

## Brannindusert overtrykk - Et hinder for evakuering



Bachelorprosjekt utført ved  
Høgskolen på Vestlandet – Studie for ingeniørfag

---

*Brann, sikkerhet*

Av: Thomas Baustad  
Torjahn Håbjørg

*Kandidatnr:15*

*Kandidatnr:11*

---

*Haugesund*

*Våren 2017*



# BACHELORPROSJEKT

**Studentenes navn:** Thomas Baustad 135256  
Torjahn Håbjørg 136741

---

**Linje & studieretning** Bachelor i ingeniørfag, Brannsikkerhet

**Oppgavens tittel:** *Brannindusert overtrykk – Et hinder for evakuering*

**Oppgavetekst:**

Trykkoppbygning som følge av brann i relativt lukkede rom har fått liten nasjonal og internasjonal oppmerksomhet. Det er i dagens forskrift om tekniske krav til byggverk, Byggteknisk forskrift 2010, og dens veiledning gitt at dører kan prosjekteres og utføres til å slå mot rømningsretning såfremt det ikke er fare for oppstuvning ved rømning. Nå som det bygges mer lufttette leiligheter, grunnet strengere krav til energieffektivitet, er det relevant å studere hvilken effekt trykkoppbygging som følge av brann har på nødvendig kraft for åpning av dører ved rømning.

Problemstillingen skal drøftes med bakgrunn i litteraturstudie, aktuelt regelverk, praktiske forsøk og utsendte spørreskjema til brannpersonell med erfaringer fra redningsoperasjoner ved branner i norske boliger.

**Endelig oppgave gitt:** Fredag 3.mars 2017

**Innleveringsfrist:** Onsdag 10.mai 2017 kl. 12.00

**Intern veileder** Torgrim Log, mail: torgrim.log@hvl.no

**Ekstern veileder** Stefan Andersson, mail: stefan.andersson@hvl.no

**Godkjent av  
studieansvarlig:**

**Dato:**

*J.C. Lindaa*  
*19/4 - 17*

Oppgavens tittel Brannindusert overtrykk – Et hinder for evakuering		Rapportnummer <i>(Fylles ikke ut)</i>
Utført av Thomas Baustad og Torjahn Håbjørg		
Linje Sikkerhet, Brannteknikk		Studieretning Ingeniør
Gradering Åpen	Innlevert dato 10.05.17	Veiledere Intern: Torgrim Log Ekstern: Stefan Andersson

**Ekstrakt**

Vanskeligheten av rømning som følge av høye branninduserte overtrykk i boenheter er sjelden omtalt som noe problem. Med dagens utvikling av mer energieffektive bygg og boliger vil dette nå kunne endre seg. Problemer med trykkoppbygning oppstår når dører er innadslående, åpnes innover i brannrommet. Overtrykk kan vanskeliggjøre og hindre åpning av slike dører. Simuleringer bekrefter at en trykkoppbygning kan inntreffe og at dette vil kunne hindre en trygg og sikker rømning om boligen skulle være prosjektert med innadslående ytterdør.

## Sammendrag

Trykkoppbygning som følge av brann i relativt lukkede rom har fått liten nasjonal og internasjonal oppmerksomhet. Det er ikke blitt sett på som noen trussel for hverken strukturen eller personsikkerheten. Dette kan være i endring, nå som det bygges mer lufttette boliger, grunnet nye og strengere krav til energieffektivitet.

Denne oppgaven har som hensikt å belyse muligheten for at trykkoppbygning kan forhindre eller forsinke personers rømning under den tidlige fasen av en brann, hvor bolig er prosjektert med dør som slår mot rømningsretning.

Flere kilder opplyser at en dør kan oppleves som vanskelig å åpne ved 100 Pa trykkforskjell over åpningen (Bengtsson, 2001) (Hurley, 2015) (Karlsson & Quintiere, 2000). For å kunne undersøke hvilken betydning trykkforskjeller og åpningskraft har for personsikkerheten ved rømning, så ble det i denne oppgaven gjort to-sone simuleringer av trykkoppbygning, samt forsøk for å fastsette opplevd åpningskraft.

Brannsimuleringene er gjort ved hjelp av to-sone modellen Argos. En validering ble utført ved å gjenskape målte verdier fra en reell sofa brann. Sammenligning av resultatene viste gode likheter rundt trykkoppbygningens utvikling og videre resultat fra simuleringer indikerte at størrelse på brann, vekstrate og rommets lekkasjeareal er av stor betydning i forhold til trykkoppbygningen.

Det ble gjennomført forsøk i en nyoppført leilighet med definerte overtrykk for å bestemme nødvendig kraft for å åpne dører. Resultatene ble utgangspunktet for videre testing, hvor personer i utvalgte aldersgrupper fikk gitt subjektive meninger ved å åpne en vanlig dør med varierende motstandskraft.

Resultat fra simuleringene og personers oppfatning av åpningskraft på dør indikerer at trykket som produseres av en brann i en tilnærmet tett leilighet vil i en gitt tidsperiode kunne hindre mulighet til sikker rømning.

## Summary

Pressure build-up due to fire in relatively closed rooms has had little national and international attention. It has not been considered as a threat to neither the structure nor the personal safety. This may be changing, now that much more air-tight homes are being built, due to new and stricter energy efficiency requirements.

The purpose of this assignment is to illustrate the possibility that pressure build-up can prevent or delay the escape of persons during the early phase of a fire, where housing is designed with a door that opens opposite to direction of escape.

Several sources indicate that a door can be experienced as difficult to open at 100 Pa pressure difference across the opening (Bengtsson, 2001) (Hurley, 2015) (Karlsson & Quintiere, 2000). In order to investigate the meaning of pressure differences and opening force for the safety of persons escape, this task has done two-zone simulations of pressure build-up, as well as attempts to determine experienced opening force.

The fire simulations are done using the two-zone model Argos. A validation was performed by recreating measured values from a real sofa fire. Comparison of the results showed good similarities to the development of pressure build-up and further results from simulations indicate that the size of the fire, growth rate and leakage area is of great importance in terms of pressure build-up.

Attempts were made in a newly constructed apartment with defined overpressure to determine the necessary force to open doors. The results were the basis for further testing, where individuals in selected age groups were given subjective opinions by opening a regular door with varying resilience.

Results from the simulations and perception of door openings by individuals indicate that the pressure produced by a fire in an almost closed apartment will for a given period of time prevent the possibility of safe escape.

## **Forord**

Denne bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med avsluttende utdanning for studieretningen Brannsikkerhet ved Høgskolen på Vestlandet i Haugesund. Oppgaven utgjør 15 studiepoeng, samt 5 poengs produkt del og er blitt utført våren 2017.

Formålet med oppgaven er å gå dypere inn i hvilken betydning trykkoppbygningen forårsaket av brann, har for sikkerheten til rømning i en bolig hvor dør slår mot rømningsretning. Oppgaven ble presentert av ekstern veileder Stefan Owe Andersson fra Norconsult og har gitt oss lærerik kunnskap, samt erfaringer som vi vil ta med oss videre i karrieren.

Det blir rettet en stor takk til ekstern veileder Stefan Owe Andersson og intern veileder Professor Torgrim Log for gode råd, innspill, oppmuntring og ideer til hvordan vi kunne løse oppgaven på best mulig måte.

Vi vil også takke Ruben Dobler Strand for faglig veiledning og Byggmester Sagen AS som bidro med nødvendig utstyr, leilighet og hjelp til å kunne utføre forsøk.

Haugesund 2017

Thomas Baustad

Torjahn Håbjørg

## Definisjoner og ordforklaringer

Definisjon	Ordforklaring
TEK10	Byggteknisk forskrift fra 2010.
VTEK10	Veiledning til Byggteknisk forskrift fra 2010.
Brannforløp	Brannens utvikling fra antennelse til den har sloknet eller er blitt sloknet.
Pyrolyse	En irreversibel spalting av et fast stoff som følge av oppvarming.
Selvantennelse	Antennelse av et stoff på bakgrunn av kjemiske, fysiske eller bakterielle utviklinger i stoffet som selv utvikler varme.
Spontanantennelse	Tilføring av en så stor varme at et stoff antenner uten bruk av ekstern tenn kilde.
Overtenning	En fase i et brannforløp hvor alle brennbare overflater/materialer deltar i brannen.
Varmestråling [kW/m <sup>2</sup> ]	Elektromagnetisk stråling som tilfører eller tar energi (varme) fra et system.
Brenselkontrollert	Brann hvor mengden brensel er førende for videre utvikling, det vil være tilstrekkelig tilgang på oksygen.
Ventilasjonskontrollert	Brann hvor mengden oksygen er førende for videre utvikling, det vil være tilstrekkelig tilgang til brensel.
Branncelle	Et avgrenset område i en bygning som for en gitt tidsperiode hindrer brannspredning.
Trykk [Pa, N/m <sup>2</sup> ]	Defineres som kraft per areal.
Termisk utvidelse	Økning i volum som følge av økende temperatur.
Termisk oppdrift	En tetthetsforskjell som følge av temperaturøkning, vil føre til en oppdrift av varme gasser og luft.
Universell utforming	En ide om at flest mulig personer skal kunne benyttet seg av et tilbud uavhengig av funksjonsevne.
Omhyllingsflate [m <sup>2</sup> ]	En summering av alle innvendige bygningsoverflater (gulv, vegger og tak).
Lekkasjereale [m <sup>2</sup> ]	Samlet åpningsareal mot omgivelsene.
Tilstandsligning ideelle gasser	En forenklet tilnærming til virkelige gasser.
Energifrigjøring [kW]	Når et materiale brenner vil det frigjøre energi i form av varme.
Massetapsraten [g/m <sup>2</sup> s]	Forteller hvor hurtig pyrolysen skjer i materiale.
Forbrenningsraten [kg/s]	Hvor mye av massen som faktisk blir brukt opp i forbrenningen. Ofte noe mindre enn massetapsraten.
Spesifikk varmekapasitet [kJ/(kg K)]	Er et mål på hvor mye energitilførsel som trengs for å varme opp materialet med en grad.
Atmorfærisk trykk [Atm]	Et trykk på et gitt sted i jordens atmosfære.
Tetthet [m <sup>3</sup> /h/m <sup>3</sup> ]	Luftutskiftninger en bolig maksimalt kan ha per time.
Entalpistrøm [J/s]	Sum av et systems indre energi og systemets trykk multiplisert med dets volum.
Adiabatisk arbeid	Prosess hvor det ikke forekommer noen varmeutveksling mellom et system og omgivelsene.

## Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	i
Summary .....	ii
Forord .....	iii
Definisjoner og ordforklaringer .....	iv
1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Formål .....	1
1.3 Avgrensninger .....	2
1.4 Oppgavens oppbygning .....	2
2 Teori .....	3
2.1 Rombrann .....	3
2.1.1 Antennelsesfasen .....	3
2.1.2 Vekstfasen .....	3
2.1.3 Fullt utviklet brann .....	4
2.1.4 Utbrenningsfasen .....	4
2.1.5 Påvirkninger til hurtigere brannvekst .....	4
2.2 Trykkforhold i åpne og lukkede rom .....	5
2.2.1 Introduksjon .....	5
2.2.2 Termisk utvidelse .....	6
2.2.3 Termisk oppdrift .....	7
2.2.4 Trykk i lukket eller nesten helt lukket rom .....	7
2.2.5 Trykk i et åpent rom .....	9
2.2.6 Bygningskomponenters trykkmotstand .....	9
2.2.7 Når kan en forvente trykkoppbygning .....	10
2.3 Simuleringsverktøy .....	10
2.4 Regelverk .....	11
3 Metode og resultat .....	13
3.1 Metode – Håndberegninger og forsøk i trykksatt leilighet .....	13
3.1.1 Forberedende arbeid .....	13
3.1.2 Utstyr og montering .....	15
3.1.3 Gjennomføring .....	16
3.1.4 Resultat – Håndberegninger og forsøk i trykksatt leilighet .....	17
3.2 Metode – Subjektive målinger .....	19
3.2.1 Forberedende arbeid .....	19
3.2.2 Utstyr og montering .....	20
3.2.3 Gjennomføring .....	21



3.2.4	Resultat – Subjektive målinger .....	22
3.2.5	Sammenlagt resultat fra subjektive målinger .....	22
3.3	Metode – Trykksimulering i Argos .....	23
3.3.1	Inngangsdata i Argos – Validering av trykkoppbygning .....	24
3.3.2	Inngangsdata i Argos – Nyoppført leilighet i Tananger.....	25
3.3.3	Forenklinger .....	26
3.3.4	Resultat – Trykksimulering i Argos .....	28
3.4	Metode – Undersøkelse av tidligere hendelser .....	31
3.4.1	Resultat – Tidligere hendelser .....	32
4	Diskusjon.....	33
5	Konklusjon .....	38
6	Videre arbeid .....	39
	Referanser.....	40
	Vedlegg A: Luftlekkasjetest av leilighet .....	I
	Vedlegg B: Sjekkpunktliste – Kontroll av forsøk ved trykktesting .....	II
	Vedlegg C: Størrelse på dør .....	III
	Vedlegg D: Sjekkpunktliste – Kontroll av forsøk ved subjektive målinger .....	IV
	Vedlegg E: E-post fra Brannvesen og SP Fire Research.....	V

## Figurligste

FIGUR 2:1 FASENE I EN ROMBRANN (KARLSSON & QUINTIERE, 2000).....	3
FIGUR 2:2 VARIERENDE ÅPNINGER .....	5
FIGUR 2:3 LUFT/RØYKGASSER BLIR VARMET OPP.....	6
FIGUR 2:4 TRYKKFORHOLD I ET NORMALT ROM MED TERMISK OPPDRIFT.....	7
FIGUR 2:5 LEKKASJE VED GULVET .....	8
FIGUR 2:6 TRYKKFORHOLD I ÅPENT ROM.....	9
FIGUR 2:7 ENKEL OVERSIKT OVER ULIKE BRANNFORLØP.....	10
FIGUR 2:8 BRANNROMMETS TO SONER (KARLSSON OG QUINTIERE, 2000).....	10
FIGUR 2:9 DAGENS REGELVERK.....	11
FIGUR 3:1 PLANTEGNING AV TESTLEILIGHET.....	14
FIGUR 3:2 MONTERING AV BLOWER DOOR.....	15
FIGUR 3:3 MONTERING AV DØR.....	15
FIGUR 3:4 Plassering av kraftmåler.....	16
FIGUR 3:5 GRAF OVER HÅNDBEREGNING OG MÅLT DRAKRAFT.....	18
FIGUR 3:6 SKISSE OVER SLEDEN SOM BLE BENYTTET .....	19
FIGUR 3:7 UTFØRELSE VED GARD BARNESKOLE .....	20
FIGUR 3:8 ELEIKO SLEDEN .....	20
FIGUR 3:9 SAMMENLAGT RESULTAT AV SUBJEKTIVE MÅLINGER .....	22
FIGUR 3:10 LEILIGHET I FINLAND - VALIDERT I ARGOS .....	24
FIGUR 3:11 LEILIGHET I TANANGER - TRYKKTESTET I ARGOS .....	25
FIGUR 3:12 VENSTRE BILDE SAMMENLIGNER TRYKK OG HØYRE BILDE HRR ..	28
FIGUR 3:13 SAMMENLIGNING AV ENERGIFRIGJØRING.....	29
FIGUR 3:14 SAMMENLIGNING AV ÅPNINGER.....	30
FIGUR 3:15 EFFEKT AV SPRINKLER.....	30

## Tabelliste

TABELL 1:1 OPPSUMMERT INNHOLD .....	2
TABELL 2:1 TRYKK HVOR KONSTRUKSJONER VIL KOLLAPSE.....	9
TABELL 2:2 KRAV TIL LUFTTETTHET .....	12
TABELL 3:1 RESULTAT AV HÅNDBEREGNING OG TRYKKTESTING .....	17
TABELL 3:2 OVERSIKT OVER DE AKTUELLE SIMULERINGENE .....	23
TABELL 3:3 OVERSIKT INNGANGSDATA.....	27

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Brann er en utfordring i samfunnet og det er viktig at problemområder undersøkes for å bedre sikkerheten for mennesker og verdier. Det ble i 2016 registrert totalt 3092 boligbranner i Norge, hvorav 40 personer omkom. Ifølge Statistisk Sentralbyrå er boligblokk høyt overrepresentert med hele 34 prosent av brannene, dette til tross for at 60 prosent av befolkningen bor i enebolig (Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, 2017).

