



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



**OFAS**

Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg

## INERGEN i verneverdige bygninger



Foto: Kjell Arne Strømstad

Hovedprosjekt utført ved

Høgskolen Stord/Haugesund – Avd. Haugesund – Ingeniørfag

---

*Studieretning: Brann*

Av:	Siri Herlin Walaker	Kandidatnr.	1
	Liv Astrid Bergsager	Kandidatnr.	5
	Birgitte Storstein	Kandidatnr.	6

---

*Haugesund*

*Våren 2012*

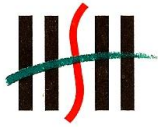


HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



OFAS

Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# HOVEDPROSJEKT

**Studentenes navn:** Siri Herlin Walaker  
Liv Astrid Bergsager  
Birgitte Storstein

**Linje & studieretning** Brann, sikkerhetsingeniør

**Oppgavens tittel:** *INERGEN i verneverdige bygninger*

## Oppgavetekst:

For å bevare verneverdige bygg og kulturminner er brannsikring nødvendig. Et mulig tiltak for å oppnå et ønskelig nivå på brannsikkerheten kan være å installere et automatisk brannslokkeanlegg.

Vanntåkeanlegg og sprinkleranlegg er mest utbredt i verneverdige bygg i dag, men slokkesystemer basert på vann er ikke alltid ønsket når hovedformålet er verdisikring. Utløsning av slike systemer kan ødelegge uerstattelige verdier og kulturminner, som malerier og tapet. Det er derfor et ønske og behov for et annet slokkemiddel enn vann i slike bygninger. Et godt alternativ kan være gass-slokkeanlegget INERGEN.

INERGEN er en slokkegass som består av gasser som allerede finnes naturlig i luft. I dag brukes INERGEN i tette volum, blant annet i tekniske rom, skip og innen offshore. INERGEN blir i større grad brukt i vanlige bygg med forskjellig bruk.

Gass-slokkeanlegg skal opprettholde nødvendig slokkekonsentrasjon i brannrommet i minimum 10 minutter. Utfordringen er at verneverdige bygg ofte har store lekkasjeareal. Denne oppgaven skal via teoretiske vurderinger og praktiske forsøk dokumentere hvordan lekkasjeareal påvirker reduksjonen av slokkegass i brannrom.

**Endelig oppgave gitt:** 02.03.2012

**Innleveringsfrist:** Fredag 4.mai 2012 kl. 12.00

**Intern veileder:** Bjarne Christian Hagen

**Ekstern veileder:** Jørn Karlsen, Haugaland Brannsikring AS  
**Adresse ekstern veileder:** Raglamyrveien 22, N-5536 HAUGESUND

**Godkjent av  
studieansvarlig:**  
**Dato:**

Brit Fuller  
23/4 - 12



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



OFAS

Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund

Studie for ingeniørfag

Bjørnsonsgt. 45

5528 HAUGESUND

Tlf. nr. 52 70 26 00

Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel INERGEN i verneverdige bygg		Rapportnummer
Utført av Liv Astrid Bergsager Birgitte Storstein Siri Herlin Walaker		
Linje Sikkerhetsingeniør		Studieretning Brann
Gradering Åpen	Innlevert dato 4. Mai 2012	Veiledere Bjarne Christian Hagen Jørn Karlsen

#### Ekstrakt

*Formålet* med oppgaven var å identifisere muligheter og begrensninger ved bruk av INERGEN i verneverdige bygg. Oppgaven begrenser seg til å se på om gassen tilfredsstillende kravet til holdetid når den skal beskytte et rom med store lekkasjeareal. Dette ble gjort via praktiske *forsøk* med INERGEN i et forsøksrom med regulerbare lekkasjeåpninger.

*Resultatene* fra forsøkene viste at slokkedyktig konsentrasjon av INERGEN ble opprettholdt i rommet for lekkasjetall på 12,2 til 38,7 skift/h i minst 10 min fra høyden 60 cm under taket og nedover, selv om slokkeanlegget ikke var dimensjonert for lekkasjer.

Resultatene fra forsøkene tyder på at INERGEN har potensial til å bli brukt i verneverdige bygg. På grunn av usikkerheten rundt utetthet i eldre bygg bør utettheten kvantifiseres. Dette kan utføres ved en differansetrykktest som beregner lekkasjetall. Ved store lekkasjeareal kan det være en mulighet å tilpasse slokkeanlegget etter lekkasjetallet.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## Forord

Bruk av INERGEN i verneverdige bygg er et aktuelt tema for tiden og ble diskutert en del på BFO- dagene. Under arbeidet med dette prosjektet forstod vi at det fantes en del ulike interesser rundt brannsikring av bygg som vi ønsker skal være evig. Temaet er derfor både tidsriktig og relevant.

Muligheten til å forske på dette temaet som en del av vår bacheloroppgave har vært utfordrende og engasjerende. Prosjektet har også gitt oss muligheter, blant annet har vi holdt presentasjoner<sup>1</sup> av prosjektet og besøkt Fire Eater A/S, Lund Universitet og DBI. Vi var også med på en samling hos Fire Eater A/S i Danmark for å diskutere temaet. Gjennom prosjektet har vi fått knyttet kontakter i fagmiljøet rundt brann og slokkeanlegg.

Vi lærte oss at forskningen vår krevde plass, tid og tålmodighet. Haugaland Brannsikring AS bistod med god plass til forsøksrommet vårt og oppbygging og klargjøring av slokkesystemet mellom hvert forsøk. Vi satte nok alle montører og ingeniører i sving, men denne oppgaven hadde ikke vært mulig uten hjelpen og støtten vi fikk.

Vi ønsker å takke:

- Bjarne Christian Hagen, vår interne veileder, for god hjelp og kritiske tilbakemeldinger underveis i prosjektet
- Jørn Karlsen, vår eksterne veileder, for sprek innsats, hjelpsomhet og gode innspill
- Jan Hantho, daglig leder i Haugaland Brannsikring AS for et smittende humør og engasjement, praktisk hjelp og for å være en pådriver i prosjektet
- OFAS for muligheten til å kunne skrive om et interessant tema i bacheloroppgaven
- Alle de ansatte i Fire Eater A/S i Danmark som bidro til oppgaven vår. Spesielt ønsker vi å takke Michael Kroneder for sin hjelpsomhet til mange faglige spørsmål, lån av utstyr og gode innspill
- Tor Eystein Hovda og Kjell Arne Strømstad fra Fire Eater A/S i Norge for engasjement i prosjektet og anskaffelse av INERGEN
- Alle de ansatte i Haugaland Brannsikring AS for all praktisk hjelp og godt humør
- Håvard Styve, energiingeniør i Eta Energi, for god hjelp og tålmodighet til å gi oss orientering om et nytt fagområde
- Arjen Kraaijeveld for sitt engasjement og fine innspill
- Statsbygg på HSH for lån av et av Haugesunds eldste hus

Haugesund 4. Mai 2012

---

Liv Astrid Bergsager

Birgitte Storstein

Siri Herlin Walaker

<sup>1</sup>Presentasjonen av dette prosjektet under Fire Safety Day samt programmet ligger i vedlegg F.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## Innholdsfortegnelse



**OFAS**

Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg

Forord .....	I
Sammendrag .....	IV
1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Formål og problemstilling .....	1
1.3 Begrensninger .....	1
1.4 Ordforklaringer og forkortelser .....	2
2 Litteratursøk og metode .....	5
2.1 Slokking .....	5
2.1.1 Teori .....	5
2.1.2 Slokkemidler .....	8
2.1.3 Slokkesystemer .....	10
2.2 INERGEN .....	11
2.2.1 Slokking .....	11
2.2.2 Slokkekonsentrasjon .....	12
2.2.3 Sikkerhet .....	13
2.2.4 Fordeler og ulemper .....	14
2.2.5 Inergen Management Tools .....	14
2.3 Deteksjon .....	14
2.4 Lekkasjetall .....	15
2.5 Holdetid .....	16
2.6 Standarder .....	17
3 Forsøkets oppsett .....	18
3.1 Oppbygging av forsøksrom .....	18
3.2 Forarbeid .....	21
3.2.1 Differansetrykkmetoden .....	22
3.2.2 Fremgangsmåte ved differansetrykktesting .....	23
3.2.3 Resultater differansetrykktesting .....	24
3.2.4 Årvik gata 9 .....	25
3.3 Måleutstyr .....	27
3.4 Fremgangsmåte ved forsøk .....	28
4 Teoretisk holdetid .....	29
5 Resultat .....	30
5.1 Resultat fra forsøk .....	31
5.1.1 Oksygenkonsentrasjon målt i f0 og f5 .....	32
5.1.2 Sammenligning av lekkasjescenarioer med likt lekkasjetall .....	34
5.1.3 Alle forsøk målt 60 cm fra tak .....	35
5.1.4 Holdetid vs. Lekkasjetall .....	36
5.2 Feilkilder .....	38
6 Diskusjon .....	39
6.1 Oksygenkonsentrasjon vs. Lekkasjetall .....	39
6.1.1 Generell innvirkning av lekkasjetall .....	39
6.1.2 Innvirkning i slokkehøyde, 60 cm fra taket .....	39
6.2 Effekten av plassering av lekkasjeareal .....	40
6.3 Holdetid vs. lekkasjetall .....	40
6.4 Designkonsentrasjon .....	41
6.5 Bruk av INERGEN i verneverdige bygg .....	41



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



7	Konklusjon .....	42
8	Videre arbeid .....	43
9	Referanser .....	44
10	Vedlegg.....	46
	Vedlegg A – Utrekning av slokkekonsentrasjon .....	47
	Vedlegg B – Beregningsmodell.....	48
	Vedlegg C – Sjekkliste .....	51
	Vedlegg D – Grafer .....	52
	Vedlegg E – Trykktestrapporter .....	64
	Vedlegg F – Fire Safety Day .....	80
	Vedlegg G – IMT beregning .....	86

## Tabelliste

Tabell 1: LOI for ordinære materialer .....	8
Tabell 2: Oversikt over forskjellige slokkemidler (Opstad og Stensaas, 1998) .....	8
Tabell 3: Branntyper (Tabell 5.1 i Opstad og Stensaas, 1998).....	9
Tabell 4: Klassifisering av type brann etter NFPA(2012 ed) .....	12
Tabell 5: Slokkekonsentrasjon klasse A brann(NFPA, 2012 ed) .....	12
Tabell 6: Lekkasjetall i småhus (Dalaker, 2009).....	16
Tabell 7: Oversikt over forsøk.....	24
Tabell 8: Lekkasjetall .....	25
Tabell 9: Oversikt over teoretisk beregnet holdetid ihht. NFPA.....	29
Tabell 10: Laveste oksygenkonsentrasjon målt i fire høyder .....	30
Tabell 11: Lekkasjetall og tid til oksygenkonsentrasjon er over 15 % .....	31
Tabell 12: Resultater fra forsøk med symmetriske lekkasjer, 60 cm fra taket .....	31
Tabell 13: Forsøk 0.....	33
Tabell 14: Resultater fra forsøk med likt lekkasjetall .....	35



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## Sammendrag



Mange verneverdige bygg inneholder uerstattelige kulturminner som kan bli ødelagt ved eksponering av vann eller vanntåke. Det er derfor et behov å finne alternative slokkemidler i verneverdige bygg. Den inerte slokkegassen INERGEN har blitt foreslått. Verneverdige bygg er ofte utette og det er derfor et spørsmål om det er mulig å opprettholde en tilfredsstillende konsentrasjon av slokkegassen i nødvendig tid.

Det overordnede målet med oppgaven var å identifisere muligheter og begrensninger for bruk av slokkegassen INERGEN i verneverdige bygg. Oppgaven ble begrenset til å se på store lekkasjeareal og hvor lenge en slokkedyktig konsentrasjon under 15 % oksygen vil bli opprettholdt. Dette ble testet både via praktiske forsøk og teoretiske beregninger.

Forsøkene med lekkasjetall fra 12,2 til 38,7 skift/h viste at slokkegassen hadde en slokkedyktig konsentrasjon i minst 10 min fra høyden 60 cm under taket og nedover. Designkonsentrasjonen ble derimot ikke oppnådd ved noen av forsøkene. Det antas at dette skyldes at slokkeanlegget ikke var dimensjonert for lekkasjer.

Resultatene fra disse forsøkene viste at INERGEN har potensial til å bli brukt i verneverdige bygg med lekkasjer. Det er nødvendig å tilføre noe mer slokkegass for å nå designkonsentrasjonen under utløsningstiden ved lekkasjearealene som ble undersøkt i denne studien. Det var først ved store lekkasjetall at slokkedyktig konsentrasjon ikke ble opprettholdt i 10 minutter. Her kan det være nødvendig å supplere anlegget med flasker med utvidet tømmeid eller forsinket utløsning.

Det anbefales at utettheter i verneverdige bygg kvantifiseres i form av lekkasjetall (luftutskiftning/time), slik at slokkeanlegget kan tilpasses lekkasjetallet.



## 1 Innledning

Det finnes en rekke fredete og verneverdige bygninger i Norge. Ifølge Riksantikvaren(2012) er det blant annet over 3000 fredete bygninger i privat eie, 180 tette verneverdige trehusmiljø med til sammen rundt 17 000 bygninger og 28 stavkirker. Syv norske steder ligger under UNESCOs verdensarvliste, to av disse er Urnes stavkirke og bryggen i Bergen (Riksantikvaren, 2012). Det er ønskelig å bevare disse kulturminnene lengst mulig, og interessen for brannsikkerhet er derfor stor.

### 1.1 Bakgrunn

Flere av kulturminnene er brannsikret med vanntåkesystem eller sprinkleranlegg (Jensen, 2004). Det er frykt for at vann kan ødelegge inventaret i disse byggene, og en feilutløsning kan bidra til at inventar og store nasjonalverdier kan gå tapt<sup>2</sup>. Det er dermed behov og av interesse fra flere aktører at det vurderes og prøves ut alternative slokkesystemer som ikke gir sekundærskader.

Fossesholm Herregård er et eksempel på et verneverdig bygg hvor sprinkleranlegg er installert. En samling av unike engelske, franske og tyske håndmalte og håndtrykket lerretstapeter er grunnen til at slokkesystem med vann ikke er ønsket<sup>2</sup>.

Tanum kirke i Bærum fikk erfare hvilken skade vann kan gi for kunstverk. Skadeomfanget ble omfattende da en feilutløsning av alle sonene i vanntåkeanlegget løste ut samtidig. Den bemalte himlingen i skipet fikk store skader<sup>3</sup>.

Det kom et forslag om å bruke gass-slokkeanlegget INERGEN i verneverdige og fredete bygninger. I forbindelse med forslaget oppstod det en del motargumenter. Et av motargumentene gikk ut på at fredete og verneverdige bygninger var for utette til å opprettholde tilfredsstillende konsentrasjon av slokkegass i nødvendig tid.

### 1.2 Formål og problemstilling

Formålet med denne rapporten er å vurdere om INERGEN kan opprettholde en tilfredsstillende konsentrasjon i den nødvendige tid dersom det eksisterer lekkasjer og utettheter i volumet som skal beskyttes.

### 1.3 Begrensninger

Prosjektet begrenser seg til å se på om gassen tilfredsstillende kravet til holdetid når den skal beskytte et utett volum. Det er ikke tatt hensyn til vindpåvirkning eller at dører/vinduer blir åpnet under holdetiden.

---

<sup>2</sup> Ellen Pauline Steen, daglig leder Fossesholm Herregård. Foredrag BFO-dagene 14.11.11.

<sup>3</sup> Einar Karlsen, riksantikvaren. E-post 14.02.12.





## 1.4 Ordforklaringer og forkortelser

Asymmetriske lekkasjeåpninger	- Når de kontrollerte lekkasjeåpningene var ulike oppe og nede (f.eks. når alle lekkasjeåpningene oppe var åpne og de nedre var lukket)
Automatisk fredet kulturminne	- Når et kulturminne blir automatisk fredet betyr det i praksis at kulturminnet blir fredet via kulturminneloven. Blant annet blir stående byggverk fra perioden 1537-1649 automatisk fredet (Riksantikvaren, 2012)
Design konsentrasjon	- Konsentrasjon av sløkkemiddel, inkludert en sikkerhetsfaktor som er nødvendig for systemdesignets formål (Standard Norge, 2008)
FOBTOT	- Forskrift om Brannforebyggende Tiltak og Tilsyn
Fredet kulturminne	- Et fredet kulturminne er et kulturminne som må bevares for ettertiden på grunn av den verdien det representerer. Å frede er den strengeste formen for å verne et kulturminne. Inngrep og endringer på bygget må derfor godkjennes av myndighetene. Et fredet kulturminne er enten blitt automatisk fredet, eller vedtaksfredet (Riksantikvaren, 2012)
Holdetid	- Tiden hvor konsentrasjonen av sløkkemidlet er sløkkedyktig, slik at den vil hindre brannen i å kunne opprettholde sin forbrenning, se kap. 2.5 (NS EN 15004:1 Standard Norge, 2008)
IMT	- Inergen Management Tool
Inertisering	- Fortrenging av oksygen (Opstad og Stensaas, 1998)
Inhibitering	- Hemming eller hindring av kjemiske reaksjonskjeder via katalytisk kombinasjon av aktive stoffer (Opstad og Stensaas, 1998)
Innsatstid	- Tiden fra innsatsstyrken mottar alarm til den er i arbeid på skadested
Klimaskjerm	- Grense eller barriere som skiller det innvendige volumet som skal prøves, fra den utvendige omgivelsen fra en annen del av bygningen



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



(Standard Norge, 2010)

Kontrollerte lekkasjeåpninger	- Inkluderer de to åpningene langs vinduene og hullene på øvre og nedre del av «vegg 1» og «vegg 2», se figur 8 og 9
Kulturminne	- Ifølge kulturminneloven § 2 defineres et kulturminne som: «alle spor etter menneskelig virksomhet i vårt fysiske miljø, herunder lokaliteter det knytter seg historiske hendelser, tro eller tradisjon til.» Eksempler kan være bygninger, hager, gravsteder, båter og helleristninger (Riksantikvaren, 2012)
Lekkasjescenario	- Under forsøkene ble det de kontrollerte lekkasjeåpningene lukket/åpnet, dette defineres som ulike lekkasjescenario
Lekkasjetall	- Beskriver hvor ofte luften i rommet blir skiftet ut i løpet av en time [skift/h], vanligvis ved en referansetrykkdifferanse $\Delta p_r = 50$ Pa (Standard Norge, 2010)
LOAEL	- Lowest Observable Adverse Effect Level
LOC	- Lower oxygen Concentration
LOI	- Lower oxygen Index
MEC	- Minimum Extinguishing Concentration, minste slokkekonsentrasjon av slukkemiddel som trengs for å slokke en brann som involverer et spesielt brennstoff under definert eksperimentell tilstand uten å ta hensyn til sikkerhetsfaktoren (Standard Norge, 2008)
Minimum Design Quantity	- Mengde slokkegass som er nødvendig for å oppnå den minste design konsentrasjonen som er beregnet ved bruk av metoden i 5.5.1 eller 5.5.2 i NFPA(2012 ed)
NOAEL	- No Observed Adverse Effect Level
Sikkerhetsfaktor	- En multiplikator til slukkemiddelets slokke- eller inertiserings konsentrasjon for å bestemme slukkemiddelets minimum design konsentrasjon, (NFPA, 2012 ed)



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND  
NFPA



- National Fire Protection Association

Romfyllingsgrad

- Hvor mye av volumet som skal være fylt med gass etter at all sløkkegassen er løst ut

Symmetriske lekkasjeåpninger

- Når de kontrollerte lekkasjeåpningene var like oppe og nede (f.eks. når annenhver lekkasjeåpning var lukket/ åpen)

Tømmetid

- Tiden det tar fra et gassløkkeanlegg blir utløst til flaskebanken er tømt

Verneverdig kulturminne

- Etter kulturminneloven § 1 kan verdifulle kulturminner og kulturmiljøer vernes. Riksantikvaren definerer et verneverdig kulturminne som har gått igjennom en faglig vurdering og som har blitt identifisert som verneverdig (Riksantikvaren, 2012)

UNESCO

- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

## 2 Litteratursøk og metode

Litteratursøket inneholder generell teori om brann og hvilke mekanismer som kan brukes for å slokke en brann. Deretter beskrives hvilke slokkemidler og slokkesystemer som finnes. I kapittel 2.2 beskrives slokkekassen INERGEN og forhold ved gassen som er viktig å merke seg. Forståelsen av begrepene lekkasjetall og holdetid er avgjørende for å få forståelse for resten av oppgaven. Regelverk og standarder rundt prosjektering av INERGEN anlegg er beskrevet i kapittel 2.6.

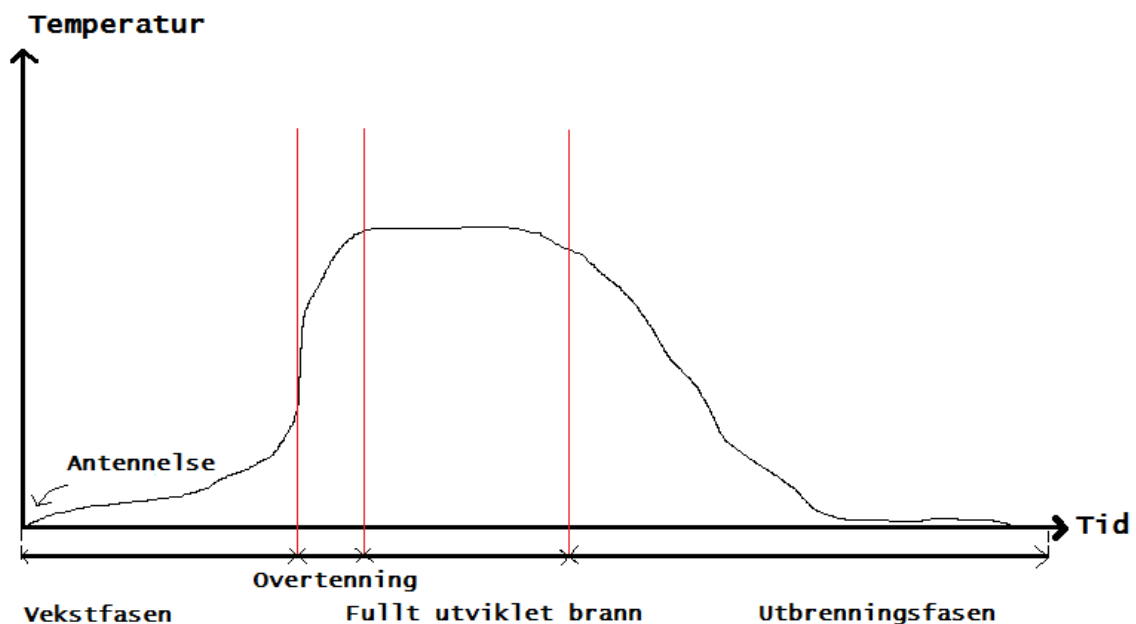
For å besvare oppgaven er det brukt både litteratursøk, praktiske forsøk og beregninger. Via praktiske forsøk ble oksygenivået målt for å vurdere om slokkekonsentrasjonen av gassen var tilfredsstillende. Utettheten ble kvantifisert gjennom differansetrykktesting som estimerte et lekkasjetall. Det ble også beregnet teoretisk holdetid.

### 2.1 Slokking

I dette kapitlet presenteres slokkteori og deretter ulike slokkemetoder.

#### 2.1.1 Teori

Temperaturen vil variere med tiden i en brann dersom brannen får utvikle seg fritt. Figur 1 illustrerer brannens faser.

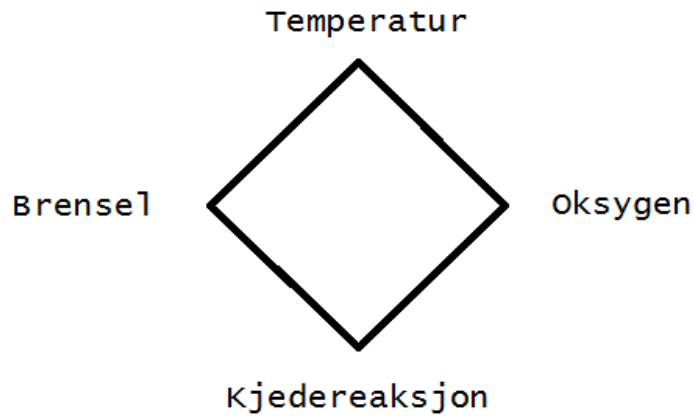


Figur 1: Fasene i en brann

Etter antennelse vil brannen vokse og temperaturen stige. I overtenningsfasen vil alt brennbart antenne og temperaturen stige raskest (Hagen, 2004). Deretter går brannen over til å bli en fullt utviklet brann. Temperaturen synker i utbrenningsfasen, og brannen vil avta. På et tidlig tidspunkt kan man slokke eller hindre brannen i å nå de ulike fasene ved å redusere temperaturen.

Det finnes flere elementer som kan påvirke hvordan brannutviklingen vil forløpe. For at en brann skal slokkes må temperaturen reduseres, oksygenkonsentrasjonen tynnes ut,

brenselet bli separert fra flammene og/eller endre forbrenningskjemien. Ved å fjerne et eller flere av disse elementene elimineres muligheten for at en forbrenning kan opprettholdes og brannen vil slukkes (Cote og Powell, 2008). Elementene illustreres i figur 2.



**Figur 2: Brannfirkanten**

Slokkeprinsippet ved bruk av inert gass er at oksygen fortrenses, slik at forbrenning ikke kan finne sted. Slokkedyktig konsentrasjon er avhengig av sammensetningen av slokkegassen og type brensel.

### Brensel

Brensel er et brennbart stoff som kan forekomme i tre aggregattilstander: gass, væske og fast stoff (Opstad og Stensaas, 1998). Brennbare gasser er ofte lett antenkelige, mens for å antenne brennbare væsker må væsken først fordampe. Faste stoffer må som regel spaltes til pyrolyseprodukter for og deretter kunne antennes (Opstad og Stensaas, 1998).

### Brennbarhetsgrenser

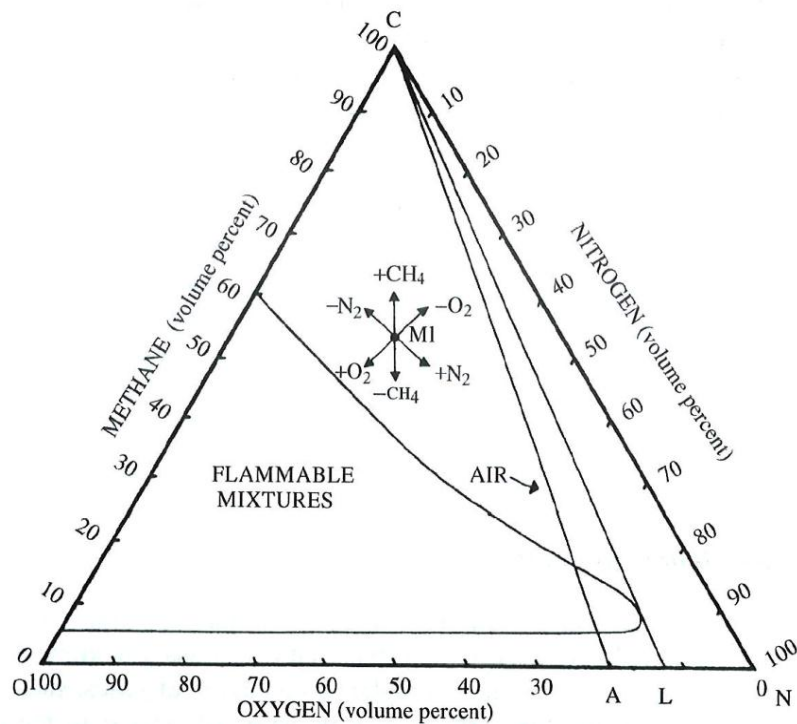
For å antenne en brennbar gass må det eksistere en gass/luft-blanding innenfor brennbarhetsområdet, dvs. at gassen må blandes med riktig konsentrasjon av oksygen i luft. Ulike gasser har forskjellige brennbarhetsgrenser, f.eks. har metan en nedre brennbarhetsgrense på 5,0 Vol %, mens propan har 2,1 Vol % (Drysdale, 1999).

Vol % av en gass eller blanding av flere gasser i luft kan beregnes ut i fra «Le Chatelier`s lov», se formel (1).

$$L_m = \frac{100}{\sum_i \frac{P_i}{L_i}} \quad (1)$$

$L_m$  er nedre brennbarhetsgrensen i blandingen (volumprosent).  $P_i$  er prosentandelen av sammensetningen av bestanddelen  $i$ .  $L_i$  er  $P_i$  sin nedre brennbarhetsgrense (Drysdale, 1999).

Figur 3 illustrerer brennbarhetsdiagrammet til metan. Brennbarhetsdiagrammet viser ved hvilken Vol % metan vil være brennbar, med hensyn på nitrogen og oksygen i atmosfærisk trykk og en temperatur på 26 °C.



**Figur 3: Brennbarhetsdiagram metan (Drysdale, 1999)**

I punkt C på figur 3 vil brenselet ha en Vol % på 100 % og i punkt A vil brenselets konsentrasjon være null. Fra linjen AC har alle punkt på linje et størrelsesforhold på 21:79 ( $O_2$ :  $N_2$ ), som korresponderer med vanlig luft (Drysdale, 1999).

Linjen som går fra C til L kalles begrensninglinjen. Begrensninglinjen representerer et utvalg av  $O_2$ - og  $N_2$ -blandinger som tangerer brennbarhetsområdet. Dette betyr at en hvilken som helst blanding av  $O_2$  og  $N_2$  som har et størrelsesforhold under begrensninglinjen ikke vil støtte forbrenning av metan, uavhengig av hvor mye brennstoff som finnes (Beyler, 2002). Denne tilstanden kalles LOC (Limiting Oxygen Concentration).

Dersom oksygenkonsentrasjonen holdes under LOC kan ikke en forbrenning finne sted, noe som gjør at LOC et viktig konsept ved inertisering. LOC avhenger både av temperatur, trykk, brensel og inert gass (Beyler, 2002).

En størrelse som beskriver antenlighet eller brennbarhet til ulike type materialer er LOI (Limiting Oxygen Index). LOI anslår hvilken konsentrasjon av oksygen i luft som vil støtte en forbrenning i materialet (Harper, 2004). Tabell 1 viser LOI for et utvalg av vanlige materialer.

Tabell 1: LOI for ordinære materialer

Materiale <sup>1</sup>	LOI [%]
Bomull	16
Cellulose kunstfiber	17
polypropyrene	17
Filterpapir	18
Polyester stoff	21
Kyssfinér	23
Silikon, gummi	23
Wool	24

<sup>1</sup> Et utdrag av tabell 2.11 hentet fra «Handbook of Building Materials For Fire Protection» (Harper, 2004).

Tabell 1 viser at enkelte materialer er mer antenkelige enn andre. For eksempel vil bomull kreve over 16 % O<sub>2</sub> i luften for å kunne brenne. Materialer som har en LOI høyere enn tilnærmet oksygenkonsentrasjon som i luft, 21 %, blir betraktet som ikke-brennbare.

### 2.1.2 Sløkkemidler

Automatiske brannsløkkeanlegg er en aktiv brannsikringsmetode. Det finnes forskjellige typer sløkkeanlegg, men det mest utbredte anlegget i norske bygg i dag er sprinkleranlegg (OFAS, u.å.). Sløkkemetoden bak sprinkleranlegg er å tilføre brannen vann i dråpeform. Tabell 2 er laget ut ifra Opstad og Stensaas(1998) «håndbok i branntekniske analyser og beregninger» tabell 5.1, og viser ulike sløkkeeffekter til forskjellige sløkkemetoder.

Tabell 2: Oversikt over forskjellige sløkkemidler (Opstad og Stensaas, 1998)

Sløkkemetode	Aggregattilstand	Primær sløkkeeffekt
<i>Vann:</i>		
Vannslange, sprinkler, deluge	dråper	kjøling
Vanntåke	små dråper/damp	inertisering og kjøling
<i>Halon alternativer:</i>		
(CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , INERGEN, ARGONITE)	gass	inertisering
<i>Halonsubstitutter:</i>		

- HBFK`er	gass	inhibitering og inertisering
- HKFK`er, HFK`er og FK`er	gass	inertisering

Tabell 2 viser blant annet at sløkkemidlene har ulike egenskaper ved sløkking. Både sprinkler- og vanntåkeanlegg sløkker med vann, men sløkkemetodene har noe forskjellig sløkkeeffekt ved at vanntåke inertiserer i tillegg til å kjøle.

Det er flere faktorer en bør ta hensyn til ved valg av sløkkemiddel (Hagen, 2004):

- Type brann
- Tilgjengelighet
- Personskader
- Bruk
- Miljøhensyn
- Aksept av sekundærskader
- Estetikk

Hvilken type brann som kan forventes i det området som skal beskyttes er vesentlig for valg av sløkkemetode. I tabell 3 kan en se at vann egner seg til å slukke de fleste typer brann. Halon alternativene er egnet til å slukke brann i elektrisk utstyr og brann i væsker, men enkelte av gassene kan også være aktuelle til branntype A og C.

**Tabell 3: Branntyper (Tabell 5.1 i Opstad og Stensaas, 1998)**

Sløkkemetode	Ulemper	Branntype <sup>1</sup>
<i>Vann:</i>		
Vannslange, sprinkler, deluge	Vannskader, elektrisk ledende	A, B, C, E
Vanntåke	Lite effektiv mot små branner	B, C, E (A)
<i>Halon alternativer:</i> (CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , INERGEN, ARGONITE)		
	CO <sub>2</sub> er giftig, kvelning pga. oksygenmangel, fare for reantenning	E, B,(A, C)
<i>Halonsubstitutter:</i>		
- HBFK`er	Fare for reantenning, ikke egnet mot A-branner	E (B, C)
- HKFK`er, HFK`er og FK`er	Lettere giftig og miljøskadelig	E (A, B, C)

<sup>1</sup>Med Branntype A menes brann i faste materialer som tre og andre fibrer. Branntype B: brann i væsker og Branntype C: Brann i ren gass (klassen eksisterer ikke i Norge). Branntype D: brann i metaller og branntype E defineres som brann i elektrisk utstyr (Opstad og Stensaas, 1998).





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Det skal være god tilgjengelighet på slokkemiddelet (Hagen, 2004), dersom det f.eks. er dårlig vanntilførsel i et område kan det være hensiktsmessig å velge et vanntåkesystem eller et gasslokkeanlegg.



Dersom en velger et gasslokkeanlegg bør en kjenne til om slokkemiddelet utgjør en risiko for personskader spesielt dersom det ferdes personer i det området som skal beskyttes (Hagen, 2004). CO<sub>2</sub> er akutt dødelig ved slokkekonsentrasjoner mellom 30-50 % (Opstad og Stensaas, 1998). På grunn av den risikoen et slikt slokkemiddel utgjør for personsikkerhet må en bruke anlegget med stor varsomhet. En feilutløsning av CO<sub>2</sub>-anlegg kan kreve liv, derfor er det viktig at anlegget er driftssikkert og brukervennlig.

En annen faktor en bør ta standpunkt til er i hvilken grad sekundærskader kan aksepteres og hva en feilutløsning kan bety i det aktuelle området (Hagen, 2004).

I nye bygg er det forholdsvis enkelt å skjule slukkeanlegget i bygningskroppen ved å legge rørsystemet over himlingen osv. I eldre fredede og verneverdige bygg kan ofte installasjon av slukkeanlegg være vanskeligere å skjule. En ide er at den som prosjekterer prøver å skjule installasjonen til en viss grad slik at fokuset ikke blir tatt vekk fra interiør og inventar.

### 2.1.3 Slukkesystemer

#### **Sprinkleranlegg**

Slokkemiddelet i et sprinkleranlegg er vann. Hensikten med et sprinkleranlegg er å kontrollere eller eventuelt å slukke en brann i en tidlig fase til andre kommer til stedet og kan fullføre slukkingen (Sintef Byggforsk, 2009).

Som oftest er sprinkleranlegget montert i taket, og består av et rørsystem som er koblet til en vannforsyning. På rørene finnes det dyser som kalles sprinklerholder (OFAS, u.å.). Sprinkleranlegget aktiveres ved at plommen i sprinklerhodet knuses ved en viss temperatur (f.eks. 68°C) og vannet strømmer ut i dråpeform. Det skilles mellom våt- og tørranlegg. I et tørranlegg spres slukkevannet ut i rørsystemet ved deteksjon, mens i et våtanlegg befinner slukkevannet seg i rørsystemet konstant.

En fordel med et sprinkleranlegg er at det ofte finnes god tilgjengelighet på vann i Norge. Sprinkleranlegget vil dermed ha stor tilgang på slokkemiddel under utløsningstid. Slokkemiddelet er ikke skadelig for mennesker dersom anlegget feilutløses, men i lys av denne oppgaven er ulempen at vann kan gi sekundærskader på inventar og selve byggverket.

#### **Vanntåkesystem**

Slokkemekanismen i vanntåke er at den kjøler ned brannen, inertiserer og blokkerer for varmestråling (Jensen, 2004). Det eksisterer ulike definisjoner på hva vanntåke egentlig er. Ifølge Schmidt et al.(2003) finnes det ikke en omforent definisjon av begrepet, men det nevnes flere mulige definisjoner. En definisjon av vanntåke kan være «En vannspray hvor en stor del av vandråpene har evne til å følge strømmingen i et brannrom og ikke umiddelbart felles ut og falle mot gulvet.»

De fleste dråpene fra vanntåkesystemet er så små at dråpene vil fordampe etter kort tid. Når dråpene fordampes i flammene og røyken fører dette til produksjon av inertgass (damp). Dermed kan dampen eller inertgassen redusere brannens omfang. Dråpene bidrar



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

ikke til å kjøle selve brenselet, men kjøler flammene og røyken fra brannen (Schmidt et al., 2003).



Utfordringen med vanntåkesystem er å slokke små branner i store rom og slokking av små skjulte branner (Schmidt et al., 2003). Fordelen er at vanntåke krever mindre vann enn et sprinkleranlegg.

Vanntåkesystem har blitt installert i flere kulturminner, blant annet i 12 stavkirker, 4 middelalderkirker og i trehusbebyggelsen på Røros (Jensen, 2004).

## **Gass**

Gass lagres på beholdere under trykk enten i væskeform eller gassform. Til beholderne er det koblet rør med dyser som er fordelt på en hensiktsmessig måte i rommet. Dyser og rørsystem må tilpasses rommet som skal beskyttes (OFAS, u.å.).

