

Institutt for bygg- og energiteknikk — Energi og miljø i bygg

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

Webside: www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

OPPGAVENS TITTEL: Inneklimaparameter til styring av ventilasjon i svømmeanlegg, en case-studie.	DATO: 25.05.2022
	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 58/6/10 Filer
FORFATTERE: Nikola Kostovic	VEILEDER: Wolfgang Kampel
UTFØRT I SAMARBEID MED: Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT), NTNU - Bjørn Aas	KONTAKTPERSON:

KORT SAMMENDRAG: <p>Svømmehaller er veldig spesielle typer bygg på grunn av høy Relativ Fuktighet og høy Luft Temperatur. Vanligvis bruker svømmehaller RF og T sensorer for styring av ventilasjon. Målet med denne oppgaven er å lage en styringsalgoritme som skal ta hensyn på menneskets tilstedeværelse, andre inneklima parametere og ventilasjons luftmengder. Det ble gjort flere loggmålinger i svømmehallen, hvor det ble målt CO₂, RF, T, og vindhastighet. Deretter ble alle svarene lagd inn i grafer og tabeller. Så ble det gjort en korrelasjonsanalyse for å se sammenheng, og deretter ble det gjort en regresjonsanalyse av den parameteren som har størst korrelasjon med antall mennesker. Den blir da uavhengig variabel, mens andre inneklimaparametere blir avhengige parametere.</p> <p>Algoritmen viser å være ganske presis, med Standard Error på 53,3ppm, som er ganske bra, siden CO₂ konsentrasjon i hallen ligger på rundt 550. Den er mest påvirket av Luft Temperatur (-23.99), mens menneskets tilstedeværelse påvirker den med kun +2,6.</p> <p>Spørreundersøkelsen viser at de fleste er fornøyde med inneklima, mens det er mange som opplever at det er enten for varmt/kalt/ujevn temperatur. Det kan skyldes på grunn av alder, kjønn, metabolisme, osv.</p>

NØKKEWORD (en per linje): -Svømmehall -Ventilasjon -Algoritme
--

Forord

Denne masteroppgaven er et resultat i det 2-årige masterstudiet Energi og Miljø i Bygg ved Oslo Metropolitan University (OsloMet), våren 2022. Oppgaven er gitt av Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Masteroppgaven gir 30 studiepoeng og er under fagkoden MAEN5900. Masteroppgaven skulle utføres i løpet av 5 måneder.

Jeg vil takke min veileder Wolfgang Kempel for hans støtte og veiledning gjennom semestret. Jeg vil også takke medveileder Bjørn Aas og hans kollegaer ved Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT), og alle ansatte hos Rud Svømmehallen. De har bidratt med faglig påfyll, de ga meg nødvendig data og veiledning.



Oslo, mai 2022

Sammendrag

Innadørs svømmehaller er veldig populære fritids og sports anlegg over hele verden. Hvis de sammenlignes med vanlige bygg, ville det fås flere forskjellige utfordringer når det gjelder ventilasjon, oppvarming og avfuktning. For å kunne opprettholde termisk komfort, er det nødvendig å ha høy lufttemperatur. Luften er også påvirket av ventilasjon og vannbehandlingssystem. For å beholde lavt energibehov så er det nødvendig med omluft når det gjelder svømmehaller. Bærum Svømmehallen ligger på Rud og ble åpen den 16. august 2022. Selve svømmeanlegget er et av Norges mest klima og energivennlige svømmeanlegg. Den er også Norges første BREEAM- sertifiserte badeanlegg. Ventilasjonssystem som brukes i hallen er fortrenningsventilasjon, med tilluftskanaler ved siden av vinduer, og en stor avtrekkskanal som er plassert på en vegg. Ventilasjonssystemet bruker sensorer for Relativ Fuktighet og Luft Temperatur.

Målet med denne oppgaven er å lage en mer avansert styringsalgoritme for ventilasjon hvor personbelastning tas i hensyn samtidig med CO₂, RF, Luft Temperatur, og Ventilasjonsluftmengder. Hele oppgaven dreier seg om inn klima og termisk komfort.

Feltarbeid ble utført i svømmehallen på Rud. Måling av Relativ Fuktighet, Luft Temperatur, CO₂, luft hastighet ble gjort, samtidig ble det gjort beregning av fordampningen. Det ble gjort to variasjoner av målinger. En måling hvor det ble målt i 10 punkter rundt i bassenget, og en logg måling, hvor det ble målt over et døgn i et punkt. I tillegg ble det delt ut spørreundersøkelse skjema, hvor alle som var til stede kunne fylle den inn, og gi deres tilbakemelding om inn klima. Etter at feltarbeid ble ferdig, ble det lagd grafer og tabeller, og deretter ble de sammenlignet med forskjellige standarder og forskrifter. Ved å sammenligne CO₂ nivå over et døgn og antall mennesker, og RF over et døgn og antall mennesker, ble det sett visuelt at det er mye større sammenheng mellom CO₂ og antall mennesker enn det er mellom RF og antall mennesker. Etter at det ble gjort en korrelasjonsanalyse, ble det bevisst at det ble tenkt riktig, og at CO₂ er mer korrelert med antall mennesker enn det er RF. Derfor ble det brukt CO₂ som uavhengig variabel for regresjonsanalysen. Som ble utført på excel.

Algoritmen som ble lagd for predikering av CO₂ konsentrasjon består av følgende parameter: Antall Mennesker, Relativ Fuktighet, Friskluft, Omluft og Luft Temperatur. Algoritmen blir mest påvirket av Luft Temperatur (-23.99), det vil si ved hver økning av 1°C faller CO₂ nivå med -23.99(på grunn av minus tegnet), og RF(4.3), mens antall mennesker påvirker den med kun 2.6. Standard Error for modellen er 53.63. Den gjennomsnittlige CO₂ nivå er rundt 550, som gjør at Standard Error blir rundt 10%. Det vil si at den er bra. Det ble gjort tre forskjellige simuleringer med algoritmen, dagdrift, nattdrift og tilfeldig drift. Det viste seg at algoritmen viser laveste verdier om natta, siden da er det veldig høy lufttemperatur, og Standard Error blir da rundt 40, mens for dagdrift er den rundt 60. Mens for tilfeldig drift viste den å predikere bra nok, men LT spiller veldig stor rolle. Hvis CO₂ ute ble også logget ville det vært mye bedre, siden da ville vi hatt en referansekonsentrasjon som kunne gjøre modellen mye bedre.

Spørreundersøkelsen viste at det er mange som er fornøyde med inneklima, men det er flere som opplever at det er for varmt eller for kaldt, men på grunn av kjønn, alder og andre faktorer er det akseptabelt. Men Siden det er et begrenset antall mennesker som svarte på den så kan det ikke trekkes noe konklusjon.

English Summary

Indoor swimming pools are extremely popular leisure and sports facilities all over the world. If they are compared to ordinary buildings, there would be several unique designs in terms of ventilation, heating and dehumidification. In order to maintain thermal comfort, it is necessary to have a high air temperature. The air is also affected by ventilation and water treatment system. In order to maintain a low energy requirement, it is necessary to have recirculated air when it comes to swimming pools. Bærum Swimming Hall is located on Rud and was opened on 16 August 2022. The swimming facility itself is one of Norway's most climate and energy-friendly swimming facilities. It is also Norway's first BREEAM-certified bathing facility. Ventilation system used in the hall is displacement ventilation, with supply air ducts next to windows, and a large exhaust duct located on a wall. The ventilation system uses sensors for Relative Humidity and Air Temperature.

The aim of the task is to create a more advanced control algorithm for ventilation where personal load is taken into account at the same time as CO₂, RF, Air Temperature, and Ventilation air volumes. The whole task is about indoor climate and thermal comfort.

Field work was conducted in the swimming pool at Rud. Measurement of Relative Humidity, Air Temperature, CO₂, air velocity was done, at the same time the evaporation was calculated. Two variations of measurements were made. A measurement where it was measured in 10 points around the pool, and a log measurement, where it was measured over a day in one point. In addition, a questionnaire was distributed, where everyone who was present could fill it out and give their feedback on the indoor climate. After field work was completed, graphs and tables were made, and then they were compared with different standards and regulations. By comparing CO₂ levels over a day and number of people, and RF over a day and number of people, it was seen visually that there is a much greater connection between CO₂ and number of people than there is between RF and number of people. After a correlation analysis was done, it became clear that it was thought correctly, and that CO₂ is more correlated with the number of people than it is RF. Therefore, CO₂ was used as an independent variable for the regression analysis. Which was performed on excel.

The algorithm that was created for predicting CO₂ concentration consists of the following parameters: Number of People, Relative Humidity, Fresh Air, Recirculated Air and Air Temperature. The algorithm is most affected by Air Temperature (-23.99), i.e., with each increase of 1°C the CO₂ level drops by -23.99 (due to the minus sign), and RF (4.3), while the number of people affects it by only 2.6. The default error for the model is 53.63. The average CO₂ level is around 550, which makes the Standard Error around 10%. That is, it is good. Three different simulations were performed with the algorithm, day mode, night mode and random operation. It turned out that the algorithm shows the lowest values at night, since then it is very high air temperature, and Standard Error is then around 40, while for daytime operation it is around 60. While for random operation it showed to predict well enough, but LT plays very big role. If CO₂ outside was also

logged, it would be much better, since then we would have a reference concentration that could make the model much better.

The survey showed that there are many who are happy with the indoor climate, but there are more who experience that it is too hot or too cold, but due to gender, age and other factors, it is acceptable. But since there are a limited number of people who responded to it, no conclusion can be drawn.

Forkortelser

Symbol	Forklaring
BRA	Bruksareal
CO ₂	Karbon dioksid
Ppm	Deler per million
RF	Relativ Fuktighet
LT	Luft Temperatur
TEK	Norsk Byggteknisk forskning
A.M.	Antall Mennesker

Begrepsliste

Brukere	Alle mennesker som oppholder seg i svømmehallen
Stort basseng	Basseng med dimensjoner 50x25m
Opplæringsbasseng	Basseng med dimensjoner 12.5x9.5m
Forsøk 1	Forsøk som ble gjort først, det vil si måling i 10 forskjellige punkter rundt i bassenget rundt
Forsøk 2	Forsøk hvor det ble gjort logg målinger over 23:30h.

