

Institutt for bygg- og energiteknikk — Energi og miljø i bygg
Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo
Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo
Webside: www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

| | |
|---|---|
| OPPGAVENS TITTEL: Trykksetting av trapperom i norske høyhus | DATO: 15/08/2022 |
| | ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 90 / 83 |
| FORFATTER: Jonathan Lundblad | VEILEDERE: Habtamu Bayera Madessa, OsloMet Eirik Trygstad, Multiconsult |
| UTFØRT I SAMARBEID MED: Multiconsult | KONTAKT: +47 41 41 12 66 |

| |
|---|
| KORT SAMMENDRAG: Det er flere spesielle problemstillinger i høyhus, større høyder kan ha betydning for energibruk, inneklime, og konstruksjon. Men en annen viktig faktor er rømningsikkerhet. Trykksetting av trapperom er en metode anvendt i høyhus for å sikre trygg rømning for brukerne ved alle etasjer. I Norge benyttes en byggeskikk basert på utdatert grunnlag for utforming av trykksatte trapperom. Fungerer trykksatte trapperom i Norge tilfredsstillende, og bør norsk praksis nå gå over til nyere europeisk standard? I dette studie har 22 trykksatte trapperom i Oslo og Viken blitt undersøkt. Ti av trapperommene gjennomgikk omfattende felttester for å dokumentere funksjonen til trykksettingen, disse var på en høyde mellom 10 og 20 etasjer fordelt på fire bygg ferdigstilt mellom 2020 – 2022. Det ble konkludert med at trykksatte trapperom i Norge tilsynelatende ikke fungerer tilfredsstillende. Det etterlyses høyere forventninger til rømningsveier i høyhus, og at sentrale egenskaper dokumenteres og etterprøves for å bevise at systemene utøver forventet funksjon. Eksisterende rammeverk og støttelitteratur må snarest utbedres, og ny europeisk standard bør vurderes ved utforming av nye høyhus. |
|---|

| |
|--|
| NØKKELOD: Rømning Høyhus Trykksetting |
|--|

Forord

Denne masteroppgaven har blitt skrevet våren og sommeren 2022 for Institutt for bygg- og energiteknikk ved OsloMet. Det rettes stor takknemlighet til de ansatte ved instituttet for å ha gitt fagkompetansen og tenkemåten nødvendig i fremtidens energi- og miljøtekniske bransje. Spesielt takk til Peter Schild, Arnab Chaudhuri, Marius Lysebo, Habtamu Madessa, Ernst Erik Hempel, og mange flere. Dere har brukt tid og energi langt forbi forventningene, skapt et rikt fagmiljø ved OsloMet, og vist oss veien gjennom fem år på universitetet.

Takk for støtten og tålmodigheten utøvd av venner og familie. Spesielt mine foreldre, bror, svigerinne, og nevøer. Dere har vært en viktig kilde for motivasjon og støtte gjennom hele utdannelsen, spesielt de siste månedene. Ved min side har jeg også hatt dyktige og inspirerende medstudenter. Det har vært et studentmiljø med svært høyt prestasjonsnivå, kunnskapsdeling, og fantastisk godt samarbeid. Gleder meg til å jobbe med flere av dere i kommende byggeprosjekter, takk for all hjelp og innsats.

En stor takk til byggherrene som disponerte eiendommene involvert i studie. Dere har vært engasjert innen temaet, fremoverlente i å finne løsninger, og gitt opplæring i nødvendige systemer. Dere har påtatt kostnader som konsekvens av inngrep i bygningene og i form av påløpt arbeidstid, dette uten å nøle, hvilket jeg er svært takknemlig for.

I tillegg rettes takk til personer som bidro underveis:

- Multiconsult for bidratt med faglig veiledning, utstyr, og måleinstrumenter.
- Eirik Trygstad for å ha bidratt med faglig støtte helt siden starten av studie.
- Habtamu Madessa for oppfølging og veiledning
- Sturla Ingebrigtsen i Trox Auranor for faglig sparring og innspill
 - Nils Ledermann og Ernst Erik Hempel for å ha skaffet mengder instrumenter og utstyr.
 - Peter Schild for gjennomlesing og tilbakemeldinger
- Steffen Bjerkvoll i Vifter & Miljø for å ha delt sine erfaringer og gitt opplæring på systemene.
 - Henrik Andersen for å ha muliggjort felttesting ved ett av byggene.
 - Aileen Yang og Bjørn Ludvigsen ved SINTEF Community for utlån av måleinstrument.
 - Christian Steneng for gjennomlesning og korrektur.
 - Faglig veiledning og innspill fra:
 - Håkon Winterseth, Firesafe
 - Leif Isaksen, Sweco
 - Tor Olav Mittet, Fokus Rådgivning
 - Vegard Ervik Olsen, Multiconsult
 - Frode Michaelsen, Brann- og redningsetaten
 - Asbjørn Skimten, Tradeco
 - Rune Standal, Multiconsult
 - Geir Fossum, Firesafe

Denne masteroppgaven begynte som en faglig diskusjon i Erichsen & Horgen august 2020, hvor det ble oppdaget et mulig kunnskapshull i vår bransje som var utfordrende å tette. Etter noe frem og tilbake ble det erkjent hva som måtte til for å tette dette hullet; man må ta et tak selv og gjøre egen forskning. Omfanget av det påfølgende arbeidet har vært utfordrende å vise med blekk på papir, men selv om dette arbeidet har spist mye av tid og livskvalitet, var det utrolig motiverende å gjøre dette for å heve kvalitet og sikkerhet i fremtidens bygg.

God lesing!

Jonathan Lundblad
Oslo, 15/08/2022



Sammendrag

I Norge er det forventet at flere personer flytter til byene i årene som kommer [1], i Oslo er det behov for flere nye boliger og arbeidsplasser i takt med urbaniseringen. For at disse nybyggene skal føre til minst mulig transportbehov og klimagassutslipp, fastsetter kommuneplanens byutviklingsstrategi at det skal bygges tettest sentralt i byen og i kollektivknutepunktene [2]. Oslo kommune har foreslått en ny høyhusstrategi for å øke fortetningen, målet er å bidra til en robust og klimavennlig byutvikling ved å bygge høyere flere steder i Oslo [3].

Det er flere spesielle problemstillinger i høyhus, større høyder kan ha betydning for energibruk, inneklima, og konstruksjon. Men en annen viktig faktor er rømningssikkerhet. En stor andel av brukerne i høyhusene vil havne utenfor rekkevidden til brannvesenets stigebiler [4], som ellers ville gitt mulighet for redning hvis rømningstrapp skulle bli røykfyllt. En løsning for dette er å etablere egenskaper i trapperommene som sikrer mot røykinnmengning under rømningsscenario. Teknisk forskrift oppgir to måter å oppnå dette på, enten ved at mellomliggende rom er åpen mot det fri, eller ved at trapperommet trykkesett [5]. Trykksetting er å bruke viftesystemer som skal sette positivt trykk i trapperommet, tilskuddet av frisk luft skal hindre røyken i å tilløpe trapperommet.

Byggteknisk forskrift viser til to kilder for prosjektering og utførelse av trykksatte trapperom; en serie europeiske standarder [6], og en anvisning i Byggforskserien til SINTEF [7]. Disse to kildene beskriver trykksetting ulikt, og kan gi forskjell i systemets kvalitet og kostnad. Anvisningen har blitt basert på en veileder fra Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), denne veilederen var gyldig før 2010 og er ikke lenger à jour med dagens byggeregler [8]. Likevel har både veilederen og anvisningen basert på dens løsninger blitt tatt i bruk ved utforming av nye trykksatte trapperom. I mai 2022 ble det også publisert en ny europeisk standard for trykksatte trapperom, 12101-13:2022 [6].

Ut fra dette ble en problemstilling etablert: Det har kommet en ny europeisk standard på trykksatte trapperom. I Norge benyttes en byggeskikk basert på utdatert grunnlag. Fungerer trykksatte trapperom i Norge tilfredsstillende, og bør norsk praksis nå gå over til europeisk standard?

I dette studie har 22 trykksatte trapperom i Oslo og Viken blitt undersøkt. Ti av trapperommene gjennomgikk omfattende felttester for å dokumentere funksjonen til trykksettingen, disse var på en høyde mellom 10 og 20 etasjer fordelt på fire bygg ferdigstilt 2020 - 2022. Fem sentrale egenskaper ble satt i fokus:

- Generell systemoppbygning
- Trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom.
- Røykfortregningsevne ved brannetasje
- Tilgjengeligheten til rømningstrapp
- Dokumentasjon- og testrutine

Relevante europeiske standarder, Byggforsk sin anvisning, og temaveilederen ble gjennomgått og sammenlignet. Det ble i tillegg tatt innspill fra fagpersoner innen relevante disipliner, samt et litteratursøk av forskning relevant til trykksatte trapperom.

Etter overnevnte undersøkelser ble det funnet at kun tre av de ti testede systemene både overholdt ytelsene definert i byggteknisk forskrift og de anbefalte trykk- og lufthastigheter i Byggforsk anvisning 520.380. Det ble også funnet avvik i befarte anlegg hvor systemene ikke var i tråd med preaksepterte ytelser. Ingen av byggene ble funnet å ha tilstrekkelig og korrekt dokumentasjon, i tillegg ble funnet at rutinetester og fullskalatester normalt ble gjennomført uten at sentrale egenskaper ble målt. Tilsynelatende ingen av de undersøkte byggene var funnet prosjektert iht. NS-EN 12101- standarder for trykksetting av trapperom.

Det ble konkludert med at trykksatte trapperom i Norge tilsynelatende ikke fungerer tilfredsstillende. Det etterlyses høyere forventninger til rømningsveier i høyhus, og at sentrale egenskaper dokumenteres og etterprøves for å bevise at systemene utøver forventet funksjon. Eksisterende rammeverk og støttelitteratur må snarest utbedres, og ny europeisk standard bør vurderes ved utforming av nye høyhus.

Definisjoner og forkortelser

| | |
|-------------------------|--|
| Aerodynamisk areal | Et areal med eventuelle hindringer trukket fra. For eksempel det åpne arealet i en sjakt, med arealet på eventuelle hindringer som rør, kanaler ol. trukket fra. |
| Alternativ rømningsvei | Rømningsvei som ikke passer definisjonen til hovedrømningsvei. Ofte en ekstra rømningsvei ment som redundans til hovedrømningsvei. |
| Automatisk slokkeanlegg | Et anlegg som automatisk påbegynner slokking uten innsats fra mennesker, vanligvis aktivert av varme eller røyk. Vanlig slokkemiddel anvendt for dette formålet er vann, for eksempel sprinklersystem. |
| Beskyttet område | Områder hvor det er iverksatt tiltak for å aktivt hindre tilløp av røyk i et brannscenario |
| Bi-trapp | En trapp som blir benyttet som en alternativ rømningsvei. |
| Branncelle | « <i>Avgrenset del av en bygning hvor en brann i løpet av en fastsatt tid fritt kan utvikle seg uten å spre seg til andre deler av bygningen.</i> » Definisjon fra SNL [9]. |
| Brannenergi | Tidligere kalt «brannbelastning» eller «spesifikk brannbelastning», brannenergi er en størrelse som brukes for å beregne brannforløp i bygninger og ved brannteknisk dimensjonering av bygningskonstruksjoner [10]. |
| Brannetasje | Etasjen hvor en tenkt brann forekommer |
| Brannkonsept | « <i>Sammenstilling av krav og ytelse som er grunnlaget for detaljprosjektering. Benyttet i SAK10. Vil vanligvis også omfatte branntegninger.</i> » Definisjon fra SINTEF Community [11]. |
| Bruker(e) | En samlebetegnelse anvendt i dette studie for personer som oppholder seg i, eller aktivt anvender, bygningen |
| Dørautomatikk | Dørautomatikk er automatisk eller elektrisk styring av åpning og lukking av dører, normalt helautomatisk ved knapp/sensor eller halvautomatisk ved å gi døren en initial impuls. |
| Entrepriseform | Entreprise er en avtale om utførelse av et større arbeid, særlig bygg- og anleggsarbeid. Entrepriseformen er hvordan risikoen er fordelt mellom byggherre og entreprenør. |
| FDV (-dokumentasjon) | Dokumentasjon benyttet til Forvaltning, Drift og Vedlikehold (FDV) av bygget. |
| Fravik | « <i>Mangel på oppfyllelse av en preakseptert ytelse. Fravik betyr at det er valgt en alternativ ytelse som krever verifikasjon for oppfyllelse av forskriftskrav.</i> » SINTEF Community [11] |
| Fraviksdokumentasjon | Dokumentasjon som beskriver de en alternative ytelsene anvendt ved et fravik. |
| Frekvensomformer | En regulator som driver en elmotor (f.eks. vifte) ved å variere strømforsyningens spenning og frekvens. |
| Fullskalatest | « <i>Test av brann- og rømningsikkerhet som dokumenterer at lokalenes og bygningens funksjon, med alle relevante delsystemer sammenkoblet, fungerer som forutsatt i henhold til gjeldende regelverk, kontraktskrav og brannkonsept/brannsikkerhetsstrateg.</i> » Definisjon fra SKOK, Oslobygg [12]. |
| Hovedrømningsvei | Hovedrømningsvei er samme vei som benyttes som hovedinngang til ett eller flere lokaler innad et bygg. |
| Høyhus | Definisjonen varier i stor grad og er ikke entydig. I Norge er det vanlig at bygg over 10-12 etasjer blir referert til som høyhus [13]. |

| | |
|---------------|--|
| Oppholdsrom | Rom ment for varig opphold. Rom for varig opphold er normalt ikke en del av det beskyttede området i et trykksettingsanlegg. |
| PID-regulator | «PID-regulator er en type regulator som beregner en utgangsverdi, pådrag, på grunnlag av de matematiske operasjonene proporsjonal forsterkning (P), integralvirkning (I) og derivatvirkning (D) brukt på inngangssignalet.» Definisjon fra SNL [14]. |
| RIBr | Rådgivende Ingeniør Brann |
| RIV | Rådgivende Ingeniør Ventilasjon (Ev. VVS) |
| Røyksetting | En prosedyre hvor man ved hjelp et røykproduserende verktøy trigger røykdetektor. Dette gjøres normalt for å undersøke hvordan automatikken og systemer responderer når brann forekommer. |
| Settpunkt | Settpunkt er i et regulert system den verdien som systemet søker å opprettholde |
| Sporrøyk | Sporrøyk er bruken av røyk for å spore hvordan luften beveger seg. |
| TEK | Byggteknisk forskrift |
| TEK17 | Byggteknisk forskrift, gjeldene fra 2017 [15] |
| UPS | Forkortelse for «Uninterruptible Power Supply», som betyr avbruddsfri strømforsyning, det vil si at produktet/systemet får strømforsyning selv om den vanlige strømforsyningen forsvinner i en gitt periode. |
| VTEK17 | Veiledningen til byggteknisk forskrift fra 2017 [15] |

Nomenklatur

| | | |
|---------------------|---|------------------------------|
| Δp_v | Trykkdifferanse produsert av vind | [Pa] |
| $\Delta p_{dør}$ | Trykkdifferansen over døren | [Pa] |
| $\Delta p_{åpning}$ | Trykkdifferansen over åpningen | [Pa] |
| Δp_H | Trykkdifferanse over høyden | [Pa] |
| C_p | Formfaktor | [-] |
| $A_{dør}$ | Dørens areal | [m ²] |
| $A_{åpning}$ | Effektivt åpningsareal | [m ²] |
| $B_{dør}$ | Dørens bredde | [m] |
| C_v | Utslippskoeffisient, (0,6 – 0,9) | [-] |
| d | Avstand fra dørhendel til ytterkant av dør (på dørhendelens side) | [m] |
| F_r | Nødvendig kraft for å overvinne eventuell dørpumpe | [N] |
| g | Tyngdens akselerasjon (~9,81) | $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ |
| H | Total høyde mellom åpninger | [m] |
| $Q_{åpning}$ | Volumstrøm gjennom åpningen | [m ³ /s] |
| R | Strømningskoeffisient | [-] |
| T_i | Temperatur inne | [K] |
| T_u | Temperatur ute | [K] |
| v | Vindhastighet | [m/s] |

| | | |
|--------------|---|-------------------------------|
| ρ_0 | Luftens tetthet ved 0°C (~1,29) | $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ |
| ρ_{ext} | Utendørs lufttetthet | $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ |
| ρ_i | Innendørs lufttetthet | $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ |
| ρ | Luftens tetthet ved romtemperatur (typisk ~1,2) | $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ |

Innhold

| | |
|--|-----------|
| Forord | ii |
| Sammendrag | iii |
| Definisjoner og forkortelser | iv |
| Nomenklatur | v |
| Innhold | vii |
| 1 Innledning | 1 |
| 1.1 Bakgrunn | 1 |
| 1.2 Introduksjon til røykkontroll | 3 |
| 1.3 Formål og problemstilling | 4 |
| 1.4 Avgrensninger | 5 |
| 1.5 Begrensninger | 5 |
| 2 Teori | 6 |
| 2.1 Grunnleggende om trykksetting | 6 |
| 2.2 Forskrifter og preaksepterte ytelser | 11 |
| 2.3 Dokumenterte løsninger, og standarder | 13 |
| 2.4 Fysiske prinsipper og formler | 20 |
| 3 Metode | 24 |
| 3.1 Litteratursøk | 24 |
| 3.2 Testobjekter og befaringer | 26 |
| 3.3 Målemetode | 29 |
| 3.4 Testmetode | 34 |
| 3.5 Databehandling | 39 |
| 4 Resultater og diskusjon | 40 |
| 4.1 Diskusjon om forskrifter og støttelitteratur | 40 |
| 4.2 Befaring av bygg | 42 |
| 4.3 Felttest av bygg A | 47 |
| 4.4 Felttest av bygg B | 53 |
| 4.5 Felttest av bygg C | 64 |
| 4.6 Felttest av bygg D | 67 |
| 4.7 Oppsummering av funn | 73 |
| 5 Konklusjon | 80 |
| 5.1 Svar på problemstilling | 80 |
| 5.2 Forfatters refleksjoner og anbefalinger | 82 |
| 5.3 Forslag til videre arbeid | 83 |
| Kilder | 84 |
| Vedleggsoversikt | 90 |
| Vedlegg | 91 |

1 Innledning

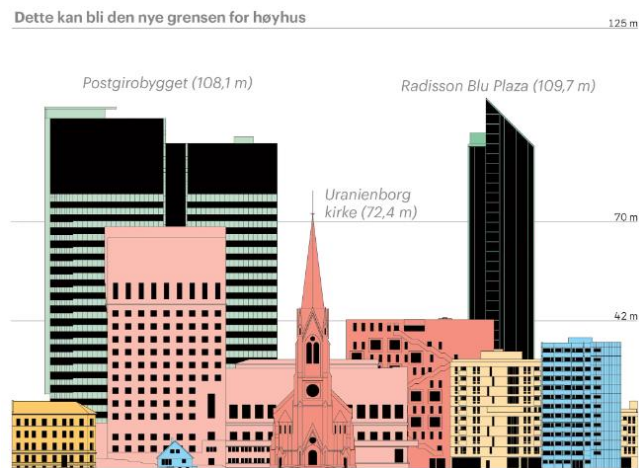
1.1 Bakgrunn

I Norge og flere andre byer i Norden er det en pågående urbanisering, hvor flere flytter fra distriktene og inn i byene. Med søken for arbeidsliv og utdanning vil norske byer og områdene rundt få sterk befolkningsvekst i årene framover [1]. Fortetning rundt byene kan være en del av målet om et mer bærekraftig samfunn og redusert CO₂ utslipp [16]. Miljødirektoratet anbefaler fortetning av boliger og arbeidsplasser rundt kollektivpunkter for at klimavennlig transport skal bli et foretrukket transportalternativ, tettsteder og kollektivknutepunkter bør utvikles slik at de får et mer bymessig preg, med økt fortetting og høyere bygg [2].

Etterspørsel av boliger og arbeidsplasser har over lengre tid satt press på et allerede presset eiendomsmarked i Norge. Fortetning av bosteder og arbeidsplasser til byene står foran en utfordring, det er nemlig ikke nok tilbud til å tilfredsstille etterspørselen av bynære eiendommer. I for eksempel i Norges største by, Oslo, har en sentral utfordring i fortetningen vært å finne ledige tomter nær kollektive knutepunkt [17].

Høyere bygg kan være en løsning i å effektivisere eksisterende grunnareal, og gjøre et tilskudd på tilbudssiden i eiendomsmarkedet. Selv om høyhusene som bygges ofte har et betydelig større karbonavtrykk per kvadratmeter enn lavere bebyggelse [18], kan kanskje mer effektiv reisevei og tettere bebyggelse resultere i et helhetlig mer bærekraftig samfunn.

Ny høyhusstrategi har blitt foreslått av Oslo kommune, hvor målet er at strategien skulle bidra til en robust og klimavennlig byutvikling. Etter en høringsperiode vil Plan- og bygningsetaten gå gjennom innspill før forslaget blir politisk behandlet høsten 2022, byrådet planlegger deretter vedtak senest høsten 2023 [3]. Dette kan åpne for høyhus opptil 125m rundt Oslo sentrum og 70m i øvrige områder, hvor det til sammenligning kun er områdene rundt Oslo S, hvor det kan bygges over 42 meter ved skrivende stund. Høyhusprofilen i Oslo sammenlignet med nye høyder kan sees i Figur 1.



Figur 1: Illustrasjon av et utvalg av de høyeste bygningene i Oslo og den nye høyhusgrensen, hentet fra Aftenposten [19]

Historisk har det blitt bygd få høyhus i Norge sammenlignet med resten av Europa, og enda færre utenfor Oslo. Det at det ikke bygges høyt i Norge, kan bety at norsk byggenæring har mindre erfaring på hvordan høyhus utformes med hensyn til energi, klimatisering, og sikkerhet. Med nye høyder kommer nye utfordringer innen rømningsikkerhet. Brannvesenets mobile stige når ikke etasjer over 32 meter, i 2014 var det 215 slike bygninger i Oslo [4]. Med ny foreslått lokalpolitikk, kan dette forventes å bli flere.

Vedrørende brannstigenes høyde gikk Oslo brann og redning ut med at stigebliler over 32m (ca. 8.et) ikke er nødvendig på grunn av hvordan høyere bygg blir konstruert, blant annet med tryggere rømningsveier [20]. Blant annet refereres til brannen i Urtegata i 2009, omtalt som den verste brannen i Oslo siden krigen, hvor stigebilens mobilitet ble viktig i de trange gatene. Brannvesenets innsats bidro til evakuering av 12 personer via stigebil. Seks personer omkom i brannen, fem av de funnet i rømningsvei [21]. Brigadesjefen sa om stigeblilen i 2012 at «*Det handler om fremkommelighet. Er stigen høyere, vil den også øke i vekt og volum. Det klarer ikke Oslos trange gater*» [22]. Mobiliteten til stigeblilene er brannvesenets prioritet fremfor stighøyden, rømningsikkerheten i høyere etasjer må derfor ivaretas ved bruk av byggtekniske egenskaper.

Eldre, lavere blokker er ikke de eneste byggene utsatt for fatale branner. I 2017 forekom en spesielt dødelig høyhus-brann i London hvor 72 omkom i Grenfell Tower. Hovedårsaken til det destruktive utfallet var brannspredning via brennbar fasade, men en faktor for rømningsikkerheten var utilstrekkelig røykkontroll i rømningsveien [23]. Undersøkelser viste at komponenter i røykventilasjonen hadde feilet, og et ekspertvitne mente systemet installert i 2016 ikke tilfredstilte funksjonskrav [24]. Dette demonstrerte viktigheten av at rømningsveier i høyhus blir beskyttet fra røyk, og at systemene som gir beskyttelse forblir funksjonelle.

Statistikk viser også at eldre, pleietrengende, og personer med nedsatt funksjonsevne har høyere risiko for å omkomme i brann sammenlignet med resten av befolkningen i Norge [25]. Dette underbygger at rømningsveiene også bør opprettholdes lett tilgjengelige gjennom evakueringen, slik at spesielt sårbare personer også trygt kan rømme.

I dagens byggtekniske forskrift har det blitt etablert at bygninger over åtte etasjer, som da blir utenfor rekkevidden til stigeblilene, som regel må ha systemer som trykksetter trapperommene benyttet for rømning [5]. Trykksettingen skal hindre røyken å trenge inn i trapperommet, slik at brukere av bygget trygt kan evakuere fra høyere etasjer, selv uten hjelp av stigeblilene. Et betydelig ansvar hviler på byggenæringen i å utforme bygg med høy grad av sikkerhet, og kanskje i større grad i nær fremtid, med flere og høyere høyhus i Norge.

1.2 Introduksjon til røykkontroll

Sikkerhet står sentralt når moderne bygg blir utformet og prosjektert. Omfattende tiltak implementeres for å sikre trygg evakuering og hindre brannspredning. Eksempler på slike tiltak er automatiske slokkeanlegg, oppdeling av bygget i brannceller, spesialmaterialer og røykkontroll. Røykkontroll er tiltak som kontrollerer spredningen av røyk, dette for å bedre rømningsmuligheter og forenkle navigasjon for slokkemannskap gjennom brennende bygninger. Slike tiltak aktiveres normalt ved deteksjon av røyk eller utløst brannalarm, og ventilerer røykgassen eller hindrer spredning med trykk og barrierer.

Røykkontroll er et generelt begrep som omfavner mange ulike løsninger. En velkjent teknikk er røykventilasjon, som bruker naturlige oppdriftskrefter eller mekaniske vifter og kanaler til å trekke ut røyken fra røykfylte områder ved hjelp av undertrykk. Men i enkelte tilfeller kan røykkontroll med positivt trykk i den beskyttede sonen, generert av vifte, være en fordelaktig løsning. Positivt lufttrykk kan generelt sett brukes på to måter, også i kombinasjon:

- Gjennomspyling, også kalt overtrykksventilering, er en konstant gjennomblåsning av luft i et område hvor hensikten er å fortenne og ventilere ut røyk som kommer til. Dette er en teknikk ofte anvendt av brannmannskap ved hjelp av mobile vifter i sammenheng med slokningsinnsats og røykdykking [26].
- Trykksetting er fortrenging av røyk ved bruk av trykk regulert mot et trykksettpunkt. Trykket kan variere gjennom et rømningsscenario, men holdes positivt. Dører som åpnes inn mot det trykksatte området vil som følge av trykkdifferansen få en motstrøm som hindrer røyk i å spre seg inn til det trykksatte området.

Bygninger på over åtte etasjer bygd etter norsk byggeteknisk forskrift, hvor trapperom blir benyttet som hovedrømningsvei (Tr 3), må normalt utstyres med trykksetting [27]. Systemer for trykksetting består av vifter som aktiveres ved røykdeteksjon eller utløst brannalarm, hvor viftene har til hensikt å skape et overtrykk som hindrer røyk i å trenge inn fra brann i tilstøtende rom eller soner. Dette skal holde rømningsveien røykfri gjennom hele rømningsforløpet.

Disse systemene gir ofte vifter og kanaler i store dimensjoner, som reduserer byggets utnyttbare areal. Hos utbygger er det derfor insentiv til å gjøre disse systemene minst mulig omfattende. I Norge henviser forskriften til to kilder for støtte til prosjektering og utførelse, NS-EN 12101-serien [6] og SINTEF Byggforsk anvisning 520.380[7]. Sistnevnte benyttes hyppigst av bransjen, og er basert på temaveiledning HO-3/2000[8]. Denne veilederen var gyldig før 2010 og er ikke à jour med dagens byggregler.

NS-EN 12101-serien er en serie europeisk standarder som beskriver systemer for røykkontroll, og setter blant annet strengere krav til trykksettingsystemers komponenter, luftmengder, testing, og virkemåte. Standarden NS-EN 12101-6:2005 [28] har vært anvendt i Skandinavia og resten av Europa for trykksetting av trapperom. Norsk metode basert på temaveiledning HO-3/2000 skiller seg fra denne europeiske standarden på flere punkter, men spesielt er omfanget av ulikt, hvor standarden angivelig setter høyere forventninger til utforming og kapasitet.

I 2022 ble nye standarder for trykksatte trapperom publisert (NS-EN 12101-13 og -6:2022[6, 29]), de nye standardene er mer detaljert, men også mindre omfattende i kravene for trykk og luftmengde sammenlignet med forgjengeren NS-EN 12101-6:2005 [28]. Denne nye standarden ble publisert i både Norge og Europa, men det er usikkert hvorvidt dette vil endre praksis i Norge. Dette studie vil undersøke måten vi prosjekterer, bygger og tester trykksatte trapperom i Norge, og hvorvidt systemer prosjektert i henhold til dagens praksis er gode nok.

En del av oppgaven er å evaluere ulike trapperom med trykkdifferansesystemer gjennom felttester og befaringer. Testprosedyren vil blant annet bestå av å aktivere systemet for å måle lufttrykk og lufthastigheter i ulike høyder av trapperommene, samt kontrollere hvor sensitiv løsningen er ovenfor utenforliggende faktorer som vær og rømnings situasjoner. Befaringene vil undersøke systemløsningene, og eventuelt hvilke praktiske implikasjoner de kan ha. Målet er å gi bransjen økt kunnskap om rømningsveier og røykkontroll i høyhus, og på den måten forbedre sikkerhet og beredskap i fremtidens bygg samtidig som størrelse, kompleksitet og kostnad på systemene holdes på et nøkternt nivå.

1.3 Formål og problemstilling

Formålet var å undersøke hvordan trykksatte trapperom i norske høyhus hadde blitt bygd, og praksisen for prosjektering og oppfølging. Funnene skulle vurderes i sammenheng med ny europeisk standard for trykksetting av trapperom, og gi bransjen bedre forutsetninger til å velge gode løsninger for hvordan trykksetting av trapperom utformes i fremtidens høyhus. Med dette ble følgende problemstilling utformet:

Det har kommet en ny Europeisk standard på trykksatte trapperom. I Norge benyttes en byggeskikk basert på utdatert grunnlag. Fungerer trykksatte trapperom i Norge tilfredsstillende, og bør norsk praksis nå gå over til nyere Europeisk standard?

For å besvare problemstillingen på en helhetlig måte, ble fem elementer i trykksatte trapperom nærmere undersøkt:

- **Generell systemoppbygning**
Hvordan er trykksatte trapperom prosjektert og bygd i norske høyhus? Hvordan er komponenter som vifter og luker brukt?
- **Trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom.**
Klarer systemene å oppnå og opprettholde tilstrekkelig trykkdifferanse mellom trapperom og sluse/tilstøtende rom?
- **Røykfortregningsevne ved brannetasje**
Når personer rømmer inn i trapperommet fra brannetasje, eller ved brannvesenets slokkeinnsats, blir røykfortregning en sentral egenskap for å hindre røykspredningen. Har trykksatte trapperom blitt tilrettelagt på en måte som gir tilstrekkelig motstrøm over dørene, slik at røykspredning hindres?
- **Tilgjengeligheten til rømningstrapp**
Hvordan er mulighetene for personer å komme seg inn trapperom som er trykksatt? Fungerer dørmiljøet godt nok, og kan døråpningskraften holdes innenfor rammene gitt i forskrift?
- **Dokumentasjon- og testrutine**
Hvordan har systemene blitt dokumentert, og hvilke rutiner eksisterer for å teste funksjonen til trykksatte trapperom?

Undersøkelsene ble gjennomført ved bruk av analytiske og praktiske aktiviteter, delt inn i følgende gjøremål:

- i. Vurdering av hvilke krav og preaksepterte ytelser som foreligger, og metodene anvendt for å tilfredsstille de.
- ii. Gjennomgang av litteratur som omhandler trykksetting av rømningsveier i bygg og samtaler med fagpersoner med kompetanse innen tema.
- iii. Undersøkelser av moderne bygg i Norge og deres systemløsninger
- iv. Felttester av nyere bygg i forhåndsbestemte rømningsscenarier.

1.4 Avgrensninger

Nedenfor er relevante avgrensninger listet opp. Avgrensningene nedenfor var det forfatterne selv vurderte som nødvendige tilpasninger med hensyn til studiets formål og problemstilling.

- Feltestene ble gjennomført uten å aktivere brannalarm eller røyksetting. Dette da det ville være til ulempe for byggets brukere. Konsekvensen av dette er at testene ble utført i scenarioer som ikke eksakt representerer en reel situasjon med brann.
- Feltestene er gjennomført uten simulert evakuering gjennom trappeløpene, trappene var tomme for mennesker under alle testene.
- Alle byggenes navn og lokasjon var anonymisert, dette for at bygningsforvaltere skulle ha incentiv til å delta i studie.
- Alle undersøkte bygg er geografisk avgrenset til Oslo og Viken.
- Standarder for trykksetting med opphav utenfor Europa, for eksempel Amerikanske NFPA 92 [30], ble ikke vurdert.
- Figurene i studie er hovedsakelig skrevet på engelsk, da funnene ble planlagt publisert til internasjonale lesere.
- Det ble ikke gjort en gjennomgående litteraturstudie, kun et enkelt søk på en søkemotor ble foretatt.
- CFD-simulering var ønsket gjennomført, men feltester ble prioritert.
- Det ble ikke etablert en kvalitativ metode ved innspill fra fagpersoner, hvilket derfor ble vedlagt i Vedlegg SS.

1.5 Begrensninger

Under perioden har ulike faktorer begrenset eller utfordret arbeidet knyttet til oppgaven, nedenfor er relevante begrensninger listet. Det var også begrensninger ved de individuelle feltestene, disse er listet opp i 3.4.4.

1.5.1 Eksterne påvirkninger

- Metoden anvendt for feltester var utformet etter et tidlig utkast av den nyutgitte standarden NS-EN 12101-13:2022, datert 05/12/2021[6]. Tidspunktet standarden skulle utgis var derimot usikkert, metoden ble derfor tilrettelagt for sammenligning med daværende gjeldene standard NS-EN 12101-6:2005[28]. Den nye standarden ble utgitt tidligere enn antatt (01/05/2022) som resulterte i at sammenligningene med klassene definert i NS-EN 12101-6:2005 ble mindre sentralt i studie.
- Dette studie var planlagt ferdigstilt og levert 25/05/22, men på grunn av forsinkelser hos enkelte bygningsforvaltere, og et testregime som var langt mer tidkrevende enn først antatt, ble det levert 15/08/22.
- Det var intensjon om å anskaffe testresultater på vinterstid for å undersøke påvirkning av skorsteinseffekten, men første reelle feltest ble ikke gjennomført før begynnelsen av april hvor utetemperatur var mildere.
- Det var intensjon om å gjennomføre feltundersøkelser på ett bygg til, dette for å oppnå oddetall i antallet bygg og trapperom testet, dette lot seg ikke gjennomføre på grunn av tidsbegrensninger og forsinkelser.
- Det var planlagt å sammenligne funnene i norske bygninger med ett eller flere bygg i utlandet utformet etter europeisk standard. Det ble forsøkt å anskaffe tilgang til byggene, men dette kom ikke i mål tidnok mht. overnevnte forsinkelser og leveringsfrist.

1.5.2 Begrensninger på instrumenter og målinger

- Luftmengdemålinger, parallelt med trykk- og hastighetsmålinger, var i utgangspunktet planlagt for å kunne sammenligne med tetthetsberegninger. Det ble ikke funnet en tilfredsstillende metode for pålitelig luftmengdemåling, da samtlige undersøkte systemer var uten målepunkt, kanal, eller plenumskammer.
- Målinger av utvendig vind og temperatur ble gjort på forhånd av testene per bygg, dette da det ikke var utstyr eller anledning til å loggføre vær og vind parallelt med målingene. Resultatet var at enkelte feltester ble gjort timer etter værobservasjonen, det ble supplert med værdata fra nærliggende værstasjon (hvis tilgjengelig) for å kompensere for dette.
- Ett av instrumentene benyttet til loggføring av trykkdifferanse var utlånt fra SINTEF i en fastsatt låneperiode. På grunn av overnevnte forsinkelser utløpte låneperioden før siste feltest av bygg B, bygget måtte da testes med loggføring av trykkdifferanse på fire etasjer, ikke fem etasjer som planlagt.
- Armbåndsuret anvendt for å fastsette tidspunktene til hendelser under testene var i ettertid funnet å være lite pålitelig, dette har nødvendiggjort manuelle korreksjoner av loggført trykk. Korreksjonene, gitt i sekunder, er vist i vedlegg «alle resultater» per trapperom. Se vedleggsoversikt.

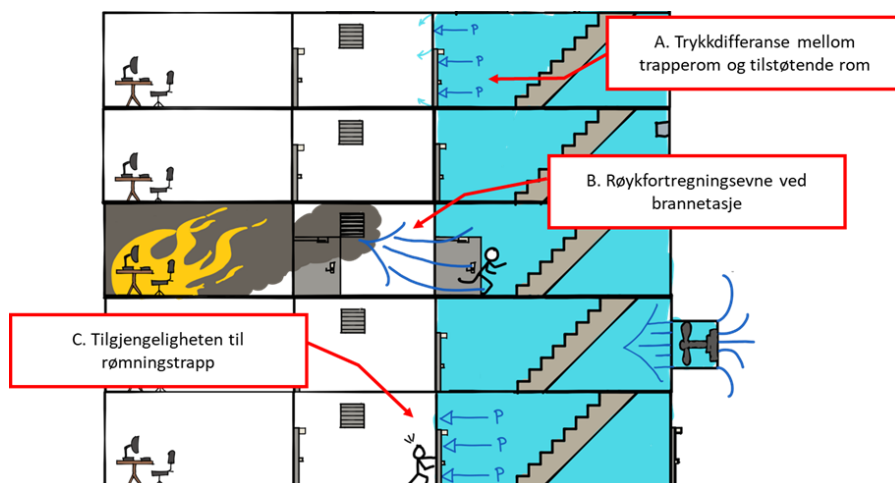
2 Teori

2.1 Grunnleggende om trykksetting

For områder hvor spredning av røyk er en spesielt stor risiko benyttes trykksetting for å hindre at røyken ikke spres til et beskyttet område. Et vanlig område å beskytte er trapperom i høye bygg, hvor en betydelig andel av brukerne er utenfor rekkevidden til brannvesenets brannstiger. I slike bygg blir trappene eneste rømningvei for mange personer, og blir et kritisk ledd i byggets helhetlige sikkerhet. Trykksetting av trapperom utgjør derfor ofte en viktig del av rømningssikkerheten i høyhus, hvor tre egenskaper avgjør dets viktigste påvirkninger på rømningssikkerheten:

- A. Trykkdifferansen mellom trapperom og tilstøtende rom.
- B. Røykfortregningsevnen ved brannetasje
- C. Tilgjengeligheten til rømningstrapp

Et godt samspill mellom de tre overnevnte egenskapene vil gi et trykksatt trapperom hvor røykfri og sikker rømning opprettholdes. I Figur 2 er disse tre egenskapene illustrert i et tenkt eksempel. Hvorfor disse egenskapene er sentrale, og hvordan de fungerer, har i dette kapitlet blitt beskrevet nærmere.

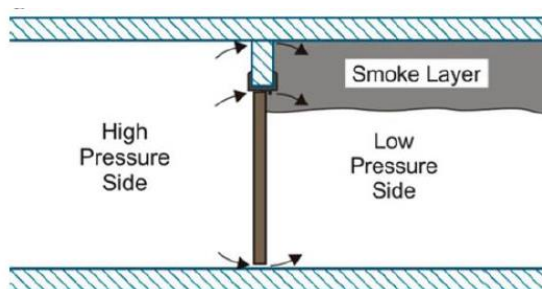


Figur 2: Sentrale egenskaper i et trykksatt trapperom

2.1.1 Egenskapene i et trykksatt trapperom

A. Trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom.

Med trykksetting introduseres friskluft direkte fra utsiden og inn i trapperommet med vifter, enten gjennom en dedikert kanal eller vifte montert i fasaden. Viften gjør at trykket på innsiden av trapperommet blir større enn i mellomliggende rom og oppholdsrom, noe som skal hindre røyken fra å trenge seg inn gjennom mindre åpninger, for eksempel rundt dører og utettheter. Positiv trykkdifferanse hindrer røykspredningen ved at luftstrømmene gjennom utetthetene kommer fra beskyttet område til ubeskyttet område, slik at røykfylte områder ikke presser gjennom røyken i motsatt retning. Trykkdifferanse blir normalt målt i Pascal [Pa].

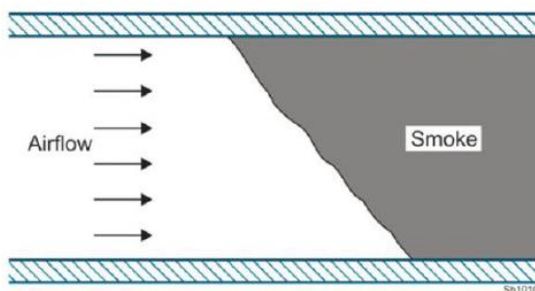


Figur 3: Trykkdifferanse over en dør, hvor området som er beskyttet har høyere trykk enn rommet med røyk- eller brannutvikling. Figur fra [31]

B. Røykfortregningsevne ved brannetasje

Når døren(e) åpnes av rømmende personer ved brannetasje(r), vil trykkdifferansen mellom trapperommet og det mellomliggende rommet falle. Det statiske trykket vil ikke lengre alene hindre at røyk sprer seg til trapperommet. Når dette skjer overtar en annen viktig egenskap for å holde trappen røykfri, nemlig røykfortregning. Røykfortregning oppnås ved bruk av motstrøm, altså en viss lufthastighet gjennom den åpne døren inn i brannetasjen for å hindre røykutstrømning, vist i Figur 4. Denne *motstrømseffekten* er avhengig av at røyken har et utløp fra rommet, dersom dette ikke eksisterer, vil motstrømseffekten opphøre og røyken innta trapperommet [32]. Tilstrekkelig trykk og kapasitet på viften i det trykksatte trapperommet vil være en avgjørende faktor for å oppnå tilstrekkelig lufthastighet[33].

For å sørge for at motstrømseffekten blir opprettholdt bør røykgassen fjernes utenfor det trykksatte område, vanligvis i det mellomliggende rommet. Røyken ventileres ut til det fri, fortrinnsvis vertikalt med hjelp av røykens naturlige oppdriftskraft, alternativt ved bruk av åpning i fasade eller egnet avtrekksvifte. Denne strømningsflaten, hvor røykgassen skal ventileres ut, kalles *trykkavlastningen*. Begrepet kommer av at strømningsflaten punkterer, eller avlaster, det ellers positive trykket som også ville oppstått i det mellomliggende rommet ved åpning av døren, hvilket skaper en luftstrøm over døråpningen. Røykfortregningsevnen til trykksatte trapperom kan måles med lufthastigheten [m/s] som oppnås over en åpen dør mellom trykksatt rom og trykkavlastningen, nødvendig hastighet vil avhenge av temperaturen til røykgassen [32, 34].



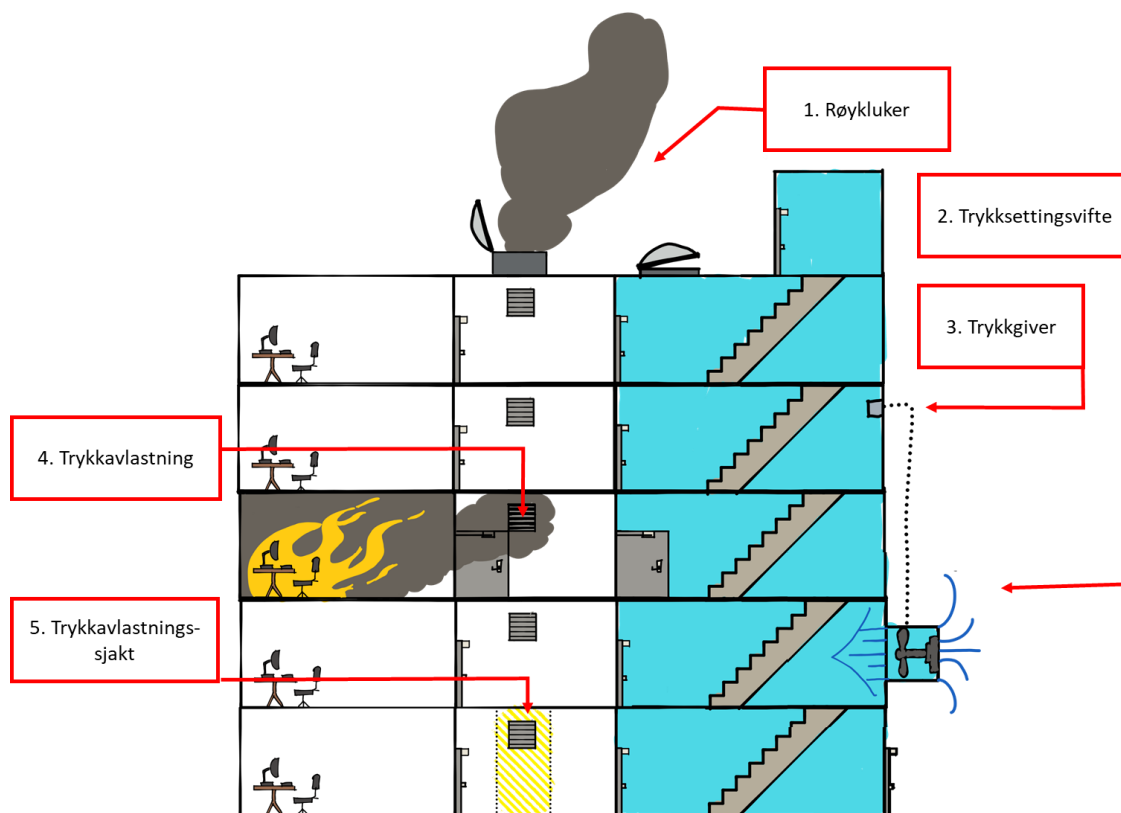
Figur 4: Fortregning av røyk ved bruk av motstrøm. Figur hentet og modifisert fra [7]

C. Tilgjengeligheten til rømmingstrapp

De to overnevnte punktene er sentrale for at røyk ikke spres inn i det beskyttede området, begge egenskapene forsterkes desto mer trykket økes inne i det beskyttede området. Jo høyere trykk, jo bedre beskyttelse mot røyk. Dette trykket må likevel holdes under kontroll, dette på grunn av en annen kritisk egenskap i rømmingsveier, dets *tilgjengelighet*. Trykk er i grunn kraften som virker på et areal. Enheten Pascal [Pa] benyttes som målenhet for trykk, og er definert av hvor stor kraft som virker på arealet [N/m²]. Når trykkdifferansen, og da også kraften, øker mot arealet over døren vil dette samtidig øke *døråpningskraften* nødvendig for å åpne døren. Døråpningskraften er kraften [N] nødvendig for å åpne døren, utøvd på dørhåndtaket. Hvis denne døråpningskraften blir så stor at personer ikke lenger kan overvinne den, vil det utgjøre en risiko for at man ikke kan komme seg ut av en brennende bygning. Det er derfor kritisk at trykkdifferansen holdes på et nivå som ikke produserer utilsiktet døråpningskraft, innenfor ytelser definert i veileder til forskrift og normerte verdier.

2.1.2 Hovedkomponentene i trykksatte trapperom

Figur 5 er en illustrasjon av de ulike komponentene normalt funnet i trykksatte trapperom, og deres plassering i et tenkt system. I dette delkapitlet ble disse komponentene gjennomgått, og deres hensikt og funksjon beskrevet.



Figur 5: Komponentene i et trykksatt trapperom

1. Røykluker

Røykluker i trykksatte trapperom kan ha flere funksjoner, men som regel er deres hovedfunksjon å slippe ut røyk, som til tross for trykksettingen, kan ha funnet veien inn i trapperommet. Dette gjøres for eksempel ved at luken åpnes når viften aktiveres slik at trapperommet kontinuerlig gjennomspyles ved røykdeteksjon inne i trapperommet. Trykksettingsystemet kan også åpne røykluken fullstendig, uten at viften starter, hvis røykdeteksjon skjer i trapperommet *før* andre områder. Hensikten med en slik funksjon kan være at trykksettingsviften ikke bidrar med røykspredning fra potensiell røykkilde i trapperommet ut til øvrige oppholdsrom.

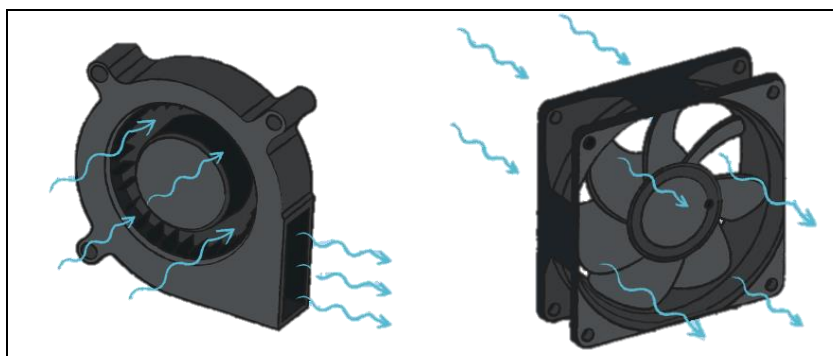
I noen tilfeller brukes også luken til å regulere trykkdifferansen. En vanlig årsak til er nemlig at skorsteineeffekten kan gi overtrykk i toppen av trapperommet, dette fenomenet er beskrevet ytterligere i 2.4.3. Et tiltak for dette er at røykluken åpnes en viss åpningsgrad samtidig som viften starter, da vil trykket øverst i trapperommet bli lavere [35]. Det finnes også røykluker som aktivt regulerer mot et maksimaltrykk, og kun åpner over en gitt verdi. I tillegg til røykluke i trapperommet, er det vanlig med en egen røykluke i tilknytning til trykkavlastningssjakten i punkt 4. Denne åpnes normalt i full åpen stilling når trykksettingsviften aktiveres [36].

2. Trykksettingsvifte

Viften i trykksettingsystemer introduserer normalt luft direkte fra utsiden og inn, enten gjennom et kanalsystem som distribuerer luften jevnt vertikalt, eller direkte ved fasaden. Plasseringen vertikalt kan variere, men normalt blir vifte plassert i bunn av trappesjakten for å motvirke skorsteineeffekten, mer om dette i 2.4.3. Andre plasseringer blir også brukt, men krever ofte ekstra hensyn for å motvirke innsuging av røyk, naturlige oppdriftskrefter, og vind. Vanligvis vil det være tilstrekkelig med én vifte per trykksatt

trapperom, men i høye trapperom kan det være nødvendig med flere vifter for å oppnå vertikal distribusjon av trykk og luft [37].

Flere typer vifter anvendes i ulike trykksatte trapperom, på generell basis kan disse viftene deles inn i to typer, radialvifter og aksialvifter. Viftetyperne har flere forskjellige egenskaper, men i sammenheng med trykksetting, kan prioriteringen mellom volummengde og trykk være avgjørende i valg av viftetype. Radialviftene kan nemlig produsere høyt trykk med lavt volum, mens aksialviftene gir lavere trykk med større volum. Normalt er aksialvifter foretrukket da de regulerer raskere til endringer i nye luft- og trykkriterier, men de blir også lettere påvirket av vindtrykk, spesielt hvis de er veggmonterte [38]. Viftetyperne illustrert i Figur 6.



Figur 6: Fra venstre: Radialvifte og aksialvifte, figur hentet fra [39]

3. Trykkdifferansegiver

Det er flere måter å sikre at tilstrekkelig trykkdifferanse oppnås, løsningene kan deles inn i to hovedkategorier; konstant luftmengde og variabel luftmengde. Med konstant luftmengde går viften med konstant pådrag, og trykket holdes i sjakk ved bruk av en kontrollert luftlekkasje. Systemer med variabel luftmengde regulerer derimot det volumetriske inntaket av luft mot et trykksettpunkt. Også her kan viften gå med konstant pådrag, hvor volummengden styres av bypassventil eller viftebladenes vinkel [40]. Men med den vanligste løsningen i Norge, derav også mest relevant til dette studie, blir pådraget på viften aktivt regulert mot et settpunkt.

Felles for alle systemløsninger med variabel luftmengde, er at de regulerer mot en trykkdifferansegiver eller trykksensor. Trykkdifferansegiver måler kontinuerlig trykkdifferansen i trapperommet og gir signal til en PID-regulator. Hvis regulatoren finner at trykkdifferansen er under settpunkt økes pådraget, og ved trykk over settpunkt reduseres pådraget. Signalet for ønsket pådrag sendes videre til frekvensomformereren som endrer strømforsyningen til viften, som gjør at turtallet justeres. Trykkdifferansegiveren må ha to referansepunkter å måle trykkdifferanse mellom, hvorav ett av disse punktene er inne i trapperommet. I lærebok for ventilasjonsteknikk har det blitt anbefalt å sette det innvendige referansepunkt halvveis vertikalt i trapperommet [41], ellers er det anbefalt av en norsk leverandør å sette det litt over halvveis (2/3) av trappehøyden [42]. Referansepunktet utenfor trapperommet bør være utendørs hvor det blir lite påvirket av vind [41, 42].

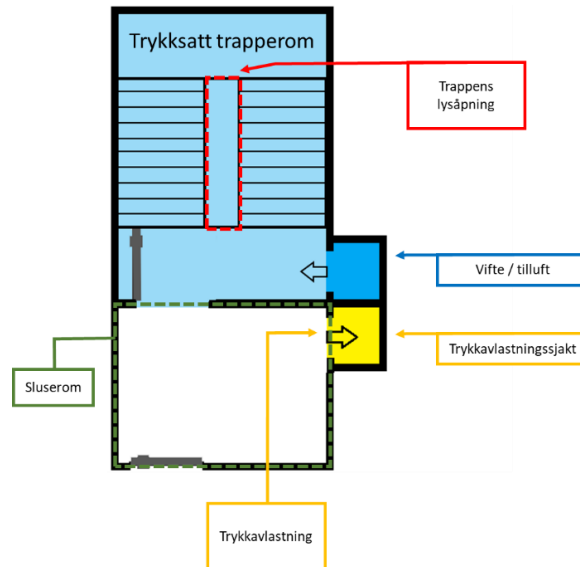
4. Trykkavlastning

Det finnes hovedsakelig to systemvalg for å sikre røykfortregning, passiv og aktiv trykkavlastning. Passiv trykkavlastning består av en åpen luke i brannetasje hvor røyk ventileres ut, dette ved hjelp av røykgassens konvektive oppdriftskraft og luftstrøm fra trykksettingsystemet. Avlastningen kan gjøres via et spjeld inn til en separat trykkavlastningssjakt, dette kan bli en kostnadseffektiv og pålitelig løsning, men sjakten kan også bli plasskrevende. Alternativt settes avlastning i fasade via vindu eller luke, i så fall må trykkavlastet rom være nært fasaden, dette kan bli utfordrende å løse i bygg hvor trappesjakten er sentralt i bygget. Åpninger i fasade bør i tillegg være plassert med hensyn til vind, da vindtrykket kan bli større enn trykket i trapperommet, hvilket kan påvirke trykksettingen og potensielt reversere motstrømseffekten [43, 44].

Aktiv trykkavlastning kan gjøres via sjakt eller kanal ved bruk av røykavtrekk. Med mekanisk avtrekk kan lufthastigheten gjennom kanalen økes, og arealet til trykkavlastningssjakt/-kanal reduseres. Fordelene med aktiv trykkavlastning er ikke bare arealbesparelse, men også forutsigbar lufthastighet over dørene i de mulige brannetasjene. Ulempen med systemvalget er dog større installasjons- og vedlikeholdskostnad, i tillegg kan trykkdifferansen over døren i brannetasje bli større, slik at døråpningskraften blir stor [45].

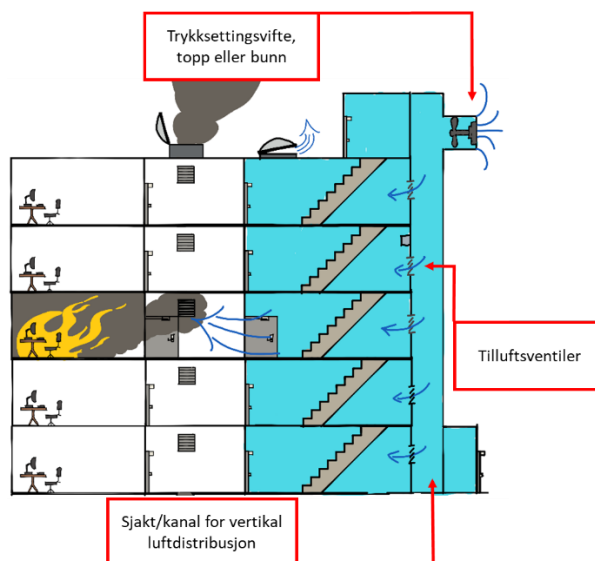
5. Trykkavlastningssjakt

Som nevnt ovenfor kan trykkavlastningssjakt eller kanal bli nødvendig i systemløsninger hvor trykkavlastningen ikke går direkte ut til fasade. Størrelsen på sjakten kan variere med systemløsningen og støttelitteraturen anvendt (kpt. 2.2), men normalt føres sjakten fra første trykkavlastet etasje frem til tak. I Figur 7 er trykkavlastningens posisjon i et sluserom illustrert, sammen med andre begreper anvendt i dette studie.



Figur 7: Utformingen av trykksatte trapperom

I enkelte systemer kan det være nødvendig å distribuere luften fra trykksettingsviften vertikalt, dette kan være nødvendig hvor trykkfallet vertikalt langs trappesjakten blir stort på grunn av trangt trappeløp og smal lysåpning, hvilket kan forårsake økt trykk og døråpningskraft i nærheten av viften [43, 46, 47]. Enkelte standarder og prosjekteringsunderlag krever vertikal luft distribusjon med ventiler plassert i spesifikke intervaller. Illustrasjon av vertikal luftdistribusjon i Figur 8.



Figur 8: Trykksetting med jevn vertikal luftdistribusjon

2.2 Forskrifter og preaksepterte ytelser

I byggt teknisk forskrift har det blitt formulert krav om blant annet rømningsikkerhet, universell utforming, og trykksetting av trapperom. Det er mange måter å tilfredsstille kravene på, blant annet med dokumenterte løsninger i SINTEF byggforskeren og europeiske standarder.

Kravene i teknisk forskrift (TEK) gis normalt som funksjonskrav, som er overordnet formål det ferdige bygget skal oppfylle. I veiledning til TEK (VTEK) gis preaksepterte ytelser til funksjonskravene. Preaksepterte ytelser blir definert av Direktoratet for byggkvalitet, hvor ytelsene vil oppfylle eller bidra til å oppfylle funksjonskravet. Alternativt kan man fravike de preaksepterte ytelsene, men da skal man lage en analyse som dokumenterer at funksjonskravene likevel er oppfylt. Dokumenterte løsninger gitt i SINTEF byggforsk og norsk Standard kan benyttes for å dokumentere at krav og preaksepterte ytelser er oppfylt.

2.2.1 Røykventilasjon og trykksetting

TEK gir funksjonskrav om at enkelte bygninger deles inn i brannceller, og at disse branncellene skal være utformet slik at man hindrer spredning av brann og branngasser til andre brannceller, dette under rømning og redning. Veiledningen til TEK beskriver flere tiltak for å oppfylle kravet, for eksempel branntekniske egenskaper i materialer, automatisk slokkeanlegg, og røykventilasjon. Røykventilasjon kan også være påkrevd i store brannseksjoner, overbygde gårder, heissjakter, garasjeanlegg, og rømningstrapper.

Trapperom bygd som rømningsvei skal utføres som Tr 1, Tr 2 eller Tr 3 etter ulike sikkerhetsbehov. Klassifiseringen rangeres fra 1-3 og beskriver hvilken grad trappen er beskyttet mot brann og røykspredning. Før TEK97 ble disse trapperomstypene kalt «åpent», «lukket», og «Branntrygg» / «Branntrygg og røykfritt», og tilsvarer henholdsvis Tr 1, Tr 2, og Tr 3 [48]. Trapperom som utgjør en rømningsvei i bygninger med flere enn to etasjer må i utgangspunktet røykventileres i henhold til VTEK17 [5].

Preaksepterte ytelser i VTEK17 definerer ytelsene rømningsveiene bør ha. Med Tr 3 i byggverk hvor det er mer enn 8 etasjer jf. VTEK17 § 11-8, ledd 2, punkt G, må mellomliggende rom være åpen mot det fri, eller trapperommet trykksettes [5]. Punkt G spesifiserer at trykksetting skal forhindre at røyk trenger inn i trapperommet. Det er også spesifisert at det skal etableres trykkavlastning (røykventilasjon) i mellomliggende rom eller i branncelle innenfor. I tillegg skal det etableres røykluke i trapperom med hensyn til brannvesenets innsats. Overnevnte ytelser gjaldt også i TEK10 [27].

TEK17 henviser i nevnte punkt til to kilder, NS-EN 12101-serien [6] og Byggforsk anvisning 520.380 [7], som støtte til prosjektering og utførelse av trykksatte trapperom. Relevant til trykksettingen er også funksjonskravet i TEK17 § 11-10, ledd 1 som krever at tekniske installasjoner utføres slik at den ikke øker faren for at brann og røyk vesentlig sprer seg [49].

2.2.2 Tilgjengelighet til rømningsvei

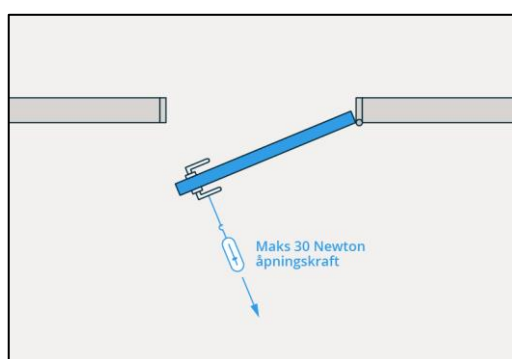
Trykksetting og andre former for røykventilasjon kan påvirke kraften nødvendig for å åpne dørene inn til et beskyttet område. Trykkdifferanse over dører gir økt døråpningskraft, som igjen kan føre til at brukerne hindres i å åpne dørene og rømme effektivt. Ved planlegging og utforming av røykventilasjon må døråpningskraft bli spesielt hensyntatt for å hindre at røykventilasjon ikke påvirker rømningsmuligheter negativt.

TEK17 § 11-13 sjuende ledd, bokstav a) forteller at dører til rømningsvei skal sikre rask rømning, og at dører skal være lette å åpne [50]. I veiledningen presiseres at «*åpningskraft for dører til rømningsvei må være maksimalt 67 Newton dersom det ikke følger andre krav av § 12-13.*». I nevnte § 12-13 ved tredje ledd bokstav a) spesifiserer veiledningen at dørene maksimalt kan ha 30N i åpningskraft, men dette gjelder kun bygg hvor det foreligger krav om tilgjengelig boenhet eller universell utforming, som for eksempel boliger med felles inngang oppført etter TEK10 eller senere [51]. I henhold til VTEK17 § 12-13, fjerde ledd bokstav a) gjelder 30N åpningskraft for alle hovedatkomst og hoved-rømningsveier. Men i andre bygg enn boligbygg, blir dører i alternative atkomst- og rømningsveier ikke omfattet veiledningen, og man kan ha opp til 67N åpningskraft per § 11-13.

I tidligere byggt teknisk forskrift TEK97 og TEK10 var det ikke spesifisert åpningskraft på maks 67N, men henholdsvis 20 og 30 Newton åpningskraft i hovedrømningsvei ved universell utforming, tilsvarende § 12-13 i TEK17. Dører til øvrige rømningsveier var ikke omfattet maks åpningskraft etter TEK97/10.

I rømningsvei skal også dører være utstyrt med dørpumpe som sørger for at dører automatisk lukker, dette gjør dørene tyngre å åpne, og nødvendiggjør dørautomatikk for å tilfredsstille VTEK ytelsen om døråpningskraft under 30N. Maksimal åpningskraft gjelder også ved tap av hovedstrømforsyningen eller utløst brannalarm, og vil normalt innebære at selvlukkende dører (med dørpumpe) må ha dørautomatikk og avbruddsfri strømforsyning (UPS)

Oppsummert beskriver forskriftene at de fleste større bygg, gitt separate hoved-rømningsveier og alternative rømningsveier, skal etter preaksepterte ytelser tilfredsstille henholdsvis 30N og 67N minimum åpningskraft ved de ulike rømningsveiene iht. TEK17. I boligblokker skal samtlige dører i rømningsvei tilfredsstille 30N. Utfallet av VTEK ytelsen på 30N åpningskraft betyr at de fleste dørene i hoved-rømningsvei må ha dørautomatikk med UPS eller sikker strømforsyning, dette kan også gjelde alternative rømningsveier hvis ikke dørene kan åpnes med 67N åpningskraft ved rømningsscenario.



Figur 9: Døråpningskraft i rømningsvei, hentet fra Direktoratet for byggkvalitet uten tillatelse.: Døråpningskraft i rømningsvei, hentet fra Direktoratet for byggkvalitet, TEK17 § 12-13 [51].

2.2.3 Forskriftskrav om kontroll og tilsyn

Forskrift om brannforebygging krever at eieren av et byggverk skal sørge for at installasjoner og utstyr som skal begrense konsekvensene av brann, blir kontrollert og vedlikeholdt slik at de fungerer som forutsatt [52].

Veilederen til forskriften, publisert av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), spesifiserer ytterligere at kontrollen skal avdekke hvorvidt sikkerhetsinnretningenes iboende egenskaper og funksjoner er ivaretatt, slik de er beskrevet fra produsent eller leverandør [53]. Hyppigheten på testene blir ikke spesifisert, utenom at det tilpasses innretningen, men i veilederen til tidligere versjonen av forskriften gjeldene til 2015, ble det spesifisert at røykkontrollanlegg i rømningsveier bør testes årlig [54].

2.3 Dokumenterte løsninger, og standarder

SINTEFs anvisninger og norsk Standard er hjelpemidler som ofte beskriver hvordan forskriftene kan tilfredsstilles. Standard Norge har enerett på å utgi norsk Standard. Norge er medlem av den europeiske standardiseringsorganisasjonen CEN, og forpliktet til å implementere europeiske standarder og fastsette disse som norsk Standard [55]. Byggforskserien er utviklet av SINTEF, og inneholder dokumenterte løsninger og anbefalinger som skal oppfylle kravene i byggteknisk forskrift [56]. Norsk Standard og SINTEFs Byggforskserie er normalt frivillig å bruke, men veiledningen til teknisk forskrift henviser til disse som nyttige verktøy [15].

I dette delkapitlet har relevant støttelitteratur for utforming av trykksatte trapperom blitt gjennomgått og oppsummert. Det eksisterer støttelitteratur utenfor Norge, som NFPA 92 i Amerika [30] og DBI Retningslinje 027 i Danmark [57], men i dette kapitlet har det blitt avgrenset til kilder som har vært direkte referert til i byggteknisk forskrift [5]. Dette gjelder SINTEF Byggforsk anvisningen 520.380 [7], Temaveiledning for røykkontroll HO-3/2000 [8], NS-EN 12101-6:2005 [28], og NS-EN 12101-13:2022 [6]. I Tabell 1 er minsteverdiene for hovedegenskapene i trykksatte trapperom per støttelitteratur blitt gitt. En drøfting og sammenligning av støttelitteratur ble gjort i 4.1.

Tabell 1: De ulike metodene oppsummert, og de sentrale målbare parameterne sammenlignet (*520.380 referer til HO-3/2000 for beregning og dimensjonering)

| Klasser: | BF 520.380 / HO-3:2000 | | NS-EN 12101-6:2005 | | | | | | NS-EN 12101-13:2022 | |
|---|------------------------|------------------------|--------------------|--|----------------------------------|--------------------------|--|--|---------------------|-------|
| | BF | HO | A | B | C | D | E | F | 1 | 2 |
| Status | Gjeldene* | Erstattet | Tilbaketrukket | | | | | | Gjeldene | |
| Dimensjoneres for dører åpne | * | To uspesifiserte dører | Brannetasje | brannetasje + Utgangsdør + én ekstra dør inkl. heisdør | Brannetasje + Utgangsdør separat | Brannetasje + Utgangsdør | brannetasje + Utgangsdør + én ekstra dør | Dører åpne ved slokking og rømming samtidig. | Brannetasje | |
| Minste røykfortregnings-hastighet. | 0,70 m/s* | 0,75 m/s | 0,75 m/s | 2 m/s | 0,75 m/s | 0,75 m/s | 0,75 m/s | 2 m/s | 1 m/s | 2 m/s |
| Minste trykkdifferanse med dør(er) åpne | Ingen krav | | Ingen krav | | 10 Pa | | Ingen krav | | Ingen krav | |
| Minste trykkdifferanse med dører lukket | 30 – 50 Pa* | 30 – 40 Pa | 50 Pa | | | | | | 30 Pa | |
| Maksimal døråpningskraft | 90 Pa* | 100 N | 100 N | | | | | | 100 N | |

2.3.1 SINTEF Byggforsk anvisning om røykkontroll og temaveiledningen for røykventilasjon

Byggforsk anvisning 520.380 om røykkontroll ble publisert i 2006, og er et av underlagene gitt i TEK17 for prosjektering av røykventilasjon som vist 2.2.1 [7]. Den beskriver hovedprinsipper for kontroll av røyk ved brann, og gir detaljer om termisk og mekanisk røykventilasjon av sjakter, haller, garasjer, og trykksetting av trapperom. Trykksatte trapperom er i det åtte-siders dokumentet beskrevet på én side. Byggforsk anvisning 520.380 vil videre bli referert til som «anvisningen».

Temaveiledningen HO-3/2000, heretter referert til som «temaveiledningen», ble publisert desember 2000 [8]. Den har noe mer detaljer sammenlignet med anvisningen, med totalt 67 sider var underkant av to sider om trykksatte trapperom. Anvisningen krever i dets første avsnitt at man må benytte temaveiledningen for alle beregninger, også i kapitlet for trykksatte trapperom er temaveiledning direkte referert til. Temaveiledningen blir derfor gjeldene ved bruk av anvisningen, kravene og løsningene de foreslår ble derfor sett i sammenheng.

Generell systemoppbygning.

Det er i anvisningen og temaveiledningen anbefalt å montere vifte i bunn av trappen og luke i toppen. Vifte på tak kombinert med en åpning ved inngangspartiet er også tatt frem som et alternativ. God gjennomlufting, eller gjennomspyling, beskrives som en fordelaktig egenskap i trykksatte trapperom. Dette ved bruk av en luke som åpnes nær toppen av trapperommet, eksempelvis en lysåpning på størrelsesorden 0,3 - 0,5 m². Temaveilederen begrunner behov for luken med hensyn til trykkregulering, og eventuelt ventilering av røyk som kan komme inn ved åpning av dører. Den gir også en høydebegrensning på 12 etasjer/45m, og anbefaler røyktette skiller for hver 12. etasje på høyere bygg. Ved inngangspartiet skal det også være mulig for brannmannskap å manuelt betjene systemet.

Trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom.

Anvisningen anbefaler en trykkdifferanse på 30-50 Pa, og temaveilederen 30-40 Pa. Begge setter en øvre grenseverdi på 90 Pa. Luftmengden nødvendig for å opprettholde trykkforholdet beregnes med hensyn til luftlekkasjer ved dimensjonerende trykk, temaveiledningen refererer til beregningsmetoder gitt i forgjengeren til NS-EN 12101-6:2005 [28], den britiske standarden BS 5588:1998 [58].

Røykfortregning ved brannetasje.

Både anvisningen og temaveilederen anbefaler trykkavlastning av mellomliggende rom, dette ved å blåse ut røyken via åpen luke eller vindu med åpning på 0,5 m² i brannetasjen, men minimum lufthastighet er ikke like entydig. Det settes ingen krav i anvisningen til lufthastigheten gjennom døråpning inn til brannetasjen ved trykksetting, dette selv om foregående anvisning fra 1991 setter en minstehastighet på 1,1 m/s [59]. Det blir i et annet punkt spesifisert en minste lufthastighet på 0,7 m/s ved røykfortregning over dører, men det er ikke entydig om dette også gjelder ved trykksetting. Temaveiledningen er mer spesifikk på lufthastighet, dimensjonering gjøres med gjennomsnittlig lufthastighet på 1 m/s med to åpne dører inn til trapperommet pluss luftlekkasjer i konstruksjonen. Det spesifiseres at nødvendig fortrenghastighet typisk vil ligge mellom 0,7 og 3 m/s. I Døråpninger må det benyttes minimum 0,75 m/s.

Tilgjengeligheten til rømningstrapp

Anvisningen spesifiserer kun at trykket ikke skal overstige 90 Pa med hensyn til døråpningskraft, temaveilederen er mer spesifikk, og setter en maksgrænse på 100N døråpningskraft.

Dokumentasjon- og testrutiner.

Anvisningen henviser til temaveiledningen for informasjon om testing og vedlikehold. Temaveiledningen har en egen del om driftsoppfølging, vedlikehold og kontroll. Det blir anbefalt følgende rutiner:

- Månedlig test av 1/6-del av luker/vifter under aktuelle forhold
- Halvårlig vedlikeholdsprogram hvor utført vedlikehold dokumenteres med dato og signatur.

- Årlig full funksjonstest iht. «det som er spesifisert», som bør inkludere triggering av en eller flere branddetektorer i aktuell sonen, med tilhørende sjekk at de aktuelle sikringssekvenser følger automatisk, testen dokumenteres med dato og signatur.

I tillegg krever temaveilederen at trykkdifferansene dokumenteres under sommer og vinterforhold.

2.3.2 Europeisk standard NS-EN 12101-6:2005 (erstattet 01/05/2022)

NS-EN 12101-6:2005 [28] er en harmonisert standard, og videreutviklet fra den britiske standarden for trykksetting BS 5588-4:1998 [58], hvor mye av den britiske standardens beregningsmetoder og krav er videreført. Standardens 104 sider omhandler hvordan trykksettingsystemer beregnes, prosjekteres, bygges, og vedlikeholdes. Den har vært alternativet til anvisningen og temaveiledningen siden den først ble nevnt byggteknisk forskrift i 2010 (TEK10) til den ble tilbaketrasket i mai 2022 og erstattet av NS-EN 12101-13:2022[6, 27].

Sammenlignet med anvisningen og temaveiledningen er den langt mer spesifikk på hvilke ytelser systemet skal inneha, og hvordan det skal utformes. Standarden definerer også klasser av trykksetting for ulike formål, hvor krav og dimensjonerende egenskaper varierer. Disse seks klassene er kort oppsummert Tabell 2. To av klassene, B og F, er hovedsakelig anvendt i land hvor lokale forskrifter krever det, og derfor ikke omfattet i nærmere detalj i dette studie.

Tabell 2: En oppsummering av ulike klasser i NS-EN 12101-6:2005

| Klasse | Bruk | Kravspesifikasjoner kort oppsummert |
|--------|--|---|
| A | Bygg hvor en kan oppholde seg i rom under brann. Hele bygget vil ikke evakueres ved brann. | Dimensjoneres for én dør åpen og lufthastighet gjennom døren >0,75 m/s. Trykkdifferansen skal være minst 50 Pa ved lukkede dører. |
| B | Evakuering og redningsinnsats samtidig. | Dimensjoneres for flere dører åpne samtidig (avhenger av lokasjon og brannslukningstiltak), lufthastighet gjennom brannetasje 2,0 m/s. |
| C | Evakuering fra flere etasjer samtidig, men all rømning skjer i tidlig fase. | Dimensjoneres med en dør åpen, og lufthastighet gjennom åpen dør i brannetasje >0,75 m/s. Trykkdifferansen skal være minst 10 Pa med utgangsdøren åpen, og 50 Pa alle dører lukket. |
| D | Evakuering fra bygg med sovende personer. | Dimensjoneres for to dører åpne samtidig, og lufthastighet gjennom dør i brannetasje >0,75 m/s. Trykkdifferansen skal være minst 10 Pa med åpne dører, og 50 Pa lukket |
| E | Evakuering av bygg skjer i faser, og foregår over lengre tid. | Dimensjoneres for tre dører åpne samtidig, og lufthastighet gjennom åpen dør i brannetasje >0,75 m/s. Trykkdifferansen skal være minst 10 Pa med åpne dører, og 50 Pa lukkede |
| F | For evakuering og redningsinnsats. | Dimensjoneres for flere dører åpne samtidig, og lufthastighet gjennom enkelte dører skal være >2,0 m/s og andre dører >1,0 m/s. |

med angitt formelverk, og måles i alle etasjer ved ferdigstilling og under årlige rutinetester deretter. Det er også som nevnt krav om tilluftspunkt i hver tredje etasje, som skal sørge for at døråpningskraften ikke blir for stor på grunn av ujevn vertikal trykkdistribusjon.

Dokumentasjon- og testrutiner.

Standarden har flere spesifikke detaljer for dokumentasjon, man skal minst legge frem følgende klart til byggherre og/eller myndigheter:

- En klar beskrivelse av hensikten til systemet
- Fullstendig operasjonsdetaljer som beskriver med ord og diagram hvilket hendelsesforløp systemet vil gi ved brannalarm (funksjonsbeskrivelse)
- Beregninger med hensyn til den aktuelle klassens kriterier
- Spesifikasjonene til installert utstyr
- «Som bygget» -tegninger av systemet med plantegninger med plassering og beskyttelse av viften, elektrisk utstyr, og luftinntak.
- Konstruksjonsdetaljer for ventilasjonskanaler anvendt i systemet
- En komplett vedlikeholdsplan som gjelder alt utstyr i systemet.
- Etter overlevering, et komplett testresultat fra aksepttesten (se «årlig test» nedenfor)
- Vedlikeholdsplan som gjelder alt utstyr i systemet.
- En sjekklister i vedlikeholdsplanen med oppgaver ved vedlikehold, sammen med et register for å loggføre eventuelle feil og utbedringer.
- En uttalelse på at endringer av trapperom/dører vil påvirke systemets funksjonalitet

Systemets utstyr skal være inkludert i driftsansvarligs vedlikeholdsplan, og vedlikehold-/testplan skal være forberedt før drift. Vedlikehold skal skje i samsvar med produsentens brukermanual, og alle funn eller defekter skal loggføres og rapporteres.

- Ukentlig test

Hver uke skal systemet aktiveres. Under drift skal det kontrolleres at viftene går tilfredsstillende, og nivå på drivstoff skal sjekkes hvis sekundær strømtilførsel er fra generator.

- Månedlig test

Hver måned, i tillegg til ukentlig test, skal det simuleres mangelfull spenning på primær strømtilførsel og sjekkes at overgang til sekundær strømkilde går automatisk. Hvis systemet er utstyrt med backup-vifte, skal svikt i primærvifte også simuleres. Luker utsatt for vind/snølast testes ved aktuelle forhold.