I branner knyttes omtrent 50 % av dødsfallene opp mot karbonmonoksid-forgiftning (Hagen, 2004), sikker rømning fra brannrom er derfor kritisk for personsikkerheten, selv om personer ikke utsettes for brannens høye temperaturer.

I 2014 undersøkte en gruppe brannmenn fra Finland ulike typer brannforsøk innvendig fra en forlatt leilighet (Janardhan & Hostikka, 2016). Leiligheten var relativt moderne og prosjektert med innadslående ytterdør. Til deres store overraskelse, oppsto det problemer med å komme seg ut døren etter antennelsen grunnet trykkoppbygning i rommet. Dette førte til diskusjoner om hvorvidt trykkoppbygning kunne hindre sikker rømning.

Utviklingen av energieffektive bygg og boliger de siste årene har gitt strengere krav. En av de viktigste innskjerpingene handler om tetthet (Lavenergiprogrammet, 2016). Dette kombinert med at forskriftene tillater at dør kan slå mot rømningsvei, kan potensielt sett føre til farlige situasjoner ved en eventuell brann.

## 1.2 Formål

Oppgaven har til hensikt å vurdere betydningen av brannindusert overtrykk på sikker rømning fra brannrom med innadslående dør. Det skal vurderes hvorvidt et slikt overtrykk representerer en fare for personsikkerheten, ved at innadslående dør ikke lenger kan benyttes i følge med sikker rømning fra brannrommet.

### 1.3 Avgrensninger

Oppgaven skal i all hovedsak belyse vanskeligheter med åpning av innadslående ytterdør ved trykkoppbygning. For å begrense variablene med trykkoppbygning i forhold til etasjer er det valgt å se på en boenhet som kun går over et plan. Gamle boliger har reduserte krav til tetthet, derfor vil oppgaven gjelde for nyoppførte leiligheter med dagens krav. Kritiske punkter som blir omtalt i oppgaven vil kun gjelde for boliger med innadslående dører. En utadslående dør vil ikke ha de samme utfordringer for åpning, kreftene fra trykket vil da gå i samme retning som åpningsvinkelen på døren.

### 1.4 Oppgavens oppbygning

I denne oppgaven blir det utført en litteraturstudie, gjort en dialog med brannpersonell som har erfaringer med redningsoperasjoner ved branner i norske boliger og utført tester der personer i utvalgte aldersgrupper fikk gitt subjektive meninger ved å åpne en vanlig dør med varierende motstandskraft. Basert på disse erfaringene ble det gjennomført forsøk i en ny oppført leilighet med definerte overtrykk for å bestemme nødvendig kraft for å åpne dører. For å kunne fremlegge ulike brannscenarier er det blitt gjort brannsimuleringer i Argos. Behov for eventuelle endringer i kravet som forbedrer rømningssikkerheten blir diskutert.

TABELL 1:1 OPPSUMMERT INNHOLD

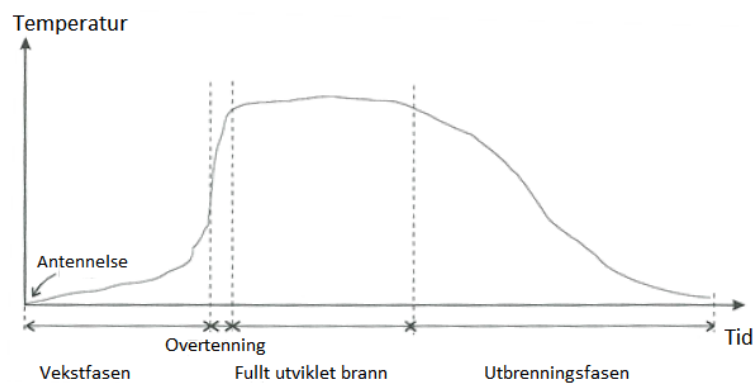
Kapittel	Oppsummert innhold
2	Relevant teori
3	Beskrivelse av metode, fremgangsmåte og resultat
4	Diskusjon av resultater
5	Konklusjon
6	Forslag til videre arbeid

## 2 Teori

Boligbrann er et viktig tema og det er ønskelig at denne oppgaven skal kunne leses og forstås av alle. Det blir i dette kapittelet derfor gitt en generell beskrivelse av brannforløp og trykkforhold i åpne og lukkede rom, samt presentert ulike krav som sees på som relevant for oppgaven.

### 2.1 Rombrann

En brann er hovedsakelig påvirket av mengde brennbart materiale, tilstrekkelig varme og oksygen. Figur 2:1 viser en typisk variasjon av temperatur med tid i et brannrom, sammen med ulike faser. En brann vil ikke nødvendigvis gå gjennom alle fasene, men en fritt voksende brann vil kunne gå gjennom en antennelsesfase, vekstfase, fullt utviklet brann og en utbrenningsfase (Karlsson & Quintiere, 2000).



FIGUR 2:1 FASENE I EN ROMBRANN (KARLSSON & QUINTIERE, 2000)

#### 2.1.1 Antennelsesfasen

En brann starter ved at et fast stoff, gass eller væske blir antent. Antennelsen kan være av flere ulike årsaker. Eksempler på dette kan være uforsiktig bruk av ild, feil på elektrisk anlegg, selvantennelse eller bevisst antennelse. I de fleste tilfeller vil en antennelse bruke lang tid på å utvikle seg og personers mulighet til å rømme eller slukke brannen er stor. Unntaket kan være ved antennelse av brennbare gasser eller væsker, som ofte kan utvikle seg relativt hurtig og skape store endringer i rommets omgivelser på svært kort tid (Hagen, 2004).

#### 2.1.2 Vekstfasen

Etter en antennelse vil det i teorien være to mulige utfall. Brannen vil enten vokse eller avta. Om brannen ikke sprer seg, vil den avta, forbli brenselskontrollert og kunne slukke av seg selv. I en voksende brann vil flammene kunne varme opp nærliggende materialer, slik at disse pyrolyseres og antennes. Flammene avgir også stråling tilbake til det brennende materialet,

noe som fører til at massetapsraten og forbrenningsraten øker. Så lenge produksjonen av brennbare gasser øker og det finnes nok tilgang på oksygen vil brannen fortsette å vokse. Vekstfasen er av størst betydning når det kommer til sikkerheten ved rømning for personer. Det er i denne fasen rommets trykk vil kunne øke betraktelig (Hagen, 2004).

### **2.1.3 Fullt utviklet brann**

I overgangen mellom vekstfasen og fullt utviklet rombrann kan en overtenning finne sted. Overtenning karakteriseres ved at hele eller store deler av rommets brennbare overflater deltar i brannen og røyklaget har en temperatur mellom 500-600 °C. Etter dette har man en fullt utviklet brann, hvor energifrigjøringen og temperaturen vil være på sitt høyeste. Rommet vil da ha en temperatur mellom 700-1200 °C. Brannen vil ikke kunne bli større uten å spre seg til andre rom. Hvor lenge brannen forblir i denne fasen vil være avhengig av tilgangen til oksygen og brannen omtales derfor som ventilasjonsstyrt (Hagen, 2004).

### **2.1.4 Utbrenningsfasen**

Brannen inntreffer utbrenningsfasen når mengden brennbare gasser blir redusert ved at mengden brensel reduseres, slik at brannens omfang ikke kan opprettholdes. Denne fasen blir også omtalt som avkjølingsfasen, som er beskrivende til temperaturens reduksjon i brannrommet (Hagen, 2004).

### **2.1.5 Påvirkninger til hurtigere brannvekst**

#### **Inventar**

I dagens samfunn brukes det ofte lette og porøse materialer i produksjonen av inventar. UL Fire Safety gjennomførte i 2012 forsøk hvor tre moderne hjemkonfigurasjoner ble testet opp mot tre eldre hjemkonfigurasjoner. Det ble funnet ut at endringene i det moderne hjemmet skaper branner som når overtenning mer en åtte ganger raskere enn hjem bygget for 50 år siden. Den raske progresjonen til overtenning gir beboere mindre tid til å reagere og skaper betydelig større farer (Laboratories, 2012).

#### **Fuktinnhold**

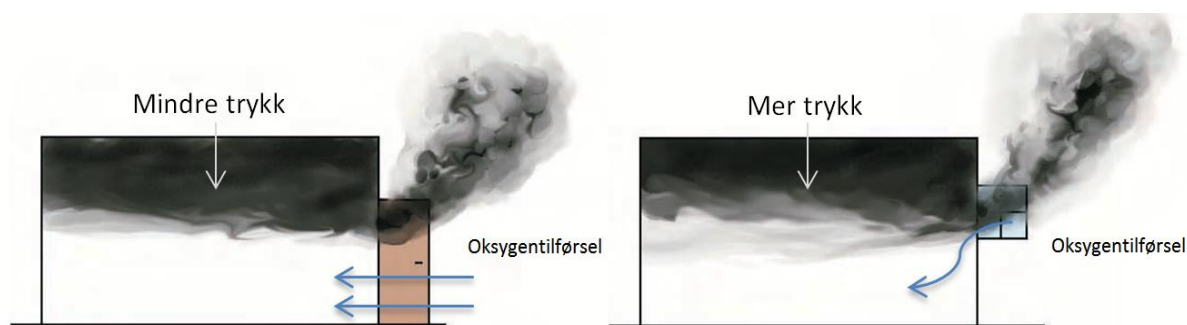
Lavt fuktinnhold i treverk kan påvirke brannutvikling, sammenlignet med høyere fuktinnhold. Professor Torgrim Log har utarbeidet en artikkel hvor det blir sett på risiko i forhold til brann, i et kaldt og tørt klima, med utgangspunkt i brannen som oppsto i Lærdal, januar 2014. Det viser seg at et kaldt og tørt klima fører til lavere fuktinnhold i treverk, noe som igjen vil påvirke hastigheten på brannutviklingen (Log, 2015).

## 2.2 Trykkforhold i åpne og lukkede rom

Dette delkapittelet handler om trykkforhold i åpne og lukkede rom. Teorien er gjengitt fra boken Enclosure Fires (Bengtsson, 2001).

### 2.2.1 Introduksjon

Det blir frigjort store mengder varme fra en brann og røyken som dannes ekspanderer med økt temperatur noe som kan føre til trykkøkning i brannrommet. Dette gjør at røyk og luft kan bli presset ut gjennom små eller store åpninger som eksisterer i rommet. Trykkoppbygningen vil naturligvis variere fra et rom med store åpninger, sammenlignet med et rom som er mer eller mindre lukket, figur 2:2. Flere kilder opplyser at en dør kan oppleves som vanskelig å åpne ved 100 Pa trykkforskjell over åpningen (Bengtsson, 2001) (Hurley, 2015) (Karlsson & Quintiere, 2000).



FIGUR 2:2 VARIERENDE ÅPNINGER

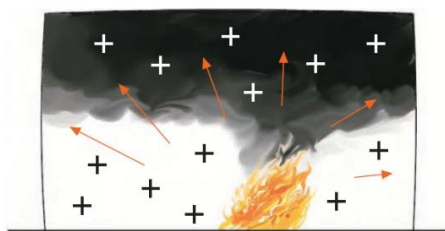
Gasser vil alltid bevege seg fra et område med høyere trykk til et område med lavere trykk og bevegelsen til gassene bestemmes av trykkdifferansen mellom rommet og omgivelsene. Det er praktisk å dele trykkforskjeller inn i to kategorier. Trykkforskjell forårsaket av brann og trykkforskjell forårsaket av normale forhold som er til stede i en bygning eller skapes mellom en bygning og dens omgivelser.

Det er hovedsakelig to grunner til trykkforskjell forårsaket av brann. Disse er termisk utvidelse og termisk oppdrift. Den relative størrelsen på disse faktorene varierer avhengig av bygningens utforming, posisjon og ytre påvirkninger. Omstendighetene kan variere enormt både i bygninger og mellom ulike bygninger, samt over tid. Men det er naturlig at forskjellene i trykk generert av brannen selv er dominerende i nærheten av brannen. Når avstanden fra brannen øker og røykgassene avkjøles, er normale trykkforskjeller dominerende.

## 2.2.2 Termisk utvidelse

Ved en rombrann frigjøres det betydelige mengder energi som forårsaker en termisk utvidelse av røykgassene. Når rommet er lukket hindres denne termiske utvidelsen, noe som resulterer i en trykkøkning, figur 2:3.

En ligning for å estimere den dynamiske trykkoppbygningen forårsaket av termisk utvidelse for et helt lukket rom, er blitt utarbeidet på bakgrunn av Zukoski's bevaringsligninger for masse og energi. Utarbeidelsen tar utgangspunkt i at energifrigjøringen holdes konstant og at massetapsraten til brenselet blir neglisjert (Karlsson & Quintiere, 2000).



FIGUR 2:3 LUFT/RØYKGASSER BLIR VARMET OPP

### Eks. Trykkoppbygning grunnet termisk utvidelse:

Et lukket rom er satt til å ha et indre volum på  $60 \text{ m}^3$ . Brannen tar utgangspunkt i en papirkurv med en konstant energifrigjøring på  $100 \text{ kW}$ , hvor det skal estimeres en trykkoppbygning etter 10 sekunder. Lufttemperaturen antas å være  $293 \text{ K}$ ,  $20^\circ\text{C}$ . Det antas også at lufttettheten  $\rho_a$  er  $1,2 \text{ kg/m}^3$  og spesifikk varmekapasitet ved konstant volum  $c_v$  er  $0,7 \text{ kJ/(kg K)}$ .