Som følge av Montreal protokollen i 1993 begynte utviklingslandene å utfase bruken av Halon som slokkemiddel. Dette skjedde på grunn av slokkemiddelets negative påvirkning på ozonlaget. Utfasingen utløste behov for slokkeanlegg som kunne erstatte de gamle Halonanleggene. Halonalternativer som kom fram i lyset i kjølvannet av dette omtales som halonalternativer eller «clean agents». Halonalternativer deles inn i to brede kategorier (DiNenno, 2002):

- Halokarbon forbindelser
- Inerte gasser og gassblandinger

Inert gass fortrenger oksygen, mens halokarbondgasser både fortrenger oksygen og påvirker de kjemiske reaksjonene (OFAS, u.å.). Vanlige inerte gasser er argon (Ar), karbondioksid (CO<sub>2</sub>), nitrogen (N<sub>2</sub>) og blandinger av disse gassene. INERGEN og Argonite er eksempler på slike blandinger. Gassblandingene egner seg godt i anlegg som fyller hele rom, men de er ikke anbefalt å bruke i håndslukkeapparater. CO<sub>2</sub>-anlegg blir ofte brukt for å beskytte maskinrom på skip, men ulempen ved bruk av CO<sub>2</sub> som slokkemiddel er at slokkekonsentrasjonen er dødelig ved 30-50 % (Opstad og Stensaas, 1998).

Hydrofluorkarbon (HFK) gassene FM-200, Novec1230 og Halotron IIB er de vanligste halokarbondgassene i Norge. Disse gassene slokker både ved inertisering og inhibering (Opstad og Stensaas, 1998). Halokarbondgassene tar del i forbrenningen og kan danne giftige og miljøskadelige produkter (OFAS, u.å.).

## **2.2 INERGEN**

INERGEN betegnes ofte med ASHRAE betegnelsen IG-541 (DiNenno, 2002), og er en inert gass som består av 52 % nitrogen (N<sub>2</sub>), 40 % argon (Ar) og 8 % karbondioksid (CO<sub>2</sub>). INERGEN er derfor en gass som er miljøvennlig fordi den ikke innvirker på ozonlaget eller omgivelser generelt (Fire Eater A/S, 2011).

### **2.2.1 Slokking**

Slokkemekanismen til INERGEN er å senke oksygeninnholdet i luften til et nivå der forbrenning ikke kan opprettholdes. Når INERGEN utløses i et rom vil blandingen mellom INERGEN og luft være slik at det fortsatt er mulig å oppholde seg i rommet, se kap. 2.2.3 (Fire Eater A/S, 2011).



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## 2.2.2 Slukkekonsentrasjon

NFPA deler ulike typer brann inn i klasser, dette illustreres i tabell 4. Klasse A defineres som brann i vanlige brennbare materialer, klasse B som brann i væsker og klasse C i strømførende elektrisk utstyr.

Tabell 4: Klassifisering av type brann etter NFPA(2012 ed)

Klasse	Beskrivelse
A	Brann i vanlige brennbare materialer slik som tre, klær, papir, gummi og en del plastikk.
B	Brann i brennbare væsker. Det kan være oljebranner, alkohol, tjære, løsemiddel, brennbare gasser og lakk.
C	En brann som involverer strømførende elektrisk utstyr.

NS-EN 15004-1 Faste brannslukkesystemer – Gass-slukkesystemer Del 1: Planlegging, installasjon og vedlikehold (Standard Norge, 2008) angir at minste design konsentrasjon for klasse A branner skal være slukkekonsentrasjonen multiplisert med en sikkerhetsfaktor på 1,3. En sikkerhetsfaktor på 1,3 tilsvarer en økning på 30 % fra den minste slukkekonsentrasjonen (MEC) til design konsentrasjonen. Dette resulterer i en større mengde gass som må utløses. For klasse B branner skal også sikkerhetsfaktoren være 1,3. NFPA(2012 ed) angir en sikkerhetsfaktor på 1,2 for INERGEN. De ulike regelverkene gir altså ulike sikkerhetsfaktorer.

Tabell 5 viser hva minste slukkekonsentrasjon og design konsentrasjon for INERGEN skal være for klasse A branner ifølge NFPA(2012 ed).

Tabell 5: Slukkekonsentrasjon klasse A brann(NFPA, 2012 ed)

MEC	Design
28,5 %	34,2 %

Minste slukkekonsentrasjonen tilsvarer 15 % O<sub>2</sub> og design konsentrasjonen tilsvarer 13,8 % O<sub>2</sub>. Dette betyr at oksygenkonsentrasjonen må ligge under 15,0 % i løpet av hele holdetiden og under utløsningstiden må oksygenkonsentrasjonen komme ned i 13,8 %. Se vedlegg A for beregning oksygenkonsentrasjon.

Dersom man benytter en romfyllingsgrad på 50 %, som er krav etter EN 15004-10 blir design konsentrasjonen 39,9 % som tilsvarer 12,7 % oksygen. Dette gir en sikkerhetsfaktor på litt over 1,3.

I henhold til beskrevne standarder skal oksygenkonsentrasjonen ligge under 15,0 % i løpet av hele holdetiden og under utløsningstiden skal den komme ned i 12,7 %. Dette ble utgangspunkt for forsøkene.

Sikkerhetsfaktoren dekker ikke alle forhold i omgivelsene. Disse forholdene må tas hensyn til ved prosjektering av INERGEN-anlegg. Dette er forhold som kan føre til at det er behov for en større mengde slukkegass. Et av disse forholdene er lekkasjer fra en utett bygning.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Ved utette bygninger bør det vurderes om det er nødvendig med en integritetstest, beskrevet i NS-EN 15004-1(Standard Norge, 2008).



### 2.2.3 Sikkerhet

Et slokkesystem som inneholder flasker med gass under høyt trykk krever respekt og varsomhet. Flaskene inneholder gass under trykk opp til 400 bar (Fire Eater A/S, 2011). Ved installasjon av INERGEN-anlegg skal flaskene skal aldri stå usikret slik at de kan falle. Lokk skal alltid være over ventilen når de flyttes eller ikke er festet. Flaskene skal også være sikret på en måte slik at utløpskraften ikke overskrider 2000 N. Flaskene sikres til veggen ved bruk av en skinne og et beslag, dette forklares nærmere i kapittel 3.1. Beskyttelsesbriller og vernesko skal alltid brukes ved montering.

#### Pustefysiologi

Alle kroppens organer er avhengig av oksygentilførsel for å opprettholde liv i organismen. Organene forbruker oksygen og avgir CO<sub>2</sub>. Gassutvekslingen i lungene foregår ved diffusjon, dvs. at stoffene går fra høy konsentrasjon til lav konsentrasjon. Luften skiftes ut ved inhalasjon av oksygenrik luft og ekshalasjon av CO<sub>2</sub>-holdig luft. Denne prosessen tilfører oksygen til blodet samtidig som karbondioksid avgis, grunnet konsentrasjonsforskjeller (Sand, Sjaastad, Haug & Bjålie, 2006).

Slokkemekanismen for INERGEN er oksygenfortrengning (Opstad og Stensaas, 1998). NFPA(2012 ed) definerer to oksygen grenser: LOAEL som er den laveste oksygenkonsentrasjonen der det er blitt observert fysiske eller giftige virkninger og NOAEL som er den laveste oksygenkonsentrasjonen der det ikke er blitt observert fysiske eller giftige virkninger. I følge tabell A.1.5.1.3(c) i NFPA(2012 ed) tilsvarer minste LOAEL 10 % oksygen og minste NOAEL 12 % oksygen. I følge Fire Eater A/S(2011) bør eksponeringstiden begrenses til maks:

- 5 minutter ved oksygenkonsentrasjon under 12 %
- 3 minutter ved oksygenkonsentrasjon under 10,1 %
- 30 sekunder ved oksygenkonsentrasjon under 8 %

Luft består av 79 % nitrogen og 21 % oksygen i tillegg til små konsentrasjoner av H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> og andre gasser(Sand et al, 2006). Ettersom INERGEN inneholder 8 % CO<sub>2</sub> vil det foregå mindre diffusjon mellom blodet og lufta, noe som medfører en økning av CO<sub>2</sub> i blodet. I følge Sand et al(2006) krysser CO<sub>2</sub>-molekyler blod-hjerne-barrieren lett, slik at også konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> øker i spinalvæsken i ryggmargen. Kjemoreseptorer registrerer økningen av CO<sub>2</sub> i spinalvæsken indirekte via en økning i pH, og sender signal til hjernen om forhøyet CO<sub>2</sub>-nivå. Hjernen reagerer med å stimulere respirasjons senteret. Dette fører til at pustefrekvensen øker og inspirasjonen blir dypere (Sand et al, 2006).

Den mengden CO<sub>2</sub> som finnes i INERGEN bidrar til at kroppens naturlige regulering av respirasjonsfrekvens og dybde blir stimulert. Dette vil føre til at diffusjonen mellom luft og blod kan foregå både hyppigere og mer effektivt. I følge Fire Eater A/S(2011) er slokkegassen testet på mennesker og gir kun kortvarig senkning av oksygenivået i blodet, før endringen i respirasjonsfrekvens og dybde kompenserer for dette slik at oksygenivået i blodet normaliseres. Dette er bakgrunnen for at det ikke regnes som skadelig for mennesker å oppholde seg i et rom der et slokkeanlegg basert på INERGEN er løst ut.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## 2.2.4 Fordeler og ulemper

Dersom anlegget feilutløses vil det ikke bli sekundærskader på møbler, tapet, malerier osv. Det er heller ikke farlig for personer å puste inn INERGEN, se kapittel 2.2.3. Ved installering av slokkeanlegg i kulturminner er det ønskelig med få bygningsmessige inngrep<sup>4</sup>, derfor er det en fordel at et INERGEN-anlegg krever få dyser sammenlignet med et vannbasert slokkesystem. Grunnen til at et INERGEN-anlegg krever færre dyser enn et vannbasert anlegg, er at dekningsgraden er større for et INERGEN-anlegg. Årsaken til dette er gassens evne til å diffundere, mens vandrdåper vil falle relativt fort til gulvet pga. vandrdåpenes vekt.

Begrensningene ved bruk av slokkeanlegg med INERGEN er at det kan bli vanskelig å bruke til utvendig slokking. Man har også en begrenset mengde slokkegass, derfor vil det bli en nedetid etter utløsning til flaskene er blitt etterfylt. En annen ulempe er det trengs en del plass til flaskebanken.

Det finnes installerte INERGEN-anlegg i kulturminner både i Norge og internasjonalt. Eksempler i Norge er Christine Dahls Villa i Oslo (fredet kulturminne) og Arne Garborgs Diktarstove – Knudeheia. Domkirken i Stavanger er delvis beskyttet med INERGEN, og utenfor landegrensene kan det trekkes frem Vinterpalasset i St. Petersburg<sup>5</sup>.

## 2.2.5 Inergen Management Tools

Ved prosjektering av INERGEN-anlegg brukes programvaren IMT (Inergen Management Tools). Programvaren er i henhold til UL-standard. UL beskriver seg selv som en verdensomspennende organisasjon innen sikkerhet på sine nettsider(UL, 2012).

## 2.3 Deteksjon

De fleste INERGEN-anlegg er basert på tidlig deteksjon, dvs. at varsling skjer på et tidlig tidspunkt slik at INERGEN-anlegget får løse ut tidlig og brannen gjør minst mulig skade. Dette er vesentlig ved sammenligning med for eksempel et sprinkleranlegg<sup>6</sup>. Tidlig deteksjon kan også benyttes med andre typer slokkeanlegg, men konsekvensen ved feilutløsning kan være større.

Alarmanlegget til et INERGEN-anlegg er ofte montert slik at to detektorer må detektere for at anlegget skal aktiveres. Dette bidrar til bedre pålitelighet og mindre feilutløsninger. Valg av detektorer må vurderes etter type bygg og hvilken bruk bygget har. Følsomheten til detektorene bør justeres i den første perioden etter at detektorene er installert, slik at man får deteksjon på best mulig tidspunkt<sup>6</sup>.

Anlegget kan aktiveres manuelt i tillegg til at det løses ut ved deteksjon. Alle INERGEN-anlegg skal ha mulighet til manuell aktivering (Fire Eater, 2011).

Det finnes ulike typer detektorer på markedet, noen av detektorene beskrives her:

<sup>4</sup> Karin Axelsen, Riksantikvaren. Forelesning HSH 31.01.12

<sup>5</sup> Tor Eystein Hovda, daglig leder Fire Eater A/S avdeling Norge. Forelesning HSH 31.10.11.

<sup>6</sup> Jørn Karlsen, branningeniør Haugaland brannsikring. Samtale 10.02.12.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## Varmedetektorer

En varmedetektor reagerer på temperatur. Detektoren slår ut når føleren registrerer en bestemt temperatur. Det er to prinsipper bak ulike varmedetektorer: registrering av en angitt temperatur eller en bestemt temperaturøkning over et angitt tidsrom (Opstad og Stensaas, 1998).

## Røykdetektorer

De vanligste røykdetektorene er ioniseringsdetektorer, optiske detektorer og aspirasjonsdetektorer. I en ioniseringsdetektor er det to ladede elektroder som det går strøm av ioner mellom. Når lufta blir full av røyk vil partiklene feste seg til ionene og strømmen som går mellom elektrodene vil bli redusert. Når strømmen er redusert tilstrekkelig vil detektoren løse ut. Ioniseringsdetektorer er best egnet til å detektere flammebrann. En optisk detektor er basert på prinsippet om lysspredning eller lysabsorpsjon og er best egnet til å detektere ulmebrann. Aspirasjonsdetektoren suger inn en prøve av lufta og analyserer denne. Når røykkonsentrasjonen i denne lufta kommer over en bestemt verdi vil detektoren aktiveres (Opstad og Stensaas, 1998).

## Flammedetektor

Flammedetektoren måler elektromagnetisk stråling fra flammer. I prinsippet er det strålingsintensiteten ved en viss bølgelengde som måles. Det finnes to metoder å måle strålingen på: enten ved IR- eller UV-stråling (Opstad og Stensaas, 1998).

## 2.4 Lekkasjetall

I NS-EN 13829 Bygningers termiske egenskaper. Bestemmelse av bygningers luftlekkasje. Differansetrykkmetode (Standard Norge, 2010) punkt 3.4 defineres luftvekslinger ved referansetrykk som lekkasjeluftmengde per innvendig volum ved referansetrykkdifferansen gjennom klimaskjerm. Dette innebærer at lekkasjetallet angir antall ganger volumet med luft skiftes ut per time ved 50 Pa. Lekkasjetallet angir hvor utett et byggverk er og kan regnes ut via formel (2).

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V} \quad (2)$$

Kravet til byggets lekkasjetall omfatter normalt hele bygget. Dersom bygget er vanskelig å måle i helhet, kan man utføre målingen i en representativ andel i bruksenheten i følge veiledningen til § 14-3 punkt 1b i Teknisk Forskrift(2010).

Måling av lekkasjetallet i bygg bestemmes ut fra NS-EN 13829(Standard Norge, 2010). Metoden blir også beskrevet i NFPA(2012 ed) i Annex C.

I Teknisk Forskrift(2010) defineres 13 ulike bygningskategorier, men denne oppgaven vil kun ta for seg kategorien «småhus». I Multiconsults notat 03-09: Biblioteker for energimerkeordningen – Oversikt over biblioteker (Dalaker, 2009) er det beskrevet erfaringstall Multiconsult har for lekkasjetallet i de ulike bygningskategoriene og med hensyn til byggeår.



Tabell 6: Lekkasjetall i småhus (Dalaker, 2009)

Bygningskategori	Byggeår	Lekkasjetall
Småhus	1920	15
Småhus	1940	12
Småhus	1969	9
Småhus	1987	7
Småhus	1997	4
Småhus	2009	3,5
Småhus	2020 <sup>1</sup>	2,5

<sup>1</sup>Antatt utvikling

Tabell 6 viser at lekkasjetallet øker desto eldre byggverkene er. I dag er det strengere krav til lekkasjetallet. I følge Teknisk forskrift(2010) § 14-13 skal småhus ha et lekkasjetall mindre eller lik 2,5 luftvekslinger per time og øvrige bygg mindre eller lik 1,5 luftvekslinger per time.

## 2.5 Holdetid

Alle slokkeanlegg må tilfredsstillere krav i forhold til regelverk og være i henhold til gjeldende standarder. For eksempel må vannforsyningen til et sprinkleranlegg være i minst 30 eller 60 min avhengig av type anlegg (VTEK § 11-12(1), 2010). Et slokkeanlegg basert på gass må tilfredsstillere angitt holdetid.

Holdetid er definert som tiden hvor konsentrasjonen av slokkemiddelet er slokkedyktig, slik at den vil hindre brannen i å opprettholde forbrenningen (NS-EN 15004-1: Standard Norge, 2008). Når slokkemekanismen er inertisering må oksygenkonsentrasjonen være under brennbarhetsgrensen i nødvendig tid.

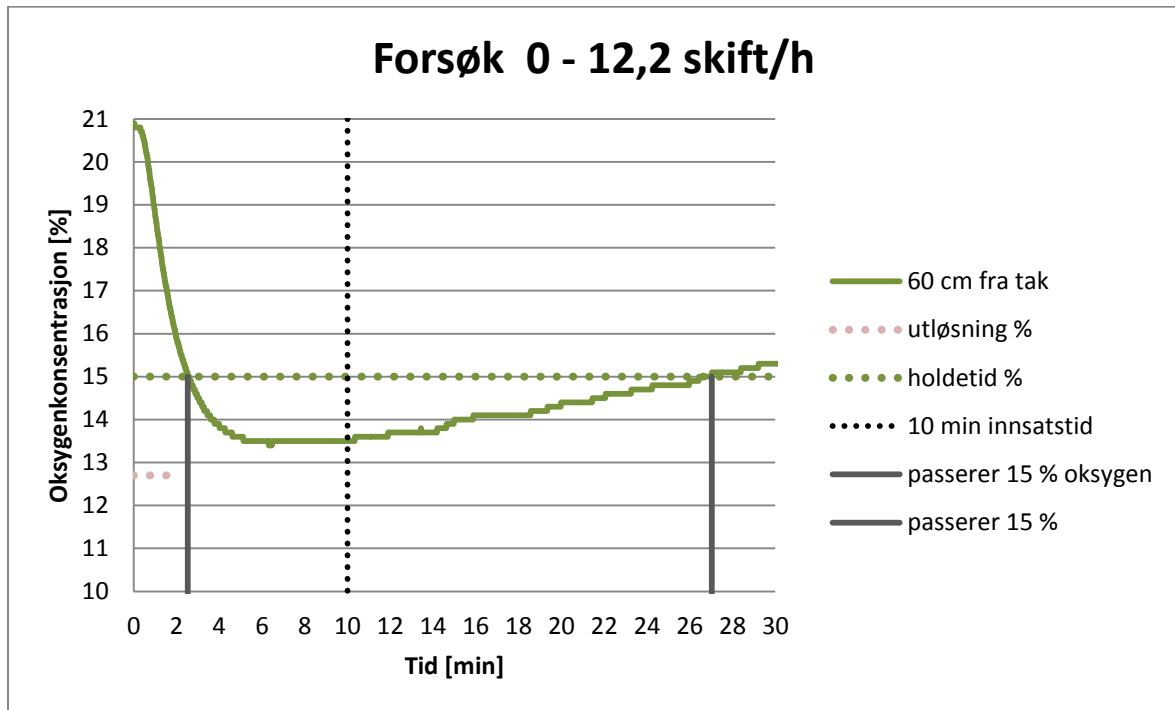
Ifølge NFPA(2012 ed) skal holdetiden være 10 min. Holdetiden kan også beregnes teoretisk i henhold til Annex C i NFPA(2012 ed), denne holdetiden tar også høyde for å hindre reantenning.

INERGEN-anlegget i forsøksrommet ble prosjektert med IMT for en klasse A brann, se vedlegg G. Det ble dimensjonert med en romfyllingsgrad på 54,2 % og en design konsentrasjon på ca. 41,8 %, som tilsvarer 12,2 % O<sub>2</sub>.

På grunnlag av at dette prosjektet handler om brannsikring av kulturminner vil også innsatstiden til brannvesen tas i betraktning. I § 4-8 i forskrift om organisering av brannvesen(2002) stilles det krav til innsatstiden. Forskriften nevner blant annet at i og utenfor tettbebyggelse skal ikke innsatstiden overskride henholdsvis 20 og 30 min, og i tettbebyggelse med f.eks. spesiell fare for rask og omfattende brannspredning skal innsatstiden være under 10 min. Innsatstiden kan i spesielle tilfeller være lengre dersom bygget utstyres med tekniske installasjoner og tiltak som kompenserer for den økte risikoen.

Det er videre i denne oppgaven valgt å se på hvordan gassen tilfredsstiller den teoretiske holdetiden til NFPA, hvor lenge gassen holder seg under 15,0 % O<sub>2</sub> og hva sløkkekonsentrasjonen er etter 10 min da dette ofte er innsatstid for brannvesen i tettbebyggelse.

For å illustrere forskjellen mellom tiden fra utløst anlegg til oksygenkonsentrasjonen går over 15 % og samlet tid under 15 % oksygenkonsentrasjon er resultatene fra f0 målt 60 cm fra taket illustrert i figur 4.



Figur 4: Illustrasjon av forskjell mellom ulike holdetider i forsøk 0, der forsøkstiden var 30 minutter.

Figur 4 viser at det tar 27 min og 3 s fra anlegget utløses til oksygenkonsentrasjonen går over 15 %. Samlet tid under 15 % oksygen vil være noe kortere, ettersom oksygenkonsentrasjonen ikke går under 15 % før etter 2 min og 33 sekunder. Dette gir en samlet tid under 15 % O<sub>2</sub> på 24 min og 30 s.

## 2.6 Standarder

I Norge benyttes den felles europeiske standarden NS-EN 15004 Faste brannsløkkesystemer – Gass-sløkkesystemer Del 1: Planlegging, installasjon og vedlikehold (Standard Norge, 2008) som overordnet prosjekteringsredskap. Denne standarden viser videre til EN-15004-10 som gass-spesifikk standard knyttet til IG-541, altså INERGEN. I praksis blir NFPA (2012 ed) benyttet for å oppfylle kravene i norsk regelverk. Oversikt over standarder som omhandler gass-sløkkeanlegg og INERGEN:

- Norsk standard: Generelt om gass-sløkkeanlegg NS-EN 15004-1
- Spesifikk for INERGEN sløkkeanlegg: EN-15004-10
- Amerikansk standard: NFPA 2001, 2012 ed

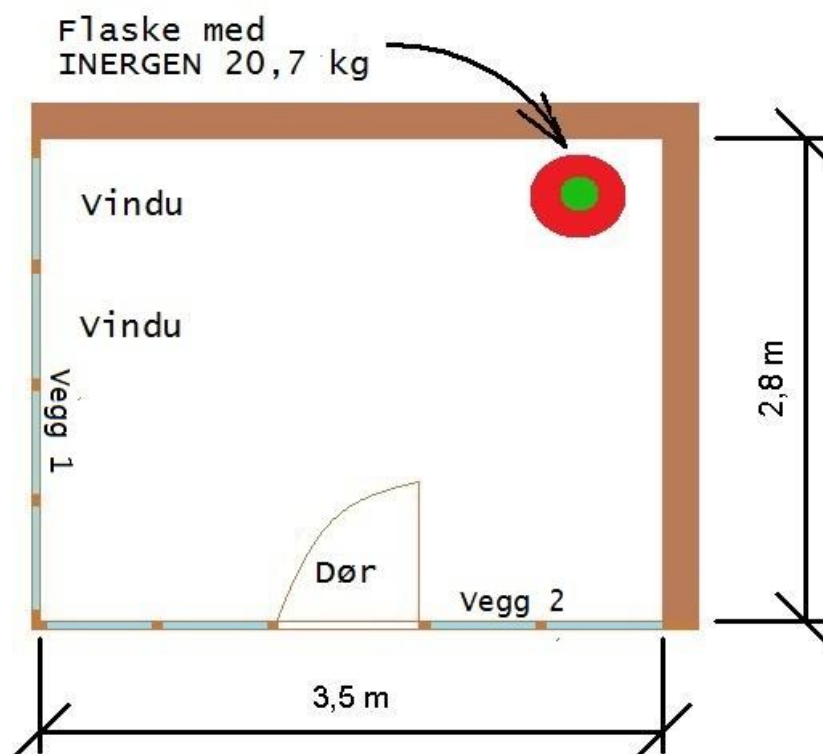


### 3 Forsøkets oppsett

En forberedende del til forsøkene var at forsøksrommet ble trykktestet ved hjelp av differansetrykkmetoden. Trykktesting av forsøksrommet ble utført både før og etter hvert forsøk med INERGEN. Kapittel 3.2.1 beskriver utstyret til differansetrykktestingen og kapittel 3.3 beskriver utstyret til forsøkene med INERGEN.

#### 3.1 Oppbygging av forsøksrom

Forsøksrommet ble bygget i et eksisterende bygg/rom. Forsøksrommet består derfor av to allerede eksisterende vegger i gips (brune vegger) som danner et hjørne. De to andre veggene består av stenderverk i tre, enkle glass og gips, se figur 5. Tak og gulv er betongelement.

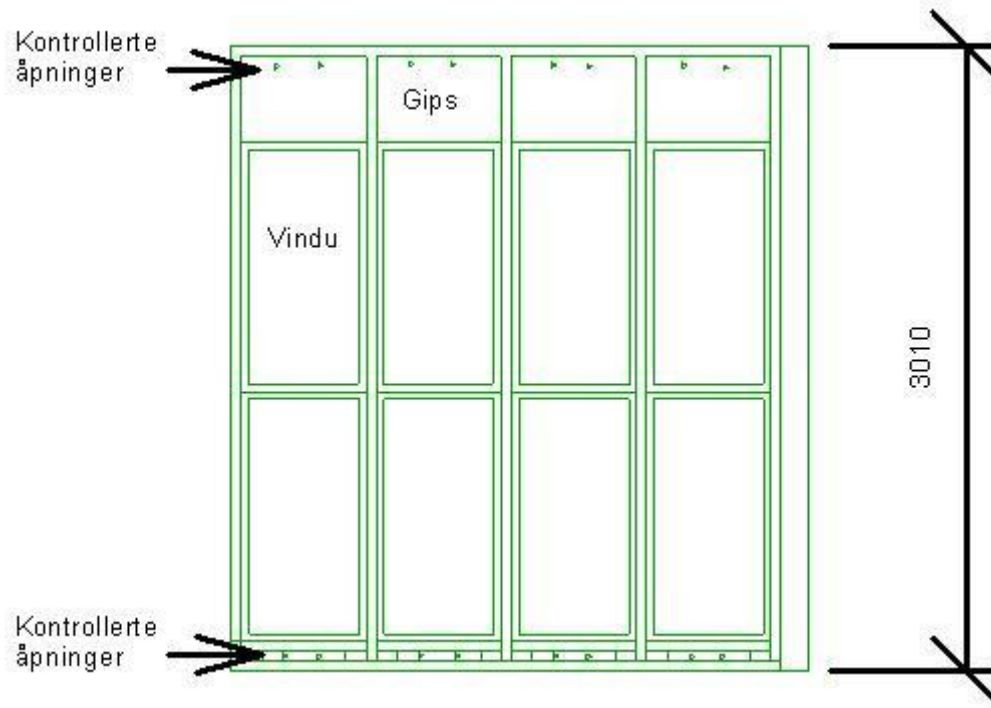


Figur 5: Rommet sett ovenfra

Følgende byggevarer ble brukt:

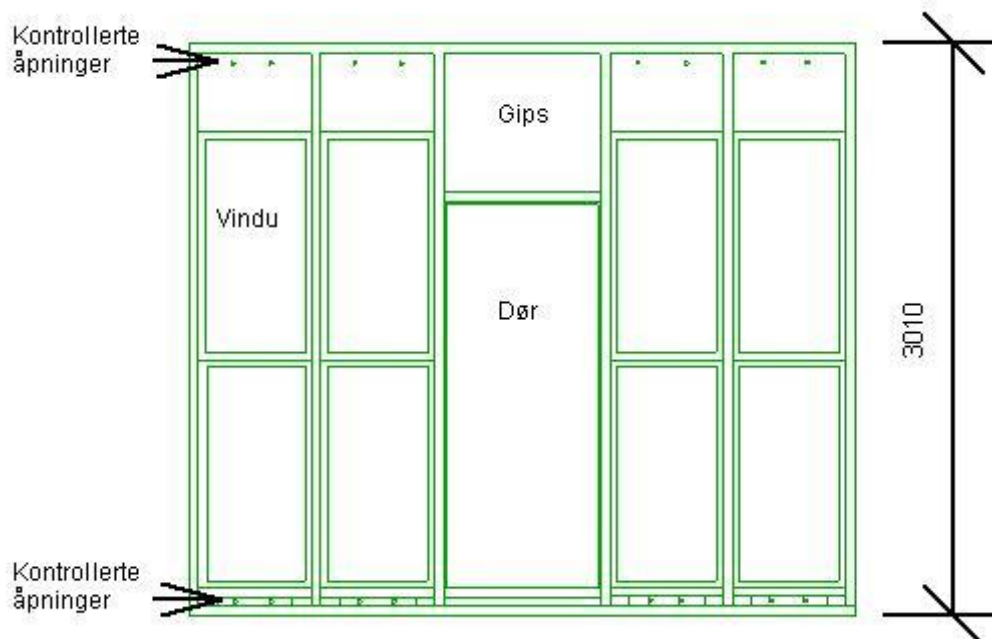
- 48×68 mm stendere i gran
- 13 mm gipsplater
- 60×120 cm enkle glass med tykkelse 2 mm

«Vegg 1» ble bygd med en bunnsvill og toppsvill med lengde 2,8 m. Det ble satt opp stendere mellom svillene. Stenderne er satt opp med cc 60 cm. Høyden på rommet er 3,01 m. Det ble brukt gips over bunnsvillene, over disse ble det plassert to vinduer over hverandre, og gipsplater over vinduene igjen. I gipsplatene både oppe og nede ble det boret symmetriske kontrollerte hull (med kontrollert menes det at arealet av hvert hull er kjent). Hvert hull har en diameter på 3,8 cm, som tilsvarer et areal på ca. 11,3 cm<sup>2</sup>. De kontrollerte åpningene ble brukt til å regulere lekkasjearealet under hvert forsøk, se figur 6 til 9.



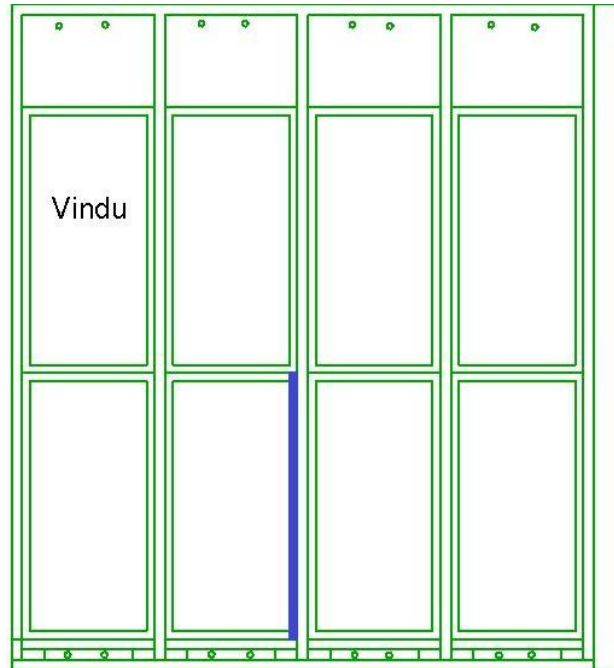
Figur 6: Vegg 1

«Vegg 2» ble bygd opp på tilsvarende måte, men her ble det også satt inn en dør. Lengde på denne veggen 3,5 m. Midt på denne veggen er det satt inn en dør på 2,0 m x 0,8 m, se figur 7.

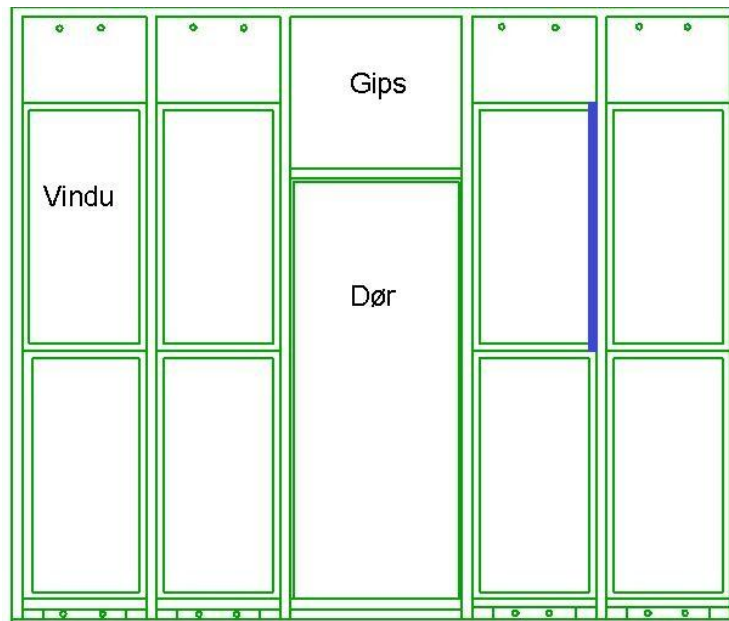


Figur 7: Vegg 2

Da stenderreisverket ble laget, ble det unnlatt å tette igjen en åpning på «vegg 1» ved lavtstående vindu, og en åpning på «vegg 2» ved høytstående vindu, se figur 8 og 9. Dette ble gjort for at forsøksrommet skulle få noen kontrollerte lekkasjeåpninger midt på klimaskjermen i tillegg til hullene på øvre og nedre del av veggene. Samlet arealet av lekkasjeåpningene mellom vinduene tilsvarte ca. 49 cm<sup>2</sup>.

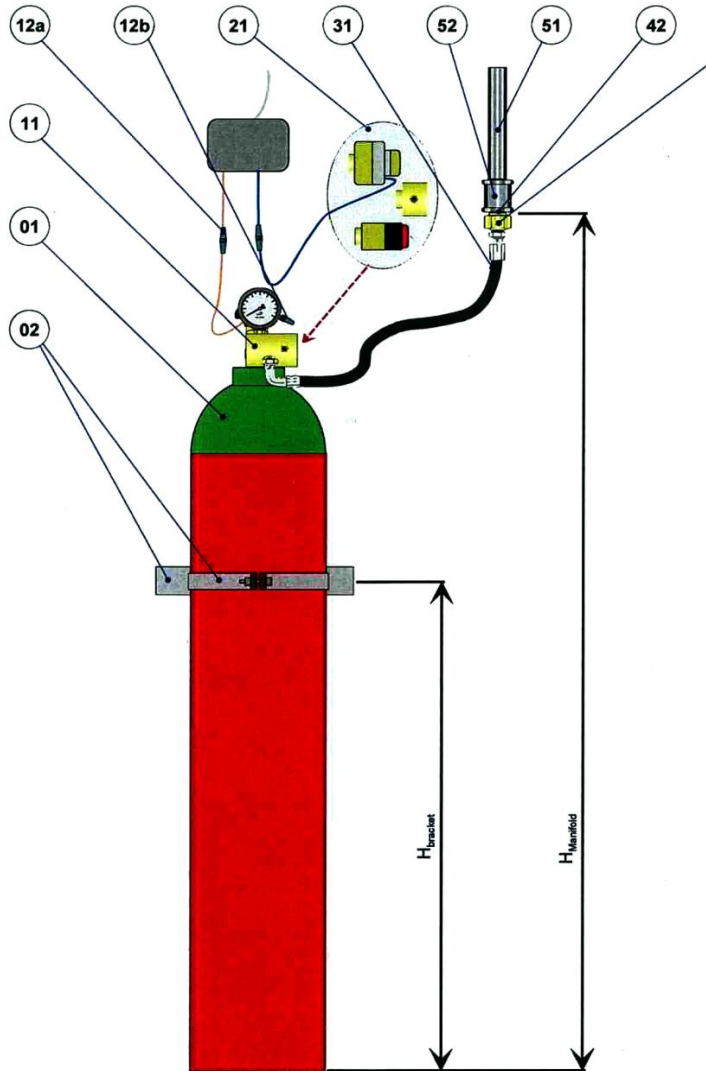


Figur 8: Åpning vegg 1



Figur 9: Åpning vegg 2

Figur 10 viser et singel sylinder system tilsvarende systemet i forsøksrommet. I kolonnene til høyre på figur 10 er de viktigste komponentene/delene beskrevet.



Nr	Beskrivelse
01	Cylinder 50-300 M25
02	Cylinder rail Cylinder bracket 50l
11	Ci IV8-300 Manoswitch
12	Manoswitch Cable
21	Ci IM8 Manual actuator
31	Hose Dn10-400
42	Ci MT manifold inkluder orifice
51	Pipe system
52	Fitting for pipe system

Figur 10: Singel sylinder system (Fire Eater A/S, 2011)

For å sikre INERGEN flasken festes denne mellom en skinne på veggen og et beslag som strammes rundt flasken og til skinnen. På figur 10 illustreres sikringen i punkt 2. Høyden opp til veggarmen er definert som  $H_{\text{bracket}}$ . Rørsystemet er av stål, se punkt 51 på figur 10. Det ble brukt en orifice (strupeventil) med diameter 3,0 mm, se punkt 42 på figur 10. Orificen bestemmer hvor hurtig gassen blir utløst. Med en orifice på 3,0 mm tilsvarer dette en utløsningstid på 92 sek før ønsket oksygenkonsentrasjon er nådd.

### 3.2 Forarbeid

For å kvantifisere utettheten i forsøksromme ble lekkasjetallet målt ved differansetrykkmetoden. Lekkasjetallet ble derfor et mål på hvor utett forsøksrommet var ved forsøkene, se kap. 2.4 om lekkasjetall.

### 3.2.1 Differansetrykkmetoden

Ideelle betingelser for bruk av metoden innebærer at det bør være lite vind og små forskjeller mellom inne- og utetemperatur (NS-EN 13829: Standard Norge, 2010). Ettersom forsøksrommet ble bygd i innerste hjørne av et større lager, anses betingelsene å være oppfylt da rommet både er skjermet og garasjeporten var åpen mens trykktestingen pågikk.

For å kunne benytte denne metoden ble det benyttet trykktestingsutstyr fra Retrotec. Innretningen bestod av en ventilatordør som dannet et over- og undertrykk gjennom klimaskjermen. Ventilatordøren bestod av en justerbar ramme som ble montert i en dørkarm. Rammen var kledd med en duk. Viften ble montert i en åpning i duken som illustrert i figur 11 og 12.