Figurliste

Figure 1 Omrøringsventilasjon prinsip	11
Figure 2 Fortrengningsventilasjon prinsip	12
Figure 3 Omvendt fortrengningsventilasjon prinsip	13
Figure 4 Regresjonsanalyse- Excel- Eksempel.....	18
Figure 5 Rud Svømmehall.....	21
Figure 6 Belligenhet av Rud Svømmehallen.....	22
Figure 7 Avvtrekk i Rud Svømmehallen.....	24
Figure 8 Tilluft i Rud Svømmehallen	25
Figure 9 10 Målepunkter i Rud svømmehallen.....	29
Figure 10 Måledata samlet i Excel ark, Første 20 punkter	31
Figure 11 CO2 konsentrasjon, målt i ti punkter rundt i svømmehallen.....	32
Figure 12 Luft Temperatur målt i ti punkter rundt i svømmehallen.....	33
Figure 13 Relativ Fuktighet målt i ti punkter rundt i svømmehallen.....	34
Figure 14 Vind hastighet målt i ti punkter rundt i svømmehallen	35
Figure 15 CO2 konsentrasjon målt over 23 timer	36
Figure 16 CO2 konsentrasjon sammenlignet med antall mennesker	37
Figure 17 Luft Temperatur Målt over 23h	37
Figure 18 Luft Temperatur Målt over 23h sammenlignet med antall mennesker	38
Figure 19 Relativ Fuktighet målt over 23h	39
Figure 20 Relativ Fuktighet målt over 23h. Med hensyn på mennesker	40
Figure 21 Korrelasjonsanalyse mellom Relativ Fuktighet og Antall Mennesker.....	41
Figure 22 Korrelasjon mellom Antall mennesker og Relativ fuktighet- graf.....	42
Figure 23 Korrelasjon mellom CO2 og antall mennesker.....	42
Figure 24 Korrelasjon mellom CO2 og antall mennesker- graf.....	43
Figure 25 Regresjonsanalyse. Analyse nummer 1	44
Figure 26 Regresjonsanalyse. Analyse nummer 2.....	45
Figure 27 R square	45
Figure 28 Significance	46
Figure 29 Tabellen som tregnes for å lage algoritmen	46
Figure 30 Data som brukes for testing av algoritmen-dagdrift	48
Figure 31 Data som brukes for testing av algoritmen-nattdrift.....	49
Figure 32 Q-trak 7575 med probe som måler CO2, RF og T.....	61
Figure 33 Swema 3000 med probe som måler vindhastighet og lufttemperatur	62

Tabelliste

Table 1 MET-verdier for forskjellige aktiviteter.....	5
Table 2 Krav til vanntemperatur fra Norsk Svømmeforbund, Byggforsk Tabell 15.....	7
Table 3 Verdier for vannoverføringskoeffisienter, hentet fra VDI-RICHTLINIEN.....	16
Table 4 Regression Statistics.....	18
Table 5 ANOVA.....	19
Table 6 Regresjonskoeffisienter.....	19
Table 7 U verdier for Rud Svømmehallen.....	23
Table 8 Temperaturer som brukes inn i hallen.....	23
Table 9 Oversikt over aggregater og deres max luftmengder.....	26
Table 10 Nøyaktige luftmengder som ble brukt i svømmehallen da målingene skjedde.(Første 20 måleintervaller).	27
Table 11 Testing av algoritmen-dagdrift.....	48
Table 12 Testing av algoritmen- nattdrift.....	50
Table 13 Testing av algoritmen-tilfeldig drift.....	51
Table 14 Spørsmål knytet til atmosfærisk miljø.....	53
Table 15 Spørsmål knytet til termisk miljø.....	54
Table 16 Oversikt over måleinstrumenter.....	61

1 Innholdsfortegnelse

Forord.....	ii
Sammendrag.....	iii
English Summary.....	v
Forkortelser.....	vii
Begrepsliste	viii
Figurliste.....	ix
Tabelliste.....	x
Introduksjon.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Mål.....	1
1.3 Tilnæringsmåte.....	2
1.4 Begrensninger.....	3
2 Bakgrunn og Teori.....	4
2.1 Inneklima generelt.....	4
2.1.1 Termisk miljø.....	4
2.1.2 Atmosfærisk miljø.....	6
2.2 Inneklima i svømmehaller.....	7
2.2.1 Termisk miljø:.....	7
2.2.1.1 Temperatur:.....	7
2.2.2 Atmosfærisk miljø:.....	8
2.3 Krav for inneklima i svømmehaller.....	9
2.4 Brukere.....	9
2.5 Bygningskroppen.....	10
2.6 VENTILASJONSTYPER.....	11
2.6.1 Omrøringsventilasjon.....	11
2.6.2 Fortrengningsventilasjon.....	12
2.6.3 Omvendt fortrengningsventilasjon.....	13
2.7 Ventilasjon i svømmehaller.....	13
2.8 Ventilasjonskrav til svømmehaller.....	14
2.9 Kondens.....	14
2.10 Fordampning av bassengvann og beregning av vannfordampningen.....	15
2.11 Algoritme.....	16
2.11.1 Korrelasjon.....	16
2.11.2 Regresjon.....	17
3 Bærum idrettspark svømmehall.....	21
3.1 BELLIGENHET OG KLIMA.....	22
3.2 Utforming av Rud svømmebassenget.....	22
3.3 Filtrering av vann i Rud Svømmehallen.....	23
3.4 Ventilasjonssystem i Rud Svømmehallen.....	24
3.4.1 Oppvarming av luft og vann i Rud Svømmehallen.....	25
3.4.2 Luftmengder i Rud Svømmehallen.....	26
3.5 Buffersone.....	27

4	Metoder og materiale.....	28
4.1	CO ₂ , Relativ Fuktighet og Temperatur.....	28
4.2	Vindhastighet.....	29
4.3	Antall Personer.....	30
4.4	Ventilasjonsdata.....	30
4.5	Algoritme.....	30
4.5.1	Korrelasjon.....	30
4.5.2	Regresjon.....	31
5	Resultater og diskusjon.....	32
5.1	Forsøk nummer 1.....	32
5.1.1	CO ₂	32
5.1.2	Luft Temperatur.....	33
5.1.3	Relativ Fuktighet.....	34
5.1.4	Vind Hastighet.....	35
5.2	Forsøk nummer 2.....	36
5.2.1	CO ₂	36
5.2.2	Luft Temperatur.....	37
5.2.3	Relativ Fuktighet.....	39
5.3	Beregning av vannfordampning i svømmebassenget.....	40
5.4	Algoritme.....	41
5.4.1	Korrelasjon.....	41
5.4.2	Regresjonsanalyse.....	43
6	Spørreundersøkelse.....	52
6.1	Metode:.....	52
6.1.1	Resultater.....	52
7	Konklusjoner.....	55
8	Videre arbeid.....	57
9	Referanser:.....	58
10	VEDLEGG.....	59
10.1	Ørebro Spørreundersøkelse.....	59
10.2	Instrumenter.....	61
10.3	Vannbehandling systemskjema.....	63

Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Innendørs svømmehaller er veldig populære fritids og sports anlegg over hele verden. I dag (2022) finnes det over 1000 forskjellige svømmeanlegg I Norge. (*Svømmeidrett og svømmeanlegg i Norge 2022*). Hvis man sammenligner de med vanlige bygg, ville man fått flere utfordringer når det gjelder ventilasjon, oppvarming og avfuktning. For å kunne vedlikeholde termisk og atmosfærisk komfort og for å unngå bygg skade så er det nødvendig å kontrollere flere inneklimate parametere. Fordamping fra svømmehallen fører til høy RF, og samtidig menneskets tilstedeværelse påvirker også RF, T, CO₂ og luftmengde som brukes. I tillegg må høy temperatur opprettholdes for å opprettholde God termisk komfort. Luftkvaliteten påvirkes også av vannbehandling system, og effektivt ventilasjonssystem er nødvendig.

Rud svømmehallen I Bærum kommune ble åpnet I august 2021. Ved siden av svømmehallen på den nordøstlige delen er det begynt med bygging av et nytt utendørs friidrettsanlegg, cricket, rullerløype og baseballbane.

(*Rud svømmeanlegg, 2021*)

1.2 Mål

Målet med denne oppgaven er å lage en mer avansert ventilasjon styringsalgoritme som vektlegger personbelastning i større grad, og som samtidig skal inneholde flere inneklimate parameter og ventilasjons luftmengder. Algoritmen skal lages av alle inneklimateparametere som ble målt, antall personer, luftmengde og dermed skal den forutsi CO₂ konsentrasjon som skal forekomme ved forskjellig konsentrasjon av disse parametere. En spørreundersøkelse ble sendt til svømmerne og til medarbeidere for å se deres oppfatning av inneklimate.

Hele oppgaven baseres seg rundt disse spørsmål:

Er det mulig å lage en algoritme for styring av inneklimate som prioriterer menneskets tilstedeværelse i litt større grad, og som samtidig omfatter andre inneklimate parameter og luftmengder? Er algoritmen bra nok?

Fungerer ventilasjonen som det forventes basert på svarene fra spørreundersøkelsen? Er inneklimate tilfredsstillende basert på spørreskjemaet?

