynamics Simulator (FDS) er utviklet av NIST og er en anerkjent CFD modell. Programmet løser Navier-Stokes ¹ ligninger for langsomt gående strømning med tyngdepunkt på røyk og varmespredning fra branner. FDS er ment for å løse praktiske brannproblemer ved dimensjonering av brannsikkerhet og er samtidig et verktøy for å studere brannodynamikk og forbrenning.

Smokeview er et visualiseringsprogram som blir brukt for å vise resultatet av blant annet FDS simuleringer. Smokeview visualiserer FDS resultatene gjennom å vise partikler, 2D eller 3D kontur av gasstrømning, temperaturprofil og strømningsprofil som viser strømningsretning og størrelse. For eksempel hastighet på røyk ut av et rom.

¹ Matematisk ligning for beregning av strømningsforhold i fluidsystermer

Pyrosim er et grafisk brukergrensesnitt for FDS utviklet av Thunderhead Engineering Consultants, Inc. Her kan det legges inn bygninger og plan ved bruk av enkle AutoCAD tegninger, og hele det ønskede scenarioet kan tilpasses ved bruk av menyer istedenfor koding. Alle faktorer som brannstørrelser, materialer, ulike detektorer og sprinklere kan enkelt legges til og tilpasses.

Bruk av Pyrosim gir et bra bilde på hvordan bygget ser ut før man starter simulering, og krever mindre kunnskap om datakoding.

Det har i dette prosjektet blitt brukt Pyrosim Revision 2008.1.0725 med FDS og Smokeview. Det har blitt brukt en 180-dagers lisens utgitt av Høgskolen i Haugesund

CFD modeller er svært avanserte gir veldig spesifikk informasjon i forhold til enkle håndberegningsmodeller og to-sone modeller (enklere datasimuleringsverktøy). Man får her en tidsavhengig to- eller tredimensjonal beskrivelse av scenarioet, der alle parametere kan bestemmes, og utregninger gjøres for et svært stort antall kontrollvolumer. Slike modeller kan altså gi resultater for mange ulike tilfeller av samme brann med forskjellig plassering av brannkilder. Slike modeller takler også turbulente områder, og man kan derfor beregne faktorer med langt flere parametere enn med enklere modeller.

Fordeler med CFD modeller er at de kan ta hensyn til turbulens, stråling, sot og forbrenning. De kan gi svært oversiktlige resultater med stor nøyaktighet i forhold til andre modeller, og gir mye mer informasjon. Rom og bygg med komplekse geometrier kan ofte kun regnes på ved bruk av CFD modeller.

Ulempen ved bruk av CFD modeller er at de kan være svært tids- og ressurskrevende. Det kan ta flere dager å gjennomføre en simulering, og dette vil være svært kostbart for kunde som ønsker en slik simulering. Det kreves også sterk faglig innsikt innen for brannodynamikken.

Da CFD modeller er svært avanserte kan de benyttes i omtrent alle brannscenarier. Begrensningen vil da være tid og ressurser. Det vil kreves dyp innsikt, og det er svært mange parametere som må tas hensyn til. Man vil dog kunne få oversiktlige resultater over temperatur- og røykspredning samt rømningsforhold. Eventuelle usikkerheter må vurderes nøye.

2.7. Forutsetninger for utregninger og inndata som er benyttet

Det finnes mange forskjellige beregnings- og simuleringsprogrammer som beregner ulike sider av det som skjer ved en brann. Noen programmer inkluderer bare ett element, som rømningstid i f.eks. Simulex, mens andre kan inkludere flere faktorer som f.eks. 3D-visualisering, røyk, gasstemperatur osv, i CFD modeller. For å kunne benytte slike programmer må brukeren ha gode forkunnskaper om brannens egenskaper, blant annet fordi det må velges inngangsdata nøye for å kunne få ut rimelige og reelle resultater.

Ved brannteknisk analyse må man være sterkt kritisk til resultater og begrunne dette nøye med inndata til simuleringer og beregninger man gjør. Dette kan gjelde type brann, materialer, sprinkleregenskaper osv. Når dette er vurdert må resultater ses på opp mot akseptkriterier, så brukeren er nødt til å skaffe seg god oversikt over alle deler av analysen samtidig som å ha gode kunnskaper om alle sider ved en brann og dets forløp.

2.7.1. Håndberegninger

2.7.1.1. Personbelastning

Vedlegg A.1 viser beregninger av antall personer for Pakkeriet ved bruk av tabell 5 § 7-27 i Veiledning til Teknisk Forskrift. Tabellen gir antatt gulvareal i m² pr person ut i fra bruken av arealet. For utregning har tegningene fra Asplan Viak blitt benyttet da disse tegningene er antatt å være de nyeste samtidig som de gir de ulike bruksarealene pr etasje.

For kontor beregnes det 15 m² pr person og i forsamlingslokaler uten faste sitteplasser beregnes det 0,6 m² pr person. Av regnearket er resultatet av personer dimensjonert for Pakkeriet 465 personer. Dette antallet og rømningstiden for disse vurderes opp imot tilgjengelig rømningstid fra CFD modelleringer for å anslå om antallet er forsvarlig med tanke på sikker rømning fra bygget.

2.7.1.2. Rømningstid

Som forklart tidligere i rapporten vil rømningstiden være summen av deteksjonstid, reaksjonstid og forflytningstid. Beregningene av disse er hentet fra byggdetaljblad 520.385.

Da det er krav til heldekkende automatisk brannalarmanlegg i kategori 2, vil det antas en forholdsvis lav deteksjonstid uansett hvor en brann vil oppstå. På grunnlag tabell A.2.2 hentet fra Temaveiledning HO-3/2000 om røykventilasjon, antas deteksjonstiden for bygningen til 1 minutt. Dette er på grunnlag av takhøyden gitt av plantegningene fra Norconsult samt brannveksttiden ut i fra NS-EN 1991-1-2 tillegg E, der denne er valgt til 300 sekunder for kontorer. Dette er nærmere forklart i kapittel 2.7.3.2.

TABELL A.2.2 – DETEKSJONSTID FOR RØYKDETEKTOR

TAKHØYDE (m)		BRANNVEKSTTID t _g				
		RTI	75	150	225	300
3	RØYKDETEKTOR (MIN.)	0	0,5	0,5	1,0	1,0
	TEMP. 68°C (MIN.)	0	0,5	1,0	1,5	2,0
	HURTIG RESPONS (MIN.)	50	1,0	1,5	2,0	2,5
	STANDARD (MIN.)	200	2,5	3,0	3,5	4,0
6	RØYKDETEKTOR (MIN.)	0	0,5	1,0	1,5	1,5
	TEMP. 68°C (MIN.)	0	1,5	3,0	4,5	5,5
	HURTIG RESPONS (MIN.)	50	2,0	3,5	5,0	6,0
	STANDARD (MIN.)	200	3,5	5,0	6,5	7,5
9	RØYKDETEKTOR (MIN.)	0	1,0	1,5	2,0	2,5
	TEMP. 68°C (MIN.)	0	2,5	5,0	7,5	<<
	HURTIG RESPONS (MIN.)	50	3,0	5,5	8,0	<<
	STANDARD (MIN.)	200	4,5	7,0	9,5	<<

Verdien for personers reaksjonstid er hentet fra tabell 421 i NBI 520.385 for varehus. Tabell A.2.3 under viser denne. Bygningen har mindre lokaler med alarmgivere og da vil veiledende reaksjonstid være 1 minutt. Også for kontorer gjelder 1 minutt reaksjonstid dersom brannen ses, noe som vil være sannsynlig ved brann i et kontorområde.

TABELL A.2.3 – REAKSJONSTID

Virksomhet	Personer ser brannen	Reaksjonstid i minutter
Offentlig miljø, skole, kontor, varehus, butikk	Ja	1
Varehus uten rømningsalarm	Nei	4
Varehus, alarmklokke	Nei	3,5
Varehus, enkel talevarsling	Nei	2
Varehus, informativ talevarsling	Nei	1
Mindre lokaler med alarmgiver i aktuelt lokale, mindre kino, butikk, kirke	Nei	1

Nødvendig forflytningstid vil være summen av forflytningstid frem til rømningsveien, tid for passering av dører samt tid for forflytning ned trapper. Dette skrives som $t_{forf} = t_{gang} + t_{dør} + t_{trapp}$, der

$$t_{gang} = \frac{L}{V}, \quad t_{dør} = \frac{N}{(B \cdot f)} \quad \text{og} \quad t_{trapp} = \frac{L}{V}$$

Her er:

- L, lengde på rømningsvei [m]
- V, ganghastighet [m/s]
- N, personer som skal passere en dør
- B, dørbredde [m]
- f, strømningshastighet med personer med nedsatt funksjonsevne [pers/(sm)]
 $f = 1,2 - 0,11 \cdot A$
- A, personer i prosent med nedsatt funksjonsevne. Her er verdien estimert til 10 %. Dette er en antagelse gjort på grunnlag av tidligere oppgaver og diskusjoner med forelesere ved Høgskolen Stord/Haugesund.

Ligningene over for utregning er gitt i samme byggforsklad for utregning av nødvendig rømningstid ved brann 520.385

Håndberegningene for rømning av Pakkeriet er gjort i vedlegg A.2. Forflytning i trapper er beregnet for summen av tiden for 7. og 8. etasje. Dette er på grunnlag av vurdering av at personer fra 8 etasje vil møte de som rømmer fra 7. etasje da det vil ta nesten et halvt minutt før disse også er ute i trapperommet. Det er vanskelig å bedømme flaskehals og retningsvalg ved håndberegninger, så vurderingen med samlet tid over 7. og 8. etasje er en sikkerhetsmargin som er valgt å ta med i beregningene etter tidligere erfaringer med rømningsberegninger, både ved simulering og ved håndberegninger. Bevegelser mellom de interne trappene i 1. og 3. samt 4. og 7. etasje er ikke tatt hensyn til ved håndberegninger.

Tidene for forflytning har blitt utregnet med et forskjellig antall personer i forsamlingslokalet i øverste etasjen. Antallet har blitt valgt for å kunne gjøre estimater om det egentlige antallet som er dimensjonert vil være forsvarlig. Tabell A.2.4 viser de valgte personbelastningene med tilhørende forflytningstid utregnet i vedlegg A.2.

TABELL A.2.4 – ULIKE PERSONBELASTNINGER

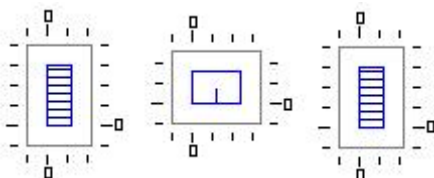
Personbelastning	Minutter	Tid
345	5,50	5 min 30 sek
200	4,60	4 min 36 sek
150	4,30	4 min 18 sek
100	4,00	4 min

2.7.2. Simulex

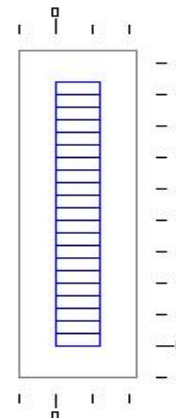
Tegningene av Mølla som er benyttet til rømningssimulering i Simulex er laget på grunnlag av Aspland Viak's plantegninger (vedlegg A.3). Disse er målt opp for hånd, og pakkeriet er tegnet opp i AutoCAD. Tegningene fra Asplan Viak er laget i 2005 og enkelte av løsningene som kommer frem for pakkeriet stemmer ikke med dagens planer for denne delen av bygget. Dette er avklart med Gjermund Hybbestad ved Norconsult i Larvik, og det har etter dette blitt gjort antakelser der både trapperommet i siloen samt det eksterne trapperommet skal føres fra bakken, helt opp til øverste plan. Dette er forklart i vurderingen av Pakkeriet i kapittel 2.1.

I Simulex må trappene legges inn via programmet, og her er det gjort enkelte antagelser med tanke på rømningsscenarioer. Lengden på trappene må gis, så det er ut ifra snittegninger av pakkeriet gitt av Norconsult Larvik gjort overslag av høyden per etasje til 2,2 meter. Plantegningene gir en lengde på trappene på 6,4 meter pr etasje, inklusiv mellomplanet. Av disse er 4 meter trapp, og det regnes ved hjelp av enkel trigonometri ut effektiv lengde av trappene til 6 meter pr. etasje. Gåavstand fra én etasje til underliggende blir da $6 + 2,4 = 8,4$ meter. Bredden på trappene er på grunnlag av tegningene målt til 1,2 meter, som også vil være krav for bygg i RKL 5.

Det er valgt å kjøre simulering med to ulike scenarier for utførelse av trapperommene. Ett der trappene er som forklart over, 3m + 2,4m mellomplan + 3m, og et der hele reelle trappelengden legges inn som én trapp. Dette er for å se om det vil forekomme store forskjeller ved bruk av mellomplan og et stort antall linker mellom trapper og etasjer i Simulex. Bilde A.2.1 og A.2.2 viser alternativene.



BILDE A.2.1 – MELLOMLIGGENDE PLAN I TRAPP

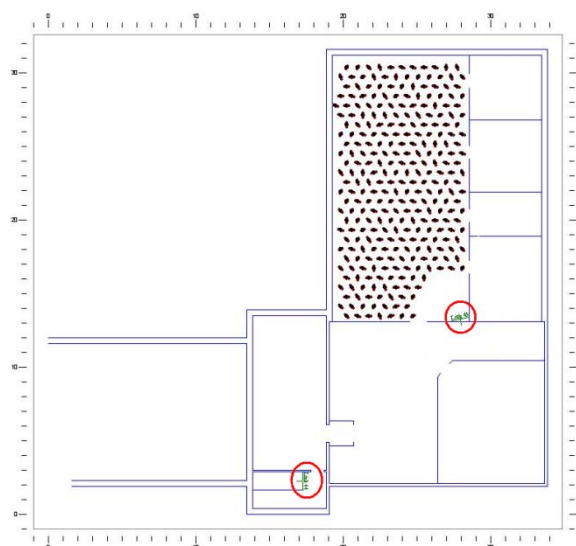


BILDE A.2.2 – ENKEL TRAPP MELLOM PLAN

Det har blitt kjørt ulike scenarier av rømning fra pakkeriet. Personer har blitt plassert rundt i bygget, først etter beregnet antall personer pr etasje (vedlegg A.1), deretter med stadig lavere personantall i forsamlingslokalet. Antallene er de samme som er benyttet ved håndberegninger. Personene i etasjene med kontorer er kjent med bygget og blir lagt inn som "office staff" mens personene i forsamlingslokalet er lagt inn som "shoppers" som er personer som ikke kjenner bygget og derfor vil bruke lengre tid enn kontorpersonal. Personantallet for forsamlingslokalet er i utgangspunktet dimensjonert ut ifra bruksarealet fra plantegningene, og dette antallet virker veldig høyt i forhold til hva som er reelt. Dette gir grunnlag for et "worst case" scenario for rømning, noe som gir resultat for forflytningstid som vil være høyere enn i en reell rømningssituasjon. Lavere personbelastning for øverste etasje er i en virkelig situasjon mer reell, og det har derfor også blitt utført simuleringer med et lavere antall personer. Lokalet er tenkt blant annet som et utstillingslokale for kunstnere, og det vil da antageligvis benyttes areal til diverse utstyr osv. Dette gir også bakgrunn for å kunne tillate en lavere personbelastning i denne etasjen med tanke på rømningssikkerhet ved brann. Dette antallet vil utgjøre en viktig faktor for akseptkriteriet med tanke på forsvarlig rømning fra pakkeriet. Da det skal være kontorlandskap i 1. til 7. etasje vil det i de fleste tilfeller være lite folk tilstede i disse etasjene. Det vil derfor ikke være aktuelt å anta at det vil kunne bli opphopning i trapperommene fra 7. etasje og nedover. Det vil altså være 8. etasje, forsamlingslokalet, som blir kritisk med tanke på opphopning i trapperom. Det kan nevnes at de interne trappene ikke er tatt hensyn til i Simulex.