Figur 11: Ventilatordør i forsøksrom  
(Foto: Aleksandar Nenad Zecevic )



Figur 12: Ventilatordør i Årvik gata

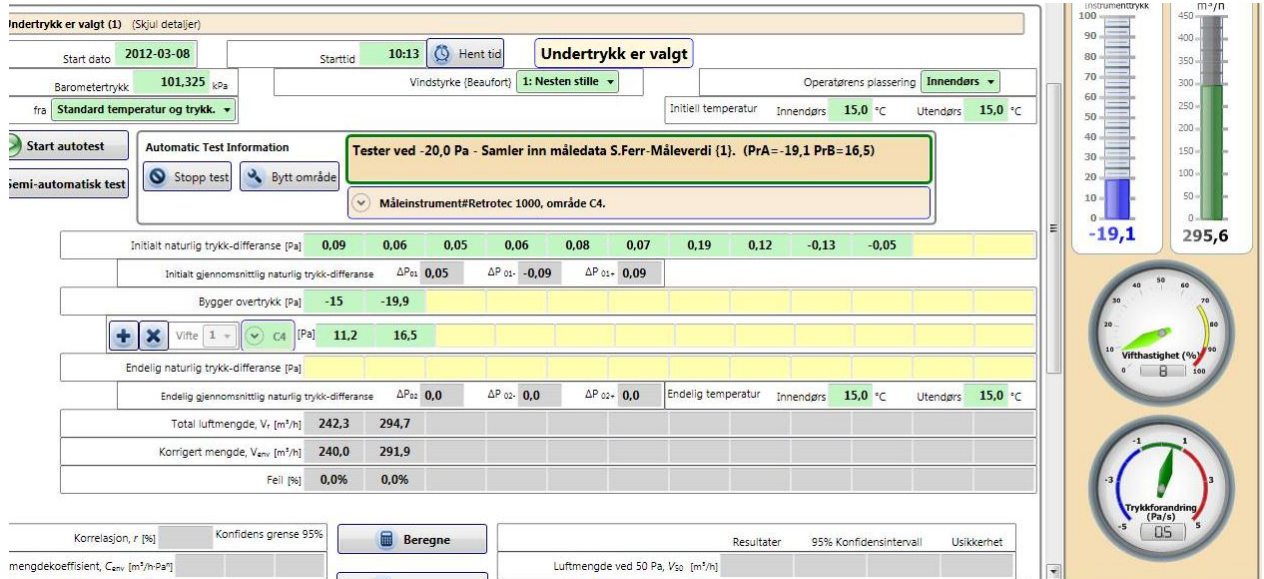
Differansetrykktesten beregnet differansen mellom lufta som strømmet inn gjennom vifta og målt trykkoppbygging i rommet. Det ble tatt høyde for feilkilder i form av statiske trykkforskjeller ved oppstart, og avslutning av differansetrykktesten. Retrotecs programvare «Fan Testic» loggførte trykktestingen og genererte en rapport som inneholdt målingene.

Innretningen består av følgende utstyr:

- Justerbare ramme som var kledd med en duk
- Vifte som målte trykkdifferanse mellom 0-60 Pa og estimerte luftmengden som forsvinner igjennom klimaskjermen
- PC med programvare «Fan Testic»
- Manometer

### 3.2.2 Fremgangsmåte ved differansetrykktesting

Programmet «Fan Testic» er bygd opp i henhold til NS-EN 13829 (Standard Norge, 2010), se figur 13 som illustrerer utformingen av programmet.



Figur 13: Skjerm bilde av programmet «Fan Testic»

Følgende prosedyre ble utført:

- De kontrollerte lekkasjeåpningene ble enten lukket eller åpnet avhengig av type forsøk som skulle gjennomføres i etterkant med INERGEN. Lekkasjeåpningene ble regulert ved bruk av gaffateip
- Temperaturen ble lest av et termometer inne i forsøksrommet, og [www.yr.no](http://www.yr.no) ble benyttet til å lese av temperaturen ute
- Luftmåleren ble plassert inne i rommet
- Den justerbare rammen ble plassert inne i dørkarmen, rammen ble strammet godt i alle kanter slik at døråpningen ble tett
- Vifta ble plassert i duken og festet godt i rammen
- Manometer ble koblet til PC ved bruk USB kabel og strømtilførsel ble koblet til vifte, manometer og PC
- Startet programmet «Fan Testic»
- Søkte etter instrumenter og startet testen dersom søket ble vellykket
- «Fan Testic» målte naturlig trykkdifferanse inne og ute
- «Fan Testic» målte luftmengde og trykkdifferansen mellom ute og inne 10 ganger ved en økning på 5 Pa (10 måleringer på 15 Pa, 20 Pa, 25 Pa, 30 Pa, 35 Pa, 40 Pa, 45 Pa, 50 Pa, 55 Pa og 60 Pa)

### 3.2.3 Resultater differansetrykktesting

Tabell 7 viser en oversikt over lekkasjeåpninger og tilhørende kontrollert lekkasjeareal i forsøkene. Benevnelsene f0, f1, f2 står for forsøk 0,1 og 2 osv. Forsøk f0 og f5 hadde henholdsvis det minste og det største lekkasjearealet.

Tabell 7: Oversikt over forsøk

Forsøk	kontrollerte åpninger oppe	kontrollerte åpninger nede	Totalt areal- kontrollerte åpninger [cm <sup>2</sup> ]
f0 <sup>1</sup>	0	0	0,00
f1	0	0	49,0
f2	4	4	139,4
f3	8	8	229,8
f4	12	12	320,2
f5	16	16	410,0
f6	16	0	229,8
f7	0	16	229,8
f8 <sup>2</sup>	8	8	229,8

<sup>1</sup>På alle forsøkene bortsett fra f0 var de vertikale åpningene åpne

<sup>2</sup>I f8 (naturlig ventilasjon) var det kun åpent oppe på «vegg 2» og bare nede på «vegg 1».

Forsøk f0 - f5 defineres som symmetriske lekkasjescenarioer og forsøk f6 - f8 defineres som asymmetriske lekkasjescenarioer. Beskrivelse av de ulike forsøkene kan leses i tabell 7. F.eks. under f6 var alle hullene oppe på «vegg 1» og «vegg 2» åpne, mens alle åpningene nede var stengt.

Ved å gjøre både en over- og undertrykkstest skapes en større pålitelighet i lekkasjetallet, og gjennomsnittet av lekkasjetallene brukes videre i rapporten, se tabell 8.

Tabell 8: Lekkasjetall

Forsøk	$n_{50}$ ved overtrykk	$n_{50}$ ved undertrykk	Gjennomsnitt $\overline{n_{50}}$ av over- og undertrykk [skift/h]
	[skift/h]	[skift/h]	
f0	12,6	11,8	12,2
f1	13,9	13,0	13,4
f2	20,9	19,6	20,2
f3	27,6	24,4	26,0
f4	34,7	31,1	32,9
f5	40,6	36,8	38,7
f6	26,6	24,1	25,4
f7	28,7	25,4	27,1
f8	27,6	24,4	26,0

I praksis vil det være vanskelig å vite lekkasjearealet i eksisterende bygg fordi lekkasjearealene ikke er synlige eller målbare. Lekkasjetallet et mer pålitelig tall fordi dette kan kvantifiseres ved en trykkmåling.

### 3.2.4 Årvik gata 9

I Årvik gata 9 ble det trykktestet et eldre verneverdig våningshus, se figur 14. Bygget ble bygd i første halvdel av 1800-tallet, men før 1840. Ca. i år 1900 ble huset bygd på i nord, og mellom 1880-1910 fikk huset et tilbygg mot øst, ifølge samtale med Statsbygg<sup>7</sup>. Det var for øvrig kun den eldste delen som ble trykktestet. Her ble det gjort trykkmålinger med ventilatordøren 11. april 2012 for å anslå lekkasjetallet i et verneverdig byggverk.

Huset bestod av to etasjer. Første etasje rommet inngangsparti/gang, kjøkken, bad og to stuer. Andre etasje bestod av en hems, et soverom og loft.

Under befaring viste det seg at loftet måtte være nokså utett. Det ble observert synlige åpninger i taket og merkbar trekk. I første etasje ble det ikke observert noen synlige lekkasjer, men listene rundt vinduene så ut til å være i dårlig stand.

<sup>7</sup> Statsbygg, avdeling HSH. Samtale 10.04.12.





**Figur 14: Våningshus i Årvik gata 9**

Det ble valgt å utføre en differansetrykktest av loftet og en av stuen. Stuen som ble valgt hadde to dører, en dør mot «stue2» og en til inngangsparti. Døren mot gangen egnet seg best til plassering av ventilatordøren. Den andre døren mot «stue 2» var utett rundt listene og karmen.

Det ble gjort tre differansetrykktester av våningshuset:

- Test 1 loft
- Test 2 stue: Tettet ikke igjen åpninger rundt dør mot «stue 2»
- Test 3 stue: Tettet igjen åpninger rundt dør mot «stue 2»

Resultatene kort oppsummert:

- Test 1 loft: Klarte ikke å lage overtrykk ved 15 Pa
- Test 2 stue: Lekkasjetall: 26,71 skift/h
- Test 3 stue: Lekkasjetall: 12,35skift/h

Det viste seg at loftet var for trekkfullt i forhold til det viften klarte å skape av overtrykk i rommet. Det antas at lekkasjetallet ville blitt høyere enn det største lekkasjetallet som ble observert i resultatene av forsøksrommene, se tabell 8.

Lekkasjetallet ble nærmere 27 skift/h i test 2 av stuen. Ettersom det ble observert en del utettheter rundt døren mot neste stue ble det antatt at det ble presset mer luft ut til neste rom enn hva som trengte gjennom klimaskjermen. Det ble derfor utført en ny test av stuen, men med god tetting rundt døren. I test 3 ble lekkasjetallet 12,4 skift/h, lekkasjetallet ble vesentlig lavere enn i test 2. Ifølge Dalaker(2009) var lekkasjetallet 15 skift/h for småhus bygd i 1920. Siden våningshuset ble bygd i 1840 er det vanskelig å sammenligne lekkasjetallene, ettersom de er bygd i ulike tidsepoker. Det er likevel verdt å merke at lekkasjetallet til våningshuset ble mindre enn erfaringstallet.

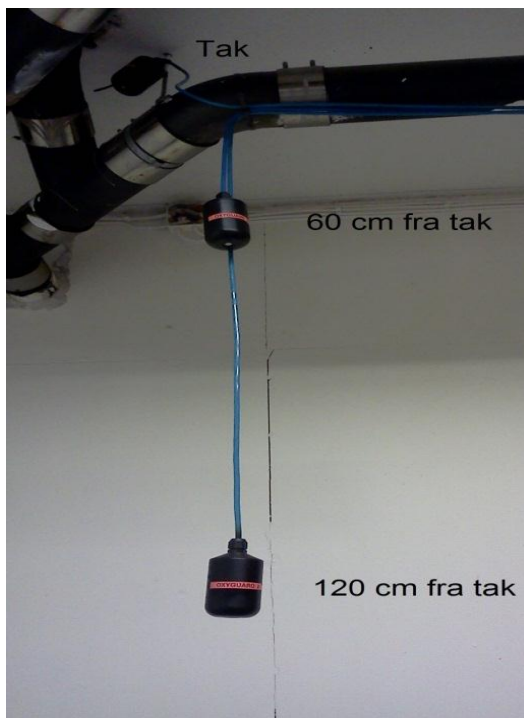
### 3.3 Måleutstyr

Ettersom slokkemekanismen til INERGEN er oksygenfortrengning, ble slokkegasskonsentrasjonen målt indirekte via oksygenkonsentrasjonen ved fire forskjellige høyder i rommet.

#### Oksygenmålere

Det ble plassert fire oksygenmålere i rommet (se figur 15 og 16) i fire ulike nivåer:

- Oksygenmåler 1 - 11 cm under taket
- Oksygenmåler 2 - 60 cm under taket
- Oksygenmåler 3 - 120 cm under taket
- Oksygenmåler 4 - på gulvet



Figur 15: Oksygenmålerne



Figur 16: Oksygenmåler på gulv

Oksygenmåler 1-3 er produsert av OxyGuard. Oksygenmålingene ble loggført automatisk ved hjelp av en «Graphtec midi Logger GL220» under forsøket. Oksygenmåler 4 var av typen Dräger Pac 7000 og hadde en responstid på 10 s (Dräger, u.å.). Denne ble plassert på gulvet og oksygenkonsentrasjonen ble lest av hvert minutt under forsøkene. Oksygenmålerne ble plassert i samme XY- retning men i ulik Z-retning (høyde).

Oksygenmåler 2 ble plassert 60 cm fra taket slik at den kunne sammenlignes med et nedovervendt sprinklerhode. I følge NS-EN 12845 Faste brannsløkkesystemer – Automatiske sprinklersystemer: Dimensjonering, installering og vedlikehold (Standard Norge, 2009) punkt 12.1.2 skal minste klaringen under spredeplaten i taksprinkling være 0,5 m. Dersom det antas at sprinklerdysen i seg selv bygger 10 cm ut fra taket vil dette samlet tilsvare en avstand på 60 cm. Avstanden mellom sprinklerhode og lagring må være 0,5 m grunnet vannets bevegelsesmønster.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

### **3.4 Fremgangsmåte ved forsøk**

For å kvalitetssikre forsøkene og forberedelsene ble det laget en sjekkliste som ble benyttet for hvert forsøk, se vedlegg C.

I korte trekk ble følgende prosedyre gjennomført før forsøkene:

- Utførte differansetrykkmåling
- Åpnet garasjeporten for å sikre fri tilluft
- Støvsugde rommet
- Noterte dato samt hvem som befant seg i rommet under forsøket
- Noterte antall kontrollerte åpninger oppe og nede
- Registrerte temperatur inne og ute før forsøket
- Justerte oksygenmålerne til å være 20,8 - 21 % ved start
- Noterte på sjekklisten hva oksygenmålerne viste etter justering
- Startet oksygenmålerne
- Aktiverte INERGEN anlegget manuelt og startet stoppeklokke

Under forsøket ble følgende prosedyre fulgt

- Oksygenprosenten i luften ble lest av måleren på gulvet hvert minutt
- Spesielle hendelser eller merknader ble notert
- Leste av trykkmåleren ved holdetiden (10 minutt)

## 4 Teoretisk holdetid

NFPA beskriver en teoretisk beregningsmetode for å regne ut holdetid til slokkegasser. Ut ifra formler og beskrivelser i NFPA(2012 ed) Annex C og data fra differansetrykkmetoden ble det laget en beregningsmodell i Excel for teoretisk holdetid av INERGEN. Figur 17 viser beregningsmodellen i Excel. Fremgangsmåte og behandling av data er beskrevet i vedlegg B.

Modell for INERGEN ut fra NFPA - Annex C			
rho_IG-541	1,41 kg/m <sup>3</sup>	tetthet Inergen	
rho_a	1,2 kg/m <sup>3</sup>	tetthet luft	
Ci	54,2 %	fyllingsgrad	
g	9,81 m/s <sup>2</sup>	gravitasjon	
H0	3 m	max fyllningshøyde	
P1d(-10Pa)	-10 Pa	målt undertrykk ved -10Pa	
P2d(-50Pa)	-48 Pa	målt undertrykk ved -50Pa	
Q1d	0,039 m <sup>3</sup> /s	viftehastighet ved P1d	
Q2d	0,102 m <sup>3</sup> /s	viftehastighet ved P2d	
P1p(+10Pa)	10 Pa	målt overtrykk ved +10Pa	
P2p(+50Pa)	48,6 Pa	målt overtrykk ved +50Pa	
Q1p	0,036 m <sup>3</sup> /s	viftehastighet ved P1p	
Q2p	0,097 m <sup>3</sup> /s	viftehastighet ved P2p	
Pbt	0,13 Pa	statisk lufttrykk før test	
F	0,5 C.2.8.1.2	lekkasjefraksjon fra NFPA	
H	2,4 C.2.8.1.4	minste slokkehøyde [m]	
P_bias_hold	0,7 Pa	målt trykk i holdetid	
V	29 m <sup>3</sup>	totalt volum	
rho_mi	1,314 kg/m <sup>3</sup> C.2.6.1.3	tetthet for luft/gassblanding	
P_mi	3,35 Pa C.2.6.1.4	kolonnenrykk fra slokkegass	
P1	10 Pa C.2.7.3.2a	gjennomsnitt av P1p og P1d	
P2	48,3 Pa C.2.7.3.2b	gjennomsnitt av P2p og P2d	
Q1	0,0375 m <sup>3</sup> /s C.2.7.3.2c	gjennomsnitt av Q1p og Q1d	
Q2	0,0995 m <sup>3</sup> /s C.2.7.3.2d	gjennomsnitt av Q2p og Q2d	
n	0,62 C.2.7.3.3a	strømningskoeffisient mellom[0,48-0,85]	
k1	0,009 C.2.7.3.3b	strømningskonstant	
k2	0,007 C.2.8.1.1	mellomliggende beregnings variabel	
holdetid to lag			
k3	0,888 C.2.8.1.5.1a	forenklingskonstant	
k4	0,557 C.2.8.1.5.1b	forenklingskonstant	
t	904 s C.2.8.1.5.1c	holdetid i sekunder	
<u>15 min 5 s</u>		<b>holdetid i minutter</b>	

**Figur 17: Beregningsmodell for teoretisk holdetid. Modellen viser forsøk 0 ved høyden 60 cm under taket (H = 2,4 m). Teoretisk beregnet holdetid i denne høyden ble 15 minutter og 5 sekunder.**

Modellen ble benyttet til å beregne teoretisk holdetid for de 6 forsøkene med symmetrisk plassert lekkasjeareal (f0- f5) i høyden 60 cm fra taket. For nærmere beskrivelse av lekkasjescenarioene, se tabell 7. De teoretisk beregnede holdetidene for høyden 60 cm fra taket er presentert i tabell 9.

**Tabell 9: Oversikt over teoretisk beregnet holdetid ihht. NFPA**

Forsøk	Lekkasjetall [skift/h]	Teoretisk beregnet holdetid 60 cm fra taket
f0	12,2	15 min og 5 s
f1	13,4	12 min og 51 s
f2	20,2	6 min og 58 s
f3	26,0	6 min og 27 s
f4	32,9	4 min og 33 s
f5	38,7	4 min og 12 s

Holdetidene som ble beregnet for slokkehøyden (60 cm fra tak) ble plottet som funksjon av tilhørende lekkasjetall og sammenlignet med resultatene fra forsøkene. Sammenligningen mellom teoretisk beregnet holdetid og resultatene fra forsøkene er illustrert i figur 23.



## 5 Resultat

I forsøkene med INERGEN ble oksygenkonsentrasjonen studert for hvert lekkasjesenario og lekkasjetall. Tabell 10 viser de laveste O<sub>2</sub> konsentrasjonene som ble målt i de fire høydene (i tak, 60 cm fra tak, 120 cm fra tak og på gulv) under de ulike forsøkene.

Tabell 10: Laveste oksygenkonsentrasjon målt i fire høyder

Forsøk	Lekkasjetall [skift/h]	Laveste O <sub>2</sub> [%] <sup>1</sup>	Laveste O <sub>2</sub> [%] <sup>2</sup>	Laveste O <sub>2</sub> [%] <sup>3</sup>	Laveste O <sub>2</sub> [%] <sup>4</sup>
f0	12,2	13,0	13,7	13,4	13,0
f1	13,4	13,0	13,1	13,5	12,9
f2	20,2	13,0	13,3	13,1	13,0
f3	26,0	13,2	13,4	13,6	13,0
f4	32,9	13,2	13,5	13,6	13,1
f5	38,7	13,7	14,0	14,1	13,5
f6	25,4	13,4	13,5	14,0	13,4
f7	27,1	13,5	13,6	14,4	13,4
f8	26,0	13,8	14,0	14,0	13,7

<sup>1</sup> Registrert av oksygenmåler på gulvnivå

<sup>2</sup> Registrert av oksygenmåler 60 cm fra tak

<sup>3</sup> Registrert av oksygenmåler 120 cm fra tak

<sup>4</sup> Registrert av oksygenmåler i tak

Tabell 10 viser at de laveste O<sub>2</sub> konsentrasjonene ble målt i taket, men O<sub>2</sub> konsentrasjonen i taket viste seg å være også den som økte raskest. Dette vises i tabell 11 og illustreres tydelig i figur 18 og 19 senere i rapporten. Tabell 11 viser at lekkasjetallet påvirker oksygenkonsentrasjonen i rommet og tiden det tar før oksygenkonsentrasjonen ble over 15 % under forsøkene.

**Tabell 11: Lekkasetall og tid til oksygenkonsentrasjon er over 15 %**

Forsøk	Lekkasetall [skift/h]	Laveste O <sub>2</sub> [%] <sup>1</sup>	Tid O <sub>2</sub> % > 15 % 1
f0	12,2	13,7	27 min 3 s
f1	13,4	13,1	20 min 0 s
f2	20,2	13,3	15 min 13 s
f3	26,0	13,4	17 min 26 s
f4	32,9	13,5	11 min 34 s
f5	38,7	14,0	10 min 47 s
f6	25,4	13,5	19 min 35 s
f7	27,1	13,6	17 min 26 s
f8	26,0	14,0	15 min 5 s

<sup>1</sup> Registrert av oksygenmåler 60 cm fra tak

Forsøk 5 representerer det mest utette rommet. Ut ifra tabell 11 tok det ca. 10 minutter før O<sub>2</sub> konsentrasjonen var over 15 % (målt 60 cm under tak), mens på det tetteste forsøket (f0) tok det nesten 30 min før O<sub>2</sub> konsentrasjonen var over 15 %.

I tabell 12 beskrives forsøkene som hadde symmetriske lekkasjeareal med lekkasetall og hvor lenge oksygenkonsentrasjonen holdt seg under 15 % i høyden 60 cm under taket.

**Tabell 12: Resultater fra forsøk med symmetriske lekkasjer, 60 cm fra taket**

Forsøk	f0	f1	f2	f3	f4	f5
Lekkasetall [skift/h]	12,2	13,4	20,2	26	32,9	38,7
Samlet tid under 15 %	17 min 56 s	17 min 40 s	12 min 39 s	15 min 3 s	9 min 11 s	8 min 9 s

Ut i fra tabell 12 ser man at lekkasetallet har en sammenheng med hvor lenge O<sub>2</sub> konsentrasjonen holder seg under 15 %. Ytterpunktene f0 og f5 viser en tydelig forskjell ved at O<sub>2</sub> konsentrasjonen i f0 holder seg over det dobbelte som i f5.

### 5.1 Resultat fra forsøk

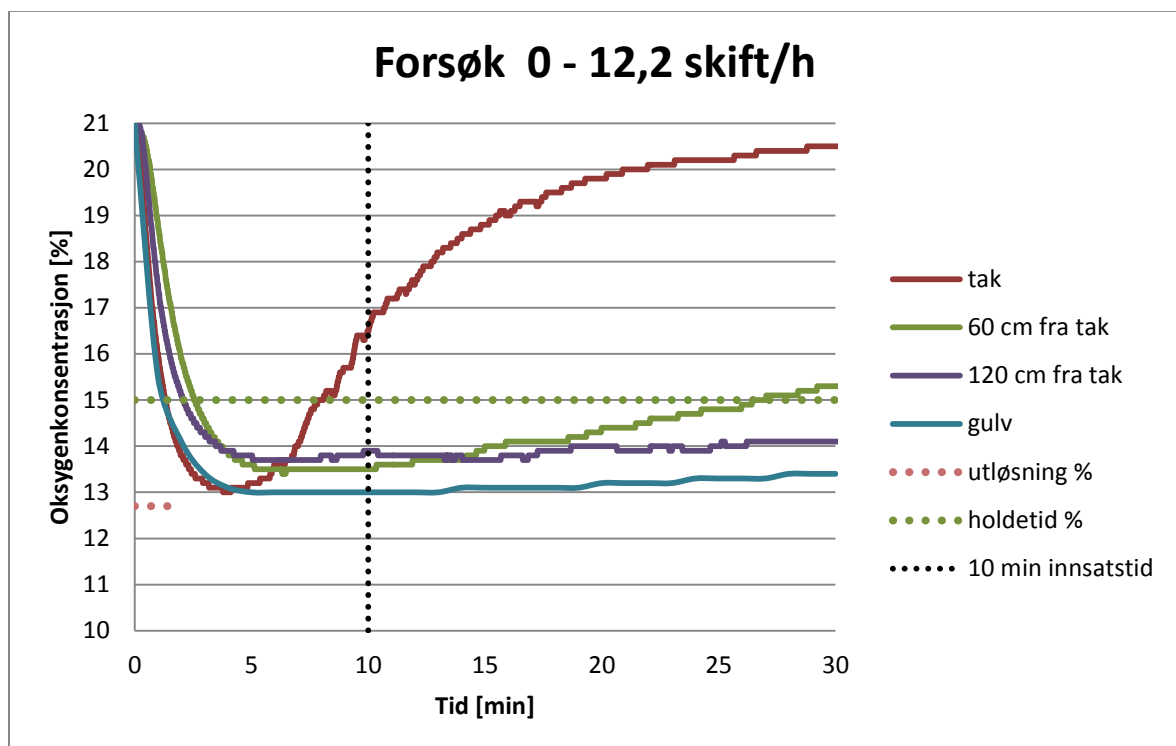
O<sub>2</sub> konsentrasjonen ble påvirket av størrelsen og plasseringen av lekkasjearealet, samt i hvilken høyde målingene ble foretatt. Forsøk 0 og 5 representerer forsøkene med lavest og høyest lekkasetall. Forsøkene f0 og f5 vil derfor bli nærmere presentert i dette underkapittelet fordi de representerer ytterpunkt i forsøksintervallet som ble gjennomført.

I f0 ble lekkasjetallet 12,2 skift/h (alle kontrollerte åpninger var lukket). I f5 ble lekkasjetallet 38,7 skift/h (alle kontrollerte åpninger ble holdt åpne).

### 5.1.1 Oksygenkonsentrasjon målt i f0 og f5

I tabell 10 ble de laveste registrerte O<sub>2</sub> konsentrasjonene presentert fra hvert forsøk. I figur 18 og 19 beskrives henholdsvis resultatene fra forsøkene med lavest og høyest lekkasjetall (f0 og f5). Resultatene fra de andre forsøkene ligger i vedlegg D.

Figur 18 viser at O<sub>2</sub> konsentrasjonen i f0 målt i takhøyde ble 13,0 % etter ca. 4 min, men at holdetiden i denne høyden ble kort (ca. 7 min). Oksygenmåleren på gulvet registrerte også den laveste O<sub>2</sub> konsentrasjonen til å være 13,0 %, men hadde en betydeligere lengre holdetid. Forsøket ble stoppet etter 30 min og O<sub>2</sub> konsentrasjonen lå da på ca. 13,4-13,5 %. I denne høyden var derfor O<sub>2</sub> konsentrasjonen mest stabil og varierte lite.



**Figur 18: Oksygenkonsentrasjon vs. tid for forsøk f0 med et lekkasjetall på 12,2. Tid før O<sub>2</sub> konsentrasjonen kom over 15 % ved 60 cm fra tak var 27 min.**

Oksygenmåleren i høyden 120 cm fra tak registrerte en høyere O<sub>2</sub> konsentrasjon enn oksygenmåleren på gulvet, men var rimelig stabil gjennom tiden forsøket varte. O<sub>2</sub> konsentrasjon kommer ned i 13,4 % og etter 30 min ble oksygenkonsentrasjonen ca. 14,1 %.

Målingene av O<sub>2</sub> konsentrasjonen i høyden 60 cm fra taket viste at oksygenkonsentrasjonen var nokså lik O<sub>2</sub> konsentrasjonen 120 cm under tak. Tiden til O<sub>2</sub> konsentrasjonen kom over 15 % ble ca. 27 min, se tabell 11.

Tabell 13 viser den laveste O<sub>2</sub> konsentrasjonen og tiden den ble registrert av hver oksygenmåler i f0. Tiden til O<sub>2</sub> konsentrasjonen i de ulike høydene var over 15 % kan også leses av i kolonnen til høyre.

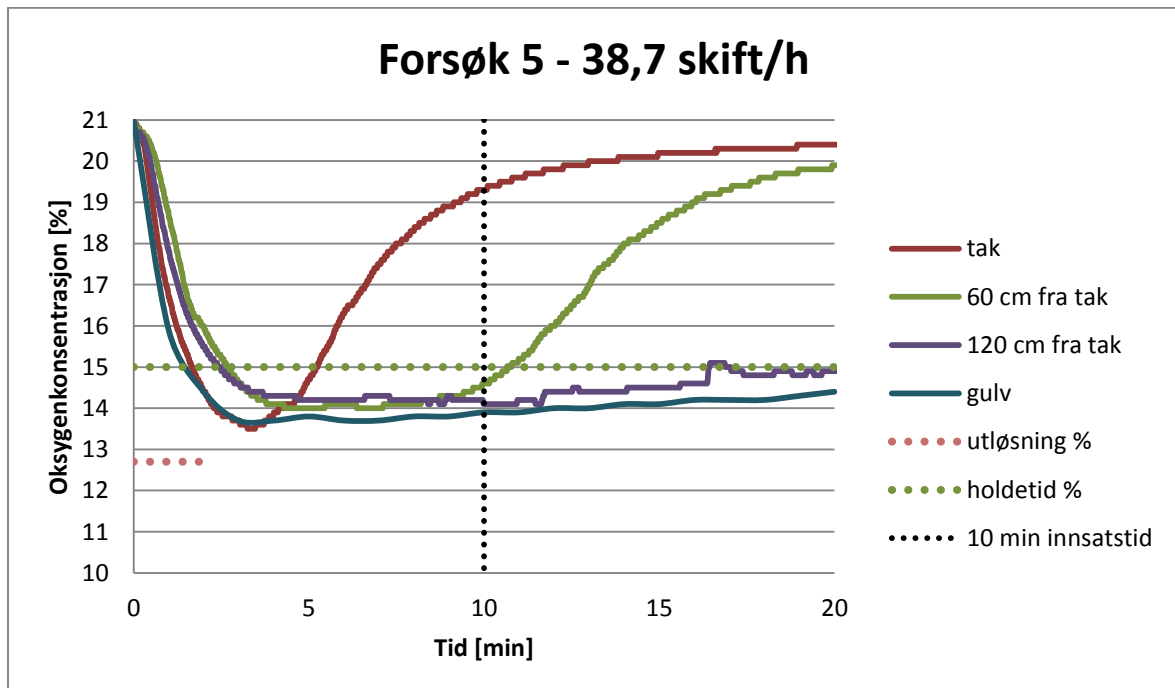
Tabell 13: Forsøk 0

Plassering av oksygenmålere	Laveste O <sub>2</sub> [%]	Tid til laveste O <sub>2</sub> [%]	Tid til O <sub>2</sub> passerer 15 %
Gulv	13,0	5 min 0 s	30 min <sup>1</sup>
120 cm fra tak	13,7	5 min 4 s	30 min <sup>1</sup>
60 cm fra tak	13,4	6 min 20 s	27 min 3 s
Tak	13,0	3 min 48 s	8 min 7 s

<sup>1</sup>Testens varighet var 30 minutter, forsøket beskriver derfor ikke noe utover dette tidsintervallet.

Under f5 ble lekkasjetallet over tre ganger høyere sammenlignet med f0. Figur 19 viser at laveste O<sub>2</sub> konsentrasjonen i f5 målt i tak er 13,5 % (etter ca. 4 min), mens tiden det tok før O<sub>2</sub> konsentrasjon steg over 15 % var mellom 5 og 6 min. På gulv var oksygenkonsentrasjonen nokså lik under hele forsøket etter at den oppnådde den laveste O<sub>2</sub> konsentrasjonen (13,7 % etter ca. 4 min). Fra 4 min til 20 min steg O<sub>2</sub> konsentrasjonen fra 13,7 til ca. 14,2 %.

Oksygenmåleren som var plassert 120 cm under taket registrerte også under dette forsøket en høyere oksygenkonsentrasjon enn måleren på gulvnivå, men var mindre stabil sammenlignet med samme måling i f0. Etter ca. 17 min var oksygenkonsentrasjonen over 15 % i denne høyden.



Figur 19: Oksygenkonsentrasjon vs. tid for forsøk f5 med et lekkasjetall på 38,7. Tid før O<sub>2</sub> passerte over 15 % ved 60 cm fra tak var ca. 11 min.

Oksygenmåleren som var plassert 60 cm under tak nådde laveste O<sub>2</sub> konsentrasjon, 14 %, etter ca. 10 min, se tabell 10. Etter ca. 11 min var O<sub>2</sub> konsentrasjon over 15 % i denne

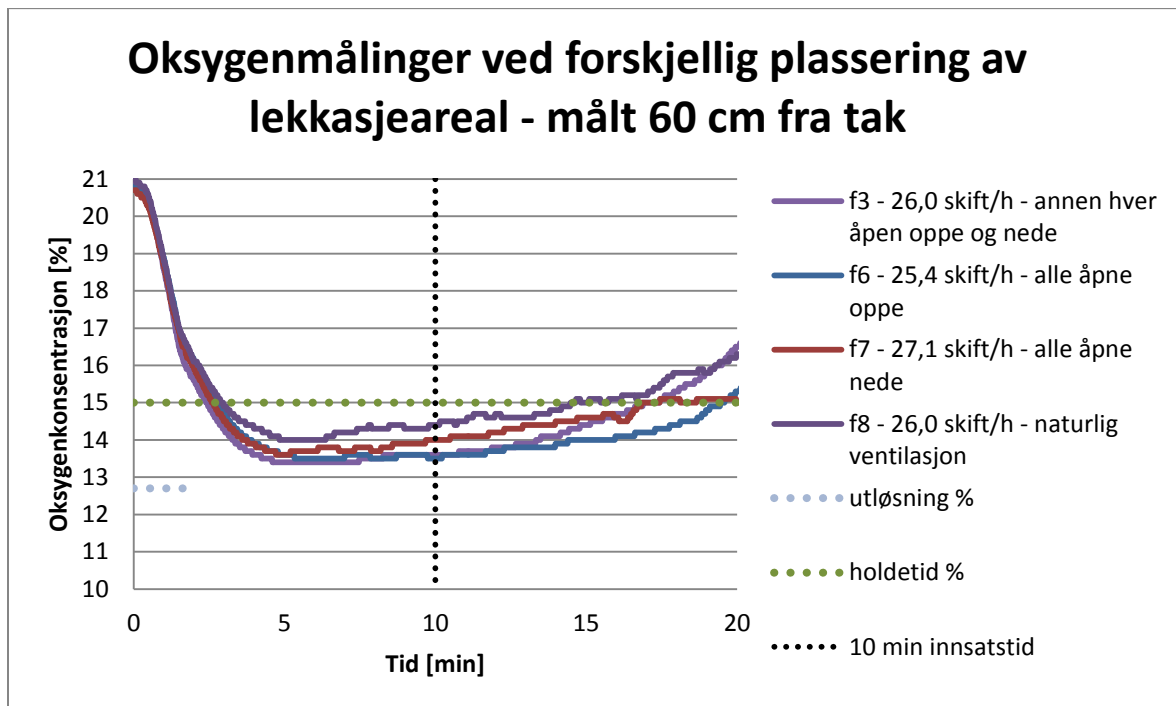


høyden. Fra 11 min til 20 min steg O<sub>2</sub> konsentrasjon fra å ligge rundt 15 % til å ligge på ca. 19 % (nesten som i vanlig luft), se figur 19.

Forsøk 5 viser de samme trendene som f0, men økningen av lekkasjearealene ga en reduksjon i holdetiden. Forsøkene f0 og f5 viste at INERGEN konsentrasjonen målt i taket raskt ble redusert som følge av en tetthetsforskjell mellom INERGEN og luft.

### 5.1.2 Sammenligning av lekkasjescenarioer med likt lekkasjetall

Det var fire forsøk (f3, f6, f7 og f8) som hadde likt eller tilnærmet likt lekkasjetall, men ulike lekkasjescenario, se tabell 7 og 8. I høyden 60 cm under tak ble O<sub>2</sub> konsentrasjonen sammenlignet for alle forsøkene, som presentert i figur 20.



Figur 20: Oksygenkonsentrasjon 60 cm fra tak

På figur 20 vises en trend mellom forsøkene med forskjellig plassering av lekkasjeareal. Laveste O<sub>2</sub> konsentrasjon ble oppnådd i de ulike forsøkene omtrent på samme tid (etter 4 min). Selv om den laveste oksygenkonsentrasjonen (fra alle forsøkene) ble målt i f3, var ikke tiden til O<sub>2</sub> konsentrasjonen oppnådde 15 % lengst under dette forsøket. Tiden til O<sub>2</sub> konsentrasjonen oppnådde 15 % varierte fra ca. 12 til 17 min, hvor f8 representerte den korteste tiden og f6 den lengste, se tabell 11. Ulikheten mellom f6 og f8 er lekkasjescenarioet, se tabell 7.

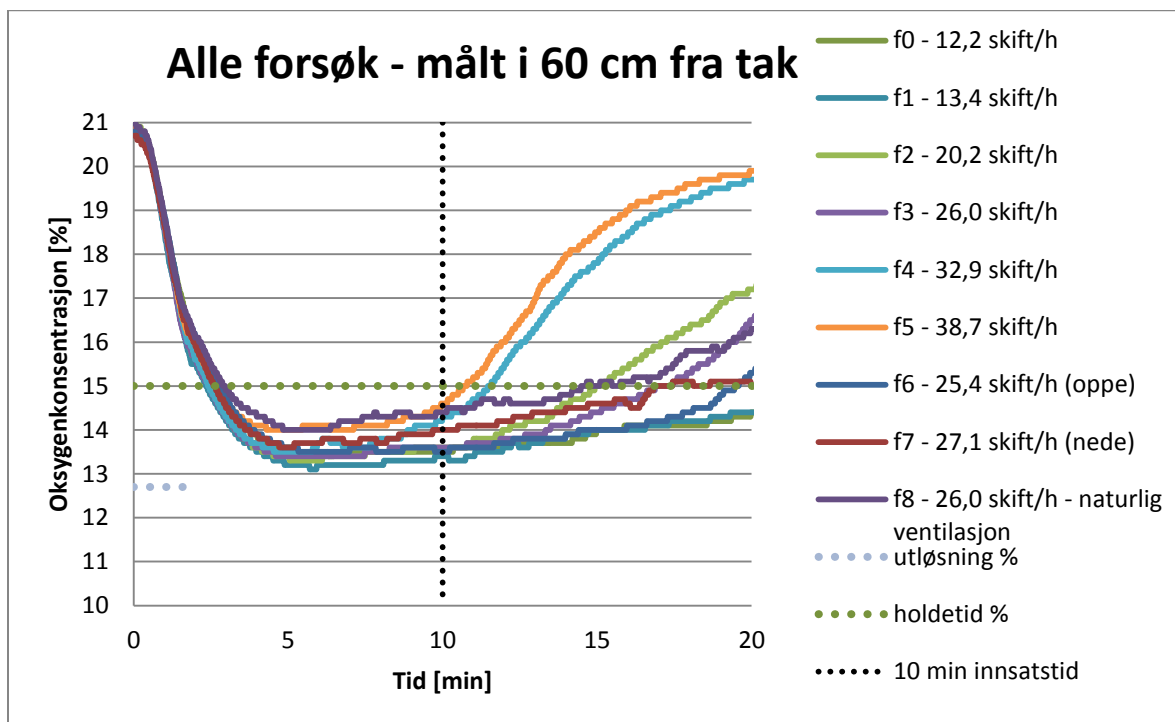
Det må nevnes at f8 ble inkludert selv om trykket på INERGEN flasken som ble brukt var lavere enn på de andre forsøkene (260 bar).

