

Luftsmitteisolat - Evaluering av dimensjoneringsgrunnlag og utførte løsninger

Eirik Birkeland

Master i energi og miljø

Oppgaven levert: Juni 2008

Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT

Biveileder(e): Laszlo Balas, Rambøll Norge AS

Oppgavetekst

Bakgrunn:

De seneste år har det vært en økning i forekomsten av blant annet resistent tuberkulose og stafylokokker. For å hindre smittespredning fra sykehusinnlagte pasienter med slike sykdommer til andre personer brukes det luftsmitteisolater. Statlige sykehus er pålagt av Helsetilsynet å bygge ut og ha tilgjengelig luftsmitteisolater til sine pasienter.

Høsten 2008 gjennomførte Eirik Birkeland en prosjektoppgave knyttet til luftsmitteisolatet ved SSHF Kristiansand. I denne oppgaven gjennomgikk han blant annet en del av det teoretiske underlaget for design av løsninger og gjorde enkle målinger på den utførte løsningen.

Mål:

Målet med oppgaven er gjennom målinger å verifisere teoretiske modeller for luftbevegelse mellom isolater og omgivelser, samt å utarbeide forslag til egnede beregningsmetoder for luftbevegelser.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

- 1) Teoretisk grunnlag. Gjøre rede for smittemekanismer for luft fra isolatrom til tiliggende rom. Stille opp modeller for overføring av aktivt smittestoff fra isolat til sluse og korridor. Beskrive den teoretiske basen for ulike bygningsmessige og tekniske løsninger som benyttes i sykehus.
- 2) Målinger. Etterprøve funksjon og kapasitet til installasjoner ved luftsmitteisolatet til SSHF Kristiansand. Prøve ut teoretiske modeller mot målinger. Evaluere den valgte løsningen ved SSHF Kristiansand.
- 3) Nye og/eller alternative løsninger. Forslag til dimensjoneringsmetoder og løsninger for ventilasjon og trykkontroll av luftsmitteisolater. Forslag til forbedringer.

Oppgaven gitt: 23. januar 2008

Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT



Luftsmitteisolat

Teoretiske strømningsmekniske modeller sammenliknet med praktiske forsøk

Masteroppgave

av

Eirik Birkeland

Våren 2008

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

Institutt for energi og prosessteknikk

Forord

Denne oppgaven er skrevet i forbindelse med masteroppgaven i 5.årskurs ved NTNU. Den ble skrevet på Institutt for Energi- og Prosessteknikk på vårsemesteret 2008. Initiativet til oppgaven ble tatt av Laszlo Balas ved Rambøll i Kristiansand mens selve oppgaveteksten ble formulert og utarbeidet av Hans Martin Mathisen ved Sintef Energi- og Klimateknikk.

Jeg ønsker å rette en takk til Hans Martin Mathisen og Laszlo Balas for hjelp og veiledning til oppgaven. Jeg vil også takke SSHF Kristiansand som har gjort målinger mulige og Rambøll Kristiansand som har gjort det mulig for meg å sitte i Kristiansand og skrive oppgaven.

Trondheim 10.06.2008

Eirik Birkeland

Sammendrag

De seneste år har det vært en økning i forekomsten av blant annet resistent tuberkulose og resistente stafylokokker. For å hindre smittespredning fra sykehusinnlagte pasienter med slike sykdommer til andre personer benyttes det luftsmitteisolater. Statlige sykehus er pålagt av Helsetilsynet og ha tilgjengelig luftsmitteisolater til sine pasienter. Denne oppgaven går ut på å se på ulike tekniske løsninger som finnes ved isolater på norske sykehus. I tillegg ble det utarbeidet teoretiske modeller for luftutveksling gjennom døråpninger og disse modellene ble sammenliknet med målinger som ble gjort ved isolatene på SSHF Kristiansand. Disse målingene ble også gjort for å etterprøve funksjonen til isolatene. Siste delen av oppgaven gikk ut på å foreslå forbedringer på bakgrunn av disse målingene.

Isoleringsveilederen nevner ulike sykdommer som kan kreve luftsmitteregime. Disse sykdommene er viral hemmoragisk feber, herpes zooster, meslinger, MRSA infeksjon, lungepest, smitteførende lungetuberkulose og vannkopper. Felles for disse sykdommene er at de er meget smittsomme og kan være potensielt dødelige for personer med nedsatt immunforsvar.

Fire forskjellige isolatløsninger ble undersøkt. Det var løsninger fra Rambøll Kristiansand, Klean, ABB og Techno Consult. Isolatene bruker ulike prinsipper for å holde smittestoff unna omgivelsene. Kleans og Rambølls system bruker forsert ventilasjon, mens ABBs system bruker sjokkventilering av sluse. Techno Consults isolat kan også brukes som overtrykksisolat; slike isolater anbefales ikke av isoleringsveilederen.

Det er fire mekanismer som forårsaker luftutveksling gjennom en døråpning. Disse er:

- tetthetsdifferanser drevet av temperaturdifferanser
- trykkdifferanser drevet av mekanisk ventilasjon eller vind
- pumpeeffekt ved åpning/lukking av dører
- passasje av mennesker

Den første mekanismen, strømning forårsaket av tetthetsdifferanser er delt opp i to igjen, en transient og en stasjonær del. De varer i henholdsvis 8 og 2 sekunder ved persontransport og 8 og 32 sekunder ved sengetransport. Modellen som brukes for transient strømning er $q_e = \frac{1}{4}A(g'h)^{1/2}$ og for stasjonær strømning $q_e = \frac{1}{3}A(g'h)^{1/2}$. Disse tar også hensyn til trykkdifferanser drevet av mekanisk ventilasjon eller vind. Pumpeeffekten ved åpning/lukking av dører bygger på en antakelse om at dørens endelige posisjon er 90° og modelleres ved likningen

$V_p = 2,3u_d$ der u_d er dørens fart i midten. Shaw og Whyte fant ved hjelp av eksperimenter ut at en person vil dra med seg et luftvolum på mellom $0,087 \text{ m}^3$ og $0,29 \text{ m}^3$ etter hvor stor personen er og hvor stor fart personen beveger seg med.

Målinger som ble utført ved isolatet var trykkmålinger, temperatur- og luftfuktighetsmålinger og sporgassmålinger. Trykkmålingene viste at trykkforholdet mellom slusen og pasientrommet var 4 Pa under minimumskravet til Isoleringsveilederen og derfor ikke helt tilfredsstillende. Ved døråpning og lukking viser trykkmålingene at man får enkelte perioder med overtrykk i pasientrommet i forhold til slusen, når døren står oppe. Dette fører til en luftstrømning som går "feil" vei. Trykkforholdet mellom slusen og korridoren var i målingene godt innenfor kravene til Isoleringsveilederen. Temperaturmålingene viser at temperaturforskjellene for tilstøtende rom i isolatet ligger på mellom $0,3$ og $0,6^\circ$, mens luftfuktighetene ligger på rundt $11-13\%$. Dette er en veldig lav luftfuktighet noe som kan tyde på feil på måleinstrumentet. Sporgassmålingene viser at isolatet fungerer etter hensikten, det vil si at svært lite eller ingenting sporgass lekker ut i korridoren.

Trykkforholdet mellom slusen og pasientrommet er for lite. Det er flere alternativer til hvordan dette problemet kan løses. Man kan tilføre mer luft i slusen, korridoren eller både slusen og korridoren. Man kan også trekke av mer luft i skyllerommet slik at man får et større "sug" gjennom isolatet og dermed et større undertrykk. Andre generelle forbedringer som kan gjøres for å minske sjansen for smittespredning kan være enkle ting som å forlenge oppholdstiden i slusen eller gjøre temperaturforskjellene mindre.

Abstract

The recent years an increase in the incident of resistant tuberculosis and staphylococcus have occurred in Norway. To prevent contamination from patients with these diseases to infect other hospitalized patients one uses isolation wards. Public hospitals are instructed by the Norwegian Board of Health to have isolation wards available for their patients. In this thesis one has considered several technical solutions present in isolation wards in Norwegian hospitals. Also, theoretical models for airflow through doorways were prepared and these models were compared with measurements taken in the isolation wards at SSHF Kristiansand. These measurements were also used to recheck the isolation wards primary function. The last assignment in the thesis was to suggest improvements based on the measurements.

”Isoleringsveilederen“ mentions certain diseases which could demand airborne-infection-regime. These diseases are viral hemorrhagic fever, herpes zoster, measles, MRSA infection, pneumonic plague, pestiferous phthisis (tuberculosis) and chickenpox.

Four different isolation ward-solutions were considered. These were solutions from Rambøll Kristiansand, Klean, ABB and Techno Consult. The isolation wards uses different principles to keep the contamination away from the environment. The Rambøll- and Klean-system uses forced ventilation while the ABB-system uses shock-ventilation of the lock. The Techno Consult-system can also be used as an overpressure-isolation ward; these isolation wards are not recommended by ”Isoleringsveilederen“.

There are four mechanisms which causes air exchange through doorways. These are:

- density differences caused by temperature differences
- pressure differences due to mechanical ventilation or wind loading
- door swing pumping
- passage of people

The first mechanism, flow due to density differences is divided into, a transient and a stationary part. The transient part lasts for about 8 seconds and the stationary part lasts for about 2 seconds for occupant transport through the doorway and for about 32 seconds for bedtransport through the doorway. The model which is used for the transient flow is $q_e = \frac{1}{4}A(g'h)^{1/2}$ and for the stationary flow $q_e = \frac{1}{3}A(g'h)^{1/2}$. These models also takes the pressure differences due to mechanical ventilation or wind loading into account. The door swing pumping model is based on an assumption that the doors final position is 90 °. The model which is used

is $V_p = 2,3u_d$ where u_d is the openingspeed of the middle of the door. Shaw and Whyte experimented with occupant motion through the doorway and found that a person walking through the doorway will result in an air exchange of between $0,087 \text{ m}^3$ and $0,29 \text{ m}^3$ according to the size and the speed of the person.

Measurements taken in the isolation ward were measurements of the pressure-differences, temperature and air humidity. Tracer gas measurements were also performed. The measurements of the pressure-differences showed that the pressure between the lock and the patient room was 4 Pa under the minimum requirement from Isoleringsveilederen og therefore not satisfactory. When the door is opened/closed the pressure-measurements show certain periods with overpressure in the patient room compared to the lock. when the door is fully open. This will lead to an airflow the "wrong" way. The pressure-difference between the lock and the corridor is within the demands of Isoleringsveilederen. The measurements of the temperatures shows temperature differences in opposite rooms of $0,3-0,6 \text{ }^\circ$, while the air humidity is measured to 11-13 %. This air humidity is very low and this can indicate an error in the measurement equipment. The trace gas measurements shows that the isolation ward works according to its purpose, i.e. very little or no tracer gas gets out in the corridor.

The pressure-difference between the lock and the patient room is too low. There are several alternatives one can do to solve this problem. One can add more supply air in the lock, the corridor or both the lock and the corridor. Also, one can draw of more extract air in the bathroom. This will cause an increased "suction" through the isolate and therefore also an increased pressure difference. Other general improvements that can minimize the spreading of contaminate could be simple things as to prolong the retention time in the lock or to reduce the temperature differences.

Innhold

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Mål med oppgaven	2
1.3	Oppbygging av oppgaven	2
2	Smittespredning	3
2.1	Smittestoff	3
2.2	Smittekilde	4
2.3	Smittemåte	4
2.3.1	Kontaktsmitte	5
2.3.2	Luftbåren smitte	5
2.3.3	Fekal-oral smitte	6
2.3.4	Inokulasjonssmitte	6
2.3.5	Smitte i forbindelse med svangerskap og fødsel	6
2.4	Smittemottaker	7
2.4.1	Immunsystemet	7
3	Smittestoff og sykdommer	9
3.1	Smittestoff	9
3.1.1	Bakterier	9
3.1.2	Virus	10
3.1.3	Sopp	11
3.1.4	Protozoer og mark	11
3.2	Sykdommer som krever luftsmitteregime	12
3.2.1	Lassavirus	13
3.2.2	Marburgvirus	14
3.2.3	Krim-Kongovirus	16
3.2.4	Ebolavirus	17
3.2.5	Herpes zoster (helvetesild)	18
3.2.6	Meslinger	19
3.2.7	MRSA-infeksjon	21
3.2.8	Lungepest	22
3.2.9	Smitteførende lungetuberkulose	23
3.2.10	Vannkopper	26
3.2.11	Oppsummering	27
4	Forskrifter til isolater	29
4.1	Forskrift om vern mot eksponering for biologiske faktorer på arbeidsplassen	29

4.2	Lov om vern mot smittsomme sykdommer	31
4.3	Forskrift om smittevern i helsetjenesten	33
4.4	Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter	34
4.5	Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen	35
4.6	Veiledning om arbeidsmiljø på helseinstitusjoner	36
4.7	Isoleringsveilederen	36
4.7.1	Pasientrommet	37
4.7.2	Sluse	38
4.7.3	Toalett, dusj og dekontaminator	40
4.7.4	Bad	41
4.7.5	Desinfeksjonsrom	41
4.7.6	Krav til ventilasjon av et luftsmitteisolat	41
5	 Forskjellige isolatløsninger	46
5.1	”Unico“-løsningen	46
5.1.1	Ventilasjonssystem	47
5.1.2	Dørløsninger	48
5.2	”Klean“-løsningen	49
5.2.1	Generelt	49
5.2.2	Funksjonstesting av isolat	49
5.3	”ABB“-løsningen	49
5.3.1	Generelt	49
5.4	”ASA“-løsningen	50
5.4.1	Generelt	50
5.5	Oppsummering	50
5.6	Sammenlikning	50
6	 Teoretisk basis	53
6.1	Innledning	53
6.2	Åpninger	53
6.2.1	Åpninger installert for en hensikt	53
6.2.2	Andre typer åpninger	54
6.2.3	Skarpkantede og smale åpninger	55
6.3	Kontinuitets, moment og energilikningene	55
6.3.1	Reynolds tall	56
6.3.2	Laminær og turbulent strømning	58
6.3.3	Kontinuitetslikning	62
6.3.4	Momentlikning	62
6.3.5	Energilikning	65
6.3.6	Tapskoeffisienter	65

6.4	Jevn strømning gjennom døråpninger	68
6.4.1	Ensrettet strømning	69
6.4.2	Toveis strømning	70
6.5	Ujevn strømning gjennom døråpninger	73
6.6	Mekanismer som forårsaker strømning gjennom døråpninger . . .	75
6.6.1	Innledning	75
6.6.2	Tetthetsdifferanser og trykkdifferanser	76
6.7	Pumpeeffekt ved døråpning/-lukking	80
6.7.1	Ingen tetthetsforskjell	81
6.7.2	Strømning drevet av oppdriftskrefter ved åpning og lukking	81
6.7.3	Kombinasjon av oppdrifts og pumpekrefter	82
6.8	Passasje av mennesker	82
6.9	Forenklete beregninger	82
7	Målinger ved isolatene på SSHF Kristiansand	84
7.1	Måleutstyr	84
7.2	Trykkforhold under drift	88
7.3	Temperaturer under drift	88
7.4	Luftfuktighetsmålinger	88
7.5	Sporgassmålinger	88
7.6	Forberedelse til målinger	89
8	Måleresultater	90
8.1	Trykkforhold under drift	90
8.2	Temperaturer og luftfuktigheter under drift	98
8.3	Sporgassmålinger	98
9	Diskusjon	116
9.1	Typer isolater	116
9.2	Teoretiske modeller	118
9.2.1	Luftutveksling på grunn av temperatur- og trykkdifferanser	118
9.2.2	Pumpeeffekt ved døråpning/-lukking	120
9.2.3	Passasje av mennesker	120
9.3	Målinger	120
9.3.1	Trykkmålinger	120
9.3.2	Temperatur- og luftfuktighetsmålinger	123
9.3.3	Sporgassmålinger	123
9.4	Sammenlikning med teoretiske modeller	125
9.5	Forslag til forbedringer ved isolatene på SSHF Kristiansand	126
10	Konklusjon	128

Figurer

1	Smittekjeden	3
2	Geometrien til en åpning	56
3	Geometrien til smale åpninger	59
4	Illustrasjon av tapskoeffisienter til to sirkulære rør	66
5	Toveis strømming gjennom døråpning	71
6	Transient strømming gjennom døråpning	77
7	Hastighetsprofil	78
8	Åpning av dør	80
9	Kimo CP100	84
10	TSI 8388 VelociCalc Plus	85
11	Mitec AT40	86
12	1412 Innova Photoacoustic Field Gas Monitor	87
13	1303 Multipoint Sampler and Doser	87
14	Måling 2, Trykkforhold pasientrom/sluse ved 1/2 åpning og lukking av dør	91
15	Måling 3, Trykkforhold pasientrom/sluse ved 1/1 åpning og lukking av dør	92
16	Måling 4, Trykkforhold pasientrom/sluse ved 1/2 åpning, gange gjennom og lukking av dør	93
17	Måling 5, Trykkforhold sluse/korridor ved 1/2 åpning og lukking av dør	94
18	Måling 6, Trykkforhold sluse/korridor ved 1/1 åpning og lukking av dør	95
19	Måling 7, Trykkforhold sluse/korridor ved 1/2 åpning, gange gjennom og lukking av dør	96
20	Måling 8, Trykkforhold pasientrom/skyllerom ved åpning og lukking av dør	97
21	Måling 9, Trykkforhold pasientrom/skyllerom ved åpning, gange gjennom og lukking av dør	98
22	Måling 1, Måling av lystgassnivå uten dosering	100
23	Måling 2, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra korridor	101
24	Måling 2, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra korridor, sluse og korridor måling	101
25	Måling 3, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra pasientrom	103
26	Måling 3, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra pasientrom, sluse og korridor måling	103
27	Måling 4, Dosering i pasientrom, 1/1 åpning, gange fra korridor	105
28	Måling 4, Dosering i pasientrom, 1/1 åpning, gange fra korridor, sluse og korridor måling	105

29	Måling 5, Dosering i pasientrom, 1/1 åpning, gange fra pasientrom	107
30	Måling 5, Dosering i pasientrom, 1/1 åpning, gange fra pasientrom, sluse og korridor måling	107
31	Måling 6, Dosering i sluse, 1/2 åpning, gange fra korridor	109
32	Måling 6, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra korridor, korridor måling	109
33	Måling 7, Dosering i sluse, 1/2 åpning, gange fra pasientrom . . .	111
34	Måling 7, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra pasientrom, korridor måling	111
35	Måling 8, Dosering i sluse, 1/1 åpning, gange fra korridor	113
36	Måling 8, Dosering i sluse, 1/1 åpning, gange fra korridor, korridor måling	113
37	Måling 9, Dosering i sluse, 1/1 åpning, gange fra pasientrom . . .	115
38	Måling 9, Dosering i sluse, 1/1 åpning, gange fra pasientrom, korridor måling	115

Tabeller

1	Sykdommer som krever luftsmitteregime	28
2	Temperaturgrenser som gir grunnlag for krav om tiltak	35
3	Partikkelstørrelse og fallhastighet	41
4	Fortynning av smittestoff	42
5	Toleranser for undertrykk i forhold til korridor	48
6	Prinsipper ved ulike isolatløsninger	51
7	Oppsummering av isolatenes egenskaper	52
8	Vanlige åpningsareal til noen typer åpninger	55
9	Generelle Reynolds tall ved forskjellige åpninger	60
10	Lufthastigheter og usikkerhet	85
11	Måleområder og usikkerhet	85
12	Målinger av trykkforhold ved stengte dører	90
13	Temperatur og luftfuktighet i rommene	98
14	Oversikt over målinger og minimumsverdier fra funksjonsbeskrivelsen og Isoleringsveilederen	121

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Det har i de senere årene vært en økt fokus på smittespredning på sykehus. Dette skyldes delvis en oppblomstring i forekomsten av resistent tuberkulose og stafylokokker og delvis at Helsetilsynet har pålagt statlige sykehus å bygge ut og ha luftsmitteisolater tilgjengelig for sine pasienter.

Oppblomstringen i forekomstene av isolasjonstrengende sykdommer skyldes flere årsaker. På verdensbasis er nå ca. en tredjedel av verdens befolkning enten bærere av tuberkel-bakterien eller de har allerede utviklet aktiv tuberkulose. Dette skyldes i stor grad den akselererende utviklingen av HIV/AIDS sykdommen som hemmer immunforsvaret slik at tuberkel-bakterien lettere får innpass i kroppen. I Norge er sykdommen vanligst blant innvandrere fra Afrika, Asia og de gamle Sovjet-landene. Sykdommen har også hatt en økende forekomst blant etniske nordmenn. Dette skyldes i stor grad den økende bruken av fly som transportmiddel og at nordmenn reiser og ferierer mer i utlandet.

Ukritisk bruk av legemidler mot bakteriesykdommer har ført til at enkelte typer bakterier har utviklet en naturlig resistens mot enkelte typer antibiotika. Som et eksempel på dette kan det nevnes Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA). Disse stafylokokk-bakteriene har de senere årene blitt en av de viktigste årsakene til sykehusrelaterte infeksjoner noe som også er en av grunnene til pålegget fra Helsetilsynet.

Andre mer alvorlige sykdommer som forskjellige typer viral-hemorragisk feber kan også forsvare bruken av luftsmitteisolater. Disse sykdommene er ekstremt sjeldne i Norge men svært smittsomme, så man opererer her med et føre var prinsipp.

Det stilles svært strenge krav til luftsmitteisolater, blant annet til den bygningsmessige tettheten og til kvaliteten på de lufttekniske anleggene, både med tanke på filtrering, reguleringshurtighet, driftssikkerhet og enkelt vedlikehold.

Luftsmitteisolatene ved SSHF Kristiansund ble prosjektert av Rambøll og stod ferdig i 2004. I planleggingsfasen ble det lagt vekt på å bruke kjente standard komponenter slik at investeringskostnadene skulle bli relativt lave i forhold til andre løsninger. Hovedmålsetningene til disse isolatene har vært:

- å hindre smittespredning
- god driftssikkerhet
- lave driftkostnader
- godt inneklima for pasient og personell

1.2 Mål med oppgaven

Målet med oppgaven er å sammenlikne tekniske løsninger ved ulike isolater som benyttes på sykehus samt å finne tekniske modeller som beskriver luftstrømning gjennom dører på en tilfredsstillende måte. Målinger ved isolatene på SSHF Kristiansand skal brukes til å verifisere målingene samt at man skal foreta en kvalitetsevaluering av disse isolatene og komme med forslag til forbedringer.

1.3 Oppbygging av oppgaven

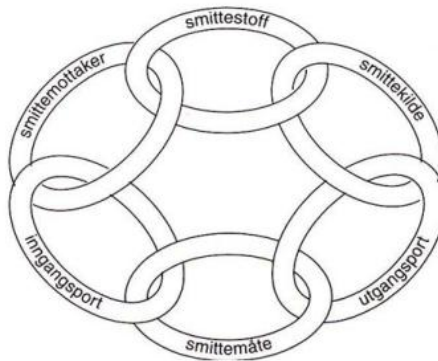
Innledningsvis omtales teorien rundt smittespredning og endel isolasjonstrengende sykdommer får en kort omtale. Deretter følger en liten introduksjon til hvilke lover og regler som gjelder for forhold omkring et luftmitteisolat. Det foretas deretter en gjennomgang og sammenlikning av fire aktuelle isolatløsninger som finnes på markedet. Videre så utarbeides det teoretiske modeller for luftstrømning gjennom dører etterfulgt av en enkel beregningsdel.

Målingene som er gjort ved SSHF Kristiansand er presentert i kapittel 8 der også hver måling kommenteres kort.

Til slutt kommer diskusjons- og konklusjonsdelen der det blir diskutert og sammenliknet rundt de teoretiske modellene og målingene samt at man prøver å komme med forslag til forbedringer av eksisterende anlegg ved SSHF Kristiansand.

2 Smittespredning

For å kunne forebygge infeksjonssykdommer, må en ha kunnskap om hvilke faktorer som bestemmer deres opptreden og utbredelse. De faktorene som bestemmer infeksjonssykdommens opptreden og utbredelse, varierer fra en infeksjonssykdom til en annen. Felles for alle infeksjonssykdommer er imidlertid betingelsene for at de skal kunne oppstå og spres. Det må finnes et *smittestoff*, en *smittekilde*, en *smittemåte* og tilstrekkelig antall *smittemottakere* (mottakelige personer). Disse enkeltleddene utgjør sammen med en utgangsport for smittestoffene hos smitteilden (smittebæreren) og en inngangsport hos smittemottakeren, *smittekjeden*. [1]



Figur 1: Smittekjeden

2.1 Smittestoff

Mikroorganismer er fellesbetegnelsen på organismer som er så små at det er nødvendig å bruke mikroskop for å se dem. Det fins mikroorganismer overalt på jorda. På kroppens overflater, både den ytre (huden) og den indre (slimhinnene, nesehulen, svelget osv.) er det for eksempel mange bakterier, og i tykktarmen er det milliarder av dem. Til sammen utgjør disse bakteriene kroppens normalflora. [12]

Noen mikroorganismer kan fremkalle sykdom, infeksjonssykdommer. Slike organismer kalles *patogene* mikroorganismer. De patogene mikroorganismene omfatter visse bakterier, virus, sopp og encellede dyr (protozoer). Det finnes i tillegg også flercellede, patogene organismer, som kalles parasitter. I den vestlige delen av verden er de vanligste infeksjonene forårsaket av bakterier og virus. I visse områder på jordkloden er også parasittære sykdommer, for eksempel malaria, et stort helseproblem. [12]

2.2 Smittekilde

De viktigste kildene for infeksjonssykdommer hos mennesker er pasienter, rekonvalesenter, friske smittebærere og smitteførende dyr. Ved de fleste infeksjonssykdommer, enten de er klinisk typiske eller atypiske, skiller pasienten ut smittestoffer gjennom utsondringer. Menneskenes utsondringer og gjenstander som blir forurenset av disse er derfor også viktige smitekilder.

Hvor "farlig" en pasient er som smittekilde, det vil si hvor smittsom pasienten er, avhenger i første rekke av hvordan smitteutskillelsen skjer eller hvor tilgjengelig smittestoffene er. Mest smittsomme er de som bærer smittestoffene i nesevelg-rommet, der det utskilles ved nysing og hosting, og de som utskiller store mengder smittestoffer med avføringen. Graden av smittsomhet avhenger også av hvor sterk smitteutsondringen er, hvor lenge den varer og hvor mange mennesker pasienten kommer i kontakt med under sykdommen. [1]

Rekonvalesenter utskiller oftest færre smittestoffer enn syke, men kan være vel så "farlige" smitekilder, fordi de har større kontakt med andre.

Hos endel pasienter vil også smitteutskillelsen eller smittebæretilstanden fortsette i lang tid etter at de er blitt friske; i noen tilfeller gjennom hele livet. Etter infeksjon med HIV¹ er en smittebærer resten av livet. Det samme gjelder for de som blir smittet av hepatitt B-virus i forbindelse med fødsel eller like etterpå. De blir *kroniske smittebærere*. Uten selv å være syke, utskiller de smittestoffer eller er bærere av dem.

Dyr spiller mindre rolle som smittekilde for mennesker enn menneskene selv. Animalske næringsmidler og drikkevann forurenset fra dyr (eller mennesker) kan representere viktige smitekilder også i vår tid (salmonella). [1]

2.3 Smittemåte

Nærvær av mikroorganismer gir mulighet for at det kan oppstå sykdom. For å oppklare utbrudd er det av betydning å kjenne til hvilke smittemåter de ulike sykdommene har. Dette gir holdepunkter for hvor en skal lete etter smitekildene, og forebyggingstiltak for infeksjonssykdommer.[1]

Det skilles mellom *endogen* og *eksogen* smitte. Endogen smitte kan komme fra en rekke kilder på pasienten selv; fra normalfloraen på huden eller fra tarmene til sår og liknende. Når smitten kommer utenfra kalles det eksogen smitte. Her skilles der gjerne mellom kontaktsmitte, luftbåren smitte, fekal-oral smitte, inokulasjonssmitte og intrateurin smitte.[1]

¹Humant Immunsvikt Virus

2.3.1 Kontaktsmitte

Dette er den vanligste smittemåten. Her deler vi gjerne smitten inn i *direkte* eller *indirekte* smitte.

Ved *direkte* kontaktsmitte kommer smitekilden og smittemottakeren i berøring med hverandre, for eksempel ved håndtrykk, kyss eller samleie.[1]

Ved indirekte kontaktsmitte skjer smitteoverføringen via et mellomledd. I pleie- og undersøkelsessituasjoner er ofte utilstrekkelig håndhygiene en viktig årsak. Under arbeid kommer hendene stadig i berøring med potensielt smittestoff. Det kan være ved sårstell, sengereing, tømning av bekken, innsamling av termometre, assistanse av pasienter ved vask, bedring av sittestilling og innsamling av servise. Bakterier føres så videre til andre pasienter, kolleger eller gjenstander i omgivelsene som dørvrider, brytere, telefon, håndklær og medisinflasker.[1]

Dråpesmitte blir også karakterisert som en type kontaktsmitte. Mikrobeholdige dråper fra luftveiene kan bli slynget ut ved hosting, nysing eller når en snakker. Slike dråper er så store at de ikke holder seg svevende lenge i luften. De faller som regel ned innen 1 meters avstand fra kilden eller må inhaleres innenfor en slik avstand. Det kalles derfor også nærdråpesmitte. [1]

2.3.2 Luftbåren smitte

Luftbåren smitte kan skje på to måter, enten ved støvpartikler eller ved dråpekjerner.

Når en væskeoverflate brytes, vil det alltid bli dannet en aerosol² ved at det slynges ut små dråper fra væsken. Aerosoler dannes for eksempel ved hoste, nysing og snakking, ved oppkast eller søl eller sprut av flytende materiale. Mange undersøkelses-, pleie- og behandlingsprosedyrer fører også til at det dannes aerosoler.[9]

Dersom dråpene har en diameter over ca. 0,1 mm (100 μm) vil de falle ned på gulvet eller andre vannrette flater i løpet av 1-3 sekunder. Dråper som er mindre enn dette vil fordampe innen de rekker å falle ned. Det oppstår da såkalte dråpekjerner, som består av små mengder tørrstoff og svært lite vann. Dråpekjerner som har en diameter på under ca. 0,01 mm (10 μm), kan holde seg svevende i timesvis og spres over større avstander, for eksempel fra et pasientrom til en korridor. [9]

Dråpekjerner med en diameter under ca. 0,005 mm (5 μm) er så små at de kan nå helt ned i lungealveolene når de inhaleres. Partikler større enn dette stanses i nesen, men ved pusting gjennom munnen kan partikler på opptil 10 μm nå ned i bronkiene.[9]

Smittespredning med dråpekjerner er kun aktuelt for de bakterieartene som

²små dråper i luft

tåler uttørking, og som samtidig kan finnes i dråpekjerner så små at de kan inhaleres. Dette gjelder særlig tuberkelbakterien.[9]

Støvparkler som virvles opp i luft, faller i løpet av få minutter ned i nærheten av utgangspunktet dersom luften er helt stillestående. Ved bevegelser i luften vil støvparklerne kunne holde seg svevende lenger. De fleste støvparkler innendørs stammer fra huden til personene som oppholder seg der. Partiklene kan for eksempel være bærere av stafylokokker og streptokokker. Mange mikroorganismer som forårsaker infeksjoner i sykehus vil imidlertid ikke kunne overleve særlig lenge på støvparkler på grunn av mangel på fuktighet. [9]

Luftbåren smitte kan også gi opphav til indirekte kontaktsmitte som følge av forurensning av utstyr, gjenstander eller inventar.[9]

2.3.3 Fekal-oral smitte

Smitteoverføringen skjer ved at smittestoff som utskilles gjennom tarmen, gir sykdom når det kommer inn via munnen til et annet menneske ved kontakt eller med næringsmidler. Ved infeksjonssykdommer som overføres på denne måten, utskilles smittestoffet i tarmkanalen, og det er her en ofte finner de kliniske symptomene på sykdom.[1]

Væd *næringsmiddelbåren smitte* føres smittestoffene med mat og drikke til smittemottakeren. Mat og drikkevarer er da en mellomstasjon for smittestoffene fra den primære smitekilden som er avføring fra mennesker eller dyr. Fekal-oral smitte er i praksis en indirekte kontaktsmitte og en næringsmiddelbåren smitte. [1]

2.3.4 Inokulasjonssmitte

Omtalt som blodsmitte i dagligtalen. Noen sykdommer overføres ved at smittestoffet bringes direkte inn i organismen gjennom skadet hud eller gjennom slimhinnene. Slik inokulasjon eller *innpodning* av smittestoffer kan forekomme som følge av uhell, for eksempel ved stikk av infisert kanyler eller annen skade med instrumenter, eller gjennom seksuell kontakt, samt ved bitt av dyr (rabies) eller insektsstikk (malaria). De siste smittemåtene kalles også *vektorbåren smitte*. [1]

2.3.5 Smitte i forbindelse med svangerskap og fødsel

Smitten skjer fra en infisert mor til fosteret ved at morens smitteførende blod passerer placenta (morkaken) og går over i forsterets sirkulasjonssystem (*intra-uterin smitte*). Smitte kan også skje i forbindelse med fødselen når barnet passerer fødselskanalen (*perinatal smitte*). [1]

2.4 Smittemottaker

Hos noen kan den *generelle* resistensen eller motstandskraften mot infeksjon være nedsatt. Det kan skyldes alvorlige sykdommer eller moderne behandling som vi vet virker resistensnedsettende. Blant annet kan immunsuppressive midler, kortisonpreparater og cellegifter virke slik. Eldre mennesker og nyfødte, især for tidlig fødte, har ofte nedsatt resistens.[1]

Den *lokale* resistensen kan også være nedsatt. Grunnen kan være skadet hud og slimhinner etter forbrenninger, frost, operasjonssår og sår på grunn av sirkulasjonsforstyrrelser. Lokal nedsatt resistens forekommer også i urinveisslimhinner for eksempel på grunn av stendannelse eller fremmedlegemer (kateter). [1]

Hvor mottakelig vertsorganismen er for infeksjonssykdommer er avhengig av både den biologiske resistensen som gjerne kalles *uspesifikk motstandskraft*, og av immuniteten, som gjerne kalles *spesifikk motstandskraft* (se kapittel 2.4.1).[1]

2.4.1 Immunsystemet

Immunsystemet er kroppens fremste våpen mot patogene mikroorganismer. Immunforsvaret vårt bekjemper alt som det oppfatter som kroppsfremmed. I denne sammenhengen omfatter ”kroppsfremmed“ også kroppens egne celler hvis de har endret karakter. Immunforsvaret har tre hovedfunksjoner: [12]

- Det beskytter kroppen mot sykdomsfremkallende mikroorganismer. Immunforsvaret angriper også ikke-mikrobielle, kroppsfremmede molekyler.
- Det fjerner skadede og døde celler og vev.
- Det angriper og fjerner kreftceller.

Immunforsvaret utøves av hvite blodceller og et stort antall ekstracellulære proteiner, og består av to deler:[12]

- det medfødte, uspesifikke immunforsvaret
- det ervervete, spesifikke immunforsvaret

I det uspesifikke immunsystemet deltar leukocytter sammen med proteiner som er løst i den ekstracellulære væsken. Denne delen av immunsystemet kjennetegnes ved at:[12]

- hver enkelt komponent er virksom mot et vidt spekter av mikroorganismer og kroppsfremmede stoffer

- det kan tre i funksjon på en virkningsfull måte uten at kroppen først har vært i kontakt med det fremmede stoffer
- forsvaret blir ikke mer effektivt ved gjentatte angrep, slik tilfellet er med det spesifikke immunforsvaret

Det uspesifikke immunforsvaret skal i første omgang hindre smittestoffene i å komme inn i kroppen. Hvis dette ikke lykkes, bidrar det til å hindre at smittestoffene sprer seg i kroppen.[12]

Det spesifikke immunforsvaret utvikles hovedsakelig det første leveåret. Denne delen av immunforsvaret består av to hovedtyper av lymfocytter, B- og T-lymfocytter, som har ulike oppgaver. Hos hver enkelt person er det et uhyre stort antall undergrupper, *kloner*, av lymfocytter. Innen hver klon lærer cellene gjennom en modningsprosess hvilke strukturer de skal reagere på, og hvilke strukturer de skal la være i fred. Lymfocyttene innen hver enkelt klon kan bare nedkjempe *ett* enkelt fremmedstoff, de er med andre ord *spesifikke*. [12]

Lymfocyttene utvikler også en immunologisk hukommelse. I motsetning til det uspesifikke immunsystemet, reagerer derfor det spesifikke immunsystemet raskere og kraftigere hvis den samme intrengeren kommer tilbake senere. Kroppen kan på denne måten opparbeide motstandskraft mot infeksjonssykdommer (immunitet). [12]

En persons motstandskraft mot mikroorganismer vil være avgjørende om en får infeksjon eller ikke. Noen viktige faktorer i dette ”motstandsarbeidet“ vil være; hel hud og slimhinner som hindrer mikrober å trenge inn, at immunforsvaret fungerer tilfredsstillende, et variert kosthold og god personlig hygiene. [12]

3 Smittestoff og sykdommer

3.1 Smittestoff

Smittestoffene er mikroorganismer eller mikrober, det vil si organismer som enkeltvis er for små til at de kan ses med det blotte øyet. Mikrobenes verden inneholder bakterier, virus, sopp, protozoer og alger. I tillegg arbeider medisinske mikrobiologer med mark (helminther) som har sykdomsfremkallende betydning, fordi diagnosen ved slik sykdom ofte stilles mikroskopisk.[2]

Det har gjennom de siste årene vært lagt ned mye arbeid på å klassifisere alt liv på jorden i systemer. Det går et viktig skille mellom prokaryote og eukaryote organismer. De prokaryote cellene er enklere oppbygd enn de eukaryote og er utviklingsmessig sett mye eldre enn de eukaryote.[2]

Mikroorganismer finnes både blant de prokaryote og de eukaryote organismene. Bakteriene hører hjemme blant de prokaryote, mens sopp og protozoer hører hjemme blant de eukaryote, sammen med planter og dyr. Virus blir ikke sett på som selvstendige celler og hører derfor ikke hjemme noen av stedene. De kan i stedet kalles for organisk kjemisk smittestoff.[2]

3.1.1 Bakterier

Bakteriene er encellede organismer uten cellekjerne. Det genetiske materialet deres finnes fritt i cytoplasmaet som en ringformet sammenhengende dobbeltstreng av DNA. Dette er bakteriens *kromoson* eller *genom*. Bakteriens størrelse angis i mikrometer eller micron (μm). Bakteriens diameter er vanligvis mindre enn $2 \mu\text{m}$, men for øvrig varierer de både i størrelse og form. De fleste bakterier kan ses i lysmikroskop med 1 000 ganger forstørrelse. [2]

Sterkt forenklet kan bakteriene deles inn i hovedformene:

- kokker
- staver
- spiralformede bakterier

Kokkene er kuleformede, av og til ovale, bakterier som forekommer dels parvis, *diplokokker*, dels i kjeder, *streptokokker*, og dels i hauger, *stafylokokker*. *Stavene* er sylinderformede eller stavformede bakterier (tidligere basiller). Lengden kan variere sterkt, oftest er den $1\text{-}5 \mu\text{m}$. De korteste stavene kan være vanskelig å skille fra kokker, og kalles følgelig *kokkobasiller*. Noen bakterier forekommer som kurveformede staver (*vibrio*) eller som spiralformede (spiriller og spiroketer). [2]

Bakteriene deler seg ved ukjønnert todeling. Det dannes to identiske datterceller, som av og til blir hengede sammen. Cellenes beliggenhet i forhold til hverandre bestemmes av rekkefølgen og planet de deler seg i. Diplokokkene ligger i to og to, streptokokkene ligger i kjeder og stafylokokkene ligger i uregelmessige hauger. Bakterienes form og innbyrdes plassering kan endre seg under påvirkning av antibiotika.[2]

Bakteriene er avhengig av en solid cellevegg ettersom trykket innvendig er meget høyt. Celleveggen bestemmer bakterienes form og beskytter dem mot ødeleggelse. Sammensetningen av celleveggen varierer mellom ulike typer bakterier. Man bruker ofte forskjellige metoder for farging av bakteriecellene for å bestemme bakterietypen. Den vanligste fargemetoden er *Gramfarging* som er oppkalt etter oppfinneren, den danske legen Hans Christian Gram, som beskrev metoden i 1884. Man deler bakteriene inn i *Gram-positive* og *Gram-negative* alt etter hvordan fargingen påvirker dem. Gram-negative bakterier har en mer kompleks cellevegg enn Gram-positive. Dette gjør dem mer motstandsdyktige mot desinfeksjonsmidler og enkelte typer antibiotika enn de fleste Gram-positive bakteriene. [2]

Enkelte bakterier, for eksempel tuberkelbakterien, er spesielt motstandsdyktige fordi deres ytre lag stort sett består av spesielle lipider³. Disse bakteriene kalles *syrefaste*. [2]

3.1.2 Virus

Virus kan ikke eksistere som selvstendige levende organismer. De er avhengige av å kunne formere seg (replikeres) inne i andre levende celler. Virus er så små at de ikke kan ses i lysmikroskop, det må elektronmikroskop til. Størrelsen måles i *nanometer* (nm), og virus varierer mellom 20 og 300 nm.[2]

Virusene binder seg først til cellenes overflate, deretter penetrerer de celleveggen. Inne i veggen fjernes kappen rundt viruset. Den genetiske informasjonen i det nå frigjorte viruset vil påvirke cellen til å produsere flere viruspartikler som så trenger ut av cellen for å infisere nye celler.[2]

Virus er påvist hos de aller fleste dyrearter, og hos planter, insekter og andre mikroorganismer. Virus har på samme måte som bakterier evnen til å produsere sykdom, og denne evnen kan også karakteriseres ved begrepene patogenitet og virulens. Disse to begrepene er et mål på hvor stor evne mikrober har på å fremkalle sykdom. En patogen virusart produserer gjerne en sykdom i en bestemt vertart, men infeksjon med samme virus hos flere dyrearter kan også forekomme.[2]

De fleste virusinfeksjoner hos mennesker er symptomløse eller subkliniske⁴, bare relativt sjelden får man sykdomssymptomer. Vanligvis kvitter vertsorganismen seg med virus etter at infeksjonen er gjennomløpt. I noen tilfeller kan virus

³upolare organiske forbindelser som hovedsakelig består av karbon og hydrogen

⁴tidlig stadium i sykdom før det kommer synlige symptomer

vedvare i organismen i kortere eller lengre tid etter at sykdommen er over (for eksempel HIV). Det produseres da virus på et lavt nivå hele tiden, men infeksjonen er asymptomatisk. Latente virus (for eksempel herpes) blir værende i noen av kroppens celler, enten som en del av vertscellens genom eller som en ekstrakromosomal partikkel, antakelig for resten av livet.[2]

Klassifikasjon av virus i familier, slekter og arter på samme måte som bakterier er i ferd med å vinne innpass. Denne klassifikasjonen tar utgangspunkt i viruspartiklens struktur og oppbygning. Den groveste inndelingen er i DNA-virus og RNA-virus.[2]

Det eksisterer enda enklere former for smitteførende organismer enn virus. Infeksiøse nukleinsyrer uten kappe forekommer i planteverdenen som *viroider*. *Prioner* er infeksiøse proteiner uten nukleinsyre som kan forårsake sykdommer i sentralnervesystemet (skrapesyke hos sau, Creutzfeldt-Jakobs sykdom hos mennesket).[2]

3.1.3 Sopp

Sopp er eukaryote, én- eller flercellede organismer som, på samme måte som plante- og dyreceller, inneholder kjerne med kjernemembran. Til forskjell fra dyreceller, men i likhet med bakterieceller, har soppcellene en fast cellevegg med en cytoplasmatisk membran innenfor. Cellemembranen har likevel en annen oppbygning hos sopp enn hos bakterier. Sopp forekommer gjerne som *gjærsopp* eller *muggsopp*. [2]

Gjærsoppene er encellede, ovale celler med en diameter på 3-5 μm . Den viktigste sykdomsfremkallende soppen er *Candida albicans*. *Muggsoppene* består av lange grenete filamenter, *hyfer*. Hyfene har flere celler, vanligvis atskilt fra hverandre med tverrvegger. Sammenfiltrede hyfer danner soppens *mycel*. Enkelte sopper veksler mellom gjærsopp- og muggsoppform, avhengig av miljøet de vokser i. [2]

Sopp formerer seg både kjønnnet og ukjønnnet. Gjærcellene formerer seg ved hjelp av knoppskyting (ukjønnnet), mens muggcellene formerer seg ved sporer (dels ukjønnnet og dels kjønnnet). Soppens formeringsmåte og sporeapparatets utseende bestemmer inndelingen av sopp i klasser, slekter og arter. [2]

Sopp kan framkalle sykdom ved å gi infeksjoner, virke allergiserende eller produsere toksiner. Infeksjonssykdommer framkalt av sopp kalles gjerne for mykoser. [2]

3.1.4 Protozoer og mark

Protozoene og markene hører med til de eukaryote organismene, det vil si at de har cellekjerne. Protozoer og marker betegnes som humane parasitter, det vil si at de lever i eller på sin vertsorganisme som i dette tilfellet er mennesket. De klassifiseres innen kongedømmet Animalia med to undergrupper; Protozoa som

inneholder encellede dyr og Metazoa som utgjør resten av dyreriket, også mennesket. Både protozoer og metazoer har en meget komplisert livssyklus, noe som er viktig å kjenne til for å forstå hvordan infeksjonen skjer og hvordan parasitten spres. Parasittene kan ha ulike stadier med henholdsvis kjønn og ukjønn formering, men for mange parasitter er reproduksjonsmåten ennå ukjent. Noen organismer er avhengig av passasje gjennom bestemte verter for å kunne formere seg.[2]

Selv om protozoer er encellede organismer uten cellevegg, er cellen imidlertid i seg selv meget kompleks, slik at en rekke forskjellige funksjoner likevel blir ivaretatt.[2]

Protozoene kan deles inn etter måten de beveger seg på:

- *Ciliater* beveger seg ved hjelp av cilier (svingtråder)
- *Flagellater* beveger seg ved hjelp av bølgende membraner og flageller. Blant flagellatene finner i *Giardia lamblia* og *Trichomonas vaginalis*.
- *Amøber* beveger seg ved pseudopodie-dannelse, det vil si midlertidige cytoplasmautløpere som har evne til å kontrahere seg. Den viktigste sykdomsfremkallende amøben er *Entamoeba histolytica* som gir amøbedysenteri.
- *Sporozoa* er ubevegelige. Til denne gruppen hører blant annet malariaparasitten *Plasmodium* og flere andre sykdomsfremkallende protozoer.

3.2 Sykdommer som krever luftsmitteregime

Det er flere sykdommer som krever isolatregime. I Isoleringsveilederens vedlegg E er de viktigste infeksjonssykdommer som krever luftsmitteregime angitt. Disse er:

- Hemorragisk feber
- Herpes zoster (helvetesild)
- Meslinger
- MRSA-infeksjon
- Lungepest
- Smitteførende lungetuberkulose
- Vannkopper

Viral hemorragisk feber (VHF) er en gruppe dyre- og menneskesykdommer som skyldes fire forskjellige virustyper. Alle typer av VHF er karakterisert ved blødninger og feber og alle kan føre til svært høy feber, sjokk og død i ekstreme tilfeller. Tilfellene av VHF som er nevnt i Isoleringsveilederens vedlegg E er:

- Lassavirus
- Marburgvirus
- Krim-Kongovirus
- Ebolavirus

Dette er de mest alvorlige typene av VHF og derfor også dem som er mest aktuelle for luftsmitteregime.[9]

3.2.1 Lassavirus

Forekomst

Lassafeber ble først beskrevet i 1969 i byen Lassa i Nigeria. Sykdommen er endemisk⁵ i Vest-Afrika og forårsaker 300-500 000 tilfeller årlig med en dødsrate på ca. 5 000. Utbrudd av sykdommen har blitt registrert i Nigeria, Liberia, Sierra Leone, Guinea og den Sentralafrikanske Republikk.[25]

Lassafeber er også den av de hemorragiske febersykdommene som vanligst sprer seg utenfor sin endemiske grense som for eksempel til USA og land i Europa.