Følgende oppgaver skal vurderes:

1. Litteraturgjennomgang: Finne mange artikler, standarder, forskrifter, som kunne hjelpe med oppgaveskriving.
2. Teknisk del: Måle forskjellige inneklimatestene i svømmehallen. Målet med det er for å se om hvordan inneklimatest i svømmehallen er, og om det burde endres noe i ventilasjonssystemet. Fordampningen skal også regnes ut, og deretter se om den er for stor eller for liten.
3. Grafisk del: Lage grafer ut fra de måleresultatene som ble fått. Sammenligne de med forskjellige standarder og forskrifter, og deretter sammenligne de med antall mennesker. Grunnen til at de sammenlignes med antall mennesker er for å se hvilken inneklimatest henger mest med antall mennesker visuelt.
3. Algoritmeflagging: Lage korrelasjonsanalyse mellom forskjellige inneklimatestene og antall mennesker for å se hvordan de henger sammen matematisk. Inneklimatest som henger mest sammen med antall mennesker skal deretter brukes som uavhengig variabel i regresjonsanalysen. Deretter skal det lages en regresjonsanalyse og alle data som ble samlet fra første 3 oppgaver skal brukes. Målet med det er å lage en algoritme som skal styre ventilasjon ut fra menneskets tilstedeværelse, inneklimatestene og luftmengder samtidig.
4. Brukerens tilfredsstillelse: Vurdere inneklimatest ut fra en spørreundersøkelse. Både ansatte og svømmere skal fylle den opp. Målet med undersøkelsen er å se om inneklimatestene som før ble målt har påvirkning på deres oppfatning av inneklimatest.

1.3 Tilnæringsmåte

I begynnelsen av semestret, hovedfokus var på innsamling av relevant data, standarder og litteratur om ventilasjon, inneklimatest, primært i svømmehaller. Det var flere søkemotorer som ble brukt, som for eksempel Google Scholar og Science Direct.

Før feltarbeidet ble utført ble hvert utstyr testet for å sjekke om den er kalibrert. Deretter ble Q-track brukt for å måle Relativ Fuktighet, CO₂ og Temperatur ved Rud Svømmehallen, mens Swema-3000 ble brukt for å måle vindhastighet. Mens målingene ble utført, ble spørreundersøkelsen delt ut til de som var til stedet. Hovedfokus var de som var litt eldre. Data om antall personer som var til stedet ble hentet fra

kameraleverandøren i form av en excel fil. Data om luftmengder som ble brukt denne dagen ble også fått i form av en excel fil.

Etter at feltarbeidet ble utført, ble det gjort korrelasjonsanalyse og beregning av fordampningen. Deretter ble alle resultatene innsamlet, og så ble alle resultatene representert i form av tabeller og grafer.

Ut fra resultatene som ble fått, så ble det laget en algoritme ved hjelp av en regresjonsanalyse. Deretter bruktes denne modellen for å forutsi CO₂ konsentrasjon gjennom dag, natt, og tilfeldig drift.

1.4 Begrensninger

Siden hovedfokus for ventilasjonsanlegg er på termisk og atmosfærisk miljø, ville den oppgaven hatt mest fokus på dem.

Når det gjelder spørreundersøkelsen, så var det både ansatte og svømmere som tok den. Så alle svar som ble fått ble behandlet som de er like, selv om de svømmer eller ikke.

I planleggingsfasen, ble det planlagt at selve loggmålingen skulle skje midt i svømmebassenget, men på grunn av spruting fra svømmere ble det bestemt at selve logg måling skal skje utafor bassenget, fra en trygg avstand. Det ble også tenkt at målingene skulle gjøres i det mindre bassenget også. Men det ble avlyst på grunn av det krevde veldig mye arbeid og tid.

Resultatene kunne vært litt mer troverdige hvis det ble brukt flere Q-track samtidig. Det vil si hvis vi måler på flere steder samtidig, og deretter å sammenligne svarene med hverandre. På den måten kunne vi sett forskjellen mellom for de stedene når det gjelder inneklimateparameterne.

For regresjonsanalysen ville det vært bedre hvis CO₂ utekonsentrasjon ble også loggmålet. Det kunne hjelpe med Referanse konsentrasjon, og modellen ville da vært mye annerledes. Men siden det var februar, og jeg ikke bor i nærheten av Bærum, ble det ikke mulig å gjøres.

Det er veldig begrenset antall studier når det gjelder inneklimate i svømmehaller, noe som gjør det vanskelig å finne adekvat informasjon. Derfor ble det også brukt flere leksikon, blogg, og nettsider siden de har en del informasjon som er ganske nyttig for denne tema, men dessverre er de litt mindre troverdige enn de infoene som står i bøker.

2 Bakgrunn og Teori

2.1 Inneklima generelt

Godt inneklima spiller en viktig rolle, spesielt hvis man oppholder seg i et bygg flere timer. Det er derfor viktig å opprettholde godt inneklima i svømmehaller, slik at alle badegjestene og aktive svømmere ikke skal ha noen helse vanskeligheter ved å være der. Inneklima deles opp i fem ulike undergrupper, som er

- Termisk miljø
- Atmosfærisk miljø
- Akustisk miljø
- Aktinisk miljø
- Mekanisk miljø

I tillegg finnes det også:

- Estetisk miljø
- Psykososialt miljø

Til sammen de syv gruppene lager innemiljø. Men i denne oppgaven er det hovedfokus på Termisk og atmosfærisk inneklima. (Allergiforbundet, 2016).

2.1.1 Termisk miljø

Det termiske miljøet samler alle parameterne som kan påvirke varmebalanse av menneskets kropp. (Ingebrigsten, 2016). Parameterne som påvirker menneskets kropp er: romlufttemperatur, strålingstemperatur, aktivitetsnivå, påkledning og luftfuktighet. (Allergiforbundet, 2016).

2.1.1.1 Termisk komfort

Termisk komfort representerer når en person er komfortabel med sitt termisk innemiljø. Den er ikke alltid lett å oppnå. For å kunne oppnå dette brukes forskjellige varme, ventilasjons og kondisjonerings løsninger. (Netinbag, 2022).

Termisk komfort påvirkes av:

- Luftens tørrkuletemperatur
- Termisk stråling i rommet
- Luftens hastighet og turbulens

- Luftens vanddampinnhold
- Personens aktivitetsnivå
- Personens bekledding

(Novakovic, 2007)

I en mindre grad påvirkes den også av oppholdssted, oppholdstid, termiske egenskaper ved gulv og møblement og kroppens stilling. Alter, kjønn, sinnstilstand og psykiske legning, tretthet, sult, metthet og fordøyelse spiller også en rolle. (Novakovic, 2007)

Termisk komfort bestemmes av de fysiologiske kriteriene (Novakovic, 2007)

Hudtemperatur, 32-34°C

Kjernetemperatur, 37-38°C

Svettesekresjon, <<hudvåthetsgrad>> <0,25

Aktivitetsnivå av en person spiller en viktig rolle når man bestemmer termisk komfort. Energien som produseres ved oksidasjonsprosessen i menneskets kropp kalles metabolisme [W/m^2]. Den største delen av energien går til intern varmeproduksjon. Avhengig av aktivitetsnivå og jo mer aktiv man er jo fortere metabolismen blir. Energien er uttrykt ved m^2 kroppsoverflate. For en voksen person, gjennomsnittlig kroppsoverflate areal er $1.75m^2$. For en avslappet person, energien produsert blir $58W/m^2$. $58W/m^2$ tilsvarer 1 METs. (Ingebrigsten, 2016)

Forskjellige MET-verdier som er avhengige av aktivitetsnivå ligger i Table 1.

Table 1 MET-verdier for forskjellige aktiviteter

Aktivitet	MET
Legge på senga	0.8
Sitte	1
Stå	1.2
Gå (3 km/h)	2.0
Løpe (5 km/h)	3.0

Hvordan man kler seg spiller en viktig rolle når man vurderer termisk komfort. Varmeledningsmotstand av klær representerer den termiske motstanden mellom huden og utsiden av klærne. Klær isolasjon er uttrykt i m^2K/W eller i clo. 1 Clo tilsvarer $0,155 m^2K/W$. For eksempel, i svømmehaller skal man ha clo nesten lik null, fordi vi er nesten nakne, og med mye klær ville det føles som veldig varmt. (Ingebrigsten, 2016).

2.1.1.2 TREKK

Ifølge ENØK boka, trekk defineres som en uønsket lokal nedkjøling av kroppen. For mennesker som bruker svømmehaller, trekk spiller en viktig rolle på grunn av våt kroppsoverflate. Hvis den relative fuktigheten er lavere enn ca. 50%, vil personer oppleve trekk. (Bøhlerengen et al., 2004)

Trekk kan deles i to hovedgrupper. Strålevarmetrekk og konvektiv trekk. Strålevarmetrekk skjer på grunn av varme svingninger, mens konvektiv trekk skjer på grunn av lufttemperatur, relativ fuktighet og lufthastighet. (Novakovic, 2007)

2.1.1.3 PMV og PPD (*Predicted mean vote, Predicted percentage dissatisfied*)

PMV representerer et skala som består av syv punkter. Skala går fra -3 for kaldt til +3 for varmt mens 0 representerer at temperaturen er bra. Ønsket PMV pleier å være mellom -0,5 til 0,5, som er mellom kaldt og litt varmt. Det er nesten umulig å oppnå 0 i PMV, siden alle har forskjellige metabolisme, og derfor føler temperaturen på en forskjellig måte. PMV ble laget av Fanger i 1970, som omfatter korrelasjon mellom Clo, met, og de fysiske parametere. (Standard, 2006). PMV kan regnes ut ved å bruke forskjellige ligninger, de ligningene bruker luft og strålingstemperatur, metabolisme, luft hastighet og relativ fuktighet. (Standard, 2006)

PPD står for The predicted percentage dissatisfied. Den brukes for å estimere forutsigelse av mennesker som er misfornøyde med termisk komfort, som føler enten veldig varmt eller veldig kaldt. Mennesker som er veldig misfornøyde med temperaturen skal ofte stemme på større tall. (Standard, 2006)

2.1.2 Atmosfærisk miljø

Det atmosfæriske innemiljø er også kalt innendørs luftkvalitet. Den forteller oss hvor ren innelufta egentlig er. Jo mer forurenset innelufta er jo verre luftkvaliteten er. Det kan påvirke mennesker, forskjellige prosesser og produkter. (Nilsson & Commtech, 2003)

Atmosfærisk miljø kan påvirkes av forskjellige gasser, lukt, kjemikalier og partikler (svevestøv). Forbindelser som mennesker produserer på regulær basis (CO₂), VOC som produseres av selve bygget og tekniske produkter spiller en viktig rolle når det gjelder inneklime. (Nilsson & Commtech, 2003). For svømmehaller, klor som brukes for å rense vann kan også påvirke luftkvalitet. (Bøhlerengen et al., 2004).