Tabell 14: Resultater fra forsøk med likt lekkasjetall

Forsøk	f3	f6	f7	f8
Lekkasjetall [skift/h]	26,0	25,4	27,1	26,1
Laveste O <sub>2</sub> [%]	13,4	13,5	13,6	14
Tid til O <sub>2</sub> % går over 15 %	17 min 27 s	19 min 36 s	17 min 27 s	15 min 5
Samlet tid under 15 %	15 min 3 s	16 min 52 s	14 min 52 s	12 min 19 s

### 5.1.3 Alle forsøk målt 60 cm fra tak

Tidligere i rapporten ble forsøkene delt inn i to kategorier, forsøk med asymmetriske- og symmetriske lekkasjeåpninger. Ved å legge alle forsøkene i en graf kan det illustreres hvordan O<sub>2</sub> konsentrasjonen påvirkes av både lekkasjescenario, lekkasjetall og lekkasjeareal.



Figur 21: Oksygenkonsentrasjon målt 60 cm fra tak for alle lekkasjescenarioene.

Figur 21 viser at oksygenkonsentrasjonen målt i f5 og f4 skilte seg ut, ved at de steg raskt etter ca. 10-11 min og holdt seg under 15 % O<sub>2</sub> i kortere tid enn de resterende målingene, se tabell 12. Resultatene i figur 21 viste at effekten av symmetri først ble dominerende ved meget høye lekkasjetall.

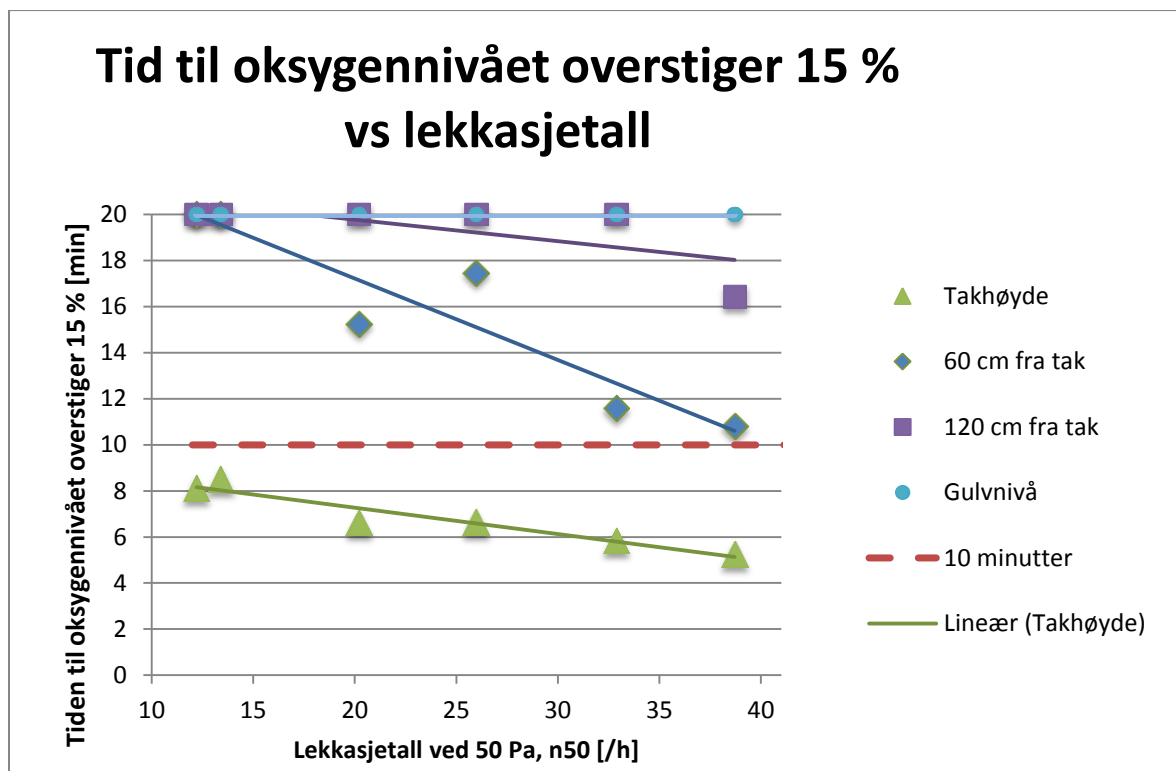
I henhold til NFPA er symmetriske lekkasjeareal definert som «verst tenkelige». I f4 og f5 ble det brukt symmetriske lekkasjescenario og det ble målt lekkasjetall på henholdsvis 32,9

og 38,7 skift/h. Likheten mellom f4 og f5 var at også i f4 var O<sub>2</sub> konsentrasjonen 60 cm under taket omtrent normalisert som i vanlig luft (21 %) etter 20 minutter.

O<sub>2</sub> konsentrasjonen i f0 og f1 var de laveste og mest stabile gjennom forsøket. Forsøkene f0 og f1 hadde de laveste lekkasjetallene på henholdsvis 12,2 og 13,4 skift/h og det ble brukt symmetriske lekkasjescenario, se tabell 7 og 8. Det er verdt å merke at grafene til f0 og f1 ligger noe oppå hverandre. I starten viste det seg at O<sub>2</sub> konsentrasjonen målt i f1 å være lavere enn i f0, mens etter ca. 14 min er O<sub>2</sub> konsentrasjonen i f0 lavest.

### 5.1.4 Holdetid vs. Lekkasjetall

Figur 22 viser sammenhengen mellom holdetid og lekkasjetall. Det ble valgt å presentere sammenhengen mellom de symmetriske lekkasjescenarioene, dvs. f0-f5.



**Figur 22: Sammenheng mellom holdetid og lekkasjetall. Ved alle lekkasjetall viser måling av O<sub>2</sub> konsentrasjon i takhøyde at tiden før O<sub>2</sub> konsentrasjonen overstiger 15 % er alltid kortere enn 10 min (rød linje).**

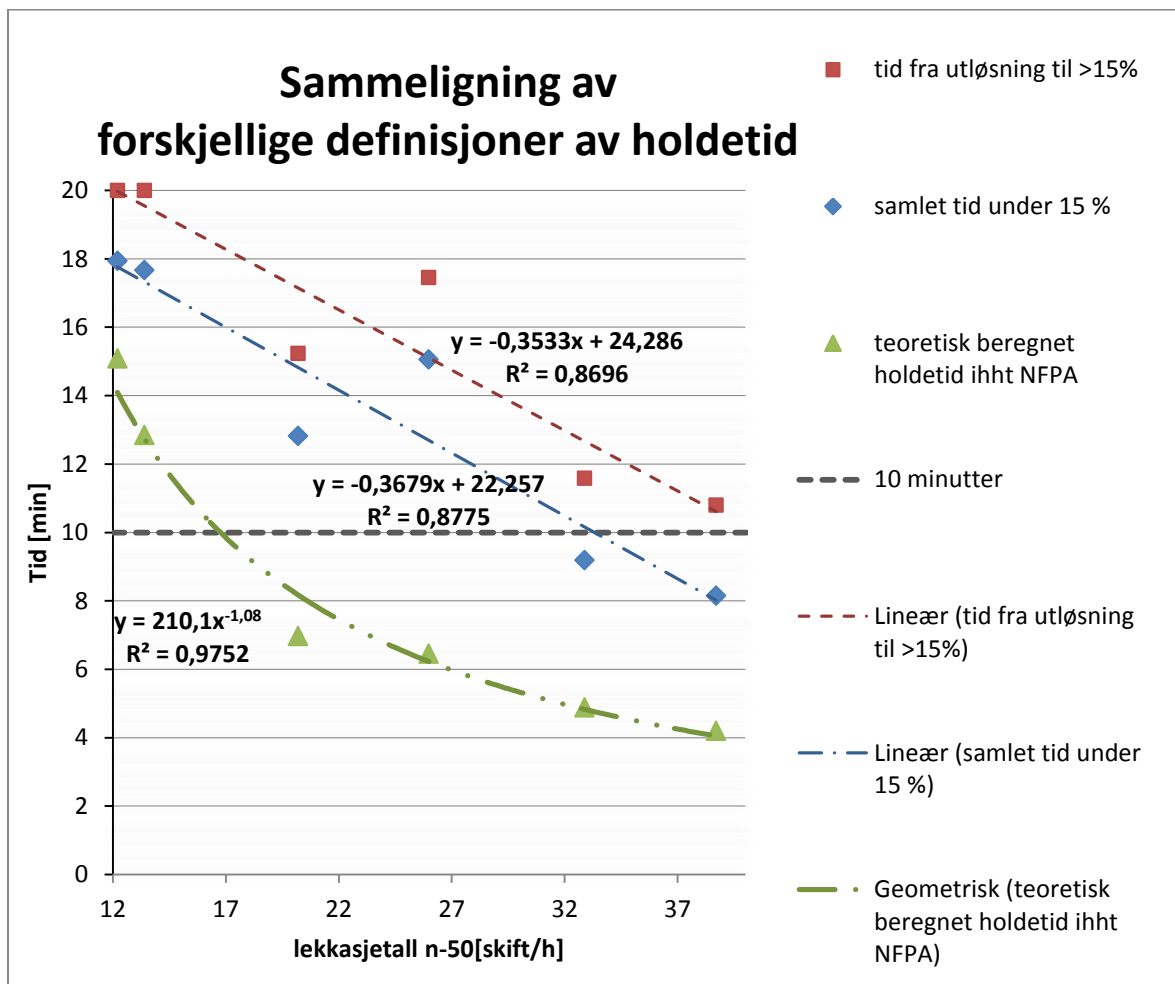
O<sub>2</sub> konsentrasjonen i taket passerte 15 % før de andre høydene i f0-f5, dette illustreres i figur 22. De lengste holdetidene som ble registrert i takhøyde var rundt 8 min ved f0 og f1.

For høyder lavere enn 60 cm under tak viser figur 22 at O<sub>2</sub> konsentrasjonene holdes i lengre tid under 15 %. Ved sammenligning av O<sub>2</sub> konsentrasjonene og en 10 minutters innsatstid vil det finnes slokkedyktig konsentrasjon av gassen i høyden opptil 60 cm fra tak.

På gulvnivå holdt O<sub>2</sub> konsentrasjonen seg under 15 % i 20 min eller mer i alle forsøkene. I høyden 120 cm fra taket ble tiden O<sub>2</sub> konsentrasjon holdt seg under 15 % kortere dersom lekkasjetallet økte. Ved det laveste lekkasjetallet på 12,2 skift/h vil O<sub>2</sub> konsentrasjon holde seg under 15 % i 20 min eller mer, mens ved lekkasjetall på 38,7 vil O<sub>2</sub> konsentrasjonen bare holde seg under 15 % i 10-11 min.

Beregningene av teoretisk holdetid i kapittel 4 er plottet i figur 23. Dette ble beregnet for forsøkene som hadde symmetrisk plasserte lekkasjeareal (f0-f5) i høyden 60 cm fra taket. Den teoretiske holdetiden beregnet ut fra NFPA er markert med grønt i figur 23, og ble tilnærmet med en geometrisk trendlinje. Trendlinjen er definert med funksjonen  $y = 210,1x^{-1,08}$ , der y representerer tiden [min] og x representerer lekkasjetallet [skift/h]. Grafen er definert for lekkasjetall i intervallet 12,2 til 38,7 skift/h. Den geometriske tilnærmingen har en  $R^2$  verdi på 0,9752.

I følge Thomas(2010) er en trendlinje en tilnærming til et sett med datapunkter. Tilnærmingen velges ut fra samlet vertikal avstand fra datapunktene til trendlinja. Linja som gir minst sammenlagt avstand regnes som den beste tilnærmingen til datapunktene.  $R^2$  verdien i figur 23 beskriver kvaliteten på tilnærmingen til datapunktene i intervallet 0 til 1. Verdier nær 1 regnes for å være bedre enn verdier nær 0.



Figur 23: Sammenligning av forskjellige definisjoner av holdetid i 60 cm høyde fra taket

Tiden fra slokkeanlegget ble utløst til oksygenkonsentrasjonen gikk over 15 % ble tilnærmet lineær med linja  $y = - 0,3533x + 24,286$ . Variabelen y representerer tiden [min] og x representerer lekkasjetallet [skift/h]. Denne tiden er markert med rødt i figur 23. Tilnærmingen har en  $R^2$  verdi på 0,8696.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Den samlede tiden oksygenkonsentrasjonen var under 15 % i forsøkene ble tilnærmet lineær med linja  $y = -0,3679x + 22,257$ . Variabelen  $y$  representerer tiden [min] og  $x$  representerer lekkasjetallet [skift/h]. Denne tiden er markert med blått i figur 23. Tilnærmingen har en  $R^2$  verdi på 0,8775.

## 5.2 Feilkilder

IMT beregningene av forsøksrommet krevde at volumet skulle beskyttes med en flaske INERGEN med 300 bar, dette tilsvarer 20,7 kg INERGEN ved 15°C. Det viste at det kun var 260 bar på flasken i forsøk f8 (naturlig ventilasjon), dermed ble resultatene fra dette forsøket litt misvisende.

Lekkasjerearealet ble regulert med gaffateip. Når anlegget utløses skapes det et trykk på veggene, og det kan ha medført at teipen kan ha løsnet litt under forsøkene. Dersom hullene ikke var teipet godt nok, kan det ha gitt utslag på resultatene.

Oksygenmålerne kan hatt målefeil siden de ble justert før hvert forsøk. I f1 ble oksygenmåler 2 justert til 20,9 %  $O_2$ , og resultatene viste at etter kort tid steg den til 23,8 %  $O_2$ .

Det var personer inne i forsøksrommet i alle forsøkene. Disse kan ha forstyrret resultatene. Dette viste seg i målingene som ble gjort 120 cm fra taket som nevnt i kap. 6.

Ved beregning av teoretisk holdetid ble viftehastigheten ved 10 Pa ekstrapolert fra målingene fra differansetrykktestene. Disse verdiene ble kontrollert opp mot viftehastigheten målt ved 15 Pa. Feilkilder knyttet til dette kan ha påvirket grafen for den teoretiske holdetiden til NFPA.



## 6 Diskusjon

I denne oppgaven er opprettholdelsen av en slokkedyktig konsentrasjon med INERGEN, undersøkt ved å endre størrelsen på og plasseringen av lekkasjeareal. Lekkasjearealet ble kvantifisert ved differansetrykktesting i størrelsen lekkasjetall.

### 6.1 Oksygenkonsentrasjon vs. Lekkasjetall

Ettersom symmetriske lekkasjer ble beskrevet som verst tenkelige scenario for slokkeanlegg med gass i NFPA, ble det valgt å utføre flest forsøk ved dette scenarioet. Forsøkene ble utført med lekkasjetall i størrelsesordenen 12,2 til 38,7 skift/h. Til sammenligning skal småhus som bygges i dag ha lekkasjetall mindre eller lik 2,5 skift/h og kontorbygg mindre eller lik 1,5 skift/h. Multiconsult sine erfaringstall med småhus bygget i 1920 var på 15 skift/h. Det brukte forsøksintervallet for lekkasjetall ble valgt for å ivareta utettheter i verneverdige bygg.

#### 6.1.1 Generell innvirkning av lekkasjetall

Resultatene viste tydelig at luft og INERGEN etter en tid legger seg i to lag med luft øverst og INERGEN i resten av rommet, se figur 18. Denne lagdelingen kan ses tydelig ved at oksygenivået var høyere i taket enn i de andre høydene i rommet. Lagdelingen skyldes sannsynligvis at INERGEN er tyngre enn luft, i kombinasjonen med lekkasjeåpninger.

Oksygenivået steg raskere og på et tidligere tidspunkt med økende lekkasjetall særlig etter 20 minutter, se figur 18 og 19. Oksygenkonsentrasjonen målt i slokkehøyde var da 14,4 % i f0 mens den var 19,9 % i forsøk f5. Oksygenkonsentrasjonen på 15 % ble oppnådd etter 27 min og 3 s i f0 og etter 10 min og 48 s i f5. Oksygenmålingene fra alle forsøkene finnes i vedlegg D.

I denne studien ble det valgt å se nærmere på høyden 60 cm fra tak. Dette var for å sammenligne slokkesystemet med et nedovervendt sprinklerhode som har slokkeeffekt ca. 60 cm fra tak grunnet bevegelsesmønsteret til vannet. Oksygenkonsentrasjonen målt i gulv og i 120 cm høyde fra taket er lik eller lavere enn oksygenkonsentrasjonen målt 60 cm fra taket, i alle forsøkene. Derfor anses målingene av oksygenkonsentrasjonen 60 cm fra taket, som representativ minsteverdi for alle høydene under.

Oksygenkonsentrasjonen målt 120 cm fra taket har noen irregulære sprang i flere av forsøkene. Dette kommer fram av grafen som viser symmetriske lekkasjer 120 cm fra tak og er lagt i vedlegg D. Dette antas å være forårsaket av bevegelse fra personene som var i forsøksrommet. Fra f5 og utover forsvant disse sprangene, samtidig som personene i forsøksrommet stod mest mulig i ro under forsøket. En sannsynlig forklaring er at bevegelsene i rommet setter lufta i bevegelse slik at de to lagene blandes mer sammen og oksygenmålingene forstyrres.

#### 6.1.2 Innvirkning i slokkehøyde, 60 cm fra taket

I alle forsøkene ble oksygenkonsentrasjonen i slokkehøyde 60 cm fra taket målt til å være under 15 % de 10 første minutter etter anlegget var utløst, se figur 21 og 22. Dette innebærer at gassen fortsatt har slokkeeffekt når brannvesenet ankommer dersom det er 10 minutters innsatstid.

Sammenligning av alle forsøkene i slokkehøyde viste at det var først ved store lekkasjetall at symmetriske lekkasjer skilte seg ut som verst tenkelige slik som NFPA antyder. Ved



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



store lekkasjetall steg oksygenkonsentrasjonen ganske hurtig etter 10 min. I tidsrommet 10 til 15 min steg oksygenkonsentrasjonen nokså hurtig med henholdsvis 0,78 og 0,70 % pr. min i f5 og i f4. Det er verdt å merke seg at disse lekkasjetallene for de sistnevnte forsøkene var betydelig høyere enn Multiconsults erfaring i eldre hus, slik det fremgår av tabell 6. Erfaringene er knyttet til småhus helt tilbake til 1920, der lekkasjetallet var i størrelsesorden 15 skift/h.

## **6.2 Effekten av plassering av lekkasjeareal**

Forsøkene med like store, men ulik plassering av lekkasjeareal ga relativt like oksygenkonsentrasjoner i høyden 60 cm fra taket. NFPA sin beskrivelse av «det verst tenkelige scenario» viste seg å være betydelig først ved lekkasjescenario med store lekkasjeareal.

## **6.3 Holdetid vs. lekkasjetall**

Holdetid er definert som tiden hvor konsentrasjonen av slokkemiddelet er slokkedyktig og ifølge NFPA skal holdetiden være 10 min. Laveste slokkekonsentrasjonen ble definert til å være 15 % oksygen, se vedlegg A.

De ulike definisjonene av holdetiden knyttet til innsatstid, samlet tid under brennbarhetsgrensa og forhindring av re-antennning ga ulike resultater av holdetid ved forskjellige lekkasjetall. Ut fra definisjonen knyttet til innsatstid holdt oksygenkonsentrasjonen seg under 15 % etter 10 minutter fra utløsning med alle lekkasjetallene som er undersøkt (12,2-38,7 skift/h).

Figur 23 viser de forskjellige definisjonene av holdetid tilnærmet med trendlinjer. Ut fra R<sup>2</sup> verdien til trendlinjene er tilnærmingen til den teoretiske holdetiden noe bedre enn de to tilnærmingene til datapunkt fra forsøkene. Den teoretiske holdetiden ut fra NFPA angir mer konservative holdetider i slokkehøyde enn de målte holdetidene i forsøkene. Det største avviket finner sted ved lekkasjetall rundt 26 skift/h. Da var den teoretiske holdetiden 6 min og 27 s. Forsøket f3 viste en samlet tid under 15 % oksygen på 15 min og 3 s og at det tok 17 min og 27 s fra utløsning av anlegg til oksygenkonsentrasjonen gikk over 15 %.

Oksygenkonsentrasjonen holdt seg under 15 % i 10 min med lekkasjetall mindre eller lik 33,3 skift/h, som er skjæringspunktet mellom 10 min og linjen som representerer samlet tid under 15 % O<sub>2</sub> på figur 23. Den teoretiske holdetiden i NFPA vil ikke bli opprettholdt ved større lekkasjetall enn 16,8 skift/h. Dette viser at den teoretiske holdetiden i NFPA er en betydelig mer konservativ beregning av holdetid enn de to andre tilnærmingene. Eksempelvis vil teoretisk holdetid i taket alltid være null ut fra NFPA, mens forsøkene har vist at det var en slokkedyktig konsentrasjon i flere minutter (fra ca. 2-6 min) i denne høyden.

Målingene fra forsøkene viste at oksygenkonsentrasjonen vil være under 15 % i en lengre tidsperiode enn det NFPA skisserer som teoretisk holdetid. NFPA tar til gjengjeld høyde for hindring av re-antennning. Tilnærmingene fra forsøkene inneholder ingen sikkerhetsmargin. Resultatene har kun sikkerhetsmargin i form av at modellen er utformet på basis av forsøk med det som defineres av NFPA som verst tenkelige lekkasjer. Dersom resultatene fra forsøkene skal benyttes til beregninger må en større sikkerhetsmargin bli lagt inn i holdetiden eller lekkasjetallet.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Sprinkleranlegg dimensjoneres for å holde brann under kontroll til brannvesen kommer til stedet. I verneverdige bygg hvor interiøret vil bli ødelagt ved eksponering av vann kan det være hensiktsmessig å dimensjonere anlegget for å hindre re-antennning. Dette medfører at anlegget slokker brannen framfor å kontrollere den. Dette kan hindre at interiøret blir utsatt for vannpåkjenning under slokkeinnsats fra brannvesenet.

#### **6.4 Designkonsentrasjon**

I henhold til NFPA skal oksygenkonsentrasjonen være nede i design konsentrasjonen i løpet av utløsningstiden. For disse forsøkene tilsier dette en oksygenkonsentrasjon på 12,7 %. I forsøkene som ble utført viste det seg at oksygenkonsentrasjonen aldri kom ned i designkonsentrasjonen. Dette skyldtes trolig lekkasjearealene i forsøksrommet ettersom INERGEN-anlegget i utgangspunktet ble prosjektert for å beskytte et volum uten lekkasjeareal.

For å nå designkonsentrasjonen kan en løsning være å tilføre mer gass i starten. Det er verdt å merke at anlegget må dimensjoneres slik at oksygenkonsentrasjonen ikke blir under 10 % (LOAEL), ettersom dette setter begrensninger for når personene må være ute av bygget.

#### **6.5 Bruk av INERGEN i verneverdige bygg**

Forsøk 0 viste at oksygenkonsentrasjonen holdt seg under 15 % oksygen i omtrent 27 minutter 60 cm fra taket. Lekkasjetallet i f0 var 12,2 skift/h, noe som tilsvarer et småhus fra 1940, ifølge Multiconsults erfaringstall. Slokkekonsentrasjonen i dette forsøket holdt seg nesten 3 ganger så lang tid som nødvendig. Ved høyere lekkasjetall enn 12,2 skift/h var også holdetiden lengre enn 10 min. Det var ikke før lekkasjetallet var rundt 33 skift/h at holdetiden var for kort dersom man ser på hvor lang tid oksygenkonsentrasjonen ligger under 15 %. Dette viser at INERGEN-anlegg kan benyttes i verneverdige hus med lekkasjer.

Tabell 6 over Multiconsults erfaringstall viste at det høyeste lekkasjetallet som hadde blitt erfart var 15 skift/h. I denne rapporten var det høyeste lekkasjetallet som ble testet 38,7 skift/h. Ved større lekkasjetall enn 16,8 skift/h blir ikke den teoretiske holdetiden i NFPA ivarettatt (holdetid på 10 min). Resultatene viste at ble slokkedyktig konsentrasjon opprettholdt i 10 min ved lekkasjetall opptil 33,3 skift/h. Dette tyder på at det kan bli benyttet større lekkasjetall enn hva NFPA antyder. Ifølge beregningene i NFPA er det nødvendig med kompensierende tiltak dersom INERGEN skal brukes i verneverdige bygg med større lekkasjetall enn 16,8 skift/h. Ut ifra forsøksresultatene kan lekkasjetallet være opptil 33,3 skift/h.

På bakgrunn av resultatene i dette arbeidet kan INERGEN brukes i verneverdige bygg. I bygg med store lekkasjeareal må det brukes kompensierende tiltak. Aktuelle tiltak kan være å supplere med mer gass i starten og eventuelt underveis for å øke holdetiden. Alternativt kan det vurderes å utbedre de største utetthetene i bygget.





## 7 Konklusjon

I denne rapporten vurderes muligheter og begrensninger ved bruk av slokkegassen INERGEN i verneverdige bygg. Eldre verneverdige bygg har utfordringer knyttet til lekkasjer, og fordi interiøret ofte representerer store verdier er alternativer til vannbaserte slokkesystemer ettertraktet. I tillegg kan problemstilling rundt lang innsattid og dårlig vanntilførsel gjøre alternativer til slokkesystemer med vann mer aktuelle.

Problemstillingen i denne oppgaven var vinklet mot bygg med store lekkasjeareal og det ble undersøkt hvor lenge en slokkedyktig konsentrasjon av INERGEN kunne bli opprettholdt.

For å belyse problemstillingen ble det utført praktiske forsøk i et forsøksrom hvor det var mulighet for å regulere lekkasjeåpningene. Differansetrykkmetoden ble benyttet for å kvantifisere graden av utetthet ved forskjellige lekkasjescenario. Det ble utført flere forsøk der et INERGEN-anlegg ble utløst i forsøksrommet. For å fastslå om det var slokkedyktig konsentrasjon i rommet ble oksygenmålinger utført i fire høyder i 20-30 minutter. Resultatene fra forsøkene ble sammenlignet med teoretisk beregnet holdetid ut fra NFPA.

Resultatene ble sammenlignet med et nedovervendt sprinklerhode som vil ha en slokkehøyde opptil ca. 60 cm fra taket. Dette var bakgrunnen for nærmere undersøkelse av målingene av oksygenkonsentrasjonen 60 cm fra taket. Resultatene viste at forskjellig lekkasjescenario hadde liten innvirkning på holdetiden. Det var først ved store lekkasjetall (32,8 og 38,7 skift/h) at de symmetriske lekkasjescenarioene skilte seg ut som «verst tenkelige». Holdetiden avtok med økende lekkasjetall. Den teoretisk beregnede holdetiden ut fra NFPA viste seg å være mer konservativ enn de andre tilnærmingene til holdetid.

Designkonsentrasjonen ble ikke oppnådd under utløsningstiden i noen av forsøkene. Dette var sannsynligvis en konsekvens av at anlegget var dimensjonert som om det ikke var lekkasjeåpninger. Målingene viste at det er behov for noe mer gass under utløsningen slik at designkonsentrasjonen blir oppnådd.

På bakgrunn av forsøkene vurderes det at verneverdige bygg med store lekkasjeareal kan beskyttes med INERGEN. Dersom det skal installeres slokkeanlegg med INERGEN i verneverdige bygg må utettheten kvantifiseres ved differansetrykktesting, slik at anlegget tilpasses lekkasjetallet. I verneverdige bygg med større lekkasjetall enn 33,3 skift/h bør INERGEN-anlegget ha kompenserende tiltak. Det må legges inn en sikkerhetsmargin i lekkasjetallet. Kompenserende tiltak kan være å supplere med gass eller utbedre de største utetthetene i bygget.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## 8 Videre arbeid

Resultatene kan videreføres i et eksisterende verneverdig bygg, slik at sammenhengen som ble funnet mellom slokkekonsentrasjonen og lekkasjetallet blir testet. I videre arbeid kan det også utføres forsøk med en reell brann i forsøksrommet for å underbygge resultatene.

En annen ide til videre arbeid kan være å prøve ut kompensierende tiltak. Det kan utføres forsøk hvor det suppleres med gass i de tilfellene hvor slokkekonsentrasjonen og holdetiden ikke tilfredsstiller kravene. Det er viktig å merke at oksygenivået i rommet må være over et visst nivå av sikkerhetsmessige grunner. Dette begrenser hvor mye gass som kan suppleres.

Videre kan det undersøkes hvordan vind påvirker slokkekonsentrasjonen, slik at det kan vurderes om vinden har stor betydning. Dette kan eksempelvis undersøkes ved fullskalaforsøk eller CFD modellering.

En generell problemstilling i alle typer bygg er at de har dører og vinduer som kan bli åpnet i løpet av holdetiden. På grunnlag av at resultatene viste at åpninger ville virke inn på slokkekonsentrasjonen, kan det testes i hvilken grad åpning av dører og vinduer kan være akseptabelt. Her kan det vurderes hvorvidt det er nødvendig med selvlukking av dører.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



## 9 Referanser

- Beyler, C. L. (2002). Flammability Limits of Premixed and Diffusion Flames. I: P.J. DiNenno (Editor-in-Chief), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (s.2-172 – 2-187). Third edition. Massachusetts (USA): National Fire Protection Association, Inc.
- Cote, A. E. & Powell, P. A. (2008). *Fire Protection Handbook*. 20<sup>th</sup> ed. Quincy: National Fire Protection Association.
- Dalaker, L. (2009). *Notat 03-09: Biblioteker for energimerkeordningen – Oversikt over biblioteker*. Rev 1.3. Oslo: Multiconsult AS
- DiNenno, P.J. (2002). Halon Replacement Clean Agent Total Flooding Systems. I: P.J. DiNenno (Editor-in-Chief), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (s.4-173 – 4-200). Third edition. Massachusetts (USA): National Fire Protection Association, Inc.
- Drysdale, D. (1999). *An Introduction to Fire Dynamics*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Dräger. (u.å.). *Dräger Pac® 7000*. Hentet 1. mai 2012 fra [http://www.draeger.com/AU/en/products/gas\\_detection/portable/single/cin\\_pac\\_7000.jsp](http://www.draeger.com/AU/en/products/gas_detection/portable/single/cin_pac_7000.jsp)
- Fire Eater A/S. (2011). *Control Inert Ci: Manual for UL Listed Extinguishing System*. Hillerød: Fire Eater A/S.
- Forebyggende forskriften. (2002). *FOR 2002-06-26 nr. 847: Forskrift om brannforebyggende tiltak og tilsyn*. Hentet 23. april 2012 fra <http://www.lovdata.no/for/sf/jd/xd-20020626-0847.html>
- Forskrift om organisering av brannvesen. (2002). *FOR 2002-06-26 nr. 729: Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen*. Hentet 23.april 2012 fra: <http://www.lovdata.no/for/sf/jd/xd-20020626-0729.html>
- Hagen, B. C. (2004). *Grunnleggende brannteknikk*. Haugesund: Hagen forlag.
- Harper, C. A. (2004). *Handbook of Building Materials for Fire Protection*. New York: McGRAW-HILL
- Jensen, G. (2004). *A white paper on: Water Mist for Protection of Heritage*. Trondheim: Interconsult på vegne av Directorate for Cultural Heritage, Norway.
- NFPA. (2012 ed). *Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems*. 2012 ed. (NFPA® 2001). Quincy: National Fire Protection Association.
- OFAS. (u.å.). *Gass – Generelt*. Hentet 22. april 2012 fra Opplysningskontoret for automatiske slokkeanlegg: <http://www.slokkeanlegg.no/Slokkeanlegg/Gass>
- Opstad, K. & Stensaas, J.P. (1998). *Håndbok i Branntekniske Analyser og – Beregninger*. Trondheim: SINTEF Bygg og Miljøteknikk - Norges branntekniske laboratorium
- Sand, O., Sjaastad, Ø. V., Haug, E. & Bjålie, J. G. (2006). *Menneskekroppen – Fysiologi og anatomi*. Otta: Gyldendal Norske Forlag.
- Schmidt Pedersen Kjell, Wighus Ragnar, Mostue Bodil Aamnes, Aune Petter, NBL, Drangsholt Geir, TekØk AS. (2003). *VANNTÅKE ANVENDT I BYGNINGER. Utredning*



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

om forsknings- og utviklingsbehov. (SINTEF rapport; NBL A04103). Trondheim: Sintef Norges branntekniske laboratorium AS



Sintef Byggforsk. (2009). 550.361 *Sprinkleranlegg*. Byggforskserien byggdetaljer. Hentet fra <http://bks.byggforsk.no/>

Standard Norge. (2008). *Faste brannsløkkesystemer – Gass-sløkkesystemer Del 1: Planlegging, installasjon og vedlikehold* (NS-EN 15004-1:2008). Oslo: Standard Norge.

Standard Norge. (2009). *Faste brannsløkkesystemer – Automatiske sprinklersystemer: Dimensjonering, installering og vedlikehold* (NS-EN 12845:2004+A2:2009). Oslo: Standard Norge.

Standard Norge. (2010). *Bygningers termiske egenskaper. Bestemmelse av bygningers luftlekkasje. Differansetrykkmetode* (NS-EN 13829:2000+NA:2010). Oslo: Standard Norge.

Teknisk forskrift. (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk*. Hentet 23.april 2012 fra: <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/tekniskekrav/>

Thomas, G.B. jr. (2010). *Thomas' Calculus*. 12<sup>th</sup> ed. Boston: Addison-Wesley.

UL(2012, 23.april) Hentet 23.april 2012 fra: <http://www.ul.com/global/eng/pages/solutions/standards/about/>

VTEK. (2010). *Veiledning til Forskrift om tekniske krav til byggverk*. Hentet 23.april 2012 fra: <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/tekniskekrav/>



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## 10 Vedlegg

### Figurliste for vedlegg

Figur 24: Beregningsmodell for teoretisk holdetid.....	48
Figur 25: Forsøk 0.....	52
Figur 26: Forsøk 1.....	52
Figur 27: Forsøk 2.....	53
Figur 28: Forsøk 3.....	53
Figur 29: Forsøk 4.....	54
Figur 30: Forsøk 5.....	54
Figur 31: Forsøk 6.....	55
Figur 32: Forsøk 7.....	55
Figur 33: Forsøk 8.....	56
Figur 34: Alle forsøk - målt i takhøyde.....	56
Figur 35: Alle forsøk - målt 60 cm fra tak.....	57
Figur 36: Alle forsøk - målt 120 cm fra tak.....	57
Figur 37: Alle forsøk - målt på gulv.....	58
Figur 38: Oksygenmålinger ved forskjellig plassering av lekkasjeareal - målt i takhøyde.....	58
Figur 39: Oksygenmålinger ved forskjellig plassering av lekkasjeareal - målt 60 cm fra tak.....	59
Figur 40: Oksygenmålinger ved forskjellig plassering av lekkasjeareal - målt 120 cm fra tak.....	59
Figur 41: Oksygenmålinger ved forskjellig plassering av lekkasjeareal - målt på gulv.....	60
Figur 42: Oksygenmålinger ved symmetrisk lekkasjeareal - målt i takhøyde.....	60
Figur 43: Oksygenmålinger ved symmetrisk lekkasjeareal - målt 60 cm fra tak.....	61
Figur 44: Oksygenmålinger ved symmetrisk lekkasjeareal - målt 120 cm fra tak.....	61
Figur 45: Oksygenmålinger ved symmetrisk lekkasjeareal - målt på gulv.....	62
Figur 46: Tid til oksygennivået overstiger 15 % vs. lekkasjetall.....	62
Figur 47: Tid til oksygennivået overstiger 15 % vs. lekkasjetall.....	63
Figur 48: Sammenligning av forskjellige definisjoner av holdetid.....	63



### **Vedlegg A – Utrekning av slokkekonsentrasjon**

For å beregne hvilken oksygenkonsentrasjon MEC tilsvarende multipliseres oksygenkonsentrasjonen i luft med den maksimale volumprosenten luft som kan være i rommet og brannen samtidig slukkes. Oksygenkonsentrasjon beregnes ut ifra formel 3:

$$\text{Konsentrasjon}(O_2) = (1 - MEC) \cdot \text{volumprosent for oksygen i luft} \quad (3)$$

$$\text{Konsentrasjon}(O_2) = (1 - 0,285) \cdot 21,0\% = \underline{15,0\%}$$

Minste slokkekonsentrasjon tilsvarende en oksygenkonsentrasjon på 15,0 %.

Designkonsentrasjonen er MEC multiplisert med en sikkerhetsfaktor og kan beregnes ut ifra formel 4:

$$\text{Designkonsentrasjon} = MEC \cdot \text{sikkerhetsfaktor} \quad (4)$$

For å beregne hvilken oksygenkonsentrasjon som tilsvarende designkonsentrasjonen multipliseres oksygenkonsentrasjonen i luft med den totale volumprosenten luft som vil være i rommet etter utløst anlegg, se formel 5:

$$\text{Konsentrasjon}(O_2) = (1 - \text{Designkonsentrasjon}) \cdot \text{Vol \% } O_2 \text{ i luft} \quad (5)$$

Regner først ut designkonsentrasjonen ifølge formel 4:

$$\text{Designkonsentrasjon} = 28,5\% \cdot 1,2 = 34,2\%$$

Deretter beregnes oksygenkonsentrasjonen som tilsvarende designkonsentrasjonen ved hjelp av formel 5:

$$\text{Konsentrasjon}(O_2) = (1 - 0,342) \cdot 21,0\% = \underline{13,8\%}$$

Design konsentrasjonen tilsvarende en oksygenkonsentrasjon på 13,8 %. Dette betyr at oksygenkonsentrasjonen må ligge under 15,0 % i løpet av hele holdetiden og under utløsningsstiden må oksygenkonsentrasjonen komme under 13,8 %.

Bruker man 50 % romfyllingsgrad får man en design konsentrasjon på ca. 39,3 % som tilsvarende 12,7 % oksygen, dette gir en sikkerhetsfaktor på litt over 1,3.



## Vedlegg B – Beregningsmodell

Figur 24 viser beregningsmodell for teoretisk holdetid i NFPA. Innhenting av data og beregning av verdier blir forklart under figuren.