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Dynamisk} \\ \text{trykkoppbygning} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{Trykkøkning grunnet} \\ \text{termisk utvidelse} \end{array} \right]$$

$$\frac{P - P_a}{P_a} = \frac{\dot{Q}t}{V\rho_a c_v T_a} \quad (1)$$

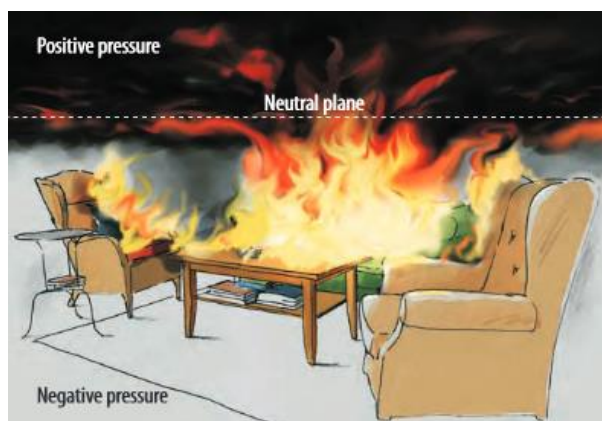
$$\frac{P - P_a}{P_a} = \frac{\dot{Q}t}{V\rho_a c_v T_a} = \frac{100 \cdot 10}{60 \cdot 1,2 \cdot 0,7 \cdot 293} \approx 0,068 \text{ atm}$$

Ved å multiplisere det atmosfæriske trykket med  $101 \text{ kPa}$ , gir det en trykkdifferanse på  $6,8 \text{ kPa}$  fra omgivelsene. Trykket vil sjelden bli så høyt, da de fleste rom ikke er helt tette. Det vil alltid finne en slags lekkasje i brannrommet og økningen i trykket vil da vanligvis være rundt  $10$  til  $20 \text{ Pa}$  (Karlsson & Quintiere, 2000).



### 2.2.3 Termisk oppdrift

Termisk oppdrift kan forstås ved at de varme gassene har en lavere tetthet enn luft og vil derfor stige opp i brannrommet. Dette gjør at det skapes et øvre lag med varme gasser og et nedre lag hovedsakelig bestående av luft ved tilnærmet romtemperatur. Så lenge branngassene har en høyere temperatur og en lavere tetthet enn den omgivende luften vil den stige. Nøytralplanet er horisontalskillet mellom det øvre og nedre laget, se figur 2:4. Røykgassene vil kunne spre seg gjennom små åpninger i konstruksjonen som befinner seg fra nøytralplanet og oppover, mens luft vil strømme inn gjennom åpninger lavere enn nøytralplanet, dette grunnet de trykkforskjeller som oppstår. Trykket vil være positivt i det øvre laget og negativt i det nedre laget, sammenlignet med utenforliggende forhold. Røyken avkjøles av omliggende luft og gjenstander, dette gjør at røyken i noen tilfeller ikke klarer å nå helt opp til taket hvis konstruksjonen er høy.



FIGUR 2:4 TRYKKFORHOLD I ET NORMALT ROM MED TERMISK OPPDRIFT

### 2.2.4 Trykk i lukket eller nesten helt lukket rom

Trykket i brannrommet vil være avhengig av lekkasjeraten til brannrommet. I et rom som er lukket eller nesten helt lukket vil trykket øke betraktelig og kunne føre til ødeleggelser i konstruksjonen, som f.eks. knuse eller briste vinduer. Normalt blir lekkasjeområder kalkulert til å være  $1,25 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  av rommets omhyllingsflate. Det pleier normalt ikke å oppstå store trykkøkninger i vanlige husbranner, da de som regel har høye lekkasjerater. Trykket vil kunne bli et par hundre pascal ved termisk utvidelse, men er svært ofte helt nede i 20-30 Pascal. For å vise til et eksempel over trykkoppbygning i et rom med lekkasjer blir det gjort en utregning med bruk av formel 2.

### Eks. Trykkoppbygning i rom med lekkasje:

I dette eksempelet blir det gitt at det finnes en lekkasje nede ved gulvet, figur 2:5. Dette betyr at luften som strømmer ut har samme temperatur som atmosfæren. Varmetap fra veggene er ignorert, samt endringen i det adiabatisk arbeid utført med økningen i trykket. Situasjonen er den samme som forrige eksempel i avsnitt 2.2.2, brannrommet har en størrelse på 60 m<sup>3</sup> og brannen produserer 100 kW. Rommet er helt lukket, bortsett fra en liten lekkasje nederst ved gulvet som er 2 cm høy og 1 meter bred (200 cm<sup>2</sup>).

$$\Delta P = \frac{1}{2\rho_e} \left( \frac{\dot{Q}}{c_p T_e A_e C_d} \right)^2 \quad (2)$$

Hvor:

$c_p$  = Spesifikk varmekapasitet ved konstant trykk [kJ]/(kg K)

$T_e$  = Temperatur til gassen som strømmer ut [K]

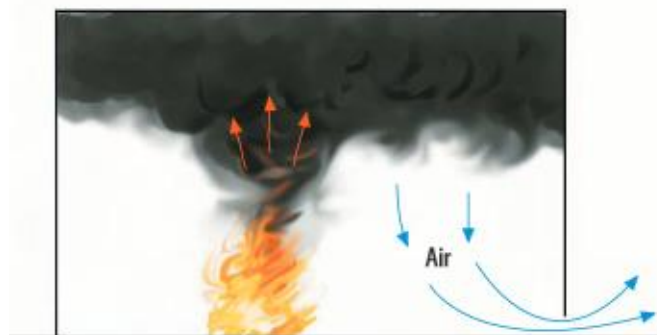
$A_e$  = lekkasjeareal [m<sup>2</sup>]

$\rho_e$  = Tettheten til gass som strømmer ut [kg/m<sup>3</sup>]

$C_d$  = Strømningskoeffisient

$$\Delta P = \frac{1}{2\rho_e} \left( \frac{\dot{Q}}{c_p T_e A_e C_d} \right)^2 = \frac{1}{2 \cdot 1,2} \left( \frac{100}{1,2 \cdot 293 \cdot 0,02 \cdot 0,7} \right)^2 \approx 248 \text{ Pa}$$

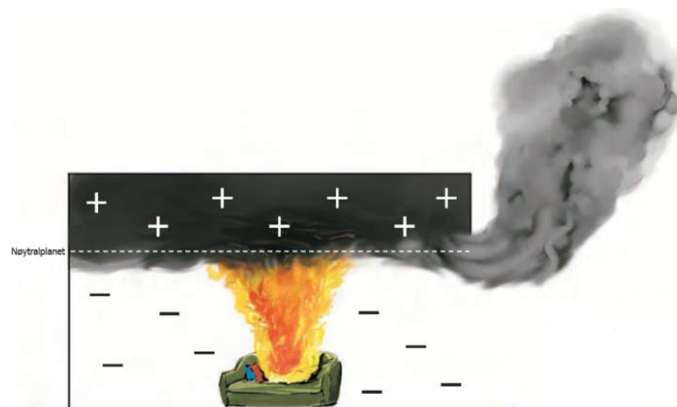
I dette tilfellet hvor rommet har en lekkasje vil den maksimale trykkøkningen være 248 Pa.



FIGUR 2:5 LEKKASJE VED GULVET

### 2.2.5 Trykk i et åpent rom

I utviklingen av en rombrann pleier det som regel å dannes to soner. Et øvre varmt røyklag og nedre luftlag, figur 2:6. Denne tilstanden er avhengig av rommets størrelse og branneffekt. I de tilfellene hvor to soner oppstår vil grad av røykdeling være avhengig av endringer i energifrigjøringen, entalpistrømmen inn og ut av røyklaget, strømninger i røyklaget og varmetap i vegger og tak. Når en markant lagdeling av varm røyk og kald luft finner sted, vil det markere slutten av vekstfasen og det kan forventes en overtenning.



FIGUR 2:6 TRYKKFORHOLD I ÅPENT ROM

Ved starten av brannen vil det være overtrykk i hele rommet og hvis det finnes noen form for åpning vil luft bli presset ut gjennom hele åpningen grunnet trykkoppbygningen. Røyklaget presses fort ned til nedre del av åpningen og røykgassene vil begynne å forsvinne. På samme tid, vil termisk utvidelse fortsette å presse ut kald luft, som opprettholder det positive trykket i hele rommet.

### 2.2.6 Bygningskomponenters trykkmotstand

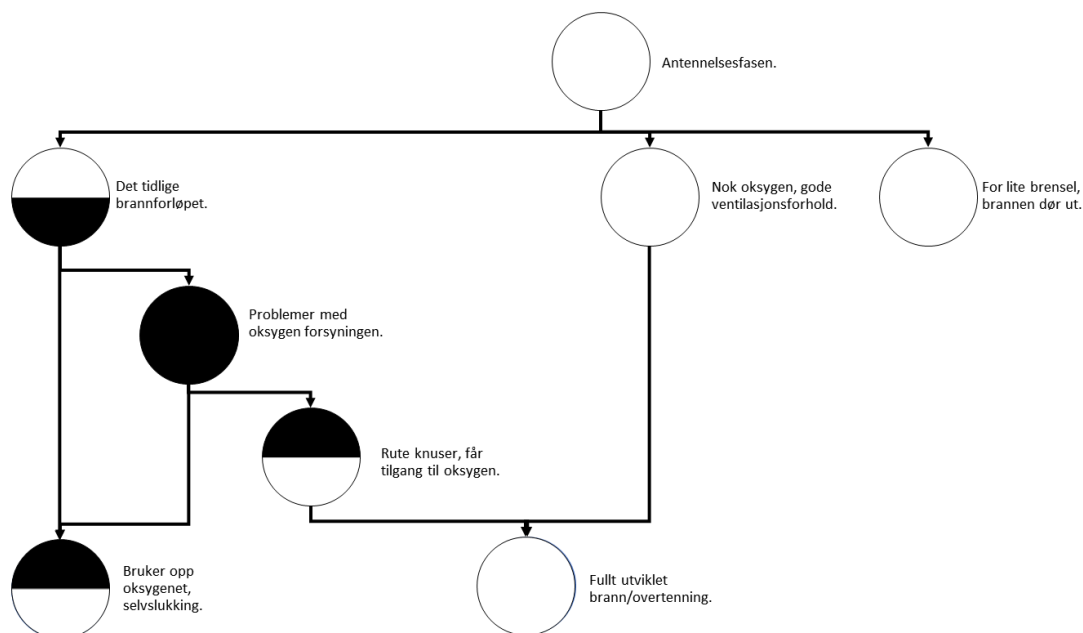
De svakeste bygningskomponentene vil kollapse først og i de fleste bygninger er dette et vindu. Bygningskomponenter som kolliderer vil kunne normalisere trykket i brannrommet, avhengig av størrelsen på lekkasjen som oppstår. Forskjellige bygningskomponenters trykkmotstand sees i tabell 2:1.

TABELL 2:1 TRYKK HVOR KONSTRUKSJONER VIL KOLLAPSE

Konstruksjon	Trykk (mbar)	Trykk (Pa)
Glassvinduer	20 – 70	2000 – 7000
Romdører	20 – 30	2000 – 3000
Lettvegg	20 – 50	2000 – 5000
Dobbel gipsvegg	30 – 50	3000 – 5000
10 cm mur vegg	200 – 350	20000 – 35000

## 2.2.7 Når kan en forvente trykkoppbygning

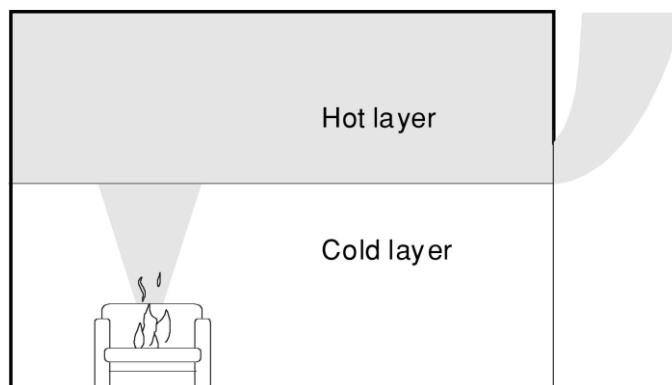
En oversikt over ulike brannscenarier i et brannrom hvor det potensielt kan forekomme en trykkoppbygning blir vist i figur 2:7. I de ulike brannforløpene som blir fremstilt, er det markert svart farge i de situasjoner hvor en trykkoppbygning vil kunne oppstå.



FIGUR 2:7 ENKEL OVERSIKT OVER ULIKE BRANNFORLØP

## 2.3 Simuleringsverktøy

Simuleringsprogrammet Argos er utviklet av Danish Institute of Fire and Security Technology (DIFT). Programmet starter som en-sonemodell hvor modellen har en atmosfære med uniform temperatur, 20°C. Ved simulering av brann vil den videreutvikles til en to-sonemodell med et øvre varmt lag og et nedre kaldere lag, se figur 2:8. Programmet kan benyttes til ulike formål ved å forutse et brannforløp med hensyn på tid til kritiske forhold som f.eks. temperatur, røyklagshøyde, røyktetthet og trykkoppbygning (Husted & Westerman).



FIGUR 2:8 BRANNROMMETS TO SONER (KARLSSON OG QUINTIERE, 2000)

## 2.4 Regelverk

Det er hovedsakelig to lover som omhandler brannsikkerheten i byggverk oppført i Norge. Disse er Plan- og bygningsloven (Pbl) og Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver (Brann- og eksplosjonsvernloven). Dette avsnittet beskriver kort dagens regelverk og de kravene som sees på som mest aktuelle i forhold til oppgavens problemstilling.



FIGUR 2:9 DAGENS REGELVERK

Plan- og bygningsloven (Pbl) setter rammer for branntekniske tiltak i et bygg. Forskrift om krav til byggverk (TEK10), som har hjemmel i Pbl, uttrykker overordnede krav til byggverk og setter opp grensen for minimum av de egenskaper som kreves til lovlig oppføring av byggverk i Norge. Veiledningen til teknisk forskrift (VTEK10) gir forslag og henvisninger til tekniske løsninger som bidrar til at kravene er tilfredsstilt, figur 2:9 (Direktoratet for byggkvalitet).

### Slagretning rømningsdør

Det blir i TEK10 § 11-13. Utgang fra branncelle oppgitt at "*Dør skal slå ut i rømningsretning. Dør til rømningsvei kan likevel slå mot rømningsretningen dersom det ikke er fare for oppstuvning ved rømning*". I veiledningen blir dette forklart som at en dør skal kunne åpnes av alle personer og at dør til rømningsvei kan slå mot rømningsretning i rom hvor personoppholdet forventes inntil 10 personer. Eksempler på slike rom kan være leilighet, sykerom, hotellrom, mindre kontorlokaler og salgslokaler.