Smittemåte

Lassaviruset er zoonotisk, det vil si at det er overførbart mellom mennesker og dyr. Viruset spres ofte til mennesker fra gnagere, ofte multi mammat rotter⁶. Dette er sannsynligvis den mest utbredte gnageren i Ekvatorial Afrika ettersom den er svært ofte å finne i husholdninger og blir spist som delikatesse i noen områder. I disse rottene er infeksjonen i et stadium der ingen eller svært få symptomer vises. Viruset utskilles i rottens ekskrementer og mennesker blir som oftest infisert ved at de kommer i kontakt med disse ekstrementene. Lassaviruset kan også spres direkte mellom mennesker ved kontakt med blod, urin, avføring eller andre kroppsvæsker. Det er ikke bevist av sykdommen smitter via luftbårne partikler.[25]

⁵stedsegen

⁶en type rotter som finnes i store deler av Afrika

Smittestoff

Lassafeberen skyldes lassaviruset som er et såkalt RNA-virus i *Arenaviridae* familien. Viruset er innkappet og inneholder en enkelttrådet DNA. Viruset er et såkalt RNA virus. Replikasjonen til viruset er meget hurtig men allikevel kontrollert.[25]

Ved en infeksjon vil Lassa viruset infisere store deler av vevet i kroppen. Infeksjonen starter i slimet i luftveiene og fordøyelseskanalen, tarmene, lungene og urinsystemet og brer seg videre til karsystemet.[25]

Sykdomsforløp

Omtrent 80 % av infeksjoner hos mennesker er uten eller med svært svake symptomer, mens resten av infeksjonene gir alvorlig sykdom der viruset påvirker flere organer i kroppen, som leveren, milten og nyrene. Inkubasjonstiden er på 6-21 dager. I starten av sykdomsforløpet får pasienten ofte feber og føler seg slapp og utilpass. Etter et par dager kan hodepine, sår hals, muskelsmerter, brystmerter, kvalme, oppkast, diaré og hoste oppstå. I de alvorligste tilfellene kan det oppstå opphovninger i ansiktet, væske i lungene og blødning fra kroppsåpninger. I senere stadium kan sjokk, slag og koma oppstå. Døvhhet oppstår permanent i en del av tilfellene.[25]

Hvorfor luftsmitteisolat

Vanligvis er det nok å plassere pasienter med Lassafeber på kontaktsmitteisolat, men ved alvorlige blødninger anbefaler likevel Isoleringsveilederen å plassere pasienten i luftsmitteisolat. Dette fordi infiserte pasienter kan ha virus i svelget og hoste kan spre viruset til andre pasienter.[25]

3.2.2 Marburgvirus

Forekomst

Marburgviruset har fått navnet sitt etter byen Marburg i Tyskland der de første tilfellene ble beskrevet i 1967. Viruset er nå utryddet fra Europa men det er blitt rapportert sporadiske utbrudd i Angola, Kongo, Kenya og Sør Afrika.[31]

Smittemåte

Smitte fra person til person krever ekstremt nær kontakt med pasienten. Infeksjon kommer som følge av kontakt med blod eller kroppsvæsker (avføring, oppkast, urin, spytt) med høy virus konsentrasjon. Overføring via infisert sæd kan oppstå i opptil syv uker etter klinisk helbredelse.[31]

Smitteoverføring gjennom tilfeldig kontakt er ekstremt sjelden. Dette tyder på at smitte via luftbårne partikler er sjelden. Smitteoverføring oppstår heller ikke i inkubasjonsperioden.[31]

Pasientene er mest smittsomme i de alvorligste stadiumene av sykdommen. Nærkontakt med pasienten ved pleie, eller enkelte begravingsritualer er vanlige smittemåter. Inkubasjonsperioden er på 3-9 dager.[31]

Smittestoff

Marburgfeberen skyldes Marburgviruset som er et RNA-virus i familien *filovirus*, med lange trådlignende partikler med konstant diameter. Lengden på trådene går fra 800 til 14 000 nm. De virale partiklene inneholder syv kjente proteiner. I struktur er Marburgviruset nesten identisk med Ebolaviruset, men det trigger andre typer antistoff en Ebola i infiserte organsimer. Det var det første filoviruset som ble identifisert.[31]

Sykdomsforløp

Det oppstår gjerne høy feber på den første sykdomsdagen, som følges av rask og progressiv slapphet. Diaré, magesmerter og kramper, kvalme og oppkast oppstår gjerne rundt den tredje dagen. Diaréen kan vedvare i en uke.[31]

Mellom sykdomsdag 5 og 7 utvikler mange pasienter blødninger fra flere kroppsåpninger. Man finner ofte blod i oppkastet og avføringen i tillegg til at det ofte blør fra nese, tannkjøtt og vagina. I den verste fasen av sykdommen så har pasienten høy feber.[31]

I de verste tilfellene så forekommer døden mellom 8 og 9 dag etter symptomstart, vanligvis etter stort blodtap og sjokk.[31]

Hvorfor luftsmitteisolat

Vanligvis blir pasienter plassert på kontaktsmitteisolat, men ved alvorlige blødninger bør de plasseres på luftsmitteisolat. Virus i luftveiene kan spres via hoste til andre pasienter.[31]

3.2.3 Krim-Kongovirus

Forekomst

Sykdommen ble først beskrevet på Krim halvøya i Ukraina i 1944. I 1969 fant man ut at et utbrudd i Kongo i 1956 skyldes det samme patogenet som utbruddet på Krim. Sykdommen har fått navnet sitt etter disse to utbruddene.[27]

Sykdommen er endemisk i mange land i Afrika, Europa og Asia. I løpet av 2001 ble det registrert utbrudd i Kosovo, Albania, Iran, Pakistan og Sør Afrika.[27]

Smittemåte

Sykdommen er primært en zoonose som kan opptre hos mennesker som sporadiske tilfeller eller mindre lokaliserte utbrudd. Smitten spres ofte fra småvilt og fugler til mennesker via flått. Dette skjer enten ved bitt (inokulasjonssmitte) eller ved direkte kontakt med knuste flått i forbindelse med håndtering av dyr. Kontakt med blod eller andre kroppsvæsker fra infiserte dyr eller mennesker kan også overføre smitte. Smittespredning i sykehus er også godt dokumentert. Det er ikke holdepunkter for luftsmitte. Graden av kliniske symptomer varierer og asymptomatiske infeksjoner forekommer. Inkubasjonsperioden er på 5-6 dager.[27]

Smittestoff

Viruset som forårsaker hemoragisk krimfeber er et RNA-virus i familien *Nairovirus*. Alle de 32 medlemmene i denne gruppen blir overført via enkelte typer flått.[27]

Sykdomsforløp

Etter 1-3 dager i sykdomsforløpet vil man få influensa liknende symptomer, som ofte går over etter omkring en uke. I opptil 75 % av tilfellene vil det oppstå blødninger etter 3-5 dager. Man vil da se symptomer som humørsvingninger, mental forvirring, neseblod, blodig urin og oppkast. Leveren blir hoven og smertefull. I de verste tilfellene kan det oppstå nedsatt evne til koagulering av blodet (Disseminert intravaskulær koagulasjon) og nyresvikt og sjokk, og av og til ARDS (Acute respiratory distress syndrome; lungesykdom).[27]

Pasienten begynner normalt å komme seg etter ca. 9-10 dager etter symptomstart, men omtrent 30 % av de infiserte dør i løpet av den andre uken av sykdommen.[27]

Hvorfor luftsmitteisolat

Sykdommen smitter ved kontaktsmitte og inokulasjonssmitte og infiserte pasienter plasseres på kontaktsmitteisolat. ved store blødninger blir pasienten plassert under luftsmitteregime på grunn av den ekstra barrieren dette representerer.[27]

3.2.4 Ebolavirus**Forekomst**

Ebolaviruset ble oppdaget i 1976 etter flere utbrudd i Sudan og Zaïre. Ebola blir antatt å være verdens mest dødelige virussykdom. Viruset skapte en epidemi i Zaïre i 1995 da 315 mennesker ble smittet og 250 døde. I den senere tiden har det blitt registrert utbrudd i Gabon, Uganda og Zaïre så sent som i 2003.[28]

Smittemåte

Ebolaviruset overføres ved direkte kontakt med blod, sekreter, organer eller annen kroppsvæske til infiserte pasienter. Begravelsesseremonier der sørgende har vært i direkte kontakt med kroppen kan spille en viktig rolle i overføring av viruset. Man kan også bli smittet ved berøring av infiserte sjimpanser, gorillaer og skogantiloper, både døde og levende.[28]

Pleiere på sykehus har også ved flere tilfeller blitt smittet ved behandling av Ebola pasienter. Dette har skjedd gjennom nærkontakt uten bruk av riktig utstyr og riktige prosedyrer.[28]

Ebolavirus er påvist i vev i flere måneder etter den akutte infeksjonen. Inkubasjonstiden er på 2-21 dager men oftest omkring en uke.[28]

Smittestoff

Sykdommen skyldes Ebolaviruset som er et RNA-virus i familien *Filoviridae*. Virusene er karakterisert ved lange, trådaktige former omsluttet av en lipid viral kappe. Viruset kan deles inn i fire undergrupper: Zaïre, Sudan, Côte d'Ivoire og Reston. De tre første kan forårsake sykdom hos mennesker. Den siste typen, Reston, forårsaker asymptomatisk sykdom.[28]

Sykdomsforløp

Symptomene er svært varierte og oppstår plutselig. Initielle symptomer er ofte høy feber, kraftig hodepine, muskel-, ledd og magesmerter, utmattelse, sår hals, kvalme og svimmelhet. Dette er symptomer som gjør at sykdommer i en tidlig fase ofte forveksles med malaria, tyfoidfieber, dysenteri, influensa og diverse bakterieinfeksjoner.[28]

Symptomene blir ofte også verre etterhvert som sykdommen framskrider. Diaré eller blodig avføring og oppkast av blod kan oppstå. Sekundære symptomer som lavt blodtrykk, lavt blodvolum, hurtig hjerterytme og organskade kan også forekomme som et resultat av celledød. Den innvendige blødningen er forårsaket av en kjemisk reaksjon mellom viruset og blodplatene som lager et kjemikalie som vil kutte hull i kapillærveggen. Etter flere dager vil ofte pasienten dø som et resultat av disse kuttene som skaper innvendige blødninger.[28]

Tiden som går fra pasienten får symptomer til en eventuell død er vanligvis mellom 7 og 14 dager. I sykdommens andre uke vil pasienten enten bli bedre eller få en massiv organsvikt. Dødsraten for sykdommen er generelt høy, fra 50-90 %.[28]

Hvorfor luftsmitteisolat

Ved mistanke om blødningsfeber skal pasienten legges inn på sykehus under kontaktsmitte- eller luftsmitteregime. Personalet skal beskytte seg som ved luftsmitteregime, det vil si bruke munnbind og briller/visir i tillegg til smittefrakk og hansker. Dersom det etter nøye vurdering blir sannsynliggjort at pasienten har blødningsfeber, må det vurderes å overføre pasienten til et sykehus med luftsmitteisolat og spesialtrent personell. Dette gjelder særlig hvis pasienten har blødninger.[28]

Selv om det ikke er påvist noen sammenheng mellom ebola og luftsmitte, vet man at viruset finnes i halsen og nesen en tid under infeksjonen. Pasienten kan da respirere, nyse og hoste små partikler, aerosoler, ut i romluften som igjen kan pustet inn av andre. Siden infeksjonen er såpass alvorlig og dødeligheten så stor har man valgt å plassere ebolapasierter under luftsmitteregime.[28]

3.2.5 Herpes zoster (helvetesild)

Forekomst

Helvetesild skyldes samme virus som gir vannkopper. I noen tilfeller forblir viruset i en "slumrende" tilstand i kroppen etter at selve vannkoppene er forsvunnet. Uten at man helt vet hvorfor, kan viruset aktiviseres igjen flere tiår seinere, men da i form av helvetesild.[30]

Smittemåte

Helvetesild smitter på samme måte som vannkopper, se kapittel 3.2.10.[30]

Smittestoff

Sykdommen skyldes *variella zoster virus (VZV)*, som er det samme viruset som forårsaker vannkopper. Se kapittel 3.2.10.[30]

Sykdomsforløp

Sykdommen starter ofte med lette allmennsymptomer som hodepine, lysskyhet og sykdomsfølelse i noen dager. Deretter merker man et ubehag i et hudområde. Man kan ha smerter i ansiktet, i ribbeina eller i en arm eller et ben. Etter syv til ti dager vil det oppstå et vablete utslett i det angrepne hudområdet. I de tilfellene hvor smertene er lokalisert til bryst eller mage, vil utslettet bare komme til syne på en kroppshalvdel, noe som er helt spesielt ved herpes zoster. Etter omlag tre uker vil utslettet normalt forsvinne, men mange vil like fullt ha smerter i det aktuelle hudområdet i både måneder og år etterpå.[30]

Hvorfor luftsmitteisolat

Hos personer med svekket immunforsvar kan sykdommen spre seg til indre organer og hjernen. Dette kan være dødelig, og slike personer trenger derfor ekstra intensiv behandling; dette gjelder for eksempel pasienter med AIDS eller kreft. Pasienter med helvetesild skal derfor ikke ligge på samme rom som immunsupprimerte pasienter. Dersom det er uungåelig å oppfylle dette, skal pasienter med helvetesild plasseres på luftsmitteisolat.[30]

3.2.6 Meslinger

Forekomst

Etter innføring av MMR-vaksinen, som blir gitt ved alder 15 mnd og 13 år, er meslinger en sjelden sykdom i Norge, og ses kun hos personer som ikke er vaksinert. Sykdommen ses oftest hos små barn, men enkelttilfeller forekommer hos voksne, ungdommer og uvaksinerte førskolebarn. I perioden 1998-2001 er det bare meldt 8 tilfeller i Norge til MSIS⁷. Blant disse var 6 smittet i utlandet. I 2003 var det to importtilfeller ved et asylmottak i Oslo.[32]

⁷Meldingssystem for smittsomme sykdommer

Smittemåte

Viruset er meget smittosomt og smitter ved dråpesmitte. Det vil si at viruset finnes i store mengder i spytt, og ved hosting eller nysing spres viruset sammen med de ørsmå spyttdråpene. pasienten er smittefarlig fra starten av forkjølelsesfasen (altså før utslettet har vist seg) og i 4 dager etter at utslettet er brutt ut. Sykdommen er mest smittefarlig i dagene før utslettet bryter ut. Etter at man er blitt frisk i fra meslinger har man livslang immunitet mot sykdommen. Inkubasjonstiden er vanligvis 10-14 dager.[32]

Smittestoff

Meslingvirus hører hjemme i familien Paramyxoviridae som er i samme familie som parainfluenzaviruset. Det er stabilt, det vil si at antigenene ikke forandrer seg slik som for eksempel hos influensavirus. Mennesket er den eneste naturlige verten for dette viruset.[32]

Sykdomsforløp

Symptomer i første fase er luftveissymptomer, konjunktivitt og feber. I neste fase opptrer hudutslett, som skyldes at celler i de små hudkapillærene er blitt ødelagt. Slike karforandringer ses også som små hvite flekker i munnslimhinnen. Det kan forekomme bakterielle superinfeksjoner⁸, for eksempel otitt, sinusitt og pneumoni. I sjeldne tilfeller (cirka 1 av 1000) kan det oppstå alvorlige komplikasjoner som hjernebetennelse (encefalitt). Encefalitten kan komme akutt eller subakutt, eller i svært sjeldne tilfeller, som en senkomplikasjon etter flere år.[32]

Hvorfor luftsmitteisolat

Infiserte personer skal ligge på luftsmitteisolat dersom det finnes personer i avdelingen som er mottakelige. Pasienter med nedsatt immunforsvar kan i stedet for å utvikle hudutslett få en akutt progressiv virusbetenget encephalitt. Begge disse tilstandene har en betydelig dødelighet, og 1/3 av pasientene med encephalitt får ettervirkninger.[32]

⁸en celle som allerede er blitt infisert av et virus blir infisert på nytt av en bakterie

3.2.7 MRSA-infeksjon

Forekomst

Infeksjonssykdom forårsaket av MRSA har vært meldingspliktig i Norge fra 1995. På 1960-tallet var det en verdensomspennende epidemi av penicillinresistente gule stafylokokker som spesielt rammet pasienter i føde-, barsel- og kirurgiske avdelinger i sykehusene. En spesiell type gule stafylokokker ble funnet på 1980-tallet, og disse ga alvorlig infeksjon hos kvinner som brukte tamponger, det såkalte toksisk sjokk syndromet.[33]

MRSA-infeksjon har også i Norge blitt et økende problem. Det som tidligere først og fremst syntes å være et importproblem, er nå også et problem med utgangspunkt i Norge. Det er ikke bare i sykehus man erverver MRSA-infeksjon, men også likeså mye utenfor. Mens det i 1995 og 1996 ble registrert cirka 20 tilfeller av MRSA-infeksjoner i Norge, kom vi opp i 88 meldte tilfeller i 1999. Antallet nye tilfeller sank igjen til 67 i 2000.[33]

Smittemåte

Mennesket er klart den viktigste smitekilden, og spesielt er nesebærere viktige smitekilder. Egen kolonisering/bærertilstand er ofte viktig kilde for infeksjon hos det enkelte mennesket. Den viktigste smittemåten er via hender. Luftsmitte er av betydning i risikoavdelinger slik som brannskadeavdeling. Smitteoverføring skjer ofte fra eget bærersted til kolonisering og til en inngangsport slik som sår, defekt hud, et kanylested eller lignende.[33]

Størst risiko for å få MRSA-smitte og deretter utvikle infeksjonssykdom har personer som tidligere har hatt langt sykehusopphold, fått tidligere antibiotikabehandling, har alvorlig underliggende sykdom eller har fått intravaskulære katetre, har vært i hemodialyse, har trykksår, blitt utsatt for andre infiserte eller koloniserte pasienter. Det er sterke holdepunkter for at infeksjon følger kolonisering hos en vertsorganisme mer enn å være resultat av direkte eksposisjon fra en ytre kilde. Smitten skjer med andre ord oftere som en endogen enn eksogen smitte.[33]

Smittestoff

MRSA står for *methicillinresistent Staphylococcus aureus* og er en type gule stafylokokker som har blitt motstandsdyktige mot en type penicillin som kalles methicillin.[33]

Stafylokokker er en gruppe Gram-positive bakterier som ofte forekommer i kjeder eller par. De er ofte anaerobe og vokser både anaerobt og aerobt.[33]

Sykdomsforløp

Alvorlige sykehusinfeksjoner med *Staphylococcus aureus* omfatter blant annet sårinfeksjoner etter operasjon, hudinfeksjoner, bakterier i blodet, blodforgiftning, beinbetennelse, betennelse i hjertehinnen og lungebetennelser.[33]

Hvorfor luftsmitteisolat

MRSA utgjør ikke en direkte helserisiko for friske mennesker. De fleste påvisningene gjøres vanligvis på sykehus og da særlig på svekkede eller sårbare pasienter. De fleste pasienter man finner MRSA på har ikke infeksjon, men er blitt bærere, det vil si de er blitt kolonisert av bakterien. En andel av disse koloniserte pasientene får infeksjoner når de utsettes for påkjenninger som operasjoner, sår, kateter, dren og lignende. I Norge ønsker man å eliminere MRSA fra sykehus og sykehjem.[33]

Isoleringsveilederen krever luftsmitteregime ved stor spredningsfare, økt sårbarhet i avdelingen eller ved spesielle epidemiske stammer. Videre henviser den til egne MRSA-anbefalinger. Sykehusene har egne prosedyrer for forebygging og kontroll av MRSA, og disse varierer noen fra sykehus til sykehus. De fleste sykehus som forsøker å begrense forekomsten av MRSA, vil ved mistenkt eller påvist MRSA isolere pasienten på enerom. Enerom og kontaktsmitteisolater har ikke regulert trykk i forhold til andre rom. Bakterier vil her kunne spres både via dører og ventilasjonssystemer. Faren for MRSA-spredning øker ytterligere da bakterien har lang overlevelse i miljøet. For å hindre smitte anbefales dermed luftsmitteisolat.[33]

3.2.8 Lungepest

Forekomst

Forekomsten har økt noe de siste årene, det rapporteres nå om 3 000-4 000 tilfeller per år på verdensbasis. Tilstanden forekommer først og fremst i landdistrikter i Afrika og Asia.[34]

Smittemåte

Sykdommen er vanligvis en gnager- og loppesykdom. Smitteoverføring til et menneske skjer ved at en person blir bitt av en loppe som er blitt infisert fordi den har bitt en gnager som har vært infisert. Bakterien formerer seg inne i loppen og former en plugg som blokkerer fordøyelseskanalen. Dette fører til at loppen føler

seg konstant sulten og dermed fortsetter å bite og suge blod av en vert helt til den begynner å kaste opp blodet tilbake i bittsåret igjen. Dermed blir et nytt offer infisert.[34]

Sykdommen kan også spres fra menneske til menneske ved dråpesmitte og har en svært hurtig person til person smitte. De som overlever utvikler immunitet for sykdommen. Alle aldersgrupper er mottakelige for infeksjonen.[34]

Smittestoff

Bakterien som forårsaker sykdommen er *Yersinia pestis*, en Gram-negativ anaerob bakterie i familien Enterobacteriaceae. Den er bevegelig når dener isolert men dersom den er i en pattedyrsvert blir den ubevegelig.[36]

Sykdomsforløp

Alvorlig sykdom inntreffer 10-15 timer etter feberutvikling. Karakterisert av høy feber, urolig og kortpustet pasient. Ofte utilpasshet, unaturlig rask hjerterytme, intens hodepine og kraftige myalgier⁹. Inhalasjons pneumoni kan føre til dødelig utgang i løpet av et døgn.[34]

Hvorfor luftsmitteisolat

På grunn av sykdommens alvorlighet og raske fremløp skal pasienten legges på luftsmitteisolat. Ubehandlet er dødeligheten for pneumonisk pest 100 % og er en av de mest virulente og dødelige infeksjonssykdommer som finnes. Lungepest kan spres ved dråpesmitte og pasienter skal isoleres på sykehus med minimum dråpesmitteregime. I Norge anbefales luftsmitteregime for sikkerhets skyld.[34]

3.2.9 Smitteførende lungetuberkulose

Forekomst

Tuberkulose var tidligere en fryktet sykdom som tok livet av mange mennesker. Rundt forrige århundreskifte tok den livet av 6 000-7 000 nordmenn årlig. På 1940-tallet oppdaget forskere de første av flere medisiner som kunne behandle tuberkulose. Sykdommen var derfor på vei til å forsvinne, allikevel har den i det siste fått en oppsving igjen.[35]

⁹uttrykk for smerter i en muskel

I globalt perspektiv er allikevel tuberkulose en svært vanlig sykdom. Omtrent 1/3 av verdens befolkning er infisert med tuberkulose bakterien, det vil si cirka 2 milliarder personer. Sykdommen regnes for å være den infeksjonssykdommen som tar flest liv etter HIV/AIDS. Den tar cirka 2 millioner liv per år internasjonalt. 95 % av de smittede bor i utviklingsland og høyest insidens er det i Afrika og Sørøst-Asia.[35]

I Norge er sykdommen ganske sjelden. I dag er rundt 400 000 mennesker i Norge smittet. De fleste er smittet før 1950. Dette skyldes at tuberkel bakterien kan være latent i en person i lang tid uten å skape sykdom. Men dersom immunsystemet blir svekket på grunn av annen sykdom kan igjen tuberkel bakterien utvikle tuberkulose. Ofte er det også innvandrere som kommer fra Afrika, Asia og Øst-Europa som er smittet av tuberkulose.[35]

Smittemåte

Tuberkulose overføres fra person til person som dråpesmitte og ved luftbåren smitte over lengre avstander. Smitteførende personer som hoster, nyser, snakker eller synger kan spre dråper og aerosoler med bakterier til omgivelsene. Smittefare øker proporsjonalt med antall bakterier som skilles ut, men er også avhengig av avstand og rommets ventilasjon. Tuberkelbakteriene tåler å tørke inn og kan derfor overleve som infiserte støvpartikler (dråpekjerner). Inngangsporten for infeksjon er vanligvis lungene, enten som et resultat av kontaktsmitte (smitteførende dråper) eller luftbåren smitte (bakterier i dråpekjerner). Bakteriene kan, særlig når de forekommer i små dråpekjerner, passere de normale beskyttelsesbarrierene i luftveiene og nå ned i lungevevet hvor de kan begynne å dele seg. Bakterien er en intracellulær parasitt som overlever og deler seg i hvite blodceller. Den intracellulære lokalisasjonen av bakteriene kan bidra til at de unngår vertens immunforsvar. Risikoen for å utvikle klinisk sykdom er størst i de første 6-12 månedene etter smitte. I gjennomsnitt regnes det med at cirka 10 % av de smittede blir syke i løpet av livet. Inkubasjonstiden, det vil si tiden det tar fra eksponeringstidspunktet til man får en positiv tuberkulinreaksjon er på 4-12 uker.[35]

Smittestoff

Bakterien som forårsaker tuberkulose er *Mycobacterium tuberculosis* som er en type mykobakterie. Disse er vidt utbredt i naturen og kan gi sykdom hos både dyr og mennesker. Bakterien er en Gram-positiv stavbakterie som ikke danner sporer. Bakterien er en såkalt syrefast bakterie. Det vil si at den på grunn av det høye lipidinnholdet er svært resistente mot kjemisk desinfeksjon, slik at virketiden av desinfeksjonsmidlene ofte må forlenges. Bakteriene drepes ved koking.[35]

Sykdomsforløp

Man utvikler først en betennelsesreaksjon i lungene og tilhørende lymfeknuter som kalles primærfokus eller primærkompleks. Lokalt i lungene utvikles en kronisk betennelsesreaksjon i form av et *granulom* eller en *tuberkel*. De patologiske vevsforandringene ved tuberkulose skyldes dels selve infeksjonen og dels såkalte cellemedierte immunologiske reaksjoner av forsinket hypersensitivitet. Immunresponsen ved tuberkulose er derfor et tveegget sverd; den gir beskyttelse samtidig som den er ansvarlig for sykdommens utvikling. Lungeaffeksjonen kan utvikle seg videre til en kaverne¹⁰. I noen tilfeller kan bakteriene spre seg med blodet til andre organer. Hos cirka 95 % av de infiserte tilheler primærkomplekset¹¹ spontant og som regel asymptomatisk, eventuelt med spor av forkalkning i lungens lymfeknuter. En person som har hatt en primærinfeksjon kan også senere, etter mange år, utvikle lungetuberkulose fra sitt gamle, latente primærfokus. Dette skjer særlig hos eldre og hos immunsvekkede personer.[35]

Sykdommen gir ofte ingen spesifikke symptomer. Symptomer kan være hoste som gravis forverrer seg over uker eller måneder, muskelsmerter og frostanfall kan også forekomme. Symptomer og tegn på aktiv tuberkulose er hoste, ufrivillig vekt-tap, feber og slitenhet. Selv om lungene er det organ som oftest er angrepet, kan også ledd, bein, urinveiene, sentralnervesystemet, musklene, beinmarg og lymfesystemet angripes. Infeksjonen kan spre seg gjennom hele kroppen og angripe mange organsystem samtidig.[35]

Hvorfor luftsmitteisolat

Personer med smitteførende lungetuberkulose skal ligge på luftsmitteisolat for ikke å smitte andre. Spesielt er personer med nedsatt immunsystem utsatt for smitte. Disse har lettere for å utvikle aktiv tuberkulose enn andre mennesker. En rekke faktorer kan svekke immunsystemet, som økende alder, underernæring, cellegiftbehandling, medikamentbruk eller sykdommer som HIV/AIDS, diabetes eller kroniske lungesykdommer.[35]

Lungetuberkulose kan gi varige lungeskader når sykdommen ikke diagnostiseres og behandles tidlig. Ubehandlet aktiv sykdom kan også spre seg til andre deler av kroppen hvor sykdommen kan føre til alvorlige eller livstruende komplikasjoner. Den alvorligste komplikasjonen er tilbakefall av tuberkulose etter den opprinnelige infeksjonen og utvikling av behandlingsresistente tuberkelbasiller som medisiner ikke virker mot. Dødeligheten blant både norske og innvandrere er 8 %.[35]

¹⁰hulrom i organismen som er oppstått fordi lungevev er ødelagt

¹¹infiserte lunger og lymfeknuter

3.2.10 Vannkopper

Forekomst

Vannkopper er en svært vanlig sykdom. De fleste barn får sykdommen i løpet av småbarnsalderen, og blir dermed varig immune. 40 % infiseres før 4 års alder, 40 % i 4-8 års alder og ved fylte 30 år har 98 % av befolkningen hatt viruset. I tempererte klima er vannkopper vanligvis en barnesykdom, men i tropiske klima forekommer sykdommen oftere blant ungdom og voksne.[29]

Smittemåte

Vannkopper er meget smittsomt og smitter som dråpesmitte og luftbåren smitte fra respirasjonsveiene og som dråpesmitte fra væskende utslett. Inngangsporten er luftveiene. Den primære formeringen av virus skjer i luftveisslimhinnene og etterfølges av en primær viremi¹². Virus formerer seg ytterligere i lymfoid vev, og det inntreer en sekundær viremisk fase, da virus blant annet spres til huden. En pasient er smittsom 1-2 dager før og 3-4 dager etter utbruddet av utslettet. Ca. 80 % av dem som eksponeres for smitte vil bli smittet og i Norge har cirka 90 % av den voksne befolkning antistoffer mot dette viruset.[29]

Smittestoff

Sykdommen fremkalles av *Varizella-zostervirus* som fremkaller både vannkopper (varicella) og herpes zoster (helvetesild). Det er et DNA-virus med membran og hører hjemme i familien *Herpesviridae*. Typisk for denne familien er evnen til å bli værende latent i kroppen etter primærinfeksjonen. De kan senere reaktiveres til ny sykdom.[29]

Sykdomsforløp

Symptomene er feber, som i løpet av et par dager etterfølges av et karakteristisk vesikulært (blemmeformet) hudutslett. Sykdommen er godartet og komplikasjoner er svært sjeldne. Infeksjonen foreløper i mange tilfeller asymptomatisk. Vannkopper i første halvdel av graviditeten kan gi medfødte misdannelser hos barnet. Hvis gravide blir smittet nær fødselstidspunktet, kan barnet fødes med vannkopper eller utvikle sykdommen rett etter fødselen, noe som kan være svært alvorlig.[29]

¹²bakterier i blodet

Hvorfor luftsmitteisolat

For ellers friske mennesker er vannkopper er uskyldig sykdom. For immunsupprimerte kan vannkopper medføre alvorlighet. Hospitaliserte pasienter skal isoleres på luftsmitteisolat for å unngå smittespredning til grupper med svekket immunforsvar. Prognosen for ellers friske barn er god, for voksne er variacellapneumoni¹³ den vanligste komplikasjonen. Komplikasjoner som hjernehinnebetennelse kan forekomme både for voksne og barn. Immunsupprimerte personer har høy risiko for et alvorlig sykdomsforløp med eventuelt dødelig utfall. Ved forekomst av vannkopper skal høygravide, nyfødte og immunsupprimerte varsles og den infeksiøse skal isoleres fra disse gruppene.[29]

3.2.11 Oppsummering

I tabell 1 er den viktigste informasjonen om de forskjellige sykdommene som krever luftsmitteregime angitt.

¹³lungebetennelse som følge av vannkopper

Sykdom	Smittestoff	Smittemåte	Levetid utenfor kropp	Svevetid	CFU
Lassafeber	Lassavirus	K, In, L	Ukjent, men kort	Kort	Høy
Marburgfeber	Marburgvirus	K, In	Ukjent, men kort	Kort	Høy
Krim-Kongo feber	Krim-Kongo virus	K, In	Ukjent, men kort	Kort	Høy
Ebolafeber	Ebolavirus	K, In, L	Kort	Ukjent, men kort	Høy
Herpes zoster	Varicella-zoster virus	K, D, L	Relativt kort	Lang	Høy
Morbilli	Morbilliviruset	K, D	ca. 2t	Lang	Lav
MRSA	Staphylococcus aureus	K, L	10 mnd i støv	Kort	Svært høy
Lungepest	Yersinia pestis	In, D	Lang	Kort	Svært høy
Tuberkulose	Mycobact. tuberculosis	K, D, L	Flere mnd	Lang	Lav
Varicella	Varicella-zoster virus	K, D, L	Relativt kort	Lang	Høy

Tabell 1: Sykdommer som krever luftsmitteregime

4 Forskrifter til isolater

Det finnes flere lover og forskrifter I Norge som omhandler smittespredning i helseinstitusjoner og isolasjon på isolater. I dette kapittelet vil disse lovene, forskriftene og veilederne gjennomgås. Den kanskje viktigste forskriften i forhold til denne oppgaven er Isoleringsveilederen[9]. Andre viktige forskrifter er:

- FOR 1997-12-19 nr 1322: Forskrift om vern mot eksponering for biologiske faktorer på arbeidsplassen.[15]
- LOV 1994-08-05 nr 55: Lov om vern mot smittsomme sykdommer.[16]
- FOR 2005-06-17 nr 610: Forskrift om smittevern i helsetjenesten.[17]
- FOR 1996-12-06 nr 1127: Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter.[14]
- Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen.[4]
- Veiledning om arbeidsmiljø på helseinstitusjoner.[3]

4.1 Forskrift om vern mot eksponering for biologiske faktorer på arbeidsplassen

Formål

Forskriftens formål er å beskytte arbeidstakernes helse og sikkerhet og å forebygge at de utsettes for farer som oppstår eller kan oppstå ved at de eksponeres for biologiske faktorer i arbeidsmiljøet.

Virkeområde

Forskriften gjelder for virksomheter der arbeidstakerne eksponeres eller kan bli eksponert for biologiske faktorer i forbindelse med arbeidet.

Forskriften gjelder også for virksomheter som ikke sysselsetter arbeidstakere.

Relevante punkter

I forskriften har man klassifisert de forskjellige biologiske faktorene eller mikroorganismene i fire grupper. De er som følger:

- en biologisk faktor i smitterisikogruppe 1 forårsaker vanligvis ikke infeksjonssykdom hos mennesker
- en biologisk faktor i smitterisikogruppe 2 kan forårsake infeksjonssykdom hos mennesker og være til fare for arbeidstakerne, det er usannsynlig at den vil spre seg til samfunnet og det finnes vanligvis effektive forebyggende tiltak eller behandling
- en biologisk faktor i smitterisikogruppe 3 kan forårsake alvorlig infeksjonssykdom hos mennesker og utgjøre en alvorlig fare for arbeidstakerne, det kan være risiko for spredning til samfunnet, men det finnes vanligvis effektive forebyggende tiltak eller behandling
- en biologisk faktor i smitterisikogruppe 4 forårsaker alvorlig infeksjonssykdom hos mennesker og utgjør en alvorlig fare for arbeidstakerne, det kan være stor risiko for spredning til samfunnet og det finnes vanligvis ingen effektive forebyggende tiltak eller behandling

I forhold til denne oppgaven er det kapittel 4: Verne- og sikkerhetstiltak som er av interesse.

Den første paragrafen under dette kapitlet, §8, handler om erstatning av biologiske faktorer. Her står det arbeidsgiver ikke skal bruke helsefarlige biologiske faktorer, dersom de kan erstattes med biologiske faktorer som er mindre helsefarlige for arbeidstaker.

§9 omhandler planlegging av arbeidet. Her står det at arbeidsgiver skal planlegge arbeidsprosesser og kontrolltiltak slik at forekomst av helsefarlige biologiske faktorer utenfor den primære inneslutning, unngås eller reduseres til lavest mulig nivå. Arbeidsgiver skal også sørge for at antall arbeidstakere som eksponeres eller kan bli eksponert for helsefarlige biologiske faktorer, er lavest mulig.

I §10 er det ramset opp endel vernetiltak som kan gjøres for å bedre sikkerheten til arbeidstakerne. Disse er:

- fjerning av kilden til skadelige biologiske faktorer
- nødvendige inneslutningstiltak skal iverksettes
- arbeidstøy og personlig verneutstyr
- eventuell vaksinasjon mot biologiske faktorer
- advarselsskilt

§11 omhandler inneslutningstiltak i laboratorier og isolasjonsenheter og er derfor veldig interessant med tanke på denne oppgaven. Det er laget 4 forskjellige inneslutningsnivå som er basert på smitterisikogrupperne som er nevnt tidligere. Dette er for å begrense infeksjonsrisikoen. Man setter i verk følgende inneslutningstiltak:

- minst inneslutningsnivå 2 for aktiviteter forbundet med biologiske faktorer i smitterisikogruppe 2
- minst inneslutningsnivå 3 for aktiviteter forbundet med biologiske faktorer i smitterisikogruppe 3
- minst inneslutningsnivå 4 for aktiviteter forbundet med biologiske faktorer i smitterisikogruppe 4

§11 beskriver også forskjellige inneslutningstiltak som er aktuelle for gitte situasjoner i isolater og laboratorier.

4.2 Lov om vern mot smittsomme sykdommer

Formål

Denne loven har som formål å verne befolkningen mot smittsomme sykdommer ved å forebygge dem og motvirke at de overføres i befolkningen, samt motvirke at slike sykdommer føres inn i Norge eller føres ut av Norge til andre land.

Loven skal sikre at helsemyndighetene og andre myndigheter setter i verk nødvendige smitteverntiltak og samordner sin virksomhet i smittevernarbeidet.

Loven skal ivareta rettssikkerheten til den enkelte som blir omfattet av smitteverntiltak etter loven.

Virkeområde

Lovens bestemmelser om tjenester og tiltak gjelder for enhver som oppholder seg i Norge.

Departementet kan gi forskrifter som begrenser anvendelsen av loven overfor personer som ikke er norske statsborgere, eller som ikke har bosted i Norge. Departementet kan også gi forskrifter om at loven skal gjelde for personer som oppholder seg i utlandet, mens som har tilknytning til Norge.

Departementet kan gi forskrifter om anvendelse av loven på Svalbard, Jan Mayen og kontinentalsokkelen, og på norske fartøy og luftfartøy hvor de enn befinner seg.

Lovens bestemmelser gjelder med de begrensninger som er anerkjent i folkeretten eller følger av overenskomst med fremmed stat.

Kongen kan gi regler til gjennomføring av avtale med fremmed stat om forhold som omfattes av denne loven.

Relevante punkter

De mest relevante punktene her ligger i definisjonen av forskjellige uttrykk.

Loven definerer smittsom sykdom som: ”en sykdom eller smittebærertilstand som er forårsaket av en mikroorganisme (smittestoff) eller en del av en slik mikroorganisme eller av en parasitt som kan overføres blant mennesker. Som smittsom sykdom regnes også sykdom som er forårsaket av gift (toksin) fra mikroorganismer.“

Definisjonen på en smittet person er: ”en person som har en smittsom sykdom som nevnt i nr. 1. For kroniske infeksjonssykdommer gjelder at en person anses som en smittet person bare når vedkommende er smitteførende eller frembyr slike tegn på aktiv sykdom som medfører at personen kan være smitteførende. Som en smittet person regnes også en person som det etter en faglig vurdering er grunn til å anta er en smittet person.“

Definisjonen på en allmennfarlig smittsom sykdom er: ”en sykdom som er særlig smittsom, eller som kan opptre hyppig, eller har høy dødelighet eller kan gi alvorlige eller varige skader, og som a) vanligvis fører til langvarig behandling, eventuelt sykehusinnleggelse, langvarig sykefravær eller rekonvalesens, eller b) kan få så stor utbredelse at sykdommen blir en vesentlig belastning for folkehelsen, eller c) utgjør en særlig belastning fordi det ikke fins effektive forebyggende tiltak eller helbredende behandling for dem.

I kapittel 5, §5-4 *Gjennomføring av isolering i sykehus* står det: ”Innleggelse til tvungen og kortvarig isolering etter §5-2 eller isolering etter §5-3 skal skje i en egnet sykehusavdeling eller sengepost. Avdelingen eller sengeposten skal være spesielt lagt til rette for å motta smittede slik at de kan få det medisinske og pleiemessige behandlingstilbud som vil føre til så kortvarig isolering som mulig.

Under isoleringen kan det iverksettes pleiemessige og sikkerhetsmessige tiltak for å gjennomføre en effektiv isolering. Tiltakene skal være begrenset til det som er helt påkrevd i forhold til faren for smitteoverføring. Oppholdet skal så langt råd er gi muligheter for normal livsutfoldelse og kontakt med nære pårørende.

Når særlige forhold krever det, kan smittede personer isoleres i andre institusjoner godkjent av Sosial- og helsedirektoratet.

Departementet kan i forskrifter fastsette nærmere krav til de fysiske og faglige forholdene ved sykehus og andre institusjoner som nyttes til isolering.“

4.3 Forskrift om smittevern i helsetjenesten

Formål

Forskriften har som formål å forebygge og begrense forekomsten av infeksjoner i helsetjenesten

Virkeområde

Forskriften gjelder for institusjoner som yter tjenester etter spesialisthelsetjenesteloven §1-2 og kommunehelsetjenesteloven §1-3 andre ledd nr. 6.

Forskriften gjelder ikke for kliniske psykologspesialisttjenester, medisinske laboratorier, røntgeninstitutt, ambulansetjeneste, medisinsk nødmeldetjeneste og kliniske legespesialisttjenester med unntak av dagkirurgiske klinikker.

Fylkesmannen kan bestemme at forskriften helt eller delvis kan fravikes i den utstrekning den ikke er relevant for virksomheten.

Relevante punkter

De aktuelle punktene ligger her under kapittel 2 *Infeksjonskontrollprogram, organisering og overvåkning*. Under §2-1 står det: "Alle institusjoner som omfattes av forskriften, skal ha et infeksjonskontrollprogram. Infeksjonskontrollprogrammet skal tilpasses den enkelte virksomhet og være basert på en risikovurdering og identifisering av kritiske punkter i institusjonen. Infeksjonskontrollprogrammet skal angi hvem som har det faglige og organisatoriske ansvaret for de tiltak programmet omfatter. Programmet skal også omfatte tiltak for å verne personalet mot smitte.

Ledelsen ved institusjonen skal sørge for at infeksjonskontrollprogrammet utformes, iverksettes og vedlikeholdes som en del av institusjonens internkontrollsystem.

Ledelsen ved institusjonen og enhver som utfører verv eller arbeid for denne, skal påse at bestemmelsene gitt i kapittel 2 overholdes."

I §2-2 som omhandler innhold i infeksjonskontrollprogrammet er det listet opp skriftlige retningslinjer for smitteverntiltak og retningslinjer vedrørende undersøkelse, behandling og pleie som skal være tilstede i infeksjonskontrollprogrammet.

4.4 Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter

Formål

Gjennom krav om systematisk gjennomføring av tiltak, skal denne forskriften fremme et forbedringsarbeid i virksomhetene innen

- arbeidsmiljø og sikkerhet
- forebygging av helseskade eller miljøforstyrrelser fra produkter eller forbrukertjenester
- vern av det ytre miljø mot forurensing og en bedre behandling av avfall slik at målene i helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen oppnås.

Virkeområde

Forskriften gjelder for virksomhet som omfattes av:

- lov om tilsyn med det elektriske anlegg og elektrisk utstyr (lov 24. mai 1929 nr. 4)
- sivilforsvarsloven §48 jf. §41 (industrivernpliktige virksomheter) (lov 17. juli 1953 nr. 9)
- produktkontrollloven (lov 11. juni 1976 nr. 79)
- arbeidsmiljøloven (lov 4. februar 1977 nr. 4)
- forurensingsloven, dersom virksomheten sysselsetter arbeidstaker (lov 13. mars 1981 nr. 6)
- genteknologiloven (lov 2. april 1993 nr. 38)
- strålevernloven (lov av 12. mai 2000 nr. 36)
- brann- og eksplosjonsvernloven (lov 14. juni 2002 nr. 20)

Denne forskrift kommer ikke til anvendelse på Svalbard eller på virksomhet som nevnt i arbeidsmiljøloven §2 nr. 3 jf. kongelig resolusjon av 27. november 1992 om arbeidervern og arbeidsmiljø i petroleumsvirksomheten.

Relevante punkter

I §3 defineres internkontroll som ”systematiske tiltak som skal sikre at virksomhetens aktiviteter planlegges, organiseres, utføres, og vedlikeholdes i samsvar med krav fastsatt i eller i medhold av helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen.“ I §4 *Plikt til internkontroll* står det at ”den som er ansvarlig for virksomheten skal sørge for at det innføres og utøves internkontroll i virksomheten og at dette gjøres i samarbeid med arbeidstakerne og deres representanter.

Arbeidstakerne skal medvirke ved innføring og utøvelse av internkontroll.“

4.5 Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen

Denne veiledningen gir anbefalinger og setter noen normverdier for noen faktorer, og for andre gis det grunnlag for vurdering. Under sammendraget i veiledningen står det flere viktige punkt angående klima og luftkvalitet på en arbeidsplass.

Temperaturen skal helst holdes under 22 °C de årstidene da det er behov for oppvarming av arbeidslokalene. Man må også ha en individuell reguleringsmulighet. Den operative temperaturen, som er en kombinasjon av lufttemperatur og strålingstemperatur, utenom følgende områder kan gi grunnlag for krav om tiltak:

Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels tungt arbeid	Tungt arbeid
Temperatur °C	19-26	16-26	10-26

Tabell 2: Temperaturgrenser som gir grunnlag for krav om tiltak

Dersom det er nødvendig skal arbeidsplassen også skjermes mot varmestråling, og mot kalde flater. Varmebelastning gir nedsatt oppmerksomhet og er en risikofaktor ved arbeid som krever aktpågivenhet.

Det er også fastsatt anbefalinger til lufthastigheter. Veiledningen anbefaler at lufthastigheten ikke overstiger 0,15 m/s på arbeidsplasser med fysisk lett arbeid.

Ventilasjonen skal behovsvurderes. Laveste luftmengder som kan aksepteres i nybygg eller ved omfattende renovering fastsettes som summen av følgende:

Luftbehov for mennesker	7,0 l/s pr. person
Utlufting fra materialer	0,78 - mer enn 2 l/s pr. m ² gulv
Tillegg for prosesser og aktiviteter	(1 l/s = 3,6 m ³ /time)

Dersom det ikke er mulig å holde temperaturen under 22 °C i vinterhalvåret så må man benytte høyere luftmengde på grunn av økt avdamping fra byggematerialer ved økt temperatur.

Resirkulering av luft kan nektes og vil ikke bli akseptert i nye anlegg på grunn av risiko for spredning av røyk, gass eller lukt. Luftfukting bør også unngås, men dersom det er nødvendig bør lavest mulig nivå holdes. Det er viktig med godt renhold av luftfuktere.