Rømningssimulering er gjort for 4 ulike scenarier med 2 ulike oppsett for trappeløpene. Simuleringene i Simulex gir samme resultat for rømningstid ved flere forsøk, så det har blitt plassert mennesker i bygget på ulike måter for å få et snitt av rømningstiden ved ulike tilfeller av personbelastningen. Det vil gi en mer reell rømningstid da personer i et bygg sjeldent vil være perfekt fordelt som det kommer frem av gruppeplassering i Simulex. I alle scenarioene er det gjort simuleringer der begge utganger til trapperom er 120 cm brede fra øverste etasje. Disse dørbreddene kommer ikke frem av plantegningene fra Asplan Viak, men krav i VTEK for risikoklasse 5 bygg tilsier at dette må oppfylles. Derfor vil dette være en nødvendighet når Pakkeriet skal ombygges.

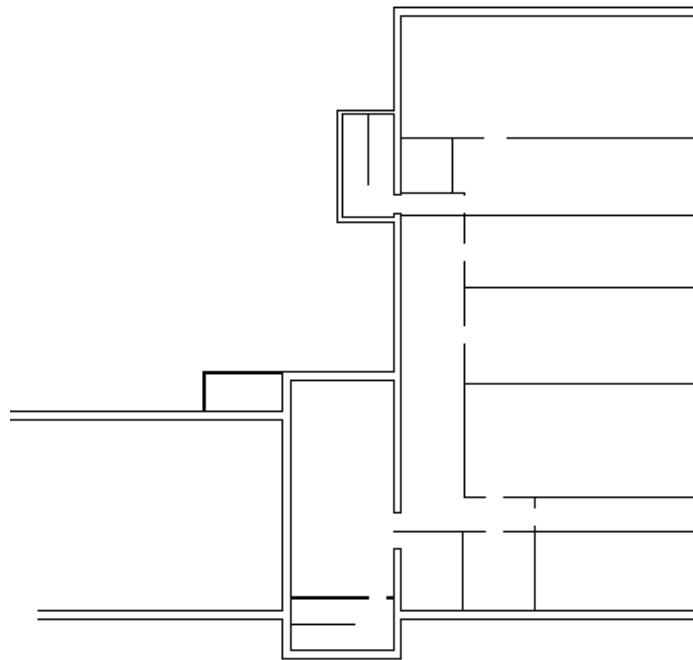
Grunnet programmeringen av personenes oppførsel i Simulex har det måttet bli plassert en link omtrent midt i forsamlingslokalet til det eksterne trapperommet, se bilde A.2.3.



BILDE A.2.3 – PLASSERING AV LINKER I FORSAMLINGSLOKALET

Denne linken går til toppen av det eksterne trapperommet i etasjen under, og er nødvendig for at ikke alle personene kun skal gå til den ene trappen ved bruk av Simulex. Forflytningsmengden kan justeres ved å legge inn ulike kalkulasjoner for distanse for forskjellige grupper personer, men dette krever dypere innsikt i programmet. Metoden som er benyttet i simuleringene for Pakkeriet gir jevn fordeling av rømning fra forsamlingslokalet som også vil være tilfellet for håndberegninger.

Tegningene som er benyttet til å lage Simulex modellen ligger i dxf format fra AutoCAD i vedlegg A.4. Et eksempel på tegningene som er lagt inn er vist i bilde A.2.4 som viser 4. etasje av Pakkeriet. Her vises det eksterne trapperommet oppe til venstre, trapperommet i siloen nederst samt begynnelsen av veggene til resten av Mølla.



BILDE A.2.4 – INNDATATEGNING FRA AUTOCAD TIL SIMULEX. HER 4. ETASJE

2.7.3. FDS og Pyrosim

2.7.3.1. *Bakgrunn for valg av brannstart og brannscenarioer*

I Pakkeriet i Larvik Mølle er det planlagt kontorlandskap med et forsamlingslokale på toppen. I kontorene vil det være relativt få personer som alle vil kjenne bygningen og rømningsforholdene. Forsamlingslokalet i 8. etasje vil derimot kunne ha et høyt personantall, derimot personer som ikke kjenner bygningen. Kan dessuten i denne delen av bygningen befinne seg personer med nedsatt evne til rømning, kan være gamle, unge eller utviklingshemmede. Er her det er størst risiko med tanke på personsikkerhet.

Larvik Mølle bærer preg av mye trekonstruksjoner og gamle gjennomføringer. Det har blitt avklart med Gjermund Hybbestad ved Norconsult i Larvik at det kan antas ca 5 % utettheter gjennom de nye etasjeskillene som skal oppføres. Dette grunnet at det ikke vil være mulig å opparbeide brannskillende bygningsdeler, og at det da vil antas at et røyktett skille heller ikke vil være aktuelt å få oppført. Denne utettheten vil være viktig for brannsimulering av Pakkeriet i FDS da det raskt vil kunne spre seg røyk rundt og oppover i bygget. Etasjen for forsamlingslokalet har en antatt maks høyde på 4,5 meter samt skråtak. Dette er antagelser gjort ut ifra befaringen i forkant av prosjektet da høydene kommer uklart frem i terninger både fra Norconsult og Asplan Viak.

I etasjene beregnet for kontorvirksomhet vil det typisk være en del elektrisk utstyr som kaffetraktere, elektriske ovner og lignende som kan være en mulig årsak til brannstart. Sannsynligvis vil det i disse områdene, som også vil være arbeidslokaler for kunstnere, kunne befinne seg maling og lignende som kan skape farlige røykpartikler. I forsamlingslokalet øverst er det også sannsynlig at det vil være elektrisk utstyr som kan antenne, typisk videokanon etc. En brannstart i Pakkeriet vil raskt kunne utvikle seg til ulikt inventar samt kledning og bæreverk i trematerialer.

Når man velger brannscenarioer bør det velges en såpass varighet av brannen at personsikkerheten utfordres. Så bør det ses på hvor lang tid det tar før akseptkriteriene for rømningsforhold blir brutt. Denne tiden kan variere mye, avhengig av blant annet om det er sprinkleranlegg som fungerer, hvordan brannen starter og hvor i bygget den starter. Det er i de ulike scenarioene for brann i Pakkeriet i Larvik Mølle valgt brannscenarioer på mellom 10 og 15 minutter.

I Pakkeriet vil enkelte brannforløp kunne få svært store konsekvenser for personer i bygget. Hvis aktive og passive brannverntiltak fungerer som de skal vil risikoen for personskader være svært liten uavhengig av hvor brannen starter. Dette kommer tydelig frem gjennom konsekvensanalysen senere i dette kapittelet.

2.7.3.2. *Brannens egenskaper*

Det er på bakgrunn av NS-EN 1991-1-2 tillegg E angitt en største varmeavgivelseshastighet (RHR_f) for ulike typer kategorier av bygg. Dette er egnede statistiske tall for branneffekt per kvadratmeter gitt av Norsk Standard. Det første antente objektet i scenarioet kan ha en høyere verdi av RHR , men når man beregner ut fra arealer på rom vil tall fra standarden være best egnet og vil kunne gi reelle verdier. Ut fra tabell E.4 i standarden velges her 250 kW/m². I tabell A.2.5 er varmeavgivelsistemperaturen merket.

TABELL A.2.5 – VARMEAVGIVELSESHASTIGHET

Største varmeavgivelsehastighet RHR_f			
Kategori	Brannutviklingshastighet	t_{eff} [s]	RHR_f [kW/m ²]
Bolig	Middels	300	250
Sykehus (rom)	Middels	300	250
Hotell (rom)	Middels	300	250
Bibliotek	Hurtig	150	500
Kontor	Middels	300	250
Klasserom i skole	Middels	300	250
Handlesenter	Hurtig	150	250
Teater (kino)	Hurtig	150	500
Transport (offentlig område)	Langsom	600	250

Det mest reelle scenarionet for Pakkeriet vil være en utviklende brann som eskalerer seg fra det små og sprer seg med tiden. I følge NS-EN 1991-1-2 – tillegg E vil det ta 300 sekunder for å få en effekt av en brann på 1000 kW, eller $4m^2$, $\left(4m^2 \times \frac{250kW}{m^2} = 1000kW\right)$.

Da FDS tar for seg en sirkulær spredning av radiusen på en brann vil radiusen på denne etter 300 sekunder da være:

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4m^2}{\pi}} = 1,128m$$

Da veksttiden er funnet kan nå vekstraten til brannen som legges inn i FDS modellen finnes:

$$\frac{1,128m}{300s} = 3,76 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s} \approx 0,004 m/s$$

Den radielle brannspredningshastigheten for brannene som simuleres i FDS for pakkeriet settes til 0,004m/s.

Det vil bli valgt ulike arealstørrelser på brannflaten. Ved en usprinklet brann velges det normalt et relativt stort areal, typisk et stort rom eller lignende. Et rom i 1.etasje av Pakkeriet er eksempelvis 70 m². Når brannen har utviklet seg til å omfatte hele rommet vil da branneeffekten tilsvare $250 kW/m^2 \times 70m^2 = 17500 kW$ eller 17,5 MW. Da kan man teoretisk beregne hvor lang tid det tar før brannen vil nå denne størrelsen ved igjen å benytte formlene for sirkulær spredning:

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{70m^2}{\pi}} = 4,72m$$

$$\frac{4,72m}{0,004 m/s} = \underline{1180s}$$

Det vil da i teorien ta 1180 sekunder (ca 20 minutter) før brannen er så stor at den dekker hele arealet som er angitt, sett at brannen sprer seg lineært etter tabellverdiene. Dette er altså kun tilnærminger til brannspredning da det er svært vanskelig å si hvordan brannutviklingen blir ved en virkelig brann. Det tas altså ikke hensyn til at bygget består av brennbare materialer i simuleringene. Den utregnede tiden kan være nødvendig å angi som inndata i simuleringen med tanke på aktuelt område man begrenser brannen til. Akseptkriteriene for tålegrenser til personer vil i det nevnte tilfellet sannsynligvis overskrides lenge før det har gått 1180 sekunder. Så det vil være forskjellige tider underveis i brannen man vil være interessert i. I FDS kan brannen undersøkes underveis i brannforløpet, og verdier for f.eks. røykgasskonsentrasjoner og sikt kan vurderes fortløpende.

Brannen som legges inn i FDS modellene er en standard brann i Pyrosim. Dette er en "burner" med på 250 kW/m² effekt samt emissivitet på 0,9. Denne typen brann har vært benyttet ved tidligere simuleringer ved Høgskolen i Haugesund, og gir et godt bilde av en brannutvikling i sammenheng med Norsk Standard NS-EN 1991-1-2 om laster ved brann.

2.7.3.3. Sprinkleranlegg

I henhold til FG reglene for sprinkleranlegg vil Larvik Mølle være definert som et klasse OH-3 bygg som tilsier at det vil være ordinær brannbelastning for et næringsbygg. Reglementet gir blant annet dimensjoner for vannmengde og vanntilførsel, samt plassering og avstand av sprinklerhoder med tanke på dekningsareal. Sprinkleranlegget som er benyttet i modellen for FDS er laget ved hjelp av intern veileder Stefan Owe Andersson ved Høgskolen i Haugesund, og er tilpasset kriteriene gitt for anlegget Pakkeriet som næringsbygg i FG reglene. I vedlegg A.6 kan inngangsdata for sprinklerhodene avleses i skriptene fra scenarioer i FDS.

2.7.3.4. Konsekvensanalyse – Bakgrunn for påliteligheter

En brann består av flere fysiske og kjemiske prosesser som påvirker hverandre. Produksjon av røyk og giftige gasser er det som forårsaker de fleste dødsfall i brann samtidig som varmeeeksponeringen er den største trusselen for bærestrukturen og konstruksjonens integritet. Høy temperatur og varmeeeksponering gir også høy energiomsetning i brannen og dermed stor produksjon av røyk og giftige gasser.

Det er valgt å utføre en konsekvensanalyse for å vurdere type simuleringer som skal gjøres for Pakkeriet. Konsekvensanalysen tar utgangspunkt statistikk for ulike brannverntiltak og følgene vurderes av dette ut i fra et hendelsestre. Dette er satt opp med de viktigste branntekniske tiltakene og sannsynligheten for at disse virker eller ikke. Kapittel 2.7.3.6 viser dette hendelsestreet. Inngangshendelsen er brann og om denne blir detektert og varslet ved det automatiske brannalarmanlegget. Deretter om brannen blir slokket eller kontrollert av manuelt slokkeutstyr av personer som oppholder seg i bygget. Etter dette om sprinkleranlegget vil utløses, for så til slutt om utgangene til trapperommene er åpne eller lukket. Konsekvensene og sannsynlighetene som kommer frem av de ulike hendelsesforløpene i hendelsestreet er beskrevet i tabell A.2.12, og er vurdert ut i fra de gitte sannsynlighetene for de ulike branntekniske systemene.

Påliteligheten til de branntekniske tiltakene i et bygg er svært viktig å være oppmerksom på. Det er mange faktorer som påvirker pålitelighet, som

- Kompleksitet - kompliserte tiltak har større sjanse for at feil kan oppstå
- Følsomhet - tiltaket kan være følsomt for de antakelser og forutsetninger som ligger til grunn for dimensjoneringen
- Sårbarhet - evnen til å tåle ulykkesbelastning
- Konflikt - tiltak som kommer i konflikt med aktiviteten som utføres (Dette kan eksempelvis være hull i brannvegger eller dører som holdes åpne med kiler)
- Tilgjengelighet - tiltaket mangler sin tiltenkte funksjon som følge av komponentfeil eller at lastene på tiltaket er større enn det er dimensjonert for

Alle tiltak har en viss sannsynlighet for å svikte totalt eller ha redusert funksjon i forhold til hva som er planlagt. Svikt i ett sikkerhetstiltak bør ikke kunne lede til en katastrofe, men der dette er mulighet vil det være nødvendig å installere et eller flere uavhengige brannforebyggende tiltak.

Passive brannverntiltak omfatter bæreevne, material- og konstruksjonsvalg og planløsning samt rømningsveier. Materialers egenskaper ved brannpåvirkning har stor betydning for brannutviklingen og muligheten for personer til å foreta sikker rømning. Gode branntekniske egenskaper på overflatematerialene gir vern mot antennelse, varmeavgivelse (brannspredning) og røykutvikling. I en tidlig fase av en brann er det egenskapene til overflater og inventar som vil styre brannutviklingen. Å redusere totalt brennbart materiale i en bygning til et minimum er sannsynlig det beste brannverntiltaket. Overflater og type brennbart materiale har som nevnt ikke blitt vurdert nøye i rapporten om Larvik Mølle, og dette må også tas hensyn til ved drøfting og konkludering av resultatene av brannsimuleringene. Pålitelighetstall for konstruksjonsdeler er i hovedsak basert på ekspertvurderinger, og det blir derfor vanskelig å sette seg inne i disse forholdene.

2.7.3.5. Konsekvensanalyse – Påliteligheter for branntekniske tiltak

Sprinkleranlegg:

Hensikten med et sprinkleranlegg er å slukke eller kontrollere sannsynlige branner inntil slukking kan bli fullført med andre midler samt å forhindre brannsmitte til andre områder. Et sprinkleranlegg dekker ofte funksjonen til et alarmanlegg ved å varsle en brann, men følsomheten er generelt lavere. Sprinklersystem er et effektivt tiltak for å hindre at en brann sprer seg til et større område og er vel dokumentert for å forhindre omkomne i mange ulike branner. Til tross for dette er typiske brannscenarioer der kritiske tilstander kan oppstå med sprinkleranlegg ved ulmebrann, i en brann der vannsprayen ikke treffer brannkilden, i svært raske branner og i branner der brannbelastningen er større enn det sprinkleranlegget er dimensjonert for.

Det finnes mange ulike kilder med data fra inntrufne branner der sprinkleranlegg var til stede. De ulike studiene varierer i midlertidig mye med hensyn til tidsperioden som er analysert, type bygninger, hvilket detaljeringsnivå det er på dataene og hva som inngår i pålitelighetsbegrepet.

Når et sprinklersystem aktiveres vil røyken bli omrørt grunnet avkjøling, og en vil normalt ikke få det karakteriske røykgass-sjiktet som er vanlig uten sprinkler. Dette vil kunne redusere sikten i brannområdet der det normalt vil være bedre sikt langs bakkenivå.

Tabell A.2.6, A.2.7 og A.2.8 er hentet fra SINTEF Rapport – En innføring i bruk av branntekniske analyser og beregninger – Muligheter og begrensninger, og er basert på tall fra den britiske standarden (BS DD 240,1997). Disse angir sannsynligheten for at brannverntiltak fungerer som planlagt.