## Universell utforming

Det blir i TEK10 § 12-15. Dør, port mv. oppgitt at "*Dør til og i hovedatkomst og hovedrømningsvei som er beregnet for manuell åpning skal kunne åpnes med en åpningskraft på maksimum 30 N*". Dette skal sikre at alle personer, inkludert personer med redusert arm- eller håndkraft skal kunne klare å åpne dører.

## Ventilasjon

For boenheter med varig opphold må det tilføres tilstrekkelig med ren uteluft for å tynne ut de forurensninger som tilføres inneluften. Eldre boliger er meget utette og det har sjelden vært noe problem med å sikre nok frisk luft til disse. Boenheter nå til dags bygges mye tettere, og kravene til luftutskiftningen har blitt strengere. I følge TEK 10 § 13-2. Ventilasjon i boenhet, er myndighetskravet satt til at boenhet skal ha ventilasjon som sikrer frisklufttilførsel på minimum  $1,2 \text{ m}^3$  pr. time pr.  $\text{m}^2$  gulvareal. Dette gjelder for rom med varig opphold som vil si stue, kjøkken, soverom og arbeidsrom. Energikravene har ført til at det nå kun benyttes mekanisk eller balansert avtrekksfunksjoner i alle nye boliger.

## Tetthet

Alle boliger bygget etter TEK10 skal kontrolleres for luftlekkasje. Ved måling av luftlekkasje blir det i hovedsak benyttet en Blower Door-vifte, der deler eller hele bygningen trykkes med enten overtrykk eller undertrykk. Under målingen blir alle åpninger til og fra bygningen lukket/tettet. Det vil si at verdien til lufttettheten beskriver hvor stor luftgjennomstrømning det er i konstruksjonen. Luftlekkasjen blir målt i  $\text{m}^3$  pr. time, dividert på boligens innvendige volum. Enheten angis som  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  ved 50 Pa. Krav om lufttetthet i bolighus finnes i TEK10 § 14-2. Krav til energieffektivitet og kan sees i tabell 2:2.

TABELL 2:2 KRAV TIL LUFTTETTHET

<b>Forskrift:</b>	<b>Antall luftutskiftninger per time:</b>
TEK 1997	$\leq 4,0$
TEK 2010 (Nytt av 1.1.16)	$\leq 1,5$
Passivhus – NS3700	$\leq 0,6$

### 3 Metode og resultat

I dette kapittelet blir det fremlagt hvilken metode som er brukt til å besvare problemstillingen, og videre oppgitt resultater for hver av metodene. Som tidligere nevnt baserer rapporten seg på to ulike typer forsøk, brannsimulering og undersøkelse gjort ved å kontakte brannpersonell med erfaring fra redningsoperasjoner. Forsøkene er ment å utfylle hverandre for å få et helhetlig bilde av hvordan trykket kan påvirke sikker rømning.

#### 3.1 Metode – Håndberegninger og forsøk i trykksatt leilighet

I første forsøk er det valgt å gjenskape et overtrykk i en leilighet med innadslående dør. Dette er gjort for å bekrefte at kraften i forbindelse med åpning av dør, øker i takt med trykkoppbygningen. Fra teorien kommer det frem at en dør maks skal ha åpningskraft på 30N, det vil derfor være interessant å se hvor mye denne kraften blir oversteget ved trykkoppbygning. Det er i tillegg utført håndberegninger for å beregne åpningskraften, dette ble hovedsakelig gjort for å gi en føring på hva som kan forventes av kraft på dør og hvilken dimensjon måleutstyret måtte inneha.

##### 3.1.1 Forberedende arbeid

Til utførelse av forsøk ved trykktesting i leilighet ble det gjort en avtale med Byggmester Sagen AS. De kunne stille med en erfaren person til bruk av nødvendig utstyr og en helt nyoppført leilighet plassert i Tananger, som er et tettsted i Sola kommune.

En luftlekkasjetest av leiligheten ble utført i forkant av forsøket, hvor lekkasjetallet ble målt til  $1,07 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  og er i samsvar med klassifisering og energimerkingen. En oppsummering av lekkasjetesten kan sees i vedlegg A. En håndberegning ved bruk av formel 3 ble gjort for å kvalitetssikre forsøket og få en oversikt over hvilken åpningskraft som kunne bli forventet på døren ved gitt trykk. Det ble deretter anskaffet nødvendig utstyr som er listet opp i avsnitt 3.1.2 og laget en sjekklister som finnes i vedlegg B. Sjekklister fungerte som et hjelpemiddel før og under forsøket.

##### Håndberegning

For å beregne hvor mye kraft som må benyttes for å åpne en dør som er belastet med en jevnt fordelt last, er det valgt å benytte formel 3 (Irgens, 2000). Formelen sier at den jevnt fordelte lasten på den ene siden av døren, må være lik kraften på den motsatte siden av døren hvis den skal være i likevekt. Kraften som påføres håndtaket må derfor være litt større enn hva som blir

utregnet, for at den skal kunne åpnes. Følgende verdier fra døren er benyttet i håndberegningen: bredde 0,925 m, høyde 2,045 m og lengde til dørhåndtak på 0,84 m målt fra dørhengslar. Tegning av dør kan sees i vedlegg C.

$$F \cdot L_1 \cdot \frac{L_1}{2} = x \cdot L_2 \rightarrow x > \frac{F \cdot L_1 \cdot \frac{L_1}{2}}{L_2} \quad (3)$$

Hvor:

$F$  = trykk multiplisert med areal av dør

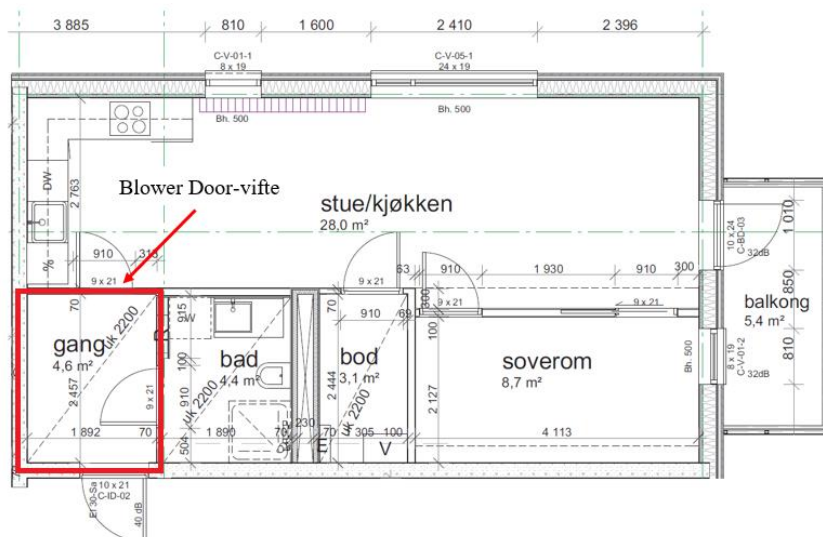
$L_1$  = bredden på døren, ganges med  $\frac{L_1}{2}$  ettersom det er jevnt fordelt kraft

$L_2$  = bredden på døren målt lengst inn på dørhåndtak

$x$  = åpningskraft på døren

### Forsøksrom

Leiligheten som benyttes under forsøket utgjør 51,5 m<sup>2</sup> gulvareal, med takhøyde 2,4 m. Ettersom forsøket skal indikere hvilken åpningskraft som vil kunne forventes på den innadslående døren ved et gitt overtrykk i rommet, ble det valgt og kun å benytte seg av leilighetens gangareal. Figur 3:1 viser bilde over leiligheten, samt hvor Blower Door-viften ble plassert.



FIGUR 3:1 PLANTEGNING AV TESTLEILIGHET



### 3.1.2 Utstyr og montering

#### Retrotec Blower door EU5101

Blower Door-vifte brukes normalt til å måle luftlekkasjer, der deler eller hele bygningen trykkes med et overtrykk eller undertrykk. Under en lekkasjetest skal alle åpninger tettes/lukkes, dette inkluderer også mekanisk ventilasjon. Luftvolumet ( $m^3$ ) som må til for å danne en ønsket trykkforskjell på 50 Pa er et resultat av luft ut eller luft inn, avhengig av om det velges å benytte et over- eller undertrykk. I forsøket ble viften montert mellom gang og stue som vist i figur 3:2 og det ble produsert et gitt overtrykk i gangen for måling av drakraft på den innadslående døren (Direktoratet for ansvarsrett).



FIGUR 3:2 MONTERING AV BLOWER DOOR

#### Dør

Døren ble levert av Gilje AS og er en innadslående ytterdør m/glass. Skumisolasjon ble benyttet for tetting av lekkasje rundt dørkarmen, se figur 3:3. Spesifikasjoner av dør ligger i vedlegg C.



FIGUR 3:3 MONTERING AV DØR

### Kraftmåler

Den digitale hengevekten "kraftmåleren" som vises i figur 3:4 har en kapasitet opp til 300 kg og en nøyaktighet på 0,1 kg. Den kan måle i både kg, lb og N. Det ble i forsøket benyttet N grunnet det er drakraft det er snakk om. Vekten ble festet på dørhåndtaket 0,84 m målt fra dørhengslenes side.



FIGUR 3:4 PLASSERING AV KRAFTMÅLER

### 3.1.3 Gjennomføring

Forsøket ble gjennomført i leiligheten på Tananger den 06.02.17 og på følgende måte:

1. En person ble satt til å åpne dør ved bruk av kraftmåler. En annen person observerte hvilke verdier som ble registrert og en tredje person opererte viften.
2. Operatør av Blower Door, justerte kraften på viften til ønsket overtrykk.
3. Døren ble forsøkt åpnet med kraftmåler og målte verdier ble registrert.
4. Resultat ble logget.
5. Fremgangsmåten ble repetert ved forskjellige trykk fra 100 til 250 Pa.

### 3.1.4 Resultat – Håndberegninger og forsøk i trykksatt leilighet

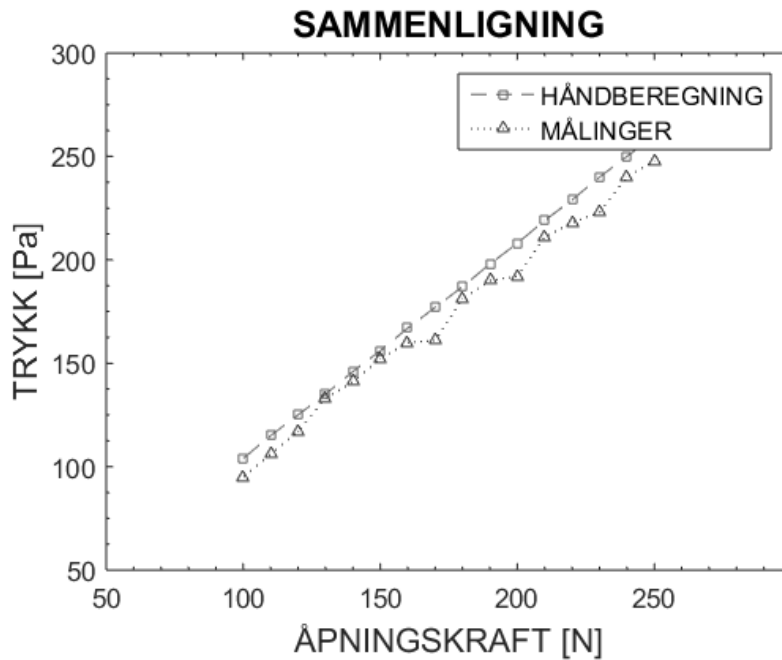
Her vil det bli presentert resultater fra håndberegningene og forsøket i trykksatt leilighet. Resultatene vil bli fremstilt i tabell 3:1 og figur 3:5 for å kunne sammenligne de opp mot hverandre.

Verdiene for beregnet og målt drakraft til dør installert i leiligheten ved et gitt overtrykk vises i tabell 3:1. Blower door-viften klarte å produsere et maks overtrykk i gangen på 256 Pa. Ved åpning av dør ble rommets trykk hurtig redusert, målingene ble derfor gjentatt et par ganger ved samme overtrykk for å kvalitetssikre resultatene. En gjennomsnittlig differanse på 5,3 % mellom beregnet og målt drakraft gir en god og forventet likhet. Håndberegninger kan derfor benyttes for videre måling ved høyere trykk.

TABELL 3:1 RESULTAT AV HÅNDBEREGNING OG TRYKKTESTING

TRYKK I ROM [Pa]	BEREGNET DRAKRAFT		MÅLT DRAKRAFT		DIFFERANSE		
	[N]	[KG]	[N]	[KG]	[N]	[KG]	[%]
100	104	10,6	95	9,7	9	0,9	9,0
110	115	11,7	106	10,8	9	0,9	8,1
120	125	12,7	117	11,9	8	0,8	6,6
130	135	13,7	133	13,6	2	0,1	1,5
140	146	14,9	141	14,4	5	0,5	3,5
150	156	15,9	152	15,5	4	0,4	2,6
160	167	17,0	160	16,3	7	0,7	4,3
170	177	18,0	161	16,4	16	1,6	9,5
180	187	19,0	181	18,4	6	0,6	3,3
190	198	20,2	190	19,4	8	0,8	4,1
200	208	21,2	192	19,6	16	1,6	8,0
210	219	22,3	211	21,5	8	0,8	3,7
220	229	23,4	218	22,2	11	1,2	4,9
230	240	24,5	223	22,7	17	1,8	7,3
240	250	25,5	240	24,5	10	1,0	4,1
250	260	26,5	248	25,3	12	1,2	4,7
<b>TOTALT GJENNOMSNIITTLIGE DIFFERANSER</b>					<b>9,3</b>	<b>0,9</b>	<b>5,3</b>

Figur 3:5 viser en sammenligning mellom håndberegninger og forsøk i trykksatt leilighet med samme verdier som tabell 3:1. Som man ser følger grafene samme trend og har liten variasjon. Differansen kan begrunnes med feilmargin på vifte, kraftmåler og observasjon av de målte verdiene. En gjennomsnittlig differanse på 5,3 %, er allikevel nok så nøyaktig i forhold til metoden.



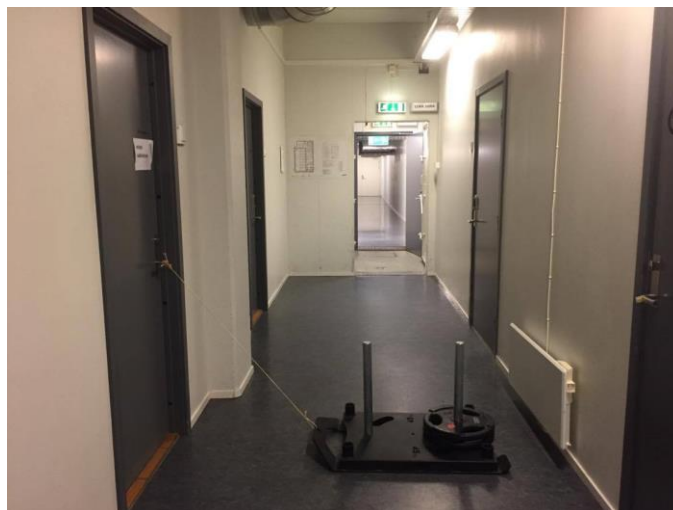
FIGUR 3:5 GRAF OVER HÅNDBEREGNING OG MÅLT DRAKRAFT

## 3.2 Metode – Subjektive målinger

Dette forsøket er gjort for å kunne gi en bedre forståelse av åpningskraften som presenteres i forsøket i den trykksatte leiligheten og hva dette faktisk har å si for personsikkerheten i en brann hvor det oppstår en trykkøkning.