4.6 Veiledning om arbeidsmiljø på helseinstitusjoner

Denne veiledningen er utarbeidet for å gi best mulig råd og anbefalinger til hvordan funksjonskravene i *Forskrift om arbeidsplasser og arbeidslokaler* og *Forskrift om tungt og ensformig arbeid* skal forstås. Kapittel 12 *Smittefare* inneholder de mest relevante punkter for denne oppgaven. Her står det at ”arbeidsgiver må løpende vurdere risiko for smitte og sørge for at arbeidet planlegges og gjennomføres slik at risiko for smitte blir lavest mulig.“ Videre står det at ”arbeidsgiver må sørge for at personalet har nødvendig informasjon og opplæring om risiko, nødvendige tiltak og arbeidsrutiner. Skriftlige prosedyrer skal være slått opp på arbeidsplassen“ og ”arbeidsgiveren må sørge for nødvendig verneutstyr og tilby vaksiner. Det kan være nødvendig med helseundersøkelser dersom dette kan bidra til å forebygge eller redusere risikoen for å bli smittet eller å få helseskader om en skulle bli smittet.“ Det er også et punkt i veilederen som omhandler isolater. Det står her at ved behov for isolasjon av pasienter skal helseinstitusjonen disponere egne lokaler for slik isolasjon. Det skal også tilrettelegges for forrom eller luftsluse etter behov og være tilrettelagt for vask, dekontaminering og oppbevaring av arbeidstøy og personlig verneutstyr.

4.7 Isoleringsveilederen

Isoleringsveilederen er en veileder som retter hovedoppmerksomheten mot de rent tekniske forholdene i forbindelse med isolering og er derfor den mest relevante veilederen i forbindelse med denne oppgaven. Den er å anse som faglige anbefalinger og råd. Rådene skal være av god kvalitet og skal beskrive hva som er god praksis. Anbefalingene for luftsmitteisolater ligger under kapittel 3.2 *Luftsmitteisolat*. De overordnede kravene til et luftsmitteisolat er at:

- kontaminert luft ikke lekker ut av isolatet.
- pasienten gis forsvarlig behandling og pleie.
- personalet kan utføre sine oppgaver uten å bli utsatt for smittefare.
- smittestoffer ikke kommer ut av isolatet slik at personer utenfor isolatet utsettes for smittefare.

Så lenge et luftsmitteisolat overholder disse overordnede kravene, spiller det liten rolle hvilke tekniske løsninger som er brukt for å oppnå de. Luftsmitteisolater som fungerer godt, trenger altså ikke tilfredsstillende de anbefalte verdiene i veiledningen.

4.7.1 Pasientrommet

Følgende anbefalinger er gitt for pasientrommet:

Størrelse og utforming

Rommet skal være stort nok til å gi plass til nødvendig medisinsk teknisk utstyr og hvert sykehus skal også ha tilgang til rom med plass til mer plasskrevende medisinsk teknisk utstyr (respirator, dialysemaskin o.l.). Ved isolering av barn bør det i tillegg til plass for nødvendig apparatur være plass for besøkende og seng til en voksen person. For øvrig er anbefalingene om utforming de samme som for vanlige kontaktsmitteisolater som gitt i veilederen kapittel 3,1 side 13.

Rommets overflater

Det er viktig at rommet i minst mulig grad har brutte og horisontale flater, og at det er enkelt å rengjøre. Overgangene mellom gulv og vegg og mellom tak og vegg skal være glatte og uten lister. Gulv- og veggmaterialer skal tåle vask og kjemiske desinfeksjonsmidler godkjent for flatedesinfeksjon. Fargene bør være valgt slik at sprut og søl lett avsløres. Radiatorer og kjøleenheter bør ikke monteres inne i noen av rommene i isolatet, fordi slike innretninger er meget vanskelige å rengjøre og desinfisere.

Utrustning

Servanten på pasientrommet bør ha berøringsfri armatur (albukran, kne- eller fotstyring eller fotocelle). Det skal være mulig å justere temperaturen på vannet. Servanten monteres med forsegling mot vegg (fuktsperre) eller med minst 10 cm klaring til vegg for å lette renholdet. Det skal være veggfestet dispenser for såpe, engsnghåndklær og desinfeksjonsmiddel. Hverken hanskesker eller annet utstyr skal ligge på servanten. Det bør være veggfeste, kurv eller hylle for engangshansker i flere størrelser.

Rommet bør foruten allmenn belysning ha sengelys og uttak for tilkobling av undersøkelseslys. Takarmatur skal være innfelt i himling for å hindre oppsamling av støv på armaturet.

Valg av farger og tekstiler bør gjøres med tanke på pasientens trivsel. Tekstiler som gardiner og forheng, skal være enkle å demontere. Alle tekstiler som benyttes, bør tåle vask ved 85 °C i 10 minutter. Der andre hensyn er viktige - som flammehemmende effekt i gardiner og forheng - kan alternative kombinasjoner

av temperatur og desinfeksjonsmiddel vurderes. Bilder monteres i rammer med glass.

Foruten pasientsignal eller alarmsystem bør pasientrommet ha intercom. Det bør være muligheter for pasienten å benytte elektrisk utstyr som telefon, radio, TV og datamaskin. Utstyr som skal være i rommet velges og monteres med tanke på at det skal kunne dekkes helt eller delvis med vanntett emballasje under bruk og at eventuelle flater som ikke kan tildekkes, lar seg desinfisere med godkjent kjemisk desinfeksjonsmiddel.

Det bør være doble uttak for oksygen, trykkluft og vakuu, samt teknisk opplegg til eventuelt overvåkingsutstyr, tilstrekkelig antall stikkontakter og uttak for røntgenapparat (25 ampere). Noen isolater bør ha mulighet for tilkobling av dialyseapparat.

Ventilasjon

For å redusere risikoen for smittespredning via luft kreves kontrollert undertrykksventilasjon. Lufttrykket skal være lavere i pasientrommet enn i korridoren. Op grunn av de spesielle forholdene ved kontrollert undertrykksventilasjon - blant annet at vinduer ikke skal åpnes - skal temperatur og luftfuktighet kunne reguleres tilfredsstillende, fortrinnsvis med komplett luftkondisjonering. Mer om kravene til ventilasjon i kapittel 4.7.6.

4.7.2 Sluse

Ved isolering av spesielt smittsomme pasienter der luftsmitte er av betydning, er det nødvendig med en sluse. En sluse er et rom som er ventilert på en slik måte at luft ikke strømmer fra innenforliggende til utenforliggende rom. Slusen skal ha en ren og en uren sone og fungere slik at det er mulig å gå fra korridoren inn i den rene sonen og ut i korridoren igjen uten å måtte kle seg om. Det samme gjelder hvis man går fra pasientrommet til den urene sonen og tilbake. Hvis man derimot passerer slusen helt, det vil si går fra korridoren inn på pasientrommet eller omvendt, skal man måtte kle seg om ifølge de retningslinjer som gjelder. En forutsetning for at slusen skal fungere som en barriere mot luftsmitte, er at skillet mellom ren og uren sone er tydelig merket, og at bare en av dørene kan åpnes om gangen (forrigling). Forriglingen må kunne overstyres når sengen skal transporteres inn og ut av isolatet.

Størrelse

Slusen skal ha tilstrekkelig plass til nødvendig utrustning og til at to personer kan ta på eller av beskyttelsesutstyr samtidig. Dørene i slusen bør være montert

vis à vis hverandre. Døren mellom slusen og pasientrommet bør slå inn i slusen og døren mellom slusen og korridoren bør slå ut i korridoren for best mulig å holde døren tett når den er lukket. Dersom den tekniske løsningen på ventilasjonssystemet krever at en av dørene til slusen alltid er lukket, skal slusen størrelse tilpasses dette.

Rommets overflater

Forgangen skal ha minst mulig brutte og horisontale flater, og flatene skal være enkle å rengjøre. Overgangene mellom gulv og vegg og mellom tak og vegg skal være glatte og uten lister. Gulv - og veggmaterialer skal tåle vask og kjemiske desinfeksjonsmidler godkjente for flatedesinfeksjon. Farger bør velges slik at sprut og søl lett avsløres.

Utrustning

Forgangen skal ha servant med berøringsfri armatur (albukran, kne- eller fotstyring eller fotocelle). Det skal være mulig å justere temperaturen på vannet. Servanten monteres med forsegling mot vegg (fuktsperre) eller med minst 10 cm klaring til vegg for å lette renholdet. Det skal være speil, veggfestet dispenser for såpe, hånddesinfeksjonsmiddel og engangshåndklær. Hverken hanskesker eller annet utstyr skal ligge på servanten. Hvis det ikke finnes muligheter for servant i slusen skal det monteres dispenser med egnet hånddesinfeksjonsmiddel i forgangen, og det skal være tilgjengelig servant i umiddelbar nærhet utenfor slusen.

Det skal være tilstrekkelig antall knagger og hyller eller kurver til å sette fra seg utstyr som bringes inn eller ut av isolatet. Slusen kan med fordel ha skap til midlertidig lagring av engangsutstyr og rent flergangsutstyr. Det skal også være plass til beholdere med lokk til avfall og til tekstiler som brukte smittefrakker. Ut over dett bør slusen ikke være lagerplass for avfall eller brukt tøy.

Det bør være vindu mellom sluse og pasientrom med skjerming for direkte innsyn til pasienten. Skjermingen monteres i slusen.

Ventilasjon

Slusen skal ha undertrykk i forhold til korridor, men overtrykk i forhold til pasientrommet. Mer om dette i kapittel 4.7.6.

4.7.3 Toalett, dusj og dekontaminator

Adgang til toalett og dusj skal være fra pasientrommet og ikke fra slusen.

Størrelse og utforming

Rommet utformes og innredes med tanke på rehabiliteringspasient, rullestolbruker etc., og med tanke på at personalet kan bistå en pasient som benytter hjelpemidler. Det skal da være tilstrekkelig fri gulvplass til å manøvrere og snu en gåstol eller rullestol. Til dette trengs 140 x 140 cm fri gulvflate.

Er det montert dekontaminator med frontåpning beregnes det en fri sone på 70 cm foran maskinen for åpning av frontluke. Monteres det dekontaminator med toppåpning hvor toppen av maskinen ikke kan benyttes som arbeidsplass, avsettes det en sone på 65 x 65 cm for arbeidsplate ved siden av.

Fallet til avløpet for dusj skal være slik at vann ikke renner utenfor dusjsonen. Det bør ikke legges terskel da denne vil være til hinder for manøvrering av dusjstol og vanskeliggjøre renholdet.

Rommets overflater

Rommet skal utformes med tanke på at renhold og desinfeksjon skal kunne utføres lettest mulig. Veggene skal ha glatte, vannbestandige flater. Vegg- og gulvmaterialer skal tåle kjemiske desinfeksjonsmidler godkjente for flatedesinfeksjon. Ved bruk av fliser skal det benyttes fugemateriale som hindrer vekst av sopp og bakterier. Glatte overganger mellom gulv, vegg og tak skal tilstrebes.

Utrustning

Isolatets toalett og dusj skal i tillegg til fast montert utstyr ha det utstyret som er nødvendig for pasientens personlige hygiene, inkludert servant med speil og hylle eller benkeplate for toalettsaker. Servanten monteres med forsegling mot vegg (fuktsperre) eller med minst 10 cm klaring til vegg for å lette renholdet. Rullestolbrukere skal kunne kjøre bena inn under servanten. Det skal være mulig å tappe både varmt og kaldt vann. Speilet skal rekke så langt ned at sittende pasienter også kan benytte det.

Dusjen bør være en hånddusj med veggfeste. Dusjen bør monteres i tilknytning til et av rommets hjørner med sprutskjerming ved hjelp av forheng som tåler vask ved 85 °C. Dusjkabinett skal ikke benyttes fordi dette vanskeliggjør renhold og desinfeksjon.

Toalett med avløp bør være festet til vegg for å lette renholdet.

Dekontaminatoren skal monteres i samme rom som toalett og dusj, alternativt i eget desinfeksjonsrom. Det skal være en arbeidsbenk for personalet for klargjøring av prøver og nødvendig skap og hylleplass. Frontbetjent dekontaminator med maksimum 90 cm kabinetthøyde gir mulighet for bruk av topplaten som arbeidsbenk.

Det skal legges opp armatur, ev. hånddusj for fylling av bøtte, og finnes et oppheng for moppestativ eller langkost. Desinfeksjonsmidler oppbevares i låsbart skap.

4.7.4 Bad

Tilgang til badekar kan være nødvendig for isolerte pasienter i avdelinger der behandling av pasientens grunnsykdom krever dette, f.eks hud- og brannskadeavdelinger. Det bør da være direkte inngang fra pasientrommet til et separat bad som kan reserveres for den isolerte pasienten så lenge isoleringen pågår. Alternativt kan rommet for toalett og dusj gjøres så stort at det kan plasseres et mobilt badekar og nødvendig tilbehør der ved behov. Det skal avsettes tilstrekkelig plass til at personalet kan ha fri arbeidsplass rundt hele badekaret.

4.7.5 Desinfeksjonsrom

Et isolat skal ha dekontaminator i tilknytning til toalett og dusj, alternativt eget desinfeksjonsrom. Dersom isolatet har eget desinfeksjonsrom er kravene de samme som for ”Toalett, dusj og dekontaminator“.

4.7.6 Krav til ventilasjon av et luftsmitteisolat

Luftbårne partikler påvirkes av tyngdekraften og dette bidrar til å rense luften. Fallhastigheten er avhengig av partikkelstørrelsen og er i stillestående luft slik som vist i tabell (3):

<i>Partikkeltype</i>	<i>Partikkelstørrelse</i>	<i>Fallhastighet</i>	<i>Tid det tar å falle 1 m</i>
Dråpe	100 μm	30 cm/sek	3 sek
Hudpartikkel	14 μm	0,6 cm/sek	3 min
Dråpekjerne	1 μm	0,003 cm/sek	9 timer

Tabell 3: Partikkelstørrelse og fallhastighet

I tabell 4 er det lagd en sammenheng mellom antal luftskifter per time og tid for å oppnå en viss fortynningsgrad.

Det stilles spesielle krav til ventilasjon i isolater beregnet for luftsmitte. Ventilasjonen skal bidra til å redusere risikoen for smittespredning på to måter:

<i>Luftskiftninger per time</i>	<i>Fortynningstid i min:</i>		
	90 %	99 %	99,9 %
1	138	276	414
3	46	92	138
6	23	46	69
9	15	31	46
12	12	23	35
15	9	18	28
18	8	15	23

Tabell 4: Fortynning av smittestoff

- Ved å hindre spredning av luftbårne mikrober til tilstøtende rom og omgivelsene for øvrig.
- Ved å redusere mengden av luftbårne mikrober i pasientrommet.

Det er flere måter å måle effekten av ventilasjonen på. Disse er:

1. **Trykkgradient** mellom pasientrom og sluse og mellom sluse og korridor. Ønsket trykkgradient mellom pasientrom og sluse er gjerne angitt som minimum 10 Pa og mellom sluse og korridor som minimum 5 Pa, slik at trykkforskjellen mellom pasientrom og korridor blir minimum 15 Pa.
2. **Lufthastighet** inn i pasientrommet. Ønsket lufthastighet inn i pasientrommet fra slusen er gjerne angitt til minst 0,5 m/s målt under døren med døren lukket.
3. **Luftskiftninger** i pasientrommet. Ønsket antall luftskiftninger i pasientrommet er gjerne angitt til minst 12 luftskiftninger per time.

Verdiene som er angitt ovenfor må anses som veiledende da det er funksjonskravene angitt nedenfor, som er viktige. Ventilasjonen legges opp etter følgende retningslinjer:

Kanalsystem

- Luften skal ikke resirkuleres, verken via et sentralt ventilasjonssystem eller ved hjelp av resirkuleringsenheter inne i rommet.
- Avtrekket fra isolatet skal enten gå i et helt separat kanalsystem eller tilføres bygningens generelle avtrekkssystem etter high efficiency particulate air filtration (HEPA-filtrering). I sistnevnte tilfelle skal luftstrømmen inn, henholdsvis ut av bygningen være fullstendig atskilt.

- Utblåsningspunktet på bygningens utside må plasseres i stor avstand til luftinntaket slik at luften som dras inn ikke kan bli forurenset. Det må heller ikke plasseres slik at forurenset luft kan trekkes inni bygningen via vinduer som åpne, og må være i god avstand til området med alminnelig ferdsel.
- Det skal være mulig å skifte filter, foreta annet vedlikehold og reparere vifter, spjeld og kanalsystem slik at de som utfører arbeidet ikke utsettes for smitte.
- Innluften skal være regulerbar med hensyn til fuktighet. Temperaturen skal kunne reguleres for hvert pasientrom.
- Innluften bør filtreres slik at luften inn i isolatet er mest mulig partikkelfri, da det vil forlenge driftstiden for filtrene i uteluftkanalen.
- Det bør være mulig å koble inn et reservesystem ved driftsstans og nødvendig vedlikehold av anlegget slik at man til enhver tid kan ha full kontroll over den kontaminerte luften som er i isolatet eller i kanalsystemet. Dette kan løses ved at kanalene fra to og to isolater kobles sammen med spjeld i tverrkanalene og med tilstrekkelig kapasitet på de to viftene til at den ene kan overta for den andre i slike situasjoner. I normal driftssituasjon vil de operere hver for seg.
- Dersom utluftaggregatet skulle stanse, skal innluftaggregatet stanse automatisk slik at det ikke kan oppstå trykkgradienter som gjør at kontaminert luft ukontrollert kan føres ut av isolatet til resten av bygningen eller til omgivelsene.
- Avtrekkskanalene må være utstyrt med spjeld som forhindrer tilbakestrøm av luft ved driftsstans i ventilasjonssystemet.
- Det skal dokumenteres at anlegget fungerer med hensyn på fortyningstid og inneslutningsgrad. Luftbevegelser og strømningsmønster dokumenteres både i forhold til trekk for pasienten og i forhold til dødsoner og eventuell kortslutning. Testene utføres med personer i rommet.
- Ventilasjonsanlegget skal være støysvakt slik at pasient og personale ikke påføres ubehag og stress ved å oppholde seg i isolatet. Høyeste grenseverdier for senge- eller beboerrom og fellesrom er 32 dB (Klasse C: $L_{Amax} = 32$ dB og $L_{Cmax} = 50$ dB), men bør være enda lavere.
- Anlegget skal være utstyrt med lett synlige måleinstrumenter for trykk og temperatur og skal ha et alarmsystem som utløses hvis trykkgradienten

skulle falle under det som er nødvendig for sikker drift av isolatet. Overvåkningsinstrumenter skal lett kunne avleses utenfor isoleringsenheten. Alarm sokal også være synlig for personalet inne i isolatet.

Pasientrommet

- Pasientrommet skal ha undertrykk i forhold til sluse og korridor.
- Når døren mellom sluse og pasientrom står åpen, skal det hele tiden føres luft fra slusen inn i pasientrommet.
- Tilførsels- og avtrekksventiler skal plasseres slik at inn- og utsuging skjer på en korrekt måte, og at luftstrømmen sirkulerer uten dødsoner.
- Når det benyttes avtrekksventiler ved gulv, bør ventilen plasseres slik på veggen at nedre kant av ventilen ligger minst 15 cm over gulvet.
- Trykkforhold skal kunne overvåkes kontinuerlig og ha adekvate alarmsystemer.

Slusen

- Det skal være en luftsluse mellom pasientrom og korridor.
- Slusen skal ha undertrykk i forhold til korridor og overtrykk i forhold til pasientrom.
- Når døren mellom korridor og sluse står åpen, skal det hele tiden føres luft fra korridoren og inn i slusen.
- Døren fra pasientrom til sluse og døren fra sluse til korridor skal ikke kunne åpnes samtidig når isolatet er i bruk (forrigling). Forriglingen må kunne overstyres.
- Et eventuelt gjennomstikkskap mellom sluse og korridor skal ha samme trykkforhold som slusen. Et eventuelt gjennomstikkskap mellom sluse og bad skal ha lavere trykk enn i slusen, men høyere enn i badet. Dørene til gjennomstikkskapene skal være forriglet.

Bad eller toalett

- Bad eller toalett skal ha undertrykk i forhold til korridor. Det bør også ha undertrykk i forhold til pasientrommet på grunn av lukt, fukt osv., men kan ha samme trykk som pasientrommet.

Overvåkning

- Trykkdifferansen mellom pasientrom og sluse kunne overvåkes kontinuerlig og gi alarm dersom undertrykket ikke opprettholdes, men uten at normal passasje gjennom dørene utløser alarm. Undertrykket mellom pasientrom og sluse bør også kunne leses av på instrument som er plassert utenfor isoleringsenheten.
- I sykehusets interkontrollsystem skal det fastsettes hvor ofte ventilasjonssystemet skal kontrolleres både når luftsmitteregimet er iverksatt og når isolatet står tomt eller brukes til pasienter som ikke krever luftsmitteisolering. Kontrollene kan blant annet inneholde tester for bygningsmessig tetthet (for å kunne oppnå trykkforskjeller), kanaltetthet (for å sikre luftmengder og hindre smittespredning), HEPA-filter lekkasjeprøving (for å hindre smittespredning) og reservefunksjoner.

5 Forskjellige isolatløsninger

Isoleringsveilederen gir fire overordnede krav til luftsmitteisolater og sier at så lenge disse kravene blir overholdt så spiller det liten rolle hvilke tekniske løsninger som brukes for å oppnå dem. Det finnes derfor på de mange sykehusene rundt om i landet mange forskjellige typer luftsmitteisolater med forskjellige løsninger. I dette kapitlet presenteres prinsippet til isolatene på SSHF Kristiansand samt tre alternative løsninger. Disse er:

- ”Klean“, utformet av firmaet Klean ASA
- ”ABB“, utformet av ABB i utviklingsprosjektet FALS
- ”ASA“, løsning som er montert på Sørlandet Sykehus Arendal¹⁴ prosjektert av Techno Consult AS
- ”Unico“, løsning på Sørlandet Sykehus Kristiansand utformet av Rambøll Kristiansand (tidligere Unico)

5.1 ”Unico“-løsningen

”Unico“-løsningen er utformet av RIV¹⁵ på Rambøll Kristiansand, tidligere Unico. Denne løsningen bruker prinsippet om forsert ventilasjon. Dette vil si ved åpning av døren til sengerommet er det forsert strømming fra sluse til sengerom for å redusere transporten fra sengerom til sluse. Dessuten vil også luftmengden i slusen øke kraftig etter stenging av dør fra pasientrom for å ventilere bort evnetuelle smittestoff som er dratt med luften fra isolatet og ut i slusen. Uttyningen av smittestoff skjer i fire trinn:[13]

1. Uttykning av smittestoff i sengerom ved at dette ventileres med 12 luftskifter per time.
2. Ved åpning av dør er det forsert strømming fra sluse til sengerom som bidrar betydelig til å redusere transporten av smittestoff fra sengerom til sluse.
3. Ved at dør fra sluse til korridor ikke kan åpnes før etter en viss tid, så tynnes smittestoffene ytterligere ut.
4. Korridoren har stort luftvolum og er også ventilert, noe som fører til ytterligere uttykning.

¹⁴tidligere Aust-Agder Sentralsykehus

¹⁵RIV = Rådgivende Ingeniør VVS, VVS-avdeling i Rambøll

Luftsmitteisolatene ved sykehuset i Kristiansand kan også fungere som vanlige pasientrom dersom man ikke har pasienter som trenger isolering. Dette gjøres ved å koble om ventilasjonssystemet fra ”isolatventilasjon“ til ”normalventilasjon“.[13]

5.1.1 Ventilasjonssystem

Ventilasjonssystemet ved isolatene er selvfølgelig svært viktige for å kunne opprettholde funksjonen. Svikter dette av en eller annen grunn vil man ikke ha kontroll på luftbevegelsene.[13]

Generelt

Ved isolatene på SSHF Kristiansand tilføres det kun uteluft, ikke omluft. Det holdes ved hjelp av VAV-spjeld en konstant hovedluftsmengde totalt inn til hvert av isolatene. Hovedluftsmengden fordeles til de ulike rommene i isolatet ettersom hvilke posisjoner dørene står i. Dette er for å motvirke de termiske luftstrømmningene som oppstår ved åpne dører. Avtrekket er på badet slik at avtrekksluften får korteste vei til opp til filteranlegget som ligger over isolatet i teknisk mellometasje. Det er også av prinsipp brukt mest mulig standard utstyr og komponenter slik at service skal være enkelt og reservedeler skal være lett å få tak i.[13]

Driftstider

Anlegget har normalt kontinuerlig drift, men er forberedt for tidsstyrt drift. Isolatene har individuell styring av temperaturen i rommet, inkludert tidsstyrt nattsenkning. Ved oppstart åpner først avkastspjeld og avtrekksviften starter. Dersom tilluftsspjeldet ikke åpner innen innstilt tid, går det en alarm og anlegget stanser.[13]

Temperaturstyring

Tilluftstemperaturen skal styres etter romtemperaturen på isolatet, dersom den ikke overgår den satte minimums- og maksimumstemperaturen. Tilluftstemperaturen kan også ved hjelp av varme- og kjølebatteri styres individuelt. Ved et varmebehov gis det pådrag på batteriveksleren for å opprettholde null pådrag på det rommet med minst varmebehov. Dersom man har et større varmebehov enn tilluftstemperaturen kan gi, vil det kobles inn et ettervarmebatteri (sekvens 1) og deretter gulvvarme (sekvens 2). Ved maksimal tilluftstemperatur vil gulvvarmen gå uavhengig av pådraget på ettervarmebatteriet.[13]

Styring av undertrykk

Det skal holdes et konstant undertrykk i isolat og sluse ved hjelp av mekanisk ventilasjon. Luftmengdene kan leses av som et 0-10 V signal. Ved lavt undertrykk vil det utløses en forsinket akustisk og visuell alarm på alarmpanel samt alarm på SD-anlegget. Undertrykket i rommet settes ut fra konstant luftmengdesignal til volusst eller VAV spjeld. Det er plassert slike spjeld ved hver tilluftskanal til rommene. Ekstern automatikk sørger for å styre åpning og lukking av spjeldene avhengig av dørposisjoner. Spjeldene styres og overvåkes fra SD-anlegget. Verdien innstilles under innregulering. Utgangssignalet skal sammenlignes med tilbakemeldingssignalet. Ved et gitt avvik over en gitt tid skal alarm gis. Driftsoperatører skal kunne justere maksimalt avvik, tidsforsinkelse og utgangssignal fra skjerm bilde.[13]

Undertrykket skal ligge innenfor toleransene som er gitt i tabell 5.

	Sluse	Pasientrom
Minimum	-5 Pa	-15 Pa
Normal	-15 Pa	-22 Pa

Tabell 5: Toleranser for undertrykk i forhold til korridor

Disse verdiene kan leses av på et display som er montert i korridoren ved døren til slusen.[13]

Ved driftsstans og unormale driftssituasjoner vil det kobles inn en bypassventilasjon. Det startes da en reservevifte som opprettholder nødvendig undertrykk i pasientrommet. I tillegg stenger spjeld slik at kontaminert luft ikke kommer ut i korridor gjennom kanalsystemet.[13]

5.1.2 Dørløsninger

Det er installert skyvedør mellom sluse og korridor som åpnes med trykknapp. Døren vil normalt åpne seg halvveis slik at man minimerer luftstrømningen gjennom døren. Ved sengetransport kan dette overstyres og døren kan åpnes helt opp. Døren mellom slusen og pasientrommet er en såkalt bussdør. Den fungerer som en vanlig svingdør, men den er hengslet på midten. Dette gjør at ved normal ferdsel gjennom døren vil bare halve delen åpnes, slik at luftstrømningen minimeres. Ved sengetransport kan også denne døren åpnes helt opp.[13]

Dørene er også forriglet. Det vil si at man ikke kan åpne begge dørene samtidig (interlock). Dette er for å hindre luftstrømning fra pasientrom via sluse til korridor. Dersom døren til pasientrommet har vært helt oppe så skal minimum oppholdstid i slusen være 2 minutter med begge dører stengt. Forriglingen kan overstyres ved for eksempel sengetransport slik at begge dørene kan stå oppe samtidig.[13]

5.2 ”Klean“-løsningen

5.2.1 Generelt

Dette er en løsning som er utformet av firmaet Klean ASA og er en av de mer innarbeidede og anerkjente løsningene på markedet. Klean leverer blant annet isolater til den nye fløyen på Haugesund og Haukeland Sykehus. De leverer i tillegg til undertrykksisolater også isolater beregnet for immunsupprimerte pasienter, overtrykksisolater.

Denne løsningen har hovedsakelig de samme tekniske prinsippene som ”Unico“-løsningen, men det er allikevel noen forskjeller. Blant annet så baserer denne løsningen seg på omluftskjøring og det brukes kun mindre deler av uteluft i systemet. Denne omluften blir filtrert og bestrålt av UVC lys før gjenbruk. I tillegg blir alle filterflater også bestrålt av UVC lys for å desinfisere overflatene innvendig i ventilasjonsanlegget.

Det brukes en såkalt mekanisk luftgaffel for å regulere undertrykket i rommet. Luftgaffelen flytter luftmengden mellom rommene slik at de termiske luftstrømningene gjennom dørene motvirkes av luftstrømningene som går fra sluse og inn til sengerommet, eller fra korridor og inn til sengerommet. Man har også et eget aggregat for hvert rom. ”Klean“-systemet har ingen reserveløsning dersom anlegget skulle oppleve driftsstans eller unormale driftstilstander.[6]

En annen forskjell fra Unicos løsning er at det i stor grad benyttes spesialutstyr og deler av utstyret og løsningen er patentert.[6]

5.2.2 Funksjonstesting av isolat

Sivilingeniør Helge Bringe AS har på oppdrag fra Helse Bergen foretatt en funksjonstesting av isolatene ved Haukeland Sykehus i Bergen. Dette er gjort for å se om isolatene kravene fra Helsetilsynet og øvrige krav i byggeforskriftene. Funksjonstesten ligger i vedlegg A.1.[5]

5.3 ”ABB“-løsningen

5.3.1 Generelt

ABB har levert isolatløsninger til flere sykehus, deriblant Lovisenberg Diakonale sykehus i Oslo. Denne løsningen er et samarbeid mellom SINTEF, flere sykehus og andre samarbeidspartnere etter mal fra et omfattende utviklingsprosjekt med betegnelsen FALS¹⁶. [6]

¹⁶Forebygging Av Luftbårne Sykehusinfeksjoner

Løsningen er litt annerledes enn de to foregående. Her har man bygget isolatene som separate elementer. Disse elementene er laget i tre, stål eller aluminium og skal være tilnærmet hermetisk lukket. Det vil si at man ikke har noe tilsiktet overstrømning av luft over eller under dørene som i de to foregående løsningene.[6]

Det er også i denne løsningen undertrykk på isolatet. Dette opprettholdes ved å kontinuerlig regulere luftmengdene. Tilluftsventiler er plassert i sluse og sengerom mens man kun har avtrekk på skyllerommet.[6]

Etter at dør mellom sluse og sengerom har vært åpnet vil det foregå en sjokkventilering av slusen. Det vil si at tilluftsmengden i slusen økes til 800 m^3 i 2 minutter.[6]

I vedlegg A.2 ligger oversikt over ventilasjons- og reguleringssystemene til isolatet samt en prinsippskisse over romfordelingen.[6]

5.4 ”ASA“-løsningen

5.4.1 Generelt

Dette er en løsning som er prosjektert av Techno Consult AS som nå er en del av Norconsult. Denne løsningen er til nå bare brukt ved Sørlandet Sykehus Arendal.[6]

Hovedluftmengden til isolatet er styrt av VAV spjeld som ved Unicos løsning. Mengden kan enkelt stilles om slik at man kan få undertrykk, overtrykk eller nøytralt trykk. Det vil si at dette er et isolat som også kan brukes som et normalt pasientrom. Det kan også brukes som isolat for immunsuprimerte pasienter fordi det kan brukes som overtrykksisolat. Tilluftsuttak er plassert i sluse og sengerom, det samme er tilfellet med avtrekket.[6]

Ved undertrykksventilasjon så strømmer det ca. $200 \text{ m}^3/\text{h}$ luft fra korridor og inn til sengerommet via tilsiktet luftoverstrømning gjennom dørene.[6]

5.5 Oppsummering

I tabell 6 er det en oversikt over prinsippene til de forskjellige løsningene.

5.6 Sammenlikning

Et av systemene som er skikkelig utprøvd og innarbeidet i markedet er ”Klean“-løsningen. Denne løsningen er kjent som en sikker og veldig god løsning som i stor grad holder smittestoffet unna omgivelsene dels på grunn av den forserte ventilasjonen og dels på grunn av UVC belysning på filter og overflater i ventilasjonsanlegget. Løsningen bruker imidlertid en stor grad av omluft, noe som fører til ekstra usikkerhet. Omluftskjøring kan allikevel ha positive sider da temperaturforskjellene i rommene kan bli mindre siden man kjører den samme opp-

Punkt	Funksjon	”Unico“	”Klean“	”ABB“	”ASA“
1	Undertrykk med fast luftmengde				X
2	Undertrykk med styrt luftmengde gjennom dører	X	X		
3	Undertrykk med sjokkventilering av sluse			X	
4	Vekslende overtrykk/undertrykk/nøytralt trykk				X
5	UVC beståling innvendig i kanalnettet og omluft		X		
6	Desinfiserbart avtrekkskanaler fra rom til filter (uten bruk av gass)	X	X		

Tabell 6: Prinsipper ved ulike isolatløsninger

varmede luften inn igjen. Det er heller ikke installert noe back-up løsning dersom det skulle oppstå driftsstans eller unormale driftssituasjoner. Driftssikkerheten til luftgaffelen kan det også stilles visse kritiske spørsmål til. Dessuten er det foretatt patentering på deler av løsningen noe som kan føre til en mer kostbar løsning. I funksjonstesten i vedlegg A.1 skriver Sivilingeniør Helge Bringe at Kleans system tilfredstiller med god margin de krav for å hindre smittespredning som foreligger fra Statens Helsetilsyn for et luftsmitteisolat av strengeste kategori.

ABBs løsning brukes i likhet med Kleans også ved flere sykehus i landet. Denne løsningen er laget i samarbeid med SINTEF og diverse sykehus rundt om i landet i samarbeids- og utviklingsprosjektet FALS. Her bruker man helstøpte enheter laget i aluminium, stål eller tre som skal være tilnærmet hermetisk lukkede fra omgivelsene. Denne løsningen er også kjent som en meget stabil og sikker løsning som holder smittestoffene unna. Oppholdstiden i slusen blir lengre enn for både Kleans og Unicos system, den blir opp mot 2 minutter. Dette er på grunn av at en del av prinsippet går ut på å sjokkventilere slusen ved etter at døren fra sluse til sengerom har vært åpnet. Sjokkventileringsprinsippet kan også føre med seg problemer ved at en plutselig økning i luftmengden ut i slusen kan føre til et overtrykk her i forhold til korridoren. Dette kan igjen føre til at smittestoff kan bevege seg gjennom eventuelle utettheter og ut i korridoren.

”ASA“-løsningen er kanskje den minst kjente av dem. Denne er utviklet av Techno Consult for daværende Aust-Agder Sentralsykehus. Dette er et isolat som både kan brukes som undertrykks- og overtrykksisolat, samt at det kan kjøres ved normalt trykk. I Isoleringsveilederen anbefales ikke isolater som har omvendbar ventilasjon fordi slike isolater er teknisk svært vanskelig å få til og gir muligheter for feilbruk av systemet. Denne løsningen har også tilluft og avtrekk montert både i sluse og sengerom. Dette er antatt å være en dårligere løsning enn de foregående

som har kun avtrekk på skyllerom. Dette fordi man ved avtrekk i sluse og korridor kan risikere å ikke få en riktig trykkgradient i rommene. Oppholdstiden i slusen bør i dette isolatet være lengre enn de foregående på grunn av plassering av tilluft og avtrekk.

Den løsningen som likner mest på Kleans er Unicos løsning som brukes på SSHF Kristiansand. Ved stengte dører vil det være svært lite sannsynlig at det kommer ut noe som helst smittestoff i omgivelsene ettersom det er forsert ventilasjon som går fra korridoren gjennom slusen og pasientrommet og ut i avtrekket i skyllerommet. Til forskjell fra Kleans løsning bruker denne løsningen bare uteluft. Dette vil gi en bedre sikkerhet mot smittespredning samt at det vil gi bedre innemiljø i isolatet. En annen forskjell er at Unicos system ikke bruker UVC-belysning på indre overflater og filtre. Denne løsningen bruker stort sett kjente og standard komponenter noe som gjør den billigere enn de andre systemene.

Samtlige isolater har en dørløsning som er slik at man kun åpner halve delen av dørene ved vanlig inngang og utgang, noe som vil forhindre noe luftutveksling. Dørene kan ved behov åpnes helt, som ved for eksempel sengetransport.

En oppsummering er vist i tabell 7

Punkt	Funksjon	”Unico“	”Klean“	”ABB“	”ASA“
1	Teoretisk luftutslipp til korridor ved dørpassasje	Minimalt	Minimalt	Minimalt	Moderat
2	Nødvendig oppholdstid i sluse	Mindre enn 60 s	Mindre enn 60 s	2 min	5 min
3	Erfaringer/referanser	OK	OK+	OK+	-
4	Stabilitet av undertrykk	OK	OK	OK	OK
5	Sikkerhet ved stans (reserveløsning)	OK+	-	?	-
6	Servicevennlighet	OK	OK-	OK	OK
7	Desinfiserbart uten omfattende gassing	OK	OK+	-	-

Tabell 7: Oppsummering av isolatenes egenskaper

6 Teoretisk basis

6.1 Innledning

Et isolat har som hovedmål å hindre smittestoff fra pasienten i å komme ut til resten av omgivelsene. I luftsmitteisolater benyttes et kunstig undertrykk for å få til dette. Undertrykket skaper luftstrømninger gjennom åpningene mellom isolasjonen og omgivelsene.

6.2 Åpninger

Åpningenes størrelse og form har mye å si på karakteristikken til strømmingen gjennom den. Man deler gjerne åpningene inn i to hovedtyper; åpninger som er blitt installert for en viss hensikt (hovedgruppe 1) og andre typer åpninger (hovedgruppe 2).[21]

6.2.1 Åpninger installert for en hensikt

Disse åpningene er som navnet sier definert som åpninger som er blitt installert for en hensikt, som oftest ventilasjon. To eksempler som kan nevnes er lufteventiler og vinduer som kan åpnes. Andre eksempler er kanaler for mekaniske ventilasjonssystem, åpninger for avtrekksvifter og piper. Disse åpningene vil spille inn på ventilasjonen i rommet både når de er i bruk og når de ikke er i bruk. Man deler denne typen åpninger inn i tre undergrupper, lufteventiler, vinduer som kan åpnes og passive luftekanaler. Det er fire viktige kjennetegn på denne hovedgruppen. De er:[21]

- (a) innløpet og utløpets posisjoner er tydelige.
- (b) formen og størrelsen kan måles direkte.
- (c) formen er relativt simpel.
- (d) posisjonen, formen og størrelsen er kjent før konstruksjonen av bygningen.

Det tredje kjennetegnet betyr at kunnskap om strømningskarakteristikker til en liten mengde med geometrier inkluderer kjennskap til mesteparten av åpningene. Det fjerde kjennetegnet betyr at strømningsrater kan bli forutsagt ved designstadiet og uten behov for målinger på stedet. Relativt sett så kan man si at denne hovedgruppen med åpninger skaper få problemer i forhold til åpninger i den andre hovedgruppen. [21]

Lufteventiler kommer i alle slags utforminger og størrelser. De vanligste eksemplene er ventiler over vinduer, ventilrister i vegger og vinduer og perforert

teglstein. På noen ventiler kan man justere åpningsarealet manuelt. Noen typer har også åpningsareal som justeres automatisk med den hensikt å skape en konstant strømningsrate ved forskjellige forhold. Lufteventiler i boliger har som oftest et åpningsareal på under 100 cm², mens lufteventiler i industribygg og næringsbygg ofte kan være mye større. Vanligvis er hensikten med en ventil å forsikre at en viss minimumsventilasjon vil oppnås under de fleste betingelser. De brukes også sammen med mekanisk ventilasjon for at man skal oppnå et ønsket strømningsbilde i rommet. På generelt grunnlag kan det derfor sies at lufteventiler ikke kan levere høye ventilasjonsrater. Denne funksjonen blir i stedet utført av vinduer.[21]

Vinduer kan deles inn i tre typer; sidehengt vindu, dreibart vindu og skyvevindu. De to første har en åpningssekvens som kan minne om en skovl der luft blir dratt med av vinduet. Dette kan ha en betydelig aerodynamisk effekt. Skyvevinduet kan på mange måter sammenliknes med en ventil, selv om det er mye større.[21]

Passive luftekanaler er veldig annerledes enn de to andre typene i formen, selv om de har de fleste kjennetegnene til denne hovedgruppen av åpninger.[21]

6.2.2 Andre typer åpninger

Dette er alle åpninger som ikke kan klassifiseres i den andre hovedgruppen. Disse kan igjen deles inn i to undergrupper; komponentåpninger og bakgrunnsåpninger.[21]

Komponentåpninger er hullene eller sprekke i komponenter i bygningen som kan åpnes, for eksempel dører, vinduer og luker. Vanligvis så innehar disse åpningene det første kjennetegnet til den andre hovedgruppen. Av og til kan de også inneha det andre og tredje kjennetegnet, men svært sjelden det fjerde. Et eksempel på en åpning som har de tre første kjennetegnene er sprekken under en dør. De fleste komponentåpninger er vanskelige å måle direkte selv om formen er enkel. Dette skyldes som regel fysiske problemer ved bruk av måleutstyr og den store variasjonen i bredde over lengden av åpningen. [21]

Bakgrunnsåpninger er åpninger som ikke kan klassifiseres som komponentåpninger. Disse åpningene har få eller ingen av den andre hovedgruppens kjennetegn. Eksempler på slike åpninger kan være:

- sprekker i vegger og tak
- sprekker rundt dør- og vinduskarmer
- spalter ved vegg/tak og vegg/gulv overganger
- serviceåpninger (gass, vann, elektrisitet)
- spalter i gulv, spesielt gulvbord
- porøse bygningsmaterialer

I tabell (6.2.2) er en oversikt over vanlige åpningsareal til forskjellige åpninger:

Åpningstype	Effektivt areal (cm ²)
Lufteventil for boliger	50
Dør uten tetningslist	30-200
Dør med tetningslist	3-50
Bakgrunnsåpning i rom med solid gulv	20-60
Totale åpninger av hovedgruppe 2 i et hus	300-3000

Tabell 8: Vanlige åpningsareal til noen typer åpninger

6.2.3 Skarpkantede og smale åpninger

Man kan også dele åpningene inn i skarpkantede og smale åpninger. *Skarpkantede åpninger* er åpninger der bredden til åpningen er mye større enn dybden til åpningen. Eksempler på slike åpninger er dører, vinduer, enkelte lufteventiler.

Smale åpninger er karakterisert med en dybde som er mye større enn bredden til åpningen, altså motsetningen til skarpkantede åpninger. Eksempler på dette er enkelte lufteventiler og de fleste åpningene i hovedgruppe 2.

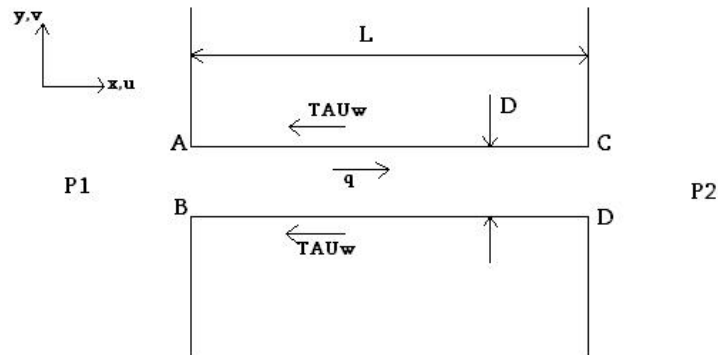
6.3 Kontinuitets, moment og energilikningene

Den viktigste størrelsen innen beregninger av luftstrømninger fra et rom til et annet er volumraten, q , gjennom en åpning. Derfor legges det vekt på likninger som kan brukes til å beregne denne størrelsen.[18]

I utledningen av disse likningene blir det brukt en åpning som vist i figur 2. Hastighetene i henholdsvis x - og y -retning har betegnelse u og v . Det antas at strømmingen er todimensjonal slik at hastigheten i z -retning, w , er lik null. Dette fører til at strømmingen kun kan være laminær siden en turbulent strømming ville ført til at man hadde et ledd, $w(t)$, som ikke ville vært null selv om gjennomsnittsverdien av $w(t)$ ville vært null.[18]

Trykket og tettheten kan begge være funksjoner av tid, men forandringer i tetthet kan nesten alltid neglisjeres ihvertfall i tilfellene omhandlet i denne rapporten.[18]

Det kan være nyttig å først se på definisjonen av Reynolds tallet som spiller inn på flere av likningene under og som bestemmer når strømmingen går fra å være laminær til å være turbulent. [18]



Figur 2: Geometrien til en åpning

6.3.1 Reynolds tall

Man kan begynne med å ta en dimensjonsanalyse på åpningen vist i figur 2. Det kritiske steget er å bestemme hvilke uavhengige fysiske variabler som bestemmer kvantiteten man søker etter, som i dette tilfellet er strømningsraten q . Dette er ikke alltid et like enkelt steg, men her kan man bruke variabler som tettheten ρ , viskositeten μ , trykkdifferansen over åpningen Δp , størrelsen til åpningen og formen. Hvis man ser bort fra formen til åpningen som en variabel, altså man antar en fast form, med en karakteristisk dimensjon L , og hvis de dimensjonsløse grensebetingelsene i tillegg er faste så kan man uttrykke en funksjonell sammenheng slik:

$$q = f(\rho, \mu, \Delta p, L) \quad (1)$$

Dimensjonsanalyse leder da til konklusjonen om at strømmingen fullstendig kan defineres som en sammenheng mellom to dimensjonsløse parametre, slik:

$$\frac{q}{L^2} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} = f\left(\frac{\rho q}{\mu L}\right) \quad (2)$$

Parameteren på høyre side i likning (2) er Reynolds tallet, og den andre er en dimensjonsløs strømningsparameter.[18]

I fysiske ordelag så kan man si at Reynolds tall, Re er et mål på de relative størrelsene til to forskjellige krefter som virker på fludelementene; treghetskrefter og viskøse krefter. Treghetskraften på et element er produktet av elementets masse og akselerasjon. Kraften som kommer av viskositet er produktet av skjærspenning og overflatearealet som skjærspenningen virker på. Dersom man ser på en strømning rundt en spesielt formet gjenstand med en karakteristisk lengde på L og en karakteristisk hastighet på U , så kan det vises at treghetskreftene er proporsjonale

med $\rho U^2 L^2$ og de viskøse kreftene med μUL . Derfor kan Reynolds tallet skrives på følgende måte:

$$Re = \frac{\rho U^2 L^2}{\mu UL} = \frac{\rho UL}{\mu} \quad (3)$$

som er ekvivalent til Reynolds tallet i likning (2) når $L = \sqrt{A}$ og $U = q/A$ der A er arealet til åpningen.