Modell for INERGEN ut fra NFPA - Annex C			
rho_IG-541	1,41 kg/m <sup>3</sup>		tetthet Inergen
rho_a	1,2 kg/m <sup>3</sup>		tetthet luft
Ci	54,2 %		fyllingsgrad
g	9,81 m/s <sup>2</sup>		gravitasjon
H0	3 m		max fylningshøyde
P1d(-10Pa)	-10 Pa		målt undertrykk ved -10Pa
P2d(-50Pa)	-48 Pa		målt undertrykk ved -50Pa
Q1d	0,039 m <sup>3</sup> /s		viftehastighet ved P1d
Q2d	0,102 m <sup>3</sup> /s		viftehastighet ved P2d
P1p(+10Pa)	10 Pa		målt overtrykk ved +10Pa
P2p(+50Pa)	48,6 Pa		målt overtrykk ved +50Pa
Q1p	0,036 m <sup>3</sup> /s		viftehastighet ved P1p
Q2p	0,097 m <sup>3</sup> /s		viftehastighet ved P2p
Pbt	0,13 Pa		statisk lufttrykk før test
F	0,5	C.2.8.1.2	lekkasjefraksjon fra NFPA
H	2,4	C.2.8.1.4	minste slokkehøyde [m]
P_bias_hold	0,7 Pa		målt trykk i holdetid
V	29 m <sup>3</sup>		totalt volum
rho_mi	1,314 kg/m <sup>3</sup>	C.2.6.1.3	tetthet for luft/gassblanding
P_mi	3,35 Pa	C.2.6.1.4	kolonnenrykk fra slokkekass
P1	10 Pa	C.2.7.3.2a	gjennomsnitt av P1p og P1d
P2	48,3 Pa	C.2.7.3.2b	gjennomsnitt av P2p og P2d
Q1	0,0375 m <sup>3</sup> /s	C.2.7.3.2c	gjennomsnitt av Q1p og Q1d
Q2	0,0995 m <sup>3</sup> /s	C.2.7.3.2d	gjennomsnitt av Q2p og Q2d
n	0,62	C.2.7.3.3a	strømningskoeffisient mellom[0,48-0,85]
k1	0,009	C.2.7.3.3b	strømningskonstant
k2	0,007	C.2.8.1.1	mellomliggende beregnings variabel
<u>holdetid to lag</u>			
k3	0,888	C.2.8.1.5.1a	forenklingskonstant
k4	0,557	C.2.8.1.5.1b	forenklingskonstant
t	904 s	C.2.8.1.5.1c	holdetid i sekunder
<u>15 min 5 s</u>		<b>holdetid i minutter</b>	

**Figur 24: Beregningsmodell for teoretisk holdetid. Modellen viser forsøk 0 ved høyden 60 cm under taket (H = 2,4 m). Teoretisk beregnet holdetid i denne høyden ble 15 minutter og 5 sekunder.**

Tettheten til INERGEN (IG-541) ved standardtemperatur og trykk (21 °C og 1,013 bar) er 1,41 kg/m<sup>3</sup> i følge tabell C.2.7.1.3 i NFPA(2012 ed).

Tettheten til luft ved standardtemperatur og trykk er 1,202 kg/m<sup>3</sup> i følge tabell C1 i NFPA(2012 ed).

Fyllingsgraden ble fylt ut etter prosjekteringsberegningen i IMT.

Maksimal fyllingshøyde (H0) er forsøksrommets totale høyde på 3,0 meter.

I differansetrykktesten måles trykk og viftehastighet. Viftehastigheten må regnes om fra [m<sup>3</sup>/time] til [m<sup>3</sup>/sekund]. Følgende verdier hentes fra differansetrykktesten:

- P<sub>1d</sub> og Q<sub>1d</sub> er målt overtrykk og tilhørende viftehastighet ved første testpunkt (-15 Pa).
- P<sub>2d</sub> og Q<sub>2d</sub> er målt overtrykk og tilhørende viftehastighet ved andre testpunkt (-50 Pa).
- P<sub>1p</sub> og Q<sub>1p</sub> er målt undertrykk og tilhørende viftehastighet ved første testpunkt (+15 Pa).
- P<sub>2p</sub> og Q<sub>2p</sub> er målt undertrykk og tilhørende viftehastighet ved andre testpunkt (+50 Pa).
- Statisk lufttrykk før test(P<sub>bt</sub>)

Når lekkasjetesting foregår for et helt volum (C.2.7.1 NFPA, 2012 ed), er lekkasjefraksjonen(F) lik 0,5 i følge NFPA(2012 ed).

Minste slokkehøyde(H) skal ut fra NFPA(C.2.8.1.4, 2012 ed) bestemmes ut fra nasjonalt regelverk. I Norsk regelverk er ikke dette definert. Denne høyden ble satt til å være 60 cm fra taket for å sammenligne med et nedovervendt sprinklerhode.

Referansetrykket Δp<sub>r</sub> (Pref) er satt til 10 Pa.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Målt trykk i holdetiden ( $P_{\text{bias\_hold}}$ ) ble målt ved hjelp av trykkmåleren fra ventilatordøren, og notert under forsøkene.

Volumet til forsøksrommet ble målt til å være  $29 \text{ m}^3$ .

Tettheten til slokkegassen/luftblandingen ( $\rho_{mi}$ ) ble beregnet ut fra likning C.2.6.1.3 NFPA(2012 ed):

$$\rho_{mi} = \rho_e \frac{C_i}{100} + \left[ \rho_a \frac{(100 - C_i)}{100} \right] \quad (\text{C.2.6.1.3})$$

Der

$$\rho_{e,IG-541} = 1.41 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{ved } 21 \text{ grader og } 1,013 \text{ bar})$$

$C_i$ : slokkegasskonsentrasjonen i volumet ved starten av holdetiden [Vol %]

$\rho_a$ : tettheten til lufta ved 21 grader og 1.013 bar [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

Trykket til luft/slokkegassblandingen ( $P_{mi}$ ) ble beregnet ut i fra formel C.2.6.1.4 i NFPA(2012 ed).

$$P_{mi} = g_n H_o (\rho_{mi} - \rho_a) \quad (\text{C.2.6.1.4})$$

Der:  $G_n$  = akselerasjon grunnet tyngden,  $9,81 \text{ m/s}^2$

$H_o$  = maksimal fyllingshøyde, som er målt volumhøyde [m]

Gjennomsnittstrykkene  $P_1$  og  $P_2$  og tilhørende luftstrømmer  $Q_1$  og  $Q_2$  ble beregnet ut fra følgende formler hentet fra NFPA(2012 ed).

$$P_1 = \frac{(|P_{1p} - P_{br}| + |P_{1d} - P_{br}|)}{2} \quad (\text{C.2.7.3.2a})$$

$$P_2 = \frac{(|P_{2p} - P_{br}| + |P_{2d} - P_{br}|)}{2} \quad (\text{C.2.7.3.2b})$$

$$Q_1 = \frac{(Q_{1p} + Q_{1d})}{2} \quad (\text{C.2.7.3.2c})$$

$$Q_2 = \frac{(Q_{2p} + Q_{2d})}{2} \quad (\text{C.2.7.3.2d})$$

Der alle verdiene hentes ut fra differansetrykktesten.

Strømningseksponenten ( $n$ ) og strømningskonstanten ( $k_1$ ) ble beregnet ut fra følgende formler som er hentet fra NFPA (2012 ed):





$$n = \frac{\ln\left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)}{\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)} \quad (C.2.7.3.3a)$$

N er typisk i størrelsesorden 0,48 til 0,85

$$k_1 = \frac{Q_1}{(P_1)^n} \quad (C.2.7.3.3b)$$

Mellomliggende beregningsvariabel ( $k_2$ ) ble beregnet ut fra følgende formel fra NFPA(2012 ed):

$$k_2 = k_1 \left(\frac{\rho_a}{2}\right)^n \quad (C.2.8.1.1)$$

Forenklingskonstantene  $k_3$  og  $k_4$  samt den teoretiske holdetiden ble beregnet ut fra følgende formler fra NFPA(2012 ed) ettersom slokkemiddelet er tyngre enn luft og ettersom man ser av grafene for oksygenivå i flere høyder at det formes to lag i rommet, luft oppe og slokkegass nede.

$$k_3 = \frac{2g_n |\rho_{mi} - \rho_a|}{\rho_{mi} + \rho_a \left(\frac{F}{1-F}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad (C.2.8.1.5.1a)$$

$$k_4 = \frac{2|P_{bh}|}{\rho_{mi} + \rho_a \left(\frac{F}{1-F}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad (C.2.8.1.5.1b)$$

$$t = \frac{V}{H_o} \left( \frac{(k_3 H_o + k_4)^{1-n} - (k_3 H + k_4)^{1-n}}{(1-n) k_2 F k_3} \right) \quad (C.2.8.1.5.1c)$$



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



### Vedlegg C - Sjekkliste

**InergenForsøk** nr .... med ..... åpninger oppe og .....åpninger nede

Dato	Lekkasjetall	TID: start/slutt	P+10Pa	P+50Pa	P-10Pa	P-50Pa
		-				

Sjekkliste:

- Åpne garasjedøren, for å sikre fri tilluft
- Utført doorfan test (undertrykk)
- Utført doorfan test (overtrykk)
- Justert oksygenmålerne til å være 20,99-21,0
- Lagt inn trykkmåler for holdetid, Pbh = .....Pa
- Plassert håndholdt oksygenmåler i gulvet
- Notert O<sub>2</sub> konsentrasjon ved gulv hvert minutt
- Notert tid start/slutt
- Startet oksygenmåler

**Oksygen %**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

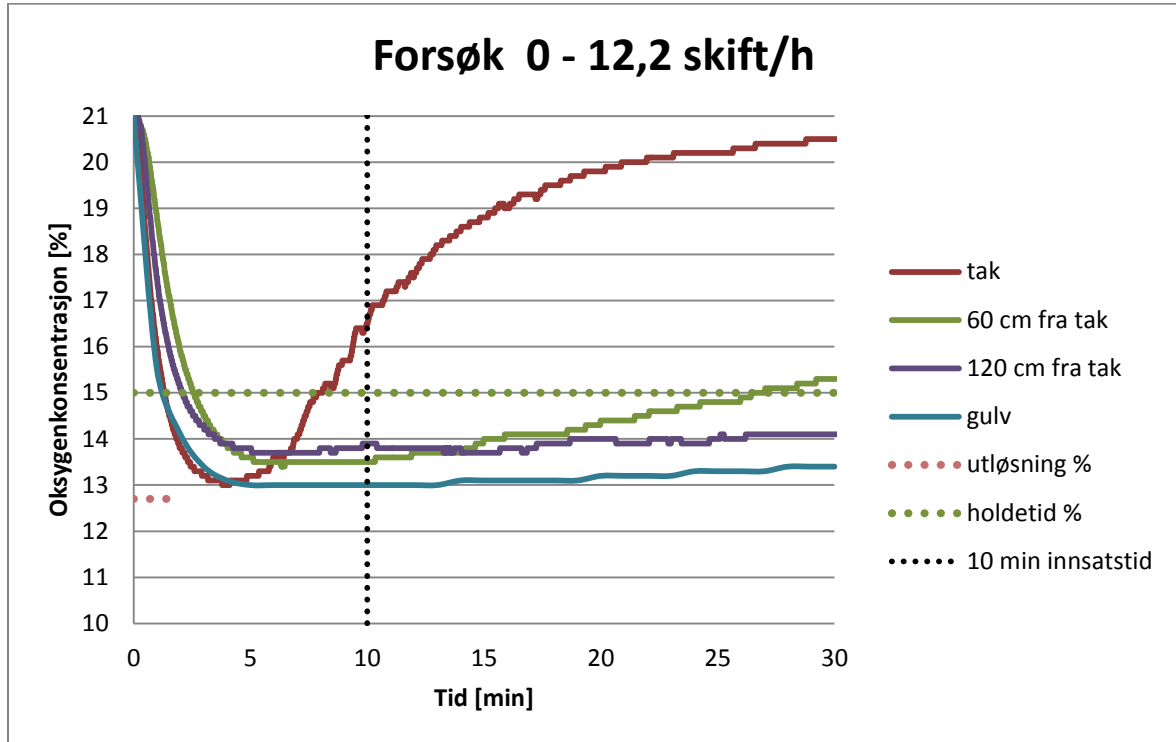
Trykk ved holdetiden var .....

Spesielle hendelse/merknader(marker med tid).....

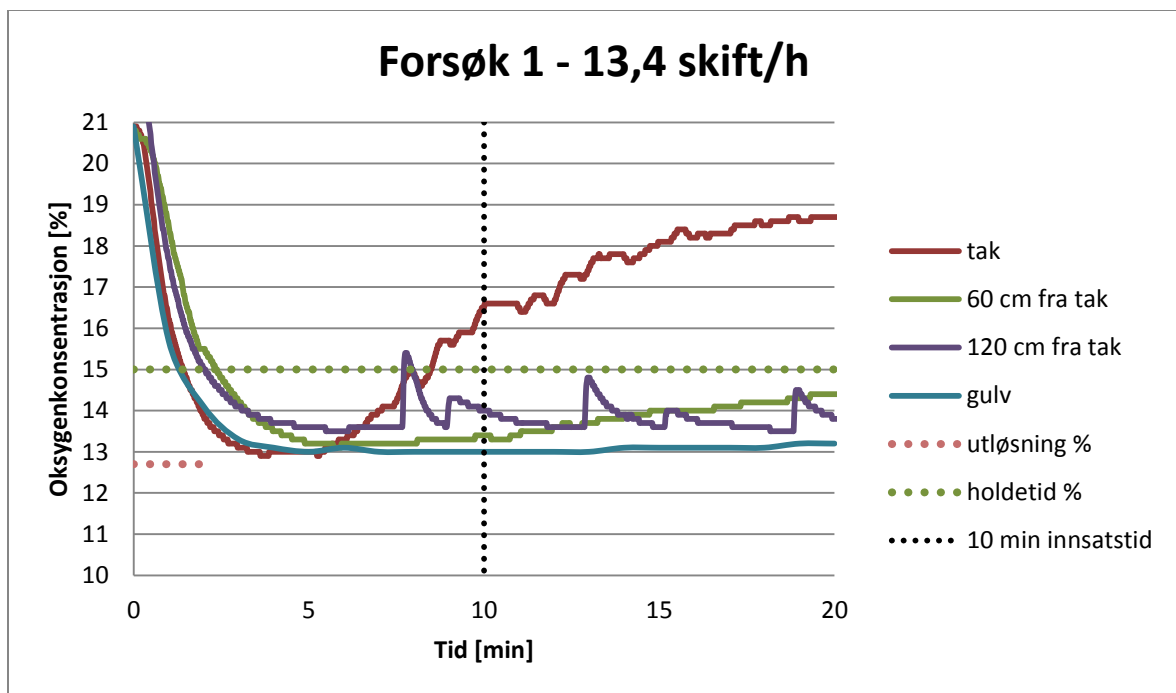
## Vedlegg D - Grafer

### Oksygennivå i fire høyder for alle forsøk

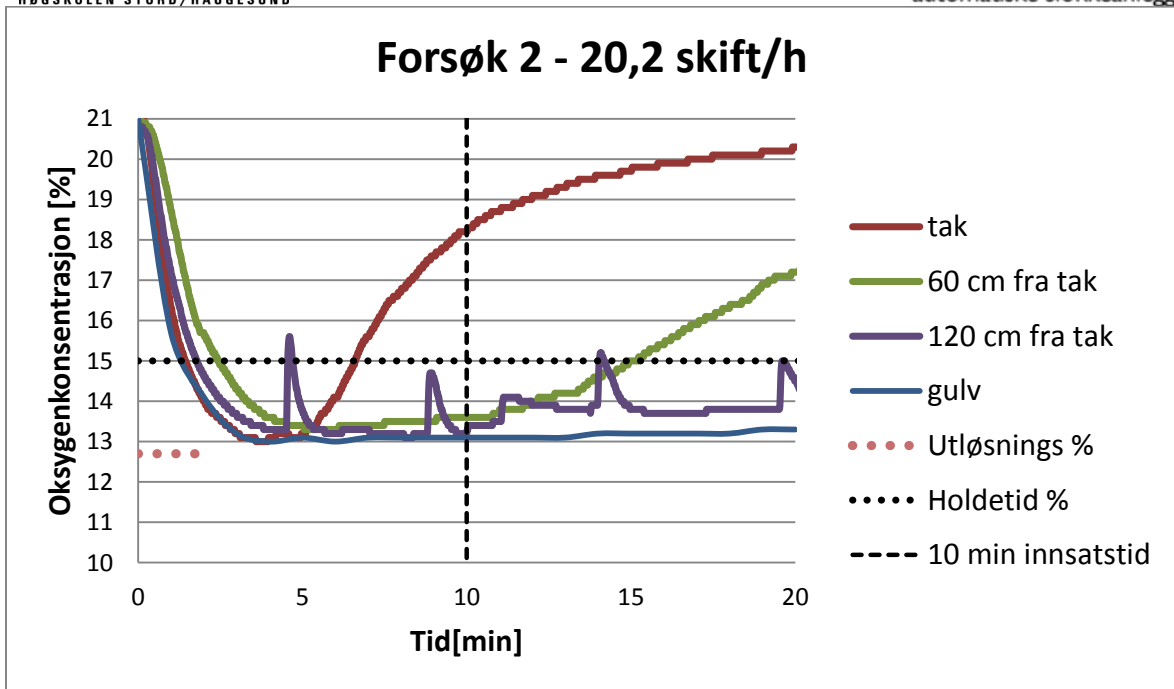
#### Forsøk med symmetriske lekkasjer



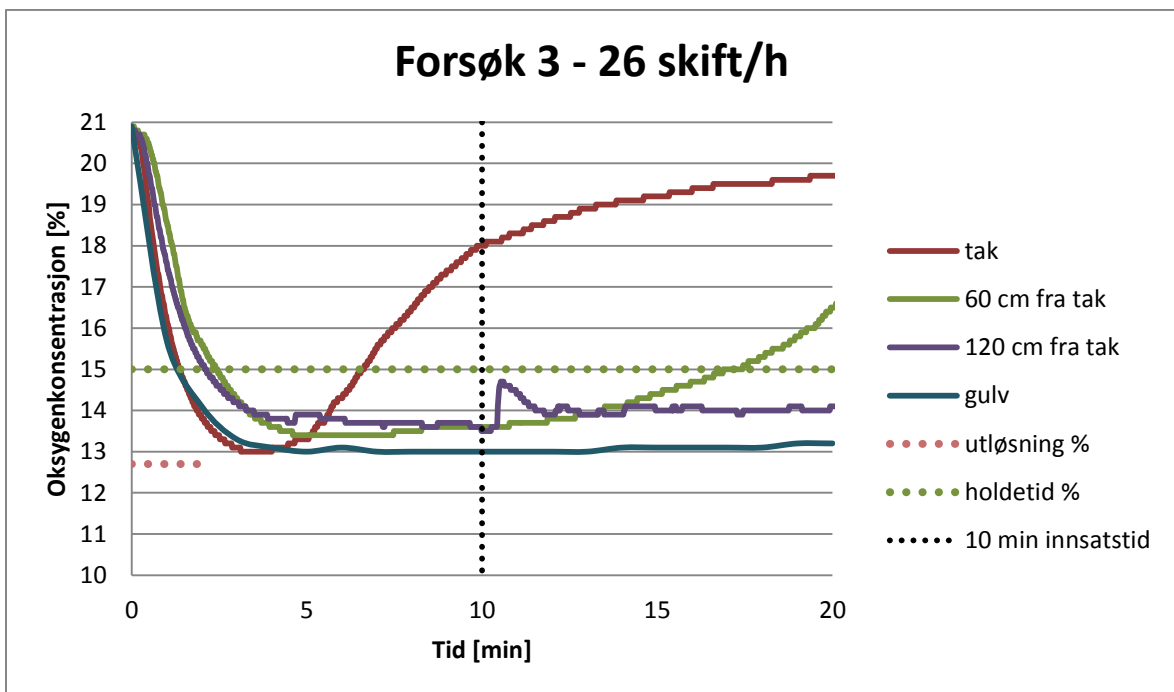
Figur 25: Forsøk 0



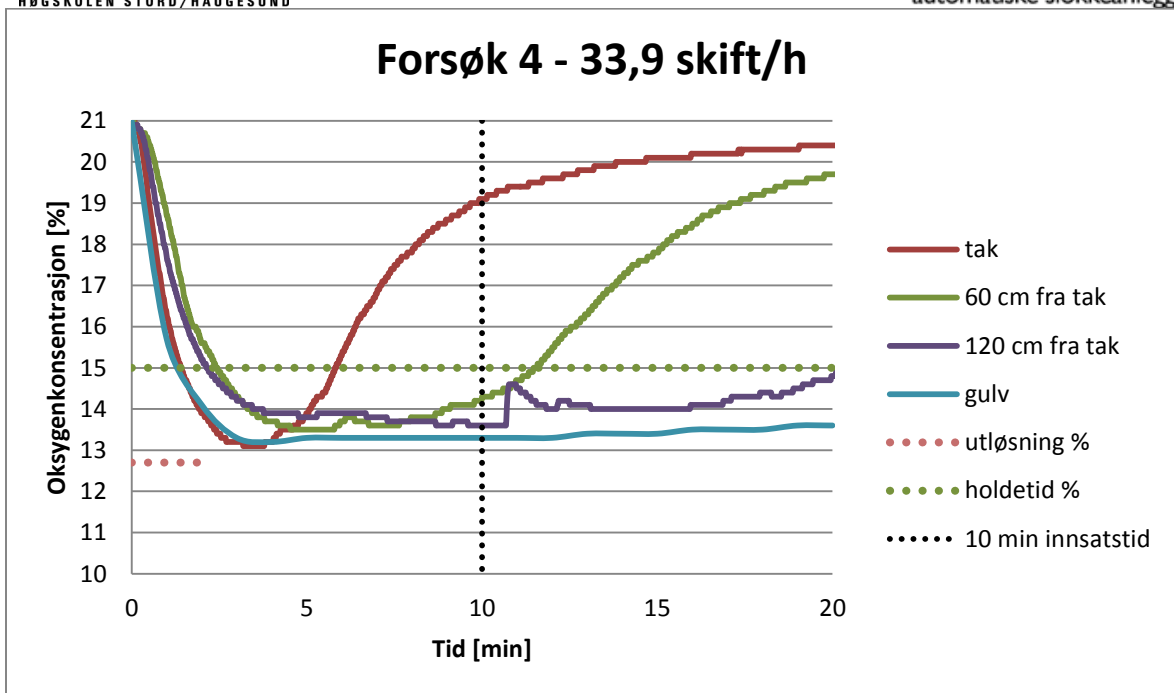
Figur 26: Forsøk 1



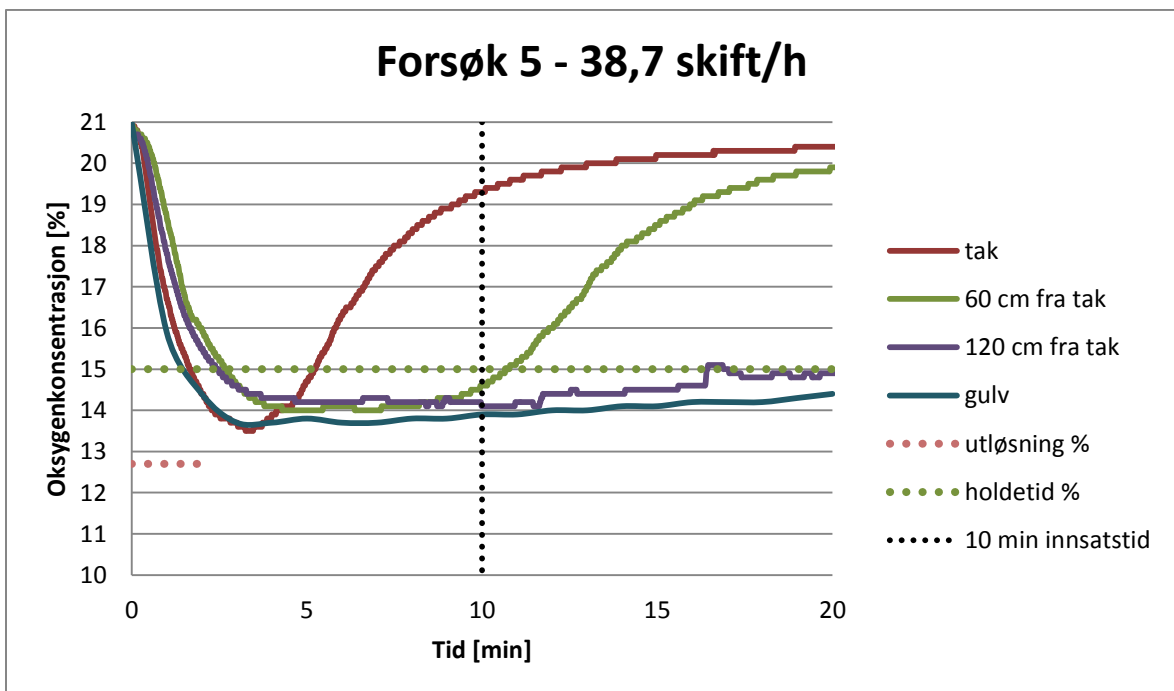
Figur 27: Forsøk 2



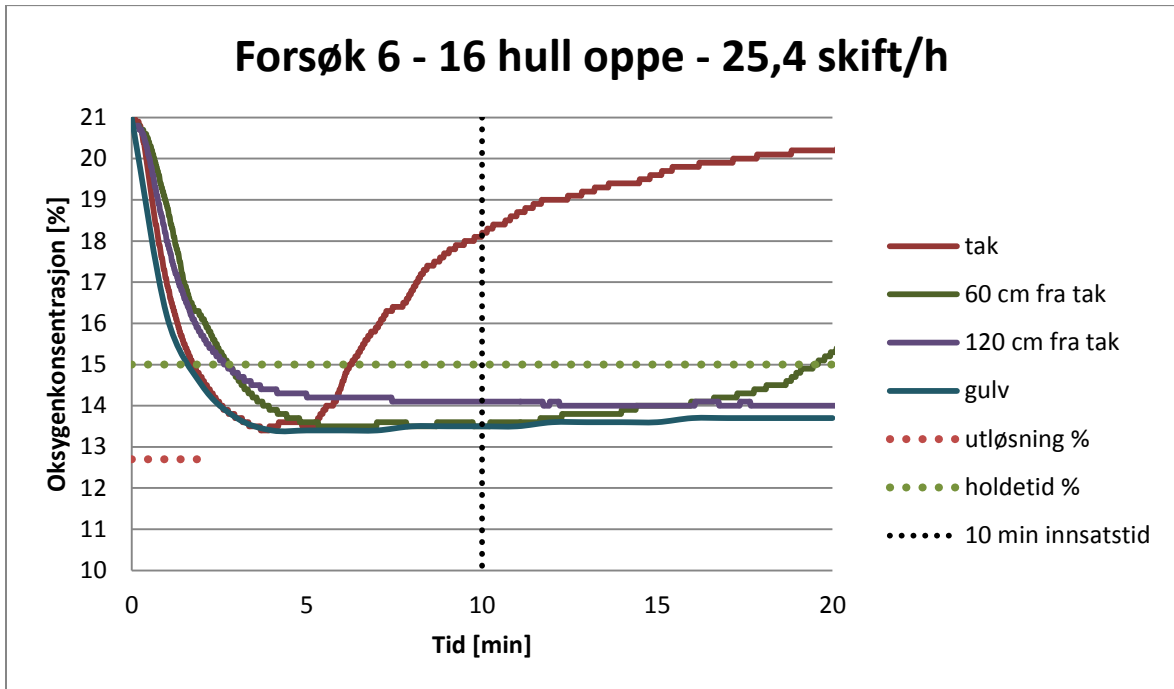
Figur 28: Forsøk 3



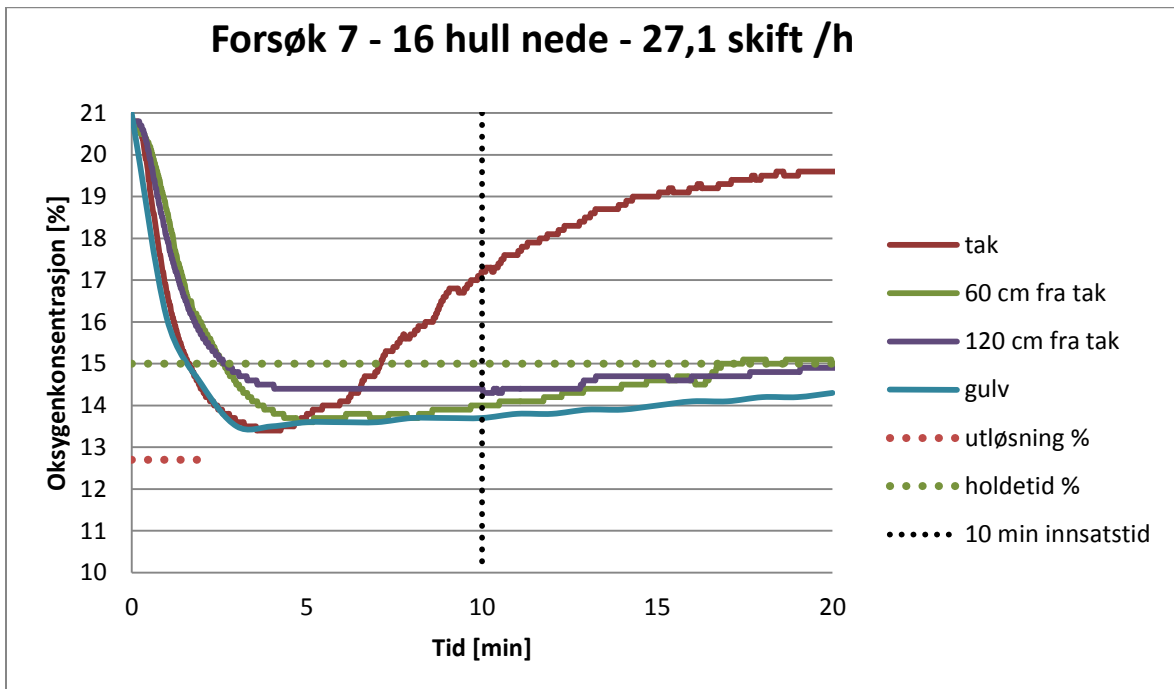
Figur 29: Forsøk 4



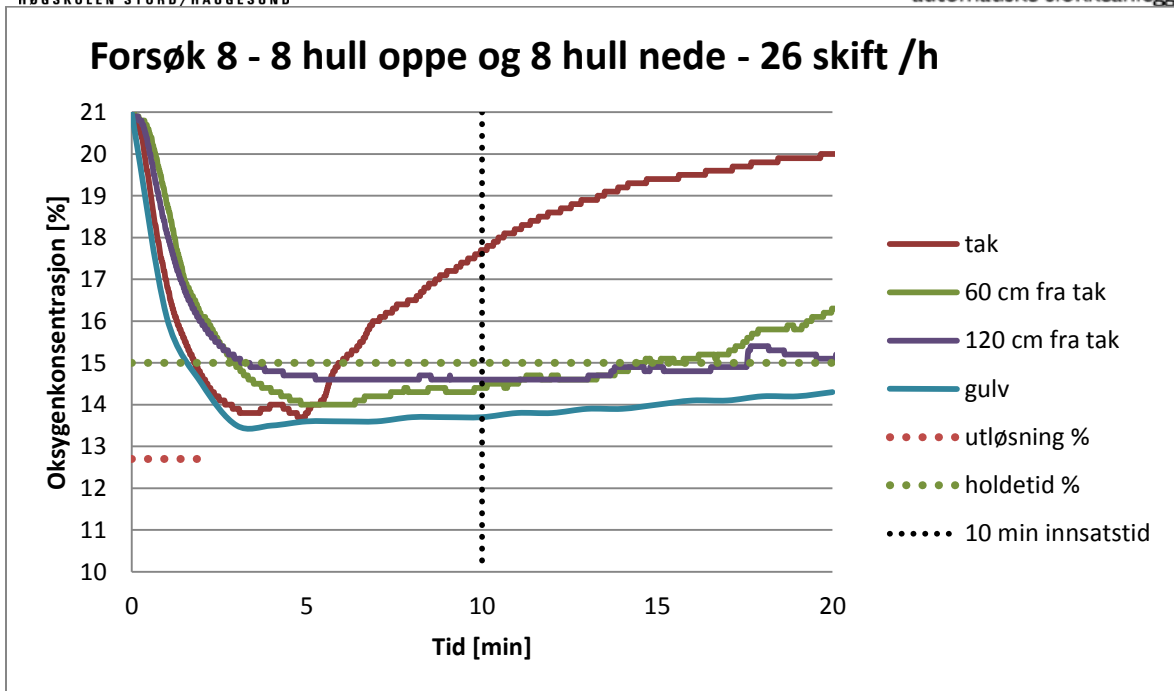
Figur 30: Forsøk 5



Figur 31: Forsøk 6

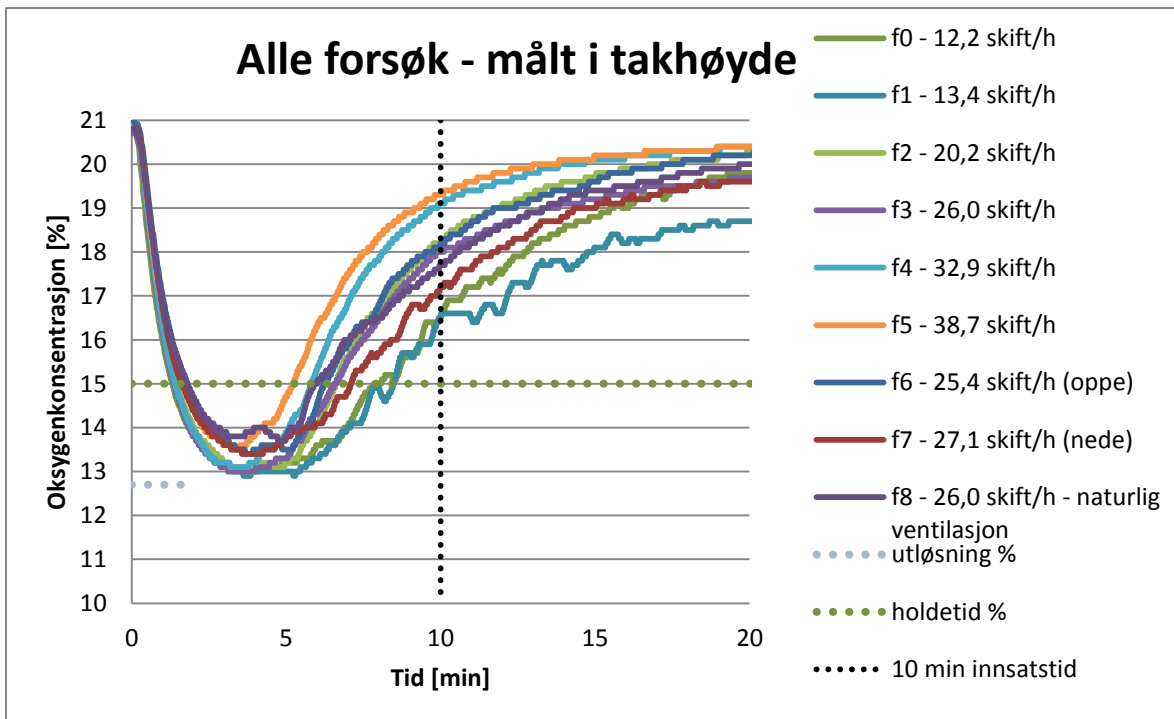


Figur 32: Forsøk 7

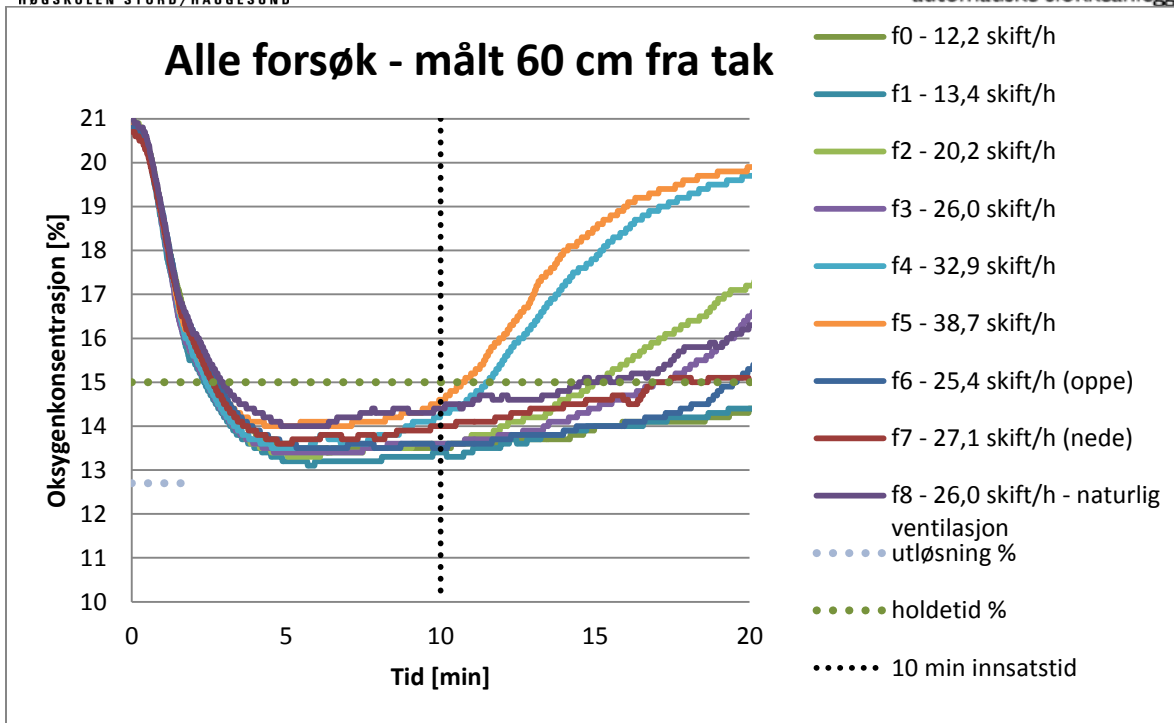


Figur 33: Forsøk 8

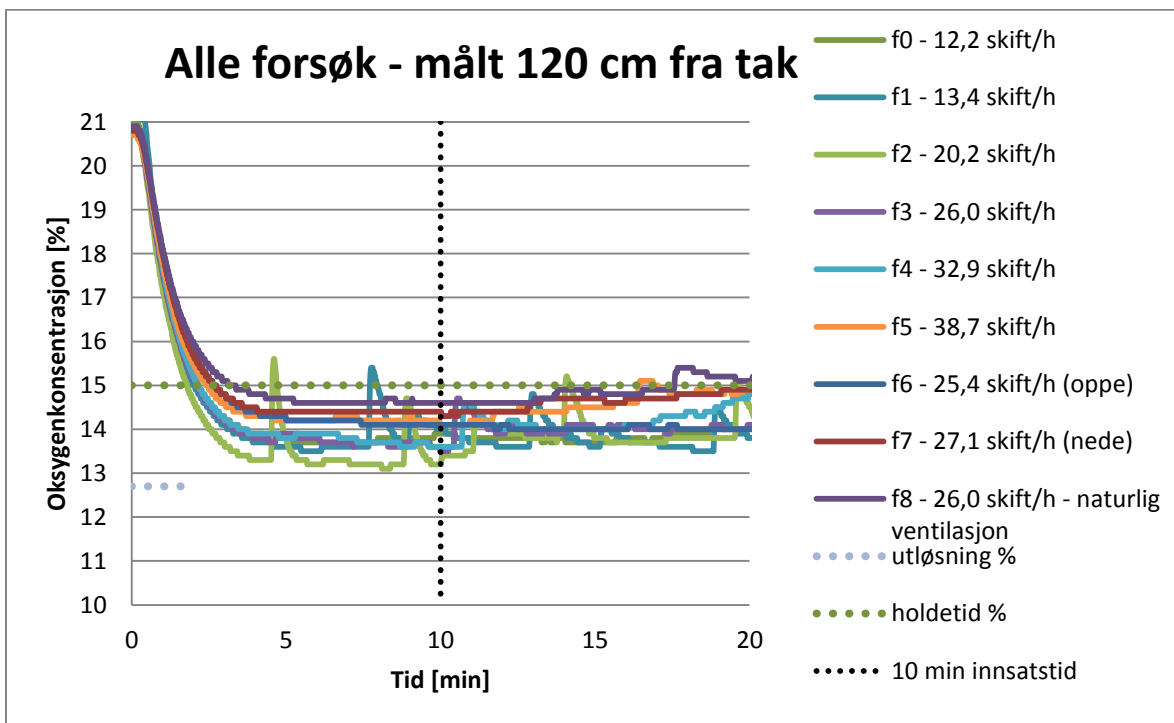
### Sammenligning av oksygenkonsentrasjon ved alle høyder – alle forsøk