### 3.2.1 Forberedende arbeid

Til gjennomføring av dette forsøket ble det først utført en kontroll ved å gjenskape motstand på en vanlig dør lokalisert inne på høgskolen i Haugesund. Det ble deretter laget en ny sjekklister til hjelpemiddel før og under forsøket, se vedlegg D. En slede, med mulighet for vektøkning ble festet til dørens håndtak på den ene siden og den digitale kraftmåleren ble brukt på motsatt side til å fastsette hvor mye vekt som ble nødvendig for å oppnå ønsket motstand på døren. Figur 3:6 skisserer hvordan utstyret ble benyttet. Det ble deretter bestemt hvilke aldersklasser forsøket skulle utføres på.



FIGUR 3:6 SKISSE OVER SLEDEN SOM BLE BENYTTET

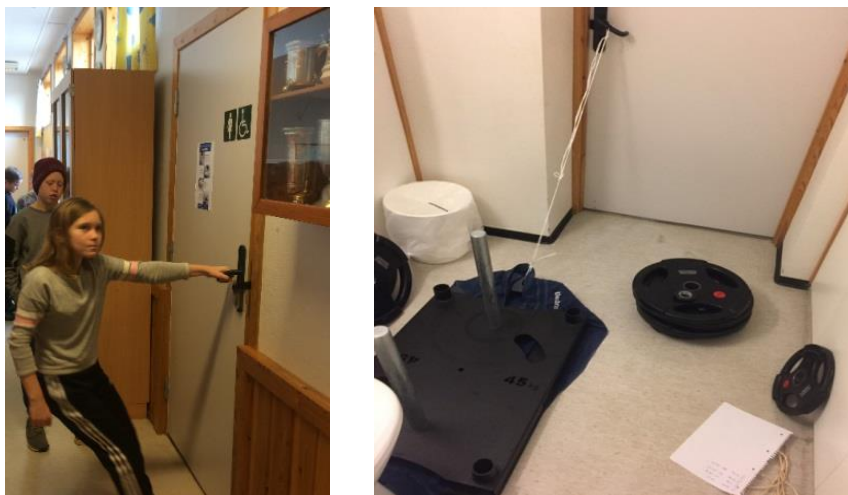
### Forsøksområde

Forsøket ble utført ved Høgskolen på Vestlandet avd. Haugesund og Gard-barneskole i Haugesund.

### Testpersoner

Forsøkspersoner ble innhentet for å gi et subjektivt standpunkt vedrørende det å åpne en dør som er blitt belastet med en motvekt. For å observere om det ville være store variasjoner i aldersforskjell. Ble det bestemt å utføre forsøket på testpersoner i aldersgruppen 10-14 år og 20-50 år. Det er totalt 20 testpersoner som har deltatt, med 10 personer i hver gruppe.

Testpersonene fikk i oppgave å åpne en dør, hvor det allerede var blitt tilmålt en gitt motstand for så å gi en tilbakemelding på hvordan de opplevde motstanden til døren. I figur 3:7 kan det sees en jente som tydelig bruker mye av sin kroppsvekt til åpning av dør.



FIGUR 3:7 UTFØRELSE VED GARD BARNESKOLE

### 3.2.2 Utstyr og montering

#### Eleiko XF sled heavy

Sleden som kan sees i figur 3:8 brukes normalt til trening ved å enten skyve den foran eller bak deg. Den har en vekt på 45 kg og kan brukes med vektskiver for økt motstand. Den har også mulighet for feste av tau foran på sleden. Disse kombinasjonene passet godt til utførelsen av forsøket. Sleden ble plassert på den ene siden av døren, med et tau festet foran på sleden og opp til dørhåndtak. Friksjon mot gulv og vinkelen på tauet er neglisjert ved at ønsket motstand på dør ble tilmålt ved bruk av kraftmåler på forhånd. Den totale vekten på sleden varierer i forhold til underlag, avstand og vinkel på tau. Under forsøket ble det benyttet en vekt mellom 50-150 kg på sleden for å oppnå ønsket motstand på dør.



FIGUR 3:8 ELEIKO SLEDEN

### **Kraftmåler**

Samme type kraftmåler som ble brukt i den trykksatte leiligheten er blitt benyttet i dette forsøket.

### **Vektskiver**

Det ble benyttet vektskiver av type Eleiko med en variasjon mellom 5-20 kg. Vektskivene ble plassert på sleden for å oppnå ønsket motstand på dør.

### **Tau og pledd**

Det ble benyttet et tau med lite elastisitet for å sammenkoble sleden til håndtaket på døren. For å skåne gulvet for slitasje og gi sleden et underlag som ble lettere å gli på, ble det benyttet et pledd under sleden.

### **3.2.3 Gjennomføring**

For at de subjektive målingene ikke skulle påvirke hverandre var det kun en og en testperson tilstede på forsøksområdet.

Testpersonen fikk i oppgave å beskrive motstanden etter hvert forsøk og en sammenligning av resultatene blir presentert i avsnitt 3.2.4. Det ble valgt å øke motstanden med 50 N for hver testrunde, hvor intervallene går mellom 50-300N og har en nøyaktighet på  $\pm 12,5$  N.

Selve gjennomføringen ble gjort på følgende måte:

1. Sleden ble heftet på døren med valgt motstand.
2. Person ble instruert til å åpne døren på en normal måte.
3. Personen åpnet/åpnet ikke døren.
4. Følgende ble gjentatt med økende motstand.

### 3.2.4 Resultat – Subjektive målinger

Her vil det bli presentert resultater fra de subjektive målingene. Resultatene blir presentert for hver enkelt aldersgruppe, før de videre blir sammenlignet i figur 3:9.

#### Aldersgruppe 10 – 14 år

En samlet vurdering fra denne gruppen var følgende ved en motstand på:

- 50-100 N Merkverdig tungt.
- 100-150 N Tungt, bruker mye kroppsvekt for å åpne døren.
- 150-200 N Dør oppleves som låst
- 200-250 N Ingen konklusjon
- 250-300 N Ingen konklusjon

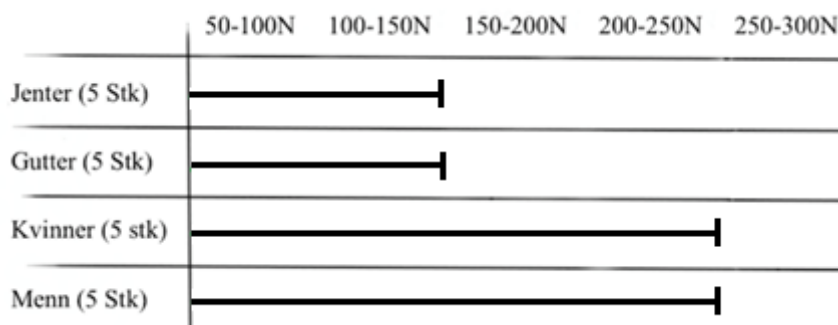
#### Aldersgruppe 20 – 50 år

En samlet vurdering fra denne gruppen var følgende ved en motstand på:

- 50-100 N Merkbar motstand i døren.
- 100-150 N Merkverdig tungt, må begynne å legge inn kroppsvekt for å åpne døren.
- 150-200 N Tungt, men kan åpnes. Bruker kroppen for å åpne.
- 200-250 N På grensen til å klare å åpne.
- 250-300 N Døren oppleves som låst.

### 3.2.5 Sammenlagt resultat fra subjektive målinger

Figur 3:9 viser utfallet fra de subjektive målinger. Strekene indikerer hvor personene klarte å åpne døren. Der strekene stopper fikk samtlige en opplevelse av at døren kunne ha vært "låst". Det vises at jenter og gutter klarer å åpne en dør med motstand inntil 100-150 N og at kvinner og menn klarer å åpne en dør med motstand inntil 200-250 N.



FIGUR 3:9 SAMMENLAGT RESULTAT AV SUBJEKTIVE MÅLINGER



### 3.3 Metode – Trykksimulering i Argos

For å danne et bilde over hvor hurtig trykkoppbygning i en leilighet faktisk kan forekomme, samt oppnå trykkverdier som kan problematisere sikker rømning, er det valgt å benytte seg av simuleringsprogrammet Argos.

#### Introduksjon

Det ble først gjennomført en validering av Argos med hensyn på trykkoppbygning. Dette ble gjort ved å sette inn omtrentlig samme verdier fra et forsøk (Janardhan & Hostikka, 2016) inn i Argos, for deretter å sammenligne resultatene med hverandre. Etter valideringen ble det gjennomført 7 ulike brannsimuleringer basert på leilighetsoppsettet til den nyoppførte leiligheten i Tananger som ble brukt i første forsøk for å determinere åpningskraft til dør ved potensielle trykkforskjeller. En liste over de ulike simuleringene vises i tabell 3:2.

TABELL 3:2 OVERSIKT OVER DE AKTUELLE SIMULERINGENE

Nr.	Romstørrelse [m <sup>2</sup> ]	Energifrigjøring [kW]	Lekkasjeareal [m <sup>2</sup> ]	Kommentar
1	58,6	1000	0,023	Validering av trykkoppbygning
2	51,5	250	0,007	Lukket rom
3	51,5	375	0,007	Lukket rom
4	51,5	500	0,007	Lukket rom
5	51,5	500	0,007	Lukket rom m/sprinkler
6	51,5	500	0,035	Åpne ventiler
7	51,5	500	0,035	Åpne ventiler m/sprinkler
8	51,5	500	0,122	Åpne ventiler m/vindu på gløtt

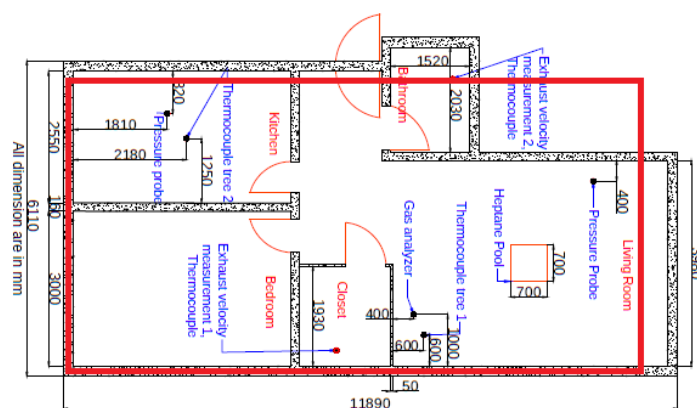
#### Forklaringer:

Argos er et modelleringsprogram som krever kontakt med omgivelsene. Dette kan gjøres ved å sette inn komponenter i modellen som f.eks. dører eller vinduer, hvor komponentene blir satt til å ha 99 % tetthet (imperviousness). Det vil si at 1 % av komponentets totale areal vil bli sett på som en åpning til det fri. For å muliggjøre bruken av lekkasjearealet til leiligheten i Finland og Tananger er det istedenfor valgt å sette inn et hull i veggen med tilsvarende lekkasjeareal som blir oppgitt i tabell 3:2. I virkelige omstendigheter vil det vært noe motstand i en gass som blir presset igjennom et hull, grunnet at gassen ikke er friksjonsfri, inkompressibel og isotermisk. Motstanden blir medregnet ved hensyn av en strømnings-

koefisient, som i utgangspunktet sier at bare en del av åpningen vil tillate gassen å strømme effektivt igjennom. Strømningskoeffisienten er betegnet  $c_d$  og tar ofte verdien 0,7 (Karlsson & Quintiere, 2000). Da det er snakk om et lite lekkasjeareal i simulering (1-5) er strømningskoeffisienten satt til 1. For resterende simuleringer (6-8) hvor det er lagt til åpne ventiler og et vindu på gløtt blir disse åpningene satt til å ha en verdi på 0,7. Modellen benytter en brann av typen *Solid material fire*. For denne type brann oppgir ikke Argos veksthastigheten, som vanligvis benyttes ved  $t^2$ -designbranner. En tilnærmet Alpha verdi for de ulike energifrigjøringene er beregnet og oppgitt i tabell 3:3. *Max Distance* sier noe om brannens plassering i rommet og angir horisontal avstand fra brannen og det hjørnet som er lengst borte i rommet. Brannen er plassert i midten av rommet ved begge simuleringene og satt til halvparten av diagonalens størrelse som vist i tabell 3:3.

### 3.3.1 Inngangsdata i Argos – Validering av trykkoppbygning

Samme leilighetsoppsett som forsøket gjort i Finland (Janardhan & Hostikka, 2016) er brukt, med en forenkling markert i rødt, se figur 3:10. Modellen har et gulvareal på 58,6 m<sup>2</sup> og en takhøyde på 2,57 m. Det er ikke benyttet innvendige vegger og konstruksjonen består ellers av 15 cm tykk betong. Fra forsøket i Finland ble en 3-seters sofa antent og en estimering av brannens maksimale energifrigjøring ble satt til omtrentlig 1 MW. Det er derfor satt inn en maksimal energifrigjøring på 1 MW, med bruk av typen *Solid material fire*. Lekkasjearealet til leiligheten i Finland var funnet til å være 0,023 m<sup>2</sup>. For å opprettholde Argos krav med kontakt til omgivelsene og muliggjøre bruk av lekkasjearealet, er det satt inn et hull i veggen på samme størrelse. I virkeligheten vil plasseringen til lekkasjen vært ukjent og en forenkling er gjort ved å plassere et hull i veggen på 2 meters høyde.