- Årlig test.

Full aksepttest gjennomføres med målinger av viktige egenskaper, dette loggføres av utførende.

- Trykk måles ved to etasjer med viften avskrudd, dette etter at systemet har blitt driftet i 10min.
- Med systemet i drift måles trykkdifferansen mellom trapp og oppholdsrom/sluse i alle etasjer.
- Lufthastighet måles over én dør i brannetasje, dette etter bestemt konfigurasjon gitt i Tabell 2
- Det tas gjennomsnitt av minst åtte målinger over døren.
- Døråpningskraft måles i alle etasjer med systemet i drift.
- Det påses til slutt at systemet aktiveres ved å røyksette relevant røykdetektor.

2.3.3 Europeisk standard NS-EN 12101-6:2022 og 12101-13:2022

Den første mai 2022 ble det gitt ut to nye standarder om tryksetting av rømningsveier samtidig, NS-EN 12101-6 [29] og -13:2022 [6], på hhv 68 og 124 sider. Sammen erstatter de NS-EN 12101-5:2005 som ble tilbaketrasket. De nye standardene utgjør to separate formål, del 6 skal beskrive karakteristikken og testmetoder for enkeltprodukter eller ferdig «byggesett» for trykksetting, mens del 13 skal beskrive utforming, beregningsmetoder, installasjon, testing, og vedlikehold av hele systemer.

Mest relevant til denne studien er NS-EN 12101-13, da denne beskriver hvordan trykksatte trapperom skal prosjekteres, bygges og testes. Funksjonen av enkeltkomponenter og produkter, som beskrevet i NS-EN 12101-6:2022, blir ikke omfattet av denne studien. NS-EN 12101-13:2022 blir heretter referert til som «den nye standarden». Beregningsmetoder og teoretisk grunnlag er stort sett likt som i foregående standard, men utvidet

Generell systemoppbygning

Systemoppbyggingen er stort sett uendret fra NS-EN 12101-6:2005, men den nye standarden setter en høydegrense ved bruk av enkle statiske luftmengdeberegninger, og anbefaler numerisk- og/eller CFD-analyse ved bygninger høyere enn 60m. I tillegg er classesystemet med bokstaver A-F (Tabell 2) blitt erstattet med to klasser, 1 og 2. Kriteriet som skiller de to klassene er lufthastighet i brannetasje. Minimum oppstartstid er doblet fra 60s til 120s fra systemet er aktivert til operativ drift av systemet, men det er nå krav om at vifte skal være startet og spjeld korrekt posisjon etter 60s fra aktivering. Gjennomlufting, eller gjennomspyling, er i denne standarden nevnt spesifikt. Dersom gjennomspyling er påkrevd eller en prosjektert forutsetning for det aktuelle bygget, skal det bestå av minst 7500 m³/h.

Trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom.

I den nye standarden er trykkdifferansekravet for lukkede dører blitt redusert fra 50 Pa til 30 Pa. Maksimaltrykket er ikke redusert, hvilket vil gjøre det enklere å tilfredsstille både maksimal- og minimumtrykk selv ved påvirkninger av vindtrykk og oppdriftskrefter. Krav om minimum trykkdifferanse ved åpne dører er fjernet, flere av klassene i den foregående standarden hadde krav om minst 10 Pa med åpne dører, som ofte var dimensjonerende ved luftmengdeberegning. Responstid ved endrede forhold, eksempelvis ved lukking av dører, er også blitt lettet noe på. Systemet må nå justere seg til riktig lufthastighet, trykk, og døråpningskraft innen 5 sekunder. Minimum trykkdifferanse-kravet var gjeldene med trykkavlastning åpen/aktiv ved aktuell etasje.

Røykfortregning ved brannetasje.

Den nye standarden har dempet kravene for minste trykkdifferanse, men minimum lufthastighet over dør i brannetasje har blitt skjerpet. Som nevnt ovenfor er lufthastighetskriteriet skilt inn i to ulike klasser. Klasse 1 skal tilfredsstille lufthastighet på minimum 1 m/s over døren ved brannetasje, og er gjeldende i følgende tilfeller:

- I bygg som benytter automatisk slokkeanlegg som har «quick-response» og utløsningstemperatur under 72°C.
- Boligbygg under 30m
- Boligbygg hvor det er minst to mellomliggende rom uten brannenergi fra trapp til oppholdsrom
- Hvis det er akseptert av myndigheter som har jurisdiksjon.

Klasse 2 krever en lufthastighet over dørene på minst 2 m/s, og benyttes hvis klasse 1 ikke er aktuell eller om det er påkrevd av myndigheter som har jurisdiksjon.

Tilgjengeligheten til rømningstrapp

Kravene ble ikke endret fra den originale standarden, døråpningskraft på maksimalt 100N er fremdeles gjeldende, men det er nå også spesifisert at dører heller ikke skal lukke med overdreven kraft fra trykket. Det er anbefalt at dører installeres med bremsefunksjon for å hindre ulykker.

Dokumentasjon og testrutiner

Dokumentasjon er et eget kapittel i standarden, hvor det skal sørges for at støtte til funksjonen, robustheten, og påliteligheten til systemet opprettholdes. Følgende skal overleveres byggeier ved ferdigstilling av anlegget:

- Teknisk beskrivelse av systemet. Beskrivelsen skal inneholde funksjonsbeskrivelse, plantegninger, systeminformasjon, beregningsgrunnlaget, energikilder (eks. UPS), mm.

- «Som bygget»-informasjon. Med blant annet skjema som med alle komponenter, samt plantegninger i skala som viser infrastruktur relevant til systemet. Det skal også foreligge beregninger, detaljer på røykventilasjon, elektrisk, mm.
- Styringer. Detaljer på hva som aktiverer systemet, alarmsoner, elektriske systemskjemaer, mm.
- Komponentliste, en full liste over alle relevante komponenter med referanser, produsent, mm.
- Sertifikat av ferdigstillelse, hvor installatør bekrefter at relevant dokumentasjon foreligger, og at systemet tilfredsstillende spesifikasjonene gitt i standarden. Dette inkluderer en testrapport fra aksepttest.

For å sikre at systemet fungerer som forutsatt, er det krav om at testing gjøres rutinemessig. Det er også satt forutsetninger om hvilken informasjon som skal være tilgjengeliggjort for utøvere av eventuelle tester.

Følgende rutiner skal gjennomføres:

- Daglig undersøkelse
Sjekk avvik, og eventuelt utbedre avvik
- Månedlig test
Starte systemet, og drifte det i 10min. Undersøke funksjonen til 10% av spjeld, luker, dører, eller alternative trykkavlastningsflater. Kontrollere status på UPS.
- Årlig test
Ansvarlig for systemets drift skal påse at kompetent person gjennomfører årlig test, hvor følgende skal utføres:
 - Loggførte avvik og tidligere tester skal sjekkes og etterfølges.
 - Simulere manglende strømtilførsel, og kjøre systemet i 60min på UPS.
 - Kontrollere at endringer ikke er blitt gjort på systemet/planløsningen som kan endre forutsetningene til systemets virkemåte.
 - Gjennomføre full aksepttest. Testmetode for aksepttesten i den nye standarden beskrives i større detalj en foregående standarder, hvor det ved ferdigstillelse og årlig kontroll skal gjennomføres følgende målinger:
 - Teste trykkdifferanse og lufthastighet (som brannetasje) på etasjer med tre etasjer mellomrom. Alle plan med andre løsninger for trykkavlastning/dører skal testes.
 - Måle døråpningskraft på alle etasjer, både med systemet av og på.
 - Dynamisk responstid (<5s) på øverste, midtre, og nederste etasje.
 - Initieringstid og operasjonstid.

I tillegg er det gitt spesifikke forutsetninger til måleutstyrets egenskaper og målemetode. Standarden har også en egen mal som kan anvendes som sjekklister for aksepttest.

- En rapport som detaljerer funn på overnevnte punkter, og eventuelle avvik som må utbedres.

Daglig og månedlig testing kan også gjennomføres ved bruk av autonom styring i en sentral, men det skal ikke erstatte menneskelig loggføring og håndtering av eventuelle avvik.

2.4 Fysiske prinsipper og formler

2.4.1 Luftlekkasje i konstruksjon og bygningsdeler

Vifter anvendt til trykksetting kan bli dimensjonert med hensyn til luftlekkasje ved dimensjonerende lufttrykk. Ved et gitt trykkdifferanse over kjent lekkasjeareal, kan resulterende volummengde beregnes med en forenklet utledning av Bernoullis ligning, gitt i Formel 1. For lekkasjeareal anvendes normalt tabellverdier definert i standarder [6, 28].

Formel 1: Volumstrøm over et lekkasjeareal mht. trykk, formel fra litteratur og standarder [6, 28, 58, 60]

$$Q_{\text{åpning}} = C_v \cdot A_{\text{åpning}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (\Delta p)^{\frac{1}{R}}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

| | | |
|----------------------------|----------------------------------|---|
| $Q_{\text{åpning}}$ | Volumstrøm gjennom åpningen | [m ³ /s] |
| C_v | Utslippskoeffisient, (0,6 – 0,9) | [-] |
| $A_{\text{åpning}}$ | Effektivt åpningsareal | [m ²] |
| ρ | Luftens tetthet (typisk ~1,2) | $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ |
| $\Delta p_{\text{åpning}}$ | Trykkdifferansen over åpningen | [Pa] |
| R | Strømningskoeffisient | [-] |

Utslippskoeffisienten C_v er en dimensjonsløs koeffisient bestemt av geometrien til åpningen. Normalt varierer dette mellom 0,6 og 0,9, men normalt kan 0,65 anvendes ved beregninger i trykksatte trapperom [6].

Strømningskoeffisienten avhenger av Reynoldstallet til strømmingen, men på generell basis anvendes 1,6 ved store åpninger og 2,0 ved små åpninger, antatt laminær og turbulent strømming respektivt. I denne konteksten kan store åpninger være spalter rundt dører, og små åpninger utettheter i konstruksjonen.

2.4.2 Døråpningskraft fra trykkdifferanse

For beregning av døråpningskraft kan en forenklet formel gitt i Formel 2 anvendes. Denne beregner teoretisk døråpningskraft ved å addere døråpningskraft i normalsituasjon (F_r) med kraften utøvd av trykkdifferansen på angrepspunktet i momentarmen.

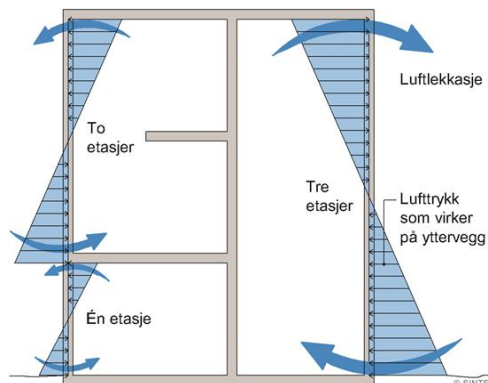
Formel 2: Beregnet døråpningskraft, fra litteratur og standarder [6, 28, 58]

$$F = F_r + \frac{B_{\text{dør}} \cdot A_{\text{dør}} \cdot \Delta p}{2 \cdot (B_{\text{dør}} - d)} [N]$$

| | | |
|-------------------------|---|-------------------|
| F_r | Nødvendig kraft for å åpne døren uten trykkdifferanse | [N] |
| $B_{\text{dør}}$ | Dørens bredde | [m] |
| $A_{\text{dør}}$ | Dørens areal | [m ²] |
| $\Delta p_{\text{dør}}$ | Trykkdifferansen over døren | [Pa] |
| d | Avstand fra dørhendel til ytterkant av dør (på dørhendelens side) | [m] |

2.4.3 Skorsteinseffekt og oppdrift

I de fleste trykksatte trapperom vil store mengder ubehandlet luft spontant introduseres fra utsiden når systemet er aktivert. Om temperaturdifferansen mellom utsiden og innsiden av bygget er betydelig, hvilket kan være tilfellet ved store deler av året i Norge, kan det resultere i betydelig skorsteinseffekt. Skorsteinseffekten med lav utetemperatur vil gi redusert trykkdifferanse nederst i trapperommet, og økt trykk øverst, som illustrert Figur 11. Om temperaturen blir høyest utendørs, vil effekten reverseres.



Figur 11: Illustrasjon fra SINTEF byggforsk som illustrerer skorsteinseffekten ved lav utetemperatur [61]

I enkelte tilfeller kan skorsteinseffekten bidra trykksettingen [62], men ofte vil det gi utilsiktet overtrykk øverst i trapperommet ved trykksetting, dette kan bidra til at døråpningskraften blir for stor, hvilket kan gjøre det vanskeligere for personer å rømme. Overdreven skorsteinseffekt på grunn av lav utetemperatur kan også sette begrensninger i trappens uavbrutte høyde [63]. Det er enkelte parametere som forsterker skorsteinseffekten, utendørs temperatur og trapperommets høyde har stor effekt som sett i i Formel 3.

Formel 3: Skorsteinseffekten, formelen er en forenklet utledning av ideell gasslov [64, 65]

$$\Delta p_H = g \cdot H \cdot (\rho_{ext} - \rho_i) \approx g \cdot H \cdot \rho_0 \left(\frac{273}{T_o} - \frac{273}{T_i} \right)$$

| | | |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Δp_H | Trykkdifferanse over høyden | [Pa] |
| H | Total høyde mellom åpningene | [m] |
| ρ_{ext} | Utendørs lufttetthet | $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$ |
| ρ_i | Innendørs lufttetthet | $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$ |
| ρ_0 | Luftens tetthet ved 0°C (~1,29) | $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$ |
| g | Tyngdens akselerasjon (~9,81) | $\left[\frac{m}{s^2} \right]$ |
| T_u | Temperatur ute | [K] |
| T_i | Temperatur inne | [K] |

Skorsteinseffekten kan forebygges på flere måter, vanlige tiltak er å motvirke disse kreftene ved å øke trykket i bunnen av trappen og redusere trykket på toppen. Dette kan gjøres i trykksatte trapperom ved å plassere viften lavt i trappesjakten for å kompensere for undertrykket, kombinert med at røykluken på toppen av trapperommet bløder overtrykket [63]. Andre måter å redusere skorsteinseffekten kan være å tilpasse verdiene i Formel 3, for eksempel lavere høyde på trapperommene ved å seksjonere de, eller klimatisering av inntaksluften som anvendes til trykksettingen.

2.4.4 Vindtrykk

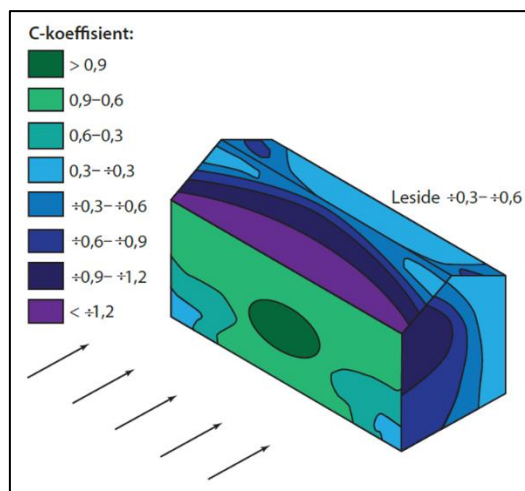
Oppdriftskrefter er ikke det eneste naturkraften som i stor grad kan påvirke trykksetting, vindkrefter kan også gi negative effekter som bør hensyntas [43, 44]. Strømning av vind kan gi ujevn trykkfordeling på fasadene på bygningen, som vil variere med vindretning og styrke. På losiden, altså vindsiden, kan det oppstå et oppstuvningstrykk, mens det på lesiden vil kunne oppstå en bakevje med undertrykk. Trykkdifferansen produsert av vindhastigheten kan også estimeres ved bruk av en forenkling av Bernoullis ligning gitt i Formel 4.

Formel 4: Trykkdifferansen produsert av vind på en bygningsflate [65]

$$\Delta p_v = C_p \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \text{ [Pa]}$$

| | | |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Δp_v | Trykkdifferanse produsert av vind | [Pa] |
| C_p | Formfaktor | [-] |
| ρ | Luftens tetthet (typisk ~1,2) | $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ |
| v | Vindhastighet | [m/s] |

På grunn forskjellig utforming av bygningens flater vil formfaktor C_p variere med vindretning og bygningsgeometri. Formfaktoren, også kalt trykkoeffisienten, justerer for at trykket virker på forskjellige punkter på veggflatene eller taket, og karakteriseres for en bestemt vindretning. En typisk koeffisient for loveggen med en vinkelrett vindretning kan være $C_p = +0,8$. For lesiden kan dette bli typisk $C_p = -0,5$, hvor minustegnet indikerer undertrykk. Nøyaktige størrelser på trykkoeffisientene kan bestemmes for de individuelle flatene på et bygg ved bruk av analyse, men ved bruk av simple beregninger kan forenklinger som Figur 12 anvendes.



Figur 12: Middelerdi for formfaktor for ulike flater basert på bygningsform. Figur hentet fra [65]

2.4.5 Måleteknikk

Måleusikkerhet beskrives ved et intervall, hvor den faktiske verdien ligger innad intervallet ved den målte verdien. Måleusikkerhet oppgis som måleverdi \pm måleusikkerhet. Usikkerheten i målingene kan beregnes på to måter, A- og B-type usikkerhetsberegning.

Type A

Type A kan beregnes ved med ti eller flere målinger under samme betingelser. Middelerdien estimeres med Formel 5 og regner ut ett standardavvik med Formel 6.

Formel 5: Middelerdi Type A usikkerhetsberegning

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i = \frac{1}{n} (q_1 + q_2 + \dots + q_n)$$

Formel 6: Standardavvik

$$s^2(q) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2$$

Type B

Type B gjøres ved å bruke én måling og deretter beregne usikkerheten med hensyn til instrumentets oppløselighet og nøyaktighet, dette angitt av produsent. Der beregnes med normalfordelt statistisk metode og to standardavvik. Usikkerheten fra oppløselighet og nøyaktighet beregnes med hhv. Formel 7 og Formel 8. Avslutningsvis beregnes en utvidet, kombinert usikkerhet med Formel 9. Formel 9 multipliseres med 2 for to standardavvik.

Formel 7: Oppløselighet med firkantfordeling

$$u_1 = \frac{U_{\text{oppløselighet}}}{2 \times \sqrt{3}}$$

Formel 8: Nøyaktighet

$$u_2 = \frac{U_{\text{nøyaktighet}}}{2}$$

Formel 9: Utvidet kombinert usikkerhet

$$U_{\text{kombinert}} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \times 2$$

3 Metode

3.1 Litteratursøk

I forbindelse med oppstart av studie ble det gjennomført et forenklet systematisk litteratursøk. Søket ble gjennomført på Scopus 19/02/22 med strengen vist i Figur 13. Søkestrengen ble utformet for var å avdekke litteratur som i noen form omhandlet røykkontroll eller trykksetting i høyhus, denne litteraturen måtte i sammendrag eller tittelfelt nevne noe om dette, i tillegg til rømning, evakuering, brann, eller røyk. Kun artikler på engelsk som var publisert i tidsskrifter eller konferanser var inkludert i søket.

```
TITLE-ABS-KEY (  
  
  ( stair* OR "High rise" OR "Tall building*" )  
  AND ( "Pressure diff* system" OR "Pressurization"  
        OR ( "smoke AND (management OR control)" ) )  
  
  AND ( escape OR fire OR evacuation OR smoke ) )  
  
  AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" )  
        OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "cp" ) )  
  AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) ) )
```

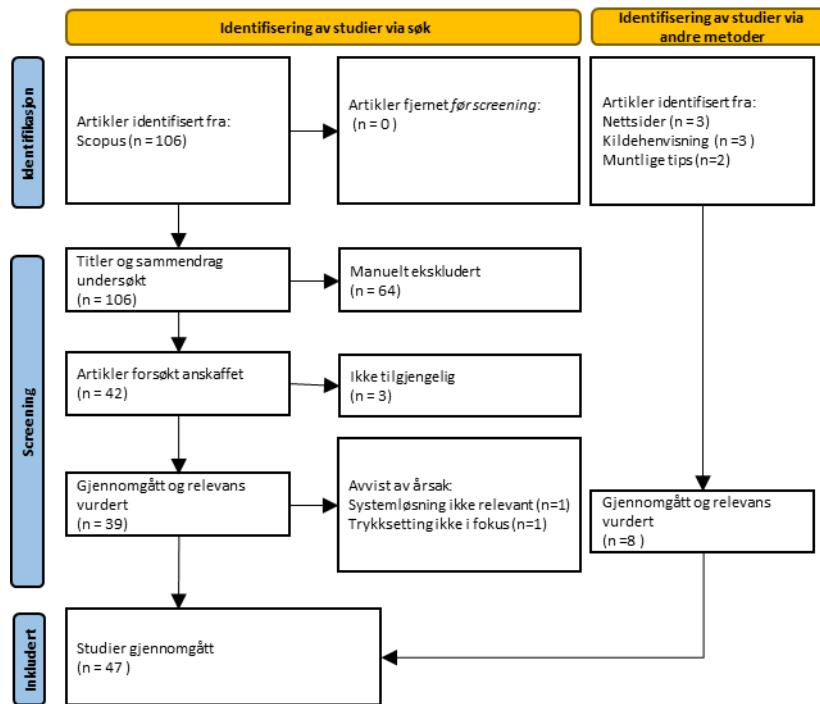
Figur 13: Søkestrengen anvendt for å avdekke relevante studier via Scopus.com

Søket resulterte i 106 artikler som så ble vurdert videre, eller «screenet». Det ble etablert en oversikt i Excel med tittelfelt og sammendrag, artiklenes relevans vurdert mellom 1 og 10 basert på innholdet i tittel og sammendrag. Kun de artiklene rangert 8 – 10 ble inkludert for videre gjennomgang. Oversikt over kriteriene som ble satt på de mest relevante artiklene, og hvor mange av artiklene dette var, er vist i Tabell 3.

Tabell 3: Resultat av screening-prosessen

| Poeng | Kriteriet | Antall |
|-------|--|--------|
| 10 | Direkte relevant til studie Vurderinger av trykksatte trapperom, enten med praktiske forsøk eller litteraturstudier. | 17 |
| 9 | Nokså relevant til studie For eksempel simuleringer av trykksatte trapperom med ulike systemløsninger eller ytre påvirkninger. | 11 |
| 8 | Nyttig litteratur til studiets formål Studier som omhandler røykventilasjon generelt og alternative metoder, eller vurderte trykksatte trapperom uten simuleringer eller forsøk. | 14 |
| <8 | Ikke tilstrekkelig relevant | 62 |

Etter denne screening-prosessen, ble de relevante artiklene forsøkt anskaffet. De fleste artiklene lot seg digitalt nedlastes fra nettsiden de var publisert, eldre artikler som ikke var tilgjengelig digitalt, ble forsøkt anskaffet via universitetsbiblioteket ved OsloMet. Til slutt ble det konkludert at tre artikler ikke kunne anskaffes for grundigere gjennomgang, og ble med dette utelatt. Under gjennomlesning ble det også funnet at to artikler ikke hadde innhold som bidro til studie, men det ble også funnet åtte nye artikler gjennom tips og kildehenvisninger. Hele denne prosessen er oppsummert i Figur 14. Oversikt over de artiklene som ble gjennomgått som resultat av overnevnte søk, er gitt i Vedlegg E.



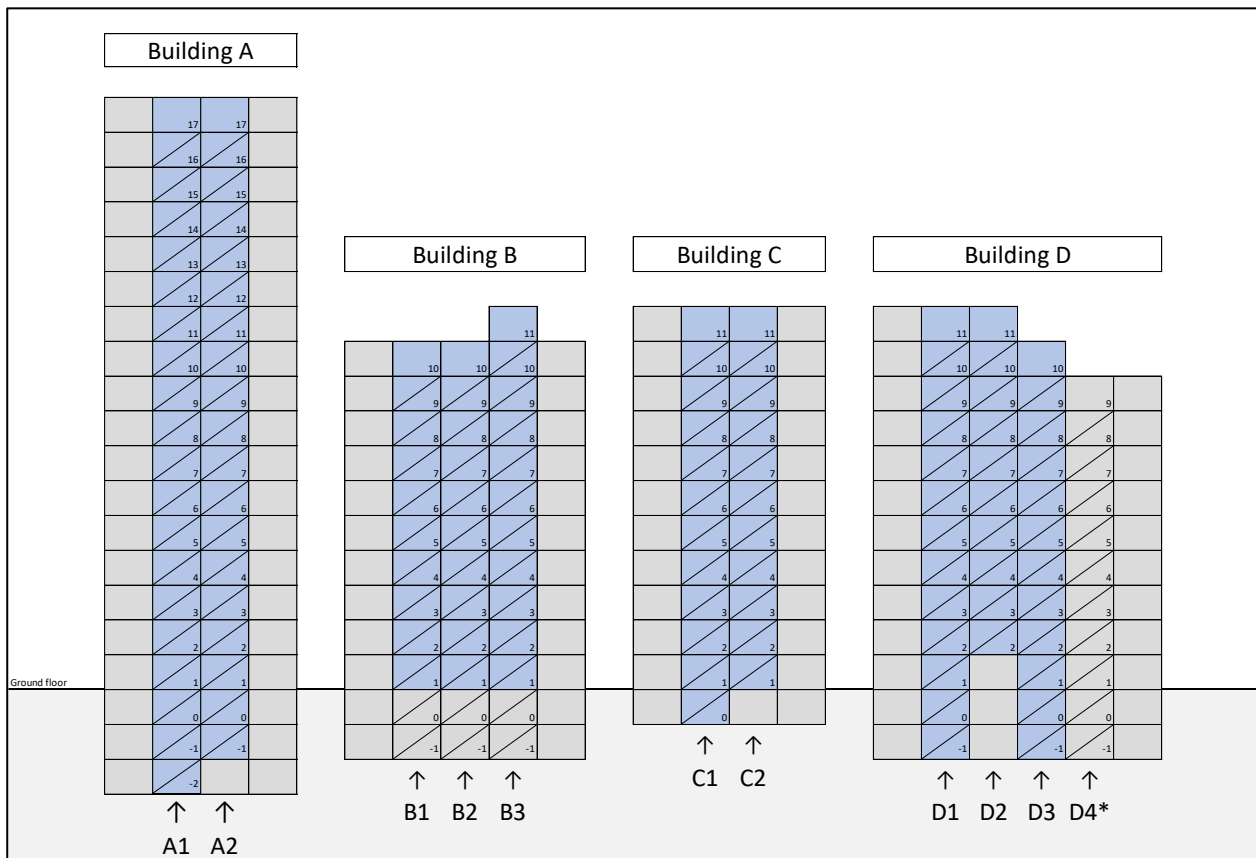
Figur 14: Det systematiske litteratursøket oppsummert, figur hentet fra PRISMA 2020 og modifisert [66]

3.2 Testobjekter og befaringer

Den primære delen av studie var å undersøke moderne bygg og deres systemløsninger, samt gjennomføre felttester av bygg i forhåndsbestemt rømningsscenario i enkelte av disse bygningene. Følgende kriterier ble fastsatt for at bygget skulle anses som interessant å teste:

- Bygget må være over åtte etasjer høyt, slik at VTEK nødvendiggjør trykksatt trapperom i bygget
- Bygget skal være ferdigstilt, og fullskaletest blitt gjennomført.
- Det skal være bygd etter TEK10 eller nyere forskrift.
- Tilstrekkelig adgang til bygget over lengre perioder skal gis til utførende av testen.
- Nødvendig dokumentasjon med brannstrategi, plantegninger og prosjekteringsunderlag for trykksetting skal tilgjengeliggjøres.

Eiendomsselskaper, entreprenører, rådgivere og andre eiendomsforvaltere med tilknytning til relevante høyhus ble forespurt, dette i perioden desember 2021 til februar 2022. Kontaktpersonene ble funnet gjennom åpne kilder på internett og via personlig nettverk, og deretter kontaktet via telefon og E-post. Et eksempel på utsendt E-post kan sees i Vedlegg B. Etter flere runder med kommunikasjon var syv av kontaktene positivt innstilt i å bli en del av studien, hvor totalt ni eiendommer ble tilgjengeliggjort deretter. Samtlige av disse eiendommene ble befart, men kun fire bygninger tilfredstilte kriteriene for testing. Illustrasjon av de testede byggene i Figur 15, og fullstendig oversikt av alle byggene sees i Tabell 4.



Figur 15: Forenklet tegning av byggene hvor felttester ble gjennomført med tilhørende pseudonymer, aktuelle trapperom merket i blått.

*Det ble ikke gjennomført felttest av D4

Tabell 4: Oversikt over bygg involvert i studien og deres pseudonymer. Informasjon som ikke er bekreftet er merket i parentes.

| | Pseudonym | Ferdigstilt | Formål | Type | Størrelse | Forskrift | Etasjer | Antall Tr 3 |
|------------|-----------|-------------|-----------|--------|------------|-----------|---------|-------------|
| Testet | A | 2021 | Kontor | Rehab | ca. 30.000 | TEK17 | 17 | 2 |
| | B | 2022 | Kontor | Nybygg | Ca. 20.000 | TEK17 | 11 | 3 |
| | C | 2020 | Bolig | Nybygg | Ca. 5.000 | TEK17 | 11 | 2 |
| | D | 2021 | Kontor | Nybygg | ca. 30.000 | TEK10 | 11 | 4 |
| Kun befart | X1 | 2013 | Utdanning | Rehab | ca. 20.000 | (TEK10) | 10 | 2 |
| | X2 | 2002 | Eldrehjem | Rehab | Ukjent | (TEK97) | 10 | 4 |
| | X3 | 2022 | Kontor | Nybygg | Ca. 7.000 | (TEK17) | 10 | 2 |
| | X4 | 2022 | Kontor | Rehab | Ca. 20.000 | TEK17 | 11 | 2 |
| | X5 | 2019 | Utdanning | Nybygg | Ca. 20.000 | TEK10 | 10 | 2 |

Befaringene og påfølgende testing ble normalt gjennomført i fire omganger:

1. Befaring.

Undersøkte systemløsningene i de trykksatte trapperommene, fortrinnsvis sammen med person med teknisk ansvar, hvor bygget ble vurdert for videre testing. Systemløsningene blir notert og avbildet.

2. Planlegging.

Hvis bygningen ble funnet relevant til studien, ble det gjort en ny befaring for å planlegge gjennomføringen av felttest i detalj. Eventuell opplæring i relevante systemer og tilganger ble gitt deretter.

3. Rigging.

Nødvendig rigging av testopplegget måtte bli gjort på forhånd, som regel ved å klargjøre instrumenter, slanger, og eventuelt andre hjelpemidler. Dette ble gjort på en egen dag hvis mulig

4. Felttest.

Til slutt ble felttesten gjennomført, enten i sin helhet eller delvis. På grunn av tidkrevende opprigging, nedrigging, og testgjennomføring måtte dette i flere tilfeller gjennomføres over flere dager.

Samtlige besøk på undersøkte bygninger ble loggført i perioden, gjengitt i Tabell 5. Ferdigstillelse av felttester og befaringer var i utgangspunktet planlagt til slutten av april, men på grunn av forsinkelser hos eiendomsforvalteren og tekniske komplikasjoner i bygg A, B, og X5, måtte testperioden utvides.

De øvrige bygningene som ikke var funnet relevante for testing ble istedenfor befart, og deres systemløsninger undersøkt. I to av disse byggene ble det gjort samtidig som årlig kontroll eller fullskalatest ble gjennomført, dette gjaldt henholdsvis X1 og X4. Ved å sammenfalle befaringen med disse tidspunktene ble det også mulig å observere testrutinene til servicepersonell.

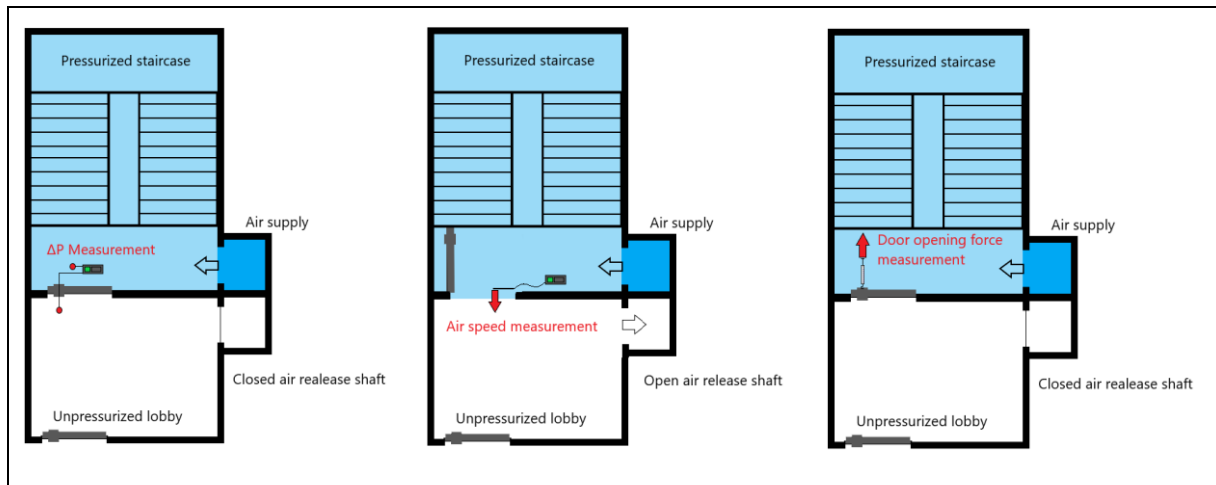
Tabell 5: Logg av befaringer og tester gjort på byggene.

| Hva | Bygg | Dato | Formål |
|----------|-------|------------|---|
| Befaring | X1 | 29.11.2021 | Undersøkte systemløsning og testmuligheter |
| Befaring | C | 19.01.2022 | Undersøkte systemløsning og testmuligheter |
| Befaring | D | 25.01.2022 | Undersøkte systemløsning og testmuligheter |
| Befaring | X1 | 26.01.2022 | Bisatt årlig kontroll |
| Befaring | X2 | 11.02.2022 | Undersøkte systemløsning og testmuligheter |
| Befaring | A & B | 14.02.2022 | Undersøkte systemløsning og testmuligheter |
| Felttest | C | 24.02.2022 | Prøvetest av instrumenter og utstyr, trapp C1 |
| Befaring | X3 | 28.02.2022 | Undersøkte systemløsning og testmuligheter |
| Befaring | X4 | 10.03.2022 | Bisatt fullskalatest |
| Felttest | C | 10.03.2022 | Generalprøve av testmetode, trapp C1 |

| | | | |
|----------|-------|------------|---|
| Befaring | D | 29.03.2022 | Planlagte test |
| Rigging | C | 06.04.2022 | Rigget til felttest |
| Felttest | C | 07.04.2022 | Felttest, trapp C1 og C2 |
| Felttest | D | 11.04.2022 | Rigget og gjennomførte felttest, trapp D1, D2 |
| Rigging | D | 18.04.2022 | Rigget til felttest |
| Felttest | D | 20.04.2022 | Felttest, trapp D2, D3 |
| Rigging | A & B | 30.04.2022 | Planlagte test i A og rigget til felttest i B |
| Felttest | B | 01.05.2022 | Felttest, trapp B1, B2, B3 (feilet) |
| Felttest | A | 02.05.2022 | Felttest, trapp A1 og A2 |
| Rigging | B | 06.05.2022 | Rigget til felttest |
| Felttest | B | 08.05.2022 | Felttest, trapp B1, B2, B3 |
| Befaring | X5 | 10.05.2022 | Undersøkte systemløsning |
| Felttest | B | 28.05.2022 | Testet døråpningskraft, trapp B2, B3 |
| Felttest | B | 29.05.2022 | Etterprøvde mulig underdimensjonering, trapp B1 |
| Felttest | B | 05.06.2022 | Etterprøvde mulig underdimensjonering, trapp B1 |
| Felttest | A | 12.06.2022 | Testet døråpningskraft, trapp A2 |

3.3 Målemetode

Målemetoder ble basert på NS-EN 12101-13:2022 kapittel 8 med nødvendige forenklinger som spesifisert i 3.4.3 [6]. Måleinstrumentenes posisjon i relasjon til trykksatt trapp og mellomliggende sluserom (lobby) er vist i Figur 16.



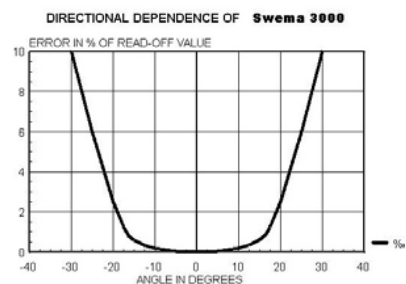
Figur 16: Måleinstrumentenes plassering i rommet, målinger ble gjort fra det trykksatte trapperommet. Fra venstre; trykkmålinger, lufthastighetsmålinger, og måling av døråpningskraft.

3.3.1 Måleinstrumenter og måleusikkerhet

Ved loggføring av trykk ble det benyttet 5 stk Swema 3000md. Disse instrumentene ble benyttet i samme relative høyde til hverandre i hvert eksperiment, med henholdsvis topp, midtre-topp, midtre, midtre-bunn, og bunn tilsvarende rekkefølgen av serienumre gitt i Tabell 6. I enkelte trapperom var det ikke praktisk mulig å benytte alle instrumentene, hvilke instrumenter som ikke blir benyttet i disse tilfellene, er spesifisert i vedleggene til resultatdelen. Differansetrykket ble målt over to fastmonterte nipler på instrumentet, hvor referansetrykket ble målt ved å skjøte vinylslange til et av niplene.

Til måling av lufthastighet og temperatur, ble en Swema 3000 med tilkoblet termisk anemometer benyttet. Dens egenskaper var tilfredsstillende med hensyn til metodikk og underlag, men instrumentet hadde to nevneverdige begrensninger. Proben ga kun lufthastighet i positive verdier, hvilket betyr at tilbakestrømming ikke blir målt som negativ hastighet, hvilket kan gi høyere målt lufthastighet enn reelt. I tillegg var nøyaktigheten til målingen sterkt avhengig av instrumentets orientering som vist i Figur 17.

Orienteringen ble derfor forsøkt holdt innenfor 10°, men ved målinger på frihånd kan avvik forekomme.



Figur 17: Retningsavhengigeten til det termiske anemometeret

For å måle døråpningskraft ble et instrument som tilfredsstilte minstekriteriene i standarden anskaffet. Det ble først anskaffet en digital hengevekt, denne viste seg imidlertid å være lite pålitelig. Av den årsak ble det gjort innkjøp Sauter 283-602, som er en mekanisk fjærbelastet hengevekt med Newton som måleenhet. Instrumentet hadde noe lav oppløselighet, men tilfredsstillende pålitelighet og nøyaktighet. For å måle størrelsen på trapperommet og dens døråpninger, ble det benyttet en laseravstandsmåler. Komplette instrumentliste er gjengitt i Tabell 6, den totale usikkerheten per instrument ble beregnet med beregningene beskrevet i 2.4.5.

Tabell 6: Instrumentliste, data hentet fra instrumentenes vedlegg, usikkerhet beregnet etter Formel 9.

| Instrument | Serie no. | Type måling | Område | Nøyaktighet | Oppløsning | Produsent | Kalibrering dato | Beregnet type B usikkerhet |
|------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|--|------------|---------------------|------------------|---|
| Swema 3000md | 702159 | Differansetrykk | -300 til 1500Pa | $\pm 0,3\%$, minimum $\pm 0,3$ Pa | 0,01 Pa | Swema AB | 03/11/21 | $\pm 0,15$ Pa ved 50 Pa |
| | 702139 | | | | | | 28/03/22 | |
| | 700589 | | | | | | 08/01/20 | |
| | 675879 | | | | | | Ikke angitt | |
| | 676039 | | | | | | Ikke angitt | |
| Swema 3000 med SWA 31E probe | Swema: 679329 | Lufthastighet | 0,1 til 10m/s | $\pm 0,05$ m/s ved 0,1-1,10 m/s eller $\pm 4,5\%$ ved $>1,10$ m/s | 0,01 m/s | Swema AB | 19/08/2015 | $\pm 0,07$ m/s ved 1,50 m/s |
| | Probe: 385359 | Lufttemperatur | -20 til 80°C | $\pm 0,3^\circ\text{C}$ ved 23°C eller $\pm 1,0^\circ\text{C}$ mellom -20°C og +80°C | 0,01 °C | | Ikke angitt | $\pm 1^\circ\text{C}$ mellom -20°C og +80°C |
| Sauter 283-602 | | Kraft | 0 til 200N | $\pm 0,3\%$ | 2 N | Sauter GmbH | Ikke angitt | $\pm 1,2$ N ved 100 N |
| Leica Disto X310 | 0822773291 | Lengde | 0 til 150m | $\pm 2,0$ mm | 0,1 mm | Leica Geosystems AG | Ikke angitt | ± 2 mm |

3.3.2 Trykkdifferansemåling og dynamisk trykkresponstid

Logging av trykkdifferansen ble gjort på tre til fem etasjer parallelt, med separate måleinstrumenter for hver av disse etasjene, dette etter oppsett spesifisert i standardens kpt. 8.5.1 figur 16. Instrumentet var plassert på den trykksatte siden, hvor en slange ble ført fra instrumentet til tilstøtende rom som referanse. Instrumentet ble nullstilt før loggføring startet, dette i dens fastsatte posisjon før slange ble montert. Logging ble gjort med Swema 3000md på «log» funksjon, hvor instrumentet målte trykkdifferanse hvert 0,25s med en tidskonstant på 0,5s. Det ble etterstrebet å montere trykkloggerne med maksimum tre etasjer mellomrom, som visualisert i Vedlegg D. Med fem instrumenter til å måle trykk tilgjengelig, fikk disse designerte plasseringer, og ble merket deretter som vist i Figur 18. De ble benyttet i samme relative posisjon i samtlige tester.



Figur 18: Instrumenter benyttet for trykkmålingen fikk faste markeringer, slik at samme instrumenter ble brukt i samme posisjon ved alle testene.

For å måle trykkdifferanse, ble referansetrykket i sluserommet hentet gjennom en silikonlange fra instrumentet til andre siden av døren/veggen. Det ble fastsatt forhåndsregler på hvordan slangen skulle bli ført gjennom vegg/dør å oppnå trygge og kvalitetssikre løsninger:

- Det skulle ikke hemme eksisterende rømningsmuligheter, døren skulle være fullstendig funksjonell fra rømnings siden gjennom hele testforløpet.
- Instrumentet og referansepunktet måtte ha en plassering hvor den ikke blir utsatt for unødige luftstrømninger
- Det skulle ikke introdusere nye lekkasjearealer som ellers ikke ville eksistert.

I noen trapperom var det mulig å føre slangen gjennom eksisterende åpninger, men under de fleste testene oppsto behov for særegne løsninger og tidkrevende rigging. Noen eksempler på dette vises i Figur 19 til Figur 22. Instrumentene ble normalt montert på døren, som regel ved bruk av en dusjhylle med tilhørende sugekopper som festemiddel.



Figur 19: Trapp D2 hadde gode forutsetninger som tillot enkel rigging. Bak vrideren eksisterte en ubrukt utsparring til låsesylinder.



Figur 20: På øvrige etasjer i D1 og D3 var det ingen mulige gjennomføringer for slangen. Det ble derfor nødvendig å bore gjennom utforingen på døren.

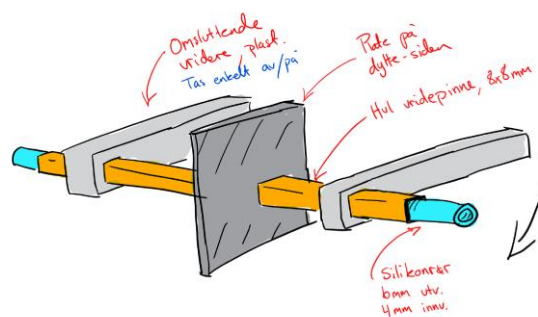


Figur 21: I kjelleretasjen på D1 måtte slangen føres gjennom en ventilasjonskanal på begge sider av veggen



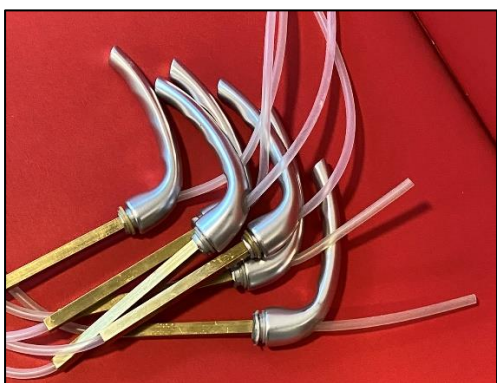
Figur 22: I A kunne låsesylindere demonteres. Kurvene måtte teipes fast, sugekoppene lot seg ikke feste på dørenes rye overflate.

I enkelte trapperom var det ingen måter å føre slangen gjennom på med hensyn til overnevnte forhåndsregler, dette gjaldt spesielt bygg C. I første omgang ble det vurdert å fjerne dørhåndtak og låskasse i sin helhet slik at døren kunne åpnes ved å dytte fra rømningssiden, men på grunn av elektronikk i låskassen, måtte dette utelukkes. For å måle trykkdifferansen på disse trappene måtte det derfor utvikles en helt spesiell løsning som kunne bevare rømningssikkerheten, samtidig som slangen kunne bli ført til tilstøtende rom. Løsningen ble å håndlage en skreddersydd dørvrider, skissen i Figur 23 viser første utkast av løsningen

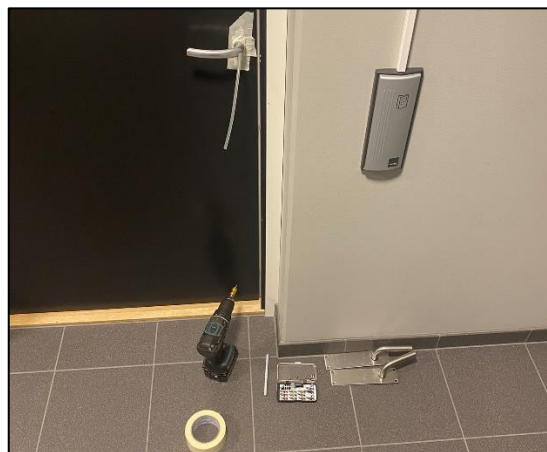


Figur 23: Skissert løsning for måling av trykkdifferanse over dør

Vridepinner er komponenter i dørbeslag som går gjennom døren og overfører kraften fra dørvrider til låsemekanisme, dette slik at dører åpnes. Ved å erstatte vridepinne med et firkantrør i tilsvarende dimensjon, ble det mulig å føre slangen gjennom døren samtidig den kunne anvendes. For å vri om firkantrøret og åpne døren likt som i en vridepinne, ble håndtak anskaffet og tilpasset. Sluttresultatet ble en dørvrider som var enkel å montere og kunne hente trykkreferansen på innsiden av sluserommet, dette samtidig som rømningssikkerheten ble ivaretatt. Figur 24 og Figur 25 viser dørhåndtakene.



Figur 24: Det ferdige produktet. Dørvrideren muliggjorde trykkmålinger samtidig som den kunne betjenes ved rømning



Figur 25: Dørvrideren montert. Maskeringsteip benyttet i tillegg for å minimere luftlekkasje.

3.3.3 Lufthastighetsmålinger

Måling av lufthastighet ble gjennomført etter metoden angitt i NS-EN 12101-13:2022 kpt. 8.5.2 med døren åpnet i en 90° stilling. I tilfeller hvor røykfortregning i en tenkt brannetasje ble vurdert, ble også trykkavlastningsspjeldet innenfor døren åpnet. På forhånd ble det beregnet hvor mange punktmålinger som skulle gjennomføres jevnt over dørens flate. Det ble satt minimum 5 målepunkter per kvadratmeter, og ikke mindre enn åtte punkter totalt, som definert i standarden. Gjennomsnittet av disse punktmålingene ble endelig måleverdi.

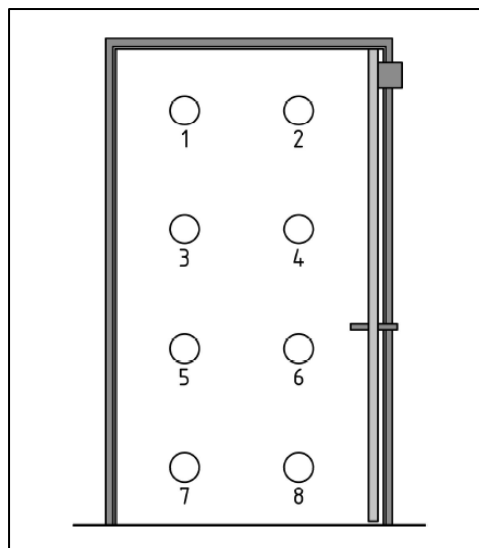
Måleprosedyren ble gjennomført to ganger. Om de to resulterende verdiene hadde en differanse på større enn 10%, ble også en tredje måling gjennomført. Målefunksjonen «Average by points» ble brukt på instrumentet Swema 3000 med termisk anemometer SWA 31E og en tidskonstant på 1 sekund. Figur 26 viser hvordan punktmålinger ble gjort i praksis, hvor utførende person sto inne i det trykksatte trapperommet med minimal profil i strømningsoverflaten og utførte punktmålinger på frihånd i et jevnt mønster. Figur 27 gjengir et eksempel på målepunkter fra standarden, tilsvarende fordeling av målepunkter ble etterstrebet under forsøkene. Lufthastighetsmålinger ble gjennomført ved fire etasjer med trykkavlastningsspjeld åpnet i

mellomliggende rom, disse fire etasjene skulle ideelt ha tre etasjer mellomrom, som spesifisert i kapittel 8.4 Table 2 punkt a) i standarden.

En konsekvens av instrumentvalget, nevnt i 3.3.1, var at negative luftstrømmer ikke lot seg måle. Dette kan som konsekvens resultere i at målt lufthastighet ble større enn reel hastighet. Sporrøyk kunne avdekke hvorvidt luftstrømmen bevegde seg fra sluserommet og til trapperommet, men dette kunne ikke anvendes uten større branntekniske inngrep i byggene, og ville påvirket brannsikkerhet samtidig som brukerne befant seg i bygget.



Figur 26: Måling av lufthastighet ved andre etasje, B1



Figur 27: Eksempel på jevn fordeling av målepunkter som spesifisert i standarden, skjermdump.

3.3.4 Døråpningskraft

Åpningskraften ble målt på alle aktuelle dører minimum to ganger før systemet ble aktivert, deretter to ganger når systemet var i stabil drift. Målingene ble gjennomført fra innsiden av trapperommet, hvor vektens krok ble plassert omtrentlig ved hendelens midtre punkt. Dørvrideren ble først vendt om til åpen stilling før døren ble trukket jevnt uten impulser helt til full åpen stilling. Hver måling ble gjort med minimum 5 sekunders mellomrom for å unngå påvirkning fra eventuelle trykksvingninger produsert av foregående måling. I trapperom hvor det dørautomatikk var anvendt, ble automatikken i stedet *funksjonstestet* to ganger uten at trykksettingsviften var på, deretter to ganger når systemet var aktivert og under stabile driftsforhold. Trykkavlastning i mellomliggende rom var lukket under testen.



Figur 28: Måling av døråpningskraft.

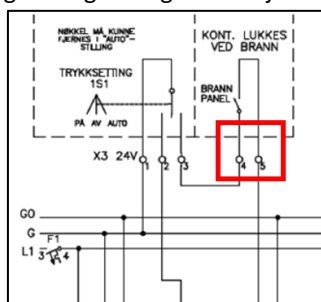
3.4 Testmetode

Dette delkapitlet beskriver hvordan trykksettingsystemene ble trigget og testene utført. Egenskapene som ble målt er beskrevet i NS-EN 12101-13:2022 kpt 8 Table 2 punkt a), i tillegg var ekstra forutsetninger tilført og enkelte forenklinger gjort, dette vil bli beskrevet videre.

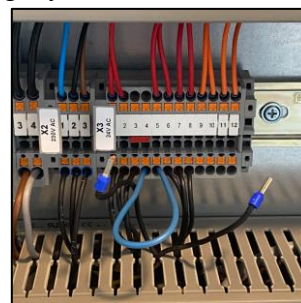
3.4.1 Aktivering av trykksettingsystemet

For å gjennomføre testene måtte systemet aktiveres på en måte som tilsvarte hendelsesforløpet under en reel brann. Ideelt benyttes sporrøyk og røyksetting for å simulere effekten av ekte røykoppstandelse fra en brann, som også ville ha sørget for at automatikken til relevante systemene hadde blitt aktivert som forutsatt. Ulempen med røyk er at dette også vil aktivere alarmsystemet i sin helhet, som vil resultere i full evakuering og eventuell viderekobling til alarmsentral. Ettersom bygget var i drift og brukerne oppholdte seg i bygningen parallelt med testene, måtte dette utelukkes med hensyn til eiendomsforvalteren og brukerne.

Det ble tatt forbindelse med leverandør «Vifter & Miljø», som hadde levert trykksettingsystemene i samtlige av de testede byggene. Produktsjef Steffen Bjerkvoll ga etter forespørsel opplæring tilsvarende det som gis servicepersoner [36]. Leverandøren forklarte at systemet aktiveres ved å laske over kontakten som lukkes ved brannalarm, dette ville gjøre at viftene og tilhørende takluker aktiveres på samme måte som det ellers ville gjort i en reel brannalarm. Denne metodikken ble anvendt ved de testede byggene, koblingspunktene kan sees på Figur 29 og laskingen i Figur 30. Skjema Vedlegg C viser hele koblingsskjema.



Figur 29: Koblingspunkter for aktivering av trykksetting, normalt mellom 4 og 5.



Figur 30: Lasking av koblingspunktene 4 og 5 som aktiverer trykksetting.

Overnevnte metodikk åpnet som nevnt luker og aktiverte viftene, men trykkavlastning var ikke tilknyttet samme skap, og kunne derfor ikke overstyres på samme måte. I bygg B, C, og D kunne ethvert trykkavlastningsspjeld åpnes gjennom et sentralt branntablå. Driftspersonellet i de aktuelle byggene ga opplæring i hvordan tablået anvendes. Med tilgang til FDV-database, hvor adresser til de aktuelle komponentene var tilgjengelig, var det mulig å åpne spesifikke spjeld i valgte etasjer. De to typene tablåer anvendt under testing av bygg B, C, og D kan sees i Vedlegg RR. I Bygg A kunne trykkavlastningen åpnes manuelt med bryter på stedet i samtlige etasjer med unntak av kjeller. Driftspersonellet kunne ikke gi tilfredsstillende opplæring på branntablået i dette bygget, hvilket gjorde at trykkavlastning ikke lot seg åpne i kjelleretasjene.

3.4.2 Utførelse av feltundersøkelser

Hensikten med felttestene var å avdekke hvordan de trykksatte trapperommene fungerte, dette under scenarier beskrevet i tidligere forskning og eksisterende standarder/normer. For å forsikre kvalitet på resultatene ble en fastsatt testprosedyre etablert. Prosedyren ble etablert i en sjekklister som var tilpasset trappene som ble testet. Sjekklisten skulle sørge for at rutine ble fulgt og at gjøremål utført, mal av sjekklister for trapp A1 ligger i Vedlegg A. Testprosedyren ble delt inn i seks hoveddeler:

1. Undersøke testmiljøet

a. Systemløsninger

Første steg var å undersøke hvor og hvordan systemet var satt opp. Forutsetninger som ville ha påvirkning på systemet ble notert, for eksempel UPS og automatisk slokkeanlegg. Tavlen til viftesystemet og åpning av trykkavlastningssjeld ble klargjort.

b. Trapperommets dimensjoner

Dørstørrelser og trappens utforming var vurdert som viktige parametere ved dimensjonering av trykksatte trapperom. Disse egenskapene ble målt og notert før testing ble gjennomført.

2. Rigge til trykkmålinger

Som en del av sjekklisten ble det kontrollert at alle trykksensorer var plassert i riktige etasjer. Plasseringen av trykksensorene skulle prioriteres slik at det var plassert en på den høyeste, laveste og den midtre etasjen. Deretter, hvis mulig, ha en avstand mellom hverandre på maksimum tre etasjer.

Armbånds-sur av typen Garmin vivoactive 3 Music smartklokke ble anvendt for å notere tidspunkt på ulike hendelser gjennom testforløpet, den ble kalibrert etter GPS-signal på forhånd. Det ble videre kontrollert at instrumentene hadde tilstrekkelig minne og batteri, instrumentenes klokketid ble stilt inn på samme sekund som armbåndsuret og sensorene nullstilt. Trykkavlastningssjeldet i forhåndsbestemt brannetasje, fortrinnsvis to etasjer over midtre etasje, ble åpnet før videre testforløp påbegynte.

3. Ytre påvirkninger

Været, spesielt utetemperatur og vind, kan ha nevneverdige påvirkninger på testresultatene med vindtrykk og oppdriftskrefter. Dette ble derfor målt på forhånd.

a. Vindhastighet

Det ble målt vindhastighet og retning både på bakkeplan og et høytliggende plan, fortrinnsvis tak/takterrasse. Snitt lufthastighet ble målt med Swema 3000 og SWA 31E probe på «LOGP» modus, dette over en tidsperiode på 60s med tidskonstant på 0,5s. Vindretning og vindkarakteristikken ble også notert.

b. Temperaturer

Temperaturene ble også målt med Swema 3000 og SWA 31E probe på «LOGP» modus over en tidsperiode på 60s med tidskonstant på 0,5s. I tillegg til utendørstemperaturer på bakke- og takplan, ble også innendørs temperatur øverst og nederst i trapperommet målt.

4. Test ved rømmingsscenarioer

Trykkdifferansen over dørene ble testet i ni ulike scenarier, hvorav det i fire av disse scenariene også ble målt lufthastighet over dørene per 3.3.3 parallelt som trykket ble loggført. Rekkefølgen av scenarier var som vist i nummerering nedenfor, hvilket var bestemt av best tidseffektivitet. Scenariene var bestemt med hensyn til tidligere tester gjennomført av Tamura [40, 62, 67-69] og klassene i standard/temaveileder. Testoppsettet vist i egen figur ved Vedlegg D, som illustrerer scenario (.i). Alle andre trykkavlastninger enn brannetasje forble lukket.

a. Før systemet starter

I stabile omgivelser og uten at dører åpnes/lukkes, ble trykkdifferansen logget over en periode på minimum 90 sekunder.

b. Oppstart

Tidspunktet systemet ble startet ble observert på armbånds-sur og notert, slik at oppstartstid kan avleses av loggført trykkmåling.

- c. Stabil drift, dører lukket
Under operativ drift med stabile omgivelser, uten at dører åpnes/lukkes, ble trykkdifferansen logget over en periode på minimum 90 sekunder.
- d. Åpen utgangsdør
Utgangsdøren ble åpnet og holdt åpen i minimum 60 s.
- e. Åpen dør i brannetasje
Ved den forhåndsbestemte brannetasjen med åpen trykkavlastningen ble døren satt i fullstendig åpen stilling og lufthastighet målt.
- f. Åpen dør i brannetasje + etasjen under
Samtidig som døren i brannetasjen var åpen, ble etasjen under åpnet i full åpen stilling. Ny lufthastighetsmåling ble gjort på begge etasjer.
- g. Åpen dør i brannetasje + utgangsdør + etasjen under
Samtidig som de to overnevnte etasjene står i full åpen stilling, ble utgangsdøren åpnet i full åpen stilling. Nye lufthastighetsmålinger gjennomført på brannetasje og etasjen under.
- h. Åpen dør i brannetasje + utgangsdør
Døren under brannetasje ble lukket, og ny lufthastighet målt ved brannetasje.
- i. Åpen dør i brannetasje + utgangsdør + etasjen under + én øvre etasje
Døren under brannetasje ble åpnet på nytt, samt en etasje nær øverste plan. Dørene ble holdt åpne i 90s, lufthastighet måles ikke.

5. Trykkresponstid og lufthastighet ved brannetasjer

For å undersøke hvordan systemet reagerte til åpning og lukking av dører ble trykkresponstiden målt. Metoden brukt for å teste dette, er basert på spesifikasjonene gitt i kpt. 8.5.4 i NS-EN 12101-13:2022. Testen ble gjennomført på øverste, nederste, og midtre etasje, og besto av følgende hendelsesforløp:

- a. Trykkavlastningsspjeld ble åpnet i aktuell etasje
- b. Forsikret stabile omgivelser i minimum 90s
- c. Døren ble åpnet raskt og helst under 2 s. Hvis dørautomatikk var utstyrt, ble dette brukt uten manuell påvirkning.
- d. Døren ble holdt åpen 10 s
- e. Døren ble sluppet og lukket naturlig

For å ha kontroll på hvor lang tid det tok å åpne, holde åpen, og lukke dørene ble en stoppeklokke anvendt. Tidspunktet testen startet ble også avlest på armbåndsur, disse tidene ble deretter notert i sjekklisen. Etter at trykkresponstesten var gjennomført, ble døren holdt i full åpen stilling i minimum 90s samtidig som lufthastighet over døren ble målt.

6. Døråpningskraft med systemet av og på i alle etasjer

Siste ledd i testforløpet var å teste døråpningskraften to ganger i alle etasjer hvor snittverdi ble gjeldende måleverdi. Dette ble gjort både med systemet aktivt og inaktivt. I trapperom hvor dørautomatikk var utstyrt, ble dens funksjon testet to ganger, også med systemet aktivt og inaktivt. Trykkavlastning var lukket ved test av døråpninger, standarden definerer ikke om de skal være åpne eller lukkede ved testing.

Avslutningsvis ble det tatt bilde av instrumentene med deres tidsavvik for å kontrollere at instrumentene fremdeles er stilt inn på samme sekund. Gjennom testforløpet ble det hengt skilting som henviste brukerne til alternative tilkomstveier fra trappen som ble testet. Dette ble etablert i etasjer hvor det var forventet trafikk, og i bygg med varig opphold ble det hengt opp i samtlige etasjer. Dette skulle hindre at resultatene ble påvirket av brukerne som åpnet/lukket dører.

3.4.3 Tilpasninger og forenklinger av testmetode fra NS-EN 12101-13:2022

Som nevnt ovenfor var testmetodikken i dette studie en tilpasset versjon av testprosedyren beskrevet i NS-EN 12101-13:2022 kpt. 8 [6]. For at valgt metodikk beholdes transparent og repeterbar, er endringene fra standardens testmetodikk oppsummert:

- Testing av UPS gitt i standarden 8.2.1 punkt e) ble ikke gjennomført på grunn av manglende elektroteknisk kompetanse
- Det ble gjort kun to målinger av lufttemperatur inne i trapperommet før testen påbegynte, standarden spesifiserer i tre innvendige lufttemperaturmålinger i kpt. 8.2.2 punkt c).
- Heiser er normalt programmert til å forflyttes til en spesifikk etasje ved brannalarm. I kpt. 8.5.1 Figur 16 var det beskrevet at heiskabiner i direkte tilknytning til trapperommet/sluserommet på forhånd settes i denne etasjen spesifisert i brannkonseptet, hvilket i de testede byggene var utgangsplan. Dette var ikke gjennomførbart da heisene var i bruk under testforløpene.
- I standardens kpt. 8.5.1 og 5.8.3 var det ikke spesifisert hvorvidt målinger av trykkdifferanser og døråpningskraft skulle gjøres med trykkavlastningen åpen. Det ble derfor gjennomført med trykkavlastning stengt. Kpt. 5.6.4 beskriver dog at trykkriteriet gjelder i åpen tilstand, det samme gjelder i den foregående standarden NS-EN 12101-6:2005.
- Dynamisk responstest, som beskrevet 8.5.4, ble gjennomført i alle trapperom. Det kunne dog ikke beregnes en responstid i trapperom mfdog
- ed automatiske døråpnere, da en øvre trykkdifferanse med hensyn til døråpningskraft ikke kunne beregnes.
- Røyksetting og manuell overstyring ble ikke testet, slik spesifisert i standardens kpt. 8.5.5
- Kapittel 8.4 Table 2 type a) spesifiserer at lufthastighetsmålinger bør gjennomføres i alle etasjer med unik planløsning eller annen luftvei til trykkavlastningen. Dette ble ikke gjort for å redusere tidsbruket under testforløpet.

3.4.4 Begrensninger og avvik fra testmetode

Feltundersøkelsene ble gjennomført intensivt, tidvis gjennom natten, dette på grunn av tidsbegrenset tilgang til byggene. På grunn omfanget og utmattelse fra manglende søvn og hvile, har det i enkelte tilfeller forårsaket avvik fra forhåndsbestemt metode. Dette delkapitlet gjengir nevneverdige begrensninger i, og avvik fra, metoden i beskrevet i 3.3 og 3.4.

Felttest bygg A

Bygg A skulle etter fremdriftsplan vært ferdig undersøkt medio april, dette samtidig som de øvrige byggene i studie. På grunn av uforutsette forsinkelser hos bygningsforvalteren ble dette utsatt til mai. Felttestene i bygg A ble gjennomført gjennom natten, hvor rigging ble påbegynt etter arbeidstid 02/05/22 for at brukere ikke skulle bli forstyrret av støy og/eller påvirke testresultatene. Når brukere igjen inntok bygget klokken påfølgende morgen 07:00 03/05/22 skulle testforløpet være avsluttet og utstyret fjernet. På grunn av denne tidsbegrensningen oppsto avvik i testmetodikken:

- Lufthastighet ved brannetasjer ble forsøkt gjennomført kun ved fire etasjer.
- Test av dørautomatikk i trapp A1 måtte gjennomføres på kort tid ved slutten av testforløpet, og ble derfor ukomplett.
- På grunn av tidsbegrensninger ble tester av døråpningskrefter gjennomført separat fra resterende feltmålinger.
- Trykklogger ved midtre etasje, et. 7, ble ikke korrekt montert. Det manglet derfor logget trykkdifferanse i denne etasjen under testen.

I tillegg forekom andre begrensninger:

- Trykkavlastningen i kjeller kunne ikke bli åpnet, dette på grunn av manglende opplæring av byggets branntablå. På grunn av dette ble lufthastighet kun målt ved tre etasjer med trykkavlastning åpent.

- Det var ikke mulig å oppnå avstand på tre etasjer mellom trykkloggere, da det kun var fem instrumenter tilgjengelig.

Felttest bygg B

Felttester av bygg B var også planlagt gjennomført og ferdigstilt medio april, men på grunn av forsinkelser hos bygningsforvalter ble testing også her utsatt til mai. Felttestene ble hovedsakelig gjennomført tidlig eller sent på søndager for at nærliggende restauranter og butikker ikke skulle bli unødig forstyrret av støy. Følgende begrensinger påvirket i tillegg testforløp og resultater:

- Første komplette felttest ble gjennomført i sin helhet uten at lukene til trykkavlastningssjaktene hadde åpnet, hvilket ga svært lave måleverdier. Et nytt forsøk måtte gjennomføres ved en senere anledning hvor lukene ble tvungne åpne av manuell overstyring.
- Ved andre test av B1 var det ett av instrumentene som ikke logget, et tredje forsøk ble gjennomført.
- På grunn av tidsbegrensninger ble tester av døråpningskrefter gjennomført separat fra resterende feltmålinger.
- Et. 10 krevde egen sikkerhetsklarering for adgang, denne etasjen ble derfor ikke inkludert under tester av trapp B2 og B3
- Trykkavlastning i et. 6 kunne ikke åpnes, etasjene «brannetasje» og «etasje under brannetasje» ble derfor byttet om.
- Fullskatetest hadde ikke blitt gjennomført ved felttestenes tidspunkt. Resultatet av fullskatetestene gjort i ettertid ble gjennomgått for å forsikre om at forutsetningene for undersøkelsene ikke ble endret i ettertid.

Felttest bygg C

Bygg C var det første bygget som ble testet i studie, utstyr og fastsatt testrutine var på dette tidspunktet ikke godt innøvd, noe som kan ha bidratt i hendelsene nedenfor.

- Under felttestene ble sjekklisten ikke godt nok brukt, dette resulterte i at tidspunkter for noen av scenariene ikke ble notert. Konsekvensen som fulgte, var at deler av resultatet ikke kunne presenteres. Dette gjelder scenariene definert i 0 punkt 4; f), h), og i) ved C1 og g) ved C2.
- Ved test C2 feilet hyllen hvor instrumentet for trykkmåling var plassert, dette på øverste etasje i et. 11. Dette resulterte i at instrumentet ikke målte en lengre periode under testforløpet.
- Under funksjonstest av dørautomatikk i C2 var trykkavlastningsspjeldet holdt åpent ved feiltagelse i et. 6.

Felttest bygg D

- Under testing ble utstedt adgangskort spontant sperret, og testing måtte uventet avsluttes og gjøres på nytt ved annen anledning. Test D1 ble derfor delt i to deler.
- Internt minne på instrumentene ble ikke nullstilt på forhånd av test D2. Under testen ble minnet fullt tidlig i testforløpet og instrumentet opphørte logging. På grunn av dette ble logging av trykkdifferanser gjort i et nytt forsøk, lufthastighetsmålingene for de ulike scenariene ble beholdt fra det første forsøket. I ettertid ble sjekklisten revidert for å inkludere kontroll av minnekapasitet.
- Det var over 3 etasjer avstand mellom hastighetsmålingene på brannetasjer i D1 og D3.

3.5 Databehandling

Etter at testresultatene ble hentet inn ved testing av hvert trapperom, ble det gjennomført en enkel kontroll av testresultatet og nøkkelparameterne. Hensikten med dette var å kontrollere at kvaliteten på målingene var tilfredsstillende. Hvis det ble funnet større avvik, ble det vurdert å gjøre testene på nytt. I flere tilfeller ble det funnet sporadiske avvik på 0,5s – 1,5s mellom instrumentene sammenlignet med toppunkter i grafene. Det ble antatt at dette var et resultat av den manuelle konfigureringen av instrumentene før testtiden, og ble korrigert etter det største toppunktet i grafen.

En egen regneark-mal ble produsert for å analysere resultatene i detalj. Dette regnearket produserte grafiske fremstillinger av resultatene i de 10 trapperommene likt, dette til hensikt muliggjøre enklere sammenligning. I tillegg ble det vurdert som fordelaktig at ett regneark ble gjennomgående kvalitetsikret, fremfor å produsere 10 separate regneark per trapperom. Utformingen av grafene ble inspirert av studier hvor tilsvarende feltundersøkelser hadde blitt gjennomført, dette spesielt fra G.T Tamura [40, 62, 67-69]. Følgende funn ble grafisk fremstilt eller beregnet:

- **Trykkmålinger**

- Oppnådd trykk i alle scenarier (gitt i 0 punkt. 4) unntatt oppstart per etasje, hvor trykkverdiene ble kalkulert med snitt over 60s
- Dynamisk responstid, hvor trykkmålinger per etasje ble visualisert over 30 sekunder. Grafen begynner 5 sekunder før åpning av dør, og 25 s deretter. Følgende beregninger ble også gjennomført mht. dynamisk responstid:
 - Reaksjonstiden bestemt av tidsdifferansen mellom to punkter, hvor første er tidspunktet hvor døråpningskraften beregnet etter Formel 2 overgår maksimum (100 N etter HO-3 og NS-EN 12101-serien), og det andre tidspunktet er tiden hvor gjennomsnittstrykket går under denne grensen igjen. NS-EN 12101-serien har lagt føringer på at dette ikke skal overgå 5 sekunder
 - Endringen i trykkdifferanse før og etter åpning av dør. I regnearket blir gjennomsnittstrykket for alle etasjer kalkulert over 30 sekunders periode 5 sekunder før åpningen av døren, og en tilsvarende snittverdi 5 sekunder etter døren ble lukket. Differansen mellom disse trykkverdiene blir presentert i prosent differanse, hvor NS-EN 12101-13:2022 beskriver at dette skal overgå 5 %.

Ettersom dører med dørautomatikk ikke har en teoretisk øvre grense på trykket over dørene, ble ikke reaksjonstiden beregnet i trapperom hvor dette var utstyrt.

- Trykkvariasjoner i testscenarier, med en 60s logg av alle trykkmålinger, påbegynt 5 sekunder etter testens start. Følgende scenarier ble plottet:
 - Før systemet starter, dørene lukket
 - Oppstart
 - Stabil drift, systemet aktivt og dørene lukket
 - Åpen utgangsdør
 - Åpen dør i brannetasje
 - Åpen dør i brannetasje + etasjen under
 - Åpen dør i brannetasje + utgangsdør + etasjen under
 - Åpen dør i brannetasje + utgangsdør
 - Åpen dør i brannetasje + utgangsdør + etasjen under + én øvre etasje
- **Lufthastighet** per etasje ble plottet kun i de etasjer hvor trykkavlastningsspjeld var åpent. Dette ble sammenlignet med aktuelle normer. Et snitt av alle lufthastigheter for gjeldene etasje ble benyttet.
- **Døråpningskraften** per etasje, med aktiv og inaktiv trykksetting. Dette gjaldt kun i trapperom hvor manuelle dørpumper var benyttet, trapper med dørautomatikk ble fremstilt i tabellform. Hensikten med grafen var å kunne avdekke variasjoner som oppsto vertikalt i trappeløpet. Maksimal trykkdifferanse for å tilfredsstillende TEK17 og HO-3/NS-EN 12101-serien (67 N og 100 N respektivt) ble også beregnet og visualisert med formelverket beskrevet i 2.4.2.

4 Resultater og diskusjon

I dette kapitlet ble resultatet av studie gjennomgått og diskutert parallelt. Først ble forskrift og prosjekteringsgrunnlag oppsummert og diskutert, før funnene fra befaringer og felttester ble presentert. Deretter avsluttet med en oppsummering og sammenligning av funnene.

4.1 Diskusjon om forskrifter og støttelitteratur

Byggteknisk forskrift har lenge hatt pre-aksepterte ytelser som åpner opp for at enkelte rømningstrapper skal trykksettes, men noe som ikke alltid har fremstått like klart er trykksettingssystemets funksjon og ytelse. I veiledningen til TEK17 har det vært henvist til to relativt ulike prosjekteringsgrunnlag; en anvisning som beskrev trykksatte trapperom på snaut to sider [7], og en standard på 124 sider [6]. Anvisningen og standarden fremkom likevel som likeverdig støttelitteratur for prosjektering av trykksettingssystemer, som vist i 2.2.1.

Ved bruk av overnevnte anvisning, Byggforsk 520.380 [7], spesifiseres det at man også må bruke «Temaveiledning HO-3/2000». Temaveiledningen ble publisert av Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) i 2000 [8]. Formålet var å gi grunnlag for prosjektering og utførelse av røykventilasjonsanleggene beskrevet i teknisk forskrift. Denne temaveiledningen var gyldig før 2010 til DiBK erstattet den med NS-EN 12101-serien.

DiBK publiserte på sin nettside [8], hvor temaveiledningen også kunne lastes ned, at den var erstattet av NS-EN 12101-serien, skjermbilde i Vedlegg G. På denne nettsiden ble det skrevet at temaveiledningen ikke lengre var á jour med dagens byggeregler. Det var uklart nøyaktig når DiBK først annonserte dette og hvilke byggeregler de ikke var á jour med, men datostempling viste at nettsiden sist ble endret i 2013 da TEK10 var gyldig. I VTEK10 var det samtidig henvist til temaveiledningen [27]. DiBK ble kontakten for å stadfeste når temaveiledningen faktisk ble erstattet, i svaret deres ble ikke dette oppklart, men de kunne utdype at henvisninger til temaveiledningen i sin helhet ble fjernet ved ikrafttredelse av TEK17. Korrespondanse i Vedlegg F.

Det kan virke noe motstridene at DiBK hadde publisert at temaveiledningen ikke var á jour med dagens byggeregler, samtidig som den ble referert til i VTEK10. Men med ikrafttredelsen av TEK17 hadde DiBK i større grad entydig erstattet temaveiledningen med NS-EN 12101-serien, og som DiBK skrev på deres nettside, må nye publikasjoner brukes fremfor utdaterte temaveiledninger [8]. Temaveiledningen kan anvendes, men dette vil kun være aktuelt for temaer som ikke var dekket av nyere publikasjoner.

Standarden NS-EN 12101-6:2005, som var aktuell frem til den ble erstattet 01/05/2022, har vært et diskutert tema både i Norge og utlandet hvor den var kritisert for å være vanskelig å tolke og oppfylle [23]. For eksempel vil et minimumstrykk på 50 Pa og maks på 60 Pa være vanskelig å opprettholde med oppdriftskrefter ved lave utetemperaturer. Det har også vært tvil om kravet på 10 Pa trykkdifferanse ved dører åpne utgjør noen hensiktsmessig funksjon, dette da det samtidig var lufthastighetskrav [70]. Lufthastighetskravet, som et målbar parameter av røykfortregningsevne, var i denne standarden krav på 0,75 m/s. Denne minstehastigheten var likt som i temaveiledningen, og tilsvarende anvisningens anbefalte 0,7 m/s.

NS-EN 12101-13:2022 erstattet nylig overnevnte standard. Sammenlignet med standarden den erstattet, var det forenklet og fjernet noen krav, samtidig som omfanget av dokumentasjon og testrutiner var blitt større. Redusert minimumstrykk ga bedre forutsetninger for å hindre utilsiktet døråpningskraft fra vær og vind. I tillegg ble kravet om 10 Pa trykkdifferanse med dører åpne fjernet, ettersom dette normalt var dimensjonerende i den forrige standarden, kan dette også gi kostnadsreduksjoner.

Tolkningsvanskene i den foregående standarden har også blitt forbedret med enklere språk og tydeligere krav. Kravet til lufthastighet har blitt noe skjerpet til 1 m/s og minstetrykket redusert til 30 Pa. Dette endrede fokuset, fra trykk til lufthastighet kan gi mer nøktern dimensjon på trykksettingsviftene og tilhørende komponenter. Standarden har i tillegg nye veiledninger, maler, og beregningseksempler som kan gi bedre forutsetninger for prosjekterende part. Det økte omfanget av de årlige rutinetestene vil være kostnadsdrivende, men samtidig bidra til å sikre at systemet fungerer tilfredsstillende gjennom hele dets levetid

Systemløsningene i standardene og anvisningen/temaveiledningen nokså ulike, for eksempel krever standardene luftinjeksjonspunkt hver tredje etasje, mens man med anvisningen i praksis kan montere viften i fasaden eller på taket uten nøysomme vurderinger. Standardene var også langt mer utdypende og omfattende, men fremsto likevel som likeverdig med anvisningen i veiledningen til TEK17. Dette åpner opp for å velge enklest fremgangsmåte uten særlig konsekvens for oppfyllelse av preaksepterte ytelser, selv om det kan ha praktiske implikasjoner på påliteligheten og robustheten i systemet som skal sikre trygg rømning ved brann.