Hvordan man oppfatter atmosfærisk inneklime påvirkes av lufttemperatur, relativ fuktighet og tilbrakt tiden. (Ingebrigsten, 2016)

Det er flere symptomer som kan oppstå ved å ha dårlig luftkvalitet i svømmehaller, spesielt ved bruk av klor som rensmiddel. Et studium som oppfattet 128 mennesker, ble gjort av Kaydos-Daniels. Studiet handlet om å intervjuere 128 mennesker og se hvordan de ble påvirket av inneklime i svømmehaller. Han har funnet ut at 32 av 128 har tre eller flere symptomer på grunn av eksponering av klor. 84% av mennesker hadde hostesyntom, 78% hadde irritasjon i øynene, mens 34% hadde symptom av utslett. (Kaydos-Daniels S. C., 2008)

2.2 Inneklime i svømmehaller

2.2.1 Termisk miljø:

2.2.1.1 Temperatur:

Det er kjent at luftkvaliteten er verst ved vannoverflaten. Grunnen til det er at fordampningen vil minske med å øke lufttemperatur og ved å holde konstant Relativ Fuktighet. Det forårsaker et tynt sjikt med mett luft som har samme temperatur som bassengvannet. Dette sjiktet er lettere enn luft med mindre fuktighet, og derfor blir stående på vannoverflaten.(Bekkeli, 2021) .Det er derfor viktig å ha lufttemperatur som er minst 2°C høyere enn vanntemperatur. (Byggforsk, 1993).

Table 2 Krav til vanntemperatur fra Norsk Svømmeforbund, Byggforsk Tabell 15

Kategori, basseng	Krav til vanntemperatur
Opplæringsbasseng	28-34°C, må kunne varieres
Spesialbasseng til babysvømming	33°C
Svømmebasseng	26-29 °C
Trenings- og konkurransebasseng	26-27 °C
Stupebasseng	26-32 °C, 30 °C er foretrukket
Badelandsbasseng	28-34 °C
Boblebad	37-40 °C
Varmtvannsbasseng	30-34 °C
Varmtvannsbasseng < 20 m ²	34-37 °C
Vannpolo	24-26 °C
Synkronsvømming	26-27 °C

Ved å se på Table 2 , ses det at for de fleste svømmehallene er det vanlig å bruke en vanntemperatur mellom 27-29°C. Noen som gjør det bra for de fleste brukergruppene. Det vil si at lufttemperaturen i mange svømmehaller vil ligge på ca. 30°C. Det vil også bety at lufttemperaturen i svømmehaller er nesten 10°C høyere enn i en bolig eller kontorbygg.

2.2.1.2 *Vind hastighet*

I følge Byggforsk så er det vesentlig å fordele den varme og kalde lufta inn i svømmehallen. Grunnen til det er for å unngå kondensering på kalde overflater. Så på grunn av det burde den varmlufta trekkes fra motsatt side av rommet hvor tilluftskanallene er plassert. Det er derfor viktig at lufta over bassenget er stillestående, siden stor bevegelse kan påvirke fordampingen. Og derfor anbefales det at grensa for lufthastigheten over bassengoverflaten er 0,15 m/s . (Byggforsk, 1993)

2.2.2 **Atmosfærisk miljø:**

2.2.2.1 *RELATIV FUKTIGHET:*

Relativ Fuktighet i svømmehaller burde variere med årstiden, og den burde styres ifølge utelufttemperatur. Fordampning fra svømmehallen gjør det vanlig å ha høy luftfuktighet i hallen. I følge ByggForsk (Byggforsk, 1993) anbefales det å at den relative luftfuktigheten i vinterhalvåret kan ligge mellom 50-55%, mens i sommerhalvåret kan den ligge på ca. 65%.

Å kombinere høy lufttemperatur og fuktig luft kan forårsake byggskader i form av sopp, mugg, råtnede konstruksjoner, osv.(Edvardsen, 2014) .Når klor fordamper kan det føre til dårlig lukt, irritasjon i øyne, og slimhinner. (Bøhlerengen et al., 2004).Det er derfor viktig å ha et ventilasjonssystem som skal fjerne alle uønskede gasser, og for å holde inneklimate på et godt nivå, slik at brukere og brukere med spesielle sykdommer blir tilfredsstillende (astma).

2.2.2.2 *CO₂*

Ifølge Arbeidstilsynet veiledning 444 burde CO₂ nivå i svømmehaller ikke overskride 1000ppm, uansett årstiden. Å kombinere høyt nivå av CO₂ nivå, RF og T kan gi veldig dårlig inneluft, som kan føre til svimmelhet, og derfor er det viktig å ha god kontroll på dem, siden et godt og akseptabelt nivå av CO₂ betyr at ventilasjonssystemet fungerer bra. (Arbeidstilsynet, 2022)

2.3 Krav for inneklima i svømmehaller

Avhengig av hva slags bygg type det er, finnes det forskjellige standarder og krav når det gjelder inneklima. De mest brukte og mest kjente og mest brukte for svømmehaller er TEK 17 og NS-EN 152521. Men dessverre ingen av dem skriver noe så detaljert om inneklima i svømmehaller. Det finnes noen anbefalinger fra "Byggforsk" og "Arbeidstilsynet veiledning 444" som sier noen anbefalinger fra tidligere erfaringer. I følge Bade og svømmeanlegg boka, forskjellige typer svømmebassenger krever forskjellig vann og romtemperatur. Romlufttemperatur skal være 2 grader celsius høyere enn vanntemperatur, og skal ikke overskride 34°C. Vann temperatur skal være fra 26-29°C. Relativ Fuktighet skal variere med årstiden, og om vinteren skal ha en verdig under 55% ifølge Byggforsk, mens CO₂ nivå skal ikke overskride 1000ppm, ifølge arbeidstilsynet veiledning 444. Når det gjelder grensa for lufthastighet over svømmebasseng, så er det 0,15m/s, ifølge Byggforsk.

2.4 Brukere

Svømmehallen brukes av alle grupper mennesker, det vil si fra barn til pensjonister. Bassenget kan lett justere høyden, noe som gjør det lettere for flere forskjellige aktiviteter som kan passe bra for alle grupper mennesker. Svømmehallen brukes hovedsakelig av ungdomsskoler, siden det er obligatorisk for dem å komme og svømme. Det er slik at en hele klasse kommer, og de pleier å være der i 2 timer. Det er også mange idrettslag som kommer. De fleste er rundt 16 år.

Siden det er også små barn og ungdommer som svømmer, så er det viktig med løsninger for utstyr i svømmehallen slik at de ikke kan ødelegges så lett. Som for eksempel dusj som ligger 1.8 meter over bakken.

For å hindre korona smitte, og på grunn av hygieniske grunner, har svømmehallen 15 regler som alle som besøker hallen må følge. En av de er at alle må vaske hele kroppen og håret med såpe for å drepe bakterier. (Rud svømmeanlegg, 2021)

2.5 Bygningskroppen

Fordi inneklima i svømmehallen må være ekstremt, så må det stilles noe krav til bygningskroppen. Duggpunktstemperatur representerer temperaturen som er kritisk for kondensering. Det vil si hvis lufttemperaturen blir under eller lik duggpunktstemperatur da blir det kondens på overflatene. I de fleste svømmehaller er det veldig varmt og fuktig, og da ville vanndampen allerede kondensere ved overflatetemperatur over 20-22°C. (Bøhlerengen et al., 2004). Det kan føre til sannsynlig overflatekondens på innsiden av vinduer, og ved steder hvor det finnes kuldebruer. For å sikre at det ikke skjer, så er det nødvendig å bruke veldig gode varmeisolasjons konstruksjoner som har veldig lave U-verdier.

Klimaskallet burde være plombert med en dampsperre på den varme siden av konstruksjonen. Grunnen til det er at høye damptrykket innendørs gjør det mulig for vanndamp å gå ut i bygningskroppen og skade den. Derfor burde dampsperran dekke helebygningskroppen, slik at dampen ikke går ut i konstruksjonen og avkjøles og skaper kondens.

Dampsperran er viktig fordi den er også lufttettende sjikt. Ved konveksjon kan fukttransport være nesten 50 ganger større enn ved diffusjon, og dermed gjør et stort problem. (Geving, 2002). Skader i dampsperran betyr at fukt blir presset utover i konstruksjonen. På grunn av oppdriftseffekten som skjer til varm luft skal kraften være størst ved høye steder, det vil si taket og ved øvre deler av veggen. På den kalde siden av veggen burde man satt vindsperre for å begrense luftlekkasjer.

For å oppnå og for å beholde den høye temperaturen gjennom vinteren er det nødvendig med en bygningskropp som er godt isolert. Siden svømmehallen skal ha høyere temperatur enn vanlig bygg og arbeidsbygg så er det bedre at den har lavere U-verdier enn vanlig bygg.

2.6 VENTILASJONSTYPER

2.6.1 Omrøringsventilasjon

Det som karakteriserer omrørings ventilasjon, er at det tilføres frisk luft med høyere hastighet utenfor oppholdssonen. Grunnen at luften tilføres utenfor oppholdssonen er for å unngå trekk og for å fortynne forurensninger. Denne typen ventilasjon har en stor fordel og det er at det er mulig å tilføre kjøligere luft uten at det oppleves som ubehagelig. På den måten kan rommet kjøles uten at det oppleves ubehagelig og på en effektiv måte. Det som også karakteriserer omrøringsventilasjon, er at avtrekksventil settes under taket. (Skåret, 2000).