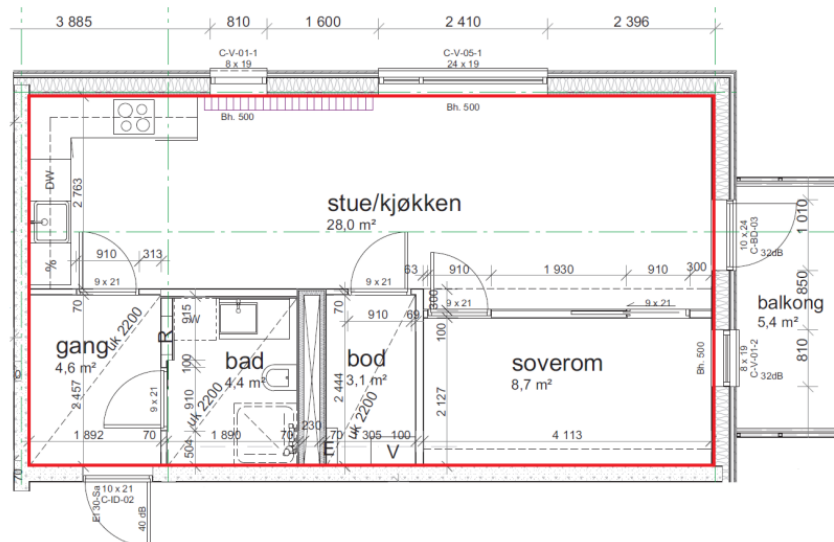


FIGUR 3:10 LEILIGHET I FINLAND - VALIDERT I ARGOS

### 3.3.2 Inngangsdata i Argos – Nyoppført leilighet i Tananger

Leilighetens areal blir opprettholdt med et gulvareal på 51,5 m<sup>2</sup> og en takhøyde på 2,4 m, som vist i figur 3:11 markert med rødt. Det blir ikke benyttet innvendige vegger og konstruksjonen består ellers av 15 cm tykk betong. Et valgt brannscenario av typen *Solid material fire*, med varierende energifrigjøring blir benyttet i de ulike simuleringene. Verdiene vises i tabell 3:2. Det blir valgt å benytte samme metode som i valideringen ved å lage et hull i veggen på 2 meters høyde. Fra luftlekkasjetesten til leiligheten i Tananger som sees i vedlegg A, ble lekkasjearealet funnet til å være 0,0073 m<sup>2</sup>. En utregning for å vise til lekkasjearealet som ble funnet blir vist i ligning 4. Dette lekkasjearealet blir benyttet i simulering 2-5 med fokus på endring i energifrigjøringen. I simulering 5 er det i tillegg lagt inn sprinkler for å se om dette utgjør noe effekt.

For å skape et mer realistisk scenario til leiligheten, er det i simulering 6-7 valgt å sette inn en åpning tilsvarende fire ventilasjonskanaler. Det totale åpningsarealet til ventilasjonskanalene er beregnet ved å anta en maksimal åpning til ventil på 950 mm diameter pr. ventilasjonskanal. Den totale åpningen vil da være på 0,28 x 0,10 m = 0,028 m<sup>2</sup>. Effekten av sprinkler blir tatt med i simulering 7 og for simulering 8 er det blitt antatt en åpning på 0,087 m<sup>2</sup> for et vindu som står på gløtt. De totale åpningsarealene oppgis i tabell 3:2.



FIGUR 3:11 LEILIGHET I TANANGER - TRYKKTESTET I ARGOS

### Utgredning av tilnærmet luftlekkasje

I luftlekkasjetesten til leiligheten i Tananger ble det ved bruk av Blower Door-vifte blåst ut en luftmengde på 147 m<sup>3</sup>/h, noe som resulterte i 50 Pa trykkendring til omgivelsen og et tilnærmet lekkasjeareal på 73,35 cm<sup>2</sup>. Med bruk av Bernouilli's ligning for strømning, trykkforskjell og åpningsareal kan lekkasjearealet utledes ved bruk av formel 4 (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{v}_{|\Delta P|} = C_b \cdot A_{leak} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad (4)$$

Hvor:

$\dot{v}_{|\Delta P|}$  = Lekkasjeluftmengde ved 50 Pa [m<sup>3</sup>/s]

$A_{leak}$  = Åpningsareal [m<sup>2</sup>]

$C_b$  = Bernouilli strømningskoeffisient

$\rho$  = Luftens tetthet ved 20 °C [1,2 kg/m<sup>3</sup>]

$\Delta P$  = Trykkdifferanse [50 Pa]

Ligning 4 løst for utregning av lekkasjeareal:

$$A_{leak} = \frac{\dot{V}_{|\Delta P|}}{C_b \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}\right)^{0,5}} = \frac{0,04 \text{ m}^3/\text{s}}{0,6 \cdot \left(\frac{2 \cdot 50 \text{ Pa}}{1,2 \text{ kg/m}^3}\right)^{0,5}} = 0,0073 \text{ m}^2 = 73 \text{ cm}^2$$

### 3.3.3 Forenklinger

Det blir gjort noen forenklinger og antagelser for simuleringene:

- Standard for nye leiligheter er å ha tilføringsventiler av friskluft i soverom/stue og avtrekk ved kjøkken/bad. I Argos blir alle hull kun sett på som naturlig ventilasjon.
- Ventiler er plassert i vegg på 2 meters høyde.
- Hver brann i simuleringene har egenskapene til Polyuretan.
- Det finnes ikke dører eller vinduer.

**TABELL 3:3 OVERSIKT INNGANGSDATA**

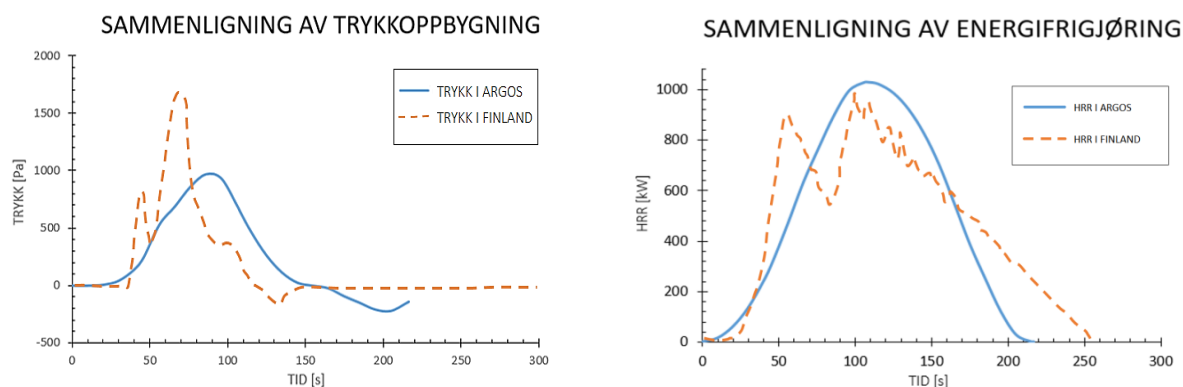
<b>Variabel</b>	<b>Simulering 1</b>	<b>Simulering (2-8)</b>
Gulvareal	58,6 m <sup>2</sup>	51,5 m <sup>2</sup>
Takhøyde	2,57 m	2,4 m
Konstruksjon	15 cm betong	15 cm betong
Brann	Solid material fire	Solid material fire
Maks energifrigjøring (HRR)	1000 kW	250 kW 375 kW 500 kW
Horisontal brannspredning	0,75 m/min	0,75 m/min
Veksthastighet (kW/s <sup>2</sup> )	0,14t <sup>2</sup> (0 ≤ t ≤ 100) (1)	0,04t <sup>2</sup> (0 ≤ t ≤ 70) (2) 0,06t <sup>2</sup> (0 ≤ t ≤ 70) (3) 0,08t <sup>2</sup> (0 ≤ t ≤ 70) (4-8)
Tetthet (Imperviousness)	100 %	100 %
Lekkasjeareal	0,023 m <sup>2</sup> (1)	0,007 m <sup>2</sup> (2-5) 0,035 m <sup>2</sup> (6-7) 0,122 m <sup>2</sup> (8)
Max Distance	5,8 m	5,6 m
Strømningskoeffisient	1	1 / 0,7

### 3.3.4 Resultat – Trykksimulering i Argos

Det blir i dette avsnittet presentert samtlige resultater fra simuleringene utført i Argos. Ettersom det er gjort flere antagelser, vil ikke trykksimuleringene være av reell karakter.

#### Validering av trykkoppbygning i Argos

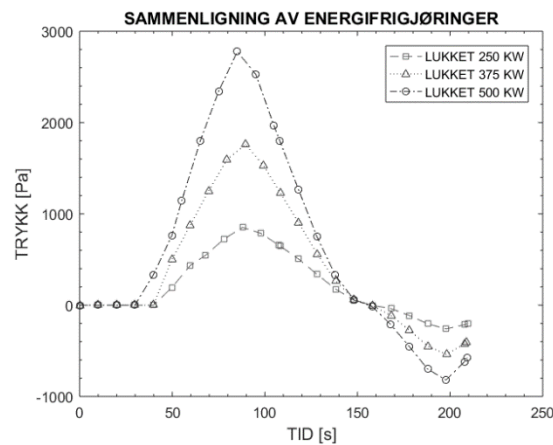
Under valideringen til Argos ble det sett på trykkoppbygningen og energifrigjøringen til det reelle forsøket utført i Finland. Figur 3:12 viser en lik trend mellom simuleringensresultatene (blå helstrukket linje) og det reelle forsøket (oransje stiplet linje). I bildet til venstre kan en se at det forekommer en reduksjon i trykket etter 40 sek, noe som skyldes at døren til rommet ble åpnet. Døren ble lukket og trykket fortsatte å stige frem til 70-80 sek, hvor det nådde sitt toppunkt på 1600 Pa. I resultatene fra Argos øker trykket i 90 sek, før det når sitt toppunkt på 1000 Pa. Bilde til høyre viser sammenligning mellom energifrigjøringene. Begge har en maksimal energifrigjøring på 1000 kW, men noe ulik vekstrate.



FIGUR 3:12 VENSTRE BILDE SAMMENLIGNER TRYKK OG HØYRE BILDE HRR

### Trykkoppbygning med varierende energifrigjøring

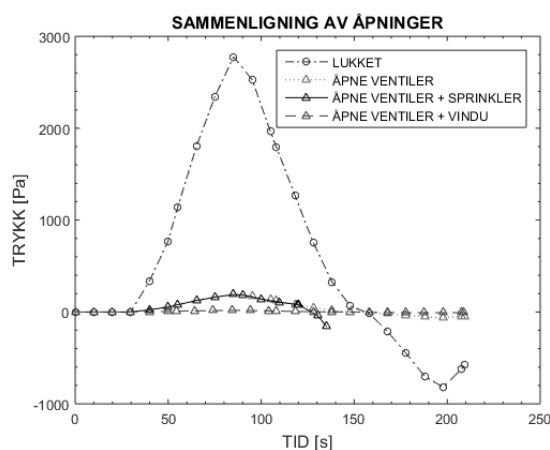
En sammenligning mellom økende energifrigjøring og trykkoppbygningen som følge av dette blir fremstilt i figur 3:13. De forskjellige grafene er fra simulering 2-4, hvor lekkasjearealet er  $0,007 \text{ m}^2$ . Som en kan se fra figuren vil energifrigjøringen i stor grad påvirke rommets trykkoppbygning, hvor det høyeste trykket blir målt til 2800 Pa og det laveste til 800 Pa. Videre ser man at en brann med en raskere vekstrate vil ha betydning for hvor hurtig trykket øker og energifrigjøringen vil være førende for trykkoppbygningens toppunkt.



FIGUR 3:13 SAMMENLIGNING AV ENERGI FRIGJØRING

## Trykkoppbygning med varierende åpning

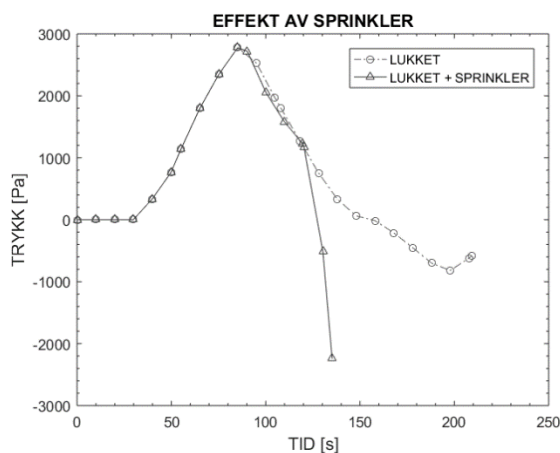
I figur 3:14 vises det hvilken betydning lekkasjearealet har for trykkoppbygningen i et rom. Det blir i denne figuren benyttet inngangsdata fra simulering 4 og 6-8. Brannens energifrigjøring er lik for disse simuleringene, men det kan tydelig sees en forskjell mellom lukket og åpent rom. For et lukket rom viser figuren et maksimalt overtrykk på 2800 Pa. Ved å inkludere åpne ventiler reduseres rommets maksimale trykk til 190 Pa. I simulering 8 hvor et vindu står på gløtt er maksimal oppnådd trykk helt nede i 30 Pa, rommets totale åpning er da 0,122 m<sup>2</sup>. Sprinklersystem har ikke hatt noen effekt i simulering 7.



FIGUR 3:14 SAMMENLIGNING AV ÅPNINGER

## Trykkendring i lukket rom med uten sprinklersystem

Fra figur 3:15 fremkommer det at trykkutviklingen i rom med sprinkler er tilnærmet identisk til rommet uten sprinkler. Det maksimale trykket vil fortsatt være tilstede, fordi sprinklersystemet ikke utgjør noen effekt før etter 120 sekunder ut i simuleringen. Trykket dropper hurtig ned til et undertrykk på over 2000 Pa.



FIGUR 3:15 EFFEKT AV SPRINKLER



### **3.4 Metode – Undersøkelse av tidligere hendelser**

#### **Kommunikasjon med brannvesen og sentrale aktører**

Da det viste seg å være meget vanskelig å innhente statistikk på hvor personer faktisk blir funnet i en dødsbrann, ble det valgt å innhente informasjon vedrørende dette via e-post og telefonsamtaler. Formålet var å få bekreftet at det faktisk blir funnet personer ved eller i umiddelbar nærhet til ytterdør og om brannvesenet selv har opplevd utfordringer i forbindelse med trykkoppbygning i rom.

Spørreundersøkelsen ble sendt på e-post til følgende brannvesen:

- Harstad brannvesen.
- Oslo brannvesen.
- Rogaland brannvesen
- Tromsø brannvesen.
- Trøndelag brann og redning.
- Bergen brannvesen.
- SP Fire Research.

Følgende spørsmål ble stilt:

- Ved en dødsbrann, har du/dere opplevd at personer har befunnet seg i umiddelbar nærhet til utgangsdør?
- Har du/dere opplevd vanskeligheter med å få opp dører under øvelse/innsats grunnet trykkoppbygging?

Telefonsamtaler ble foretatt med SP Fire Research og hovedinstruktør ved Rygge militære Brannskole, hvor samtalen omhandlet det samme temaet som i spørsmålene. SP Fire Research valgte å gi oss en tilbakemelding på e-post i tillegg.

### 3.4.1 Resultat – Tidligere hendelser

Fra utsendt spørreundersøkelsesskjema på e-post svarte følgende Brannvesen/aktører:

- Rogaland Brannvesen
- Harstad Brannvesen
- Bergen Brannvesen
- Oslo Brannvesen
- SP Fire Research

Det er valgt å sammenfatte tilbakemeldingene fra e-post da det tydelig fremkommer en rød tråd fra alle disse. Tilbakemeldingene kan sees i sin helhet i vedlegg E. Samtlige tilbakemeldinger viser til at de har funnet omkomne personer ved eller i nærheten av utgangsdør. Når det gjelder trykkoppbygning er det ingen av brannvesenene som har sett på dette som et nevneverdig problem når de har ankommet et brannsted, selv om noen rapporterer at de har merket forskjellen i kraft som må påføres for å få åpnet døren.

