

Anna Leonora Brekkhus
Einar Carlson Hegge
Mathias Stensholt Granum

Metode for loggføring av forbruk i medisinske gassanlegg

Bacheloroppgave i VVS
Veileder: Bjørn Austbø
Mai 2023

Anna Leonora Brekkhus
Einar Carlson Hegge
Mathias Stensholt Granum

Metode for loggføring av forbruk i medisinske gassanlegg

Bacheloroppgave i VVS
Veileder: Bjørn Austbø
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for energi- og prosessteknikk



Kunnskap for en bedre verden



Institutt for energi-
og prosessteknikk

Bacheloroppgave

| | |
|---|--|
| Oppgavens tittel: Metode for loggføring av forbruk i medisinske gassanlegg Project title (ENG): Method for logging consumption in medical gas pipeline systems | Gitt dato: 21.05.2023 |
| | Innleveringsdato: 22.05.2023 |
| | Antall sider rapport / sider vedlagt: 77 / 58 |
| Gruppedeltakere: Anna Leonora Brekkhus Einar Carlson Hegge Mathias Stensholt Granum | Veileder: Bjørn Austbø |
| | Prosjektnummer: EPT-V-2023-01 |
| Oppdragsgiver: COWI | Kontaktperson hos oppdragsgiver: Tove Skanche, Sylvia Meidal |

Fritt tilgjengelig:

Tilgjengelig etter avtale med oppdragsgiver:

Rapporten frigitt etter:

Gruppedeltakere signaturer:

Anna Leonora Brekkhus

Mathias Stensholt Granum

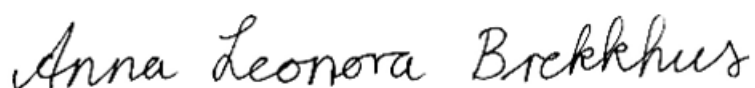
Einar Carlson Hegge

Forord


Vi er stolte av å presentere denne oppgaven, som markerer avslutningen på vår akademiske reise innen VVS-teknikk ved NTNU. Som studenter på VVS-spesialisering har vi samarbeidet med COWI for å utforske dimensjonering av medisinske gassanlegg på norske sykehus i forhold til HTM 02-01.

I denne anledningen ønsker vi å takke COWI for oppgaven og deres bistand underveis. En takk rettes spesielt til Vegard Kleiven og Morten Uv og hjelpsomme seksjonsledere ved St.Olavs hospital. Intern veileder har vært Bjørn Austbø, som har hjelpsomt kommet med mange gode innspill underveis, og booking av møterom. Vi håper denne rapporten bidrar til diskusjonen om standardisering av sykehusdimensjonering i Norge og inspirerer til videre forskning.

God lesing!



Anna Leonora Brekklus



Einar Carlson Hegge



Mathias Stensholt Granum

Sammendrag

Det er i dag ingen norsk standard for dimensjonering og prosjektering av medisinske gassanlegg. Oppgaven var å se på om den britiske standarden, HTM 02-01 fra 2006, kunne brukes til norske sykehus og forhold. Ved å ta utgangspunkt i St.Olavs hospital var planen å innhente data på forbruket av gass, og sammenligne dette med formlene som er oppgitt i HTM 02-01.

Forbruket av gass blir ikke loggført i dag. St.Olavs har ikke oversikt over hvem som bruker hva og hvor mye, men ved å se på innkjøpet av gass ble det mulig å se på utviklingen av totalforbruket for sykehuset. Av den dataen er det en tydelig trend på lavere forbruk av O₂ og N₂O, og økende bruk av CO₂, men det er ikke mulig å sammenligne tallene opp mot HTM 02-01. Dette var et skjær i sjøen som gjorde at oppgaven fikk en ny vending, og tar nå for seg en konkret metode for å faktisk måle totalforbruket, samtidigheten og normalgassmengdene på et sykehus. Dette gjelder da valg av gjennomstrømningsmålere, bestemme plassering og måleperiode, og lage et kostnadsoverslag.

I rapporten kommer det frem at Bronkhorst, Siargo og Dräger har alle løsninger for å finne svar på problemstillingen. Spørreskjema er også mulig å bruke for å finne bruksmønster, noe som er kostnadsbesparende, men det vil kreve god dialog med sykehuset.

Abstract

There is currently no Norwegian standard for the dimensioning and design of medical gas systems. The task was to investigate whether the British standard, HTM 02-01 from 2006, could be applicable to Norwegian hospitals and conditions. By starting with St.Olavs Hospital, the plan was to gather data on gas consumption and compare it with the formulas provided in HTM 02-01.

Gas consumption is not logged in any way. St.Olavs does not have an overview of who uses what and how much. However, by looking at the gas purchased, one can examine the overall volume trends for the hospital. From the data, there is a clear trend of lower consumption of O₂ and N₂O, and higher consumption of CO₂, but it is not possible to compare the numbers to HTM 02-01. This posed a challenge, leading to a new direction for this thesis, focusing on the alleged challenges and a method to actually measure total consumption, diversified flow and design flow in a hospital. This includes the types of flow meters, their placement, measurement period, and cost estimation.

Bronkhorst, VP instruments, Siargo, and Dräger all have solutions to address the problem. The use of questionnaires is also possible to determine usage patterns, which is cost-effective, but it requires good communication with the hospital.

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|-------------|
| Forord | i |
| Sammendrag | ii |
| Abstract | iii |
| Ordliste | viii |
| 1 Innledning | 1 |
| 1.1 Motivasjon | 2 |
| 1.2 Problemstilling | 2 |
| 2 Teori | 3 |
| 2.1 Medisinsk gassanlegg | 3 |
| 2.1.1 Spesielt for medisinske gassanlegg | 3 |
| 2.1.2 Medisinske gasser | 5 |
| 2.2 St.Olavs hospital | 7 |
| 2.2.1 Gassanlegget på St.Olavs | 7 |
| 2.2.2 Inndeling av St.Olavs | 9 |
| 2.2.3 Apparater på sykehus | 10 |
| 2.3 Standarder | 12 |
| 2.3.1 Health Technical Memorandum 02-01: Medical gas pipeline systems . . . | 12 |
| 2.4 Dimensjonering av rør | 13 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.5 | Sensorer | 14 |
| 2.5.1 | Begreper | 14 |
| 2.5.2 | Målemetoder | 15 |
| 3 | Metode | 16 |
| 3.1 | Informasjonsinnhenting | 16 |
| 3.1.1 | Datasekk | 16 |
| 3.1.2 | Ekskursjon 1 (14.03.23) | 17 |
| 3.1.3 | Spørreskjema 1.0 | 18 |
| 3.1.4 | Ekskursjon 2 (27.03.23) | 18 |
| 3.2 | Ny vending | 18 |
| 3.2.1 | Ekskursjon 3 (13.04.23) | 19 |
| 3.2.2 | Kartlegging av bruksmønster | 19 |
| 3.2.3 | Fakturering av forbruk | 20 |
| 3.2.4 | Kravspesifikasjoner og leverandører/produsenter | 21 |
| 3.2.5 | Plassering av gjennomstrømningsmålere | 22 |
| 3.2.6 | Måleperiode | 23 |
| 4 | Resultater | 24 |
| 4.1 | Innformasjonsinnhenting | 24 |
| 4.1.1 | Datasekk | 24 |
| 4.1.2 | Resultat av ekskursjon 1 (14.03.23) | 29 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.1.3 | Resultat av ekskursjon 2 (27.03.23) | 31 |
| 4.1.4 | Svar på spørreskjema 1.0 | 32 |
| 4.2 | Ny vending | 34 |
| 4.2.1 | Resultat av ekskursjon 3 (13.04.23) | 34 |
| 4.2.2 | Kartlegging av bruksmønster | 35 |
| 4.2.3 | Fakturering av forbruk | 36 |
| 4.2.4 | Kravspesifikasjoner og leverandører/produsenter | 37 |
| 4.2.5 | Plassering av gjennomstrømningsmåler | 42 |
| 4.2.6 | Måleperiode | 44 |
| 5 | Diskusjon og refleksjon | 45 |
| 5.1 | Datsett | 45 |
| 5.1.1 | Trykkluft | 45 |
| 5.1.2 | Medisinske gasser | 46 |
| 5.1.3 | Regnskap 2006-2022 | 47 |
| 5.1.4 | Litt om covid-19 | 48 |
| 5.2 | Kartlegging av bruksmønster med spørreskjema | 50 |
| 5.2.1 | Spørreskjema 1.0 | 50 |
| 5.2.2 | Spørreskjema 2.0 | 53 |
| 5.3 | Kartlegging av totalforbruk, samtidighet og normalgassmengder | 54 |
| 5.3.1 | Måleløsning | 54 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.3.2 | Plassering av gjennomstrømningsmåler | 55 |
| 5.3.3 | Gjennomstrømningsmålere og produsenter | 57 |
| 5.3.4 | Måleperiode for gjennomstrømningsmåler | 60 |
| 5.4 | Prosjektering i forhold til HTM 02-01 | 61 |
| 5.4.1 | Avvikling av N ₂ O og instrumentluft | 61 |
| 5.4.2 | Fremtidig dimensjonering | 62 |
| 6 | Konklusjon | 63 |
| 7 | Videre arbeid | 64 |
| | Referanseliste | 65 |
| | Vedlegg | 69 |

Ordliste

| | |
|------------------|---|
| Bruksmønster | Tidspunkt og periode på sengeplassene og gassene i bruk på sengetunet. |
| Normalgassmengde | Mengden gass en sengeplass på sykehuset vanligvis bruker. |
| Samtidighet | Samtidighet for gass vil bli ekvivalent til samtidighet for vann. For en avdeling tilsvarer dette symbolet Q i HTM 02-01, altså gassmengdene en avdeling bruker samtidig. |
| Totalforbruk | Totale forbruket av gass over en gitt periode. |

1 Innledning

Health Technical Memorandum 02-01: Medical gas pipeline systems (HTM 02-01) er en britisk standard fra 2006 som tar for seg dimensjonering av medisinske gassanlegg. COWI er et konsulentfirma som prosjekterer medisinske gassanlegg. I sammenheng med dette er COWI interessert i å finne ut om HTM 02-01 er en god standard å følge for norske sykehus, da det ikke finnes en norsk standard for dette. COWIs kjernespørsmål er hvilket forbruk de forskjellige sykehusavdelingene har av alle typer gass, hvilken samtidighet skal beregnes og hvordan, om anbefalt beregningsmetodikk i HTM 02-01 er tilpasset norske sykehus, når forbrukstopp i anleggene inntreffer, samt et ønske om kartlegging av forbruk for evakuering av anestesi- og diatermigasser, og hvordan samtidigheten på disse beregnes.

Oppgaven skulle i utgangspunktet besvare disse spørsmålene. Planen var å innhente forbruk av de ulike gassene på avdelingene som blir beskrevet i HTM 02-01, noe som viste seg å ikke la seg gjøre da forbruket ikke blir loggført. Det var heller ikke mulig å monitorere forbruket med de ressursene som var tilgjengelig. Det å la de ansatte som bruker gassene svare på forbruket var heller ikke en nøyaktig nok metode å kartlegge forbruket på. Oppgaven måtte derfor få en ny tilnærming for å kunne besvare spørsmålene. Det ble besluttet å lage en metode med bruk av en teknisk løsning som skulle være gjennomførbar, men ikke gjennomføres av studentene. Ved å gjennomføre metoden vil en få et godt grunnlag til å si om HTM 02-01 er en god standard å følge for dimensjonering av fremtidige norske sykehus.

1.1 Motivasjon

En oppgave om medisinske gassanlegg er gjerne en oppgave som ikke er mest typisk innen VVS-faget. Det er nettopp dette som fanget interessen til studentene, da det kan bidra til større bredde i utdanningen og faget. I tillegg er det spennende å se hva, og i hvilke felt, en VVS-ingeniør kan bidra.

1.2 Problemstilling

Se på om britiske HTM 02-01 er en god standard for prosjektering av norske sykehus. Undersøke om antagelser som er tatt i HTM 02-01 stemmer med norske sykehus. Det blir sett nærmere på beregning av bruksmønster, samtidighet og normalgassmengder.

2 Teori

Dette kapittelet tar sikte på å presentere relevant teori som er nødvendig for å besvare oppgavens problemstilling, og samtidig gi en grundigere forståelse av medisinske gassanlegg. Først vil det bli gitt en definisjon og beskrivelse av hva som menes med medisinske gassanlegg, samt en beskrivelse av gassanlegget ved St.Olavs hospital. Deretter vil relevante apparater for oppgaven bli gjennomgått. Videre blir det skrevet litt om HTM 02-01, dimensjonering av rørsystemer, og hvilke faktorer som blir tatt i betraktning. Til slutt blir det gjennomgått basis teori om sensorer.

2.1 Medisinsk gassanlegg

Et medisinsk gassanlegg er et anlegg for produksjon, lagring og distribusjon av medisinske gasser til sykehus og andre helseinstitusjoner. Medisinske gasser kan være blant annet O₂, N₂O, CO₂ og luft. De brukes til å utføre medisinske prosedyrer og behandlinger, i tillegg til generell bruk på spesialrom. Spesialrom inkluderer blant annet operasjonsstue, sterilsentral, sykehusapotek, nukleærmedisin, bildediagnostikk, PET, luftsmitteisolat, laboratorier og mer [35].

2.1.1 Spesielt for medisinske gassanlegg

Det som skiller et medisinsk gassanlegg fra et tradisjonelt VVS-anlegg er blant annet kravene til forsyningssikkerhet. Forsyningssikkerhet i et medisinsk gassanlegg er helt avgjørende da mangel på O₂ kan medføre skader på pasienter eller potensielt tap av liv [23].

Et vanlig trykkluftanlegg kan ha tåkesmører. Da inneholder luften litt olje for å vedlikeholde verktøyene som brukes. På et medisinsk trykkluftanlegg er ikke dette tilfellet. Renslighet er en vesentlig faktor på medisinske gassanlegg; verktøyene på sykehuset må være helt sterile.

All medisinsk gass følger en streng standard til renhet i Den europeiske farmakopé (Ph. Eur.). Alle institusjoner som driver med medikamenter har krav om å følge Ph. Eur. Det stilles også spesielle krav til montører av slike anlegg. For å lodde medisinske gassrør (kobber) trengs loddsertifikat i henhold til NS-EN ISO 13585. For spesialgassrør (syrefast 316L) som skal orbitalsveises (rør og rørkomponenter maskinsveises automatisk), er det NS-EN ISO 14732 som gjelder [COWI, personlig kommunikasjon, 26.04.23].

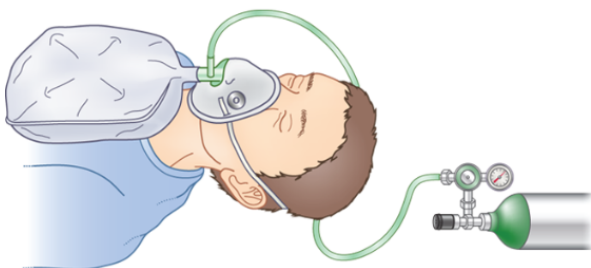
Videre lister HTM 02-01 i kapittel 2.2 opp fire sikkerhetsprinsipper ved dimensjonering av et medisinsk gassanlegg:

1. **Mengde av forsyning:** Sikre at forsyningsanlegget og rørinstallasjonen er designet og konfigurert for å levere tilstrekkelige strømmer av gasser og vakuum for å møte behovene til det tiltenkte antallet pasienter til enhver tid.
2. **Identitet av forsyning:** Sikre at alle punkter som helsepersonell kan koble medisinsk utstyr til, terminalenheter og brukerutskiftbare komponenter, er utstyrt med gass-spesifikke tilkoblinger. Slike tilkoblinger er også identifisert med symbol og ofte farge.
3. **Kontinuitet av forsyning:** Ha tilstrekkelig redundans og gi ytterligere midler for forsyningsprovisjon i tilfelle feil på primær- og sekundæranlegg eller forsyningsystem. Systemer er også tilkoblet den essensielle elektriske forsyningen.
4. **Kvalitet av forsyning:** Sikre kvaliteten av forsyningen ved å bruke gass- eller flytekilder som er gitt til en passende produktspesifikasjon, vanligvis et anerkjent Ph. Eur. monogram. I tilfeller av kompressorbaserte systemer, er filtreringsutstyr til en kjent og avtalt standard installert. For å sikre at produktet ikke er forurenset i distribusjonssystemet, kreves det at rørinstallasjoner og komponenter oppfyller avtalte spesifikasjoner. Det er strenge krav til medisinske gasser i Ph. Eur.

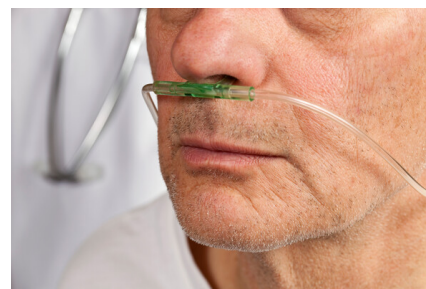
2.1.2 Medisinske gasser

Oksygen (O₂)

Gassen blir brukt i oksygenbehandling slik at oksygenkonsentrasjonen ved innånding blir høyere enn atmosfæreluft som vanligvis er sammensatt av cirka 78 % N₂, 21 % O₂ og 1 % Ar [1]. O₂ tilføres ofte med ansiktsmaske eller nesekateter, vist i figur 1 og 2.



Figur 1: Maske med oksygenreservoar [15].



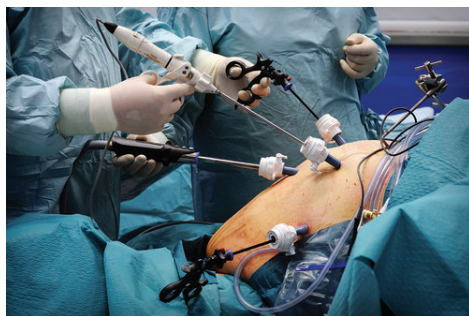
Figur 2: Nesekateter [32].

Lystgass (N₂O)

N₂O, også kjent som lystgass, er en av flere typer i nitrogenoksidfamilien. N₂O brukes som smertestillende og kortvarige narkoser. Eksempelvis ved fødsler og tannoperasjoner [28].

Karbondioksid (CO₂)

CO₂ blir brukt som en insufflasjonsgass, som betyr innblåsing av gass eller luft, og brukes ved for eksempel kikkhullskirurgi [26]. Dette gir et minimalt inngrep på kroppen i motsetning til åpen kirurgi [18]. Gassen brukes til å blåse opp og stabilisere operasjonsområdet for bedre sikt og tilgang.



Figur 3: Kikkhullskirurgi [25]

Trykkluft

Trykkluft er en vesentlig del av et medisinsk sentralgassanlegg. Den utgjør tre av gassene i systemet der det differensieres mellom instrumentluft, medisinsk luft og teknisk luft. Luften er i praksis den samme i de tre rørene, men den har forskjellige bruksområder. Grunnen til denne separasjonen er forskjellen på trykket som gis og volumstrømmen som trengs til den ulike bruken. I følge HTM 02-01 skal medisinsk luft ha et trykk på 400 kPa og instrumentluft $600 - 700 \text{ kPa}$. Trykket for teknisk trykkluft er ikke spesifisert i HTM 02-01.

Medisinsk luft brukes primært til respiratorer og til pasienter som ligger i narkose. Bruken av medisinsk luft, spesielt for respirasjon og bruk under anestesi, har økt merkbart i årene frem til 2006 i følge HTM 02-01.