Figur 34: Alle forsøk - målt i takhøyde

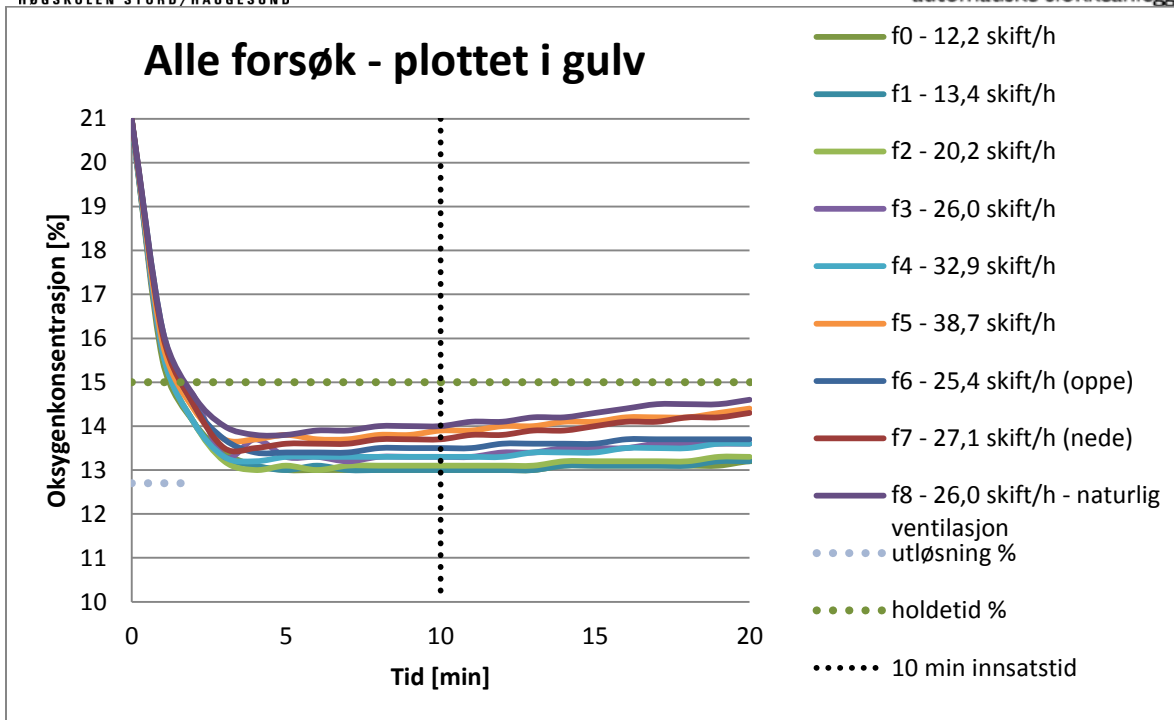


Figur 35: Alle forsøk - målt 60 cm fra tak



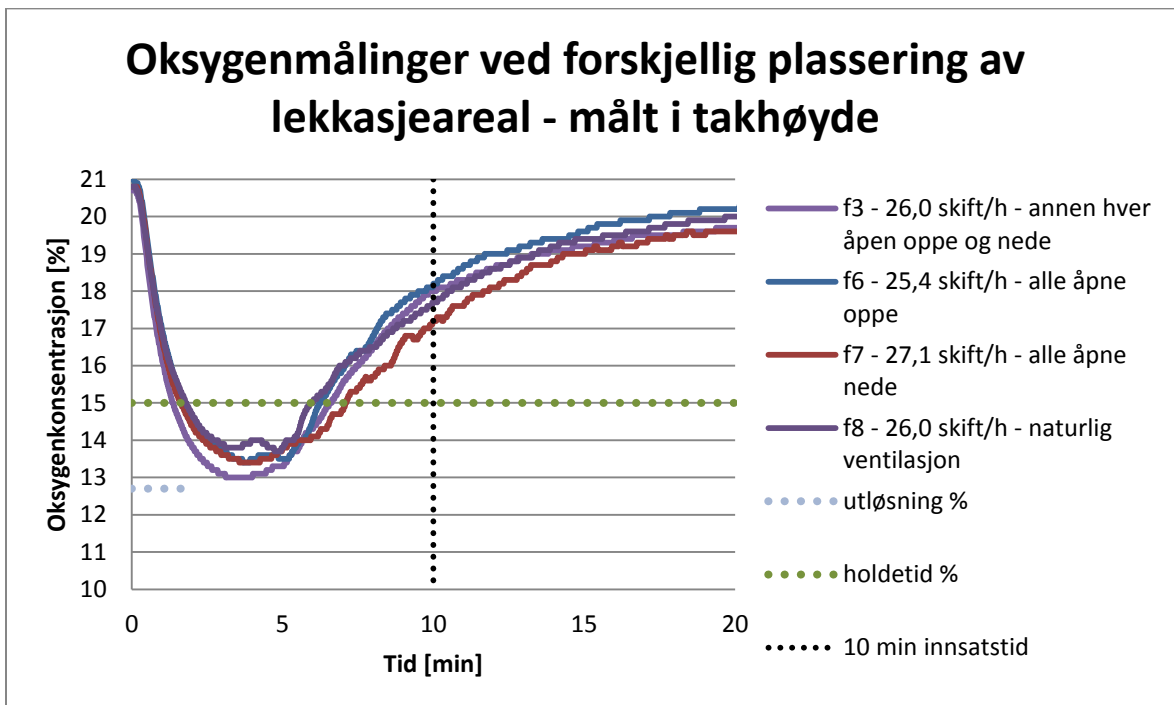
Figur 36: Alle forsøk - målt 120 cm fra tak



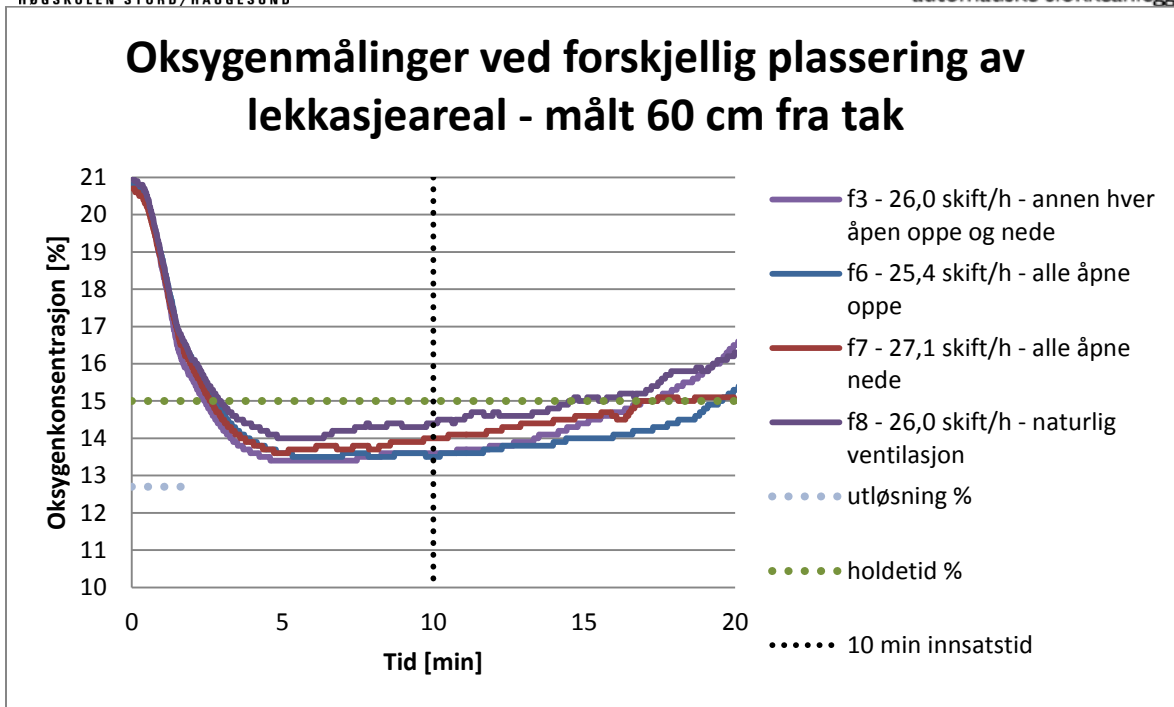


Figur 37: Alle forsøk - målt på gulv

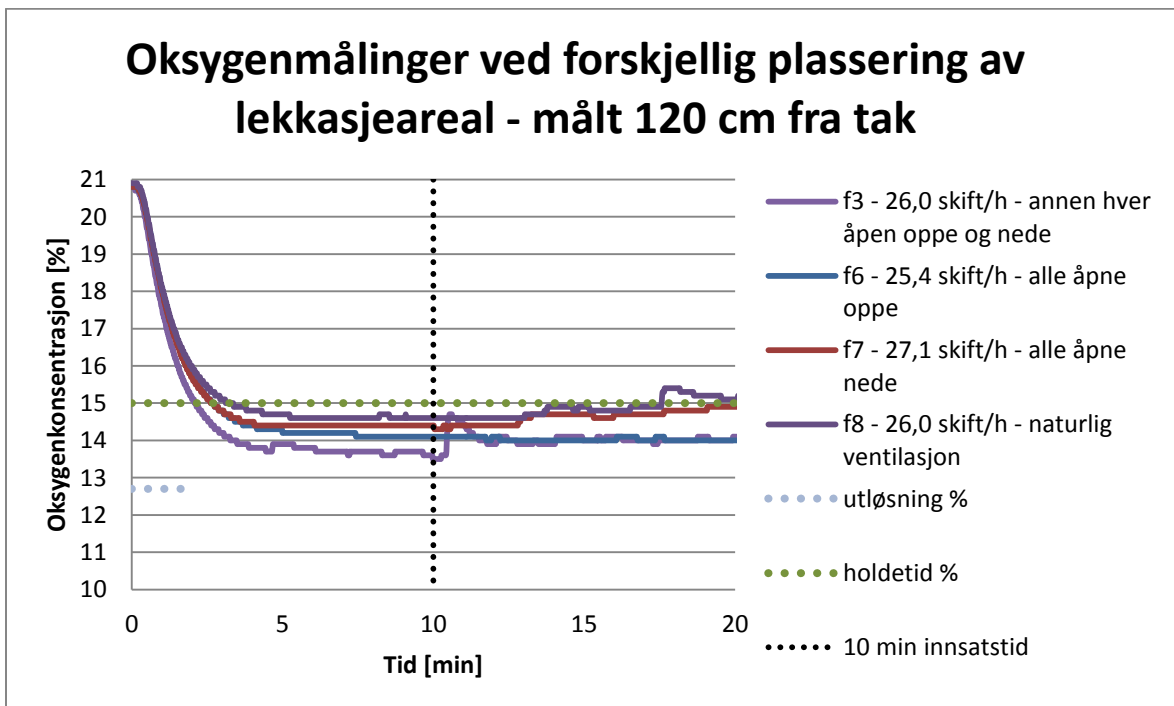
## Oksygenmålinger ved forskjellig plassering av lekkasjeareal



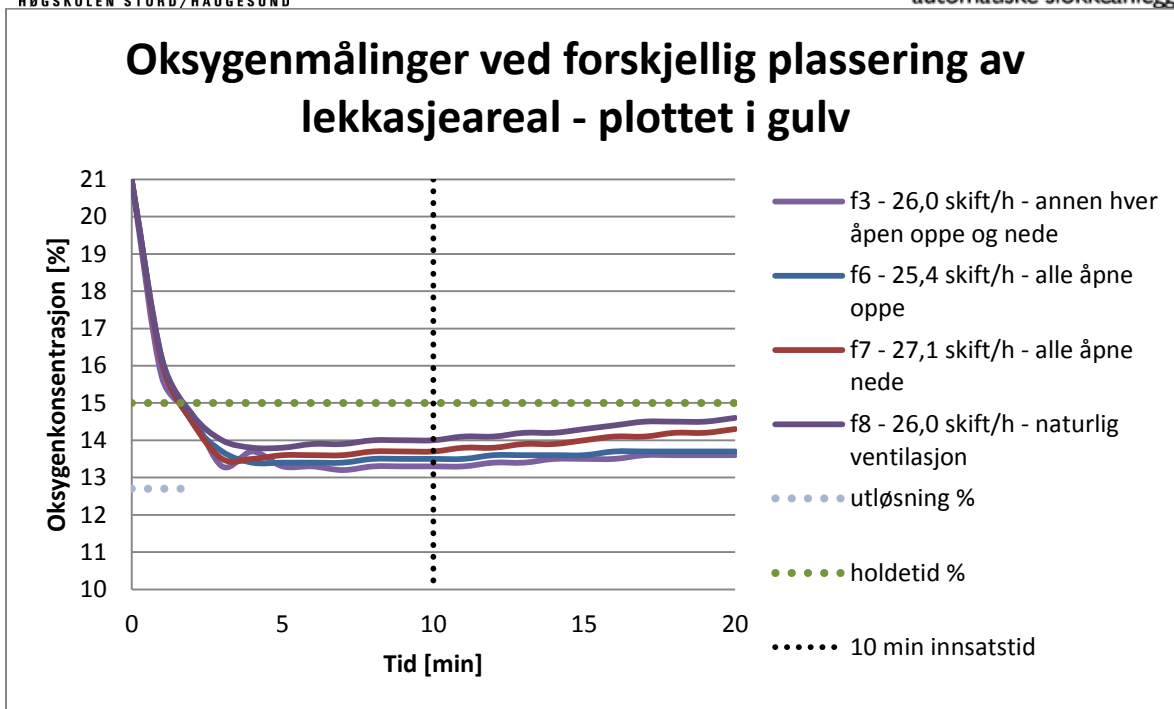
Figur 38: Oksygenmålinger ved forskjellig plassering av lekkasjeareal - målt i takhøyde



Figur 39: Oksygenmålinger ved forskjellig plassering av lekkasjeareal - målt 60 cm fra tak

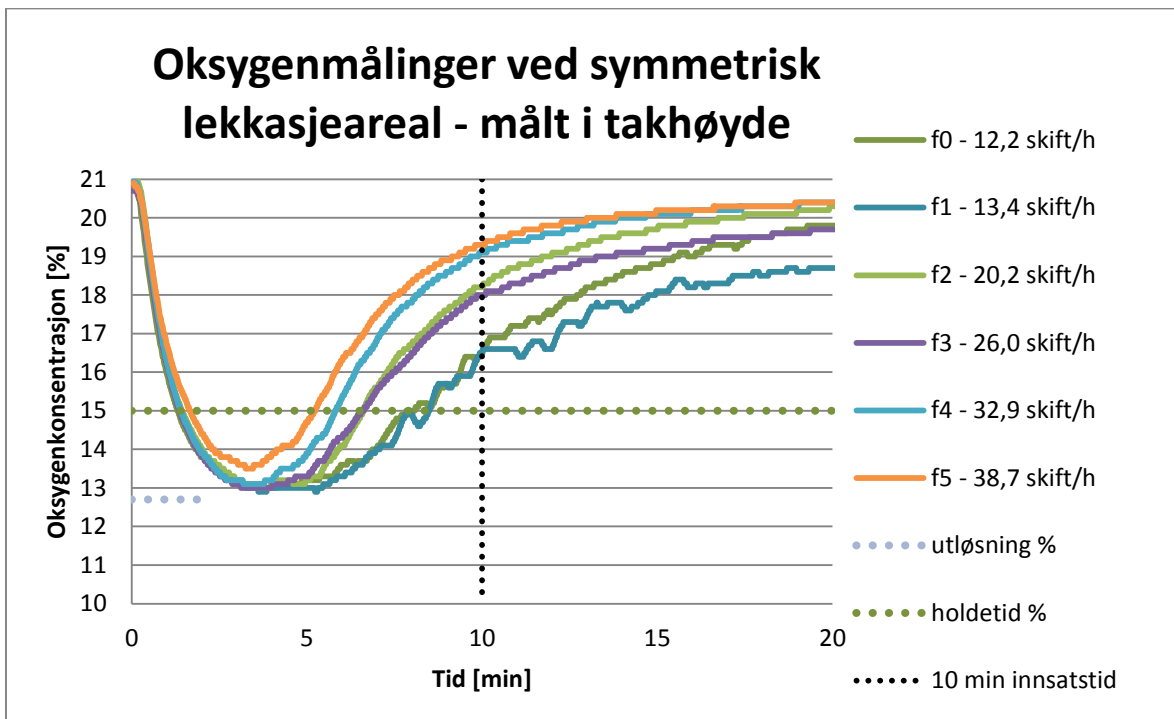


Figur 40: Oksygenmålinger ved forskjellig plassering av lekkasjeareal - målt 120 cm fra tak

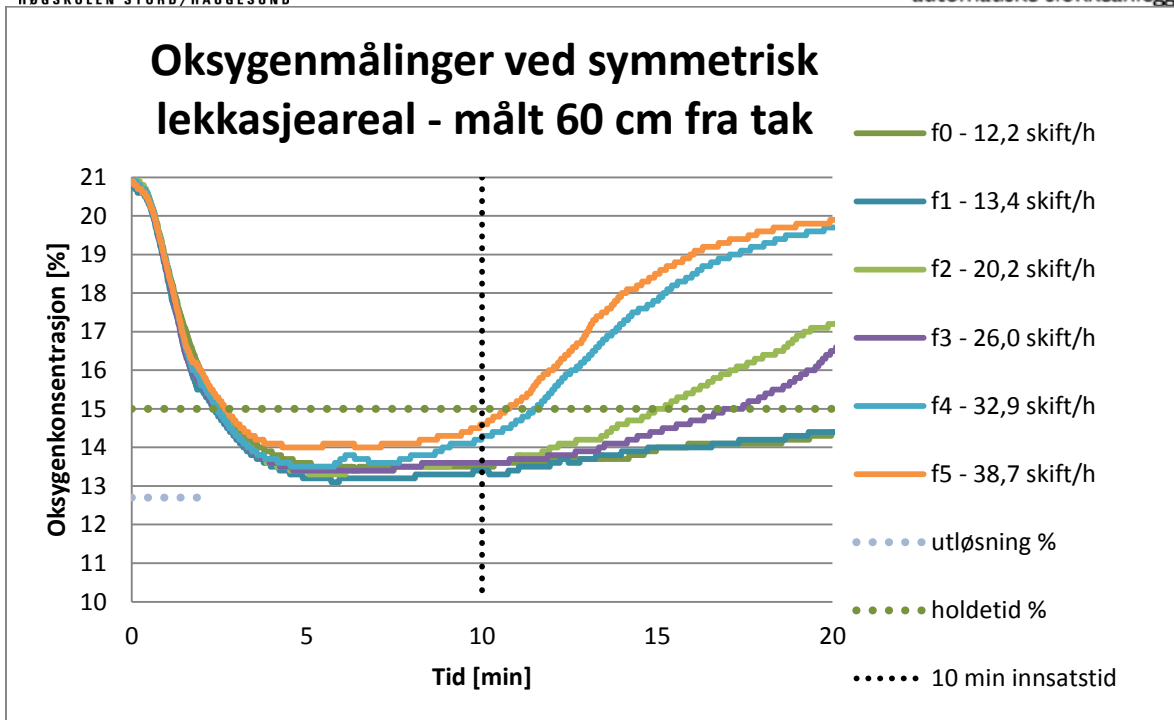


Figur 41: Oksygenmålinger ved forskjellig plassering av lekkasjeareal - målt på gulv

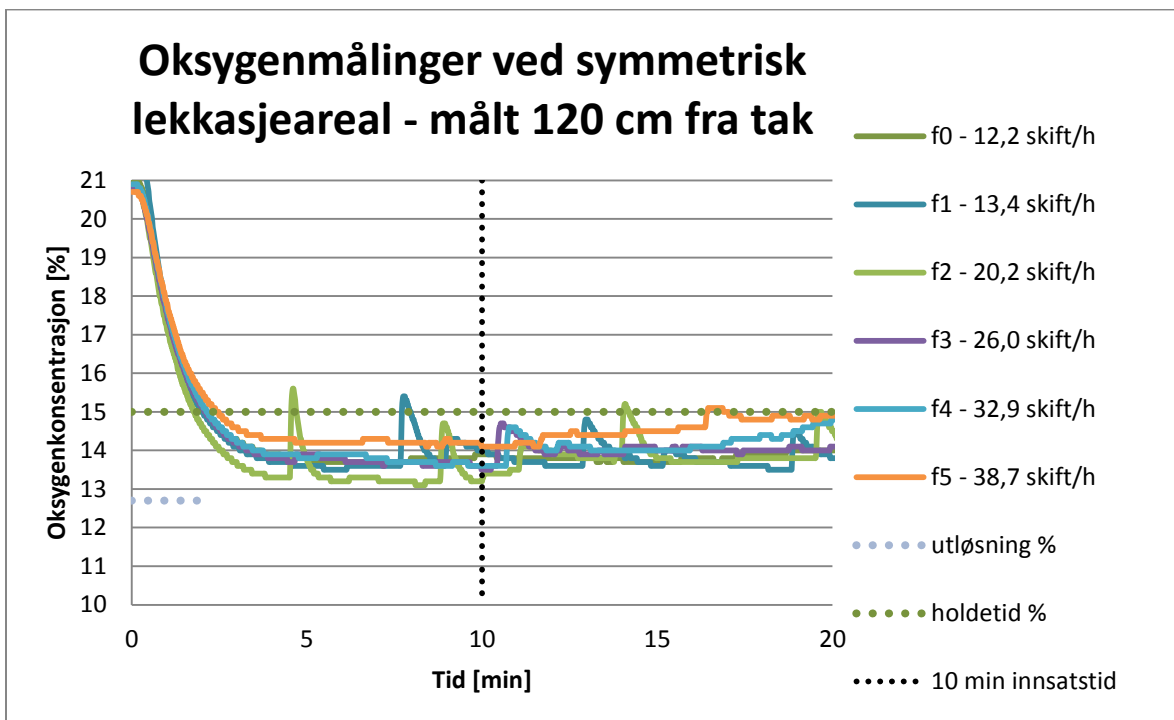
### Oksygenmåling ved symmetrisk lekkasjeareal



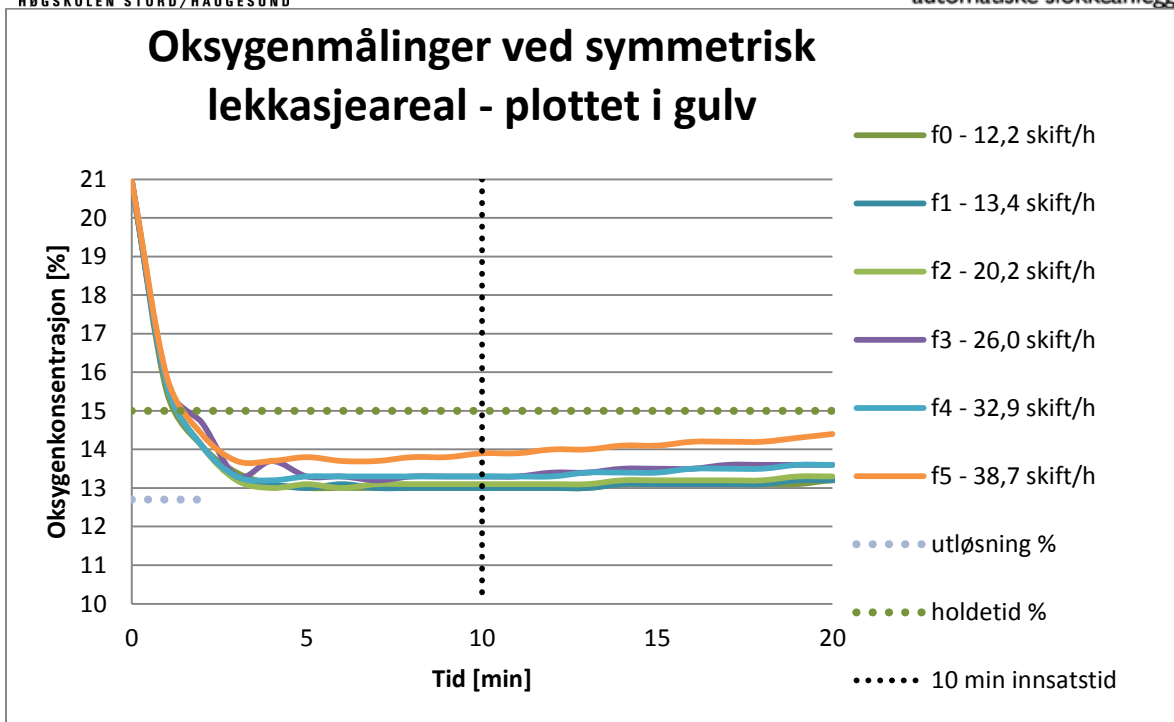
Figur 42: Oksygenmålinger ved symmetrisk lekkasjeareal - målt i takhøyde



Figur 43: Oksygenmålinger ved symmetrisk lekkasjeareal - målt 60 cm fra tak

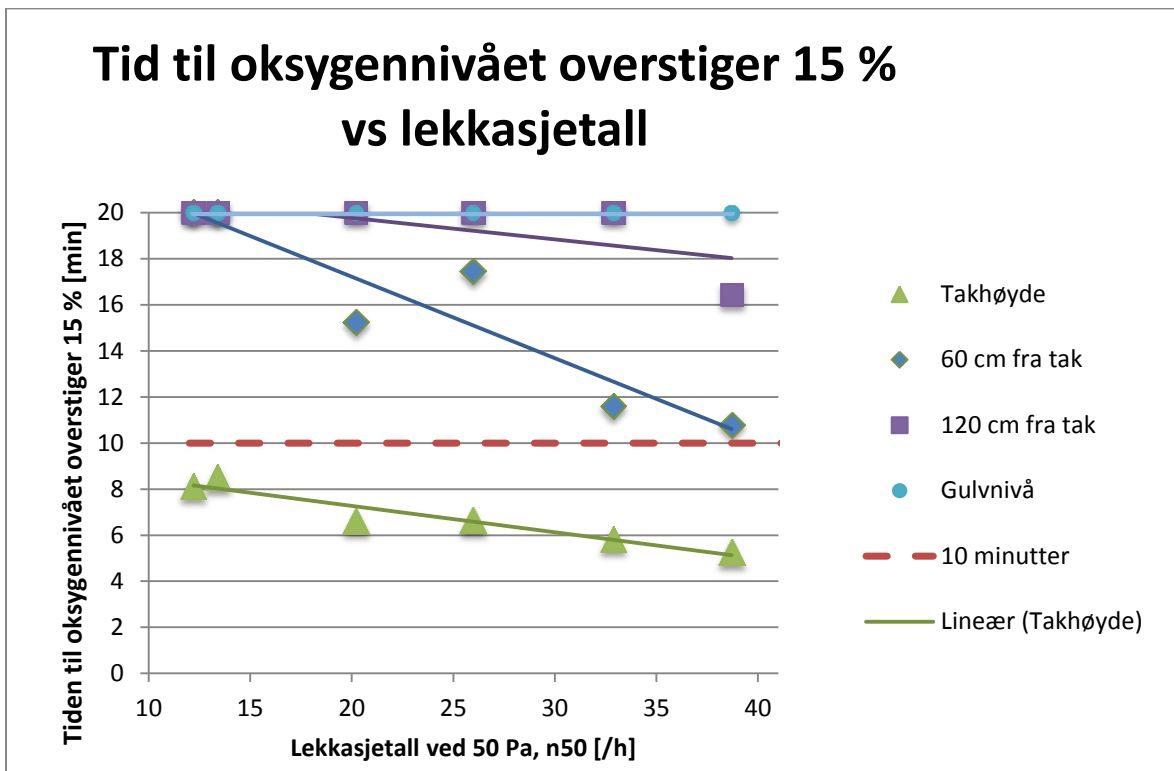


Figur 44: Oksygenmålinger ved symmetrisk lekkasjeareal - målt 120 cm fra tak

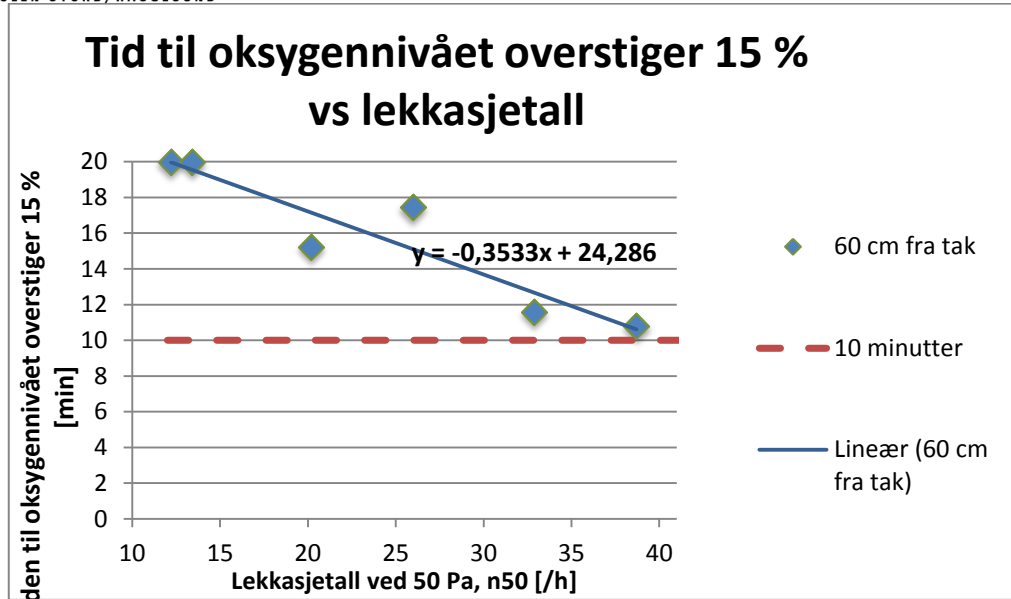


Figur 45: Oksygenmålinger ved symmetrisk lekkasjeareal - målt på gulv

### Holdetid som funksjon av lekkasjetall

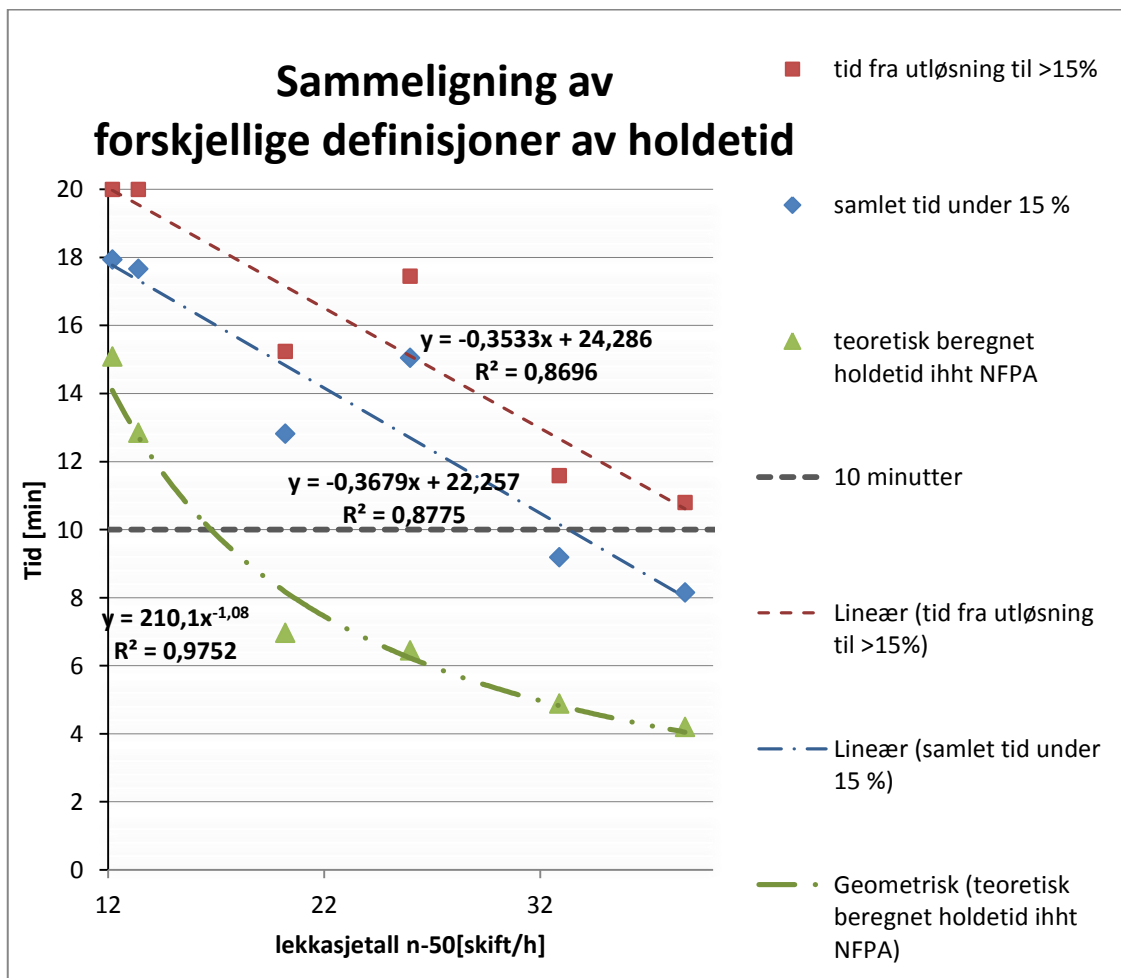


Figur 46: Tid til oksygenivået overstiger 15 % vs. lekkasjetall



Figur 47: Tid til oksygnivået overstiger 15 % vs. lekkasjetall

### Sammenligning av forskjellige definisjoner av holdetid



Figur 48: Sammenligning av forskjellige definisjoner av holdetid



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## Vedlegg E - Trykktestrapporter



# OFAS

Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg

### Bygningsdetaljer:

Byggets adresse:	Høyde over havet:	<b>20 m</b>
	Høyde over bakkenivå:	<b>3 m</b>
	Bygningsvolum, V:	<b>29 m<sup>3</sup></b>
Operatør: <b>lab</b>	Klimaskjermareal A <sub>T BAT</sub> :	<b>57,2 m<sup>2</sup></b>
Firma: <b>Haugaland Brannsikring</b>	Vindforhold:	<b>Beskyttet bygning</b>
	Målenøyaktighet:	<b>5%</b>

### Testdetaljer:

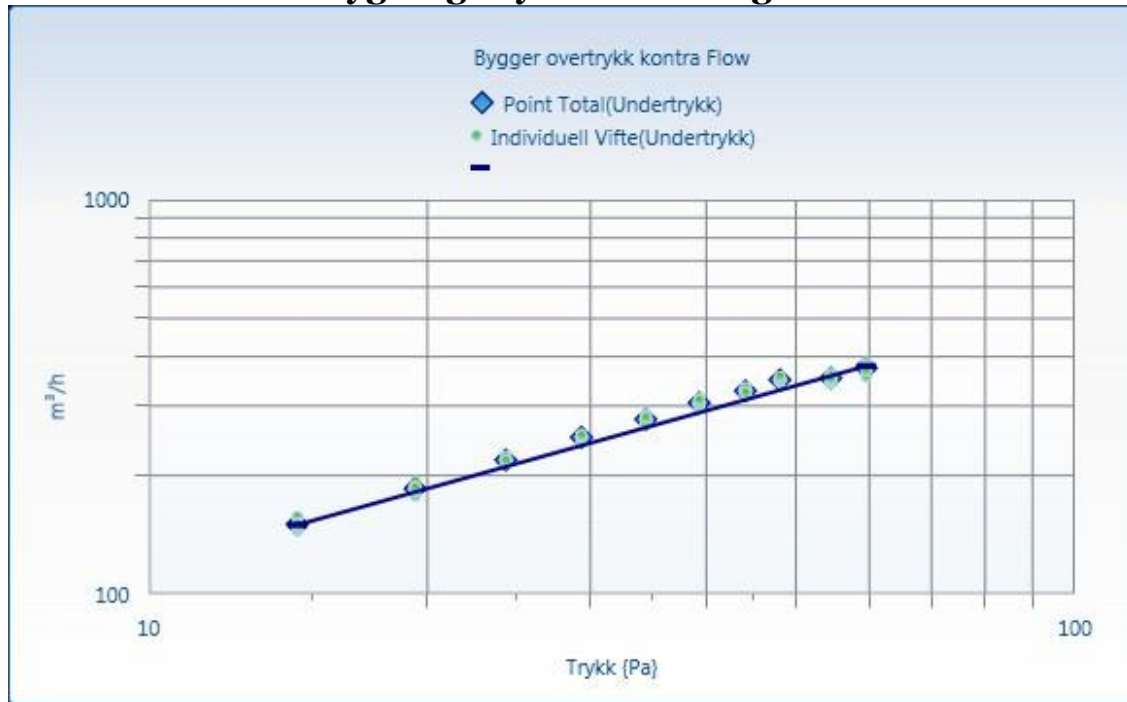
Viftemodell: Retrotec 1000	Vifte sr.nr:	Instrumentmodell: DM-2	Instrument sr.nr: 205979
----------------------------	--------------	------------------------	--------------------------