Et lavt Reynolds tall indikerer at q er svært avhengig av μ , og et høyt Reynolds tall indikerer at q er lite avhengig av μ . Den absolutte størrelsen av Re vil selvfølgelig også være avhengig av de verdiene man bruker for U og L . Disse bør ideelt sett bli bestemt slik at de er representative for de kreftene som er involvert.[18]

Dersom man ser på likning (2) og setter $L = \sqrt{A}$ og introduserer en faktor på 2, så får man en ny størrelse man ofte kaller for *åpningens utløpskoeffisient*, C_D :

$$C_D \equiv \frac{q}{A} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta p}} = f(Re) \quad (4)$$

der Δp er trykkdifferansen mellom den stille luften i de to reservoarene. Denne trykkdifferansen er ikke den samme som $(p_1 - p_2)$ i figur 2 fordi bevegelsen nær inngangen til åpningen er spesielt forbundet med trykkforandringer. I dette området så vil de viskøse kreftene ofte være neglisjerbare, på grunn av veldig små hastighetsgradienter. Innflytelsen av viskositet og avhengigheten av Reynolds tall kommer fra strømmingens passering mellom veggene til åpningen. Økende strømning gir økende Reynolds tall og leder til at C_D er mindre avhengig av Re . Dette er dels på grunn av trykkforandringene i inngangsregionen, men også på grunn av begynnelsen av turbulens. Når turbulens forekommer så blir veggens skjærspenning, τ_w , stort sett bestemt av de tilsynelatende spenningene som kommer fra turbulent momenttransport. Disse spenningene skaleres med $\rho U^2 L^2$, slik at effekten av μ blir ytterligere redusert. Effekten av viskositet kan aldri neglisjeres helt for en åpning som i figur 2, på grunn av likning (2). Allikevel så kan man ved tilnærminger anta at over en viss verdi så er variasjonen av C_D med Re liten.[18]

Fraværet av viskositet som en parameter fører til:

$$C_D = \text{konstant} \quad (5)$$

for en gitt form og for faste grensebetingelser. En slik sammenheng beskriver strømningen gjennom skarp-kantede åpninger (der diameteren er veldig mye større enn bredden til åpningen) veldig bra, bortsett fra ved ekstremt lave Reynolds tall. Grunnen til dette er at strømningen har lave hastigheter nær veggen, slik at de viskøse kreftene generelt sett er neglisjerbare. Tilstedeværelsen av viskositet er åpenbar, siden det er viskositeten som sørger for at strømningen separeres ved de

skarpe kantene, men med en gang strømmingen er opprettet så er det nesten ingen avhengighet av Re . De viskøse kreftene i den resterende strømmingen er veldig små man kan anta at man har en ikke-viskøs, virvelfri strømming.[18]

6.3.2 Laminær og turbulent strømming

Laminær strømming

Strømninger der hastigheten og trykket i et punkt ikke varierer med tiden kalles for laminære strømninger. Dette er fordi fluidelementene strømmer i velordnede lag eller hinner (engelsk: lamina). Tilstedeværelsen av ikke-uniforme hastighetsprofil innenfor åpningen gjør at strømmingen kan bli veldig ustabil dersom hastigheten forandrer seg. Selv en ekstremt liten forandring kan forstørres kraftig når den spres nedstrøms gjennom strømmingen som dermed blir turbulent. Hvorvidt forandringen i hastighet forsterkes eller forminskes er avhengig av mange faktorer. Forandringens karakter, det vil si størrelsen og frekvensen på avvikene, formen på hastighetsprofilen $u(y)$ og Reynolds tallet er spesielt viktige faktorer. Disse faktorene avgjør om strømmingen går over til å bli turbulent eller ikke, og de bestemmer lengden på det såkalte *overgangs* området som separerer den laminære og den turbulente delen av strømmingen.[18]

Noen strømninger gjennom ventilasjonsåpninger har ofte en strømming som kan være både laminær, i overgangsområdet og turbulent på en gang. Derfor vil det følge en beskrivelse nedenfor av først overgangsområdet og deretter turbulensområdet.[18]

Overgangsområdet

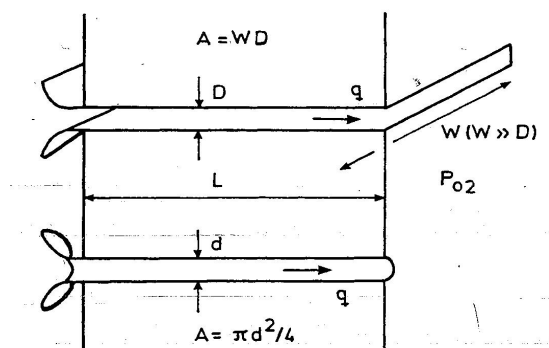
Den beste måten å forklare overgangen til turbulent strømming er å først se på hva som skjer med en laminær strømming dersom hastigheten økes. Man kan se på et eksempel på en smal åpning som vist i figur 3, der strømningsraten vil øke dersom man øker trykkforskjellen over åpningen.[18]

Som nevnt over så er det Reynolds tallet som er den avgjørende parameteren og ikke strømningsraten i seg selv. I tilfeller der man har en veldig lang åpning så kan Reynolds tallet defineres ved hjelp av åpningens dybde:

$$Re \equiv \frac{u_m d_h}{\nu} = \frac{2q}{\nu W} \quad (6)$$

Siden alle størrelsen bortsett fra q er kjent for en gitt åpning, så kan man si at en økning i q gir en korresponderende økning i Re . [18]

Ved Re -verdier under omtrent 280 så kan man si at enhver forstyrrelse i den strømmingen utenfor åpningen blir veldig raskt dempet. Med forstyrrelse menes en



Figur 3: Geometrien til smale åpninger

forandring i hastigheten ved et punkt i den eksterne strømmingen, og ikke en forandring i hele strømmingen som går inn i åpningen. Dempingen er slik at det ikke er noe tegn til forstyrrelse nedstrøms etter inngangen. For verdier av Re opp til 2000 vil forstyrrelsen fortsatt dempes, men ikke like fort, og effekten av forstyrrelsen vil være synlig for stadig større distanser nedstrøms fra inngangen.[18]

For verdier større enn 2000 så slutter forstyrrelsen å dempes og strømmingen blir fullt ut turbulent ved et punkt nedstrøms etter inngangen. Distansen mellom dette punktet og inngangen kalles for overgangsområdet. Hvis man øker Re enda mer så vil lengden av overgangsområdet reduseres. En verdi mellom 2000 og 3000 anses ofte som den kritiske Reynolds verdien for en lang smal åpning fordi under denne verdien så vil ikke strømmingen bli fullt ut turbulent, selv om man har en veldig kraftig forstyrrelse. Over denne kritiske verdien så vil deler av strømmingen være fullt ut turbulent, hvis lengden av åpningen er lengre enn lengden av overgangsområdet. Dersom man har en glatt, strømlinjet inngang til åpningen med muligheter til å eliminere selv svært små forstyrrelser, så kan den kritiske verdien økes. Ved sirkulære kanaler kan den faktisk økes til 10 000. Den kritiske Reynolds verdien har ikke noen universell verdi, men for åpninger og strømminger man kommer over i ventilasjonssammenheng er en verdi på rundt 2000 passende.[18]

For de fleste åpninger i hovedgruppe 2 (utilsiktede åpninger) så er det lite sannsynlig at Reynolds tallet vil overstige 2000 ved eksperimentelle lekkasjetester, men selv dette betyr ikke at strømmingen gjennom åpningen ikke kan være turbulent ved visse punkter. Grunnen til dette er simpelthen at overgangen okkuperer en gitt lengde av strømmingen. En bedre indikator på turbulens i åpningen er Reynolds tallet, Re_L , basert på lengde L . For sirkulære kanaler med glatte inntak så kan strømmingen være laminær for Re_L opp til 50 000, og eksperimenter på rektangulære kanaler gir et liknende resultat. Derfor vil en strømming med $Re = 10\,000$ og $L/d_h = 10$ ($L/D = 20$) sannsynligvis være laminær gjennom hele

lengden av åpningen. Antar man at inntaksbetingelsene som man støter på i praksis ikke har noen spesiell innvirkning på overgangen, så kan man si at turbulent strømming er av liten relevans for åpninger i hovedgruppe 2, hvis ikke åpningen har plutselige forandringer i tverrsnittet. Verdiene av Re i tabell 9 er mer relevante når man skal bestemme om en strømming er fullt utviklet eller ikke, noe som har stor innvirkning på strømningslikningen.[18]

Åpningstype og d_h (m)	Ventilasjon av lave bygninger $\Delta p = 10 \text{ Pa}$	Ventilasjon av høye bygninger $\Delta p = 60 \text{ Pa}$
Tilsiktede (Hvgr. 1)		
Lufteventil, 0,05	8 200	20 000
Åpent vindu, 0,30	49 000	121 000
Åpen dør, 1,50	245 000	603 000
Utsiktede (Hvgr. 2)		
0,002	330	810
0,010	1 600	4 000
0,020	3 300	8 100

Tabell 9: Generelle Reynolds tall ved forskjellige åpninger

I skarp-kantede åpninger vil, i motsetning til smale åpninger, overgangen til turbulens oppstå på utløpssiden av strømmingen på grunn av manglete lengde på åpningen. Hastighetsprofilen på utløpssiden er slik at forstyrrelser blir kraftig forstørret og turbulent strømming oppstår veldig fort, gjerne ved Re -verdier over 60. Strømninger gjennom de fleste tilsiktede åpninger har som regel mye større Re enn dette. Likevel så er tilstedeværelsen eller fraværet av overgangsområdet ikke veldig viktig for slike strømninger, som bestemmes mer av strømningsseparasjonen ved de skarpe kantene.[18]

Turbulent strømming

Turbulent strømming er karakterisert ved uregelmessige variasjoner i hastighet og trykk. Variasjonene ved et punkt i strømmingen er ikke helt tilfeldig, fordi de er relatert til variasjonene i nabopunkt ved bevegelseslikningene. Likevel så har sannsynlighetsdistribusjonen til variasjonene en form som likner veldig på formen til en tilfeldig prosess (Normal- eller Gauss form) og man kan i denne sammenheng si at forstyrrelsene er tilfeldige.[18]

For å beskrive turbulens på en matematisk måte så er det vanlig å dele bevegelsen i strømmingen inn i to deler, en gjennomsnittsdeler og en variasjonsdeler. Dermed kan verdiene til hastighetskomponentene (u, v, w) og trykket p på et gitt tidspunkt uttrykkes som summen av to komponenter:

$$u = \bar{u} + u', \quad v = \bar{v} + v', \quad w = \bar{w} + w', \quad p = \bar{p} + p' \quad (7)$$

Tidsgjennomsnittene er karakterisert med en strek og variasjonene er karakterisert med en apostrof. Gjennomsnittene er definert som, for eksempel:

$$\bar{u} \equiv \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} u dt \quad (8)$$

der man kan se at gjennomsnittstiden τ er lang nok til at \bar{u} er uavhengig av tiden. En turbulent strømming kan da beskrives som jevn i gjennomsnittet for tiden τ selv om egenskapene til strømmingen varierer med tiden. Strømmingen kan selvsagt også være jevn for lengre tid enn τ , som ikke er en presist definert tid, fordi et konstant tidsgjennomsnitt bare er tilnærmet asymptotisk. Den nødvendige gjennomsnittstiden er bestemt av utslaget og frekvensen til variasjonene, som strekker seg ut over et vidt spektrum. Lav-frekvente variasjoner behøver lengre tidsgjennomsnitt enn høy-frekvente, dersom man antar at utslaget er det samme.[18]

I praksis så er jevne turbulente strømninger ganske vanlige og de refereres ofte til som *stasjonære* strømninger. Denne betegnelsen blir brukt i studiet av tilfeldige prosesser. Ikke-stasjonære strømninger, der konstante tidsgjennomsnitt ikke kan finnes, er mye vanskeligere å undersøke teoretisk og eksperimentelt. En tilnærming til slike strømninger er å lage ”samspillsgjennomsnitt“, det vil si gjennomsnittet av målinger som er tatt ved en gitt tid i gjentatt eksperimenter. Heldigvis så kan de fleste ventilasjonsstrømninger gjennom åpninger antas å være stasjonære. En vanskelighet som oppstår i forbindelse med åpninger er adskillelsen av ujevnheter som kommer av turbulens generert inni åpningen og ujevnheter i den eksterne strømmingen. Størstedelen av beskrivelsene om turbulens som man finner i litteratur relaterer seg til jevn turbulent strømming, det vil si strømming som er fullstendig jevn og all ujevnheter blir generert i åpningen. Slike strømninger blir referert til som jevne strømninger, uavhengig om det er ujevnheter i åpningen eller ikke. For åpninger der den eksterne strømmingen er ujevn (f.eks på grunn av turbulens i vinden), vil strømmingen refereres til som ujevn, uavhengig om det genereres turbulens inne selve åpningen eller ikke.[18]

Den største effekten av intern turbulens er å redusere viktigheten av viskositet. Momentlikningene (likning (13) og (14)) blir de samme for turbulent strømming for gjennomsnittshastighetene bortsett fra ekstra ledd som kommer på grunn av momenttransport av hastighetsvariasjonene. Disse kan tolkes som ytterligere belastninger på overflaten til et element. Spesielt for fullt utviklede strømninger så er den tilsynelatende skjærspenningen mye større enn de korresponderende viskøse skjærspenningene bortsett fra svært nær overflaten. Dersom man ser på momentlikningen på integralform (likning (22)) så er forskjellen på laminær og turbulent

strømning skjærspenningssleddet. Ved laminær strømning så vil τ_w øke proporsjonalt med q , mens i turbulent strømning så vil økningen være mer proporsjonal til kvadratroten av q . Dette har helt klart en effekt på forholdet mellom q og Δp . [18]

6.3.3 Kontinuitetslikning

Den såkalte kontinuitetslikningen er enkelt sagt et uttrykk for prinsippet for konservering av masse. Med restriksjonen over om at strømmingen skal være todimensjonal så vil likningen, dersom vi ser på et fast punkt, ta følgende form for ujevn strømning:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} + \rho \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

Hvis man antar at tettheten er konstant kan likning (9) skrives som:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (10)$$

for både jevn og ujevn strømning. Det er denne formen som brukes til strømninger gjennom ventilasjonsåpninger. Selv om luft er kompressibelt så vil den rommessige og tidsmessige forandringen av tetthetsforandringer være neglisjerbar. Man kan sammenlikne med et akustisk fenomen, der bevegelsen består av høyfrekvente oscillasjoner med liten amplitude. I dette tilfellet vil kontinuitetslikningen ta formen:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho_0 \frac{\partial u}{\partial x} + \rho_0 \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (11)$$

der ρ_0 betegner tidsgjennomsnittet til tettheten. Dersom man nå ser på volumraten, q , kan man ved en rask inspeksjon se at ved konstant tetthet så vil kontinuitetslikningen ta formen:

$$q = f(t) \quad (12)$$

ved alle deler av åpningen, der $f(t)$ er konstant for jevn strømning. [18]

6.3.4 Momentlikning

Anvendelse av Newtons andre lov om bevegelse og friksjonsloven på et elementært volum ved et punkt (x, y) leder til de følgende to likningene:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} - \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (14)$$

der g benevner kraften per enhet masse grunnet gravitasjon i y -retning, og ν benevner kinematisk viskositet. Når tettheten antas å være konstant så kan man uttrykke det absolutte trykket som summen av to komponenter, en på grunn av bevegelse og en på grunn av gravitasjon. Likningene (13) og (14) kan da forenkles til:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (16)$$

Dersom man ser på smale åpninger så kan man ikke neglisjere de viskøse leddene og likningene (15) og (16) er de relevante likningene. Dersom man ser på inngangen og utgangen til åpningen så vil de romlige forskjellene i hastigheten være relativt små. I disse områdene kan man redusere likningene (15) og (16) til:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (18)$$

som normalt kalles for Eulers likninger.[18]

I områder der de viskøse kreftene er neglisjerbare kan strømmingen vanligvis behandles som en virvelfri strømning. Dette betyr at et hastighetspotensiale, $\phi(x, y, t)$, eksisterer som beskriver hastighetsfeltet fullstendig, med hastighetskomponenter gitt ved:

$$u = -\frac{\partial \phi}{\partial x}, v = -\frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (19)$$

Dersom man setter disse to likningene inn i likning (10) så kan man se at kontinuitetslikningen er oppfylt. Viktigheten av hastighetspotensialet er at man kan beskrive komplekse strømmingen analytisk og ganske nøyaktig. I fagområdet ventilasjon så er det beste eksempelet på det jevn strømning gjennom skarp-kantede åpninger.[18]

Der hvor strømmingen er virvelfri så kan Eulers likninger (likning (17) og (18)) reduseres til:

$$\frac{w^2}{2} + \frac{p}{\rho} - \frac{\partial \phi}{\partial t} = F(t) \quad (20)$$

som egentlig er Bernoullis likning for ujevn og virvelfri strømning. I denne likningen så representerer w resultant hastigheten og funksjonen $F(t)$ gjelder gjennom hele den virvelfrie strømmningen og er bestemt av grensebetingelsene.[18]

Hvis strømningen ikke er virvelfri, men ikke-viskøs og jevn, så vil den mer vanlige formen for Bernoullis likning gjelde:

$$\frac{w^2}{2} + \frac{p}{\rho} = C \quad (21)$$

der C er en konstant som er gitt for en viss strømlinje. Denne likningen kan både finnes fra Newtons andre lov og fra prinsippet med konservering av energi og masse.[18]

Kombinasjonen av Newtons andre lov og tredje lov om bevegelse leder til prinsippet om lineært moment for et system. I dette tilfellet så vil systemet være luften som er inne kapslet i et kontrollvolum, for eksempel volumet ABCD i figur 2. For jevn strømning så legges prinsippet frem på denne måten i boken "Building Ventilation": Den resulterende eksterne kraften som virker på kontrollvolumet er lik som en vektor til nettoraten av utstrømningen av moment fra kontrollvolumet.[18]

Dersom man benevner lengden og dybden til åpningen som henholdsvis L og D , trykkene ved inngangen og utgangen som p_1 og p_2 og veggens skjærspenning som $\tau_w(x)$, så kan momentprinsippet i x -retningen uttrykkes på følgende måte:

$$p_1 - p_2 = \frac{2}{D} \int_0^L \tau_w dx + \frac{\rho}{D} \left[\int_{-D/2}^{D/2} u_2^2 dy - \int_{-D/2}^{D/2} u_1^2 dy \right] \quad (22)$$

der det antas at p_1 og p_2 er uavhengige av y ved inngangen og utgangen til åpningen. Hastighetsprofilene ved inngangen og utgangen ved inngangen og utgangen er benevnt med $u_1(t)$ og $u_2(t)$, og veggens skjærspenning er gitt ved:

$$\tau_w = \mu \left[\frac{du}{dy} \right]_{y=\pm D/2} \quad (23)$$

der μ benevner viskositet ($\nu \equiv \mu/\rho$). Likning (22) er ikke generell. Den kan kun brukes på den todimensjonale åpningen med rette parallelle vegger og når strømningen er symmetrisk om x -aksen. Det illustrerer allikevel utgangspunktet til trykk/strømning karakteristikken til en åpning, altså sammenhengen mellom Δp og q . Δp forekommer eksplisitt på den venstre siden av likning (22), selv om den trykkdifferansen som er av virkelig interesse er differansen mellom trykkene som er utenfor innflytelsen til inngangen og utgangen. Alle leddene på høyre siden

av likning (22) er bestemt av hastighetsfeltet $u(x,y)$, og fordi volumraten er gitt ved:

$$q = W \int_{-D/2}^{D/2} u dy \quad (24)$$

der W er bredden til åpningen, så kan man se at med en gang $u(x,y)$ er gitt så kan man finne den nødvendige sammenhengen. Det er bestemmelsen av $u(x,y)$ som frembyr den største problemet, og generelt sett så brukes bare likning (22) når empiriske antagelser omkring skjærspenningen, $\tau_w(x)$, og hastighetsprofilen, $u(y)$, kan tas. Ellers så må man bruke differensiallikningene (10), (15) og (16). [18]

6.3.5 Energilikning

For ventilasjonsåpninger så vil temperaturdifferansen mellom luften og overflaten til åpningen som oftest være svært liten, slik at man stort sett kan neglisjere effekten av ekstern varmetransport på tettheten og viskositeten til luften. Kontinuitets- og momentlikningene er derfor uberørt og kan i prinsippet løses hver for seg. Energilikningen gir da en mulighet til å beregne temperaturforandringen på grunn av arbeid gjort mot intern friksjon og mot en hvilken som helst ekstern varmetransport. I praksis så blir dette veldig vanskelig og selv om det var mulig så ville det være av liten nytte ettersom forandringene er av svært liten betydning.[18]

I strømningsområder der viskøse krefter kan neglisjeres så vil energilikningen på differensialform gi en sammenheng mellom arbeid gjort av trykkrefter og de korresponderende forandringene i den kinetiske energien til et element. For jevn inkompressibel strømming så blir likningen Bernoullis likning (likning (21)), som kan, siden den kun omhandler mekanisk energi, bli utledet fra Eulers likninger for jevn strømming (likning (17) og (18)) ved å multiplisere med u og v respektivt.[18]

Energilikningen på integralform for et kontrollvolum gir også lite ny brukbar informasjon enn integral momentlikningen, for de strømmingene som er av interesse.[18]

Den viktigste aspektet ved energilikningen på integralform er kanskje at den former basisen til definisjonen av en tapskoeffisient. Tapskoeffisienter er svært mye brukt i design av rør- og kanalsystemer, som for eksempel mekaniske ventilasjonssystemer. [18]

6.3.6 Tapskoeffisienter

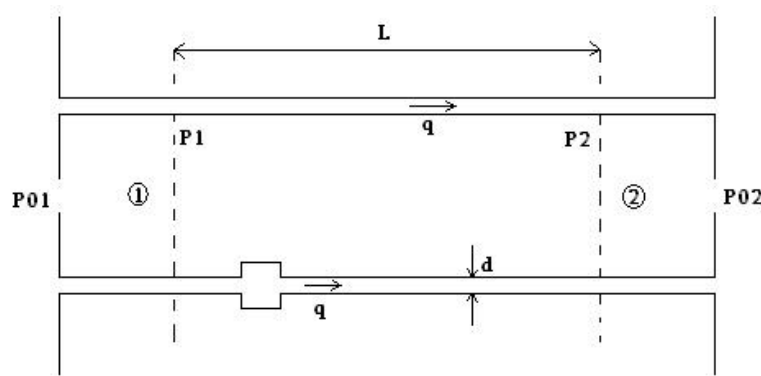
Figur 4 viser to lange sirkulære rør, med diameter d , som er identiske bortsett fra at det ene røret har en systemkomponent installert, for eksempel en vifte. For jevn strømming (laminær eller turbulent) og ingen varmetransport gjennom veggene i

røret, så kan energilikningen på integralform uttrykkes som følgende: "Raten av arbeid som gjøres på fluidet i kontrollvolumet mellom punktene 1 og 2 av de eksterne trykkene p_1 og p_2 er lik nettoraten av utstrømning av energi fra kontrollvolumet." Utstrømningen av energi består av kinetisk energi og termisk (indre) energi, E . Man kan se bort fra strømningen av potensiell energi siden den kun berøres av arbeid gjort av den hydrostatiske komponenten til trykket som også er neglisjert. Dette kan uttrykkes på følgende vis:

$$p_1 \int_{A_1} u dA - p_2 \int_{A_2} u dA = \frac{\rho}{2} \int_{A_2} u^3 dA - \frac{\rho}{2} \int_{A_1} u^3 dA + E \quad (25)$$

Med bruk av en middelvei på hastigheten, $u_m \equiv \frac{q}{A}$ så kan likningen skrives som:

$$\left[p_1 + \frac{\rho u_{m1}^2}{2} \int_{A_1} \frac{u^3 dA}{u_{m1}^3 A_1} \right] - \left[p_2 + \frac{\rho u_{m2}^2}{2} \int_{A_2} \frac{u^3 dA}{u_{m2}^3 A_2} \right] = \frac{E}{q} \quad (26)$$



Figur 4: Illustrasjon av tapseffisienter til to sirkulære rør

Leddene i hakeparentesene kalles for *totaltrykket* eller *løftehøyden* til strømmingen ved stasjon 1 og 2 respektivt. Falltapet mellom stasjon 1 og 2, Δp_{T12} , er definert som differansen mellom de to løftehøydene. *Motstandskoeffisienten* til pipens lengde og alle komponenter mellom stasjon 1 og 2, ξ_{12} , er definert som:

$$\xi_{12} \equiv \frac{\Delta p_{T12}}{\frac{1}{2} \rho u_m^2} \quad (27)$$

der verdien som velges for u_m kan være u_{m1} eller u_{m2} (ofte så er $u_{m1} = u_{m2}$). ξ_{12} er en dimensjonsløs størrelse og, for en gitt form av pipe/komponent kombinasjonen (med gitte oppstrøms strømningsbetingelser), så er ξ_{12} er funksjon kun av strømmingens Reynolds nummer. Når denne funksjonen har blitt bestemt

eksperimentelt for en gitt kombinasjon, så kan den brukes på alle andre kombinasjoner med liknende geometri. Det eksisterer allerede en stor database av eksperimentelle verdier for forskjellige rør/komponent kombinasjoner som gjør at designeren kan finne en bra verdi for ξ_{12} . Når man har en verdi for ξ_{12} , ρ og u_m så kan man ved hjelp av likning (27) finne en verdi for Δp_{T12} . Denne verdien kan igjen brukes til å beregne en verdi for $(p_1 - p_2)$, fordi de to integralledene i definisjonen av Δp_{T12} (venstre siden av likning (26)) er kjente eller eliminerer hverandre når formen til hastighetsprofilene ved stasjon 1 og 2 er kjente. Dette er vanligvis tilfellet, fordi motstandskoeffisienter blir vanligvis bestemt ut fra eksperimenter der hastighetsprofilene ved stasjon 1 og 2 er ordnet slik at de er i kjent generell form. I mange tilfeller så ligger komponenten mellom to identiske rør som er lange nok til at strømmingen blir *fullt utviklet* ved både stasjon 1 og 2 og at de to integral leddene strykes. På måten som er beskrevet over kan den som designer systemet bestemme trykkdifferansen forbundet med en gitt strømningsrate, noe som ofte er nødvendig.[18]

Dersom man har komponenter som ligger mellom to like rørstrekk så er det vanlig praksis å splitte ξ_{12} inn i to deler:

$$\xi_{12} = \xi_F + C_L \quad (28)$$

der ξ_F er motstandskoeffisienten til de to rørstrekkene når man neglisjerer effektene til komponenten og antar at strømmingen er fullt utviklet. Ved en fullt utviklet strømming så kan ξ_F finnes ved hjelp av et simpelt analytisk uttrykk som assosierer ξ_F til L , d_h og strømmingens Reynolds nummer. Forutsatt at strømmingen er fullt utviklet ved punkt 1 og 2 når ξ_{12} måles, så er verdien av C_L uavhengig av lengdene av oppstrøms- og nedstrømsrørene. Dermed kan C_L assosieres med komponenten alene. På dette grunnlaget brukes gitte verdier av C_L for bestemte komponenter på rør/komponent kombinasjonene der geometrisk likhet ikke er tilfelle. Dette er en tilnærming som passer veldig bra for designformål.[18]

Konseptet om tapskoeffisienter kan brukes så vel på todimensjonale kanaler som på rør, ikke sirkulære rør og kanaler med parallelle vegger. Konseptet kan også brukes når komponenten binder sammen to rør med forskjellig areal.[18]

Bruken av tapskoeffisienter for ventilasjonsåpninger er mye mer problematisk selv om deres geometri er kjent. Hovedgrunnen til dette er at de forskjellige delene av åpningen ikke kan separeres med parallelle kanaler som er lange nok til at en fullt utviklet strømming oppstår. En annen grunn er at C_L og μ_F er sterke funksjoner av Reynolds tallet ved de lave Reynolds tallene som ofte er assosiert med ventilasjon. Selv om sammenhengen mellom ξ_F og R_e er kjent, så er sammenhengen mellom C_L og R_e for forskjellige komponenter mye mindre dokumentert.[18]

For en komplett åpning mellom to områder med stasjonær luft så er det en direkte sammenheng mellom den generelle tapskoeffisienten til åpningen og dens

utløpskoeffisient, C_D . Røret som er vist i figur 4 går mellom to reservoarer med trykk p_{01} og p_{02} ved punkt der det er neglisjerbar bevegelse. Utløpskoeffisienten er definert ved følgende likning:

$$C_D \equiv \frac{q}{A} \sqrt{\frac{\rho}{2(p_{01} - p_{02})}} \quad (29)$$

Nå er $(p_{01} - p_{02})$ differansen mellom løftehøyden i de to statiske områdene, så den generelle tapskoeffisienten til åpningen, C_{LO} er:

$$C_{LO} = \frac{p_{01} - p_{02}}{\frac{1}{2}\rho u_m^2} - \frac{4Lc_f}{d_h} \quad (30)$$

Siden $\xi_F = \frac{4Lc_f}{d_h}$ så blir:

$$C_D = \sqrt{\frac{1}{C_{LO} + \frac{4Lc_f}{d_h}}} = \sqrt{\frac{1}{\xi_{12}}} \quad (31)$$

For eksempelet vist så er C_{LO} summen av tapskoeffisientene i inngangen, i komponenten og i utgangen:

$$C_{LO} = C_{LI} + C_L + C_{LE} \quad (32)$$

Definisjonene til C_{LI} og C_{LE} er litt annerledes enn definisjonen til tapskoeffisienten til komponenten. For inngangskoeffisienten så er det ingen krav til at hastighetsprofilen skal være fullt utviklet i innløpet. For utgangskoeffisienten så er tapet i kinetisk energi som oppstår mellom utløpet og det statiske området inkludert. Ellers så ville utgangskoeffisienten være lik null, fordi det ikke er noe tap i kinetisk energi mellom stasjon 2 og utgangen. Det er viktig å huske at for en fullt utviklet laminær strømning så vil bidraget til det kinetiske energileddet til løftehøyden være større enn $\frac{1}{2}\rho u_m^2$. For et sirkulært rør så er det ρu_m^2 og for en todimensjonal kanal så er det $0,771\rho u_m^2$. De laminære strømningskoeffisientene til utgangen av et rør og en todimensjonal kanal er derfor 2 og 1,54 respektivt. [18]

6.4 Jevn strømning gjennom døråpninger

I de følgende betraktelsene antas det at man har jevn strømning i områdene på begge sider av åpningen. Videre så må det skilles mellom ensrettet strømning og toveis strømning. Dette kommer av at trykkforskjellen over store åpninger, som dører og vinduer, kan bytte fortegn. Denne forandringen er ofte forbundet med lufttemperaturene man har på de to sidene av åpningen, det vil si at man har en strømning som er drevet av temperaturdifferanser.[22]

6.4.1 Ensrettet strømning

I de videre betraktninger ses det på såkalte skarpkantede åpninger. Dette er åpninger der bredden på åpningen er mye større enn dybden, for eksempel dører og vinduer. Av spesiell interesse er tilfellet med et skarpkantet sirkulært hull eller en todimensjonal sprekk som atskiller to områder med rolig luft ved forskjellige trykk.[22]

Fra dimensjonsanalyse så kan man utlede at utløpskoeffisienten er konstant, fordi Reynolds tall ikke kan være en parameter på grunn av neglisjeringen av viskositet. Dermed reduseres likning (4) til:

$$C_D = \text{konstant} \quad (33)$$

Den teoretiske verdien til konstanten for en todimensjonal åpning eller sprekk er 0,611. I denne teorien så vil strømlinjene som sammenfaller med overflaten forlate overflaten tangentielt for å forme de "frie strømlinjene" og det statiske trykket, og dermed også hastigheten, langs de frie strømlinjene antas å være konstant. Med disse grensebetingelsene så kan kontinuitetslikningen brukes til å strømningsfeltet som inneholdes av de frie strømlinjene. Ved en kort avstand fra sprekken så vil strømlinjene bli hovedsakelig parallelle med en uniform hastighetsdistribusjon. Verdien av utløpskoeffisienten kommer direkte av at sammentrekningen av strålen som oppstår på grunn av separasjonen av strømningen ved de skarpe kantene, det vil si $A_{vc}/A = 0,611$ der A_{vc} benevner arealet til vena contracta.¹⁷[22]

I de såkalte "ekte strømningene" vil også overflatestrømlinjene forlate overflaten tangentielt og passere et område der det statiske trykket er nominelt konstant, der en vena contracta blir formet. Kontinuitetslikningen kan ikke løses ved hjelp av konform transformering fordi konseptet om hastighetspotensialet ikke kan brukes på det viskøse laget som formes ved overflatene. Når dette laget er tynt i forhold til dybden til sprekken, det vil si at Reynolds tallet er høyt, så vil de eksperimentelle verdiene av C_D være tilnærmet like 0,61.[22]

Det er en direkte sammenheng mellom C_D og motstands- og falltapskoeffisientene. Med en ikke-viskøs virvelfri strømning så har man ingen overføring av mekanisk energi til termisk energi. Dette er på grunn av definisjonen av motstandskoeffisienten (likning (27)), som sier at kinetisk energi ikke nødvendigvis kan gjennomrettes som en økning i statisk trykk. Dette er tilfellet både for virvelfri strømning og for den ekte strømningen. I det forrige tilfellet så var strålen inne i de frie strømlinjene uforandret i uendelig. I det siste tilfellet så vil den kinetiske energien i strålen etterhvert konverteres til termisk energi på grunn av virkningen av viskositet, men uten økning i det statiske trykket.[22]

Ved ekstremt lave Reynolds tall ($Re < 10$) så vil de viskøse kreftene bli mer

¹⁷punktet i en strømning der diameteren til strømningen er minst

dominante og treghetskreftene vil bli mer neglisjerbare slik at tetthet som param-eter kan tas bort. Dimensjonsanalyse vil da føre til et kvadrattrot forhold mellom C_D og Re . Man kan da sette opp følgende teoretiske likning for dette forholdet for en sirkulær åpning i en plan vegg:

$$C_D = \sqrt{Re}/12\pi \quad (34)$$

Ved så lave Reynolds tall så kan man få såkalte krypende strømminger, med et strømlinjemønster ved vena contracta som er mindre tydelig. Verdiene til utløpskoeffisienten, C_D , er likevel lavere enn 0,6. Dette skyldes den ikke-uniforme hastighetsdistribusjonen gjennom åpningen. Ved Reynolds tall mellom 10 og 100 så vil man få en monoton reduksjon av C_D med Re . [22]

Som nevnt tidligere så vil de fleste skarpkantede åpninger man støter på i praksis operere med Reynolds tall som er mye større enn 100, se tabell 9. Lave verdier av Re er assosiert med lave verdier av d_h . Reynolds tall lavere enn 100 er sannsynligvis bare mulig for åpninger med d_h mindre enn 0,02 m. Åpninger med så lave verdier av d_h oppfører seg ofte ikke som en skarp-kantet åpning, men mer som en såkalt smal åpning. Smale åpninger er karakterisert med en dybde som er mye større enn diameteren til åpningen. Det er allikevel ingen brå overgang mellom en skarpkantet åpning og en smal åpning. [22]

6.4.2 Toveis strømming

De viktigste tilfellene i forhold til denne rapporten er selvsagt tilfellene med åpne dører som separerer to rom med forskjellige temperaturer, som vist i figur 5. To ytterligere tilfeller oppstår når det er en netto strømming gjennom åpningen grunnet en mekanisk vifte. Analytiske teorier har blitt utviklet for å dekke alle disse tilfellene. De inkluderer også tilfellene når en netto strømming oppstår på grunn av at vinden lager en jevn trykkdifferanse over åpningen. [22]

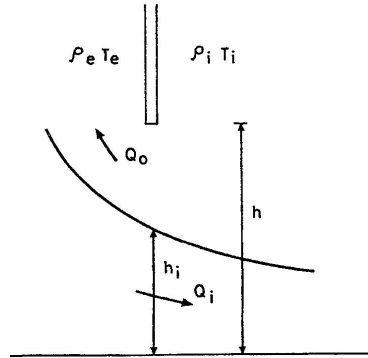
Når det ikke er noe netto strømming gjennom åpningen, så kan man tilnærmet skrive kontinuitetslikningen på følgende måte:

$$Q_0 = Q_i \quad (35)$$

Problemet er fri konveksjon og strømmingen gjennom åpningen har en funksjonell sammenheng som er slik:

$$\frac{u}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}gL}} = f\left(\frac{1}{P\sqrt{Gr}}, \sqrt{Gr}, x^*, y^*, z^*\right) \quad (36)$$

Det antas at de viskøse kreftene er neglisjerbare sammenliknet med oppdriftskreftene og at termisk diffusivitet er neglisjerbart sammenliknet med konveksjon. Dermed forenkles likningen:



Figur 5: Toveis strømning gjennom døråpning

$$\frac{u}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}gL}} = f(x^*, y^*, z^*) \quad (37)$$

Strømningsraten Q_0 er gitt ved $\int \int u dy dz$ slik at:

$$\frac{Q}{L^{2,5} \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}g}} = C \quad (38)$$

der konstanten C er avhengig av geometrien til åpningen og andre grensebetingelser.

En annen teori beskrevet av Shaw og Whyte gir et hovedsakelig likt resultat:

$$\frac{Q}{Wh \sqrt{\frac{\Delta\rho gh}{\rho}}} = \frac{C_T}{3} \quad (39)$$

der W benevner bredden til åpningen og C_T er en konstant som må bestemmes eksperimentelt (Shaw og Whyte fant $C_T/3 = 0,27$). I teorien antas det at strømlinjene er horisontale og parallelle gjennom åpningen, og at hastigheten langs en strømlinje er relatert til trykkene ved den samme høyden i de to rommene som Bernoullis likning sier. Dette er ikke det perfekte bruksområdet til Bernoullis likning, siden strømlinjene ikke vil være horisontale og parallelle overalt. Teorien forutsier at den vertikale variasjonen i hastighet er gitt ved:

$$u = \sqrt{2g \frac{\Delta\rho}{\rho} z} \quad (40)$$

der z måles fra den delte strømlinjen mellom inntaket og uttaket til åpningen. I denne sammenheng vil dette være riktig i forhold til virkeligheten, siden

hastigheten langs den delende strømlinjen er lik null. Likevel, siden C_T ikke kan forutsies så gir ikke denne teorien mer informasjon enn vanlig dimensjonsanalyse.

En annen teori er presentert av Dalziel og Lane-Serff og beskrives ved hjelp av to-lags hydraulikk, der virvelfri ikke-viskøs strømming antas, og der Bernoulli likningen kommer mer til sin rett. Teorien antar at hastigheten er uniform i inntaket og i uttaket, slik at det er en diskontinuitet ved den delende strømlinje. Det antas også at forandringer i høyden til lagene kan forekomme over mye større avstander enn høydene. Ingen av disse antakelsene er i tråd med virkelighetens verden. Likevel så forutsier teorien verdien av $C_T/3$ i likning (39):

$$Q_0 = Q_i = \sqrt{\frac{\Delta\rho gh}{\rho}} h W k(a_0) \quad (41)$$

der a_0 er definert som en dimensjonsløs differans mellom høyden av det lavere laget og midthøyden til åpningen:

$$a_0 \equiv \frac{h_1 - h/2}{h} \quad (42)$$

Sammenhengen mellom k og a_0 er gitt ved:

$$k^2 = \frac{(\frac{1}{2} + a_0)^3 (\frac{1}{2} - a_0)^3}{(\frac{1}{2} + a_0)^3 + (\frac{1}{2} - a_0)^3} \quad (43)$$

Verdien av a_0 og dermed også verdien av k er avhengig av om åpningen samsvarer med en innsnevring i høyden og/eller bredden til strømmingen eller ikke, og om det er en netto innstrømning gjennom åpningen. Når det ikke er noe netto innstrømning så kan det vises at en verdi for a_0 lik 0,05 er nok for å beskrive de fleste situasjoner, og verdien for k skal ligge mellom 0,250 og 0,208. En sammenlikning mellom teori og eksperimenter på modellskalanivå gir verdier for k lik 0,24 og 0,21 respektivt. Teorien, som i detaljer er ganske komplisert, forutser også andre egenskaper til strømmingen som er kvalitativt i samsvar med eksperimentelle observasjoner.[22]

Den siste teorien, hydraulikkteorien, er sannsynligvis den mest realistiske av de to. Begge de teoretiske tilnærmelsene har blitt utvidet til å inkludere tilfellet med ingen netto innstrømning, men dette beskrives ikke her.[22]

Verdiene til koeffisientene $C_T/3$ og k i likningene (39) og (41) har blitt bestemt eksperimentelt av andre forskere. Verdiene som ble funnet er sannsynligvis avhengige av på hvilken måte Q ble målt. Dette kan gjøres ved romlig integrasjon av målte hastigheter i åpningen, eller ved hjelp av sporgassteknikker. Den første metoden er sannsynligvis den som gir en verdi som er mest lik den teoretiske, mens den siste gir en verdi som er mer relevant i praksis, fordi den tar med effektene av blanding av de to strømmene.[22]

Med et konstant Prandtl tall og fast geometri, så indikerer dimensjonsanalyse at C_T og k kun er avhengig av Grashofs tall som er gitt ved:

$$Gr \equiv \frac{\Delta\rho}{\rho} g \frac{h^3}{\nu^2} = \frac{\Delta T}{T} g \frac{h^3}{\nu^3} \quad (44)$$

Wilson og Kiel gir følgende empiriske relasjon mellom C_T og Reynolds tallet Re_h basert på gjennomsnittsfarten gjennom åpningen:

$$\frac{C_T - 0,3}{0,6 - C_T} = 3 \times 10^{-5} Re_h \quad (45)$$

Definisjonen på Re_h er slik at:

$$Re_h = \frac{3C_T}{2} \sqrt{Gr} \quad (46)$$

og en mer generell form av likning (45) er:

$$\frac{1}{C_T} \left(\frac{C_T - 0,3}{0,6 - C_T} \right) = 4,5 \times 10^{-5} \sqrt{Gr} \quad (47)$$

6.5 Ujevn strømning gjennom døråpninger

En jevn strømning gjennom en skarpkantet åpning kan tilnærmes ved å bruke den frie strømlinje teorien om virvelfri strømning. Løsningen kan uttrykkes ved et hastighetspotensiale, ϕ_s , som er en funksjon (i to dimensjonal strømning) av x og y som følger:

$$\phi_s = \phi_s(x, y) \quad (48)$$

med

$$u_s = -\frac{\partial \phi_s}{\partial x}, \quad v_s = -\frac{\partial \phi_s}{\partial y}, \quad w_s = -\frac{\partial \phi_s}{\partial s}$$

der u_s og v_s er de jevne hastighetene i henholdsvis x - og y -retning og w_s er resultanthastigheten og s benevner distansen langs en strømlinje.[18]

Funksjonen ϕ_s korresponderer til et bestemt mønster av strømlinjer og dette mønsteret forblir uforandret dersom ϕ_s , og dermed også u_s , v_s og w_s multipliseres med en faktor C . Ved å gjøre C til en funksjon av tid så får man en ujevn form at strømningen:

$$\phi(x, y, t) = C(t) \phi_s(x, y) \quad (49)$$

med

$$w(x, y, t) = C(t)w_s(x, y) \quad (50)$$

Ved å bruke den virvelfrie formen av den inkompressible Bernoulli likningen, gitt ved:

$$\frac{p(t)}{\rho} + \frac{w(t)^2}{2} - \frac{\partial \phi}{\partial t} = F(t) \quad (51)$$

ved en punkt på inntakssiden der hastigheten $w_{01}(t)$ er neglisjerbar, og på et annet punkt i strålen på uttakssiden, så får man følgende likninger:

$$\frac{p_{02}(t)}{\rho} - \left[\frac{\partial \phi}{\partial t} \right]_{01} = \frac{p_{01}(t)}{\rho} + \frac{w_{02}(t)^2}{2} - \left[\frac{\partial \phi}{\partial t} \right]_{02} \quad (52)$$

$$\frac{p_{01}(t) - p_{02}(t)}{\rho} = C^2(t) \frac{w_{02}^2}{2} + (\phi_{s01} - \phi_{s02}) \frac{\partial C}{\partial t} \quad (53)$$

Den siste likningen er et uttrykk for den momentane trykkdifferansen beskrevet med en kjent jevn strømming og en tidsavhengig funksjon $C(t)$ som kan spesifiseres. Likevel vil ikke likningen være til mye hjelp fordi det andre leddet på høyre siden ikke kan bestemmes objektivt. Det er:

$$\phi_{s01} - \phi_{s02} = \int_{s_{01}}^{s_{02}} w_s ds \quad (54)$$

og det finnes ikke noe åpenbare valg for den øvre grensen i integralet, s_{02} . Siden $(\phi_{s01} - \phi_{s02})$ til dels er bestemmende for størrelsen til det andre leddet på høyre side av likning (53) så er ikke likningen spesielt brukbar i kvantitativ forstand uten noen flere antakelser. Kvalitativt indikerer den to bidrag til trykkdifferansen som, for en ren svingende strømming $C(t) = \sin \omega t$, ville være 90° ute av fase med hverandre. Når det første leddet dominerer så er strømningsraten og trykkdifferansen i fase og strømmingen kan beskrives som kvasi-stabil strømming. Når det andre leddet i likningen dominerer så vil strømningsraten og trykket være 90° ute av fase. Ved å se på elektrisk terminologi som en analogi så kan man sammenlikne de to leddene med resistive (og induktive bidrag respektivt. Uttrykket "inerti" kan også assosieres med det andre leddet.[18]

Det underliggende problemet med analysen som baseres på likning (49) er at det ikke er tatt hensyn til den ujevne naturen til strømlinjemønsteret. For en svingende strømming så er effekten potensielt stor, men den er veldig vanskelig å behandle.[18]

Et kriterium for en kvasi-stabil strømming kan lages ved å anvende den inkompressible formen av Bernoullis likning på en sentral strømlinje som følger x -aksen, og ved å introdusere konseptet av effektiv lengde, l_e . Ved en bestemt distanse fra

utløpet så vil farten $u_{02}(t)$ være tilnærmet gitt ved $q(t)/\beta A$ for en sirkulær åpning med areal A dersom man antar at en konstant verdi for innsnevringens ratioen β kan brukes. Dermed er den momentane trykkdifferansen $\Delta p(t)$ gitt ved likningene (52) og (??) som:

$$\Delta p(t) \equiv p_{01}(t) - p_{02}(t) = \rho_0 \frac{C(t)^2 q_s^2}{2\beta^2 A^2} + \rho_0 \frac{dC}{dt} \int_{x_{01}}^{x_{02}} u_s dx \quad (55)$$

der $q(t) = q_s C(t)$. En effektiv lengde l_e kan defineres ved:

$$\frac{q_s}{A} l_e \equiv \int_{x_{01}}^{x_{02}} u_s dx \quad (56)$$

slik at likning (53) blir:

$$\frac{\Delta p(t)}{\rho} = \frac{C(t)^2 q_s^2}{2\beta^2 A^2} + l_e \frac{q_s}{A} \frac{dC}{dt} \quad (57)$$

For kvasi-stabil strømming:

$$l_e \frac{dC}{dt} \ll \frac{C(t)^2 q_s^2}{2\beta^2 A^2} + l_e \quad (58)$$

og for en svingende strømming med $C(t)$ lik $\sin \omega t$ så leder dette til:

$$\frac{\omega l_e}{u_{max}} \ll 0,2$$

der $u_{max} \equiv q_s/\beta A$.

Lengden l_e representerer en effektiv masse av luft ($\rho_0 l_e A$) som er akselerert i åpningsregionen. I dette tilfellet, for en skarpkantet sirkulær åpning så er den effektive lengden, l_e , lik $0,85d$ der d er diameteren til åpningen.[18]

6.6 Mekanismer som forårsaker strømming gjennom døråpninger

6.6.1 Innledning

Strømninger gjennom døråpninger er forårsaker av mange mekanismer. De viktigste av disse er:

- tetthetsdifferanser forårsaket av temperaturdifferanser
- trykkdifferanser på grunn av mekanisk ventilasjon eller vind
- pumpeeffekt ved døråpning/-lukking
- passasje av mennesker

I praksis forekommer sjelden en mekanisme alene. Det er som oftest en kombinasjon av de forskjellige mekanismene, men hver av dem kan ha en mer eller mindre viktighet når det kommer til strømmingen gjennom åpningen. For utvendige dører så er for eksempel tetthetsdifferansen på grunn av temperaturdifferanser den største faktoren (på grunn av som oftest stor forskjell i temperatur inne og ute).