Instrumentluft brukes til å drive de forskjellige instrumentene som brukes i operasjonsstuer. Disse instrumentene stiller høye krav til forsyningssikkerhet da de er designet for trykk mellom 600 og 700 kPa , med en volumstrøm mellom 200 og 350 l/min . Tabell 1 viser en oversikt over forbruk av luft på de ulike instrumentene, tallene er hentet fra HTM 02-01 [12].

| Type instrument | Trykk (kPa) | Volumstrøm (l/min) |
|-----------------|-------------|--------------------|
| Liten luftdrill | 600-700 | 200 |
| Beinsag | 600-700 | 300 |
| Universal drill | 600-700 | 300 |
| Kraniedrill | 620-750 | 300 |

Tabell 1: Utstyr som bruker luft

Teknisk trykkluft brukes til alt annet på sykehuset som instrumentluft og medisinsk luft ikke gjør. Dette kan være steriliseringsskap, tørkeskap, rengjøring, vasking av slanger osv.

Vakuum

Vakuum brukes til å suge opp væsker, luft og annet materiale fra kroppen under medisinske inngrep og behandlinger [30].

Diatermiavtrekk

Diatermiavtrekk sikrer helsen til helsepersonellet som utfører operasjoner. Det oppstår kirurgisk røyk ved inngrep med utstyr som genererer varme. For eksempel skjærer en elektrisk skapell i huden og brenner celler. Dette skaper en dampaktig røyk, og blir kalt kirurgisk røyk [37].

Anestesigassavtrekk

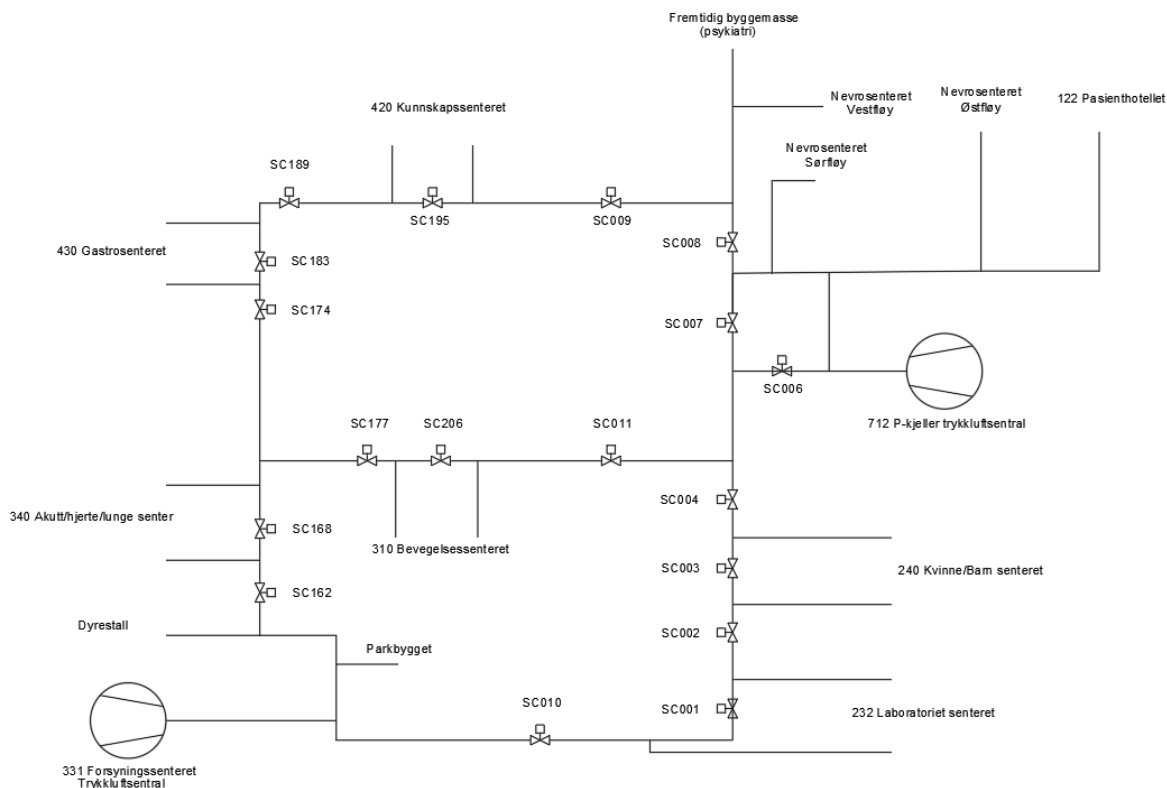
Anestesigassavtrekk er en av de viktigste komponentene for å sikre helsen til helsepersonell under narkose og bedøving av pasienter. Avtrekket fjerner overflødige anestesigasser som ikke blir absorbert av pasientene. Anestesigassavtrekket er en del av det sentrale gassanlegget [4].

2.2 St.Olavs hospital

2.2.1 Gassanlegget på St.Olavs

Gassanlegget på St.Olavs er dimensjonert etter erfaringstall fra Linde, tidligere AGA, og en dansk håndbok fra 1971 av Birch & Krogboe A/S [COWI, personlig kommunikasjon, 04.05.23]

På St.Olavs er det flere tekniske rom. Det er blant annet to tekniske rom med to kompressorer per rom til produksjon av trykkluft. Med tanke på forsyningssikkerhet er disse rommene plassert strategisk i anlegget der kun ett er i bruk om gangen. Systemet er et såkalt ringsystem, som vil si at distribusjonen av gassene kan komme fra flere sider. Dette kan sees i figur 4 som er systemskjemaet til medisinsk trykkluft på St.Olavs.



Figur 4: Systemskjema Medisinsk luft, vedlegg 9

Det er stengeventiler både før og etter hver avgrensning. Dette er for at anlegget skal kunne stenges av ved eventuelle lekkasjer eller annet vedlikehold. Figuren viser rørene for trykkluft, men skjemaet er prinsipielt det samme for O₂, med små variasjoner. Det er trykkluft og O₂ som er en del av sentralanlegget. N₂O og CO₂ har lokale tømmeentraler for bygg og avdelinger.

I følge ISO 7396 fra 2016 kan produksjon av medisinsk- og instrumentluft skje på like kompressorer, mens teknisk trykkluft må produseres på egen. Dette er ikke tilfellet på St.Olavs. Der kommer disse tre gassene fra samme kompressor og splittes før brukerstedet. Dette blir gjort av en trykkstabilisator i et teknisk rom, vist i figur 5. Den blå linjen viser trykkluften som kommer fra kompressorene. Videre deles luften i tre ulike system, medisinsk luft (hvit linje), instrumentluft (gul linje), og teknisk trykkluft (fortsetter som blå linje).



Figur 5: Trykkstabilisator for medisinsk-, instrument- og teknisk trykkluft

2.2.2 Inndeling av St.Olavs

Ved St.Olavs er det flere ulike sentre som kan sees på avgrensningene i figur 4 som vist tidligere. Disse utgjør 86 ulike avdelinger fordelt på 18 klinikker. En avdeling kan bestå av flere sengetun, der et sengetun består av cirka seks til tolv sengeplasser. Alle rom på St.Olavs er enkeltrom. Et standard pasientrom har O₂ og medisinsk luft tilgjengelig, mens en operasjonssstue har uttak for O₂, CO₂, N₂O, medisinsk- og instrumentluft, vakuump, diatermiavtrekk og anestesiavtrekk.

Det er avdelingene som deler på regningen for de ulike gassene. Dette inngår i leieprisen på arealet [Vegard Kleiven, personlig kommunikasjon, 05.05.23]. Til sammenligning med HTM 02-01 vil “department” tilsvare avdeling, og “ward” tilsvare sengetun. For å unngå forvirring er det viktig å avklare hvilke begreper som brukes om hva. Dette er noe også HTM 02-01 spesifiserer i kapittel 2.21 [12].

2.2.3 Apparater på sykehus

Det er mange ulike apparater på sykehus som bruker gass. Her trekkes det frem tre vanlige.

Respirator

Respirator er en maskin som hjelper pasienter å puste ved bruk av medisinsk luft og O₂. Den vanligste typen respiratorer er overtrykksrespiratorer som sender luft inn i luftveiene og ned i lungene. Respiratoren kan operere på to måter, enten ved fastsatt frekvens (kontrollert ventilasjon), eller assistere pasienten når de prøver å puste selv (assistert ventilasjon). Som oftest er det en kombinasjon av disse to metodene som brukes når



Figur 6: Respirator [14]

pasienten kan puste selv. Maskinen gir ekstra innblåsing hvis pasienten puster for sakte [17]. Respiratorer er ansett som en av de mest kritiske medisinske apparatene. Dersom feil eller avbrudd i tilførsel av medisinsk luft og O₂ oppstår, vil liv kunne gå tapt [12].

Anestesiapparater

Anestesiapparat er et apparat som blander forskjellige gasser. Dette er brukt i generell anestesi (narkose) slik at pasienten får den riktige sammensetningen av innåndingsgass. Medisinsk luft, O₂, N₂O og anestesiavtrekk er koblet til maskinen [27].



Figur 7: Anestesiapparat [22]

Hjerte-lunge maskin

Hjerte-lunge maskin er en maskin som brukes under operasjon der hjertet ikke er i stand til å pumpe blod rundt i kroppen. Den tar over hjertets pumpearbeid og lungenes pustefunksjon. Den gjør dette ved å sende oksygenfattig blod inn i en oksygenator som skiller ut CO₂ og tilfører blodet O₂ før det føres tilbake til pasienten [34]. Medisinsk luft, O₂ og CO₂ er koblet til maskinen.



Figur 8: Hjerte-lunge maskin [16]

2.3 Standarder

2.3.1 Health Technical Memorandum 02-01: Medical gas pipeline systems

Health Technical Memorandum 02-01: Medical gas pipeline systems (HTM 02-01) er en britisk standard som gir omfattende råd og veiledning for design, installasjon og drift av spesialiserte bygninger og bruk av teknologi i helsetjenester. COWI bruker i dag HTM 02-01 og ISO 7396 som grunnlag for deres rådgiving, og da spesielt fokus på formlene for samtidighet av medisinske gasser i kapittel 4 av HTM 02-01.

Ligning 1 er en typisk formel fra HTM 02-01. Denne formelen brukes til å beregne samtidigheten av O₂ til en avdeling.

$$Q_W = 10 + [(n - 1)6 \cdot 1/4] \quad (1)$$

Q_W [l/min] = samtidighet for et sengetun

10 [l/min] = beregnet normalgassmengde til første sengeplass

n [-] = antall sengeplasser på tunet

6 [l/min] = beregnet normalgassmengde til de resterende sengeplassene

1/4 [-] = andel sengeplasser som bruker gass samtidig

Første ledd i formelen, 10, refererer til antall liter per minutt hvert gassuttak skal kunne levere, og hva første seng antas å bruke. Neste ledd i formelen, $(n - 1)6 \cdot 1/4$, beregner den totale gassmengden som kreves for de resterende sengeplassene på sengetunet. Der n refererer til antall sengeplasser på sengetunet, og 6 refererer til antatt normalgassmengde i l/min per sengeplass. Siste faktor, 1/4, indikerer hvor stor andel av sengeplassene på sengetunet som bruker gass samtidig.

Eksempel på utregning av samtidighet ved bruk av ligning 1 på et sengetun med 10 sengeplasser:

$$Q_W = 10 + [(10 - 1)6/4] = 23,5 \text{ l/min}$$

Ved bruk av HTM 02-01 blir samtidigheten for O₂ på et sengetun med 10 sengeplasser beregnet til å være $23,5 \text{ l/min}$. Her er det gjort antagelser på samtidigheten i bruksmønster og normalgassmengde, og dette vil bli sett videre på i oppgaven.

Den Europeiske Farmakopé

HTM 02-01 refererer ofte til Den Europeiske Farmakopé (Ph. Eur.) som er en offisiell farmakope med standarder for kvalitet, og sikkerhet for medisiner og gasser som brukes i Europa. Farmakopen er utviklet av Det europeiske direktoratet for kvalitet av medisiner og helsevesen [10].

2.4 Dimensjonering av rør

For å dimensjonere rør i et gassanlegg må det tas hensyn til flere faktorer. Det første steget er å innhente en detaljert beskrivelse av anlegget, inkludert antall sengeplasser og ønskede gassuttak i hvert rom. Denne informasjonen er vanligvis inkludert i et "Romfunksjonsprogram" (RFP). Den gir de ulike disiplinene (ARK, RiV, RiE, RiB) informasjonen de trenger for å prosjektere de ulike rommene. Antall rom med mulighet for gassuttak er det sykehuset selv som bestemmer [COWI, personlig kommunikasjon, 01.03.23].



Figur 9: Illustrasjon av sykehus med gassanlegg [19]

Videre må alle sengeplassene summeres opp, og man kan benytte HTM 02-01 til å beregne samtidigheten som vist tidligere med ligning 1. HTM 02-01 angir også de nødvendige gass-trykkene og trykktap, og denne informasjonen kan også være oppgitt i funksjonsbeskrivelsen av anlegget. Ved hjelp av samtidighet, trykk og trykktap kan man bruke ulike programmer til å beregne rørdimensjonene. For eksempel benytter COWI programmet FluidFlow, som gir hastighet og dimensjoner i rørene basert på inndataene for samtidighet, trykk og trykktap. De legger også på 15 – 20 % sikkerhetsfaktor.

2.5 Sensorer

Sensorer og målere har noen essensielle begreper som må spesifiseres. En sensor kan ha høy presisjon og lav nøyaktighet, eller lav presisjon og høy nøyaktighet, figur 10.



Figur 10: Illustrasjon av begreper [36]

2.5.1 Begreper

Presisjon er sensorens evne til å måle det samme hver gang. Nøyaktighet er sensorens evne til å måle riktig. For massestrømsmålere blir nøyaktigheten spesifisert på to måter, enten en prosent av full skala (FS) eller prosent av avlesning (RD). Ut ifra spesifikasjonene på en måler kan man få oppgitt verdier for nøyaktighet slik $\pm (1,5 + 0,5FS) \%$. Her referer 1,5 til RD og 0,5 til FS . Har man et måleområde fra 0 – 100 l/min, og man måler 70 l/min, vil nøyaktigheten være $(70 \text{ l/min} \cdot 1,5 \% + 100 \text{ l/min} \cdot 0,5 \%) = \pm 1,55 \text{ l/min}$ [20].

Måleområdet er det området en sensor skal kunne måle i, for eksempel $0 - 200 \text{ l/min}$. Oppløsning er den minste verdien en sensor kan endre seg med. I praksis vil det si med hvor mange desimaler en sensor klarer å oppgi en verdi i [33]. Turndownratio er det området en sensor klarer å vise med høy nøyaktighet. Raten beskrives slik; $1 : 100$. Om en sensor klarer å måle fra $0 - 200 \text{ l/min}$ vil den med en "turndown ratio" på $1 : 100$ kunne måle nøyaktig fra 2 l/min . Under 2 l/min vil nøyaktigheten minke [21].

2.5.2 Målemetoder

Differansetrykkmåler måler ved hjelp av Bernoulli-prinsippet differansetrykket over en geometrisk endring, for så å regne ut gjennomstrømmende volum. Dette prinsippet sier at hvis gassstrømmen er laminær og kontinuerlig, vil trykket og hastigheten være omvendt proporsjonale [6].

Ultralydmåling er basert på transittid, det vil si at den sammenligner tiden lydbølger bruker på å passere fluidet med en 45° vinkel medstrøms og/eller motstrøms. Trykk, temperatur, massetetthet og viskositet påvirker ikke målingen [11]. Ultralydmåling er særlig nyttig i applikasjoner hvor strømmingen av væske eller gass ikke kan avbrytes, eller der det er viktig å unngå inngrep i rørsystemet [8].

Termisk massemåling er en vanlig teknikk for å måle mengden av gass som strømmer gjennom et rør eller en kanal. Prinsippet om termisk massestrømmmåling er basert på måling av endringer i temperaturen til en oppvarmet sensor, samtidig som gass strømmer over den. Når gassen strømmer over sensoren overfører den varmeenergi fra sensoren til gassen, og dette fører til en endring i temperaturen til sensoren. Endringen i temperaturen er proporsjonal med strømningshastigheten til gassen. Termisk massemåling er en nøyaktig og pålitelig måte å måle gassstrøm på, og det kan brukes i en rekke applikasjoner. Eksempelvis i industrielle prosesser og i medisinske apparater som respiratorer og anesthesiapparater. Måleområdet for termisk massemåling er stort, og målingene kan gjøres for både lave og høye strømningshastigheter [7].

3 Metode

Store deler av oppstarten til oppgaven ble brukt til å lese litteratur om medisinske gassanlegg. For å forstå teorien bak medisinske gassanlegg ble HTM 02-01 studert nøye. Som nevnt i teori 2.3.1, er kapittel 4 i HTM 02-01 mest relevant for problemstillingen. Kapittel 3 omhandler plassering av stengeventiler, og gir dermed god veiledning til plassering av sensorer.

På St.Olavs er det fire personer som har bidratt mye med informasjon- og datainnsamling. Morten Uv, seksjonsleder for allmenn teknikk, har gitt en grundig omvisning i tekniske rom og kulvert. Vegard Kleiven, seksjonsleder for teknisk infrastruktur, har sendt datasett om produksjon og forbruk av trykkluft, og datasett for totalt O₂-, CO₂-, og N₂O-innkjøp, samt regnskapstall for gassinnkjøp. Seksjonsleder for operasjon og perfusjon, har holdt omvisning på en operasjonsstue på klinikken for thoraxkirurgi. Avdelingssjef ved nyfødt intensiv, er den eneste av seksjonslederne som svarte på spørreskjema 1.0. De navngitte seksjonslederne vil bli omtalt videre i teksten ved bruk av etternavn. De andre seksjonsledere vil bli omtalt med deres tittel.

3.1 Informasjonsinnhenting

3.1.1 Datasett

For å starte oppgaven var det nødvendig å etablere kontakt med den tekniske avdelingen på St.Olavs. Formålet var å få oversikt over tilgjengelig informasjon og lære om medisinske gassanlegg. Den 26. januar ble det tatt kontakt med Uv etter anbefaling fra COWI. Raskt ble det også etablert kontakt med Kleiven og seksjonsleder for medisinsk teknisk avdeling.

Opprinnelig ble informasjonsinnhenting basert på at det allerede eksisterte loggførte data på forbruket av de ulike gassene. Kleiven sendte et datasett for produksjon og forbruk av trykkluft for sykehuset den 6. februar. Et utdrag fra regnskapstallene for kjøp av medisinsk gass for hele sykehuset ble tilsendt 27. februar. Senere sendte også Kleiven datasett for totalt O₂-, CO₂-, og lystgassinnkjøp for sykehuset fra 2005 til 2022, samt regnskapstall for gassinnkjøp fra 2006 til 2022, dette ble mottatt 14. april.

Via kommunikasjon på e-post med seksjonsleder for medisinsk teknisk avdeling ble det informert at flere gassforbrukende apparater hadde volumstrømsmålere montert. Det ble sagt at disse muligens har en tilbakelogg på omtrent 72 timer. Med denne informasjonen skulle det teoretisk sett gjøre det mulig å loggføre forbruket.

3.1.2 Ekskursjon 1 (14.03.23)

Via kommunikasjon på e-post, ble det avtalt et møte med Uv for å se på det medisinske gassanlegget. Hensikten med besøket var å oppnå en bedre forståelse av hvordan et gassanlegg er oppbygd. Studentene fikk en omfattende omvisning, og ble vist store deler av rørsystemet og flere tekniske rom. Inkludert kompressorene som produserer trykkluft, teknisk rom til trykkstabilisatorer, anlegget for diatermiavtrekk, samt et standard pasientrom. Figur 11 viser et av vakuumanleggene, og figur 12 viser ventilasjonsanlegget over en operasjonssstue på bevegelsessenteret. Under besøket var det også et mål å undersøke muligheten for manuell logging av gassene på sykehuset.