TABELL A.2.6 – PÅLITELIGHET FOR BRANNVERTILTAK

Brannverntiltak	Pålitelighet [%]
<i>Slokkesystemer</i>	
Sprinkler (The Warren Centre, 1989)	95
Gassbaserte slokkesystem (f.eks. CO ₂) (Finucane og Pinkney, 1989)	94
<i>Røykventilasjon</i>	
Mekanisk (Steciak og Zaosh, 1992)	90
Naturlig	90
<i>Deteksjon system</i>	
Varme og røyk (North, 1973)	90
Flamme	76
<i>Passive systemer</i>	
Vegger og golv (perforering for brann)	95
Brannør (Steciak og Zaosh, 1992)	70
Dør med dørlukker i trapperom (Steciak og Zaosh, 1992)	90

Det er gjort en rekke forsøk og det finnes mange ulike kilder på påliteligheten for sprinkleranlegg. Under, i tabell 2.7, angis resultater fra flere store internasjonale studier av brannverntiltak.

TABELL A.2.7 – STUDIE AV PÅLITELIGHET AV BRANNVERTILTAK

Brannverntiltak	Warrington Delphi UK (Delphi Group)		Fire Eng. Guidelines Australia (Ekspert vurdering)		Japanske studier (Inntrufne hendelser)	
	Ulmebrann	Flammebrann	Ulmebrann	Flamme/ overtenning	Tokyo FD	Watanabe
Varmedetektor	0	89	0	90/95	94	89
Røykdetektor for boliger	76	79	65	75/74	IA	IA
Røyk detektor	86	90	70	80/85	94	89
Optiske røykdetektorer	86	88	70	80/85	94	89
Røykdetektor med avsug	86	IA	90	95/95	IA	IA
Sprinkler virker	95		50	95/99	97	IA
Sprinkler kontrollerer, men slokker ikke	64		IA		IA	IA
Sprinkler slokker	48		IA		96	IA
Mur konstruksjon	81		95 dersom ingen åpninger 90 dersom åpninger har automatisk lukking		IA	IA
Gipsskille	69		95 dersom ingen åpninger 90 dersom åpninger har automatisk lukking		IA	IA

Tabell 2.8 gir et pålitelighetsestimert for sprinkleranlegg med en varierende grad av kilder.

TABELL A.2.8 – SPRINKLERES PÅLITELIGHET

Bolig	Institusjon	Næringsbygg	Annet ⁹	Alle kategorier
n=1	n=1	n=9	n=7	n=18
96,6*	96,6*	88,1 < 93,1 < 98,1	93,9 < 96,0 < 98,1	92,2 < 94,6 < 97,1

For "næringsbygg", "annet" og "alle kategorier" er det såpass mange kilder at estimatene gir god informasjon. På bakgrunn av de overstående tabellene fra ulike studier blir påliteligheten for sprinkleranlegget ved Larvik Mølle antatt å være **95 %**.

Brannalarmanlegg:

Formålet med et brannalarmanlegg er å alarmere alle berørte personer slik at de kan komme seg i sikkerhet i tide, eventuelt medvirke til at brannvesenet blir varslet. Dette er et svært effektivt tiltak som er utbredt og det stilles i Teknisk Forskrift krav til bruk av automatisk brannalarmanlegg ved flere typer bygg. Falske alarmer er et problem med brannalarmanlegg da dette over tid kan medføre at personer ikke reagerer så raskt som de skal ved en reell brann. Alarmens informasjonsinnhold er viktig for at folk forstår hvilken situasjon som varsles.

Tabell A.2.9 er et utdrag fra tabell A.2.6 hentet fra SINTEF Rapport – En innføring i bruk av branntekniske analyser og beregninger – Muligheter og begrensninger og angir sannsynligheten for varme- og røykdetektorer fungerer.

TABELL A.2.9 – UTDRAK AV TABELL 2.6

Naturlig	90
<i>Deteksjon system</i>	
Varme og røyk (North, 1973)	90
Flamme	76
<i>Passive systemer</i>	

På bakgrunn av den britiske standarden er påliteligheten for denne type brannalarmanlegg rundt 90 %. I tabell A.2.7 over de store internasjonale studiene som er gjort viser et utdrag i tabell A.10 påliteligheten til røyk- og varmedetektorer. Gjennomsnittet ligger også her på rundt 90 %.

TABELL A.2.10

	Ulmebrann	Flamme-brann	Ulmebrann	Flamme/ overtenning	Tokyo FD	Watanabe
Varmedetektor	0	89	0	90/95	94	89
Røykdetektor for boliger	76	79	65	75/74	IA	IA
Røyk detektor	86	90	70	80/85	94	89
Optiske	86	88	70	80/85	94	89

Verdier fra tabellene gir dermed grunnlag for å anta en pålitelighet for et alarmanlegg med detektorer for Larvik Mølle på **90 %**.

Selvlukkende dører til rømningsvei:

Dører til rømningsvei som for Pakkeriet vil være til trapperom i siloen og det eksterne trapperommet må være selvlukkende og røyktette. Dette er krav i VTEK for rømming av bygget med sine karakteristika. Det er svært viktig at dører med selvlukkere ikke holdes manuelt åpent av kiler og lignende da disse er kritiske for å holde rømningsveier røykfrie. Påliteligheten for at dører med selvlukkere i trapperom fungerer som de skal er hentet fra den britiske standarden (BS DD 240, 1997) som er angitt i SINTEF rapporten "En innføring i bruk av branntekniske analyser og beregninger – Muligheter og begrensninger." Et utdrag av tabell A.2.6 for påliteligheter vises i tabell A.2.11 under.

TABELL A.2.11 – PÅLITELIGHET AV BRANNVERNTILTAK

Brannlukk (Steciak og Zoosh, 1992)	70
Dør med dørlukker i trapperom (Steciak og Zoosh, 1992)	90

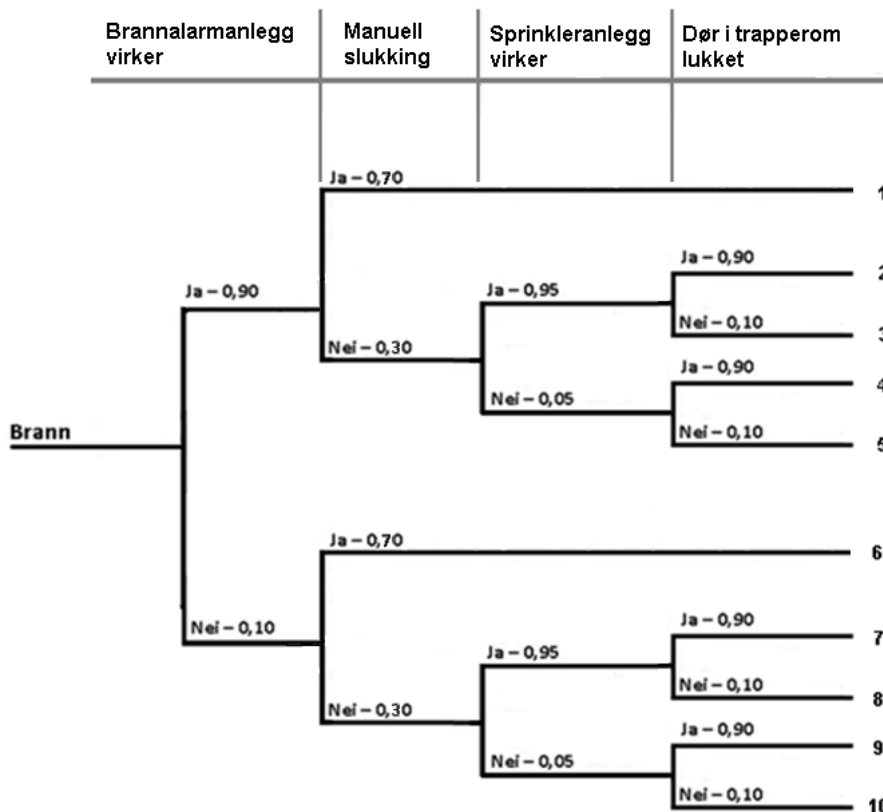
Av dette antas det at påliteligheten for at dører i trapperommet er lukket vil være **90 %**

Manuelt slukkeutstyr:

Da det har vært vanskelig å oppsøke informasjon og statistikker om sannsynligheten for at en brann som starter blir slukket manuelt av personer blir det gjort en ren antagelse for dette. Branner er ofte forårsaket av elektriske artikler som kortsletter eller står tent for lenge, og når et typisk apparat tar fyr vil det ofte være mennesker til stede som benytter dette. Da vil det være sannsynlig at med riktig opplæring vil de fleste personene i nærheten ha evne til å slukke den startende brannen. I dagens samfunn med høy fokus på brann vil ansatte i Larvik Mølle antageligvis ha fått opplæring i riktig bruk av håndslukkeutstyr, og vil dermed være i stand til å hindre at en større brann får utvikle seg. En brann på nattetid som ikke blir registrert vil kunne få katastrofale følger, men det vil antagelig være mindre sannsynlighet for en brann på dagtid enn utenfor brukstida.

Det blir på dette grunnlaget antatt en sannsynlighet for at en brann vil bli slukket manuelt i Larvik Mølle på **70 %**.

2.7.3.6. Hendelsestre for scenarioer med tabell



FIGUR A.2.2 – HENDELSESTRE AV ULIKE BRANNTENKISKE TILTAK

Merk at konsekvensene i tabell A.2.12 er gitt på bakgrunn av sannsynligheten. Scenarioer som har høy sannsynlighet har normalt liten konsekvens ved brann og likeledes har scenarioer som sjelden inntreffer ofte store eller katastrofale konsekvenser.

TABELL A.2.12 – VURDERING AV SANNSYNLIGHETER OG KONSEKVENSER AV HENDELSESTREET

Brannscenario	Sannsynlighet	Konsekvens
1	0,630	Ingen vesentlig konsekvens, brann slukkes/begrenses
2	0,2309	Ingen vesentlig konsekvens, brann slukkes/begrenses
3	0,0257	Ingen vesentlig konsekvens, brann slukkes/begrenses
4	0,0122	Middels konsekvenser. Brann slukkes/begrenses ikke. Rømningsveier vil derimot sannsynligvis være røykfrie og rømning vil kunne være mulig ved tidlig varsling.
5	0,0014	Kan få store konsekvenser. Rømningsveier er ikke røykfrie og ingen tiltak begrenser eller slukker brann. Kun varsling gir signal og har innvirkning på utfallet av rømningen.
6	0,070	Ingen vesentlig konsekvens, brann slukkes/begrenses
7	0,0257	Ingen vesentlig konsekvens, brann slukkes/begrenses. Ingen varsling vil kunne føre til begrensede røykspredning, men rømningsveier vil være røykfrie.
8	0,0029	Middels konsekvens. Til tross for sprinkling vil det kunne forekomme røykutvikling som reduserer ganghastighet i rømningsveier.
9	0,0014	Kan få store konsekvenser. Rømningsveier er røykfrie, men ingen tiltak vil varsle eller slukke/begrense en brann.
10	0,0002	Katastrofe. Ingen tiltak fungerer og sannsynligheten for store skader på bygg samt vesentlige skader og død for personer.

2.7.3.7. Brannscenarioene

Det er utført ulike brannscenarioer med forskjellig grad av brannverntiltak. Det utføres både simuleringer der sprinkleranlegget fungerer som det skal og der det ikke utløses i det hele tatt. I simuleringene tas det også hensyn til om trapperommene som er rømningsveier har dørene lukket eller åpne. De interne trappene mellom de ulike etasjene vil utgjøre en viktig faktor for brann- og røykspredning. Scenarioene utvikles i Pyrosim ved bruk av AutoCAD tegningene laget ut i fra plantegninger gitt av Asplan Viak. For å begrense antall simuleringer har det blitt valgt å ha lukkede trapperom der sprinkleranlegget er satt til å fungere. Det antas at forholdene vil bli betraktelig bedre ved utløsning av sprinklere, og det er som tidligere nevnt utettheter mellom etasjene som allikevel vil gi røykspredning mellom etasjene. Det har blitt valgt å se bort i fra de branntekniske egenskapene til materialer i vegger, tak og gulv da dette vil være svært omfattende og kreve store kunnskaper om materialer og bruk av simuleringprogrammer. For Pakkeriet er det valgt å fokusere på den utviklende brannen som eneste faktor for røykutvikling. Det er denne som analyseres med tanke på røykgasskonsentrasjoner.

De utførte simuleringene har blitt gjort for 1., 4. og 7. etasje (forsamlingslokalet). Kjelleren har blitt sett bort i fra i denne vurderingen. For disse tre etasjene har det blitt utført simuleringer der:

- Sprinkling/slukking virker Scenario 1, 2, 3, 6, 7, 8
- Sprinkling/slukking virker ikke – Dører åpne Scenario 5, 10
- Sprinkling/slukking virker ikke – Dører lukket Scenario 4, 9

Scenarioene henviser til hendelsestreet (figur A.2.2) i kapittel 2.7.3.6 og viser hvilke ulike simuleringer disse hører under. Vedlegg A.6 viser skriptene til inndatafilene i FDS av de ulike brannscenarioene med illustrative bilder.

2.8. Resultater

2.8.1. Håndberegninger

I kapittel 2.7.1 ble det vist resultater over beregnet forflytningstid fra Pakkeriet ved ulike personbelastninger. Ved å legge inn tida for deteksjons- samt reaksjonstiden fra samme kapittel kan det nå settes opp en tabell med nødvendig rømningstid. Disse tidene vurderes opp imot resultatene som vil fremkomme fra rømningssimuleringer i Simulex.

TABELL A.2.13 – BEREGNET NØDVENDIG RØMNINGSTID

Personbelastning	Deteksjonstid	Reaksjonstid	Forflytningstid	Rømningstid
345	1	1	5,50	7 min 30 sek
200	1	1	4,60	6 min 36 sek
150	1	1	4,30	6 min 18 sek
100	1	1	4,00	6 min

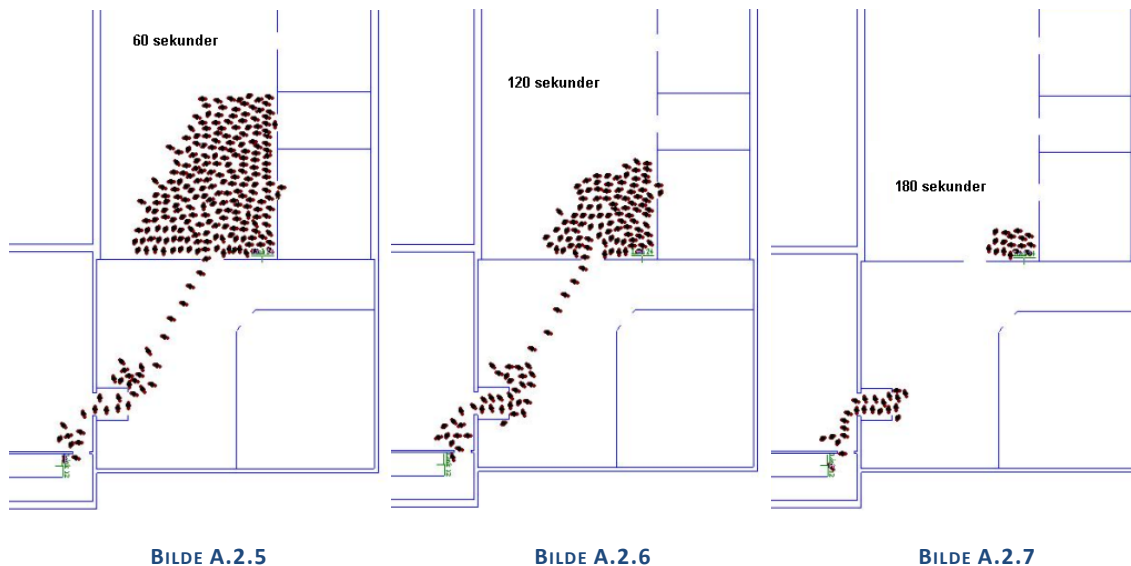
Utrekningene for forflytningstiden er gitt i et regneark i vedlegg A.2.