#### **Telefonsamtaler**

*Svar fra hovedinstruktør ved Rygge militære brannskole:*

Etter samtale med kollega og bekjente i andre brannvesen, kan man med sikkerhet si at det er funnet personer ved og i nærheten av utgangsdør. Ved øvelser er det også blitt gjort observasjoner hvor trykket har gjort det vanskelig for både lukking og åpning av dører.

*Svar fra SP Fire Research:*

Skulle ta en nærmere titt på spørsmålene og rapportere tilbake via e-post om de fant data/rapporter som kunne meddeles. Tilbakemelding på e-post kan sees i vedlegg E.

## 4 Diskusjon

I dette kapittelet drøftes det rundt de resultater og teorier som kommer frem i oppgaven. Ettersom oppgaven tar for seg flere forsøk, håndberegninger og simuleringer er det valgt å dele drøftingen opp i flere deler.

### Håndberegninger og forsøk i trykksatt leilighet

Hensikten med dette forsøket var å bekrefte at kraften i forbindelse med åpning av dør, øker i takt med trykkoppbygningen i et lukket rom. Fra litteraturen fremkommer det fra flere kilder at dører kan oppleves som vanskelige å åpne ved 100 Pa trykkforskjell over åpningen. I forsøket ble det derfor valgt å starte målingene ved denne trykkforskjellen. Trykket opplevdes som en krevende motstand, men det var fremdeles mulig å åpne døren. Maksimalt overtrykk som ble oppnådd ved 256 Pa tilsvarte nødvendig åpningskraft på 250 N for døren. Døren ble da svært utfordrende å åpne, men det var fremdeles mulig ved å inkludere mer bruk av kroppsvekt. Det er viktig å presisere at personene som har utført forsøket er i god fysisk form og en åpningskraft tilsvarende 250 N mest sannsynlig vil kunne være en stor utfordring for andre personer. Da spesielt personer med nedsatt funksjonsevne, eldre, barn og unge. En slik forhøyet åpningskraft vil ikke tilfredstille krav om universell utforming hvor åpningskraft for dør er satt til 30 N.

I forsøket ble det observert en kraftig reduksjon i rommets overtrykk da det oppsto en glipe mellom dør og dørkarm. Dette fremkommer også fra litteraturen, hvor det blir gitt at desto større åpningen blir, jo lettere vil trykket falle. På det tidspunktet hvor glipen ble stor, hadde trykket blitt redusert nok til at døren lett kunne åpnes. Mindre åpninger førte til at døren ble blåst tilbake til lukket posisjon, noe som skyldes det store overtrykket produsert av Blower Door-viften og vil også være tilfelle i en reell rombrann hvor et overtrykk oppstår.

Håndberegningene som ble gjort i forkant av forsøket og sammenlignet med målingene viste en god overenstemmelse med gjennomsnittlig differanse på 5,3 % tilsvarende 0,9 kg, vist i tabell 3:1. Kraften som fysisk ble målt er noe lavere enn hva som ble utregnet ved håndberegning. I teorien er differansen noe høyere, ettersom beregningene baserer seg på å finne den kraften som skaper likevekt. Andre faktorer som er påvirkende til målingene er feil ved kraftmåleren som ble benyttet. Kraftmåleren har en nøyaktighet på 0,1 kg og total kapasitet på 300 kg. Da målingene er blitt utført i nedre del av vektens kapasitet kan

nøyaktigheten være noe dårligere, målt motstand blir likevel sett på som gode nok sammenlignet med håndberegningene.

### **Opplevd åpningskraft**

I forsøk av de subjektive målingene kommer det frem at døren opplevdes som vanskelig å åpne med en motstand på 150 N for barn (10-14 år) og en motstand på 250 N for voksne (20-50 år). De utregnede verdiene for åpningskraft til døren fra tabell 3:1 viser at overnevnte motstander tilsvarer omtrent 16 og 26 kg.

Instruksen som ble gitt til testpersonene i forkant av dette forsøket kan ha vært av betydning for resultatene. Det ble innledningsvis gitt beskjed om at en vektslede var koblet opp mot døren. Det ble videre opplyst om at døren ikke hadde noe form for tilbakeslående effekt og et mest mulig realistisk resultat derfor ville bli oppnådd om testpersonene åpnet døren på normal måte uten å endre drateknikk eller stoppe opp underveis. Instruksen kan ha gitt noen av personene en tanke om at de allerede fra start måtte dra litt hardere enn de normalt ville gjort.

Alle testpersoner hadde normal helse og funksjonalitet. Det ble på forhånd antatt en større differanse på drakapasiteten mellom barn og voksne enn hva resultatene viste. Dette på bakgrunn av stor tyngde- og styrkeforskjell. Hensikten med forsøket var ikke å vurdere testpersonene ut fra sin individuelle styrke, men få et bedre bilde over hvilken motstand som opplevdes som krevende. Barneskoleelevene var veldig opptatt av å vise sin styrke, mens de voksne prøvde å følge instruksene som ble gitt på best mulig måte. Tilbakemeldingene og observasjonene som ble gjort satt grunnlaget for det gjennomsnittlige resultatet som vises i figur 3:10.

Målingene til åpningskraften på dør som ble gjort for hvert intervall i forsøket hadde en feilmargin på  $\pm 12,5$  N. Det ble ikke sett på som noen stor betydning da intervallene allerede var 50 N. Hvorvidt testpersonene burde vært informert om motstanden til døren kunne også blitt revurdert. Om de ikke hadde vært informert ville resultatene mest sannsynlig blitt meget annerledes og kunne også gitt en bedre indikasjon på hvordan personers egentlige reaksjon ville vært til en økt motstand på døren.

## Trykksimulering i Argos

Det ble foretatt en validering av Argos ved å benytte verdier som fremkom i rapport fra forsøk utført i Finland (Janardhan & Hostikka, 2016). I inngangsdataen til Argos ble de tre viktigste faktorene vurdert å være brannens energifrigjøring, rommets volum og tetthet. Med utgangspunkt i disse parameterne ble forsøket i Finland gjenskapt i Argos med hensikt om å vurdere trykkoppbygningen. Figur 3:12 viser at forenklingene som ble gjort til inngangsdata i Argos gir noe mindre trykkoppbygning ved samme energifrigjøring sammenlignet med det reelle forsøket. En konkret begrunnelse til grafenes ulikheter vil være vanskelig, da det kan skyldes både feil i målingene gjort i Finland, hvor energifrigjøringen ble estimert på bakgrunn av temperatur, forenklingene som er gjort til inngangsdata i Argos og hvilke beregninger Argos benytter i forhold til trykk. Valideringen satte grunnlaget til videre trykksimuleringer for å kunne vise til trykkforskjellene som oppstår i et rom med små lekkasjer.

Lekkasjetallet på  $1,07 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  som ble funnet i luftlekkasjetesten til leiligheten i Tananger anses som veldig bra i forhold til kravene i TEK10, det er likevel ikke nok til å oppfylle minstekravet som blir oppgitt for passivhus til å være  $0,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$ . Simuleringene som er utført har tatt utgangspunkt i lekkasjetallet til leiligheten i Tananger og det kan derfor antas enda høyere trykkforskjeller om det hadde blitt benyttet et lekkasjeareal fra et passivhus. Siden valideringen hadde vist seg å gi gode resultater ble det derfor benyttet samme forenklete fremgangsmåte ved bruk av energifrigjøring, rommets volum og tetthet.

I figur 3:13 kommer det frem at overtrykket i rommet er avhengig av både energifrigjøringen og vekstrate. Videre vil tetthet også være av betydning ettersom økt trykk er avhengig av at trykkoppbygningen dominerer trykkavlastningen.

I figur 3:14 vises det en sammenligning av varierende åpninger. Åpningene er kun funnet ved antagelser. De ulike størrelsene til åpningene ga store trykkforskjeller. Beregnede åpninger anses konservative i forhold til leilighetens faktiske åpninger, sett bort ifra simuleringen med et åpent vindu. Dermed vurderes trykkreduksjonen i simuleringen å være noe større enn i leiligheter med samme dimensjon på ventilasjonsareal.

I metoden benyttes det en strømningskoeffisient med verdi 1 for de målte lekkasjearealene funnet i begge leilighetene. Noe som betyr at resultatet har gitt en mindre trykkoppbygning enn det den ville gitt ved å benytte verdien 0,7 som oftest er normalt.

I figur 3:15 kommer det frem at sprinklersystemet hadde liten effekt i det tidlige tidspunktet av brannen. Dette kan mest sannsynlig skyldes at brannforløpet i seg selv er veldig kort og at sprinkleranlegget ikke aktiveres før rommets gjennomsnittlige temperatur blir oversteget 60/70 °C. Hvilken innvirkning sprinklersystemet ville hatt for trykket i en reell situasjon blir vanskelig å fastlå uten videre forsøk og grundigere analyse. Generelt vil sprinklersystem som blir aktivert på et tidlig tidspunkt hvor en brannsituasjon oppstår og som kontrollerer brannen raskt og effektivt kunne påvirke trykkoppbygningen. Undertrykket som blir skapt i slutten av samtlige simuleringer begrunnes med at temperaturen i rommet avtar og at den termiske utvidelsen reverseres.

### **Tilbakemeldinger fra e-post og telefonsamtaler**

Fra tilbakemeldingene tilsendt på e-post fra brannvesenet blir det bekreftet at det er gjort funn av personer i umiddelbar nærhet til ytterdør. Hvorfor personer blir funnet ved dør og om en eventuell trykkoppbygning har funnet sted er vanskelig å si noe om da det er for stor usikkerhet og for mange faktorer rundt dette. Ved et eventuelt branntilløp i boliger og leiligheter blir det ikke foretatt noen form for registrering fra brannvesenet sin side som forteller noe om slagretning på ytterdør. De brannvesenet det har vært kontakt med kunne derfor ikke bekrefte eller avkrefte at hindring av sikker rømning skyldes trykkoppbygningen i rommet.

Brannvesenet viser til at de ikke har hatt store utfordringer ved åpning av ytterdør grunnet trykkoppbygning. Dette kan skyldes at de fleste dører slår utover, samt at trykkoppbygning er et forbigående fenomen som kun oppstår tidlig i brannforløpet og vil derfor ikke nødvendigvis være tilstede da brannvesenet ankommer.

### **Tetthetskrav og konstruksjon**

Utviklingen av energieffektive bygg og boliger de siste årene har gitt strengere krav. En av de viktigste innskjerpingene handler om tetthet. Lufttettheten beskriver hvor stor luftgjennomstrømning det er i konstruksjonen. Som det blir nevnt i teoridelen vil et rom med liten lekkasje

kunne føre til et kraftig overtrykk. Tette boenheter vil hurtigere kunne bli ventilasjonskontrollert, avta og eventuelt slukke seg selv som følge av at det ikke slippes inn tilstrekkelig oksygen til rommet. Når brannen avtar vil temperaturen synke og til slutt produsere et undertrykk, noe som gjør at oksygen igjen vil kunne komme tilbake til rommet å gi brannen nytt "liv". For eldre boenheter vil det ofte være større lekkasjeområder og trykket holdes mer stabilt. Ved renovering blir det ofte satt fokus på å skape bedre energieffektivitet, noe som kan føre til at de eldre boligene også oppnår høy tetthet. Norge består for det meste av trehusbebyggelse og hvorvidt trykkproblematikken vil finne sted i disse boligene er vanskelig å si.

Oppgaven fokuserer på mindre type leiligheter, hovedsakelig oppført i betong, da det oftest forekommer bruk av innadslående dør i disse tilfeller. Trykkoppbygning kan tenkes å bli størst i boliger utført i betong da det raskere vil forekomme ruptur i konstruksjoner oppført i tre. Nye komponenter blir i dag bygget mer robust og har generelt en høyere trykkmotstand sammenlignet med eldre komponenter. I tabell 2:1 fra teorien fremkommer det at et vindu vil tåle en trykkmotstand på 2000 Pa og blir sett på som det materialet som vil kollapse først. Sammenlignet med de subjektive målingene vil en trykkoppbygning i et rom på 2000 Pa gi en motstand på dør som er langt over den maksimale åpningskraften for samtlige testpersoner.

## 5 Konklusjon

I denne oppgaven ble det sett på hvilken betydning en trykkoppbygning kan få for sikker rømning i bolig som tilfredsstillende dagens krav til tetthet og som er prosjektert med en innadslående ytterdør. En trykkoppbygning avhenger i hovedsak av energifrigjøring, vekstrate og tettheten til boligen. Dagens strenge krav til tetthet sett i sammenheng med inventar som har en raskere vekstrate enn tidligere, øker sannsynligheten for at en trykkoppbygning vil kunne inntreffe.

Da rømning og trykkoppbygning forekommer innenfor samme tidsvindu kan dette få uheldige følger for beboere av tette boenheter. Kravet om maks åpningskraft på 30 N forventes å bli oversteget som følge av trykkoppbygning i de fleste tilfeller hvor det er prosjektert med innadslående ytterdør. Mindre åpninger, som et vindu i minste åpne posisjon vil kunne skape en så stor lekkasje mot omgivelsene at en kritisk trykkoppbygning ikke vil finne sted.

Fra samtaler med brannvesenet kommer det frem at muligheten er tilstede for at en innadslående dør og trykkoppbygning kan ha forårsaket dødsfall, men det er ikke funnet registrerte hendelser på dette. Spekulasjonene begrunnes med funn av omkomne rett ved utgangsdøren i og etter en brann.

Fra simuleringer kommer det frem at trykket er et forbigående fenomen som kun oppstår tidlig i brannforløpet, det kan derfor være at trykket har funnet en utvei før brannvesenet ankommer. Etter validering av Argos fremsto simuleringen noe konservative sammenlignet med den virkelige hendelsen, det er derfor grunn til å anta at trykket vil kunne være noe høyere i virkelige brannsituasjoner. Videre anses håndberegninger som en akseptabel metode for å beregne forventet åpningskraft på dør.

Det kommer frem at en energieffektiv bolig vil kunne oppleve høye trykkendringer i et brannforløp. For å sikre trygg og effektiv rømning vil det være mest hensiktsmessig å prosjektere slike boliger med en utadslående dør.



## 6 Videre arbeid

Om brannindusert trykk kan hindre personers sikkerhet ved rømning i den tidlige fasen av en brann blir det videre anbefalt å se nærmere på følgende punkter:

- Finne statistikk over hvor personer er blitt funnet i en dødsbrann, da det ikke er noen god oversikt over dette.
- Beregne over/undertrykk i boliger over flere plan.
- Utarbeide løsninger for bruk av trykkventiler i bolig.
- Branntester med hensyn på trykkoppbygning i energieffektive boliger og passiv hus.