Figur 11:
Vakuumanlegg



Figur 12:
Ventilasjonsanlegg over operasjonssal

3.1.3 Spørreskjema 1.0

Det skulle vise seg å bli vanskelig å få tak i datasett over totalforbruk, samtidighet, normalgassmengde og bruksmønster for ulike avdelinger. Bakgrunnen til dette kommer frem i diskusjon og refleksjon 5.2.1. Etter møter med intern og ekstern veileder ble det diskutert om spørreskjema kunne være en tilnærming til informasjonsinnhenting.

Et spørreskjema ble utviklet, vedlegg 10, for å samle informasjon fra de ansatte. Formålet med spørreskjema 1.0 var å innhente data om hvilke gasser som ble brukt, samt normalgassmengdene. I tillegg ble det stilt spørsmål om antall sengeplasser, og bruksmønsteret knyttet til disse. Spørreskjema 1.0 gjennomgikk flere iterasjoner, og ble kortet ned til et fåtall konkrete spørsmål.

3.1.4 Ekskursjon 2 (27.03.23)

Den andre ekskursjonen til St.Olavs var et kortere besøk hvor spørreskjema 1.0 skulle bli delt ut til forskjellige avdelinger for besvarelse. Fremgangsmåte ble diskutert med Uv, og det ble bestemt at det var mest hensiktsmessig å sende ut e-post til seksjonslederne på avdelingene i forkant. En kontaktlogg med e-postadresser til 39 seksjonsledere på ulike avdelinger kom fra Uv. Spørreskjema 1.0 ble sendt ut til disse.

3.2 Ny vending

Etter å ha mottatt tilbakemeldinger fra seksjonslederne, ble det tydelig at det kreves en annen tilnærming for å samle nødvendig datagrunnlag til å besvare problemstillingen. Det ble konkludert med at en kombinasjon av spørreskjema og en teknisk løsning med gjennomstrømningsmålere vil være nødvendig for å besvare problemstillingen.

3.2.1 Ekskursjon 3 (13.04.23)

En ny ekskursjon til St.Olavs ble avtalt, denne gangen med seksjonslederen for operasjon og perfusjon. Han ga en grundig omvisning på en operasjonsstue på klinikken for thoraxkirurgi. Hensikten med besøket var å kartlegge mulighetene for plassering av gjennomstrømningsmålere i en operasjonsstue. Studentene fikk innsikt i hvordan en operasjonsstue bruker gass, og hvilke apparater og maskiner som brukes.

Avdelingen har tre operasjonsstuer hvor alle er likt utstyrt som vist i figur 13. Operasjonsstuene har totalt 4 til 5 pasienter hver dag fra mandag til torsdag. Fredag til søndag er de ansatte tilgjengelig for mottak på akuten. Da står operasjonsstuene klare til disposisjon for akutte pasienter.



Figur 13:
Operasjonsstue, thoraxkirurgi

3.2.2 Kartlegging av bruksmønster

For å kartlegge bruksmønsteret er det avgjørende å etablere kontakt med sykehusets ledelse. Det er viktig å tydeliggjøre for ledelsen hvilken nytteverdi prosjektet vil ha for sykehuset, slik at det kan opprettes et godt samarbeid. Slik kan ledelsen skape en intern motivasjon hos de ansatte. Dette er en avgjørende faktor for prosjektets gjennomførbarhet.

Tanken er at spørreskjema 2.0 skal henge utenfor døren til pasientrommet, og at den ansatte som følger pasienten inn på rommet krysser av på listen. Den ansatte fyller ut dato, krysser av for om rommet er i bruk, og om det er brukt gass. Dersom det er brukt gass, skiver vedkommende inn tidsperioden samt type gass. Hensikten med spørreskjema 2.0 er å skape et datagrunnlag for å finne bruksmønsteret på avdelingen. Figur 14 viser et ikke-utfyllt skjema.

| | | | |
|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Ordforklaring: | | Type gass: | Skriv: |
| I bruk | Kryss: rommet er i bruk i dag | Oksygen | O2 |
| Gass | Kryss: rommet har brukt gass i dag | Medisinsk luft | ML |
| | | CO2 | CO2 |
| | | Lystgass | N2O |

| | |
|------------------|-----|
| Avdeling | N/A |
| Romnummer | N/A |

| Dato | I bruk | Gass | Tidspunkt | Type gass |
|-------------|---------------|-------------|------------------|------------------|
| N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |

Figur 14: Spørreskjema 2.0, vedlegg 11

Dersom spørreskjema fylles ut hver gang det brukes gass, antas det å få et godt grunnlag i løpet av en fire ukers periode. Når perioden er over skal datasettet bli analysert. Det må vurderes om grunnlaget er tilstrekkelig, eller om en lengre periode er nødvendig. Svarene fra spørreskjemaet må plottes inn i et diagram for å se på hvilken verdi på andelen av rommene som bruker gass samtidig som inntreffer offtest. Om det er denne andelen, eller en annen som brukes for dimensjonering vil være et valg som må tas basert på risikovurdering.

3.2.3 Fakturering av forbruk

I dag blir gasskostnadene til St.Olavs fakturert til avdelingene per areal de disponerer. Denne måten å fakturere kostnadene på kan føre til en skjevfordeling mellom avdelingene. Dette reiste spørsmålet om andre sykehus i landet fakturere gasskostnadene på samme vis. Det ble foretatt en ringerunde til noen av landets største sykehus for å høre hvordan de fordeler regningen.

Teknisk drift er ansvarlig for innkjøp av gass til sykehusene, og det var disse som ble kontaktet i ringerunden. Alle ble stilt det samme spørsmålet; *hvordan fakturerer dere bruk av medisinske*

gasser på sykehuset? Et biprodukt av å loggføre gassbruken, vil være å kunne se på den faktiske fordelingen av forbruket. Det økonomiske aspektet rundt dette vil være et tilleggsresultat av metoden.

3.2.4 Kravspesifikasjoner og leverandører/produsenter

For å kunne måle totalforbruk, samtidighet og normalgassmengder er det avgjørende å finne riktige gjennomstrømningsmålere til riktig bruk og størrelse for logging av data. Det er flere krav som må tilfredstilles. Deriblant renhet i henhold til Ph. Eur., oppløsning, nøyaktighet og måleområde. Målerne må være oljefri, ha en lav oppløsning på 0,1 l/min, nøyaktighet ikke dårligere enn 10 %, og fungere med et arbeidstrykk på 1 – 10 bar. Tabell 2 viser en oversikt over behov målerne må oppfylle for standard pasientrom, operasjonsstue og avdeling.

Med disse kravene ble leverandører og produsenter undersøkt og kontaktet. For å finne de aktuelle ble variasjoner av følgende søkeordene brukt; “flow meter medical gases”, “respirator and breathing detection equipment” og “oxygen flow sensor”.

| | Gass | Volumstrøm | Temperatur | Arbeidstrykk | Oppløsning |
|----------------------------|----------------|-----------------|------------|--------------|------------|
| Standard pasientrom | Medisinsk luft | 0,0-100,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |
| | CO2 | 0,0-20,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |
| | N2O | 0,0-20,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |
| | O2 | 0,0-20,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |
| Operasjonsstue | Medisinsk luft | 0,0-100,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |
| | CO2 | 0,0-50,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |
| | N2O | 0,0-50,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |
| | O2 | 0,0-50,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |
| Avdeling | Medisinsk luft | 0,0-200,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |
| | CO2 | 0,0-200,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |
| | N2O | 0,0-200,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |
| | O2 | 0,0-200,0 l/min | 20°C | 1-10 bar | 0,1 |

Tabell 2: Behovsliste gjennomstrømningsmåler

3.2.5 Plassering av gjennomstrømningsmålere

Gjennomstrømningsmålere må plasseres på strategiske plasser. Normalgassmengden vil bli funnet ved å måle enkelte rom. Dette vil gi et bilde av hvor mye hvert rom bruker. Resultatet av denne måleperioden brukes deretter videre til å kalibrere gjennomstrømningsmålerne for avdelingen. Grunnen til at det vil bli gjort i to steg på denne måten er den store usikkerheten på hvor mye en avdeling bruker. Normalgassmengden per rom, samt samtidigheten på andel rom som bruker gass samtidig, utgjør mye på den totale samtidigheten av gassbruken. Derfor er det viktig å ha et grunnlag på normalgassmengder per rom, for å kunne kalibrere målerne for avdelingen i riktig måleområde. På operasjonsstuen og pasientrommet skal normalgassmengdene loggføres. På avdelingen skal totalforbruk og samtidighet av gassbruk loggføres.

Plassering operasjonsstue

Det skal enten plasseres én måler per uttak per apparat i operasjonsstuen, eller én måler per tilførsel av gass utenfor operasjonsstuen. Ved bruk av første alternativ unngår en inngrep på rørnett. Det andre alternativet er inngrep på rørnett. Denne metoden vil bli den samme som for en avdeling. Driftsavdelingen må bli kontaktet for å planlegge midlertidig stenging av gassene inn til én operasjonsstue. Det er viktig å ta hensyn til forsyningsikkerhet uansett metode.

Plassering pasientrom

For pasientrom skal det plasseres én måler per gass i uttaket på veggen. På et standard pasientrom er det bare ett uttak per gass, for medisinsk luft og O₂. Gjennomstrømningsmåler settes rett i uttaket i veggen.

Plassering avdeling

For en avdeling skal det plasseres én måler per tilgjengelige gass. Ringsystemet på St.Olavs er laget slik at det er to tilførsler av hver gass inn til hver avdeling. Målere må plasseres på begge inngangene. For å kunne montere en gjennomstrømningsmåler inn til en avdeling vil det være nødvendig med inngrep på rørnett. Det mest hensiktsmessige vil bli å skjøte gjennomstrømningsmåleren i himling i korridor, eller i sjakt ved avgrening fra hovedstrekket.

Driftsavdelingen må bli kontaktet for å planlegge midlertidig stenging av gassene. Som nevnt i teori 2.1.1 trengs nødvendig sertifisering for å arbeide på medisinske gassanlegg.

Kort om kalibrering

For de tre forskjellige plasseringene må målerne kalibreres for at loggføringen blir nøyaktig og pålitelig. Dette blir gjort i henhold til metoden til produsentene for å sikre gode resultat. Når målerne er kalibrert, er de klar for å loggføre data over en periode.

3.2.6 Måleperiode

Etter installasjon og kalibrering starter målingene. Fordi konseptet ikke er blitt testet enda, anbefales det å kjøre et pilotprosjekt på kun én gass til å begynne med. Det er tenkt å starte med O₂ da dette er en gass alle rom har tilgang på. Målingene vil først foregå over en periode på fire uker for ett standard pasientrom med én sengeplass, og én operasjonsstue. Det vil bli tatt én måling per minutt.

Når perioden er over skal datasettet analyseres grundig. Det skal vurderes om grunnlaget er godt nok, eller om måleperioden må utvides. Dersom det konkluderes med at datasettet er bra, kan gjennomstrømningsmåleren for avdelingen kalibreres, og måleperioden til avdelingen kan starte. Dette vil også foregå over en periode på fire uker.

Når pilotprosjektet er over vil en kunne se om metoden fungerer for datainnhenting eller ikke. Dersom det har fungert for O₂, er det rimelig å anta at dette vil fungere for andre medisinske gasser også. Prosjektet kan dermed skaleres opp, og alle gasser inn til pasientrommet, operasjonsstuen og avdelingen kan logges.

Det skal lages et excel-ark hvor all data samles. Det skal struktureres slik at det kan leses ut normalgassmengde for rom, og samtidighet og totalforbruk for avdelingen. Tallene skal være gitt i l/min . Det skal være lett å analysere tallene for å gjøre sammenligninger mot HTM 02-01, og vurdere om målingene er verdige. Om dette er en suksess kan prosjektet igjen skaleres opp til å måle flere avdelinger for sammenligning mot HTM 02-01.

4 Resultater

4.1 Informasjonsinnhenting

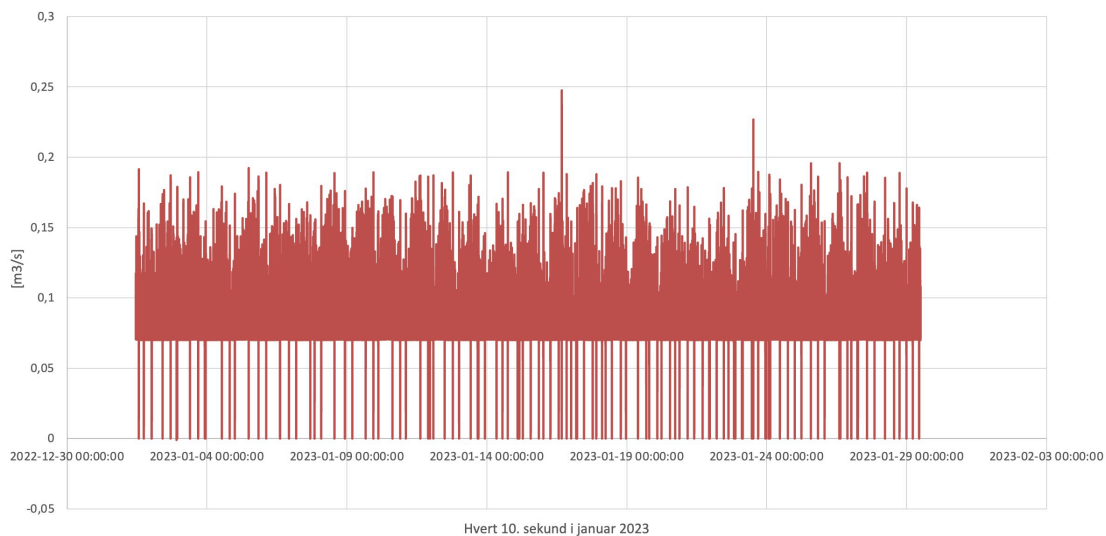
4.1.1 Datasett

Informasjonsinnhenting ble i utgangspunktet basert på at det allerede eksisterte loggførte data på forbruket av de ulike gassene. Det viste seg at denne dataen ikke eksisterer på St.Olavs. Fra teknisk avdeling ble studentene tilsendt datasett fra Linde over innkjøpte mengder av O₂, N₂O og CO₂ fra 2005 til 2022. Et datasett for produksjon og forbruk av trykkluft for sykehuset for januar måned ble også tilsendt.

Trykkluft

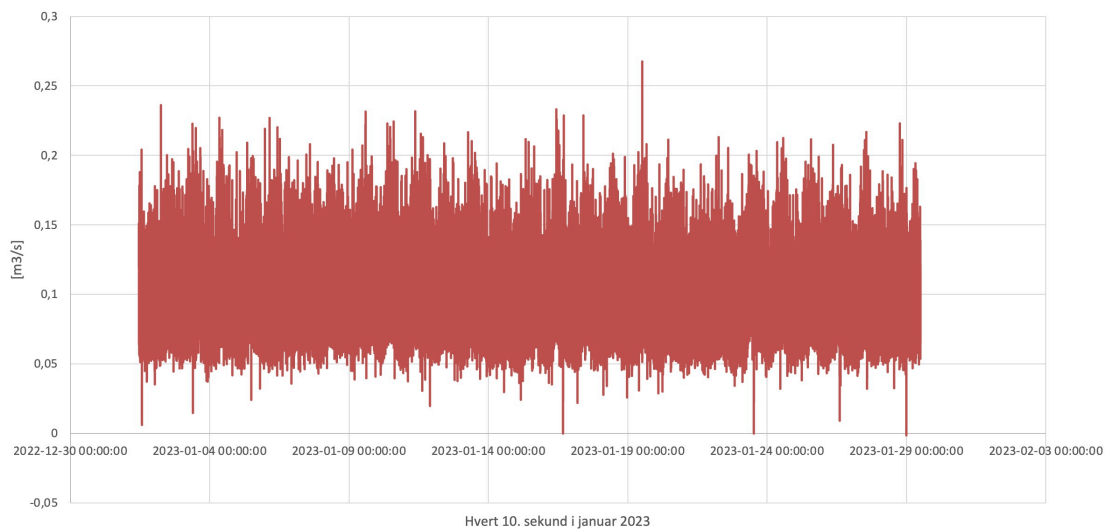
I de påfølgende figurene 15 og 16 er det presentert diagram over produksjon og forbruk av trykkluft på hele St.Olavs i januar måned 2023. Målingene er tatt hvert 10. sekund i januar, dette er representert av x-aksen. Antall m^3/s er representert av y-aksen. Gitte verdier for trykklufften er til pasienter som pusteluft, medisinskteknisk utstyr og annen teknikk. Datasettet for trykkluft er hentet direkte ut fra kompressorene.

Figur 15 viser hvordan kompressorene jobber. Den tydelige linjen over grafen ligger på konstant 4200 l/min ($0,07 \text{ m}^3/s$). Dette er det kompressorene stort sett produserer. Det ene toppunktet utmerker seg på 14820 l/min ($0,247 \text{ m}^3/s$). Linjene over er når kompressorene trenger å produsere mer for å opprettholde ønsket trykk på 10 bar . Linjene under viser når kompressorene avlastes. Tiden kompressorene avlastes varierer fra omtrent 50 s til 2 min 40 s . Det varierer fra 6 til 13 timer mellom hver gang dette skjer. Avlastning skjer når trykket i anlegget er tilfredstillende. Det varierer hvilke kompressorer som jobber mest, slik at de skal ha like mange driftstimer før service må gjennomgås.



Figur 15: Produksjon av trykkluft januar 2023, vedlegg 7

Figur 16 viser diagrammet til forbruk av trykkluft, linjene representerer mengdene som slippes ut på rørnett etter produksjon. Det slippes ut luft stort sett hele tiden. Mengdene varierer fra null til et toppunkt som utmerker seg på $16\ 080\ l/min$ ($0,268\ m^3/s$).

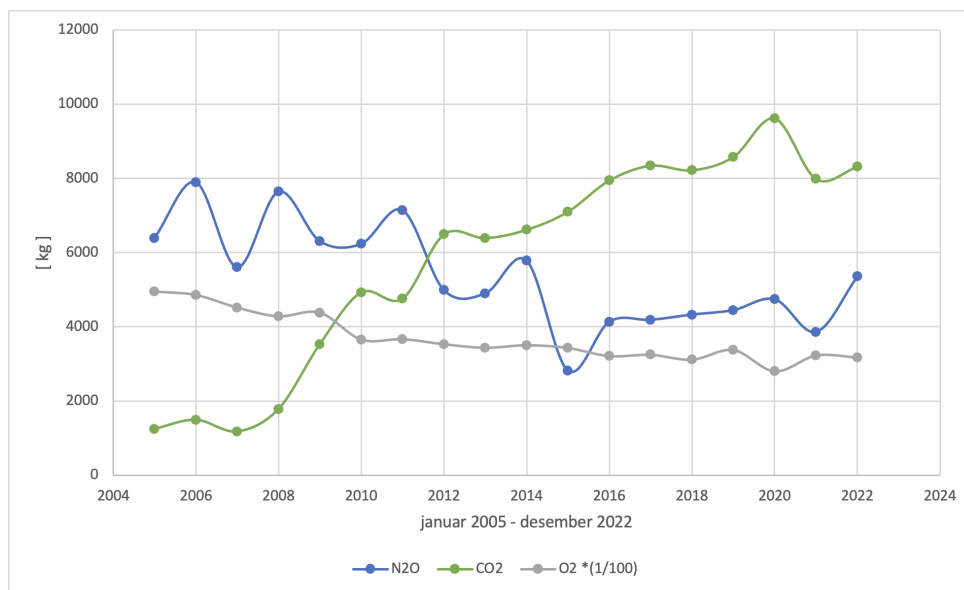


Figur 16: Forbruk av trykkluft januar 2023, vedlegg 7

Medisinske gasser

O₂ har blitt innkjøpt flere ganger hver måned, og varierer fra fem til ni kjøp. Dette innebærer både flytende O₂ til de større tankene, samt O₂ på flasker. Mengder ble oppgitt i kg og i antall flasker. De ulike literflaskene ble regnet om til kg, og alt ble sammensatt til innkjøpt kg per måned fra januar 2005 til mars 2023. April 2023 ble ekskludert.