Noen ganger kan det være veldig viktig å vite størrelsen på strømningsratene mellom rom. Eksempler på dette kan være kritiske områder som nettopp isolater i sykehus som er designet for å hindre smitte i å komme ut i omgivelsene. Derfor blir luft her tilført for at man skal få en ensrettet strømming gjennom døråpningene og for at man skal hindre utveksling av luft på grunn av temperaturdifferanser. For designsformål er det viktig å vite størrelsen på den naturlige konveksjonen gjennom en døråpning som funksjon av temperaturdifferansen over døråpningen. Tidligere pleide man derfor fokusere på de kombinerte effektene av oppdrift og trykk generert av mekanisk ventilasjon.

6.6.2 Tetthetsdifferanser og trykkdifferanser

Man skiller mellom to faser. I den første fasen etter at døren er åpnet vil man få en transient strømming. Strømmingen vil etterhvert bli stabil og vil gå over til en stasjonær strømming.[20]

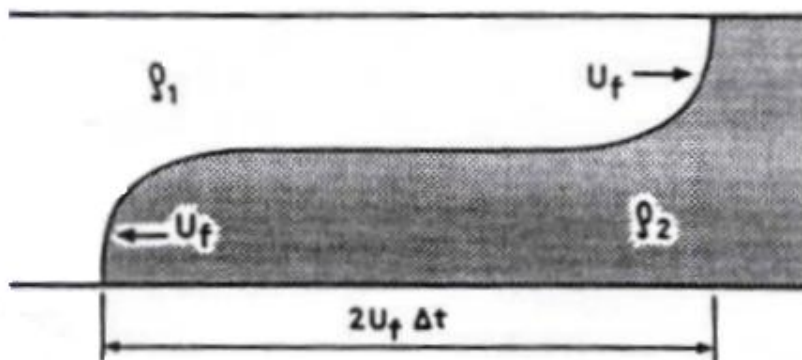
Transient strømming

Umiddelbart etter at man begynner å åpne en dør vil det oppstå en transient strømming mellom de to arealene. I løpet av et par sekunder blir denne strømmingen til en såkalt gravitasjonsstrømming¹⁸ som beveger seg langs gulvet og inn i det andre rommet, der den treffer en intern vegg og blir reflektert tilbake igjen.[23]

Dersom man har en situasjon uten noen temperaturdifferanse så vil luftbevegelsene stanse etter denne første strømmingen. Resultatet av dette blir at den nedre delen av rommet fylles med luft med temperatur lik det varme rommets temperatur og den nedre delen fylles med luft med temperatur lik det kalde rommets temperatur. Etterhvert vil temperaturen i rommet jevne seg ut på grunn av termisk stråling og konduksjon. I virkeligheten derimot er det aldri helt adiabatiske tilstander. Man vil få en varmeutveksling mellom rommets overflater og romluften. Det er derfor viktig å ta med denne varmeutvekslingen i beregningene.[23]

Man vil få forskjellige strømminger etter hva formen på rommet er. Det er derfor nødvendig å se på to forskjellige tilfeller. I det første tilfellet antar man at

¹⁸flat horisontal strømming drevet av tetthetsdifferanse



Figur 6: Transient strømning gjennom døråpning

døren går over hele bredden og høyden til rommet som i en korridor. I det andre tilfellet er bredden av rommet mye større enn bredden av døren.[23]

I det første har altså døren full bredde og høyde ($w = W$ og $h = H$). Når døren åpnes her får man en umiddelbart en transient strømning som etterhvert får atferden til en gravitasjonsstrøm, se figur 6. Man kan bruke prinsippet om konservering av energi for å finne hastigheten i front. Friksjonen mellom strømmingene neglisjeres og det antas at hastigheten i front, u_f , er den samme i begge strømminger.[23]

Per enhet bredde og tid ($\Delta t = 1$) så skjer den følgende forandring i potensiell energi når det antas at høyden av hvert lag har forandret seg med en avstand lik $h/2$:

$$u_f \frac{h}{2} \rho_C g \frac{h}{2} - u_f \frac{h}{2} \rho_H g \frac{h}{2} = u_f \frac{h^2}{4} (\rho_C - \rho_H) \quad (59)$$

Den korresponderende økningen i kinetisk energi blir da:

$$2u_f \frac{h}{2} \rho_C \frac{u_f^2}{2} + 2u_f \frac{h}{2} \rho_H \frac{u_f^2}{2} \quad (60)$$

Faktoren 2 oppstår fordi arealet som blir påvirket av bevegelsen ekspanderer med en rate lik $2U_f$, se figur 6.

Dersom man setter forandringen i potensiell energi lik forandringen i kinetisk energi og løser med hensyn på u_f får man:

$$u_f = \left(\frac{1}{2} g \frac{\rho_C - \rho_H}{\rho_C + \rho_H} h \right)^{1/2} \quad (61)$$

Dersom man midler de to tetthetene i nevneren, slik at $\rho_C \simeq \rho_H \simeq \bar{\rho}$ så kan man fikse på likning (61) slik at man får følgende sammenheng:

$$u_f = \frac{1}{2} \left(g \frac{\rho_C - \rho_H}{\bar{\rho}} \right)^{1/2} = \frac{1}{2} (g'h)^{1/2} \quad (62)$$

der g' er den reduserte akslerasjonen til tyngden gitt ved $g' = g \frac{\Delta\rho}{\bar{\rho}} = g \frac{\Delta T}{T}$.

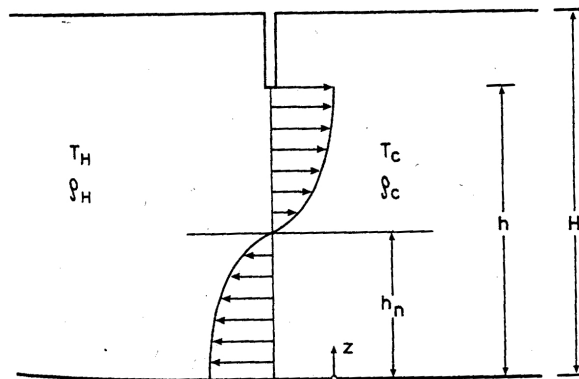
Strømningsraten gjennom døråpningen kan man skrive som $q_e = (A/2)u_f$. Dersom man setter uttrykket for u_f fra likning (62) inn i denne likningen så får man et uttrykk for volumstrømmen som kan skrives som:

$$q_e = \frac{1}{4} A (g'h)^{1/2} \quad (63)$$

I boken Building Ventilation antas det at den transiente strømningsperioden varer i 8 sekunder.[23]

Stasjonær strømming

For å finne et uttrykk for den stasjonære strømmingen må man anta at romflatene er i termisk likevekt med romluften noe som vil si at flatene og luften har samme temperatur. Det vil som nevnt tidligere gå en strøm fra det kalde rommet til det varme rommet i den nederste delen av åpningen og en strøm fra det varme rommet til det kalde rommet i den øverste delen av åpningen. Et sted i åpningen møtes disse to strømmene. Dette planet kalles for det *nøytrale plan*. Høyden på det nøytrale plan er gitt ved h_n , se figur 7.[20]



Figur 7: Hastighetsprofil

Strømningsraten til de to strømmene er lik og man antar ingen netto innstrømming. Da er strømningsraten, q_e , gitt ved følgende funksjonelle sammenheng:

$$q_e = f(\rho, g\Delta\rho_r, w, W, h, H, v) \quad (64)$$

Arealet til åpningen er gitt ved:

$$A = wh \quad (65)$$

Man kan skrive om likning (64) til følgende:

$$q_e = f\left(\frac{w}{h}, \frac{w}{W}, \frac{h}{H}, Gr\right) A(g'h)^{1/2} \quad (66)$$

der Gr er Grashofs tall. Grashofs tall er en dimensjonsløs parameter som approksimerer forholdet mellom oppdriftskraften og den viskøse kraften som virker på et fluid. Grashofs tall er definert som:

$$Gr = \frac{g'h^3}{\nu^2} \quad (67)$$

De andre parametrene i likning (66) er:

$\frac{w}{h}$ = høyde/bredde forholdet til åpningen
 $\frac{w}{W}$ = kontraksjon i bredde
 $\frac{h}{H}$ = kontraksjon i høyde

For en gitt geometri kan da likning (66) skrives som:

$$q_e = f(Gr)A(g'h)^{1/2} \quad (68)$$

For tilfellene som omfattes i denne rapporten så kan verdien av Gr antas å være så stor at strømmingen ikke er avhengig av den og Gr kan utelates og funksjonen $f(Gr)$ kan byttes ut med:

$$q_e = CA(g'h)^{1/2} \quad (69)$$

Når det er en netto innstrømning gjennom åpningen må man ta med minimum en ekstra parameter. Når man kjenner størrelsen på den netto innstrømmingen, q_{net} , som man ofte kan ved ren mekanisk ventilasjon så blir den funksjonelle sammenhengen følgende:

$$q_{HC} = f\left(\frac{w}{h}, \frac{w}{W}, \frac{h}{H}, \frac{q_{net}}{A\sqrt{g'h}}\right) A(g'h)^{1/2} \quad (70)$$

der q_{HC} benevner strømningsraten fra det kalde rommet til det varme rommet. Strømmingen i den andre retningen er gitt ved:

$$q_{HC} - q_{CH} = q_{net} \quad (71)$$

Det er to modeller som ofte brukes her for å finne uttrykk, begge er basert på Bernoullis likning. Det er:

- *munningsmodell (orifice model)*, der det antas at trykkdistribusjonen er lik som i det mottakende rom. [20]
- *to-lags hydraulisk modell*, der trykkdistribusjonen i den innstrømmende luften er styrt av dens egen tetthet.[24]

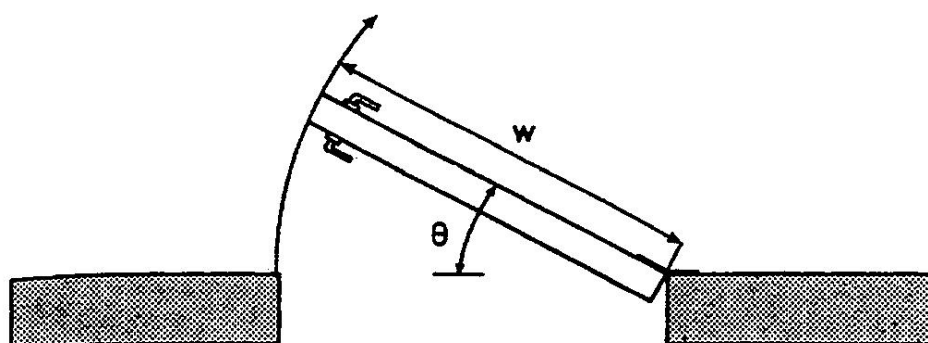
Mer om disse modellene finnes i vedlegg B. Det velges videre i rapporten å bruke munningsmodellen fordi denne modellen er enkel men samtidig såpass nøyaktig at den vil gi et bra tilnærmet bilde på strømningsraten. Denne modellen gir et uttrykk for strømningsraten på:

$$q_e = \frac{1}{3}A(g'h)^{1/2} \quad (72)$$

I boken Building Ventilation antas det at den transiente strømningsperioden varer i 2 sekunder for døråpning ved persongjennomgang og 32 sekunder ved sengetransport.[20]

6.7 Pumpeffekt ved døråpning/-lukking

Det oppstår en transient strømning ved selve åpningen og lukkingen av en dør. Denne strømmingen kan beskrives som pumpeeffekt. I rapporten "Combining door swing pumping with density driven flow" av Kiel og Wilson er pumpeeffekten ved åpning og lukking av dører studert. Her er det både betraktet tilfellet ved ingen tetthetsforskjeller, der luftutvekslingen skjer kun på grunn av pumpeeffekten, og tilfellet med tetthetsforskjeller der luftutvekslingen er en kombinasjon av disse to mekanismene.[19],[8]



Figur 8: Åpning av dør

6.7.1 Ingen tetthetsforskjell

Når døren begynner å åpnes trekkes det luft fra bak døren ved en hastighet proporsjonal til den gjennomsnittlige farten, u_d , til døren, se figur 8. Den gjennomsnittlige farten til døren er lik farten til dørens sentrum, u_d , derfor blir:

$$u_d = \frac{\theta_o \frac{w}{2}}{t_o} \quad (73)$$

der t_o er åpningstiden og θ_o er dørens vinkel ved full åpning. Volumet som dras med av døren, V_d , blir da:

$$V_d = A t_o u_d = A \frac{w}{2} \theta_o \quad (74)$$

der A er arealet til døråpningen.

I rapporten til Kiel og Wilson[8] ble det utledet en lineær relasjon mellom det pumpede volumet, V_P , og den gjennomsnittlige dørhastigheten ved $\theta_o = 90^\circ$.

$$V_P = 2,3 u_d \quad (75)$$

Det utvekslede volumet, V_P , blir omtrent 50 % av volumet som blir dratt med av døren.[19],[8]

6.7.2 Strømning drevet av oppdriftkrefter ved åpning og lukking

Det antas at to rom har forskjellig temperatur. I selve rommene er temperaturen uniform. Den minste åpningsbredden er gitt ved $w \sin \theta$, der θ er dørens vinkel ved et bestemt tidspunkt. Dersom strømmingen behandles som kvasi-stabil, slik at strømmingen øyeblikkelig vil tilpasse seg skiftende åpningsvinkelen og at den er lik luftutvekslingsraten ved stabil tilstand (steady-state), q_e , så trenger man bare ta hensyn til tidsvariasjonen i dørbredde.[19]

Det antas at den totale åpningstiden er summen av åpningstiden, t_o , tiden der døren er helt oppe, t_h , og lukketiden, t_l . Det totale pumpede volumet blir da:

$$\begin{aligned} V_P &= q_e \left[\int_0^{t_o} \sin \theta(t) dt + t_h \sin \theta_o + \int_0^{t_l} \sin \theta(t) dt \right] dt \\ &= q_e \left(t_h \sin \theta_o + \frac{t_o + t_l}{\theta_o} (1 - \cos \theta_o) \right) \end{aligned} \quad (76)$$

6.7.3 Kombinasjon av oppdrifts og pumpekrefter

I mange praktiske situasjoner der både pumpe- og oppdriftskrefter oppstår så vil det ikke være mulig å simpelthen bare legge disse mekanismene sammen. Kiel og Wilson sier i rapporten sin at de to mekanismene har en tendens til å spille inn på hverandres evne til å utføre luftutveksling. Graden av forstyrning de to mekanismene har på hverandre er bestemt av deres relative styrke.[19],[8]

6.8 Passasje av mennesker

Et menneske som beveger seg gjennom døråpningen vil rive med seg en mengde med luft på liknende vis som døren gjør ved åpning/lukking. Dette vil da føre til en utveksling av luft mellom de to rommene. En annen effekt av en menneskepassering er at åpningen blir mindre og dermed kan denne mekanismen forhindre utveksling ved andre mekanismer. En slik passering kan også forstyrre den oppdrifts-drevne mekanismen. I utgivelsen "Air movement through doorways" av Shaw og Whyte ble det studert fortregning av luft med passering av mennesker, dersom man ikke har temperaturdifferanser mellom rommene. Døren var en skyvedør med høyde 2,05 m og bredde 0,9 m. Det ble i utgivelsen konkludert med at luftutvekslingsvolumene lå mellom 0,29 m³ for hurtig gange og 0,087 m³. [19],[26]

6.9 Forenklede beregninger

Det er også foretatt enkle beregninger av luftstrømningene i isolatet ved bruk av overestående likninger. Disse beregningene er plassert i vedlegg D og E med nomenklatur i vedlegg C. I tabellene nedenfor er beregningene summert opp. Den første tabellen viser beregninger for døråpningen mellom slusen og korridoren og den andre tabellen viser beregninger for døråpningen mellom slusen og pasientrommet. Den venstre raden i tabellene er personaltransport og den høyre er sengetransport.

Transient strømning:	0,6704 m ³	1,3408 m ³
Stasjonær strømning:	0,1007 m ³	3,2192 m ³
Temperaturdifferanser:	0,7711 m³	4,5600 m³
Pumpeeffekt :	0	0
Passasje, sakte gange:	0,0870 m³	0,2610 m³
Passasje, hurtig gange:	0,2900 m³	
Totalt, sakte gange:	0,8581 m³	4,8510 m³
Totalt, hurtig gange :	1,0611 m³	

Luftsmitteisolater - Teoretiske strømningstekniske modeller sammenliknet med praktiske forsøk

Transient strømning:	0,6696 m ³	1,3384 m ³
Stasjonær strømning:	0,1004 m ³	3,2128 m ³
<hr/>		
Temperaturdifferanser:	0,7700 m ³	4,5512 m ³
Pumpeeffekt :	0,5750 m ³	0,5750 m ³
Passasje, sakte gange:	0,0870 m ³	0,2610 m ³
Passasje, hurtig gange:	0,2900 m ³	
<hr/>		
Totalt, sakte gange:	1,4320 m³	5,3872 m³
Totalt, hurtig gange :	1,6350 m³	

7 Målinger ved isolatene på SSHF Kristiansand

Hovedmålet til et luftsmitteisolat er å forhindre at smitte fra en smittsom pasient som ligger på isolatet kommer ut i omgivelsene. Dette kan gjøres på flere måter, men en av de mest effektive er å skape et kunstig undertrykk i pasientrommet og slusen i forhold til omgivelsene (korridoren). På den måten vil luftstrømmningene gå fra omgivelsene og inn i pasientrommet, slik at det blir mye vanskeligere for smittestoffet å transporteres ut av pasientrommet. Det kunstige undertrykket skapes som kjent ved at man trekker av mer luft i isolatet enn man tilfører. For å få til dette må isolatene ha et avansert ventilasjonssystem. Det er foretatt målinger på dette ventilasjonssystemet for å kunne vurdere om isolatet fungerer tilfredsstillende. Målinger som skulle gjennomføres var:

- målinger av trykkforhold under drift
- målinger av temperaturer under drift
- målinger av luftfuktighet
- sporgassmålinger

7.1 Måleutstyr

Trykklølere

Til å måle trykkforskjeller mellom rommene ble det brukt en trykktransmitter av type Kimo CP100 som vist i figur 9



Figur 9: Kimo CP100

Trykktransmitteren fungerer ved at et trykksensitivt element lager en proporsjonal spenning ut av det trykket som sensoren føler. Den kan måle trykkforhold

både i vanlig luft og i andre nøytrale gasser. Trykktransmitteren kan også kobles til en datalogger ved hjelp av kabel. Måleområdet er fra -50 til 50 Pa eller 0 til 100 Pa og usikkerheten er på $\pm 1,5\%$. [7]

Multifunksjonelt multimeter

Til å måle temperaturer, luftfuktigheter og lufthastigheter brukes et multifunksjonelt multimeter av typen TSI 8388 VelociCalc Plus som vist i figur 10.



Figur 10: TSI 8388 VelociCalc Plus

Dette måleapparatet kan også brukes til å måle trykkdifferanser og duggpunktstemperaturer. I tabell 10 og tabell 11 er måleområdene og usikkerheten til apparatet beskrevet. [11]

Lufthastighet [m/s]	0,15-2,5	2,5-10	10-30	30-50
Usikkerhet [m/s]	+/-0,01	+/-0,05	+/-0,25	+/-0,5

Tabell 10: Lufthastigheter og usikkerhet

	<i>Temperatur [°C]</i>	<i>Trykk [kPa]</i>	<i>Luftfuktighet [%]</i>	<i>Duggpunkt [°C]</i>
Måleområde	-10 til 60	-2500 til 2500	20 til 95	-15 til 49
Usikkerhet	+/-0,28	+/-0,005	+/-4	

Tabell 11: Måleområder og usikkerhet

Datalogger



Figur 11: Mitec AT40

Til å logge data fra trykktransmitteren ble det brukt en datalogger av type Mitec AT40. Figur 11 viser en nyere modell av Mitec AT40 enn den som ble brukt i målingene.

Dette er en såkalt universell datalogger. Det vil si at man kan koble til flere ulike måleenheter. Enhetene blir automatisk identifisert og skalert. Loggingen fungerer ved at måleenheten avgir et spenningssignal som ligger mellom 0 og 10 V ettersom hva måleverdien er. Loggeren registrerer da forandringene i spenningen som blir avgitt. Man må etterpå regne om fra spenning til den respektive enheten slik at man får et korrekt bilde på utviklingen i målingen.[10]

Sporgassmåleutstyr

Sporgassutstyret er fra Brüel og Kjær består av to deler; 1302 Multi-Gas monitor og 1303 Multipoint Sampler and Doser.

1302 Multi-Gas monitor er den delen av sporgassutstyret som inneholder filtre og som analyserer sporgassen. Man har 5 filtre installert i monitoren; filtre for CO₂, CO, SF₆, N₂O og vanddamp. Nøyaktigheten til dette instrumentet er meget høy på grunn av dets mulighet til å kompensere for temperatur- og trykkvariasjoner samt korrigering for vanddampforstyrrelse og forstyrrelse av andre gasser som er tilstede. Figur 12 viser en liknende monitor som den som ble brukt.

1303 Multipoint Sampler and Doser er den delen av sporgassutstyret som utfører doseringen av sporgassen og som tar inn målingene. Den har seks kanaler for dosering av gass og kan måle på seks ulike målepunkter. I tillegg kan instrumentet også måle temperaturen ved seks ulike målepunkter. Se figur 13 for bilde av måleinstrumentet.

I tillegg til dette utstyret trengs det også en trykkbeholder med gass man kan bruke som sporgass. Det ble brukt medisinsk lystgass eller N₂O.



Figur 12: 1412 Innova Photoacoustic Field Gas Monitor



Figur 13: 1303 Multipoint Sampler and Doser

7.2 Trykkforhold under drift

De statiske trykkforholdene mellom rommene ved isolatventilasjon med dørene lukket ble målt med trykkføleren. Det ble målt trykkforskjeller mellom sluse og pasientrom, sluse og korridor og pasientrom og skyllerom. Målingene ble gjennomført ved at man førte den ene slangen som er koblet til trykkføleren under døren og inn i det andre rommet. Den andre slangen som var koblet til trykkføleren lå i det samme rom som trykkføleren. Luften i den ene slangen fikk dermed trykket i det ene rommet, mens luften i den andre slangen fikk trykket i det andre rommet. Trykkføleren målte da trykkdifferansen på luften i de to rommene.

Det ble også målt trykkforhold mellom rommene ved isolatventilasjon ved åpning og lukking av dørene og ved åpning, lukking og gange gjennom dørene. Dette ble målt på samme måte som de statiske trykkforholdene, bortsett fra at det også kobles til en datalogger her som kan registrere utviklingen i trykkforholdene ved åpning/lukking/gange.

7.3 Temperaturer under drift

Det ble utført målinger av de statiske temperaturene i rommene ved isolatventilasjon med dørene lukket. Det ble tatt målinger i korridor, i sluse, i pasientrom og i skyllerom. Temperaturmålingene ble tatt ved hjelp av multimeteret, og de ble tatt mest mulig midt i rommet.

7.4 Luftfuktighetsmålinger

Det ble også utført målinger av luftfuktigheten i korridor, sluse, pasientrom og skyllerom ved isolatventilasjon og dørene lukket. Disse målingene ble tatt ved hjelp av multimeteret, og de ble tatt mest mulig midt i rommet.

7.5 Sporgassmålinger

For å undersøke om luft fra isolatet siver ut i korridoren og om det kommer luft ut i korridoren fra isolatet ved åpning/lukking/gange gjennom dørene brukes det sporgassmålinger. Sporgassen brukes som et substitutt for smittestoff. Målingene gir en meget god pekepinn på om det kan komme smittestoff fra isolatet og ut i korridoren.

Målingene utføres ved at man først doserer en konstant mengde lystgass på ønsket sted i ønsket rom. Når 4 luftskifter er gått regnes konsentrasjonen i tilført rom som konstant og man kan begynne å måle.

En måling tar rundt ett minutt og utstyret kan bare måle i et punkt av gangen. Første delen av minuttet brukes til å suge inn luft fra målepunktet. Luften som

ble sugd inn sendes så til analysekammeret der luften analyseres. Etter analysen logges dataene. Mellom målesekvansene er det en måleperiode der man sjekker at lystgassnivået er nede på referansenivå før man går videre.

Tilførselspunktene skal være følgende steder:

- ved seng i pasientrom, for å simulere en smittsom pasient som ligger i sengen og utsondrer smittestoff
- i midten av slusen, for å simulere smitte som kan henge igjen på klær som tas av i slusen eller smittestoff som har blitt dratt med fra pasientrommet til slusen.

Målepunktene vil være:

- i midten av pasientrom
- i midten av sluse
- i korridor ved inngang til isolat

Det er også viktig å undersøke om det finnes lystgass i rommene fra før. Det kjøres derfor en måling der man ikke tilfører noe sporgass i det hele tatt. Nivået som da bli målt blir satt som referansenivå.

7.6 Forberedelse til målinger

Luftsmitteisolatene på SSHF Kristiansand blir brukt som vanlige pasientrom i perioder der det ikke er behov for isolatbruk. Det er sjelden at isolatene på sykehuset står tomme og dette medførte enkelte problemer da tidspunkt for målingene skulle avtales. Det ble avtalt å utføre målingene 8. april 2009.

Se vedlegg F for nøyaktig beskrivelse av målinger som ble utført.

8 Måleresultater

Måleresultatene fra sykehuset blir her presentert. Målingene er bearbeidet i Microsoft Excel.

Målingene ble utført 8. april 2009. Været var overskyet og det var vindstille. Utetemperatur ble målt til 4,2 °C og utvendig lufttrykk ble målt med barometer til 100,5 bar.

Måleresultatene blir videre evaluert og diskutert i kapittel 9: Diskusjon.

8.1 Trykkforhold under drift

Måling 1

Det ble først utført statiske trykkmålinger i rommene med dørene lukket. Resultatene er presentert i tabell 12.

	Trykk i Pa i forhold til:			
	<i>Korridor</i>	<i>Sluse</i>	<i>Pasientrom</i>	<i>Skyllerom</i>
Korridor	0	8	14	21
Sluse	-8	0	6	13
Pasientrom	-14	-6	0	7
Skyllerom	-21	-13	-7	0

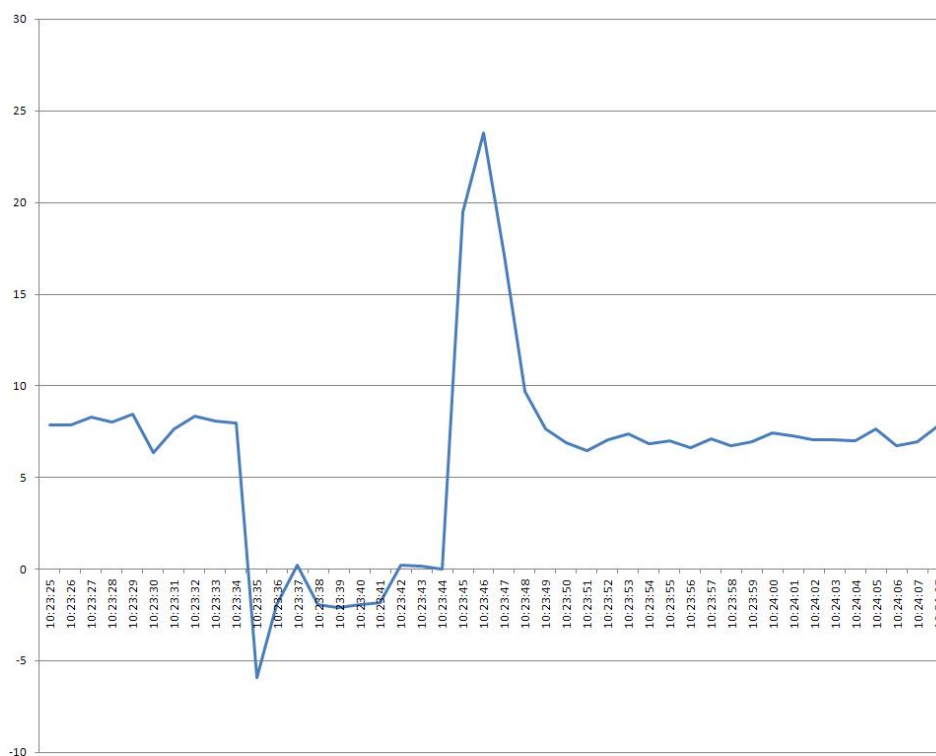
Tabell 12: Målinger av trykkforhold ved stengte dører

Det ble så utført målinger av trykkforholdene ved åpning og lukking av dørene og ved åpning, lukking og gange gjennom dørene. Det ble utført målinger ved åpning/lukking/gange gjennom døren fra korridor til sluse, gjennom døren fra sluse til pasientrom og gjennom døren fra pasientrom til skyllerom. Målinger ble gjennomført ved både halv og hel åpning av korridor/sluse døren og sluse/pasientrom døren.

Måling 2

I måling 2 ble det målt trykkforhold mellom pasientrom og sluse ved vanlig åpning og lukking av døren. Døren blir her åpnet halvt. Figur 14 viser utviklingen av trykkforholdet ved åpningen og lukkingen.

Man kan i figur 14 se at trykkforholdet holder seg jevnt rundt 8 Pa frem til døren åpnes. Man får da en trykkutjevning mellom rommene etterfulgt av en svingning som etterhvert utvikler seg til en likevekt mellom rommene på rett over 0



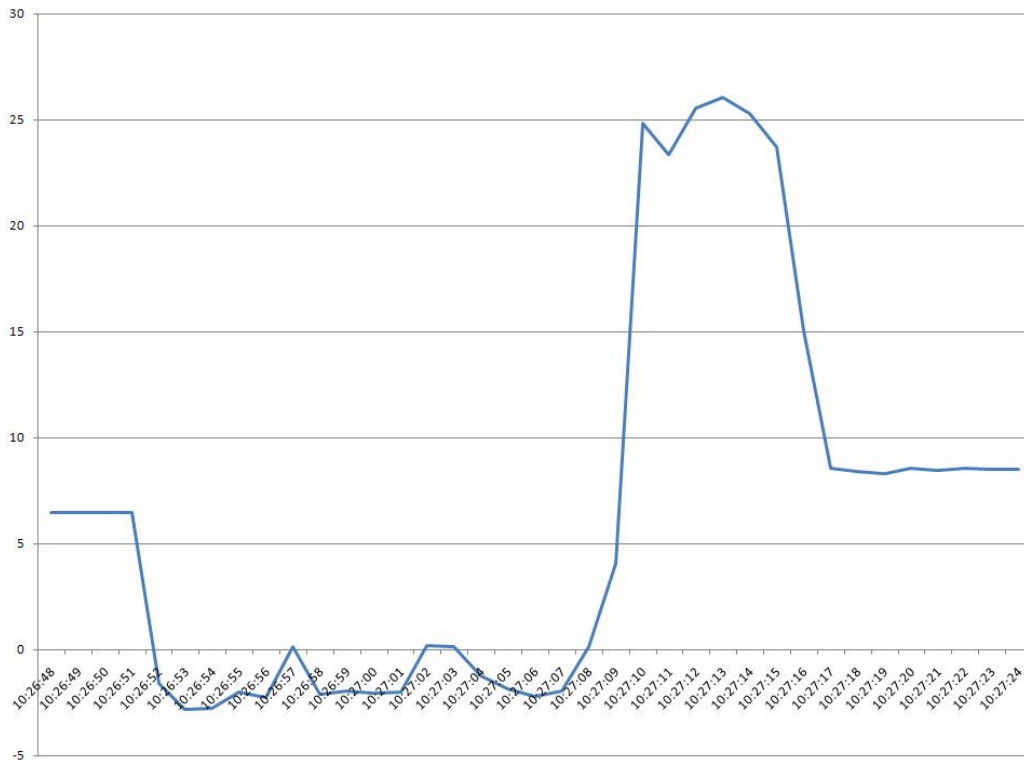
Figur 14: Måling 2, Trykkforhold pasientrom/sluse ved 1/2 åpning og lukking av dør

Pa. Døren lukkes og man ser en hurtig etablering av overtrykket igjen. På grunn av denne hurtige etableringen vil overtrykket svinge frem og tilbake før det faller til ro på rundt 8 Pa igjen. Overtrykket er faktisk oppe i 24 Pa på det meste.

Måling 3

I måling 3 ble det målt trykkforhold mellom pasientrom og sluse ved åpning og lukking av døren når døren åpnes helt opp (1/1 åpning). Figur 15 viser utviklingen av trykkforholdet ved åpningen og lukkingen.

Man ser i denne målingen samme tendens som i måling 2. Overtrykket ligger her på ca. 7 Pa før man åpner døren. Trykket faller og man får en svingning der trykkforholdet for det meste ligger under 0 Pa, det vil si at man har et undertrykk. Når døren lukkes igjen økes trykket hurtig opp til ca. 25 Pa før det etablerer seg på rundt 8 Pa. Man ser også at trykknivået på 25 Pa varer lengre enn ved måling 2.

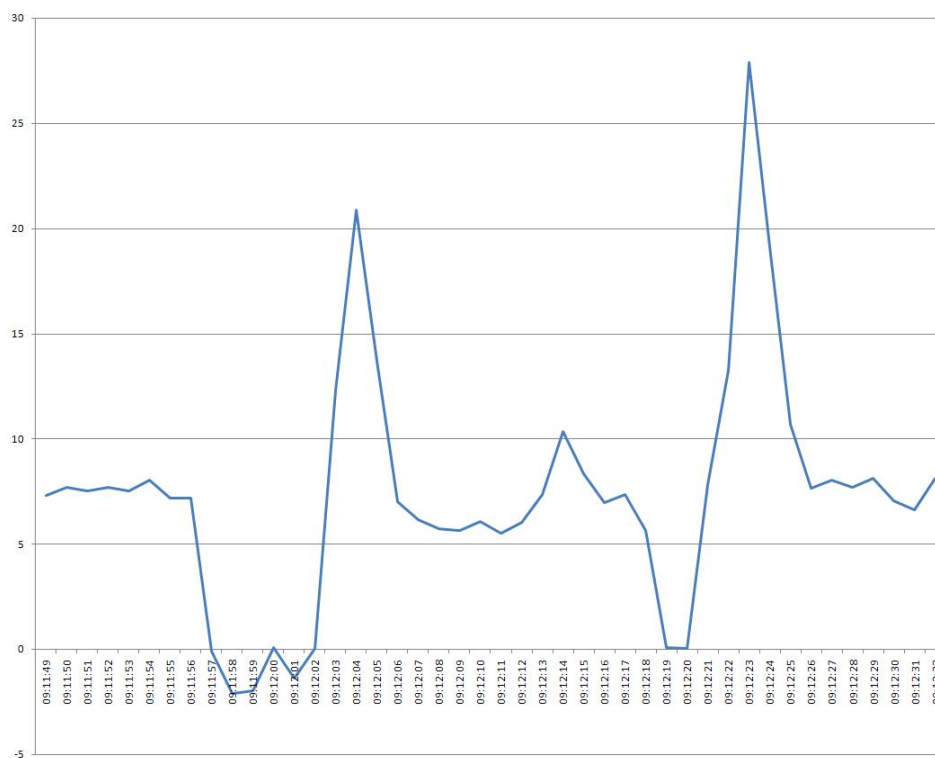


Figur 15: Måling 3, Trykkforhold pasientrom/sluse ved 1/1 åpning og lukking av dør

Måling 4

I måling 4 ble det målt trykkforhold mellom pasientrom og sluse ved åpning av døren, gange gjennom døren og lukking av døren. Døren har nå 1/2 åpning. Figur 16 viser utviklingen av trykkforholdet.

Man ser her at trykkforholdet ligger jevnt på 8 Pa før døren åpnes. Som ved måling 2 og 3 så synker trykkforholdet og man får et lite undertrykk. Ved gange gjennom døråpningen skjer svært lite med trykkforholdet og det er stabilt frem til døren lukkes igjen. Det stiger da hurtig opp til over 20 Pa som ved måling 2 og 3 før det svinger seg inn og stabiliserer seg rundt 6-7 Pa. Døren åpnes så fra pasientrom-siden og man ser at trykket synker igjen til rundt 0 Pa. Gange gjennom døråpningen fra pasientrom-siden har lite å si på trykkforholdet og det er konstant frem til døren lukkes igjen, da trykket stiger til 27 Pa før det stabiliserer seg rundt 8 Pa igjen.

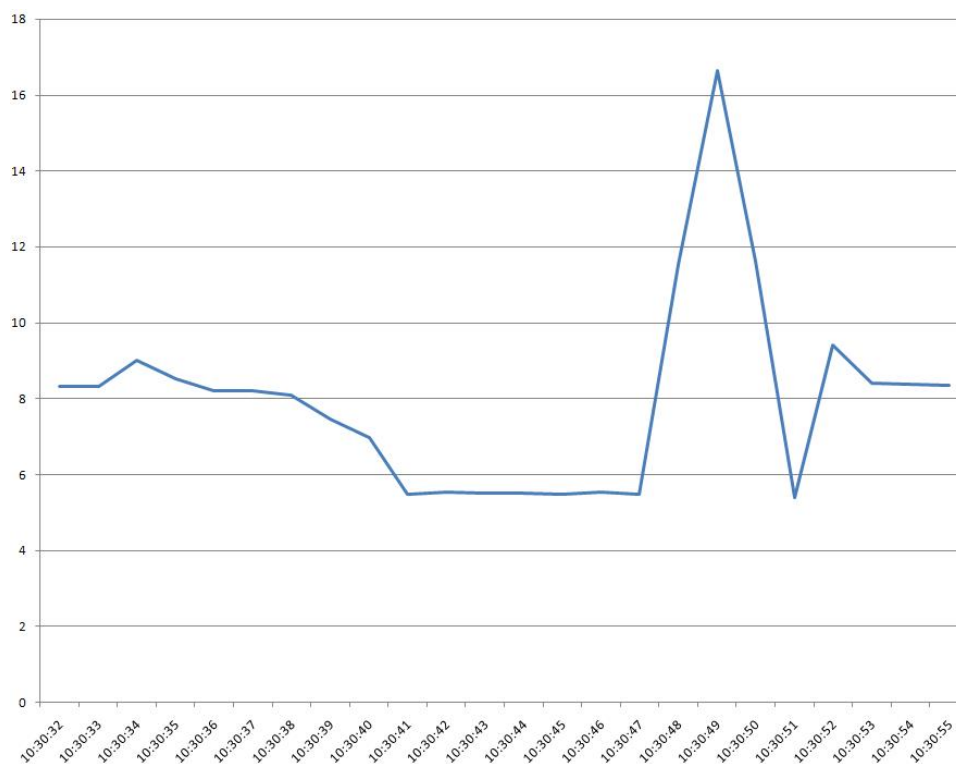


Figur 16: Måling 4, Trykkforhold pasientrom/sluse ved 1/2 åpning, gange gjennom og lukking av dør

Måling 5

I måling 5 ble det målt trykkforhold mellom sluse og korridor ved 1/2 åpning av døren og lukking av døren. Figur 17 viser utviklingen av trykkforholdet.

Trykkforholdet ligger konstant på i overkant av 8 Pa frem til døren åpnes. Trykkforholdet synker da til 5-6 Pa som holder seg frem til døren lukkes igjen. Da stiger trykkforholdet raskt opp til ca. 17 Pa før det svinger og stabiliserer seg på rundt 8 Pa igjen.

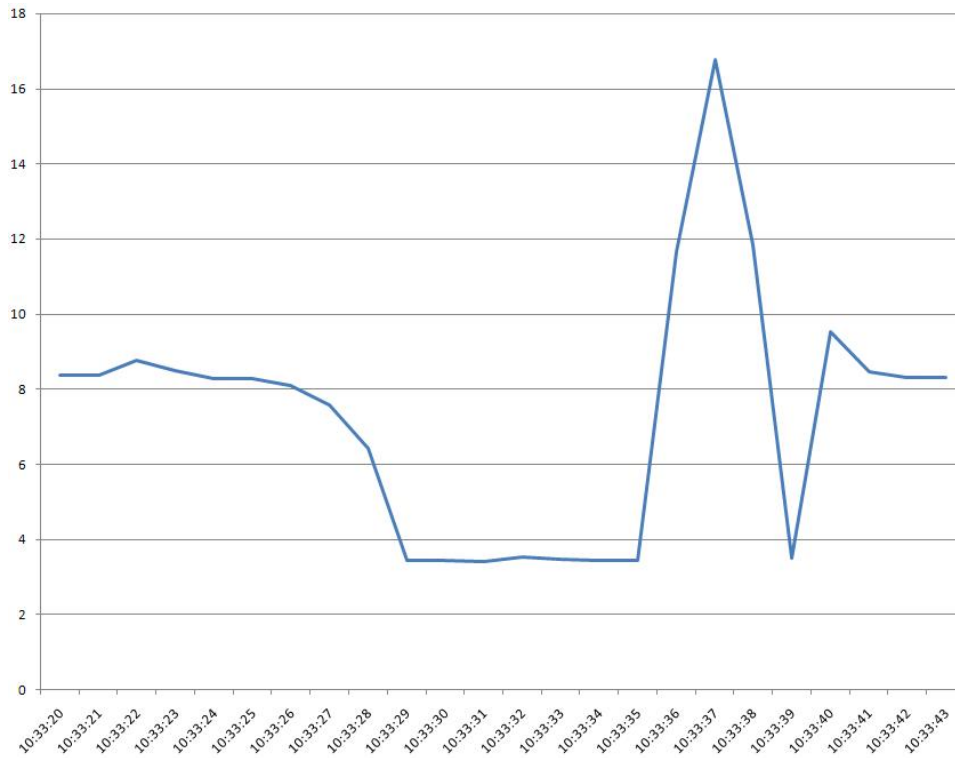


Figur 17: Måling 5, Trykkforhold sluse/korridor ved 1/2 åpning og lukking av dør

Måling 6

I måling 6 ble det målt trykkforhold mellom sluse og korridor ved 1/1 åpning av døren og lukking av døren. Figur 18 viser utviklingen av trykkforholdet.

Man ser her samme tendens som i måling 5. Trykkforholdet ligger i overkant av 8 Pa frem til døren åpnes. Deretter synker det til 3-4 Pa helt til døren lukkes igjen. Trykkforholdet stiger da raskt opp til ca. 17 Pa før det svinger litt og stabiliserer seg på 8 Pa.

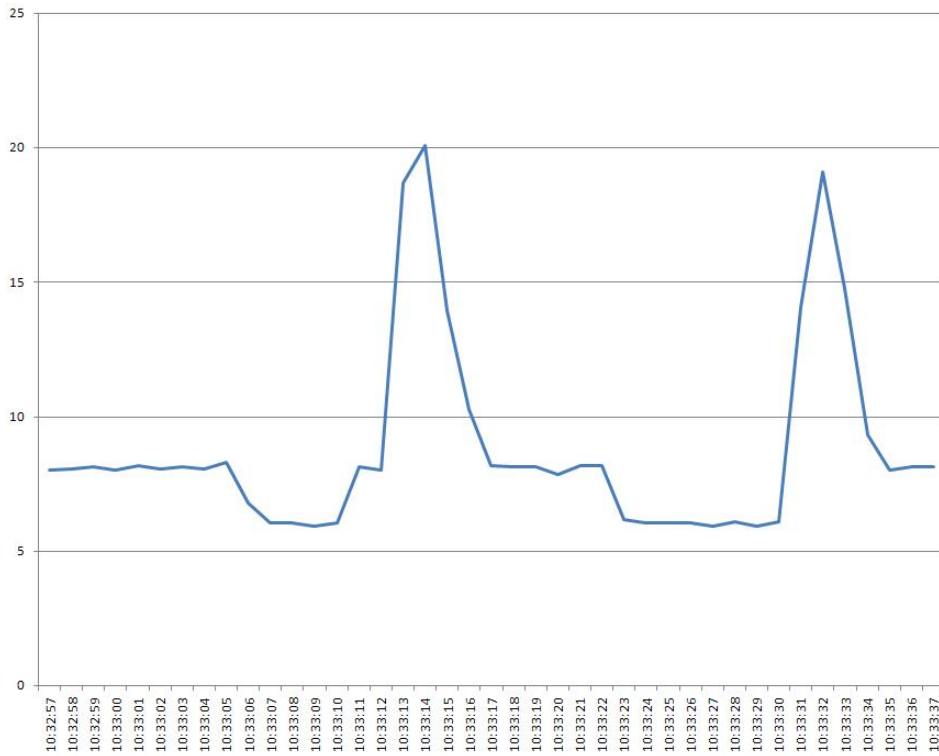


Figur 18: Måling 6, Trykkforhold sluse/korridor ved 1/1 åpning og lukking av dør

Måling 7

I måling 7 ble det målt trykkforhold mellom sluse og korridor ved 1/2 åpning av døren, gange gjennom og lukking av døren. Figur 19 viser utviklingen av trykkforholdet.

Trykkforholdet ligger jevnt på 8 Pa til døren åpnes. Man får da et fall ned til ca. 6 Pa som holder seg til man har gått gjennom åpningen fra sluse til korridor og til døren lukkes igjen. Da stiger trykkforholdet opp til ca. 20 Pa hurtig og synker så ned til 8 Pa. Når døren åpnes igjen får man en liten nedgang igjen, ned til ca. 6 Pa som holder seg til man har gått gjennom åpningen fra korridor til sluse og til døren lukkes igjen. Trykkforholdet stiger da raskt opp til rundt 20 Pa igjen før det stabiliseres rundt 8 Pa.

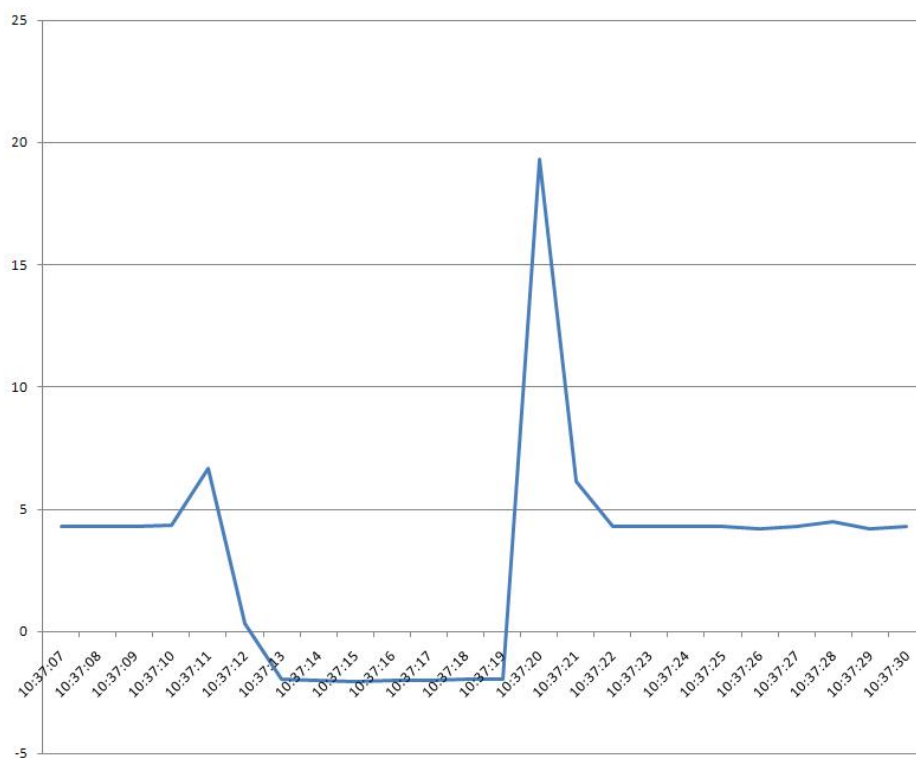


Figur 19: Måling 7, Trykkforhold sluse/korridor ved 1/2 åpning, gange gjennom og lukking av dør

Måling 8

I måling 8 ble det målt trykkforhold mellom pasientrom og skyllerom ved åpning og lukking av døren. Figur 20 viser utviklingen av trykkforholdet.