Konsekvensen vil sannsynligvis være at byggeprosjekter anvender den enkleste systemløsningen forskriften henviser til. Bygninger over åtte etasjer bygd i Norge etter TEK10/TEK17 har blitt funnet å være prosjektert etter anvisningen med temaveiledningen som grunnlag, selv om temaveiledningen tilsynelatende ikke har vært ansett som gyldig av myndighetene i denne perioden.

Minstekravene for dimensjonerende egenskaper hadde i støttelitteraturen både fellestrekk og forskjeller. Røykfortregning var en funksjon samtlige beskrev, og var definert med en lufthastighetsgrense på størrelsesorden 0,7 - 2 m/s. Trykkdifferanse-kravet varierte i større grad, den nå erstattede NS-EN 12101-6:2005 skilte seg ut med trykkdifferansekrav med dører lukket og dører åpne, på hhv. 50 og 10 Pa. Anvisningen, temaveiledningen, og den nye standarden satt minimumstrykk på 30 Pa, dette kun med dørene lukket. Et overblikk av sentrale parametere i de ulike dokumentene er oppsummert i Tabell 1.

En betydelig forskjell mellom anvisningen/temaveiledningen og standardene har vært krav om dokumentasjon og rutiner for vedlikehold og testing. Anvisningen henviser til temaveiledningen for dette, hvor det var lite som beskrev hvordan systemet skulle dokumenteres. Det var heller ikke nevnt hvorvidt nøkkelparametere som trykk, lufthastighet, og døråpningskraft skulle måles ved ferdigstilling eller kontroll. Det var skrevet at det skal gjøres funksjonstester årlig «iht. det som er spesifisert» uten videre presisering, noe som legger omfanget opp til tolkning. Standardene på sin side går langt i å beskrive hvordan systemene skal dokumenteres, hvordan dokumentasjonen skal legges frem, og hvem som skal motta det. Funksjonstester, eller «aksepttest» som det kalles, er beskrevet nøye. Hvilke parametere som skal testes, hvilke etasjer hvor det skal måles, egenskapene til måleinstrumentene, samt testmetodikken er spesifisert.

Likt i både temaveiledningen og standardene har vært døråpningskraft på maks 100 N. Det har ikke vært i harmoni med preaksepterte ytelser gitt i TEK17, hvor rømningsveier må overholde døråpningskraft på minimum 67 eller 30 Newton avhengig av bruksformål. Ytelsene gitt i teknisk forskrift har autoritet, og må derfor tilfredsstilles når trykksettingssystem er aktivt i et rømningsscenario. I Norge har preakseptert ytelse med maks 30 N åpningskraft i rømningsveier vært gjeldende for fleste rømningstrapper i høyhus, hvilket betyr at det som regel må installeres døråpningsautomatikk med UPS i dørene til trykksatte trapperom. I disse tilfellene blir dørautomatikkens evne til å motstå trykkdifferansen avgjørende for å tilfredsstille ytelsen.

I motsetning til temaveiledningen og standardene, definerer anvisningen et maksstrykk istedenfor døråpningskraft. Det blir definert et maksimumstrykk på 90 Pa for at døråpningskraften ikke skal bli for stor. Men med ulik dørgeometri, vil denne maksimumsverdien ha ulikt utfall på døråpningskraften. Et regneeksempel i Formel 10 demonstrerer dette trykkets innvirkning på to ulike dører, hvor dører på 70x200 cm og 120x210 cm ga 123 N og 173 N beregnet døråpningskraft respektivt. Et overtrykk på 90 Pa vil sannsynligvis overskride maks døråpningskraft under alle praktiske forhold hvor dørautomatikk ikke anvendes.

Formel 10: Beregning av manuell døråpningskraft ved bruk av øvre grense i anvisningen, gjennomsnitt døråpningskraft fra alle målte manuelle dører anvendt (53 N), benyttet Formel 10.

$$F = F_r + \frac{B_{dør} \cdot A_{dør} \cdot \Delta p}{2 \cdot (B_{dør} - d)} [N]$$

$$F = 53 + \frac{0,7 \cdot 0,14 \cdot 90}{2 \cdot (0,7 - 0,07)} [N]$$

$$F = 123 [N]$$

$$F = F_r + \frac{B_{dør} \cdot A_{dør} \cdot \Delta p}{2 \cdot (B_{dør} - d)} [N]$$

$$F = 53 + \frac{1,2 \cdot 2,52 \cdot 90}{2 \cdot (1,2 - 0,07)} [N]$$

$$F = 173 [N]$$

4.2 Befaring av bygg

4.2.1 Bygg X1

X1 var originalt bygget på 70-tallet, men ble totalrenovert og deretter tatt i bruk igjen i 2013. Bygget hadde to trykksatte hovedrømningsstrapper som gikk over 12 etasjer, fra et. U2 (-1) til et. 10. De to trappene befant seg på hver sin side av høyblokken mot fasade som vist i Figur 33. Trykksettingen var løst likt i de to trappene, hvor viften var plassert på toppen med trykkdifferansegiver under viftehuset, som vist i Figur 31. Referansepunktet til trykkdifferansegiveren var tilsynelatende på fasaden. Toppmatede trykksatte trapperom i denne størrelsesordenen er i tidligere forskning funnet lite gunstige [46, 71].

I bunnen av trapperommet var det installert et spjeld, avbildet i Figur 32. Dette spjeldet åpnet når trykksettingen ble aktivert og sørget for kontinuerlig gjennomlufting. Med trykkdifferansegiver øverst og utløp nederst vil trykket kanskje bli ugunstig lavt i nedre etasjer. Det fantes ingen form for trykkavlastning i de mellomliggende rommene, det var tilsynelatende heller ikke lagt til rette for andre røykfortrengningsmetoder.

Med manglende trykkavlastning kan sannsynligheten for at røyk tilløper trappen øke, denne røyken vil med systemløsningen i X1 føres i rømningsretning, nedover. Dette kan bety at flere rømmende personer blir utsatt for røyken. Brannrøyken vil også normalt ha høyere temperatur enn omgivelsene, som vil gi naturlig oppdrift. Systemløsningen må da ha en lufthastighet gjennom trapperommet som motvirker denne oppdriften, om denne lufthastigheten var tilstrekkelig var ikke mulig å vurdere uten målinger.

Det var et sterkt ønske hos forfatteren å undersøke systemløsningen med tester, hvilket det ikke ble gitt tillatelse til. Heller ingen dokumentasjon eller øvrig informasjon om systemet kunne fremskaffes. I stedet bisatt forfatteren en årlig kontroll av servicepersoner. Disse servicepersonene hadde angivelig lang erfaring med testing av trykksatte trapperom, og ansvar for årlig testing i et kjent antall bygninger. Metoden de benyttet i dette bygget tilsvarte deres rutine for testing av andre bygg.

Rutinen ble utført av to personer, og besto av en digital sjekkliste. Trykksettingen ble først aktivert tilsvarende metoden gitt i 3.4.1, en visuell inspeksjon ble deretter gjennomført for å kontrollere at komponenter var aktivert og i riktig posisjon. Servicepersonene åpnet deretter dører for å sjekke om døråpningskraften, dette uten instrument eller vurdering mot maksimumsverdier. Når dørene ble åpnet, ble det også sjekket at viften regulerte, dette ved å lytte til viftens turtall. Til slutt ble systemet avskrudd og manuell overstyring av trykksettingen testet fra brannmannskapets betjeningspanel. Ingen målinger ble foretatt.



Figur 31: Trykksettingsvifte i toppen av trapperommene, trykkdifferansegiver markert rødt. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 29/11/21



Figur 32: Spjeld i bunnen av trapperommet. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 26/01/22



Figur 33: Plantegning et. 10

4.2.2 Bygg X2

X2 var et bygg på 10 etasjer ferdigstilt først i 1958, det ble senere totalrehabilitert og innviet som eldreheim i 2002. Bygget hadde totalt fire trykksatte trapperom på hver sin side av bygget, viften var i alle trapperommene plassert i bunnen i eget rom. Risten inn til viften fungerte også som dør, hvor en forholdsvis enkelt kunne inspisere viften nærmere. Alle fire viftene var lik i størrelse, og mindre i størrelse sammenlignet med andre befarte bygg. Viftene regulerte mot en trykkdifferansegiver plassert foran risten med referansepunkt utendørs på bakkeplan. Bilder av trappen og viften gitt i Figur 34.

Utenom viften og trykkdifferansegiver var det ingen andre komponenter i systemet. Trapperommene førte rett ut i korridor uten noen form for trykkavlastning, det var heller ingen røykluke øverst i trapperommet. Det forelå ingen dokumentasjon på systemet og hvordan det fungerte. En av servicepersonene nevnt i 4.2.1 hadde nylig utført årlig kontroll på bygget, og fortalte at de trykksatte trapperommene i dette bygget ikke fungerte på en tilfredsstillende måte.

På grunn av byggets alder, systemets tilstand, og risiko for koronasmitte til byggets brukere, ble videre testing av dette bygget ikke vurdert videre.



Figur 34: Hovedtrappen i X2. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 11/02/22

4.2.3 Bygg X3

Bygg X3 var et kontorbygg på 10 etasjer med to trykksatte trapperom, én som hovedtrapperom, og én som bitrapp. Begge trapperommene hadde viftene på taket, hovedtrapperommet hadde en sjakt i dens kjerne som skulle sørge for jevn luftdistribusjon langs hele trapperommets høyde fra viften på taket, vist i Figur 35. Bitrappen hadde ikke jevn luftdistribusjon, kun ett punkt for tilluft i toppen av trappesjakten.

Alle etasjer til begge trapperom var tilknyttet eget sluserom med trykkavlastning. Trykkavlastningen besto av brannspjeld vist i Figur 36 med overflate over 0,5 m², og var tilknyttet et eget kanalnett. Dette kanalnettet vist i Figur 37 ble ført nedover mot kjeller til egen røykvifte, for så å bli ventilert ut ved bakkeplan.

På grunn av byggets tilstand ift. ferdigstillelse ble det ikke testet, dette da ferdigstillelse og fullskalatest på tidspunktet av befaringen ikke var gjennomført eller planlagt gjennomført. Dette gjorde også befaringen kort og begrenset da deler av området fremdeles var byggeplass, hvilket gjorde at tilgang ikke var mulig. Dokumentasjon som kunne gi mer informasjon om oppbygning og funksjonen til trykksettingen lot seg ikke oppdrive.



Figur 35: Hovedtrappen i X3 var tilrettelagt med jevn distribusjon av luft. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 28/02/22



Figur 36: Trykkavlastning, hovedtrapperom i X3. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 28/02/22



Figur 37: Kanaler for trykkavlastning. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 28/02/22

4.2.4 Bygg X4

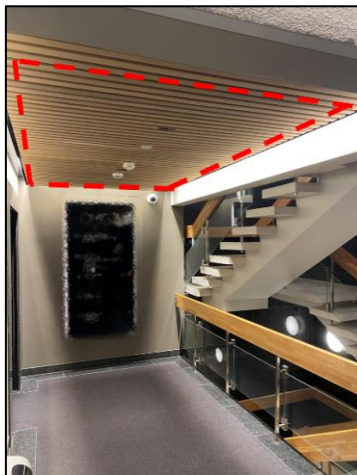
Bygningen som originalt var reist i 1971 ble i 2022 ferdigstilt i forbindelse med totalrehabilitering og hadde to trykksatte trapperom, befaringen ble gjort under fullskalatest av et av de to systemene. Trappen, som gikk fra kjelleretasjen -1 til øverste plan ved et. 11, hadde en vifte plassert ved inngangspartiet skjult under himlingen i Figur 38. Alle etasjer, med unntak av bakkeplan, var trykkavlastet i mellomliggende rom. Dette ble i de fleste etasjene gjort med trykkavlastningssjakt som vist i Figur 39, men også gjennom vindu i fasaden som vist i Figur 40. Trykkavlastningen i fasaden ble subjektivt vurdert til å kunne være spesielt vindutsatt, ettersom det var høytliggende med uavbrutt utsikt som også sett i Figur 40.

Trapperommet hadde ingen røykluke eller noen annen form for gjennomlufting, men dokumentasjon viste at trykksettingsviften kunne reverseres ved manuell aktivering av slokkemannskap, dette skulle erstatte funksjonen til røykluke ved å trekke ut røyk. Men det er usikkert om dette vil gi tilsvarende ytelse til en røykluke, spesielt ettersom viften var plassert ved bakkeplan. TEK17 forteller at «røykluke i trapperom er et tiltak som først og fremst er av hensyn til brannvesenets innsats» [5], brannvesenets innsats i tilknytning til røykventilering er bruk av overtrykksventilering/gjennomspyling med mobile vifter plasser på bakkeplan [26], en vifte som trekker ut luft på bakkeplan vil i praksis kunne kortslutte denne gjennomspylingen.

Brann- og redningsetaten ved Oslo kommune ble i ettertid presentert denne løsningen for å gi innspill på hvordan dette de mente dette ville fungere under deres innsats, hvilket de responderte at det ville det vært til ulempe å trekke denne røyken mot slokkeinnsatsen (Vedlegg SS).

Fullskalatesten ble gjennomført ved bruk av røyksetting, både i sluserommene og inne i trapperommet. Under testen ble det blant annet erfart at trykksetting aktiverte ved røykdeteksjon inne i trapperommet, dette ble funnet akseptabelt av testpersoner på stedet. Merk at det ikke var noen form for utlufting av trapperommet, hvilket betyr at en røykutvikling med opphav inne i trapperommet og inngangspartiet ikke vil bli luftet ut, men kan bli spredt videre ved hjelp av trykksettingsviften. Temaveilederen HO-3/2000 og anvisning 520.380 gir ingen informasjon hvorvidt trykksetting skal aktiveres ved røykdeteksjon i trappen eller ikke. NS-EN 12101-13:2022 (kpt 5.1) spesifiserer derimot at røykdeteksjon i trykksatt område, før annet sted i bygget, ikke skal aktivere trykksetting.

Under fullskalatesten ble ingen målinger gjort av utførende part, hverken trykkforhold, lufthastighet, eller døråpningskrefter ble undersøkt. En av personene som deltok i fullskalatesten hadde angivelig gjennomført «over 10» fullskalatester av trykksatte trapperom, og informerte om at dette heller ikke hadde vært en del av prosedyren tidligere. I brannkonseptet var det beskrevet at trykksetting bør dimensjoneres og utformes iht. NS-EN 12101-serien og anvisning 520.380. Det var ingen tegn til at prinsippene i NS-EN 12101-standardene for trykksetting hadde blitt anvendt, som for eksempel tilluftspunkter ved hver tredje etasje.



Figur 38: Plassering av trykksettingsviften markert rødt, ved hovedinngang. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 10/03/22



Figur 39: Trykkavlastning med sjeld til trykkavlastningssjakt. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 10/03/22



Figur 40: Trykkavlastning i fasade. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 10/03/22

4.2.5 Bygg X5

Bygget som i 2019 ble ferdigstilt for undervisningsformål har to trykksatte trapperom fra kjelleretasje (U1) til et. 11. Begge trykksettingsviftene hadde ut ifra FDV kapasitet på 25.000 m³/h ved 50 Pa overtrykk og var plassert ved trappens utgangsdør. Viftenes trykkdifferansegivere var noen meter foran viften, tilsynelatende med utvendig referansepunkt ved samme plan. I toppen av trapperommene var det luke på 1 m x 1 m, som ut ifra tilgjengeliggjort dokumentasjon, åpnet ved aktivering av trykksetting.

Det var også beskrevet i brannkonseptet at «I tillegg skal samtlige sluser foran trapperommene være trykkavlastet». Men det ble ikke funnet noen form for trykkavlastningsluker eller -vinduer i noen av byggets sluserom under befaringen. Videre i brannkonseptet var det beskrevet at trykkavlastningen skulle etableres i:

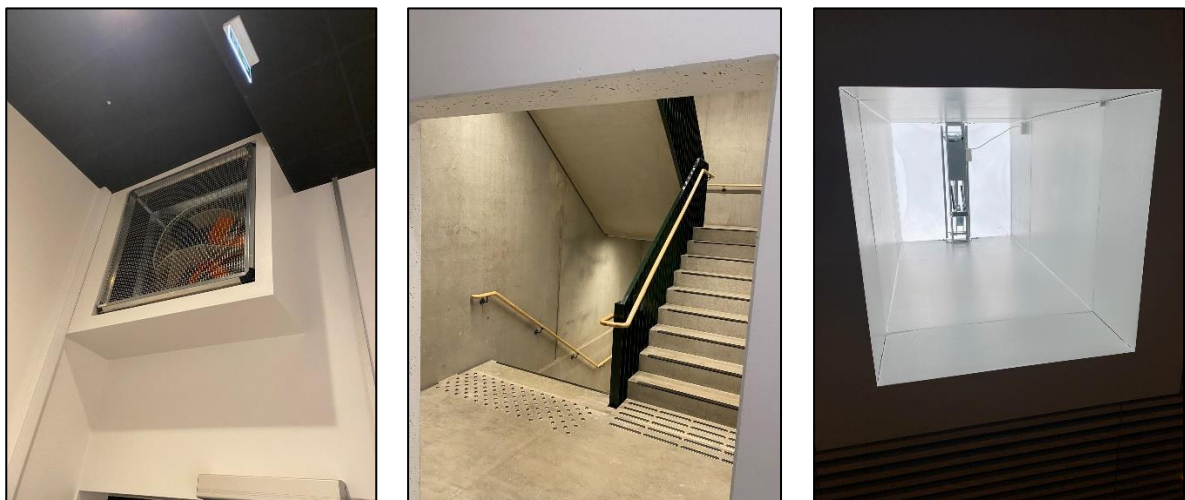
- Kjelleretasjen via «gjennomventileringsluke»
- Et. 1-6 gjennom røykluker via røykventilert glassgård
- Et. 7-10 via 0,5 m² luke/vindu til det fri.

Dette til tross, var det ingen tegn til trykkavlastning inne i sluserommene, selv om dette også er beskrevet i VTEK17 som nevnt i 2.2.1. Trykkavlastningen var i et. 1-6 røykventilert glassgård *utenfor* sluserommene og ved et. 7-10 felles trykkavlastning på 0,5 m² i fasaden *utenfor* sluserommet. Sluserommene var også tilknyttet flere andre rom enn hvor trykkavlastningen var lokalisert. Trykkavlastningen lokalisert på fasaden gikk ut i lukket bakgård, og ble subjektivt vurdert som lite vindutsatt.

Trykkavlastningen i de øverste etasjene var i tillegg ikke direkte i nærhet av sluserommene. Det ble funnet på plantegningene at trykkavlastningen hadde 18 m avstand via korteste horisontale strømningsvei fra nærmeste sluserom, og 43 m fra sluserommet lengst unna.

Mellom sluserommet lengst unna og trykkavlastningen ble det også observert i plantegningen at dører delvis eller fullstendig blokkerte strømningsveien i flere plan. Dokumentasjon viste at det skulle etableres overstrømningsventiler i vegg som åpner synkront med trykkavlastningsluken/-vinduet. Plantegninger av X5 er gitt i Vedlegg QQ.

I FDV-databasen var det mulig å oppdrive informasjon og dokumentasjon hvor trykkavlastningen i de øvrige etasjene var nevnt eller beskrevet, men i kjelleren var ikke trykkavlastning nevnt eller plassert på tegning. Dette ga indikasjon på at trykkavlastning kanskje ikke var installert som beskrevet i brannkonseptet, men det ble ikke gjort ny befaring som kunne bekrefte dette. Dokumentasjonen fra fullskalatest var også tilgjengeliggjort, hvor røykdetektoren inne i trapperommet hadde blitt røyksatt på samme måte som ved fullskalatest i 4.2.4. Også her hadde trykksettingen blitt aktivert ved røykdeteksjon i trapperom. Brannkonseptet beskriver også at trykksetting aktiveres på deteksjon i trapperom og/eller sluserom.



Figur 41: Bilder av en av de to trappene, ved første etasje ble viften og trapperommet avbildet og luken i øverste etasje. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 10/05/22

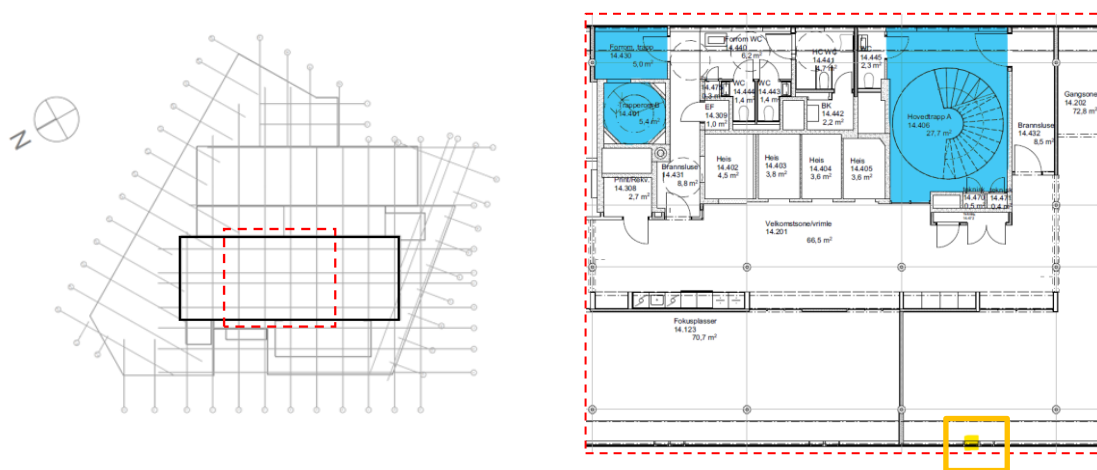
4.3 Felttest av bygg A

4.3.1 Systemløsninger

Generelt om bygget og trappene

Bygg A ble originalt bygget på 1960-tallet, men totalrehabilitert og ferdigstilt på ny i 2021. I forbindelse med rehabiliteringen ble trykksetting etablert i to trappesjakter. Disse trappene fungerte som rømningstrapper i de øvrige 17-etasjene og tre kjelleretasjer. Plantegninger av trapperommene kan sees i Figur 42 og Vedlegg H.

- Trapp A1 i Figur 43 var hovedtrappen på 20 etasjer hvorav tre kjelleretasjer. Trappehuset besto av en spiraltrapp uten lysåpning, hvor hver etasje hadde to separate dører tilknyttet toalett og korridor/sluserom.
- Trapp A2 i Figur 44 var birømningstrapp på 18 etasjer, hvorav to kjelleretasjer og én toppetasje uten inngang fra oppholdsrom. Etasje 1-3 hadde kun dør ut til det fri.



Figur 42: Venstre viser orienteringsfigur av bygget, høyre side viser utsnitt av plantegning på et. 14. Trykksatte områder er markert i blått, og trykkavlastningen er markert gult. Hentet fra FDV og modifisert.

Røykluker

Begge trappene var utstyrt med luker i toppen, hvor A1 hadde luker ut til tak og A2 hadde et vindu ut mot sørøstlig fasade. Basert på uttalelser fra bygningsforvalteren åpnes disse ikke automatisk ved aktivering av trykksetting, men er utstyrt for å ventilere ut røyk som eventuelt tilløper trapperommet ved manuell overstyring av brannmannskap. Det ble funnet at luken i trapp A2 var defekt som resultat av brudd i åpningsmekanismen.

Vifter

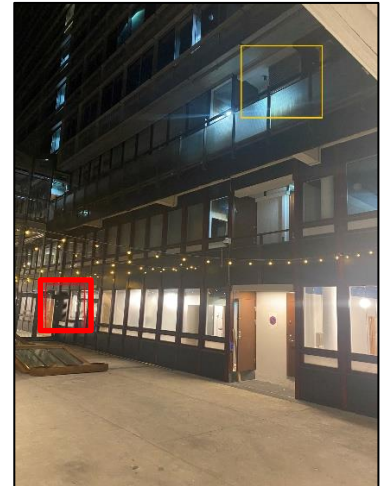
Luftinntakene til trykksettingsviftene er avbildet i Figur 45, viftene har en kapasitet på 35.000 og 30.000 m³/h for A1 og A2 respektivt ved 50 Pa overtrykk. Begge viftene hadde et trykksettpunkt på 40 Pa, hvor A1 regulerte mot trykkdifferansegiver i et. 12, og A2 i et. 10. Referansepunktet til trykkdifferansegiverne var tilsynelatende ved fasaden på de aktuelle etasjene. Flere bilder av systemets komponenter kan sees i Vedlegg K.



Figur 43: Trapp A1 ved bakkeplan
Bildet tatt av Jonathan Lundblad
30/04/22



Figur 44: Trapp A2 i øvrige etasjer
Bildet tatt av Jonathan Lundblad
02/05/22



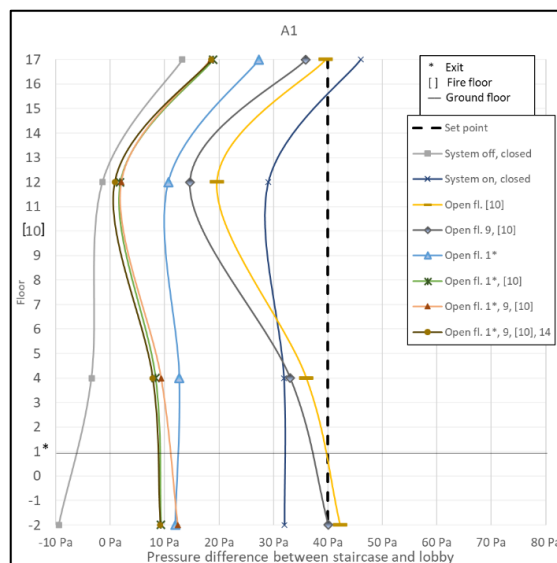
Figur 45: Inntak på fasaden inn til trapp A1 i rødt og A2 i gult. Bildet tatt av Jonathan Lundblad
03/05/22

4.3.2 Trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom

I trapperom A1 ble overtrykket funnet å være over 30 Pa med dørene lukket, som tilfredsstiller minstekravene i både temaveiledningen og den nye standarden. Kurven for dette scenarioet i Figur 46 viser høyest trykk foran viften og ved øverste etasje, med lavest trykk nærmere midten i en gjenkjennelig «C»-form [35]. Dette samstemmer med at røykluken i toppen er lukket, og noe oppdriftskraft på grunn av lav utvendig temperatur (4,7°C).

Viften blir vurdert til å ha god kapasitet, da den også opprettholder gjennomsnittstrykk over 30 Pa både ved brannetasjen og etasjen under er åpen. I resterende rømningsscenarier er gjennomsnittstrykket rundt 10 Pa, alle scenariene er innenfor toleransen fra NS-EN 12101-6:2005 på ± 10 % for trykk-kriteriet med dørene åpne. Resultatene er oppsummert i Figur 46 og i sin helhet i Vedlegg L.

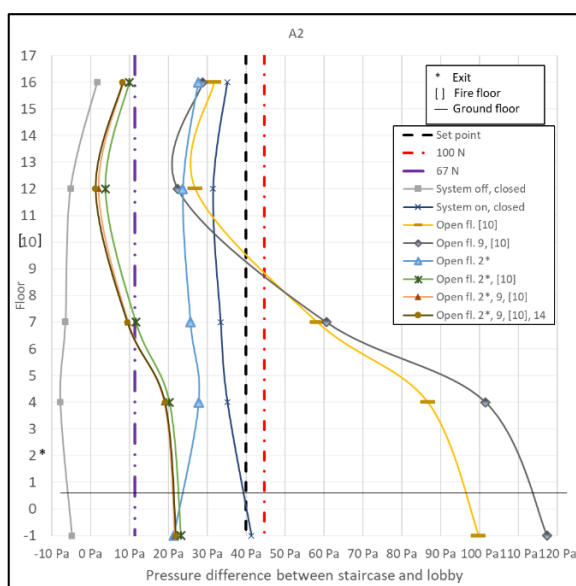
Reaksjonstiden ble ikke beregnet etter en øvre grense på døråpningskraft, men med hensyn til trykksettpunktet regulerte trykket tilbake innen 2 sekunder, hvilket tilsier at systemet ble tilpasset nye driftforutsetninger raskt. Vedlegg M viser reaksjonskurvene og loggført trykk i de ulike scenarioene.



Figur 46: Trykkdifferanser i A1

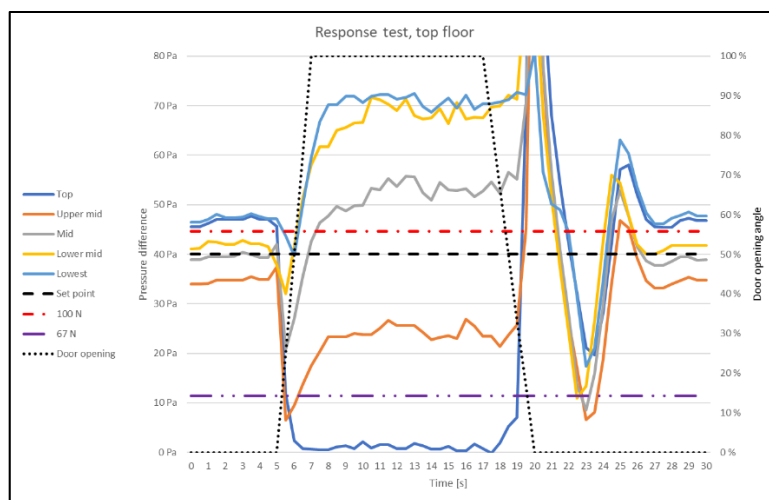
I trapp A2 ble det også funnet snitt trykkdifferanse var over 30 Pa med dører lukket. Vertikale trykkvariasjoner hadde tilsvarende mønster som i trapp A1 som sett i Figur 47, men med mindre innvirkning av oppdriftskrefter sannsynligvis på grunn av litt høyere utetemperatur (ca. 11°C).

Når brannetasjen ble åpnet oppsto det derimot langt større trykkvariasjon med trykkdifferanse tidvis over 120 Pa lavest i trappen, som tilsvarer en teoretisk døråpningskraft på 175 N. Den valgte brannetasjen var tilfeldigvis etasjen hvor trykkdifferansegiver var lokalisert. Det er mulig at settpunktverdi aldri ble nådd ved brannetasjen da døren var åpen, slik at viften gikk på maksimum kapasitet. Trappen var langt smalere enn A1 som vist i Figur 44, dette kan ha forårsaket betydelig trykkfall vertikalt som bidro til de store vertikale forskjellene. Jevn vertikal luftdistribusjon med flere tilluftspunkter, slik det er krevd i NS-EN 12101-serien, kunne ha forebygget dette utfallet. I de øvrige scenariene ble trykkdifferansen opprettholdt, også her med gjennomsnittlig trykk over 10 Pa med dørene åpne. Dette demonstrerte at viften hadde god kapasitet og ikke ble fullstendig punktert når utgangsdøren var åpen én etasje under viften.



Figur 47: Trykkdifferanser i A2

Reaksjonstestene viste at systemet i bitrappen regulerte svært raskt til nye endringer, hvor trykket falt under 100N-grensen innen 2,5 s. Men når døren i en brannetasje var åpen, selv seks etasjer vertikalt fra trykkdifferansegiveren, oppsto betydelige trykkdifferanser i de andre etasjene. I Figur 48 ble det vist at etasjer mellom -1 til 7 sannsynligvis hadde trykkdifferanser som ga betydelig døråpningskraft. Flere grafiske fremstillinger av testresultatet kan sees i Vedlegg O.



Figur 48: Reaksjonstest topp, et. 16.

4.3.3 Røykfortregning ved brannetasje

Trapperommene benyttet seg av felles trykkavlastning i samtlige etasjer, men løsningen for trykkavlastning varierte i de ulike etasjene:

- Et. 4 tom. Et. 17: Trykkavlastning i fasade
- Et. 1 tom. Et. 3: Trykkavlastning gjennom røykluker i atrium.
- Et. -2 tom. Et. 0: Trykkavlastning gjennom sjeld til sjakt

Trykkavlastningen i fasaden ble subjektivt vurdert som spesielt utsatt for vind. Fra etasje 9 og oppover var det ingen nærliggende bygninger i tilsvarende høyde, det var ingen form for skjerming etablert rundt vinduet, og det var plassert omtrent midt på bygningens lengste flate med en bredde på 48 m. Forenklet beregning ved bruk av Formel 4 antydte at lufthastighet over 9,6 m/s fra nordvestlig retning mot trykkavlastningens flate vil overvinne trykket fra trapperommet, dette tilsvarer «frisk bris» på Bauforts skala [72]. Utregning gitt i Vedlegg TT. Dette kan antyde at ugunstige vindforhold kan bidra med at funksjonen til trykkavlastningen svekkes eller opphører.

I etasje 3-17 var det brannsluse/forrom uten trykkavlastning, avlastningen var i stedet plassert på fasaden ved andre siden av bygget gjennom et vindu på underkant av 1 m², løsningen vises på plantegning i Vedlegg H. I veiledningen til TEK17 er det beskrevet at «det mellomliggende rommet trykkavlastes» som nevnt i 2.2.1. Men det kan argumenteres at forrommet/sluserommet ikke har nevneverdig brannenergi, og at trykkavlastning noe lengre vekk fra trapperommet gjør at røyk trekker seg vekk fra trapperommet, men dette var ikke fraviksdokumentert.

I et. 3, 7 og 8 var trykkavlastningen og det trykksatte trapperommet også separert av en dør med dørautomatikk, som vist på plantegning i Vedlegg H. Forvalter av bygget var ikke kjent med om dørene ble åpnet automatisk ved røykdeteksjon, det var ingen antydning i dokumentasjonen at det er lagt opp slik. Dette vil betydelig redusere evnen til å fortrenge røyken i disse etasjene.

Også i etasje 4-6 var trykkavlastningen separert med en ekstra dør uten dørautomatikk, men disse dørene hadde ingen form for dørautomatikk. Det var dog montert overstrømningsventiler med en smal strømningsflate over dørene med kanalstørrelse Ø160. Overstrømningsventiler var også montert i tilknytning til andre rom, det er derfor sannsynlig at er en del av komfortventilasjonen, ikke overstrømning for trykkavlastningen. I disse etasjene vil også motstrømseffekten være betydelig redusert, men dette ble ikke testet med dørene lukket. Plantegning hvor plasseringen av trykkavlastningen vises gitt i Vedlegg I.

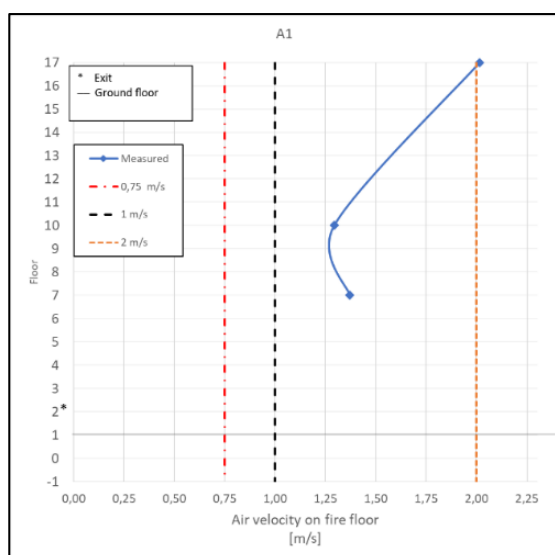
I kjelleretasjene var trapperommene tilknyttet samme korridor med trykkavlastning med egen sjakt, vist på plantegning i Vedlegg J og avbildet Vedlegg K. Det er ikke kjent om sjaktens utløp befant seg på tak eller fasade, men var ifølge plantegningene ført opp til et. 16. Trykkavlastningssjeldene besto av rektangulære stålhus med bevegelige vertikale sjeldblad, sjeldet hadde en brutto overflate på 0,48 m², og antas å ha et netto areal i åpen tilstand mindre enn dette. Trykkavlastningssjakten, etter måling i plantegning, hadde åpning på 0,33 m² i kjelleretasjene, 0,25 m² gjennom et. 1-3, og 0,5 m² i resterende etasjer.



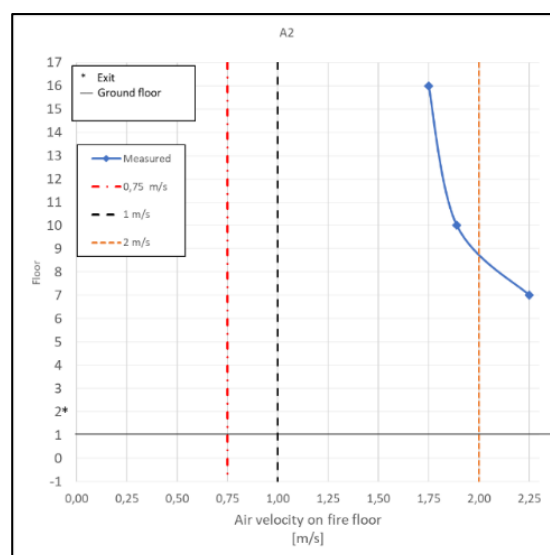
Figur 49: Overstrømningsventiler mellom trapperommet og trykkavlastningen i et. 5.
Bildet tatt av Jonathan Lundblad 12/06/22

Alle dører som hindret strømningsveien mellom trapp og avlastning ble likevel holdt åpne ved lufthastighetsmålingene. Lufthastigheten ble målt i tre etasjer med trykkavlastning åpent, som demonstrerte at systemet kunne oppnå gunstige lufthastigheter over 1 m/s som vist i Figur 50 og Figur 51. Funnene viser også at lufthastighetene korresponderer med de vertikale trykkvariasjonene vist ovenfor i Figur 46 og Figur 47. Det bør tas til etterretning at trykkavlastning i fasaden kan bli påvirket av vindtrykket, vinduene var plassert på nordvestlig fasade hvor vinden hadde nordøstlig opphav og hastighet på 2,29 m/s, dette kan ha bidratt i å øke lufthastigheten ved brannetasjen.

Tre målinger over 20 etasjer ble vurdert som utilstrekkelig for å trekke gode konklusjoner om systemet i sin helhet mht. lufthastighetene, spesielt da det ble dokumentert flere ulike typer trykkavlastningsløsninger. På grunn av tidsbegrensinger kunne ikke flere målinger gjennomføres, det anbefales derfor suppleres med flere målinger for å bekrefte at hastighetene er tilfredsstillende. Spesielt i etasjene 3-8, hvor strømningsveien har hindringer. Uten målinger kombinert med røyksetting kan man ikke definitivt konkludere med at røykfortegningen her vil feile, men funnene tilsier at det ikke vil oppstå tilstrekkelig motstrømseffekt i disse etasjene, hvilket vil medføre økt risiko for røykspredning til trapperommet.



Figur 50: Lufthastigheter i A1 ved brannetasje



Figur 51: Lufthastigheter i A2 ved brannetasje

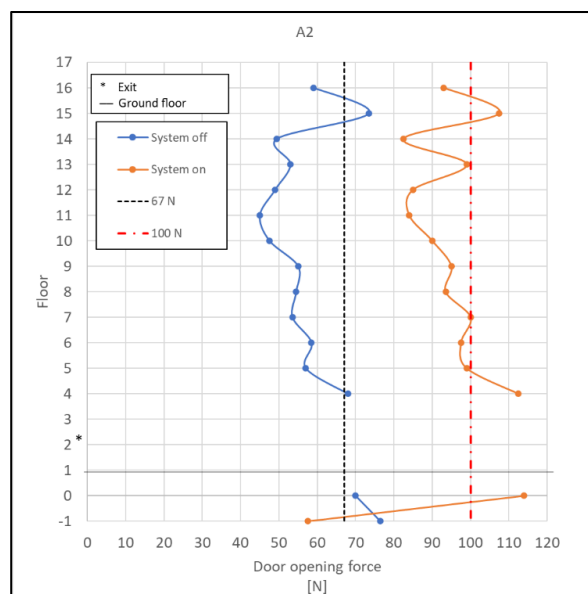
4.3.4 Tilgjengelighet til rømningstrapper

Trapperommet A1 var utstyrt med døråpningsautomatikk med UPS. Denne automatikken ble funnet i orden i samtlige etasjer med trykksetting avskrudd som vist i Figur 52. Men med systemet aktivert klarte ikke alle dørene å åpne mot trykket. Noen etasjer ble ikke undersøkt med systemet aktivt, dette fordi forsøket måtte avbrytes da tilgjengelig tid utløpte. Det ble funnet at døråpningsautomatikken kun tidvis fungerte, hvorfor dette skjer er ukjent, men det tyder på at automatikken her ikke var pålitelig under brannscenario med trykksetting.

I bitrappen var døråpningskraften tilfredsstillende i de fleste etasjene når systemet inaktivt som sett i Figur 53. Når trykksetting ble aktivert derimot, klarte ingen dører å tilfredsstillende preaksepterte ytelser i TEK17. Eneste unntak er et. -1, hvor døren åpnet ut av trapperommet, hvilket er motsatt av hva TEK17 anbefaler og orienteringsplanene for rømning beskrev. I totalt 11 etasjer er døråpningskraften over 90 N, og i 3 etasjer er døråpningskraften over 100N med systemet aktivt.

| Floor | Test of automatic doors A1 | | | |
|-------|----------------------------|---|-----------|---|
| | System off | | System on | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 17 | V | V | X | X |
| 16 | V | V | V | V |
| 15 | V | V | X | X |
| 14 | V | V | V | V |
| 13 | V | V | V | X |
| 12 | V | V | X | X |
| 11 | V | V | | |
| 10 | V | V | X | X |
| 9 | V | V | | |
| 8 | V | V | | |
| 7 | V | V | X | X |
| 6 | V | V | | |
| 5 | V | V | | |
| 4 | V | V | V | X |
| 3 | V | V | | |
| 2 | V | V | | |
| 1 | | | | |
| 0 | V | V | V | V |
| -1 | V | V | X | X |

Figur 52: Funksjonstest av døråpningsautomatikk i A1



Figur 53: Målt døråpningskraft i A2

4.3.5 Dokumentasjon og testing

Systemene for trykksetting var beskrevet i et eget notat med blant annet beregningene av nødvendig viftekapasitet, som var basert på temaveiledningen. Notatet beskrev at noen spesifikasjoner gitt i temaveilederen, som røykskiller per 12. etasje og et sjaktareal på 0,5 m², ikke lot seg oppfylle på grunn av begrensninger i eksisterende bygg. Det er også nevnt at lufthastighetene i praksis vil kunne bli vesentlig lavere enn 0,75 m/s grunnet motstand over røykluken, og at «Trykksettingen skal starte automatisk ved detektert røyk i trapperommet eller i tilgrensende sluser.»

Noen egenskaper som var beskrevet i notatet var ikke å finne i bygget. Mest nevneverdig var at trykkavlastningen skulle befinne seg i sluserommet, ikke på fasaden ved andre siden av bygget. I tillegg er det gitt at systemet også skal ha en «ventileringfunksjon» som skulle gi en kontinuerlig gjennomlufting av trappen, dette ved at luke i toppen av trapperommet ble åpnet ved aktivering. Det er ukjent om systemet ikke er blitt uformet slik det var tiltenkt, eller om systemet ikke fungerte som det skulle ved testtidspunktet, men luken i toppen forble likevel lukket når systemet var aktivt.

Det forelå også beregninger for dimensjonering av viftekapasitetene i notatet, hvilket resulterte i en viftekapasitet på 25.000 og 24.200 m³/h for trapp A1 og A2 respektivt, dimensjonert viftekapasitet var derimot 35.000 og 30.000 m³/h ved 50 Pa. Ved dimensjoneringen var det forutsatt fire åpne dører med en lufthastighet på 0,75 m/s, dette scenarioet ble ikke testet, men med brannetasjen, etasjen under, og utgangsdøren åpent var det målt 0,62 m/s i A1 og 0,80 m/s i A2 i brannetasje som gitt i Vedlegg L og Vedlegg N.

Det foreligger testdokumentasjon med gjennomført sjekklister for idriftsettelse av systemet datert april 2021. Dokumentet viser at røykdetektor ble trigget, trykket i trappen målt, og funnet ok. Et punkt med «Dører som slår inn i trappehus kan åpnes uten mye motstand» er også funnet tilfredsstillende. Trykkavlastningen var blitt funksjonstestet i alle etasjer og funnet ok, men lufthastighetsmålinger ble tilsynelatende ikke gjennomført.

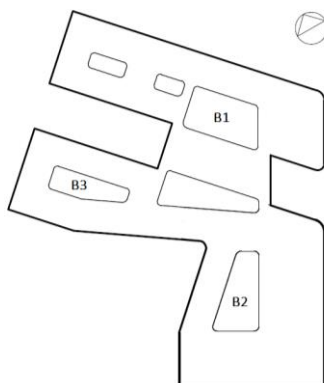
4.4 Felttest av bygg B

4.4.1 Systemløsninger

Generelt om bygget og trappene

Bygg B var ferdigstilt i 2021 som et nytt bygg på 11 etasjer med butikker og restauranter på bakkeplan, og kontorlokaler i de øvrige etasjene. Bygget er delt inn i tre hoveddeler med hver sin trappesjakt. Alle trapperommene har utgang direkte til gateplan ved første etasje. Trapp B1 og B2 gikk opp til tiende etasje, mens B3 gikk direkte ut til takterrassen i 11. Etasje.

De tre trappesjaktene er plassert i kjernen av hver av de tre hoveddelene, hvor kun bakkeplanet og øverste etasje i trapp B1 og B3 hadde fasade mot det fri, hvilket gjorde trappene skjermet fra vind. Figur 54 viser plasseringen av de ulike trappene i bygget. I Vedlegg P, Vedlegg Q og Vedlegg R finnes detaljerte plantegninger av trappene.



Figur 54: Orienteringsfigur med de ulike trappekjernene i bygg B. Hentet fra FDV

Trapp B1 var det største trapperommet med et brutto areal på 30 m² og ble benyttet som både hovedtrapperom og hovedinngang for de øvrige etasjene. I dette trapperommet var det også plassert tre heissjakter, to av disse gikk fra U2 opp til takterrassen i et. 11, og en av disse gikk fra U2 til et. 10. I fleste etasjer var trapperommet skilt fra oppholdsrommene med ett sluserom på 5m², i et. 5 og 7 var det et trykkavlastet sluserom for separat leietager i tillegg. De to ekstra sluserommene ble ikke testet under feltundersøkelsene. B1 vises i Figur 55, med flere bilder i Vedlegg S. Trapp B2 og B3 på respektive 19 og 16 m² var kun benyttet som birømningstrapp og ble etter erfaring ikke normalt benyttet av leietagerne, bilder av trappene sees i Vedlegg T og Vedlegg U.



Figur 55: Utformingen av trapperommet B1. Venstre bilde viser hesidørene ved hovedinngangen, høyre bildet viser tiende etasje. Døren til sluserommet i et. 10 sees i venstre hjørne. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 02/05/22

Vifter

Viftene i de trykksatte trapperommene hadde, ved 50 Pa overtrykk, en dimensjonert luftmengdekapasitet på 21.000 m³/h i trapp B1 og 18.000 m³/h for B2 og B3. Trykkdifferansegivere til viftene i alle tre trapperommene var plassert med innvendig referansepunkt nært viftens utløp, og utvendig referansepunkt enten i eller direkte tilknytning til sugesiden av viften, dette kan sees for trapp B1 i Figur 60 og B3 i Vedlegg U. Dette kan gi målinger som ikke representerer det reelle trykket i trapperommet, da trykket i referansepunktet ved sugesiden er lavere og på blåsesiden høyere enn omgivelsene. Konsekvensen av dette vil potensielt være at trykkdifferansegiveren måler settpunkt som oppnådd, selv om trykket er nevneverdig lavere.

Røykluker

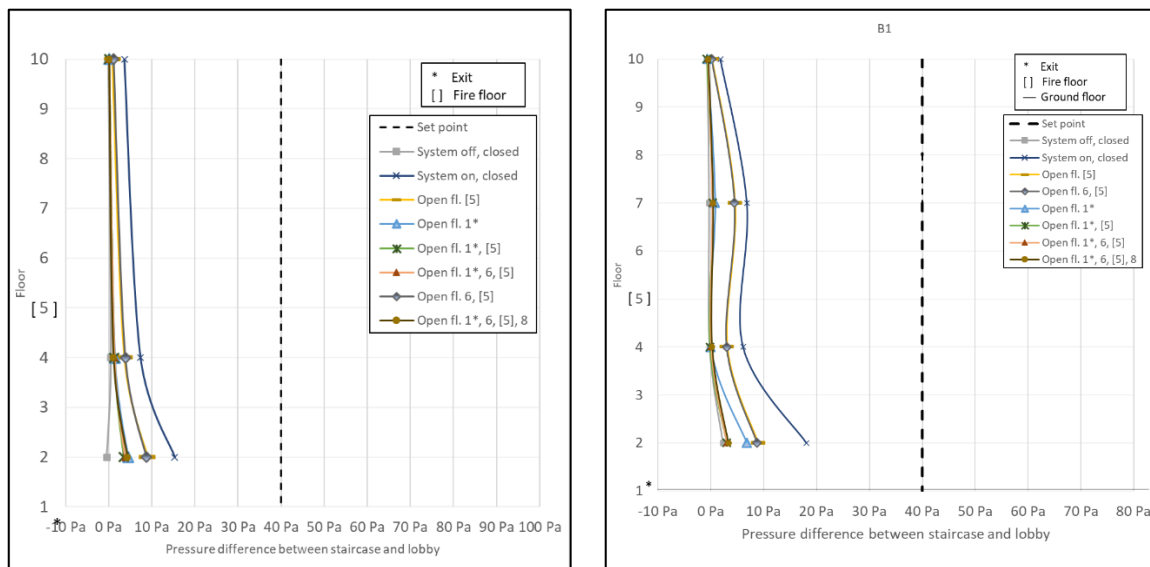
Alle tre trapperom var utstyrt med luke i toppen av trappesjakten og en egen luke for trykkavlastningssjakten(e). Under testing ble kun lukene i toppen av trapperommene automatisk åpnet ved triggering av systemet med en åpningsgrad på ~2°, mens luken til trykkavlastningen måtte åpnes med en manuell overstyringsbryter. Det er ukjent om dette var et avvik eller om denne åpnes av separat signal utenom trykksettingstavlen, uansett vil det anbefales at denne automatisk åpnes når systemet aktiveres når systemet aktiveres med metoden benyttet av servicepersoner og leverandøren (3.4.1).



Figur 56: Lukene i tilknytning til trapp B2 og deres posisjon under testforløpet. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 08/05/22

4.4.2 Trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom

Etter at testing av trykkdifferansen i ulike scenarier ved trapp B1 var gjennomført, ble det under kvalitetssikringen av dataen funnet at trykkdifferansen var mindre enn forventet med snitt på 8,2 Pa med alle dører lukket. Forhold som kunne forklare dette uventede lave trykket ble ikke undersøkt under testforløpet, en ny felttest ble derfor planlagt hvor årsaken ble undersøkt, parallelt med testingen. I Figur 57 er testresultatene fra begge testene, merk at et instrument i et. 7 ikke loggførte under den første av de to testene. Værforholdene var svært like under de to testene, det var også testresultatene.



Figur 57: Trykkmålinger i rømningsscenarier ved trapperom B1
Venstre: 08/05/22 med utendørs temperatur på 12,6 °C vindhastighet tak 2,11 m/s
Høyre: 29/05/22 med utendørs temperatur på 13,7 °C vindhastighet tak 2,13 m/s

Følgende hypoteser ble testet under feltundersøkelsen:

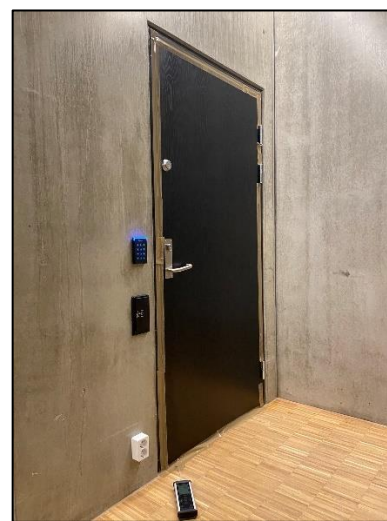
- **Hypotese 1: Luftlekkasje over døren ga mindre trykkdifferanse.**
En forklaring på at det ble målt lav trykkdifferanse, var at viften oppnådde riktig trykksettpunkt, men at trykkdifferansen mellom sluserom og trapp måles som liten på grunn av luftlekkasjer over døren. Døren mellom trapperommet og tilstøtende rom kan ha svært utett, slik at trykkdifferansen ble liten, samtidig som korrekt trykkdifferanse blir oppnådd ved trykkdifferansegiver.

Hypotesen ble testet ved å først undersøke hvorvidt det fantes tegn til luftlekkasjeveier i dørene, noe som ble funnet i varierende grad. Etasje ti hadde tetningslist rundt hele dørbladet og vil gi lite luftlekkasje, etasje syv og fire hadde manglet tetningslist på dørterskelen og kan ha vært påvirket av noe luftlekkasje. Etasje to manglet hele dørterskelen, og hadde derfor noen millimeter med åpent strømningsareal i bunnen av døren, Figur 58 viser denne variasjonen.



Figur 58: Bilder av dørterskelen ved etasjer hvor måleinstrument var plassert, hhv. 10, 7, 4, og 2 etasje. Det ble funnet stor variasjon i lekkasjetetthet. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 05/06/22

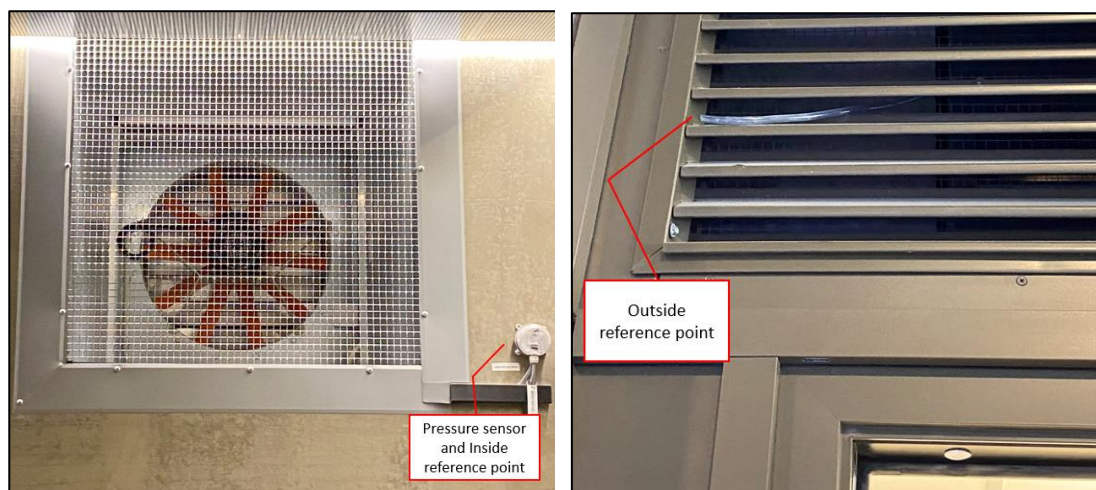
For å avdekke hvor mye luftlekkasjene påvirket målingene, ble det gjennomført en ny test hvor trykkdifferansen over døren med størst lekkasjeareal ble loggført i normal og tett tilstand. Et instrument ble plassert i 2. etasje og trykksettsviften deretter aktivert. Når viften hadde oppnådd stabil drift ble trykkdifferanse målt med metoden beskrevet i 3.3.2. Døren ble så tettet rundt dørbladets spalter som vist i Figur 59. 30 sekunders gjennomsnittlig trykk i begge tilstander ble deretter beregnet. Resultatet viste at trykkforskjellen mellom tett og utett dør ikke var av betydelig, og sannsynligvis ikke var hovedårsaken for den lave målte trykkdifferansen i de øvrige etasjene. Trykkdifferanse med tett dør målte 18 Pa, og i normaltilstand, uten spalter tettet, ble det målt 15,1 Pa. Hypotesen blir bekreftet, men forskjellen mellom tett og utett dør er ikke av en nevneverdig karakter, og er sannsynligvis ikke hovedårsaken til at trykket var målt for lite ved felttesten.



Figur 59: Trykkdifferanse loggført over dør hvor spalter ble tettet med teip. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 05/06/22

- Hypotese 2: Trykkdifferansegiver hadde upassende plassering slik at viften ikke brukte full kapasitet**
 Det ble vurdert hvorvidt trykket viften regulerte mot representerte det reelle trykket i trapperommet, slik at viften gikk med dimensjonerende kapasitet. Det ble observert at referansepunkter for trykkdifferansegiveren var plassert rett foran viften, hvor trykket ofte er høyere [73]. I tillegg ble det funnet at referansepunktet utendørs lå på sugesiden av viften som vist i Figur 60.

Det ble gjort en supplerende måling for å avdekke hvor mye dette påvirket målingene til trykkdifferansegiveren, hvor trykkdifferansen ble målt mellom trykkdifferansegiverens utvendig referansepunkt og 1 m lengre ut. Testen ble gjort som beskrevet i 3.3.2, men med gjennomsnitt gjennom en loggtid på 10s. Fire målinger ble tatt, med hhv. -3,9 Pa, -6,4 Pa, -7,1 Pa og -4,8 Pa i snitt trykkdifferanse. Målingene viste at dette hadde en effekt på systemets evne til å regulere mot et realistisk settpunkt, men ikke i en størrelsesorden som forklarer avviket fra prosjektert settpunkt vist i Figur 57.

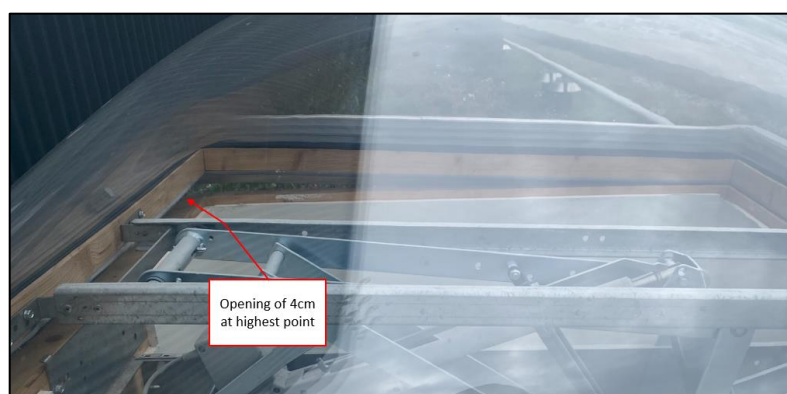


Figur 60: Referansepunktene til trykkdifferanseregiveren som viften regulerte mot. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 05/06/22

Videre ble det gjort observasjoner på systemets frekvensomformer under stabile testforhold med samtlige dører lukket. Frekvensomformerer har et display som synliggjorde momentan pådrag mellom 0 og 50 Hz, hvor 50 Hz er maks pådrag. Frekvensomformerer ble observert med et stabilt pådrag på 50 Hz, med noen sporadiske svingninger ned til 48,9 Hz på det laveste. Dette betyr at viften stort sett gikk i tilnærmet fullt pådrag, hvilket antyder at trykkdifferanseregiveren ikke oppnår trykksettpunktet.

- **Hypotese 3: Luke i toppen av trapperommet punkterte trykket.**

Det ble undersøkt om trykksettpunkt ikke ble oppnådd fordi røykluke i toppen av trappesjakten åpnes i en posisjon som punkterte trykket. Under inspeksjon av luken under stabile driftsforhold, ble det målt 4cm lysåpning på det høyeste punktet i spalten som sett i Figur 61. Dette tilsvarer en åpningsgrad på ca 2°.



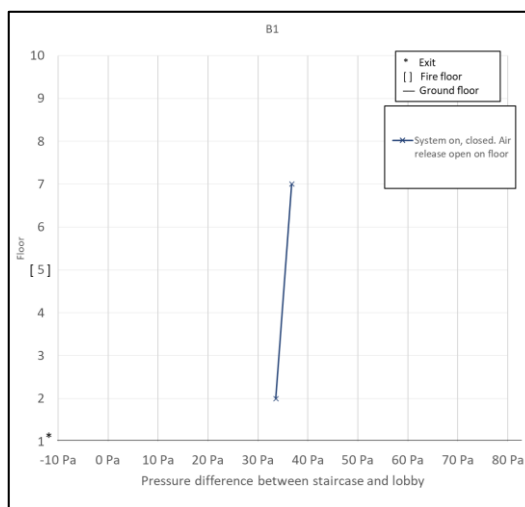
Figur 61: Bilde av røykluken i trapp B1 ved stabile driftsforhold. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 05/06/22

- **Hypotese 4: Vifte hadde for lav kapasitet.**

Dokumentasjonen i FDV ble videre undersøkt for å vurdere hvordan viftekapasiteten var dimensjonert. FDV viste at viften i B1 hadde en kapasitet på 21.000 m³/h ved 50 Pa. For å finne hvilket grunnlag som ble benyttet under dimensjonering av denne viften, ble prosjekterende part kontaktet, som viste til en E-post fra leverandør hvilket anbefalte en viftekapasitet på 44.147 m³/h for å opprettholde overtrykk ved 30 Pa. Det ble ikke funnet noen dokumentasjon på hvorfor det ble valgt å avvike anbefalt luftmengde med nær 50%.

Etter ny gjennomgang av loggført data, ble det funnet at trykkdifferansen i etasjene hvor trykkavlastningen ble åpnet, oppnådde langt bedre trykkdifferanser. Figur 62 viser hvilke trykkdifferanser som ble oppnådd, med metode angitt i 3.3.2. I de to etasjene hvor både

trykkavlastningen ble åpnet og trykket logget, var trykkdifferansen målt over 30 Pa. Dette kan ha blitt forårsaket av at oppdriftskrefter i trykkavlastningssjakten ga negativ trykkdifferanse inne i sluserommet, eller at trykket inne i trapperommet var høyere i trapperommet enn det som ble målt.

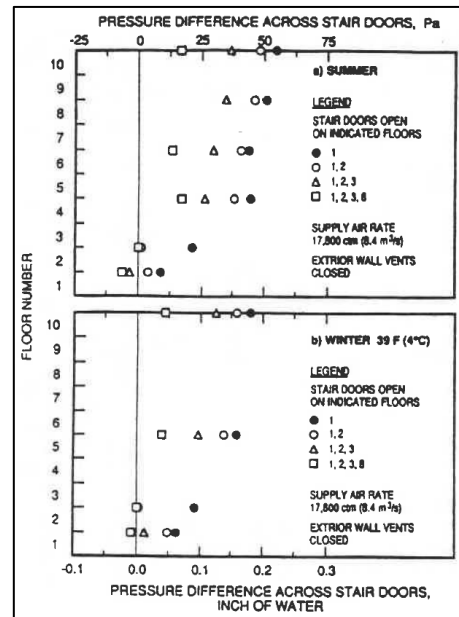
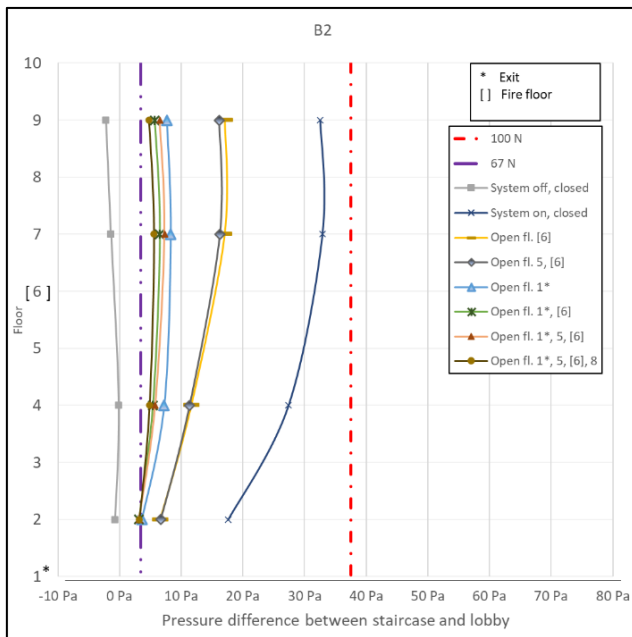


Figur 62: Trykkdifferanse over dør med åpen trykkavlastning

Etter overnevnte undersøkelser, ble det avdekket en del svakheter i anlegget som kan ha bidratt til lavt målt trykk. Det var ikke noen definitiv årsak blant funnene, men det er mye som tyder på at viften ikke når settpunktet den er stilt inn på. Viftekapasiteten er som regel beregnet av lekkasjearealene idet trykksatte området per 2.4.1.

Under stabile driftsforhold ble det observert nevneverdige luftstrømninger, altså luftlekkasjer, gjennom heisdørene. Trapperommet hadde som nevnt tre heissjakter med tre dører på hver etasje, totalt 30 heisdører. Disse heisdørene var gjennomgående fra tredje etasje til tiende, slik at luft kunne strømme horisontalt inn i oppholdsrommene gjennom tre heisdører i åtte etasjer. Heisdørene utgjorde derfor sannsynligvis et nevneverdig lekkasjeareal. Ut ifra anskaffet dokumentasjon ble det vurdert som sannsynlig at heisdørene ikke ble hensyntatt som lekkasjeareal når viftestørrelsen ble bestemt. Leverandøren hadde dog tatt til høyde for heisdørene i sine beregninger. Øvrige trykkmålinger for B1 i Vedlegg V og Vedlegg W.

I trapp B2 ble de målte trykkdifferansene også mindre enn forventet, med snitt 27,6 Pa ved alle dører lukket. Det ble også notert at frekvensomformerer til viften her også sto stabilt på maksimum pådrag (50Hz) selv med alle dører lukket. Trykkfordelingen vertikalt var av en karakter som ikke var blitt observert i de andre byggene. Det var på forhånd forventet en trykkfordeling som enten var noe jevnt fordelt eller i en «C»-form som antydnet i tidligere litteratur [35], men i stedet ble det observert en kurve som lignet mer på systemer hvor utgangsdøren på første etasje var åpen, som vist av Tamura [40, 62]. En sammenligning vises i Figur 63, øvrige resultater og grafer sees i Vedlegg X og Vedlegg Y.



Figur 63: Trykkdifferanser i trapp B2 på venstre siden, sammenligning med Tamura [62] på høyre side. Begge testene med 10 et. Trappehus.

Også her ble disse resultatene undersøkt i ettertid den 28/05/22. Det ble ikke rigget til en ny gjennomgående test som med trapp B1, men systemet ble aktivert og lukeposisjonene ble undersøkt i tillegg til alternative luftlekkasjer som kan ha punktert trykket. Samtidig som alle trykkavlastningssjeldene sto i lukket posisjon og dørene var lukket, ble det observert en betydelig lufthastighet ut av toppen på trykkavlastningssjakten som ikke kunne forklares, dette forekom kun med trykksettingsviften aktivert. I utløpet av sjakten var det også et avløpsrør (Ø110) og ventilasjonskanal (Ø400) som sett i Figur 64. Det ble også stilt spørsmål om brennbarheten til materialet sett inne i sjakten, hvilket var ment for røykventilering, men dette ble ikke undersøkt.



Figur 64: Innsiden av trykkavlastningssjakten til B2. (Merk: avbildet fra luken i Figur 56) Bildet tatt av Jonathan Lundblad 05/06/22

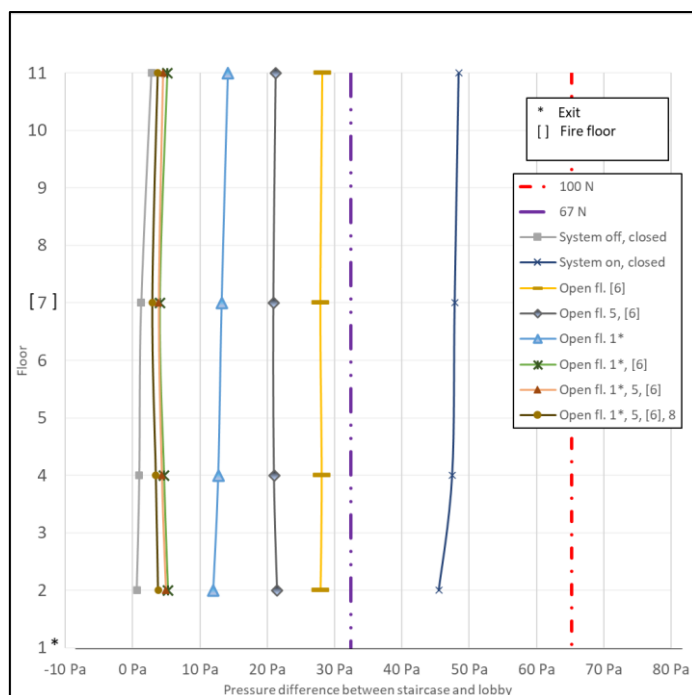
Etter overnevnte observasjon, ble årsaken til trykkmangelen undersøkt videre. Etter å ha fulgt sjaktens plassering videre ned i etasjene, ble det observert en åpning i himlingen ved første etasje. Etter nærmere undersøkelse ble det observert dagslys i enden av denne, hvor også avløpsrøret og ventilasjonskanalen observert øverst i trykkavlastningssjakten var plassert. Åpningen var rett foran trykksettingsviften, som kunne forklare både den høye lufthastigheten i toppen av sjakten samt det lave trykket i bunnen av trappen. Dette er

en kritisk feil som hverken er blitt oppdaget under testing eller igangkjøring. Bygningsforvalteren informerte også at hen ikke hadde blitt informert om et slik avvik. Bilder fra bunnen av trykkavlastningssjakten gitt i Figur 65, flere bilder av trapperommet i Vedlegg T. Trykkdifferansen med trykkavlastning åpen ble også undersøkt, som gjort ved B1, dette hadde ingen nevneverdig påvirkning på målingene som vist i Vedlegg Z.



Figur 65: Trykkavlastningssjakten sett fra første etasje, foran viftene. Dagslys fra taket merket i rødt. Bildet tatt av Jonathan Lundblad 05/06/22

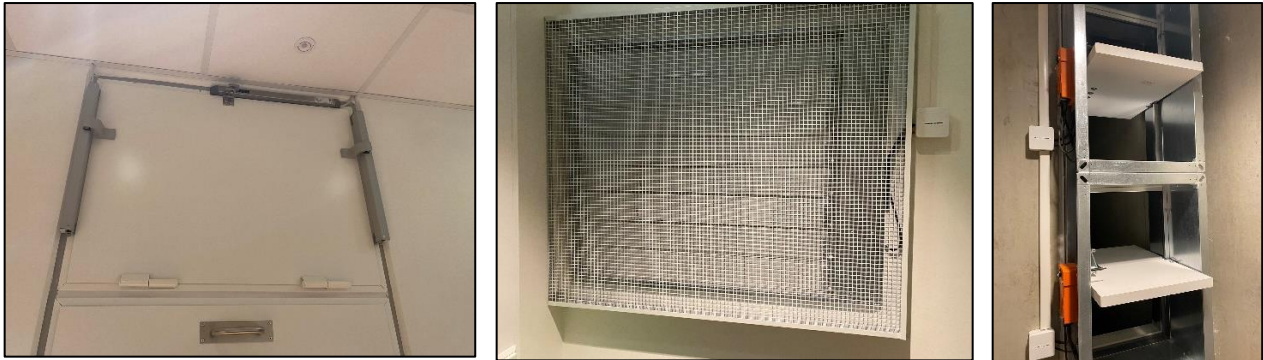
I den siste trappesjakten B3 ble det funnet måledata so var noe mer forventet. Trykkdistribusjonen over etasjene var bemerkningsverdig uniforme over dens høyde i alle scenariene som sett i Figur 66, trykkdifferansen holdt seg også stabilt høyt i nevnte scenarier. Med alle dørene lukket var trykkdifferansen på snitt 47 Pa, noe som kan antyde at 50 Pa kan ha vært den innstilte settpunktverdien. I tillegg regulerte viftene til et nevneverdig trykk også med brannetasjen og utgangsdøren åpen. Spesielt var det noe overraskende opprettholdt et snittrykk på 13 Pa med åpen utgangsdør, dette selv med til viftens nærhet til utgangsdøren, som på forhånd var antatt å potensielt punktere trykket fra viftene (bilder i Vedlegg U). Trykkresponsstestene viste også at viftene regulerte raskt og presist med reaksjonstid på maks 1,5s som vist i Vedlegg Æ og Vedlegg Ø. Eneste mulige avvik oppdaget av testene i trapperom B3 var at den *beregnete* døråpningskraften var antydnet å være større enn hva TEK17 spesifiserer, dette ble sett nærmere på i 4.3.4.



Figur 66: Resultatet fra trykktest i B3

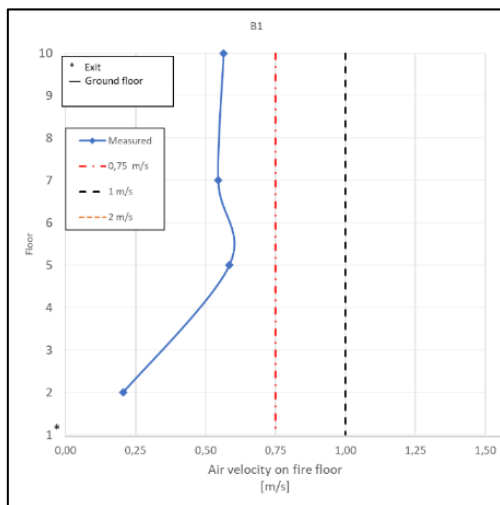
4.4.3 Røykfortregning ved brannetasje

Løsningene for trykkavlastning varierte i stor grad mellom trappene, hvor hver trapp hadde en egen type trykkavlastning og sjaktstørrelse. En oversikt over spjeldene kan sees i Figur 67. Sjaktene ble funnet å ha et aerodynamisk areal på 1,3 m², 1,7 m², og 0,5 m² målt i plantegningene for hhv. B1, B2, og B3. Plantegningene kan sees i Vedlegg P, Vedlegg Q, og Vedlegg R.

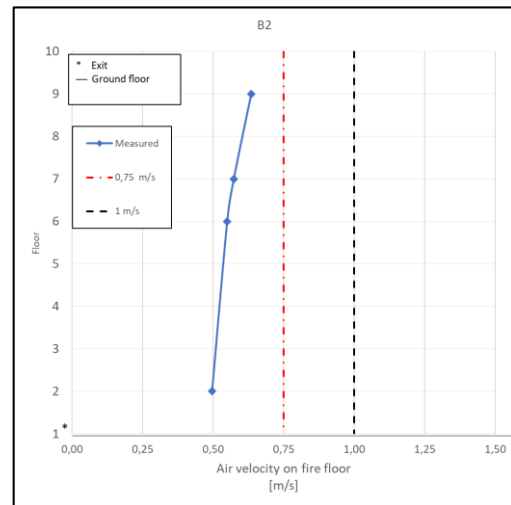


Figur 67: Trykkavlastninger i ulike trapperom, fra venstre; B1, B2, B3. Bildene tatt av Jonathan Lundblad 01/05/22

Til tross for at de hadde aerodynamisk areal mer enn det dobbelte av hva temaveiledningen og anvisningen anbefalte, hadde B1 og B2 hastighet under 0,75 m/s over døråpningen ved alle de testede etasjene, lufthastighetsresultatene kan sees i Figur 68 og Figur 69. Disse funnene var sannsynligvis ikke på grunn av ugunstig trykkavlastning eller sjaktstørrelse, men mer sannsynlig på grunn av manglende trykkdifferanse som vist i 4.4.2.

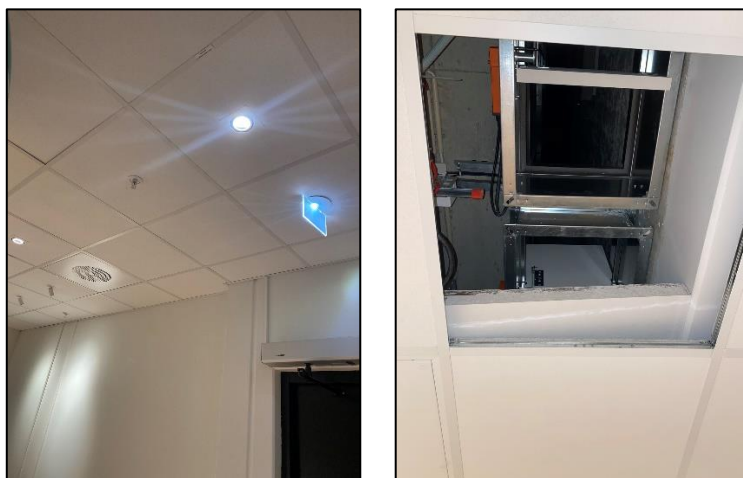


Figur 68: Lufthastigheter i B1



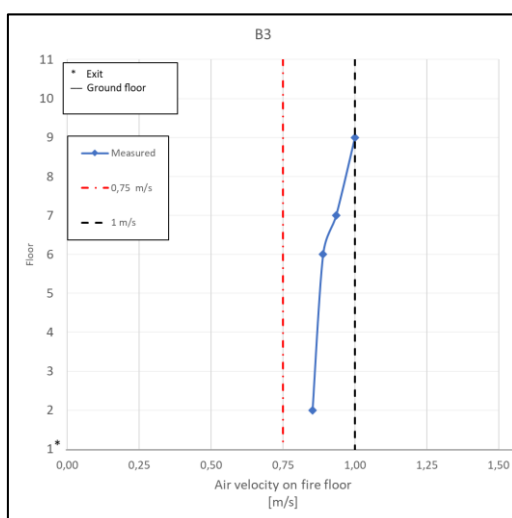
Figur 69: Lufthastigheter i B2

I B1 var det i også utfordringer med å åpne enkelte trykkavlastningene, hvor spjeld i et. 6 og 10 ikke åpnet på signal fra branntablå, som resulterte i at testplanene måtte endres underveis. I tillegg ble det oppdaget at trykkavlastningen i et. 2 hadde blitt montert bak en himlingsplate uten noen form for overstrømningsventil, avbildet i Figur 70. Himlingsplaten var ikke fjernet under testing, noe som sannsynligvis bidro til en lavere lufthastighet i denne etasjen enn ellers forventet.



Figur 70: Trykkavlastning i B1 et. 2. Bildene tatt av Jonathan Lundblad 29/05/22

Målte lufthastigheter i trapperom B3 var høyere enn B1 og B2, alle de målte etasjene overholdt minsteverdien på 0,75 m/s. Dette var til tross for at trykkavlastningssjakten i B3 hadde mindre aerodynamisk areal og halvparten så stor røykluke som de to andre. Men resultatene kan sees i sammenheng med høyere trykkdifferanse når brannetasjen var åpen, vist i Figur 66. Lufthastighetene vist i Figur 71.