N₂O varierer fra null til fire innkjøp per måned. Alt av N₂O er på flasker som varierer fra 10L til 50L, og som flaskepakker på 12x40L og 12x50L. Innkjøp av CO₂ varierer også fra null til fire innkjøp per måned. I datasettet varierer flaskene fra 2,5L til 40L. Tallene for N₂O og CO₂ var oppgitt i kg. For alle tre datasettene ble de ulike kjøpene i løpet av måneden samlet til én mengde for den gitte måneden. Det er laget grafer med punkter per år. I figur 17 er samlet mengde per år av N₂O, CO₂ og O₂ presentert. Tallverdien for O₂ er en hundredel av den faktiske verdien. Dette er gjort fordi innkjøpet av O₂ er såpass mye større enn N₂O og CO₂. Det er også mer hensiktsmessig å presentere utviklingen samlet i én figur. Punktene i figur 17 viser totalinnkjøp for året fra 2005 til og med 2022. Mengdene er oppgitt i kg.



Figur 17: Mengder innkjøpt per år 2005-2022, vedlegg 8

De største og minste innkjøpene for året er spesifisert i tabell 3. De største kjøpene av N₂O og O₂ skjedde i henholdsvis 2006 og 2005. Største innkjøp av CO₂ skjedde i 2020. De minste kjøpene av N₂O og O₂ skjedde i henholdsvis 2015 og 2020. Minste kjøp av CO₂ var i 2007.

| | Størst [kg] | År | Minst [kg] | År |
|-----------------------|-------------|------|------------|------|
| N₂O | 7 898 | 2006 | 2 813 | 2015 |
| CO₂ | 9 619 | 2020 | 1 176 | 2007 |
| O₂ | 494 612 | 2005 | 280 399 | 2020 |

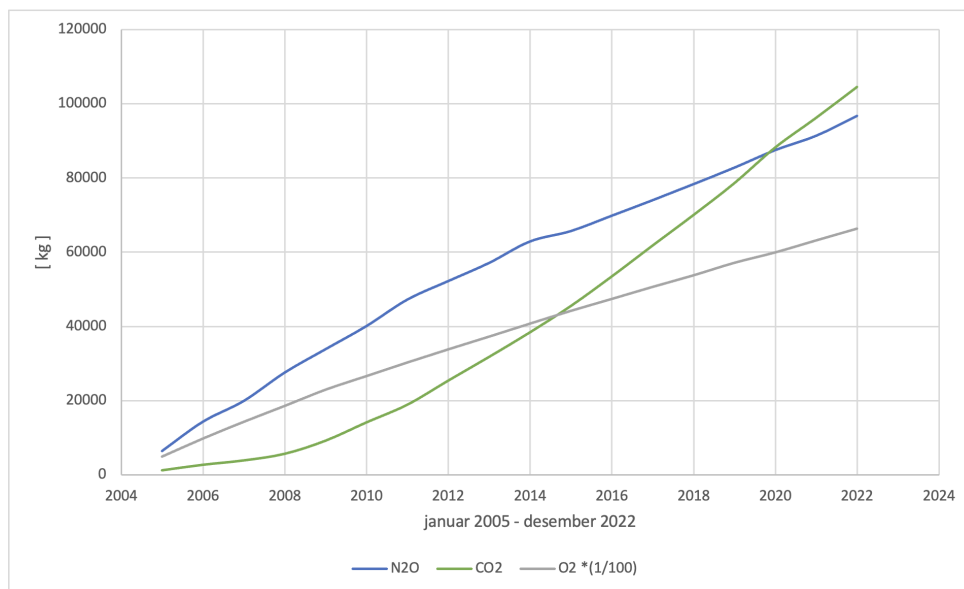
Tabell 3: Største og minste innkjøp 2005-2022

I figur 18 er gassene N₂O, CO₂ og O₂ akkumulert for hvert år. Stigningstallet til en graf for akkumulerte mengder forteller noe om utviklingen av innkjøpt mengde. Dersom stigningstallet er helt likt fra 2005 til 2022, vil dette fortelle at det er kjøpt like store mengder hvert år. Altså ingen endring i kjøpsmønster.

For N₂O ser en at stigningstallet er ganske jevnt fra 2005 til 2011. Stigningen blir lavere frem til et knekkpunkt omtrent i 2014. Fra 2015 til 2022 blir stigningstallet lavere igjen, og innkjøpet synes å være jevnere.

For CO₂ ser grafen annerledes ut. Det er økende stigning som tyder på at det gjøres større og større innkjøp av gassen. Første knekkpunkt på grafen er i 2008. Fra 2008 til 2015 økes innkjøpene hvert år. Fra 2015 til 2019 ser det ut som innkjøpet er jevnet ut, men grafen får et nytt hopp fra 2019 til 2020. Fra 2020 til 2022 er stigningstallet konstant igjen.

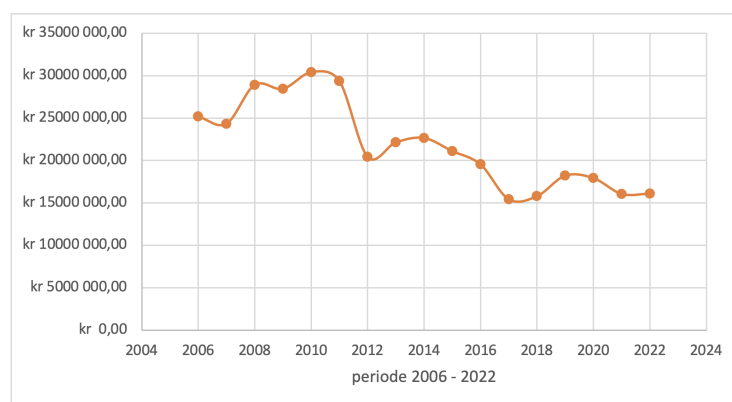
Grafen for O₂ er jevnere, men går totalt sett nedover. Den har mindre tydelige knekkpunkter enn de andre gassene, men den første tydelige er i 2010. Fra 2010 til 2014 er innkjøpene jevnere igjen. Fra 2014 til 2022 er grafens stigningstall lavere.



Figur 18: Akkumulerte mengder innkjøpt per år 2005-2022, vedlegg 8

Regnskap 2006-2022

I tillegg til datasettene over gassene, ble det tilsendt et regnskapsutdrag fra 2006 til 2022. Regnskapstallene består av utgiftene ved kjøp av medisinske gasser ved hele St.Olavs. Her er det inkludert flere gasser enn de som er omtalt. Av tallene fra datasettet er det i 2010 gasskostnadene var størst. Dette året betalte sykehuset 30 404 000 *kr*. I 2022 betalte sykehuset 16 096 495,78 *kr*. De to siste årene er lavere enn de foregående grunnet et nytt system med rammeinnkjøpsordre. Et tillegg til prisen er ikke lagt til for 2021 og 2022, men den er omtrent lik som 2019 og 2020. Tallene er presentert i figur 19.

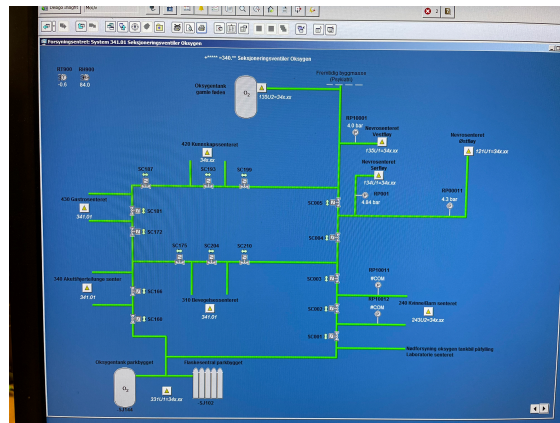


Figur 19: Sammenlagt årlige gasskostnader, vedlegg 8

4.1.2 Resultat av ekskursjon 1 (14.03.23)

Ekskursjon 1 (14.03.23) bidro til en bedre forståelse av hvordan et medisinsk gassanlegg er bygd opp, samt en forståelse for ringsystemet på St.Olavs. Figur 20 illustrerer hvordan SD-anlegget og ringsystemet for O₂ ser ut.

Videre under ekskursjonen ble studentene vist hvordan et sengetun og et standard pasientrom ser ut. Det ble tydelig at manuell logging ikke var praktisk gjennomførbart, og det ble nødvendig å utforske alternative metoder for å samle inn data. Det ble identifisert mulige steder for installasjon av gjennomstrømningsmålere i bygninger, avdelinger, pasientrom og operasjonsstuer.



Figur 20: SD-anlegg av ringsystemet (O₂)

Det kom også frem at N₂O ikke lenger var i bruk på fødeavdelingen på grunn av helserisikoen den utgjorde for de ansatte. Som følge av dette var det ikke lenger behov for eget avtrekk for N₂O. Én Medicvent 190001 Central fan system Single 360-enhet, figur 21, som tidligere hadde blitt brukt på fødeavdelingen ble flyttet til bevegelsessenteret til bruk av diatermiavtrekk på operasjonsstuen. Etter søk på dette produktet ble det avdekket at denne enheten ikke møtte kravene i ISO 16571:2014 for evakuering av røykgass fra kirurgiske instrumenter som en diatermikniv som i figur 22 og påpekt i vedlegg 6.



Figur 21: Medicvent



Figur 22: Diatermikniv

På St.Olavs er det installert fire kompressorer av typen CSG 120-2 fra Kaeser. De produserer medisinsk-, instrument- og teknisk trykkluft. De er plassert to og to på forskjellige deler av sykehuset. De er oljefri og vannkjølte. Figur 23 er tatt fra teknisk rom på St.Olavs. Figur 24 er hentet fra databladet til Kaeser [3]. Modellen til St.Olavs har et arbeidstrykk på 10 *bar* (145 *psi*), som i følge tabellen gir en strømningsrate på 12 063 *l/min* (426 *acfm*) (actual cubic feet per minute), spesifikasjoner leses i tabell 4. Kompressorene er frekvensbaserte, og det jobber stort sett ikke mer enn to om gangen [Vegard Kleiven, personlig kommunikasjon, 05.05.23].

| Model | CSG 120-2 W | | | | CSG 130-2 W | |
|---|-------------------------|-----|-----|-----|-------------|-----|
| | Working pressure psi | 60 | 90 | 125 | 145 | 125 |
| Flow rate complete system at working pressure acfm | 465 | 464 | 426 | | 462 | 461 |
| Max. positive pressure psi | 90 | | 125 | 145 | 125 | 145 |

Tabell 4: Uttdrag datablad Kaeser [3]



Figur 23: Kaeser på St.Olavs

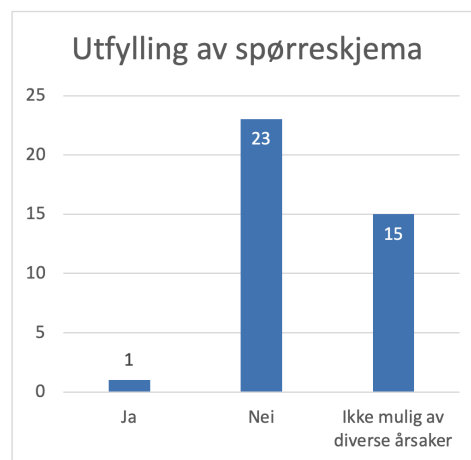


Figur 24: Kaeser vannkjølt kompressor [3]

4.1.3 Resultat av ekskursjon 2 (27.03.23)

Det ble avklart hvordan spørreskjema 1.0 skulle distribueres, og 39 seksjonslederene på en tilsendt liste ble kontaktet.

Av de kontaktede svarte 23 nei på henvendelsen og 15 svarte at det ikke lot seg gjøre å fylle ut skjemaene. Dette var grunnet stor pågang og aktivitet, eller at avdelingene ikke hadde sengeplasser. Én seksjonsleder svarte at de skulle fylle ut spørreskjema. Fordelingen er presentert i tabell 5.



Tabell 5: Respons utfylling av spørreskjema

4.1.4 Svar på spørreskjema 1.0

Avdelingssjefen på nyfødt intensiv skulle fylle ut spørreskjema 1.0 i en periode på to uker. Det ble konstantert at det ikke var mulig å gi en indikasjon på hvilke normalgassmengder som ble benyttet under medisinsk behandling av premature og nyfødte. Det ble også påpekt at det er svært mange finjusteringer og endringer i gassbruk i løpet av en dag.

Nyfødt intensiv fylte ut spørreskjema 1.0 på fire ulike dager. Resultatene er presentert i tabell 6. Under "Type gass" er det skrevet O2 og ML for alle dagene, som er forkortelser for henholdsvis oksygen og medisinsk luft. Dette er gassene som er blitt brukt. Avdelingen er delt i 2. og 3. etasje. I 2. etasje har de totalt 11 sengeplasser. I kolonnen "I bruk av 11" er det skrevet hvor mange sengeplasser som er i bruk den gitte datoen. I 2. etasje var det 6 av 11 sengeplasser i bruk alle de fire dagene. Kolonnen "Gass av 11" forteller hvor mange av sengeplassene som har brukt gass ved gitt dato. I 2. etasje varierer dette fra 2 til 4 rom. Tilsvarende data er presentert for 3. etasje i gule kolonner.

Gjennomsnittlig andel rom i bruk for de gitte datoene er presentert både som prosentandel og avrundet brøkdel. Dette er også gjort for gjennomsnittet av andelen rom som har brukt gass for de gitte datoene.

| Nyfødt intensiv | | 2.etasje | | 3. etasje | |
|-------------------------------|-----------|-----------------|----------------|------------------|----------------|
| Dato | Type gass | I bruk av 11 | Gass av 11 | I bruk av 8 | Gass av 8 |
| 20.apr | O2, ML | 6 | 2 | 6 | 1 |
| 21.apr | O2, ML | 6 | 2 | 5 | 1 |
| 24.apr | O2, ML | 6 | 4 | 6 | 1 |
| 25.apr | O2, ML | 6 | 4 | 6 | 1 |
| Andel i bruk [prosent] | | 54,55 % | 27,27 % | 71,88 % | 12,50 % |
| Andel i bruk [brøk] | | 1/2 | 1/4 | 5/7 | 1/8 |

Tabell 6: Resultater spørreskjema 1.0, nyfødt intensiv

Seksjonslederen på avdeling for operasjon og perfusjon, kom med tilbakemelding at spørreskjema 1.0 ikke kunne utfylles. Dette var på grunn av at under en operasjon er det vanskelig å anslå nøyaktig hvor mye gass som blir brukt, da det er stadig endring i forbruket, og da i perioder fra minutt til minutt. Dersom en skulle skrevet på noen tall i skjemaet ville dette bare blitt gjetting og synsing, og det mente han ikke gagnar undersøkelsen. Han inviterte i stedet til omvisning på operasjonsstuen for thoraxkirurgi som skrevet om i ekskursjon 3 (13.04.23) 4.2.1.

Seksjonslederen på avdeling for ervervet hjerneskade utfylte spørreskjema 1.0 så fullstendig som mulig. Selv om avdelingen ikke er tilknyttet det medisinske sentralgassanlegget på St.Olavs, har de likevel tilgang til et basislager med O₂. Det ble informert at bruk av O₂ er sjeldent på avdelingen, men når det brukes, varierer mengden også her fra pasient til pasient. På grunn av variasjonen fra pasient til pasient var det vanskelig å gi noen eksakte verdier på normalgassmengdene, men gjettet i snitt $1,0 \text{ l/min}$ for O₂.

Assisterende seksjonsleder på rekonstruktiv ortopedi og plastikkirurgi hadde ikke mulighet til å utfylle spørreskjema 1.0 grunnet stor aktivitet og flere andre prosjekter med lignende involvering. De var derfor nødt til å si nei til hevendelsen, men kom likevel med informasjon angående deres avdelinger. De hadde tilgang på medisinsk luft og O₂, avdelingen består av fem sengetun med 42 sengeplasser, samt dagkirurgisk avdeling med 12 sengeplasser og fast-track med 16 sengeplasser. De vanlige normalgassmengdene for medisinsk luft er $8 - 10 \text{ l/min}$, men at de nye maskene ikke tåler 10 l/min fordi slangen spretter av grunnet trykket. For O₂ er mengden stort sett satt på $2,5 \text{ l/min}$.

4.2 Ny vending

Som følge av tilbakemeldingene på spørreskjema 1.0, ble det utviklet en ny metodisk tilnærming til problemstillingen. Som et resultat ble det utarbeidet en teknisk løsning som skal gjøre det mulig å måle totalforbruket, samtidigheten og normalgassmengdene. I tillegg ble det utviklet et mer presist spørreskjema (spørreskjema 2.0) som skulle svare på bruksmønsteret, samt hvordan en skal optimalisere distribusjonen av spørreskjemaet for å kunne få ønsket resultat.

4.2.1 Resultat av ekskursjon 3 (13.04.23)

På en operasjonsstue er det mange leger og kirurger på jobb samtidig. Det er en omfattende bruk av gass og avtrekk under en operasjon. Det blir benyttet O₂, CO₂, medisinsk luft, diatermiavtrekk, anesthesiavtrekk og vakuum. De har tilgang på N₂O, men dette er aldri i bruk. Instrumentluft har ikke blitt brukt de siste ti årene, og det er i stedet tatt i bruk strømdrevne instrumenter. I rommet er det flere uttak for samme gass slik at apparatene kan flyttes rundt etter ønsket plassering. Et utsnitt av takrammen på operasjonsstuen er vist i figur 25.



Figur 25: Gassuttak på operasjonsstue, St.Olavs

På operasjonsstuen er de ansatte plaget av mye støy fra maskiner, tilluft, avtrekk og vakuumanlegg. Det var gjort et forsøk på å bruke elektrisk vakuum fordi det lager mindre lyd, men

det viste seg å ikke ha tilstrekkelig sug. I dag brukes derfor det sentrale vakuumanlegget til tross for støynivå. Det var en hjerte-lunge maskin av typen LivaNova Sorin Stockert S5, og et anesthesiapparat av typen Maquet Flow-I 30, på operasjonsstuen, presentert i henholdsvis figur 26 og 27. Angående plassering av gjennomstrømningsmålere på apparatene i operasjonsstuen, er dette i følge seksjonslederen uproblematisk så lenge de ikke blir i veien eller hindrer forsyningen av gass under en operasjon.