2.8.2. Simulex

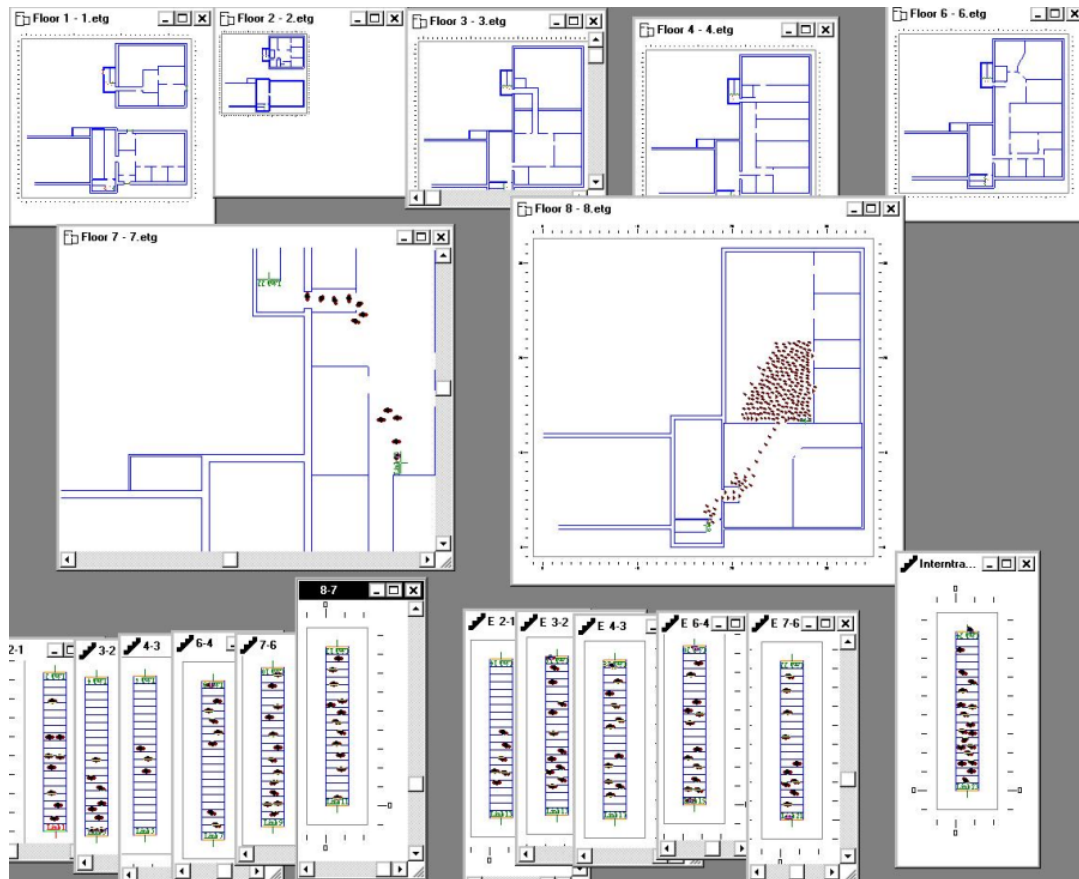
Ut i fra de ulike personbelastningene har det blitt utført 4 scenarier i Simulex, hver med de to ulike oppsettene for trapperommene. Resultatene er en gjennomsnittstid mellom 4 og 8 kjørte simuleringer med ulike fordeling av personene i 8. etasje.

- Scenario – Personbelastning på 345 personer i forsamlingslokalet:
 - Med sammenhengende trapp i hele trapperommet:
Forflytningstid - **7 minutter 40 sekunder**
 - Med mellomplan i trapperommene:
Forflytningstid – **10 minutter 55 sekunder**
- Scenario – Personbelastning på 200 personer i forsamlingslokalet:
 - Med sammenhengende trapp i hele trapperommet
Forflytningstid – **4 minutter 55 sekunder**
 - Med mellomplan i trapperommene
Forflytningstid – **7 minutter 10 sekunder**
- Scenario – Personbelastning på 150 personer i forsamlingslokalet:
 - Med sammenhengende trapp i hele trapperommet
Forflytningstid – **4 minutter 30 sekunder**
 - Med mellomplan i trapperommene
Forflytningstid – **6 minutter 40 sekunder**
- Scenario – Personbelastning på 100 personer i forsamlingslokalet:
 - Med sammenhengende trapp i hele trapperommet
Forflytningstid – **4 minutter 20 sekunder**
 - Med mellomplan i trapperommene
Forflytningstid – **5 minutter 40 sekunder**

Bilde A.2.5, A.2.6 og A.2.7 viser et skjermbilde av forsamlingslokalet i Simulex under simulering etter hhv 60, 120 og 180 sekunder (1, 2 og 3 minutter)



I vedlegg A.5 ligger resultatfilene fra en av de utførte simuleringene for hver av personbelastningene. Det er her kun vedlagt resultatfiler der trapperommene er utført som ett langt trapperom pr etasje. Dette er på grunn av forholdsvis store forskjeller i rømningstiden mellom scenarioene med de to ulike trappekonfigurasjonene i Simulex. Det ble registrert opphopning av personer der mellomplanene var linket sammen med resten av trappene mellom etasjene. Personer satte seg ofte fast, og førte til stopp i rømningen i flere sekunder. Da dette fant sted i mange av linkene i samtlige av etasjene ble det som resultatene viser i alle tilfeller over et minutt lengre forflytningstid på grunn av dette. Da trappene som legges inn i Simulex er standardiserte og tilrettelagt for at personer beveger seg langsommere her enn på et fritt plan i en etasje, antas det at tiden for forflytning blir reell ved bruk av ett sammenhengende trappeløp mellom hver etasje. Bilde A.2.8 på neste side viser et skjermbilde fra Simulex sitt hovedvindu med trapperom og de ulike etasjene under en simulering.



BILDE A.2.8 – SKJERMBILDE FRA SIMULERING I SIMULEX MED TRAPPEROM OG ETASJER

Fra utdatafilene fra Simulex (vedlegg A.5) har det blitt registrert at alle personene fra forsamlingslokalet er ute fra forsamlingslokalet og i trapperommet ca 1 minutt før de har rømmet bygget helt. Rømning fra alle etasjer med kontorer skjer fort og uten problemer da det er lite personer i disse etasjene. Det er ut i fra dette kun forsamlingslokalet som er kritisk i en rømningssituasjon. Resultatene for total rømningstid er ført opp i tabell A.2.14 under, ut i fra samme kriterier for deteksjons- og reaksjonstid som ved håndberegninger.

TABELL A.2.14 – SIMULERT NØDVENDIG RØMNINGSTID

Personbelastning	Deteksjonstid	Reaksjonstid	Forflytningstid	Rømningstid
345	1	1	7 min 40 sek	9 min 30 sek
200	1	1	4 min 55 sek	6 min 55 sek
150	1	1	4 min 30 sek	6 min 30 sek
100	1	1	4 min 20 sek	6 min 20 sek

2.8.3. FDS

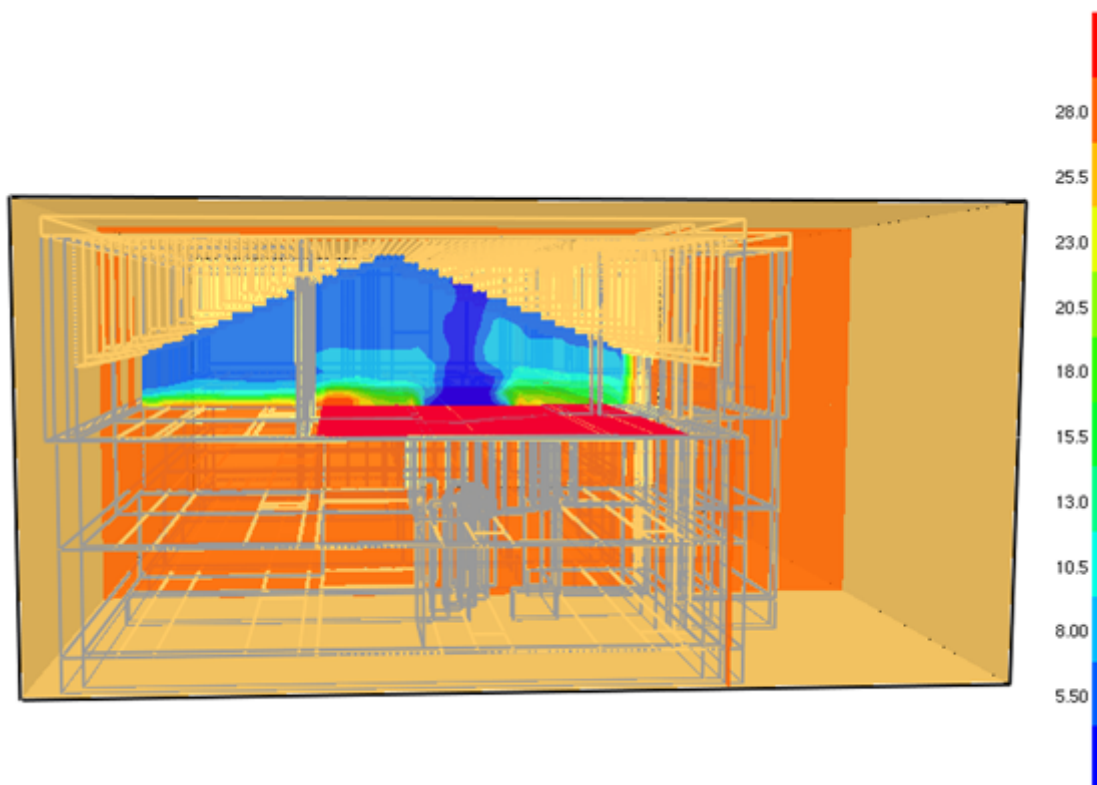
I Pyrosim det angitt at det skal plottes 3D-utdata slik at det kan leses av ved visse tidsintervall. Det blir målt temperaturer, O₂-konsentrasjon og sikt.

I NS 3901 – Risikoanalyse av brann i byggverk, angis det at det ved unntak av ulmebrann kan antas at kravet til innhold av gasser er oppfylt når siktkravet er oppfylt. Sikt er i følge akseptkriteriene normalt dimensjonerende for personsikkerheten. Det fokuseres i utgangspunkt på sikten ved ulike tidspunkt for Pakkeriet, både i startområdet og i rømningsveier. Det er også sett på røykspredning og sikt i andre deler av bygningen. Akseptkriteriene henviser til tabell A.2.1 i kapittel 2.5.

Sikt er avlest i 2 meters høyde, mens det for sikten i rømningsvei er beskrevet forhold i det eksterne trapperommet samt trapperommet i siloen i Pakkeriet.

På bilde A.2.9 under er det vist et eksempel fra utdatafilen fra FDS simuleringen vist i Smokeview. Herfra kan verdiene av bl.a. sikt og temperatur leses ut fra plott i ulike plasseringer i 3D modellen av Pakkeriet.

Utdatafilene for alle de understående simuleringene ligger i vedlegg A.8.



BILDE A.2.9

1. etasje med sprinkleranlegg:

TABELL A.2.15 – RESULTATER 1. ETASJE MED SPRINKLER

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O ₂ [%/100]
120	20-23	30,0	30,0	0,20
240	26	30,0	30,0	0,20
360	28	24,5	30,0	0,20
480	28	18,5	30,0	0,20
600	28	15,0	30,0	0,20

Kommentarer:

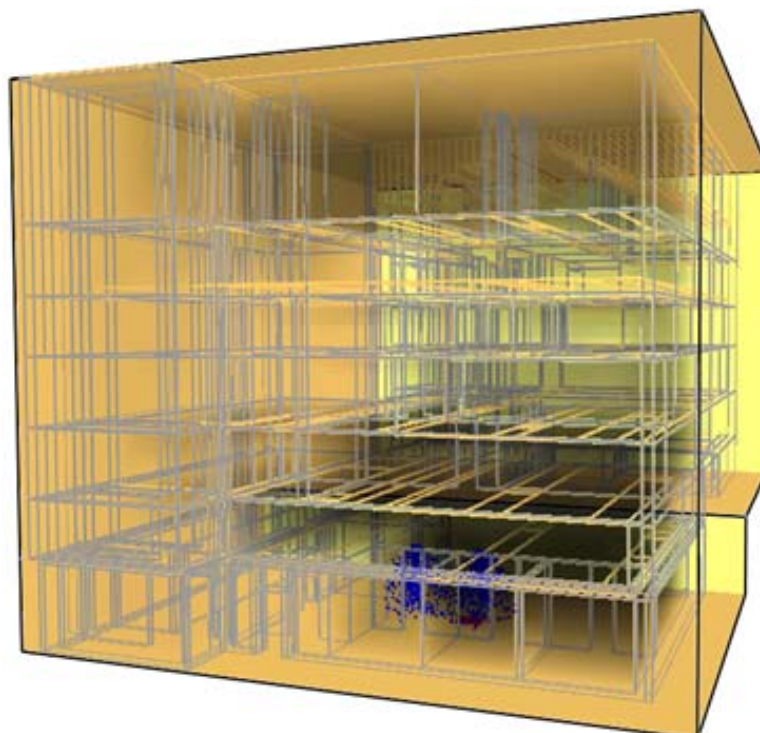
Et testforsøk viser at sprinkleranlegget vil løse ut etter 95 sekunder (1minutt og 35 sekunder). Brannarealet kan da finnes idet sprinkleranlegget løser ut. Som vist tidligere i kapittel 2.7.3.2 er brannutviklingshastigheten utregnet til 0,004 m/s. Radius på brannen etter 95 sekunder blir da:

$$0,004 \text{ m/s} \cdot 95 \text{ s} = 0,38 \text{ m}$$

Arealet på brannen i det 1.sprinkler løser ut vil da være

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,38^2 = 0,454^2 \text{ m}$$

Bilde A.2.10 viser et skjermbilde fra FDS etter sprinklerne er utløst.



BILDE A.2.10 – FDS ETTER UTLØST SPRINKLER I 1. ETASJE

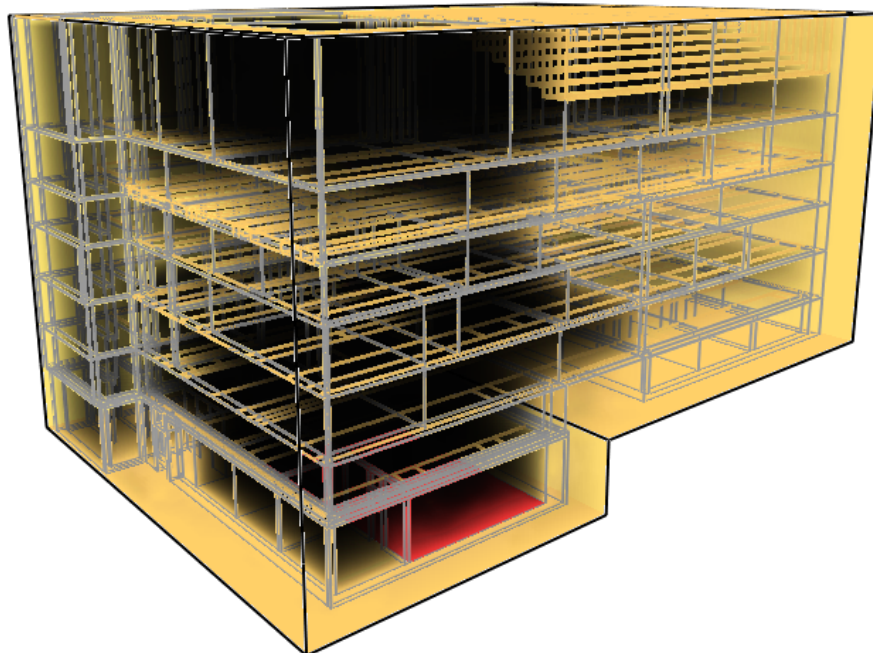
1. etasje uten sprinkleranlegg med åpne trapperom:

TABELL A.2.16 – RESULTATER 1. ETASJE UTEN SPRINKLER MED ÅPNE TRAPPEROM

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O ₂ [%/100]
180	38-45	26,0-28,0	30,0	0,20-0,21
360	80-110	10,0-12,0	28,0-30,0	0,19-0,20
540	140-220	5,0-7,5	10,0-15,0	0,17-0,18
720	180-260	< 3,0	5,5-8,0	0,15-0,17
900	300-400	< 2,0	2,0	0,13-0,16

Kommentarer:

- 180 sekunder: God sikt i alle etasjer
- 360 sekunder: 10-16 meter sikt i 2.-3. etasje. Røyk har spredd seg til alle etasjer
- 540 sekunder: Mindre enn 10 meter sikt i de fleste etasjer og i rømningsvei. Mindre enn 5 meter enkelte steder i bygget. 10-15 meter sikt i forsamlingslokalet
- 720 sekunder: Dårlig sikt i alle etasjer. Rundt 3-5 meter sikt i forsamlingslokalet
- 900 sekunder: Mindre enn 2 meter sikt i omtrent hele bygningen



BILDE A.2.11 – FDS ETTER CA 10 MINUTTER FOR 1. ETASJE UTEN SPRINKLERANLEGG. DØRER ÅPNE

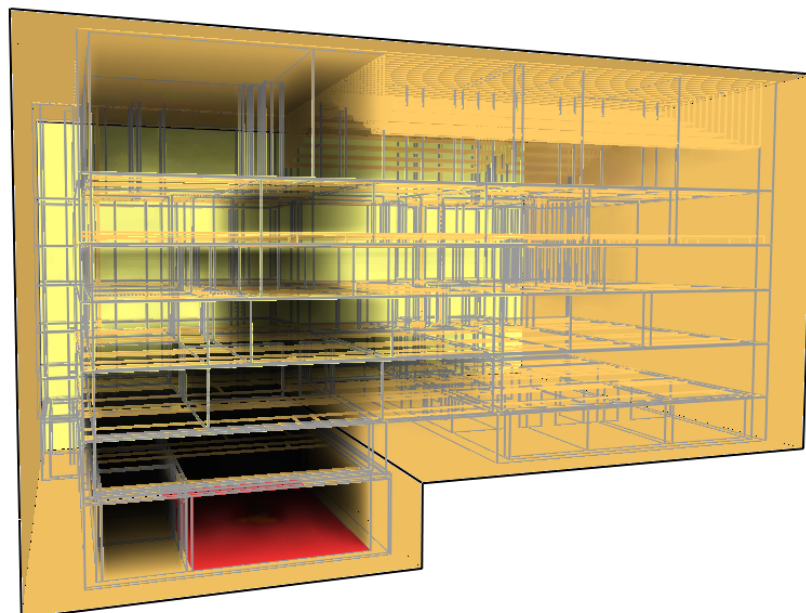
1. etasje uten sprinkleranlegg med lukkede trapperom:

TABELL A.2.17 – RESULTATER 1. ETASJE UTEN SPRINKLER MED LUKKETE TRAPPEROM

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O ₂ [%/100]
150	34-44	28,0-30,0	30,0	0,20-0,21
300	60-80	10,0-15,0	30,0	0,19-0,20
450	120-170	5,0	30,0	0,17-0,19
600	160-260	< 3,0	30,0	0,16-0,19
750	220-320	< 2,0	30,0	0,13-0,16

Kommentarer:

- 150 sekunder: God sikt i alle etasjer. Røyk har begynt å spre seg gjennom utettheter i 2. etasje og via de interne trapperommene
- 300 sekunder: Røyk har spredd seg til 4. etasje. I 2. etasje er sikt 15-20 meter. Utenfor startområdet (gang) er sikt 5-10 meter
- 450 sekunder: Røyk i alle etasjer. 5-10 meter sikt i 2. Etasje, 10-15 meter i 3. etasje og 15-30 meter i øverste etasje
- 600 sekunder: 3-8 meter sikt i 2. til 7. etasje. 6-12 meter sikt i forsamlingslokalet
- 750 sekunder: Mindre enn 10 meter sikt overalt i bygget. Mindre enn 2 meter rett over sartbrannen. I forsamlingslokalet er sikten 2-5 meter



BILDE A.2.12 – FDS ETTER CA 7 MINUTTER FRA 1. ETASJE UTEN SPRINKLERANLEGG. DØRER LUKKET.

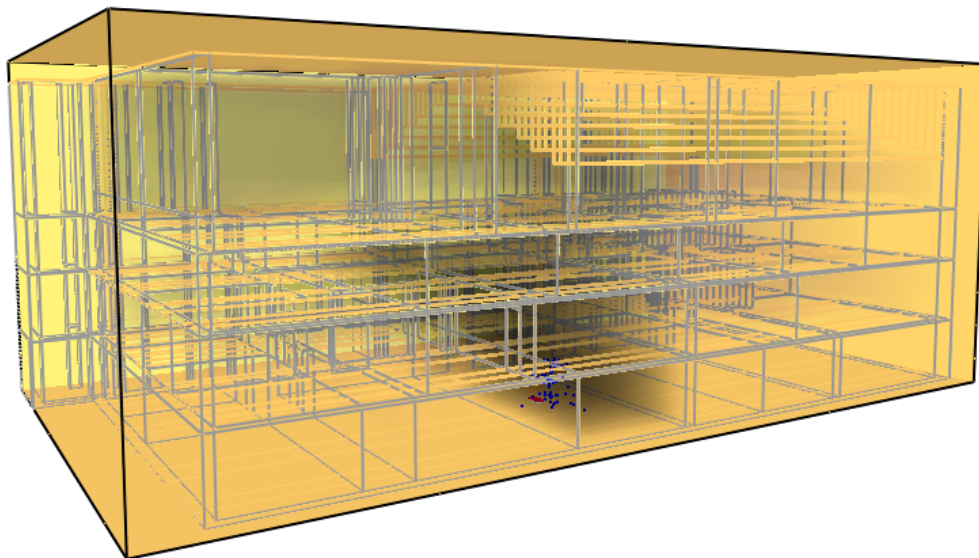
4. etasje med sprinkleranlegg:

TABELL A.2.18 – RESULTATER 4. ETASJE MED SPRINKLER

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O ₂ [%/100]
150	25-29	28,6-30,0	30,0	0,20-0,21
300	25-33	23,0-27,0	30,0	0,20-0,21
450	25-33	23,0-25,0	30,0	0,20-0,21
600	25-33	22,8-25,0	30,0	0,20-0,21
750	25-33	22,4-25,0	30,0	0,20-0,21

Kommentarer:

Det er relativt lavt under taket i 4. etasje. Røykspredning til øverste etasje forekommer, men det er såpass liten konsentrasjon etter 12 minutt og 30 sekunder at det ikke vil være kritiske gasskonsentrasjoner eller høye temperaturer. Sikten vil også holde seg under akseptkriteriene.



BILDE A.2.13 – FDS ETTER UTLØST SPRINKLER I 4. ETASJE

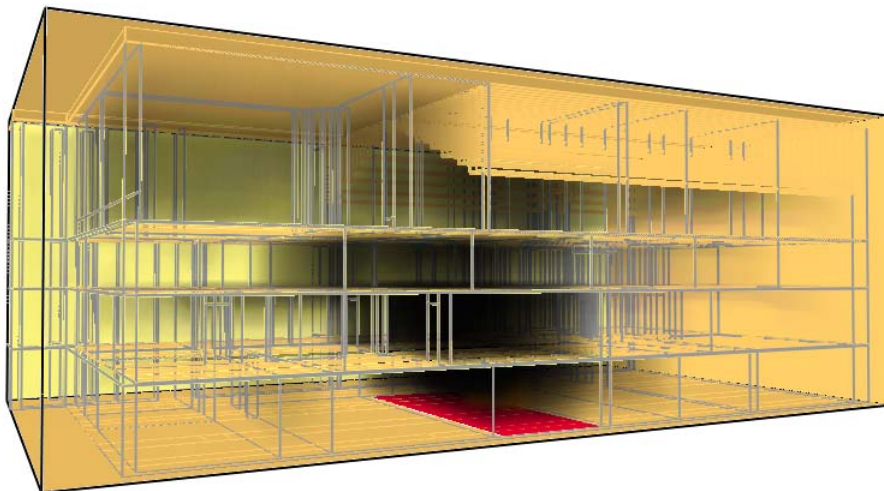
4. etasje uten sprinkleranlegg med åpne trapperom:

TABELL A.2.19 – RESULTATER 4. ETASJE UTEN SPRINKLER MED ÅPNE TRAPPEROM

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O ₂ [%/100]
120	36-50	29,0-30,0	30,0	0,20-0,21
240	57-75	10,0-15,0	30,0	0,19-0,20
360	100-140	6,5-10,0	30,0	0,18-0,19
480	145-190	4,5-7,0	30,0	0,17-0,19
600	190-260	< 3,0	10,0-17,0	0,16-0,18

Kommentarer:

- 120 sekunder: Røyk begynner å spre seg fra rommet der brannen starter
- 240 sekunder: En del røyk i gangen uten for brannområdet, ca 25 meter sikt. Røykspredning til etasjene over der det er ca 20 meter sikt
- 360 sekunder: I 5. etasje er det nå mye røyk og 9-11 meter sikt. 6. etasje har nå også 16-20 meter sikt. Forsamlingslokalet begynner å bli røykfullt
- 480 sekunder: Samtlige etasjer har nå mellom 5 og 15 meter sikt i 2 meters høyde.
- 600 sekunder: Røykfullt overalt i Pakkeriet. Spesielt fra 4. etasje og oppover er det mellom 3 og 14 meter sikt, avhengig av plassering i rommet. I trapperommene for rømning er det nå kritisk dårlig sikt.



BILDE A.2.14 – FDS ETTER CA 10 MINUTTER FOR 4. ETASJE UTEN SPRINKLERANLEGG. DØRER ÅPNE

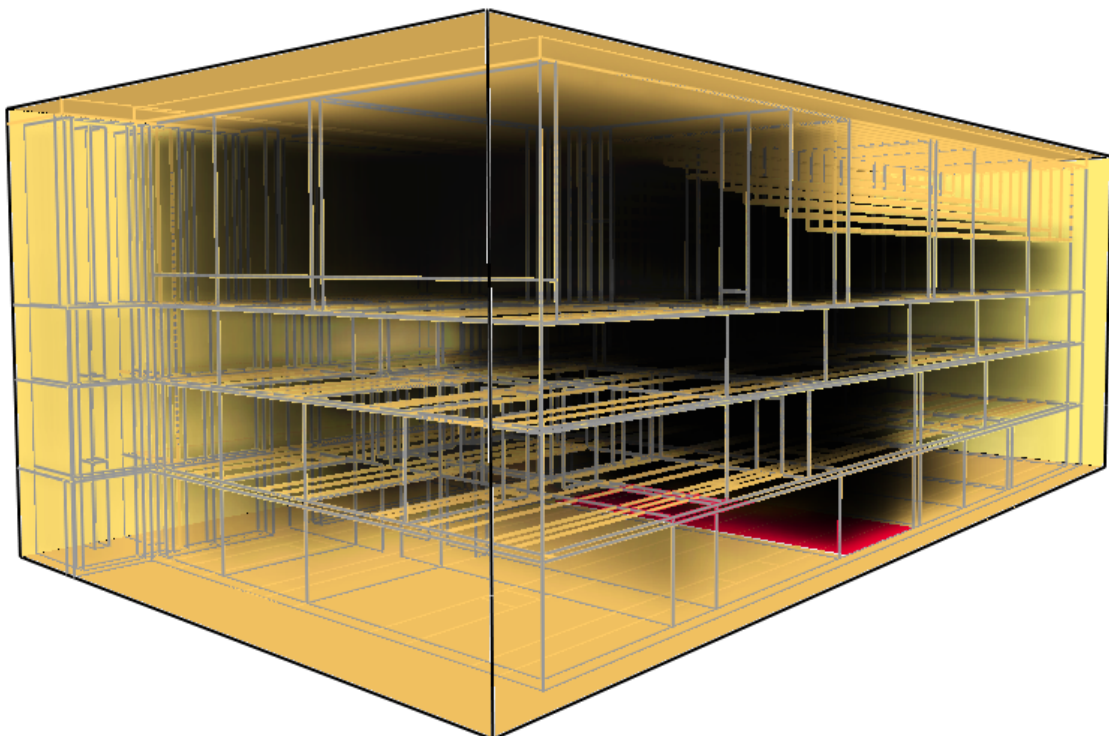
4. etasje uten sprinkleranlegg med lukkede trapperom:

TABELL A.2.20 – RESULTATER 4. ETASJE UTEN SPRINKLER MED LUKKETE TRAPPEROM

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O ₂ [%/100]
150	30-50	21,0-26,0	30,0	0,20-0,21
300	60-100	8,0-12,0	30,0	0,19-0,20
450	100-180	< 5,0	30,0	0,18-0,19
600	200-300	< 3,5	30,0	0,16-0,18
750	245-350	< 3,0	30,0	0,13-0,16

Kommentarer:

- 150 sekunder: Røyk begynner å sive ut i gang fra brannstartområdet
- 300 sekunder: Forholdsvis mye røyk i etasjene over. Sikt varierer her fra 10-14 meter. Sikt utenfor brannrommet er 22-30 meter
- 450 sekunder: Mye røyk i 5. 6. og 7. etasje (forsamlingslokale). 5-10 meter sikt i 5. og 6. etasje mens det i forsamlingslokalet er 15-25 meter sikt
- 600 sekunder: Mye røyk i alle etasjer fra brannstart og oppover. Ca 10 meter sikt i forsamlingslokalet
- 750 sekunder: Tett røyk i alle etasjer (4.-8. etasje). 5,5 meter sikt i øverste etasje. I gang utenfor brannstart det mindre enn 5 meter sikt



BILDE A.2.15 – FDS ETTER CA 9 MINUTTER FRA 4. ETASJE UTEN SPRINKLERANLEGG. DØRER LUKKET

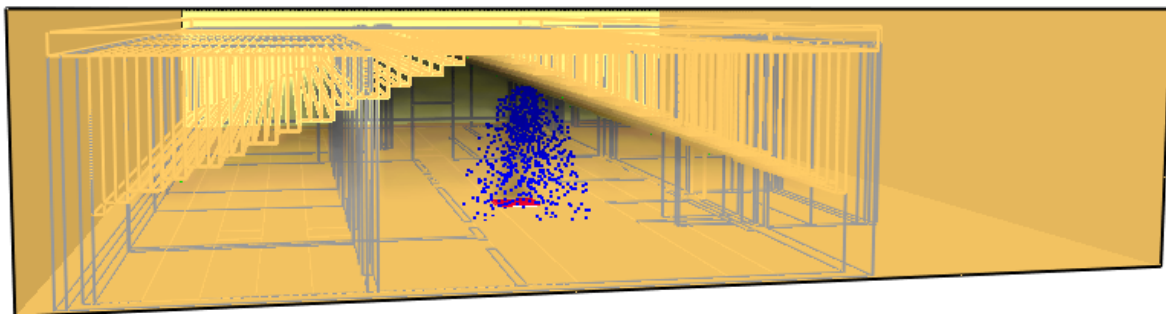
8. etasje med sprinkleranlegg:

TABELL A.2.21 – RESULTATER 8. ETASJE MED SPRINKLER

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O ₂ [%/100]
120	20-25	30,0	30,0	0,20
240	25-28	28,0	28,0	0,20
360	30-35	17,0	20,0-23,0	0,19
480	30-35	10,0-11,0	15,0-17,0	0,19
600	35-40	< 9,0	10,0-13,0	0,19

Kommentarer:

Med sprinklersystem som utløses vil forholdene i etasjen være ganske bra med tanke på person-sikkerhet. Takhøyden er relativt høy, noe som også vil føre til at røyklaget holder seg høyt over bakkenivå.