Figure 1 demonstrerer omrøringsventilasjon hvor det ses at tilluft og avtrekk er begge på øvre siden av rommet.

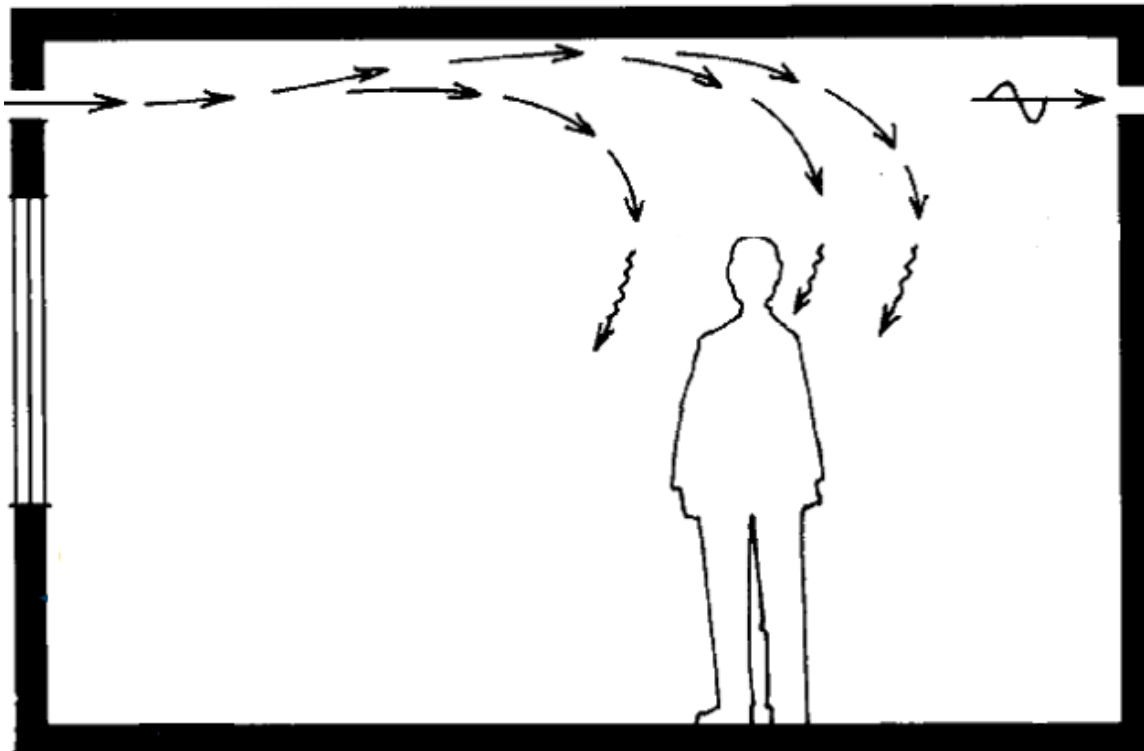


Figure 1 Omrøringsventilasjon prinsipp

2.6.2 Fortrengningsventilasjon

Fortrengningsventilasjon betyr at tilluft kommer med lavere temperatur enn romluft temperatur, og friskluft tilføres direkte til oppholdssonen. Avtrekksvifte er plassert på øvre delen av rommet. Den tilførte luften blir varmet opp av internt varmetilskudd, og reiser seg opp på grunn av oppdriftseffekt. Hvis systemet er dimensjonert riktig så blir det oppnådd kjøligere og renere sone nært gulvnivå. (Skåret, 2000).

.Denne typen ventilasjon brukes i store auditorier og i Rud svømmehallen. Figure 2 demonstrerer fortrenningsventilasjon hvor tilluften er plassert ved gulvnivå, mens avtrekk er plassert på taket.

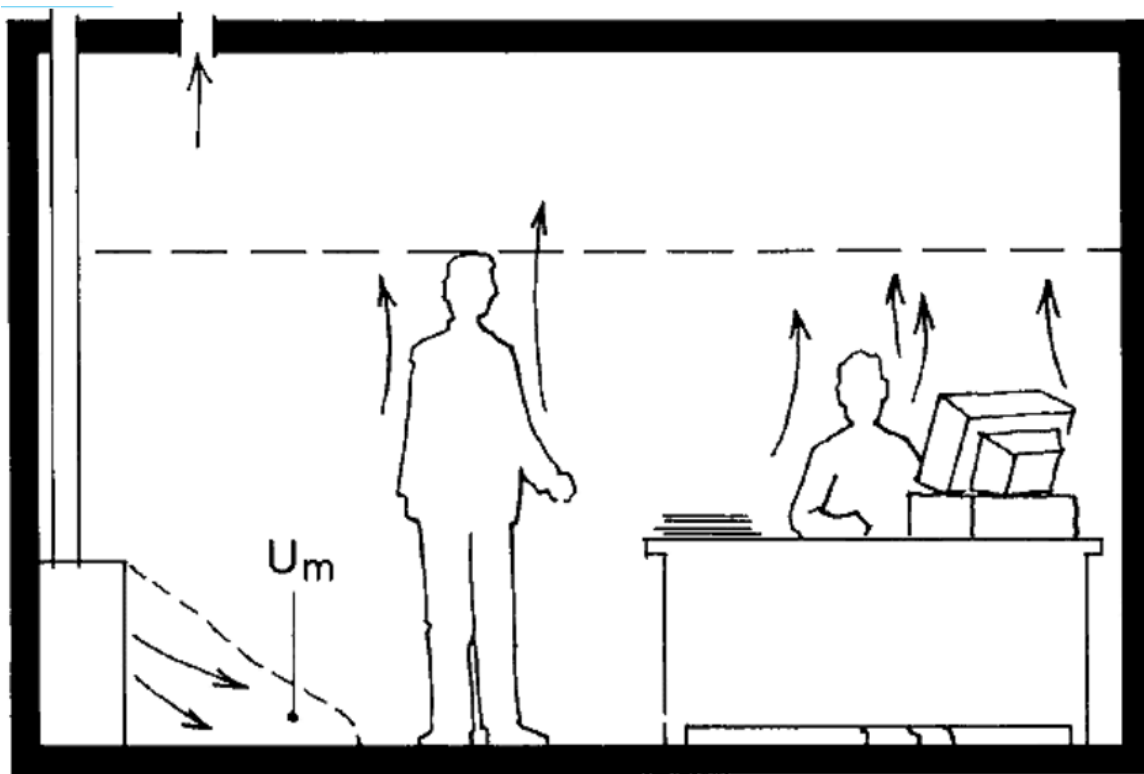


Figure 2 Fortrengningsventilasjon prinsipp

2.6.3 Omvendt fortreningsventilasjon

Omvendt fortrenningsventilasjon betyr at friskluft faller fra tak ned til gulv. Det vil si at tilluften er plassert ved taket, mens avtrekk er plassert ved gulvnivå. Dette prinsippet er ideel hvis forurensningskilde ikke gir fra seg varme og stoffer som veier mer enn rom luften. (Skåret, 2000).

Figure 3 demonstrerer omvendt fortrenningsventilasjonsprinsipp, hvor tilluften er plassert på taket, mens avtrekk er plassert på gulv.

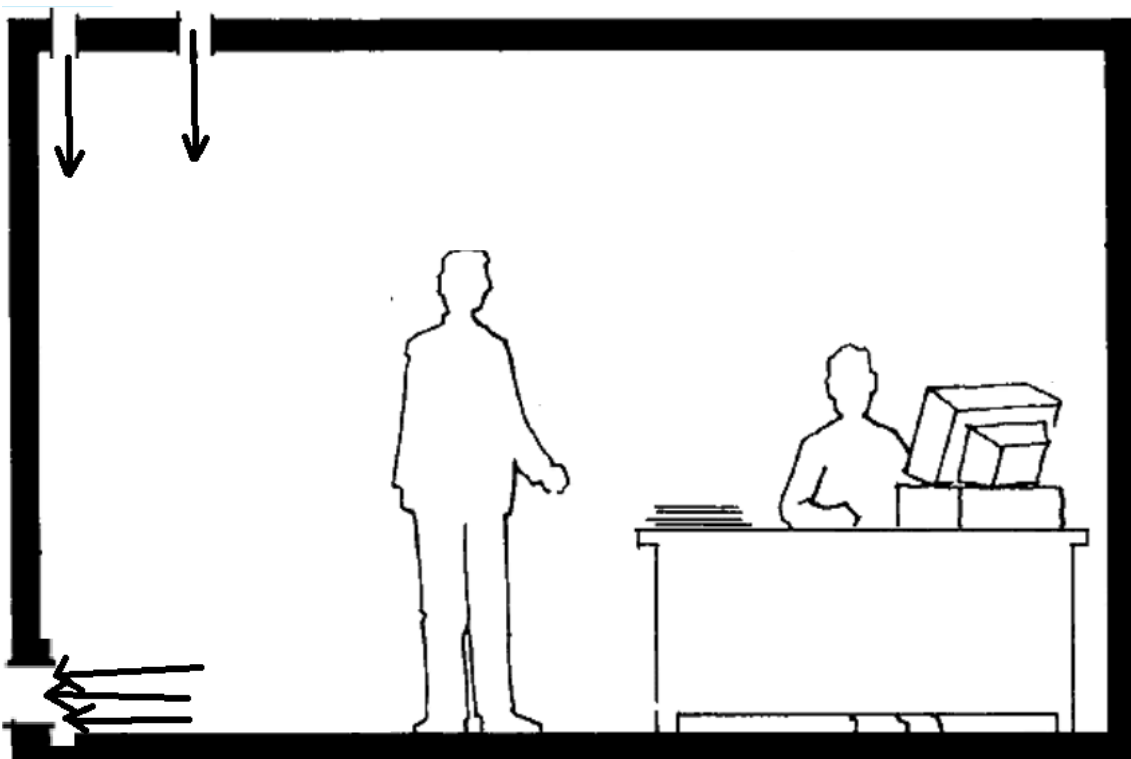


Figure 3 Omvendt fortrenningsventilasjon prinsipp

2.7 Ventilasjon i svømmehaller

I en svømmehall skal ventilasjon brukes for å fjerne urene gasser, holde inneklima til et akseptabelt nivå, og samtidig holde luftfuktighets nivå til et nivå som ikke skal skade bygningen.