Figur 26: Hjerte-lunge maskin



Figur 27: Anesthesiapparat

4.2.2 Kartlegging av bruksmønster

Et tenkt utfylt spørreskjema 2.0 vil se ut som figur 28. Dersom det er brukt flere gasser ved flere tidspunkt samme dag, fyller vedkommende inn en ny linje med samme dato. Dersom rommet ikke er i bruk i det hele tatt, fyller den ansatte kun inn dato. Tidspunktet oppgis så nøyaktig de ansatte får til uten at det går utover jobben.

| | | | |
|--|--|-----------------------|--------|
| Ordforklaring: | | Type gass: | Skriv: |
| I bruk Kryss: rommet er i bruk i dag | | Oksygen | O2 |
| Gass Kryss: rommet har brukt gass i dag | | Medisinsk luft | ML |
| | | CO2 | CO2 |
| | | Lystgass | N2O |

| | |
|------------------|-----------|
| Avdeling | Bevegelse |
| Romnummer | 302 |

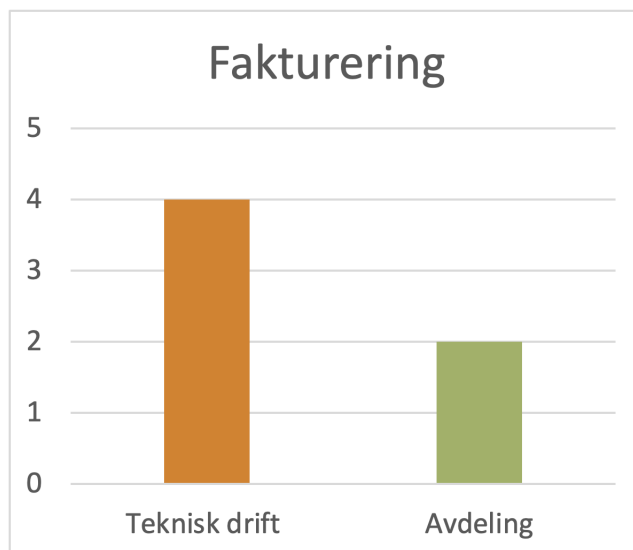
| Dato | I bruk | Gass | Tidspunkt | Type gass |
|----------|--------|------|---------------|-----------|
| 21.04.23 | X | X | 10:55 -11:00 | O2 |
| 21.04.23 | X | X | 11:04 - 13:11 | ML |
| 22.04.23 | | | | |
| 23.04.23 | X | | | |

Figur 28: Eksempel utfylt spørreskjema 2.0, vedlegg 11

Statistikken fra datasettet vil gi svar på to ting per avdeling. Ved å se på forholdet mellom rom i bruk og rom som har brukt gass i samme tidsrom, vil en kunne finne svar på den siste faktoren i likning 1. I tillegg til sammenligningsgrunnlag mot HTM 02-01, kan det også tas en økonomisk vurdering av avdelingen.

4.2.3 Fakturering av forbruk

Ringerunden resulterte i hovedsak to ulike svar som presentert i figur 29. Sykehusene som ble ringt vil ikke bli navngitt i denne rapporten. Den oransje søylen er de sykehusene som har ett budsjett for teknisk avdeling og bruker dette til å fakturere innkjøp av gass. Den grønne søylen er de sykehusene som fakturerer på tilsvarende måte som St.Olavs. Altså fordeler regningen mellom avdelingene basert på deres areal.



Figur 29: Fakturering av forbruk

4.2.4 Kravspesifikasjoner og leverandører/produsenter

Det er mange leverandører og produsenter av medisinsk måleutstyr. Etter mye søking og sendte e-poster, er det kommet frem til fire aktuelle leverandører; Dräger, Bronkhorst, Siargo og VPInstruments. Av disse fire leverandørene er det tre som har gjennomstrømningsmålere og én som har integrerte målesystemer i de medisinske aparatene og gassanlegget. Under blir målerene til Bronkhorst, Siargo, VP Instruments, og IT-systemet til Dräger presentert. Alle utvalgte målerne oppfyller behovslisten fra metoden.

Bronkhorst

Bronkhorst er en utvikler og produsent av presise og pålitelige massestrømsmålere [2]. D-6360 er en termisk massestrømsmåler som har måleområde fra $0,4 \dots 20 \text{ ln/min}$ og $2 \dots 200 \text{ ln/min}$ (ln = normal liter). Måleområdet kan kalibreres til ønsket intervall, noe som gjør den fleksibel. Alle målerene deres er også utstyrt med overføring av data med modbus (datakommunikasjon-protokoll) som gjør datainnhenting simpelt. Utklipp fra produktdatablad er presentert i figur 30 og tabell 7, vedlegg 2.



Figur 30: D-6360 måler

Technical specifications

Measurement / control system

| | |
|--|---|
| Flow range (intermediate ranges available) | min. 0,4...20 l _n /min max. 2...200 l _n /min (based on N ₂) |
| Accuracy (incl. linearity) (based on actual calibration) | ± 1,0 % RD plus ± 0,5 % FS (at calibration conditions) |
| Repeatability | < 0,2 % FS |
| Turndown ratio | up to 1:100 |
| Type of gases | almost all gases, compatible with chosen materials |

Tabell 7: D-6360 Spesifikasjoner

D-6360 er egnet for målinger på de tre ulike stedene det er sett mest på; pasientrom, operasjonsstuer og avdelinger. D-6360 har en oppløsning på 0,01 l/min, og nøyaktighet på $\pm (1,0 + 0,5FS) \%$. Måleområdet kalibreres for cirka 0 – 20 l/min, 0 – 50 l/min og 0 – 200 l/min med laveste måleverdi på henholdsvis 0,4 l/min, 0,5 l/min og 2,0 l/min. Den tåler også arbeidstrykk opp til 10 bar. Bruksområder for medisinsk luft, O₂, CO₂ og N₂O gjør at den passer til å svare på problemstillingen. Den oppfyller også kravene til renhet.

Siargo

Siargo er en utvikler av sine egne MEMS (microelectromechanical systems) massestrømsfølede produkter [31]. Den er designet for generell gjennomstrømningsmåling og har lavt trykkfall. Den måler massestrømmen ved bruk av det termiske prinsippet. Siargo viser stor fleksibilitet når det gjelder koblinger, da de har evnen til å produsere måleren med spesifisert adapter for trykkluft, dersom ønskelig. Dette gjør installasjonsprosessen betydelig lettere. Alle målerene deres er også utstyrt med modbus for overføring av data. Utklipp fra produktdatablad er presentert i figur 31 og tabell 8, vedlegg 1.



Figur 31: MF4700 Serie måler

Specifications

| | | |
|-----------------|--|------|
| Flow range | 0-0.5(MF4701) / 0-5(MF4703) / 0-50(MF4708) 0-100 (MF4710) / 0-300 (MF4712) / 0-800 (MF4719) | SLPM |
| Accuracy | $\pm(1.5+0.5FS)$ | % |
| Repeatability | 0.5 | % |
| Power supply | 8-24 (50mA) | Vdc |
| Output | LED / RS485 / analog 0.5-4.5Vdc | |
| Pressure rating | 1.0 | MPa |
| Temperature | -10 - 55 | °C |
| Humidity | <95 (no condensation) | %RH |
| Pin-out | CD R-5, 5 pin | |
| Calibration | Air @ 20°C, 101.325 kPa | |
| Mechanical | NPT or BSPT | |

Note: Parameters specified at the calibration conditions.

Tabell 8: MF4700 Spesifikasjoner

MF4708 og MF4712 kan brukes for måling på pasientrom, operasjonsstue og avdeling. Oppløsningen er på 0,01 l/min og en nøyaktighet på $\pm (1,5 + 0,5FS) \%$. Måleområdet kan kalibreres til cirka 0 – 20 l/min og 0 – 50 l/min for MF4708, og 0 – 200 l/min for MF4712. Laveste måleverdi blir henholdsvis 0,4 l/min , 0,5 l/min og 2,0 l/min . De tåler også et arbeidstrykk opp til 10 bar . Den har et oppgitt bruksområde for medisinsk luft, O₂, CO₂ og N₂O. Den oppfyller også kravene til renhet.

VPInstruments

VPInstruments er en produsent av enkle løsninger på måleproblemer, og de mener at det skal være lett å monitorere massestrøm for å gi bedre innsikt, besparelse og optimalisering [38]. Deres VPFlowScope In-line 3/8" og 1/2" oppfyller behovene og er begge termiske massestrømsmålere. Intervallet som skal måles kan kalibreres. Alle målerene deres er også utstyrt med modbus for overføring av data. Utklipp fra produktdatabladene er presentert i figur 32 og 33, og tabell 9 og 10, vedlegg 3 og 4.



Figur 32: 1/2" VPFlowScope In-line

Specifications

| FLOW SENSOR | |
|--------------------------|---|
| Measuring principle | Thermabridge™ Thermal Mass flow sensor |
| Flow range 0.5 inch | 0.23 .. 80 m ³ /hr 0.13 .. 50 SCFM |
| Flow range 1 inch | 0.91 .. 250 m ³ /hr 0.54 .. 150 SCFM |
| Flow range 2 inch | 3.55 .. 1000 m ³ /hr 2.15 .. 600 SCFM |
| Accuracy | 0.5% FSS with calibration report under calibration conditions with air |
| Reference conditions | 0 °C, 1013.25 mbar 32 °F, 14.695 psi |
| Gases | Compressed air, nitrogen, oxygen and inert, non-condensing gases, 95% non-condensing gases |
| Gas temperature range | 0 .. 60 °C 32 .. 140 °F |
| PRESSURE SENSOR | |
| Pressure sensor range | 0 .. 16 bar 0 .. 250 psi gauge (35 bar 500 psi on request) |
| Accuracy | ± 1.5% FSS (0 .. 60 °C) ± 1.5% FSS (32 .. 140 °F) |
| TEMPERATURE SENSOR | |
| Temperature sensor range | 0 .. 60 °C 32 .. 140 °F |
| Accuracy | > 10 m ³ /sec: +/- 1 °C 1.8 °F < 10 m ³ /sec: + 5 °C 9 °F due to self-heating of the flow sensor |
| DATA OUTPUTS | |
| Analog | 4 .. 20 mA or pulse, selectable via installation software |
| Serial IO | RS485 (Modbus RTU) |
| USB | Mini USB interface for configuration (display version only) |

Tabell 9: 1/2" VPFlowScope In-line Spesifikasjoner



Figur 33: 3/8" VPFlowScope In-line

| SPECIFICATIONS | |
|-------------------------|--|
| Measuring principle | Thermabridge™ thermal mass flow sensor |
| Flow range | 2.15..50 l/min 0.09..1.77 CFM |
| Accuracy | 5% of full scale under calibration conditions |
| Temperature sensitivity | < 1% of measured value per °C |
| Reference conditions | 20 °C, 1000 mbar 68 °F, 14.50 psi |
| Gases | Oxygen and compressed air |
| Gas temperature range | 20 .. 32 °C 68 .. 89.6 °F |
| Display type | 1.8" TFT color with auto power save |
| LED status | LED indicators on all models for power and communication |
| Outputs | RS485 (Modbus RTU), 4 .. 20mA |
| Material | Brass, polycarbonate |
| Wetted materials | Brass, Ceramic, Polyurethane, Viton |
| Protection grade | IP54 NEMA 3 |
| Ambient temperature | 0 .. 50 °C 32 .. 122 °F |
| Ambient humidity | 0 .. 95 %, Avoid condensation at all times |
| Pressure rating | 10 bar 150 psi gage |
| Electrical supply | 14 VDC .. 24 VDC +10% CLASS 2 (UL) |
| Power consumption | 1 Watt (no flow) 3.5 Watt (full flow) +/- 10% |
| Certification CE | EN 60950-1, EN 61326-1, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 61326-1 |
| Electrical connection | M8 5-pin female connector |
| Mounting connection | Mount between pipe ends using Hylok SICMC-6-0G |

- Avoid direct sunlight or radiant heat.
- Highly corrosive or acid environments should be avoided.

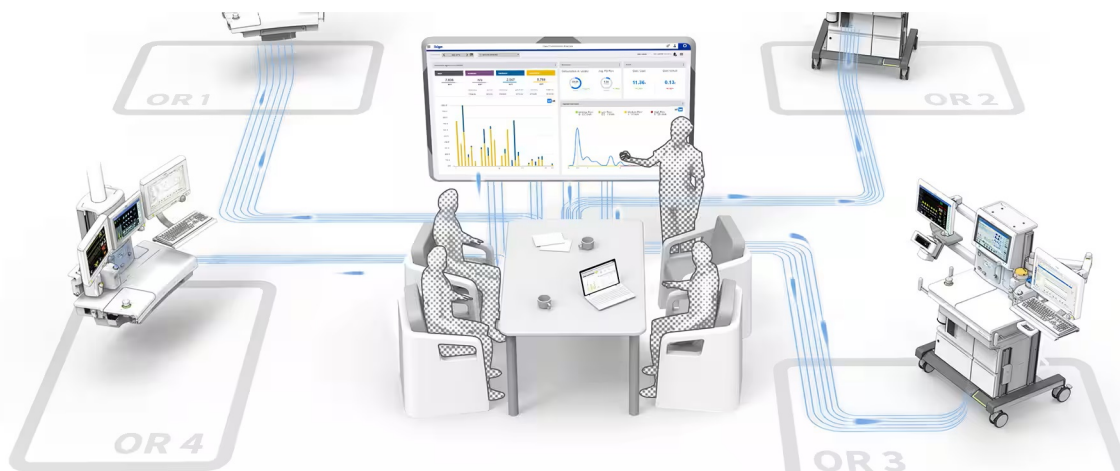
Tabell 10: 3/8" VPFlowScope In-line Spesifikasjoner

3/8" VPFlowScope In-line kan måle på pasientrom og operasjonsstue. Den har en nøyaktighet på $\pm (5FS) \%$. Måleområdet kan kalibres fra cirka 2,15 l/min til 50 l/min, med laveste måleverdi på 2,15 l/min. Den tåler et arbeidstrykk opp til 10 bar. Bruksområdet er for medisinsk luft og O₂. Den leveres også oljefri.

1/2" VPFlowScope In-line kan måle i avdelingen. Den har en nøyaktighet på $\pm (0.5FS) \%$. Måleområdet kan kalibreres fra cirka $3,8 \text{ l/min}$ til 1333 l/min , med laveste måleverdi på $3,8 \text{ l/min}$. Den tåler et arbeidstrykk opp til 16 bar . Den kan brukes på medisinsk luft, O₂, CO₂ og N₂O. Den leveres også oljefri.

Dräger

Dräger er en stor aktør innen medisinsk utstyr, og kan levere komplette medisinske gassanlegg. De leverer anesthesiapparater, respiratorer, gassuttak i vegg/tak, diverse slanger, masker, og lignende, samt IT-systemer. IT-systemet "Gas Consumption Analytics" er et datasystem som gjør det mulig å analysere dataen i apparatene. En studie som tar for seg fordelene med dette systemet med tanke på bærekraft og kostnader kommer frem i vedlegg 5. Noen av resultatene var blant annet at i en periode på over ett år ble kostnadene redusert med 14.29% per minutt, og bruken av anestesigasser med 20.19% . En del av apparatene deres er utstyr med integrerte målere som gjør det mulig å bruke IT-systemet.



Figur 34: Illustrasjon av IT-systemet Gas Consumption Analytics [5]

Kostnadsoverslag

Et pristilbud er innhentet for fire målere med utgangspunkt i behovslisten på en operasjonsstue, tabell 2 i metode 3.2.4. Her kommer det frem at hver måler koster omtrent 20 000 *kr.* Leverandør vil ikke bli nevnt med navn med hensyn til konfidensialitet i tilbudet. Kostnadsoverslaget blir presentert i tabell 11.

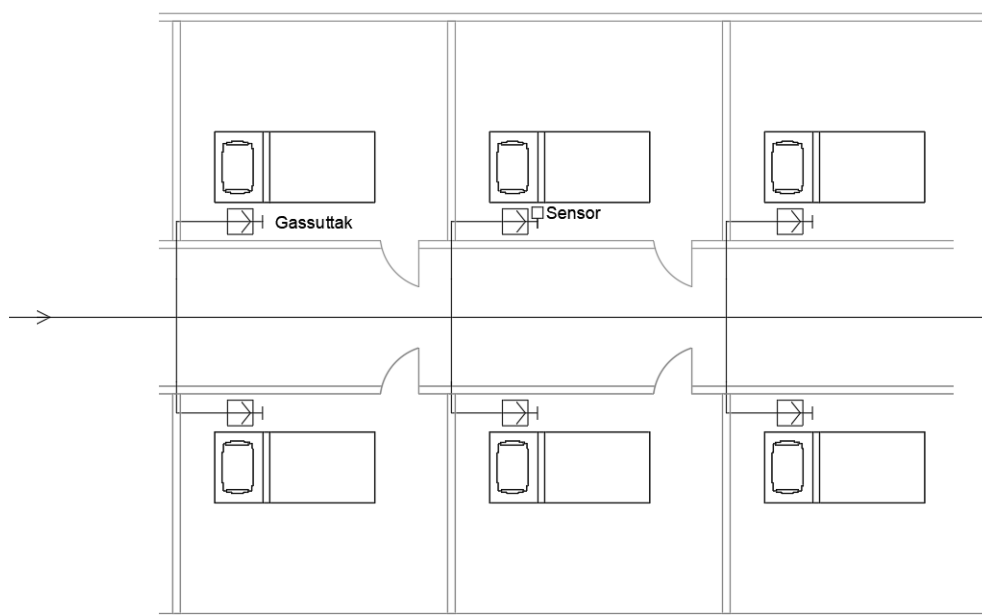
| Type sensor | Gass | Pris pr stk | Antall | Pris sum |
|-------------|---------------|--------------|--------|--------------|
| 1 | Mdisinsk luft | kr 23 000,00 | 1 | kr 23 000,00 |
| 2 | CO2 | kr 19 000,00 | 1 | kr 19 000,00 |
| 3 | N2O | kr 19 000,00 | 1 | kr 19 000,00 |
| 4 | O2 | kr 20 000,00 | 1 | kr 20 000,00 |

Tabell 11: Kostnadsoverslag

4.2.5 Plassering av gjennomstrømningsmåler

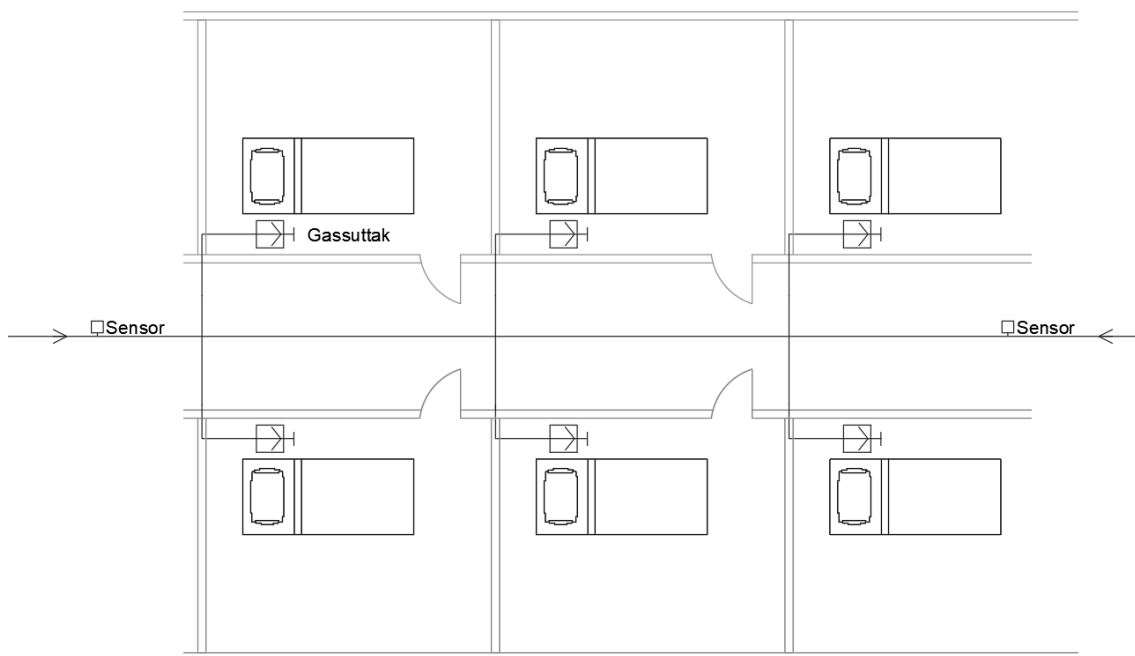
Det antas at et pasientrom og en operasjonsstue vil ha behov for det samme måleområdet, mens en avdeling vil naturligvis ha behov for et større måleområde. Det vil derfor brukes samme måler for et pasientrom og en operasjonsstue.