Trykkforholdet ligger på rundt 4 Pa til døren åpnes. Forholdet øker først litt for så å synke til -2 Pa slik at man får undertrykk. Dette holder seg til døren lukkes, da trykkforholdet hurtig stiger til nesten 20 Pa for så å stabilisere seg på 4 Pa igjen.

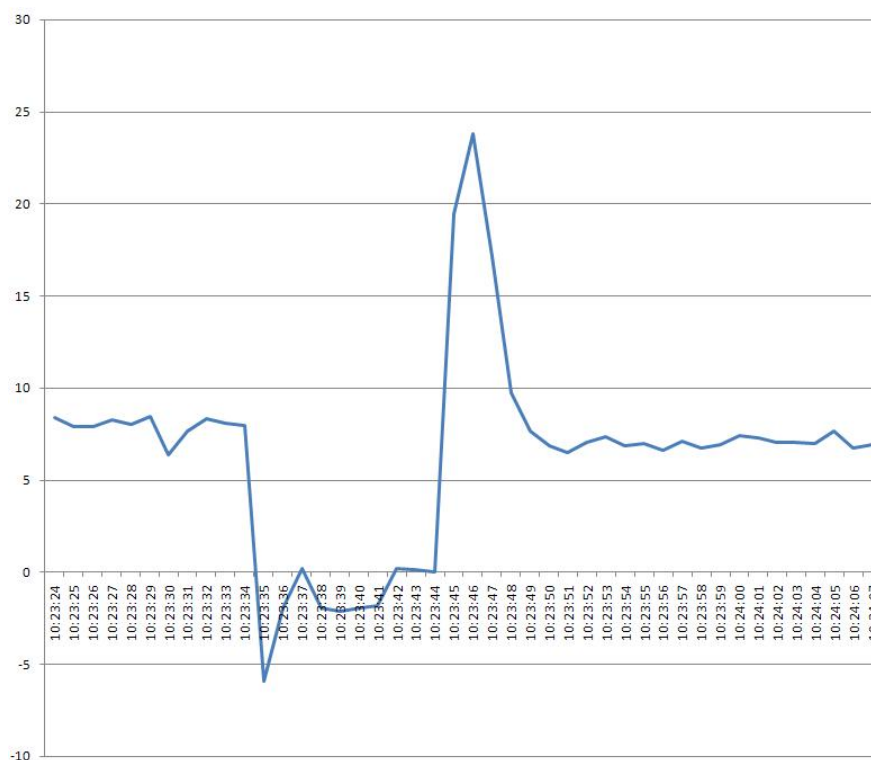


Figur 20: Måling 8, Trykkforhold pasientrom/skyllerom ved åpning og lukking av dør

Måling 9

I måling 9 ble det målt trykkforhold mellom pasientrom og skyllerom ved åpning av dør, gange gjennom, og lukking av dør. Figur 21 viser utviklingen av trykkforholdet.

Her ligger trykkforholdet før åpning på rundt 8 Pa til forskjell fra måling 8. Døren åpnes og man får et trykkfall som går helt ned til -6 Pa før det stabiliseres på 0 til -1 Pa. Man får et undertrykk. Gange gjennom døren fra pasientrom til skyllerom har lite å si på forholdet. Når døren lukkes får man en rask økning opp til nesten 25 Pa overtrykk som igjen stabiliserer seg på ca. 7 Pa.



Figur 21: Måling 9, Trykkforhold pasientrom/skyllerom ved åpning, gange gjennom og lukking av dør

8.2 Temperaturer og luftfuktigheter under drift

Det ble utført målinger av de statiske temperaturene og luftfuktighetene i rommene ved dørene lukket. Disse målingene er presentert i tabell 13.

Sted	Temperatur ($i^{\circ}C$)	Luftfuktighet(RF) (i %)
Korridor	24,1	13,5
Sluse	23,6	12
Pasientrom	23	11,2
Skyllerom	22,7	13

Tabell 13: Temperatur og luftfuktighet i rommene

8.3 Sporgassmålinger

Det ble utført sporgassmålinger for å sjekke isolatets motstand mot spredning av smittefarlige mikrober. For å simulere mikroberne brukes sporgass. Som sporgass

brukes lystgass og denne gassen blir tilført med konstant mengde i et rom, og man måler sporgasskonsentrasjonen i de omliggende rom ved åpning, lukking og gange gjennom dørene.

Sporgassutstyret logger kontinuerlig hvert minutt, men bruker et minutt på hver analyse av luftprøven som blir tatt. Det brukes 3 målepunkter og utstyret bruker 1 minutt på hvert punkt. Det vil si at det vil ta 3 minutt før et måleintervall er gjennomført og utstyret kan starte på et nytt.

Dørene er forriglet. Det vil si at man kan ikke åpne både pasientrom/sluse døren og korridor/sluse døren samtidig. Forriglingen kan overstyres ved sengetransport om nødvendig slik at begge dørene kan stå oppe samtidig.

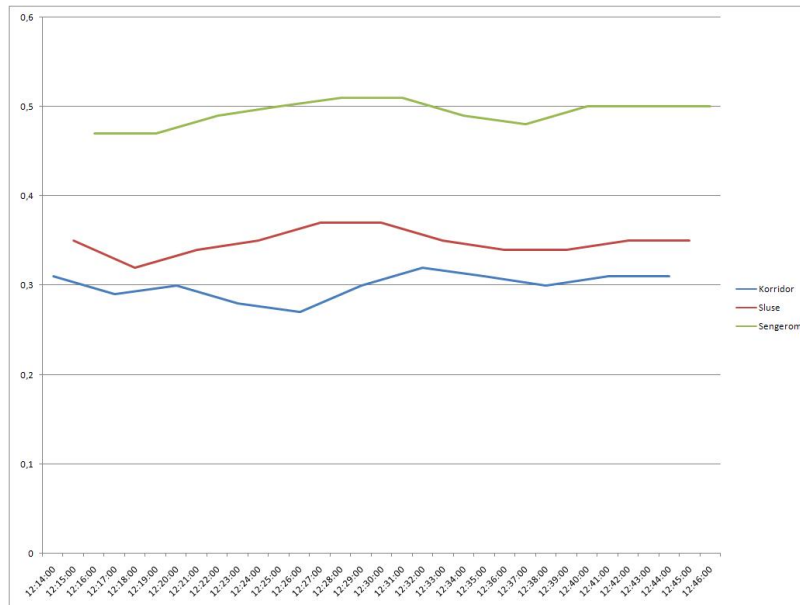
I sporgassmålingene måles det ved åpning, lukking og gange gjennom dørene. Det brukes en oppholdstid på 1 minutt i sluse før åpning av neste dør. Ved 1/1 åpning står begge dørene oppe slik at man simulerer sengetransport. Disse målingene blir allikevel ikke helt korrekte da man ikke brukte en seng i målingene noe som kunne ført til at mer luft blir transportert mellom rommene.

I alle figurene er lystgassnivået oppgitt i ppm (parts per million).

Måling 1

Lystgass blir brukt som sporgass og siden dette er en gass som blir brukt på sykehus er det en risiko for at det er små mengder med lystgass i luften før eventuelle målinger. Derfor ble det utført en måling der man ikke doserer noen lystgass for å få et referansenivå. Disse målingene er presentert i figur 22.

Sporgassnivået i sengerommet viser en verdi på omtrent 0,5 ppm, mens nivået i sluse og korridor ligger henholdsvis på 0,35 og 0,31 ppm. Det høyere nivået i sengerommet kan tyde på en liten lekkasje fra flasken.



Figur 22: Måling 1, Måling av lystgassnivå uten dosering

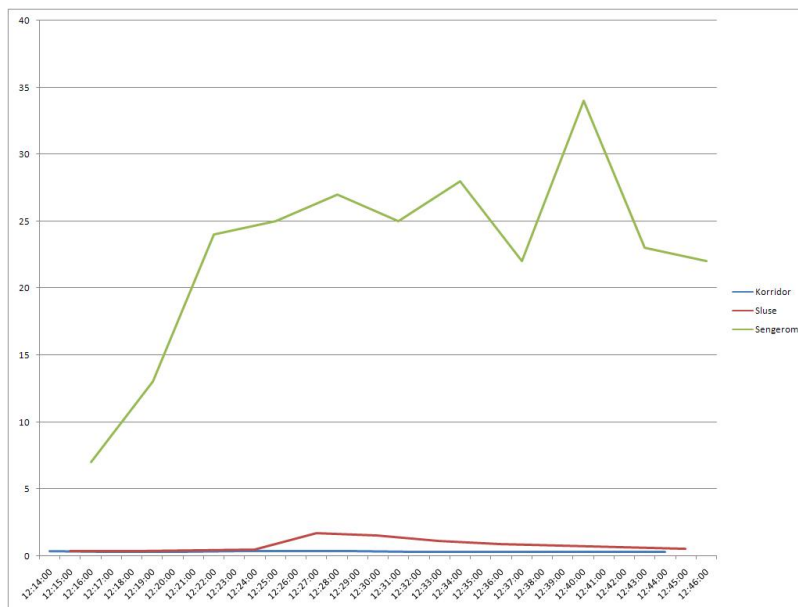
Måling 2

I måling 2 ble det målt sporgassnivå i de tre rommene ved dosering av sporgass i pasientrom. Åpningen er 1/2 og man foretar en gjennomgang fra korridor til pasientrom via slusen. Figur 23 viser sporgassnivået i de forskjellige rommene ved gitte tidspunkt og figur 24 gir en mer detaljert fremstilling av sporgassnivået i slusen og korridoren.

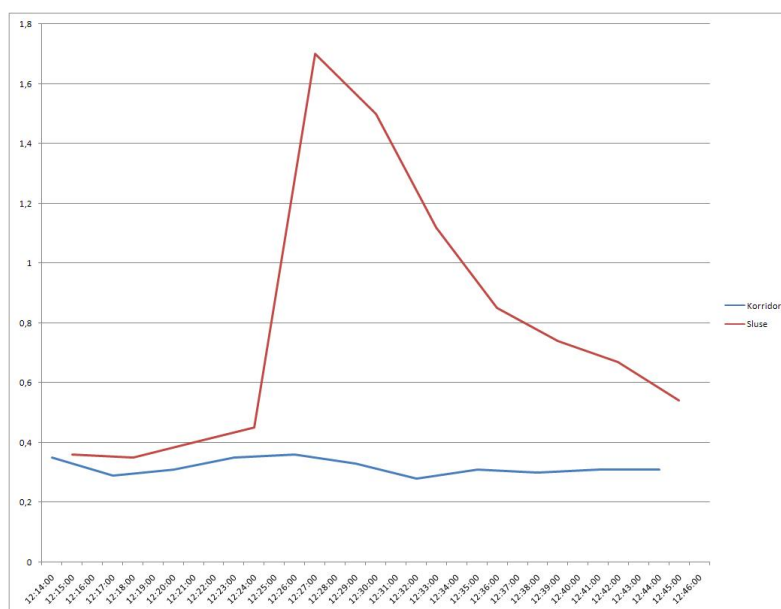
Ved målingsstart begynner sporgassnivået i pasientrommet å stige og flater ut på 25-30 ppm. Gjennomgangen har liten innvirkning på kurven, men man kan se en kraftig svingning rundt kl. 12:40. Dette kan være uregelmessigheter i ventilasjonen.

Sporgassnivået i slusen ligger på rundt 0,35 før døråpning. Man merker lite til at døren mellom korridoren og slusen åpnes, nivået er forholdsvis konstant. Ved åpning og gange gjennom den neste døren ser man en markant økning (kl 12:24). Nivået stiger til 1,7 ppm. Konsentrasjonen synker så ned mot det normale nivået på grunn av ventilasjonen som tynner ut lufta.

Konsentrasjonen i korridoren virker upåvirket av gjennomgangen til pasientrommet og ligger konstant rundt 0,3 ppm.



Figur 23: Måling 2, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra korridor



Figur 24: Måling 2, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra korridor, sluse og korridor måling

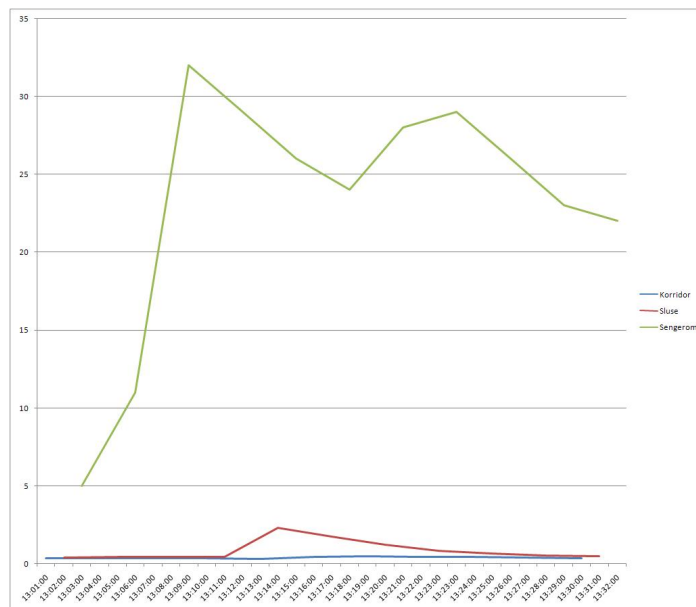
Måling 3

I denne målingen ble det målt sporgassnivå i rommene ved dosering av sporgass i pasientrom. Åpningen er her 1/2 og det foretas en gjennomgang gjennom isolatet men denne gang fra pasientrommet. Figur 25 viser sporgassnivået i de forskjellige rommene ved gitte tidspunkt og figur 26 viser sporgassnivået i slusen og korridoren mer detaljert.

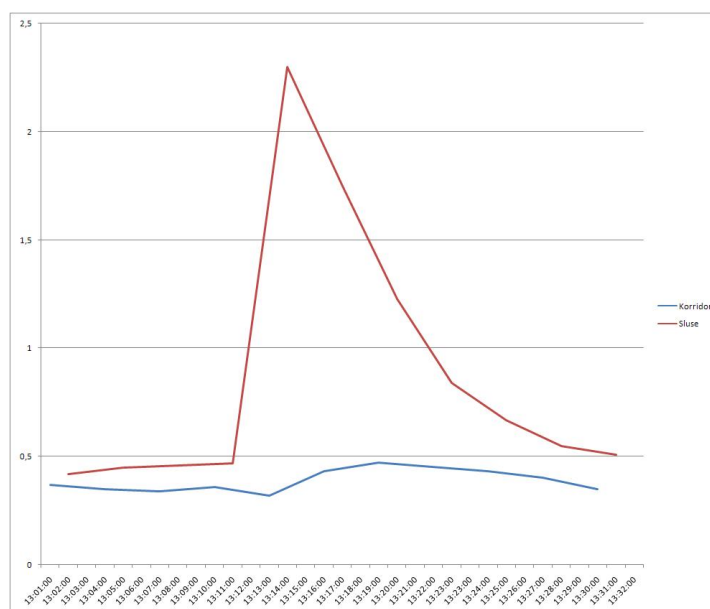
Sporgassnivået i pasientrommet stiger ved denne målingen til 32 ppm kort tid etter målingsstart. Dette er en noe høyere verdi enn ved forrige måling. Man ser så en liten negang i nivå begynner omtrent der døren til slusen blir åpnet. Nivået fortsetter å synke til rundt 24 ppm før det veksler opp og ned mellom 29 og 22 ppm.

Formen på slusens sporgassnivå er omtrent likt som i måling 2, men man kan se at toppnivået som kommer rett etter døråpning og gange gjennom er høyere enn i måling 2. Toppnivået her er på 2,3 ppm.

Nivået i korridoren er forholdsvis konstant på rundt 0,35 ppm frem til døråpning da man ser en liten økning opp til 0,47 ppm før det igjen synker igjen.



Figur 25: Måling 3, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra pasientrom



Figur 26: Måling 3, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra pasientrom, sluse og korridor måling

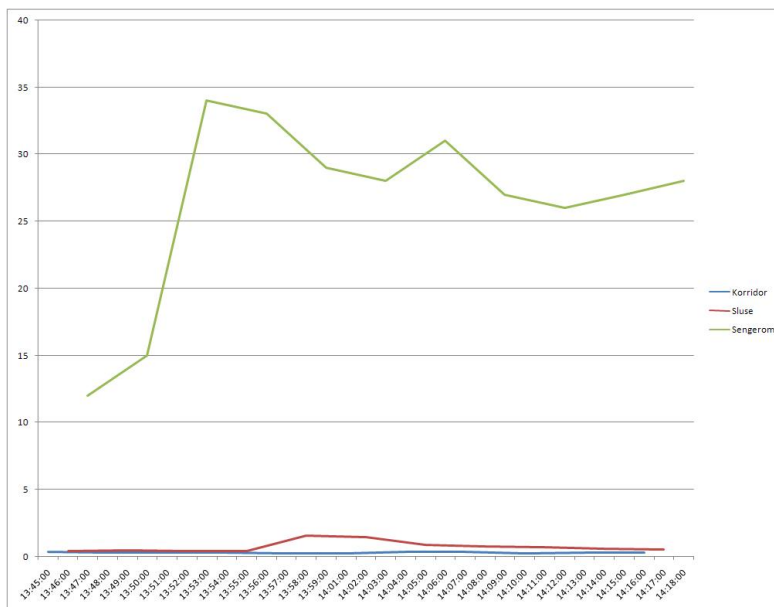
Måling 4

I denne målingen ble det dosert sporgass i pasientrom. Det simuleres sengetransport og åpningen skal derfor være 1/1. Det foretas en gjennomgang fra korridoren. Figur 27 viser nivået i rommene og figur 28 viser nivå i sluse og korridor mer detaljert.

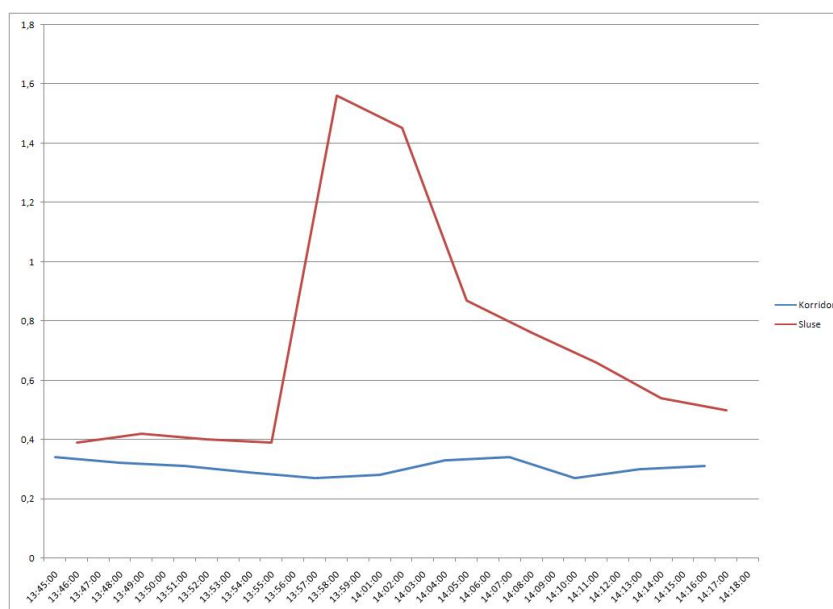
Kurven over sporgassnivået i pasientrommet viser at man får en liknende utvikling som i målingene før. En kraftig stigning i begynnelsen opp til ca. 34 ppm før nivået synker litt når døren åpnes. Ellers ligger nivået på mellom 27 til 31 ppm.

Utviklingen av sporgassnivået i slusen får omtrent samme form som i måling 2. Man ser en økning straks etter døråpning til pasientrommet. Toppnivået ligger på rett under 1,6 ppm.

Korridornivået er stort sett konstant og virker upåvirket av døråpningene. Nivået ligger på 0,27 til 0,34 ppm.



Figur 27: Måling 4, Dosering i pasientrom, 1/1 åpning, gange fra korridor



Figur 28: Måling 4, Dosering i pasientrom, 1/1 åpning, gange fra korridor, sluse og korridor måling

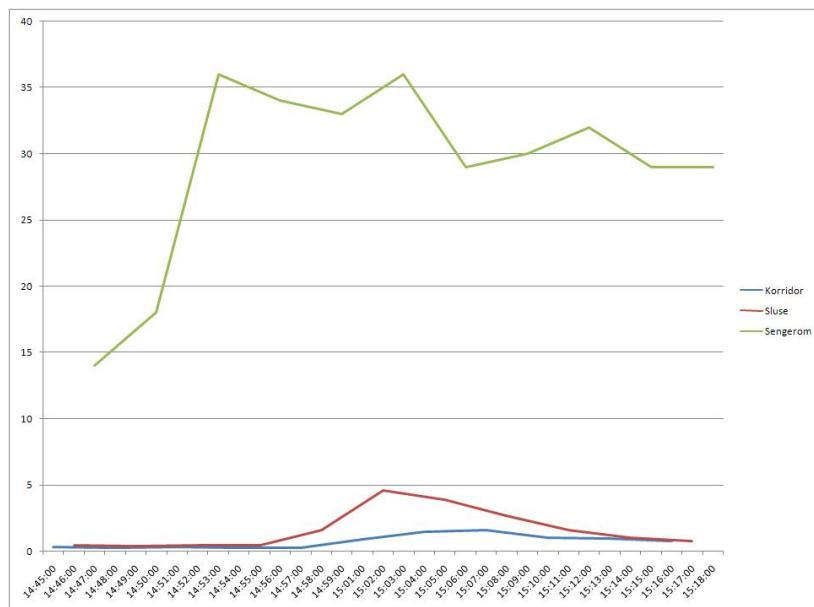
Måling 5

Her foretas samme måling som måling 4 bare at gjennomgangen skjer fra pasientrom til korridor istedenfor motsatt. Figur 29 viser sporgassnivået i de tre rommene mens figur 30 viser sporgassnivået i slusen og korridoren mer detaljert.

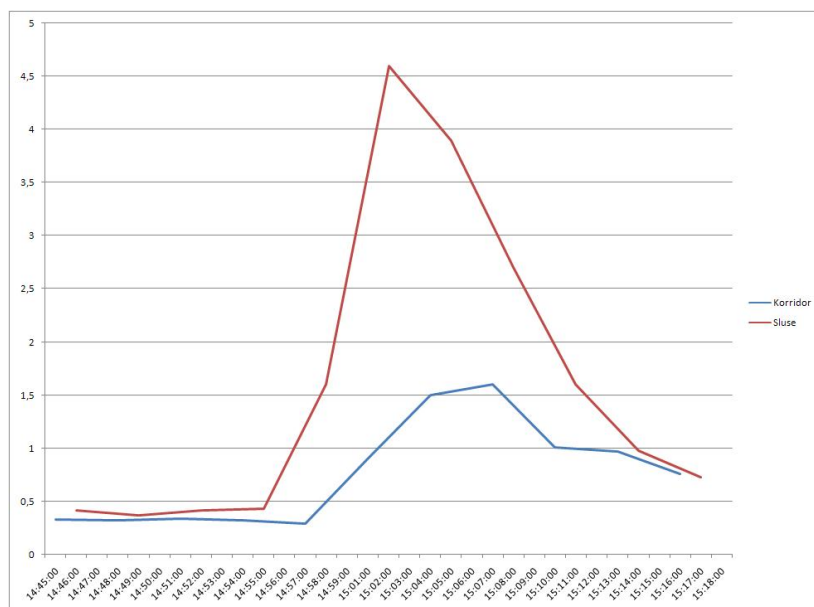
Sporgassnivået i pasientrommet får noenlunde samme forløp som i de foregående målingene. Toppnivået ligger på 36 ppm.

Man ser at formen på kurven over sporgassnivået i slusen blir veldig lik som de forrige målingene. Men nivået av sporgass blir mye høyere. Ved døråpning mellom pasientrom og sluse så stiger nivået opp til 4,6 ppm før det begynner å synke igjen.

Korridornivået er forholdsvis konstant frem til åpning av dør mellom sluse og korridor. Man ser da er markant økning i nivået som stiger fra omtrent 0,3 ppm til 1,6 ppm. Deretter er kurven avtagende.



Figur 29: Måling 5, Dosering i pasientrom, 1/1 åpning, gange fra pasientrom



Figur 30: Måling 5, Dosering i pasientrom, 1/1 åpning, gange fra pasientrom, sluse og korridor måling

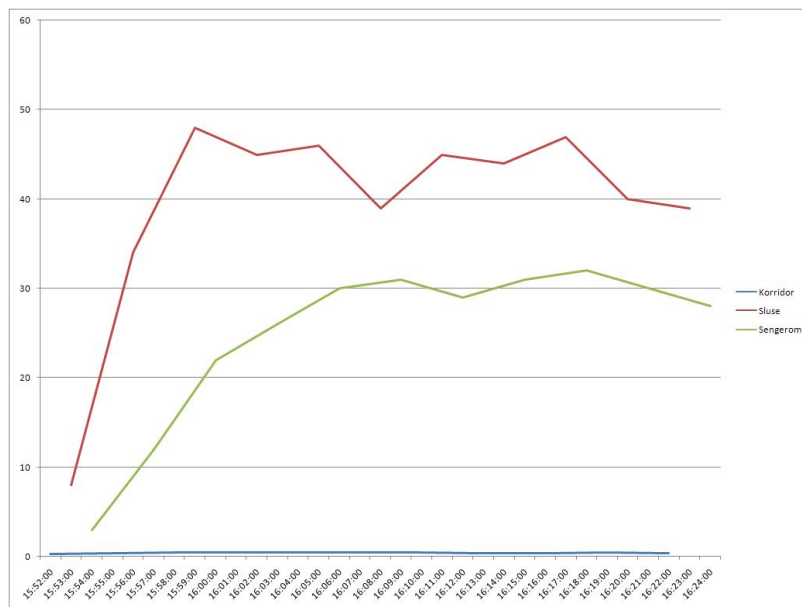
Måling 6

I måling 6 doseres det sporgass i slusen. Det måles nivå i de forskjellige rommene ved gjennomgang fra korridor til pasientrom. Åpningen er 1/2. Resultater presenteres i figur 31 og for kun korridor i figur 32.

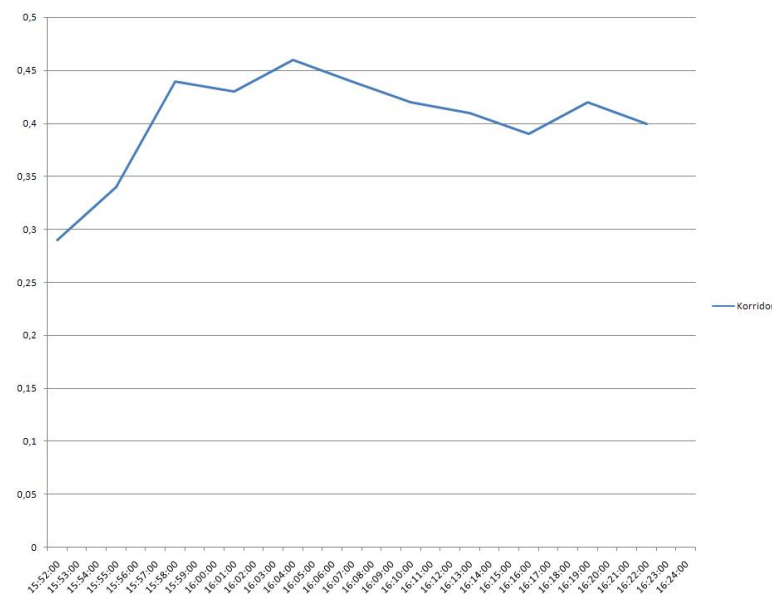
Sporgassnivået i pasientrommet blir forholdsvis høyt ved denne målingen selv om det doseres i slusen. Dette på grunn av undertrykket i rommet. Man ser at nivået stiger til opp til 31 ppm etter døråpning. Det er deretter forholdsvis konstant rundt 30 ppm.

Nivået i slusen stiger opp til 48 ppm før døråpningene. Det synker deretter litt som følge av at noe sporgass går inn i pasientrommet. Det ligger deretter forholdsvis konstant på rundt 40-45 ppm.

Nivået i korridoren ligger på 0,29 ved målestart. Ved åpning av døren mellom korridor og sluse ser man en økning i nivå. Nivået øker opp til 0,46 ppm før det faller sakte ned mot normalt nivå igjen etter dørlukking.



Figur 31: Måling 6, Dosering i sluse, 1/2 åpning, gange fra korridor



Figur 32: Måling 6, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra korridor, korridor måling

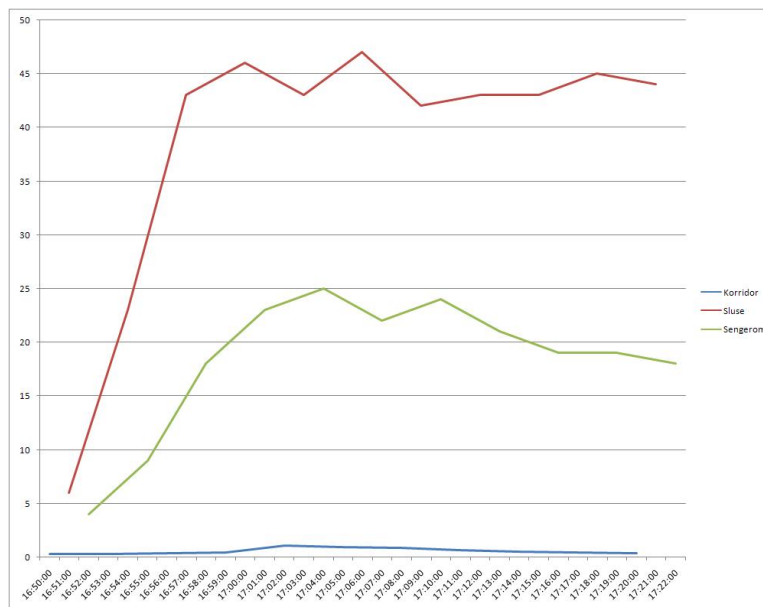
Måling 7

Dette er samme måling som i måling 6, bare at her er gjennomgangen fra pasientrom til korridor. Figur 33 og 34 viser resultatene.

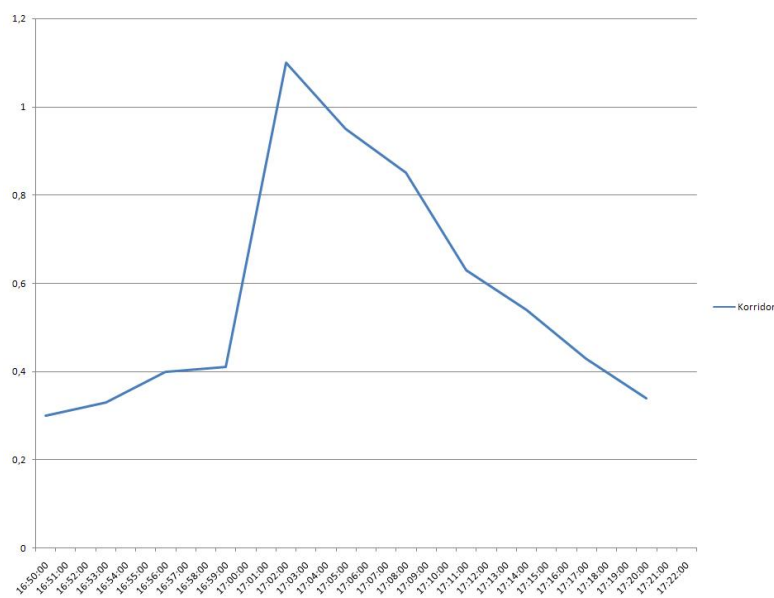
Sporgassnivået i pasientrommet får et liknende forløp som i måling 6, men man ser at toppnivået ikke blir like høyt. Man får en topp på 25 ppm i denne målingen.

Nivået i slusen får også omtrent samme forløp som i måling 6. Her ligger toppnivået på 47 ppm.

Sporgassnivået i korridoren blir påvirket av døråpningen. Man ser at nivået stiger når døren mellom slusen og korridoren åpnes. Det stiger fra omtrent 0,4 ppm til 1,1 ppm før det begynner å synke igjen.



Figur 33: Måling 7, Dosering i sluse, 1/2 åpning, gange fra pasientrom



Figur 34: Måling 7, Dosering i pasientrom, 1/2 åpning, gange fra pasientrom, korridor måling

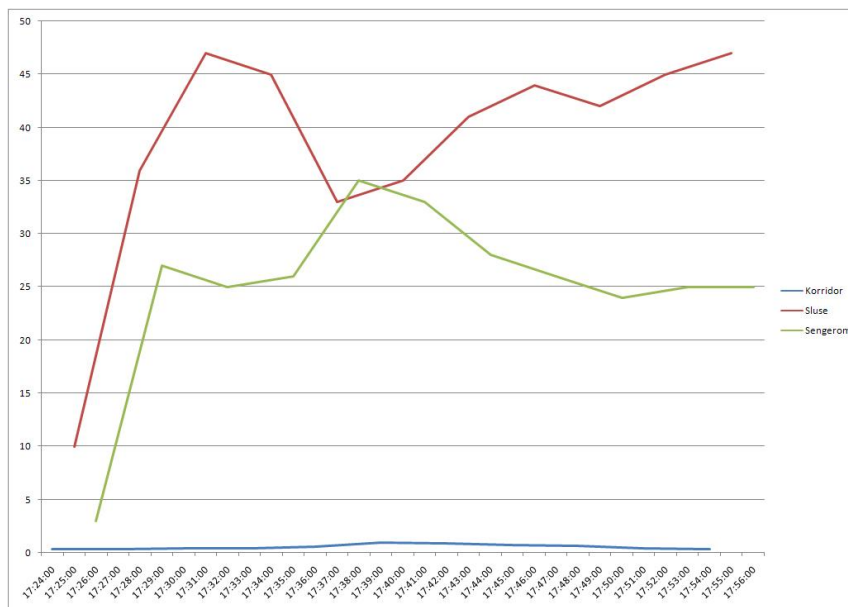
Måling 8

Her utføres det sporgassmålinger ved dosering i sluse og gjennomgang fra korridor til pasientrom. Åpningen skal være 1/1. Figur 35 og 36 viser sporgassnivået over tid.

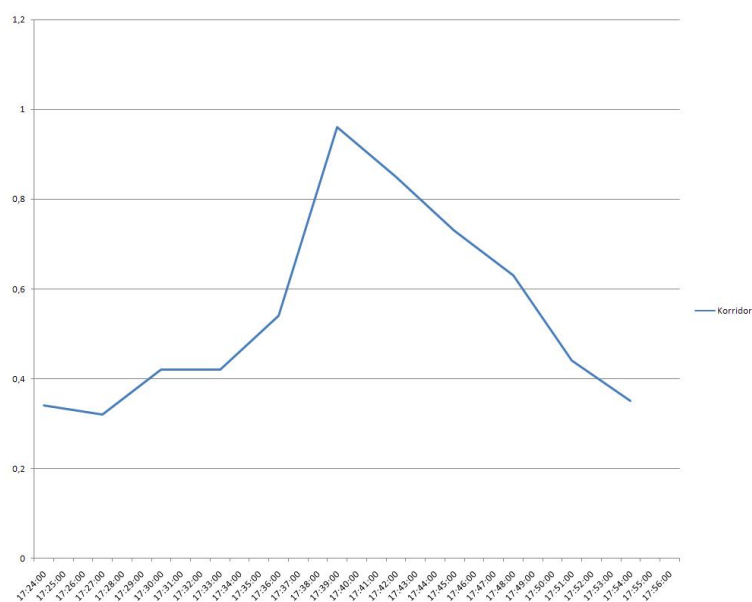
Sporgassnivået i pasientrommet får i denne målingen en annen utvikling enn ved de foregående målingene. Kort tid etter start så stiger nivået raskt opp til 27 ppm der det holder seg til døren mellom slusen og pasientrommet åpnes. Nivået økes da ytterligere å går opp til 35 ppm før nivået igjen synker. Man kan også se at på et punkt kort tid etter døråpning så er faktisk sporgassnivået høyere i pasientrommet enn i slusen.

Slusenivået stiger kort tid etter start opp til 47 ppm. Ved døråpning mellom korridor og sluse skjer det lite. Når døren mellom sluse og pasientrom åpnes ser man at nivået synker ned til 33 ppm før det stiger mot 47 ppm igjen.

Utviklingen i korridornivået er fortsatt lik som i de forrige målingene. Man får en liten økning i sporgassnivå når døren mellom korridor og sluse åpnes. Toppnivået er på 0,96 ppm.



Figur 35: Måling 8, Dosering i sluse, 1/1 åpning, gange fra korridor



Figur 36: Måling 8, Dosering i sluse, 1/1 åpning, gange fra korridor, korridor måling

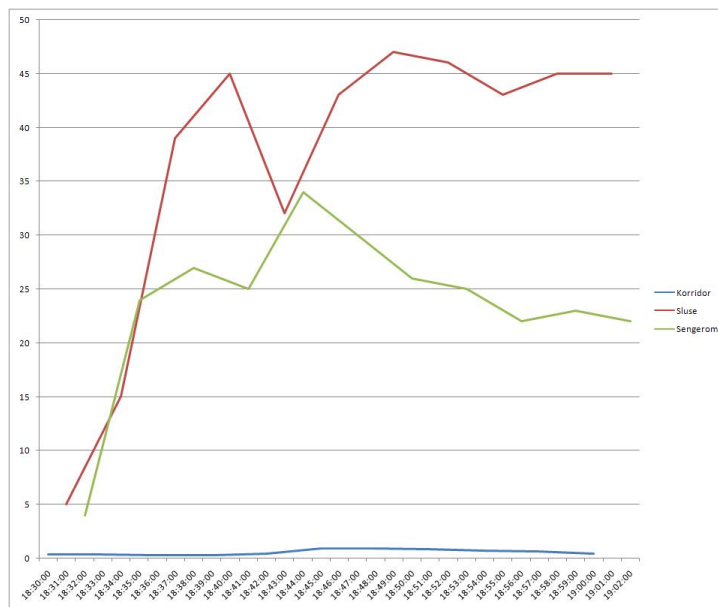
Måling 9

Dette er samme måling som måling 8 men her foretas gjennomgangen fra pasientrommet til korridoren. Resultatene presenteres i figur 37 og 38.

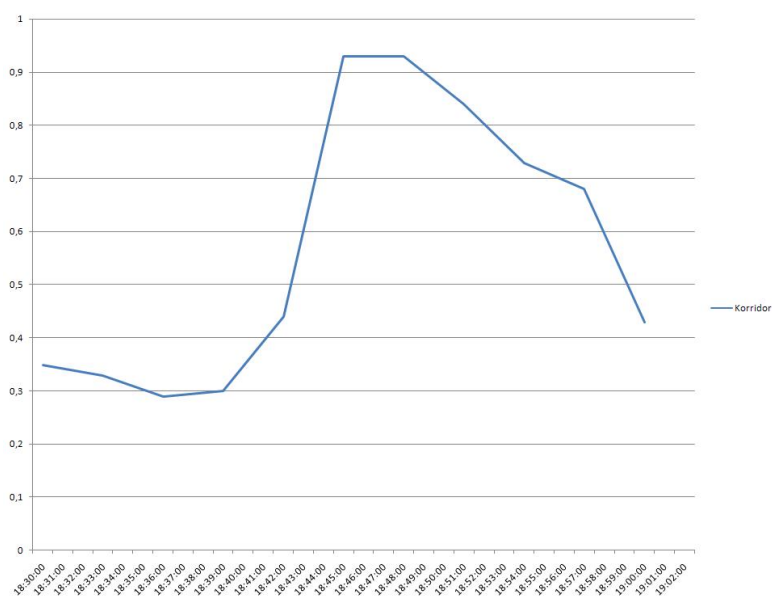
I pasientrommet ser man at utviklingen blir omtrent som i måling 8. Toppnivået er på 34 ppm.

Også slusenivået får omtrent samme utvikling som ved forrige måling. Her ligger toppnivået på 47 ppm.

Korridornivået er konstant ved omtrent 0,3 ppm før døråpning mellom sluse og korridor. Da ser man en stigning opp til 0,93 ppm før nivået igjen synker ned mot normalt.



Figur 37: Måling 9, Dosering i sluse, 1/1 åpning, gange fra pasientrom



Figur 38: Måling 9, Dosering i sluse, 1/1 åpning, gange fra pasientrom, korridor måling

9 Diskusjon

9.1 Typer isolater

I denne rapporten er det sett på fire typer isolater. Det er isolatløsninger fra henholdsvis Rambøll (Unico), Klean, ABB og Techno Consult (ASA). Alle disse løsningene er prøvd ut på flere av landets sykehus. Alle løsningene har fått gode skussmål fra de respektive sykehusene, det vil si at de har fungert etter hensikten.

Rambølls og Kleans system er veldig like. Begge systemene bruker et prinsipp med undertrykk med styrt variabel luftmengde gjennom dørene når de åpnes. Dette vil si at luftmengdene hele tiden reguleres slik at et nødvendig undertrykk skal opprettholdes i isolatene også ved åpning og lukking av dører. Man vil da få en forsert ventilasjon som går fra korridoren gjennom slusen og pasientrommet og ut av skyllerommet. I ”ASA“-løsningen har man undertrykk med fast luftmengde. Det vil si at luftmengden er konstant uavhengig av åpning og lukking av dører. Dette kan føre til at man kan få en mindre effektiv forsert ventilasjon når dørene står oppe. Også ABB bruker en slags variabel luftmengde til å regulere undertrykket, men hovedprinsippet her er sjokkventileringen av slusen. Etter at dør mellom sluse og sengerom har vært åpnet vil tilluftsmengden økes til 800 m³ i 2 minutter. I og med at denne løsningen baserer seg på at isolatene skal være helt separate elementer som skal være tilnærmet hermetisk lukket og at man ikke har noe tilsiktet overstrømning over eller under dørene så burde dette fungere bra. Problemet oppstår dersom det er utettheter mellom slusen og korridoren, noe det som oftest vil være. Da kan ved en plutselig økning av tilluftsmengden i slusen skape et overtrykk der i forhold til korridoren og luft kan presse seg ut gjennom utettheter.

Unicos, Kleans og ABBs løsning har alle plassert avtrekket på skyllerommet. Dette er fordi dette vil føre til at man får en forsert luftstrøm den ”riktige“ veien i isolatet. ”ASA“-løsningen har plassert avtrekket annerledes. Her er det to avtrekk som er plassert i samme rom som tilluftsuttakene, nemlig i slusen og i sengerommet. Dette kan føre til at det lettere kan føres smitte fra pasientrommet til slusen fordi luft med smittestoff i pasientrommet nær døren til slusen kan trekkes mot avtrekket i slusen og dermed komme seg forbi døren.

Grunnen til at ”ASA“-løsningen er på denne måten er at dette isolatet også kan brukes som et isolat for immunsuprimerte pasienter ved at man kan stille på luftmengdene slik at man kan få både overtrykk og nøytralt trykk. Isoleringsveilederen anbefaler ikke dette da dette er teknisk veldig vanskelig å få til og kan føre til feilbruk av systemet. Det kunne for eksempel blitt fatalt dersom personalet på sykehuset hadde satt isolatet i overtrykksmodus dersom det var en person med en svært smittsom sykdom på isolatet. De andre isolatløsningene kan alle kjøre i såkalt normalt modus. Det vil si at isolatene også kan brukes som normale pasien-

trom. Med de plassproblemene som flere sykehus opplever så er dette en meget god løsning.

Kleans system bruker en såkalt mekanisk luftgaffel for å regulere undertrykket i rommene. Denne luftgaffelen fungerer veldig bra ved at den motvirker de termiske luftstrømningene gjennom dørene ved å hele tiden flytte luftmengden mellom rommene slik at man hele veien får en luftstrømning fra korridor gjennom sluse og pasientrom til skyllerommet. Driftssikkerheten til luftgaffelen kan det imidlertid stilles visse kritiske spørsmål til da den er avansert og har mye som kan gå galt.

Selv om Kleans og Unicos system er ganske like så er det noen vesentlige forskjeller. For det første bruker Klean en stor grad av omluft mens Unico bruker bare uteluft. Begge deler har positive og negative sider. Et omluftssystem vil føre til at temperaturforskjellene i rommene sannsynligvis blir mindre siden man henter inn luft med samme temperatur som den som er der. Ved et uteluftssystem så blir sannsynligvis tilluften tilført med en lavere temperatur enn den som er i rommet fra før av. Dette kan føre til unødvendige luftbevegelser. Et uteluftssystem vil allikevel bidra til et bedre innemiljø enn et omluftssystem vil for den som ligger der.

En annen forskjell er at Kleans system bruker UVC belysning for å rense filtere og overflater i ventilasjonsanlegget. Dette gir selvfølgelig en ekstra sikkerhet med tanke på smittespredning. Unico har ikke denne løsningen. Avtrekkskanalene i begge systemene lar seg imidlertid desinfiseres uten bruk av gass i motsetning til de andre løsningene. Dette gjør vedlikehold og rengjøring lettere.

Et annet viktig moment ved isolatene er reserve- eller backopløsninger dersom det skulle skje noe uforutsett, for eksempel strømbrudd eller uregelmessige driftstilstander. Det er kun et av isolatene som med sikkerhet har en slik løsning, og det er Unico. Det er noe usikkert om ABBs isolat har en reserveløsning, men hverken Klean eller "ASA"-isolatene har en slik løsning. Ved et strømbrudd slutter hele ventilasjonsanlegget å fungere og man får oppheving av undertrykket. Dermed har man ikke lenger den sikkerhetsbarrieren dette fungerer som. Unico har løst dette på en bra måte. Her har man en slags bypassventilasjon som kobler inn ed driftsstans og unormale driftssituasjoner. Det startes da en reservevifte som opprettholder nødvendig undertrykk i pasientrommet. I tillegg stenger spjeld slik at kontaminert luft ikke kommer ut i omgivelsene gjennom kanalsystemet.

Alle isolatene har en dørløsning som er slik at man åpner bare den halve delen av døren ved vanlig inngang og utgang mens man kan åpne hele døren ved behov. Dette bidrar til å reduserer luftutvekslingen mellom rommene.

I tabell 7 er det laget en oppsummering av isolatenes egenskaper.

9.2 Teoretiske modeller

Man deler ofte åpninger inn i to klasser, åpninger installert for en hensikt og andre typer åpninger. I den første klassen finner man åpninger som dører, vinduer, lufterventiler. I den andre klassen finner man diverse sprekker, spalter og serviceåpninger. Det vil helt klart være mange åpninger lagd for en hensikt i et isolat, som døren ut til korridoren, vinduer mot utsiden og forskjellige luftekanaler. Disse åpningene byr sjelden på problemer da man allerede ved designstadiet vet om dem og kan ta forhåndsregler allerede da. De andre åpningene byr på flere problemer. Dette er ofte åpninger som er vanskelige å forhindre, vanskelige å måle og vanskelige å ta forhåndsregler mot. En av grunnene til at det er anbefalt med undertrykk på isolatene er nettopp disse åpningene. Ved undertrykk vil man få en luftstrøm som forhindrer smittestoff å komme ut i omgivelsene.