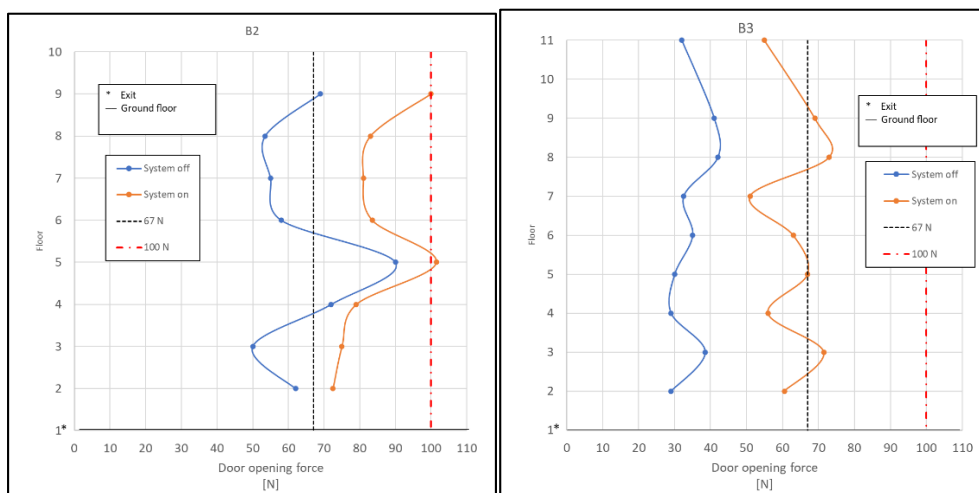


Figur 71: Lufthastighetsmålinger i B3

Alle etasjene fra et. 2. til et. 10 hadde trykkavlastede mellomliggende rom, men dørene mellom det trykksatte trapperommet og oppholdsrommene i første etasje ved B2 og B3 hadde ingen form for synlig eller dokumentert trykkavlastning, og kan utgjøre en risiko for røykspredning til trapperommene.

4.4.4 Tilgjengelighet til rømningstrapper

Som vist i Vedlegg V ble dørautomatikken i samtlige etasjer av B1 testet og funnet i orden, og med lite trykkdifferanse målt over dørene, var dette ikke uventet. Bitrappene var utstyrt med mekaniske dørpumper, og fikk målt døråpningskraft som vist i Figur 72. Trapp B2, selv med dets lave gjennomsnittlige trykkdifferanse med systemet aktivt, får døråpningskrefter over 67 N. Trapp B3, selv med langt høyere trykkdifferanse, overholder 67 N i de fleste etasjene selv med aktivt system. Dette var et resultat som overgikk den beregnede døråpningskraften, hvilket anslo en døråpningskraft på 82 N ved 47 Pa med målte dørdimensjoner i B3.



Figur 72: Døråpningskraft i B2 og B3

4.4.5 Dokumentasjon og testing

Noen form for dokumentasjon som beskrev trykksettingsystemet helhetlig eksisterte ikke for bygg B. Det forelå ingen notat eller beskrivelse av hvordan systemet skulle fungere i byggets FDV-database, kun en beskrivelse av hvordan trykksetting på generell basis fungerer. I brannkonseptet var det kun nevnt at trapperom Tr 3 skulle «overtrykksventileres» i størrelsesorden 25-30.000 m³/h og ha egne trykkavlastningssjakter på 0,5 m². Dette skiller seg fra dimensjonert luftmengde, som var mellom 18-21.000 m³/h ved 50 Pa overtrykk. Det var også spesifisert at «Overtrykksventileringen skal kun aktiviseres på deteksjon i trapperom og/eller sluse». Ellers ble det funnet dokumentasjon på enkeltkomponenter, som dimensjoner på trykksettingsviftene og FDV til trykkavlastningsspjeld.

Av testdokumentasjon ble det oppdrevet en kort igangkjøringsprotokoll hvor trykkmålinger hadde blitt gjort. I protokollen var det registrert et at B3 hadde en trykkdifferanse på 50 Pa, som tilsvarer funnene ovenfor. Det hadde tilsynelatende ikke blitt oppdaget avvik i de to andre trappene, dette antageligvis fordi det ble antatt at manglende dører skapte utilsiktet luftlekkasje. Men målingene foretatt i disse virket også her å tilsvare funnene gjort ovenfor, spesielt målt trykk i andre etasjer med dører lukket, som var 18 Pa i både A1 og A2.

| System nr | Målt Pa m takluke åpen 3 grader | | ANMERKNING |
|------------|---------------------------------|--|--|
| (Trapp A1) | 11Pa | | Dører ikke på plass ved måling. Vifte regulerer ved å simulere stengte/åpne dører mot trykk giver. |
| (Trapp A2) | 17Pa | | Dører ikke på plass ved måling. Vifte regulerer ved å simulere stengte/åpne dører mot trykk giver. |
| (Trapp A3) | 50Pa | | Vifte regulerer mot åpning stenging av dør |

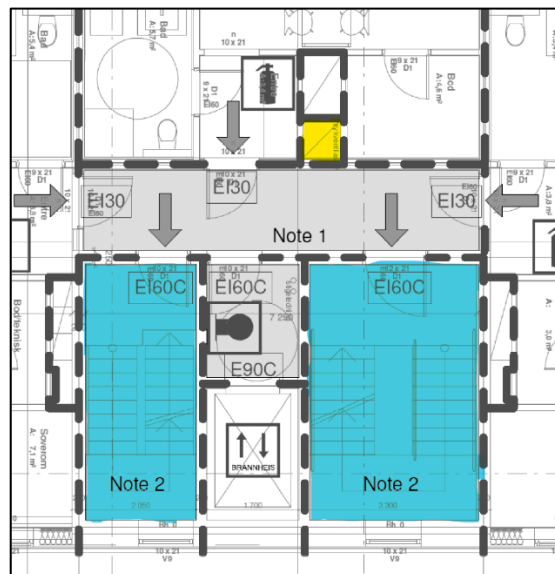
Figur 73: Skjermdump fra igangkjøringsprotokoll datert august 2021.
Merk at venstre kolonne er endret til anonymiserte navn.

4.5 Felttest av bygg C

4.5.1 Systemløsninger

Generelt om bygget og trappene

Bygg C er en nybygd boligblokk på 10 etasjer lokalisert på toppen av en ås, bygget hadde ingen tilsvarende bebyggelse i nærheten, og lå utsatt for vær og vind. Boligblokken hadde to trykksatte trapperom, hvor begge var eksponert mot dens nordlige fasade langs hele trappeløpet. På fasaden hadde begge trapperom vinduer på 1 m x 2,4 m i alle etasjer utenom et. 1 og 2. Trapperommene gikk ut i en felles gang med trykkavlastningssjeld, separert fra gangen var et sluserom til en brannmansheis. Utsnitt fra rømningsplanen er gitt i Figur 74, trappene avbildet i Figur 75.



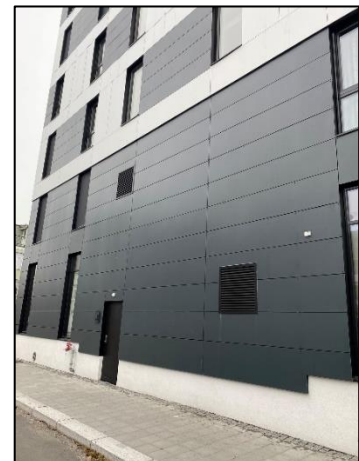
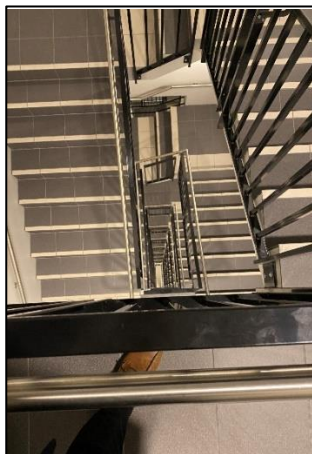
Figur 74: Plantegning et.3 av bygg C, trykksatte områder farget blått og trykkavlastningssjakt gult. Hele etasjen sees i Vedlegg Å

Røykluker

Begge trapperommene hadde et røykluke/kanal i toppen som førtes ut til tak. Disse ble ut ifra systemskjemaer kun åpnet ved manuell overstyring av brannmannskap under en brannsituasjon.

Vifter

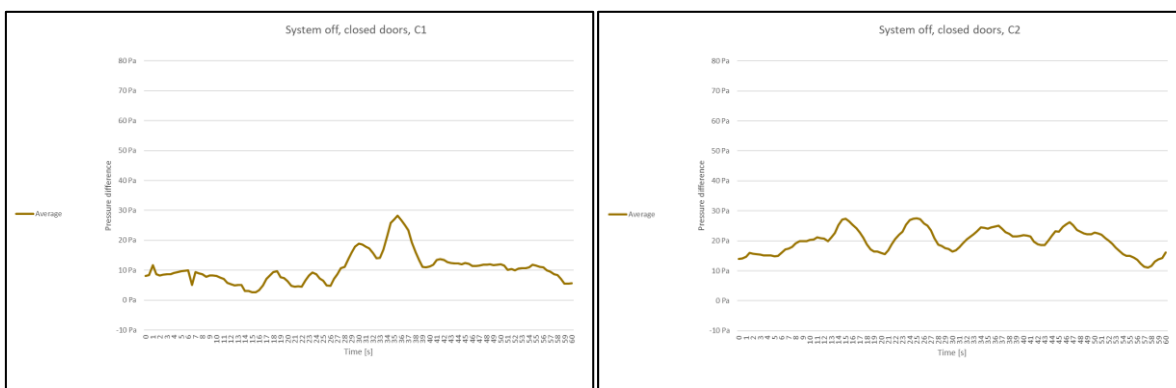
Viftene i trapperommene var i første etasje i C1, og andre etasje i C2. Disse hadde angivelig en kapasitet på hhv. 30.000 og 18.000 m³/h ved 50 Pa overtrykk, og regulerte mot trykkdifferansegivere plassert i et. 9. Trykkdifferansegivere benyttet utvendig referansepunkt på samme etasje, det fremkom ingen dokumentasjon på hvilket settpunkt disse var satt til.



Figur 75: Utforming av trapperommene og viftenes inntaksrister.
Fra venstre: Trapp C1, trapp C2, inntaksrist C2 og C1. Bildene tatt av Jonathan Lundblad 19/01/22

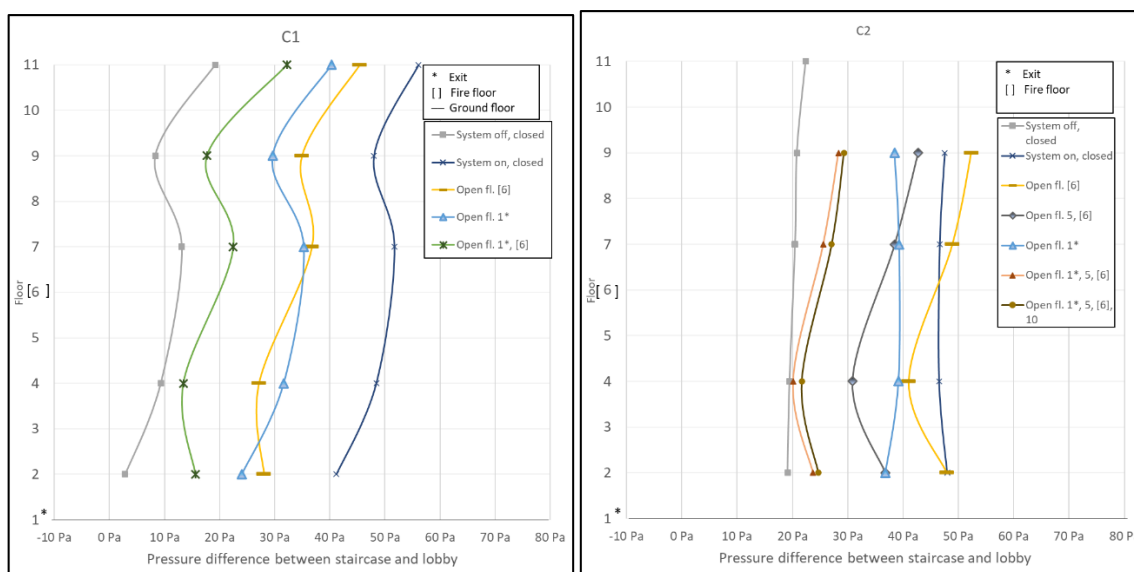
4.5.2 Trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom

Før testing påbegynte ble det målt en snitt vindstyrke på 7 m/s fra øst, med høyeste måling på på 9,6 m/s. Vindstyrken var observert som skiftende i styrke og retning. I Figur 76 viste grafene gjennomsnittlig trykk på de fem målte etasjene over en periode på 60s før systemet ble aktivert. Målingene viste store variasjoner i trykkdifferansen, med et spenn på 25 Pa og 16 Pa i hhv. C1 og C2 i måleperioden. Observasjonen ga antydning til at vindtrykket ga svingninger og tilskudd i trykkdifferansen mellom trapperommet og tilstøtende rom. Under resterende tester ble det observert at turtallet til viftene også regulerte ujevnt med alle dører lukket, noe som kan ha vært fra at viften ble påvirket av vinden eller at det statiske trykkreferansepunktet til trykkdifferansesiveren fikk påskudd av vinden. Vindhastighet ble ikke loggført parallelt med trykkdifferansemålingene, hvilket gjør det vanskelig å bevise en sammenheng mellom trykkdifferansen og vindhastigheten. Resterende tester viste også betydelige svingninger, som observert i de andre grafiske fremstillingene i Vedlegg CC og Vedlegg EE.



Figur 76: Gjennomsnittlig trykk i hhv. C1 og C2 før trykksetting ble aktivert.

De gjennomsnittlige verdiene i ulike scenarier, slik fremstilt i Figur 77, viste trykknivået på et gunstig nivå. Dette kan ha vært til hjelp av vindtrykket, da trykkdifferansen med systemet avskrudd lå på 10-20 Pa. Bygg C var også det første bygget som ble testet, og på grunn av manglende erfaring i testrutinen, skjedde også to nevneverdige avvik. I test av C1 ble ikke alle tidspunkter notert riktig, enkelte scenarier ble derfor ikke inkludert på grunn av høy usikkerhet. I C2 feilet hyllen i et. 11 hvor instrumentet var plassert, hvilket gjorde at ingen målinger ble foretatt i denne etasjen ved fleste scenarier.

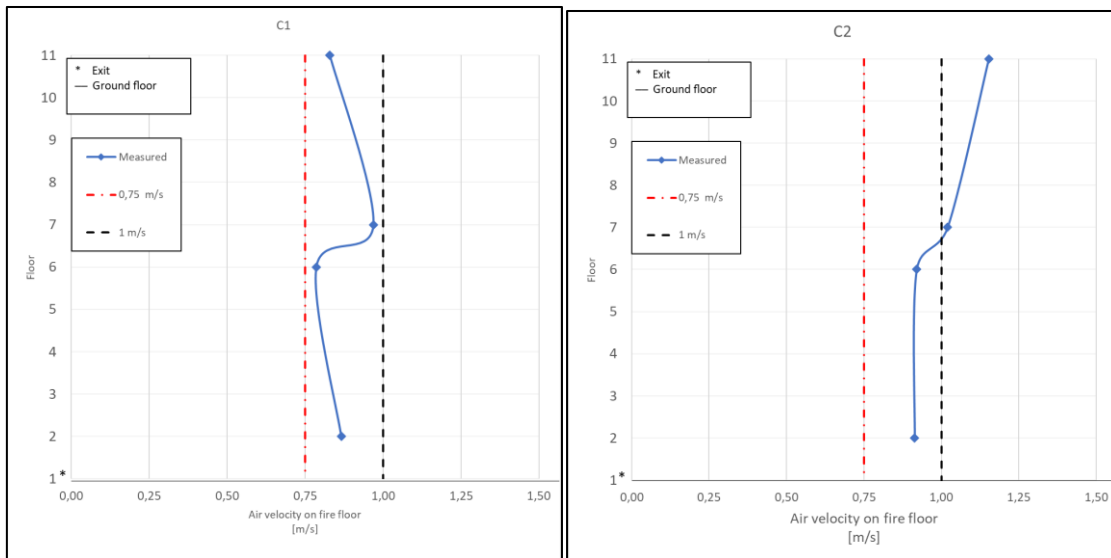


Figur 77: Trykkmålinger i ulike scenarier, bygg C

Responstester ble gjennomført som vist i Vedlegg CC og Vedlegg EE. Responstiden ble ikke kalkulert, da det ikke er beregnet øvre trykkgrense da alle dører var utstyrt med automatikk. Det ble funnet at endringen i gjennomsnittlig trykk før/etter døråpning var over $\pm 5\%$, hvilket sannsynligvis var forårsaket av svingningene fra vinden.

4.5.3 Røykfortregning ved brannetasje

Trykkavlastning i gangen var felles for begge de trykksatte trapperommene, og hadde en overflate på 1m². Spjeldene var tilknyttet egen sjakt på 0,5 m² som var ført videre over tak til egen luke som åpnet ved aktiveringen av trykksettingen, bilder av trykkavlastningen i Vedlegg AA. Lufthastighetsmålingene i Figur 78 viser at målte etasjer hadde lufthastigheter over 0,75 m/s, og i enkelte tilfeller over 1 m/s. Forskjellen i hastighetene mellom C1 og C2 kan være uventet, dette da begge trappeløpene hadde tilsvarende forutsetninger mht. trykkavlastningen, og spesielt ettersom C2 sannsynligvis hadde høyere vertikalt trykkfall på grunn av dens trangere konstruksjon og lysåpning. Årsaken kan ha vært at C2 hadde høyere trykk i trapperommet under hastighetsmålingene. Dette ble vist i tabellene «velocities» i Vedlegg BB og Vedlegg DD, hvor det ble målt snitt 35,2 Pa og 48,5 trykkdifferanse under hastighetsmålingene for hhv. C1 og C2. Årsaken til ulikhetene i trykk- og hastighet kan ha vært endrede forutsetninger på grunn av variable vindforhold.



Figur 78: Lufthastigheter målt i hhv. C1 og C2.

4.5.4 Tilgjengelighet til rømmingstrapper

Funksjonstesten av dørautomatikken begge trappeløp demonstrerte at de fleste døråpnerne opprettholdt funksjonalitet både med og uten trykksetting som sett i Figur 79, med kun et par unntak. Etter testen ble det oppdaget at trykkavlastningsspjeldet ikke hadde blitt stengt i C2 et. 6, dette kan ha økt trykkdifferansen over døren, og bidratt til at døren ikke lot seg åpne.

| Floor | C1: Test of automatic doors | | | | C2: Test of automatic doors | | | |
|-------|-----------------------------|---|-----------|---|-----------------------------|---|-----------|---|
| | System off | | System on | | System off | | System on | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 11 | V | V | V | V | V | V | V | V |
| 10 | V | V | X | X | V | V | V | V |
| 9 | V | V | V | V | V | V | V | V |
| 8 | V | V | V | V | V | V | V | V |
| 7 | V | V | V | V | X | V | V | V |
| 6 | V | V | V | V | V | V | X | X |
| 5 | V | V | V | V | V | V | V | V |
| 4 | V | V | V | V | V | V | V | V |
| 3 | V | V | V | V | V | V | V | V |
| 2 | V | V | V | V | V | V | V | V |
| 1 | | | | | | | | |

Figur 79: Funksjonstest av dørautomatikk i bygg C

4.5.5 Dokumentasjon og testing

I bygg C forelå det minimalt med dokumentasjon. Det var ingen notat eller beskrivelse av systemet og hvilke egenskaper det skulle ha, men behovet for trykksetting ble etablert i brannkonseptet. I brannkonseptet ble det fastsatt at mellomliggende rom skulle trykkavlastes, og at det skulle etableres luke i toppen av trapperommet som skulle åpnes manuelt fra inngangsplanet.

Byggteknisk rådgiver som hadde vært ansvarlig for prosjektering av trykksettingsystemet ble kontaktet for å undersøke om det forelå noen annen form for dokumentasjon. Det ble i den sammenheng etablert dimensjonert viftekapasitet, og regnearkene anvendt i prosessen. Regnearket benyttet forutsetninger fra HO-3/2000 og en 30 Pa settpunktsverdi.

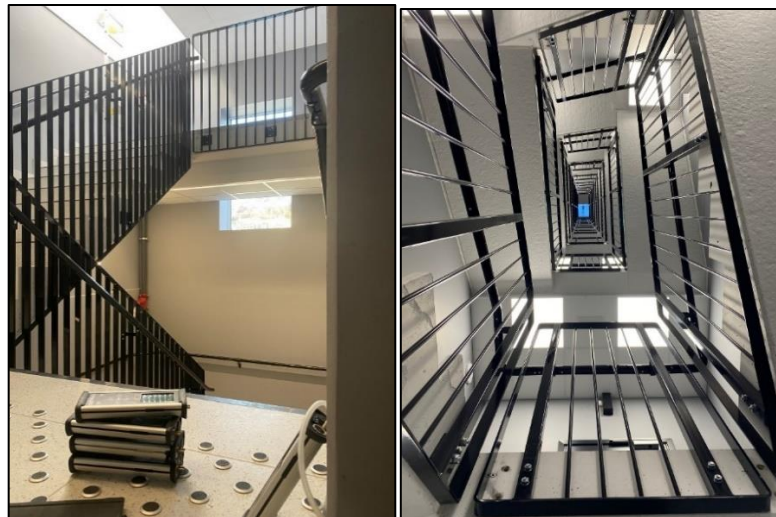
4.6 Felttest av bygg D

4.6.1 Systemløsninger

Generell systemoppbygning

Bygg D er et næringsbygg med parkeringsplass i kjelleretasjene, kantine/vrimleareal ved bakkeplan, og kontorer i resterende etasjer. Den var bygd med fire trykksatte trapperom, hvorav kun D2 er birømningstrapp med mekaniske dørpumper. To av trappene er utformet svært likt, helt spesifikt D3 og D4, kun D3 testet av de to.

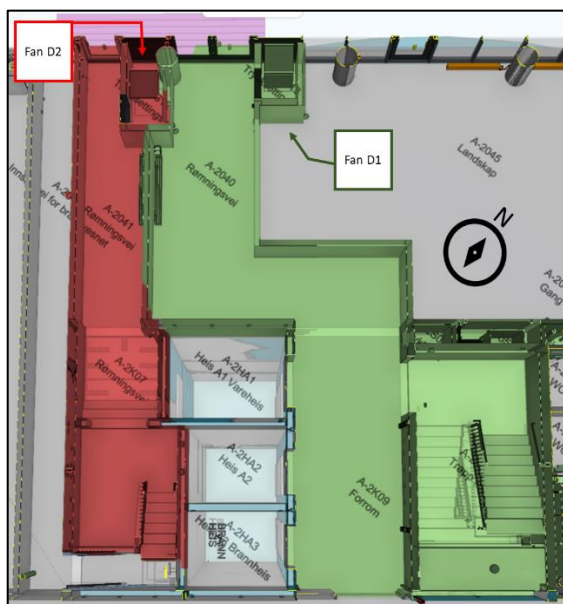
Samtlige av de fire trappene var plassert sentralt i bygget uten vegger mot fasade, D1, D2, og D4 hadde en korridor ut til fasade i et. 2 for å tilrettelegge for rømning til det fri, mens det i D3 var rømningsveien gjennom røykventilert atrium i første etasje. I både D1, D3 og D4 gikk trapperommet fra nederste kjelleretasje (et. -1 / U2) til øverste etasje i bygningsdelen de var plassert i, hvilket var henholdsvis et. 11 og 10. Trappløpet i disse to trappene var utformet likt med samme dimensjoner, kun bitrappen D2 skilte seg ut med et mindre trapperom og større lysåpning som avbildet i Figur 80. Plantegning av trappene vises i Vedlegg FF og Vedlegg GG.



Figur 80: Utformingen av trapp D1 (likt i D3 og D4) på venstre side, trapp D2 på høyre side. Bildene tatt av Jonathan Lundblad 20/04/22

Vifter.

Trapp D1, D3, og D4 var utstyrt to parallelle vifter med en samlet kapasitet på 36.000 m³/h ved 50 Pa overtrykk, mens det i D2 kun var utstyrt med én vifte på 18.000 m³/h. Alle fire trapperommene hadde trykkdifferansegivere høyt i trapperommet, med sensoren plassert i et. 9 i trapp D1 og D2, og i et. 8 og 7 i hhv. D3 og D4. Det var ikke mulig å observere trykkdifferansegiverens referansepunkt, men det ble vurdert at det sannsynligvis var hentet utvendig i samme etasje. I trapp D1 og D2 var plasseringen av viftene i direkte tilknytning til utgangsdørene. De var begge plassert i et eget rom med rister ut mot det fri og til korridoren. Viftene hadde avstand til selve trappesjakten, som sett i Figur 81. I D3 og D4 var viftene plassert i direkte tilknytning til trapperommet som sett i Vedlegg HH.



Figur 81: Viftenes posisjon i forhold til utgangsdørene, et. 2. Trykksatt område i D1 markert grønt, og D2 rødt.

Røykluker

Lukene på toppen av trapperommene åpnet samtidig som trykksettingsviftene ble aktivert, og ble observert i åpen tilstand fra stige i D1, på taket i D2, og på avstand ved øverste plan i D3. Alle tre lukene åpnet seg opp i samme åpningsgrad, men på grunn av dimensjonene til lukene i D1 var strømningsarealet her betydelig større. Åpningsgraden avbildet i Figur 82, og lukene til D1 i bakgrunnen av Figur 86.



Figur 82: Åpningen i røykluken på trapp D2, lukene i de to andre trapperommene hadde tilsvarende åpningsgrad. D2 og D3 hadde lik innvendig lukestørrelse på 1 x 1 m, men D1 var 1,2 x 2,4 m. Bildene tatt av Jonathan Lundblad 20/04/22

4.6.2 Trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom

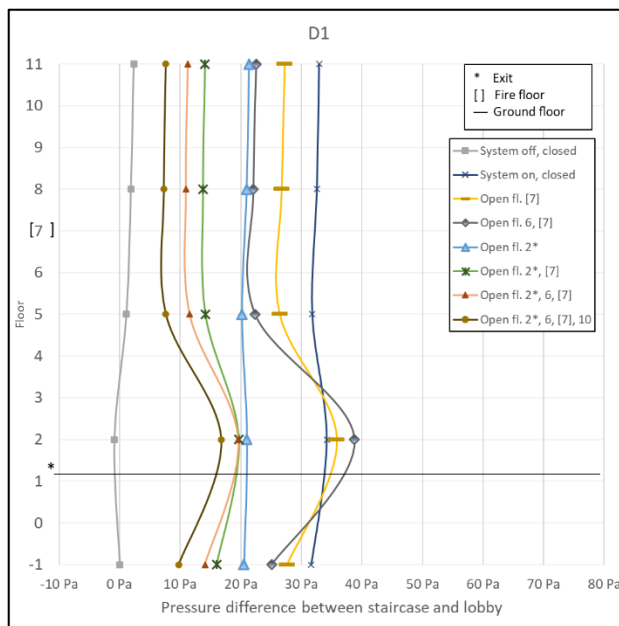
Basert på dokumentasjonen oppdrevet fra FDV-database var det innstilte trykksettpunktet på viftene 30 Pa, hvilket alle tre testede trapperom oppnår, dette med dører lukket og gjennomsnittet langs trappens høyde. Alle tre trapperom ble også funnet å gi god trykkrespons, og holdt trykkdifferansen relativt uendret etter åpning og lukking av dører.

Resultater fra målingene gjort i D1 vises i Figur 83. Her kan det observeres at etasjen hvor viften er plassert (et. 2) opplever en høyere trykk når brannetasjen er åpen. Dette kan være en konsekvens av at viftene regulerer mot en trykkdifferansegiver på et. 9, og at områder nærmere viften opplever økningen som konsekvens av viftens økte pådrag, hvilket kan sees i sammenheng med resultatene til A2 som gitt i 4.3.2. I dette tilfellet var ikke resultatet en utilsiktet trykkøkning som gikk utover tilgjengeligheten til trapperommet etter det forfatter erfarer, men slike utfall kan forekomme i andre scenarier som ikke ble testet hvor flere dører er åpne utenom utgangsdør.

Det var på forhånd en subjektiv oppfatning at viftens plassering, hvilket var i direkte nærhet av utgangsdøren som vist i Figur 81, kunne punktere trykket med døren åpen. Resultatet viser derimot at trapperommet opprettholder et nevneverdig trykkdifferanse på 20 Pa selv med utgangsdøren i full åpen stilling. Dette demonstrerte at denne vifteplasseringen i enkelte tilfeller kan fungere gunstig, men dette bør også sees i sammenheng med to mulige påvirkninger:

1. D1 hadde langt større luftmengdekapasitet sammenlignet med foregående tester av trapper i tilsvarende størrelse og utforming.
2. Vindretningen var funnet å være nordvestlig på bakkeplan, hvilket var samme retning utgangsdørene var rettet, hvilket kan ha bidratt i å opprettholde trykket med døren åpen.

Detaljerte måleverdier i Vedlegg II, trykkrespons og detaljerte grafer i Vedlegg JJ.



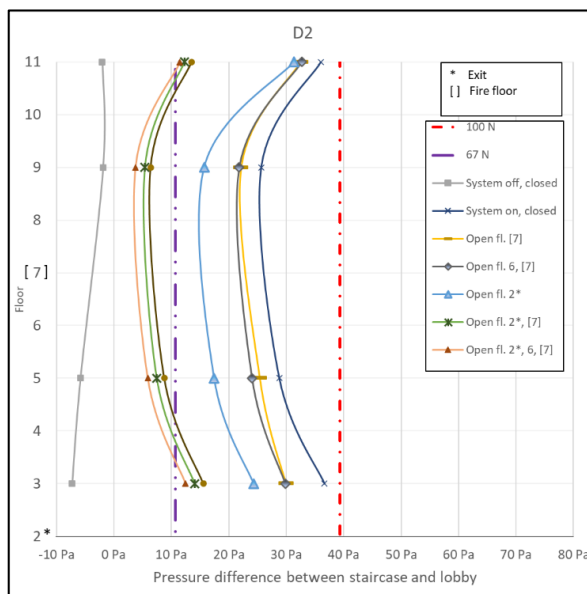
Figur 83: Trykkmålinger i ulike scenarier i D1

Med dørene lukket, selv med et snitt trykk over 30 Pa, var det noen etasjer i D2 som holdt et lavere trykk enn settpunkt ved de midtre etasjene. Dette gjaldt også etasjen hvor trykkdifferansegiver var plassert, hvilket kan gi indikasjon på at viften enten er på full kapasitet, eller trykkdifferansegiverens måleverdi var høyere enn det reelle trykket mellom trapperom og sluserom. Under testingen ble det observert at viften ikke gikk ved full kapasitet med dørene lukket, hvilket gjør det mer sannsynlig at trykkdifferansegiverens settpunkt var årsaken. Hvis minste trykkdifferanse skal være 30 Pa, bør settpunktet være høyere, dette for å kompensere for slike avvik.

Med brannetasjen og nærliggende etasje åpne, responderte viften forholdsvis godt, og opprettholder et trykk ved ~20 – 30 Pa. Også med utgangsdøren åpen opprettholdes et trykk på gjennomsnitt ~20 Pa tilsvarende

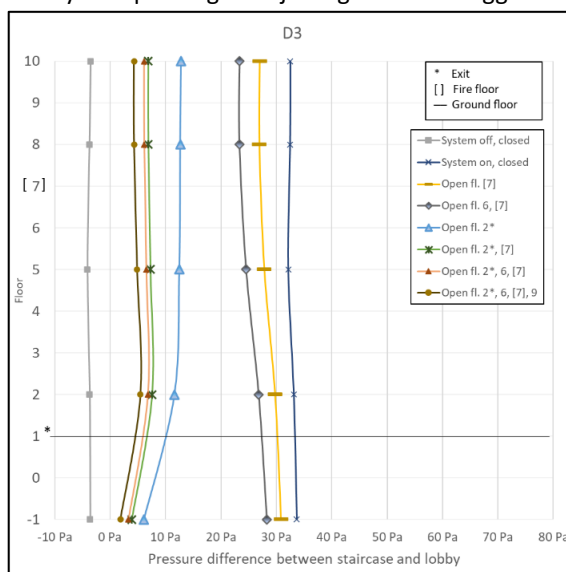
funnet i D1 ovenfor. Merk at D2 hadde tilsvarende plassering av viften som D1, men halvparten av dens viftekapasitet. I tillegg var vindretningen under denne testen sørvestlig, hvilket underbygger at vifteplasseringen faktisk var gunstig.

Et.7 ble også målt i tre av scenariene, men er ikke inkludert i Figur 84 da dette også var brannetasje og ville gi nullverdi i fleste scenarier. Resultatet fra disse scenariene ble vedlagt Vedlegg MM, hvor det kan observeres at et.7 hadde en trykkdifferanse høyere enn de andre etasjene. Årsaken til dette er sannsynligvis at trykkavlastningen var åpen i etasjen, som kan ha bidratt i å gi et negativt trykk i sluserommet fra skorsteinseffekt i trykkavlastningssjakten. Dette kan antyde, slik som i B1 i 0, at trykkdifferansen i brannetasjer ble høyere enn i øvrige etasjer. Detaljert måledata vist i Vedlegg KK, trykkrespons og detaljerte grafer i Vedlegg LL.



Figur 84: Trykkmålinger i ulike scenarier i D2

I D3 ble det funnet tilsvarende resultater som i de to foregående trapperommene, hvor trykkdifferansen ble funnet tilfredsstillende når dørene var lukket. Trykket ble også opprettholdt med brannetasje og nærliggende etasje åpne. Trapp D3 var av tilsvarende størrelse og hadde samme viftekapasitet som D1, men viften var plassert inne i trapperommet i et. 3. Sammenlignet med D1 og D2 ble trykket mindre når utgangsdøren var åpen, hvilket igjen kan indikere at viften opprettholder trykket bedre ved nærhet til utgangsdøren. Dette funnet må også bli sett i sammenheng med vindretningen, som i dette tilfellet ikke var i viftens favør, da utgangsdøren var plassert på lesiden av en svak vind fra sørøst. Detaljert data på målinger og værobservasjoner i Vedlegg NN. Trykkrespons og detaljerte grafer i Vedlegg OO.



Figur 85: Trykkmålinger i ulike scenarier i D3

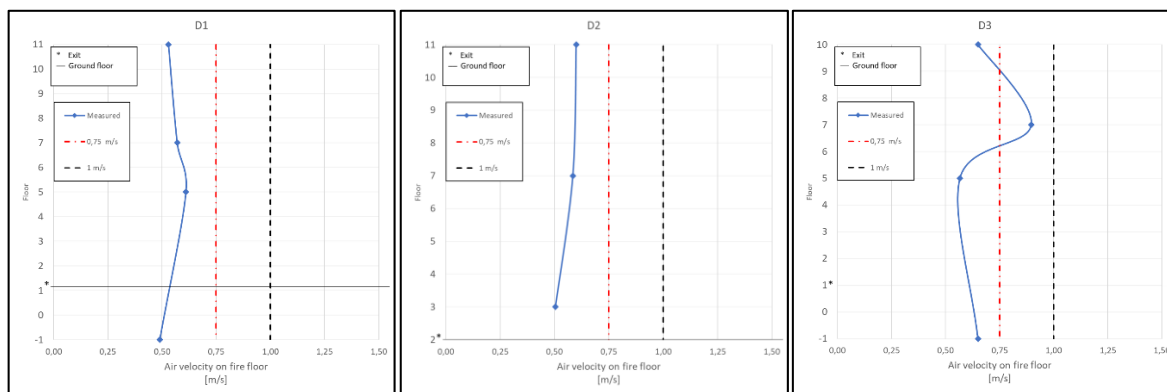
4.6.3 Røykfortregning ved brannetasje

Alle tre undersøkte trapperom hadde i mellomliggende rom trykkavlastningssjeld på $0,5 \text{ m}^2$, som også var tilknyttet sjakter på $0,5 \text{ m}^2$, bilder av sjeld gitt i Vedlegg HH. Enkelte trykkavlastningssjakter, spesielt D2 og D3, hadde kanalutforming som kunne påvirke lufthastigheten negativt. Skjermbilder fra sammenstillingsmodellen ble hentet for å vise dette i Vedlegg PP. På toppen av trykkavlastningssjaktene var det ikke røykluke som i bygg A, B, og C, sjakten gikk istedenfor ut i med to rister på hver side som vist i Figur 86.



Figur 86: Trykkavlastningssjaktene var avsluttet med to rister, på $0,35 \text{ m} \times 1 \text{ m}$
Tegninger viste ingen sjeld eller mekanismer bak ristene. Bildene tatt av Jonathan Lundblad 20/04/22

Lufthastighetene i samtlige målte etasjer ble funnet å være under $0,75 \text{ m/s}$ med unntak av én etasje i D3 som vist i Figur 87. Dette var til tross for at trykkdifferansen var mellom $23 - 30 \text{ Pa}$ under målingene, og dimensjonene til trykkavlastningen i tråd med spesifikasjonene gitt i HO-3/2000. Ugunstig utforming av trykkavlastningssjaktene hadde tilsynelatende lite påvirkning, ettersom lufthastigheten i D3 så ut til å være høyere i kjeller. I D2 var også lufthastighetene sammenlignbare med de andre trappene, hvilket kan antyde at den trange sjakten likevel ikke påvirket hastigheten negativt, men dette kan også ha vært kompensert av høyere trykk med dørene var åpne. En mulig årsak til de lave hastighetene, kan være et begrenset strømningsareal og utilsiktet trykkfall over ristene vist i Figur 86.

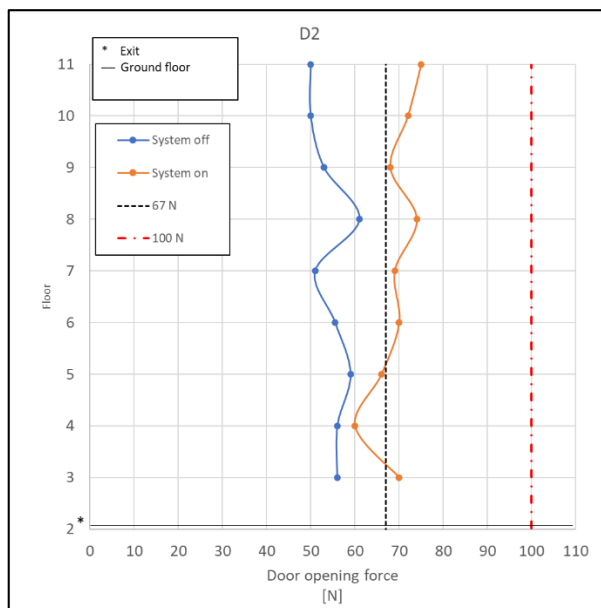


Figur 87: Lufthastighetsmålinger i trapperommene.

4.6.4 Tilgjengelighet til rømningsstrapper

I trapp D1 og D3, hvor samtlige dører hadde dørautomatikk med UPS, var det funnet at dørautomatikken fungerte med og uten trykksetting aktivert som vist i hhv. Vedlegg II og Vedlegg NN. Trapp D2 var uten dørautomatikk, og selv om beregnet døråpningskraft indikerte at døråpningskraften i alle tilfeller ville overgå 67 N, viser målingene i Figur 88 at flere etasjer befinner seg innen preakseptert ytelse i TEK17 når trykksettingen var aktiv, den største døråpningskraften i et. 8 ble målt på 76 N. Bygg D ble ikke bygd etter TEK17, men TEK10, hvor det ikke eksisterte en øvre grense på døråpningskraft i alternativ rømningsvei.

Alle trykkavlastninger under målingen var lukket per den etablerte metoden, hvilket kan bety at døråpningskraften ved brannetasje kan bli høyere enn dette, dette med hensyn til målt trykk ved brannetasje nevnt ovenfor i 4.6.2.



Figur 88: Målt døråpningskraft i D2

4.6.5 Dokumentasjon og testing

I bygg D forelå heller ingen beskrivelse av trykksettingsanlegget, men noe informasjon lot seg oppdrive i FDV-databasen, blant annet viftenes kapasitet. Det ble også funnet dimensjoneringsgrunnlag for vifte- og lukestørrelser hvor HO-3/2000 ble brukt som beregningsgrunnlag med 30 Pa dimensjonerende trykk. I tillegg var det i brannkonseptet definert at trykksatte trapperom skulle trykkesettes, og at disse skulle ha sluserom med trykkavlastning på 0,5 m² og tilhørende sjakt på samme areal.

Testdokumentasjon ble oppdrevet som viste at systemene i alle fire trykksatte trapperom ble testet under årlig kontroll senest 30/01/22 og funnet ok. Testdokumentasjonen ga ingen informasjon om hvordan det ble testet, eller hvorvidt noen form for målinger hadde blitt gjennomført.

4.7 Oppsummering av funn

4.7.1 Generell systemoppbygning

I de befarte og testede byggene var det fellestrekk: De var alle trykksatt ved bruk av aksialvifte som var turtallsregulert mot et trykksattpunkt, dette ved bruk av trykkdifferanse giver inne i trapperommet med utendørs referansepunkt. Kun ett av de 22 befarte trykksatte trapperommene hadde vertikal luftdistribusjon slik NS-EN 12101-serien beskriver, resterende hadde kun ett injeksjonspunkt. Av trapperommene med ett injeksjonspunkt, hadde kun tre av trapperommene viften montert i toppen av trapperommet, resterende systemer hadde vifte på eller ved bakkeplan. I tilgjengeliggjort dokumentasjon var temaveiledningen HO-3/2000 anvendt til prosjekteringsunderlag i de fleste byggene, inkludert de prosjektert etter denne ble utdatert.

Røykluker ble funnet brukt i varierende grad. De aller fleste bygg hadde en form for luke øverst i trapperommet, med unntak av X1, X2, og X4. Lukene ble anvendt på ulike måter, i noen av byggene åpnet lukene så snart viftene ble satt i drift, i andre bygg ble de kun åpnet ved røykdeteksjon og/eller manuell aktivering. Et lekkasjeareal som gir gjennomlufting har i tidligere studier blitt funnet å forbedre viftens regulering [70, 74]. I systemene ved bygg B og D, hvor luken ble åpnet under normal trykksetting, var åpningsgraden relativ liten. Det ble målt en 4 cm åpning på høyeste punkt i begge byggene, eller ca. $\sim 2^\circ$. Dette resulterte i et ekstra lekkasjeareal på 0,08 m² i lukene på 1 x 1 m. Ved 50 Pa trykkdifferanse utgjør dette en volummengde på 1700 m³/h per Formel 11, til sammenligning foreslår NS-EN 12101-13:2022 Minst 7500 m³/h gjennomspyling.

Formel 11: Beregning av luftlekkasje ved 50 Pa overtrykk (Formel 1)

$$Q_{\text{åpning}} = C_v \cdot A_{\text{åpning}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (\Delta p)^{\frac{1}{R}}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

$$Q_{\text{åpning}} = 0,65 \cdot 0,08 \cdot \sqrt{\frac{2}{1,2} \cdot (50)^{\frac{1}{2}}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

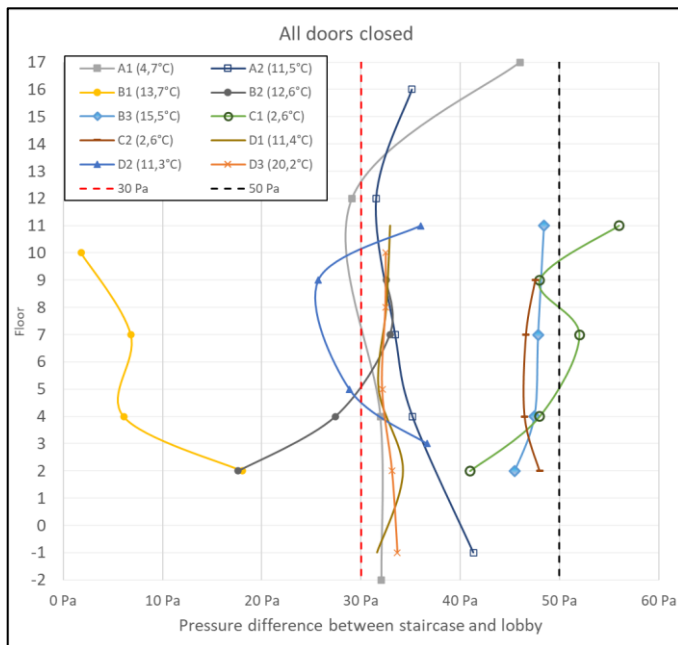
$$Q_{\text{åpning}} = 0,47 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = 1708,89 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

I flere av trapperommene var det funnet dokumentasjon som beskrev at trykksettingsviftene skulle aktiveres ved deteksjon inne i trappen. Dette kan muligens gi negative konsekvenser. Brannen kan intensifieres av lufttilførselen og røyk bli spredd til andre rom med hjelp av lufttrykket. Mest kritisk var trapperom X2 og X4 som heller ikke hadde noen form før røykluke, i disse systemene var det ingen form for utløp til det fri, slik at røyk kan spres til oppholdsrommene med tilført luft. I disse tilfellene kan trykksetting angivelig gjøre vondt verre [75].

Et annet moment tilknyttet systemenes aktivering var at flere systemer var rigget for å *kun* aktivere ved røykdeteksjon i sluserommet. Feltestene viste at systemene brukte mellom 7 og 20 sekunder på å oppnå snittrykk over 30 Pa fra aktiveringstidspunkt. Det kan med en slik triggering være risiko for at røyk når trapperommet før systemet blir operativt. Hovedfunksjonen til trykksatte trapperom er normalt å holde trappene røykfrie ved å hindre røyken spres inn i trapperommet, i motsetning til normal røykventilasjon, hvor formålet er å fjerne røyken etter det har kommet til et område. Både veiledning til TEK17 og TEK10 spesifiserer at «Trykksetting skal forhindre at røyk trenger inn i trapperommet» [5]. Det bør derfor vurderes om å heller aktivere trykksetting på røykdeteksjon generelt i bygget og ikke bare i slusen, men med unntak hvis røyk først er detektert i trapperom. Branninspektør ved Brann og redningsetaten i Oslo mente også dette vil være en bedre løsning for rømningssikkerheten, og mente det ikke ville være logisk å aktivere trykksetting ved deteksjon inne i det trykksatte område (Vedlegg SS)

4.7.2 Trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom.

Målt trykkdifferanse, ved stabil drift og alle dører lukket, ble funnet å være over 30 Pa i nesten samtlige trapperom, som sett i Figur 89. Det ble funnet noen svakheter og/eller feil ved to av trapperommene, B1 og B2, som sannsynligvis gjorde at trykkverdi ikke ble nådd. I B1 var det tegn til at trykkdifferansen ble overholdt hvis trykkavlastning var åpen, som betyr at trykk-kriteriet likevel ble opprettholdt over 30 Pa etter NS-EN 12101-seriens definisjon. Oppsummert var det altså kun ett av de ti trapperommene som entydig ikke tilfredsstilte trykk-kriteriet, dette antyder at utformingen av de trykksatte trapperommene tilrettela god trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom på generell basis, dette med hensyn til kriterier i temaveilederen og den nye standarden.



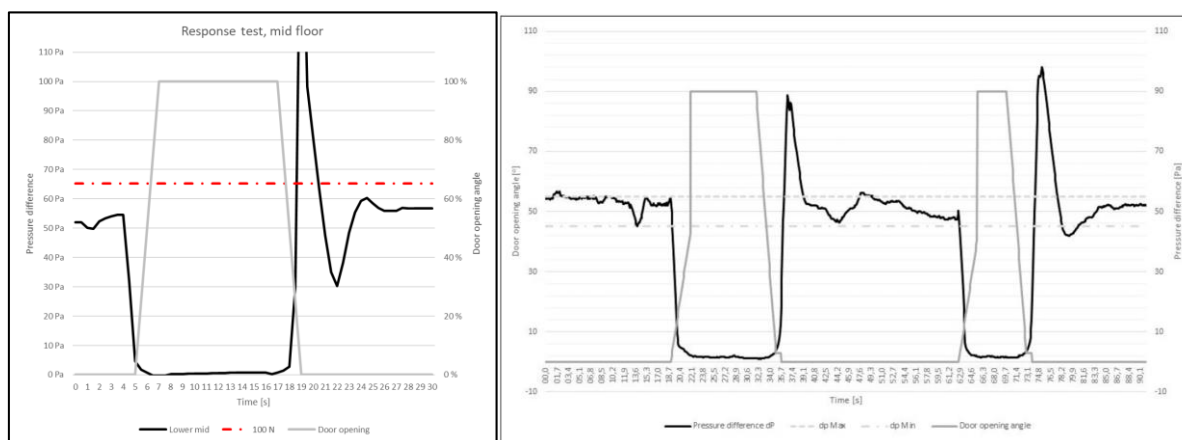
Figur 89: Trykkdifferanse med systemet aktivt og alle dører lukket, en sammenligning av de ulike trapperommene. Utvendig temperatur i parentes

I flere av systemene ble det også oppnådd trykkdifferanser over 10 Pa ved flere av rømningsscenariene definert i erstattede standarden NS-EN 12101-6:2005 som vist i Figur 90. Disse funnene har ikke betydelig relevans etter at standarden ble erstattet, men det tydet likevel på at kapasiteten i flere av systemene var tilstrekkelig og at anlegget regulerte etter endrede forutsetninger. Det demonstrerte også at nevneverdig trykkforhold kunne opprettholdes selv når viften var lokalisert rett ved en åpen utgangsdør.

| | ΔP average, all measured floors [Pa] | | | | | | | | | |
|------------|--------------------------------------|------|------------|------|------|------------|------|------------|------|------|
| | Building A | | Building B | | | Building C | | Building D | | |
| | A1 | A2 | B1 | B2 | B3 | C1 | C2 | D1 | D2 | D3 |
| Fire floor | 34,4 | 60,7 | 4,5 | 13,1 | 28,0 | 34,4 | 47,5 | 28,8 | 23,0 | 28,5 |
| Class C | 15,7 | 25,2 | 2,0 | 6,7 | 13,0 | 32,2 | 38,4 | 20,8 | 23,3 | 11,1 |
| Class D | 9,6 | 13,8 | 1,6 | 5,2 | 4,8 | 20,3 | 24,4 | 15,5 | 7,8 | 6,5 |
| Class E | 10,6 | 12,1 | 1,7 | 5,7 | 4,4 | 23,9 | 24,4 | 13,5 | 6,7 | 5,8 |

Figur 90: Oppnådd trykk med dører åpne i ulike klasser fra NS-EN 12101-6:2005 (Tabell 1) Blå celler viser hvilke trapperom som overholdt 10 Pa-kriteriet ±10%

I alle felttestene ble det også funnet at anleggene regulerte raskt, ingen dynamisk responstid over 5 sekunder ble avdekket. I studiene gjennomført av M. Fryda et al. [70, 74] var det foreslått løsninger som skulle forbedre responstid. Resultatene fra feltundersøkelsene ovenfor viste responstid tilsynelatende kortere enn deres raskeste responstest i flere tilfeller, en sammenligning med B3 gitt i Figur 91. Men det ble dog funnet langt større høyere svingninger, men dette innenfor NS-EN 12101-13:2022 definerte 5 sekunders intervall [6].

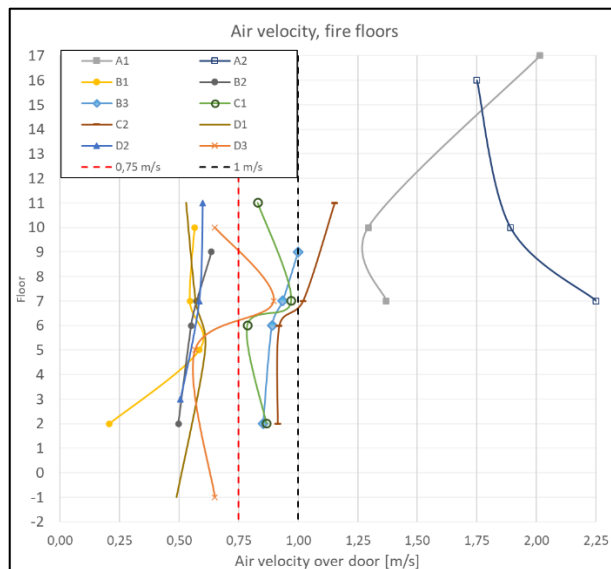


Figur 91: Sammenligning med responstest midt i B3 på venstre side, og «Test 5» hentet fra [74]

I tillegg var det kun ett bygg hvor det ble funnet avvik mer enn 5% før/etter responstester, hvilket var i bygg C, som sannsynligvis ble sterkt påvirket av de variable vindforhold. Dette var det eneste bygget som ble testet under nevneverdig vindforhold, men de store svingningene vitner om et system som kanskje var sensitiv for vind. Dette kan ha vært på grunn av forhold som er unike for akkurat dette bygget, men det vitner likevel om at det bør tas ekstra hensyn til vind ved prosjektering og utførelse. Under felttestene ved Bygg C var vindretningen på losiden av trappene, hvilket kan ha en forsterkende effekt, en tilsvarende negativ effekt kan potensielt oppstå som vist i [44].

4.7.3 Røykfortregningsevne ved brannetasje

Målt lufthastighet ved brannetasje varierte mellom testene. I halvparten av de testede systemene ble det funnet lufthastighet under 0,7 m/s ved flere etasjer, hvilket er lavere enn minsthastigheten gitt i anvisningen. Kun bygg A hadde lufthastigheter over 1 m/s i alle målte etasjer, men med dører som hindret strømningsveien tvungen åpne. En sammenligning av alle testede trapperom ble gitt i Figur 92. Som nevnt i 3.3.3 var det ikke mulig å måle negative lufthastigheter med tilgjengelige instrumenter, dette betyr at målingene kan ha blitt høyere enn reel hastighet.



Figur 92: Målte lufthastigheter ved etasjer med trykkavlastning åpent.
Merk at bygg A hadde hindringer foran trykkavlastning som var tvungne åpent ved testen.

Løsningen for trykkavlastning var også variabel blant undersøkte bygg. Tre bygg hadde en eller flere etasjer med trykkavlastning i fasade, dette kun ved en side av byggene, og i enkelte tilfeller trolig vindutsatt. Vinden kan hindre eller hemme trykkavlastningen hvis vindhastighet og -retning blir ugunstig. Dansk metode krever at trykkavlastning ved fasade skal være ved en vind-uavhengig flate eller ved at to vinduer 180 grader fra hverandre åpnes [57].

Kun ett bygg hadde aktiv trykkavlastning med røykvifte, noe som har blitt funnet å øke trykkdifferansen nevneverdig ved brannetasje, hvilket kan åpne døråpningskraft [45]. Totalt hadde syv av de ni byggene passiv trykkavlastning via egen trykkavlastningssjakt i en eller flere etasjer. Normalt klarte byggene med passiv trykkavlastningssjakt å overholde 0,75 m/s gitt at målt trykk var over 30 Pa, men dette gjaldt ikke bygg D. Det var mulig bygg D skilte seg ut fordi utløpet fra trykkavlastningssjakten gikk via rist som reduserte strømningsarealet, dette kan ha bidratt i å øke trykkfallet og redusere lufthastigheten. I de tre byggene hvor det var anvendt trykkavlastning i fasade, ble det funnet at det ved to bygg, X4 og A, kunne gi utilsiktede forhold ved ugunstige vindforhold.

Bygg B, A, og X5 hadde trykkavlastning, men også installasjoner som delvis eller fullstendig sperret strømningsveien. En hindring mellom trapperommet og trykkavlastningen vil gjøre at motstrømmeffekten opphører, hvilket vil hemme en av de sentrale egenskapene i trykksatte trapperom. I A og X5 var også trykkavlastningen plassert utenfor mellomliggende rom, noe som strider med veiledningen i TEK17 og TEK10, dette var ikke funnet fraviksdokumentert. X1 og X2 manglet trykkavlastning fullstendig, men her ble ikke dokumentasjon tilgjengeliggjort, så det forble ukjent om dette var kompensert og fraviksdokumentert.

I de testede byggene var det gjort lufthastighetsmålinger i flere scenarier. Scenariene var basert på kriterier gitt i Tabell 1 med både ny og gammel NS-EN 12101- standard, samt HO-3 med to dører åpne. Temaveiledningen ga ikke spesifikasjoner på hvilke to dører som var tenkt åpne, og hvorvidt trykkavlastning skal være åpen i en eller begge etasjer, det ble derfor åpnet to dører hvor kun ett var med trykkavlastning åpen. Anvisningen gir ikke spesifikasjoner på antall åpne dører, men henviser til temaveiledningen dimensjonerende beregninger.

I Figur 93 ble resultatet av disse målingene i systemene vist, hvor det var funnet at bare A2 klarte minstekravene gitt på lufthastigheten for klasse D og E i NS-EN 12101-6:2005. Hvilke klasser systemene tilfredsstilte var ikke lenger av særlig relevans etter denne standarden ble erstattet, men ga innsikt på hvilke egenskaper systemene hadde forbi minstekravene. Målingene viste i tillegg lav lufthastighet i etasjene hvor trykkavlastningen ikke var åpnet, og ga antydning til at trykkavlastningen var nødvendig for at nevneverdig motstrøm skulle bli oppnådd.

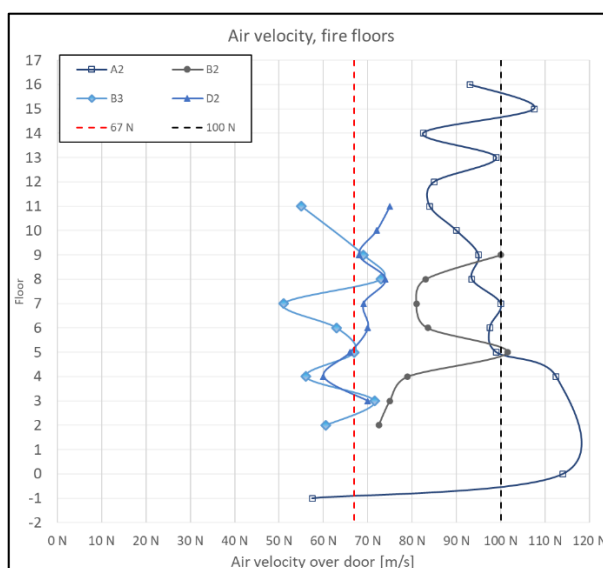
| Class | Doors open | Floor measured | Air velocity over open door [m/s] | | | | | | | | | |
|---|--|----------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | A1 | A2 | B1 | B2 | B3 | C1 | C2 | D1 | D2 | D3 |
| A and C (-6:2005) Class 1 (-13:2022) | Open fire floor | Fire floor | 1,29 | 1,89 | 0,59 | 0,58 | 0,89 | 0,79 | 0,92 | 0,57 | 0,59 | 0,90 |
| Class D | Open exit door and fire floor | Fire floor | 0,66 | 0,86 | 0,34 | 0,37 | 0,38 | 0,68 | | 0,35 | 0,18 | 0,37 |
| Class E | Open exit door, fire floor, beneath fire floor | Fire floor | 0,62 | 0,80 | 0,35 | 0,39 | 0,43 | 0,52 | 0,72 | 0,30 | 0,20 | 0,36 |
| | | Beneath FF. | 0,13 | 0,15 | 0,06 | 0,14 | 0,15 | 0,20 | 0,30 | 0,19 | 0,08 | 0,11 |
| Temaveiledning HO-3/2000 | Open fire floor, beneath fire floor | Fire floor | 1,26 | 1,69 | 0,46 | 0,55 | 0,83 | 0,75 | 0,88 | 0,51 | 0,26 | 0,75 |
| | | Beneath FF. | 0,27 | 0,37 | 0,10 | 0,12 | 0,22 | 0,23 | 0,31 | 0,29 | 0,07 | 0,19 |

Figur 93: Målt lufthastighet i ulike scenarier.

Klassene definert i NS-EN 12101-serien og dimensjonerende lufthastighetskriteriet i temaveiledningen. Mørk grønn for lufthastigheter over 1 m/s, lys grønn over 0,75 m/s, rødt under 0,75 m/s.

4.7.4 Tilgjengeligheten til rømningstrapp

Tre av de testede trapperommene hadde mekaniske dørlukkere hvor døråpningskraft ble målt. I Figur 94 viste døråpningskraften med trykksettingen aktiv. Alle trappene hadde minst fire dører som oversteg preakseptert ytelse i TEK17 på 67 N. Spesielt A2 så ut til å ha store utfordringer med krefter større enn 100 N, som var maksimumsverdi i temaveilederen og standardene. I tillegg hadde dette systemet målt overtrykk på 120 Pa med åpen dør i brannetasje, hvilket resulterte i en beregnet døråpningskraft på 175 N. Bygg D var utformet etter TEK10 uten preakseptert ytelse om døråpningskraft i alternativ rømningsvei, og var ikke i strid med forskriften.



Figur 94: Døråpningskraft i trapper med mekaniske dørlukkere, trykksetting aktivert.

De fleste testede trapperom hadde dørautomatikk med UPS, dette på grunn av VTEK17 ytelsen med maks 30 N døråpningskraft i hovedrømningsvei. Det ble likevel funnet at noen av dørene ikke lot seg åpne med trykksettingen aktiv, spesielt trapp A1 som vist i Figur 95. De andre byggene hadde dørautomatikk som fungerte som forutsatt, med unntak av to dører i bygg C. Dette demonstrerte at dørautomatikk må tilpasses med hensyn til aktiv trykksetting.

| Test of automatic doors, system on | | | | | | |
|------------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Floor | A1 | B1 | C1 | C2 | D1 | D3 |
| 17 | X | | | | | |
| 16 | ✓ | | | | | |
| 15 | X | | | | | |
| 14 | ✓ | | | | | |
| 13 | X | | | | | |
| 12 | X | | | | | |
| 11 | - | | | | | |
| 10 | X | ✓ | X | ✓ | ✓ | ✓ |
| 9 | - | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 8 | - | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 7 | X | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 6 | - | ✓ | ✓ | X | ✓ | ✓ |
| 5 | - | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 4 | X | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 3 | - | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 2 | - | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 1 | | | | | | |
| 0 | ✓ | | | | ✓ | ✓ |
| -1 | X | | | | ✓ | ✓ |

Figur 95: Funksjonstester av dørautomatikk med aktiv trykksetting. Grønnmerkede åpnet ved ett eller to forsøk, rødmerkede feilet ved begge forsøk, gule celler ble ikke testet. Celler med diagonal strek skulle ikke bli testet.

Det ble også funnet at utgangsdørene som gikk ut til det fri ikke lukket av seg selv når trykksettingsviften var aktiv, dørene var utstyrt med dørlukkere, men de klarte ikke å lukke dørene mot trykket. Hvis utgangsdører ikke lukkes automatisk når systemet er aktivt, burde systemet dimensjoneres med hensyn til denne ekstra luftlekkasjen, slik som også NS-EN 12101-13:2022 anbefaler.

Overnevnte resultater bør også sees i sammenheng med at trykkavlastning *ikke* var åpen ved de fleste testene av døråpningskraft og dørautomatikk. Med trykkavlastning åpen i brannetasje, kan døråpningskraften øke som resultat av den økt trykkdifferanse fra mulig negativt trykk i trykkavlastningssjakten. Døråpningskraften kan derfor bli større i en etasje utsatt for brann enn det resultatene tilsier.

4.7.5 Dokumentasjon- og testrutine

I de testede byggene ble det gitt tilgang til FDV-dokumentasjon, hvor det blant annet ble funnet at samtlige hadde tilrettelagt årlig testing og service. I tillegg hadde det blitt gjennomført fullskalatest ved anleggenes ferdigstillelse. Men ut ifra erfaringer gjort under to befaringer, samt uttalelser fra personer som gjennomførte slike tester, ble *målinger* sjelden eller aldri blir gjort. Dette betyr at systemenes sentrale parametere kanskje aldri sjekkes gjennom dets levetid, noe som antyder at man kanskje ikke vet hvilke ytelser enkelte trykksatte trapperom faktisk har. Testing har i litteratur blitt antydnet som sentralt for funksjonelle trykksettingssystemer [76] [77].

Dokumentasjonen ble også vurdert som manglende eller mangelfull i de fleste tilfeller. Kun bygg A hadde et eget notat som beskrev hvordan systemet var utformet og hvilke ytelser det skulle ha. Men både dette notatet, samt andre bygg hvor systemet ble beskrevet i brannkonseptet, fantes avvik mellom beskrevet ytelse og de faktiske forholdene.

4.7.6 Overblikk

I alle byggene som ble undersøkt, var det ingen av de 22 systemene som hadde blitt utformet i tråd med NS-EN 12101-6:2005. Temaveiledning HO-3/2000 ble fremdeles anvendt som prosjekteringsgrunnlag for trykksatte trapperom i Norge, dette til tross for denne veilederen var gyldig før 2010 og ikke lenger å jour med dagens byggeregler [8]. Likevel ble heller ikke ytelsene i temaveiledningen alltid oppnådd.

To av de fire byggene testet ble funnet å ikke oppnå sentrale parametere definert i temaveiledningen, som sett i Figur 96. Systemer i bygg A og D ga lufthastighet mindre enn minimumsverdi, og utfordringer med å oppnå trykksettpunktene ble avdekket i bygg B. I tillegg var det det flere dører som ikke overholdt preakseptert ytelse i TEK17 om døråpningskraft mens trykksettingen var aktivert, hvilket antyder at dørmiljø ikke var tilstrekkelig hensyntatt under prosjektering av systemene. I alle de testede bygningene, unntatt bygg C, ble det funnet feil eller svakheter som fullstendig hemmet en eller flere av de tre egenskapene i trykksatte trapperom definert i 2.1.1. Det bør bemerkes at disse byggene angivelig hadde bestått både fullskalatest og årlige service tilsynelatende uten at feilene ble oppdaget. Uttalelser fra utførende av rutinetester ga antydning til at målinger, på generell basis, ikke gjøres. Dette kan bety at langt flere norske høyhus har trykksatte trapperom med mangler som forblir uoppdaget, da målinger normalt ikke blir foretatt.

Det ble også funnet to bygninger bygd etter TEK10 og TEK17 (X5 og A) som avviket fra veiledning til teknisk forskrift, hvor det spesifiseres at mellomliggende rom til trykksatt trapp skal trykkavlastet. I brannkonseptene sto det likevel at mellomliggende rom var trykkavlastet, men dette stemte ikke med de faktiske forholdene, ingen fraviksdokumentasjon begrunnet avvikene. To andre bygg (X1 og X2) ble også funnet uten trykkavlastning i mellomliggende rom, men uten tilgang til dokumentasjon og brannkonsept kunne man ikke trekke konklusjoner om den helhetlige sikkerheten var ivaretatt på andre måter.

Det ble imidlertid også funnet noen gode egenskaper i systemløsningene. Selv uten vertikal luftdistribusjon som NS-EN 12101-serien krever, klarte alle utenom ett system å oppnå nokså jevnt trykk over etasjene ved samtlige scenarier. Det ble også funnet at den dynamiske responstiden i systemene var godt innenfor kravene i den nye standarden. I tillegg var det ingen tilfeller hvor skorsteinseffekten ga utilsiktet høyt trykk i toppen av trappen, dette kan ha vært bidratt av milde utetemperatur under testene.

| | Applied building code | Staircase | Avg. Pressure [Pa] | Avg. Air velocity [m/s] | Air release in lobby | Door opener | Documentation describing system |
|------------|-----------------------|-----------|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Building A | TEK17 | A1 | 35 | 1,56 | No | Automatic, failed | Provided, but faulty |
| | | A2 | 35 | 1,96 | No | Manual, $F_0 > 67$ N | |
| Building B | TEK17 | B1 | 9 * | 0,53 | Yes** | Automatic, functional | Severely limited |
| | | B2 | 28 | 0,57 | Yes | Manual $F_0 > 67$ N | |
| | | B3 | 47 | 0,92 | Yes | Manual, $F_0 > 67$ N | |
| Building C | TEK17 | C1 | 49 | 0,86 | Yes | Automatic, functional | None |
| | | C2 | 47 | 1,00 | Yes | Automatic, functional | |
| Building D | TEK10 | D1 | 33 | 0,55 | Yes | Automatic, functional | Severely limited |
| | | D2 | 32 | 0,56 | Yes | Manual $F_0 < 100$ N *** | |
| | | D3 | 33 | 0,69 | Yes | Automatic, functional | |

Figur 96: Snittverdier av målte parametere sammenlignet med minstekrav i temaveiledningen, og døråpningskraften etter i byggteknisk forskrift med systemet aktivt.

* Trykket i B1 ble kunne ikke konkluderes som avvik

** Hindring foran trykkavlastning i sluse, spjeld åpnet ikke på signal.

*** 67 N ytelse gjaldt ikke TEK10

5 Konklusjon

5.1 Svar på problemstilling

Det har kommet en ny Europeisk standard på trykksatte trapperom. I Norge benyttes en byggeskikk basert på utdatert grunnlag. Fungerer trykksatte trapperom i Norge tilfredsstillende, og bør norsk praksis nå gå over til nyere Europeisk standard?

For å besvare problemstillingen har forfatter gjennomgått forskrifter og litteratur, mottatt innspill fra aktuelle fagpersoner, undersøkt nyere norske høyhus med trykksatte trapperom, gjennomført omfattende tester på en håndfull av byggene, og analysert funnene med hensyn til litteratur. Problemstillingen ble besvart med vekt på systemoppbyggingen, oppnådd trykkdifferanse, røykfortregningsevne, tilgjengelighet, dokumentasjon og testrutine. Følgende funn oppsummeres ved nevnte punkter:

- **Generell systemoppbygging**

Nesten alle undersøkte trapperom hadde systemoppbygging tilsvarende beskrivelsen i den utdaterte temaveiledningen HO-3/2000 eller byggforsk anvisning 520.380, ellers var oppbyggingen variert. For eksempel kunne systemer med relativt like forutsetninger ha dobbelt så stor viftekapasitet. Røykluker var også som regel installert slik veiledning til forskrift spesifiserer, men brukt på forskjellige måter. De fleste systemene brukte lukene til gjennomspyling med relativt lav luftmengde, andre luker var kun for manuell røykventilering. Røykluker er en preakseptert ytelse iht. tekniske forskrifter, i tilfeller hvor røykluke ikke var installert ble det stilt spørsmål om iverksatte tiltak faktisk ga tilsvarende ytelse.

Det ble funnet at automatikken til flere av systemene ble beskrevet på en måte som kan avvike fra ytelsene i teknisk forskrift. Flere av systemene skulle aktiveres ved lokal deteksjon i sluserommet til trappen, hvilket kan gjøre trapperommet utsatt for røyk før systemet er operativt, hvilket vil potensielt avvike fra VTEK17 § 11-8 andre ledd punkt G om at trykksetting skal forhindre at røyk trenger inn i trapperommet. Enkelte systemer kunne i tillegg risikere økt røykspredning og intensivering av brann ved at systemet aktiverte ved røykdeteksjon i trykksatt område, hvilket kan antyde avvik fra funksjonskrav i TEK17 § 11-10 første ledd, om at byggets tekniske installasjoner ikke skal øke faren vesentlig for at brann og røyk sprer seg.

- **Trykkdifferanse mellom trapperom og tilstøtende rom.**

Systemene som ble testet tilfredstilte stort sett trykkdifferansekriteriet definert i temaveiledningen og den nytgitte standarden med et minimum på 30 Pa. Kun ett av systemene feilet trykkriteriet, men i øvrige felttester var det funnet overholdt.

Noen av funnene kan også tyde på at en gunstig vertikal trykkfordeling ble oppnådd ved bruk av norsk praksis. NS-EN 12101-serien krever at det skal etableres lufttilførsel minimum i hver tredje etasje for å sikre at trykket utjevnes vertikalt [6, 28], men flere av de undersøkte systemene oppnådde jevnt trykk uten at det forelå en slik distribusjon av lufttilførsel. Unntaket var i trapp A2 i 4.3.2, hvor det var antydning til at vertikal luftdistribusjon ville vært fordelaktig på grunn av trappens geometri.

- **Røykfortregningsevne ved brannetasje**

Det ble funnet for lav lufthastighet ved flere av felttestene for å effektivt fortrenge røyk, mindre enn minsteverdien på 0,7 m/s i Byggforsk anvisningen, hvor forsøk og simuleringer antyder at minsteverdi kan bli vesentlig høyere enn hva Byggforsk anbefaler for å stoppe røykspredning [34, 78]. Flere befarte bygninger hadde ingen trykkavlastning i mellomliggende rom, som var en preakseptert ytelse i teknisk forskrift § 11-8, ledd 2, punkt G, i andre tilfeller sperret bygningsdeler delvis eller fullstendig av trykkavlastningen. Ett av byggene hadde trykkavlastningssjakt ment for ventilering av høytemperatur branngass, men denne var åpen ut i rommet uten brannetting. Oppsummert hadde kun tre av de ti testede systemene lufthastighet over 0,7 m/s uten at dører utenfor mellomliggende rom ble holdt åpen, og kun ett av systemene hadde snitthastighet mer enn 1 m/s.

- **Tilgjengeligheten til rømningstrapp**

I bygningene utformet etter TEK10/TEK17 ble det funnet at alle hovedrømningstrappene, hvor preakseptert ytelse med maks 20/30 N døråpningskraft var gjeldene, var utstyrt med dørautomatikk. Dørautomatikk klarte

generelt å åpne dørene til tross for trykksettingen, men i ett av trapperommene feilet dørautomatikken ved mer enn én dør. I bitrappene var det mekaniske dørlukkere. Uten trykksettingen åpnet nesten samtlige dører på mindre enn 67 N åpningskraft, men når trykksettingen var i drift, overskred flere eller alle dører maksverdien i TEK17. Et av systemene hadde også betydelig utilsiktet overtrykk som resulterte i teoretisk døråpningskraft mer enn dobbelte av maksverdien. Det ble erfart at grensesnittet mellom dørmiljø og trykksetting ikke hadde blitt tilstrekkelig ivaretatt, og i alle tilfeller hvor dørautomatikk *ikke* ble brukt, overskred tre eller flere dører 67 N maksverdien gitt i VTEK17 § 11-13 sjuende ledd.

- **Dokumentasjon- og testrutine**

Dokumentasjonen for trykksettingsystemene ble funnet å være lite omfattende eller mangelfullt, i de fleste bygg var trykksetting en forutsetning i brannkonseptet, men de fleste systemene hadde ingen spesifikk dokumentasjon forbi grunnleggende beskrivelser av hva trykksetting er. I noen tilfeller var dokumentasjonen feil, og beskrev ytelser systemet ikke hadde. Alle systemene hadde et årlig program for service og kontroll som så ut til å følge leverandørens instruksjoner, men målinger av systemets ytelser var ikke en del av kontrollrutinen. Heller ikke ved ferdigstillelse var det tegn til at målinger som etterprøvde prosjekterte ytelser ble foretatt.

Med funn av overnevnte avvik, samt flere andre svakheter, ble det konkludert med at dette kan ha vært resultat av systematisk svikt i tilstrekkelig prosjektering, utførelse og oppfølging. En årsak til dette kan være at støttelitteraturen normalt anvendt er for trykksatte trapperom i Norge, anvisning 520.380 og temaveiledning HO-3/2000, ikke ga utførende og prosjektere parter gode nok utgangspunkt til å oppfylle kriteriene. Begge kildene beskriver trykksetting med få avsnitt og figurer, er lite konsistente i systembeskrivelsen, samt vage i hvilke grunnleggende egenskaper det bør utgjøre for å sikre mot røykinnmengning. I tillegg er hva som burde inngå i årlige tester og ferdigstillelse udefinert.

På en annen side har standarden NS-EN 12101-6:2005 blitt brukt over lengre tid i Europa, og gir langt flere spesifikke minstekrav, egenskaper, og rutiner. Med faste rammer, krav om dokumentasjon og etterprøving av sentrale egenskaper, kan det i større grad garanteres at systemet blir utformet og vedlikeholdt på en måte hvor funksjonalitet blir ivaretatt. Men med flere detaljer har standarden også angivelig vært komplisert og vanskelig å tolke, i tillegg kan dimensjonerende vifte- og sjaktstørrelser bli langt større enn hva norsk litteratur ellers anbefaler, dette har gjort standarden et fordyrende alternativ både med hensyn til prosjektering og materiell.

Den nye standarden NS-EN 12101-13:2022, som erstattet overnevnte, har på samme måte definert et rammeverk for minimum egenskaper et trykksatt trapperom bør inneha. Forskjellen er at den nye standarden tilsynelatende har gjort beskrivelsene mer tolkbare og minstekravene mindre utfordrende å oppnå. Dette kan bidra til at standarden i større grad blir implementert i Norge, som kan sikre bedre forutsetninger for funksjonelle trykksatte trapperom, samtidig som størrelse, kompleksitet og kostnad holdes på nøkternt nivå. Det ble vurdert at en slik standard, hvis brukt under prosjektering, utførelse, og etterprøving av de undersøkte trykksatte trapperommene, ville gitt systemer som i langt større grad hadde ivaretatt rømningsikkerheten.

Alternativet til å gjøre europeisk standard til norsk praksis, er å forbedre eksisterende støttelitteratur, for eksempel Byggforsk anvisning 520.380. Men inntil denne og eventuelt andre fagkilder oppdateres, bør utførende av kommende høyhus-prosjekter i Norge sterkt vurdere å anvende internasjonalt anerkjente metoder, som for eksempel NS-EN 12101-serien.

Med hensyn til overnevnte funn ble problemstillingen besvart på følgende måte:

Trykksatte trapperom i Norge fungerer tilsynelatende ikke tilfredsstillende. Det etterlyses høyere forventninger til rømningsveier i høyhus, sentrale egenskaper må dokumenteres og etterprøves for å bevise at systemene utøver forventet funksjon. Eksisterende rammeverk og støttelitteratur må snarest utbedres, og ny Europeisk standard bør vurderes ved utforming av nye høyhus

5.2 Forfatters refleksjoner og anbefalinger

Ovenfor ble det utrettet en anbefaling av forfatter om å forbedre eksisterende rammeverk og støttelitteratur, videre ble disse anbefalingene utdypet. TEK17 slik den er utformet i skrivende stund, beskriver trykksatte trapperom utformet på en måte som vil oppfylle de prinsipielle egenskapene det bør inneha. Dette med preaksepterte ytelser som spesifiserer at; trykksetting skal hindre røykspredning til trapperommet, mellomliggende rom må trykkavlastes, og at røykluke skal etableres. I tillegg er preaksepterte ytelser på døråpningskraft entydig, og inkluderer målbare minsteverdier. Dette er minstekrav som, hvis fulgt, sannsynligvis vil resultere i funksjonell trykksetting, dette samtidig som det gir mulighet til variasjoner i fremgangsmåte og/eller prosjektering-/dimensjoneringsgrunnlag.