Et standard pasientrom med én sengeplass har to gassuttak; O2 og medisinsk luft. Plassering av måler blir direkte i uttaket i vegg, som illustrert i figur 35. Det er kun tegnet inn uttak for én gass, men det vil være tilsvarende for den andre gassen.



Figur 35: Plassering av måler i rom

Figur 36 illustrerer hvor gjennomstrømningsmålerne plasseres for loggføring av totalforbruket og samtidigheten til avdelingen.



Figur 36: Plassering av måler for avdeling

4.2.6 Måleperiode

Resultatet av måleperioden vil gi normalgassmengden til et standard pasientrom og operasjonssstue, samt samtidigheten for avdelingen i sin helhet. Med normalgassmengdene og resultatet fra spørreskjema 2.0 vil det være mulig å sammenligne den nyberegnete samtidigheten med både den teoretiske samtidigheten fra HTM 02-01 ved hjelp av ligning 1, og den målte samtidigheten for avdelingen. Det er da mulig å svare på problemstillingen for denne avdelingen og da tilhørende pasientrom og operasjonssstue.

5 Diskusjon og refleksjon

Det vil her bli diskutert det som er ansett som hovedresultatene i rapporten. Det vil bli redegjort for analysen av datasettene, og bruk av spørreskjema for innhenting av informasjon vil bli diskutert. Valg av måleløsning og gjennomstrømningsmåler vil bli begrunnet, og prosjektering i forhold til HTM 02-01 vil bli kommentert.

5.1 Datasett

5.1.1 Trykkluft

Den første produksjonstoppen på grafen er den 16.01.23 klokken 16:15:40. Her leverer kompressoren en mengde på $14\,820\text{ l/min}$ ($0,247\text{ m}^3/\text{s}$). Grunnen til det høye toppunktet under produksjonen er ukjent. Det kan tenkes at trykket på nettet ble såpass lavt at kompressoren leverer store mengder for å kompensere for dette.

Forbruksgrafene av trykkluft, figur 16, viser at det stort sett til enhver tid brukes trykkluft. Det er et toppunkt som utmerker seg på $16\,080\text{ l/min}$ ($0,268\text{ m}^3/\text{s}$), den 19.01.23 klokken 12:26:10. Grunnen til dette er ukjent, og det antas å ikke ha sammenheng med toppunktet for produksjon grunnet tidsdifferansen. Det kan tenkes at forbrukstoppen er større enn produksjonstoppen fordi kompressoren allerede hadde produsert noe da målingene startet, eller at det skyldes målefeil.

Toppene på grafene forteller noe om hva anlegget er nødt til å kunne levere. Kompressoren har som sagt en strømningsrate på $12\,063\text{ l/min}$ ved arbeidstrykk på 10 bar , tabell 4. Det må altså være to kompressorer som jobber for å ta toppen av grafen for produksjon på $14\,820\text{ l/min}$. Det kan se ut til at to kompressorer i tillegg til de to observerte under ekskursjon 1 (14.03.23), kan være overflødig for sykehuset. På en annen side er det viktig å tenke på leveransesikkerhet. I et scenario hvor det er vedlikehold på en av kompressorene samtidig som en annen svikter, vil de to resterende kompressorene være i stand til å ta toppene og sikre trygg leveranse. Den minste verdien i datasettet for forbruk av trykkluft, er -42 l/min ($-0,0007\text{ m}^3/\text{s}$).

Det er i teorien ikke mulig, og kan tyde på målefeil.

Det er sannsynligvis mye mer informasjon en kunne hentet ut fra dette datasettet. Det er ikke gått grundigere inn på dette settet på grunn av for lite datagrunnlag til si noe om utviklingen og forbruk av medisinsk luft, da datasettet kun er for januar 2023. Det er rimelig å anta at forbruket vil variere med årstidene, eksempelvis i influensasesong. Det ble vurdert om det skulle anskaffes flere slike datasett, men på grunn av usikkerheten rundt hvilke svar de egentlig ga, ble det aldri etterspurt. Dette kunne vært gjort for å få et bedre bilde av forbruket av trykkluft, men det vil ikke gi noe sammenligningsgrunnlag mot HTM 02-01. HTM 02-01 tar ikke for seg samtidig totalforbruk på et sykehus. Det ville selvfølgelig vært ideelt med lignende historikk som ble presentert for O₂, N₂O og CO₂ for å kunne sammenligne utviklingen, men dette var ikke mulig å få tak i.

5.1.2 Medisinske gasser

Det er kjent informasjon at St.Olavs tar bestillinger på medisinske gasser omtrent hver andre dag etter hva de ser behovet er. Derfor antas det en tydelig relasjon mellom innkjøpte gassmengder og brukte gassmengder. I datasettene ble tall fra april 2023 ekskludert fordi måneden ikke var over, og kjøpet kan ha vært ufullstendig.

I løpet av ekskursjonene på St.Olavs ble studentene informert om at bruken av N₂O på sykehuset er gått ned. På ekskursjon 3 (13.04.23), thoraxkirurgi, ble studentene informert om at det ikke brukes N₂O på avdelingen i dag. Fødeavdelingen har heller ikke lenger tilgang til å bruke gassen da avtrekksviftene for N₂O som vist tidligere i figur 21 i dag brukes til diatermiavtrekk på noen operasjonsstuer. Som grafen tydelig viser i figur 17 har det skjedd en stor nedgang i bruk av N₂O fra 2005 til 2022. Dette vil være naturlig grunnet avvikling flere steder. På ekskursjon 1 (14.03.23) ble det sagt at St.Olavs har et høyere forbruk av N₂O enn tilsvarende sykehus på samme størrelse i Norge, og at grunnen til dette er uvisst [Morten Uv, personlig kommunikasjon, 14.02.23]. Høyt forbruk kan i noen tilfeller skyldes for eksempel lekkasje, overbruk, eller misbruk. I denne situasjonen ville det vært praktisk for sykehuset å ha oversikt over hvor gassen brukes. Metoden for kartlegging av totalforbruk for avdeling ville

fungert bra for dette formålet.

Bruken av CO₂ har økt kraftig fra 2005 til 2022. I byggefase 1 av universitetssykehuset i 2005, ble laboratoriesenteret og kvinnebarn-senteret ferdigstilt. Nevrosenteret ble ferdigstilt i perioden 2005-2006. I 2010 og 2011 ble høyblokken på Øya revet. 1902-bygget og forsynings-senteret sto ferdig i 2008, Gastrosenteret, bevegelsessenteret, akutten og hjerte-lungesenteret sto ferdig i 2009, og til sist sto kunnskapssenteret ferdig i 2013 [13]. Totalt seks nye bygg ble tatt i bruk i perioden 2008 til 2013, hvor samtlige har operasjonsstuer og tilgang på CO₂. Som vist tidligere i figur 17 er det er markant stigning i bruk av CO₂ disse årene. Det kan antas en sterk korrelasjon med utbygging og økt bruk.

Kikkhullskirurgi, som nevnt i teori 2.1.2, er en operasjonsmetode som blir mer og mer vanlig. Det er mer hensiktsmessig å utføre operasjoner på denne måten fremfor åpen kirurgi, da det gir mindre komplikasjoner. Ved bruk av kikkhullsooperasjoner kan pasientene komme raskere tilbake til normal aktivitet [9]. Operasjonsstuene som ble bygget i perioden 2008 til 2013 har høyst sannsynlig bidratt til økt bruk av CO₂, også ved bruk av denne operasjonsmetoden.

Innkjøp av O₂ har hatt en tydelig nedgang fra 2005 til 2022. Det ble informert om at sykehuset faser ut bruk av O₂ på flasker, og forsøker å stort sett kun bruke sentralgassanlegget. Bruk av flasker innebærer blant annet en leiekostnad på flaskene, noe som gjør at sentralanlegget blir billigere å bruke for sykehuset. Det ble også informert om at flaskebruken tidligere ikke har vært særlig oversiktlig. Det antas derfor at det kjøpes inn mindre mengder O₂ fordi bruken blir mer sentralisert, og det oppstår mindre svinn ettersom driftsavdelingen har fått mer kontroll på gassflaskene.

5.1.3 Regnskap 2006-2022

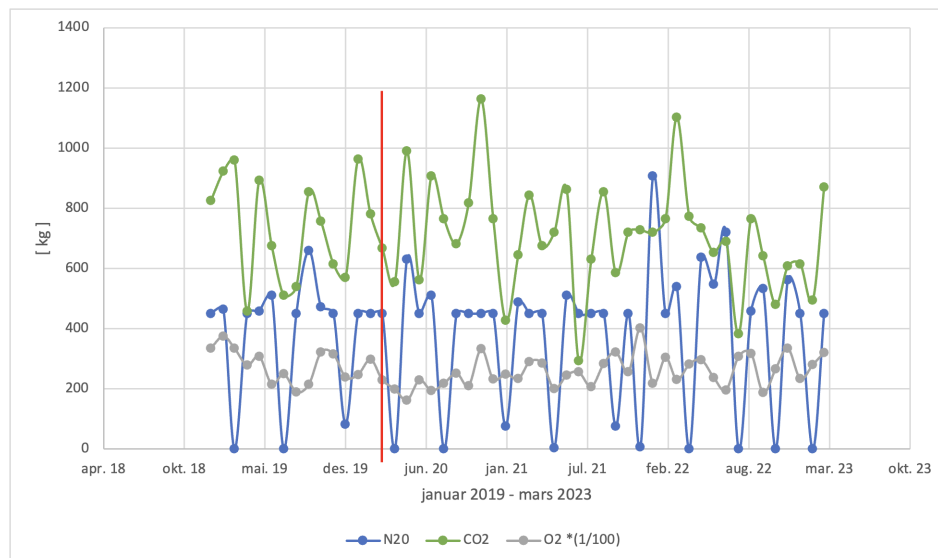
Fra regnskapet 2006-2022, figur 19, er det sammenlagt en nedgang i årlige gasskostnader. Dette kan ha en sammenheng med mindre bruk av gassflasker med tanke på leiekostnadene. I tillegg har sykehuset kuttet ned på hjemmebehandling. Tidligere kunne en pasient få med seg en gassflaske hjem, men denne ordningen var veldig dyr for sykehuset. Angående pris

på gassene har denne vært ganske stabil gjennom årene [Vegard Kleiven, personlig kommunikasjon, 05.05.23]. St.Olavs har hatt samme leverandør av medisinske gasser i mange år.

Totalt sett har det skjedd store endringer i bruk av medisinske gasser på St.Olavs fra dimensjoneringen startet til i dag. Det er påpekt endringer i form av nye bygg og nytt flaskesystem, og det er rimelig å anta at det er dukket opp nye behandlingsmetoder gjennom årene. Det faktiske forbruket, per avdeling og per sengepost, kan naturligvis ikke leses ut fra de presenterte tallene. På én avdeling kan for eksempel bruk av CO₂ ha blitt faset ut, mens på en annen avdeling har de startet å bruke gassen til flere og andre formål. Slik er det en økning i bruk, uten at det synes hvor endringene er skjedd. For å kunne sammenligne norske sykehus mot HTM 02-01 er det derfor nødvendig å undersøke forbruket grundigere ved installering av målere. Slik blir det mulig å finne ut totalforbruket og samtidigheten til avdelingene, og normalgassmengdene til de ulike rommene.

5.1.4 Litt om covid-19

Spørsmål angående covid-19 og påvirkning på det medisinske gassanlegget har oppstått under oppgaven. COWI har uttrykt at de forventet en markant økning i forbruk av medisinske gasser under pandemien. Dette er en tanke som studentene også hadde, men basert på datasettet over innkjøpte gasser er ikke dette tilfellet. Et utdrag av innkjøpstallene fra perioden januar 2019 til mars 2023 er presentert i figur 37. Det er trukket en rød linje gjennom punktene for mars 2020, da Norge stengte ned. Innkjøpene varierer fra måned til måned for alle årene i datasettet. For perioden rundt mars 2020 ser det ikke ut til at det skjer særlig store endringer i forhold til de foregående. To måneder senere, mai 2020, kan en se at CO₂ innkjøpet er litt større enn i mars. N₂O innkjøpet er større i mai, men til gjengjeld var det tre jevne kjøp i månedene januar til mars 2020. Oksygeninnkjøpet er lavere i april og mai 2020 enn mars 2020.



Figur 37: Mengder innkjøpt per måned jan19 - mar23, vedlegg 8

Det er kjent informasjon at alt av behandlinger og operasjoner som ikke var ansett som kritisk, ble utsatt til senere tidspunkt for å ha kapasitet til å behandle dem med covid-19 [29]. Forholdet mellom utsatte behandlinger og operasjoner, og behandling av covid-19-pasienter, var ikke stor nok til å gjøre utslag på innkjøp av O2. Dette er til tross for at covid-19-pasienter utelukkende bruker O2 under behandling. I denne situasjonen hadde loggføring av forbruket gitt innsikt i totalforbruk og hvor gassene ble brukt.

I en rapport gjennomført av Linde på vegne av St.Olavs, ble det tatt for seg en beregning på hva som er den faktiske kapasiteten til O2 sentralgassanlegget i vedlegg 12. Det ble konkludert med at gassuttaket på hvert standard pasientrom hadde kapasitet til å drifte åtte "high flow" respiratorer. Dette tilsvarer en mengde på 333 l/min . Tatt i betraktning at et standard pasientrom er dimensjonert for å kunne levere 10 l/min ifølge HTM 02-01, viser det at det ikke er gassanlegget som er begrensningen i unntakstilstander. Mangel på apparater, helsepersonell og areal vil være større problemer før mangel på gass. Rapporten tok for seg O2. Rørdimensjoner for de andre gassene er tilsvarende, og vil i teorien kunne fungere likt dersom leveringsentralen er av tilsvarende størrelse som for O2. Dette er ukjent informasjon, men det antas at sentralene er mindre for CO2 og N2O enn O2. Prinsippene for dimensjonering av anlegget er de samme for alle gassene.

5.2 Kartlegging av bruksmønster med spørreskjema

5.2.1 Spørreskjema 1.0

Fordi manuell logging av data ikke var mulig grunnet kapasitet og St.Olavs tilgjengelighet, var spørreskjema en alternativ måte å samle inn nødvendig informasjon på. Jo mer planlegging og utforming som ble investert i spørreskjema 1.0, desto større ble tiltroen til at dette ville være en løsning som kunne resultere i svar på problemstillingen. Studentene anså skjemaet som enkelt å fylle ut, og mente at det ikke ville ta mer enn et minutt eller to. Imidlertid var det ikke tatt høyde for at deltakelsen skulle være så lav som den ble, med kun én av 39 svar. Sett i ettertid burde det vært forutsett at denne tilnærmingen ikke vil fungere for innsamling av ønsket data. Spørreskjemaet var ment til å gi en indikasjon på normalgassmengden på sengerom og operasjonsstuer, samt bruksmønsteret på en avdeling eller et sengetun. Skjemaet ga kun informasjon om hvorvidt en sengeplass brukte gass i løpet av en dag/vakt, uten å gi innsikt i tidspunkt eller varighet av bruken. Dermed ville resultatet av denne informasjonsinnhenting ikke vært tilstrekkelig for å besvare problemstillingen.

Hensikten med ekskursjon 2 (27.03.23) var å gjennomføre en runde på St.Olavs sammen med seksjonslederen for allmenn teknikk, hvor spørreskjema 1.0 skulle distribueres. Tanken var at studentene skulle veilede de ansatte i utfyllingen av skjemaet og tydeliggjøre hvilke tall og data som var interessante for oppgaven. Det ble raskt klart under fremleggelse for seksjonslederen at denne tilnærmingen ikke ville være god. Han uttrykte bekymring for at de ansatte ville være skeptiske til personer som gikk rundt på St.Olavs og forsøkte å samle inn informasjon, spesielt når de ikke hadde blitt varslet på forhånd. Derfor valgte han å tildele kontaktinformasjon til seksjonslederene, slik at det var mulig å ta direkte kontakt med dem via e-post og videreformidle informasjonen til de ansatte. Dette styrket tanken om å involvere ledelsen for å oppnå høy oppslutning rundt spørreskjemaet, tidligere presisert i metode 3.2.2. Denne tanken er egentlig et direkte resultat av den første tilnærmingen til skjema.

Avdelingsjefen på nyfødt intensiv var den eneste som gjennomførte utfylling av spørreskjema 1.0. Det ble sagt det skulle gjøres over en periode på to uker, men det ble kun utfyllt i fire dager. Dette skyldtes at spørreskjemaet ble glemt de fleste dagene. Dette styrker behovet for

at ledelsen må pålegge de ansatte å fylle ut skjemaet for å sikre tilstrekkelig antall besvarelser for å oppnå verdige resultater. De resultatene som kom inn kan en ikke legge for mye i, da det er for tynt grunnlag til å si noe om bruksmønsteret. Det gir kun en pekepinn på hvor stor del av rommene som er i bruk og som bruker gass. Likevel kan det si noe om tanken bak hva spørreskjema 2.0 kan brukes til. I tabell 6 er det regnet ut andel rom i bruk, og andel rom som bruker gass for den gitte perioden.

Seksjonslederen på avdelingen for operasjon og perfusjon viste stor vilje til å hjelpe der det lot seg gjøre, selv om han ikke kunne besvare spørsmålene i e-posten eller på spørreskjema 1.0. Som påpekt i resultat 4.1.4, er det ikke mulig å estimere nøyaktig mengde gass som blir brukt. Under en operasjon er det mange sykepleiere, leger og kirurger involvert, og alle har svært viktige oppgaver. Det er derfor rimelig å anta at det å notere ned innstillingene for O₂ eller medisinsk luft ikke ville ha blitt prioritert. Dette kunne ha påvirket pasientbehandlingen negativt, noe som må unngås. I tillegg vil det være vanskelig å huske nøyaktig hva som ble brukt i etterkant, og dette ville ikke ha gitt pålitelige eller verdige data for å besvare problemstillingen. Seksjonslederens innsikt bidro til å lede oppgaven mot en mer teknisk løsning for å kartlegge normalgassmengdene som brukes under en operasjon.

Seksjonslederen på avdelingen for ervervet hjerneskade fylte ut spørreskjema 1.0 én gang, noe som avdekket muligheten for å misforstå hvordan skjemaet skulle brukes. Det var meningen at skjemaet skulle bli fylt ut over en lengre periode, noe som indikerer behovet for en mer presis og tydelig presentasjon av spørreskjemaet. Et estimat på gjennomsnittlig bruk en pasient trenger av O₂ under behandling på $1,0 \text{ l/min}$, er ikke godt nok for å si om hva normalgassmengden er, men det er rimelig å anta at fasit ikke er langt unna. Det var interessant å oppdage at det finnes en avdeling på St.Olavs som klarer seg fint uten tilgang på det medisinske gassanlegget, og kun benytter O₂ på flaske. Dette funnet styrker ideen om at enkelte avdelinger kanskje ikke trenger tilgang på det medisinske gassanlegget.

Basert på denne informasjonen kan en anta at en omfattende undersøkelse av alle avdelingene på St.Olavs angående bruksmønsteret av gass, kunne avdekke flere avdelinger som kun trenger tilgang til flasker med medisinsk gass. Det er også viktig å huske på at denne avdelin-

gen betaler gassregningen basert på arealet deres og ikke forbruket. Dette er en skjevfordeling driftsavdelingen vil gjøre noe med, og som vil bli et biresultat av metoden i denne oppgaven. Dette vil være verdifull informasjon for sykehusprosjekterende selskaper som COWI, da de kan gi råd til sykehusene om at et medisinsk gassanlegg ikke er nødvendig for alle avdelinger. Det er selvfølgelig opp til sykehusene å bestemme hva de ønsker, men det skader aldri å kunne henvise til studier som kan argumentere for besparelser. Et av hovedargumentene for å ha tilgang til det medisinske gassanlegget overalt, er muligheten til omorganisering av avdelinger uten betydelige utfordringer.