### Forsøk 0

### Undertrykkstest

Naturlig trykk-differanse, før test [Pa]	-0,54	-0,49	-0,63	-0,57	-0,32	-0,52	-0,61	-0,60	-0,65	-0,73		
Bygnings-trykk [Pa]	-15,1	-20,0	-24,9	-29,9	-35,0	-39,9	-44,7	-48,6	-55,1	-60,1		
Naturlig trykk-differanse etter test [Pa]	-0,39	-0,48	-0,63	-0,42	-0,61	-0,63	-0,54	-0,61	-0,95	-0,82		
Viftetrykk, [Pa]	43,2	63,3	86,4	110,5	134,8	161,5	184,7	208,9	81,9	91,6		
Total mengde, V <sub>r</sub> [m <sup>3</sup> /h]	150,6	185,3	219,1	249,9	277,8	305,6	327,8	349,6	353,5	374,8		
Korrigert mengde, V <sub>env</sub> [m <sup>3</sup> /h]	146,0	179,7	212,4	242,4	269,3	296,3	317,9	339,0	342,8	363,5		
Feil [%]	-2,6%	-1,1%	0,9%	1,7%	1,8%	2,7%	2,1%	3,0%	-4,1%	-4,1%		

## Bygningstrykk - luftmengde



## Sammenlagt testresultat

	Resultat	Usikkerhet
Luftmengde ved, $V_{50}$ [ $m^3/h$ ]	<b>342,0</b>	<b>+/-0,0292</b>
Luftskifte ved 50 Pa, $n_{50}$ [1/h]	<b>11,80</b>	<b>+/-0,0579</b>
Luftlekkasje ved 50 Pa, $Q_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>5,982</b>	<b>+/-0,0600</b>
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, $w_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>35,273</b>	<b>+/-0,0600</b>

## Overtrykkstest

Naturlig trykk-differanse, før test[Pa]	0,49	0,49	0,55	0,64	0,77	0,67	0,60	0,62	0,62	0,67		
Bygnings-trykk [Pa]	-15,1	-20,1	-24,9	-30,1	-35,0	-39,8	-44,0	-48,0	-54,8	-60,0		
Naturlig trykk-differanse etter test[Pa]	0,60	0,53	0,69	0,67	0,73	0,69	0,55	0,56	0,62	0,63		
Viftetrykk, [Pa]	55,2	76,3	100,7	126,9	152,4	182,8	205	227,9	90,2	98,3		
Total mengde, $V_T$ [ $m^3/h$ ]	173,0	205,7	238,5	269,7	296,9	326,8	346,8	366,4	373,3	390,1		
Korrigert mengde, $V_{env}$	174,1	206,9	239,9	271,3	298,7	328,7	348,9	368,6	375,5	392,4		

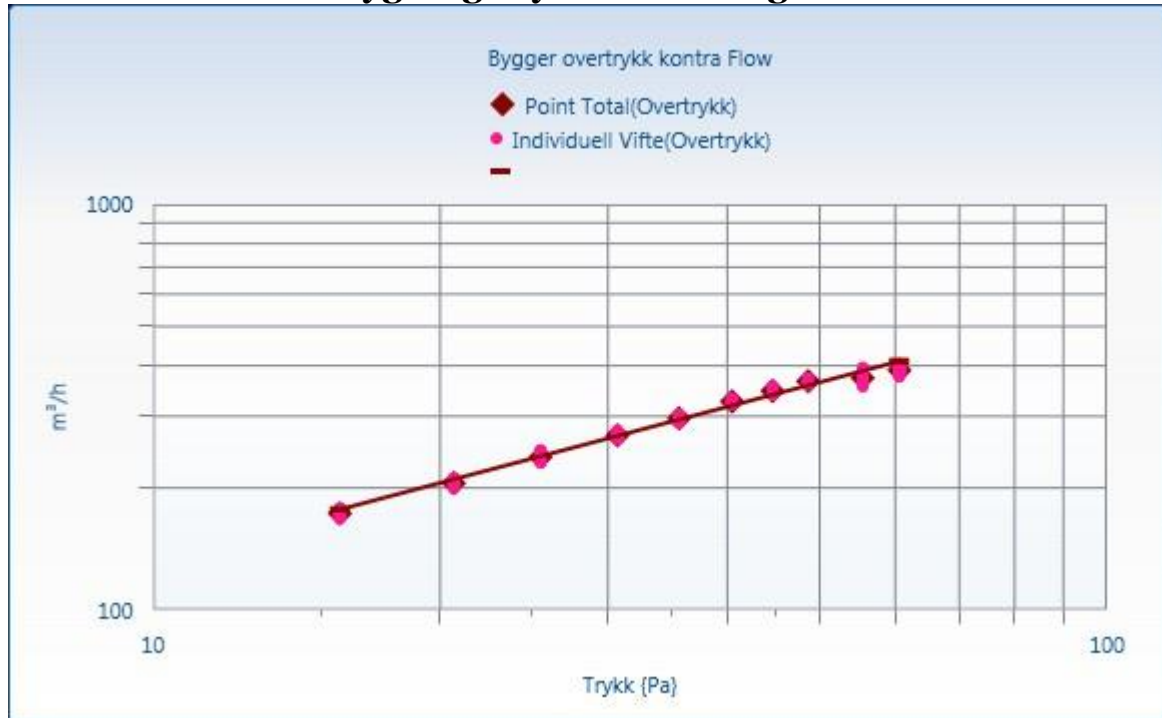




HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

[m <sup>3</sup> /h]												
Feil [%]	-1,7%	-1,5%	0,2%	1,0%	1,3%	3,0%	2,8%	3,0%	-3,3%	-4,4%		

### Bygningstrykk - luftmengde



### Sammenlagt testresultat

	Resultat	Usikkerhet
Luftmengde ved, $V_{50}$ [m <sup>3</sup> /h]	<b>366,0</b>	<b>+/-0,0274</b>
Luftskifte ved 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	<b>12,60</b>	<b>+/-0,0570</b>
Luftlekkasje ved 50 Pa, $Q_{50}$ [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	<b>6,397</b>	<b>+/-0,0600</b>
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, $w_{50}$ [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	<b>37,724</b>	<b>+/-0,0600</b>

### Forsøk 1

### Undertrykkstest

Naturlig trykk-differanse, før test[Pa]	-0,25	-0,35	-0,29	-0,22	-0,27	-0,46	-0,28	-0,20	-0,24	-0,19		
Bygningstrykk [Pa]	-15,0	-20,1	-25,0	-30,0	-34,9	-39,9	-45,1	-50,0	-55,1	-59,9		
Naturlig trykk-differanse etter test[Pa]	-0,05	-0,03	-0,08	-0,02	-0,09	-0,21	-0,15	-0,40	-0,23	-0,32		

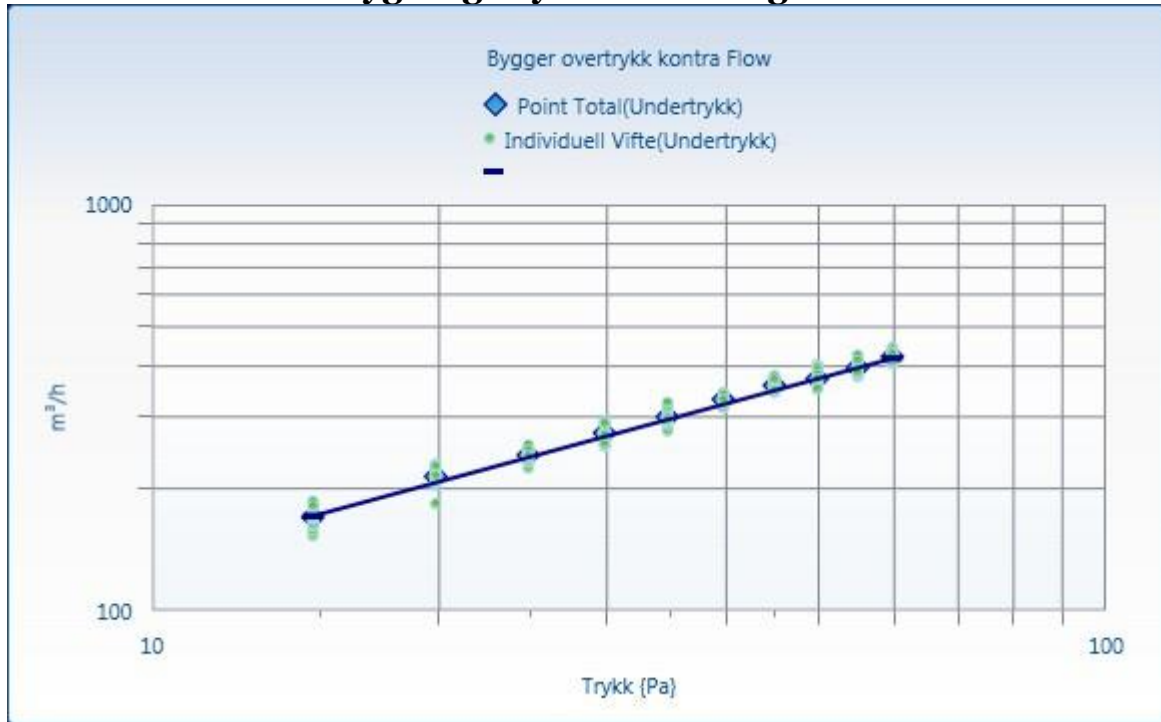


Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg

HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Viftetrykk, [Pa]	20,2	31,1	39,2	49,8	59,3	71,5	83,1	89,7	101,2	113,7		
Total mengde, $V_r$ [m <sup>3</sup> /h]	170,1	214,4	241,8	274,2	300,7	331,8	359,0	373,0	397,3	422,4		
Korrigert mengde, $V_{env}$ [m <sup>3</sup> /h]	167,5	211,1	238,1	270,0	296,0	326,7	353,5	367,2	391,2	415,8		
Feil [%]	-2,2%	2,0%	-0,2%	0,6%	0,1%	1,4%	1,4%	-1,4%	-1,3%	-0,5%		

### Bygningstrykk - luftmengde



### Sammenlagt testresultat

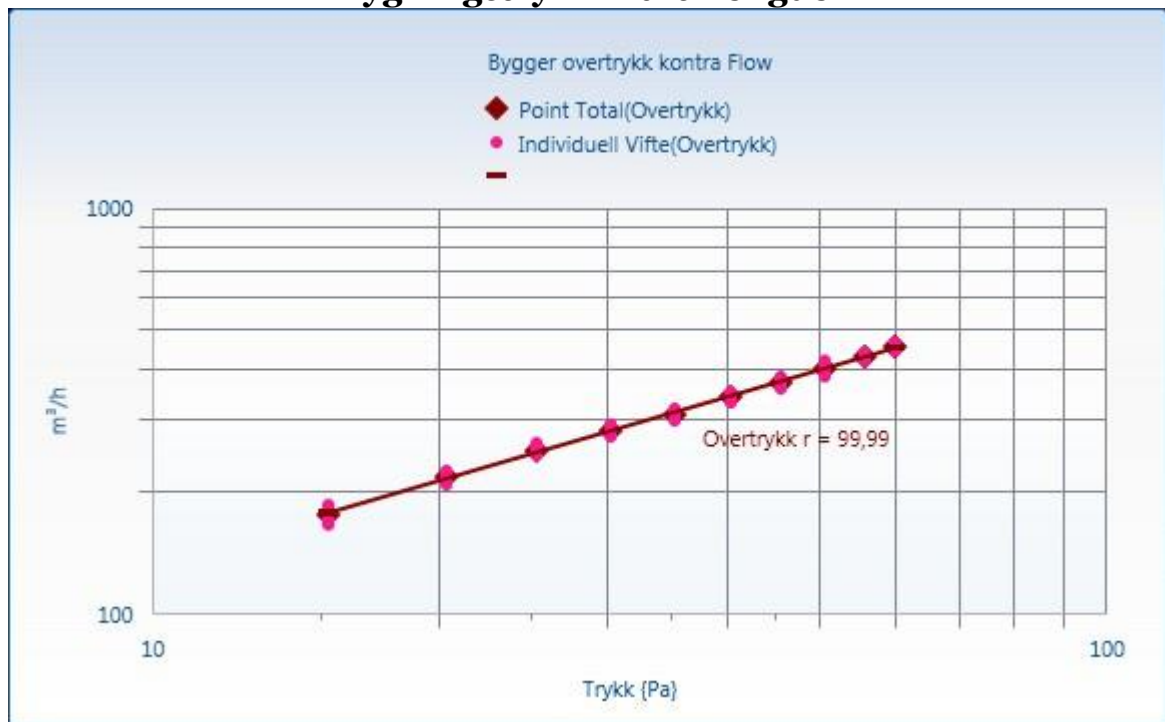
	Resultat	Usikkerhet
Luftmengde ved, $V_{50}$ [m <sup>3</sup> /h]	<b>376,0</b>	<b>+/-0,0141</b>
Luftskifte ved 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	<b>12,95</b>	<b>+/-0,0520</b>
Luftlekkasje ved 50 Pa, $Q_{50}$ [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	<b>6,576</b>	<b>+/-0,0500</b>
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, $w_{50}$ [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	<b>38,780</b>	<b>+/-0,0500</b>



## Overtrykkstest

Naturlig trykk-differanse, før test[Pa]	0,13	0,09	0,12	0,12	0,07	0,24	0,25	0,27	0,21	0,35		
Bygnings-trykk [Pa]	-15,0	-20,0	-24,9	-30,0	-34,9	-40,0	-45,2	-50,2	-55,4	-59,8		
Naturlig trykk-differanse etter test[Pa]	0,17	0,34	0,34	0,32	0,28	0,46	0,44	0,48	0,46	0,54		
Viftetrykk, [Pa]	21,4	31,7	42,1	52,9	63,1	76,4	89	102,9	117,1	130,5		
Total mengde, $V_r$ [m <sup>3</sup> /h]	176,3	216,8	252,1	284,1	311,5	344,2	373,0	402,3	430,5	455,5		
Korrigert mengde, $V_{env}$ [m <sup>3</sup> /h]	176,5	217,0	252,3	284,3	311,8	344,6	373,4	402,7	430,9	455,9		
Feil [%]	-0,7%	0,6%	0,8%	0,3%	-0,8%	-0,1%	-0,4%	-0,1%	0,0%	0,4%		

## Bygningstrykk - luftmengde



## Sammenlagt testresultat

	Resultat	Usikkerhet
Luftmengde ved, $V_{50}$ [m <sup>3</sup> /h]	<b>402,0</b>	<b>+/-0,0054</b>



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



**OFAS**

Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg

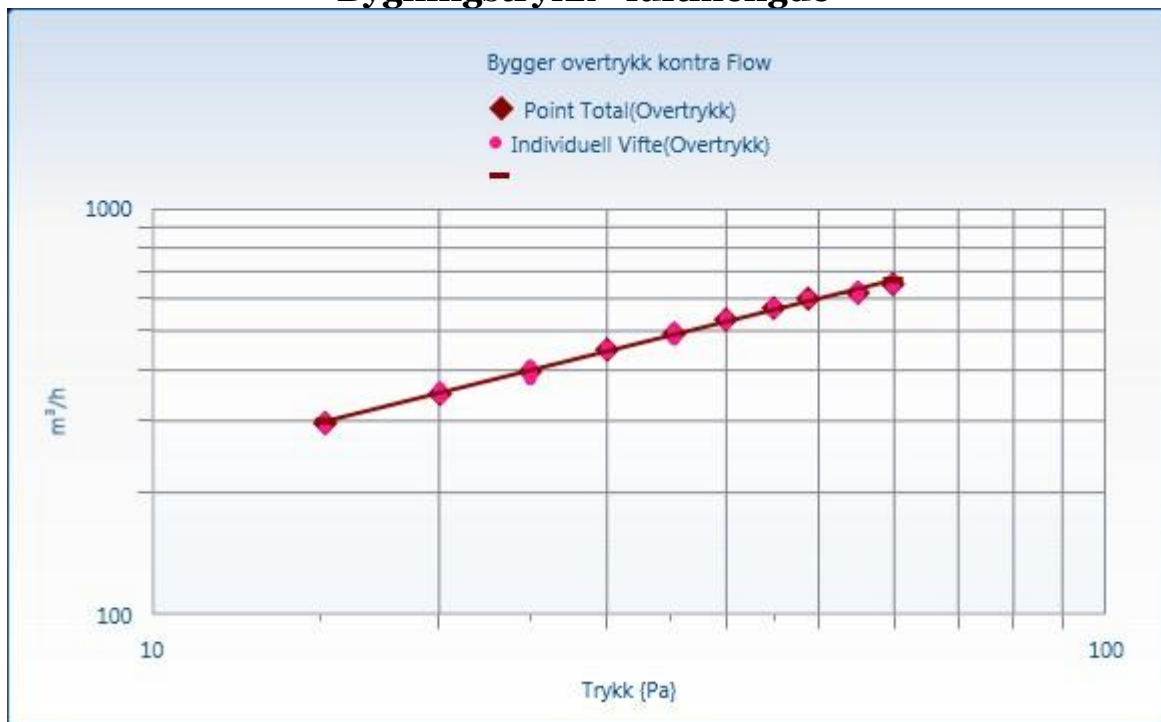
Luftskifte ved 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	<b>13,85</b>	<b>+/-0,0503</b>
Luftlekkasje ved 50 Pa, $Q_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>7,029</b>	<b>+/-0,0500</b>
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, $w_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>41,448</b>	<b>+/-0,0500</b>

## Forsøk 2

### Overtrykkstest

Naturlig trykk-differanse, før test [Pa]	<b>0,02</b>	<b>-0,08</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,08</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,13</b>	<b>-0,01</b>		
Bygnings-trykk [Pa]	<b>-15,1</b>	<b>-20,0</b>	<b>-24,9</b>	<b>-30,0</b>	<b>-35,2</b>	<b>-39,9</b>	<b>-44,8</b>	<b>-48,7</b>	<b>-54,9</b>	<b>-59,7</b>		
Naturlig trykk-differanse etter test [Pa]	<b>0,15</b>	<b>0,04</b>	<b>0,17</b>	<b>0,05</b>	<b>0,10</b>	<b>0,39</b>	<b>-0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,13</b>	<b>0,19</b>		
Viftetrykk, [Pa]	<b>55,6</b>	<b>76,5</b>	<b>97,7</b>	<b>124,1</b>	<b>148</b>	<b>172,7</b>	<b>196,1</b>	<b>217,3</b>	<b>71,1</b>	<b>78,3</b>		
Total mengde, $V_T$ [ $m^3/h$ ]	<b>296,5</b>	<b>350,0</b>	<b>397,1</b>	<b>449,5</b>	<b>492,2</b>	<b>533,0</b>	<b>568,9</b>	<b>599,8</b>	<b>620,5</b>	<b>651,7</b>		
Korrigert mengde, $V_{env}$ [ $m^3/h$ ]	<b>297,0</b>	<b>350,6</b>	<b>397,8</b>	<b>450,3</b>	<b>493,0</b>	<b>533,9</b>	<b>569,9</b>	<b>600,8</b>	<b>621,5</b>	<b>652,8</b>		
Feil [%]	<b>-0,9%</b>	<b>-0,4%</b>	<b>-0,5%</b>	<b>1,1%</b>	<b>0,7%</b>	<b>1,4%</b>	<b>1,2%</b>	<b>1,6%</b>	<b>-2,0%</b>	<b>-2,0%</b>		

### Bygningstrykk - luftmengde



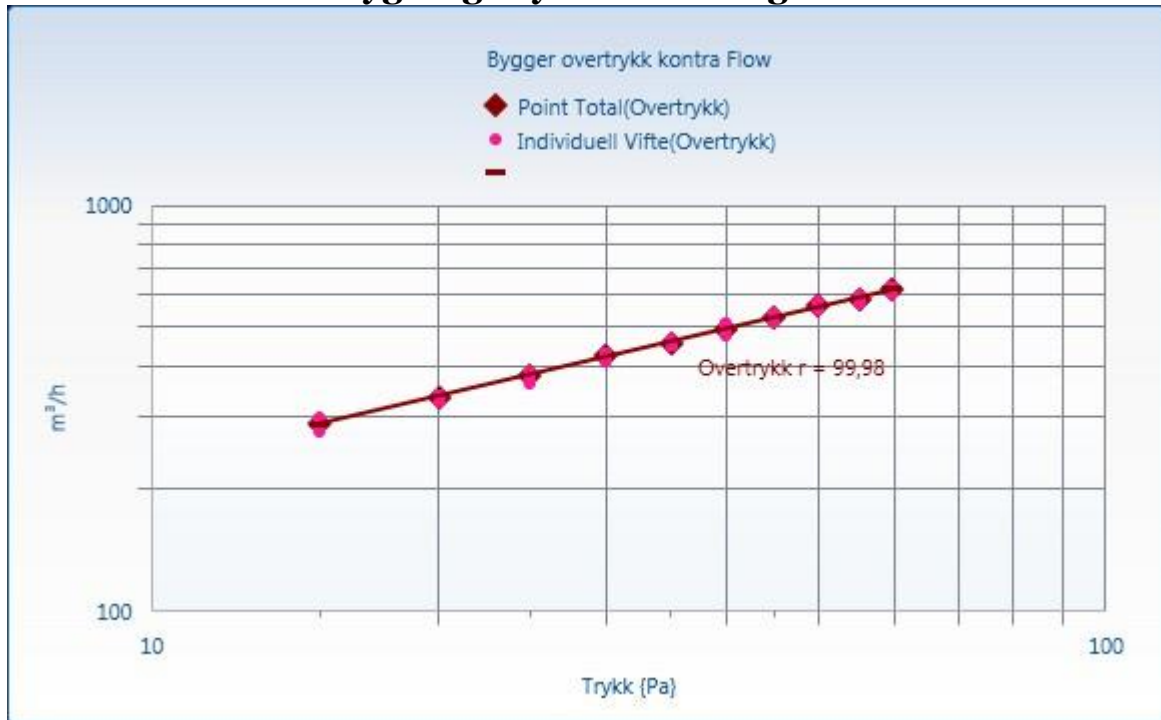
**Sammenlagt testresultat**

	Resultat	Usikkerhet
<i>Luftmengde ved, <math>V_{50}</math> [<math>m^3/h</math>]</i>	<b>604,5</b>	<b>+/-0,0141</b>
<i>Luftskifte ved 50 Pa, <math>n_{50}</math> [/h]</i>	<b>20,85</b>	<b>+/-0,0519</b>
<i>Luftlekkasje ved 50 Pa, <math>Q_{50}</math> [<math>m^3/h.m^2</math>]</i>	<b>10,565</b>	<b>+/-0,0500</b>
<i>Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, <math>w_{50}</math> [<math>m^3/h.m^2</math>]</i>	<b>62,300</b>	<b>+/-0,0500</b>

**Overtrykkstest**

Naturlig trykk-differanse, før test[Pa]	<b>-0,22</b>	<b>-0,25</b>	<b>-0,11</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,24</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,23</b>	<b>-0,14</b>	<b>-0,09</b>		
Bygnings-trykk [Pa]	<b>-15,1</b>	<b>-20,1</b>	<b>-25,0</b>	<b>-30,0</b>	<b>-35,1</b>	<b>-40,0</b>	<b>-45,0</b>	<b>-50,1</b>	<b>-55,3</b>	<b>-59,8</b>		
Naturlig trykk-differanse etter test[Pa]	<b>-0,04</b>	<b>0,14</b>	<b>-0,01</b>	<b>-0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>0,09</b>	<b>-0,13</b>	<b>-0,16</b>	<b>-0,16</b>	<b>-0,10</b>		
Viftetrykk, [Pa]	<b>15,8</b>	<b>21,3</b>	<b>27,3</b>	<b>33,8</b>	<b>39,2</b>	<b>45,7</b>	<b>52</b>	<b>59,3</b>	<b>64,2</b>	<b>70,8</b>		
Total mengde, $V_r$ [ $m^3/h$ ]	<b>288,4</b>	<b>335,8</b>	<b>381,3</b>	<b>425,1</b>	<b>458,2</b>	<b>495,4</b>	<b>529,2</b>	<b>565,6</b>	<b>588,7</b>	<b>619,0</b>		
Korrigert mengde, $V_{env}$ [ $m^3/h$ ]	<b>289,5</b>	<b>337,1</b>	<b>382,8</b>	<b>426,7</b>	<b>460,0</b>	<b>497,3</b>	<b>531,2</b>	<b>567,7</b>	<b>590,9</b>	<b>621,3</b>		
Feil [%]	<b>0,3%</b>	<b>-0,7%</b>	<b>0,1%</b>	<b>0,7%</b>	<b>-0,6%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,1%</b>	<b>0,8%</b>	<b>-0,7%</b>	<b>0,0%</b>		

## Bygningstrykk - luftmengde



## Sammenlagt testresultat

	Resultat	Usikkerhet
Luftmengde ved, $V_{50}$ [ $m^3/h$ ]	<b>567,0</b>	<b>+/-0,0053</b>
Luftskifte ved 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	<b>19,55</b>	<b>+/-0,0503</b>
Luftlekkasje ved 50 Pa, $Q_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>9,910</b>	<b>+/-0,0500</b>
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, $w_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>58,436</b>	<b>+/-0,0500</b>

### Forsøk 3

### Overtrykkstest

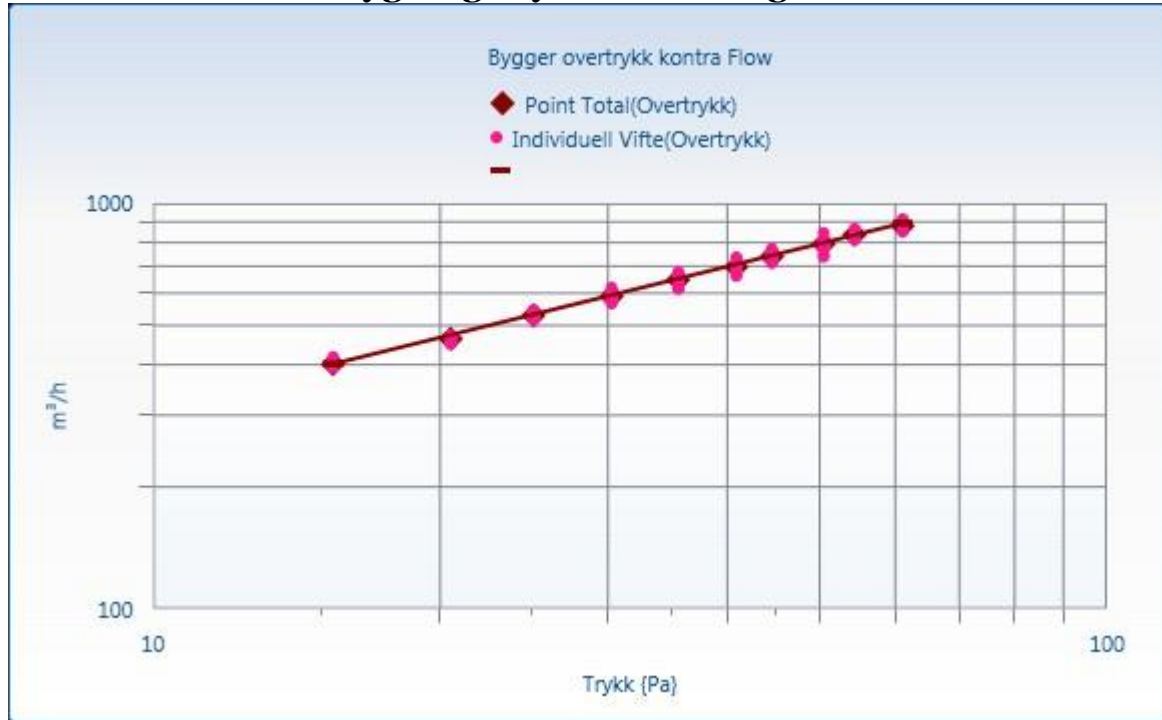
Naturlig trykk-differanse, før test[Pa]	<b>0,23</b>	<b>0,34</b>	<b>0,16</b>	<b>0,37</b>	<b>0,21</b>	<b>0,37</b>	<b>0,37</b>	<b>0,21</b>	<b>0,31</b>	<b>0,24</b>		
Bygnings-trykk [Pa]	<b>-15,2</b>	<b>-20,2</b>	<b>-24,8</b>	<b>-30,0</b>	<b>-35,3</b>	<b>-40,6</b>	<b>-44,3</b>	<b>-50,2</b>	<b>-54,1</b>	<b>-60,8</b>		
Naturlig trykk-differanse etter test[Pa]	<b>0,35</b>	<b>0,40</b>	<b>0,42</b>	<b>0,26</b>	<b>0,40</b>	<b>0,39</b>	<b>0,19</b>	<b>0,09</b>	<b>0,19</b>	<b>0,18</b>		
Viftetrykk, [Pa]	<b>15,3</b>	<b>20,3</b>	<b>26,3</b>	<b>32,5</b>	<b>39</b>	<b>45</b>	<b>50,5</b>	<b>58,1</b>	<b>64,3</b>	<b>71</b>		
Total mengde, $V_r$	<b>401,7</b>	<b>463,6</b>	<b>529,7</b>	<b>589,6</b>	<b>647,7</b>	<b>696,6</b>	<b>739,2</b>	<b>793,4</b>	<b>836,7</b>	<b>879,4</b>		



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

[m <sup>3</sup> /h]												
Korrigert mengde, V <sub>env</sub> [m <sup>3</sup> /h]	405,0	467,4	534,0	594,4	653,0	702,3	745,3	799,9	843,5	886,5		
Feil [%]	0,8%	-1,4%	0,3%	0,1%	0,2%	-0,7%	0,3%	0,1%	1,0%	-0,7%		

### Bygningstrykk - luftmengde



### Sammenlagt testresultat

	Resultat	Usikkerhet
Luftmengde ved, V <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /h]	<b>800,5</b>	<b>+/-0,0075</b>
Luftskifte ved 50 Pa, n <sub>50</sub> [/h]	<b>27,61</b>	<b>+/-0,0506</b>
Luftlekkasje ved 50 Pa, Q <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	<b>13,999</b>	<b>+/-0,0500</b>
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, w <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	<b>82,548</b>	<b>+/-0,0500</b>

### Undertrykkstest

Naturlig trykk-differanse, før test [Pa]	-0,40	-0,37	-0,49	-0,36	-0,34	-0,36	-0,26	-0,23	-0,40	-0,46		
Bygnings-trykk [Pa]	-15,0	-20,0	-24,9	-30,0	-35,1	-40,1	-45,1	-49,9	-55,0	-60,0		
Naturlig trykk-differanse	-0,16	-0,17	-0,22	-0,22	-0,32	-0,30	-0,30	-0,32	-0,37	-0,26		

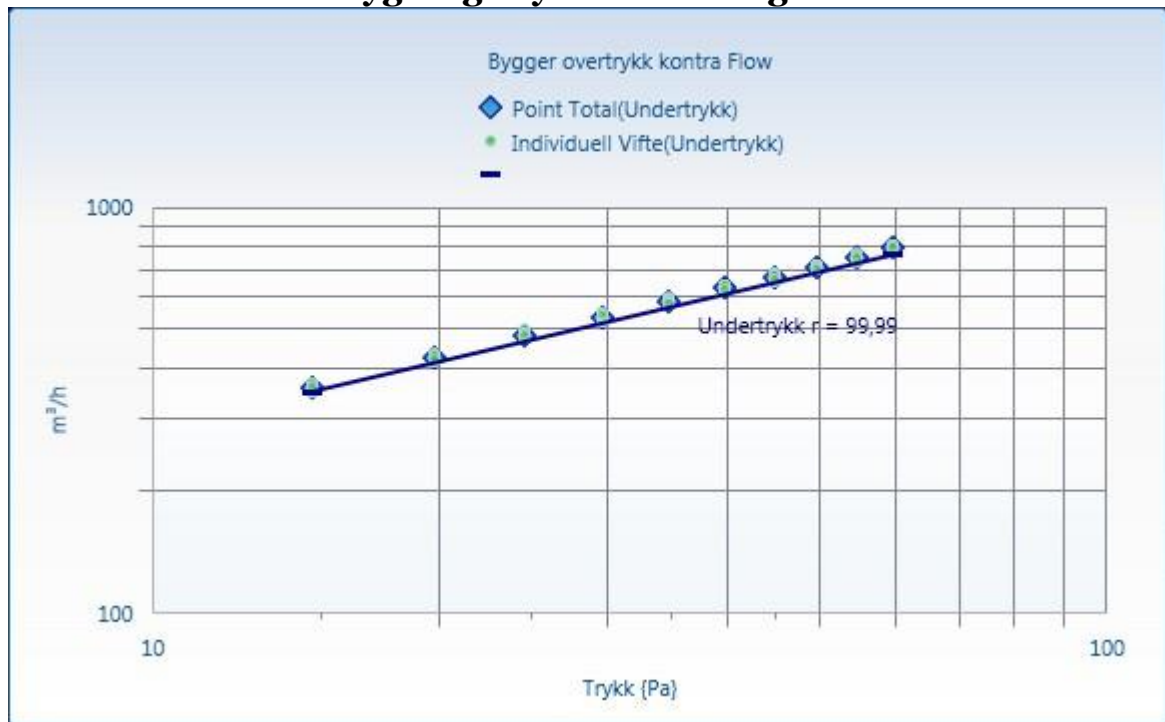


Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg

HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

etter test[Pa]												
Viftetrykk, [Pa]	24,3	33,9	43,8	53,5	63,4	73,7	83,2	92,9	103,5	114,3		
Total mengde, $V_r$ [m <sup>3</sup> /h]	360,0	426,0	485,2	537,5	586,0	632,6	673,0	711,8	752,2	791,3		
Korrigert mengde, $V_{env}$ [m <sup>3</sup> /h]	347,9	411,7	468,9	519,5	566,4	611,4	650,5	687,9	727,0	764,8		
Feil [%]	-0,5%	-0,1%	0,6%	0,3%	0,2%	0,3%	-0,2%	-0,3%	-0,2%	-0,1%		

### Bygningstrykk - luftmengde



### Sammenlagt testresultat

	Resultat	Usikkerhet
Luftmengde ved, $V_{50}$ [m <sup>3</sup> /h]	<b>706,5</b>	<b>+/-0,0035</b>
Luftskifte ved 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	<b>24,35</b>	<b>+/-0,0501</b>
Luftlekkasje ved 50 Pa, $Q_{50}$ [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	<b>12,350</b>	<b>+/-0,0500</b>
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, $w_{50}$ [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	<b>72,829</b>	<b>+/-0,0500</b>

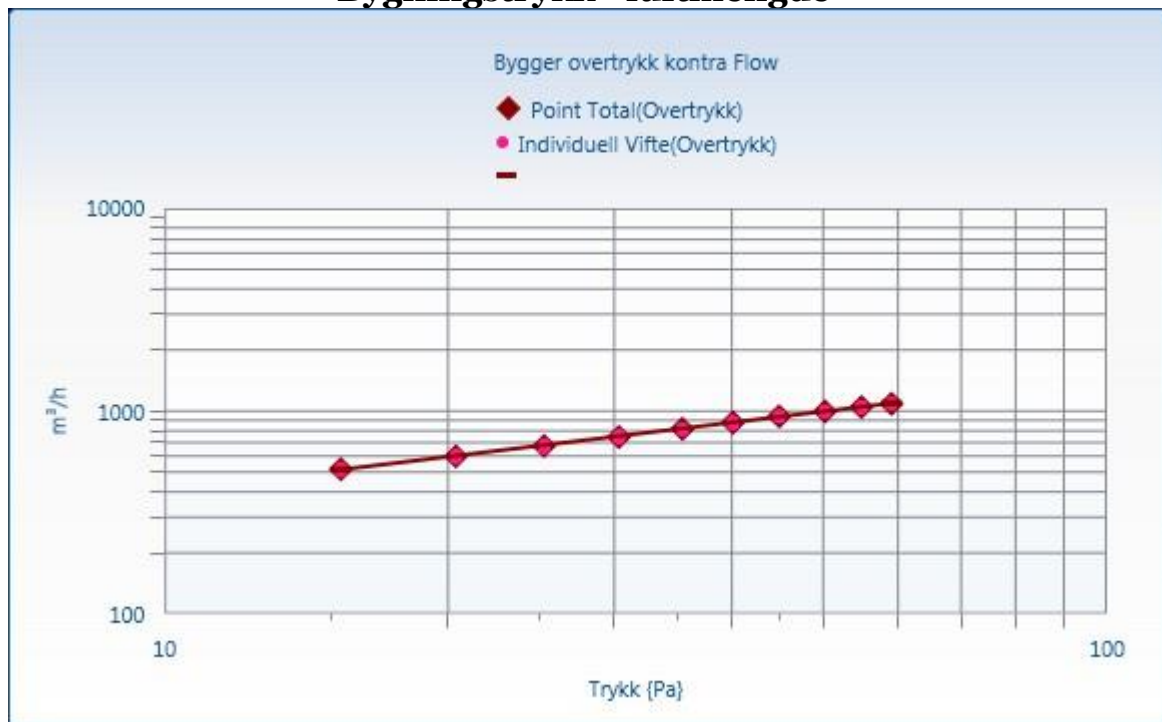




## Overtrykkstest

Naturlig trykk-differanse, før test [Pa]	0,15	0,23	0,29	0,36	0,25	0,22	0,25	0,26	0,36	0,27		
Bygnings-trykk [Pa]	-15,1	-20,1	-25,0	-30,0	-35,1	-39,8	-44,6	-49,9	-54,6	-58,8		
Naturlig trykk-differanse etter test [Pa]	0,34	0,36	0,38	0,35	0,35	0,38	0,40	0,36	0,30	0,38		
Viftetrykk, [Pa]	49,7	66,1	83,3	101,5	121,7	140,2	160,8	179,5	197,8	212,7		
Total mengde, $V_r$ [m <sup>3</sup> /h]	518,2	599,0	674,2	745,5	818,0	879,3	942,9	997,5	1049	1088		
Korrigert mengde, $V_{env}$ [m <sup>3</sup> /h]	520,1	601,2	676,6	748,2	820,9	882,4	946,3	1001	1052	1092		
Feil [%]	0,9%	-0,4%	-0,6%	-0,8%	-0,2%	0,1%	0,8%	0,2%	0,2%	-0,2%		