For et bygg som inneholder svømmebasseng, RF er veldig høy på grunn av fordamping fra bassenget. Klor blir brukt til vannrensing, og blir presentert i luften. I tillegg vil forbindelser som mennesker genererer også påvirke atmosfærisk inn klima. det er nødvendig med tilstrekkelig ventilasjon for å holde RF nivå konstant og å holde luften ren.

Tidligere, den vanligste måten å gjøre luften mindre fuktig var å ventilere fuktig luft ut, mens vi tilsetter samme mengde varmt luft. Denne metoden bruker for mye energi, siden latent varme fra fordampingen forsvinner. (Bøhlerengen et al., 2004)

I dag, den mest vanlige metoden er å bruke varmeveksler eller varmepumper. Svømmehaller som er mye større enn private bassenger er vanligvis bygget med ventilasjonsaggregat. Den ventilerer, varmer opp og avfukter romluft. (Bøhlerengen et al., 2004)

2.8 Ventilasjonskrav til svømmehaller

Ved prosjektering ventilasjonssystemet for vanlige bygg pleier det å brukes krav fra TEK 17, hvor forskjellige faktorer av forurensingen vurderes. Men bygg som inneholder svømmebasseng pleier å ha veldig forskjellig inn klima enn andre typer bygg, noe som gjør TEK 17 irrelevant for svømmehaller. I følge Bøhlerengen (Bøhlerengen et al., 2004) , anbefalt krav for svømmehallen er:

- 4-7 luftrskifter per time
- 1,4 l/s per m² (vann overflate og gulv)
- 2,8 l/s per m² (vann overflate)

Det anbefales å bruke omluft, på grunn av energibesparelse. Så lenge luften ikke spres i andre rom, så er det anbefalt å bruke omluft. (Bøhlerengen et al., 2004).

2.9 Kondens

Den største sannsynligheten at overflatekondens skal skje, er på innvendige hjørner og rundt vinduer, slik at luften som ikke beveger seg har nok tid til å kjøles ned til veggens overflatetemperatur. (Bøhlerengen et al., 2004). I disse områdene ville det bli større overgangsmotstand R_{si} , og veggen ville bli kaldere mer enn i områdene som har mer luftsirkulasjon. Når veggen blir nok kaldt ville den kjølt ned den stille luften til duggpunktet og kondens vil oppstå.

For at kondens ikke skal skje må ventilasjonen utføres slik at risikerte overflater får frisk tilluft. Det er også viktig å unngå bruk av gardiner og innvendige solskjerming, slik at sirkulasjon av luft ikke stoppes, og at alle kritiske deler får sirkulert luft. (Bøhlerengen et al., 2004)

Ventilasjonssystemet burde utformes slik at det blir undertrykk i selve hallen. Deres oppgave er å ventilere hallen slik at utendørs blir det høyere trykk enn innendørs. Det gjør det bedre for den fuktige luften å ikke går utover i vegg og takkonstruksjon, slik at den ikke kondenserer og skaper konstruksjonsskade. I perioder hvor uteluft er tørr og kald vil det hjelpe til å tørke opp steder hvor det oppsto lekkasjer som har ført til kondens. (Bøhlerengen et al., 2004)

2.10 Fordampning av bassengvann og beregning av vannfordampningen

Innendørs svømmehaller fordamper mye vann. Det betyr at på grunn av høy fordampning, kondensasjon kan oppstå. Fordampning er naturlig konversasjon mellom vann til gass, under temperatur som er kokepunkt. Det tar energi for vann å fordampe, og den energien manifesterer seg som varme. Det betyr at fordampning egentlig er varmetap fra vannet. Ting som øker fordampningen er :

Lavt nivå av Relativ Fuktighet- Det skjer fordi ved lav luftfuktighet er metning til luften lav, og derfor kan fordampning skje mye mer og mye forttere. ("Evaporation and Climate," 2018)

Mye Kaldere Lufttemperatur enn vanntemperatur. Det er bevist at ved hver °C lufttemperatur er lavere enn vanntemperatur, fordampningen øker med 7%. (Consulting, 2020)

Høy lufthastighet over vannet. Ved høy lufthastighet frakter vinden bort vanndamp også. Det betyr at den tørker luften, noe som betyr at fordampningshastigheten øker. ("Evaporation and Climate," 2018)

Referanseområde for beregning av fordampningen vannmassestrømmen til et svømmebad omhandler vannareal som er brukbar. For brukbare svømmehaller, vannfordampningen beregnes ved å inkludere fordampning av overløpskanalsystemet, bassengdekkets områder, de fuktende kroppsoverflatene og klær til de badende. Se Ligning (2.1). Derfor skal det tas med en vannoverføringskoeffisient [β]. Vannet overføringskoeffisienter for brukte bassenger inkluderer fordampning av de nevnte vanndampkildene ovenfor. Vannoverføringskoeffisientene for brukte bassenger er gitt i Table 3 . Det tas også hensyn på spesifikk gasskonstant for vanndamp [R], Aritmetisk gjennomsnitt av vann og lufttemperatur [T], metningstrykk av vanndamp [$P_{D,W}$], vanndamptrykk [$P_{D,L}$], og Brukt vannareal av bassenget [A_B] . (VEREIN et al., 2010)

$$\dot{M}_{D,B} = \frac{\beta}{R * T} * (P_{D,W} - P_{D,L}) * A_B \quad (2.1)$$

Table 3 Verdier for vannoverføringskoeffisienter, hentet fra VDI-RICHTLINIEN

Betraktet som basseng:	Vannoverføringskoeffisient i brukt basseng: β [m/h]
Privat Svømmebasseng	21
Innendørs basseng med vanddybde over 1,35m	28
Innendørs basseng med vanddybde under 1,35m	40
Bølgebasseng under bølgedrift	50
Sklier og sklieoppsamlingsbassenger, villvannskanal	50

2.11 Algoritme

2.11.1 Korrelasjon

Korrelasjon betyr hvor mye to målbare størrelser henger sammen med hverandre. Korrelasjon mellom to forskjellige størrelser må ikke bety at den ene er årsak til at den andre er som den er. Korrelasjon varierer mellom -1 og 1. Hvor en betyr at det er ganske stor korrelasjon mellom to verdier, som for eksempel røyking og lungekreft, mens -1 betyr at høye verdier av den ene størrelsen finnes sammen med lave verdier av den andre størrelsen. Som for eksempel pris på en bil og hvor gammel bilen er.

Styrken av korrelasjon uttrykkes ved korrelasjonskoeffisienten. En korrelasjonskoeffisient tilsvarer et tall mellom -1 og 1 som forteller styrken av samsvar mellom variabler. Et positivt tall vil si at det er positiv korrelasjon, mens et negativt tall betyr at det er negativt korrelasjon. Den er uavhengig av måleenheter.

(Frøslie, 2022), (Løvås, 2018)

Matematisk er korrelasjon uttrykket slik:

$$\text{Corr}[X,Y] = \frac{\text{Cov}[X,Y]}{\sqrt{(\text{Var}[x]\text{Var}(y))}} \quad (2.2)$$

$\text{Cov}[X,Y]$ = Covarians

Covarians uttrykkes slik:

$$\text{Cov}[X,Y] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (2.3)$$

\bar{X} - gjennomsnittet av x_1, x_2, \dots, x_n

\bar{Y} - gjennomsnittet av y_1, y_2, \dots, y_n

$\text{Var}[X]$ og $\text{Var}[Y]$ = Varians

Varians uttrykkes slik:

$$s^2 = \text{Var}[X] = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.4)$$

For å kunne regne ut ligning (2.1), må det først regnes ut (2.2) og (2.3). (Løvås, 2018).

I denne oppgaven ble de ligningene ikke brukt manuelt, det ble brukt kun excel, som har de ligningene integrert i seg.

2.11.2 Regresjon

Regresjonsanalyse betyr å bruke statistiske analysemetoder for å finne sammenhengen mellom en avhengig variabel og en eller flere uavhengige variabler. Det den gjør er å finne en funksjon, det vil si en tilnærmet nummerert beskrivelse av sammenhengen, også kalt algoritme. (Braut, 2021)

Funksjonen hjelper oss å fastsette verdien av den avhengige variabelen y , når man kjenner verdiene for de uavhengige variablene x_1, x_2 . (Braut, 2021)

Det regresjonsanalyse viser er i hvilken grad en variabel samsvarer med en annen variabel. ("Regresjonsanalyse," 2021). Det finnes to forskjellige typer regresjon. En er lineær, den andre er ikke lineær. Regresjonsanalyse er ofte brukt når det gjelder statsvitenskap og medisin. ("Regresjonsanalyse," 2021).

En enkel formel for regresjonsanalyse kan skrives slik:

$$Y = \alpha + \beta X \quad (2.5)$$

Y = Effektvariabelen som gis av modellen vår.

α (alfa) = Konstant. Dette er verdien Y vil ha dersom $X = 0$, og dermed viser skjæringspunktet på y -aksen.

β (beta) = Stigningstallet, eller også kalt helningskoeffisienten. β sier hvor mye i gjennomsnitt verdien til Y øker hvis X endres i en eller annen retning. ("Regresjonsanalyse," 2021)

Denne modellen forklarer kun Y med hensyn på X . (med α og β som koeffisienter). Slik modell kalles også for deterministisk. En regresjonsanalyse modell som ikke er deterministisk ser slik ut:

$$Y = \alpha + \beta X + e \quad (2.6)$$

I denne modellen e representerer et restledd som tar med alle variasjoner som resten av modellen ikke forklarer.