Assisterende seksjonsleder på avdelingen for rekonstruktiv ortopedi og plastikkirurgi

hadde ingen mulighet til å fylle ut spørreskjema 1.0, men bidro med informasjon angående deres avdelinger, presentert i resultat 4.1.4. På grunn av det høye antallet sengeplasser de har, kunne de vært en ideell kandidat for å initiere dataregistrering av bruksmønsteret, samt potensielt normalgassmengden. Seksjonslederen delte også informasjon om hvilke innstillinger de vanligvis brukte for medisinsk luft og O₂, henholdsvis 8 – 10 *l/min* og 2,5 *l/min*. Disse tallene er interessante, men kan ikke benyttes til det formålet de opprinnelig var ment for. De gir en indikasjon på hva en kan forvente av forbruk på denne typen avdeling, og de kan være nyttige for å kalibrere gjennomstrømningsmålerne. Det ble også nevnt at de hadde mottatt nye masker for medisinsk luft, men at slangen spratt av når de brukte en normalgassmengde på 10 *l/min* på grunn av trykket. Det kan indikere behov for å stramme slangelemmene. Det er heller ikke gunstig for pasienten at utstyret som brukes ikke kan håndtere den aktuelle luftmengden.

Spørreskjema 1.0 kan betraktes som en mislykket datainnsamlingsprosess til det tiltenkte formålet, men det ga svar på andre ting. Resultatene fra spørreskjema 1.0 viste potensialet til et spørreskjema for å avdekke bruksmønster. Dessverre kunne ikke resultatene fra spørreskjema 1.0 sammenlignes med HTM 02-01, da de mangler spesifikk informasjon om tidspunktet på gassbruken. Disse resultatene ga den innsikten som var nødvendig for å videreutvikle spørreskjemaet, slik at det kan gi resultater som kan sammenlignes med HTM 02-01. Det ble også klart at det ikke ville være mulig å anslå normalgassmengden ved hjelp av spørreskjemaet, og derfor ble det tydelig at en ny teknisk løsning var nødvendig, slik som

beskrevet i metoden. Sett i ettertid ville utfyllingen av spørreskjema 1.0 også ha vært preget av synsing og gjetting. Det ble antatt at hvis det var tilstrekkelig data om normalgassmengdene, kunne en summere og beregne gjennomsnittet. Derimot reflekterte ikke dataene om normalgassmengden endret seg under bruk, eller hvor lenge gassen var i bruk. Et eksempel på dette er om normalgassmengden en dag ble satt til $2,5 \text{ l/min}$, og dette er mengden som ble skrevet ned, men senere på dagen ble den endret til $7,0 \text{ l/min}$.

5.2.2 Spørreskjema 2.0

Med tilbakemeldingene fra seksjonslederne ble innsamlingen av data betydelig mer utfordrende. For at et spørreskjema skal fungere effektivt, kreves det en underliggende motivasjon for å svare. Driftsavdelingen hadde ikke mulighet til å implementere motiverende tiltak som kunne oppmuntre helsepersonellet til å besvare spørreskjemaet. I en allerede hektisk arbeidshverdag vil et spørreskjema fra ukjente bachelorstudenter naturligvis ikke være en prioritet. Det ble derfor vurdert at ledelsen måtte involveres, og informere og gjøre det klart hvorfor spørreskjema 2.0 gjennomføres og hva de tjener på det. Det ble tenkt at hvis ledelsen påla de ansatte å fylle ut skjemaet, ville en kunne oppnå bedre resultater. Dersom ledelsen ikke godtar implementeringen av spørreskjema 2.0, vil alternativet være betydelig dyrere og dermed potensielt vanskeligere å gjennomføre. En mulighet kan være å installere gjennomstrømningsmålere i alle rom med gassuttak, men dette vil gjøre metoden ekstremt kostbar. Dette er grunnen til at spørreskjema ble tatt med videre. Svakheten med å bruke spørreskjema er usikkerheten rundt besvarelsene som gis, spesielt med tanke på tidspunktene som blir oppgitt. Disse kan være vanskelig å forholde seg til dersom helsepersonellet som skal fylle ut skjemaet har en travel dag. I et stadig mer digitaliserende samfunn kan det å holde styr på løsark oppleves som belastende. En annen svakhet er jobben med å digitalisere alle svarene i etterkant.

Som tidligere nevnt var spørreskjema 1.0 et tidlig forsøk på å finne svar på problemstillingen. Dette skjemaet banet vei for spørreskjema 2.0 og den nye tekniske løsningen som ble presentert i metoden. Erfaringene fra spørreskjema 1.0 lærte studentene at det er flere faktorer som

må tas i betraktning for at slike skjemaer skal fylles ut, som for eksempel motivasjon, enklere spørsmål og mer konkret utfyllingsmetode. Normalgassmengdene var en av de vanskeligste delene å fylle ut i spørreskjema 1.0, og dette ble derfor fjernet i spørreskjema 2.0. I tillegg ble skjemaet endret fra å være ett ark per dag til en liste som kan fylles ut flere ganger på samme dag, dersom bruken endres. Som nevnt i metode 3.2.2 vil en få ut andelen av rommene på en avdeling som bruker gass samtidig. Samtidigheten som velges må vurderes opp mot hva som er forsvarlig og dekker de fleste behov. Dette vil være et ingeniørfaglig valg.

5.3 Kartlegging av totalforbruk, samtidighet og normalgassmengder

5.3.1 Måleløsning

Som presentert i resultat 4.2.4 ble det valgt en digital måleløsning. Digital måling vil være mer presist og pålitelig enn manuell måling, i form av at gjennomstrømningsmålerne vil gi nøyaktige avlesninger med mindre risiko for menneskelige målefeil. En digital løsning kan samle inn data kontinuerlig og i sanntid, som gir mulighet for en detaljert innsikt i forbruket samt endringer over tid. Det kan være enklere å identifisere mønstre eller eventuelle avvik. En digital måleløsning vil også spare tid og ressurser da mesteparten av prosessene er automatiske. Datasettet kan enkelt behandles og eksporteres når måleperioden er slutt, da datasettet allerede eksisterer i ønsket format.

En tanke var om manuell måling var mulig på sykehuset, men denne ble raskt forkastet. Manuell måling ville ført til et behov for tilstedeværelse inne på rommet samtidig som pasienten for å kunne observere gassmengdene. Det kunne potensielt bli opplevd som ubehagelig for pasienten med fremmede i rommet samtidig som en behandling utføres. Samtidig hadde det vært tidkrevende å notere gassmengden hvert minutt, samt behandling av data i ettertid. En annen løsning her kunne vært å plassere et videokamera rettet mot måleren, for så i ettertid å loggføre tallene fra opptaket. Problemer med denne metoden ville vært at dersom videokameraet går tomt for strøm, eller at en hendelse forstyrrer kameraet, vil målingene bli upresise. Fordi metoden med kamera blir en form for overvåkning kan det tenkes at det er naturlig å kontakte datatilsynet om tenkt gjennomføring er lovlig. Dette er ikke undersøkt ytterligere.

Investerings- og driftskostnadene i en manuell måleløsning vil være mindre enn for den digitale måleløsningen. På en annen side tenkes det at tiden det tar å digitalisere datasettet i ettertid vil gjøre opp for dette. Det ble også tenkt på å beregne vanlige mengder per apparat utifra produktdatabladene for å regne på mengden per rom. Tanken ble raskt forkastet da produktleverandørene oppgir maks leveringsmengde for apparatet, og ikke vanlig og faktisk bruk. Beregningene ville blitt urealistiske og resultatene for store. For eksempel kan et anesthesiapparat levere en maks mengde på 500 l/min , mens en pasient aldri vil trenge mer enn 200 l/min .

5.3.2 Plassering av gjennomstrømningsmålere

Plassering i operasjonsstuen

Det er presentert to alternativer for plassering av gjennomstrømningsmålere på operasjonsstuer; enten direkte i apparatene eller utenfor stuen. På operasjonsstuen for thoraxkirurgi trengs det to tilførsler av O₂ for anesthesiapparatet, og én for hjerte-lunge maskinen. Ved plassering direkte i apparatene vil det her være nødvendig med tre gjennomstrømningsmålere for O₂ per rom for å kunne finne normalgassmengden under en operasjon. Det er ikke nødvendigvis lik sammenstilling av apparater for alle typer operasjonsstuer, så det er rimelig at antall målere vil variere. Det kreves mer tid og arbeid å sammenstille data fra flere separate målere i motsetning til færre. I en operasjonsstue er det mye som skjer samtidig. Blant annet leger og kirurger, maskiner, ledninger og slanger, samt en pasient i kritisk tilstand oppholder seg i samme rom. Plassering av måler i apparatene på stuen vil potensielt kunne oppleves som et forstyrrende element for dem som skal utføre operasjonen. Dette var dog ikke en bekymring hos seksjonsleder for operasjon og perfusjon ved klinikken for thoraxkirurgi. Inngrep på det medisinske gassanlegget unngås ved å plassere målere i apparatene fremfor utenfor stuen. Dette vil være en fordel med tanke på kort nedetid på stuen, mindre planlegging og installasjonskostnader. Installasjonen vil være hurtig og enkel da målerene kun trenger å påkobles apparatene og en strømkilde før de er klar for å logge data. Grunnet manglende distanse fra enkeltmotstander kan det potensielt bli problemer med målingene, men fordi produsentene ikke har spesifisert dette, er det ikke gjort noen rettede tiltak. Etter endt

måleperiode må det vurderes om målingene er blitt påvirket av dette. Dersom det er tilfellet, må tiltak iverksettes. Et alternativ vil da være å sette på et mellomstykke fra apparat til gjennomstrømningsmåler for å skape god distanse mellom dem.

Ved plassering av måler utenfor operasjonsstuen vil det kun være nødvendig med én måler. Dataanalysen blir enklere da det kun vil være ett datasett å forholde seg til. Installasjon utenfor operasjonsstuen krever inngrep på det medisinske gassanlegget, noe som fører til at stuen vil være utilgjengelig i et gitt tidsrom. Installasjonen må være godt planlagt i forkant av inngrepet for å begrense tidsbruk og nedetid på anlegget. Som nevnt i metode 3.2.1 står operasjonsstuene klare for akuttpasienter fredag til søndag. Det vil derfor være best å montere gjennomstrømningsmålere til en av operasjonsstuene i dette tidsrommet. Det må foretases en risikovurdering angående sannsynligheten for at det kommer inn tre akutte hjertepasienter på samme dag og i samme tidsrom, og hva utfallet av et slik scenario vil være. Det kan også vurderes å ha et reservelager med gassflasker dersom scenarioet anses som en stor risiko.

Plassering i pasientrom

Plasseringen av gjennomstrømningsmåler i et standard pasientrom er ansett som mer rett frem. Måleren kobles direkte i uttaket i veggen, og apparatet påkobles herfra. Det må tas i betraktning at potensielle problemer med dataloggingen kan forekomme grunnet at apparatet blir direkte tilkoblet gjennomstrømningsmåleren. Dersom dette er tilfellet må tiltak gjøres som presisert for installasjon direkte i apparatene i operasjonsstuen. Det er ikke behov for å sette måleren utenfor pasientrommet fordi det kun eksisterer ett uttak per gass.

Plassering for avdelingen

Ved plassering av gjennomstrømningsmålere for en avdelingen er det viktig at alle tilførseler er dekt. Med ringsystemet til St.Olavs vil det være mulig for en avdeling å bruke gass fra to ulike steder. Det er nødvendig å måle begge steder for å oppnå et datagrunnlag som kan si noe om samtidigheten og totalforbruket til avdelingen. Produsentene av målerene som er valgt har som sagt ikke spesifisert noe om plasseringen i forhold til enkeltmotstander. Vanligvis oppnås best resultat med god distanse til enkeltmotstander både før og etter måler. For en avdeling blir målerne plassert enten i sjakt eller i korridor, avhengig av plassering som er mest

hensiktsmessig for den enkelte avdelingen. På disse strekkene vil det være godt med plass for måleren, og rikelig distanse fra enkeltmotstander. For rørlegger vil det være god plass og oversikt for montering i sjakt eller korridor, da det er laget gode og romslige skapdører inn til rørene. Avdelingene er også utstyrt med lokale stengeventiler som igjen vil gjøre installasjonsprosessen enklere.

5.3.3 Gjennomstrømningsmålere og produsenter

Termisk-, ultralyd- og differansetrykkmåling er prinsipper som ble vurdert. Etter en del søk på nett ble det funnet flere produsenter som har spesialisert seg innen medisinsk utstyr. Flesteparten baserte seg på termisk måling. Fordelene med dette prinsippet er blant annet nøyaktige målinger over et bredt spekter av strømningshastigheter, lavt trykkfall og rask respons. Ultralydmåling har den store fordelene med at den kan monteres utenpå rørene uten videre inngrep på rørnettet. Det ble også sett på differansetrykkmålere, men det viste seg at det var stort sett termisk måling som går igjen hos produsentene for dette formålet. Dessuten var det kun målere med termisk måleprinsipp som oppfylte ønsket måleområde og nødvendig arbeidstrykk. Derfor er det kun dette som er plukket ut som alternativer. Alle er også utstyrt med modbus.

Bronkhorst

Bronkhorst D-6360 har et stort spenn i måleområde, volumstrøm og rørdimensjon. Dette gjør den tilpasningsdyktig og mulig å montere på de tre ønskede plasseringene. Den kan kalibreres til å jobbe i ønsket måleområde, og har minste måleverdi på $0,4 \text{ l/min}$. Basert på mengder nevnt av ulike seksjonsledere, anses dette som godt nok for å oppfatte de små mengdene av gass som brukes fordi det ikke ble informert om bruk under $1,0 \text{ l/min}$. På en annen side kan en potensiell lekkasje være mindre enn $0,4 \text{ l/min}$, noe som D-6360 ikke vil klare å måle.

Siargo

MF4708 og MF4712 er gode kandidater for ønskede målinger på pasientrom, operasjonsstue og avdeling. Minste måleverdi er $0,4 \text{ l/min}$, som gjelder for MF4708 ved kalibrert område $0 - 20 \text{ l/min}$. Valgfritt adapter gjør modellen veldig fleksibel, og fjerner begrensninger som

kunne oppstått. I teorien kunne en ha laget et festepunkt identisk til slangen som vanligvis påkobles O2 uttaket. Da kan måleren settes direkte inn i uttaket uten flere mellomledd.

VPInstruments

3/8" og 1/2" VPFlowScope In-line var i utgangspunktet gode kandidater, men oppfyller ikke behovslisten presentert i tabell 2 fra metode 3.2.4. 3/8" VPFlowScope In-line kan kalibreres fra 2,15 – 50 *l/min* med minste måleverdi på 2,15 *l/min*. Nøyaktigheten på 5 % er relativt dårlig når, når formålet til måleren er å loggføre mindre mengder. 1/2" VPFlowScope In-line kan kalibreres fra cirka 3,8 – 1333 *l/min* med minste måleverdi på 3,8 *l/min*. Nøyaktigheten på denne er $\pm (1,5 + 0,5FS)$ %, som vil være et bedre alternativ enn 3/8" VPFlowScope In-line. De minste måleverdiene er ikke små nok, og modellen vil dermed ikke kunne detektere mindre bruk av medisinske gasser. Modellen 1/2" VPFlowScope In-line kan vurderes for måling på avdeling, men det forutsetter konstant bruk av minst 3,8 *l/min* for at tallet skal vises i datasettet.

På en avdeling kan forsyningen av gass komme fra flere steder. Dersom forbruker ønsker en mengde på for eksempel 1,0 *l/min* eller 3,0 *l/min* vil ikke en måler med minste måleverdi på 2,15 *l/min* kunne oppfatte dette dersom gassen hentes fra to steder samtidig. Si at det brukes 1,5 *l/min* fra to steder samtidig når bruker ønsker en mengde på 3,0 *l/min*. Måleren vil ikke klare å logge noe under 2,15 *l/min* selvom mengden som brukes egentlig er høy nok til at måleren skulle oppfattet 3,0 *l/min*. Dette må tas hensyn til. Basert på innhentet informasjon fra St.Olavs ser det ut til at det ikke er vanlig å bruke mengder under 1,0 *l/min*. Tidligere presenterte gjennomstrømningsmålere har minste måleverdi på 0,4 *l/min*. Denne vil dermed kunne logge at bruker velger en mengde på nettopp 1.0 *l/min*, gitt at det brukes for eksempel 0,5 *l/min* per avgrening eller 0,4 *l/min* og 0,6 *l/min*. Det er logisk å tenke at et uttak i ringsystemet vil hente gass fra avgreningen som er nærmest uttaket, og dette vil i så fall kun være en vurderingssak dersom det eksisterer mange uttak midt i mellom to avgreninger.

Dräger

IT-systemet Gas Consumption Analytics kan ved hjelp av analyseverktøy bruke dataene fra apparatene for blant annet å øke effektiviteten på et sykehus. En dataanalyse gir verdifull innsikt

for å justere prosesser og forbedre behandling av pasienter, administrere kostnader, forbedre pasientopplevelsen og sikre personalets tilfredshet. Det tenkes at dette systemet høres appellerende ut for sykehuset. Dräger kan levere målemoduler for kartlegging av mengder til oppgavens formål, men dette antas å være dyrere enn de tidligere gjennomstrømningsmålerne som er blitt presentert. Dette er begrunnet av systemets kompleksitet. Systemet blir som regel implementert i medisinske gassanlegg i byggeprosessen av sykehus. Dette gjøres i andre deler av Europa, mens Norge mangler kompetanse per i dag. Derfor blir det ikke gjort her i landet [Salgsingeniør i Dräger Norge, personlig kommunikasjon, 24.04.23]. Dräger's system er uten tvil i stand til å svare på oppgavens problemstilling, men på grunn av at kompetansen om produktene sitter i Tyskland, kan det hende kommunikasjonen oppleves som utfordrende.

Vurdering

Allokering av gasskostnadene på sykehus er blitt vurdert av studentene som en slags bonus av den egentlige problemstillingen. Det ble sjekket opp i hvordan St.Olavs og andre sykehus fakturerte gassen på, og studentene mente at metodene var lite tilfredstillende. Alle avdelingene på St.Olavs betaler i dag for gass uavhengig om de bruker den eller ikke. Den fordeles med tanke på arealet en avdeling disponerer. Dette vil si at for en avdeling som thoraxkirurgi, hvor det kun er operasjonsstuer og et lite areal til disposisjon, men et høyt forbruk av medisinske gasser, betaler en liten andel av gasskostnadene.

Forholdet mellom areal og gass som brukes er forskjellig fra avdeling til avdeling. Dermed skaper dette en skjevfordeling i allokeringen av kostnadene på gassene. Etterhvert som det ble gjort flere og flere søk innen feltet, dukket det opp at Bronkhorst også har skrevet om allokering av gasskostnader ved hjelp av massestrømsmåler. De presenterer kostnaden som en stor del av de totale kostnadene til et sykehus, hvor deres produkter kan fakturere rettferdig mellom ulike avdelinger [39]. Hvorfor dette ikke gjøres i Norge er i grunnen ikke kjent. Av alle personene det er kommunisert med i løpet av prosjektet er det ingen som har nevnt en slik metode for kartlegging. Det var derfor litt overraskende å finne et selskap som tar for seg samme løsning, men for en annen problemstilling. Det er positivt at det allerede eksisterer noen man kan lære fra. Et system med målere og software vil være gunstig for å kartlegge samtidighet og forbruk, men også finne svar den økonomiske allokeringen. Dräger's integrerte

system vil kunne svare på samme problemstilling som Bronkhorst. Dette vil også gjelde for Siargo.