Men under studie ble det funnet eksempler hvor ytelser gitt i veiledning til forskrift ikke var tilstrekkelig ivaretatt, og systemenes hovedparametere ikke holdt mål. Men også i situasjoner hvor forskriften ble fulgt, som i bygg D, var dette ikke en garanti for at løsningene fungerte godt nok. Hvis ikke målinger gjøres for å verifisere systemene, kan det heller ikke garanteres at systemet innehar tilfredsstillende ytelser og funksjon.. For eksempel kunne bygg D kanskje oppnådd tilstrekkelig røykfortregningsevne hvis trykksettpunktet hadde blitt hevet, men uten rutiner som kan avdekke avvikene, vil dette verken blitt oppdaget eller utbedret.

Det vil derfor anbefales følgende tiltak:

- Leverandører av trykksettingssystemer bør endre testprotokollene slik at trykk, lufthastighet, og ev. døråpningskraft måles ved bruk av passende instrumenter.
- Servicepersonell og entreprenører bør endre rutinene slik at overnevnte parametere måles ved fullskaletester og årlig kontroll.
- Myndighetene bør etablere rammeverk som tydelig spesifiserer at sentrale egenskaper i trykksatte trapperom etterprøves, både ved ferdigstilling og ved årlig kontroll.
- Byggherre bør kreve at prosjekterte egenskaper i trykksatte trapperom blir dokumentert, at det følges opp av en ansvarlig person i byggeprosessen, og at målbare parametere blir etterprøvd ved en fullskaletest. Det bør kreves dokumentasjon av påfølgende årlige tester, hvor testresultat av sentrale parametere foreligger.

TEK17 referer til Byggforsk anvisningen 520.380 for støtte til prosjektering og utførelse. Versjonen tilgjengelig i skrivende stund var publisert i 2006, og manglet tilsynelatende et fast rammeverk. Den etablerer for eksempel trykk mellom 30-50 Pa og sjaktstørrelser «rundt $0,5m^2$ ». Et satt strømningsareal vil ikke sikre tilstrekkelig lufthastigheten, det vil i virkeligheten avhenge av trykkfallet mellom trapperommet og det fri ved forutsatt luftmengde. I tillegg går den ikke lenger enn å *anbefale* trykkavlastning i mellomliggende rom selv om dette er en preakseptert ytelser i teknisk forskrift. Dette kan skape misforståelser og feil hos prosjekterende part. Det er også satt krav om maks 90 Pa overtrykk for at døråpningskraften ikke skal bli for stor, men døråpningskraften er ikke bare trykkavhengig, dørgeometrien er også avgjørende for hvordan trykket påvirker døråpningskraften. Døråpningskraften definert i forskrift må avgjøre maksimumtrykket, ikke en fastsatt trykkverdi. Byggforsk anvisningen 520.380 bør revideres på en måte som setter dekkende og entydige rammer, og på en måte som er forenlig med funksjonskravene i teknisk forskrift. Dette bør gjøres med hensyn til internasjonale normer og litteratur.

Ved bruk av trykkavlastning i fasade, anbefales også at man som hovedregel bør anvende fasader som er lite/ikke vindutsatt. Hvis dette ikke er mulig, bør man som Danske retningslinjer definerte ha en ekstra trykkavlastning på motsatt fasade for å motvirke utilsiktet vindpåvirkning [57]. Andre retningslinjer anvendt i Danmark, bør også bli vurdert i Norge, for eksempel var det fastsatt dimensjonerende utetemperatur på 0°C. En slik forutsetning, tilpasset norske forhold, kan gi forutsigbarhet under planlegging og utforming av anleggene med hensyn til skorsteinseffekt.

5.3 Forslag til videre arbeid

5.3.1 Ytterligere analyse av testresultatene

Studie resulterte i store mengder detaljert data på trykk og lufthastighet kombinert med værdata og geometrisk karakteristik av trapperommene. Dataen kan være verdifullt for videre arbeid, og kan sannsynligvis anvendes til å validere CFD-modeller og empiriske beregningsmetoder, for eksempel ved bruk av metoder i [35].

Det ble ikke funnet antydning til nevneverdige konsekvenser som følge av oppdriftskrefter under studie. Videre analyse av oppdriftskraftens innvirkning, og eventuelt effektiviteten av de iverksatte tiltak i enkelte bygg, ble ikke gjennomført. Det anbefales å undersøke konsekvensen av lavere utetemperaturer, og eventuelt hvordan jevn vertikal luftdistribusjon ville påvirket dette. Det anbefales i den sammenheng bruk av CFD eller en annen for kompleks analyse, som erfart i [79].

5.3.2 Studie av vertikal luftdistribusjon

Det har i en tidligere studie blitt vist at systemer med ett injeksjonspunkt kan produsere overflødig trykk og derav døråpningskraft, men dette har tilsynelatende kun blitt grundig undersøkt med konstantluftmengde anlegg uten trykkregulering, og ofte med vifte på taket [43, 46, 47]. Vertikal distribusjon av luft via egen kanal har normalt vært brukt i utlandet i ettertid, som definert i europeiske og Amerikanske standarder. I dette studie ble det likevel funnet stabilt vertikal trykkdifferanse med kun ett injeksjonspunkt, selv ved relativt lave utetemperatur.

For videre arbeid anbefales undersøkelser, enten ved bruk av CFD-analyse eller praktiske forsøk, av trykksatte trapperom med turtallsregulert vifte og injeksjonspunkt i bunn kombinert med åpen takluke. Det bør undersøkes hvordan trykket vil fordeles vertikalt når trykket økes i bunn med viften samtidig som overtrykk i toppen blir punktert av luke. Dette bør testes med ulik geometri i trappens lysåpning, høyde, og utetemperatur. Er det behov for vertikal luftdistribusjon, eller kan luften distribueres via trappens lysåpning, og oppdriftskreftene bli motvirket med nevnte tiltak? Separat tilluftssjakt eller -kanal krever plass og ekstra konstruksjoner, hvis det blir funnet unødvendig i systemets helhetlige virkemåte, kan kanskje konstruksjonsmaterialer reduseres og salgbart areal økes.

Ved nye praktiske forsøk anbefales at minimum to personer utfører dette. Forfatter erfarte at felttester av denne typen var omfattende å gjennomføre alene uten at avvik fra prosedyren forekom.

5.3.3 Øvre trykkdifferanse i trykksatte trapperom ved bruk av dørautomatikk

Det øvre nivået på trykkdifferansen i europeisk standard er sentralt i forhold til systemets utforming, og kan være utfordrende å balansere mot kravene på lufthastighet, som kan bli helt avhengig av høyere trykkdifferanse enn maksimum. Det er på grunn av den øvre trykkdifferansen at vertikal luftdistribusjon nødvendigjgjøres. Den øvre trykkdifferansen blir bestemt av døråpningskraften, som ikke skal overskrides.

I Norge har det vært norm å installere dørautomatikk med UPS eller annen sikker strømforsyning i alle dørene til trykksatt trapp som følge av forskrift nevnt i 2.2.2. Med dørautomatikk kan dørene åpnes helt uten at noen kraft utøves av rømmende person, og med UPS vil denne funksjonen opprettholdes gjennom hele rømningsssituasjonen. Konsekvensen av dette er at den teoretiske døråpningskraften ikke lenger blir relevant, begrensningen ligger med dette i dørautomatickens produserte egenskaper.

Dørautomatikk blir ikke nevnt i europeisk standard, og det blir derfor utfordrende å forholde seg til døråpningskraft som øvre grense for trykkdifferanse kombinert med dette. Hva blir øvre grense i trykkdifferanse ved bruk av dørautomatikk? Kan man sløyfe vertikal luftdistribusjon og drastisk forenkle prosjektering av trykksatte trapperom på grunn av høyre tillatt trykkdifferanse? Det anbefales praktiske undersøkelser, eventuelt med relevante produsenter av dørautomatikk. Det kan også kombineres med overnevnte undersøkelse, kpt. 5.3.2.

Kilder

- [1] (2020). *Voksende byer og aldrende bygder*. [Online] Available: <https://www.ssb.no/befolkning/artikler-og-publikasjoner/voksende-byer-og-aldrende-bygder>
- [2] (2021). *Veileder: Klimavennlig lokalisering i arealplanlegging*. [Online] Available: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/overvaking-arealplanlegging/arealplanlegging/miljohensyn-i-arealplanlegging/klima/klimagassutslipp/>
- [3] "Forslag til ny høyhusstrategi." Oslo kommune, Plan- og bygningsetaten. <https://www.oslo.kommune.no/slik-bygger-vi-oslo/forslag-til-ny-hoyhusstrategi/#gref> (accessed 2022).
- [4] M. G. Solberg, "Vil bygge 65 meter høyt - Oslos brannstiger er bare 32 meter," in *Teknisk Ukeblad*, ed, 2015.
- [5] *Byggteknisk forskrift (TEK17)*, § 11-8. Brannceller, 2017.
- [6] *NS-EN 12101-13:2022. Brannventilasjonssystemer — Del 13: Differansetrykksystemer (PDS) — Utforming og beregningsmetoder, installasjon, godkjenningssprøving, rutineprøving og vedlikehold*, S. Norge, 2022.
- [7] B. A. Børresen. "Røykkontroll i bygninger." SINTEF Byggforsk. https://www.byggforsk.no/dokument/321/roeykkontroll_i_bygninger?gclid=Cj0KCQjwqPGUBhDwARIsANNwiV5Ux9dAs2GWskkOT5WHQaZilrjoL334txGtne-rq16AZ7E8UkAbzJYaAsrIEALw_wcB (accessed 2022).
- [8] "Eldre temaveiledninger." Direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/regelverk/liste-over-tidligere-regelverk/Eldre-temaveiledninger/> (accessed 2020).
- [9] G. Liebe, "Brannceller," ed. Store norske leksikon, 2022.
- [10] G. Liebe, "Brannenergi," ed. Store norske leksikon, 2020.
- [11] A.-M. Haukø. "Brannsikkerhet. Brannsikkerhetsstrategi og brannkonsept." https://www.byggforsk.no/dokument/3114/brannsikkerhet_brannsikkerhetsstrategi_og_brannkonsept?gclid=Cj0KCQjwuO6WBhDLARIsAldeyDKWAaP1xriBgpmiOeF2ZXFdy31HzmSbMTIz3XA1Ll1B2L56s2XZZQaAjprEALw_wcB (accessed 2022).
- [12] (2021). *Veileder for systemutprøving av tekniske installasjoner versjon 3.2*. [Online] Available: https://skok.no/veiledere/_/service/no.seeds.skok/usys?id=30122
- [13] P. Rygh, "Høyhus," ed: Store norske leksikon, 2019.
- [14] J. T. Gravdahl, "PID-regulator," in *Store norske leksikon*, ed, 2022.
- [15] "Veiledning om tekniske krav til byggverk," 2017. [Online]. Available: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>.
- [16] X. Zhang *et al.*, "A large but transient carbon sink from urbanization and rural depopulation in China," *Nature Sustainability*, vol. 5, no. 4, pp. 321-328, 2022/04/01 2022, doi: 10.1038/s41893-021-00843-y.
- [17] S. Nøra, "Dette bestemmer boligprisene," 2021. [Online]. Available: <https://www.oslomet.no/forskning/forskningsnyheter/dette-bestemmer-boligprisene>.
- [18] F. Mostafavi, M. Tahsildoost, and Z. Zomorodian, "Energy efficiency and carbon emission in high-rise buildings: A review (2005-2020)," (in English), *Build. Environ.*, Review vol. 206, 2021, Art no. 108329, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108329.
- [19] H. Lundgaard, "Nå kan Oslo få flere og høyere høyhus," in *Aftenposten*, ed, 2022.
- [20] "Oslo brann- og redningsetat - Offisiell side." Oslo brann- og redningsetat. <https://www.facebook.com/oslobrann/photos/a.308166949224473/1587553721285783/> (accessed).
- [21] (2009) 21 mennesker reddet i tragisk dødsbrann. *Brann & Redning*. Available: <https://brannredning.com/brann/21-mennesker-reddet-tragisk-dodsbrann/>
- [22] L. Lohne, "Oslos brannstige er for kort," in *Aftenposten*, ed, 2012.
- [23] L. Young, "What went wrong with smoke ventilation at Grenfell Tower," *CIBSE Journal*, 2018. [Online]. Available: <https://www.cibsejournal.com/general/time-for-change-grenfell-tower-evidence/>.
- [24] P. Apps, "Grenfell Tower smoke system failed to comply with requirements of regulations, expert says," in *Inside Housing*, ed, 2022.
- [25] "Omkomne i brann," 2022. [Online]. Available: <https://www.dsb.no/menyartikler/statistikk/omkomne-i-brann/>
- [26] "Overtrykksventilasjon." Oslo Brannkorpsforening. <https://brannredning.no/materiellstasjoner/overtrykksventilasjon/> (accessed).
- [27] *Byggteknisk forskrift (TEK10)*, § 11-8. Brannceller, 2010.
- [28] *NS-EN 12101-6:2005. Brannventilasjonssystemer — Del 6: Spesifikasjon for differansetrykksystemer — Byggesett — (innbefattet rettelsesblad AC:2006)*, S. Norge, 2005.
- [29] *NS-EN 12101-6:2022. Brannventilasjonssystemer — Del 6: Spesifikasjon for differansetrykksystemer — Byggesett*, S. Norge, 2022. [Online]. Available: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1417152>

- [30] NFPA 92 - Standard for Smoke Control Systems, 2018 Edition, N. F. P. A. (NFPA), Standard Norge, 2018. [Online]. Available: <https://standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=962119>
- [31] J. H. Klote, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Fifth Edition* (Smoke Control). Springer, 2016.
- [32] Ø. Meland and E. Skåret, *Røykkontroll, personsikkerhet ved brann i bygninger*. NemiTek, 1989.
- [33] G. Gai and P. Cancelliere, "Design of a pressurized smokeproof enclosure: CFD analysis and experimental tests," (in English), *Safety*, Article vol. 3, no. 2, 2017, Art no. 13, doi: 10.3390/safety3020013.
- [34] M. Ribaric, "Numerical study of the airflow criterion of pressurization systems using Fire Dynamics Simulator," Master thesis, Institutt for sikkerheit, kjemi- og bioingeniørfag, Høgskulen på Vestlandet, 2020. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11250/2671696>
- [35] L. Jensen, "Trycksättning av trapphus för utrymning," vol. TVIT-7004, 2005. [Online]. Available: <https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/5882846/1511145.pdf>.
- [36] S. Bjerkvoll, "Intervju og opplæring om trykksetting av trapperom," J. Lundblad, Ed., ed, 2022.
- [37] B. Alianto, Nasruddin, and Y. S. Nugroho. *Numerical Study on the Effect of Single and Multi-injection Pressurized Fan in Enclosed Stairwell of High-Rise Building, International Conference on Sustainable Design, Engineering, Management, and Sciences, ICSDEMS 2020*, vol. 161, pp. 99-105, 2022.
- [38] A. Bhatia, *Stairwell Pressurization Course No: M05-022: Continuing Education and Development, Inc.*, 2015. [Online]. Available: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Stairwell%20Pressurization%20Systems.pdf>.
- [39] R. Smoot, "Axial Fans vs. Centrifugal Fans – What’s the Difference?," ed. CUI Devices, 2022.
- [40] G. T. Tamura, "Field tests of stairshaft pressurization systems with overpressure relief," (in English), *J Appl Fire Sci*, Article vol. 1, no. 1, pp. 45-63, 1990, doi: 10.2190/tvcm-elc3-gf62-r7k9.
- [41] S. Ingebrigtsen, "Ventilasjonsteknikk Del II," NemiTek, 2019, ch. 13.8.3.2 Trykksetting av trapperom.
- [42] *Produktguide, Trykksetting systembeskrivelse*, Vifter & Miljø, 2009. [Online]. Available: https://vifter.no/wp-content/uploads/pdf/system/trykksetting/systembeskrivelse_trykksetting.pdf.
- [43] M. Poreh, S. Trebukov, and T. Gurevitz, "Mitigation of wind effects on the performance of pressurization systems in high-rise buildings," in *7th International Symposium on Fire Safety Science*, Worcester, MA, 2003, pp. 753-762, doi: 10.3801/IAFSS.FSS.7-753. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84555187632&doi=10.3801%2fIAFSS.FSS.7-753&partnerID=40&md5=96b48d6229dc0496586606cee3accc0d>
- [44] Y. Chen, C. H. Li, S. C. Li, and W. H. Chen, "Network simulation on the smoke-proof effect of the staircase in high-rise building under the effect of wind pressure," in *7th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2014*, 2015: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 378-382, doi: 10.1109/ICICTA.2014.98. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84921729058&doi=10.1109%2fICICTA.2014.98&partnerID=40&md5=f282cdf8c3c6310f4d4b568ff063e72c>
- [45] Y. Wang and F. Gao, "Tests of stairwell pressurization systems for smoke control in a high-rise building," in *ASHRAE Transactions*, Anaheim, CA, 2004, vol. 110 PART 1: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), pp. 185-193. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-2442590914&partnerID=40&md5=bd7d1f63d0aaa9ae6f7d9d6703493d86>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-2442590914&partnerID=40&md5=bd7d1f63d0aaa9ae6f7d9d6703493d86>
- [46] W. K. Chow, F. K. Wong, T. T. Lo, and K. M. Lau, "Field tests on a staircase pressurization system installed in a commercial building," in *1990 Annual Meeting of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Technical and Symposium Papers*, Atlanta, GA, United States, St. Louis, MO, USA, Anon, Ed., 1990: Publ by ASHRAE, pt 2 ed., pp. 393-398. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0025559255&partnerID=40&md5=7c4ab6a099347be68911294ee3117647>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0025559255&partnerID=40&md5=7c4ab6a099347be68911294ee3117647>
- [47] I. A. Benjamin and J. H. Klote, "Stairwell pressurization systems," (in English), Article 1979. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0018322946&partnerID=40&md5=8bd5fdbf15d3955c40284c0cb73a4588>.
- [48] H. Bjelland, "Brannsikkerhetskonerter for boligblokker : tiltak med betydning for risiko," Master thesis, University of Stavanger, Norway, 2009. [Online]. Available: <https://uis.brage.unit.no/uis-xmlui/handle/11250/181905>
- [49] *Byggteknisk forskrift (TEK17)*, § 11-10. Tekniske installasjoner, 2017.
- [50] *Byggteknisk forskrift (TEK17)*, § 11-13. Utgang fra branncelle, 2017.
- [51] *Byggteknisk forskrift (TEK17)*, § 12-13. Dør, port og lignende, 2017.

- [52] *Forskrift om brannforebygging*, § 5. Kontroll og vedlikehold av bygningsdeler og sikkerhetsinnretninger, 2016.
- [53] (2020). *Veiledning til forskrift om brannforebygging*. [Online] Available: <https://www.dsb.no/lover/brannvern-brannvesen-nodnett/veiledning-til-forskrift/veiledning-til-forskrift-om-brannforebygging/>
- [54] (2010). *Veiledning til forskrift om brannforebyggende tiltak og tilsyn*. [Online] Available: <https://www.bvs1.no/wp-content/uploads/2020/05/Veiledning-til-forskrift-om-brannforebyggende-tiltak-og-tilsyn.pdf>
- [55] "Norsk standard." Standard Norge. <https://www.standard.no/standardisering/norsk-standard/> (accessed 2022).
- [56] "Hva er Byggforskserien." SINTEF community. <https://www.byggforsk.no/side/198/hva-er-byggforskserien> (accessed).
- [57] (2021). *Brandventilationsanlæg*. [Online] Available: <https://dbinorge.no/utgivelser/dbi-retningslinjer/retningslinje-027-brandventilationsanlaeg-projektering-installation-og-vedligeholdelse/>
- [58] *Fire precautions in the design, construction and use of buildings. Code of practice for smoke control using pressure differentials*, Techstreet, Norsk Standard, 1998. [Online]. Available: <https://standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=543484>
- [59] E. S. Philip Mitusch. "Trykksetting av trapperom ved brann." SINTEF Byggforsk. <https://www.byggforsk.no/document/download/321/trykksetting-av-trapperom-ved-brann?version=1.0> (accessed 2022).
- [60] M. O. N. Leksmono, "AIVC Guide 5: Ventilasjon Modelling Data Guide," International Energy Agency, 2002. [Online]. Available: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Guides/Ventilation%20Modelling%20Data%20Guide_web.pdf
- [61] T. Bøhlerengen, "Fukt i bygninger. Teorigrunnlag." [Online]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt-i-bygninger-teorigrunnlag?gclid=CjwKCAjw5s6WBhA4EiwACGncZYx3_MW1N1UyYxm3tmNX-uneFgPIpAPZ2ROmdB5Q2mjoR_9P6l7xRoCBdgQAvD_BwE
- [62] G. T. Tamura, "Fire tower tests of stair pressurization systems with overpressure relief," in *1990 Annual Meeting of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Technical and Symposium Papers*, Atlanta, GA, United States, St. Louis, MO, USA, Anon, Ed., 1990: Publ by ASHRAE, pt 2 ed., pp. 373-383. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0025546383&partnerID=40&md5=1c0ec5115e14e74957971b9ee2aa1cf6>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0025546383&partnerID=40&md5=1c0ec5115e14e74957971b9ee2aa1cf6>
- [63] L. Jensen, "Stairwell Flow Pressurization - A New Method," (in English), *J Fire Prot Eng*, Article vol. 13, no. 4, pp. 251-274, 2003, doi: 10.1177/1042391503035524.
- [64] T. H. D. T. A. Vik, "Muligheter og barrierer – Eksempler – Kontrollstrategier – Prosjekteringsverktøy " SINTEF Bygg og miljø, 2001. [Online]. Available: https://www.sintef.no/globalassets/upload/a01015_hybrid-ventilasjon.pdf
- [65] "Ventøk – Prosjektering av ventilasjonsanlegg," NemiTek, Ed., 2019. [Online]. Available: http://kompetansebiblioteket.no/Ventok/Distribusjon/5_9_Undertrykk-og-luftbevegelser-i-bygninger.aspx?searchStr=vindtrykk
- [66] M. J. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," (in English), *BMJ*, Review vol. 372, 2021, Art no. n71, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [67] G. T. Tamura, "Fire tower tests of stair pressurization systems with mechanical venting of the fire floor," in *1990 Annual Meeting of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Technical and Symposium Papers*, Atlanta, GA, United States, St. Louis, MO, USA, Anon, Ed., 1990: Publ by ASHRAE, pt 2 ed., pp. 384-392. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0025536146&partnerID=40&md5=cca253a633740026ee2dabe8f5e7b803>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0025536146&partnerID=40&md5=cca253a633740026ee2dabe8f5e7b803>
- [68] G. T. Tamura, "Stair pressurization systems for smoke control," (in English), *ASHRAE J*, Article vol. 33, no. 7, 1991. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0026192262&partnerID=40&md5=5ed07680edb4772bf1a6a3872f6a15c8>.
- [69] G. T. Tamura, "Assessment of stair pressurization systems for smoke control," in *ASHRAE Winter Meeting*, Anaheim, CA, USA, Anon, Ed., 1992, vol. 98, pt 1 ed., pp. 66-72. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0026970651&partnerID=40&md5=3dd089a60d907cf8144bb1a6bac7eccc>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0026970651&partnerID=40&md5=3dd089a60d907cf8144bb1a6bac7eccc>

- [70] M. Fryda, D. Brzezińska, and M. Dziubiński, "High rise buildings stairwells pressure differential systems tests and improvement solutions," (in English), *Build Serv Eng Res Technol*, Article vol. 42, no. 1, pp. 112-124, 2021, doi: 10.1177/0143624420964313.
- [71] Y. J. Ko and G. D. Loughheed, "Performance of stairwell pressurization system with open stairwell doors," in *2016 ASHRAE Annual Conference*, 2016, vol. 122: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), pp. 21-34. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85008388786&partnerID=40&md5=9e9f3c11b88ab9f271cb7ca6df28f5f4>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85008388786&partnerID=40&md5=9e9f3c11b88ab9f271cb7ca6df28f5f4>
- [72] K. Seter, "Beauforts vindskala," M. institutt, Ed., ed, 2021.
- [73] B. Alianto, N. Nasruddin, and Y. S. Nugroho, "High-rise building fire safety using mechanical ventilation and stairwell pressurization: A review," (in English), *J. Build. Eng.*, Review vol. 50, 2022, Art no. 104224, doi: 10.1016/j.jobee.2022.104224.
- [74] D. Brzezinska and M. Fryda, "Implementation of new high-rise building staircase pressure differential system improvements," (in English), *Build Serv Eng Res Technol*, Article vol. 43, no. 2, pp. 197-205, 2022, doi: 10.1177/01436244211044669.
- [75] G. Jensen. "Bare problemer - En innledning om trykksetting trapperom." Cowi. <https://pdf4pro.com/cdn/en-innledning-om-trykksetting-trapperom-c97e0.pdf> (accessed).
- [76] M. Ferreira, "The pitfalls of pressurization smoke control systems," (in English), *Eng syst*, Article vol. 32, no. 1, pp. 66-71, 2015. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84921022313&partnerID=40&md5=5e6148503c9a2caeb5c4dcf5e1cbb2d>.
- [77] S. Lay, "Pressurization systems do not work & present a risk to life safety," (in English), *Case Stud. Fire Saf.*, Article vol. 1, no. 1, pp. 13-17, 2014, doi: 10.1016/j.csfs.2013.12.001.
- [78] G. T. Tamura, "Determination of critical air velocities to prevent smoke backflow at a stair door opening on the fire floor," *Journal of Applied Fire Science*, 2, 1, pp. 5-21, 1992, 1992. [Online]. Available: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=4dc88871-0bf1-40d8-b458-b8928ec5642b>.
- [79] S. Strege and M. Ferreira, "Characterization of Stack Effect in High-Rise Buildings Under Winter Conditions, Including the Impact of Stairwell Pressurization," (in English), *Fire Technol.*, Article vol. 53, no. 1, pp. 211-226, 2017, doi: 10.1007/s10694-016-0562-x.
- [80] M. Li, Z. Gao, J. Ji, and K. Li, "Modeling of positive pressure ventilation to prevent smoke spreading in sprinklered high-rise buildings," (in English), *Fire Saf J*, Article vol. 95, pp. 87-100, 2018, doi: 10.1016/j.firesaf.2017.11.004.
- [81] P. Panindre, N. S. S. Mousavi, S. Kumar, and J. Ceriello, "Positive Pressurization and Ventilation for Fighting Fires in High-Rise Structures with Multiple Stairwells," in *3rd European Symposium on Fire Safety Science, ESFSS 2018*, P. Boulet, P. Van Hees, and B. Merci, Eds., 2018, vol. 1107: Institute of Physics Publishing, 4 ed., doi: 10.1088/1742-6596/1107/4/042037. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85057533356&doi=10.1088%2f1742-6596%2f1107%2f4%2f042037&partnerID=40&md5=a034486562d5f7c320f5ab851df0058a>
- [82] B. Hepguzel Acikyol, G. Balik, and A. Kilic, "Experimental Investigation of the Effect of Fire Protection Lobby on Stair Pressurization System in a High-Rise Building," (in English), *Fire Technol.*, Article vol. 53, no. 1, pp. 135-151, 2017, doi: 10.1007/s10694-015-0560-4.
- [83] L. Decheng and L. Zegong, "Study on numerical simulation of smoke control mode in smoke-proof staircase of high-rise buildings," in *7th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2014*, 2015: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 705-712, doi: 10.1109/ICICTA.2014.172. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84921759607&doi=10.1109%2fICICTA.2014.172&partnerID=40&md5=7a87e9ef7b9fa4767c087f28cc747318>
- [84] W. Z. Black, "Stairwell pressurization and the movement of smoke during a high-rise fire," in *2015 ASHRAE Winter Conference*, 2015, vol. 121: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), pp. 216-230. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84938866275&partnerID=40&md5=eff4f9a5a89dd5197d4522be1133cf41>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84938866275&partnerID=40&md5=eff4f9a5a89dd5197d4522be1133cf41>
- [85] G. Zhao, W. Z. Black, and L. Wang, "Use of vertical shafts as routes of smoke extraction and safe egress during high-rise fires," in *2015 ASHRAE Annual Conference*, 2015, vol. 121: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), pp. 232-241. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84960871316&partnerID=40&md5=cbb0ccda2e9b277bf948f0c049da0f9c>. [Online]. Available:

- <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84960871316&partnerID=40&md5=cbb0ccda2e9b277bf948f0c049da0f9c>
- [86] W. Z. Black, "Computer modeling of stairwell pressurization to control smoke movement during a high-rise fire," in *2011 ASHRAE Winter Conference*, Las Vegas, NV, 2011, vol. 117, PART 1 ed., pp. 786-799. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-82055183966&partnerID=40&md5=d9d7753430da885f0c8c3fdb9592cdc>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-82055183966&partnerID=40&md5=d9d7753430da885f0c8c3fdb9592cdc>
- [87] M. J. Ferreira and J. H. Klote, "Rethinking the 'smokeproof' enclosure," (in English), *Consult. Specif. Eng.*, Article vol. 48, no. 1, pp. 28-38, 2011. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-80955122695&partnerID=40&md5=b1a8027b7a4df31ce4f389946a516576>.
- [88] H. W. Yao *et al.*, "FDS research on smoke control in the stair enclosure of a high-rise building fire event," in *2009 International Conference on Energy and Environment Technology, ICEET 2009*, Guilin, 2009, vol. 3, pp. 70-73, doi: 10.1109/ICEET.2009.483. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77949504600&doi=10.1109%2fICEET.2009.483&partnerID=40&md5=c879205940d68b8f21c9228d5a3b7b04>
- [89] R. S. Miller and D. Beasley, "On stairwell and elevator shaft pressurization for smoke control in tall buildings," (in English), *Build. Environ.*, Article vol. 44, no. 6, pp. 1306-1317, 2009, doi: 10.1016/j.buildenv.2008.09.015.
- [90] W. Z. Black, "Floor pressurization as a means of controlling smoke during a high-rise fire," (in English), *Eng syst*, Article vol. 26, no. 1, pp. 76-80, 2009. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-59349104656&partnerID=40&md5=b23420c7ad5162f5c0932d0578130724>.
- [91] M. J. Ferreira and J. Cutonilli, "Protecting the stair enclosure in tall buildings impacted by stack effect," in *8th World Congress on Tall and Green: Typology for a Sustainable Urban Future, CTBUH 2008*, Dubai, 2008: Council on Tall Buildings and Urban Habitat, pp. 732-738. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84900841982&partnerID=40&md5=6bee9c5d721aa9def0e8daae8da1670c>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84900841982&partnerID=40&md5=6bee9c5d721aa9def0e8daae8da1670c>
- [92] J. A. Clark and J. S. Buckley, "Evolution of pressurized stairwells," in *Proceedings of the 1995 ASHRAE Annual Meeting*, Atlanta, GA, United States
Chicago, IL, USA, Anon, Ed., 1995: ASHRAE, 1 ed., pp. 1001-1005. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0029214053&partnerID=40&md5=451d4ab88f520320453085176cb37352>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0029214053&partnerID=40&md5=451d4ab88f520320453085176cb37352>
- [93] W. K. Chow and H. P. Lum, "Field Test on a Multiple Injection Staircase Pressurization System," (in English), *Archit Sci Rev*, Article vol. 37, no. 3, pp. 149-158, 1994, doi: 10.1080/00038628.1994.9697337.
- [94] G. T. Tamura, "Fire tower tests on vestibule pressurization for protection of stairshafts," in *Proceedings of the ASHRAE Winter Meeting*, Atlanta, GA, United States
New Orleans, LA, USA, 1994, vol. 100: ASHRAE, 1 ed., pp. 981-989. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0028706657&partnerID=40&md5=cc4c61604eba5e0ee3f57a6443822479>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0028706657&partnerID=40&md5=cc4c61604eba5e0ee3f57a6443822479>
- [95] G. K. Yuill and K. H. Haddad, "Effect of opening stairwell doors on the performance of a stairshaft pressurization system," in *Proceedings of the ASHRAE Winter Meeting*, Atlanta, GA, United States
New Orleans, LA, USA, 1994, vol. 100: ASHRAE, 1 ed., pp. 990-999. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0028695584&partnerID=40&md5=ce367e7833e8acd9416c3e80316c0d6e>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0028695584&partnerID=40&md5=ce367e7833e8acd9416c3e80316c0d6e>
- [96] W. K. Chow and L. W. Lam, "Evaluation of a staircase pressurization system," in *Proceedings of the 1993 Annual Meeting of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*, Atlanta, GA, United States
Denver, CO, USA, Anon, Ed., 1993, vol. 99: Publ by ASHRAE, pt 2 ed., pp. 194-199. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0027867051&partnerID=40&md5=5df0b874a3ca7a4ae6af24f443369284>. [Online]. Available:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0027867051&partnerID=40&md5=5df0b874a3ca7a4ae6af24f443369284>

- [97] G. T. Tamura and R. A. MacDonald, "Comparative performances of mechanical smoke exhaust system, zoned smoke control, and pressurized building method of smoke control," in *Proceedings of the 1993 Winter Meeting of ASHRAE Transactions. Part 1*, Atlanta, GA, United States

Chicago, IL, USA, 1993, vol. 99: Publ by ASHRAE, pt 1 ed., pp. 488-495. [Online]. Available:

[https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0027269032&partnerID=40&md5=dfe927a3f090ba3a7098b387e71cb9a7)

[0027269032&partnerID=40&md5=dfe927a3f090ba3a7098b387e71cb9a7](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0027269032&partnerID=40&md5=dfe927a3f090ba3a7098b387e71cb9a7). [Online]. Available:

[https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0027269032&partnerID=40&md5=dfe927a3f090ba3a7098b387e71cb9a7)

[0027269032&partnerID=40&md5=dfe927a3f090ba3a7098b387e71cb9a7](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0027269032&partnerID=40&md5=dfe927a3f090ba3a7098b387e71cb9a7)

- [98] "Esmi brannalarmsentraler." Schneider Electric. <https://www.se.com/no/no/product-range/63651-esmi-brannalarmsentraler/> (accessed 07, 2022).

Vedleggsoversikt

| | |
|--|-----|
| Vedlegg A: Eksempel på sjekklister for felttest, trapp A1 | 91 |
| Vedlegg B: E-post med forespørsel om tilgang til bygninger for testing av trykksatte trapperom. | 96 |
| Vedlegg C: Koblingsskjema for trykksetting, eksempel fra leverandør. | 97 |
| Vedlegg D: Illustrasjon av testopplegg i et eksempelbygg..... | 98 |
| Vedlegg E: Oversikt over studier som ble hentet lest under screening-prosessen. | 99 |
| Vedlegg F: Korrespondanse med DiBK..... | 101 |
| Vedlegg G: Skjermdump fra [8] hentet 05/12/2020..... | 101 |
| Vedlegg H: Bygg A et. 7 utsnitt fra plantegning, tilsvarende systemløsning et. 3, 7, 8. | 103 |
| Vedlegg I: Bygg A et. 5 utsnitt fra plantegning, tilsvarende systemløsning et. 4, 5, 6..... | 104 |
| Vedlegg J: Bygg A et. 0 utsnitt fra plantegning, tilsvarende systemløsning et. -1 og 0. | 104 |
| Vedlegg K: Bilder fra bygg A..... | 105 |
| Vedlegg L: A1 Alle resultater..... | 107 |
| Vedlegg M: A1 Grafer | 109 |
| Vedlegg N: A2 Alle resultater..... | 111 |
| Vedlegg O: A2 Grafer | 113 |
| Vedlegg P: B1 et. 8 Utsnitt fra plantegning..... | 115 |
| Vedlegg Q: B2 et. 8. Utsnitt fra plantegning | 116 |
| Vedlegg R: B3 et. 8. Utsnitt fra plantegning | 117 |
| Vedlegg S: B1 Bilder av trapperom | 118 |
| Vedlegg T: B2 Bilder av trapperom | 119 |
| Vedlegg U: B3 Bilder av trapperom | 120 |
| Vedlegg V: B1 Alle resultater | 121 |
| Vedlegg W: B1 Grafer | 123 |
| Vedlegg X: B2 Alle resultater | 125 |
| Vedlegg Y: B2 Grafer..... | 127 |
| Vedlegg Z: Trykkdifferanse, snitt på 30s, i B2 med åpen trykkavlastning..... | 129 |
| Vedlegg Æ: B3 Alle resultater | 130 |
| Vedlegg Ø: B1 Grafer | 132 |
| Vedlegg Å: C et. 3 Utsnitt fra plantegning | 134 |
| Vedlegg AA: Bygg C Bilder..... | 135 |
| Vedlegg BB: C1 Alle resultater | 136 |
| Vedlegg CC: C1 Grafer..... | 138 |
| Vedlegg DD: C2 Alle resultater..... | 140 |
| Vedlegg EE: C2 Grafer | 142 |
| Vedlegg FF: D1 og D2 et. 2 Utsnitt fra plantegning | 144 |
| Vedlegg GG: D3 et. 3. Utsnitt fra plantegning | 145 |
| Vedlegg HH: Bygg D, bilder av trappene..... | 146 |
| Vedlegg II: D1 Alle resultater | 147 |
| Vedlegg JJ: D1 Grafer | 150 |
| Vedlegg KK: D2 Alle resultater | 152 |
| Vedlegg LL: D2 Grafer | 154 |
| Vedlegg MM: D2 med trykkmålinger i et. 7..... | 156 |
| Vedlegg NN: D3 Alle resultater | 157 |
| Vedlegg OO: D3 Grafer | 159 |
| Vedlegg PP: D2, og D3: Bilder fra modell av trykkavlastningsjakter | 161 |
| Vedlegg QQ: Plantegninger av X5 | 162 |
| Vedlegg RR: Branntablåer anvendt for åpning av spjeld | 162 |
| Vedlegg SS: Innspill fra fagpersoner | 163 |
| Vedlegg TT: | 166 |

Vedlegg

Vedlegg A: Eksempel på sjekklister for felttest, trapp A1

| Nr. | Sjekkpunkt | Ok | Ikke aktuelt | Kommentarer / resultat |
|----------|--|----|--------------|---|
| 1 | Undersøke testmiljø | | | |
| 1.1 | Lokalisere tavle | | | |
| 1.2 | Kontrollere metode for aktivering av røykventilasjon i sluserom | | | |
| 1.3 | Dimensjoner døråpning 1 | | | B: H: |
| 1.4 | Dimensjoner døråpning 2 (eks. variasjoner) | | | B: H: |
| 1.5 | Dimensjoner døråpning 3 (eks. utgangsdør) | | | B: H: |
| 1.6 | Dimensjon trappesjakt | | | B: L: H: |
| 1.7 | Høyde trappesjakt | | | |
| 1.8 | Lysåpning | | | |
| 1.9 | Påse at dører/åpninger er lukket | | | |
| 1.10 | Er systemet/ dørautomatikk tilkoblet UPS? | | | |
| 1.11 | Er bygget/trapperom sprinklet? | | | |
| 1.12 | Beregne hvor mange målepunkter over åpning (min. 5 punkter pr m ²) | | | Min. 15 punkter på 2,9m ² . 16 målepunkter anvendes |
| 2 | Ytre påvirkninger | | | |
| 2.1 | Tilkomst til tak, eventuelt alternativ høytliggende terrasse | | | |
| 2.2 | Tak: Generell værobservasjon | | | |
| 2.3 | Tak: Vindkarakteristikk | | | |
| 2.4 | Tak: Vindretning | | | |
| 2.5 | Tak: Snitt lufthastighet | | | |
| 2.6 | Tak: Lufttemperatur | | | |
| 2.7 | Temperatur trapperom øverst | | | |
| 2.8 | Tilkomst bakke, vindretning | | | |
| 2.9 | Bakkenivå: Vindkarakteristikk | | | |
| 2.10 | Bakkenivå: Vindretning | | | |
| 2.11 | Bakkenivå: Snitt lufthastighet | | | |
| 2.12 | Bakkenivå: Lufttemperatur | | | |
| 2.13 | Temperatur trapperom nederst | | | |

| Nr. | Sjekkpunkt | Ok | Ikke aktuelt | Kommentarer / resultat |
|----------|---|----|--------------|------------------------|
| 3 | Rigge trykkmålinger | | | TID: |
| 3.1 | Øverste etasje | | | Etg: 16 |
| 3.2 | Øvre midt | | | Etg: 12 |
| 3.2 | Midt | | | Etg: 7 |
| 3.3 | Nedre midt | | | Etg: 3 |
| 3.6 | Nederste | | | Etg: U3 |
| 3.7 | Forberede aktivering av system | | | |
| 3.8 | Skru på instrumenter, kontrollere batteri og minne | | | |
| 3.9 | Stille instrumentklokker til samme sekund | | | |
| 3.10 | Nullstilling av instrumentene | | | |
| 4 | Test av rømmingsscenarier | | | TID: |
| 4.1 | Utplassering og start av logging instrumenter | | | |
| 4.2 | Åpne spjeld brannetasje (10.etg) | | | I fasade NV |
| 4.3 | Test inaktivt system (3min) | | | |
| 4.4 | Systemet aktiveres (stabiliseres min. 3min) | | | TID: |
| 4.5 | Utgangsdør åpnes (Holdes åpent min. 1min) | | | TID: |
| 4.6 | <u>Brannetasje åpnes, 10.etg (holdes åpen)</u> | | | TID: |
| | Stabilt 1min. Lufthastighet 10.etg | | | |
| | - Test hastighet 1.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Test hastighet 2.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Kontrollere differanse nr.1 og nr.2. (<nr.10%) | | | Ev. diff: |
| | - Ev. Test 3.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| 4.7 | <u>Etasje under åpnes, 9.etg (holdes åpen)</u> | | | TID: |
| | Stabilt 1min. Lufthastighet 9.etg | | | |
| | - Test hastighet 1.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Test hastighet 2.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Kontrollere differanse nr.1 og nr.2. (<nr.10%) | | | Ev. diff: |
| | - Ev. Test 3.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| 4.8 | Lufthastighet 10.etg | | | |
| | - Test hastighet 1.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Test hastighet 2.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Kontrollere differanse nr.1 og nr.2. (<nr.10%) | | | Ev. diff: |
| | - Ev. Test 3.gang | | | Snitt. Hastighet: |

| | | | | |
|------|--|--|--|-------------------|
| 4.9 | Utgangsdør åpnes (holdes åpen) | | | TID: |
| | Stabilt 1min. Lufthastighet 9.etg | | | |
| | - Test hastighet 1.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Test hastighet 2.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Kontrollere differanse nr.1 og nr.2. (<nr.10%) | | | Ev. diff: |
| | - Ev. Test 3.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | Lufthastighet 10.etg | | | |
| | - Test hastighet 1.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Test hastighet 2.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Kontrollere differanse nr.1 og nr.2. (<nr.10%) | | | Ev. diff: |
| | - Ev. Test 3.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| 4.10 | 9. etg lukkes | | | TID: |
| | Lufthastighet 7.etg | | | |
| | - Test hastighet 1.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Test hastighet 2.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Kontrollere differanse nr.1 og nr.2. (<nr.10%) | | | Ev. diff: |
| | - Ev. Test 3.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| 4.10 | 9.etg åpnes og 14.etg åpnes | | | TID: |

| | | | | |
|----------|---|--|--|-------------------|
| 5 | Reaksjon- og responstest | | | TID: |
| 5.1 | Øverste reaksjonstest Åpne spjeld Stabilisere trykk 90s | | | TID: |
| | - Åpne 1-2s | | | Sekunder |
| | - Åpen dør i 10s | | | Sekunder |
| | - Slippe døren naturlig. | | | Sekunder |
| | Lufthastighet øverst | | | |
| | - Test hastighet 1.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Test hastighet 2.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Kontrollere differanse nr.1 og nr.2. (<nr.10%) | | | Ev. diff: |
| | - Ev. Test 3.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| 5.2 | Midtre reaksjonstest Åpne spjeld Stabilisere trykk 90s | | | TID: |
| | - Åpne 1-2s | | | Sekunder |
| | - Åpen dør i 10s | | | Sekunder |
| | - Slippe døren naturlig. | | | Sekunder |
| | Lufthastighet midt | | | |
| | - Test hastighet 1.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Test hastighet 2.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Kontrollere differanse nr.1 og nr.2. (<nr.10%) | | | Ev. diff: |
| | - Ev. Test 3.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| 5.3 | Nedre reaksjonstest Åpne spjeld Stabilisere trykk 90s | | | TID: |
| | - Åpne 1-2s | | | Sekunder |
| | - Åpen dør i 10s | | | Sekunder |
| | - Slippe døren naturlig. | | | Sekunder |
| | Lufthastighet nederst | | | |
| | - Test hastighet 1.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Test hastighet 2.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| | - Kontrollere differanse nr.1 og nr.2. (<nr.10%) | | | Ev. diff: |
| | - Ev. Test 3.gang | | | Snitt. Hastighet: |
| 5.4 | Stopp logging: | | | TID: |
| 5.5 | System deaktiveres | | | |
| 5.6 | Kontrollere at tidspunkt på alle enheter er like (bilde) | | | |
| 5.7 | Var avlastningsspjeld/luke i trapperom åpent for flushing? | | | |

| Kvalitetssikring og nedrigging | | | | TID: | |
|--------------------------------|--|---------|---|-------|---|
| | Kvalitetssikre resultater, import til PC | | | | |
| | Eventuelle ordinære håndtak monteres | | | | |
| | | Inaktiv | | Aktiv | |
| 6 | Test av døråpningskraft | 1 | 2 | 1 | 2 |
| | 17.etg | | | | |
| | 16.etg | | | | |
| | 15.etg | | | | |
| | 14.etg | | | | |
| | 13.etg | | | | |
| | 12.etg | | | | |
| | 11.etg | | | | |
| | 10.etg | | | | |
| | 9.etg | | | | |
| | 8.etg | | | | |
| | 7.etg | | | | |
| | 6.etg | | | | |
| | 5.etg | | | | |
| | 4.etg | | | | |
| | 3.etg | | | | |
| | 2.etg | | | | |
| | 1.etg | | | | |
| | U1 | | | | |
| | U2 | | | | |
| | U3 | | | | |

Andre observasjoner

Vedlegg B: E-post med forespørsel om tilgang til bygninger for testing av trykksatte trapperom.

Sent: 12. desember 2021 11:27

Subject: Masteroppgave: OsloMet - Trykksatte trapperom

God dag, mitt navn er Jonathan Lundblad. Jeg er masterstudent på OsloMet ved bygg og energiteknikk. Nå på nyåret skriver jeg masteroppgave om systemer for røykkontroll, helt spesifikt trykksettingssystemer i trapperom. De fleste bygg over åtte etasjer blir bygd med et viftesystem som aktiveres ved brannalarm, hvor hensikten å hindre tilløp av røyk i rømningsvei.

Disse systemene gir ofte vifter og kanaler i store dimensjoner, som reduserer byggets utnyttbart areal. I løpet av 2022 er det forventet publikasjon av ny standard for trykksatte trapperom som vil gi desto større dimensjoner og flere rutinetester. Denne masteroppgaven vil undersøke måten vi prosjekterer og bygger trykksatte trapperom i Norge, og hvorvidt norske tekniske standarder allerede er gode nok til å beskrive hvordan de bygges og driftes.

En del av oppgaven er å evaluere flere trapperom med trykksettingssystem, dette har normalt bygninger over åtte etasjer bygd etter TEK10/TEK17. Testprosedyren består blant annet av å aktivere systemet for å måle lufttrykk og lufthastigheter. Tester kan utføres diskret uten å aktivere brannalarm ev. utenfor brukstid.

Jeg lurer på om [redacted] kunne tenke seg å stille ett eller flere bygg til disposisjon for testing. Resultater fra undersøkelsene vil gi dere økt kunnskap om deres system og byggets brannberedskap. Alle tester vil bli gjennomført kostnadsfritt, og med tett oppfølging av rådgiver fra Erichsen & Horgen (Eirik Trygstad) og veileder fra OsloMet (Habtamu Madessa). Etter planen vil testing forekomme i de første månedene etter nyåret, men dette kan naturligvis tilpasses etter deres ønsker. Byggene blir anonymisert i masteroppgaven.

Jeg opplever [redacted] som et fremoverlent eiendomsselskap som er aktiv i arbeidet med å drive bransjen fremover, tenker eksempelvis på [redacted] der jeg vet dere har vært involvert. Målet er at masteroppgaven skal gi bransjen mer kunnskap om rømningsveier og røykkontroll i fremtidens høyhus, og på den måten forbedre sikkerhet og beredskap i norske bygg samtidig som størrelse, kompleksitet og kostnad på systemene holdes på et nøkternt nivå.

Håper dere ønsker å bidra til oppgaven. Bare å ringe hvis det skulle være noen spørsmål.
Tusen takk!

Med hilsen

Jonathan Lundblad

Ingeniør

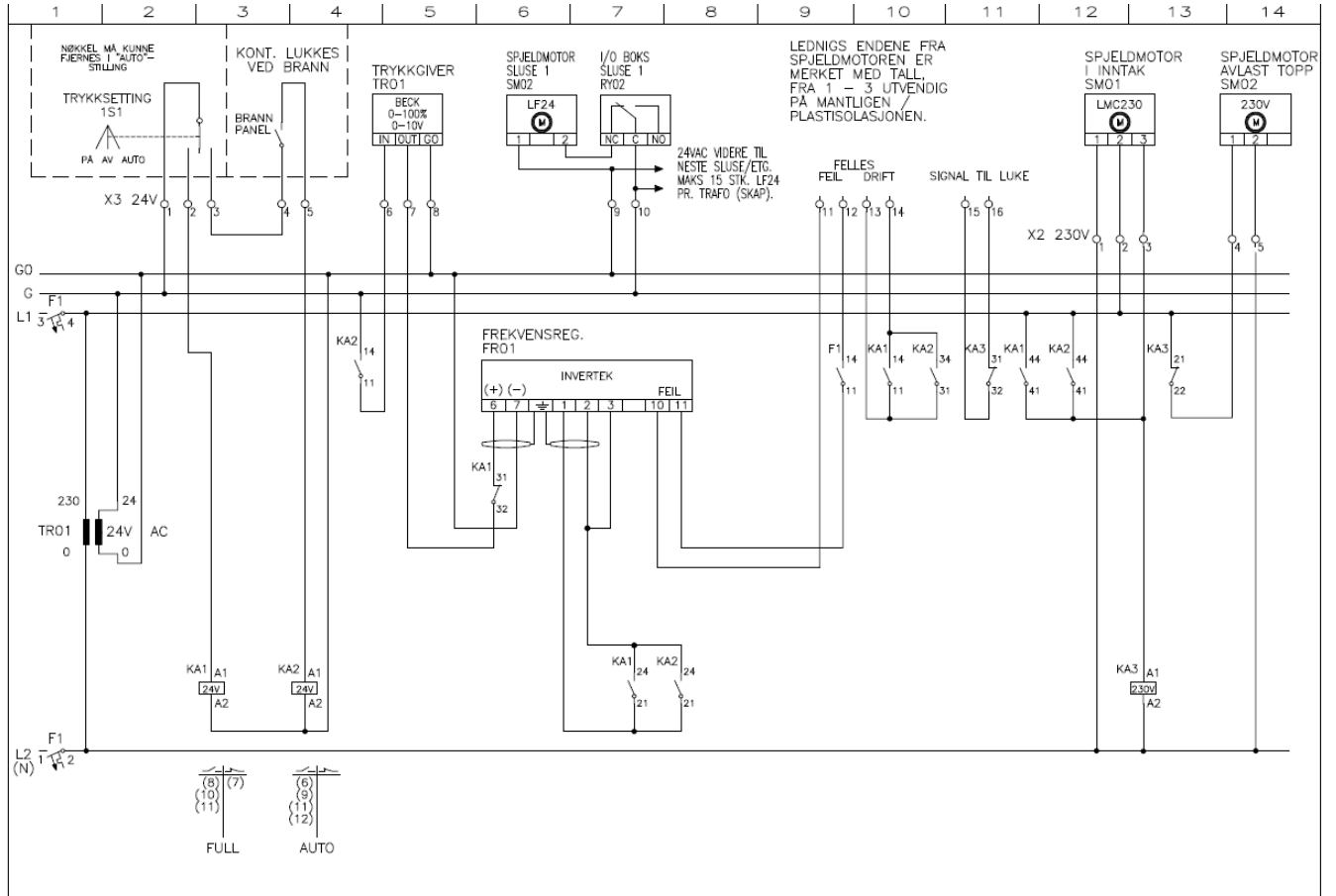
M: +47 414 11 266

Erichsen & Horgen AS

Nydalsveien 36a | 0484 Oslo

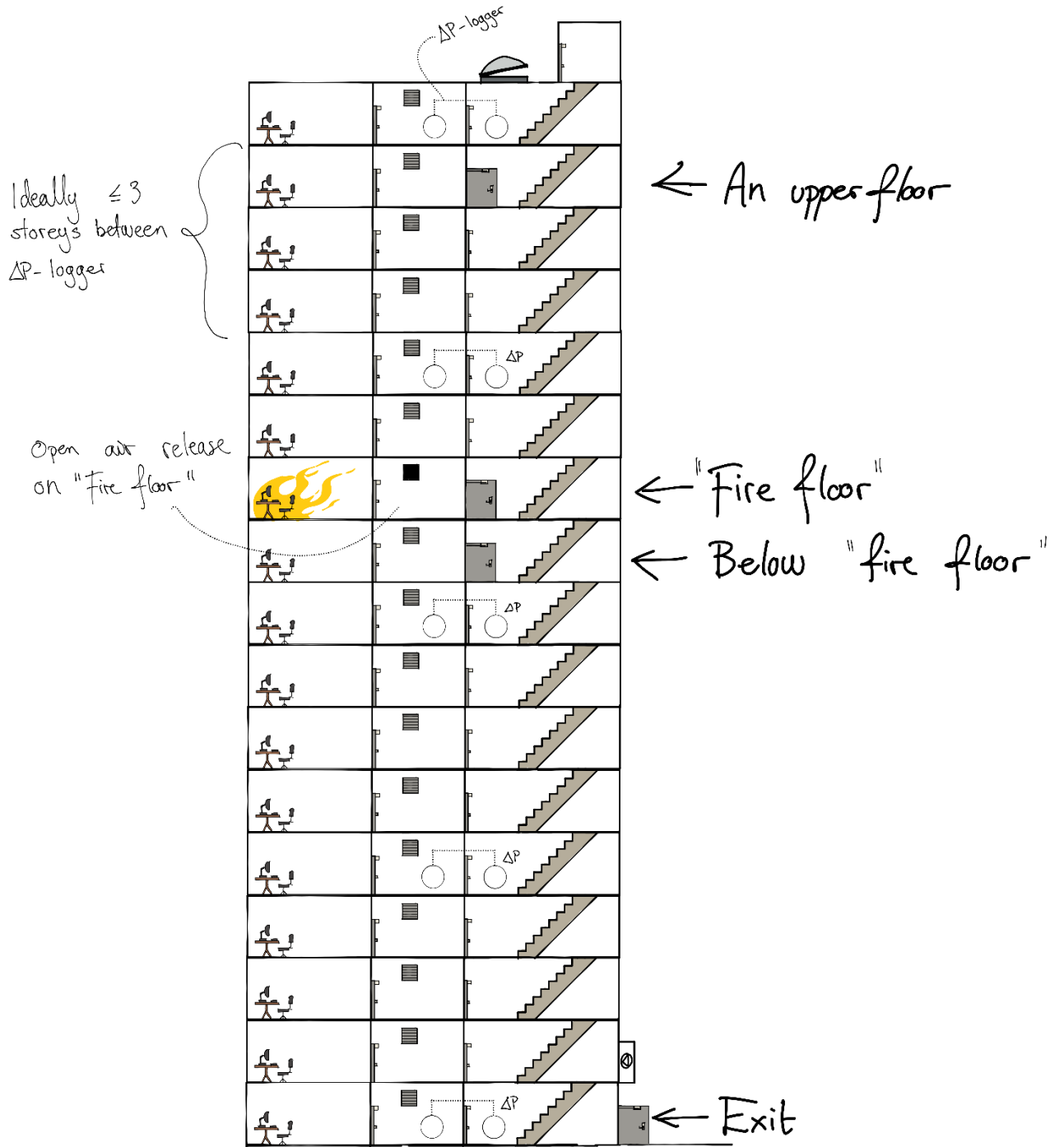


Vedlegg C: Koblingskjema for trykksetting, eksempel fra leverandør.



| | | | | | |
|--|-----------|----------------------|--------------|-----------|-------|
| VED SPØRSMÅL, KONTAKT VFIER & MILJØ AS 23 28 80 90 | | ANL.NAVN: | DATO | KORRIGERT | SIGN. |
| | | SYSTEM: TRYKKSETTING | | | |
| DATO: 19.10.2020 | SIGN: S.B | ANL.NR: | SKJEMA NR: 2 | | |

Vedlegg D: Illustrasjon av testopplegg i et eksempelbygg.



Vedlegg E: Oversikt over studier som ble hentet lest under screening-prosessen.

| Forfatter(e) | Tittel | År utgitt | Referanse |
|--|---|-----------|-----------|
| Alianto B., Nasruddin, Nugroho Y.S. | Numerical Study on the Effect of Single and Multi-injection Pressurized Fan in Enclosed Stairwell of High-Rise Building | 2022 | [37] |
| Brzezinska D., Fryda M. | Implementation of new high-rise building staircase pressure differential system improvements | 2021 | [74] |
| Fryda M., Brzezińska D., Dziubiński M. | High rise buildings stairwells pressure differential systems tests and improvement solutions | 2021 | [70] |
| Li M., Gao Z., Ji J., Li K. | Modeling of positive pressure ventilation to prevent smoke spreading in sprinklered high-rise buildings | 2018 | [80] |
| Panindre P., Mousavi N.S.S., Kumar S., Ceriello J. | Positive Pressurization and Ventilation for Fighting Fires in High-Rise Structures with Multiple Stairwells | 2018 | [81] |
| Hepguzel Acikyol B., Balik G., Kilic A. | Experimental Investigation of the Effect of Fire Protection Lobby on Stair Pressurization System in a High-Rise Building | 2017 | [82] |
| Strege S., Ferreira M. | Characterization of Stack Effect in High-Rise Buildings Under Winter Conditions, Including the Impact of Stairwell Pressurization | 2017 | [79] |
| Gai G., Cancelliere P. | Design of a pressurized smokeproof enclosure: CFD analysis and experimental tests | 2017 | [33] |
| Ko Y.J., Loughheed G.D. | Performance of stairwell pressurization system with open stairwell doors | 2016 | [71] |
| Ferreira M. | The pitfalls of pressurization smoke control systems | 2015 | [76] |
| Decheng L., Zegong L. | Study on numerical simulation of smoke control mode in smoke-proof staircase of high-rise buildings | 2015 | [83] |
| Black W.Z. | Stairwell pressurization and the movement of smoke during a high-rise fire | 2015 | [84] |
| Chen Y., Li C.-H., Li S.-C., Chen W.-H. | Network simulation on the smoke-proof effect of the staircase in high-rise building under the effect of wind pressure | 2015 | [44] |
| Zhao G., Black W.Z., Wang L. | Use of vertical shafts as routes of smoke extraction and safe egress during high-rise fires | 2015 | [85] |
| Lay S. | Pressurization systems do not work & present a risk to life safety | 2014 | [77] |
| Black W.Z. | Computer modeling of stairwell pressurization to control smoke movement during a high-rise fire | 2011 | [86] |
| Ferreira M.J., Klote J.H. | Rethinking the 'smokeproof' enclosure | 2011 | [87] |
| Yao H.-W., Liang D., Hu Z.-J., Lee S., Zhang Y.-M., Chen Z.-P., He B.-Y. | FDS research on smoke control in the stair enclosure of a high-rise building fire event | 2009 | [88] |
| Miller R.S., Beasley D. | On stairwell and elevator shaft pressurization for smoke control in tall buildings | 2009 | [89] |
| Black W.Z. | F+B43:E44loor pressurization as a means of controlling smoke during a high-rise fire | 2009 | [90] |
| Ferreira M.J., Cutonilli J. | Protecting the stair enclosure in tall buildings impacted by stack effect | 2008 | [91] |

| | | | |
|---|--|------|----------------------|
| Wang Y., Gao F. | Tests of stairwell pressurization systems for smoke control in a high-rise building | 2004 | [45] |
| Poreh M., Trebukov S., Gurevitz T. | Mitigation of wind effects on the performance of pressurization systems in high-rise buildings | 2003 | [43] |
| Jensen L. | Stairwell Flow Pressurization - A New Method | 2003 | [63] |
| Clark John A., Buckley James S. | Evolution of pressurized stairwells | 1995 | [92] |
| Chow W.K., Lum H.P. | Field Test on a Multiple Injection Staircase Pressurization System | 1994 | [93] |
| Tamura G.T. | Fire tower tests on vestibule pressurization for protection of stairshafts | 1994 | [94] |
| Yuill G.K., Haddad K.H. | Effect of opening stairwell doors on the performance of a stairshaft pressurization system | 1994 | [95] |
| Chow W.K., Lam L.W. | Evaluation of a staircase pressurization system | 1993 | [96] |
| Tamura G.T., MacDonald R.A. | Comparative performances of mechanical smoke exhaust system, zoned smoke control, and pressurized building method of smoke control | 1993 | [97] |
| Tamura G.T. | Assessment of stair pressurization systems for smoke control | 1992 | [69] |
| Tamura George T. | Stair pressurization systems for smoke control | 1991 | [68] |
| Tamura G.T. | Fire tower tests of stair pressurization systems with overpressure relief | 1990 | [62] |
| Tamura G.T. | Field tests of stairshaft pressurization systems with overpressure relief | 1990 | [40] |
| Chow W.K., Wong F.K., Lo T.T., Lau K.M. | Field tests on a staircase pressurization system installed in a commercial building | 1990 | [46] |
| Tamura G.T. | Fire tower tests of stair pressurization systems with mechanical venting of the fire floor | 1990 | [67] |
| Benjamin I.A., Klote J.H. | Stairwell pressurization systems. | 1979 | [47] |

Vedlegg F: Korrespondanse med DiBK.


Fra: Jonathan Lundblad
Sendt: lørdag 20. november 2021 12:50
Til: post@dibk.no <post@dibk.no>
Emne: HO-3/2000 Røykventilasjon

God dag,
Mitt navn er Jonathan Lundblad, jeg er student ved OsloMet, og skal skrive masteroppgave om trykksetting av trapperom. I den anledning har jeg behov for å utrede et kjapt spørsmål, ved hvilken dato ble "HO-3/2000 Røykventilasjon" tilbaketrasket og erstattet av NS-EN 12101-serien?
Ref: <https://dibk.no/regelverk/liste-over-tidligere-regelverk/Eldre-temaveiledninger/>
Tusen takk!

Svar:

Jonathan Lundblad

Ref: 21/8479-2
Deres ref: 26.01.2022
Dato: 26.01.2022



Tlf: 22 47 56 00
www.dibk.no

Postadresse:
Postboks 8742 Youngstorget,
0028 Oslo
Besøksadresse:
Mariboegate 13, Oslo
Hunnsvegen 5, Gjøvik
Org. nr.: 974760223

Svar - HO-3/2000 Røykventilasjon

Viser til din henvendelse.

Temaveiledningen HO-3/2000 er gradvis blitt uaktuell når det har kommet dekkende standarder på de forskjellige deler i NS-EN 12101-serien. Når de forskjellige standardene for delene har blitt lansert finner du på nettsiden til Standard Norge:
<https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=ns-en+12101>

For øvrig har vi tidligere angitt:

I en del tilfeller er innholdet i gamle temaveiledninger utdatert på grunn av endret regelverk, teknologisk utvikling eller andre forhold. I noen tilfeller er temaveiledninger helt eller delvis erstattet av nyere norske standarder eller anvisninger fra Byggeforskserien (SINTEF). Da må disse nyere publikasjonene brukes.

Eksempler på temaveiledninger som helt eller delvis er erstattet av nyere standarder er HO-3/2000 Røykventilasjon (erstattet av NS-EN 12101-serien) og HO-2/98 Brannalarm (erstattet av NS 3960:2013 og NS-EN 54-serien). I slike tilfeller er det bare for temaer som ikke er dekket av de nyere publikasjonene at de gamle temaveiledningene kan være aktuelle å bruke dersom det ikke er i strid med dagens regelverk.

Henvisning til temaveiledningen for røykventilasjon ble i helhet fjernet ved ikrafttredelse av TEK17.

Med hilsen

Trond S. Andersen
senioringeniør

Dokumentet er godkjent elektronisk og har derfor ikke håndskrevne signaturer.

1

Vedlegg G: Skjerm dump fra [8] hentet 05/12/2020.

Eldre temaveiledninger

Disse temaveiledningene var gyldige før 2010, og er ikke ajour med dagens byggeregler. De kan imidlertid være til nytte for å forstå dagens regelverk.

Sist endret 19.11.2013

Denne artikkelen ble publisert for en tid tilbake. Vi har tatt vare på den fordi den kan vise nyttig innhold, men merk at innholdet kan være mangelfullt eller ikke oppdatert i henhold til dagens regelverk.

Merk dette om eldre temaveiledninger

I en del tilfeller er innholdet i gamle temaveiledninger utdatert på grunn av endret regelverk, teknologisk utvikling eller andre forhold. I noen tilfeller er temaveiledninger helt eller delvis erstattet av nyere norske standarder eller anvisninger fra SINTEF Byggforsk.

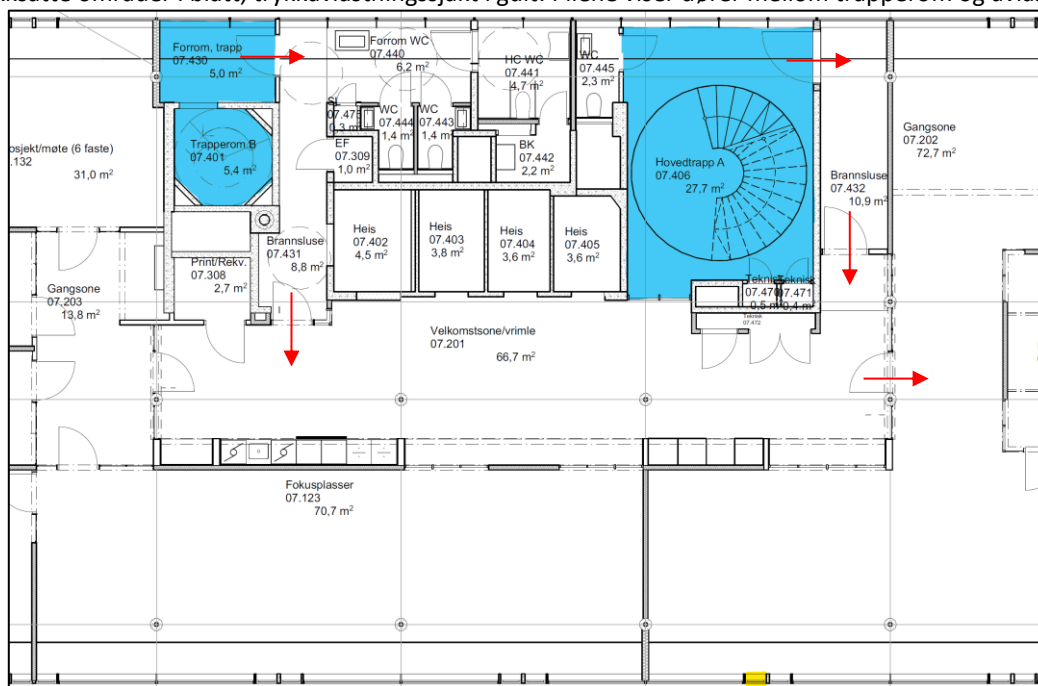
Da må disse nyere publikasjonene brukes.

Eksempler på temaveiledninger som helt eller delvis er erstattet av nyere standarder er HO-3/2000 Røykventilasjon (erstattet av NS-EN 12101-serien) og HO-2/98 Brannalarm (erstattet av NS 3960:2013 og NS-EN 54-serien).

I slike tilfeller er det bare for temaer som ikke er dekket av de nyere publikasjonene, at de gamle temaveiledningene kan være aktuelle å bruke dersom det ikke er i strid med dagens regelverk.

Vedlegg H: Bygg A et. 7 utsnitt fra plantegning, tilsvarende systemløsning et. 3, 7, 8.

Trykksatte områder i blått, trykkavlastningssjakt i gult. Pilene viser dører mellom trapperom og avlastning



Vedlegg K: Bilder fra bygg A



Felles trykkavlastning i kjeller, et. 0 og -1.