På isolatene ved SSHF Kristiansand har man flere vinduer ut mot omgivelsene. Disse vinduene kan ikke åpnes. Det kan allikevel være sprekker i konstruksjonen rundt dem som gjør at smittestoffet kan komme seg ut. For å forhindre dette er det laget et slags beskyttelsesglass utenfor vinduene igjen.

For å beregne luftstrømninger gjennom dører kan man bruke kontinuitets-, moment- og energilikningene for å lage modeller. Det er av betydning åssen type strømning man har gjennom dørene. Gjennom større skarpkantede åpninger, som dører og vinduer, vil ofte strømmingen i ventilasjonssammenheng være laminær. Ved en plutselig økning i strømmingens hastighet kan man få en overgang fra laminær strømning til turbulent strømning. En turbulent strømning er ofte vanskeligere å regne på enn en laminær strømning.

Det er funnet modeller som kan brukes til å beregne luftstrømninger gjennom dører. De fire viktigste mekanismene til slike strømninger er:

- tetthetsdifferanser forårsaket av temperaturdifferanser
- trykkdifferanser på grunn av mekanisk ventilasjon eller vind
- pumpeeffekt ved døråpning/-lukking
- passasje av mennesker

9.2.1 Luftutveksling på grunn av temperatur- og trykkdifferanser

Strømning på grunn av temperaturdifferanser deles opp i to, transient og stasjonær strømning. Varigheten til de to strømningene er antatt å være henholdsvis 8 og 2 sekunder. Dette er selvfølgelig en ren antakelse. Lengden på en døråpning vil variere mye.

For å beregne den transiente strømmingen brukes likning (63) som gir:

$$q_e = \frac{1}{4}A(g'h)^{1/2}$$

Denne likningen er tilnærming som er beregnet ut ifra strømmingens fart i fronten, u_f . En forenkling i denne likningen er at man setter tettheten lik i de to rommene. Dette er sjelden tilfellet, men allikevel vil tetthetsforskjellene være såpass små at det vil ha veldig lite å si. Hvordan døren åpnes og hvor lang tid det tar å åpne døren vil selvfølgelig også ha noe å si på luftstrømningen.

For å beregne den stasjonære strømningen brukes likning (72) som sier:

$$q_e = \frac{1}{3}A(g'h)^{1/2}$$

Det kan brukes to modeller til å finne et uttrykk for den stasjonære strømmingen. Mer om disse modellene finnes i vedlegg B.1 og B.2. Munningsmodellen tar utgangspunkt i Bernoullis likning og man behandler strømningen som kommer inn i rommet som en stråle omgitt av uforstyrret luft. Dette er en tilnærming som sier at trykkdistribusjonen i strålen er bestemt av trykkdistribusjonen i det mottakende rommet. Det er også fornuftig å anta at hastigeten langt vekk fra åpningen er lik null. Begge disse tilnærmingene er antakelser som er rimelige å ta fordi de ikke vil føre til de store feilene i beregningene.

For at munningsmodellen skal kunne brukes på større åpninger, som dører og vinduer, så må man gjøre en rekke antakelser. Man antar at like ved og inne i åpningen så er det ingen blanding eller varmetransport mellom de to strømmingene som går hver sin vei. Det vil alltid være en hvis form for varmetransport mellom de to strømmingene, men dess mindre temperaturforskjellen mellom den er dess mindre blir denne transporten. Den andre antakelsen er at man antar at trykket i begge rommene er like ved høyden til det nøytrale plan. Ved forskjell i trykkene som det er i isolatene så vil denne antakelsen føre til en liten feil. Den tredje antakelsen er at strømlinjene skal være parallelle og horisontale ved åpningen og den fjerde er at trykket i strømningen når den går inn i det mottakende rommet er lik det hydrostatiske trykket i dette rommet.

To-lags hydraulisk modell er litt mer avansert enn munningsmodellen. Her antar man til forskjell fra den forrige modellen at strømlinjene ikke er horisontale. Også her bruker man toveis strømning med kald luft nede og varm luft oppe. Man antar så at hastigheten og tettheten i hvert av lagene er uniform i hvert tverrsnitt. Det er derfor en diskontinuitet i kontaktflaten noe som har gitt navn til hydrauliske hopp.

Det velges å bruke munningsmodellen fordi denne er enkel men samtidig såpass nøyaktig at den ikke vil vise for mye feil på strømningsraten.

9.2.2 Pumpeeffekt ved døråpning/-lukking

Ved åpning og lukking av døren vil man oppnå en pumpeeffekt der man får en transient strømming gjennom døren. Man kan se på tre tilfeller; tilfellet med ingen tetthetsforskjeller, strømming drevet av oppdriftskrefter og en kombinasjon. Strømmingen drevet av oppdriftskrefter er tatt hensyn til i den forrige omtalte mekanismen, derfor brukes tilfellet med ingen tetthetsforskjeller. For beregninger brukes da likning (74) som ser slik ut:

$$V_P = 2,3u_d$$

Denne likningen antar en åpningsvinkel på døren på 90 °. Dette er en ganske vid tilnærming da dørens åpningsvinkel sjelden vil være akkurat 90 ° men ofte mer eller mindre.

9.2.3 Passasje av mennesker

Et menneske vil alltid dra med seg luft ved en dørpassering. Mengden av luft dette mennesket drar med seg er avhengig av flere faktorer; størrelsen på personen, farten personen har, om personen bærer noe med seg. En annen effekt kan faktisk være at en passasje av et menneske kan forhindre deler av luftutvekslingen ved andre mekanismer ved at deler av åpningen blir sperret. Det er gjort en rekke eksperimenter på hvor mye luft som blir utvekslet ved en dørpassering. Det er valgt å bruke Shaw og Whytes verdi i utgivelsen "Air movement through doorways" der det ble studert fortrengning av luft ved passering av mennesker dersom man ikke har temperaturdifferansen mellom rommene. Det ble i denne utgivelsen kommet frem til to verdier; 0,087 m³ for sakte gange og 0,29 m³ for hurtig gange. Luftutvekslingsvolumet vil med stor sannsynlighet ligge mellom disse ytterpunktene.

9.3 Målinger

Det ble utført målinger ved isolatene på SSHF Kristiansand for å etterprøve funksjonen til isolatet. Det var ønskelig å også teste kapasiteten til anlegget ved å måle luftmengder i kanalene men dette lot seg ikke gjøre. Det ble utført trykkmålinger, temperatur- og luftfuktighetsmålinger og sporgassmålinger.

9.3.1 Trykkmålinger

Det ble først utført en måling av de statiske trykkforholdene i isolatet ved stengte dører. Disse målingene er presentert i tabell 12. I funksjonsbeskrivelsen til isolatet er det angitt minimumsverdier og normale verdier for trykkforskjellene mellom

rommene. Disse står i tabell 5. Minimumsverdiene til funksjonsbeskrivelsen stemmer overens med Isoleringsveilederens minimumsverdier gitt i kapittel 4.7.6. De målte verdiene og de anbefalte verdiene fra Isoleringsveilederen er samlet i tabell 14.

	<i>Målt</i>	<i>Isol. veil.</i>
Korridor/sluse	8	5
Sluse/pasientrom	6	10
Korridor/pasientrom	14	15

Tabell 14: Oversikt over målinger og minimumsverdier fra funksjonsbeskrivelsen og Isoleringsveilederen

Trykkforholdet mellom korridoren og slusen ble målt til 8 Pa. Dette er 3 Pa over minimumskravet til Isoleringsveilederen og må sies å være tilfredsstillende.

Trykkforholdet mellom slusen og pasientrommet ble målt til 6 Pa. Denne verdien er ikke innenfor kravet til Isoleringsveilederen på 10 Pa. Dermed må dette sies å ikke være tilfredsstillende.

Disse trykkforholdene fører også til at kravet til korridor/pasientrom trykkforholdet heller ikke blir overholdt. Målt verdi er her 14 Pa mens anbefalt verdi er 15 Pa, altså 1 Pa under.

Det ble så utført en serie med trykkmålinger ved åpning og lukking av døren samt persongjennomgang.

Pasientrom/sluse

Den første målingen tok for seg trykkforholdet ved 1/2 åpning og lukking av dør, uten persongjennomgang. I figur 14 ser man at trykkforholdet ligger på rundt 8 Pa før døren åpnes. Når døren åpnes vil trykket synke raskt fordi man får en trykkutjevning i de to rommene. I følge figuren får man et par perioder med overtrykk i slusen i forhold til pasientrommet når døren er åpen. Dette fører til at luftstrømmingen går feil vei i en liten periode noe som kan føre til overføring av smittestoff fra pasientrommet. Det kan tyde på at luftkompenseringen ved døråpning er litt for liten. Ved dørlukking ser man at undertrykket raskt opprettes igjen. På grunn av kompenseringen av luftstrømning ved døråpning ser man at undertrykket blir ganske høyt et øyeblikk etter lukkingen. Deretter vil trykket stabiliseres.

Den neste målingen tok for seg trykkforholdet ved 1/1 åpning og lukking av dør, uten persongjennomgang. I figur 15 ser man utviklingen. Grafen er som forventet veldig lik den forrige målingen. Også her vil trykkforholdet falle og man får overtrykk i slusen noe som ikke er helt heldig. Dette kan sannsynligvis forbedres ved en økt luftstrøm i slusen i forhold til pasientrommet. Ved dørlukking skjer

det samme som i forrige måling, en nesten øyeblikkelig økning av undertrykket på grunn av kompenseringen med luftstrømningen. På grunn av at døren står åpen lengre her enn i forrige måling vil man få en lengre periode med overtrykk i slusen her.

Den siste målingen tok for seg trykkforholdet ved 1/2 åpning, persongjennomgang og lukking av dør. Figur 16 viser utviklingen. I denne målingen er det først gjennomgang fra slusesiden deretter er det gjennomgang fra pasientrom siden. Man ser også her en veldig liknende utvikling som i de forrige målingene. En periode med overtrykk i slusen når døren står åpen. Det virker som om persongjennomgangen har veldig lite å si på trykkforholdet. Ved gjennomgangen fra pasientrommet ser man at ved dørlukking stiger trykket ganske opp til 27 Pa.

Korridor/sluse

Den første målingen tok for seg trykkforholdet ved 1/2 åpning og lukking av døren uten persongjennomgang. Figur 17 viser at forløpet her blir litt annerledes enn for sluse/pasientrom åpningen. Ved døråpning synker trykkforholdet svært lite noe som tyder på at kompensasjonen i ventilasjonssystemet fungerer veldig bra her. Dessuten er denne døren en skyvedør i motsetning til døren mellom slusen og pasientrommet som er hengsledør. Pumpeeffekten en hengsledør genererer kan ha hatt noe å si på trykkforholdet. Ved lukking av døren skjer det samme som i de foregående målingene, undertrykket får en rask stigning etterfulgt av en nedgang og en stabilisering rundt normalt nivå.

Den andre målingen tok for seg trykkforholdet ved 1/1 åpning og lukking av døren uten persongjennomgang. I figur 18 ser man at grafen har samme form som i forrige måling. Men trykkforskjellen utjevnes litt mer her ettersom døråpningen er større. Allikevel vil man ha et visst undertrykk noe som vil si at luftstrømningen går i riktig retning. Dette tyder på at ventilasjonsløsningen fungerer bra ved denne døråpningen.

I den siste målingen ble det foretatt persongjennomgang og 1/2 døråpning og lukking både fra slusesiden og korridorsiden. Også her ser man at en persongjennomgang har svært lite å si for trykkforholdene i rommet. Utviklingen blir stort sett den samme som i de foregående målingene, det vil si at undertrykket blir opprettholdt også når døren står oppe.

Pasientrom/skyllerom

Det ble også tatt målinger for å sjekke trykkforhold mellom skyllerom og pasientrom. Disse to rommene er egentlig i samme trykksone men målinger ble gjort for å sjekke at luftstrømningene går riktig vei. Det ble utført samme type målinger

som ved de andre døråpningene. Disse målingene er presentert i figurene ?? og ??. Man ser av de to grafene at man får ved døråpning en utjevning i trykket akkurat som de overestående målingene. Men her vil man få et mer permanent overtrykk i skyllerommet i forhold til pasientrommet som varer omtrent hele tiden mens døren er oppe. Dette har imidlertid svært lite å si ettersom begge rommene er i samme trykksone.

9.3.2 Temperatur- og luftfuktighetsmålinger

Temperaturene og luftfuktigheten i de forskjellige rommene er presentert i tabell 13. Det ideelle er at alle temperaturene er like slik at man ikke får tetthetsforskjeller som kan føre til strømninger mellom rommene. Målingene viser at det er fra 0,3-0,6 ° mellom rom med døråpning mellom dem. Temperaturdifferansen er ikke stor og man vil dermed få minimale strømninger grunnet tetthetsforskjeller.

Noe man kan legge merke til er at temperaturen på skyllerommet er den laveste av dem. Ofte pleier våtrom ha den høyeste temperaturen fordi det ofte er gunstig med tanke på fordampning av vann på rommet.

Luftfuktigheten har ikke så stor betydning for det tekniske men betyr mer for komforten. Man ser at luftfuktigheten i rommene er ekstremt lav. Verdiene ligger på 11-13,5 %. Vanlig innendørs luftkvalitet skal ligge mellom 40 og 60 %. Denne luften vil derfor kjennes veldig tørr ut. Allikevel er det med stor sannsynlighet feil på måleinstrumentet siden det ikke er kommet inn noen klager på luften i isolatet.

9.3.3 Sporgassmålinger

Dosering i pasientrom

Det ble foretatt sporgassmålinger ved dosering i pasientrom. I den første målingen ble det foretatt en gjennomgang fra korridoren til pasientrommet med 1/2 åpning. Disse målingene er presentert i figur 23 og 24. Grafen over pasientrommet viser som forventet en kraftig økning i sporgassnivået. I slusen stiger nivået med ca. 1,2 ppm. Korridoren har uforandret nivå noe som er tilfredsstillende.

I neste målesekvens ble det foretatt dosering i pasientrom og gjennomgang fra pasientrom til korridor. Figur 25 og 26 viser utviklingen av sporgassnivået i de forskjellige rommene. Nivået stiger i pasientrommet akkurat som forventet. I slusen stiger også nivået. Her får man en stigning på 1,8 ppm, noe som er litt mer enn forrige måling. Dette kan komme av at personen drar med smittestoff når han går fra pasientrommet og inn i slusen. I korridoren er nivået uforandret og isolatet virker som det skal.

Neste målesekvens er samme som den første, men her simulerer man sengetransport. Åpningen blir derfor 1/1. Grafene i figur 27 og 28 viser en stigning i

nivået til pasientrommet. I slusen vil også nivået stige mens i korridoren er nivået konstant. Dette er meget tilfredsstillende ettersom begge dørene står oppe samtidig ved sengetransport og det skal veldig lite til for at smittestoff skal komme ut i korridoren. Det tyder på at undertrykket effektivt får luftstrømmen til å bevege seg riktig vei.

I målesekvens 5 simuleres det sengetransport fra pasientrom til korridor med 1/1 åpning og dosering i pasientrom. Både pasientrommet og slusen får den forventede stigningen ser man av figur 29 og 30. Dersom man ser nærmere på grafen over korridoren så ser man at her vil man faktisk få en økning i sporgassnivået. Økningen er på ca. 1,2 ppm. Det at man ser en økning i nivået her men ikke i forrige måling tyder på at en person faktisk drar med seg endel smittestoff. Det kan være smittestoff som henger på klær og hud eller det kan være smittestoff som følger med luft som personen drar med seg inn i sluse og videre ut i korridor.

Dosering i sluse

I de neste målingene doseres det i slusen. I første målesekvens foretas det en gjennomgang fra korridoren til pasientrommet. Grafene i figur 31 og 32 viser at nivået i slusen stiger ved starten og stabiliseres rundt 45-50 ppm. Samtidig ser man at også pasientrommets nivå stiger. Dette skyldes selvfølgelig at undertrykket i pasientrommet vil føre til at luften i slusen vandrer gjennom døråpningen og over til pasientrommet slik at nivået i også dette rommet blir ganske høyt. Korridornivået får en liten stigning på ca. 0,15 ppm. Ideelt sett skal korridornivået være uforandret. Det hadde det kanskje vært dersom doseringen hadde vært litt lavere. Man vil aldri oppleve en smitteutsondring som er så kraftig som den som er simulert med sporgassen i slusen i disse målingene derfor så kan man godta at nivået i korridoren øker litt.

Neste målesekvens er samme som forrige bare at her ble gjennomgangen foretatt fra pasientrommet. Man ser en liknende utvikling i grafene i figur 33 og 34 men økningen i korridoren blir større noe som igjen kan forklares med at persongjennomgangen er fra pasientrommet og ikke fra korridoren. Naturlig nok drar dermed denne personen med seg mere smittestoff. Økningen i korridoren er på 0,8 ppm.

Ved neste måling åpnes døren helt opp (1/1) og det foretas dosering i slusen. Figur 35 og 36 viser utvikling i sporgassnivå. Nivået i slusen og sengerommet får i denne målingen et litt annerledes forløp enn foregående målinger. Ved åpning av døren mellom pasientrommet og slusen ser man at det blir et fall i slusenivået mens pasientromnivået stiger. Dette er ikke så veldig overraskende ettersom mye av smittestoffet som doseres i slusen vil bli dratt med av luftbevegelsene rett inn i pasientrommet. Korridornivået stiger også litt ved åpning av døren, men økningen blir svært liten. Den er bare på ca. 0,6 ppm. Dette er av liten betydning.

Ved siste målesekvens doseres det også i slusen men denne gangen er gjennomgangen fra pasientrommet med 1/1 åpning. Utviklingen vises i figur 37 og 38. Grafene viser et veldig liknende forløp som ved forrige måling. Ved døråpning mellom sluse og pasientrom vil slusenivået synke mens pasientromnivået stige som forklart tidligere. Korridornivået stiger overraskende lite, 0,65 ppm. Dette må sies å være tilfredsstillende.

9.4 Sammenlikning med teoretiske modeller

Det er foretatt forenklete beregninger på isolatet ved hjelp av de teoretiske modellene. Beregninger på åpningen mellom slusen og korridoren er summert opp i den første tabellen i kapittel 6.9. Man ser at den klart største posten i tabellen er luftutveksling på grunn av temperaturdifferanser. Pumpeeffekten vil ikke ha noe å si ettersom døråpningen består av en skyvedør. Dersom man sammenlikner med trykkmålingene i figur 17 og 18 at beregningene vanskelig kan stemme. Figurene viser at det er et såpass stort undertrykk gjennom hele åpnings- og lukningssekvensen at en luftstrømning fra slusen til korridoren ville være veldig vanskelig. Dersom man ser på persongjennomgangen der utvekslet luftvolum skal ligge mellom $0,087 \text{ m}^3$ og $0,29 \text{ m}^3$ og samtidig ser på figur 19 så ser man også her at man vil ha et relativt stort undertrykk gjennom hele åpningen og lukkingen slik at luftutvekslingen må være veldig liten. Allikevel så kan en person dra med seg noe luft ut i korridoren ettersom en person kan fungere på samme måte som en skovl ved at han eller hun skyver luft foran seg fra slusen og ut i korridoren. Et utvekslet volum som ligger mellom disse to verdiene er derfor ikke urimelig.

Beregningene på åpningen mellom slusen og pasientrommet er summert opp i den andre tabellen i kapittel 6.9. Den største posten er også her luftutveksling på grunn av temperaturdifferanser. I denne åpningen vil pumpeeffekten gjøre seg gjeldende på grunn av hengsledøren og denne posten blir også relativt stor. Man kan se på figur 14 og 15 at man får som nevnt tidligere et overtrykk i pasientrommet i forhold til slusen en periode når døren står oppe. Denne perioden fører til at det vil strømme endel luft over til slusen på grunn av trykkforskjeller. Målingene viser også at det er en liten forskjell i temperatur i de to rommene og med et trykkforhold som er såpass nær 0 Pa så vil det sannsynligvis oppstå en luftutveksling også på grunn av temperaturdifferanser. Figur 16 viser at man ved persongjennomgang i tillegg til døråpning og lukking også vil ha et overtrykk i pasientrommet en periode mens døren står oppe. Man får da en luftstrømning som går mot den ønskede retningen og en person kan da lett dra med seg luft fra det ene rommet til det andre.

Beregningene er selvsagt veldig forenklete men dersom man sammenlikner dem med målingene kan man få et visst pekepinn på om de kan brukes. Etter å ha sammenliknet beregningene for sluse/korridor åpningene med målingene kan

man trekke den konklusjonen at disse modellene sannsynligvis vil vise uriktige verdier ihvertfall når det gjelder luftutveksling på grunn av temperaturdifferanser. Beregningene for sluse/pasientrom åpningen kan gi mer riktige verdier dersom man ser på målingene som er utført.

9.5 Forslag til forbedringer ved isolatene på SSHF Kristiansand

Den viktigste egenskapen til et isolat skal være å holde smittestoff borte fra omgivelsene. Dette gjøres normalt ved å innføre trykkdifferanser slik at luft, og dermed også smittestoff, strømmer ut fra isolatet til omgivelsene. For at et isolat skal fungere optimalt må derfor også trykkforholdene i isolatet være tilfredsstillende. I isolatet på SSHF Kristiansand er trykkdifferansen mellom slusen og pasientrommet ikke i henhold til krav fra Isoleringsveilederen og det er behov for å gjøre visse grep for å fikse dette igjen. Man ser også ved hjelp av trykkmålingene at ved åpen dør mellom sluse og pasientrom kan man få overtrykk i pasientrommet i forhold til slusen slik at man får luftstrømning feil vei. Det er flere alternativer til løsninger for å fikse dette problemet.

Man kan tilføre større luftmengde i slusen. Dette vil føre til et høyere trykk i slusen i forhold til pasientrommet, noe som igjen vil føre til en større luftstrøm mellom de to rommene. Man må samtidig passe på trykkforholdet mellom korridoren og slusen. Dette vil selvsagt minke dersom man tilfører mer luft i slusen. En annen løsning er å tilføre mer luft bare i korridoren eller å tilføre mer luft både i korridoren og i slusen.

En annen løsning kan være å trekke av mer luft i skyllerommet slik at man får et større "sug" fra de andre rommene. Luftstrømningen gjennom isolatet vil dermed øke og det samme vil trykkforholdene.

Trykkmålingene og sporgassmålingene viser tydelig at døråpningen mellom slusen og korridoren fungerer bedre enn pasientrommet og slusen. Dette er positivt på den måten at det hadde vært mer negativt om det hadde vært motsatt. Sporgassmålingene viser at det spres mer sporgass fra pasientrommet til slusen enn fra slusen til korridoren. Dette kan komme av flere forhold, blant annet for lite undertrykk som nevnt over. Det kan også komme av at man har hengsledør på åpningen mellom slusen og pasientrommet mens man har skyvedør på den andre åpningen. Dermed får man pumpeeffekten ved sluse/pasientrom åpningen noe som kan føre til økt luftutveksling. Et naturlig forslag til forbedring vil da selvfølgelig være å bytte ut hengsledøren med en skyvedør. Allikevel er sannsynligvis ikke dette mulig på grunn av plassproblemer. Dersom man skulle hatt skyvedør ville denne skyvedøren måtte skyves ut i isolatet dersom den står oppe.

For å foreslå generelle anbefalinger til hvordan man kan forhindre smittespredning så kan man se på de andre isolatløsningene. Klean bruker for eksempel UVC-belysning for å drepe smittestoff i filtrene og innvendig i ventilasjonan-

legget. Dette kan være en aktuell løsning ved isolatene på SSHF Kristiansand.

Man kan også komme med andre generelle råd som er letter å utføre for å minske smittespredningen. Det kan for eksempel være å gjøre temperaturskjellene så små som mulig slik at man får minimale strømminger på grunn av tetthetsforskjeller. Man kan også forlenge oppholdstiden i slusen slik at det teoretisk sett skal ventileres ut mer smittestoff.

10 Konklusjon

Det har i de senere år vært en økning i tuberkulose og resistente stafylokokker. Derfor er nå statlige sykehus pålagt av Helsetilsynet å bygge ut og ha luftsmitteisolater tilgjengelig for sine pasienter. Sørlandet sykehus i Kristiansand har per dags dato to luftsmitteisolater. Disse isolatene er prosjektert av Rambøll Kristiansand, tidligere Unico. I denne oppgaven ble det sett på teoretisk grunnlag rundt isolater, det vil si smittekjeden og sykdommer som krever luftsmitteisolater. Videre ble det vurdert fire ulike isolatløsninger fra ulike leverandører. Teoretiske modeller til bruk for beregninger for luftstrømninger gjennom døråpninger ble deretter utarbeidet. Det ble til slutt tatt diverse målinger ved isolatene på SSHF Kristiansand for å kunne verifisere de teoretiske modellene og får å kunne evaluere den valgte løsningen ved sykehuset.

I Isoleringsveileredens vedlegg E er det angitt syv forskjellige infeksjonssykdommer som kan kreve luftsmitteregime. Disse er:

- Hemorragisk feber; Lassa-, Marburg-, Krim-Kongo- og Ebolavirus
- Herpes zooster (helvetesild)
- Meslinger
- MRSA-infeksjon
- Lungepest
- Smitteførende lungetuberkulose
- Vannkopper

Disse sykdommene er av forskjellig alvorlighetsgrad men felles for alle er at de er svært smittsomme og at luftsmitteisolat kan være aktuelt for en smittet pasient.

De ulike isolatløsningene som ble vurdert var løsninger fra henholdsvis Rambøll, Klean, ABB og Techno Consult. Alle isolatene er prøvd ut ved et eller flere sykehus i Norge og fungerer etter hensikten. Rambølls og Kleans systemer veldig like. Begge bruker prinsippet om forsert ventilasjon ved åpning av døren. Et par forskjeller er det likevel. Klean bruker endel omluft mens Rambøll bruker kun uteluft i ventilasjonen. Begge løsningene har sine fordeler og ulemper. Videre så bruker Klean UVC-belysning av filter og innvendige kanaloverflater for å drepe smittestoff, dette gjør ikke Rambøll. Kleans isolater har ingen reserveløsning ved strømstans noe som i verste fall kan føre til at smitte kommer ut i omgivelsene ved slike situasjoner. Rambøll har en reservevifte som starter ved strømstans, denne

viften holder da et visst undertrykk. ABB bruker prinsippet om sjokkventilering av slusen etter at døren har stått oppe. Dette kan føre til et periodisk overtrykk i slusen som fører til at smittestoff presser seg ut gjennom sprekker til korridoren. Techno Consults isolat er det eneste som kan kjøre både undertrykk, overtrykk og nøytralt trykk. Isoleringsveilederen anbefaler ikke slike løsninger da de er teknisk svært vanskelige og kan gi rom for feilbruk.

De teoretiske modellene er utarbeidet fra et prinsipp om at luftutvekslinger mellom to rom gjennom en døråpning skjer ved fire forskjellige mekanismer. Disse er:

- tetthetsdifferanser forårsaket av temperaturdifferanser
- trykkdifferanser på grunn av mekanisk ventilasjon eller vind
- pumpeeffekt ved åpning/lukking av dører
- passasje av mennesker

Den første mekanismen, tetthetsdifferansen på grunn av temperaturdifferanser deles igjen opp i to deler, en stasjonær og en transient del som varer i henholdsvis 2 og 8 sekund ved personalgjennomgang og 32 og 8 sekund ved sengetransport. Den transiente modellen ble beregnet ut fra strømmingens fart i fronten og man antar her at tettheten er lik i de to rommene. For den stasjonære strømmingen kan man bruke to forskjellige modeller, munningsmodellen og den to-lags hydrauliske modellen. Det ble valgt å bruke munningsmodellen da denne er enkel men samtidig er såpass nøyaktig at den ikke vil vise for mye feil på strømningsraten. Antakelser og dermed mulige feilkilder ved denne modellen er at det ikke er blanding av de to strømmene som går hver sin vei i åpningen og at trykkene ved høyden til det nøytrale plan er like i de to rommene.

Ved beregning av pumpeeffekten ved døråpning/-lukking må man se på tre forskjellige tilfeller; tilfellet med ingen tetthetsforskjell, tilfellet med strømming drevet av oppdriftskrefter og tilfellet med en kombinasjon av disse. Her har man tilfellet med ingen tetthetsforskjeller og man bruker derfor en modell som tar hensyn til dette. Denne modellen antar en åpningsvinkel på døren på 90 °.

Den siste mekanismen er passasje av mennesker. Shaw og Whyte har i sin utgivelse "Air movement through doorways" studert foretregning av luft i døråpninger ved passering av mennesker. De kom frem til at luftutvekslingsvolumet måtte ligge mellom to verdier; 0,087 m³ og 0,29 m³.

Det ble også gjennomført målinger for å etterprøve funksjonen ved isolatene på SSHF Kristiansand. Målinger som ble utført var trykkmålinger, temperatur- og luftfuktighetsmålinger og sporgassmålinger. Trykkmålingene viste at trykkforholdet mellom slusen og pasientrommet var for lite i forhold til gjeldende krav fra

Isoleringsveilederen. Ved døråpning så falt også trykket i den samme åpningen slik at man fikk en periode med overtrykk i pasientrommet i forhold til slusen. Trykkforholdet mellom korridoren og slusen var tilfredsstillende.

Temperaturmålingene viser at temperaturdifferansen mellom tilstøtende rom ligger på mellom 0,3 og 0,6 °. Differansen er ganske lav og man får dermed minimale strømningsgrunnnet tetthetsforskjeller. Luftfuktigheten i rommene ble målt til mellom 11 og 13,5 %. Dette er utrolig lave verdier og det er stor sannsynlighet for at måleinstrumentet er feil ettersom det ikke har kommet inn noen klager på tørr luft i isolatet.

Det ble til slutt utført sporgassmålinger der man først doserte sporgass i pasientrommet og deretter i slusen. Målinger av nivået ble utført i pasientrom, sluse og korridor. Ved dosering av sporgass i pasientrom viser målingene at det lekker litt sporgass ut i slusen men svært lite eller ingenting lekker ut i korridoren. Ved dosering av sporgass i slusen ser man at mye sporgass forsvinner inn i pasientrommet på grunn av undertrykket der. Det vil i tillegg lekke litt ut i korridoren ved sengetransport, men sporgassdoseringen i slusen vil være mye høyere enn enhver smitteutsøndring man i praksis har i slusen og man kan dermed konkludere med at isolatet effektivt holder smitten vekk fra omgivelsene.

Det ble også utført forenklete teoretiske beregninger som ble sammenliknet med målingene for en verifisering av de teoretiske modellene. Beregninger for luftutveksling mellom slusen og korridoren samsvarte ikke helt med målingene og det antas derfor at de teoretiske modellene kan gi feilaktige verdier ved denne døråpningen. Ved den andre døråpningen samsvarte verdiene bedre med målingene og det kan konkluderes med at de teoretiske modellene muligens kan brukes ved denne åpningen.

Etter målingene kan man konkludere med at døråpningen mellom slusen og korridoren fungerer bedre enn døråpningen mellom slusen og pasientrommet. Dette er selvsagt positivt på den måten at det ville vært mer negativt hvis det hadde vært motsatt. Allikevel er det muligens nødvendig med noen forbedringer ved den åpningen som ikke fungerer helt som den skal. Aktuelle forslag for å forbedre undertrykket mellom de to rommene kan være å øke tilluften i slusen, eller i korridoren eller begge steder. Et annet forslag er å øke avtrekket på skyllerommet slik at man får et større ”sug“ gjennom isolatet.

For å forhindre en pumpeeffekten ved døren mellom slusen og pasientrommet er et naturlig forslag å bytte ut hengsledøren med en skyvedør. Dette vil sannsynligvis ikke la seg gjøre på grunn av plassproblemer.

Andre generelle forslag for å bedre barrieren mot smittespredning kan være å innføre UVC-belysning av filter og innvendige kanaloverflater, øke tiden man oppholder seg i slusen og å gjøre temperaturforskjellene så små som mulig slik at man forhindrer luftutveksling ved tetthetsforskjeller.

Etter målinger og vurderinger kan en allikevel konkludere med at isolatene ved

SSHF i Kristiansand fungerer etter hensikten og oppfyller hovedmålsetningene:

- hindre smittespredning
- driftssikkerhet
- lave driftskostnader
- godt inn klima for pasient og pleiepersonell

Referanser

- [1] Hovig B & Lystad A. Generelt om infeksjonsepidemiologi. In *Infeksjonssykdommer - epidemiologi, mikrobiologi og smittevern*, pages 15–22. Gyldendal Norsk Forlag AS, Oslo, Norge, 2006.
- [2] Hovig B & Lystad A. Generelt om smittestoffene. In *Infeksjonssykdommer - epidemiologi, mikrobiologi og smittevern*, pages 23–37. Gyldendal Norsk Forlag AS, Oslo, Norge, 2006.
- [3] Arbeidstilsynet. Veiledning om arbeidsmiljø på helseinstitusjoner, 2006.
- [4] Arbeidstilsynet. Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen, 2006.
- [5] Sivilingenior Helge Bringe A/S. Funksjonstesting av klean asa luftsmitteisolat på haukeland sykehus. Technical report, 2003.
- [6] Laszlo Balas. Forskningsoppgave - utforming og luftstyring. Technical report, 2003.
- [7] KIMO Constructeur. *Technical datasheet for KIMO CP100*.
- [8] Kiel D.E & Wilson D.J. *Combining door swing pumping with density driven flow*. ASHRAE, 1989.
- [9] Folkehelseinstituttet & Sosial- og helsedirektoratet. *Isoleringsveilederen. Bruk av isolering av pasienter for å forebygge smittespredning i helseinstitusjoner*, September 2004.
- [10] Mitec Instruments. *Data Sheet for Mitec AT40*.
- [11] TSI Instruments. *Data Sheet for TSI VelociCalc*.
- [12] Sand O & Sjaastad Ø & Haug E & Bjålie J. Immunsystemet. In *Menneskekroppen, fysiologi og anatomi*, pages 334–352. Gyldendal Norsk Forlag AS, Oslo, Norge, 2007.
- [13] Haugland K. Funksjonsbeskrivelse u583 - ombygging av isolat. Technical report, 2003.
- [14] Norges Lover. For 1996-12-06 nr 1127: Forskrift om systematisk helse-, miljø-, og sikkerhetsarbeid i virksomheter, 1996.
- [15] Norges Lover. For 1997-12-19 nr 1322: Forskrift om vern mot eksponering for biologiske faktorer på arbeidsplassen, 1997.

- [16] Norges Lover. Lov 1994-08-05 nr 55: Lov om vern mot smittsomme sykdommer, 1997.
- [17] Norges Lover. For 2005-06-17 nr 610: Forskrift om smittevern i helsetjenesten, 2005.
- [18] Etheridge D & Sandberg M. Basic results from fluid mechanics. In *Building Ventilation: Theory and Measurement*, pages 42–78. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1996.
- [19] Etheridge D & Sandberg M. Door swing pumping. In *Building Ventilation: Theory and Measurement*, pages 504–506. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1996.
- [20] Etheridge D & Sandberg M. Exchange due to density difference - different sources of buoyancy. In *Building Ventilation: Theory and Measurement*, pages 484–499. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1996.
- [21] Etheridge D & Sandberg M. Openings in buildings. In *Building Ventilation: Theory and Measurement*, pages 34–40. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1996.
- [22] Etheridge D & Sandberg M. Steady flow through sharp-edged openings. In *Building Ventilation: Theory and Measurement*, pages 89–95. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1996.
- [23] Etheridge D & Sandberg M. Two-layer hydraulics model. In *Transient flow*, pages 501–504. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1996.
- [24] Etheridge D & Sandberg M. Two-layer hydraulics model. In *Building Ventilation: Theory and Measurement*, pages 499–500. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1996.
- [25] Pasienthåndboka. Lassafeber, 2008.
<http://www.pasienthandboka.no/default.asp?mode=document&documentid=23310>.
- [26] Shaw B.H & Whyte W. Air movement through doorways - the influence of temperature and its control by forced airflow. *Building Services Engineering*, pages 210–218, 1974.
- [27] WHO. Crimean-congo haemorrhagic fever, 1995.
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs208/en>.

-
- [28] WHO. Ebola haemorrhagic fever, 2004.
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs103/en>.
- [29] Wikipedia. Chickenpox, 2008.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Chickenpox>.
- [30] Wikipedia. Herpes zoster, 2008.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Zoster>.
- [31] Wikipedia. Marburgvirus, 2008.
http://en.wikipedia.org/wiki/Marburg_virus.
- [32] Wikipedia. Measles, 2008.
http://en.wikipedia.org/wiki/Measles_virus.
- [33] Wikipedia. Methicillin-resistant staphylococcus aureus, 2008.
<http://en.wikipedia.org/wiki/MRSA>.
- [34] Wikipedia. Pneumonic plague, 2008.
http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumonic_plague.
- [35] Wikipedia. Tuberculosis, 2008.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Tuberculosis>.
- [36] Wikipedia. Yersinia pestis, 2008.
http://en.wikipedia.org/wiki/Yersinia_pestis.

Vedleggsliste

- Vedlegg A Vedlegg til isolatløsningene
- Vedlegg B Modeller for stasjonære strømnings
- Vedlegg C Nomenklatur
- Vedlegg D Beregninger for luftstrømning mellom sluse og korridor
- Vedlegg E Beregninger for luftstrømning mellom sluse og pasientrom
- Vedlegg F Målinger utført ved SSHF Kristiansand

A Vedlegg til isolatløsningene

A.1 Funksjonstesting av Kleans isolatløsning

Funksjonstesting av isolatene på Haukeland Sykehus i Bergen er utført av Sivilingeniør Helge Bringe A/S. Følgende forhold ble sjekket:

Forhindring av smittelekkasje ved hjelp av undertrykk

Kommentar av Helge Bringe A/S:

Kleans isolatsystem har meget god evne til å opprette og beholde undertrykk. Det benyttes et eget system som automatisk tilpasser seg eventuelle endringer i omgivelsene eller teknisk svikt slik at det aldri oppstår overtrykk. To uavhengige aggregater sikrer undertrykk. Dette er tilfelle selv om kun ett av aggregatene er i funksjon på laveste effekt.

Forhindre smittelekkasje gjennom dører

Kommentar fra Helge Bringe A/S:

Kleans isolatsystem oppnår full luftsmitteisolasjon allerede ved dør mellom pasientrom og sluse. Smitteisolasjonen oppnås primært med tre tiltak:

1. Store luftmengder dirigeres automatisk gjennom døråpningen når dør åpnes.
2. Dørbredden reduseres til ca halv bredde til daglig bruk.
3. Temperaturforskjellene reduseres i isolatet ved at rensert, internt sirkulert luft kontinuerlig tilføres sluse.

I isolater som baserer seg på tilnærmet balansert ventilasjon (ikke Kleans isolasjons-system), kan man en ha en betydelig overføring av smitteluft fra pasientrom til korridor selv om en har (1) undertrykk, (2) sluse der en åpner bare en dør om gangen, og (3) venter fem minutter i sluse før en går videre ut i korridoren.

Fortynning av mikrobenivå i luft i pasientrom og sluse

Kommentar fra Helge Bringe A/S:

Inne i isolatet fjernes smitteinnholdet ved at luften stadig fortynnes av ren luft. Ratene av luftutskifting i Kleans isolater er målt til å ligge langt over det som angis i anbefalinger for isolater uten at det medfører sjenerende støy. Dette bidrar til en raskere luftfortynning og en lavere smittekonsentrasjon i isolatet og er derfor en fordel for både pasient og helsepersonell.

Bruk av UVC

Kommentar fra Helge Bringe A/S:

UVC er et kortbølget lys utenfor vårt synsrområde. Den aktive komponenten er lys med bølgelengde 254 nm som skader arvestoffet i mikrober (DNA eller RNA). Både mikrober i luft og på overflater kan inaktiveres av UVC. UVC brukes i tre forskjellige sammenhenger i forbindelse med isolatet; (1) i gjennomstikkskapet, (2) til overflatedesinfeksjon i rommene etter smittefarlig pasient, og (3) internt i ventilasjonssystemet. Spesielt i forbindelse med kjøling, der en får fuktighet fra kondensering, er det gunstig med UVC-inaktivering av potensielle mikrober. UVC i aggregatene reduserer faren for at det skal kunne bli liggende igjen ikke inaktiverede mikrober i aggregat og i rørsystem etter service. I tillegg reduseres også risikoen for servicepersonell som foretar filterskift og funksjonstesting av systemet. Disse tre anvendelsesområdene er uavhengige av hverandre, men bidrar likevel til en helhetlig bekjempelse av smitterisikoen.

Rens av avkastluft

Kommentar fra Helge Bringe A/S:

Avkastluften trekkes av i taket på badet med et filtreringsaggregat. Filter og overflater i aggregatet belyses med UVC for å hindre at mikrober kan overleve/etablere seg i aggregatet. Avkastluften passerer mellom annet et HEPA-filter (EU13) som skal ha minst 99,97% virkningsgrad for alle partikkelstørrelser. Etter filtrering går avkastluften gjennom en UVC-enhet som gir eventuelle gjenværende partikler en svært høy UVC-dose. Kleans løsning skulle således gi en meget god sikring mot utslipp av farlige mikrober.

Overflatedesinfeksjon ved bruk av UVC

Kommentar fra Helge Bringe A/S:

Overflatedesinfeksjonen kan brukes på to måter; (1) som smittedempende tiltak før rommet blir rengjort, og (2) til sluttdeinfeksjon/"polering" etter rengjøring. Ved bruk av UVC til sluttdeinfeksjon oppnås automatisk desinfeksjon som dekker hele overflaten i rommet, herunder også i taket og på veggene over "vaskehøyde". Det er ikke fare for "helligdager" slik som med manuell desinfeksjon, men det må vurderes om det er områder som får mindre enn ønskelig dose og om en der må ta i bruk ekstra tiltak. Isolatet er utstyrt med dørbrytere og IR-detektorer som skal forhindre at personer blir utsatt for uheldig påvirkning.

Bruk av gjennomstikkskap for å begrense unødvendig passasje mellom isolatet og tilstøtende lokaler

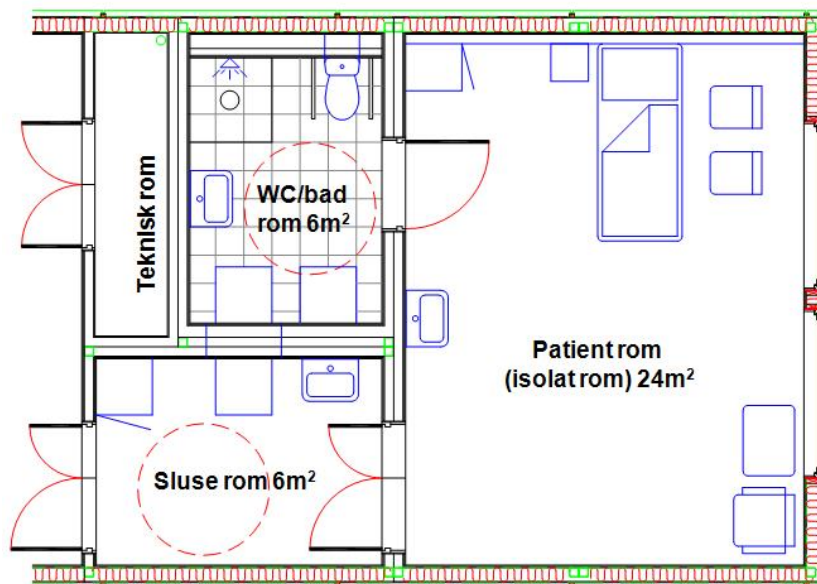
Kommentar fra Helge Bringe A/S:

For å avlaste trafikken gjennom sluse er det satt opp et gjennomstikkskap mellom bad og korridor. Der kan en sette inn og hente ut gjenstander fra begge sider uten å bryte luftsmittebarrieren. Luften i hele gjennomstikkskapet blandes og utsettes for UVC slik at alle bakterier i luften vil være inaktivert etter få minutter.

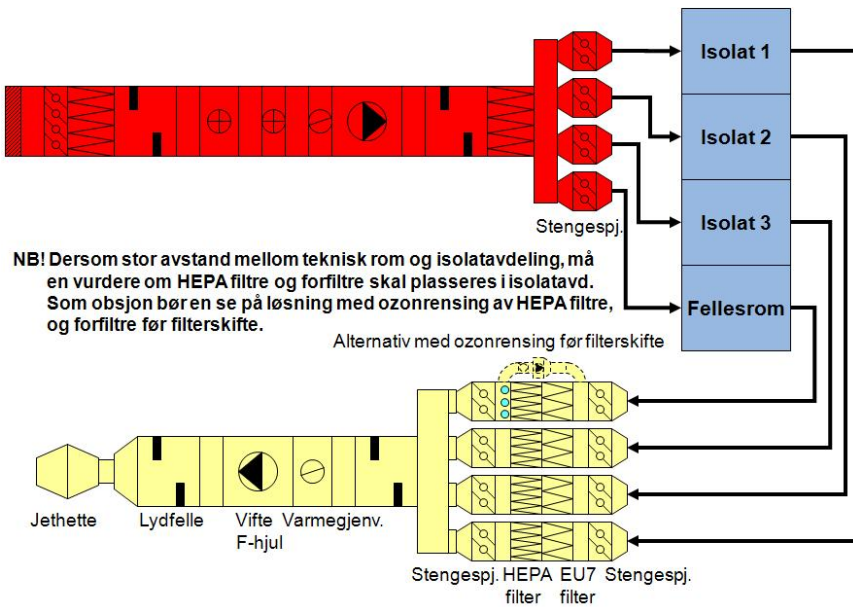
Konklusjon

Med basis i de foretatte funksjonstestene kan det slutes at Kleansystemet tilfredsstillende med god margin de krav til å hindre luftsmittespredning som p.t. foreligger fra Statens Helsetilsyn for et luftsmitteisolat av strengeste kategori dvs. Helsetilsynets kategori 3 i punkt 4.1.