BILDE A.2.16 – FDS ETTER UTLØST SPRINKLER I 8. ETASJE

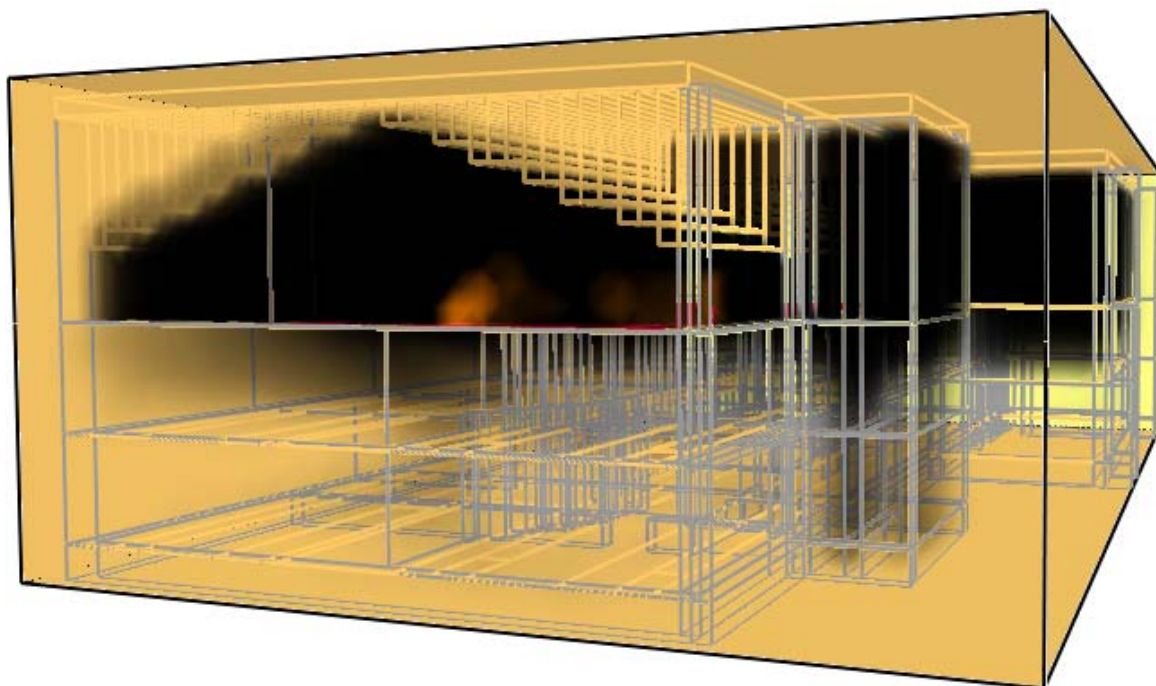
8. etasje uten sprinkleranlegg med åpne trapperom:

TABELL A.2.22 – RESULTATER 8. ETASJE UTEN SPRINKLER MED ÅPNE TRAPPEROM

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O ₂ [%/100]
160	25-30	30,0	30,0	0,20-0,21
320	60-100	8,0-12,0	8,0-12,0	0,19-0,21
480	140-180	< 3,5	< 3,0	0,16-0,19
640	230-300	< 1,5	< 1,5	0,12-0,15
800	180-200	< 1,5	< 1,5	< 0,10

Kommentarer:

- 160 sekunder: Grunnet takhøyden er det svært lite røyk 2 meter over bakkenivå. Ingen røyk i rømningsveiene
- 320 sekunder: Relativt mye røyk og dårlig sikt i nærliggende trapperom. Utenfor forsamlingslokalet er det pga. dør liten røyksmitte fra brannområdet.
- 480 sekunder: Mindre enn 3 meter sikt i rømningsvei. Røyk i nabo rommet. Her ca 10 meter
- 640 sekunder: Mindre enn 3 meter sikt i hele 8. etasje. Dette gjelder også begge trapperommene. Røykspredning til de underliggende etasjer har begynt
- 800 sekunder: Hele etasjen røykfyllt, og røyken har spredt seg nedover i etasjene



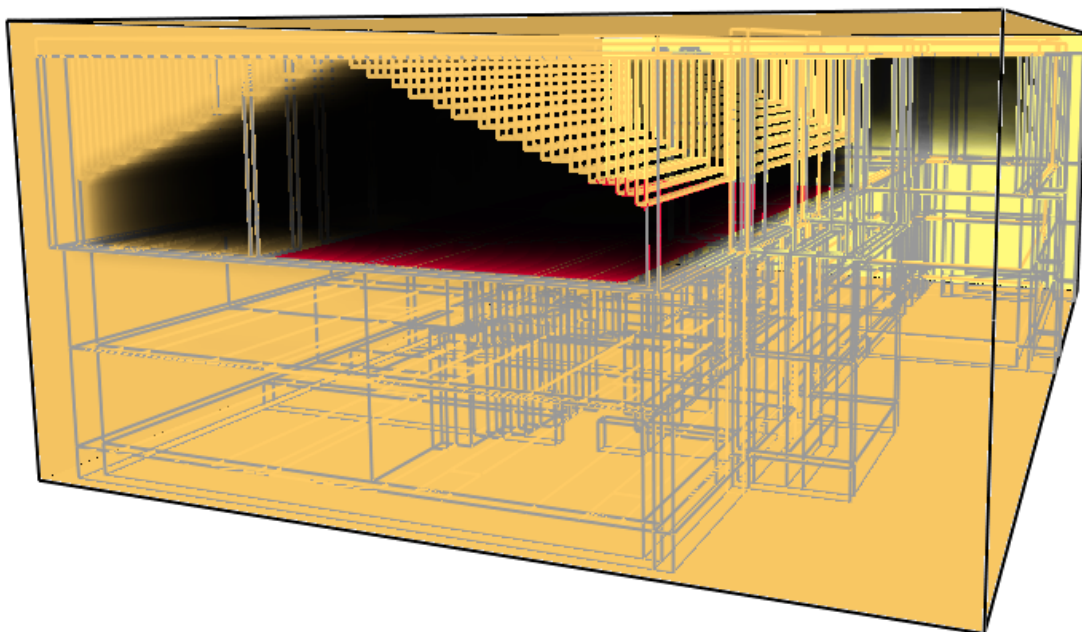
BILDE A.2.17 – FDS ETTER CA 12 MINUTTER FOR 8. ETASJE UTEN SPRINKLERANLEGG. DØRER ÅPNE

8. etasje uten sprinkleranlegg med lukkede trapperom:

TABELL A.2.23 – RESULTATER 8. ETASJE UTEN SPRINKLER MED LUKKETE TRAPPEROM

Tid [s]	Temperatur [°C]	Sikt [m] ved brannområde	Sikt [m] i rømningsvei	O ₂ [%/100]
120	20-23	30,0	30,0	0,21
240	35-58	16,0-18,0	30,0	0,20-0,21
360	80-110	5,5	30,0	0,18-0,19
480	120-170	<3,0	30,0	0,16-0,18
600	150-240	<2,0	30,0	0,12-0,14

- 120 sekunder: Grunnet høy takhøyde har ikke røyklaget blitt avgjørende for sikten.
- 240 sekunder: Da trapperommet er lukket har røyk ikke spredt seg utenfor brannområdet
- 360 sekunder: Røyklaget er lavt nok til å sige ut dør til resten av etasjen. Mye røyk ved i brannrommet
- 480 sekunder: Ca 10 meter sikt utenfor forsamlingslokalet. Under 5 meter i brannrommet
- 600 sekunder: 2-3 meter sikt i rom utenfor brannområde. Forsamlingslokalet fullt av røyk



BILDE A.2.18 – FDS ETTER CA 10 MINUTTER FRA 4. ETASJE UTEN SPRINKLERANLEGG. DØRER LUKKET

2.9. Vurdering av resultater i forhold til akseptkriteriene

2.9.1. Håndberegninger og Simulex

Resultatene for nødvendig rømningstid fra Pakkeriet har blitt funnet ved både håndberegninger og ved bruk av Simulex. For personbelastning med mellom 100 og 200 personer i forsamlingslokalet i øverste etasje, er nødvendig rømningstid beregnet til mellom 6 og 7 minutter for bygget. For full personbelastning ut i fra arealbruk på bygningstegningene viser resultatene 2 minutter forskjell mellom håndberegninger og Simulex. Tiden er 7 min 30 sek for håndberegninger og 9 min 30 sek i Simulex. Tiden for rømning er som nevnt tidligere beregnet for de to øverste etasjene som vil være det kritiske området i Pakkeriet.

2.9.2. FDS

1. etasje med sprinkleranlegg:

Utettheter mellom etasjene i Pakkeriet vil føre til at røyk fra en brann sprer seg fort, men gjør samtidig at rommet der brannen starter vil ha oppfylt kravene for akseptkriteriene i lengre tid enn med et tett etasjeskille.

Sprinkleranlegg utløst ved brann i 1. etasje gjør at selv etter 10 minutter vil ikke minimumskravet til sikt være overskredet. Siktet er da 15 meter i 2 meters høyde. Samtidig vil gasstemperaturen holde seg under 60 grader. Da dette scenarioet er simulert med stengte trapperom (dører som fungerer) vil det også være god sikt i rømningsveiene. Det er også målt et tilfredsstillende oksygeninnhold.

1. etasje uten sprinkleranlegg med åpne trapperom:

Dersom ikke sprinkleranlegget blir utløst samtidig som dører til trapperommene blir stående åpne, vil dette utfordre personsikkerheten. Av simuleringen kan man se at røyk spres raskt i hele bygningen samt i rømningsveiene. Gasstemperaturen vil allerede etter 5-6 minutter overskrides i rommet der brannen starter. Sikten i rommet vil etter 10-12 minutter være under 3 meter som er minimumskravet, mens kravet for rømningsveier på 10 meter vil overskrides etter 8-9 minutter. Oksygennivået i brannområdet vil være for lavt etter ca 9 minutter.

Grunnen til at sikten tilfredsstiller akseptkriteriene såpass lenge i startrommet, er at røyk forsvinner til andre steder i bygningen gjennom lekkasje. Temperatur og varmestråling vil lenge før dette bli gjeldene for personsikkerheten. Siden det i 1. etasje normalt oppholder seg relativt få personer som alle vil være kjent med bygningen, er det interessant å se på røykspredningen til de øvrige etasjene. Da spesielt til øverste etasje hvor det er forsamlingslokale.

Etter 8-9 minutter er sikten mindre en 10 meter i de fleste etasjene og i forsamlingslokalet er den 10-15 meter. Temperaturen er dessuten nær opp imot 60 grader, som vil være kritisk i en rømningsituasjon.

Det blir vurdert at det er uakseptabelt for personer å oppholde seg i brannstartrommet etter ca 5 minutter, og etter 8-9 minutter må alle også være ute av rømningsvei i dette området. I forsamlingslokalet vil det være uakseptable forhold etter 8-9 minutter. Det eksterne trapperommet vil da fortsatt ha akseptable rømningsforhold, men én enkel rømningsvei er ikke tilfredsstillende for krav i TEK.

1. etasje uten sprinkleranlegg med lukkede trapperom:

I tilsvarende forsøk som over med lukkede trapperom vil det også her forekomme rask røykspredning mellom etasjene. Siden trapperommene er lukket, vil sikten i disse hele tiden være tilfredsstillende. Det vil i startrommet allerede etter 5-6 minutter være for høye gasstemperaturer og etter 7-8 minutter være for lite oksygen i luften. Sikten vil i startområdet være under 3 meter etter 10 minutter, og etter 10-11 minutter vil sikten i øverste etasje være helt nede i 6 meter. I gangen utenfor brannområdet vil sikten være nede i 5-10 meter allerede etter 4-5 minutter.

Det vil være uakseptabelt å befinne seg i brannområdet etter 5 minutter, og likeledes må hele bygningen være evakuert etter 10-12 minutter.

4. etasje med sprinkleranlegg:

I 4. etasje er det relativt lavt under taket, men det er også her store åpninger oppover i etasjene. Sprinkleranlegget løser ut etter ca 95 sekunder og etter dette er temperaturene relativt lave, og vil være innenfor akseptkriteriene. Oksygeninnholdet er også tilfredsstillende gjennom hele simuleringen.

Det vil etter hvert bli mer og mer røyk i startområdet og rundt om i bygningen, men i løpet av simuleringsperioden vil ikke krav for sikt overskrides.

4. etasje uten sprinkleranlegg med åpne trapperom:

I et "worst case" scenario der verken sprinkleranlegget eller dørene i trapperommene fungerer som de skal, vil det ikke ta lang tid før det oppstår kritiske rømningsforhold. Det vil etter 3-4 minutter være en gasstemperatur på over 60 grader i brannområdet, der røyken raskt vil spre seg til de andre etasjene. Allerede etter 5-6 minutter vil røyk ha begynt å spre seg rundt i forsamlingslokalet, men uten å skape kritiske forhold. Siden begge trapperommene er i en viss avstand til brannområde vil det ikke komme så mye røyk inn disse.

Forhold gjør det uakseptabelt å befinne seg i brannområdet etter 3-4 minutter, mens det i forsamlingslokalet vil være nødvendig å være ute innen 8-10 minutter, avhengig av hvor i etasjen man befinner seg. Rømningsveiene vil være ved denne tiden være akseptable å bevege seg i.

4. etasje uten sprinkleranlegg med lukkede trapperom:

I dette scenarioet vil det allerede etter 4-5 minutter være en gasstemperatur på over 60 grader i brannområdet. Det vil også raskt oppstå stor røykutvikling og dårlig sikt i mange deler av bygget. Sikten i brannområdet vil ikke være under 3 meter før etter ca 10 minutter pga kraftig røykspredning, men temperaturforhold vil da ikke være akseptable. Dette grunnet at mye røyk forsvinner gjennom utettheter.

Det vil være uakseptabelt å befinne seg i brannområdet grunnet temperaturer etter 4-5 minutter. Etter 8-9 minutter bør alle personer være ute av bygget grunnet stadig verre forhold.

8. etasje med sprinkleranlegg:

I 8. etasje er det størst sannsynlighet for stort personantall pga forsamlingslokalet. Starter en brann i denne etasjen er det sannsynlig at rømning fra denne kritiske delen starter hurtig. Da det i 8. etasje er høyere takhøyde grunnet skråtak, vil det ta lenger tid før akseptkriteriene for røyk blir brutt.

Av simuleringen ser man at gasstemperaturer holder et akseptabelt nivå gjennom hele tidsforløpet. O₂-konsentrasjonen holder seg også innenfor akseptkriteriene. I brannområdet blir det ikke under 3 meter sikt i løpet av de 10 minuttene simuleringene viser. Etter 10 minutter var sikten så mye som i underkant av 9 meter.

Akseptkriteriene vil ikke bli brutt i løpet av 10 minutter dersom sprinkleranlegget fungerer.

8. etasje uten sprinkleranlegg med åpne trapperom:

Allerede etter 4-5 minutter vil det her være en uakseptabel høy gasstemperatur i brannområdet. Røykutviklingen skjer svært raskt og etter 7-8 minutter vil det være sikt på rundt 3 meter. Siden det her er åpne trapperom vil det allerede etter 4-5 minutter være under 10 meter sikt i rømningsveien, da trapperommet ligger nært forsamlingslokalet. Det vil etter 7-8 minutter også være et uakseptabelt oksygenivå i etasjen.

Brann i 8. etasje vil være mest kritisk for personer i denne etasjen, da brann- og røykspredning nedover i planene vil skje noe senere etter uakseptable forhold har oppstått øverst i bygget. Akseptkriteriene vil være brutt for rømningsveiene herfra allerede etter 4-5 minutter, og alle personer i bygget bør dermed befinne lavt i bygget for å kunne foreta sikker rømning.

Hvis branntekniske tiltak fungerer vil det ikke nødvendigvis kunne få katastrofale utfall hvis en brann starter i denne etasjen.

8. etasje uten sprinkleranlegg med lukkede trapperom:

Dersom ikke sprinkleranlegget fungerer, vil gasstemperaturen allerede etter 4-5 minutter være over det som er akseptabelt for rømning. Det vil da forekomme rask røykutvikling, noe som kan ses ut av tabellen for sikt i brannområdet. Etter 7-8 minutter vil sikten være under 3 meter, og alle personer må da være evakuert. Oksygenivået er for lavt etter 6-7 minutter.

At dørene til rømningsveiene er lukkede vil hindre direkte røykspredning til disse, men da det i 8. etasje vil kunne befinne seg et stort antall mennesker er det fare for at alle dører mellom rømningsvei og etasjen vil bli holdt i åpen stilling frem til etasjen er tom.

Som i tilfelle med åpne dører vil også her antas at rømning fra etasjen starter raskt uavhengig om automatisk varsling fungerer.

2.9.3. Sammenligning av resultater

Det er viktig å ta hensyn til en sikkerhetsmargin ved rømning. Denne kan være vanlig å sette til 50 % avhengig av beregnet nødvendig rømningstid. For rømningstidene for Pakkeriet på mellom 6 og 7 minutter vil denne da bli 3-3,5 minutter. Dersom f.eks. brannalarmanlegget eller sprinklersystemet ikke utløses er det viktig å ta forbehold om at deteksjons- og reaksjonstiden vil øke. For Larvik Mølle der det er mye utettheter samtidig som simuleringene i FDS har vist rask røykspredning, vil det antas at en brann merkes før det har gått 3 minutter dersom denne får utbre seg i en av etasjene i bygget.