I matematikk forklares regresjonsanalyse som en metode for kurvetilpasning av innsamlede data. Det vil si å lage en linje som skal gå så nær som mulig alle variablene. ("Regresjonsanalyse," 2021)

Når det gjelder multipel regresjonsanalyse med fire uavhengige variabler (vårt tilfelle) . Formelen da ser slik ut :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad (2.7)$$

2.11.2.1 Tolkning av regresjonsanalysen-excel

Når man kjører en regresjonsanalyse i excel, som slutt svar får man en stor tabell som består av tre mindre tabeller. Figure 4 demonstrerer en slik tabell.

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.514758							
R Square	0.264976							
Adjusted R Squa	0.253923							
Standard Error	53.63757							
Observations	271							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>gnificance F</i>			
Regression	4	275882.5	68970.63	23.9732	5.99E-17			
Residual	266	765279.1	2876.989					
Total	270	1041162						
	<i>Coefficient</i>	<i>Standard Err</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>ower 95.0%</i>	<i>pper 95.0%</i>
Intercept	875.0411	267.7936	3.267596	0.001227	347.7764	1402.306	347.7764	1402.306
Antall M.	2.597306	0.415073	6.257465	1.56E-09	1.780059	3.414553	1.780059	3.414553
Omluft	0.001708	0.000706	2.418243	0.016268	0.000317	0.003099	0.000317	0.003099
RF	4.307745	1.200923	3.587029	0.000398	1.943221	6.672268	1.943221	6.672268
LT	-23.9914	8.961137	-2.67727	0.007884	-41.6352	-6.34763	-41.6352	-6.34763

Figure 4 Regresjonsanalyse- Excel- Eksempel

Table 4 Regression Statistics

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.514758
R Square	0.264976
Adjusted R Squa	0.253923
Standard Error	53.63757
Observations	271

Forklaring for Table 4:

Multiple R – Det er korrelasjonskoeffisient. Den forteller hvor sterkt lineært forhold er. For eksempel, 0 betyr at det ikke finnes noe forhold, mens 1 mener at det er perfekt. Den er kvadratroten av R squared.

R-Squared.- r^2 , bestemmeskoeffisienten. Den forteller oss hvor mange poeng som faller på regresjonslinjen. For eksempel betyr at 26,5% at 26.5% av variasjonen av y-verdien rundt gjennomsnittet forklares av x-verdiene. Med andre ord at 26,5% av verdiene passert til modellen. Alle koeffisienter som er større enn 26% er bra nok.

Standard Error - Presisjonen som regresjonskoeffisienten måles, og vanlig feil mellom den gjennomsnittlige.

Observations- Antall observasjoner i prøven.

Table 5 ANOVA

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>gnificance F</i>
Regression	4	275882.5	68970.63	23.9732	5.99E-17
Residual	266	765279.1	2876.989		
Total	270	1041162			

Forklaring for Table 5:

SS- Sum av Kvadrater

MS- gjennomsnittlig kvadratfeil

F- Samlet F-test for nullhypotesen.

Significance F- Betydningen forbundet med P-verdi. Variabelen varierer som p verdi, og den burde være mindre enn 0.05 hvis algoritmen ville være bra. Meget viktig når man vurderer analysen.

Table 6 Regresjonskoeffisienter

	<i>Coefficient</i>	<i>Standard Err</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	875.0411	267.7936	3.267596	0.001227	347.7764	1402.306	347.7764	1402.306
Antall M.	2.597306	0.415073	6.257465	1.56E-09	1.780059	3.414553	1.780059	3.414553
Omluft	0.001708	0.000706	2.418243	0.016268	0.000317	0.003099	0.000317	0.003099
RF	4.307745	1.200923	3.587029	0.000398	1.943221	6.672268	1.943221	6.672268
LT	-23.9914	8.961137	-2.67727	0.007884	-41.6352	-6.34763	-41.6352	-6.34763

Forklaring for Table 6:

Coefficient- Gir deg anslaget for minste kvadrater.

Standard Error- minste kvadraters estimat av standardfeilen.

P-value- Gir deg P-value for hypotesetesten. Viktig å se på den når analysen utføres, siden den skulle være mindre enn 0.05. Alle p-value variabler som er større enn 0.05 skal forkastes, og det betyr at de ikke er betydelige.

3 Bærum idrettspark svømmehall

Svømmehallen ligger på Rud i Bærum, Hauger Skolevei 36. Se Figure 5. Svømmehallen åpnet for besøkere den 16. August 2021. Den består av to svømmebassenger. Et basseng som er 50m x 25x og et basseng som brukes for opplæring, som er 12,5m x 9,5m. Både stort og smått basseng kan hev og senke sin dybde, noe som gir god funksjonalitet, og gjør det mulig for forskjellige aktiviteter.



Figure 5 Rud Svømmehall

Selve svømmeanlegget er et av Norges mest klima og energivennlige svømmeanlegg. Den er også Norges første BREEAM- sertifiserte badeanlegg. (Rud svømmeanlegg, 2021)

Svømmehallen sin Bruttoareal er 6144 m², og består av 8 garderober, to badstuer, swimshop, enkel cafe og automater. Av de åtte garderoberne, noen av dem er egnet for handicappede og barn.

På mandager, onsdager og fredager, svømmehallen er åpen fra 06:30 til 20:00. På tirsdager og torsdager er den åpen fra 08:00 til 20:00. I helger er de åpne fra kl 10-16:00. Svømmehallen er åpen en time etter at billett salget stenger. (Rud svømmeanlegg, 2021)

3.1 BELLIGENHET OG KLIMA

Rud svømmehallen ligger på 59.9°N and 10.49°Ø. (Google Maps, 2022)

. Figure 6 viser beliggenheten til Hallen.

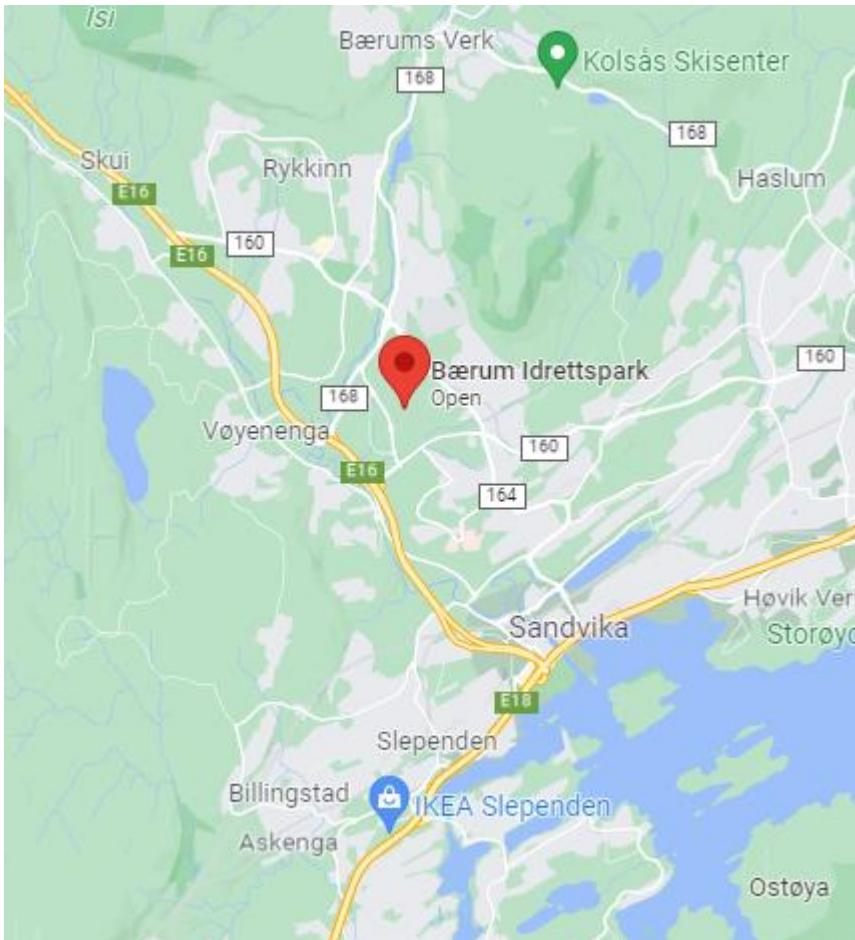


Figure 6 Beliggenhet av Rud Svømmehallen

Dimensjonerte utetemperatur er (Byggforsk, 2018):

DUT : -21,6°C

3.2 Utforming av Rud svømmebassenget

Svømmehallen er designet slik at den skal tilfredsstillere passivhus standard, Norsk Standard NS 3701:2012).

Derfor har selve bygget lave U verdier. Alle data som blir presentert i Table 7 og Table 8 ble fått av Rud sin VVS ansvarlig- Bård Reil.

Table 7 U verdier for Rud Svømmehallen

U- verdi for yttervegger	0,13 W/(m ² K)
U-verdi for tak	0,1 W/(m ² K)
U-verdi for gulv	0,08 W/(m ² K)
U-verdi for vinduer, dører og glassfelt	0,71 W/(m ² K)

Total BRA av hele hallen er 8431m². Dører og Vinduer utgjør 8,3% av BRA, det vil si 700m².

Svømmebassenger har areal 1250m² og 118,75m².

Table 8 Temperaturer som brukes inn i hallen

	Treningsbasseng [°C]	Opplæringsbasseng[°C]
Vann	28	33
Inneluft	29	32
Tilluft	27 – 38	29-40

Fordi det er mange ulike målgrupper som bruker basseng (50x25m), den er bygget slik at den har regulerbart gulv nivå. Mens opplæringsbassenget har ikke det. Livvakt er plassert i et annet rom som er innglasset, slik at han lett kan se om det er noe fare som skjer. Det finnes også kameraer som overvåker bassenger, og hele hallen. For å kunne komme inn må det kjøpes billett, som da åpner døra automatisk.