Felles trykkavlastning i øvrige etasjer



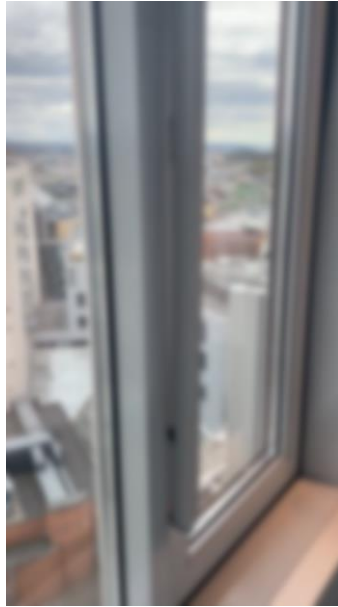
Vifte A1



Vifte A2



Røykluker i A1



Røykluke i A2, bildet manipulert for å anonymisere lokasjonen



Trapp A2 hadde vinduer i fasaden fom. 4 tom. 17. etasje. Bildet manipulert for å anonymisere lokasjonen

Vedlegg L: A1 Alle resultater

| Test: | Date | Test started | Test ended | Total log duration |
|-------|------------|--------------|------------|--------------------|
| A1 | 03.05.2022 | 02:53:30,0 | 04:05:05,0 | 01:11:35 |

| Tests and timing | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|---------|
| Escape scenario tests | Start | | Manual correction | Graph address | Comment | |
| Pre-start | 02:53:35,0 | | | Data!SD\$8:\$N\$128 | | |
| Start | 02:58:02,0 | | | Data!SD\$542:\$N\$662 | | |
| System on | 02:59:32,0 | | | Data!SD\$721:\$N\$841 | | |
| Fire floor | 03:07:00,0 | | | Data!SD\$1617:\$N\$1737 | | |
| Class C | 03:02:00,0 | | | Data!SD\$1017:\$N\$1137 | | |
| Class D | 03:29:00,0 | | | Data!SD\$4257:\$N\$4377 | | |
| Class E | 03:22:00,0 | | | Data!SD\$3417:\$N\$3537 | | |
| 3+1 | 03:35:10,0 | | | Data!SD\$4997:\$N\$5117 | | |
| H-O | 03:12:15,0 | | | Data!SD\$2247:\$N\$2367 | | |
| Reaction tests | Timing | Timer | Manual correction | Graph address | Dynamic response ti | Comment |
| Top opened | 03:45:00,0 | 00:00:02,5 | | Data!SD\$6177:\$N\$6237 | Pressure difference before/after: | |
| Top open | 03:45:02,5 | 00:00:10,5 | | | -0,75 % | |
| Top closing | 03:45:13,0 | 00:00:04,5 | | Duration: | Reaction time: | |
| Top closed | 03:45:17,5 | | | 00:00:17,5 | #N/A | |
| Mid opened | 03:54:00,0 | 00:00:04,0 | | Data!SD\$7257:\$N\$7317 | Pressure difference before/after: | |
| Mid open | 03:54:04,0 | 00:00:10,0 | | | 0,19 % | |
| Mid closing | 03:54:14,0 | 00:00:03,5 | | Duration: | Reaction time: | |
| Mid closed | 03:54:17,5 | | | 00:00:17,5 | #N/A | |
| Lowest opened | 04:02:10,0 | 00:00:01,5 | | Data!SD\$8237:\$N\$8297 | Pressure difference before/after: | |
| Lowest open | 04:02:11,5 | 00:00:09,5 | | | -1,14 % | |
| Lowest closing | 04:02:21,0 | 00:00:04,5 | | Duration: | Reaction time: | |
| Lowest closed | 04:02:25,5 | | | 00:00:15,5 | #N/A | |

| Class | Scenario | Position | Average pressure [Pa] | Average all floors [Pa] | Comment |
|------------|---|-----------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Pre-start | System off, closed | Top | 13,3 | -0,2 | |
| | | Upper mid | -1,4 | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | -3,4 | | |
| | | Lowest | -9,4 | | |
| System on | System on, closed | Top | 46,0 | 34,8 | |
| | | Upper mid | 29,1 | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | 31,9 | | |
| | | Lowest | 32,1 | | |
| Fire floor | Fire floor open | Top | 39,6 | 34,4 | |
| | | Upper mid | 19,6 | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | 36,0 | | |
| | | Lowest | 42,2 | | |
| C | Exit door open | Top | 27,3 | 15,7 | |
| | | Upper mid | 10,7 | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | 12,7 | | |
| | | Lowest | 12,0 | | |
| D | Fire floor + Exit door | Top | 18,9 | 9,6 | |
| | | Upper mid | 1,9 | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | 8,3 | | |
| | | Lowest | 9,4 | | |
| E | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door | Top | 18,4 | 10,6 | |
| | | Upper mid | 2,0 | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | 9,4 | | |
| | | Lowest | 12,4 | | |
| HO-3 | Fire floor + Beneath fire floor | Top | 35,9 | 30,9 | |
| | | Upper mid | 14,6 | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | 33,1 | | |
| | | Lowest | 40,0 | | |
| 3+1 | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door + Upper floor | Top | 18,6 | 9,1 | |
| | | Upper mid | 0,8 | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | 7,8 | | |
| | | Lowest | 9,2 | | |

| Class | Floor measured | Test no. | Velocities | | Pressure during measurement (floor of Response test omitted) | Comment |
|-----------------|----------------|----------|--------------|---------------|--|---------|
| | | | Result [m/s] | Average [m/s] | | |
| Fire floor /A/C | Fire floor | 1 | 1,22 | 1,29 | 34,4 | |
| | | 2 | 1,38 | | | |
| | | 3 | 1,28 | | | |
| D | Fire floor | 1 | 0,64 | 0,66 | 9,6 | |
| | | 2 | 0,67 | | | |
| | | 3 | | | | |
| E | Fire floor | 1 | 0,59 | 0,62 | 10,6 | |
| | | 2 | 0,64 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,13 | 0,13 | | |
| | | 2 | 0,13 | | | |
| | | 3 | | | | |
| HO-3 | Fire floor | 1 | 1,31 | 1,26 | 30,9 | |
| | | 2 | 1,20 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,26 | 0,27 | | |
| | | 2 | 0,29 | | | |
| | | 3 | 0,25 | | | |
| Response tests | Top opened | 1 | 2,00 | 2,02 | 24,5 | |
| | | 2 | 2,03 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Mid opened | 1 | 1,33 | 1,37 | 33,8 | |
| | | 2 | 1,41 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Lowest opened | 1 | 0,33 | 0,34 | 26,3 | |
| | | 2 | 0,34 | | | |
| | | 3 | | | | |

| Manual corrections in dataset per instrument location [s] | | | | |
|---|-----------|-----|-----------|--------|
| Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest |
| 1 | 1 | | 1,5 | 0 |

| Legend | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----------|-------|-----------|--------|------------|-------------|-------|-------------|--------------|
| No. of floors | Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest | Fire floor | Beneath FF. | Exit | Upper floor | in set point |
| 20 | fl. 17 | fl. 12 | fl. 7 | fl. 4 | -fl. 2 | fl. 10 | fl. 9 | fl. 1 | fl. 14 | 40 Pa |

| Average pressure per floor, per scenario | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|---------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------|
| | Set point [Pa] | 100 N [Pa] | Pre-start | System on | Fire floor | Class C | Class D | Class E | HO-3 | 3+1 | 67 N [Pa] |
| | | | System off, closed [Pa] | System on, closed [Pa] | Open fl. [10] [Pa] | Open fl. 1* [Pa] | Open fl. 1*, [10] [Pa] | Open fl. 1*, 9, [10] [Pa] | Open fl. 9, [10] [Pa] | Open fl. 1*, 9, [10] [Pa] | |
| 17 | 40 | 0 | 13 | 46 | 40 | 27 | 19 | 18 | 36 | 19 | 0 |
| 16 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 15 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 14 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 13 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 12 | 40 | 0 | -1 | 29 | 20 | 11 | 2 | 2 | 15 | 1 | 0 |
| 11 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 10 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 9 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 8 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 7 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 6 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 5 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 4 | 40 | 0 | -3 | 32 | 36 | 13 | 8 | 9 | 33 | 8 | 0 |
| 3 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 2 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 1 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 0 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| -1 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| -2 | 40 | 0 | -9 | 32 | 42 | 12 | 9 | 12 | 40 | 9 | 0 |

| Floor | Door opening force | | | | | | Maximum values | |
|-------|--------------------|---|---------|-----------|---|---------|----------------|-------|
| | System off | | | System on | | | 67 N | 100 N |
| | 1 | 2 | Average | 1 | 2 | Average | | |
| 17 | | | | | | | 67 | 100 |
| 16 | | | | | | | 67 | 100 |
| 15 | | | | | | | 67 | 100 |
| 14 | | | | | | | 67 | 100 |
| 13 | | | | | | | 67 | 100 |
| 12 | | | | | | | 67 | 100 |
| 11 | | | | | | | 67 | 100 |
| 10 | | | | | | | 67 | 100 |
| 9 | | | | | | | 67 | 100 |
| 8 | | | | | | | 67 | 100 |
| 7 | | | | | | | 67 | 100 |
| 6 | | | | | | | 67 | 100 |
| 5 | | | | | | | 67 | 100 |
| 4 | | | | | | | 67 | 100 |
| 3 | | | | | | | 67 | 100 |
| 2 | | | | | | | 67 | 100 |
| 1 | | | | | | | 67 | 100 |
| 0 | | | | | | | 67 | 100 |
| -1 | | | | | | | 67 | 100 |

| Floor | Test of automatic doors A1 | | | |
|-------|----------------------------|---|-----------|---|
| | System off | | System on | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 17 | v | v | x | x |
| 16 | v | v | v | v |
| 15 | v | v | x | x |
| 14 | v | v | v | v |
| 13 | v | v | v | x |
| 12 | v | v | x | x |
| 11 | v | v | | |
| 10 | v | v | x | x |
| 9 | v | v | | |
| 8 | v | v | | |
| 7 | v | v | x | x |
| 6 | v | v | | |
| 5 | v | v | | |
| 4 | v | v | v | x |
| 3 | v | v | | |
| 2 | v | v | | |
| 1 | | | | |
| 0 | v | v | v | v |
| -1 | v | v | x | x |

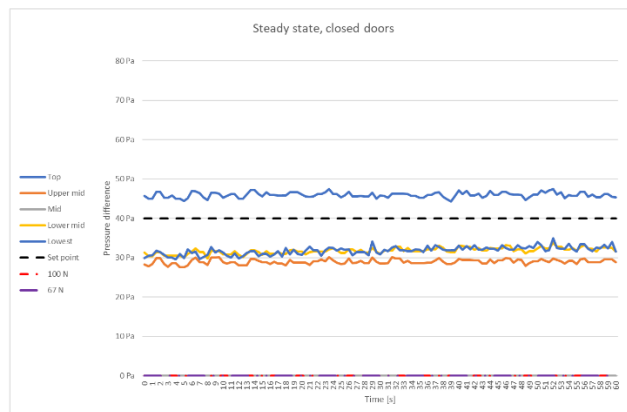
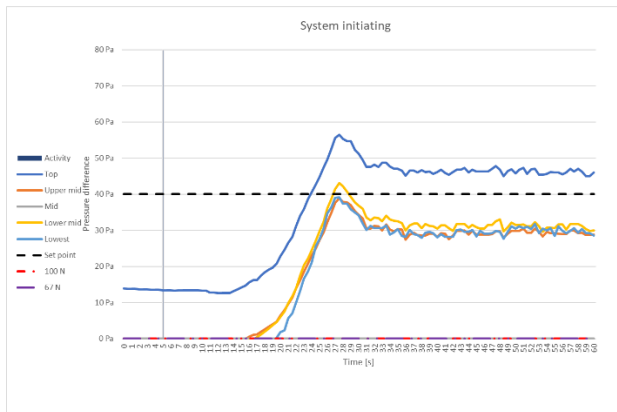
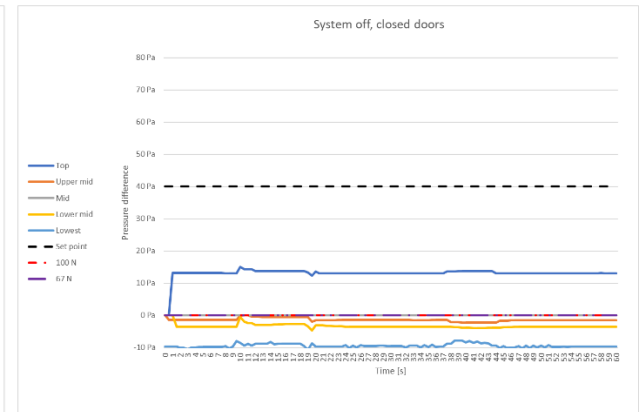
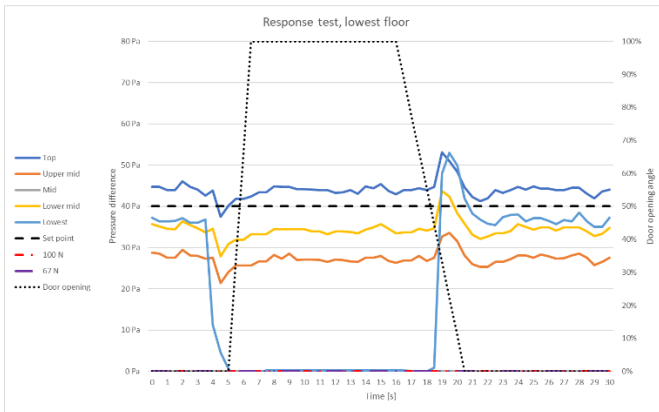
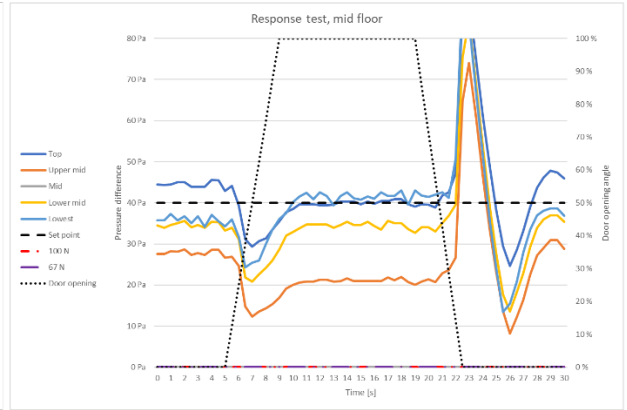
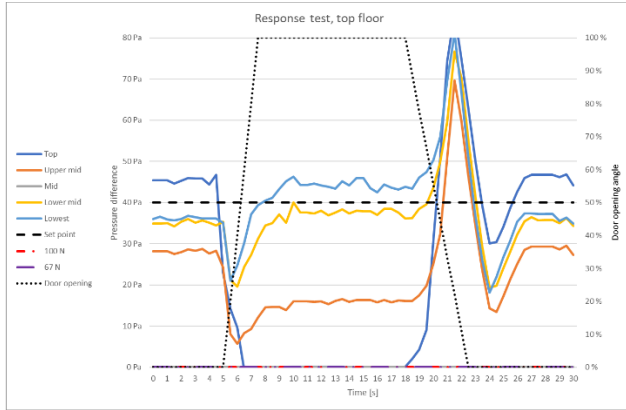
Notes
Instrument on 7th floor did not get proper data, flange improperly inserted before test.
Air release damper on basement level not possible to open from central, lacked proper tools to force open manually

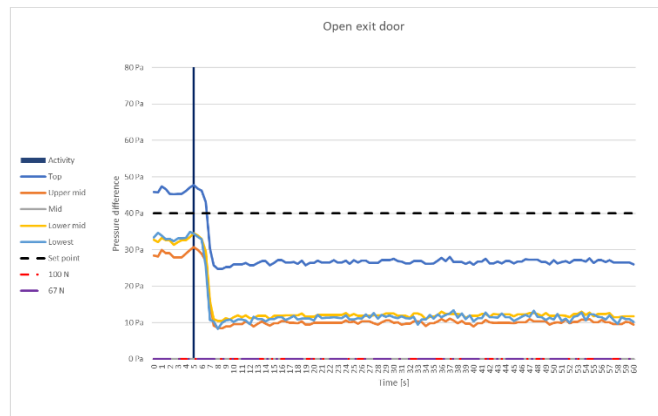
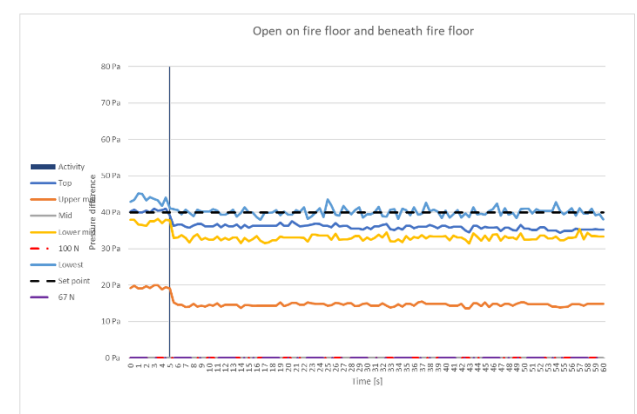
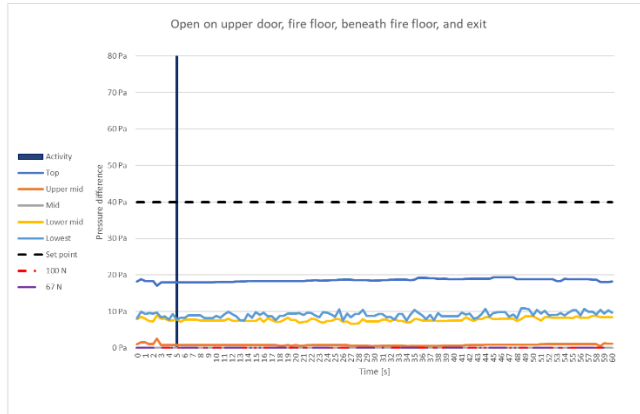
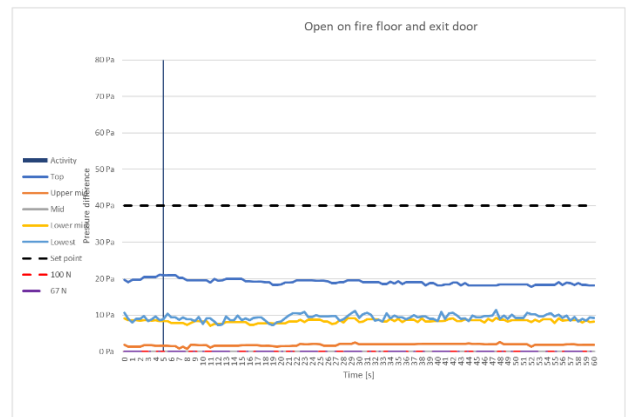
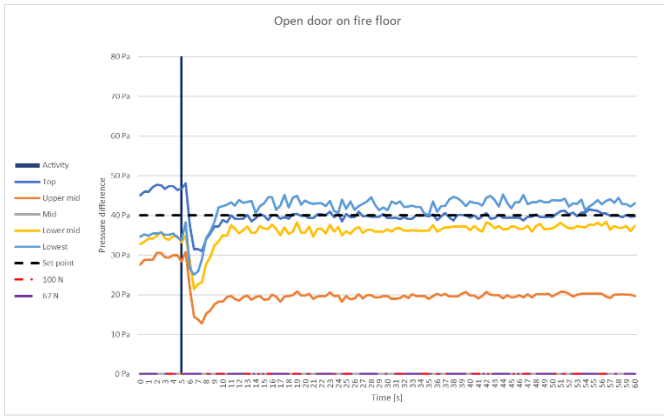
| Weather and temperature observations | | |
|--------------------------------------|-------------------------|--|
| Source: | Field measurement | |
| Time: | 02.05.2022 21:49 | |
| Location | Balcony on 17th fl. | |
| Wind behaviour | Shifting | |
| Wind direction | NW | |
| Roof/top Velocity [m/s] | 2,29 m/s | |
| Weather condition | Clear skies, night time | |
| Outside temperature | 11,2°C | |
| Temp. inside staircase, top | 23,1°C | |
| Location | Street, North side | |
| Wind behaviour | Weak, shifting | |
| Wind direction | N | |
| Terrain/low Velocity [m/s] | 0,19 m/s | |
| Outside temperature | 11,5°C | |
| Temp. inside staircase, lowest | 21,6°C | |

| Floor | Measured | 0,75 m/s | 1 m/s | 2 m/s |
|-------|----------|----------|-------|-------|
| 17 | 2,02 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 16 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 15 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 14 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 13 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 12 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 11 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 10 | 1,29 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 9 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 8 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 7 | 1,37 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 6 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 5 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 4 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 3 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 2 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 0 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| -1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| -2 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |

| Supplemental weather station data, timed closer to test | | |
|---|---------------------|--|
| Location | Blindern værstation | |
| Mean wind velocity | 03.03.2022 03:00 | |
| Elevation, weather station | 94 m | |
| Weather station Elevation, test location terrain | 16 m | |
| Distance from test location | 3,0 km | |
| Wind direction | NE | |
| Mean wind velocity (hour) | 2,4 m/s | |
| Outside temperature | 4,7°C | |

Vedlegg M: A1 Grafer





Vedlegg N: A2 Alle resultater

| Test: | Date | Test started | Test ended | Total log duration |
|-------|------------|--------------|------------|--------------------|
| A2 | 02.05.2022 | | | 00:00:00 |

| Tests and timing | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------|
| Escape scenario tests | Start | | Manual correction | Graph adress | Comment | |
| Pre-start | 23:04:00,0 | | | Data!\$D\$41:\$N\$161 | | |
| Start | 23:14:30,0 | | | Data!\$D\$1301:\$N\$1421 | | |
| System on | 23:16:00,0 | | | Data!\$D\$1481:\$N\$1601 | | |
| Fire floor | 23:24:00,0 | | | Data!\$D\$2441:\$N\$2561 | | |
| Class C | 23:18:00,0 | | | Data!\$D\$1721:\$N\$1841 | | |
| Class D | 23:50:00,0 | | | Data!\$D\$5561:\$N\$5681 | | |
| Class E | 23:40:00,0 | | | Data!\$D\$4361:\$N\$4481 | | |
| 3+1 | 23:54:00,0 | | | Data!\$D\$6041:\$N\$6161 | | |
| HO-3 | 23:28:30,0 | | | Data!\$D\$2981:\$N\$3101 | | |
| Response tests | Timing | Timer | Manual correction | Graph adress | Dynamic response ti | Comment |
| Top opened | 01:20:00,0 | 00:00:02,0 | 00:00:01,0 | Data!\$D\$7513:\$N\$7573 | Pressure difference before/after: | |
| Top open | 01:20:02,0 | 00:00:10,0 | 00:00:01,0 | | 1,55 % | |
| Top closing | 01:20:12,0 | 00:00:03,0 | 00:00:01,0 | | Reaction time: | |
| Top closed | 01:20:15,0 | | 00:00:01,0 | | 00:00:15,0 | 00:01,5 |
| Mid opened | 01:21:30,0 | 00:00:02,0 | | Data!\$D\$7691:\$N\$7751 | Pressure difference before/after: | |
| Mid open | 01:21:32,0 | 00:00:10,0 | | | 1,33 % | |
| Mid closing | 01:21:42,0 | 00:00:03,5 | | | Reaction time: | |
| Mid closed | 01:21:45,5 | | | | 00:00:15,5 | 00:02,5 |
| Lowest opened | 01:17:30,0 | 00:00:01,5 | | Data!\$D\$7211:\$N\$7271 | Pressure difference before/after: | |
| Lowest open | 01:17:31,5 | 00:00:10,0 | | | -1,87 % | |
| Lowest closing | 01:17:41,5 | 00:00:04,5 | | | Reaction time: | |
| Lowest closed | 01:17:46,0 | | | | 00:00:16,0 | 00:01,5 |

| Class | Scenario | Position | Average pressure [Pa] | Average all floors [Pa] | Comment |
|------------|---|-----------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Pre-start | System off, closed | Top | 1,7 | -4,5 | |
| | | Upper mid | -5,1 | | |
| | | Mid | -6,5 | | |
| | | Lower mid | -7,8 | | |
| | | Lowest | -4,8 | | |
| System on | System on, closed | Top | 35,1 | 35,3 | |
| | | Upper mid | 31,5 | | |
| | | Mid | 33,4 | | |
| | | Lower mid | 35,2 | | |
| | | Lowest | 41,3 | | |
| Fire floor | Fire floor open | Top | 31,7 | 60,7 | |
| | | Upper mid | 26,9 | | |
| | | Mid | 58,3 | | |
| | | Lower mid | 86,7 | | |
| | | Lowest | 99,7 | | |
| C | Exit door open | Top | 27,6 | 25,2 | |
| | | Upper mid | 23,7 | | |
| | | Mid | 25,7 | | |
| | | Lower mid | 27,8 | | |
| | | Lowest | 21,3 | | |
| D | Fire floor + Exit door | Top | 9,9 | 13,8 | |
| | | Upper mid | 3,8 | | |
| | | Mid | 11,7 | | |
| | | Lower mid | 20,3 | | |
| | | Lowest | 23,3 | | |
| E | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door | Top | 8,4 | 12,1 | |
| | | Upper mid | 2,0 | | |
| | | Mid | 9,7 | | |
| | | Lower mid | 18,9 | | |
| | | Lowest | 21,6 | | |
| HO-3 | Fire floor + Beneath fire floor | Top | 28,8 | 66,1 | |
| | | Upper mid | 22,4 | | |
| | | Mid | 60,6 | | |
| | | Lower mid | 101,5 | | |
| | | Lowest | 117,3 | | |
| 3+1 | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door + Upper floor | Top | 8,2 | 12,0 | |
| | | Upper mid | 1,2 | | |
| | | Mid | 9,4 | | |
| | | Lower mid | 19,1 | | |
| | | Lowest | 21,9 | | |

| Velocities | | | | | | |
|-----------------|----------------|----------|--------------|---------------|--|---------|
| Class | Floor measured | Test no. | Result [m/s] | Average [m/s] | Pressure during measurement (floor of Response test omitted) | Comment |
| Fire floor /A/C | Fire floor | 1 | 1,91 | 1,89 | 60,7 | |
| | | 2 | 2,02 | | | |
| | | 3 | 1,74 | | | |
| D | Fire floor | 1 | 0,87 | 0,86 | 13,8 | |
| | | 2 | 0,85 | | | |
| | | 3 | | | | |
| E | Fire floor | 1 | 0,86 | 0,80 | 12,1 | |
| | | 2 | 0,74 | | | |
| | | 3 | 0,80 | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,14 | 0,15 | | |
| | | 2 | 0,16 | | | |
| | | 3 | 0,15 | | | |
| HO-3 | Fire floor | 1 | 1,66 | 1,69 | 66,1 | |
| | | 2 | 1,71 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,56 | 0,37 | | |
| | | 2 | 0,27 | | | |
| | | 3 | 0,29 | | | |
| Response tests | Top opened | 1 | 1,75 | 1,75 | 54,2 | |
| | | 2 | 1,75 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Mid opened | 1 | 2,50 | 2,25 | 50,6 | |
| | | 2 | 2,00 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Lowest opened | 1 | 1,45 | 1,43 | 35,5 | |
| | | 2 | 1,60 | | | |
| | | 3 | 1,24 | | | |

| Manual corrections in dataset per instrument location [s] | | | | |
|---|-----------|-----|-----------|--------|
| Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest |
| | | | | |

| Legend | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----------|-------|-----------|--------|------------|-------------|-------|-------------|--------------|
| No. of floors | Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest | Fire floor | Beneath FF. | Exit | Upper floor | in set point |
| 20 | fl. 16 | fl. 12 | fl. 7 | fl. 4 | -fl. 1 | fl. 10 | fl. 9 | fl. 2 | fl. 14 | 40 Pa |

| | Average pressure per floor, per scenario | | | | | | | | | | |
|----|--|---------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------|
| | Set point [Pa] | 100 N [Pa] | Pre-start | System on | Fire floor | Class C | Class D | Class E | HO-3 | 3+1 | 67 N [Pa] |
| | | | System off, closed [Pa] | System on, closed [Pa] | Open fl. [10] [Pa] | Open fl. 2* [Pa] | Open fl. 2*, 9, [10] [Pa] | Open fl. 2*, 9, [10] [Pa] | Open fl. 9, [Pa] | Open fl. 2*, 9, [Pa] | |
| 17 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 16 | 40 | 45 | 2 | 35 | 32 | 28 | 10 | 8 | 29 | 8 | 11 |
| 15 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 14 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 13 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 12 | 40 | 45 | -5 | 32 | 27 | 24 | 4 | 2 | 22 | 1 | 11 |
| 11 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 10 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 9 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 8 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 7 | 40 | 45 | -6 | 33 | 58 | 26 | 12 | 10 | 61 | 9 | 11 |
| 6 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 5 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 4 | 40 | 45 | -8 | 35 | 87 | 28 | 20 | 19 | 101 | 19 | 11 |
| 3 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 2 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 1 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| 0 | 40 | 45 | | | | | | | | | 11 |
| -1 | 40 | 45 | -5 | 41 | 100 | 21 | 23 | 22 | 117 | 22 | 11 |

| EN 12101 Door opening force | |
|-------------------------------------|----------|
| F _{max} [N] | 100 |
| FI. 3-16 | |
| F _r [N] | 56 |
| W _{door} [m] | 0,906 |
| H _{door} [m] | 2,024 |
| A _{door} [m ²] | 1,833744 |
| ΔP _{design} [Pa] | 40,00 |
| d [m] | 0,07 |
| F _{opening} [N] | 95,4 |
| ΔP _{max, 100N} [Pa] | 44,7 |
| FI. 0,-1 | |
| F _r [N] | 73 |
| W _{door} [m] | 0,805 |
| H _{door} [m] | 1,924 |
| A _{door} [m ²] | 1,54882 |
| ΔP _{design} [Pa] | 40,00 |
| d [m] | 0,07 |
| F _{opening} [N] | 107,2 |
| ΔP _{max, 100N} [Pa] | 31,5 |

| TEK17 Door opening force | |
|-------------------------------------|----------|
| F _{max} [N] | 67 |
| FI. 3-16 | |
| F _r [N] | 56 |
| W _{door} [m] | 0,906 |
| H _{door} [m] | 2,024 |
| A _{door} [m ²] | 1,833744 |
| ΔP _{design} [Pa] | 40,00 |
| d [m] | 0,07 |
| F _{opening} [N] | 95,4 |
| ΔP _{max, 67N} [Pa] | 11,5 |
| FI. 0,-1 | |
| F _r [N] | 73 |
| W _{door} [m] | 0,805 |
| H _{door} [m] | 1,924 |
| A _{door} [m ²] | 1,54882 |
| ΔP _{design} [Pa] | 40,00 |
| d [m] | 0,07 |
| F _{opening} [N] | 107,2 |
| ΔP _{max, 67N} [Pa] | -7,4 |

| Floor | Door opening force | | | | | | | |
|-------|--------------------|----|---------|-----------|-----|---------|----------------|-------|
| | System off | | | System on | | | Maximum values | |
| | 1 | 2 | Average | 1 | 2 | Average | 67 N | 100 N |
| 17 | | | | | | | 67 | 100 |
| 16 | 60 | 58 | 59 | 94 | 92 | 93 | 67 | 100 |
| 15 | 75 | 72 | 74 | 105 | 110 | 108 | 67 | 100 |
| 14 | 49 | 50 | 50 | 85 | 80 | 83 | 67 | 100 |
| 13 | 50 | 56 | 53 | 98 | 100 | 99 | 67 | 100 |
| 12 | 48 | 50 | 49 | 85 | 85 | 85 | 67 | 100 |
| 11 | 45 | 45 | 45 | 83 | 85 | 84 | 67 | 100 |
| 10 | 45 | 50 | 48 | 88 | 92 | 90 | 67 | 100 |
| 9 | 55 | 55 | 55 | 95 | 95 | 95 | 67 | 100 |
| 8 | 57 | 52 | 55 | 95 | 92 | 94 | 67 | 100 |
| 7 | 52 | 55 | 54 | 100 | 100 | 100 | 67 | 100 |
| 6 | 59 | 58 | 59 | 95 | 100 | 98 | 67 | 100 |
| 5 | 58 | 56 | 57 | 100 | 98 | 99 | 67 | 100 |
| 4 | 66 | 70 | 68 | 110 | 115 | 113 | 67 | 100 |
| 3 | | | | | | | 67 | 100 |
| 2 | | | | | | | 67 | 100 |
| 1 | | | | | | | 67 | 100 |
| 0 | 70 | 70 | 70 | 112 | 116 | 114 | 67 | 100 |
| -1 | 75 | 78 | 77 | 55 | 60 | 58 | 67 | 100 |

| Floor | Test of automatic doors | | | |
|-------|-------------------------|---|-----------|---|
| | System off | | System on | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 17 | | | | |
| 16 | | | | |
| 15 | | | | |
| 14 | | | | |
| 13 | | | | |
| 12 | | | | |
| 11 | | | | |
| 10 | | | | |
| 9 | | | | |
| 8 | | | | |
| 7 | | | | |
| 6 | | | | |
| 5 | | | | |
| 4 | | | | |
| 3 | | | | |
| 2 | | | | |
| 1 | | | | |
| 0 | | | | |
| -1 | | | | |

Notes

The ARD (Air release damper) on the underground floors could not be opened for testing.

The door on floor -1 opened in the wrong direction, swinging opposite of escape route

The AROR (Air release opening on roof) could not open due to mechanical fault, neither automatically or manually.

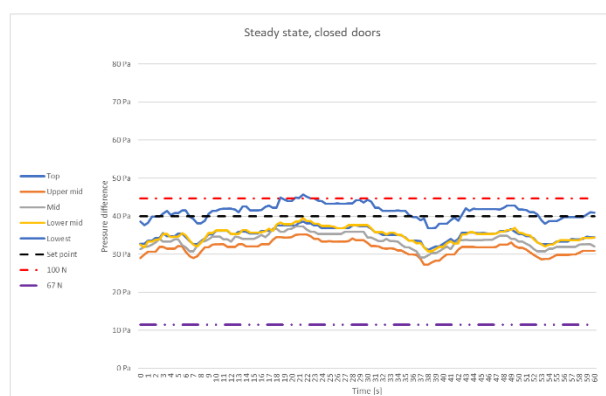
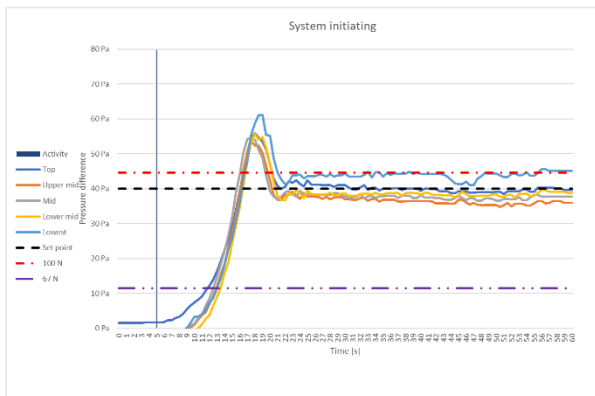
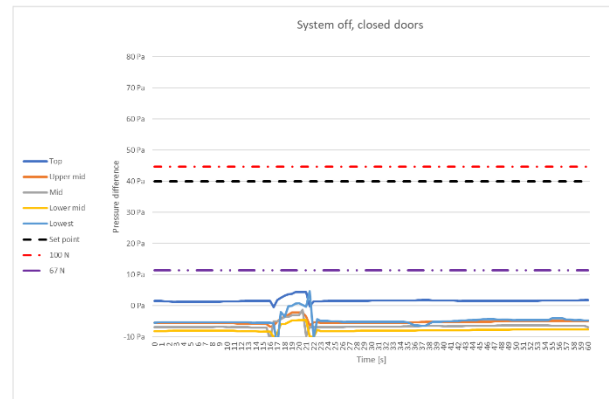
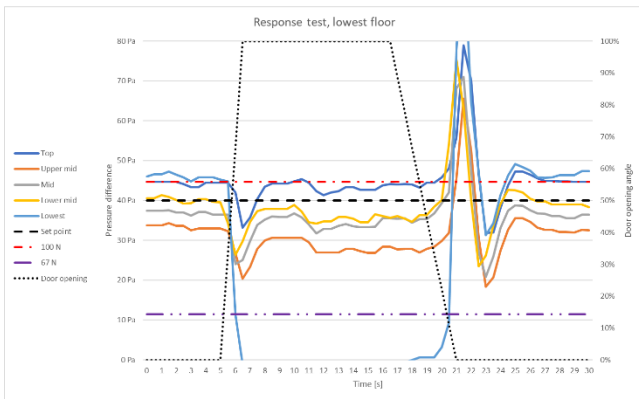
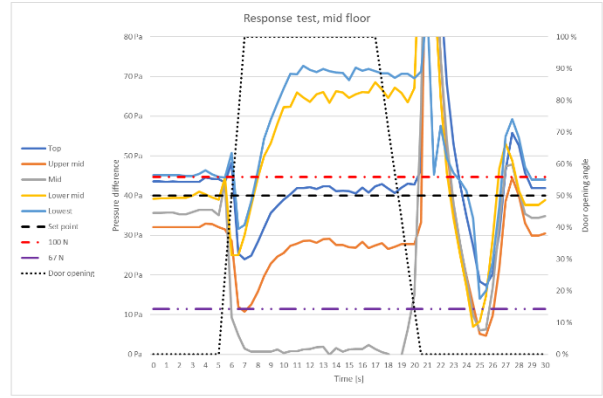
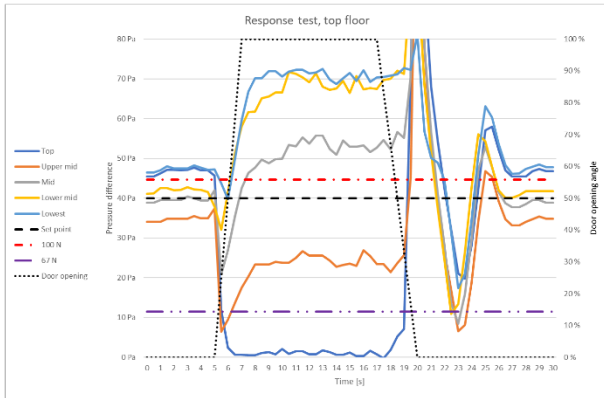
On several floors, the AROF (air release on façade), was blocked by walls or doors (for example fl. 7 and 4). Doors were forced open to make sure air was flowing as intended. Some doors could theoretically be opened remotely, but it was uncertain if it was programmed to do so. Other doors were completely mechanical, and the air release will not work as intended on these floors in a fire scenario.

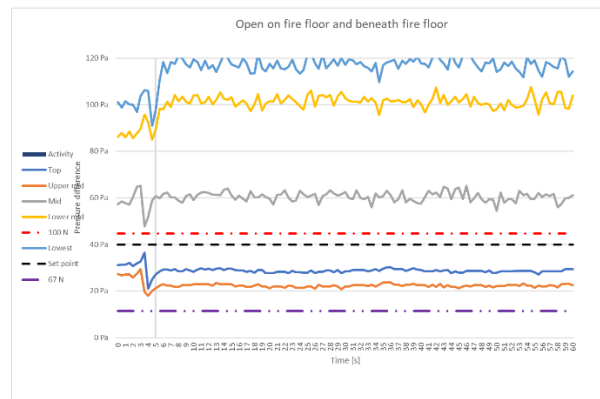
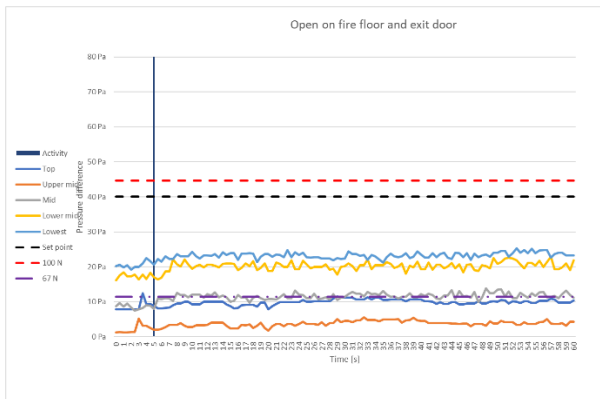
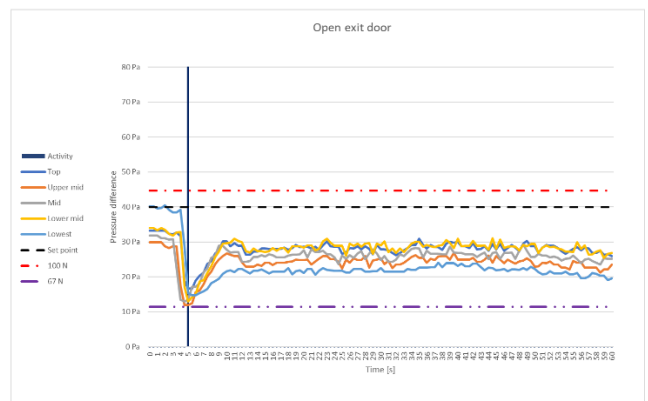
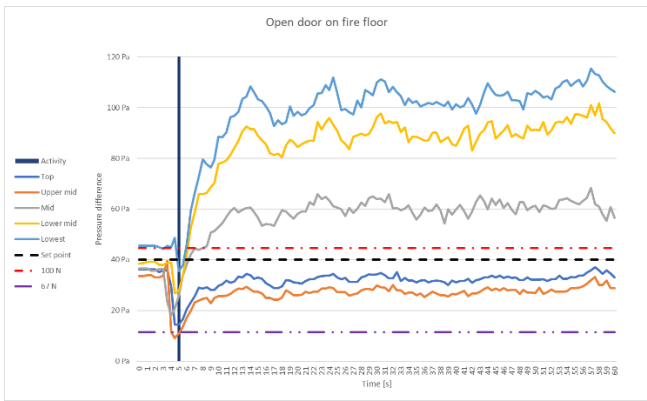
| Weather and temperature observations | | |
|--------------------------------------|-------------------------|--|
| Source: | Field measurement | |
| Time: | 02.05.2022 21:49 | |
| Location | Balcony on 17th fl. | |
| Wind behaviour | Shifting | |
| Wind direction | NE | |
| Velocity [m/s] | 2,29 m/s | |
| Weather condition | Clear skies, night time | |
| Outside temperature | 11,2°C | |
| Temp. inside staircase, top | 23,0°C | |
| Location | Street, North side | |
| Wind behaviour | Weak, shifting | |
| Wind direction | N | |
| Velocity [m/s] | 0,19 m/s | |
| Outside temperature | 11,5°C | |
| Temp. inside staircase, lowest | 20,0°C | |

| Floor | Measured | 0,75 m/s | 1 m/s | 2 m/s |
|-------|----------|----------|-------|-------|
| 17 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 16 | 1,75 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 15 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 14 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 13 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 12 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 11 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 10 | 1,89 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 9 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 8 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 7 | 2,25 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 6 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 5 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 4 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 3 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 2 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 0 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| -1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |

| Supplemental weather station data, timed closer to test | | |
|---|--|--|
| Location | | |
| Mean wind velocity | | |
| Elevation, weather station | | |
| Elevation, test location terrain | | |
| Distance from test location | | |
| Wind direction | | |
| Mean wind velocity (hour) | | |
| Outside temperature | | |

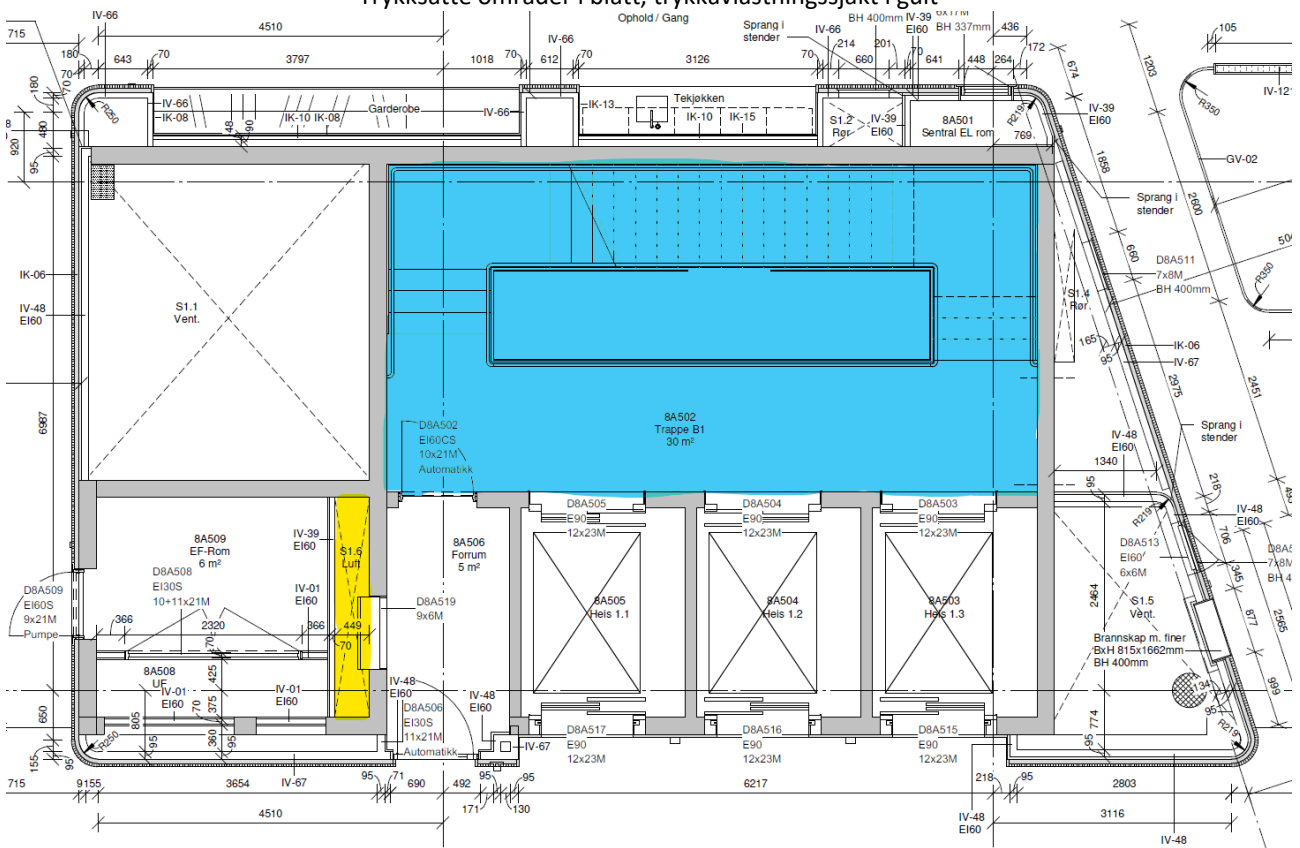
Vedlegg O: A2 Grafer





Vedlegg P: B1 et. 8 Utsnitt fra plantegning.

Trykksatte områder i blått, trykkavlastningssjakt i gult



Vedlegg S: B1 Bilder av trapperom

Åpningen i trapp B1



Utforming av trapperommet et. 10. Dør til sluserom til innerst v.s.



Røykluke B1



Innvendig i trykkavlastningssjakt



Takluke i åpen posisjon



Takluke sett fra et. 10

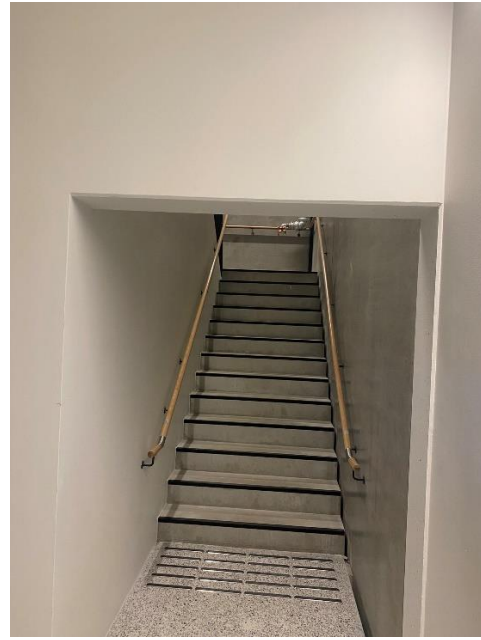


Vedlegg T: B2 Bilder av trapperom

Viften i B2



Trappeoppgang foran viften



Luken i toppen av trapperommet foran luken til trykkavlastningssjakt

Trykkavlastningsspjeldene anvendt i sluserommene



Vedlegg U: B3 Bilder av trapperom

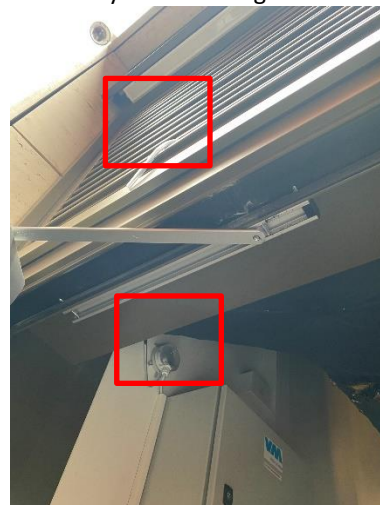
Viften til B3



Gardiner foran viftens utløp



Bildet viser innvendig og utvendig referansepunkt til trykkdifferansegiver



Trykkavlastning



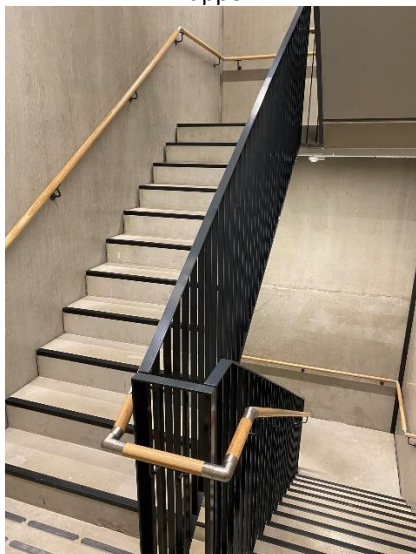
Innvendig i trykkavlastningssjakten



Luke til trykkavlastningssjakten



Trappen



Heisdør i trappens første etasje



Vedlegg V: B1 Alle resultater

| Test: | Date | Test started | Test ended | Total log duration |
|-------|------------|--------------|------------|--------------------|
| B1 | 29.05.2022 | 17:50:45,0 | 19:11:37,5 | 01:20:52 |

| Tests and timing | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|
| Escape scenario tests | Start | | Manual correction | Graph address | | Comment |
| Pre-start | 17:50:51,0 | | | Data\SD\$9:\$N\$129 | | |
| Start | 17:54:41,0 | | | Data\SD\$469:\$N\$589 | | |
| System on | 17:55:41,0 | | | Data\SD\$589:\$N\$709 | | |
| Fire floor | 18:29:34,0 | | | Data\SD\$465:\$N\$475 | | |
| Class C | 18:06:00,0 | | | Data\SD\$1827:\$N\$1947 | | |
| Class D | 18:07:42,0 | | | Data\SD\$2031:\$N\$2151 | | |
| Class E | 18:12:05,0 | | | Data\SD\$2557:\$N\$2677 | | |
| 3+1 | 18:17:12,0 | | | Data\SD\$3171:\$N\$3291 | | |
| HO-3 | 18:35:05,0 | | | Data\SD\$5317:\$N\$5437 | | |
| Response tests | Timing | Timer | Manual correction | Graph address | Dynamic response ti | Comment |
| Top opened | 18:47:00,0 | 00:00:03,0 | | Data\SD\$6747:\$N\$6807 | Pressure difference before/after: | Reaction time non calculable, at no point over 100N limit |
| Top open | 18:47:03,0 | 00:00:10,0 | | | 1,96 % | |
| Top closing | 18:47:13,0 | 00:00:06,5 | | Duration: | Reaction time: | |
| Top closed | 18:47:19,5 | | | 00:00:19,5 | #N/A | |
| Mid opened | 18:55:13,0 | 00:00:04,0 | | Data\SD\$7733:\$N\$7793 | Pressure difference before/after: | |
| Mid open | 18:55:17,0 | 00:00:10,0 | | | -0,91 % | |
| Mid closing | 18:55:27,0 | 00:00:05,5 | | Duration: | Reaction time: | |
| Mid closed | 18:55:32,5 | | | 00:00:19,5 | #N/A | |
| Lowest opened | 19:05:26,0 | 00:00:03,0 | | Data\SD\$8959:\$N\$9019 | Pressure difference before/after: | |
| Lowest open | 19:05:29,0 | 00:00:10,0 | | | -22,14 % | |
| Lowest closing | 19:05:39,0 | 00:00:05,0 | | Duration: | Reaction time: | |
| Lowest closed | 19:05:44,0 | | | 00:00:18,0 | #N/A | |

| Class | Scenario | Position | Average pressure [Pa] | Average all floors [Pa] | Comment |
|------------|---|-----------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Pre-start | System off, closed | Top | -0,7 | 0,3 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | -0,3 | | |
| | | Lower mid | -0,2 | | |
| | | Lowest | 2,3 | | |
| System on | System on, closed | Top | 1,8 | 8,2 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 6,8 | | |
| | | Lower mid | 6,1 | | |
| | | Lowest | 18,0 | | |
| Fire floor | Fire floor open | Top | 0,2 | 4,2 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 4,6 | | |
| | | Lower mid | 3,1 | | |
| | | Lowest | 9,0 | | |
| C | Exit door open | Top | -0,7 | 1,7 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 0,8 | | |
| | | Lower mid | 0,0 | | |
| | | Lowest | 6,8 | | |
| D | Fire floor + Exit door | Top | -0,8 | 0,6 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 0,3 | | |
| | | Lower mid | -0,2 | | |
| | | Lowest | 3,0 | | |
| E | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door | Top | -0,6 | 0,7 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 0,3 | | |
| | | Lower mid | 0,0 | | |
| | | Lowest | 3,0 | | |
| HO-3 | Fire floor + Beneath fire floor | Top | 0,2 | 4,1 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 4,5 | | |
| | | Lower mid | 3,0 | | |
| | | Lowest | 8,7 | | |
| 3+1 | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door + Upper floor | Top | -0,5 | 0,9 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 0,4 | | |
| | | Lower mid | 0,2 | | |
| | | Lowest | 3,3 | | |

| Velocities | | | | | | |
|-----------------|----------------|----------|--------------|---------------|--|---|
| Class | Floor measured | Test no. | Result [m/s] | Average [m/s] | Pressure during measurement (floor of Response test omitted) | Comment |
| Fire floor /A/C | Fire floor | 1 | 0,60 | 0,59 | 4,2 | |
| | | 2 | 0,57 | | | |
| | | 3 | | | | |
| D | Fire floor | 1 | 0,35 | 0,34 | 0,6 | |
| | | 2 | 0,31 | | | |
| | | 3 | 0,35 | | | |
| E | Fire floor | 1 | 0,35 | 0,35 | 0,7 | |
| | | 2 | 0,34 | | | |
| | | 3 | 0,36 | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,02 | 0,06 | | |
| | | 2 | 0,09 | | | |
| | | 3 | 0,08 | | | |
| HO-3 | Fire floor | 1 | 0,46 | 0,46 | 4,1 | |
| | | 2 | 0,49 | | | |
| | | 3 | 0,42 | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,11 | 0,10 | | |
| | | 2 | 0,09 | | | |
| | | 3 | | | | |
| Response tests | Top opened | 1 | 0,57 | 0,57 | 4,3 | Air release damper failed, did not open |
| | | 2 | 0,56 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Mid opened | 1 | 0,52 | 0,55 | 2,9 | |
| | | 2 | 0,57 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Lowest opened | 1 | 0,16 | 0,21 | 3,3 | Air release damper was blocked by ceiling |
| | | 2 | 0,23 | | | |
| | | 3 | 0,23 | | | |

| Manual corrections in dataset per instrument location [s] | | | | |
|---|-----------|-----|-----------|--------|
| Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest |
| | | | | |

| Legend | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----------|-------|-----------|--------|------------|-------------|-------|-------------|--------------|
| No. of floors | Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest | Fire floor | Beneath FF. | Exit | Upper floor | an set point |
| 10 | fl. 10 | #N/A | fl. 7 | fl. 4 | fl. 2 | fl. 5 | fl. 6 | fl. 1 | fl. 8 | 40 Pa |

| Average pressure per floor, per scenario | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|---------------|--|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|---|
| | Set point [Pa] | 100 N [Pa] | Pre-start System off, closed [Pa] | System on, closed [Pa] | Fire floor Open fl. [Pa] | Class C Open fl. 1* [Pa] | Class D Open fl. 1* [Pa] | Class E Open fl. 1*, 6, [Pa] | HO-3 Open fl. 6, [Pa] | 3+1 Open fl. 1*, 6, [Pa] | 67 N [Pa] | Door opening force | |
| | | | | | | | | | | | | 1 | 2 |
| 10 | 40 | 0 | -1 | 2 | 0 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | | |
| 9 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | | |
| 8 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | | |
| 7 | 40 | 0 | 0 | 7 | 5 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | | |
| 6 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | | |
| 5 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | | |
| 4 | 40 | 0 | 0 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | | |
| 3 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | | |
| 2 | 40 | 0 | 2 | 18 | 9 | 7 | 3 | 3 | 9 | 3 | 0 | | |
| 1 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | | |

| Floor | Door opening force | | | | | | Maximum values | |
|-------|--------------------|---|---------|-----------|---|---------|----------------|-------|
| | System off | | | System on | | | 67 N | 100 N |
| | 1 | 2 | Average | 1 | 2 | Average | | |
| 17 | | | | | | | 67 | 100 |
| 9 | | | | | | | 67 | 100 |
| 8 | | | | | | | 67 | 100 |
| 7 | | | | | | | 67 | 100 |
| 6 | | | | | | | 67 | 100 |
| 5 | | | | | | | 67 | 100 |
| 4 | | | | | | | 67 | 100 |
| 3 | | | | | | | 67 | 100 |
| 2 | | | | | | | 67 | 100 |
| -1 | | | | | | | 67 | 100 |

| Floor | Test of automatic doors | | | |
|-------|-------------------------|---|-----------|---|
| | System off | | System on | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 10 | v | v | v | v |
| 9 | v | v | v | v |
| 8 | v | v | v | v |
| 7 | v | v | v | v |
| 6 | v | v | v | v |
| 5 | v | v | v | v |
| 4 | v | v | v | v |
| 3 | v | v | v | v |
| 2 | v | v | v | v |
| 1 | | | | |

Notes

Fan, from observing its control display, was found to be close to or on 100% capacity regardless of scenario

Air release dampers on 6 and 10 did not open.

Fire floor was changed from 6 to 5, and "beneath fire floor" from 5 to 6 du to damper failure.

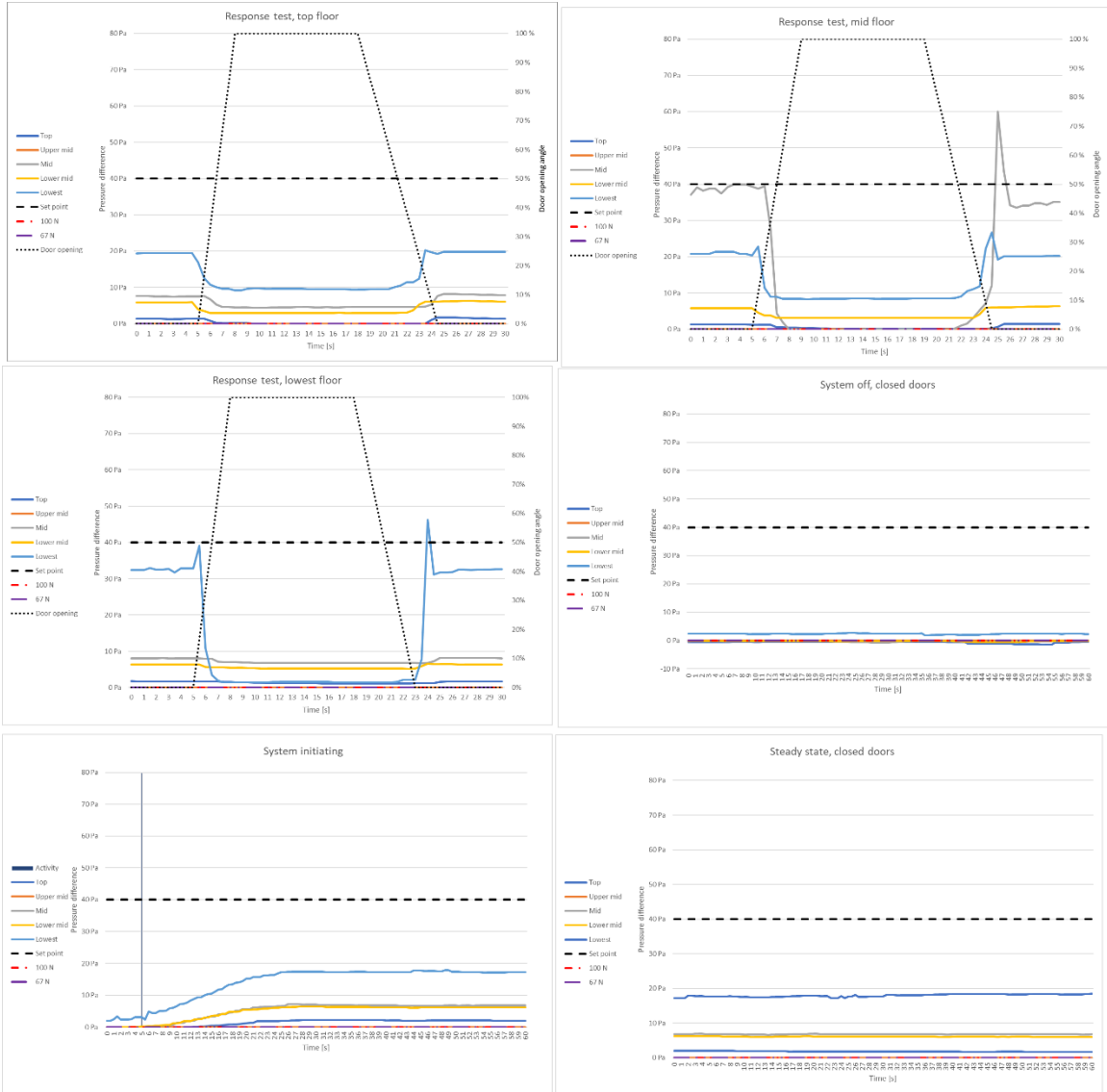
Only four instruments were placed.

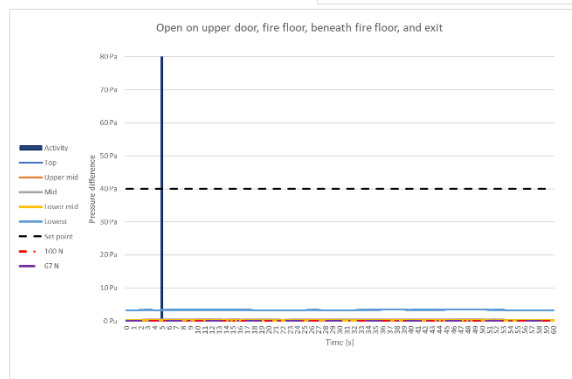
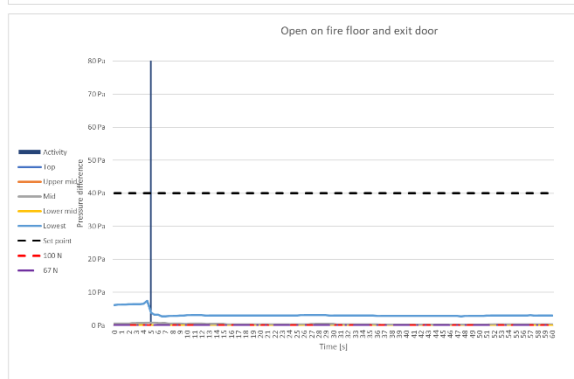
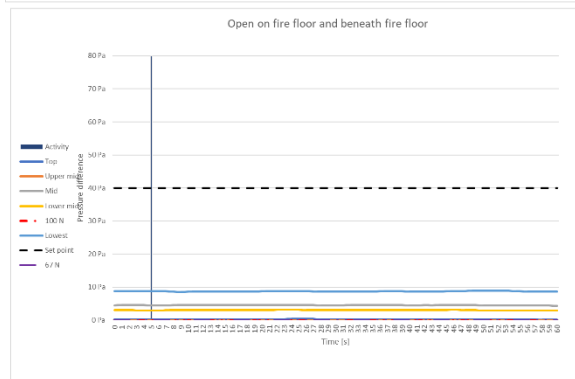
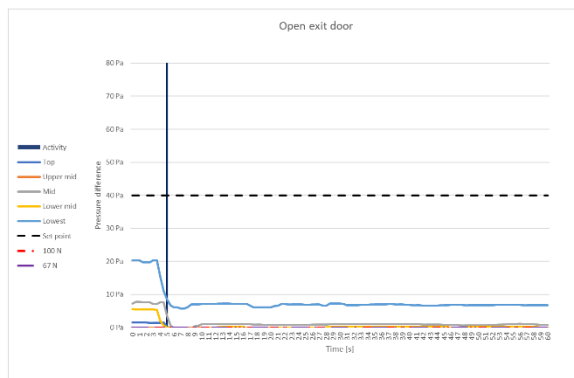
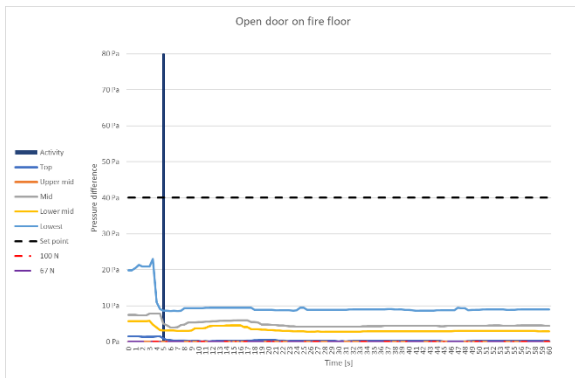
| Weather and temperature observations | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Source: | Field measurement | |
| Time: | 19:35:00 | |
| Roof/top | Location | Rooftop |
| | Wind behaviour | Shifting direction |
| | Wind direction | N |
| | Velocity [m/s] | 1,78 m/s |
| | Weather condition | Overcast |
| | Outside temperature | 13,7°C |
| | Temp. inside staircase, top | |
| Terrain/low | Location | Street level, NE-side |
| | Wind behaviour | Stable |
| | Wind direction | N |
| | Velocity [m/s] | 2,11 m/s |
| | Outside temperature | 13,7°C |
| | Temp. inside staircase, lowest | 23,8°C |

| Floor | Measured | 0,75 m/s | 1 m/s | 2 m/s |
|-------|----------|----------|-------|-------|
| 10 | 0,57 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 9 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 8 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 7 | 0,55 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 6 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 5 | 0,59 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 4 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 3 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 2 | 0,21 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |

| Supplemental weather station data, timed closer to test | |
|---|----------|
| Location | Blindern |
| Time | 19:00:00 |
| Elevation, weather station | 94 m |
| Elevation, test location terrain | 14 m |
| Distance from test location | 3,0 km |
| Wind direction | N |
| Mean wind velocity (hour) | 2,2 m/s |
| Outside mean temperature (hour) | 11,6°C |

Vedlegg W: B1 Grafer





Vedlegg X: B2 Alle resultater

| Test: | Date | Test started | Test ended | Total log duration |
|-------|------------|--------------|------------|--------------------|
| B2 | 08.05.2022 | 12:24:34,0 | 14:06:45,5 | 01:42:12 |

| Tests and timing | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|--|
| Escape scenario tests | Start | | Manual correction | Graph adress | | Comment |
| Pre-start | 12:26:00,0 | | | Data!\$D\$169:\$N\$289 | | |
| Start | 12:31:00,0 | | | Data!\$D\$769:\$N\$889 | | |
| System on | 12:32:30,0 | | | Data!\$D\$949:\$N\$1069 | | |
| Fire floor | 12:43:40,0 | | | Data!\$D\$2289:\$N\$2409 | | |
| Class C | 12:34:30,0 | | | Data!\$D\$1189:\$N\$1309 | | |
| Class D | 13:02:50,0 | | | Data!\$D\$4589:\$N\$4709 | | |
| Class E | 12:57:00,0 | | | Data!\$D\$3889:\$N\$4009 | | |
| 3+1 | 13:06:55,0 | | | Data!\$D\$5079:\$N\$5199 | | |
| HO-3 | 12:47:15,0 | | | Data!\$D\$2719:\$N\$2839 | | |
| Response tests | Timing | Timer | Manual correction | Graph adress | Dynamic response ti | Comment |
| Top opened | 13:35:00,0 | 00:00:02,5 | -00:00:02,5 | Data!\$D\$8444:\$N\$8504 | Pressure difference before/after: | avg. not over the 100N limit, so no reaction time calculated |
| Top open | 13:35:02,5 | 00:00:10,0 | -00:00:02,5 | | -0,44 % | |
| Top closing | 13:35:12,5 | 00:00:02,5 | -00:00:02,5 | Duration: | Reaction time: | |
| Top closed | 13:35:15,0 | | -00:00:02,5 | 00:00:15,0 | 00:00,0 | |
| Mid opened | 13:47:00,0 | 00:00:02,5 | 00:00:03,5 | Data!\$D\$9882:\$N\$9942 | Pressure difference before/after: | -4,71 % |
| Mid open | 13:47:02,5 | 00:00:10,0 | 00:00:03,5 | | -4,71 % | |
| Mid closing | 13:47:12,5 | 00:00:02,0 | 00:00:03,5 | Duration: | Reaction time: | |
| Mid closed | 13:47:14,5 | | 00:00:03,5 | 00:00:14,5 | 00:00,0 | |
| Lowest opened | 13:58:02,0 | 00:00:01,5 | 00:00:03,5 | Data!\$D\$11206:\$N\$11266 | Pressure difference before/after: | 0,33 % |
| Lowest open | 13:58:03,5 | 00:00:10,5 | 00:00:03,5 | | 0,33 % | |
| Lowest closing | 13:58:14,0 | 00:00:03,5 | 00:00:03,5 | Duration: | Reaction time: | |
| Lowest closed | 13:58:17,5 | | 00:00:03,5 | 00:00:15,5 | 00:00,0 | |

| Class | Scenario | Position | Average pressure [Pa] | Average all floors [Pa] | Comment |
|------------|---|-----------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Pre-start | System off, closed | Top | -2,2 | -1,1 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | -1,4 | | |
| | | Lower mid | -0,2 | | |
| System on | System on, closed | Lowest | -0,8 | 27,6 | |
| | | Top | 32,5 | | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 32,9 | | |
| Fire floor | Fire floor open | Lower mid | 27,4 | 13,1 | |
| | | Top | 17,6 | | |
| | | Upper mid | 17,1 | | |
| | | Mid | 17,1 | | |
| C | Exit door open | Lower mid | 11,6 | 6,7 | |
| | | Top | 6,6 | | |
| | | Upper mid | 7,6 | | |
| | | Mid | 8,3 | | |
| D | Fire floor + Exit door | Lower mid | 7,2 | 5,2 | |
| | | Top | 3,7 | | |
| | | Upper mid | 5,7 | | |
| | | Mid | 6,5 | | |
| E | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door | Lower mid | 5,4 | 5,7 | |
| | | Top | 3,2 | | |
| | | Upper mid | 6,5 | | |
| | | Mid | 7,3 | | |
| HO-3 | Fire floor + Beneath fire floor | Lower mid | 5,8 | 12,6 | |
| | | Top | 3,1 | | |
| | | Upper mid | 16,1 | | |
| | | Mid | 16,3 | | |
| 3+1 | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door + Upper floor | Lower mid | 11,3 | 4,6 | |
| | | Top | 6,6 | | |
| | | Upper mid | 4,8 | | |
| | | Mid | 5,6 | | |
| | | Lower mid | 4,9 | | |
| | | Lowest | 3,2 | | |

| Velocities | | | | | | |
|-----------------|----------------|----------|--------------|---------------|--|---------|
| Class | Floor measured | Test no. | Result [m/s] | Average [m/s] | Pressure during measurement (floor of Response test omitted) | Comment |
| Fire floor /A/C | Fire floor | 1 | 0,58 | 0,58 | 13,1 | |
| | | 2 | 0,57 | | | |
| | | 3 | | | | |
| D | Fire floor | 1 | 0,35 | 0,37 | 5,2 | |
| | | 2 | 0,38 | | | |
| | | 3 | | | | |
| E | Fire floor | 1 | 0,38 | 0,39 | 5,7 | |
| | | 2 | 0,40 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,14 | 0,14 | | |
| | | 2 | 0,13 | | | |
| | | 3 | | | | |
| HO-3 | Fire floor | 1 | 0,57 | 0,55 | 12,6 | |
| | | 2 | 0,53 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,15 | 0,12 | | |
| | | 2 | 0,08 | | | |
| | | 3 | 0,13 | | | |
| Response tests | Top opened | 1 | 0,65 | 0,64 | 7,5 | |
| | | 2 | 0,62 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Mid opened | 1 | 0,64 | 0,57 | 7,7 | |
| | | 2 | 0,53 | | | |
| | | 3 | 0,55 | | | |
| | Lowest opened | 1 | 0,51 | 0,50 | 18,2 | |
| | | 2 | 0,57 | | | |
| | | 3 | 0,41 | | | |

| Manual corrections in dataset per instrument location [s] | | | | |
|---|-----------|-----|-----------|--------|
| Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest |
| -1,5 | | | | 0,5 |

| Legend | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|-----------|-------|-----------|--------|------------|-------------|-------|-------------|----------------|
| No. of floors | Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest | Fire floor | Beneath FF. | Exit | Upper floor | Fan set point: |
| 10 | fl. 9 | #N/A | fl. 7 | fl. 4 | fl. 2 | fl. 6 | fl. 5 | fl. 1 | fl. 8 | 40 Pa |

| EN 12101 Door opening force | |
|-------------------------------------|-------|
| F _{max} [N] | 100 |
| F _r [N] | 64 |
| W _{door} [m] | 0,9 |
| H _{door} [m] | 2,03 |
| A _{door} [m ²] | 1,827 |
| ΔP _{design} [Pa] | 40,00 |
| d [m] | 0,05 |
| F _{opening} [N] | 102,4 |
| ΔP _{max, 100N} [Pa] | 37,5 |

| TEK17 Door opening force | |
|-------------------------------------|-------|
| F _{max} [N] | 67 |
| F _r [N] | 64 |
| W _{door} [m] | 0,9 |
| H _{door} [m] | 2,03 |
| A _{door} [m ²] | 1,827 |
| ΔP _{design} [Pa] | 40,00 |
| d [m] | 0,05 |
| F _{opening} [N] | 102,4 |
| ΔP _{max, 67N} [Pa] | 3,4 |

| No. of floors | Average pressure per floor, per scenario | | | | | | | | | | |
|---------------|--|------------|-------------------------|------------------------|--------------|------------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------|
| | Set point [Pa] | 100 N [Pa] | Pre-start | | Fire floor | Class C | Class D | Class E | HO-3 | 3+1 | 67 N [Pa] |
| | | | System off, closed [Pa] | System on, closed [Pa] | Open fl. [G] | Open fl. 1* [Pa] | Open fl. 1*, [G] | Open fl. 1*, 5, [G] | Open fl. 5, [G] | Open fl. 1*, 5, [G] | |
| 10 | 40 | 38 | | | | | | | | | 3 |
| 9 | 40 | 38 | -2 | 33 | 17 | 8 | 6 | 7 | 16 | 5 | 3 |
| 8 | 40 | 38 | | | | | | | | | 3 |
| 7 | 40 | 38 | -1 | 33 | 17 | 8 | 7 | 7 | 16 | 6 | 3 |
| 6 | 40 | 38 | | | | | | | | | 3 |
| 5 | 40 | 38 | | | | | | | | | 3 |
| 4 | 40 | 38 | 0 | 27 | 12 | 7 | 5 | 6 | 11 | 5 | 3 |
| 3 | 40 | 38 | | | | | | | | | 3 |
| 2 | 40 | 38 | -1 | 18 | 7 | 4 | 3 | 3 | 7 | 3 | 3 |
| 1 | 40 | 38 | | | | | | | | | 3 |

| Floor | Door opening force | | | | | | Maximum values | |
|-------|--------------------|----|---------|-----------|-----|---------|----------------|-------|
| | System off | | | System on | | | 67 N | 100 N |
| | 1 | 2 | Average | 1 | 2 | Average | | |
| 10 | | | | | | | 67 | 100 |
| 9 | 68 | 70 | 69 | 100 | 100 | 100 | 67 | 100 |
| 8 | 52 | 55 | 54 | 88 | 78 | 83 | 67 | 100 |
| 7 | 55 | 55 | 55 | 82 | 80 | 81 | 67 | 100 |
| 6 | 58 | 58 | 58 | 82 | 85 | 84 | 67 | 100 |
| 5 | 90 | 90 | 90 | 98 | 105 | 102 | 67 | 100 |
| 4 | 72 | 72 | 72 | 80 | 78 | 79 | 67 | 100 |
| 3 | 50 | 50 | 50 | 75 | 75 | 75 | 67 | 100 |
| 2 | 64 | 60 | 62 | 70 | 75 | 73 | 67 | 100 |
| 1 | | | | | | | 67 | 100 |
| Avg. | 64 | | | 84 | | | | |

| Floor | Test of automatic doors | | | |
|-------|-------------------------|---|-----------|---|
| | System off | | System on | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 10 | | | | |
| 9 | | | | |
| 8 | | | | |
| 7 | | | | |
| 6 | | | | |
| 5 | | | | |
| 4 | | | | |
| 3 | | | | |
| 2 | | | | |
| 1 | | | | |

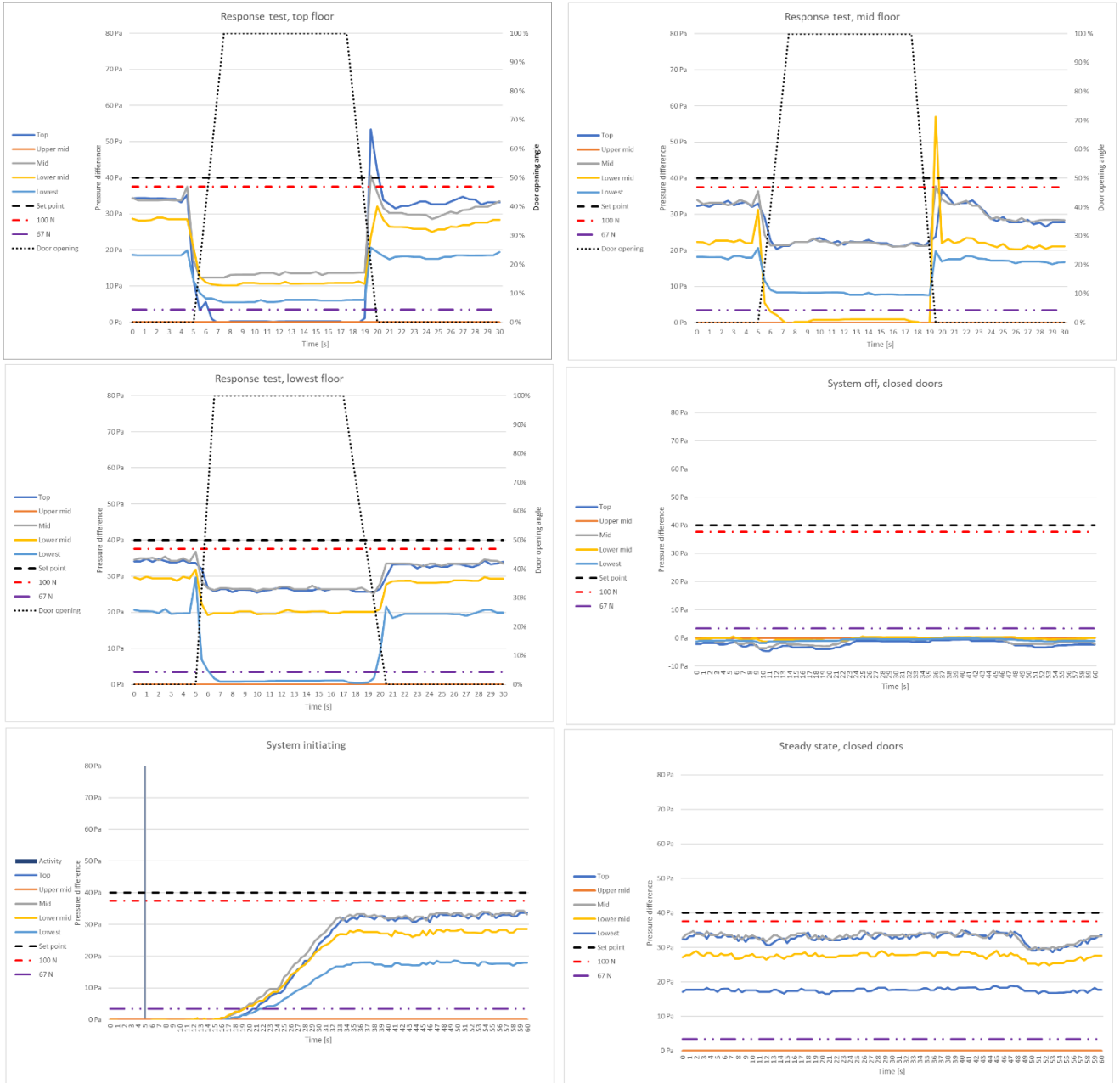
Notes

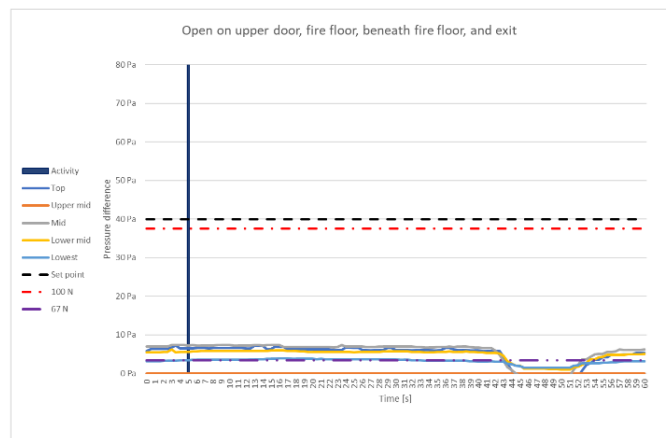
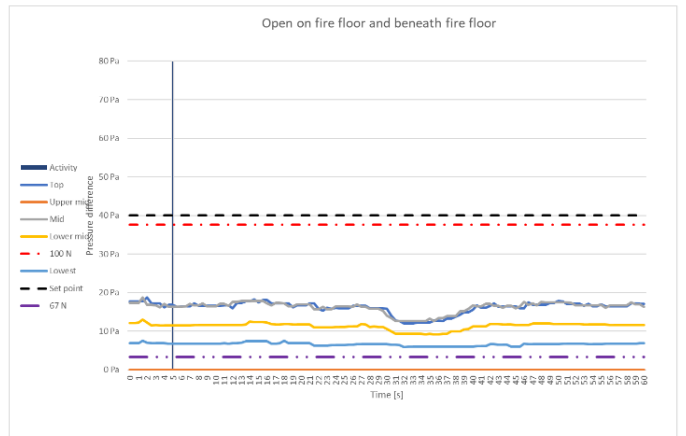
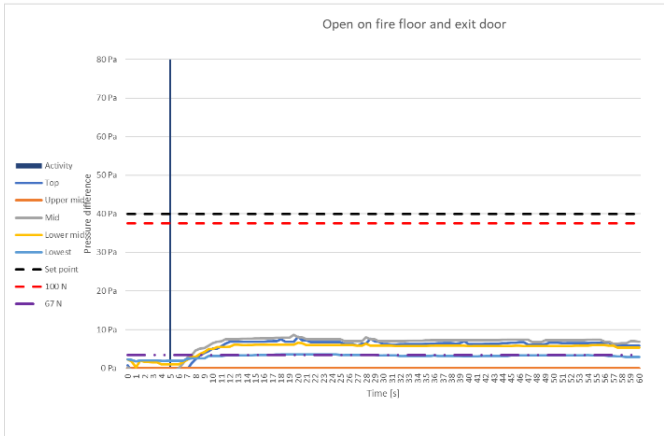
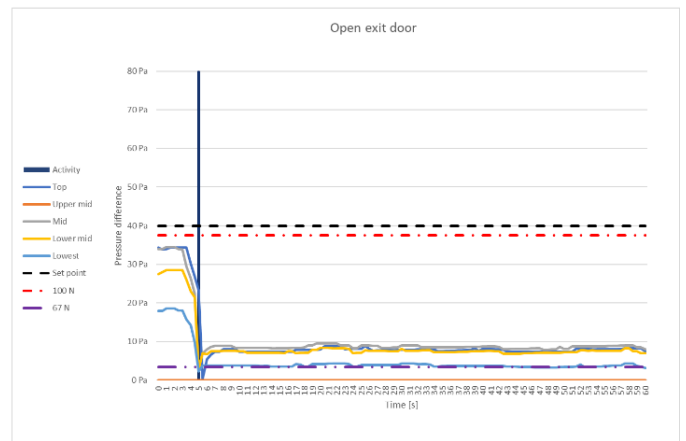
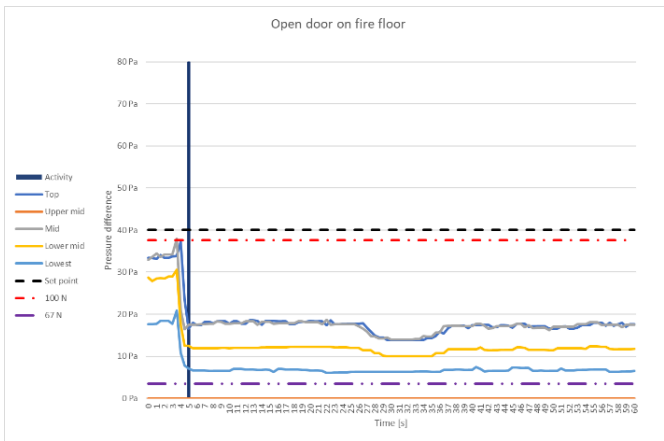
Fan at 100% capacity regardless of scenario (observed on its display)
 Observed high air velocity (not measured) out of air release shaft at rooftop when all doors were closed, could not detect an explanation, possible airleak into air release shaft?
 Some mechanical lock difficulty in door on floor 5 resultet in excessive door opening force
 Testing of door opening force was conducted on separate occasion, 01/05/2022

| Weather and temperature observations | | Source: | Field measurement |
|---|--------------------------------|---------|---------------------------|
| | | Time: | 10:48:00 |
| Roof/top | Location | | Rooftop |
| | Wind behaviour | | Stable |
| | Wind direction | | NE |
| | Velocity [m/s] | | 2,13 m/s |
| | Weather condition | | Sunny, clear skies |
| Terrain/low | Outside temperature | | 12,6°C |
| | Temp. inside staircase, top | | 22,6°C |
| | Location | | Street, Eastern corner |
| | Wind behaviour | | No dominant direction |
| Supplemental weather station data, timed closer to test | Wind direction | | Parallel w/street (N & S) |
| | Velocity [m/s] | | 0,17 m/s |
| | Outside temperature | | 12,6°C |
| | Temp. inside staircase, lowest | | 19,9°C |
| | Distance from test location | | |
| Wind direction | | | |
| Mean wind velocity (hour) | | | |
| Outside temperature | | | |