Resultatene viser at akseptkriteriene normalt vil overskries i hele bygget, spesielt i forsamlingslokalet, etter mellom 9 og 12 minutter. For brann i 8. etasje viser resultatene at denne tiden vil være en del lavere, helt ned mot 4-5 minutter. Her er det da primært temperaturen som vil være avgjørende for rømningsforholdene. Til tross for at en brann i 8. etasje vil gi mye verre forhold for rømning enn for andre steder i bygget, er det allikevel stor sannsynlighet for at en begynnende brann vil kunne bli slukket manuelt samtidig som den vil bli hurtig oppdaget og varslet. Dette vil være et "worst case" tilfelle der ingen branntekniske tiltak fungerer.

Under normale forhold der spesielt sprinkleranlegg og automatisk brannvarsling fungerer, viser resultatene fra både rømningsberegning og brannsimulering at forhold i Pakkeriet vil være gode i forbindelse med rømning av bygget. Dette i form av at akseptkriteriene ikke overskrides over den tiden det tar å rømme fra samtlige etasjer,

Ved sammenligning av tider fra håndberegninger og Simulex sett opp imot tider der akseptkriteriene overskrides i FDS simuleringene, antas det nødvendig å begrense rømningstiden til 7 minutter for å kunne gi en viss sikkerhetsmargin. Dette er spesielt med tanke på hvis branntekniske tiltak skulle svikte. Ut i ifra resultater for nødvendig rømningstid, vist i tabell A.2.13 og tabell A.2.14 gis det et dimensjonerende personantall på maksimalt 200 personer for forsamlingslokalet i Pakkeriet. Dette gir et totalt antall personer for hele Pakkeriet på 320 personer (465 i vedlegg A.1). De resterende etasjene har som vist i samme vedlegget en relativ lav personbelastning, som antas ikke å ville være kritisk for rømningsforholdene.

2.10. Diskusjon rundt resultater med analyse av usikkerheter

Branntekniske analyser er som nevnt svært kompliserte og krever stor innsikt i branners oppførsel og gode kunnskaper om ulike analysemetoder. Det er flere faktorer i simuleringene for Larvik Mølle som er basert på antagelser, som alle vil kunne gi utfall for resultatene i det virkelige bygget i sin nye bruksfase. Under er det gjort vurderinger av gyldigheten til inndata og resultater fra de ulike brannsimuleringene.

Tegningsgrunnlag for Pakkeriet:

Som nevnt i rapporten er tegningene gitt for bygget ikke endelige for prosjektet med Larvik Mølle, og det har derfor blitt gjort antagelser i forbindelse med bl.a. takhøyde, romfordeling, rom arealer, trappeplasseringer og skråtaket i forsamlingslokalet. Antagelsene er gjort etter rimelige vurderinger ut i fra befaring, bilder fra bygget og samtaler med ekstern veileder Gjermund Hybbestad.

Konsekvenser av unøyaktige modeller av Pakkeriet kan være mindre avvik i ulike tider for brann- og røykspredning i bygget. Takhøyden er viktig for bl.a. siktforhold samtidig som plassering av interne trapperom vil gi store utslag for røykspredning mellom ulike sammenhengende etasjer. Disse trapperommene ble i simuleringene plassert mellom 1. og 3. samt 4. og 7. etasje med en antatt bredde på 2,40 meter uten å ha grunnlag for nøyaktig plassering. Også utettheter generelt ble antatt til ca 5 % av areal pr plan, men plasseringen er valgt rimelig vilkårlig.

Da alle rom ble antatt åpne under simuleringene førte dette til røykspredning i alle deler av bygget, noe som ikke nødvendigvis vil være reelt i en virkelig situasjon. Allikevel vil resultatene der alle rom er åpne antas å bli forholdsvis like med tanke på røykspredning uavhengig av romplasseringen.

På de ulike gitte tegningene av Larvik Mølle viker etasjenumrene mellom de ulike tegningsutgivelsene. Dette gjelder hovedsakelig Pakkeriet der det er gitt ulike beskrivelser av numre på etasjene.

Branntype og materialer:

Brannen som er lagt inn i FDS er en voksende brann utregnet fra Norsk Standard med en gitt branneffekt. Programmet tar ikke hensyn til materialer og brannspredning utenom det definerte brannområdet. For Larvik Mølle som har bæresystem og etasjeskiller i trematerialer samtidig som utformingen av nye etasjeskiller og vegger er usikre, er det vanskelig å si hvordan en reell brann vil spre seg. En brann kan starte i forskjellige deler av bygget og kan ha ulik brannutviklingsforløp, og samtidig gi ulike konsentrasjoner og mengder røyk- og sotpartikler.

Det har blitt gjort et utvalg av plasseringer av de ulike brannene i simuleringene for å få et bredest mulig bilde av forskjellige brannforløp for bygget. Det er bevisst gjort simuleringer i øverste etasje i forsamlingslokalet for å analysere den mest kritiske delen av Pakkeriet. Alle reelle branner vil være ulike, avhengig av materialer og plassering samt tilgang på oksygen og om branntekniske tiltak fungerer. Det er i rapporten forsøkt å gjengi ulike reelle brannforløp, samt å gi en vurdering av sikkerhet for rømning rundt disse.

FDS:

I FDS simulering er inngangsdata svært viktig å vurdere nøye for å kunne validere utdataene. Grid størrelse vil påvirke nøyaktigheten på brann- og røykspredning og være viktige for når f.eks. sprinkleranlegg løser ut. I de fleste scenarioene for Pakkeriet er det valg $20 \times 20 \times 20$ cm grid i brannrommet og $40 \times 40 \times 40$ cm grid i resten av bygget. Simuleringer i FDS er svært ressurs- og tidkrevende og det har derfor måtte blitt gjort begrensninger i forbindelse med størrelser på grid. Dette kan ha fått konkrete følger med tanke på utløsningstid av sprinklere, men for røykspredning er områdene i Pakkeriet store og grid størrelsen vil dermed antas å være tilstrekkelig stor.

Det har oppstått segmenter i modellene for Pakkeriet i FDS av ukjente årsaker, men disse antas ikke å ha utgjort forandringer i resultatene for de utførte simuleringene. Utløsning av sprinklerhodene som er benyttet kan skje ved ulike tider, avhengig av små variasjoner i forbindelse med plassering. Dette gjelder spesielt i 8. etasje der skråtaket vil føre til små unøyaktigheter ved utløsning.

Simulex:

I Simulex vil de største usikkerhetene ligge i trappeutformingen samt persontyper som plasseres i bygget. Ved simulering i Simulex har fordelingen av personene til de to trapperommene vært rimelig jevn, men i en reel rømningssituasjon vil det være usikkert hvordan folk oppfører seg. Erfaring viser at folk har en tendens til å rømme samme vei som de kom inn da denne veien er kjent. Uniform personfordeling for trappene vil gi et ideelt bilde av rømning fra forsamlingslokalet, og det er dette som kommer frem i simuleringene gjort i denne oppgaven.

Interne trapper har ikke blitt tatt hensyn til i Simulex med tanke på hvordan personfordeling ville blitt. Dette vil være av begrenset betydning da dette kun gjelder kontorlandskapet med relativt lavt personantall. Linken fra 8. etasje til det eksterne trapperommet har blitt plassert for å få oppnå rømning til begge trapperommene, og dette kan ha gitt små utslag for rømningstid da personstrømningen enkelte steder i etasjen vil gå samme vei mot begge utgangene.

Resultater:

For avlesning av resultater i FDS for temperatur, sikt og oksygeninnhold har dette vært nødvendig å gjøre ved gitte tidsintervall ut fra brannforløpet. I tillegg har avlesningene blitt gjort av en 2D fargeskala som kan beveges rundt i simuleringmodellen. Dette kan gi visse unøyaktigheter rundt avlesningene. Foruten dette har det vært samsvar mellom resultatene for de ulike simuleringene og verdiene virker generelt pålitelige sett i sammenheng.

Resultatene for rømningstider ved bruk av Simulex og håndberegninger har også vist gode overensstemmelser. Ved maksimal personbelastning ga resultatene dog 2 minutter forskjell mellom de to metodene. Det er uklart hvorfor denne forskjellen forekommer, men denne personbelastningen vil allikevel ikke være forsvarlig da akseptkriteriene for menneskers tålegrense vil være brutt før alle personene har fått rømt bygget.

For håndberegninger viser regnearket for nødvendig rømningstid at det må være 650 personer i forsamlingslokalet for å oppnå samme tid som ved 345 personer i Simulex. Dette er store unøyaktigheter som også har vært avgjørende for det foreslåtte antallet dimensjonerende personer i Pakkeriet. Bevegelsene mellom de interne trappene har blitt valgt å se bort i fra i både Simulex og ved håndberegninger.

Vedlegg A.1 – Dimensjonering av antall personer for Pakkeriet ved Larvik Mølle

Plan	Areal på plan [m ²]	Felles bruksareal [m ²]
Kjeller		74,5
1. etasje	212	88,2
2. etasje	328,8	59
3. etasje	207,5	76,2
4. etasje	264	76,3
6. etasje	389,7	76,3
7. etasje	393,7	76,9
8. etasje	206,9	24,6

Sum Plan-areal 1.-7. etasje (kontor) [m²]
1795,7
Sum Plan-areal 8. etasje (forsamling) [m²]
206,9
Sum Felles Bruksareal [m²]
552

Bruksområde	Brutto gulvareal pr. pers i m ²
Kontor	15
Forsamlingslokaler u/faste sitteplasser	0,6

Dimensjonerende antall personer Pakkeriet	120	
1.etg	14	Office Staff i Simulex Plasserer med lengst mulig avstand til utganger
2.etg	22	
3.etg	14	
4.etg	18	
6.etg	26	
7.etg	26	
8. etg	345	Commuters i simulex
Totalt antall personer dimensjonert for Pakkeriet	465	

Vedlegg A.2 – Håndberegning av forflytningstid for Pakkeriet ved Larvik Mølle

Horisontal forflytning	Tid i sekunder	Tid i gang	Lengste avstand i rømningsvei	Ganghastighet	Tid i dør	Antall pers i etasje	Total dørbredde	Strømnings- hastighet	Prosent med nedsatt funk.evne
	$t_{\text{forf}} = t_{\text{gang}} + t_{\text{dør}}$	$t_{\text{gang}} = L / v$	L	v	$t_{\text{dør}} = N / (B \cdot f)$	N	B	f	A
1.etasje	13	10	13	1,30	3	14	4,80	1,09	10
2.etasje	24	12	16	1,30	11	22	1,80	1,09	10
3.etasje	19	12	15	1,30	7	14	1,80	1,09	10
4.etasje	25	15	20	1,30	9	18	1,80	1,09	10
6.etasje	27	14	18	1,30	13	26	1,80	1,09	10
7.etasje	27	14	18	1,30	13	26	1,80	1,09	10
8.etasje	147	15	20	1,30	132	345	2,40	1,09	10

Forflytning i trapper	Forflytning i trapperom fra de 2 øverste etasjene [s]		
8.etasje	101	50,4	0,50
7.etasje	56	42	0,75

Total forflytningstid 7. og 8 etasje	
331	sekunder
5,5	minutter

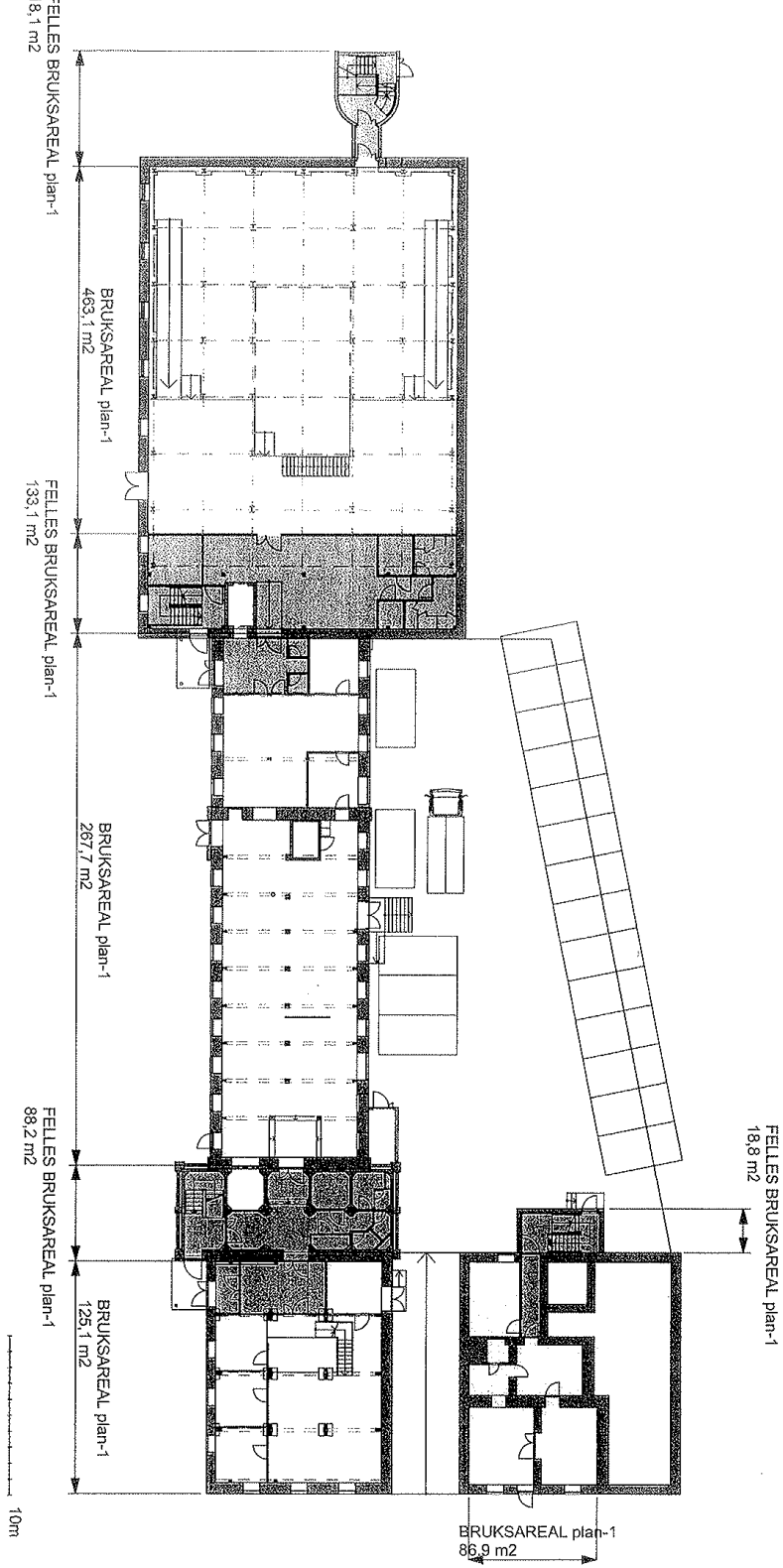
Personbelastning	Minutter	Tid
345	5,50	5 min 30 sek
200	4,60	4 min 36 sek
150	4,30	4 min 18 sek
100	4,00	4 min

TEGNING A.3 2 – PLANTEGNING 1. ETASJE MØLLA

© Asplan Viak AS DENNE TEGNING ER BESKYTTET VED LOV OM OPPHavsRETT TL. ÅRSVERK AV 12.05.1961 OG MÅ IKKE KOPIERES ELLER BEVYTTES UTEN OPPHavsMANNENS TILATELSE

OBS!
Konstruert på grunnlag av våre oppmålinger – tidligere oppmålingsrunnlag og/eller originaltegninger. Avk kan forekomme.