Alle presenterte gjennomstrømningsmålere anses som gode alternativer til metoden. Produktene fra Bronkhorst, Siargo og Dräger krysser av flere bokser enn VPInstruments, men det betyr ikke at VPInstruments kan utelukkes helt som et alternativ. På den andre siden vil det antakeligvis være billigere å kjøpe alle gjennomstrømningsmålere fra kun én produsent, og da vil VPInstruments måtte ekskluderes når det finnes alternativer som kan måle mindre mengder. For dem som utfører prosjektet vil det være produsentenes pristilbud og tilgjengelighet som blir avgjørende faktorer.

5.3.4 Måleperiode for gjennomstrømningsmålere

Måleperioden for pilotprosjektet er satt til fire uker i første omgang. Det er tenkt at fire uker er tilstrekkelig til å fange opp variasjoner i gassmengde og tidsperioder det brukes. Fire uker er også ansett som praktisk gjennomførbart da det er en overkommelig periode å administrere og samle inn data for. Med datagrunnlaget etter måleperioden til pilotprosjektet vil det være mulig å vurdere eventuelle endringer for videre målinger. For at tallene fra St.Olavs skal være representative til å sammenlignes med HTM 02-01, må målingene skje over flere måneder hvor det må tas hensyn til flere faktorer. Blant annet årstid, utvikling i folkehelse og/eller andre hendelser som vil være med å påvirke resultatene. Bare et grovt bilde av forbruket vil bli dannet etter fire uker, men det vil være tilstrekkelig for å kunne starte loggingen av en hel avdeling. Er prosjektet en suksess vil det være opp til dem som finansierte det om det skal skaleres opp. En oppskalering vil innebære kartlegging av samtidighet, totalforbruk og normalgassmengdene for flere avdelinger, samt standard pasientrom og operasjonsstuer for alle gassene. Det vil være mer lønnsomt å dele opp prosjektet i pilot- og oppskalert prosjekt, i tilfelle noe ikke skulle fungere, eller om endringer må gjøres. Det er snakk om store kostnader, og det er best å bruke det på noe man vet fungerer.

For pilotprosjektet er det tenkt å starte med én gass, O₂. Metoden er lik, og målerne vil i prinsippet fungere likt for de andre gassene. De må kalibreres med hensyn til måleintervall og

type gass. For eksempel kan bruk av CO₂ være relativt jevnt, og mengden som brukes vil variere på en mindre skala enn eksempelvis O₂. Når det kommer til N₂O antas det at dette brukes i mye kortere omganger. Her må det vurderes om antall målinger bør være oftere enn én gang per minutt, og i stedet loggføre hvert sekund.

Det vil være opp til St.Olavs å avgjøre om gjennomstrømningsmålerne skal fortsette å monitorere etter endt måleperiode for alle avdelinger, eller om de skal demonteres. Her kan St.Olavs få mulighet til å kjøpe gjennomstrømningsmålerne fra de som finansierte prosjektet. I dette scenarioet vil deler av investeringskostnadene til prosjektet innhentes.

5.4 Prosjektering i forhold til HTM 02-01

5.4.1 Avvikling av N₂O og instrumentluft

Som kjent brukes ikke N₂O lengre på fødeavdelingen. Flere store norske sykehus har også avviklet bruken av N₂O for flere år siden, hovedsakelig på grunn av risikoen for spontanabort for de ansatte [24]. Anestesiavtrekket på St.Olavs klarte ikke å fjerne tilstrekkelig N₂O, noe som kan føre til en høy konsentrasjon av N₂O i luften. Dermed må det enten gjøres noe med avtrekket, eller avvikle hele delen av gassanlegget dersom det ikke er nødvendig i dag lengre. Det kan være aktuelt å vurdere om nye sykehus skal unngå å installere lystgassanlegg på fødeavdelinger for å redusere kostnadene.

Det ble informert om at instrumentluft ikke lenger brukes på klinikken for thoraxkirurgi, og at siste instrument på luft ble brukt i 2010. Det bør gjøres en kartlegging angående bruken av instrumentluft på sykehus i Norge, for å bestemme om det i det hele tatt er nødvendig å dimensjonere og prosjektere anlegg for dette formålet i fremtiden.

Både N₂O og instrumentluft beregnes i HTM 02-01, men funnene i denne oppgaven tilsier at dette ikke vil stemme for norske sykehus og forhold. Det kreves ytterligere undersøkelser angående utfasing av instrumentluft samt N₂O på fødeavdelingen. Dersom det viser seg å ikke være nødvendig å ha gassene tilgjengelig på sentralanlegget, vil det i så fall være et høyt kostnadsbesparende funn.

5.4.2 Fremtidig dimensjonering

Som presentert tidligere er anlegget på St.Olavs dimensjonert slik at det kan kjøres store mengder gass gjennom anlegget. I kapasitetsberegningen for O2 til Linde fra 2020 ble det beregnet at det går an å kjøre 333 l/min O2 for ett uttak på pasientrom. Beregningene er basert på rørdimensjon $\text{Ø}12$ og $\text{Ø}15$, fart på 15 m/s i rørene, og et 10 m strekk fra korridor og frem til tilkobling av utstyr. Utifra dette blir det tydelig at det medisinske gassanlegget for O2 ikke er underdimensjonert. Rørdimensjonen kan nedskaleres på anlegget for kostnadsbesparelser. Mindre dimensjoner er lite hensiktsmessig å gjøre noe med da spesialproduksjon av rør blir dyrt, og det blir utfordrende å montere når delene blir så små. Derfor vil det være mer naturlig å nedskalere rør i korridor dersom en ønsker å minske materialkostnadene.

COWI informerte om at maksfart i rørene er 25 m/s , en begrensning satt på grunn av lyd. I en krise er det derfor ingen begrensning på å kjøre gjennom større mengder. Ved prosjektets slutt, vil en kunne sammenligne datasettet mot HTM 02-01. Dersom det viser seg å være avvik fra standarden, er det mulig å skalere anlegget. Det er primært rørdimensjoner som kan gjøres noe med. I tilfelle stort avvik i form av overdimensjonering vil en kunne gå ned i rørdimensjon, og spare materialkostnader. I tilfelle stort avvik i form av underdimensjonering vil en kunne se til at forsyningssikkerheten er det den skal være. Om dette ikke er tilfellet, må rørdimensjonene skales opp. Det ser ikke ut til at dette vil være tilfellet på St.Olavs.

Et sykehus er samfunnets sikkerhetsnett i tilfelle krise. Kriser kan være alt fra naturkatastrofer, pandemier, terrorangrep eller store ulykker. Sykehuset må stå klart til disposisjon i alle disse scenarioene, og det er ikke begrensning på det medisinske gassanlegget det skal stå på. Samtidig må det tas hensyn til at det i fremtiden vil skje utbygginger, bli tatt i bruk nye behandlingsmetoder, og at gassene kanskje vil bli brukt til nye formål. Medisinsk behandling vil alltid være i forandring, og dette er det lurt å være forberedt på. Det vil være en prioritertingssak på hvor stor villighet det er å betale for samfunnets sikkerhet ved en fremtidig krise. Samtidig er det ikke grunn til å ha et større anlegg enn sykehuset er i stand til å bruke. På et tidspunkt vil begrensende faktor bli fysisk plass. Poenget er å få best mulig helse for pengene.

6 Konklusjon

I datasettene fra St.Olavs er det tydelig at det har skjedd endringer i bruk av medisinske gasser fra 2005 til 2022. Informasjonsinnhenting fra sykehuset og datasettene har gitt perspektiver på endringer som har skjedd. Det viser til flere behandlinger med bruk av CO₂, færre behandlinger med bruk av N₂O, samt mer økonomisk bruk av O₂. Det brukes årlig mindre penger på medisinske gasser i denne perioden. Informasjonen som er presentert kan ikke fortelle noe om forbruket per rom og avdeling, og det kan ikke kommenteres om dimensjonering ved bruk av HTM 02-01 fungerer godt for norske sykehus og forhold.

Det er utarbeidet en metode ved bruk av spørreskjema 2.0 og gjennomstrømningsmålere for å svare ut problemstillingen. I utgangspunktet er det vurdert at spørreskjema generelt ikke er beste fremgangsmåte å innhente informasjon på. Det ble likevel laget spørreskjema 2.0 på bakgrunn av at alternativet vil bli svært kostbart. Det er diskutert at motivasjon må presenteres for ledelsen for å inngå et samarbeid slik at skjema blir utfylt. Det er i sykehusets interesse å finne en god metode for økonomisk allokering, som vil bli et biprodukt av metoden som gir svar på problemstillingen. Resultatet av problemstillingen er i COWI's interesse.

Tre ulike alternativer, gjennomstrømningsmålere fra Bronkhorst og Siargo samt integrert system fra Dräger, er aktuelle for utførelse av metoden. Endelig valg av måler vil avgjøres basert på produsentenes pristilbud og tilgjengelighet. Normalgassmengdene kartlegges og sammenlignes mot HTM 02-01. Samtidigheten beregnes og sammenlignes mot faktoren i standarden. Det er tenkt ut et pilotprosjekt på fire uker for standard pasientrom og operasjonsstue, før det installeres målere for en avdeling. Dersom prosjektet blir vellykket skaleres det opp til flere rom og avdelinger. Videre kan flere gasser kartlegges.

Selv om det ikke er mulig å konkludere om HTM 02-01 er en god eller dårlig standard å følge for norske sykehus og forhold i denne rapporten, er det avdekket mange interessante funn. Et av dem er at St.Olavs i hvert fall ikke er underdimensjonert for dagens bruk.

7 Videre arbeid

Videre arbeid med denne problemstillingen vil være å gjennomføre metoden eller avslutte arbeidet her. Det må ses på om verdien av å finne ut av problemstillingen er større enn kostnadene presentert i denne rapporten. Dersom metoden blir videreført er det en del ting en kan finne ut av i tillegg til de opprinnelige spørsmålene. Allokering av kostnadene kan gjøres bedre, lekkasjer oppdages lettere og bedre, og bedre kontroll generelt på gassforbruket.

Andre funn som ble gjort underveis var blant annet at det er en del støy på operasjonsstuen under operasjon. Dette er noe å tenke på ved fremtidig prosjektering. N₂O ble også avviklet på fødeavdelingen, som følge av dette ble anesthesiavtrekket medicvent flyttet til bruk som diatermiavtrekk. Som nevnt i resultat 4.1.2 oppfyller ikke denne kravene til ISO 16571:2014. Her kan det vurderes om det skal gjøres tiltak for å få denne godkjent til dette bruket. COWI påpekte at det potensielt mangler en bryter i medicventen, men dette har ikke blitt etterfulgt ytterligere med leverandøren om stemmer.

Referanseliste

- [1] Petter Dannevig og Bjørn Pedersen. *luft*. [oppdatert 2019; hentet 27.02.2023]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/luft>.
- [2] Bronkhorst. *About us*. [oppdatert 2023; hentet 14.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.bronkhorst.com/int/about-1/company-profile-en/>.
- [3] Kaeser Compressors. *Water-cooled oil-free air compressors*. [oppdatert u.å.; hentet 02.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://us.kaeser.com/products-and-solutions/rotary-screw-compressors/oil-free-rotary-screw-compressors/water-cooled/>.
- [4] Michael P. Dosch. *The Anesthesia Gas Machine*. [oppdatert 2021; hentet 03.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://healthprofessions.udmercy.edu/academics/na/agm/10.htm>.
- [5] Dräger. *Gas Consumption Analytics*. [oppdatert 2023; hentet 11.05.2023]. Tilgjengelig fra: https://www.draeger.com/en_me/Products/Gas-Consumptions-Analytics.
- [6] Endress+Hauser. *The Differential Pressure Flow Measuring Principle (Orifice-Nozzle-Venturi)*. [oppdatert 2009; hentet 12.04.2023]. Tilgjengelig fra: https://www.youtube.com/watch?v=oUd4WxjoHKY&t=2s&ab_channel=Endress%2BHauser.
- [7] Endress+Hauser. *The Thermal Flow Measuring Principle*. [oppdatert 2009; hentet 12.04.2023]. Tilgjengelig fra: https://www.youtube.com/watch?v=YfQSf2NBGqc&t=32s&ab_channel=Endress%2BHauser.
- [8] Endress+Hauser. *The Ultrasonic Flow Measuring Principle*. [oppdatert 2009; hentet 12.04.2023]. Tilgjengelig fra: https://www.youtube.com/watch?v=Bx2RnrflkQg&t=2s&ab_channel=Endress%2BHauser.
- [9] UiO - Det medisinske fakultet. *Kikkhullskirurgi bedre enn åpne operasjoner ved behandling av leversvulster*. [oppdatert 2028; hentet 16.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/kikkhullskirurgi-bedre-enn-apne-operasjoner-ved-behandling-av-leversvulster?publisherId=7849419&releaseId=16687186>.
- [10] Den Europeiske Farmakopé. *Den Europeiske Farmakopé*. [oppdatert u.å.; hentet 02.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.edqm.eu/en/european-pharmacopoeia>.

- [11] Even Fladberg. *Slik virker ultralyd mengdemåler*. [oppdatert 2013; hentet 25.04.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/slik-virker-ultralyd-mengdemaler/218865>.
- [12] Department of Health. *Medical gases Health Technical Memorandum 02-01: Medical gas pipeline systems Part A: Design, installation, validation and verification*. [oppdatert u.å.; hentet 27.02.2023]. Tilgjengelig fra: https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads/2021/05/HTM_02-01_Part_A.pdf.
- [13] St. Olavs hospital. *Historien om St. Olavs hospital*. [oppdatert 2017; hentet 02.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://stolav.no/om-oss/historien-om-st-olavs-hospital>.
- [14] i3wtz/Shutterstock. *Respirator*. [oppdatert 2021; hentet 10.03.2023]. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/respirator>.
- [15] Cecilie Arentz-Hansen Kåre Moen Ingrid H. Johansen Jesper Blinkenberg. *Oksygenbehandling*. [oppdatert 2021; hentet 27.02.2023]. Tilgjengelig fra: https://lvh.no/naar-det-haster/praktiske_ferdigheter/oksygenbehandling/oksygenbehandling.
- [16] Soma Tech intl. *LivaNova Sorin Stockert S5*. [oppdatert 2023; hentet 03.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.somatechnology.com/Heart-Lung-Machines/LivaNova-Sorin-Stockert-S5.aspx>.
- [17] Helge Opdahl og Johan Ræder. *Respirator*. [oppdatert 2021; hentet 10.03.2023]. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/respirator>.
- [18] Linde. *Karbondioksid (medisinsk utstyr)*. [oppdatert 2023; hentet 01.03.2023]. Tilgjengelig fra: https://www.linde-healthcare.no/no/products_services_ren/products_services_category/gases_used_healthcare/carbon_dioxide/index.html.
- [19] Linde. *Linde*. [oppdatert 2023; hentet 06.03.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.linde-healthcare.no/no/index.html>.
- [20] Massflow. *Accuracy: % Full Scale vs. % Reading*. [oppdatert u.å.; hentet 10.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.massflow-misc.com/frequently-asked-questions/general/accuracy-full-scale-vs-reading/>.
- [21] Massflow. *What does turndown ratio mean?* [oppdatert u.å.; hentet 10.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.massflow-misc.com/frequently-asked-questions/general/what-does-turndown-ratio-mean/>.

- [22] Mediq. *Flow-i C30*. [oppdatert 2023; hentet 10.03.2023]. Tilgjengelig fra: <https://mediqnorger.no/Produkter/anestesiintensiv/anestesiapparat/maquet-flowi/flowi-c30>.
- [23] Norconsult. *Sykehus, omsorg- og helsebygg*. [oppdatert u.å.; hentet 27.02.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.norconsult.no/kompetanse/leveranser/sykehus-omsorg-og-helsebygg/>.
- [24] NRK. *Fødende får ikke lystgass*. [oppdatert 2011; hentet 14.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/osloogviken/rikshospitalet-dropper-lystgass-1.7709173>.
- [25] NSALK. *For pasienter og pårørende*. [oppdatert u.å.; hentet 10.05.2023]. Tilgjengelig fra: <http://www.nsalk.org/pasienterogparorende>.
- [26] Helge Opdahl. *insufflasjon*. [oppdatert 2019; hentet 01.03.2023]. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/insufflasjon>.
- [27] Helge Opdahl. *anestesiapparat*. [oppdatert 2019; hentet 10.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/anestesiapparat>.
- [28] Bjørn Pedersen. *Nitrogenoksider i Store norske leksikon*. [oppdatert 2023; hentet 27.02.2023]. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/lystgass>.
- [29] Mone Celin Skrede Per Anders Johansen. *274.000 fikk utsatt behandling. Disse pasientene er hardest rammet*. [oppdatert 2020; hentet 09.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.aftenposten.no/norge/i/Jok0w6/274000-fikk-utsatt-behandling-disse-pasientene-er-hardest-rammet>.
- [30] Pneumofore. *Central Medical Vacuum*. [oppdatert 2023; hentet 06.03.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.pneumofore.com/vacuum-medical/>.
- [31] Siargo. *About us*. [oppdatert 2023; hentet 14.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.siargo.us/about.html>.
- [32] Øyving Stople Siversten. *Oksygen i forkledning*. [oppdatert 2018; hentet 27.02.2023]. Tilgjengelig fra: <https://tidsskriftet.no/2018/10/sprakspalten/oksygen-i-forkledning>.
- [33] Rolf Skatvedt. *Fundamentale sensorbeskrivelser*. [oppdatert 2014; hentet 25.04.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/fundamentale-sensorbeskrivelser/219173>.
- [34] Kaare Solheim. *hjerte-lunge-maskin*. [oppdatert 2019; hentet 03.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/hjerte-lunge-maskin>.

- [35] Sykehusbygg. *Spesialrom*. [oppdatert 2022; hentet 18.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.sykehusbygg.no/kunnskapsdeling/spesialrom>.
- [36] UiO. *Illustrasjon måleteori*. [oppdatert u.å.; hentet 20.04.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS1210/v18/notater/14-fys1210-2018-uke16-sensorer.pdf>.
- [37] Steve Veck. *Informasjonshäfte om kirurgisk røyk*. [oppdatert 2021; hentet 10.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.molnlycke.no/SysSiteAssets/master-and-local-markets/documents/norway/surgical-documents/nedlastinger/plume-pen---handbook.pdf>.
- [38] Vpinstruments. *About us*. [oppdatert 2023; hentet 14.05.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.vpinstruments.com/about-us/>.
- [39] James Walton. *How Mass Flow Meters can help hospitals save on medical gases*. [oppdatert 2020; hentet 25.04.2023]. Tilgjengelig fra: <https://www.bronkhorst.com/en-gb/blog/how-mass-flow-meters-can-help-hospitals-save-on-medical-gases-en/>.

Vedlegg

Vedlegg 1: Siargo MF4700 Series

Vedlegg 2: Bronkhorst DATASHEET D-6360

Vedlegg 3: VPInstruments VPFlowScope In-line

Vedlegg 4: VPInstruments VPFlowScope In-line 3/8"

Vedlegg 5: Dräger Gas Consumption Analytics – Data Analytics in the OR

Vedlegg 6: Medicvent 190001 Central fan system Installation and maintenance Serie 12-

Vedlegg 7: Trykkluft

Vedlegg 8: Medisinske gasser

Vedlegg 9: Systemskjema Medisinsk trykkluft

Vedlegg 10: Spørreskjema 1.0

Vedlegg 11: Spørreskjema 2.0

Vedlegg 12: St. Olavs Hospital Rapport – kapasitet på fordelingsanlegg for medisinsk oksygen