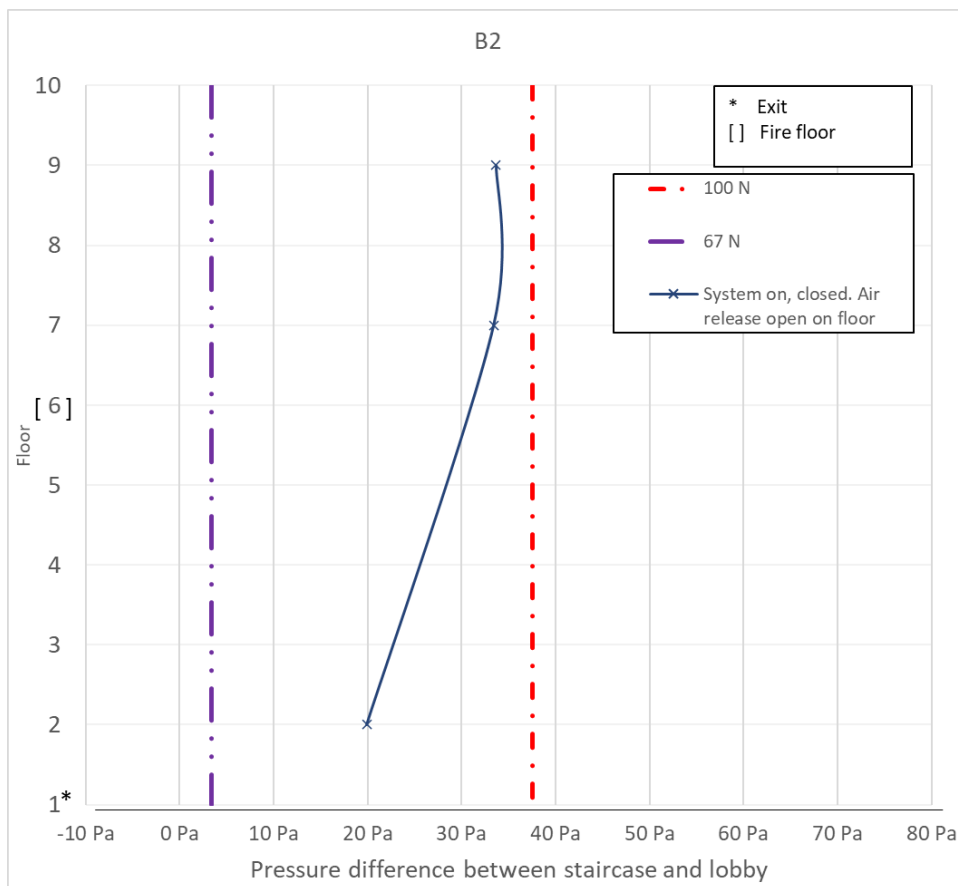
| Floor | Measured | 0,75 m/s | 1 m/s | 2 m/s |
|-------|----------|----------|-------|-------|
| 10 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 9 | 0,64 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 8 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 7 | 0,57 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 6 | 0,55 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 5 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 4 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 3 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 2 | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |

Vedlegg Y: B2 Grafer





Vedlegg Z: Trykkdifferanse, snitt på 30s, i B2 med åpen trykkavlastning



Vedlegg A: B3 Alle resultater

| Test: | Date | Test started | Test ended | Total log duration |
|-------|------------|--------------|------------|--------------------|
| B3 | 08.05.2022 | 17:02:37,0 | 18:33:13,5 | 01:30:36 |

| Tests and timing | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------|
| Escape scenario tests | Start | | Manual correction | Graph address | | Comment |
| Pre-start | 17:05:00,0 | | | Data\SD\$283:\\$N\$403 | | |
| Start | 17:09:30,0 | | | Data\SD\$823:\\$N\$943 | | |
| System on | 17:11:00,0 | | | Data\SD\$1003:\\$N\$1123 | | |
| Fire floor | 17:31:15,0 | | | Data\SD\$3433:\\$N\$3553 | | |
| Class C | 17:12:40,0 | | | Data\SD\$1203:\\$N\$1323 | | |
| Class D | 17:50:00,0 | | | Data\SD\$5683:\\$N\$5803 | | |
| Class E | 17:44:35,0 | | | Data\SD\$5033:\\$N\$5153 | | |
| 3+1 | 17:56:10,0 | | | Data\SD\$6423:\\$N\$6543 | | |
| HO-3 | 17:36:00,0 | | | Data\SD\$4003:\\$N\$4123 | | |
| Response tests | Timing | Timer | Manual correction | Graph address | Dynamic response ti | Comment |
| Top opened | 18:11:15,0 | 00:00:02,0 | 00:00:03,5 | Data\SD\$8240:\\$N\$8300 | Pressure difference before/after: | |
| Top open | 18:11:17,0 | 00:00:10,0 | 00:00:03,5 | | 1,34 % | |
| Top closing | 18:11:27,0 | 00:00:03,5 | 00:00:03,5 | Duration: | Reaction time: | |
| Top closed | 18:11:30,5 | | 00:00:03,5 | 00:00:15,5 | 00:00,0 | |
| Mid opened | 18:21:00,0 | 00:00:02,0 | 00:00:03,5 | Data\SD\$9396:\\$N\$9456 | Pressure difference before/after: | |
| Mid open | 18:21:02,0 | 00:00:10,0 | 00:00:03,5 | | -0,90 % | |
| Mid closing | 18:21:12,0 | 00:00:02,0 | 00:00:03,5 | Duration: | Reaction time: | |
| Mid closed | 18:21:14,0 | | 00:00:03,5 | 00:00:14,0 | 00:01,5 | |
| Lowest opened | 18:28:30,0 | 00:00:02,0 | 00:00:05,5 | Data\SD\$10292:\\$N\$10352 | Pressure difference before/after: | |
| Lowest open | 18:28:32,0 | 00:00:10,0 | 00:00:05,5 | | 2,51 % | |
| Lowest closing | 18:28:42,0 | 00:00:03,5 | 00:00:05,5 | Duration: | Reaction time: | |
| Lowest closed | 18:28:45,5 | | 00:00:05,5 | 00:00:15,5 | 00:00,0 | |

| Class | Scenario | Position | Average pressure [Pa] | Average all floors [Pa] | Comment |
|------------|---|-----------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Pre-start | System off, closed | Top | 2,8 | 1,4 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 1,3 | | |
| | | Lower mid | 1,0 | | |
| | | Lowest | 0,6 | | |
| System on | System on, closed | Top | 48,4 | 47,3 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 47,8 | | |
| | | Lower mid | 47,5 | | |
| | | Lowest | 45,5 | | |
| Fire floor | Fire floor open | Top | 28,2 | 28,0 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 27,9 | | |
| | | Lower mid | 28,1 | | |
| | | Lowest | 27,9 | | |
| C | Exit door open | Top | 14,2 | 13,0 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 13,3 | | |
| | | Lower mid | 12,7 | | |
| | | Lowest | 12,0 | | |
| D | Fire floor + Exit door | Top | 5,2 | 4,8 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 4,1 | | |
| | | Lower mid | 4,7 | | |
| | | Lowest | 5,3 | | |
| E | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door | Top | 4,5 | 4,4 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 3,9 | | |
| | | Lower mid | 4,3 | | |
| | | Lowest | 4,9 | | |
| HO-3 | Fire floor + Beneath fire floor | Top | 21,3 | 21,2 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 21,0 | | |
| | | Lower mid | 21,0 | | |
| | | Lowest | 21,5 | | |
| 3+1 | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door + Upper floor | Top | 3,7 | 3,5 | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | 2,9 | | |
| | | Lower mid | 3,4 | | |
| | | Lowest | 3,8 | | |

| Velocities | | | | | | |
|-----------------|----------------|----------|--------------|---------------|--|---|
| Class | Floor measured | Test no. | Result [m/s] | Average [m/s] | Pressure during measurement (floor of Response test omitted) | Comment |
| Fire floor /A/C | Fire floor | 1 | 0,89 | 0,89 | 28,0 | |
| | | 2 | 0,89 | | | |
| | | 3 | | | | |
| D | Fire floor | 1 | 0,38 | 0,38 | 4,8 | |
| | | 2 | 0,38 | | | |
| | | 3 | | | | |
| E | Fire floor | 1 | 0,42 | 0,43 | 4,4 | |
| | | 2 | 0,44 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,15 | 0,15 | | |
| | | 2 | 0,14 | | | |
| | | 3 | | | | |
| HO-3 | Fire floor | 1 | 0,75 | 0,83 | 21,2 | |
| | | 2 | 0,90 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,23 | 0,22 | | |
| | | 2 | 0,20 | | | |
| | | 3 | | | | |
| Response tests | Top opened | 1 | 0,96 | 1,00 | 28,0 | All sensors included in pressure result |
| | | 2 | 1,04 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Mid opened | 1 | 0,91 | 0,94 | 13,4 | |
| | | 2 | 0,96 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Lowest opened | 1 | 0,74 | 0,85 | 21,7 | |
| | | 2 | 0,90 | | | |
| | | 3 | 0,92 | | | |

| Manual corrections in dataset per instrument location [s] | | | | |
|---|-----------|-----|-----------|--------|
| Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Legend | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----------|-------|-----------|--------|------------|-------------|-------|-------------|----------------|
| No. of floors | Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest | Fire floor | Beneath FF. | Exit | Upper floor | Fan set point: |
| 11 | fl. 11 | #N/A | fl. 7 | fl. 4 | fl. 2 | fl. 6 | fl. 5 | fl. 1 | fl. 8 | 40 Pa |

| EN 12101 Door opening force | |
|-------------------------------------|--------|
| F _{max} [N] | 100 |
| F _r [N] | 34 |
| W _{door} [m] | 0,93 |
| H _{door} [m] | 2,05 |
| A _{door} [m ²] | 1,9065 |
| ΔP _{design} [Pa] | 40,00 |
| d [m] | 0,05 |
| F _{opening} [N] | 74,6 |
| ΔP _{max, 100N} [Pa] | 65,2 |

| TEK17 Door opening force | |
|-------------------------------------|--------|
| F _{max} [N] | 67 |
| F _r [N] | 34 |
| W _{door} [m] | 0,93 |
| H _{door} [m] | 2,05 |
| A _{door} [m ²] | 1,9065 |
| ΔP _{design} [Pa] | 40,00 |
| d [m] | 0,05 |
| F _{opening} [N] | 74,6 |
| ΔP _{max, 67N} [Pa] | 32,4 |

| Average pressure per floor, per scenario | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------------------|------------------------|---------------|------------------|------------|---------|---------|---------|----------------------|------------------|------|
| Floor | Set point [Pa] | Pre-start | | System on | | Fire floor | Class C | Class D | Class E | HO-3 | | 67 N |
| | | System off, closed [Pa] | System on, closed [Pa] | Open fl. [Pa] | Open fl. 1* [Pa] | | | | | Open fl. 1*, 5, [Pa] | Open fl. 5, [Pa] | |
| 11 | 40 | 65 | 3 | 48 | 28 | | | | | 21 | 4 | 32 |
| 10 | 40 | 65 | | | | | | | | | | 32 |
| 9 | 40 | 65 | | | | | | | | | | 32 |
| 8 | 40 | 65 | | | | | | | | | | 32 |
| 7 | 40 | 65 | 1 | 48 | 28 | | 13 | 4 | 4 | 21 | 3 | 32 |
| 6 | 40 | 65 | | | | | | | | | | 32 |
| 5 | 40 | 65 | | | | | | | | | | 32 |
| 4 | 40 | 65 | 1 | 47 | 28 | | 13 | 5 | 4 | 21 | 3 | 32 |
| 3 | 40 | 65 | | | | | | | | | | 32 |
| 2 | 40 | 65 | 1 | 45 | 28 | | 12 | 5 | 5 | 22 | 4 | 32 |
| 1 | 40 | 65 | | | | | | | | | | 32 |

| Floor | Door opening force | | | | | | Maximum values | |
|-------|--------------------|----|---------|-----------|----|---------|----------------|-------|
| | System off | | | System on | | | 67 N | 100 N |
| | 1 | 2 | Average | 1 | 2 | Average | | |
| 11 | 32 | 32 | 32 | 50 | 60 | 55 | 67 | 100 |
| 10 | | | #N/A | | | #N/A | 67 | 100 |
| 9 | 42 | 40 | 41 | 68 | 70 | 69 | 67 | 100 |
| 8 | 42 | 42 | 42 | 78 | 68 | 73 | 67 | 100 |
| 7 | 35 | 30 | 33 | 50 | 52 | 51 | 67 | 100 |
| 6 | 35 | 35 | 35 | 62 | 64 | 63 | 67 | 100 |
| 5 | 30 | 30 | 30 | 70 | 64 | 67 | 67 | 100 |
| 4 | 28 | 30 | 29 | 60 | 52 | 56 | 67 | 100 |
| 3 | 35 | 42 | 39 | 70 | 73 | 72 | 67 | 100 |
| 2 | 30 | 28 | 29 | 60 | 61 | 61 | 67 | 100 |
| 1 | | | | | | | 67 | 100 |
| Avg. | | | 34 | | | 63 | | |

| Floor | Test of automatic doors | | | |
|-------|-------------------------|---|-----------|---|
| | System off | | System on | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 11 | | | | |
| 10 | | | | |
| 9 | | | | |
| 8 | | | | |
| 7 | | | | |
| 6 | | | | |
| 5 | | | | |
| 4 | | | | |
| 3 | | | | |
| 2 | | | | |
| 1 | | | | |

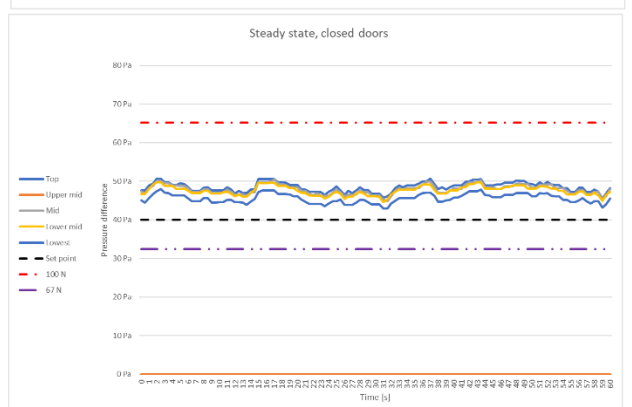
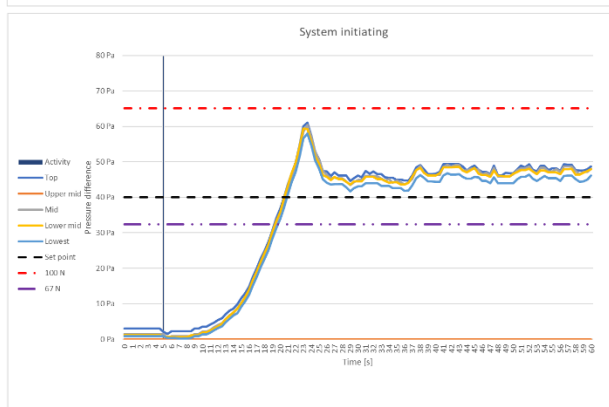
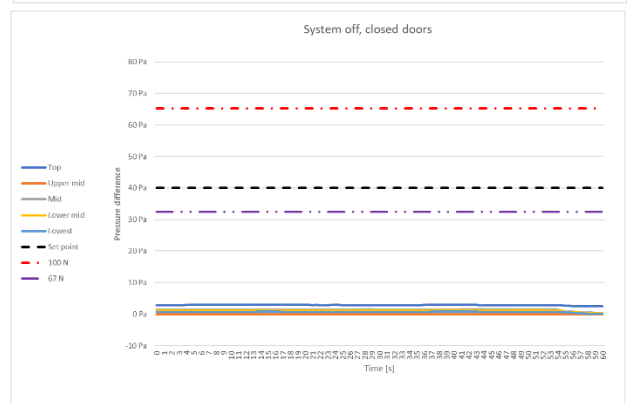
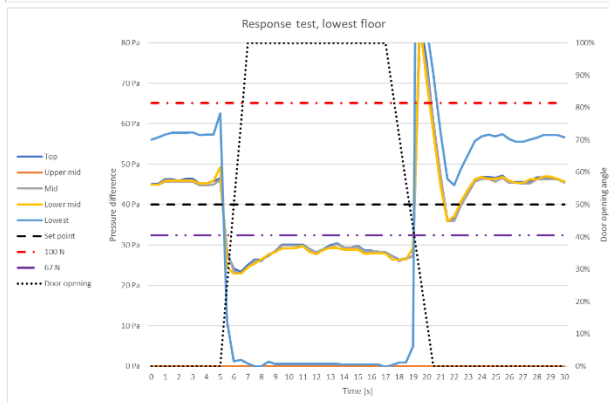
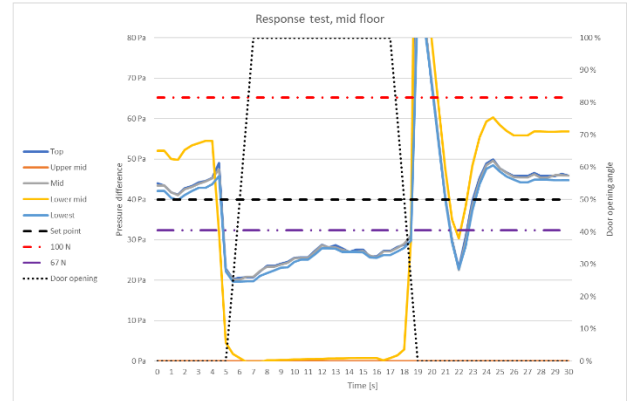
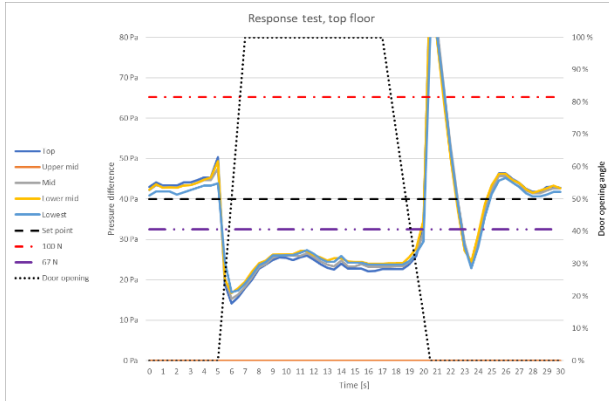
Notes
Reaction test conducted on 9th, no air release in 11

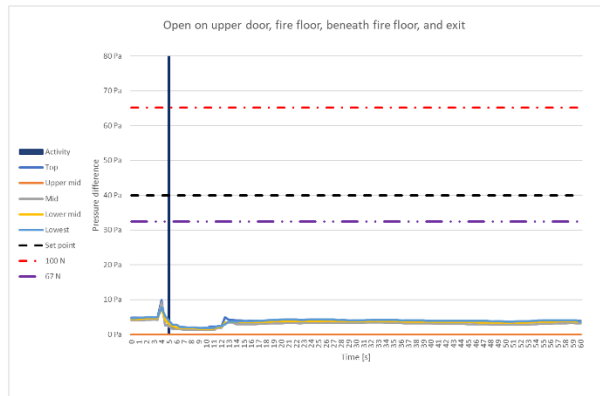
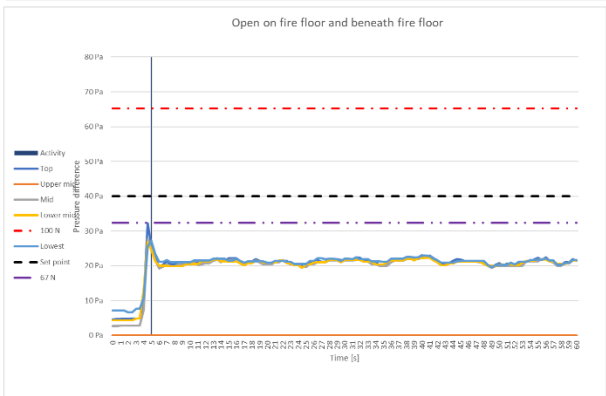
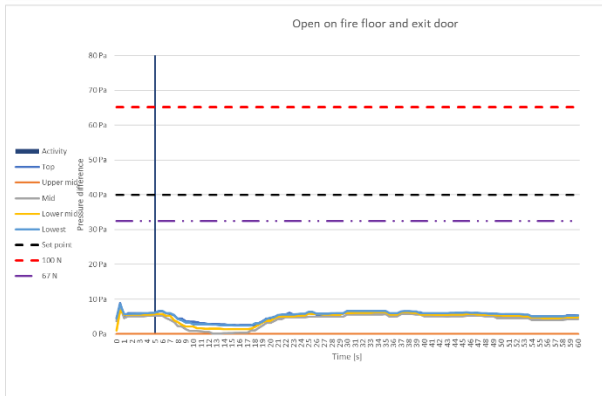
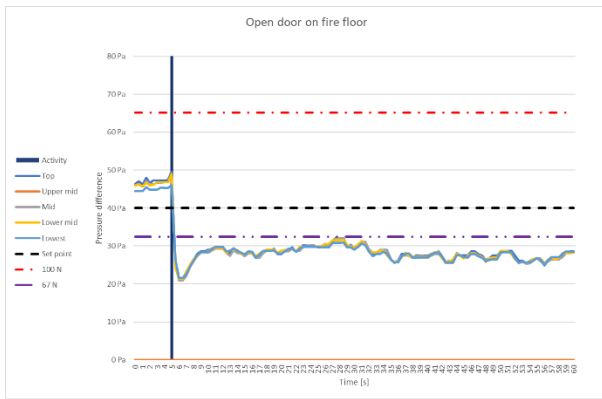
| Weather and temperature observations | | |
|--------------------------------------|---------------------------|--|
| Source: | Field measurement | |
| Time: | 16:43:00 | |
| Location | Rooftop | |
| Wind behaviour | Stable | |
| Wind direction | S | |
| Velocity [m/s] | 2,34 m/s | |
| Weather condition | Sunny, clear skies | |
| Outside temperature | 15,5°C | |
| Temp. inside staircase, top | 22,0°C | |
| Location | Street, Eastern corner | |
| Wind behaviour | No dominant direction | |
| Wind direction | Parallel w/street (N & S) | |
| Velocity [m/s] | 0,14 m/s | |
| Outside temperature | 15,0°C | |
| Temp. inside staircase, lowest | 20,7°C | |

| Floor | Measured | 0,75 m/s | 1 m/s | 2 m/s |
|-------|----------|----------|-------|-------|
| 11 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 10 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 9 | 1,00 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 8 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 7 | 0,94 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 6 | 0,89 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 5 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 4 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 3 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 2 | 0,85 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |

| Supplemental weather station data, timed closer to test | | |
|---|--|--|
| Location | | |
| Mean wind velocity | | |
| Elevation, weather station | | |
| Weather station | | |
| Elevation, test location terrain | | |
| Distance from test location | | |
| Wind direction | | |
| Mean wind velocity (hour) | | |
| Outside temperature | | |

Vedlegg Ø: B1 Grafer





Vedlegg Å: C et. 3 Utsnitt fra plantegning



Vedlegg AA: Bygg C Bilder



Vifte i C1



Vifte i C2



Inntak røykluke C1



Spjeld i topp av C2, tilsvarte røykluke



Lukket trykkavlastning uten rist



Åpen trykkavlastning et. 11

Vedlegg BB: C1 Alle resultater

| Test: | Date | Test started | Test ended | Total log duration |
|-------|------------|--------------|------------|--------------------|
| C1 | 07.04.2022 | 16:01:37 | 17:53:55 | 01:52:18 |

| Tests and timing | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------|
| Escape scenario tests | Start | | Manual correction | Graph address | Comment | |
| Pre-start | 16:03:00,0 | | | Data!\$D\$163:\$N\$283 | | |
| Start | 16:05:15,0 | | | Data!\$D\$433:\$N\$553 | | |
| System on | 16:06:45,0 | | | Data!\$D\$613:\$N\$733 | | |
| Fire floor | 16:11:20,0 | | | Data!\$D\$1163:\$N\$1283 | | |
| Class C | 16:08:30,0 | | | Data!\$D\$823:\$N\$943 | | |
| Class D | 17:16:35,0 | | | Data!\$D\$893:\$N\$9113 | | |
| Class E | | | | | | |
| 3+1 | | | | | | |
| HO-3 | | | | | | |
| Response tests | Timing | Timer | Manual correction | Graph address | Dynamic response ti | Comment |
| Top opened | 17:27:00,0 | 00:00:03,5 | -00:00:02,0 | Data!\$D\$10239:\$N\$10299 | Pressure difference before/after: | |
| Top open | 17:27:03,5 | 00:00:10,0 | -00:00:02,0 | | #N/A | |
| Top closing | 17:27:13,5 | 00:00:06,0 | -00:00:02,0 | Duration: | Reaction time: | |
| Top closed | 17:27:19,5 | 00:00:02,0 | | 00:00:19,5 | #N/A | |
| Mid opened | 17:35:40,0 | 00:00:02,5 | 00:00:02,5 | Data!\$D\$11278:\$N\$11338 | Pressure difference before/after: | |
| Mid open | 17:35:42,5 | 00:00:10,0 | 00:00:02,5 | | #N/A | |
| Mid closing | 17:35:52,5 | 00:00:07,5 | 00:00:02,5 | Duration: | Reaction time: | |
| Mid closed | 17:36:00,0 | 00:00:02,5 | 00:00:02,5 | 00:00:20,0 | #N/A | |
| Lowest opened | 17:43:40,0 | 00:00:02,5 | 00:00:03,5 | Data!\$D\$12236:\$N\$12296 | Pressure difference before/after: | |
| Lowest open | 17:43:42,5 | 00:00:09,5 | 00:00:03,5 | | #N/A | |
| Lowest closing | 17:43:52,0 | 00:00:06,0 | 00:00:03,5 | Duration: | Reaction time: | |
| Lowest closed | 17:43:58,0 | 00:00:03,5 | 00:00:18,0 | | #N/A | |

| Class | Scenario | Position | Average pressure [Pa] | Average all floors [Pa] | Comment |
|------------|---|-----------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Pre-start | System off, closed | Top | 19,2 | 10,6 | |
| | | Upper mid | 8,3 | | |
| | | Mid | 13,1 | | |
| | | Lower mid | 9,3 | | |
| | | Lowest | 2,9 | | |
| System on | System on, closed | Top | 56,1 | 49,1 | |
| | | Upper mid | 48,0 | | |
| | | Mid | 51,7 | | |
| | | Lower mid | 48,4 | | |
| | | Lowest | 41,2 | | |
| Fire floor | Fire floor open | Top | 45,4 | 34,4 | |
| | | Upper mid | 34,9 | | |
| | | Mid | 36,7 | | |
| | | Lower mid | 27,1 | | |
| | | Lowest | 28,0 | | |
| C | Exit door open | Top | 40,4 | 32,2 | |
| | | Upper mid | 29,6 | | |
| | | Mid | 35,3 | | |
| | | Lower mid | 31,6 | | |
| | | Lowest | 24,0 | | |
| D | Fire floor + Exit door | Top | 32,2 | 20,3 | |
| | | Upper mid | 17,7 | | |
| | | Mid | 22,5 | | |
| | | Lower mid | 13,4 | | |
| | | Lowest | 15,6 | | |
| E | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door | Top | | No result | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | | | |
| | | Lowest | | | |
| HO-3 | Fire floor + Beneath fire floor | Top | | No result | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | | | |
| | | Lowest | | | |
| 3+1 | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door + Upper floor | Top | | No result | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | | | |
| | | Lowest | | | |

| Velocities | | | | | | |
|-----------------|----------------|----------|--------------|---------------|--|---------|
| Class | Floor measured | Test no. | Result [m/s] | Average [m/s] | Pressure during measurement (floor of Response test omitted) | Comment |
| Fire floor /A/C | Fire floor | 1 | 0,68 | 0,79 | 34,4 | |
| | | 2 | 0,88 | | | |
| | | 3 | 0,80 | | | |
| D | Fire floor | 1 | 0,61 | 0,68 | 20,3 | |
| | | 2 | 0,76 | | | |
| | | 3 | 0,66 | | | |
| E | Fire floor | 1 | 0,62 | 0,52 | No result | |
| | | 2 | 0,46 | | | |
| | | 3 | 0,49 | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,20 | 0,20 | | |
| | | 2 | 0,19 | | | |
| | | 3 | | | | |
| HO-3 | Fire floor | 1 | 0,66 | 0,75 | No result | |
| | | 2 | 0,72 | | | |
| | | 3 | 0,87 | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,27 | 0,23 | | |
| | | 2 | 0,19 | | | |
| | | 3 | 0,23 | | | |
| Response tests | Top opened | 1 | 0,86 | 0,83 | 34,2 | |
| | | 2 | 0,80 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Mid opened | 1 | 1,00 | 0,97 | 34,7 | |
| | | 2 | 0,94 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Lowest opened | 1 | 0,88 | 0,87 | 37,3 | |
| | | 2 | 0,96 | | | |
| | | 3 | 0,76 | | | |

| Manual corrections in dataset per instrument location [s] | | | | |
|---|-----------|-----|-----------|--------|
| Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest |
| | | | | |

| Legend | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----------|-------|-----------|--------|------------|-------------|-------|-------------|--------------|
| No. of floors | Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest | Fire floor | Beneath FF. | Exit | Upper floor | in set point |
| 11 | fl. 11 | fl. 9 | fl. 7 | fl. 4 | fl. 2 | fl. 6 | fl. 5 | fl. 1 | fl. 10 | 50 Pa |

| Average pressure per floor, per scenario | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|---------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------|
| | Set point [Pa] | 100 N [Pa] | Pre-start | System on | Fire floor | Class C | Class D | Class E | HO-3 | 3+1 | 67 N [Pa] |
| | | | System off, closed [Pa] | System on, closed [Pa] | Open fl. [G] [Pa] | Open fl. 1* [Pa] | Open fl. 1*, [G] [Pa] | Open fl. 1*, 5, [G] [Pa] | Open fl. 5, [G] [Pa] | Open fl. 1*, 5, [G], [Pa] | |
| 11 | 40 | #N/A | 19 | 56 | 45 | 40 | 32 | | | | #N/A |
| 10 | 40 | #N/A | | | | | | | | | #N/A |
| 9 | 40 | #N/A | 8 | 48 | 35 | 30 | 18 | | | | #N/A |
| 8 | 40 | #N/A | | | | | | | | | #N/A |
| 7 | 40 | #N/A | 13 | 52 | 37 | 35 | 22 | | | | #N/A |
| 6 | 40 | #N/A | | | | | | | | | #N/A |
| 5 | 40 | #N/A | | | | | | | | | #N/A |
| 4 | 40 | #N/A | 9 | 48 | 27 | 32 | 13 | | | | #N/A |
| 3 | 40 | #N/A | | | | | | | | | #N/A |
| 2 | 40 | #N/A | 3 | 41 | 28 | 24 | 16 | | | | #N/A |
| 1 | 40 | #N/A | | | | | | | | | #N/A |

| EN 12101 Door opening force | |
|-------------------------------------|----------|
| F _{max} [N] | 100 |
| Fl. 3-16 | |
| F _r [N] | #DIV/0! |
| W _{door} [m] | 0,906 |
| H _{door} [m] | 2,024 |
| A _{door} [m ²] | 1,833744 |
| ΔP _{design} [Pa] | 50,00 |
| d [m] | 0,07 |
| F _{opening} [N] | 0,0 |
| ΔP _{max, 100N} [Pa] | #N/A |

| TEK17 Door opening force | |
|-------------------------------------|----------|
| F _{max} [N] | 67 |
| Fl. 3-16 | |
| F _r [N] | #DIV/0! |
| W _{door} [m] | 0,906 |
| H _{door} [m] | 2,024 |
| A _{door} [m ²] | 1,833744 |
| ΔP _{design} [Pa] | 50,00 |
| d [m] | 0,07 |
| F _{opening} [N] | 0,0 |
| ΔP _{max, 67N} [Pa] | #N/A |

| Floor | Door opening force | | | | | | Maximum values | |
|-------|--------------------|---|---------|-----------|---|---------|----------------|-------|
| | System off | | | System on | | | 67 N | 100 N |
| | 1 | 2 | Average | 1 | 2 | Average | | |
| 11 | | | | | | | 67 | 100 |
| 10 | | | | | | | 67 | 100 |
| 9 | | | | | | | 67 | 100 |
| 8 | | | | | | | 67 | 100 |
| 7 | | | | | | | 67 | 100 |
| 6 | | | | | | | 67 | 100 |
| 5 | | | | | | | 67 | 100 |
| 4 | | | | | | | 67 | 100 |
| 3 | | | | | | | 67 | 100 |
| 2 | | | | | | | 67 | 100 |
| 1 | | | | | | | 67 | 100 |

Notes
Rapid changes in windspeed, unsure of its effect on data quality

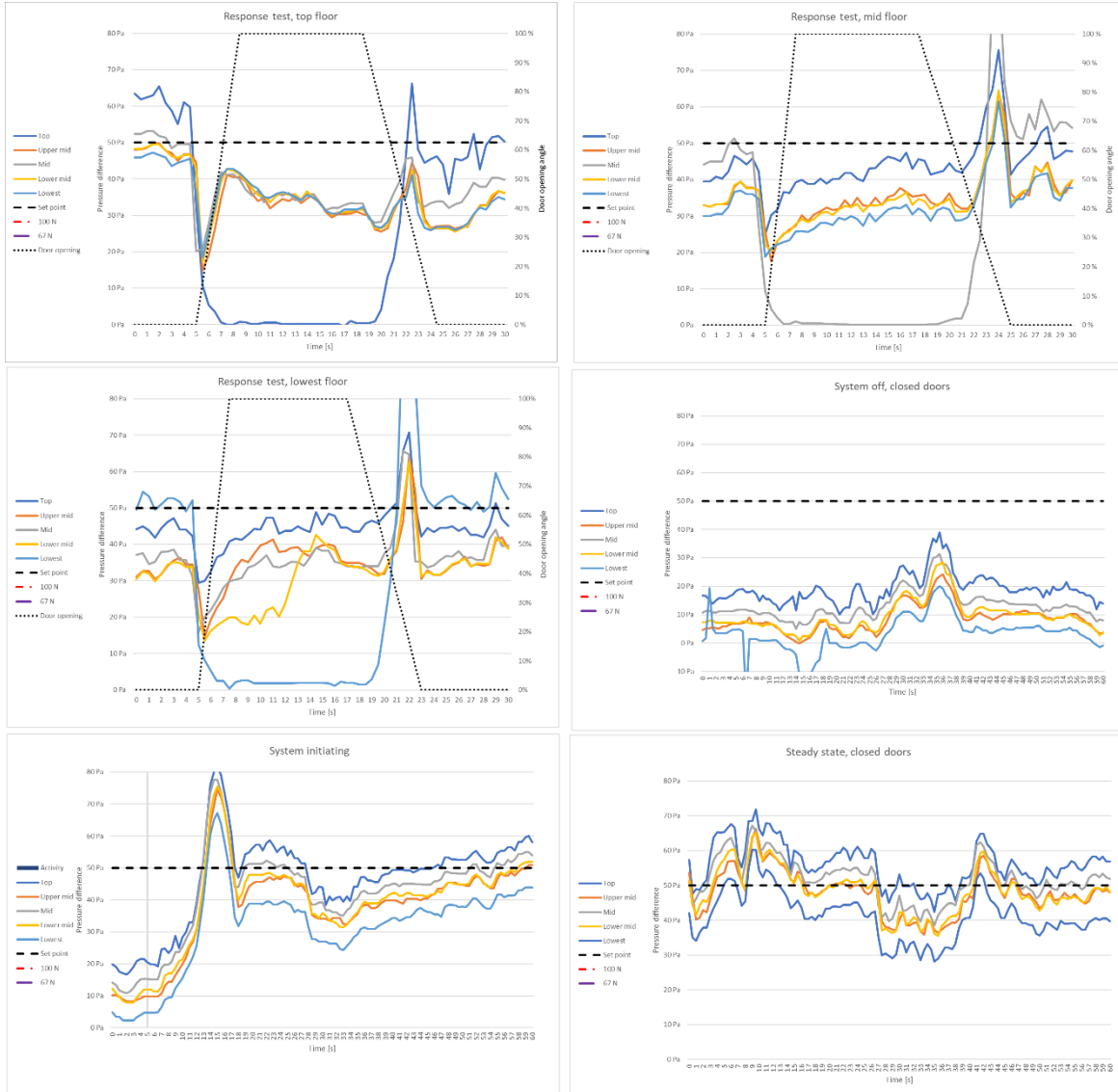
| Floor | Test of automatic doors | | | |
|-------|-------------------------|---|-----------|---|
| | System off | | System on | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 11 | V | V | V | V |
| 10 | V | V | X | X |
| 9 | V | V | V | V |
| 8 | V | V | V | V |
| 7 | V | V | V | V |
| 6 | V | V | V | V |
| 5 | V | V | V | V |
| 4 | V | V | V | V |
| 3 | V | V | V | V |
| 2 | V | V | V | V |
| 1 | | | | |

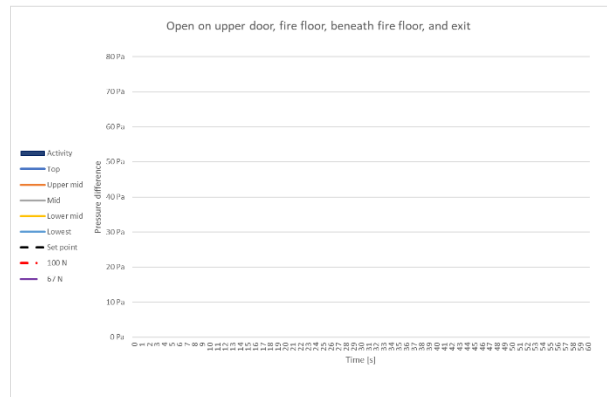
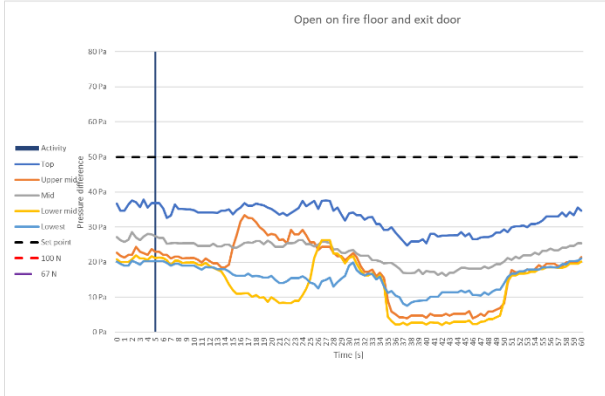
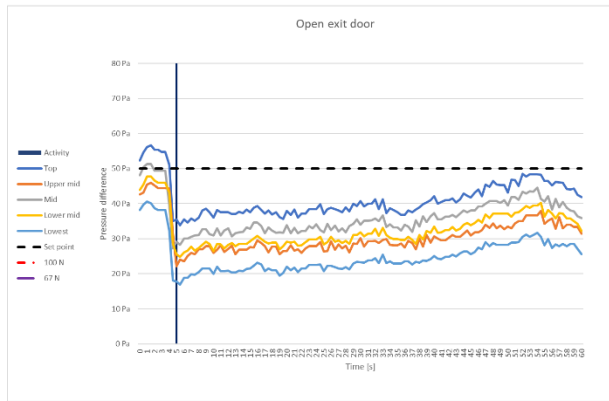
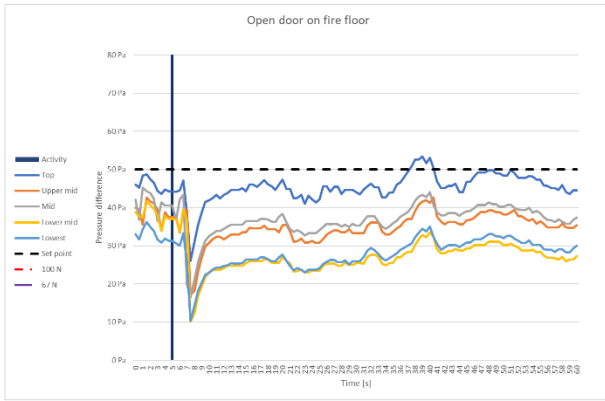
| Weather and temperature observations | | Source: | Field measurement |
|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | | Time: | 11:20:00 |
| Roof/top | Location | | Roof |
| | Wind behaviour | | Shifting |
| | Wind direction | | E |
| | Velocity [m/s] | | 6,99 m/s |
| | Weather condition | | Overcast, sporadic rain |
| | Outside temperature | | 2,6°C |
| | | Temp. inside staircase, top | 19,6°C |
| Terrain/low | Location | | E |
| | Wind behaviour | | Shifting |
| | Wind direction | | 1,95 |
| | Velocity [m/s] | | 1,95 m/s |
| | Outside temperature | | 3,2°C |
| | Temp. inside staircase, lowest | | 15,9°C |

| Floor | Measured | 0,75 m/s | 1 m/s | 2 m/s |
|-------|----------|----------|-------|-------|
| 11 | 0,83 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 10 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 9 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 8 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 7 | 0,97 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 6 | 0,79 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 5 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 4 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 3 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 2 | 0,87 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |

| Supplemental weather station data, timed closer to test | | |
|---|--|---------------------------|
| Location | | |
| Mean wind velocity | | |
| Elevation, weather station | | |
| Weather station | | No nearby weather-station |
| Distance from test location | | |
| Wind direction | | |
| Mean wind velocity (hour) | | |
| Outside temperature | | |

Vedlegg CC: C1 Grafer





Vedlegg DD: C2 Alle resultater

| Test: | Date | Test started | Test ended | Total log duration |
|-------|------------|--------------|------------|--------------------|
| C1 | 07.04.2022 | 12:07:39 | 13:21:45 | 01:14:07 |

| Tests and timing | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|-------------------|------------------------|-----------------------------------|---------|
| Escape scenario tests | Start | | Manual correction | Graph address | Comment | |
| Pre-start | 12:09:00,0 | | | Data\SD\$159:\$NS279 | | |
| Start | 12:11:20,0 | | | Data\SD\$439:\$NS559 | | |
| System on | 12:18:40,0 | | | Data\SD\$1319:\$NS1439 | | |
| Fire floor | 12:23:30,0 | | | Data\SD\$1899:\$NS2019 | | |
| Class C | 12:16:10,0 | | | Data\SD\$1019:\$NS1139 | | |
| Class D | | | | | | |
| Class E | 12:34:00,0 | | | Data\SD\$3159:\$NS3279 | | |
| 3+1 | 12:40:27,0 | | | Data\SD\$3933:\$NS4053 | | |
| HO-3 | 12:29:00,0 | | | Data\SD\$2559:\$NS2679 | | |
| Response tests | Timing | Timer | Manual correction | Graph address | Dynamic response ti | Comment |
| Top opened | 12:54:30,0 | 00:00:03,0 | -00:00:02,0 | Data\SD\$5615:\$NS5675 | Pressure difference before/after: | |
| Top open | 12:54:33,0 | 00:00:10,5 | -00:00:02,0 | | 7,28 % | |
| Top closing | 12:54:43,5 | 00:00:05,5 | -00:00:02,0 | Duration: | Reaction time: | |
| Top closed | 12:54:49,0 | | -00:00:02,0 | 00:00:19,0 | #N/A | |
| Mid opened | 13:04:00,0 | 00:00:04,5 | 00:00:01,0 | Data\SD\$6757:\$NS6817 | Pressure difference before/after: | |
| Mid open | 13:04:04,5 | 00:00:10,5 | 00:00:01,0 | | -12,07 % | |
| Mid closing | 13:04:15,0 | 00:00:06,5 | 00:00:01,0 | Duration: | Reaction time: | |
| Mid closed | 13:04:21,5 | | 00:00:01,0 | 00:00:21,5 | #N/A | |
| Lowest opened | 13:11:40,0 | 00:00:03,5 | 00:00:02,5 | Data\SD\$7674:\$NS7734 | Pressure difference before/after: | |
| Lowest open | 13:11:43,5 | 00:00:10,5 | 00:00:02,5 | | 14,63 % | |
| Lowest closing | 13:11:54,0 | 00:00:05,5 | 00:00:02,5 | Duration: | Reaction time: | |
| Lowest closed | 13:11:59,5 | | 00:00:02,5 | 00:00:19,5 | #N/A | |

| Class | Scenario | Position | Average pressure [Pa] | Average all floors [Pa] | Comment |
|------------|---|-----------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Pre-start | System off, closed | Top | 22,4 | 20,5 | |
| | | Upper mid | 20,8 | | |
| | | Mid | 20,5 | | |
| | | Lower mid | 19,5 | | |
| | | Lowest | 19,1 | | |
| System on | System on, closed | Top | 47,6 | 47,2 | |
| | | Upper mid | 46,6 | | |
| | | Mid | 46,6 | | |
| | | Lower mid | 46,5 | | |
| | | Lowest | 48,0 | | |
| Fire floor | Fire floor open | Top | 52,3 | 47,5 | |
| | | Upper mid | 48,9 | | |
| | | Mid | 41,0 | | |
| | | Lower mid | 47,9 | | |
| | | Lowest | 47,9 | | |
| C | Exit door open | Top | 38,4 | 38,4 | |
| | | Upper mid | 39,3 | | |
| | | Mid | 39,1 | | |
| | | Lower mid | 36,8 | | |
| | | Lowest | 36,8 | | |
| D | Fire floor + Exit door | Top | | No result | |
| | | Upper mid | | | |
| | | Mid | | | |
| | | Lower mid | | | |
| | | Lowest | | | |
| E | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door | Top | 28,3 | 24,4 | |
| | | Upper mid | 25,6 | | |
| | | Mid | 20,1 | | |
| | | Lower mid | 23,7 | | |
| | | Lowest | 23,7 | | |
| HO-3 | Fire floor + Beneath fire floor | Top | 42,8 | 37,2 | |
| | | Upper mid | 38,5 | | |
| | | Mid | 30,8 | | |
| | | Lower mid | 36,8 | | |
| | | Lowest | 36,8 | | |
| 3+1 | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door + Upper floor | Top | 29,3 | 25,7 | |
| | | Upper mid | 27,1 | | |
| | | Mid | 21,7 | | |
| | | Lower mid | 24,7 | | |
| | | Lowest | 24,7 | | |

| Class | Floor measured | Test no. | Velocities | | Pressure during measurement (floor of Response test omitted) | Comment |
|-----------------|----------------|----------|--------------|---------------|--|---------|
| | | | Result [m/s] | Average [m/s] | | |
| Fire floor /A/C | Fire floor | 1 | 0,97 | 0,92 | 47,5 | |
| | | 2 | 0,86 | | | |
| | | 3 | 0,93 | | | |
| D | Fire floor | 1 | | No result | No result | |
| | | 2 | | | | |
| | | 3 | | | | |
| E | Fire floor | 1 | 0,78 | 0,72 | 24,4 | |
| | | 2 | 0,69 | | | |
| | | 3 | 0,69 | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,30 | 0,30 | | |
| | | 2 | 0,28 | | | |
| | | 3 | 0,31 | | | |
| HO-3 | Fire floor | 1 | 0,88 | 0,88 | 37,2 | |
| | | 2 | 0,88 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,31 | 0,31 | | |
| | | 2 | 0,30 | | | |
| | | 3 | | | | |
| Response tests | Top opened | 1 | 1,20 | 1,15 | 43,2 | |
| | | 2 | 1,08 | | | |
| | | 3 | 1,18 | | | |
| | Mid opened | 1 | 0,91 | 1,02 | | |
| | | 2 | 1,10 | | | |
| | | 3 | 1,05 | | | |
| | Lowest opened | 1 | 0,79 | 0,91 | | |
| | | 2 | 1,03 | | | |
| | | 3 | 0,92 | | | |

| Manual corrections in dataset per instrument location [s] | | | | |
|---|-----------|-----|-----------|--------|
| Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest |
| 0,5 | | | | |

| Legend | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----------|-------|-----------|--------|------------|-------------|-------|-------------|--------------|
| No. of floors | Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest | Fire floor | Beneath FF. | Exit | Upper floor | an set point |
| 11 | fl. 11 | fl. 9 | fl. 7 | fl. 4 | fl. 2 | fl. 6 | fl. 5 | fl. 1 | fl. 10 | 50 Pa |

| Average pressure per floor, per scenario | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|---------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------|
| | Set point [Pa] | 100 N [Pa] | Pre-start | System on | Fire floor | Class C | Class D | Class E | HO-3 | 3+1 | 67 N [Pa] |
| | | | System off, closed [Pa] | System on, closed [Pa] | Open fl. [6] [Pa] | Open fl. 1* [Pa] | Open fl. 1*, [6] [Pa] | Open fl. 1*, 5, [6] [Pa] | Open fl. 5, [6] [Pa] | Open fl. 1*, 5, [6], [Pa] | |
| 11 | 40 | 0 | 22 | | | | | | | | 0 |
| 10 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 9 | 40 | 0 | 21 | 48 | 52 | 38 | | 28 | 43 | 29 | 0 |
| 8 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 7 | 40 | 0 | 20 | 47 | 49 | 39 | | 26 | 39 | 27 | 0 |
| 6 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 5 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 4 | 40 | 0 | 19 | 46 | 41 | 39 | | 20 | 31 | 22 | 0 |
| 3 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |
| 2 | 40 | 0 | 19 | 48 | 48 | 37 | | 24 | 37 | 25 | 0 |
| 1 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 |

| Floor | Door opening force | | | | | | | | |
|-------|--------------------|---|---------|-----------|---|---------|----------------|-------|--|
| | System off | | | System on | | | Maximum values | | |
| | 1 | 2 | Average | 1 | 2 | Average | 67 N | 100 N | |
| 11 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 10 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 9 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 8 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 7 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 6 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 5 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 4 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 3 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 2 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 1 | | | | | | | 67 | 100 | |

| Floor | C2: Test of automatic doors | | | |
|-------|-----------------------------|---|-----------|---|
| | System off | | System on | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 11 | V | V | V | V |
| 10 | V | V | V | V |
| 9 | V | V | V | V |
| 8 | V | V | V | V |
| 7 | X | V | V | V |
| 6 | V | V | X | X |
| 5 | V | V | V | V |
| 4 | V | V | V | V |
| 3 | V | V | V | V |
| 2 | V | V | V | V |
| 1 | | | | |

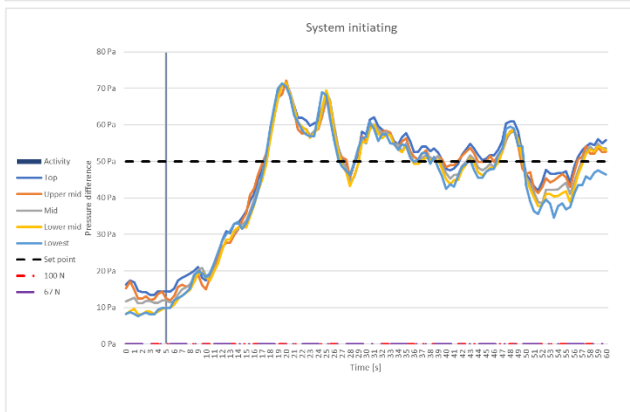
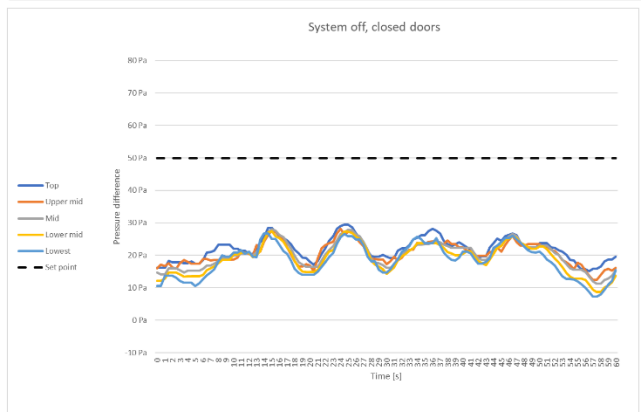
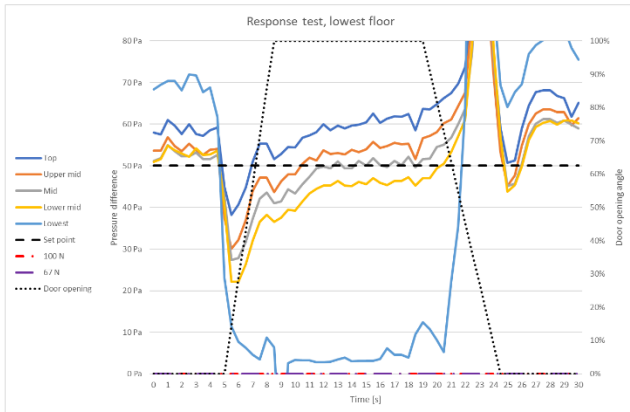
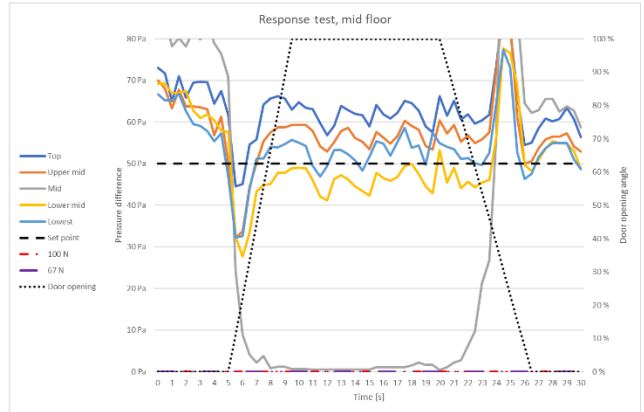
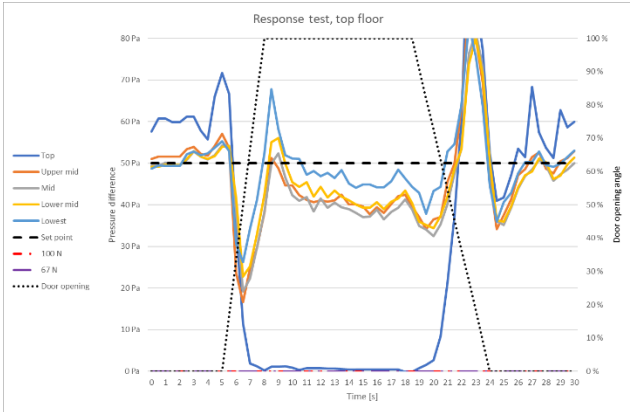
| Notes | |
|--|--|
| Air release damper open on 6th floor while testing opening force | |
| Top floor did not log between, 12:13:40 - 12:52:00 | |

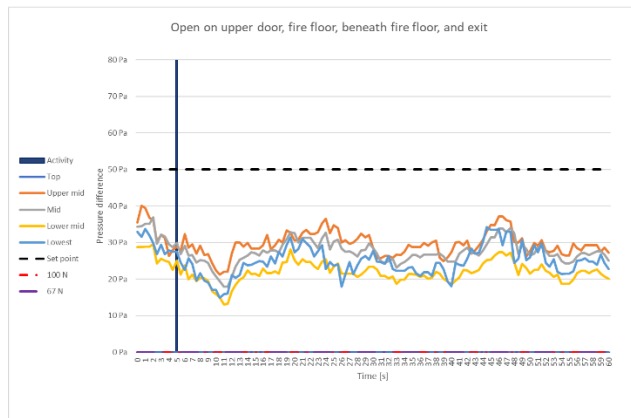
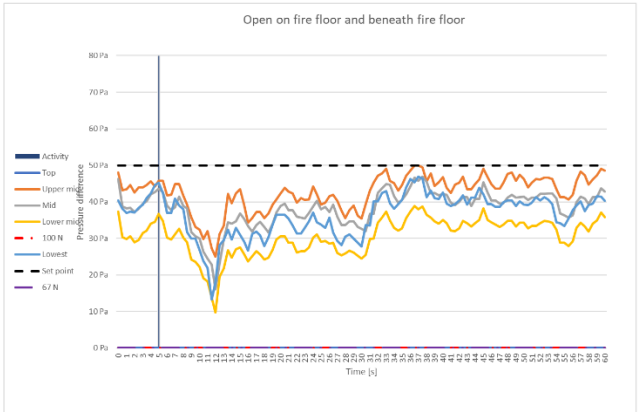
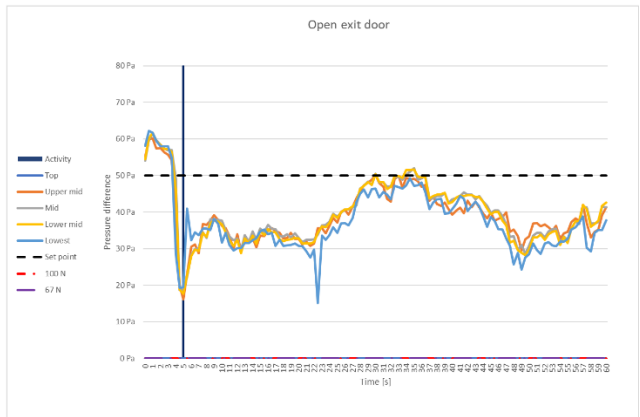
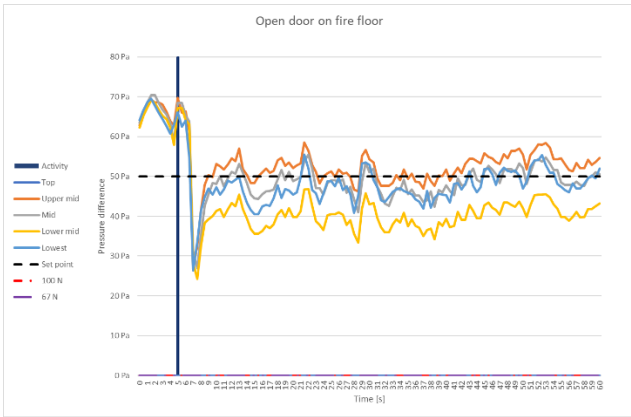
| Weather and temperature observations | | |
|--------------------------------------|-------------------------|--|
| Source: | Field measurement | |
| Time: | 11:20 | |
| Location | Roof | |
| Wind behaviour | Shifting | |
| Wind direction | E | |
| Velocity [m/s] | 6,99 m/s | |
| Weather condition | Overcast, sporadic rain | |
| Outside temperature | 2,6°C | |
| Temp. inside staircase, top | 22,1°C | |
| Location | E | |
| Wind behaviour | Shifting | |
| Wind direction | 1,95 | |
| Velocity [m/s] | 1,95 m/s | |
| Outside temperature | 3,2°C | |
| Temp. inside staircase, lowest | 14,3°C | |

| Floor | Measured | 0,75 m/s | 1 m/s | 2 m/s |
|-------|----------|----------|-------|-------|
| 11 | 1,15 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 10 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 9 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 8 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 7 | 1,02 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 6 | 0,92 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 5 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 4 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 3 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 2 | 0,91 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |

| Supplemental weather station data, timed closer to test | |
|---|--|
| Location | |
| Mean wind velocity | |
| Elevation, weather station | |
| Elevation, test location terrain | |
| Distance from test location | |
| Wind direction | |
| Mean wind velocity (hour) | |
| Outside temperature | |

Vedlegg EE: C2 Grafer





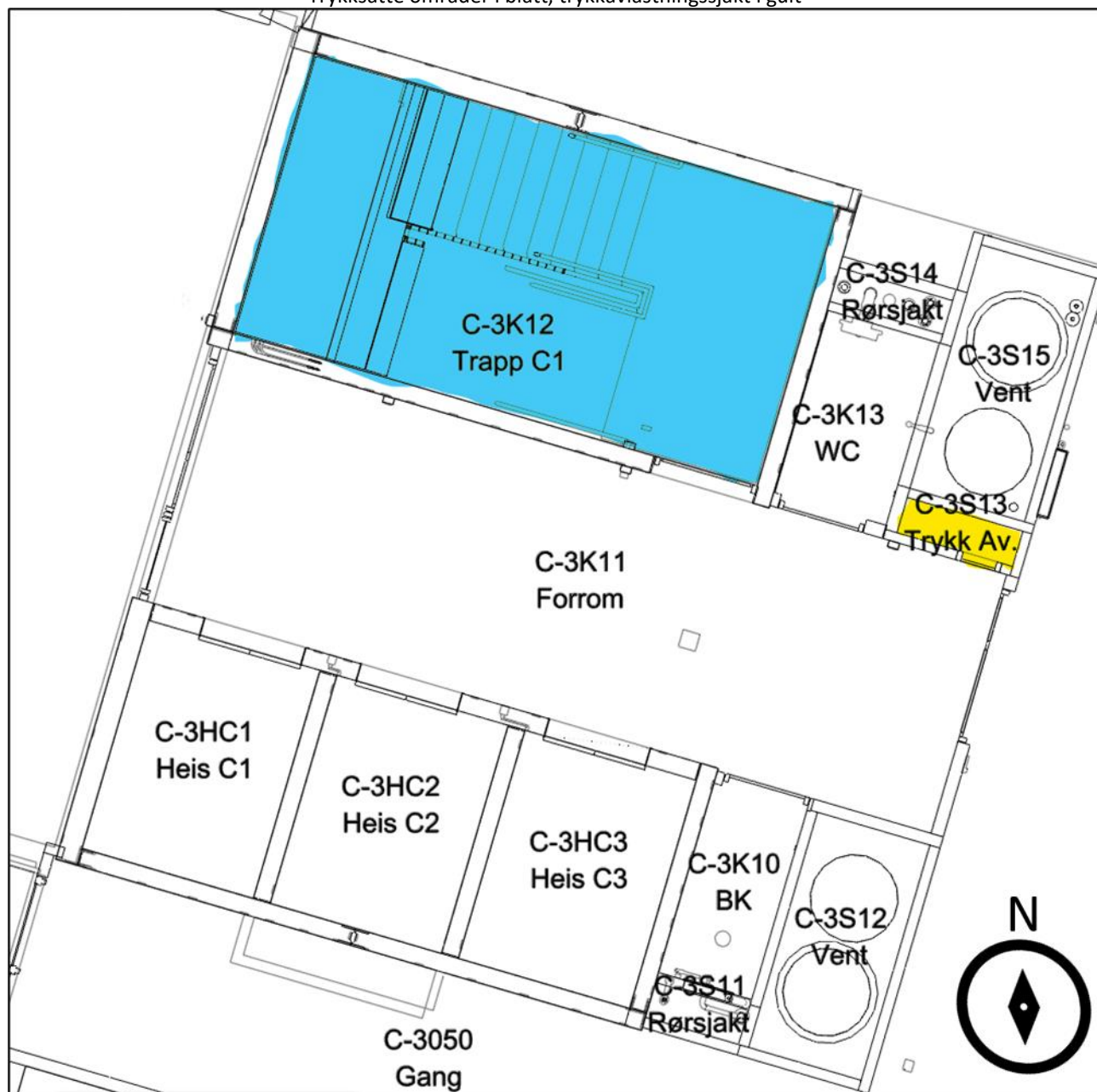
Vedlegg FF: D1 og D2 et. 2 Utsnitt fra plantegning

Trykksatte områder i blått, trykkavlastningssjakt i gult



Vedlegg GG: D3 et. 3. Utsnitt fra plantegning

Trykksatte områder i blått, trykkavlastningssjakt i gult



Vedlegg HH: Bygg D, bilder av trappene



Vifter til trapp D1, lokalisert bak risten.



Bilde tatt fra trappehuset i D2, viftene var lokalisert rett til høyre for utgangsdøren, tilsvarende D1 i forrige bilde.



Viftene til trapperom D4, trapperom ikke testet.



Rist mellom trapperom D3 og viftene, én til rist ble ikke avbildet.



Nærbildene av viftene inne i risten ved D3



Toppen av trapperom D3.



Trykkavlastning øvrige etasjer, her i D3.



Trykkavlastning i nederste kjelleretasje D3, tilsvarende i D1.

Vedlegg II: D1 Alle resultater

| Test: | Date | Test started | Test ended | Total log duration |
|-----------------------|------------|--------------|------------|--------------------|
| D1 - Escape scenarios | 18.04.2022 | 17:57:54,5 | 19:35:01,0 | 01:37:06 |

| Tests and timing | | | | |
|-----------------------|------------|-------------------|--------------------------|----------|
| Escape scenario tests | Start | Manual correction | Graph adress | Comment |
| Pre-start | 17:58:00,0 | | Data!\$D\$9:\$N\$129 | |
| Start | 18:01:41,0 | | Data!\$D\$451:\$N\$571 | |
| System on | 18:03:11,0 | | Data!\$D\$631:\$N\$751 | |
| Fire floor | 18:12:30,0 | | Data!\$D\$1749:\$N\$1869 | |
| Class C | 18:06:10,0 | | Data!\$D\$989:\$N\$1109 | |
| Class D | 18:52:30,0 | | Data!\$D\$6549:\$N\$6669 | |
| Class E | 18:41:30,0 | | Data!\$D\$5229:\$N\$5349 | |
| 3+1 | 18:57:00,0 | | Data!\$D\$7089:\$N\$7209 | Only 30s |
| HO-3 | 18:29:30,0 | | Data!\$D\$3789:\$N\$3909 | |

| Class | Scenario | Position | Average pressure [Pa] | Average all floors [Pa] | Comment |
|------------|---|-----------|-----------------------|-------------------------|---------|
| Pre-start | System off, closed | Top | 2,3 | 0,9 | |
| | | Upper mid | 1,9 | | |
| | | Mid | 1,1 | | |
| | | Lower mid | -0,9 | | |
| | | Lowest | 0,0 | | |
| System on | System on, closed | Top | 32,9 | 32,6 | |
| | | Upper mid | 32,5 | | |
| | | Mid | 31,8 | | |
| | | Lower mid | 34,2 | | |
| | | Lowest | 31,6 | | |
| Fire floor | Fire floor open | Top | 27,2 | 28,8 | |
| | | Upper mid | 26,7 | | |
| | | Mid | 26,4 | | |
| | | Lower mid | 35,9 | | |
| | | Lowest | 27,6 | | |
| C | Exit door open | Top | 21,3 | 20,8 | |
| | | Upper mid | 20,9 | | |
| | | Mid | 20,2 | | |
| | | Lower mid | 21,0 | | |
| | | Lowest | 20,5 | | |
| D | Fire floor + Exit door | Top | 14,1 | 15,5 | |
| | | Upper mid | 13,8 | | |
| | | Mid | 14,2 | | |
| | | Lower mid | 19,7 | | |
| | | Lowest | 16,0 | | |
| E | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door | Top | 11,3 | 13,5 | |
| | | Upper mid | 11,0 | | |
| | | Mid | 11,6 | | |
| | | Lower mid | 19,5 | | |
| | | Lowest | 14,1 | | |
| HO-3 | Fire floor + Beneath fire floor | Top | 22,5 | 26,1 | |
| | | Upper mid | 22,1 | | |
| | | Mid | 22,3 | | |
| | | Lower mid | 38,7 | | |
| | | Lowest | 25,1 | | |
| 3+1 | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door + Upper floor | Top | 7,6 | 9,8 | |
| | | Upper mid | 7,3 | | |
| | | Mid | 7,6 | | |
| | | Lower mid | 16,8 | | |
| | | Lowest | 9,7 | | |

| Velocities | | | | | | |
|-----------------|----------------|----------|--------------|---------------|--|---------|
| Class | Floor measured | Test no. | Result [m/s] | Average [m/s] | Pressure during measurement (floor of Response test omitted) | Comment |
| Fire floor /A/C | Fire floor | 1 | 0,56 | 0,57 | 28,8 | |
| | | 2 | 0,50 | | | |
| | | 3 | 0,66 | | | |
| D | Fire floor | 1 | 0,35 | 0,35 | 15,5 | |
| | | 2 | 0,35 | | | |
| | | 3 | | | | |
| E | Fire floor | 1 | 0,31 | 0,30 | 13,5 | |
| | | 2 | 0,27 | | | |
| | | 3 | 0,31 | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,20 | 0,19 | | |
| | | 2 | 0,18 | | | |
| | | 3 | | | | |
| HO-3 | Fire floor | 1 | 0,48 | 0,51 | 26,1 | |
| | | 2 | 0,61 | | | |
| | | 3 | 0,45 | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,31 | 0,29 | | |
| | | 2 | 0,27 | | | |
| | | 3 | 0,30 | | | |

| Manual corrections in dataset per instrument location [s] | | | | |
|---|-----------|-----|-----------|--------|
| Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest |
| | | | -1 | -1 |

| Legend | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----------|-------|-----------|--------|------------|-------------|-------|-------------|--------------|
| No. of floors | Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest | Fire floor | Beneath FF. | Exit | Upper floor | In set point |
| 13 | fl. 11 | fl. 8 | fl. 5 | fl. 2 | -fl. 1 | fl. 7 | fl. 6 | fl. 2 | fl. 10 | 30 Pa |

| Average pressure per floor, per scenario | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-------|--------------------|-------------------|--------------|-------------|------------------|---------------------|-----------------|---------------------------|------|--|
| | Set point | 100 N | Pre-start | System on | Fire floor | Class C | Class D | Class E | HO-3 | 3+1 | 67 N | |
| | | | System off, closed | System on, closed | Open fl. [7] | Open fl. 2* | Open fl. 2*, [7] | Open fl. 2*, 6, [7] | Open fl. 6, [7] | Open fl. 2*, 6, [7], [Pa] | | |
| | [Pa] | [Pa] | [Pa] | [Pa] | [Pa] | [Pa] | [Pa] | [Pa] | [Pa] | [Pa] | [Pa] | |
| 17 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 16 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 15 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 14 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 13 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 12 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 11 | 40 | 0 | 2 | 33 | 27 | 21 | 14 | 11 | 23 | 8 | 0 | |
| 10 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 9 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 8 | 40 | 0 | 2 | 33 | 27 | 21 | 14 | 11 | 22 | 7 | 0 | |
| 7 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 6 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 5 | 40 | 0 | 1 | 32 | 26 | 20 | 14 | 12 | 22 | 8 | 0 | |
| 4 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 3 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 2 | 40 | 0 | -1 | 34 | 36 | 21 | 20 | 20 | 39 | 17 | 0 | |
| 1 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| 0 | 40 | 0 | | | | | | | | | 0 | |
| -1 | 40 | 0 | 0 | 32 | 28 | 20 | 16 | 14 | 25 | 10 | 0 | |

| Floor | Door opening force | | | | | | Maximum values | |
|-----------|--------------------|---|---------|-----------|---|---------|----------------|-------|
| | System off | | | System on | | | 67 N | 100 N |
| | 1 | 2 | Average | 1 | 2 | Average | | |
| 17 | | | | | | | 67 | 100 |
| 16 | | | | | | | 67 | 100 |
| 15 | | | | | | | 67 | 100 |
| 14 | | | | | | | 67 | 100 |
| 13 | | | | | | | 67 | 100 |
| 12 | | | | | | | 67 | 100 |
| 11 | | | | | | | 67 | 100 |
| 10 | | | | | | | 67 | 100 |
| 9 | | | | | | | 67 | 100 |
| 8 | | | | | | | 67 | 100 |
| 7 | | | | | | | 67 | 100 |
| 6 | | | | | | | 67 | 100 |
| 5 | | | | | | | 67 | 100 |
| 4 | | | | | | | 67 | 100 |
| 3 | | | | | | | 67 | 100 |
| 2 | | | | | | | 67 | 100 |
| 1 | | | | | | | 67 | 100 |
| 0 | | | | | | | 67 | 100 |
| -1 | | | | | | | 67 | 100 |
| Tot. Avg. | #DIV/0! | | | #DIV/0! | | | | |

| Floor | D1: Test of automatic doors | | | |
|-------|-----------------------------|---|-----------|---|
| | System off | | System on | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 11 | V | V | V | V |
| 10 | V | V | V | V |
| 9 | V | V | V | V |
| 8 | V | V | V | V |
| 7 | V | V | V | V |
| 6 | V | V | V | V |
| 5 | V | V | V | V |
| 4 | V | V | V | V |
| 3 | V | V | V | V |
| 2 | V | V | V | V |
| 1 | | | | |
| 0 | V | V | V | V |
| -1 | V | V | V | V |

| Notes |
|-------|
| |

| Weather and temperature observations | | |
|--------------------------------------|--------------------|--|
| Source: | Field measurement | |
| Time: | 16:52 | |
| Location | Roof | |
| Wind behaviour | Stable | |
| Wind direction | SW | |
| Velocity [m/s] | 2,31 m/s | |
| Weather condition | Sunny | |
| Outside temperature | 11,4°C | |
| Temp. inside staircase, top | 20,4°C | |
| Location | Street, north side | |
| Wind behaviour | Calm | |
| Wind direction | SW | |
| Velocity [m/s] | 2,53 m/s | |
| Outside temperature | 11,1°C | |
| Temp. inside staircase, lowest | 19,5°C | |

| Floor | Measured | 0,75 m/s | 1 m/s | 2 m/s |
|-------|----------|----------|-------|-------|
| 17 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 16 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 15 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 14 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 13 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 12 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 11 | 0,53 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 10 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 9 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 8 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 7 | 0,57 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 6 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 5 | 0,61 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 4 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 3 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 2 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 0 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| -1 | 0,49 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |

| Supplemental weather station data, timed closer to test | | |
|---|--|--|
| Location | | |
| Mean wind velocity | | |
| Elevation, weather station | | |
| Elevation, test location terrain | | |
| Distance from test location | | |
| Wind direction | | |
| Mean wind velocity (hour) | | |
| Outside temperature | | |

| Test: | Date | Test started | Test ended | Total log duration |
|-------------------|------------|--------------|------------|--------------------|
| D1 -Reaction test | 20.04.2022 | 18:18:12,0 | 18:51:40,5 | 00:33:28 |

| Reaction tests | Timing | Timer | Manual correction | Graph adress | Comment |
|----------------|------------|------------|-------------------|--------------------------|---------|
| Top opened | 18:21:30,0 | 00:00:04,5 | | | |
| Top open | 18:21:34,5 | 00:00:10,5 | | Data!\$D\$393:\$M\$453 | |
| Top closing | 18:21:45,0 | 00:00:07,0 | | Duration: | |
| Top closed | 18:21:52,0 | | | 00:00:22,0 | |
| Mid opened | 18:27:30,0 | 00:00:05,0 | | | |
| Mid open | 18:27:35,0 | 00:00:10,5 | | Data!\$D\$1113:\$M\$1173 | |
| Mid closing | 18:27:45,5 | 00:00:05,5 | | Duration: | |
| Mid closed | 18:27:51,0 | | | 00:00:21,0 | |
| Lowest opened | 18:46:00,0 | 00:00:05,0 | | | |
| Lowest open | 18:46:05,0 | 00:00:10,5 | | Data!\$D\$3333:\$M\$3393 | |
| Lowest closing | 18:46:15,5 | 00:00:05,5 | | Duration: | |
| Lowest closed | 18:46:21,0 | | | 00:00:21,0 | |

| Velocities | | | | | | |
|----------------|----------------|----------|--------------|---------------|--|---------|
| Class | Floor measured | Test no. | Result [m/s] | Average [m/s] | Pressure during measurement (floor of reaction test omitted) | Comment |
| Reaction tests | Top opened | 1 | 0,51 | 0,53 | 29,4 | |
| | | 2 | 0,57 | | | |
| | | 3 | 0,51 | | | |
| | Mid opened | 1 | 0,64 | 0,61 | 28,7 | |
| | | 2 | 0,58 | | | |
| | | 3 | 0,61 | | | |
| | Lowest opened | 1 | 0,47 | 0,49 | 28,0 | |
| | | 2 | 0,40 | | | |
| | | 3 | 0,59 | | | |

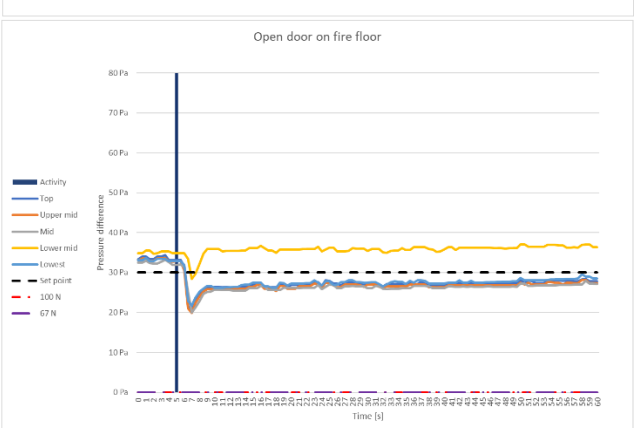
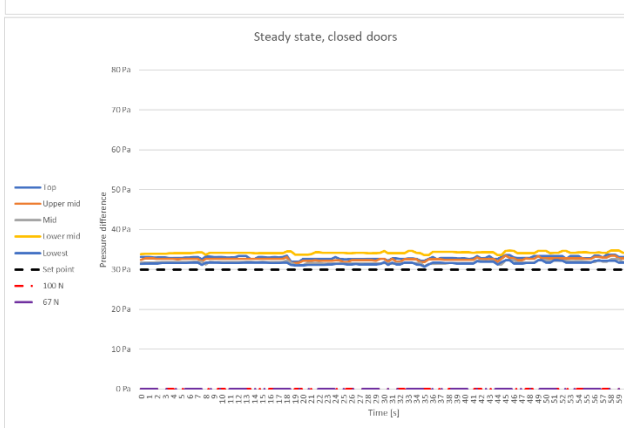
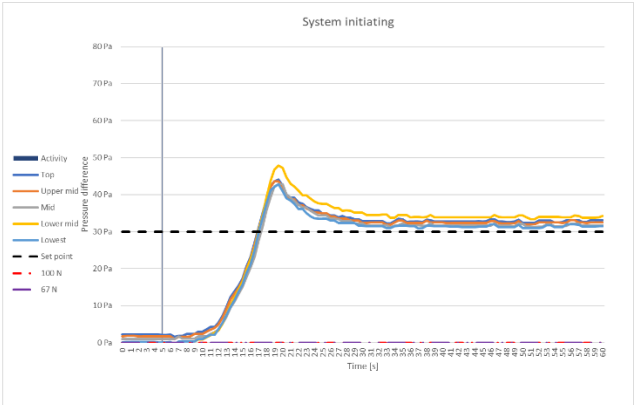
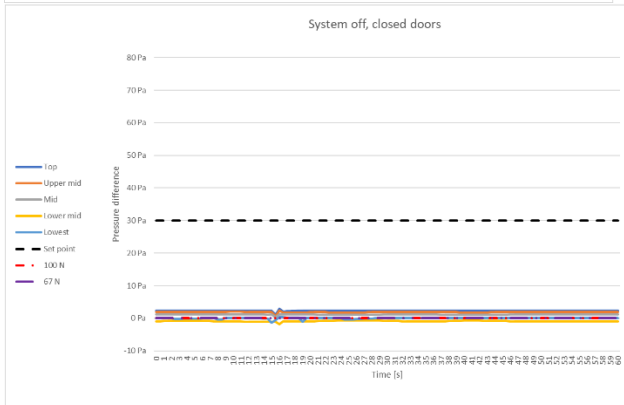
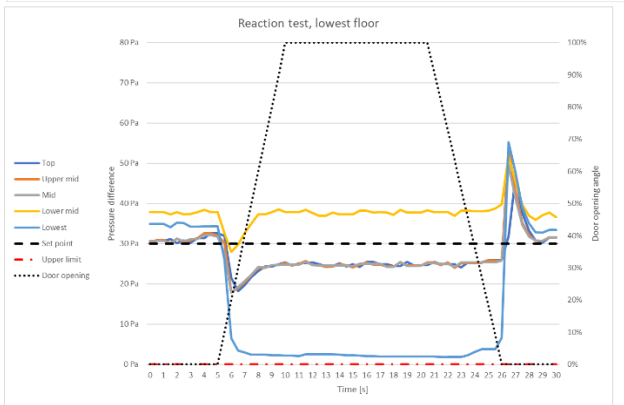
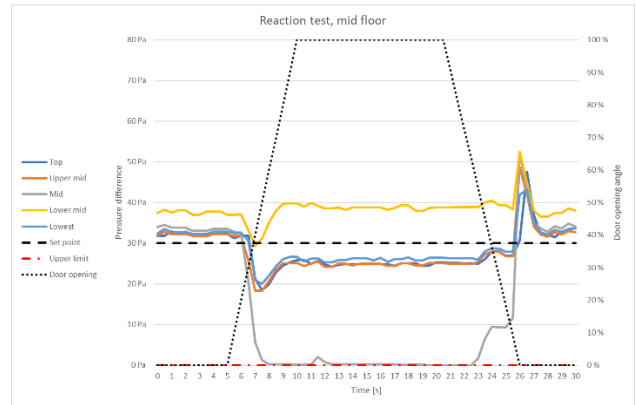
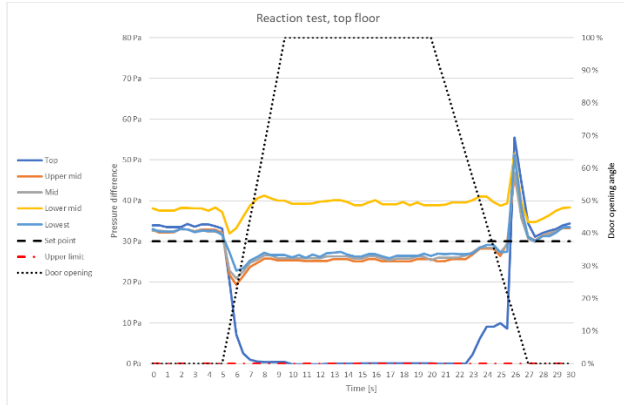
| Manual corrections in dataset per instrument location [s] | | | | |
|---|-----------|-----|-----------|--------|
| Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest |
| | | | | -1 |