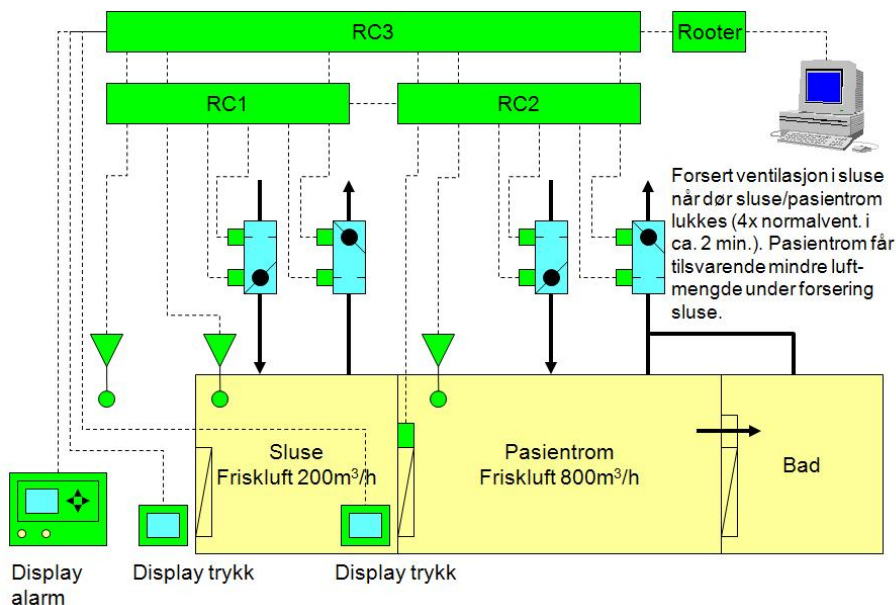
A.2 Prinsippskisser av ABB's isolatløsning



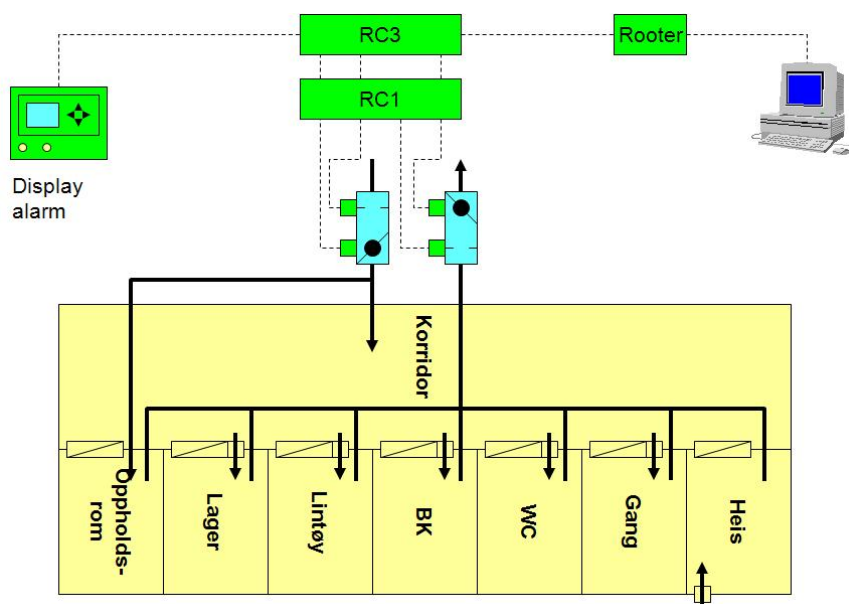
Figur 39: Oversiktsbilde av ABB's løsning



Figur 40: Oversikt over deler i ventilasjonssystemet

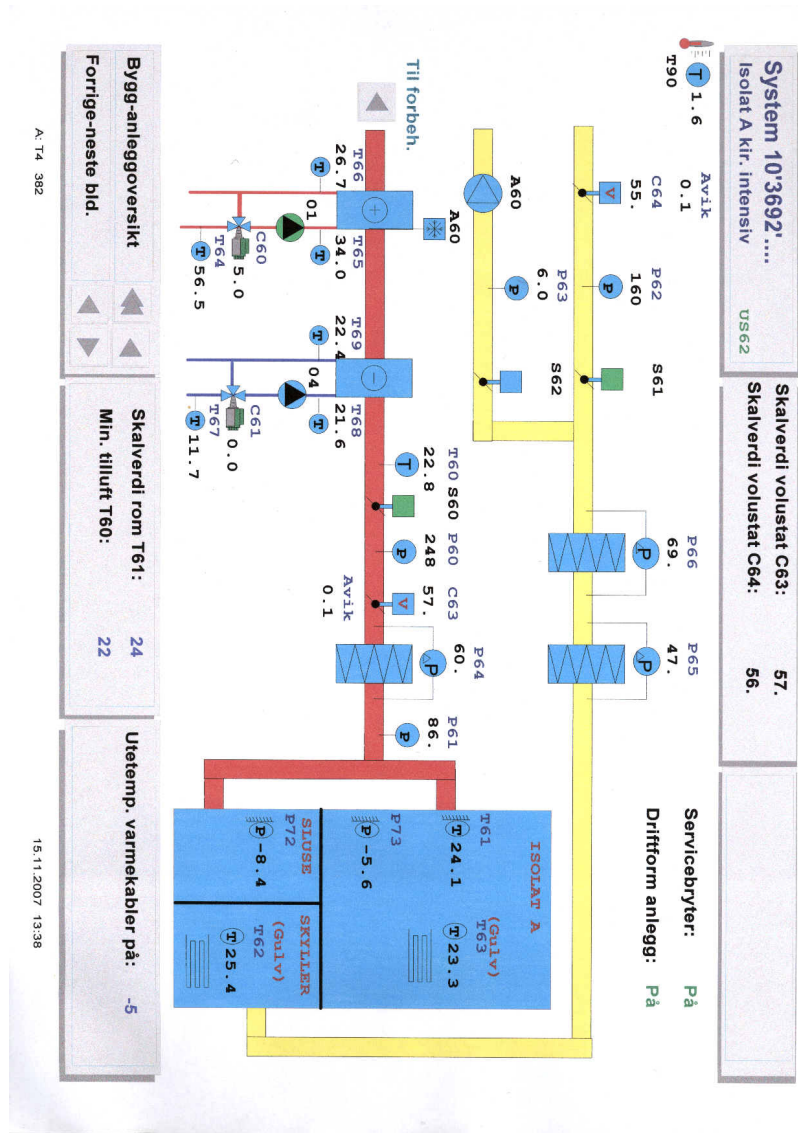


Figur 41: Oversikt over regulering i isolatrom

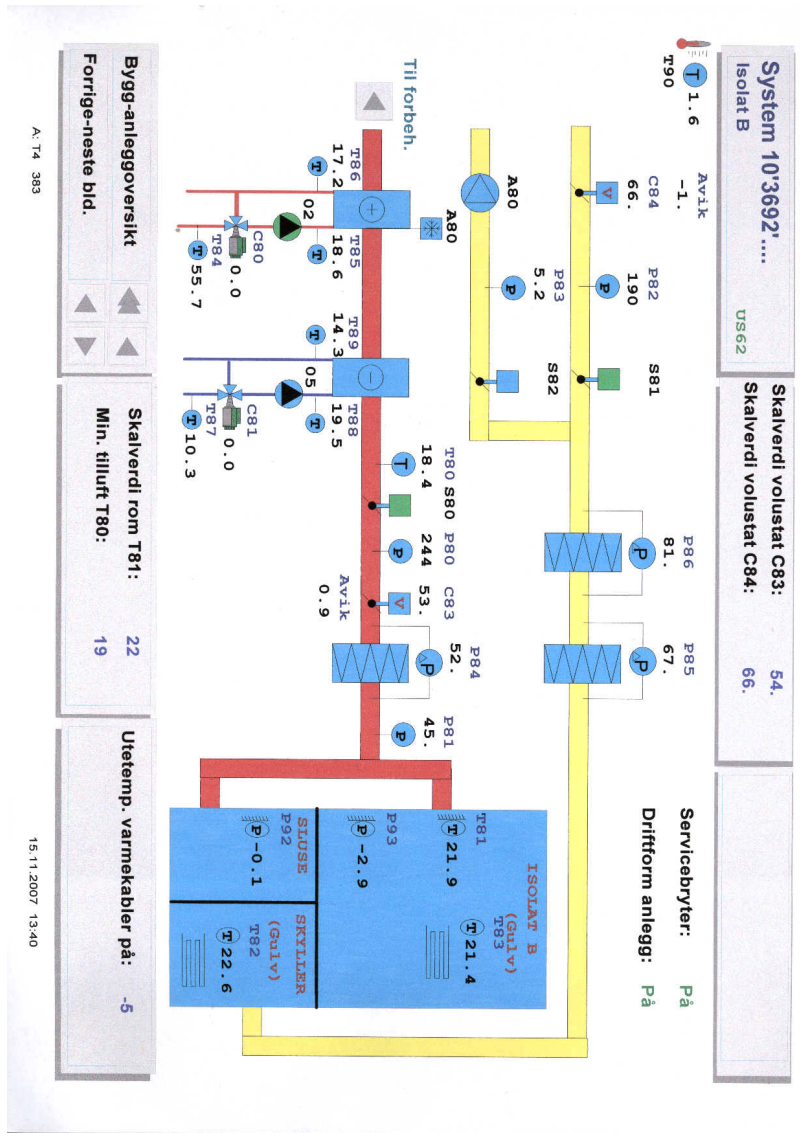


Figur 42: Oversikt over regulering i andre rom

A.3 Prinsippskisser av ventilasjonsløsningen til Unicos løsning



Figur 43: Oversikt over isolat i isolatmodus



Figur 44: Oversikt over isolat i normalmodus

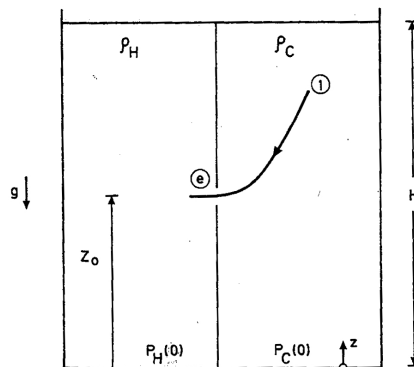
B Modeller for stasjonære strømninger

Her presenteres to modeller som brukes for stasjonære strømninger gjennom døråpninger når man har en netto innstrømning gjennom åpningen. De to mest brukte modellene presenteres. Disse er:

- *munningsmodell (orifice model)*, der det antas at trykkdistribusjonen er lik som i det mottakende rom.
- *to-lags hydraulisk modell*, der trykkdistribusjonen i den innstrømmende luften er styrt av dens egen tetthet.

B.1 Munningsmodellen (orifice model)

Når et fluid strømmer gjennom en liten åpning fra et stort stasjonært reservoar til et annet med forskjellige tettheter som vist i figuren under så kan man sette opp et uttrykk for strømningsraten ved hjelp av Bernoullis likning.



Figur 45: Strømning gjennom en liten åpning

Et fluid som strømmer inn til et rom gjennom en liten åpning kan behandles som en stråle omgitt av uforstyrret romluft. Dette er en tilnærming som sier at trykkdistribusjonen i strålen er bestemt av trykkdistribusjonen i det mottakende rom. På grunn av de relativt store luftvolumene som er i rommene så er det fornuftig å anta at hastigheten langt vekk fra åpningen er lik null.

Langs en strømlinje mellom punktene 1 og e i figuren så kan man sette opp følgende uttrykk:

$$p_1 + \rho_C g z_1 = p_e + \rho_C g z + \rho_C \frac{u_e(z)^2}{2} \quad (77)$$

Fluidet ved punkt 1 er så å si helt statisk og man kan skrive trykket som:

$$p_1 = p_C(0) - \rho_C g z_1 \quad (78)$$

Trykket p_e er gitt ved det statiske trykket ved den samme høyden i det mottakende rom, fordi fluidet som går gjennom åpningen lager en parallell strøm som er horisontal, altså:

$$p_e = p_H(0) - \rho_H g z \quad (79)$$

Hastigheten, u_e , i den parallelle strømmen for en gitt z er da gitt ved:

$$\rho_C \frac{u_e(z)^2}{2} = p_C(0) - p_H(0) - (\rho_C - \rho_H) g z \quad (80)$$

Likning (80) brukes for et spesialtilfelle der de to reservoarene har åpning til atmosfæren og ρ_C er veldig mye større enn ρ_H (som for eksempel man har ved en væske som lekker fra en kontainer gjennom en sirkulær åpning, der trykkdifferansen $p_C(0) - p_H(0) = \rho_C g H$, der H benevner høyden av væskeoverflaten). Uttrykket for u_e er da:

$$u_e = (g(H - z_0))^{1/2} \quad (81)$$

der z_0 er gjennomsnittshøyden til åpningen og u_e kan bli behandlet som *uniform* over hele åpningsarealet. Når ρ_H ikke er neglisjerbar så er uttrykket for u_e lik:

$$u_e = (g'_C(H - z_0))^{1/2} \quad (82)$$

der den reduserte gravitasjonen g'_C som virker på det tettere fluidet er:

$$g'_C = g \frac{\Delta \rho}{\rho_C}$$

Når høyden av åpningen er liten sammenliknet med z , så er strømningsraten gjennom åpningen gitt ved:

$$q_e = A_{vc} u_e \quad (83)$$

der A_{vc} benevner arealet til vena contracta¹⁹. Dette arealet kan ikke finnes ved en enkelt teori, det må beregnes på andre måter (for en sirkulær åpning så er $A_{vc} = 0,65A$).

Munningsmodellen for større åpninger med toveis strømming er en utvidelse av modellen over til tilfeller der åpningshøyden ikke er liten i forhold til vegg høyden og der trykkdifferansen $p_C(0) - p_H(0)$ ikke er bestemt av tilstanden ved en av

¹⁹punktet i en strømming der diameteren til strømmingen er minst

overflatene, men den er bestemt av strømningsraten gjennom åpningen. Denne tilnærmingen bygger på antagelsen om at likning (79) er gyldig som fører til et mønster av strømningslinjer som kan være vanskelig å rettferdiggjøre.

Antakelsene som gjøres når munningsmodellen brukes på større åpninger er følgende:

- like ved og inni åpningen så er det ingen blanding eller varmetransport mellom de to strømningsene som går hver sin vei
- ved høyden til det nøytrale plan (der de to strømningsene møtes) så er trykket i begge rommene like
- strømlinjene er parallelle og horisontale ved døråpningen
- trykket i strømmingen når den går inn i det mottakende rommet er lik den til det hydrostatiske trykket i dette rommet

For en toveis strømming (se figur 7) så kan den samme tankegangen som førte til likning (80) brukes langs en strømlinje fra et punkt i det varme rommet til et punkt i åpningen og hastigheten i den parallelle strømmen fra det varme til det kalde rommet kan uttrykkes ved:

$$\rho_H \frac{u_e(z)^2}{2} = p_H(0) - p_C(0) + (\rho_C - \rho_H)gz \quad (84)$$

Posisjonen til den nøytrale høyden, h_n , er gitt ved å sette $U_e = 0$, dette gir en trykkdifferanse mellom rommene ved gulvet som følger:

$$p_C(0) - p_H(0) = g\Delta\rho h_n \quad (85)$$

Differansetrykket som settes inn i uttrykkene for hastighetene gir hastighetene i de to luftstrømmene:

$$u_{CH}(z) = (2g'_H(z - h_n))^{1/2} \quad (z \geq h_n) \quad (86)$$

Det teoretiske hastighetsprofilen får da en parabolisk form som vist i figur 7.

Den respektive strømmingen per enhet bredde in og ut av rommet er dersom man neglisjerer enhver kontraksjon av strømlinjene:

$$q_{CH} = \int_{h_n}^h u(z)dz = \frac{1}{3}(g'_H)^{1/2}2^{3/2}(h - h_n)^{3/2} \quad (87)$$

$$q_{HC} = \int_0^{h_n} u(z)dz = \frac{1}{3}(g'_C)^{1/2}2^{3/2}h_n^{3/2} \quad (88)$$

Dersom man antar konservering av masse ($\rho_H q_{HC} = \rho_C q_{HC}$) så kan man løse for det nøytrale laget ved hjelp av tetthetene:

$$\frac{h_n}{h} = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{\rho_C}{\rho_H}\right)^{1/3}\right)} \quad (89)$$

Fordi $\rho_H < \rho_C$ så vil nevneren i likning (89) være større enn 2 og derfor er høyden av den nøytrale planet mindre enn $h/2$ og det varme luftlaget blir tykkere enn det kalde luftlaget.

Massestrømmen, \dot{m} , som uttrykk av tetthetene, åpningshøyde og åpningsareal blir:

$$\dot{m} = A \frac{1}{3} (g \Delta \rho h)^{1/2} 2^{3/2} \frac{\left((\rho_C \rho_H)^{1/3}\right)^{3/2}}{\left(\rho_H^{1/3} + \rho_C^{1/3}\right)^{3/2}} \quad (90)$$

Ved de temperaturdifferansene som man normalt kommer over så er $(\rho_C/\rho_H)^{1/3} \simeq 1$ og derfor så er høyden av det nøytrale laget omtrent lik halve høyden til døråpningen. Dermed er:

$$h_n = \frac{h}{2} \quad (91)$$

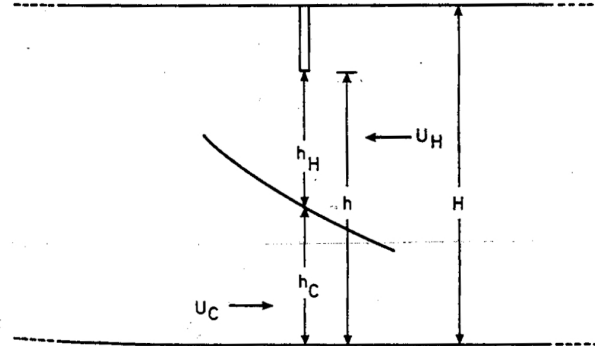
Hvis man gjør en tilnærming slik at tetthetene approksimeres med den gjennomsnittlige tettheter, $\bar{\rho}$, så kan man skrive den *totale strømningsraten* på følgende måte:

$$q_e = \frac{1}{3} A (g'h)^{1/2} \simeq 0,33 A (g'h)^{1/2} \quad (92)$$

B.2 To-lags hydraulisk modell

I denne modellen antas det i motsetning til forrige modell at strømlinjene ikke er horisontale, se figuren under

I denne tilnærmingen til modellen brukes det to forskjellige lag. Et lag med kald luft med høy tetthet med høyde h_C og et lag med varm luft med lavere tetthet med høyde h_H . Strømningsseparasjon ved toppen av døren er gyldig i denne modellen. En løsning på problemet kan finnes ved at man først antar at hastigheten og tetthetene i hvert lag er uniform i hvert tverrsnitt. Det er derfor en diskontinuitet i kontaktflaten. Bernoullis likning brukes da på hvert lag på en måte som tillater at den totale løftehøyden synker plutselig ved enkelte punkter i strømmingen. Disse punktene korresponderer til "hydrauliske hopp" og man støter ofte på



Figur 46: To-lags strømning gjennom en døråpning

dem i enkelte typer av gravitasjonsdrevne strømmer, som for eksempel en strømning over en overløpskant på en demning der en kan få en plutselig forandring i dybden.

Teorien viser at det antatte strømlinjemønsteret bare er mulig når hydrauliske hopp forekommer, det vil si at strømningen er uten dissipasjon.

Under de fleste omstendigheter så er det geometrien til det varme rommet og åpningen som kontrollerer strømningen. I hydraulikkterminologien så er strømningen "kritisk" oppstrøms fra åpningen på den varme siden og åpningen selv, det vil si det sammensatte Froudes nummer, F , definert som:

$$F^2 = \frac{u_C^2}{(g'h_C)} + \frac{u_H^2}{(g'h_H)} \quad (93)$$

er lik:

$$\frac{u_C^2}{(g'h_C)} + \frac{u_H^2}{(g'h_H)} = 1 \quad (94)$$

På grunn av at strømningen er kritisk så kan strømningsraten kalkuleres når man vet høyden på grenseflaten mellom lagene.

Ved å bruke likning (94) og den geometriske konstanten $h_C + h_H = h$ så kan man skrive strømningsraten som:

$$q_e = u_C h_C w = u_H h_H w = k(h_C, h_H)(g'h)^{1/2} \quad (95)$$

der $k(h_C, h_H)$ er en funksjon som gjengis eksplisitt nedenfor.

Får å gjøre uttrykket for $k(h_C, h_H)$ lettere innføres det en dimensjonsløs differanse, a_0 , mellom grenseflaten og middelhøyden til åpningen:

$$a_0 = \frac{h_C - \frac{h}{2}}{h} \quad (96)$$

og dermed kan $k(h_C, h_H)$ uttrykkes som:

$$k(h_C, h_H) = k^2(a_0) = \frac{(\frac{1}{2} + a_0)^3 (\frac{1}{2} - a_0)^3}{(\frac{1}{2} + a_0)^3 + (\frac{1}{2} - a_0)^3} \quad (97)$$

Når strømmingen er symmetrisk så er $a_0 = 0$ og k er lik 0,25. Dette kan brukes på tilfeller som åpning av et vindu i en vegg, der strømmingen kan antas å være symmetrisk hvis åpningen er langt fra gulvet og taket.

Hvis det ikke er noe kontraksjon i høyde ($h/H = 1$) så er strømmingen symmetrisk og grenseflaten i døråpningen vil være ved middelhøyden uavhengig av kontraksjonen i bredde. I andre tilfeller så vil grenseflatens høyde forandre seg slik at det øvre, og varme, laget blir tynnere enn det nedre, og kaldere, laget. Yttergrensen til k er 0,208 som oppnås når det er kontraksjon i høyde med ingen kontraksjon i bredde ($w/W = 1$).

B.2.1 Sammenlikninger av modeller og eksperimenter

De fleste modeller som er laget for å finne strømmingen gjennom store åpninger gir samme resultatet, at q_e er proporsjonal med $A(g'h)^{1/2}$. Dette stemmer hvis man sjekker med en dimensjonsanalyse. Proporsjonalitetskonstanten C er derimot forskjellig i modellene. Noen eksempler er nevnt nedenfor for en typisk døråpning med $q_{net} = 0$.

Ved enkel resonnering kommer man for et vindu frem til:

$$C = \frac{1}{\sqrt{8}} = 0,35$$

Det overnevnte munningsmodellen med en innsnevringkoeffisient på 0,65 gir en liknende verdi:

$$C = \frac{1}{3} = 0,33$$

Den to-lags hydrauliske modellen gir følgende verdier for noen typer åpninger:

$$C = \frac{1}{4} = 0,25(\text{vindu})$$

$$C = 0,243(\text{typisk døråpning})$$

$$C = 0,208(\text{døråpning i korridor})$$

Den to-lags hydrauliske modellen tar til en viss grad hensyn til effekten som geometrien til åpningen har på strømlinjemønsteret, mens derimot munningsmodellen ikke tar hensyn til dette. Med en kontraksjonskoeffisient på 0,65 så kan man

allikevel se at de to modellene ikke gir så ulik verdi av C selv om modellene er ganske ulike.

I munningsmodellen antar man at strømmingen er dissipasjonsløs mellom et punkt i rommet og et punkt i åpningen. I en helt stabil strømning så er ikke dette urimelig, men med denne antakelsen kommer et strømlinjemønster som ikke er helt riktig. I tillegg tar denne modellen ikke hensyn til den store tilleggseffekten av viskositet, nemlig strømningsseparasjon ved veggen. Denne effekten kan man til en viss grad inkludere ved bruken av en kontraksjonskoeffisient, men toveis strømmingen gjennom døråpningen er veldig forskjellig fra en uniform strømning gjennom en liten sirkulær munning.

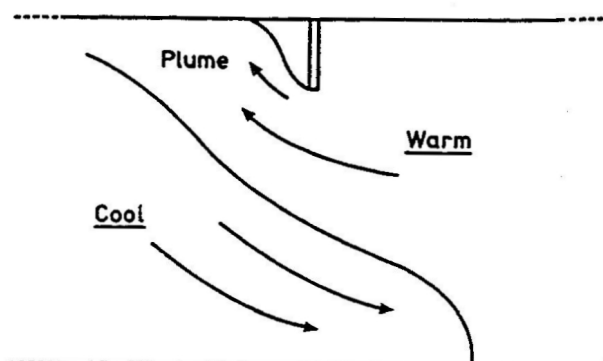
I den to-lags hydrauliske modellen antas det et veldig annerledes strømlinjemønster og selv om man baserer seg på Bernoullis likning så gir modellen lov til at dissipering av energi kan forekomme ved hydrauliske hopp. Eksistensen av slike hopp betyr at en strømning gjennom åpningen ikke har noen innvirkning på strømmingene gjennom åpninger i andre rom. Modellen tar visse hensyn til strømningsseparasjon og den tar hensyn til at strømningskonstanten er veldig avhengig av geometrien til åpningen. Disse tingene gjør at den hydrauliske modellen sannsynligvis er mer realistisk enn munningsmodellen. Likevel så antas det at de to lagene har uniforme tettheter og hastigheter med en øyeblikkelig diskontinuitet der de møtes. Dersom man tenker på denne måten så er nok munningsmodellen mer realistisk.

Den hydrauliske modellen er mer vanskelig å bruke og det vil ikke være lett å implementere denne modellen i visse ventilasjonsmodeller. Munningsmodellen gir fornuftige resultater og er lettere å bruke. Den kan lett implementeres i en flercellemodell. Munningsmodellen bør brukes *etter* den netto strømningsraten gjennom rommet har blitt bestemt.

Strømmingen gjennom døråpningen kan være veldig kompleks. I munningsmodellen er det antatt at hastighetsprofilen er parabolisk. Dette er ikke alltid tilfelle. I realiteten er det flere avvik fra antakelsene som er brukt.

Figuren over viser en skisse av luftstrømmen gjennom en døråpning der takhøyden er større enn høyden av døråpningen. Strømmingen er langt fra horisontal og den varme luften som strømmer gjennom den øvre delen av åpningen fører til en slags buformet strømning. Derfor er ikke de to strømningsmønstrene i rommene like. Den buformede strømmingen går oppover, mens den kalde luften følger gulvet. Denne asymmetrien kan føre til forskjellige grader av blanding i de to rommene. Et ekstremt tilfelle er når den såkalte kalde rommet er utendørs. Da vil den varme lufta som går ut stige veldig fort ved utgangen og blander seg svært lite med den kalde luften. Som en kontrast så vil luftstrømmene inni huset blande seg med hverandre. Dette gir opphav til skrånende temperaturprofiler ved utgangen.

Dersom døren ikke er lokalisert i midten av skilleveggen, så kan man forvente en horisontal asymmetri. Dette er fordi strømmingen gjennom døråpningen



Figur 47: Strømning gjennom døråpning

er påvirket av de større luftbevegelsene i de tilstøtende rom.

De teoretiske verdiene for C kan sammenliknes med eksperimentelle verdier som vist i tabellen under. Her er det oppført syv forskjellige eksperimenter og hva slags C -verdi man kom frem til ved hvert eksperiment.

C-verdi	Referans	Type eksperiment
$0,16 + 0,0013\Delta T$	Fritzsche og Lilienblum (1968)	Kald butikk
0,23	Prahl og Emmons (1975)	Skalamodell med parafin og vann
0,15	Mahajan (1987)	To fullskalas tilstøtende rom
$0,13 + 0,0025\Delta T$	Kiel og Wilson (1989)	Test-hus
$0,207 \pm 0,005$	Lane-Serff (1989)	Skalamodell med saltvann
0,27	Allard m.fl (1990)	To fullskalas tilstøtende rom
0,15	Maas (1992)	Flere testanlegg

Tabell 15: Eksperimentelle verdier av C

C Nomenklatur

- V_{tr} = totalt volum ved transient strømning [m^3]
 V_{st} = totalt volum ved stasjonær strømning [m^3]
 V_{temp} = utvekslet volummengde forårsaket av temperaturdifferanser [m^3]
 V_{trykk} = utvekslet volummengde forårsaket av trykkdifferanser [m^3]
 V_{pump} = utvekslet volummengde forårsaket av pumpeeffekt [m^3]
 V_{pas} = utvekslet volummengde forårsaket av passasje av mennesker og seng [m^3]
 q_{tr} = transient strømningsrate [m^3/s]
 q_{st} = stasjonær strømningsrate [m^3/s]
 A = åpningens areal [m^2]
 u_f = fronthastighet på strømningen [m/s]
 H = rommets høyde [m]
 h = åpningens høyde [m]
 W = rommets bredde [m]
 w = åpningens bredde [m]
 p = trykk i rommet [Pa]
 T = temperatur i rommet [K]
 V = rommets volum [m^3]
 M = luftens molmasse [$kg/kmol$]
 ρ_C = luftens tetthet i det kaldeste rommet [kg/m^3]
 ρ_H = luftens tetthet i det varmeste rommet [kg/m^3]
 $\Delta\rho_r$ = Tetthetsdifferanse mellom rommene [kg/m^3]
 g = tyngdens akselerasjon [m/s^2]
 $\bar{\rho}$ = gjennomsnittlig tetthet for rommene [kg/m^3]
 $g' = g \frac{\Delta T}{\bar{T}}$ = redusert gravitasjon [m/s^2]
 ΔT = Temperaturdifferanse mellom rommene [K]
 \bar{T} = Gjennomsnittlig romtemperatur [K]
 μ = kinematisk viskositet [m^2/s]
 Gr = Grashofs tall
 Δm = forskjell i masse før og etter åpning av dør [kg]
 \bar{R} = den universelle gasskonstant [$J/kmolK$]
 θ_o = dørens avsluttende åpningsvinkel
 t_t = den stasjonære strømningens varighet [s]
 t_c = dørens lukkingstid [s]
 t_0 = dørens åpningstid [s]
 t_h = total tid døren står helt oppe [s]
 $t_{tot} = t_c + t_0 + t_h$ = total åpningstid [s]

D Beregninger for luftstrømning mellom sluse og korridor

Det er gjort beregninger for både personaltransport og sengetransport.

D.1 Personaltransport

Parameterverdier:

- Ved personaltransport åpnes døråpningen kun halvveis. Det vil si at åpningen er på 2x0,65m. Dette gir et areal, A , på 1,3 m².
- Temperaturen i slusen er satt til 23 °C og temperaturen i korridoren er satt til 22 °C. Dette gir ΔT på 1 K.
- Trykket i korridoren er 101,325 kPa og i slusen 101,310 kPa. Dette gir en Δp på 15 Pa.
- Den gjennomsnittlige romtemperaturen, \bar{T} , settes lik temperaturen i korridoren på 295 K.
- Åpningens høyde, h , er 2 m.
- Varigheten til den transiente strømmingen, t_{tr} , settes til 8 s.
- Varigheten til den stasjonære strømmingen, t_{st} , settes til 2 s.

D.1.1 Tetthetsdifferanse forårsaket av temperaturdifferanse

Transient strømning

Her brukes likning (63):

$$q_{tr} = \frac{1}{4} A (g'h)^{1/2}$$

Setter inn verdier. Får da:

$$q_{tr} = \frac{1}{4} \cdot 1,3 \cdot (9,81 \cdot \frac{1}{295} \cdot 2)^{1/2}$$

Den transiente luftstrømningen mellom sluse og korridor på grunn av temperaturdifferanser blir da:

$$q_{tr} = 0,0838 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vet at:

$$V_{tr} = q_{tr} \cdot t_{tr}$$

Setter inn verdier:

$$V_{tr} = 0,0838 \cdot 8$$

Den totale volumet gjennom døråpningen blir da:

$$V_{tr} = 0,6704 \text{ m}^3$$

Stasjonær strømming

Her brukes likning (72):

$$q_{st} = 0,15A(g'h)^{1/2}$$

Setter inn verdier:

$$q_{st} = 0,15 \cdot 1,3 \cdot (9,81 \cdot \frac{1}{294,5} \cdot 2)^{1/2}$$

Total stasjonær luftstrømming mellom sluse og korridor blir:

$$q_{st} = 0,0503 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vet at:

$$V_{st} = q_{st} \cdot t_{st}$$

Setter inn verdier:

$$V_{st} = 0,0503 \cdot 2$$

Det totale volumet blir da:

$$V_{st} = 0,1007 \text{ m}^3$$

Totalt

Man kan nå slå sammen den transiente og den stasjonære volumutvekslingen for å finne det totale luftvolumet som går gjennom døren på grunn av temperatur-differanser:

$$V_{temp} = V_{tr} + V_{st}$$

Setter inn verdier:

$$V_{temp} = 0,6704 + 0,1007$$

Dette gir et totalt volum på:

$$V_{temp} = 0,7711 \text{ m}^3$$

D.1.2 Passasje av mennesker

Luftutvekslingen som skjer ved at personer som går gjennom døråpningen drar med seg luft er betegnet V_{pas} . For langsom gange gjennom en åpning settes $V_{pas} = 0,087 \text{ m}^3$ og for hurtig gange settes $V_{pas} = 0,29 \text{ m}^3$.

D.1.3 Totalt

Den totale utvekslingen av luft mellom de to rommene får man da ved følgende likning:

$$V_{tot} = V_{temp} + V_{pas}$$

For sakte gange vil det totale volumet være:

$$V_{tot} = 0,7711 + 0,087 = 0,8581 \text{ m}^3$$

For hurtig gange vil det totale volumet være:

$$V_{tot} = 0,7711 + 0,29 = 1,0611 \text{ m}^3$$

D.2 Sengetransport

Parameterverdier:

- Ved sengetransport åpnes døråpningen helt. Det vil si at åpningen er på 2x1,3m. Dette gir et areal, A , på $2,6 \text{ m}^2$.
- Temperaturen i slusen er satt til $23 \text{ }^\circ\text{C}$ og temperaturen i korridoren er satt til $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Dette gir ΔT på 1 K .
- Trykket i korridoren er $101,325 \text{ kPa}$ og i slusen $101,310 \text{ kPa}$. Dette gir en δP på 15 Pa .
- Den gjennomsnittlige romtemperaturen, \bar{T} , settes lik temperaturen i korridoren på 295 K .

- Åpningens høyde, h , er 2 m.
- Varigheten til den transiente strømmingen, t_{tr} , settes til 8 s.
- Varigheten til den stasjonære strømmingen, t_{st} , settes til 32 s.

D.2.1 Tetthetsdifferanse forårsaket av temperaturdifferanse

Transient strømning

Bruker samme likning som i personaltransport. Innsatt verdier blir likningen:

$$q_{tr} = \frac{1}{4} \cdot 2,6 \cdot (9,81 \cdot \frac{1}{295} \cdot 2)^{1/2}$$

Den transiente luftstrømmingen mellom sluse og korridor på grunn av temperaturdifferanser blir da:

$$q_{tr} = 0,1676 \text{ m}^3/\text{s}$$

Regner ut totalvolumet. Bruker samme likning som for personaltransport. Innsatt verdier blir likningen:

$$V_{tr} = 0,1678 \cdot 8$$

Den totale volumet gjennom døråpningen blir da:

$$V_{tr} = 1,3408 \text{ m}^3$$

Stasjonær strømning

Bruker samme likning som for personaltransport. Innsatt verdier blir likningen:

$$q_{st} = 0,15 \cdot 2,6 \cdot (9,81 \cdot \frac{1}{294,5} \cdot 2)^{1/2}$$

Total stasjonær luftstrømning mellom sluse og korridor blir:

$$q_{st} = 0,1006 \text{ m}^3/\text{s}$$

Totalt volum gjennom døråpningen ved den stasjonære strømmingen er gitt ved samme likning som for personaltransport. Innsatt verdier får vi:

$$V_{st} = 0,1006 \cdot 32$$

Det totale volumet blir da:

$$V_{st} = 3,2192 \text{ m}^3$$

Totalt

Det totale volumet av den transiente og den stasjonære strømmingen, V_{temp} , kan finnes slik:

$$V_{temp} = 1,3408 + 3,2192$$

Det blir da:

$$V_{temp} = 4,56 \text{ m}^3$$

D.2.2 Passasje av mennesker og seng

Luftutvekslingen forårsaket av luft som personer og seng drar med seg gjennom døråpningen er betegnet V_{pas} . Det antas at det for en sengetransport trengs to personer. Det brukes her verdier fra boken til Etheridge og Sandberg. En seng antas å dra med seg like mye luft som en person ved sakte gange, altså $0,087 \text{ m}^3$. Dermed blir $V_{pas} = 0,087 \cdot 3 = 0,261 \text{ m}^3$.

D.2.3 Totalt

Den totale utvekslingen av luft mellom de to rommene blir en kombinasjon av alle luftstrømmene over. Kan da sette opp følgende:

$$V_{tot} = V_{temp} + V_{pas}$$

Dette blir da:

$$V_{tot} = 4,56 + 0,261 = 4,851 \text{ m}^3$$

E Beregninger for luftstrømning mellom sluse og pasientrom

Det er gjort beregninger for både personaltransport og sengetransport.

E.1 Personaltransport

- Ved personaltransport åpnes døråpningen kun halvveis. Det vil si at åpningen er på 2x0,65m. Dette gir et areal, A , på 1,3 m².
- Temperaturen i slusen er satt til 23 °C og temperaturen i pasientrommet er satt til 24 °C. Dette gir ΔT på 1 K.
- Trykket i pasientrommet er 101,303 kPa og i slusen 101,310 kPa. Dette gir en δP på 7 Pa.
- Den gjennomsnittlige romtemperaturen, \bar{T} , settes lik temperaturen i slusen på 296 K.
- Åpningshastigheten i senter av døren, u_d , antas å være 0,5 m/s.
- Åpningens høyde, h , er 2 m.
- Varigheten til $t_{tr} = 8$ sek og $t_{st} = 2$ s

E.1.1 Tetthetsdifferanse forårsaket av temperaturdifferanse

Transient strømning

Her brukes likning (63):

$$q_{tr} = \frac{1}{4}A(g'h)^{1/2}$$

Setter inn verdier. Får da:

$$q_{tr} = \frac{1}{4} \cdot 1,3 \cdot (9,81 \cdot \frac{1}{296} \cdot 2)^{1/2}$$

Den transiente luftstrømningen mellom sluse og korridor på grunn av temperaturdifferanser blir da:

$$q_{tr} = 0,0837 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vet at:

$$V_{tr} = q_{tr} \cdot t_{tr}$$

Setter inn verdier:

$$V_{tr} = 0,0837 \cdot 8$$

Den totale volumet gjennom døråpningen blir da:

$$V_{tr} = 0,6696 \text{ m}^3$$

Stasjonær strømming

Her brukes likning (72):

$$q_{st} = 0,15A(g'h)^{1/2}$$

Setter inn verdier:

$$q_{st} = 0,15 \cdot 1,3 \cdot (9,81 \cdot \frac{1}{296} \cdot 2)^{1/2}$$

Total stasjonær luftstrømming mellom sluse og korridor blir:

$$q_{st} = 0,0502 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vet at:

$$V_{st} = q_{st} \cdot t_{st}$$

Setter inn verdier:

$$V_{st} = 0,0502 \cdot 2$$

Det totale volumet blir da:

$$V_{st} = 0,1004 \text{ m}^3$$

Totalt

Det totale volumet blir da:

$$V_{temp} = V_{tr} + V_{st}$$

Setter inn verdier:

$$V_{temp} = 0,6696 + 0,1004$$

Dette gir et totalt volum på:

$$V_{temp} = 0,77 \text{ m}^3$$

E.1.2 Pumpeeffekt ved åpning/lukking av dør

Bruker her likning (74) som ser slik ut:

$$V_{pump} = 2,3u_d$$

Det utvekslede volumet blir 50 % av denne verdien og man får da:

$$V_{pump,utv} = 1,15u_d$$

Setter inn verdi for åpningshastigheten og får:

$$V_{pump} = 1,15 \cdot 0,5$$

Dette gir:

$$V_{pump} = 0,575 \text{ m}^3$$

E.1.3 Passasje av mennesker

Luftutvekslingen som skjer ved at personer som går gjennom døråpningen drar med seg luft er betegnet V_{pas} . For langsom gange gjennom en åpning settes $V_{pas} = 0,087 \text{ m}^3$ og for hurtig gange settes $V_{pas} = 0,29 \text{ m}^3$.

E.1.4 Totalt

Den totale utvekslingen av luft mellom de to rommene blir da:

$$V_{tot} = V_{temp} + V_{pump} + V_{pas}$$

For sakte gange vil det totale volumet være:

$$V_{tot} = 0,77 + 0,575 + 0,087 = 1,432 \text{ m}^3$$

For hurtig gange vil det totale volumet være:

$$V_{tot} = 0,77 + 0,575 + 0,29 = 1,635 \text{ m}^3$$

E.2 Sengetransport

Parameterverdier:

- Ved personaltransport åpnes døråpningen helt. Det vil si at åpningen er på 2x1,3m. Dette gir et areal, A , på 2,6 m².
- Temperaturen i slusen er satt til 23 °C og temperaturen i pasientrommet er satt til 24 °C. Dette gir ΔT på 1 K.
- Trykket i pasientrommet er 101,303 kPa og i slusen 101,310 kPa. Dette gir en δP på 7 Pa.
- Den gjennomsnittlige romtemperaturen, \bar{T} , settes lik temperaturen i slusen på 296 K.
- Åpningshastigheten i senter av døren, u_d , antas å være 0,5 m/s.
- Åpningens høyde, h , er 2 m.
- Varigheten til $t_{tr} = 8$ sek og $t_{st} = 32$ s

E.2.1 Tetthetsdifferanse forårsaket av temperaturdifferanse

Transient strømning

Bruker samme likning som i personaltransport. Innsatt verdier blir likningen:

$$q_{tr} = \frac{1}{4} \cdot 2,6 \cdot (9,81 \cdot \frac{1}{296} \cdot 2)^{1/2}$$

Den transiente luftstrømningen mellom sluse og korridor på grunn av temperaturdifferanser blir da:

$$q_{tr} = 0,1673 \text{ m}^3/\text{s}$$

Regner ut totalvolumet. Bruker samme likning som for personaltransport. Innsatt verdier blir likningen:

$$V_{tr} = 0,1673 \cdot 8$$

Den totale volumet gjennom døråpningen blir da:

$$V_{tr} = 1,3384 \text{ m}^3$$

Stasjonær strømning

Bruker samme likning som for personaltransport. Innsatt verdier blir likningen:

$$q_{st} = 0,15 \cdot 2,6 \cdot (9,81 \cdot \frac{1}{296} \cdot 2)^{1/2}$$

Total stasjonær luftstrømning mellom sluse og korridor blir:

$$q_{st} = 0,1004 \text{ m}^3/\text{s}$$

Totalt volum gjennom døråpningen ved den stasjonære strømmingen er gitt ved likning (??). Innsatt verdier får vi:

$$V_{st} = 0,1004 \cdot 32$$

Det totale volumet blir da:

$$V_{st} = 3,2128 \text{ m}^3$$

Totalt

Det totale volumet av den transiente og den stasjonære strømmingen, V_{temp} , kan finnes slik:

$$V_{temp} = 1,3384 + 3,2128$$

Det blir da:

$$V_{temp} = 4,5512 \text{ m}^3$$

E.2.2 Pumpeeffekt ved åpning/lukking av døren

Ved bruk av likning (74) fås samme verdi som ved personaltransport, det vil si:

$$V_{pump} = 0,575 \text{ m}^3$$

E.2.3 Passasje av mennesker og seng

Det antas at det for en sengetransport trengs to personer. En seng antas å dra med seg like mye luft som en person ved sakte gange, altså $0,087 \text{ m}^3$. Dermed blir $V_{pas} = 0,087 \cdot 3 = 0,261 \text{ m}^3$.

E.2.4 Totalt

Kan sette opp følgende:

$$V_{tot} = V_{temp} + V_{pump} + V_{pas}$$

Dette blir da:

$$V_{tot} = 4,5512 + 0,575 + 0,261 = 5,3872\text{m}^3$$

F Målinger utført ved SSHF Kristiansand

F.1 Utstyr

- Trykkmåler med tilhørende slanger
- Temperaturmåler (fra Rambøll)
- Luftfuktighetsmåler (fra Rambøll)
- Datalogger med tilhørende utstyr
- Sporgass (lystgass, N₂O)
- Sporgassmonitor og doserer med tilhørende utstyr

Utstyr lånes fra NTNU eller Rambøll Kristiansand

F.2 Trykkmålinger

Trykkforholdene måles ved en trykkmåler som man fester to tilhørende slanger på. Den ene slangen skal ligge i det ene rommet, mens den andre slangen føres under døren (pasientrom/sluse og pasientrom/skyllerom) eller gjennom ventil i dør (sluse/korridor) til det andre rommet. Trykkmåleren beregner da trykkforskjellen basert på luften i de to slangene. Ved målinger ved åpning/lukking av dører må datalogger kobles til trykkmåleren. Ved hjelp av denne loggeren kan man se hvordan trykkforskjellen utvikler seg ettersom man åpner og lukker døren. Måleslangene må sannsynligvis festes eller teipes slik at de ikke blir dratt med av dørene når disse åpnes/lukkes.

1. Måle trykkforhold mellom rommene ved lukkede dører.
2. Måle trykkforhold pasientrom/sluse vha plotter ved vanlig åpning og lukking av døren til pasientrom (1/2 åpning).
3. Måle trykkforhold pasientrom/sluse vha logger ved hel åpning og lukking av døren til pasientrom (1/1 åpning).
4. Måle trykkforhold pasientrom/sluse vha logger ved vanlig åpning og lukking og gange gjennom døren fra sluse til pasientrom (1/2 åpning).
5. Måle trykkforhold pasientrom/sluse vha logger ved vanlig åpning og lukking og gange gjennom døren fra pasientrom til sluse (1/2 åpning).

6. Måle trykkforhold sluse/korridor vha logger ved vanlig åpning og lukking av døren til korridor (1/2 åpning).
7. Måle trykkforhold sluse/korridor vha logger ved hel åpning og lukking av døren til korridor (1/1 åpning).
8. Måle trykkforhold sluse/korridor vha logger ved vanlig åpning og lukking og gange gjennom døren fra korridor til sluse (1/2 åpning).
9. Måle trykkforhold sluse/korridor vha logger ved vanlig åpning og lukking og gange gjennom døren fra sluse til korridor (1/2 åpning).

F.3 Temperaturmålinger

Temperaturmålingene utføres med multimeter fra Rambøll som kan plasseres ut flere steder.

1. Måle temperaturer i korridor, sluse, pasientrom og skyllerom.
2. Måle temperatur ute.

F.4 Luftfuktighetsmålinger

Luftfuktighetsmålingene utføres med multimeter fra Rambøll som kan plasseres ut flere steder.

1. Måle relativ luftfuktighet korridor, sluse, pasientrom og skyllerom.
2. Måle relativ luftfuktighet ute.

F.5 Sporgassmålinger

Målingene utføres ved at man først doserer en konstant mengde lystgass på ønsket sted i ønsket rom. Når 4 luftskifter er gått, regnes konsentrasjonen i tilført rom som konstant og målingene kan begynne.

Tilførselspunktene vil være:

- Ved seng i pasientrom
- I midten av slusen

Målepunktene vil være:

- I midten av pasientrom

- I midten av slusen
- I korridor ved inngang til isolat

Foretar først en måling for å sjekke lystgassnivå før målinger starter. Dette nivået blir satt som nullnivå eller referansenivå. Mellom hver målesekvens er det en måleperiode der det sjekkes at lystgassnivået er nede på referansenivå før målinger fortsetter.

1. Dosering av sporgass i pasientrom. Målinger av sporgasskonsentrasjon i pasientrom, sluse og korridor ved gjennomgang fra korridor til pasientrom, via sluse. Åpningen skal være normal (1/2 åpning).
2. Dosering av sporgass i pasientrom. Målinger av sporgasskonsentrasjon i pasientrom, sluse og korridor ved gjennomgang fra pasientrom til korridor, via sluse. Åpningen skal være normal (1/2 åpning).
3. Dosering av sporgass i pasientrom. Målinger av sporgasskonsentrasjon i pasientrom, sluse og korridor ved gjennomgang fra korridor til pasientrom, via sluse. Åpningen skal være hel (1/1 åpning).
4. Dosering av sporgass i pasientrom. Målinger av sporgasskonsentrasjon i pasientrom, sluse og korridor ved gjennomgang fra pasientrom til korridor, via sluse. Åpningen skal være hel (1/1 åpning).
5. Dosering av sporgass i sluse. Målinger av sporgasskonsentrasjon i pasientrom, sluse og korridor ved gjennomgang fra korridor til pasientrom, via sluse. Åpningen skal være normal (1/2 åpning).
6. Dosering av sporgass i sluse. Målinger av sporgasskonsentrasjon i pasientrom, sluse og korridor ved gjennomgang fra pasientrom til korridor, via sluse. Åpningen skal være normal (1/2 åpning).
7. Dosering av sporgass i sluse. Målinger av sporgasskonsentrasjon i pasientrom, sluse og korridor ved gjennomgang fra korridor til pasientrom, via sluse. Åpningen skal være hel (1/1 åpning).
8. Dosering av sporgass i sluse. Målinger av sporgasskonsentrasjon i pasientrom, sluse og korridor ved gjennomgang fra pasientrom til korridor, via sluse. Åpningen skal være hel (1/1 åpning).

F.6 Undersøkelse av uteforhold

1. Observere uteforhold. Spesielt vind, men også skydekke.