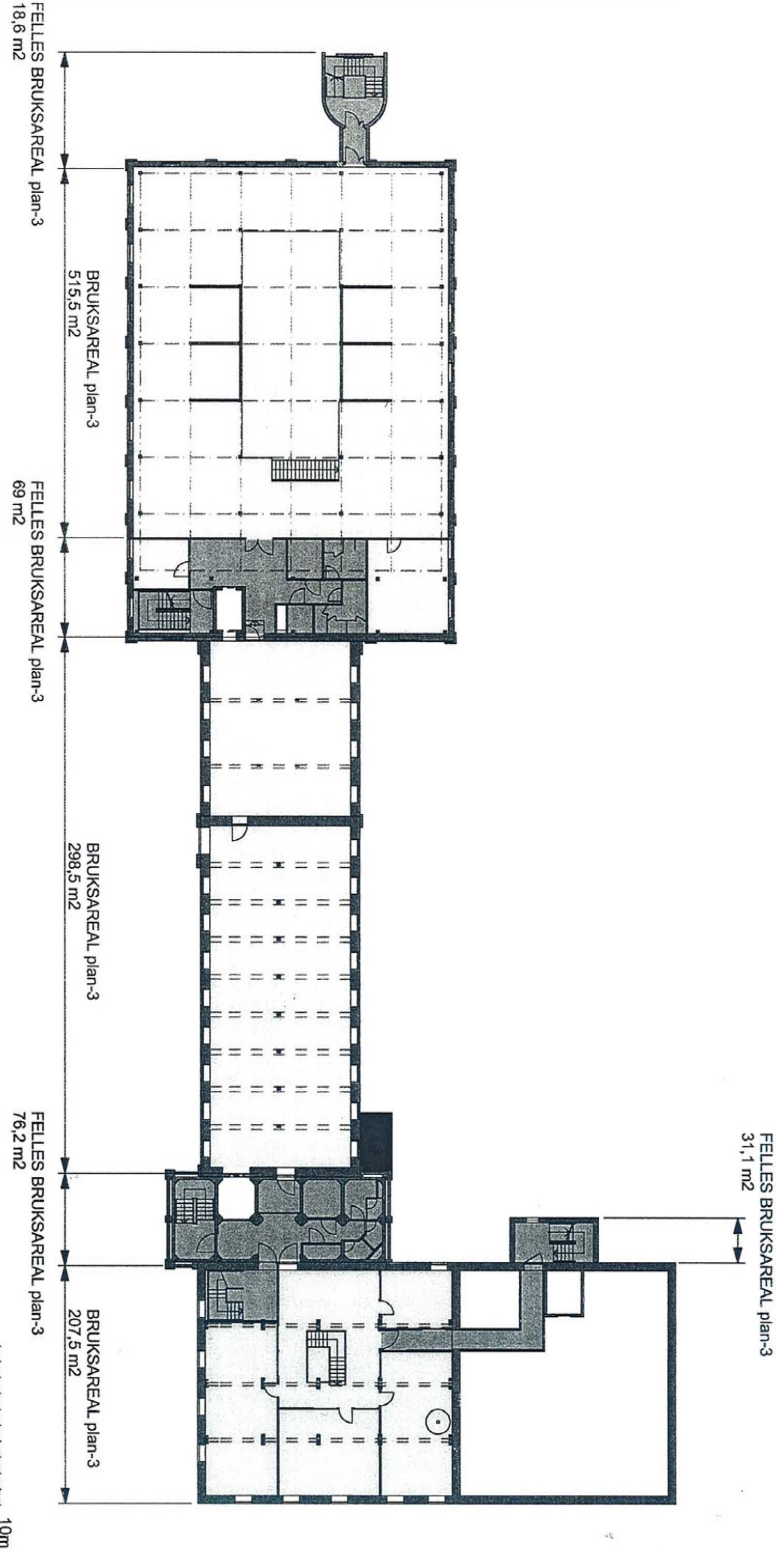
PROSJEKT PAKKERIE I MØLLA OG SILDEH 1412/2		PROSJEKT FASIT 1. Etasjen 1412/2		PROSJEKT 513138		TEGNING OV/APH102		TITTEL Bruksareal-BRA Plan "1. etasje"		DATUM 2014	
TILBUDGIVER ASPLAN VIAK AS 1412/2		TILBUDGIVER ASPLAN VIAK AS 1412/2		TILBUDGIVER ASPLAN VIAK AS 1412/2		TILBUDGIVER ASPLAN VIAK AS 1412/2		TILBUDGIVER ASPLAN VIAK AS 1412/2		TILBUDGIVER ASPLAN VIAK AS 1412/2	



TEGNING A.3 4 – PLANTEGNING 3. ETASJE MØLLA

© Asplan Viak AS DENNE TEGNING ER BESKYTTET VED LOV OM OPPHavsRETT TIL ANDSVERK AV 12.05.1961 OG MÅ IKKE KOPIERES ELLER BENYTTES UTEN OPPHavsMANNENS TILLATELSE

OBS!
Konstruert på grunnlag av våre oppmålinger + tidligere oppmålingsgrunnlag
og/eller originaltegninger. Avvik kan forekomme.



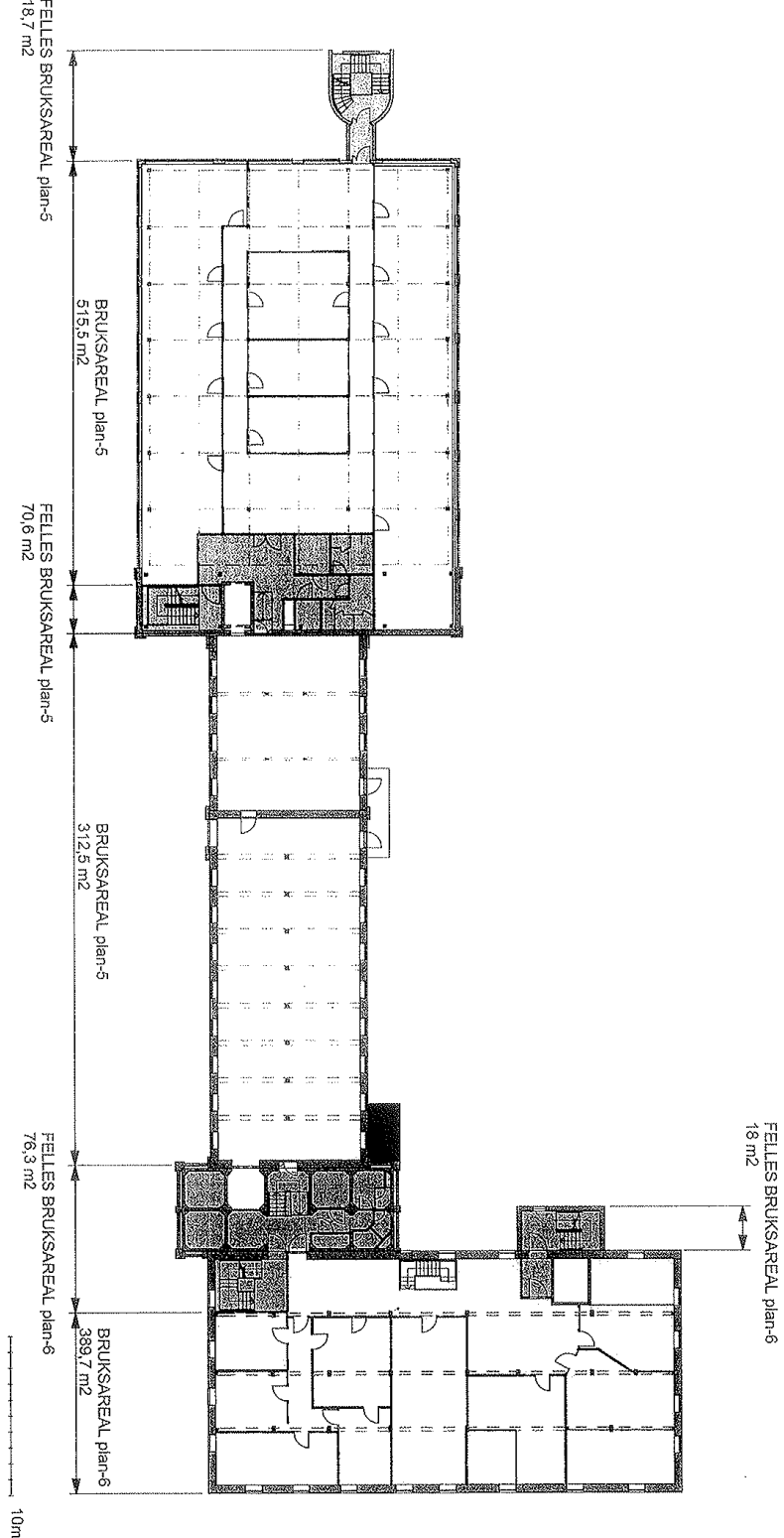
PROSJEKT PÅKJØPER PÅKJØPERE	PROSJEKT FRIKJØPER FRIKJØPERE	PROSJEKT TILBYRER TILBYRER	PROSJEKT NUMMER	PROSJEKT TITTEL	PROSJEKT Dato	PROSJEKT Bl. No. / Bl. Ant.	PROSJEKT Bl. No. / Bl. Ant.	PROSJEKT Bl. No. / Bl. Ant.
PAKKERIET, MØLLA og SILØEN Lindero 10 5251 L. MØLLA	FRIKJØPER Eiriksson MØLLA FRIKJØPERE 2501 L. MØLLA	ASPLAN VIAK Asplan Viak AS Postboks 14 17 2020 Post 27 20 20	513138	OVAPN104	22.01.08	2 / 4	2 / 4	2 / 4
Bruksareal-BRA Plan "3. etasje"								

TEGNING A.3 6 – PLANTEGNING 5. ETASJE MØLLA/6. ETASJE PAKKERIET

© Asplan Viak AS DENNE TEGNING ER BESKYTTET VED LOV OM OPPHavsrett TIL ANDSVERK AV 12.05.1961 OG MÅ IKKE KOPIERES ELLER BERYTTES UTEN OPPHavsMANNENS TILFATELSE

OBS!
Konstruert og grunnlag av våre oppmålinger + tidligere oppmålingsgrunnlag og/eller oppmålingsgrunnlag. Avik kan forekomme.

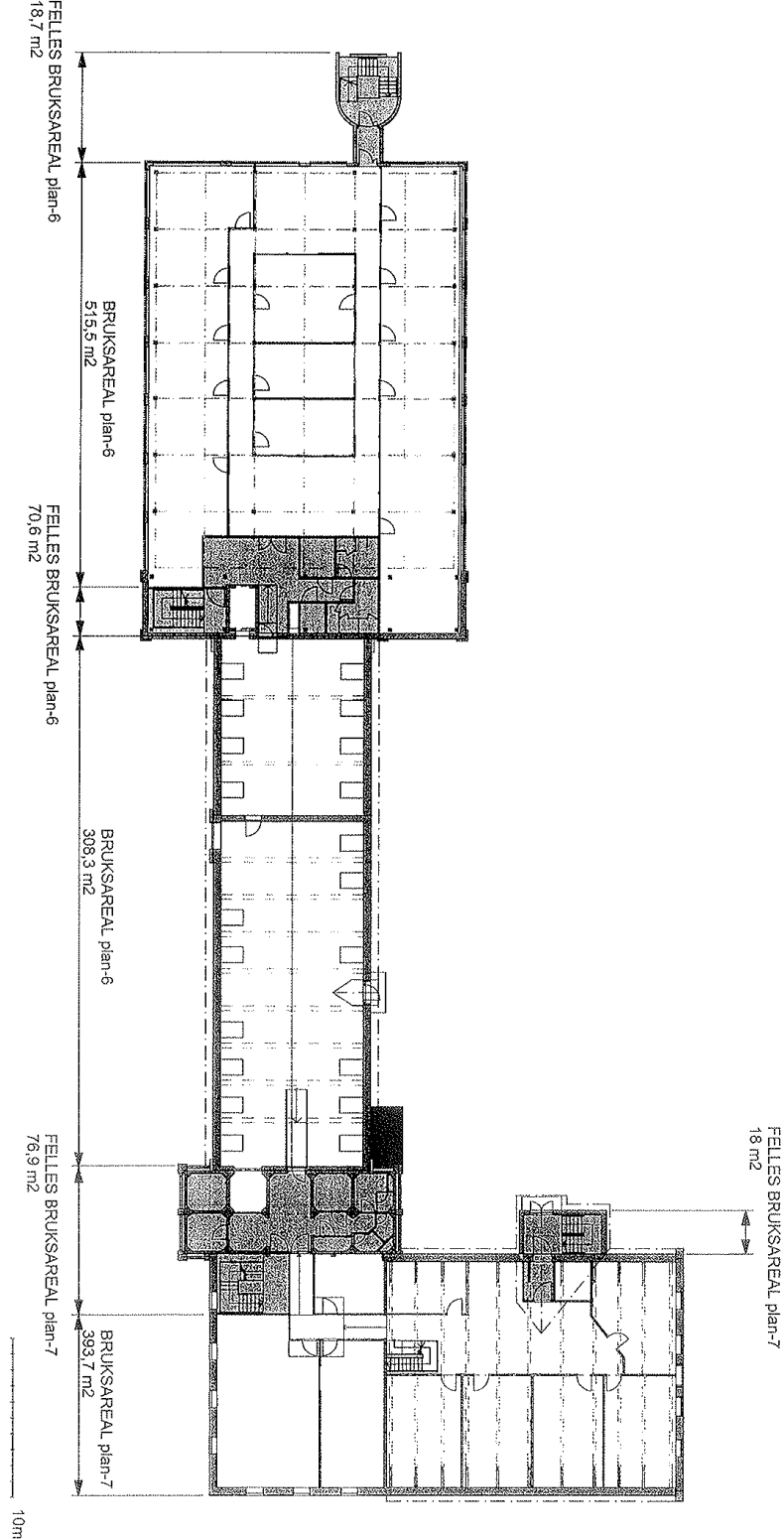
PROSJEKT PAKKERIE T MØLLA OG SIK OEN 1:800		PROSJEKTLEDER Erlend Eide 18.02.2010		PROSJEKTNR. 7 18.02.2010		PROSJEKT 513138		TEGNING OVAPN107		TITTEL Bruksareal-BRA		Dato 5. Mars 2010	
PROSJEKT PAKKERIE T MØLLA OG SIK OEN 1:800		PROSJEKTLEDER Erlend Eide 18.02.2010		PROSJEKTNR. 7 18.02.2010		PROSJEKT 513138		TEGNING OVAPN107		TITTEL Plan 5. eieg. møllekornsilø - Belg pakkeriet		Dato 5. Mars 2010	
PROSJEKT PAKKERIE T MØLLA OG SIK OEN 1:800		PROSJEKTLEDER Erlend Eide 18.02.2010		PROSJEKTNR. 7 18.02.2010		PROSJEKT 513138		TEGNING OVAPN107		TITTEL Bruksareal-BRA		Dato 5. Mars 2010	
PROSJEKT PAKKERIE T MØLLA OG SIK OEN 1:800		PROSJEKTLEDER Erlend Eide 18.02.2010		PROSJEKTNR. 7 18.02.2010		PROSJEKT 513138		TEGNING OVAPN107		TITTEL Plan 5. eieg. møllekornsilø - Belg pakkeriet		Dato 5. Mars 2010	



TEGNING A.3 7 – PLANTEGNING 6. ETASJE MØLLA/7. ETASJE PAKKERIET

© Asplan Viak AS

ORSI
konstruert på grunnlag av våre oppmålinger + tidligere oppmålingsgrunnlag
og/eller originale tegninger. Avvik kan forekomme.



Prosjekt: PAKKERIET, MØLLA og SIL OEN <small>11.01.2018</small>		Prosjektleder: Frida Ståden <small>16.01.1991</small>		Prosjektgruppe: Enghaug Viak <small>19.01.1991</small>		Prosjektnummer: 513138		Tegningsnummer: O/APN108		Tegningsnavn: Bruksareal BRA Plan 6. eieg. møll/kornsil - 7. eieg. pakkeriet		Tegningsdato: 2.2.18		Tegningsstørrelse: 11.00 x 15.00	
--	--	---	--	--	--	---------------------------	--	-----------------------------	--	--	--	-------------------------	--	-------------------------------------	--

Vedlegg A.4 – Simulex inndata, plantegninger i dxf format

Filene ligger på vedlagt DVD plate under mappe med samme navn

Vedlegg A.5 – Simulex utdata, tider fra rømningssimuleringer

Filene ligger på vedlagt DVD plate under mappe med samme navn

Vedlegg A.6 – FDS/Pyrosim inndata, fds filer

Filene ligger på vedlagt DVD plate under mappe med samme navn

Vedlegg A.7 – Branntekniske tegninger for Larvik Mølle i dwg format

Filene ligger på vedlagt DVD plate under mappe med samme navn

Vedlegg A.8 – FDS utdata med Smokeview filer

Filene ligger på vedlagt DVD plate under mappe med samme navn