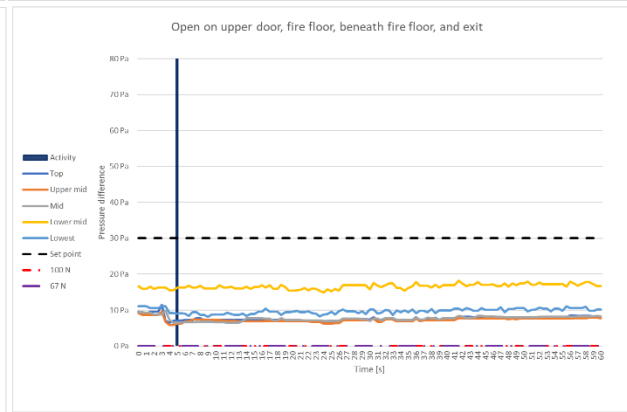
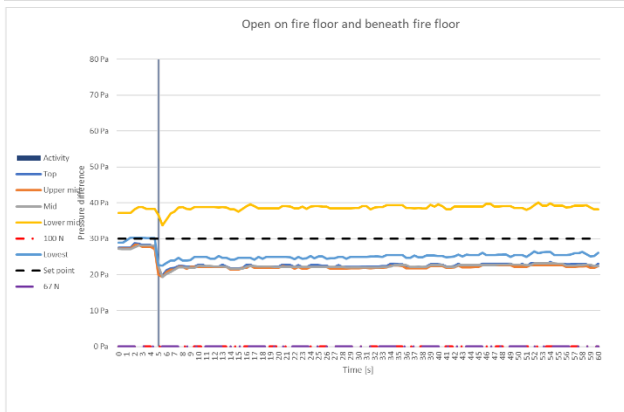
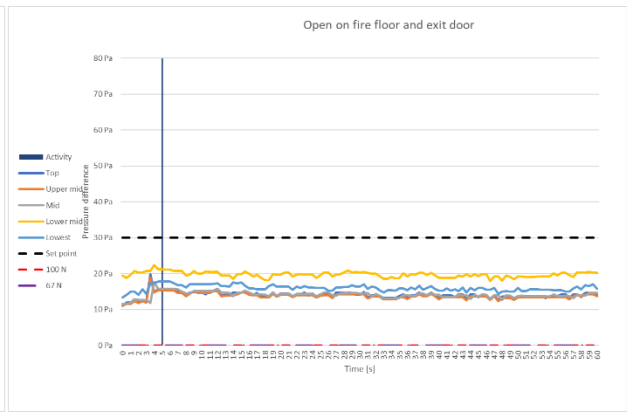
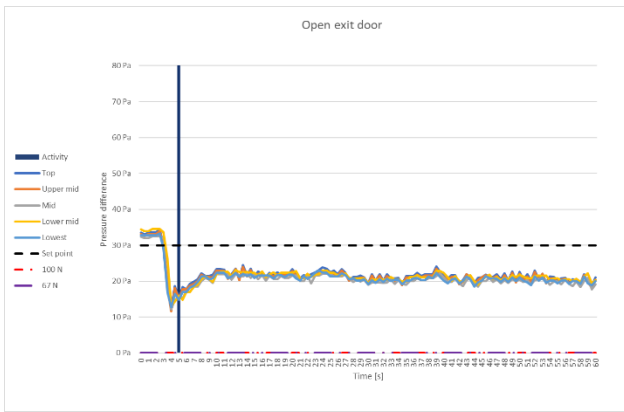
| Legend | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----------|-------|-----------|--------|------------|-------------|-------|-------------|--------------|
| No. of floors | Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest | Fire floor | Beneath FF. | Exit | Upper floor | an set point |
| 13 | fl. 11 | fl. 8 | fl. 5 | fl. 2 | -fl. 1 | fl. 7 | fl. 6 | fl. 2 | fl. 10 | 30 Pa |

| Weather and temperature observations | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| | Source: | Field measurement |
| | Time: | 16:52 |
| Roof/top | Location | Roof |
| | Wind behaviour | Stable |
| | Wind direction | SW |
| | Velocity [m/s] | 2,31 m/s |
| | Weather condition | Sunny |
| | Outside temperature | 11,4°C |
| | Temp. inside staircase, top | 20,4°C |
| Terrain/low | Location | Street, north side |
| | Wind behaviour | Calm |
| | Wind direction | SW |
| | Velocity [m/s] | 2,53 m/s |
| | Outside temperature | 11,1°C |
| | Temp. inside staircase, lowest | 19,5°C |

| Supplemental weather station data, timed closer to test | | |
|---|----------------------------------|--|
| Weather station | Location | |
| | Mean wind velocity | |
| | Elevation, weather station | |
| | Elevation, test location terrain | |
| | Distance from test location | |
| | Wind direction | |
| | Mean wind velocity (hour) | |
| | Outside temperature | |

Vedlegg JJ: D1 Grafer





Vedlegg KK: D2 Alle resultater

| Test: | Date | Test started | Test ended | Total log duration |
|-------|------------|--------------|------------|--------------------|
| D2 | 11.04.2022 | 17:49:55,0 | 18:35:48,5 | 00:45:54 |

| Tests and timing | | | | | | |
|-----------------------|------------|-------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------|
| Escape scenario tests | Start | Manual correction | Graph address | Comment | | |
| Pre-start | 14:34:00,0 | | Data\SD5279:\$N\$399 | Early due to logging pause | | |
| Start | 18:26:30,0 | | Data\SD55405:\$N\$5525 | | | |
| System on | 17:51:00,0 | | Data\SD51145:\$N\$1265 | | | |
| Fire floor | 17:55:30,0 | | Data\SD51685:\$N\$1805 | | | |
| Class C | 18:31:00,0 | | Data\SD55945:\$N\$6065 | | | |
| Class D | 18:01:30,0 | | Data\SD52405:\$N\$2525 | | | |
| Class E | 17:59:15,0 | | Data\SD52135:\$N\$2255 | | | |
| 3+1 | 18:03:00,0 | | Data\SD52585:\$N\$2705 | | | |
| HO-3 | 17:57:45,0 | | Data\SD51955:\$N\$2075 | | | |
| Response tests | Timing | Timer | Manual correction | Graph address | Dynamic response ti | Comment |
| Top opened | 18:18:00,0 | 00:00:02,5 | -00:00:01,0 | Data\SD\$4383:\$N\$4443 | Pressure difference before/after: | |
| Top open | 18:18:02,5 | 00:00:10,0 | -00:00:01,0 | | -2,30 % | |
| Top closing | 18:18:12,5 | 00:00:01,5 | -00:00:01,0 | Duration: | Reaction time: | |
| Top closed | 18:18:14,0 | | -00:00:01,0 | 00:00:14,0 | 00:01,5 | |
| Mid opened | 17:54:00,0 | 00:00:01,5 | 00:00:01,0 | Data\SD\$1507:\$N\$1567 | Pressure difference before/after: | |
| Mid open | 17:54:01,5 | 00:00:10,0 | 00:00:01,0 | | -1,48 % | |
| Mid closing | 17:54:11,5 | 00:00:02,5 | 00:00:01,0 | Duration: | Reaction time: | |
| Mid closed | 17:54:14,0 | | 00:00:01,0 | 00:00:14,0 | 00:01,5 | |
| Lowest opened | 18:11:00,0 | 00:00:02,0 | | Data\SD\$3545:\$N\$3605 | Pressure difference before/after: | |
| Lowest open | 18:11:02,0 | 00:00:10,0 | | | -0,70 % | |
| Lowest closing | 18:11:12,0 | 00:00:02,0 | | Duration: | Reaction time: | |
| Lowest closed | 18:11:14,0 | | | 00:00:14,0 | 00:01,5 | |

| Class | Scenario | Position | Average pressure [Pa] | Average all floors [Pa] | Comment |
|------------|---|-----------|-----------------------|-------------------------|---|
| Pre-start | System off, closed | Top | -2,0 | -3,3 | The test was conducted with several hours between this, and the rest, due to a large pause in logging |
| | | Upper mid | -1,9 | | |
| | | Mid | 0,7 | | |
| | | Lower mid | -5,8 | | |
| | | Lowest | -7,3 | | |
| System on | System on, closed | Top | 36,0 | 32,5 | |
| | | Upper mid | 25,7 | | |
| | | Mid | 35,2 | | |
| | | Lower mid | 28,8 | | |
| | | Lowest | 36,6 | | |
| Fire floor | Fire floor open | Top | 32,6 | 23,0 | |
| | | Upper mid | 22,1 | | |
| | | Mid | 5,0 | | |
| | | Lower mid | 25,4 | | |
| | | Lowest | 30,0 | | |
| C | Exit door open | Top | 31,3 | 23,3 | |
| | | Upper mid | 15,7 | | |
| | | Mid | 27,6 | | |
| | | Lower mid | 17,4 | | |
| | | Lowest | 24,3 | | |
| D | Fire floor + Exit door | Top | 12,3 | 7,8 | |
| | | Upper mid | 5,4 | | |
| | | Mid | 0,0 | | |
| | | Lower mid | 7,4 | | |
| | | Lowest | 14,1 | | |
| E | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door | Top | 11,5 | 6,7 | |
| | | Upper mid | 3,8 | | |
| | | Mid | 0,0 | | |
| | | Lower mid | 5,9 | | |
| | | Lowest | 12,4 | | |
| HO-3 | Fire floor + Beneath fire floor | Top | 32,8 | 21,7 | |
| | | Upper mid | 21,8 | | |
| | | Mid | 0,0 | | |
| | | Lower mid | 24,0 | | |
| | | Lowest | 29,9 | | |
| 3+1 | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door + Upper floor | Top | 13,5 | 8,9 | |
| | | Upper mid | 6,4 | | |
| | | Mid | 0,0 | | |
| | | Lower mid | 8,8 | | |
| | | Lowest | 15,6 | | |

| Class | Floor measured | Test no. | Velocities | | Pressure during measurement (floor of Response test omitted) | Comment |
|-----------------|----------------|----------|--------------|---------------|--|---|
| | | | Result [m/s] | Average [m/s] | | |
| Fire floor /A/C | Fire floor | 1 | 0,60 | 0,59 | 23,0 | |
| | | 2 | 0,57 | | | |
| | | 3 | | | | |
| D | Fire floor | 1 | 0,20 | 0,18 | 7,8 | |
| | | 2 | 0,19 | | | |
| | | 3 | 0,16 | | | |
| E | Fire floor | 1 | 0,24 | 0,20 | 6,7 | Missing one air velocity measurement (>10%) |
| | | 2 | 0,16 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,08 | 0,08 | | |
| | | 2 | 0,07 | | | |
| | | 3 | | | | |
| HO-3 | Fire floor | 1 | 0,24 | 0,26 | 21,7 | |
| | | 2 | 0,27 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,01 | 0,07 | | |
| | | 2 | 0,10 | | | |
| | | 3 | 0,10 | | | |
| Response tests | Top opened | 1 | 0,62 | 0,60 | 29,2 | |
| | | 2 | 0,58 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Mid opened | 1 | 0,60 | 0,59 | 27,5 | |
| | | 2 | 0,57 | | | |
| | | 3 | | | | |
| | Lowest opened | 1 | 0,49 | 0,51 | 28,6 | |
| | | 2 | 0,52 | | | |
| | | 3 | | | | |

| Manual corrections in dataset per instrument location [s] | | | | |
|---|-----------|-----|-----------|--------|
| Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest |
| | 1 | | 1,5 | 1 |

| Legend | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----------|-------|-----------|--------|------------|-------------|-------|-------------|--------------|
| No. of floors | Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest | Fire floor | Beneath FF. | Exit | Upper floor | In set point |
| 10 | fl. 11 | fl. 9 | fl. 7 | fl. 5 | fl. 3 | fl. 7 | fl. 6 | fl. 2 | fl. 10 | 30 Pa |

| Average pressure per floor, per scenario | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|------------|-------------------------|------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-----------|----------|-----------|
| Floor | Set point [Pa] | 100 N [Pa] | Pre-start | | Fire floor [Pa] | Class C [Pa] | Class D [Pa] | Class E [Pa] | HO-3 [Pa] | 3+1 [Pa] | 67 N [Pa] |
| | | | System off, closed [Pa] | System on, closed [Pa] | | | | | | | |
| 17 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 16 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 15 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 14 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 13 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 12 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 11 | 40 | 39 | -2 | 36 | 33 | 31 | 12 | 11 | 33 | 14 | 11 |
| 10 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 9 | 40 | 39 | -2 | 26 | 22 | 16 | 5 | 4 | 22 | 6 | 11 |
| 8 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 7 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 6 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 5 | 40 | 39 | -6 | 29 | 25 | 17 | 7 | 6 | 24 | 9 | 11 |
| 4 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 3 | 40 | 39 | -7 | 37 | 30 | 24 | 14 | 12 | 30 | 16 | 11 |
| 2 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 1 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| 0 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |
| -1 | 40 | 39 | | | | | | | | | 11 |

| EN 12101 Door opening force | |
|-------------------------------------|--------|
| F _{max} [N] | 100 |
| F _r [N] | 55 |
| W _{door} [m] | 0,92 |
| H _{door} [m] | 2,32 |
| A _{door} [m ²] | 2,1344 |
| ΔP _{design} [Pa] | 30,00 |
| d [m] | 0,07 |
| F _{opening} [N] | 89,3 |
| ΔP _{max, 100N} [Pa] | 39,3 |

| TEK17 Door opening force | |
|-------------------------------------|--------|
| F _{max} [N] | 67 |
| F _r [N] | 55 |
| W _{door} [m] | 0,92 |
| H _{door} [m] | 2,32 |
| A _{door} [m ²] | 2,1344 |
| ΔP _{design} [Pa] | 30,00 |
| d [m] | 0,07 |
| F _{opening} [N] | 89,3 |
| ΔP _{max, 67N} [Pa] | 10,7 |

| Floor | System off | | Door opening force | | | | Maximum values | | |
|-----------|------------|----|--------------------|----|---------|----|----------------|-------|--|
| | 1 | 2 | System on | | Average | | 67 N | 100 N | |
| 17 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 16 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 15 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 14 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 13 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 12 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 11 | 50 | 50 | 50 | 75 | 75 | 75 | 67 | 100 | |
| 10 | 50 | 50 | 50 | 72 | 72 | 72 | 67 | 100 | |
| 9 | 52 | 54 | 53 | 66 | 70 | 68 | 67 | 100 | |
| 8 | 62 | 60 | 61 | 72 | 76 | 74 | 67 | 100 | |
| 7 | 52 | 50 | 51 | 64 | 74 | 69 | 67 | 100 | |
| 6 | 55 | 56 | 56 | 72 | 68 | 70 | 67 | 100 | |
| 5 | 56 | 62 | 59 | 72 | 60 | 66 | 67 | 100 | |
| 4 | 52 | 60 | 56 | 60 | 60 | 60 | 67 | 100 | |
| 3 | 52 | 60 | 56 | 70 | 70 | 70 | 67 | 100 | |
| 2 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 1 | | | | | | | 67 | 100 | |
| 0 | | | | | | | 67 | 100 | |
| -1 | | | | | | | 67 | 100 | |
| Tot. Avg. | 55 | | 69 | | | | | | |

| Floor | Test of automatic doors | | | |
|-------|-------------------------|--|-----------|--|
| | System off | | System on | |
| 17 | | | | |
| 16 | | | | |
| 15 | | | | |
| 14 | | | | |
| 13 | | | | |
| 12 | | | | |
| 11 | | | | |
| 10 | | | | |
| 9 | | | | |
| 8 | | | | |
| 7 | | | | |
| 6 | | | | |
| 5 | | | | |
| 4 | | | | |
| 3 | | | | |
| 2 | | | | |
| 1 | | | | |
| 0 | | | | |
| -1 | | | | |

Notes

The sensor on fire floor was removed from escape scenarios with fire door open, as this would show zero-values. It is likely that the fire floor has higher pressure difference due to air release damper being open on this floor (7)

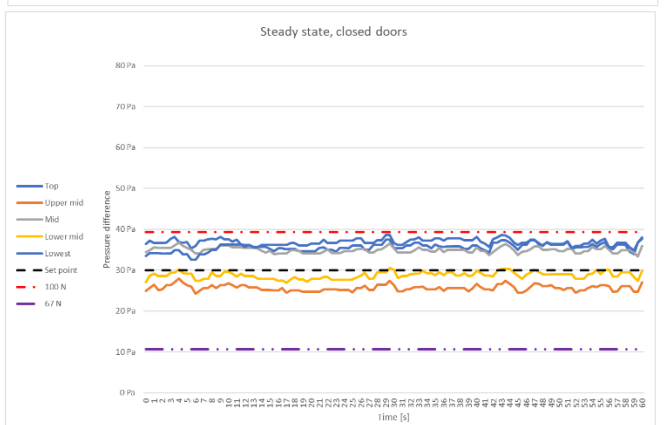
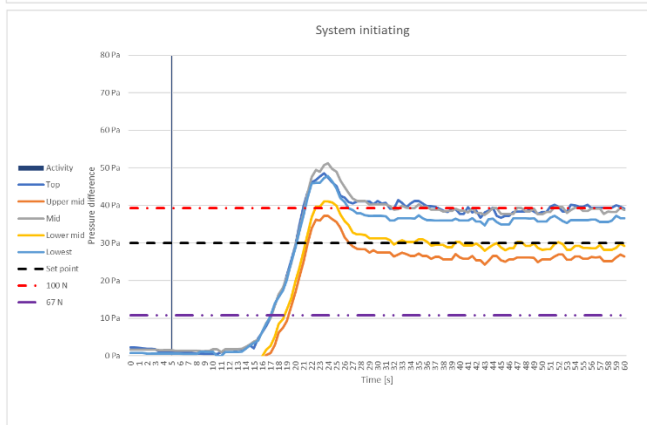
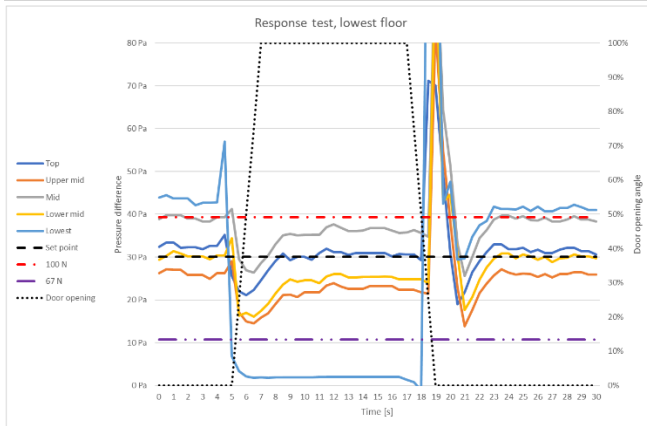
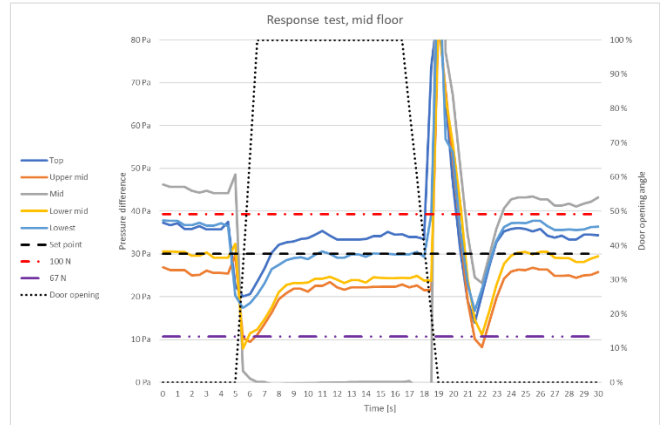
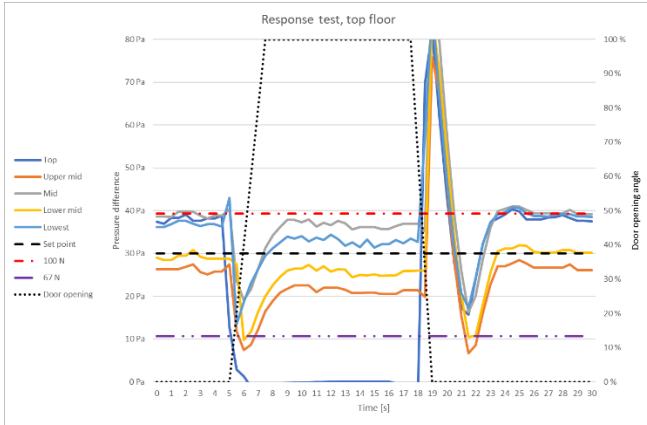
The test, specifically with pre-start conditions, were conducted first with a larger pause in-between

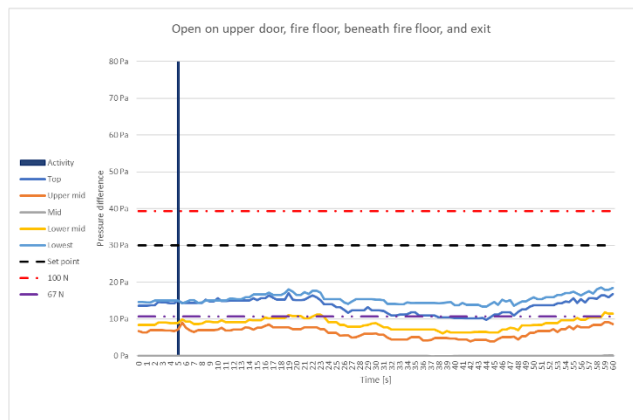
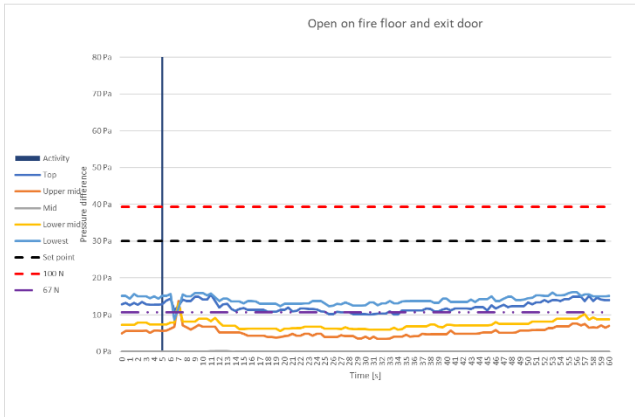
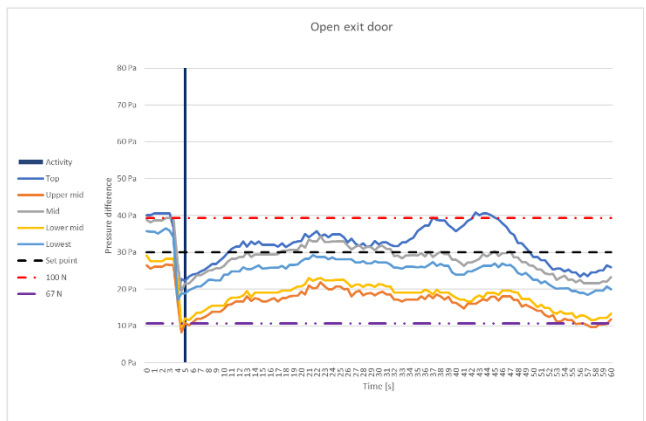
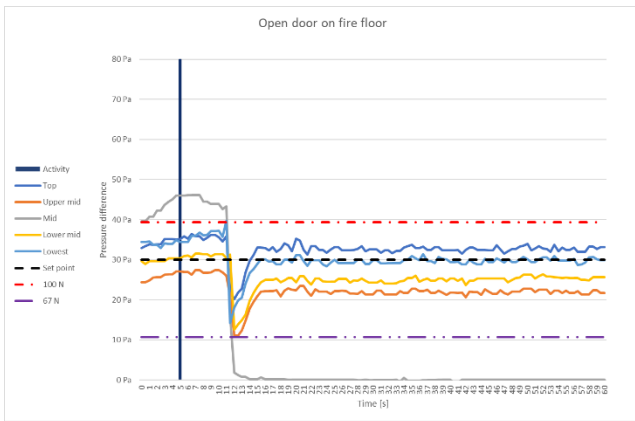
| Weather and temperature observations | | |
|--------------------------------------|-------------------|--|
| Source: | Field measurement | |
| Time: | 13:30 | |
| Location | Roof | |
| Wind behaviour | Stable | |
| Wind direction | SW | |
| Velocity [m/s] | 1,3 m/s | |
| Weather condition | Sunny | |
| Outside temperature | 11,3°C | |
| Temp. inside staircase, top | 23,1°C | |
| After test | 20,0°C | |
| Location | Street, NW | |
| Wind behaviour | Calm | |
| Wind direction | No dominant | |
| Velocity [m/s] | 0,5 m/s | |
| Outside temperature | 11,2°C | |
| Temp. inside staircase, lowest | 21,6°C | |
| After test | 15,9°C | |

| Floor | Measured | 0,75 m/s | 1 m/s | 2 m/s |
|-------|----------|----------|-------|-------|
| 17 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 16 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 15 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 14 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 13 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 12 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 11 | 0,60 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 10 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 9 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 8 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 7 | 0,59 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 6 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 5 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 4 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 3 | 0,51 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 2 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 0 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| -1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |

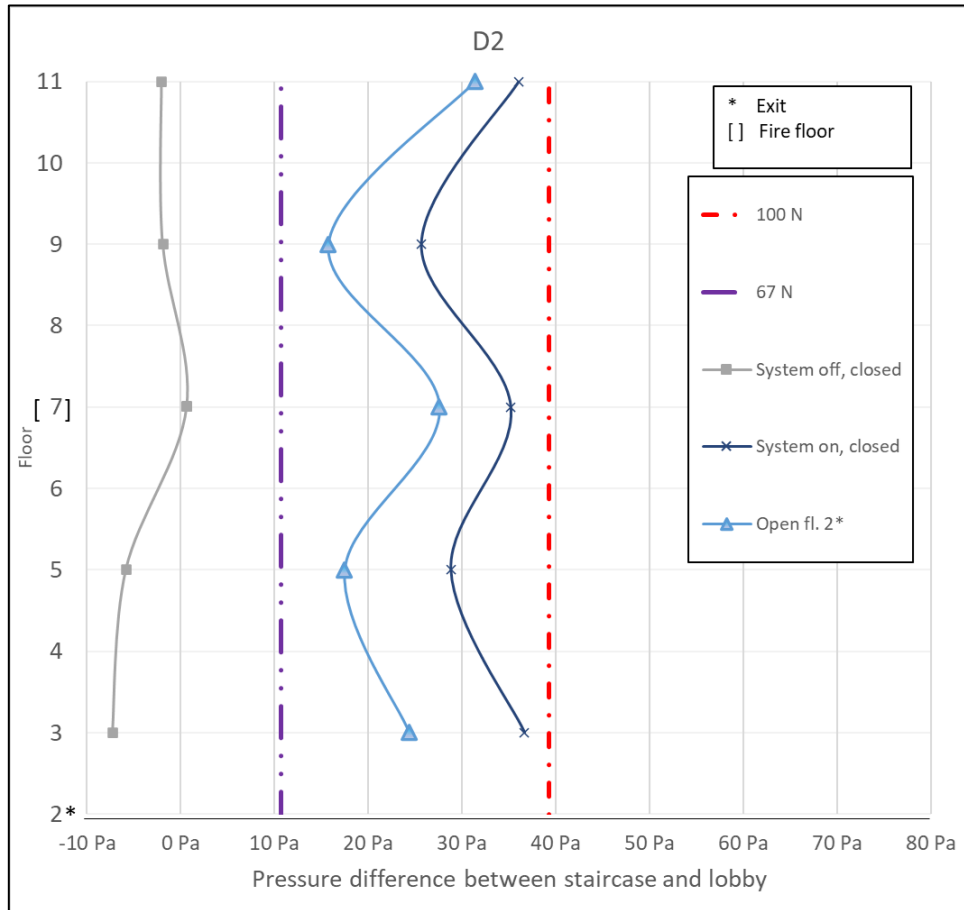
| Supplemental weather station data, timed closer to test | | |
|---|----------|--|
| Location | Blindern | |
| Time | 18:00 | |
| Elevation, weather station | 94 m | |
| Elevation, test location terrain | 19 m | |
| Distance from test location | 5,7 km | |
| Wind direction | NW | |
| Mean wind velocity (hour) | 3,2 m/s | |
| Outside temperature | 10,4°C | |

Vedlegg LL: D2 Grafer





Vedlegg MM: D2 med trykkmålinger i et. 7



Vedlegg NN: D3 Alle resultater

| Test: | Date | Test started | Test ended | Total log duration |
|-------|------------|--------------|------------|--------------------|
| D3 | 20.04.2022 | 19:59:39,0 | 21:20:47 | 01:21:08 |

| Tests and timing | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------|
| Escape scenario tests | Start | | Manual correction | Graph address | Comment | |
| Pre-start | 20:00:17,0 | | | Data\SD\$73:\\$N\$193 | Early due to logging pause | |
| Start | 20:03:00,0 | | | Data\SD\$399:\\$N\$519 | | |
| System on | 20:04:30,0 | | | Data\SD\$579:\\$N\$699 | | |
| Fire floor | 20:10:00,0 | | | Data\SD\$1239:\\$N\$1359 | | |
| Class C | 20:07:12,0 | | | Data\SD\$903:\\$N\$1023 | | |
| Class D | 20:30:40,0 | | | Data\SD\$3719:\\$N\$3839 | | |
| Class E | 20:22:10,0 | | | Data\SD\$2699:\\$N\$2819 | | |
| 3+1 | 20:34:50,0 | | | Data\SD\$4219:\\$N\$4339 | | |
| HO-3 | 20:13:30,0 | | | Data\SD\$1659:\\$N\$1779 | | |
| Response tests | Timing | Timer | Manual correction | Graph address | Dynamic response ti | Comment |
| Top opened | 20:44:45,0 | 00:00:06,5 | | Data\SD\$5409:\\$N\$5469 | Pressure difference before/after: | #N/A |
| Top open | 20:44:51,5 | 00:00:10,0 | | | Reaction time: | |
| Top closing | 20:45:01,5 | 00:00:06,5 | | Duration: | 00:00:23,0 | |
| Top closed | 20:45:08,0 | | | | | #N/A |
| Mid opened | 20:58:30,0 | 00:00:05,0 | | Data\SD\$7059:\\$N\$7119 | Pressure difference before/after: | #N/A |
| Mid open | 20:58:35,0 | 00:00:10,0 | | | Reaction time: | |
| Mid closing | 20:58:45,0 | 00:00:06,0 | | Duration: | 00:00:21,0 | |
| Mid closed | 20:58:51,0 | | | | | #N/A |
| Lowest opened | 21:07:45,0 | 00:00:04,0 | 00:00:01,0 | Data\SD\$8167:\\$N\$8227 | Pressure difference before/after: | #N/A |
| Lowest open | 21:07:49,0 | 00:00:10,5 | 00:00:01,0 | | Reaction time: | |
| Lowest closing | 21:07:59,5 | 00:00:06,0 | 00:00:01,0 | Duration: | 00:00:20,5 | |
| Lowest closed | 21:08:05,5 | | 00:00:01,0 | | | #N/A |

| Class | Scenario | Position | Average pressure [Pa] | Average all floors [Pa] | Comment |
|------------|---|-----------|-----------------------|-------------------------|---|
| Pre-start | System off, closed | Top | -3,6 | -3,8 | The test was conducted with several hours between this, and the rest, due to a large pause in logging |
| | | Upper mid | -3,8 | | |
| | | Mid | -4,1 | | |
| | | Lower mid | -3,7 | | |
| | | Lowest | -3,6 | | |
| System on | System on, closed | Top | 32,5 | 32,8 | |
| | | Upper mid | 32,5 | | |
| | | Mid | 32,1 | | |
| | | Lower mid | 33,1 | | |
| | | Lowest | 33,7 | | |
| Fire floor | Fire floor open | Top | 27,0 | 28,5 | |
| | | Upper mid | 27,0 | | |
| | | Mid | 27,9 | | |
| | | Lower mid | 29,8 | | |
| | | Lowest | 30,9 | | |
| C | Exit door open | Top | 12,8 | 11,1 | |
| | | Upper mid | 12,6 | | |
| | | Mid | 12,5 | | |
| | | Lower mid | 11,6 | | |
| | | Lowest | 6,0 | | |
| D | Fire floor + Exit door | Top | 6,9 | 6,5 | |
| | | Upper mid | 6,9 | | |
| | | Mid | 7,3 | | |
| | | Lower mid | 7,6 | | |
| | | Lowest | 3,9 | | |
| E | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door | Top | 6,1 | 5,8 | |
| | | Upper mid | 6,2 | | |
| | | Mid | 6,5 | | |
| | | Lower mid | 6,8 | | |
| | | Lowest | 3,3 | | |
| HO-3 | Fire floor + Beneath fire floor | Top | 23,3 | 25,3 | |
| | | Upper mid | 23,3 | | |
| | | Mid | 24,5 | | |
| | | Lower mid | 26,8 | | |
| | | Lowest | 28,3 | | |
| 3+1 | Fire floor + Beneath fire floor + Exit door + Upper floor | Top | 4,3 | 4,2 | |
| | | Upper mid | 4,3 | | |
| | | Mid | 4,9 | | |
| | | Lower mid | 5,5 | | |
| | | Lowest | 1,8 | | |

| Velocities | | | | | | |
|-----------------|----------------|----------|--------------|---------------|--|---------|
| Class | Floor measured | Test no. | Result [m/s] | Average [m/s] | Pressure during measurement (floor of Response test omitted) | Comment |
| Fire floor /A/C | Fire floor | 1 | 0,88 | 0,90 | 28,5 | |
| | | 2 | 0,97 | | | |
| | | 3 | 0,84 | | | |
| D | Fire floor | 1 | 0,33 | 0,37 | 6,5 | |
| | | 2 | 0,40 | | | |
| | | 3 | 0,37 | | | |
| E | Fire floor | 1 | 0,41 | 0,36 | 5,8 | |
| | | 2 | 0,37 | | | |
| | | 3 | 0,30 | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,11 | 0,11 | | |
| | | 2 | 0,10 | | | |
| | | 3 | | | | |
| HO-3 | Fire floor | 1 | 0,70 | 0,75 | 25,3 | |
| | | 2 | 0,91 | | | |
| | | 3 | 0,65 | | | |
| | Beneath FF. | 1 | 0,16 | 0,19 | | |
| | | 2 | 0,21 | | | |
| | | 3 | 0,21 | | | |
| Response tests | Top opened | 1 | 0,68 | 0,65 | 30,6 | |
| | | 2 | 0,59 | | | |
| | | 3 | 0,68 | | | |
| | Mid opened | 1 | 0,47 | 0,57 | 30,0 | |
| | | 2 | 0,52 | | | |
| | | 3 | 0,71 | | | |
| | Lowest opened | 1 | 0,55 | 0,65 | 29,1 | |
| | | 2 | 0,74 | | | |
| | | 3 | 0,66 | | | |

| Manual corrections in dataset per instrument location [s] | | | | |
|---|-----------|-----|-----------|--------|
| Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest |
| | -0,5 | | | -1 |

| Legend | | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----------|-------|-----------|--------|------------|-------------|-------|-------------|--------------|
| No. of floors | Top | Upper mid | Mid | Lower mid | Lowest | Fire floor | Beneath FF. | Exit | Upper floor | in set point |
| 12 | fl. 10 | fl. 8 | fl. 5 | fl. 2 | -fl. 1 | fl. 7 | fl. 6 | fl. 2 | fl. 9 | 30 Pa |

| Average pressure per floor, per scenario | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|-------------------------|------------------------|---------------|------------------|------------|---------|---------|---------|------|-----|------|
| | Set point [Pa] | Pre-start | | System on | | Fire floor | Class C | Class D | Class E | HO-3 | 3+1 | 67 N |
| | | System off, closed [Pa] | System on, closed [Pa] | Open fl. [Pa] | Open fl. 2* [Pa] | | | | | | | |
| 17 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 16 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 15 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 14 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 13 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 12 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 11 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 10 | 40 | #N/A | -4 | 33 | 27 | 13 | 7 | 6 | 23 | 4 | | #N/A |
| 9 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 8 | 40 | #N/A | -4 | 32 | 27 | 13 | 7 | 6 | 23 | 4 | | #N/A |
| 7 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 6 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 5 | 40 | #N/A | -4 | 32 | 28 | 12 | 7 | 7 | 25 | 5 | | #N/A |
| 4 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 3 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 2 | 40 | #N/A | -4 | 33 | 30 | 12 | 8 | 7 | 27 | 5 | | #N/A |
| 1 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| 0 | 40 | #N/A | | | | | | | | | | #N/A |
| -1 | 40 | #N/A | -4 | 34 | 31 | 6 | 4 | 3 | 28 | 2 | | #N/A |

| EN 12101 Door opening force | |
|-------------------------------------|---------|
| F _{max} [N] | 100 |
| Fl. 3-16 | |
| F _r [N] | #DIV/0! |
| W _{door} [m] | |
| H _{door} [m] | |
| A _{door} [m ²] | 0 |
| ΔP _{design} [Pa] | 30,00 |
| d [m] | |
| F _{opening} [N] | 0,0 |
| ΔP _{max, 100N} [Pa] | #N/A |

| TEK17 Door opening force | |
|-------------------------------------|---------|
| F _{max} [N] | 67 |
| Fl. 3-16 | |
| F _r [N] | #DIV/0! |
| W _{door} [m] | |
| H _{door} [m] | |
| A _{door} [m ²] | 0 |
| ΔP _{design} [Pa] | 30,00 |
| d [m] | |
| F _{opening} [N] | 0,0 |
| ΔP _{max, 67N} [Pa] | #N/A |

| Floor | System off | | | Door opening force System on | | | Maximum values | |
|-----------|------------|---|---------|------------------------------|---|---------|----------------|-------|
| | 1 | 2 | Average | 1 | 2 | Average | 67 N | 100 N |
| 17 | | | | | | | 67 | 100 |
| 16 | | | | | | | 67 | 100 |
| 15 | | | | | | | 67 | 100 |
| 14 | | | | | | | 67 | 100 |
| 13 | | | | | | | 67 | 100 |
| 12 | | | | | | | 67 | 100 |
| 11 | | | | | | | 67 | 100 |
| 10 | | | | | | | 67 | 100 |
| 9 | | | | | | | 67 | 100 |
| 8 | | | | | | | 67 | 100 |
| 7 | | | | | | | 67 | 100 |
| 6 | | | | | | | 67 | 100 |
| 5 | | | | | | | 67 | 100 |
| 4 | | | | | | | 67 | 100 |
| 3 | | | | | | | 67 | 100 |
| 2 | | | | | | | 67 | 100 |
| 1 | | | | | | | 67 | 100 |
| 0 | | | | | | | 67 | 100 |
| -1 | | | | | | | 67 | 100 |
| Tot. Avg. | #DIV/0! | | | #DIV/0! | | | | |

| Floor | D3:Test of automatic doors | | | |
|-------|----------------------------|---|-----------|---|
| | System off | | System on | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 10 | V | V | V | V |
| 9 | V | V | V | V |
| 8 | V | V | V | V |
| 7 | V | V | V | V |
| 6 | V | V | V | V |
| 5 | V | V | V | V |
| 4 | V | V | V | V |
| 3 | V | V | V | V |
| 2 | V | V | V | V |
| 1 | | | | |
| 0 | V | V | V | V |
| -1 | V | V | V | V |

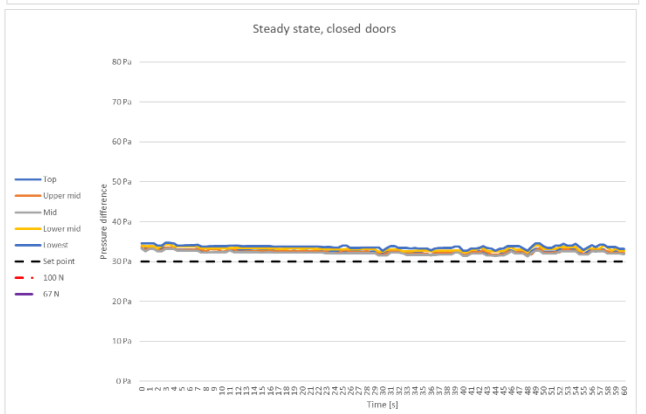
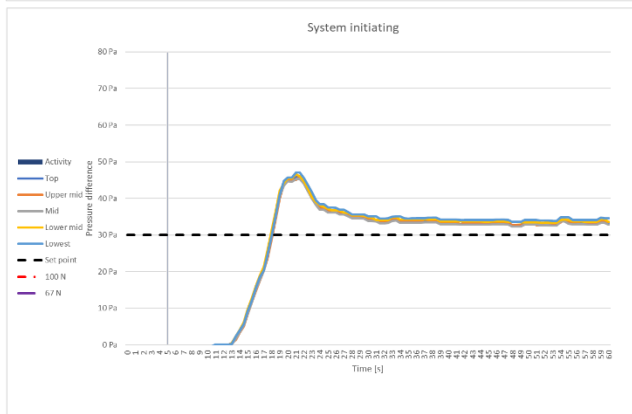
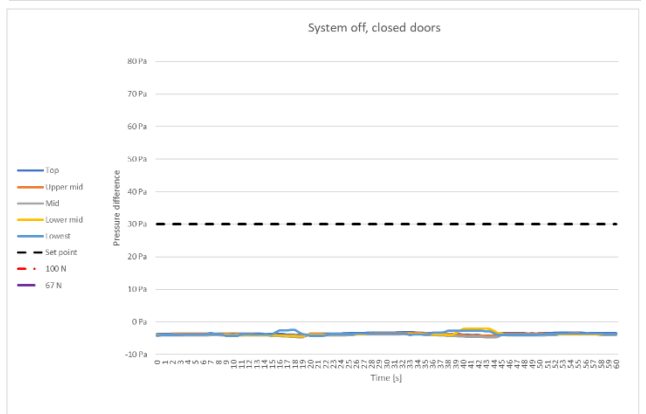
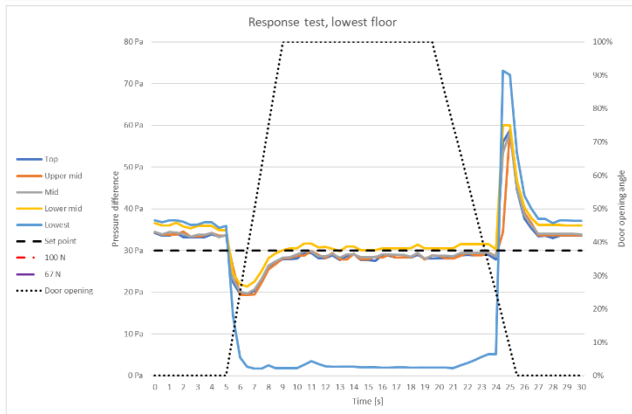
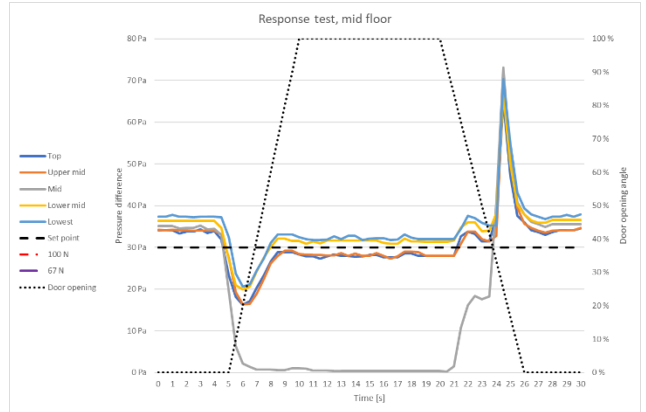
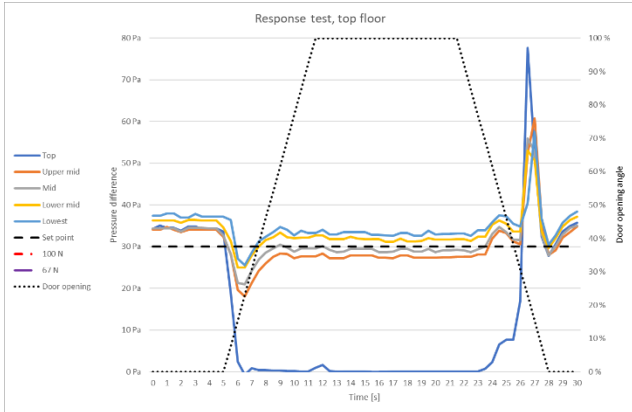
Notes

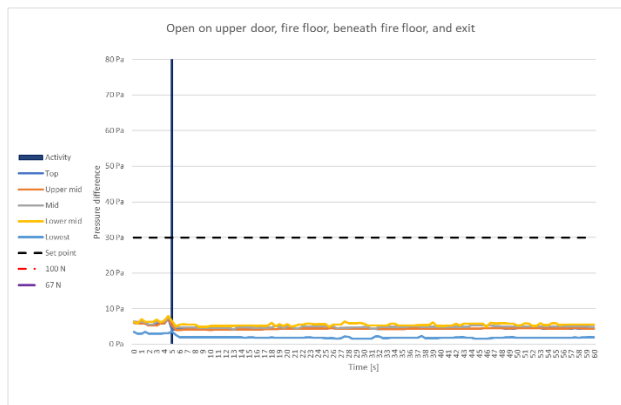
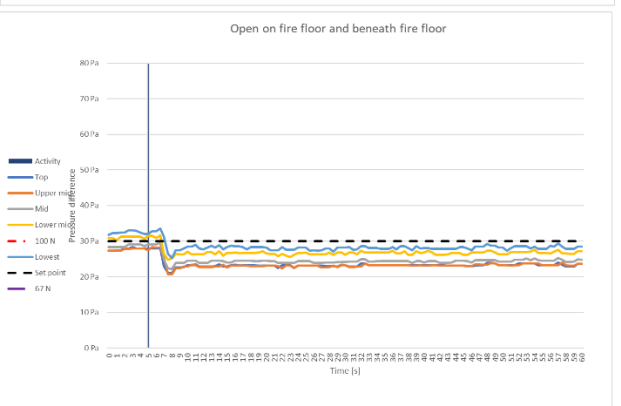
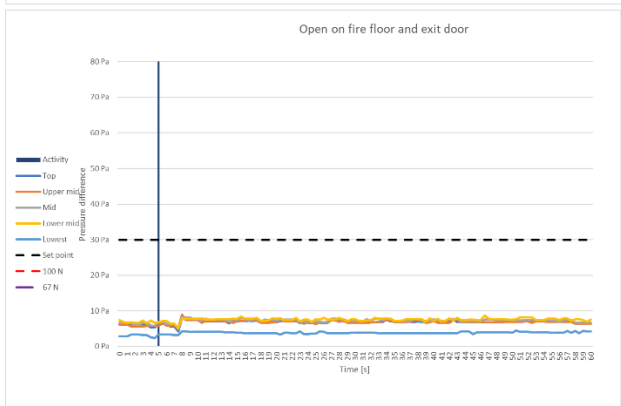
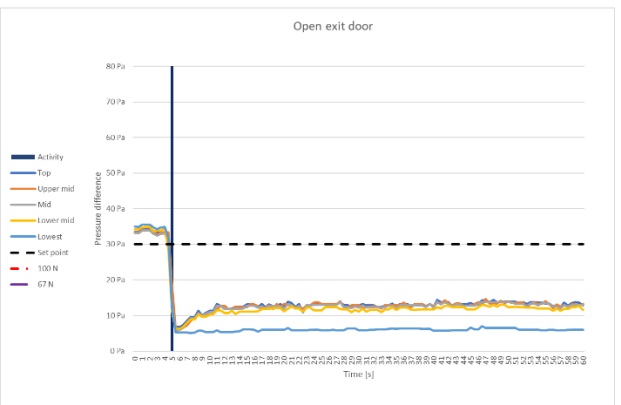
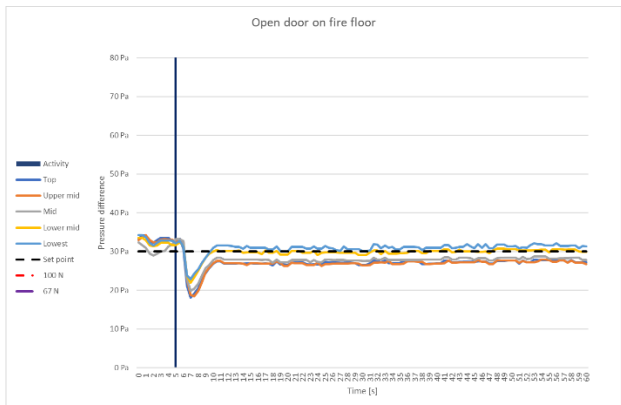
| Weather and temperature observations | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | Source: | Field measurement |
| Roof/top | Location | Rooftop |
| | Wind behaviour | Stable |
| | Wind direction | SE |
| | Velocity [m/s] | 2,0 m/s |
| | Weather condition | Sunny |
| | Outside temperature | 20,2°C |
| | Temp. inside staircase, top | 22,2°C |
| Terrain/low | Location | NE, street level |
| | Wind behaviour | Stable |
| | Wind direction | SW |
| | Velocity [m/s] | 0,8 m/s |
| | Outside temperature | |
| | Temp. inside staircase, lowest | 21,1°C |
| | After test | 18,6°C |

| Floor | Measured | 0,75 m/s | 1 m/s | 2 m/s |
|-------|----------|----------|-------|-------|
| 17 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 16 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 15 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 14 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 13 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 12 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 11 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 10 | 0,65 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 9 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 8 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 7 | 0,90 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 6 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 5 | 0,57 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 4 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 3 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 2 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 1 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| 0 | | 0,75 | 1,00 | 2,00 |
| -1 | 0,65 | 0,75 | 1,00 | 2,00 |

| Supplemental weather station data, timed closer to test | | |
|---|--|--|
| Location | | |
| Time | | |
| Elevation, weather station | | |
| Elevation, test location terrain | | |
| Distance from test location | | |
| Wind direction | | |
| Mean wind velocity (hour) | | |
| Outside temperature | | |

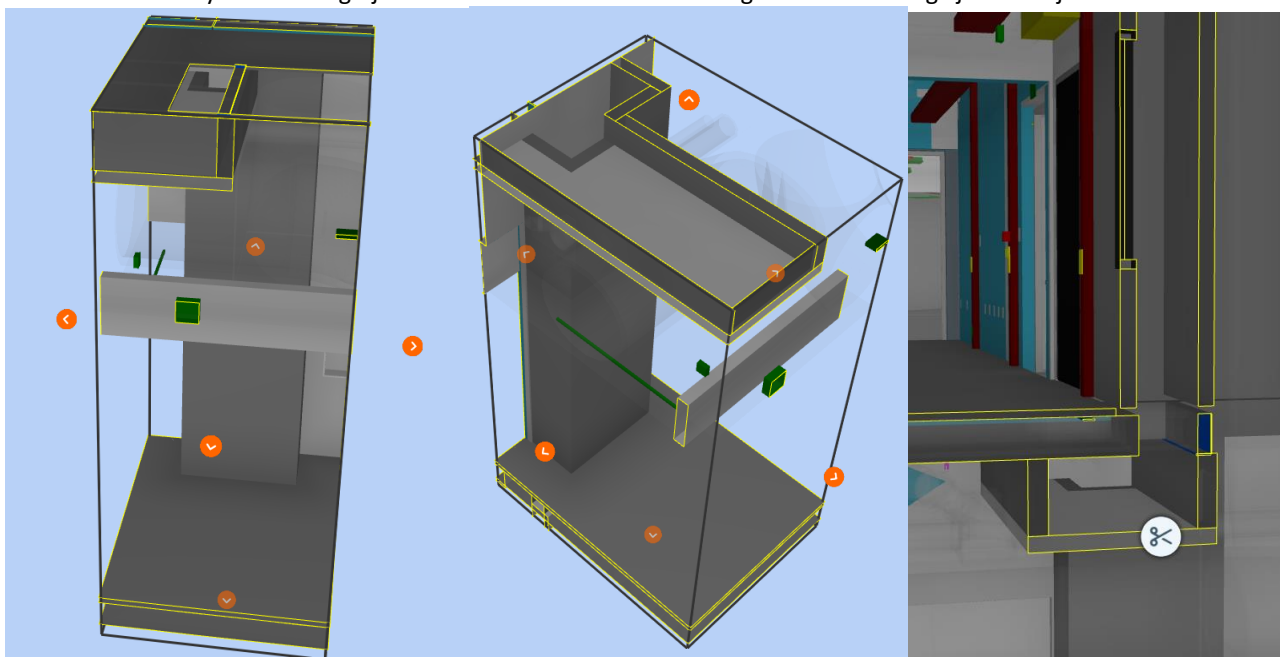
Vedlegg OO: D3 Grafer



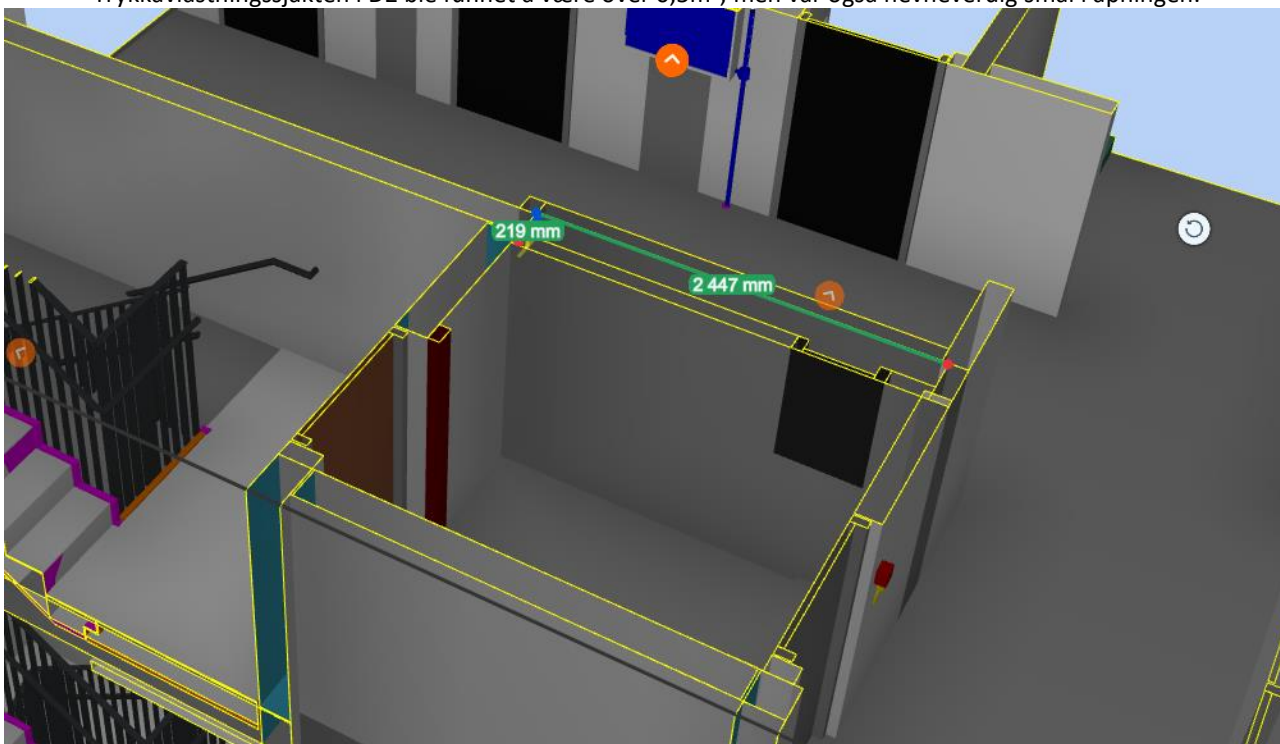


Vedlegg PP: D2, og D3: Bilder fra modell av trykkavlastningsjakter

Trykkavlastningsjakten i D3 ble funnet å ha hindringer mellom et.2 og kjelleretasjene.

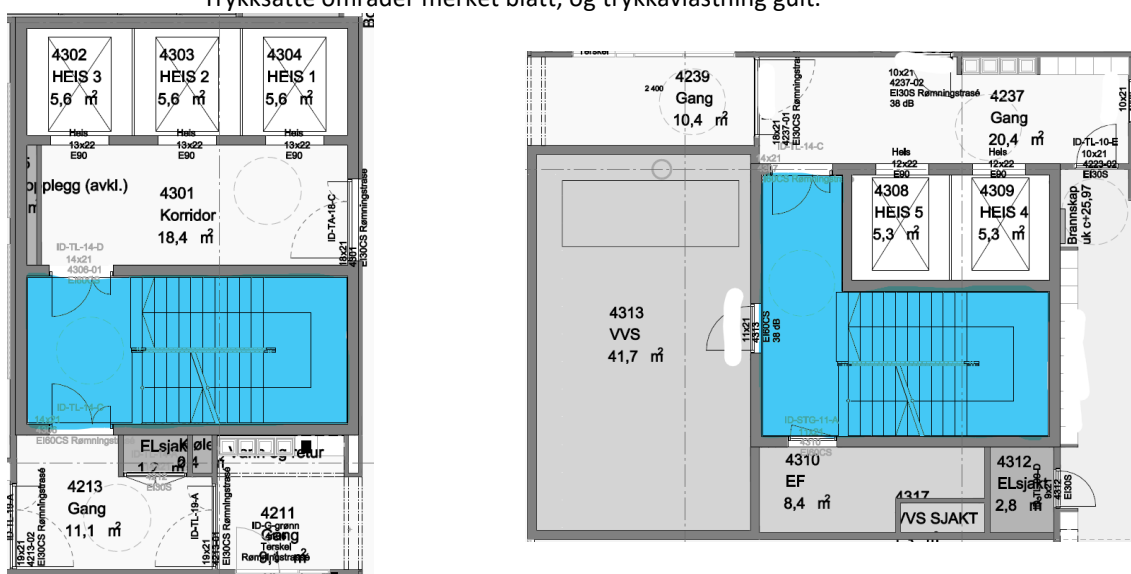


Trykkavlastningsjakten i D2 ble funnet å være over $0,5\text{m}^2$, men var også nevneverdig smal i åpningen.

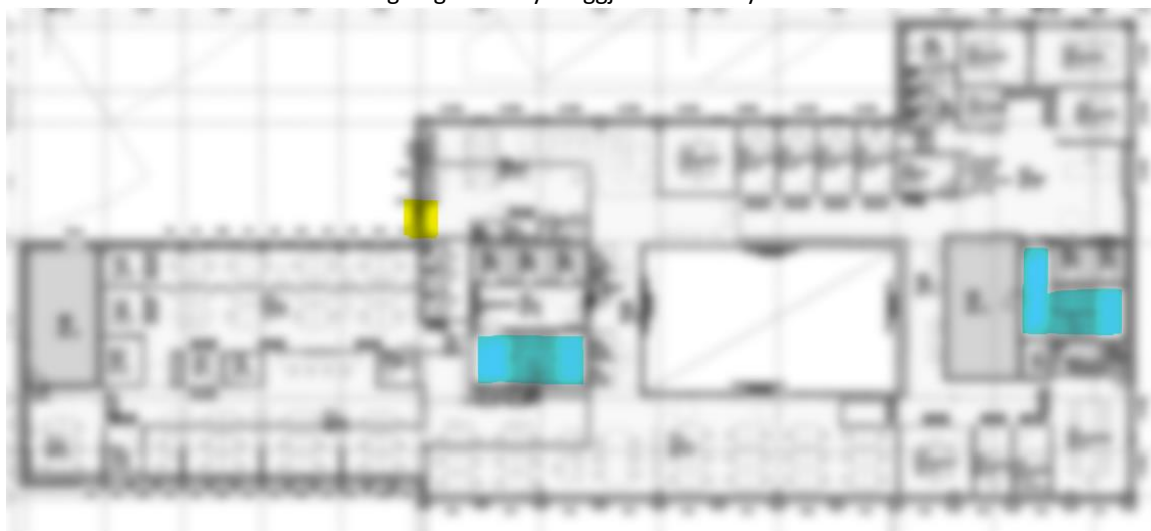


Vedlegg QQ: Plantegninger av X5

Trykksatte områder merket blått, og trykkavlastning gult.



Tegningen er utydeliggjort for anonymitet



Vedlegg RR: Branntablåer anvendt for åpning av spjeld



Figur 97: Branntablå i bygg C, type «Prodex FIREscape-multifunksjonssentral» fra Hedengren.



Figur 98: Branntablåtypen i bygg B og D, «Esme Sense FDP» fra Schneider Electric. Bildet hentet fra Schneider Electric [98].

Vedlegg SS: Innspill fra fagpersoner

Tidlig i studiets forløp ble personer i fagmiljøet med erfaringer innen røykventilasjon kontaktet. Første person var Sturla Ingebrigtsen, som hadde skrevet et eget delkapittel rundt temaet i sin bok [41]. Videre ble det gjort et møte med Steffen Bjerkvoll i Vifter & Miljø, som var ledende leverandør av trykksettingssystemer på Østlandet. Deretter ble sentrale fagpersoner hos noen av de største konsultantselskapene innen brann- og byggteknikk kontaktet på telefon og nettmøte. Avslutningsvis ble det et møte med branninspektør Frode Michaelsen hos Brann- og redningsetaten i Oslo kommune. Det ble også diskutert med fagpersoner innen dørmiljø, Asbjørn Skimten i leverandøren Tradeco og Rune Standal i Multiconsult. Oversikt gitt i Tabell 7, alle parafaserte sitater anvendt under dette studie har blitt lest tilbake og/eller godkjent av intervjuobjektet i sin skrevne form.

Tabell 7: Personer kontaktet for faglig innspill i tilknytning til studie

| Hvem | Hva | Hvor | Referat |
|---------------------|--|-------------------|---------|
| Håkon Winterseth | Faglig leder | Firesafe | ✓ |
| Leif Isaksen | Fagsjef - Brann og Sikkerhet | Sweco | - |
| Tor Olav Mittet | Faglig leder Brann | Fokus Rådgivning | ✓ |
| Vegard Ervik Olsen | Faglig leder fagområde brannikkerhet | Multiconsult | ✓ |
| Steffen Bjerkvoll | Leverandør, trykksettingssystemer | Vifter & Miljø | ✓ |
| Frode Michaelsen | Branninspektør og bygningsingeniør | Oslo kommune | ✓ |
| Sturla Ingebrigtsen | Forretningsutvikler (tidl. Fagdirektør Ventilasjon) | Trox Auranor | ✓ |
| Asbjørn Skimten | Daglig leder | Tradeco Sikkerhet | - |
| Rune Standal | Rådgivende ingeniør sikkerhet | Multiconsult | - |

Håkon Winterseth ble oppringt 09/02/22, og kunne dele at det bygges lite trykksatte trapperom, selv om de er veldig effektive i sin funksjon. Grunnen til dette kunne være at ventilasjonsbransjen har ødelagt tillitten til systemene, og sprinklerbransjen har påvirket mye for at dette kan sløyfes ved at sprinkler brukes som hovedtiltak. Ved spørsmål om hvorfor ikke den nå erstattede standarden NS-EN 12101-6:2005 har vært anvendt i noen særlig grad i Norge, kunne han forklare at sannsynligvis ikke blir brukt er fordi den er har vært for vanskelig å lese og tolke. Håkon har tidligere gjort CFD-simuleringer av trykkavlastning, og kunne dele erfaringen med at trykkavlastning er kritisk for et velfungerende trykksatt trapperom.

Sturla Ingebrigtsen kom med innspill tidlig i studiets forløp på et møte november 2021. Temaet i samtalen var uoverensstemmelsen mellom europeisk og norsk utforming av trykksatte trapperom. Ingebrigtsen hadde erfaringer fra Danmark, hvor DBI (Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut) har utgitt en egen retningslinje for brannventilasjonsanlegg [57]. Retningslinjen baserte seg på NS-EN 12101-6:2005, men med enkelte tilpasninger, for eksempel var det ikke krav om tilluft hver 2. eller 3. etasje men det ble som hovedregel benyttet. Den ga også strengere krav på lufthastighet over dørene, 1 m/s eller 2 m/s med eller uten automatisk slokkeanlegg respektivt. Trykkavlastning skal, slik som i TEK17, etableres ved utsiden av det trykksatte trapperommet.

Ingebrigtsen hadde gjort befaringer av anlegg i Danmark, hvor det selv uten krav om flere tilluftspunkter vertikalt i trappehuset, var etablert via sideliggende sjakt. Viftene var innstilt på fast frekvens med mekanisk trykkregulert spjeld i luke, og det forelå krav om pliktig uavhengig funksjonskontroll ved ferdigstillelse av trykksettingsanlegget. Han fortalte at trykksetting etter DBI ikke skulle starte hvis røyk først var detektert i trapperom, og mente også at noe annet ville vært mot systemets hensikt. I Norge ser vi mange eksempler på at trykksettingsanlegg starter hvis røyk detekteres i trapperom først.

I august 2022 kom også Sturla med avsluttende innspill før studiets publikasjon, hvor samtalens tematikk dreide seg rundt funnene i kpt. 4.2 - 4.7.6. Disse funnene mente han var svært skremmende, dette begrunnet han med at de avvikene som ble identifisert ville påvirke sikkerheten til personer utenfor rekkevidden til

brannvesenets brannstige. Han kunne også fortelle at han ikke var overrasket, og utdypet at dette bekreftet hans mistanke om at Norsk byggenæring hadde manglene kompetanse og rutiner ved utforming og oppfølging av trykksatte trapperom. Ingebrigtsen trodde dette kunne skyldes at man benytter den tilbaketrunkne temaveiledningen istedenfor anerkjente Europeiske standarder, samt at det mangler krav og forståelse om helhetlige løsninger.

Sturla tok også på nytt frem kravet om tredjepartskontroll i Danmark, og mente at uavhengig kontroll som inkluderer målinger bør gjøres i Norge ettersom trykksetting utgjør en kritisk funksjon. Med teknisk utførelse av trykksetting presiserte han gjennomspyling som en viktig funksjon. Ikke bare ville dette være til redundans hvis røyk skulle spres til trapperommet, men det gir bedre forutsetninger for at viften skal kunne regulere tilfredsstillende. Han reagerte også på at trykksettingen tilsynelatende ikke var en del av samme systemet som trykkavlastningen i enkelte av byggene, samt at det var blitt benyttet feil type spjeld i trykkavlastningen. To separate systemer, ment å jobbe sammen, vil alltid være en potensiell feilkilde fortalte han.

Tor Olav Mittet ble først kontaktet 09/01/22, hvor samtalen tema dreide seg om underlaget anvendt for utforming av trykksatte trapperom i Norge. Han kunne fortelle at ingen trykksatte trapperom var blitt utformet i Norge etter NS-EN 12101-serien etter hva han kjente til, men han visste om et navngitt hotell i Trøndelag utformet etter Amerikanske standarden NFPA 92.

Mittet delte at han liker trykksetting, men at det er viktig at noen person sitter med ansvaret for utførelsen gjennom et prosjektforløp. Fortløpende tilpasninger kan skje gjennom detaljprosjektering og bygging som endrer forutsetningene til systemet, det er derfor viktig at noen har ansvar å følge opp for å forsikre om at systemets funksjon blir ivaretatt. Han advarte også mot bygg hvor det var anvendt mekanisk (aktiv) trykkavlastning. Han utdypet at hvis man produserer undertrykk en side av en dør, men overtrykk på en annen, vil man å slite med døråpningskraft.

I august 2022 ble det gjort en ny samtale rundt temaet. Han fortalte at underlaget som blir anvendt i dag ikke tilstrekkelig beskriver hvordan trykksetting skal utformes, Byggforsk anvisningen er for spinkelt for å beskrive hvordan systemet helhetlig skal fungere, hvilket resulterer i ymse løsninger. Et underlag med mer spesifikke designkriterier vil hjelpe, men drøfting under utformingen er vesentlig. For eksempel bør man ta til etterretning byggets bruksformål ved dimensjonering, hvor antall åpne dører kan være utslagsgivende. Dette vil sprike stort mellom et konferansebygg og en bolig.

Videre fortalte Mittet at måten man løste trykksetting på ofte varierte med prosjektene. Dette kan være avhengig av hvilken detalj RIBr komfortabel med å beskrive i brannkonseptet, og hvordan entreprisform prosjektet har. Av og til kan det bli bestemt av entreprenør, noen ganger RIV, og andre ganger RIV som støtter seg på leverandør. Uansett er det avgjørende at noen tar eierskap, har man ikke dette kan det bli anarkistiske løsninger og tilsvarende sluttprodukt.

Vedrørende preakseptert ytelse om trykkavlastning i mellomliggende rom, forteller han at det kan være et legitimt alternativ å sette trykkavlastningen utenfor sluserommet. En problemstilling som da dukker opp er at det blir mindre robust, plutselig vil en interiørarkitekt «mure inn» en eventuell trykkavlastning slik at strømningsveien avstenges. Da vil ikke systemet gi tilsvarende ytelse, han har derfor unngått slike løsninger.

Ofte kan dette likevel nødvendig gjøres fordi man kommer for sent inn i prosjekter, og man ikke lenger har mulighet til å plassere trykkavlastningen ved trappen. Hvis avlastning plasseres utenfor, vil det ikke alltid være mulig for en RIBr følge opp dette ut prosjektet. Han har opplevd situasjoner hvor man måttet etterinstallere overstrømsventiler fordi konstruksjoner hadde blitt satt opp foran avlastningen.

Steffen Bjerkvoll ga under et møte 13/01/22 veiledning og tips til hvordan viftesystemene tilknyttet trykksettingssystemer kjøres og testes, hvilket ble nødvendig kunnskap for å gjennomføre planlagte felttester. I ettertid delte han også ytterligere erfaringer om utforming av trykksatte trapperom. Blant annet fortalte han om store variasjoner i hvordan trykksetting ble beskrevet i prosjekter, i noen tilfeller ble det beskrevet på få linjer, og andre ganger var gjennomgående beskrivelser, men på generell basis fortalte han at man i Norge lider

under vagt underlag. Anvisningen og temaveilederen gir få spesifikasjoner, og åpner opp for feil og misforståelser ved at ytelsen systemene skal inneha ikke beskrives godt nok.

Bjerkvoll nevnte at han anbefaler systemer som kombinerer gjennomlufting og trykkstyring, dette kan dempe trykktoppene, gir sikring mot overtrykk, og gjør at viften regulerer bedre. Normalt kan det være nødvendig med et lekkasjeareal i luken på 0,3 - 0,5 m², men det er helt avhengig av hvordan det blir innregulert ved ferdigstilling, man prøver som regel å gi en åpningsgrad på luken som gjør at viften går under 70 % av fullt turtall (35 Hz / 50 Hz) med dørene lukket. Når det gjelder trykktransmitter (trykkdifferansegiver) så anbefaler Steffen plassering ¾ opp i trapperommet basert på trykkdifferansen mellom topp og bunn i trapperommet. Dette er som regel et likevektspunkt for trykkdifferansen mellom topp og bunn. Men for et innvendig trapperom uten mulighet for å komme ut for måling av referansetrykk må man ta hensyn til slangelengden. Hans anbefaling er maks 5-7 meter slangelengde. Så for disse trapperommene vil man ofte plassere trykktransmitter ved aggregat der man som regel har føringsvei ut til friluft.

Videre beskrev han at det normalt ikke gjøres målinger ved årlige tester og fullskaletester, men at det er vanlig å kjenne på dørene med hvor tunge de blir, og kontrollere pådraget på frekvensomformerer. I tillegg sjekkes det som regel at viften regulerer ved å kontrollere at viften endrer pådrag ved åpning/lukking av dører.

Geir Drangsholt fortalte i en telefonsamtale i august 2022 at trykksetting ofte kan være utfordrende utforme. Han fortalte om et prosjekt i Tromsø hvor alt tilsynelatende var prosjektert riktig, men hvor man likevel ikke fikk systemet til å fungere tilfredsstillende. Det er veldig mange komponenter som skal fungere, fortalte han, det må gjøres riktig valg av passende produkter og automatikk som fungerer, alt skal fungere samtidig.

Drangsholt fortalte at det er enkelte fundamentale misforståelser om trykksetting. Spesielt misforståelsen om at trykket er hovedfunksjonen i trykksetting. Hovedfunksjonen til trykksettingen er å hindre brannrøyk som presses mot veggene ved brannetasje i å spre seg til trapperommet. Når dører åpnes mot et mellomliggende rom, så må brannrøyken rutes i en annen retning enn inn i trapperommet. Trykket skal bidra med å rute en luftstrøm med brannrøyken ut til det fri, enten direkte via tilliggende fasade, eller via et kanalsystem som fører til det fri. Videre forklarte han at et alternativ til å etablere en trykkavlastning i mellomliggende rom kan være at vinduer i øvrige rom åpnes slik at trykkavlastning skjer lokalt i hver enkelt bruksbranncelle, men dette er ikke gjennomførbart i praksis.

Geir fortalte videre at han normalt ikke bruker Byggforsk anvisningen eller temaveilederen for å utforme trykksettingsanlegg, men at de istedenfor alltid benytter CFD-simuleringer for å få et så realistisk mulig bilde. Han har også blitt tilbudt å bistå i prosjekter hvor utformingen har kommet langt på vei, hvor han av egen vilje har gått fra prosjektet fordi han vil ikke stå for løsninger som ikke vil virke i praksis.

Frode Michalsen ble først kontaktet 31/01/22, hvor et fysisk møte 02/06 og en telefonsamtale 11/08 fulgte. Metodene anvendt i norsk byggenæring og funnene i studie ble diskutert. Erfaringen til Brann- og redningsetaten i Oslo med trykksetting er at det fungerer godt frem til slokke- og redningsinnsats påbegynner. Når utgangsdøren blir åpnet med brannvesenets innsats, har de opplevd at systemets funksjon svekkes eller opphøres. Han mener det ville fordelaktig for brannvesenet om trykksetting forble funksjonelt også under innsats. Videre fortalte han også at innsats ofte kombineres med brannvesenets egne mobile vifter, og at de eventuelt kan supplere trykksettingen.

Etter en gjennomgang av funnene fra studie, ble systemløsningene på X4 et tema. I nevnte trapperom var det reversibel vifte istedenfor luke. Han så ikke et poeng med å ha en reversibel vifte i bunnen av trappen, dette hadde kun hatt noe funksjon i toppen av trapperommet, ettersom røyken vil havne øverst i trappesjakten. Om røyken hadde blitt trukket inn mot viften slik dette var lagt opp, ville det vært til ulempe å trekke denne røyken mot slokkeinnsatsen ved første etasje.

Noen av byggene hadde også blitt lagt opp slik at trykksettingen ble aktivert ved røykdeteksjon inne i trapperommet. Frode nevnte at det hadde blitt stilt spørsmål til dette før om hvor hensiktsmessig dette er, og at prinsippet er ulogisk med hensyn til røykkontroll. Han forklarte at dette kan resultere i en intensifisering av brannforløp, og eventuelt at røyken presses ut til tilknyttede oppholdsrom hvis trappen ikke er utstyrt med

røykluke. Ettersom den europeiske standardarden er utfyllende på en måte at det spesifiseres at en slik automatikk ikke skal anvendes, setter han spørsmål til hvorfor ikke bare standarden brukes. Dette er noe RIBr bør inkludere i sine strategier, fortalte han. Han mener det ville vært bedre hvis trykksetting ble aktivert på generell alarm, eventuelt trinnvis slik at viften allerede går ved en lav hastighet ved generell alarm, og øker hastighet ved deteksjon i tilstøtende rom. Da kan eventuelt døråpningskraften holdes på et minimum, samtidig som viften kommer på operativt nivå innen kort tid.

Vedlegg TT:

$$\Delta p_v = C_p \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \text{ [Pa]}$$

$$v^2 = 2 \cdot \frac{\Delta p_v}{\rho \cdot C_p} \text{ [m/s]}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p_v}{\rho \cdot C_p}} \text{ [m/s]}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{50}{1,2 \cdot 0,9}} \text{ [m/s]}$$

$$v = \text{ [m/s]}$$