## Bygningstrykk - luftmengde



## Sammenlagt testresultat

	Resultat	Usikkerhet
Luftmengde ved, $V_{50}$ [m <sup>3</sup> /h]	<b>1005</b>	<b>+/-0,0056</b>
Luftskifte ved 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	<b>34,71</b>	<b>+/-0,0503</b>



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



**OFAS**

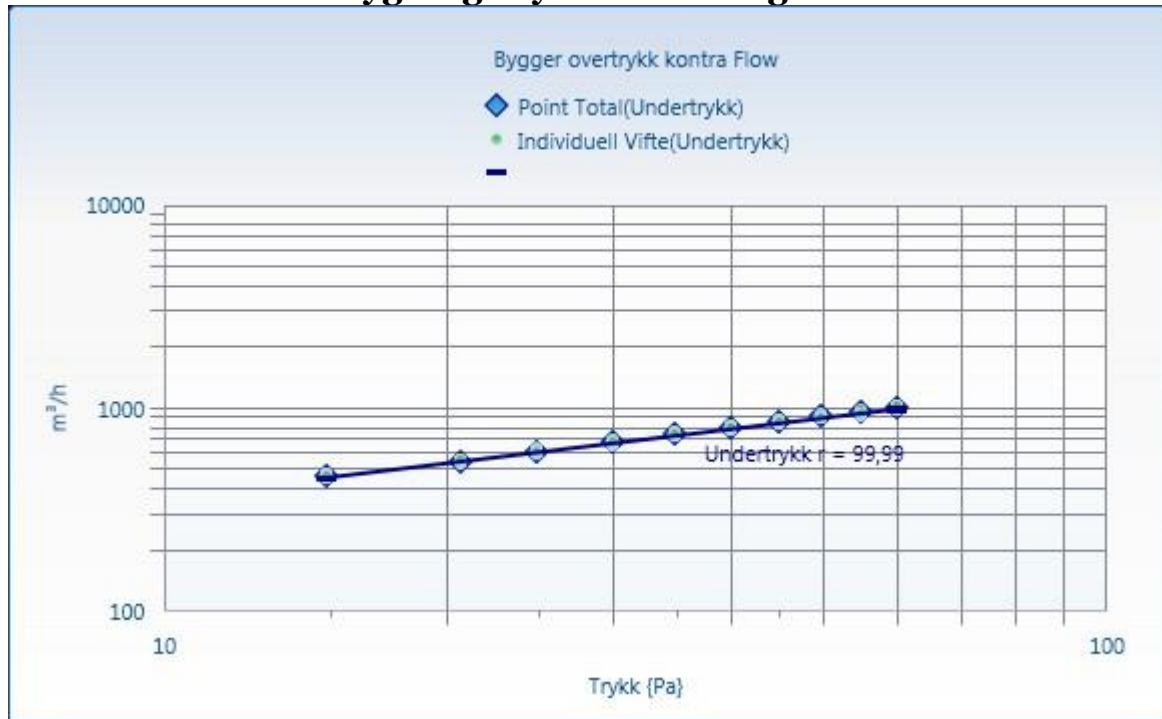
Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg

Luftlekkasje ved 50 Pa, $Q_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>17,600</b>	<b>+/-0,0500</b>
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, $w_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>103,783</b>	<b>+/-0,0500</b>

## Undertrykkstest

Naturlig trykk-differanse, før test[Pa]	-0,12	-0,16	-0,14	-0,20	-0,16	-0,08	-0,12	-0,19	-0,16	-0,08		
Bygnings-trykk [Pa]	-15,1	-20,8	-25,0	-30,0	-35,0	-40,1	-45,1	-49,9	-55,1	-60,1		
Naturlig trykk-differanse etter test[Pa]	-0,22	-0,14	-0,23	-0,24	-0,34	-0,22	-0,25	-0,18	-0,33	-0,25		
Viftetrykk, [Pa]	20,1	16,5	20,6	25,1	30,2	34,7	39,6	44,7	49,3	54,5		
Total mengde, $V_r$ [ $m^3/h$ ]	465,1	550,0	615,2	679,0	745,5	800,4	856,0	909,5	955,9	1006		
Korrigert mengde, $V_{env}$ [ $m^3/h$ ]	454,6	537,5	601,3	663,6	728,7	782,3	836,6	889,0	934,3	983,5		
Feil [%]	0,6%	-0,8%	0,0%	-0,4%	0,4%	-0,2%	0,0%	0,4%	-0,2%	0,1%		

## Bygningstrykk - luftmengde





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



**OFAS**

Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg

## Sammenlagt testresultat

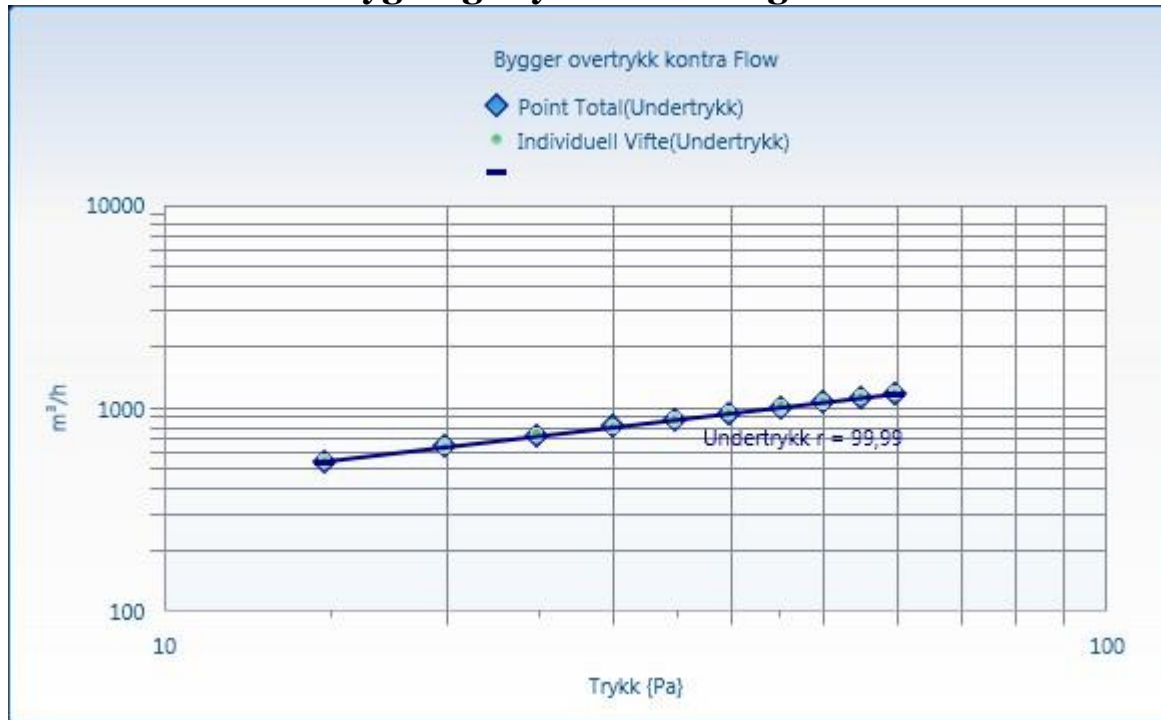
	Resultat	Usikkerhet
Luftmengde ved, $V_{50}$ [ $m^3/h$ ]	<b>900,0</b>	<b>+/-0,0041</b>
Luftskifte ved 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	<b>31,05</b>	<b>+/-0,0502</b>
Luftlekkasje ved 50 Pa, $Q_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>15,738</b>	<b>+/-0,0500</b>
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, $w_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>92,807</b>	<b>+/-0,0500</b>

### Forsøk 5

### Undertrykkstest

Naturlig trykk-differanse, før test[Pa]	<b>-0,28</b>	<b>-0,13</b>	<b>-0,16</b>	<b>-0,18</b>	<b>-0,14</b>	<b>-0,17</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,16</b>	<b>-0,12</b>	<b>-0,11</b>		
Bygnings-trykk [Pa]	<b>-15,0</b>	<b>-20,1</b>	<b>-25,0</b>	<b>-30,1</b>	<b>-35,0</b>	<b>-40,0</b>	<b>-45,2</b>	<b>-50,2</b>	<b>-55,0</b>	<b>-59,9</b>		
Naturlig trykk-differanse etter test[Pa]	<b>-0,15</b>	<b>-0,19</b>	<b>-0,17</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,18</b>	<b>-0,19</b>	<b>-0,27</b>	<b>-0,26</b>	<b>-0,21</b>	<b>-0,30</b>		
Viftetrykk, [Pa]	<b>27,7</b>	<b>38,2</b>	<b>49,3</b>	<b>59,5</b>	<b>70,4</b>	<b>80,9</b>	<b>92</b>	<b>103</b>	<b>114,8</b>	<b>125,3</b>		
Total mengde, $V_r$ [ $m^3/h$ ]	<b>550,2</b>	<b>647,5</b>	<b>737,6</b>	<b>811,9</b>	<b>884,5</b>	<b>949,3</b>	<b>1014</b>	<b>1074</b>	<b>1136</b>	<b>1188</b>		
Korrigert mengde, $V_{env}$ [ $m^3/h$ ]	<b>537,7</b>	<b>632,8</b>	<b>720,9</b>	<b>793,6</b>	<b>864,5</b>	<b>927,8</b>	<b>990,9</b>	<b>1050</b>	<b>1110</b>	<b>1162</b>		
Feil [%]	<b>-0,3%</b>	<b>-0,2%</b>	<b>0,7%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,1%</b>	<b>-0,1%</b>	<b>-0,3%</b>	<b>-0,3%</b>	<b>0,2%</b>	<b>0,0%</b>		

## Bygningstrykk - luftmengde



## Sammenlagt testresultat

	Resultat	Usikkerhet
Luftmengde ved, $V_{50}$ [ $m^3/h$ ]	<b>1065</b>	<b>+/-0,0032</b>
Luftskifte ved 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	<b>36,81</b>	<b>+/-0,0501</b>
Luftlekkasje ved 50 Pa, $Q_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>18,662</b>	<b>+/-0,0500</b>
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, $w_{50}$ [ $m^3/h.m^2$ ]	<b>110,047</b>	<b>+/-0,0500</b>

## Overtrykkstest

Naturlig trykk-differanse, før test[Pa]	<b>0,12</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>	<b>0,20</b>	<b>0,29</b>	<b>0,18</b>	<b>0,13</b>	<b>0,10</b>	<b>0,27</b>	<b>0,11</b>		
Bygnings-trykk [Pa]	<b>-15,0</b>	<b>-20,0</b>	<b>-24,9</b>	<b>-30,1</b>	<b>-35,2</b>	<b>-40,0</b>	<b>-45,0</b>	<b>-50,1</b>	<b>-55,5</b>	<b>-59,8</b>		
Naturlig trykk-differanse etter test[Pa]	<b>0,21</b>	<b>0,17</b>	<b>0,22</b>	<b>0,16</b>	<b>0,21</b>	<b>0,14</b>	<b>0,17</b>	<b>0,23</b>	<b>0,13</b>	<b>0,18</b>		
Viftetrykk, [Pa]	<b>33,4</b>	<b>44,5</b>	<b>57,7</b>	<b>69,5</b>	<b>81,7</b>	<b>94,2</b>	<b>106,3</b>	<b>119,7</b>	<b>133,5</b>	<b>145,6</b>		
Total mengde, $V_r$ [ $m^3/h$ ]	<b>606,0</b>	<b>701,8</b>	<b>801,1</b>	<b>880,3</b>	<b>956,2</b>	<b>1028</b>	<b>1094</b>	<b>1162</b>	<b>1230</b>	<b>1286</b>		

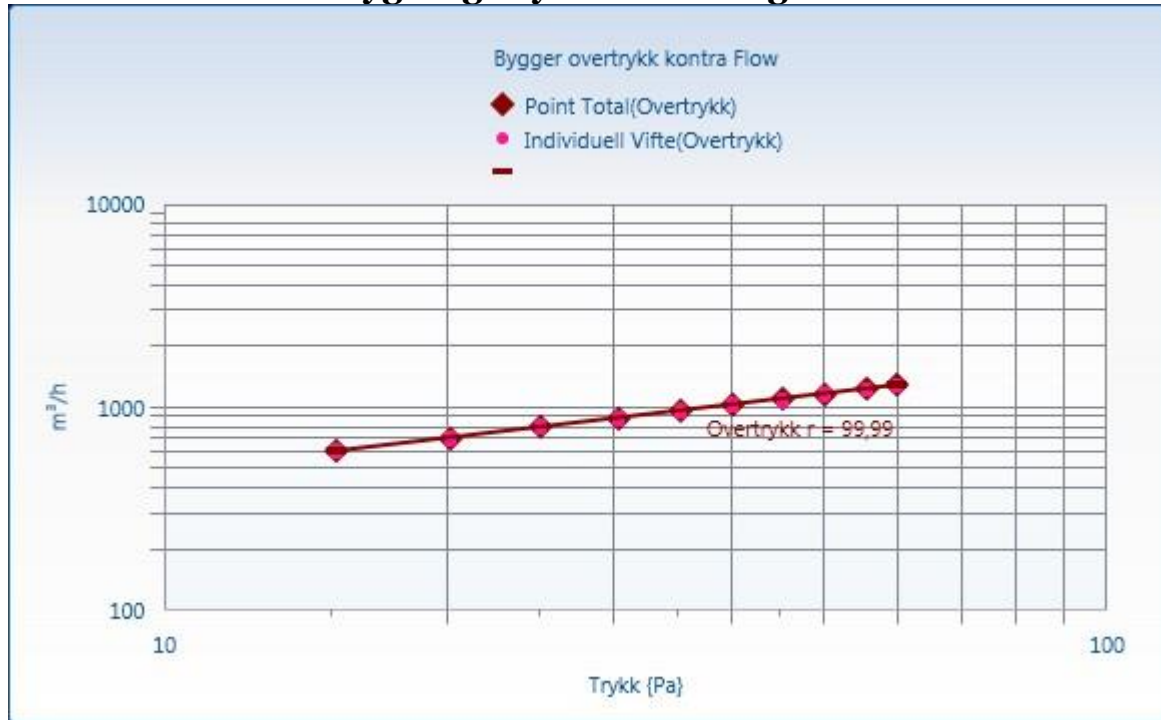


Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg

HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Korrigert mengde, $V_{env}$ [m <sup>3</sup> /h]	609,6	706,0	806,0	885,6	962,0	1034	1100	1170	1237	1294		
Feil [%]	0,2%	-0,5%	0,7%	-0,1%	-0,3%	0,0%	-0,3%	0,0%	0,0%	0,4%		

### Bygningstrykk - luftmengde



### Sammenlagt testresultat

	Resultat	Usikkerhet
Luftmengde ved, $V_{50}$ [m <sup>3</sup> /h]	<b>1175</b>	<b>+/-0,0038</b>
Luftskifte ved 50 Pa, $n_{50}$ [/h]	<b>40,60</b>	<b>+/-0,0501</b>
Luftlekkasje ved 50 Pa, $Q_{50}$ [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	<b>20,573</b>	<b>+/-0,0500</b>
Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, $w_{50}$ [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ]	<b>121,318</b>	<b>+/-0,0500</b>



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND  
Årvik gata 9



**OFAS**  
Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg

### Sammenlagt testresultat uten teip (ikke teipet dør)

	Resultat	Usikkerhet
<i>Luftmengde ved, <math>V_{50}</math> [<math>m^3/h</math>]</i>	<b>764,0</b>	<b>+/-0,0040</b>
<i>Luftskifte ved 50 Pa, <math>n_{50}</math> [/h]</i>	<b>26,71</b>	<b>+/-0,0502</b>
<i>Luftlekkasje ved 50 Pa, <math>Q_{50}</math> [<math>m^3/h.m^2</math>]</i>	<b>13,425</b>	<b>+/-0,0500</b>
<i>Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, <math>w_{50}</math> [<math>m^3/h.m^2</math>]</i>	<b>65,851</b>	<b>+/-0,0500</b>

### Sammenlagt testresultat (teipet dør)

	Resultat	Usikkerhet
<i>Luftmengde ved, <math>V_{50}</math> [<math>m^3/h</math>]</i>	<b>352,5</b>	<b>+/-0,0382</b>
<i>Luftskifte ved 50 Pa, <math>n_{50}</math> [/h]</i>	<b>12,35</b>	<b>+/-0,0630</b>
<i>Luftlekkasje ved 50 Pa, <math>Q_{50}</math> [<math>m^3/h.m^2</math>]</i>	<b>6,199</b>	<b>+/-0,0600</b>
<i>Spesifikk lekkasjeluftmengde ved 50 Pa, <math>w_{50}</math> [<math>m^3/h.m^2</math>]</i>	<b>30,405</b>	<b>+/-0,0600</b>



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

## Vedlegg F – Fire Safety Day

I dette vedlegget finnes programmet for Fire Safety Day 18. april 2012 og presentasjonen som ble holdt på Lund Universitet om dette prosjektet.



### Fire Safety Day - a yearly event

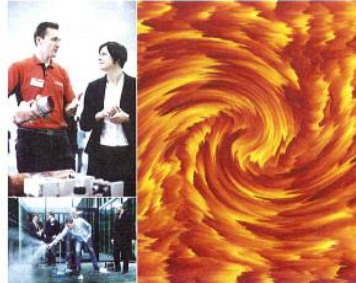
This is the announcement for the second Fire Safety Day on Wednesday April 18th 2012 at Lund University in Sweden.

The Fire Safety Day is a yearly event with shifting responsibility carried by the Fire Safety Group at the Technical University of Denmark and the Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety at Lund University, Sweden.

The day will put focus on fire research in Scandinavia. Contributions from other countries are more than welcome. The conference language is English.

Fire Safety Day shall be a meeting point for all of you who are interested in and work with different aspects for fire. The day shall give a lot of opportunity to tie band between fire-industry, municipalities and University.

At Fire Safety Day you will have the opportunity to get information on different aspects within fire research.



#### Objective

The objective of the Fire Safety Day is to put focus on fire research in Scandinavia. However, contributions from other countries are more than welcome. All topics within Fire Safety are of interest. The conference comprehends a poster session presenting the work of student is part of the conference as well as a parallel session.

#### Abstracts

Abstracts can be found here: [www.byg.dtu.dk/Uddannelse/Efteruddannelse/Brandsikkerhed](http://www.byg.dtu.dk/Uddannelse/Efteruddannelse/Brandsikkerhed)

#### Venue

[www.afborgen.se](http://www.afborgen.se)

#### Registration:

Your registration will be completed as soon as you payed the fee to the account: 4180 4263972007  
International payment by:  
IBAN DK5730004263972007  
SWIFT: DABADKKK  
With the following information:  
Name  
And the number: 25652, E-93  
Furthermore send a mail to [Ann.Bruhn@brand.lth.se](mailto:Ann.Bruhn@brand.lth.se)

#### Organizing committee

Robert Jönsson, Lund University  
Anne Dederichs, Technical University of Denmark

#### Scientific committee

Robert Jönsson, LTH, Sweden  
Anne Dederichs, DTU, Denmark  
Bjarne Husted, HSC, Norway  
Björn Karlsson, IU, Island  
Simo Hostikka, VTT, Finland

#### Price:

600 DKK  
150 DKK for students  
Students with posters free

**Date:** April 18th 2012

**Location:** Lund University in Sweden

**Conference language:** English

### Programme

9:00-9:30	Welcome
9:30-10:20	Acceptance of fire safety engineering as a engineering dicipline in Scotland, Tom Grace Factors that Affect Structural Fires in Finland - Modeling the Number of Structural Fires and its Change in Municipalities, Kaukonen Esko Performance based background for timber framed buildings in the revision of Finnish fire regulations, Esko Mikkola
10:30-11:30	Energy Efficiency and Fire Safety, Birgitte Messerschmidt, Rockwool Implementation of Improved EDC Combustion Model in the Open LES Code FDS David R.U. Johansen and Bjarne Husted A study of reproducibility of realscale fire experiments, Nils Johansson, Daniel Nilsson and, Patrick van Hees A study of the relation between different non-combustible lining materials and the onset of flashover, Annemarie Poulsen and Grunde Jomaas
11:30-13:30	<b>Lunch &amp; postersession</b>
13:30-14:30	Burning Behavior of Particle Board in the Vitiated Cone Calorimeter, Jan H. Deubel, Martin Werrel, Simone Krüger and Ulrich Krause Visualisation of smoke dependening on its toxic potential and optical properties, Andrea Löhnert, Frederik Rabe, Christian Knaust and Ulrich Krause Use of the inert gas INERGEN in historic buildings, Liv Astrid Bergsager, Siri Herlin Walaker and Birgitte Storstein
14:30-15:00	<b>Coffee</b>
15:00-16:00	Experimental Study of the Effects of Flame Retardants Applied to Chipboard, Roff R. Leisted, Hjalte Bengtsson and Grunde Jomaas Fire Resistance of a Super-Light Deck Element: Finite Element Investigation and Related Modelling Issues, J. V. Carstensen, L. Giuliani and K. D. Hertz Analysis of a steel high-rise building in case of fire, Filippo Gentili and Luisa Giuliani
16:15-17:15	Evaluating the Evacuation Design in High-Rise Buildings Using a Design Perspective Daniel Nilsson and Axel Jönsson, Walking Speeds on horizontal planes and descending stairs for blind and visual impaired people, J.G. Sorensen and A.S. Dederichs A Review of the KESØ Subproject - evacuation characteristics of children, A.R. Larusdottir and A.S. Dederichs

<http://www.brand.dtu.dk/upload/institutter/byg/brand/abstracts.zip>



### Invitation

## Fire Safety Day 2012 April 18<sup>th</sup>

**Location:** Af borgen, Sandgatan 2, 223 50 Lund

**Arranged by:** Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University and Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark



# The use of INERGEN in historic buildings

Liv Astrid Bergsager – Siri Walaker – Birgitte Storstein  
Stord/Haugesund Community College  
Bachelor thesis in fire safety



Overall objective:

to identify possibilities and limitations for the use of  
the inert gas Inergen in historic buildings

- Recommended practice
- Challenges in historic buildings
- This thesis focus on

Handpainted wallpapers by Eric Tunmarck in 1763, at Fossholm Manor





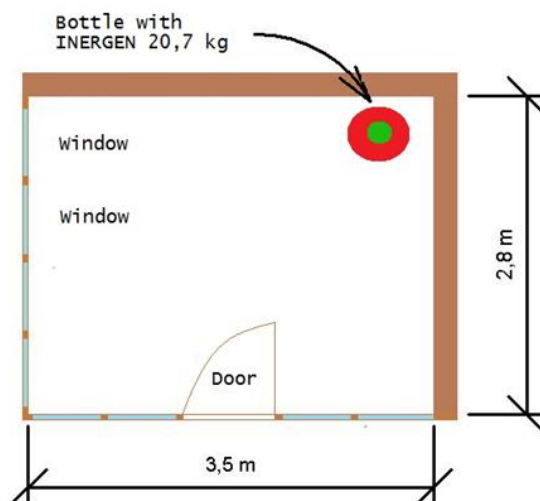
## Brief introduction to Inergen

- Consist of
  - Ar, Ni and CO<sub>2</sub>
- Density
  - 1,41 kg/m<sup>3</sup>
- Extinguishing mechanism
  - suppression of oxygen
  - does not react with the fire
- Not harmful to people



## Design of test

**Top view of test room**



**Picture of test room**



## Design of test

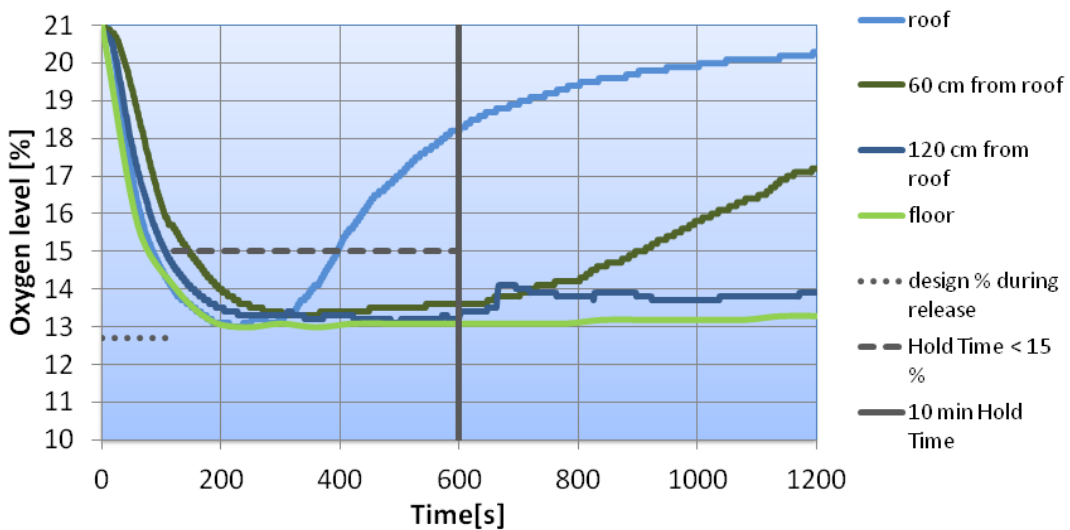
- **Measurement of oxygen levels**
  - Roof
  - 60 cm from roof
  - 120 cm from roof
  - Floor
- **Measurement of leakage**
  - Blowerdoor
  - Leakage number: Air changes at 50 Pa [h]
- **Leakage scenarios**
  - Symmetrical
  - Half open half closed
  - Natural ventilation
- **Purpose**
  - How long will the oxygen concentration stay below 15 %
  - This time is defined as Hold time



Results:

## Hold Time vs Height

scenario: symmetrical leakage

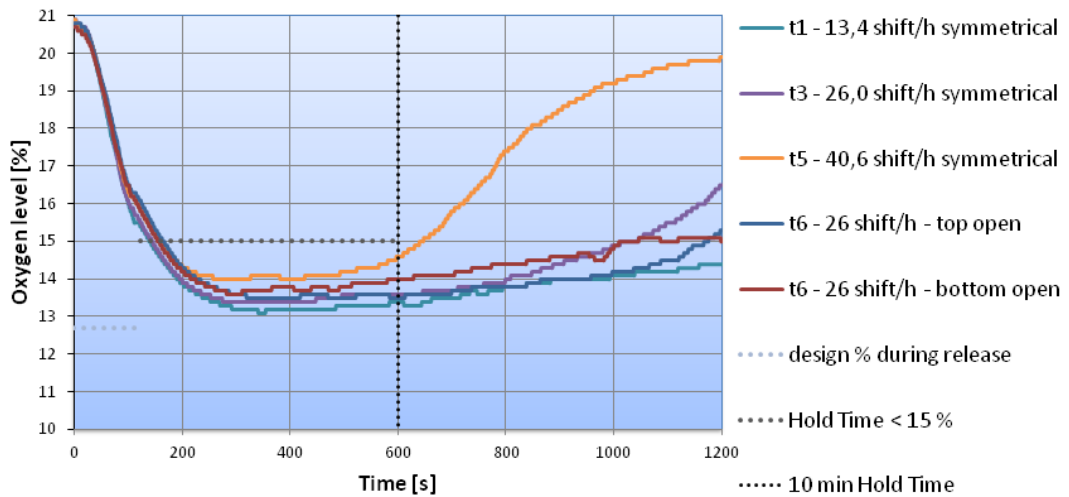


The height 60 cm from the roof is chosen to compare with a downward facing sprinkler

Results:

## Hold Time vs leakage scenarios

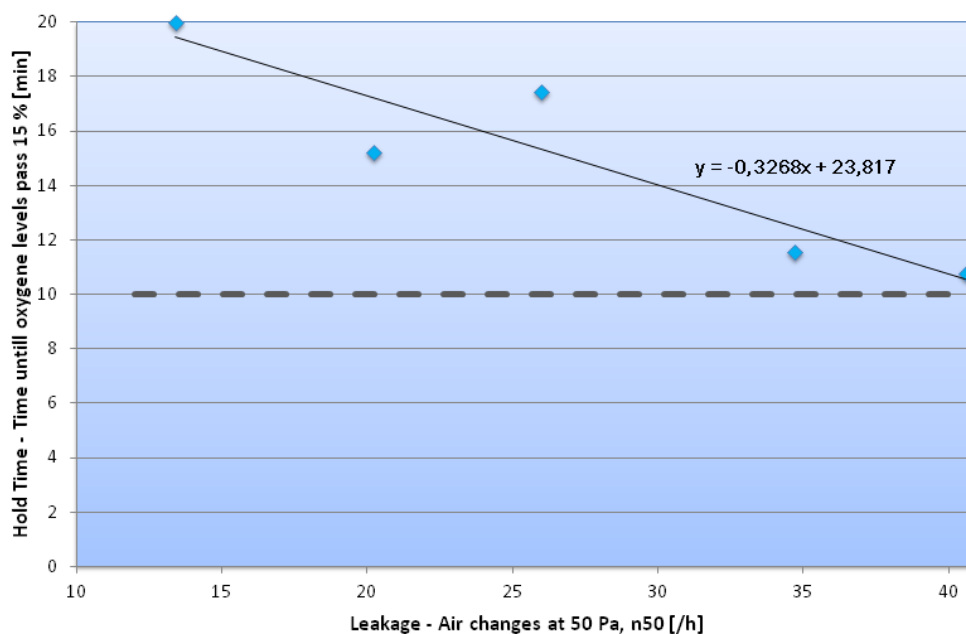
(60 cm from roof)



Results:

## Hold Time vs Leakage

(60 cm from the roof)



## Conclusion

- All leakage scenarios had a hold time of at least 10 minutes at the level 60 cm from the roof
- The Hold Time was longer than expected, with less than design concentration
- Rooms and buildings with large openings can be protected by INERGEN, however the effect of wind must be taken into consideration.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

### ***Vedlegg G – IMT beregning***

For å kvalitetssikre prosjekteringen av slokkeanlegget i testrommet, ble denne utformet av branningeniør Jørn Karlsen, som til daglig prosjekterer slokkeanlegg basert på INERGEN.



#### **IMT V.1.2.38**

User	Jørn Karlsen
Printed	19. mars 2012 kl 14.48 CET
Filename	2899-HBAS-Demorom.imt
Company	Haugaland Brannsikring AS
Address	Raglamyrveien 22
ZIP & City	5536 Haugesund
Your ref.	Jørn Karlsen
Telephone No.	52 71 72 22
Our reference	Jørn Karlsen
Information	Demorom

**Inergen System Data**

Total volume of enclosure	29.0	m <sup>3</sup>
Design Temperature (Cylinder placement)	20.0	C°
Atmospheric pressure	1013.0	mbar
Enclosure construction	500	Pa or : 50kg/m <sup>2</sup>
Flooding concentration	54.2	%
Design concentration	41.8	%
Calculated Inergen volume	15.5	m <sup>3</sup> , at 20.0 C°
Total mass	93.0	Kg
Cylinder volume	50.0	liter
Cylinder pressure at 15.0 °C	300	bar
Cylinder pressure temperature at 20.0 C°	309.0	bar
Cylinder quantity	1.0	pcs.
Inergen mass	20.7	kg
Pressure switch level	249.0	bar
Discharge time	92.0	sec., to reach desired O <sub>2</sub> level
Desired oxygen level	14.0	vol. % O <sub>2</sub> , after discharge time
Final Oxygen concentration	12.2	vol. % O <sub>2</sub>
Max inergen pr. sec.	0.2	kg/s
Pressure relief IMT	48.6	cm <sup>2</sup>
Pipe system working pressure	60.0	bar
Pipe material	Steel	
Orifice area	7.1	mm <sup>2</sup>
Orifice diameter	3.0	mm
Number of orifice (manifolds)	1	pcs.
Total orifice area	7.1	mm <sup>2</sup>
Actual O <sub>2</sub> concentration	12.2	%
Actual CO <sub>2</sub> concentration	3.4	%

**PipeSystem**

No	N1	N2	E	L	Q	B	R	N	X	Y	Length m	Volume m <sup>3</sup>	Pipe mm	Hole mm <sup>2</sup>	Diameter mm
1	1	2			2			6			2.7	29.0	16.5	79.2	10.1

**Description**

E = 45° Elbow

L = Longturn

Q = 90° Elbow

B = Tee

R = Run tee

N = Nozzle

X = UserX

Y = UserY

Length = Pipe length between two nodes.

Volume = The volume of enclosure protected by the actual pipe section.

Pipe = The pipe dimension chosen from the flow table list, a minus sign (-)  
= indicates manually entered values.

Hole = The output area for a nozzle.

Diameter = Minimum inner diameter of the pipe.

Gas amount for pipe system pressure test (1.43\*wp) 0,05 m<sup>3</sup>  
Minimum nozzle pressure. 29,9 Bar

**Nozzle calibration**

Node 2 nr	Noz. type	In. vol m <sup>3</sup>	Noz. nr	Output mm <sup>2</sup>	Drill 1*	Drill 6*	Drill 4*
2	6	29.0	1	79.2	11.0	4.1	5.0

**Nozzle info**

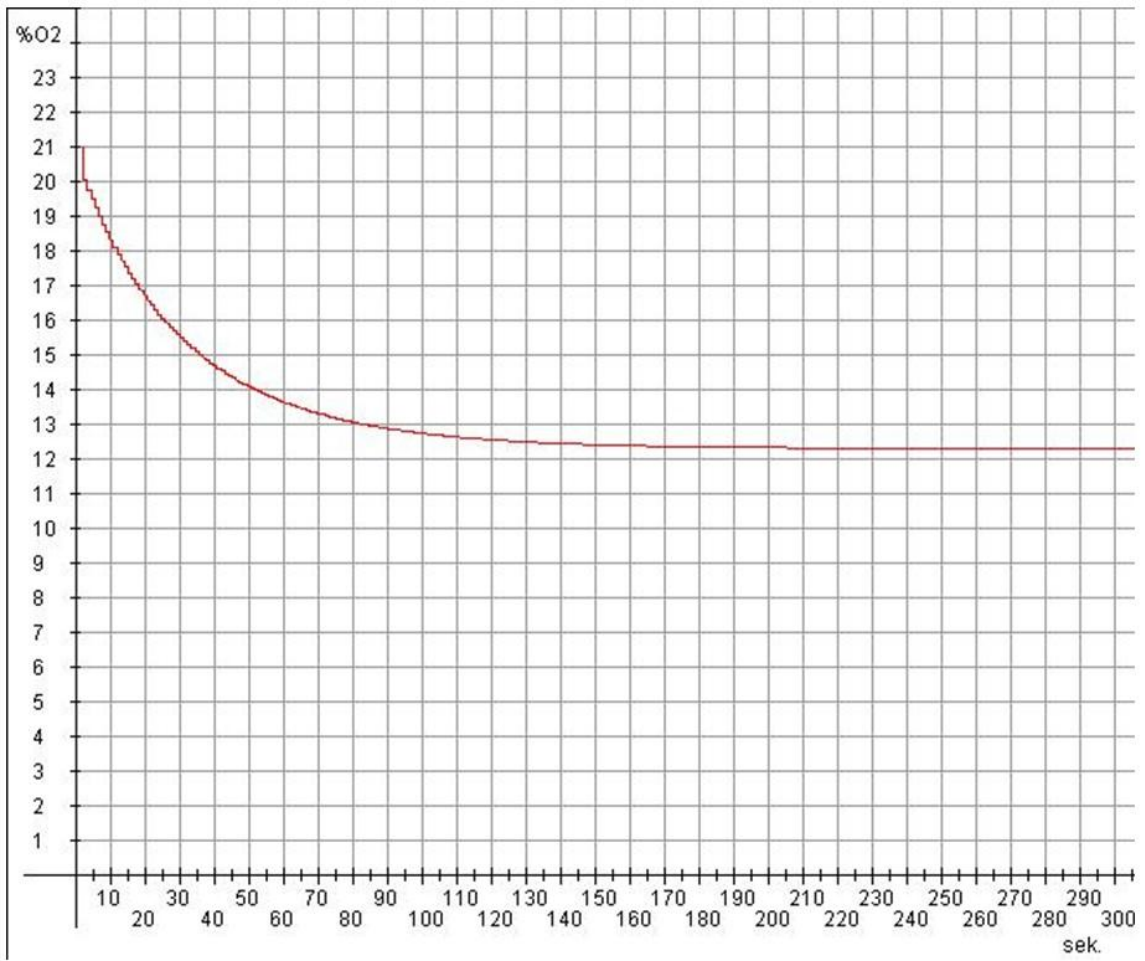
Noz. type 6 = 1 pcs of : "IN-15 MED npt nozzle Cu" : item number : 210524

**Orifice calibration**

Manifold	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7	MT8	MT9	MT10
Orifice	3.0	4.2	5.2	6.0	6.7	7.3	7.9	8.5	9.0	9.5
Quantity	1									
Manifold	MT11	MT12	MT13	MT14	MT15	MT16	MT17	MT18	MT19	MT20
Orifice	9.9	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	12.4	12.7	13.1	13.4
Quantity										
Manifold	MT21	MT22	MT23	MT24	MT25	MT26	MT27	MT28	MT29	MT30
Orifice	13.7	14.1	14.4	14.7	15.0	15.3	15.6	15.9	16.2	16.4
Quantity										

Drilled By : \_\_\_\_\_ Ronny Bøhn \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_ 2012 \_\_\_\_\_





## Pressure Guide

The relation between pressure and temperature in the cylinders. Nominal pressure 300 bar,  
at 15.0 C°

Temperature C°	bar
-10	256.0
-5	265.0
0	273.0
5	282.0
10	291.0
15	300.0
20	309.0
25	318.0
30	326.0
35	335.0
40	344.0
45	352.0
50	361.0
55	369.0
60	378.0

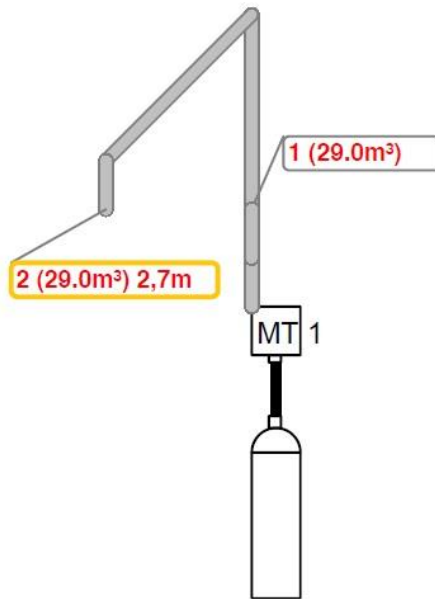


HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



**OFAS**

Opplysningskontoret for  
automatiske slokkeanlegg



Rev.	Date.	Description	Sign.
Project:		Demorom	Location: Haugaland Brannsikring AS
Address:		Raglamyrveien 22	
System:		Demorom	Comments:  Drawing no.: Filename: 2899-HBAS-Demorom.imt
Date	Sign.	 HAUGALAND BRANNSIKRING AS	
Constr.			
Approved			
As built			
Scala			