## Referanser

- Bengtsson, L.-G. (2001). *Enclosure Fires*. Huskvarna: NRS Tryckeri.
- Direktoratet for ansvarsrett. (u.d.). *Tetthetskontroll*. Hentet fra [www.bocomfort.no/getfile.php/116/Info%20Tetthetskontroll.pdf](http://www.bocomfort.no/getfile.php/116/Info%20Tetthetskontroll.pdf)
- Direktoratet for byggkvalitet. (u.d.). *byggereglene*. Hentet fra <https://dibk.no/byggereglene/>
- Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap. (2017, Februar). *Statistikk*. Hentet fra <https://www.dsb.no/menyartikler/statistikk/branner/>
- Hagen, B. C. (2004). *Grunnleggende brannteknikk*. Haugesund.
- Hurley, M. (2015). *SFPE Handbook of fire protection engineering*. New York, NY: Springer Science.
- Husted, B. P., & Westerman, D. (u.d.). *Argos Theory Manual*. Danish institute of fire and security technology.
- Irgens, F. (2000). *Statikk*. Trondheim: Tapir akademisk forl.
- Janardhan, R. K., & Hostikka, S. (2016). *Experiments and Numerical Simulations of Pressure Effects in Apartment Fires*. The United States: Fire Technology.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press.
- Laboratories, U. (2012). Modern Residential Fires. *New science fire safety*, 20.
- Lavenergiprogrammet. (2016, 11 24). *Lavenergiprogrammet.no*. Hentet fra <http://lavenergiprogrammet.no/aktuelt/nye-energikrav-i-byggteknisk-forskrift/>
- Log, T. (2015). *Cold Climate Fire Risk*. The United States: Fire Technology.

## Vedlegg A: Luftlekkasjetest av leilighet

# Luftlekkasjetest - Differansetrykkmetoden

I samsvar med ISO 9972:2015 and EN13829 – European Union




Firma: Byggmester Sagen AS

Byggets adresse: Ankerhagen A4

Kunde: INEO

Operatør: Joel Young  
Test dato: 2017-01-17  
Filnavn: ankerhagen A4  
Report Number:  
Unique Property ID Number:

### Summary

	version: 5.9.14	Firma: Byggmester Sagen AS
Dato: 2017-01-17	Operatør: Joel Young	
Kunde:	INEO	
Building Lot Number:		
Byggets adresse:	Ankerhagen A4	

Bygningsdetaljer	
Filnavn:	ankerhagen A4
Bygningsvolum, V:	137
Høyde over bakkenivå:	12
Gulv areal:	53
Klimaskjermareal $A_{T, BAT}$ :	184
Høyde over havet:	40
Vindforhold	
Målenøyaktighet	5%

Resultater	
Luftmengde ved 50 Pa, [m <sup>3</sup> /h]	147,0
Luftskifte ved 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	1,07
Luftlekkasje ved 50 Pa, [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]	0,798
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]	2,769
Effective leakage area at 50 Pa, [cm <sup>2</sup> ]	44,75
Equivalent leakage area at 50 Pa, [cm <sup>2</sup> ]	73,35
Leakage per Envelope Area at 50 Pa, [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]:	0,243
Leakage per Floor Area at 50 Pa, [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]:	

### Compliance

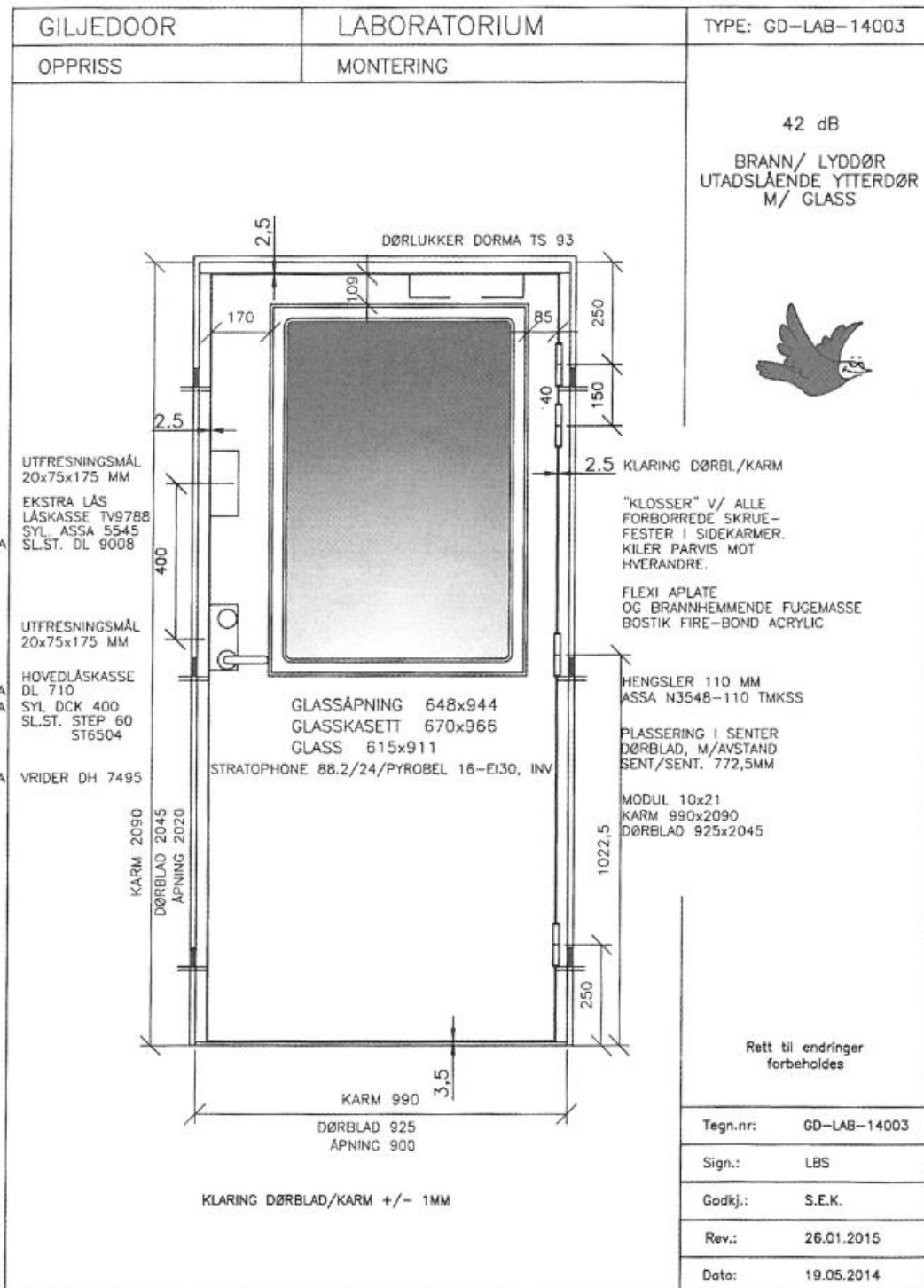
### Assumptions and warnings

While FanTestic software may calculate air leakage results based on user input, use of this software does not in any way guarantee these results.

## Vedlegg B: Sjekkpunktliste – Kontroll av forsøk ved trykktesting

Pkt.	Beskrivelse	Ok	Feil	Justert	Kommentar
<b>FØR FORSØK</b>					
<b>UTSTYR SOM SKAL BENYTTES TIL FORSØK</b>					
1	Blower Door	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Kraftmåler	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Kamera	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Teip	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Plastikk	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Dør	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>SIKKERHET</b>					
7	Vernesko	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Refleksvest	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Hjelm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>BYGGEPLASSEN (ROMMET)</b>					
10	Er arealet egnet til gjennomføring?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Rommets størrelse ble endret til å kun bruke svalgang.
11	Påvirkes nærliggende aktivitet?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	Er det noen svakheter?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	I rommet var det noen åpninger til kontakter og rør som ble tettet for å oppnå høyere trykk.
<b>GJENNOMFØRING AV FORSØK</b>					
<b>INSTALLASJON AV UTSTYR</b>					
13	Blower Door	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	Dør	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	Kraftmåler	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	Plastikk/teip	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Plastikk ble blåst av og måtte teipes bedre.
<b>TETTHETSKRAV</b>					
§ 14-2. Krav til energieffektivitet					
17	Luftlekkasjetall pr. time ved 50 Pa trykkforskjell ( $\leq 1,5$ )	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ble målt til 0,7 luftvekslinger pr.time
<b>OPPNÅDD TRYKK I ROM</b>					
18	>150 Pa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Oppnådde 256 Pa
19	<150 Pa	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>ÅPNINGSKRAFT PÅ DØR</b>					
20	>150 N	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Åpningskraft ble målt til 248 N
21	<150 N	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Vedlegg C: Størrelse på dør



**Vedlegg D: Sjekkpunktliste – Kontroll av forsøk ved subjektive målinger**

Pkt.	Beskrivelse	Ok	Feil	Justert	Kommentar
<b>FØR FORSØK</b>					
<b>UTSTYR SOM SKAL BENYTTES TIL FORSØK</b>					
1	Eleiko Vektslede	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Kraftmåler	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Kamera	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Teip/tau	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Håndduk	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Dør	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>SIKKERHET</b>					
7	Vernesko	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Refleksvest	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Hjelm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Forsøksområde</b>					
10	Er arealet egnet til gjennomføring?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	Påvirkes nærliggende aktivitet?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	Er det noen svakheter?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>GJENNOMFØRING AV FORSØK</b>					
<b>INSTALLASJON AV UTSTYR</b>					
13	Eleiko vektslede	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	Vektskiver	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	Kraftmåler	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	Tau/teip	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>ÅPNINGSKRAFT PÅ DØR</b>					
17	100-300N	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ble justert med antall vektskiver

## Vedlegg E: E-post fra Brannvesen og SP Fire Research

Det er gitt tillatelse fra samtlige aktører å ta med besvarelsene deres i denne oppgaven.

### Rogaland brann og redning IKS - Sandnes

Beklager at vi har glemt å svare dere innen fristen. Det har vært dårlig med tilbakemelding hos oss grunnet veldig få slike tilfeller hos oss. Dette blir heller ikke registrert i rapportene våre, slik at det er veldig vanskelig å få dette sted og tidfestet.

Ut i fra tilbakemeldingen fra våre ledere som har lang fartstid i vårt brannvesen kan de bare huske 2 tilfeller hvor det er funnet personer omkommet rett ved utgangsdøren. Det har ikke vært problem å få ut disse grunnet overtrykk.

Når det gjelder øvelser etc. har de opplevd at det kan være vanskelig å få opp dører pga. overtrykk i blokkbebyggelse. Dette er heller ikke sted eller tidfestet.

### Rogaland brann og redning IKS - Sandnes

Spørsmål 1: Ja  
Spørsmål 2: Nei

### Harstad brann og redning

Jeg har svart på vegne av egen husk (1993-) og dokumentasjon. Har i tillegg spurt et par av våre erfarne medarbeidere om dette.

Vi har 2 tilfeller (separate hendelser) hvor vi har funnet omkomne i nærheten av utgangsdøren. Den ene lå i gangen rett innenfor utgangsdøren, og den andre lå i gangen på tur fra oppholdsrom/stue og inn mot yttergang. Vi kan ikke si noe om dørene slo innover eller utover. I de fleste tilfeller så slår dørene i rømningsvei, med unntak av innvendige dører – som er variabel.

### Bergen Brannvesen

Hei

Vår erfaring er at vi finner personer i nærhet av eller i umiddelbar nærhet av ytterdør i «branncelle», men oftere i egen seng. Når det gjelder åpning av dører, kan vi merke forskjell i energien man må legge i åpning av dør fra tilfelle til tilfelle, men ikke slik at det fremstår som noe problem.

Håper dette svarer på spørsmålene, hvis ikke tar dere kontakt.

**Oslo brannvesen**

Jeg jobber til daglig med brann evaluering og har kjennskap til en del branner, og aller branner med omkomne de siste årene. Jeg kjenner ikke umiddelbart til at det har vært noe problem med dører som har vært vanskelige å åpne på grunn av trykkoppbygning i brannleilighet. Jeg har videreformidlet problemstillingen til flere sentrale personer og ledere ho oss. Du hører nærmere fra meg når jeg har fått tilbakemeldinger fra disse. Når bør dere ha svar fra oss i forhold til fremdrift med oppgaven dere skriver? Vi er forresten svært interessert å vite mer om hva dere finner ut dersom dere ev. skal kjør noen forsøk på dette.

Her kommer våre svar på spørsmålene:

Ja det har vi opplevd. Det er imidlertid vanskelig å fastslå årsaken til at de ikke har kommet seg ut døren. Etter en gjennomgang av dødsbranner som har inntruffet i Oslo etter 2007 kan vi bare se at den omkomne har blitt funnet like innenfor leilighetsdøren i tre tildeler. I to av tilfellene var døren låst med sikkerhetslås og nøkkelen var tatt ut. Det er derfor lite sannsynlig at trykkoppbygningen å ha vært en medvirkende årsak i disse tilfellene. I et annet tilfelle var døren mest sannsynlig bare låst med vanlig lås med vrider på innsiden. Det er derfor i dette tilfellet også lite sannsynlig at trykkoppbygging har vært en medvirkende årsak men det kan ikke utelukkes heller.

Vår erfaring er at det skal brenne kraftig inne i boligen for at det skal være problemer med å åpne døren på grunn av trykkoppbygging. Det oppleves sannsynlig annerledes å bryte opp en dør som slår inn over for slokkemannskapene, enn det vil være for en beboer som må dra døren til seg. Så selv om vi ikke har erfaringer med at dette er et problem i innsatssammenheng, er ikke dette ensbetydende med at det kan være utfordrende å åpne døren fra innsiden.

**SP Fire Research**

Takk for e-posten. Som jeg nevnte på telefon kunne jeg godt se på spørsmålene dere ønsker svar på for å komme med innspill på hva jeg har funnet av informasjon i ulike kilder.

Innadslående eller utadslående dør ved brann?

Dette har jeg ikke sett omtalt i noen av politirapportene jeg har gått igjennom. Derfor er jeg litt i tvil om dere kommer til å finne ut noe om dette. Du snakket om at dere tenkte å snakke med personer fra brannvesenet som hadde vært på de ulike brannene. Jeg er litt usikker på hvor mye man vil huske fra de ulike utrykningene man er på. og om man får svar, hvor sikre kan dere være på vitners hukommelse i lang tid etter en brann?

Hvor ble personer/personene funnet i bygget?

Dette er omtalt i politiets granskningsrapport. Det kan imidlertid være vanskelig (krever en del godkjenninger) å få tilgang til disse.

Generelt:

Fra vår gjennomgang ser det ut til at det er få som greier å iverksette rømningsforsøk. En rask opptelling av våre data viser at 20 % har forsøkt å rømme. De øvrige har ikke forsøkt å rømme, eller det er ukjent. Dette er imidlertid usikre tall, da det avhenger av informasjonen i politirapportene. Likevel har vi ikke noe inntrykk av at mange omkommer pga. at de ikke får åpnet ytterdøren. Håper innspillene er til nytte og ønsker dere lykke til videre med bacheloroppgaven!