3.3 Filtrering av vann i Rud Svømmehallen

Bassengenes renseanlegg er prinsipielt like, men forskjellige i størrelse og kapasitet. I trykksandfiltrene blir det brukt «AFM» filtermedie (en form for knust returglass) i stedet for kvartssand, men de fungerer som normale sandfiltre. På det store anlegget er det 8 stk. slike filtre med diameter 2,2 m, på det lille anlegget er det 4 med diameter 2m. Bassengvannet blir trykket gjennom filtrene av pumper, og etter å ha blitt filtrert blir 10% av vannmengden pumpet gjennom kullfiltre, 4 stk. på det store og 2 stk. på det lille. Disse filtrene inneholder aktivt kull.(Reil, 2022). Se Vedlegg 10.3 for Systemskissa av vannbehandling.

Det lille bassenget inneholder ca. 280.000 liter vann, og omsetningen (kapasiteten på renseanlegget på full drift) er 250.000 liter pr. time. Dette betyr at i det lille bassenget går alt vannet gjennom renseanlegget over 21 ganger i døgnet (21,428).(Reil, 2022)

Det store inneholder 3.600.000 liter, med omsetning på full drift 600.000 liter pr. time. Så i det store går alt vannet gjennom renseanlegget 4 ganger pr. døgn.(Reil, 2022)

Grunnen til den enorme kapasiteten i det lille bassenget er spesielt den svært høye temperaturen men også hard belastning (skoler, spebarn, eldre, revmatikerpasienter) i forhold til vannmengden [og derav lavere buffermengde med klor i vannet].(Reil, 2022)

3.4 Ventilasjonssystem i Rud Svømmehallen

Ventilasjonssystem som brukes i Rud svømmehallen er Fortregningsventilasjon system, med en annen ventilasjonstype under taket, slik at den andre typen skaper buffersone. Tilluftskanallene er plassert ved vinduer rundt hele hallen, mens det finnes kun en avtrekks kanal, som er plassert på en vegg, og er nesten 2 meter høy. Se Figure 7 for avtrekksplassering, og Figure 8 for tilluftsplassering.

Hele svømmehallen består av 8 ventilasjonsaggregater. Av de 8, 4 dekker det store bassenget, mens 2 dekker den lille. Andre aggregater dekker kontorer, garderober og teknisk rom.



Figure 7 Avtrekk i Rud Svømmehallen



Figure 8 Tilluft i Rud Svømmehallen

3.4.1 Oppvarming av luft og vann i Rud Svømmehallen

Luften i det store bassengrommet blir behandlet (bl.a. varmet opp, men også filtrert, tilsatt friskluft og avfuktet før avkast) av 3 aggregater, og i det lille bassengrommet av 1. Men energioverskuddet som oppstår ved avfukting av luften, blir ført tilbake til bassengvannet for å varme den opp. Overskuddsvarmen fra 2 av de 3 aggregatene til det store rommet, blir tilbakeført til oppvarming av vannet i det store bassenget, mens det siste aggregatet gir varme til det lille bassenget, sammen med avfuktingsvarmen fra aggregatet til det lille bassengrommet. Årsaken til dette er at det lille bassenget har mye større oppvarmingsbehov enn det store bassenget; 27 grader Celsius i det store, og 34 grader Celsius i det lille bassenget. Hallen mottar også inniblant noe overskuddsvarme fra kunstisbanen utenfor bygget (egen akkumulatortank) samt fra etterkjølere i luftaggregatene, som også går til oppvarming av bassengvann.(Reil, 2022)

Når det gjelder forbruksvann (dusj, håndvask osv.) er det riktig at det kommer fra 4 akkumulatortanker (OBS! ikke beredere) hvor varmt vann har blitt samlet fra gråvanngjenvinning (alt returskyllevann fra trykksand[glass-]filtre og kullfiltre går til dette, sammen med brukt dusjvann). Om vi i løpet av dagen går tomme for (dusj-)varmtvann fra de 4 akkumulatortankene samt fra isbanen, leverer «Oslofjord fjernvarme» resten av det vi trenger.(Reil, 2022)

3.4.2 Luftmengder i Rud Svømmehallen

Table 9 Oversikt over aggregater og deres Max luftmengder

System	Aggregat	Luftmengde [m ³ /h]	Luftteknisk	BVK	ETK
360.001	392501	25 000	Treningsbasseng	Treningsbasseng	Treningsbasseng
360.002	392501	25 000	Treningsbasseng	Treningsbasseng	Treningsbasseng
360.003	392501	25 000	Treningsbasseng	Opplæringsbasseng	Opplæringsbasseng
360.004	391301	12 000	Treningsbasseng	Opplæringsbasseng	Opplæringsbasseng
360.005	761001	9 000	Garderober	*	*
360.006	761601	13 500	Teknisk rom U etg.	*	*
360.007	Covent	8 000	Foaje, kontorer 1 etg (DX kjøling)	*	*
360.008	Covent	7 500	Loft over svømmehall NCC løsning	*	*

360.001 er master iht. ventilering og BVK/ETK styring av treningsbasseng.

360.004 er master iht. BVK/ETK styring opplæringsbasseng.

Alle svømmehalls aggregatene regulerer luftmengde og UL-andel iht. belastning.

Luftmengde dagdrift treningsbasseng regulerer mellom 20,000 og 25,000 m³/h, nattdrift 16,500 og 25,000 m³/h. Opplæringsbasseng dagdrift 9,600 og 12,000m³/h, nattdrift 7,900 og 12,000 m³/h. (Reil, 2022)

Table 9 viser oversikt over aggregater og deres Max luftmengder, mens Table 10 viser nøyaktige luftmengder som ble brukt første 90 minutter da målingene ble tatt. I tabellen står det 4 forskjellige aggregater med deres tilluft og avtrekk, og til slutt står det summen av alle tilluft og avtrekk. Fra tabellen er det synlig at det er undertrykk i svømmehallen. For oversikt over hele tabellen se File, for oversikt over alle 4 aggregater se Filene 4-5-6-7.

Table 10 Nøyaktige luftmengder som ble brukt i svømmehallen da målingene skjedde. (Første 20 måleintervaller).

	1 Tilluft [m ³ /h]	1 Avtrekk [m ³ /h]	2 Tilluft [m ³ /h]	2 Avtrekk [m ³ /h]	3 Tilluft [m ³ /h]	3 Avtrekk [m ³ /h]	4 Tilluft [m ³ /h]	4 Avtrekk [m ³ /h]	SUM TILLUFT [m ³ /h]	SUM AVTREKK [m ³ /h]
12:27:28	20061	20431	19765	19998	19217	20059	9429	9583	68472	70071
12:32:29	20022	20441	19765	19998	19554	20059	9429	9583	68770	70081
12:37:30	20022	20441	19765	19998	19554	20059	9429	9583	68750	70093
12:42:31	19981	20463	19765	19998	19554	20059	9429	9583	68729	70103
12:47:32	20168	20418	19765	19998	19554	20059	9429	9583	68916	70058
12:52:33	20696	21116	19765	19998	19554	20059	9429	9583	69444	70756
12:57:34	19746	20177	19765	19998	19554	20059	9429	9338	68494	69572
13:02:35	19999	20429	19634	19998	19283	20059	9429	9888	68345	70374
13:07:36	19886	20421	19634	19998	19283	20059	9429	9888	68232	70366
13:12:37	20034	20398	19634	19998	19613	20059	9429	9888	68710	70343
13:17:38	20031	20422	19634	19998	19613	20059	9429	9888	68707	70367
13:22:39	20474	21062	19634	19998	19613	20059	9429	9632	69150	70751
13:27:40	19731	20167	19634	19998	19613	20059	9429	9632	68407	69856
13:32:41	19781	20169	19634	19998	19613	20059	9429	9632	68457	69858
13:37:42	20036	20424	19634	19998	19613	20059	9429	9632	68712	70113
13:42:43	20075	20469	19634	19998	19613	20059	9429	9632	68751	70158
13:47:44	19967	20407	19634	20042	19613	20059	9429	9632	68643	70140
13:52:45	20053	20452	19634	20042	19613	20059	9429	9632	68729	70185
13:57:46	20544	21107	19634	20042	19613	20059	9429	9632	69220	70840

3.5 Buffersone

Buffersone som skapes i Rud svømmehallen er "NCC Badhus" sitt eget konsept, som de bruker i alle sine svømmehaller. I praksis er det et tett rom med egen tørrventilasjon over himlingen over bassenget, som sørger for at det aldri vil oppstå kalde flater mot varm, fuktig luft. Dermed unngår man kondens og skader på bygningskroppen.

Oppunder himlingen over bassenget er jo det varmeste stedet i bassengromet fordi varm luft stiger opp, og luften der inneholder jo ca 55% relativ fuktighet. Hadde det over himlingen vært kalde flater mot yttertaket, er sjansene store for at kondensert vann ville kunne samle seg og trenge inn i bygningskroppen i kroker og kroker.

Det er selvsagt isolasjon i yttertaket under takpappen, men sjansen for at det kan finnes kuldebroer i festemateriell og bjelker er jo stor. Hos Oss vil ikke det kunne skje. (Reil, 2022)

4 Metoder og materiale

Feltarbeid ble utført ved svømmehallen i Rud. Det ble tatt 10 individuelle målinger av CO₂, RF, T og vindhastighet rundt i bassenget. Dette kalles Forsøk 1. Det ble ikke tatt logg måling av vindhastighet. Alle andre parametere ble også målt over 24 timer slik at alle måledata ble logget. Dette kalles forsøk 2. Alle data fra forsøk 1 og 2 ble overført til grafer og tabeller. Alle målinger skjedde i det største svømmebassenget som har dimensjoner 50x25m.

Det ble brukt Q-track for måling av CO₂, RF og T, mens for vindhastighet måling ble det brukt Swema 3000. For å få nøyaktig antall mennesker i hallen, ble det sendt en excel-fil fra leverandøren til meg, mens ventilasjonsdata ble sendt fra VVS ansvarlig i hallen - Bård Reil. For kalkulasjon av Fordampningen, ble det brukt VDI-RICHTLINIEN sin ligning. For å lage korrelasjonsanalyse ble det brukt excel, samme når det gjelder regresjonsanalyse.

4.1 CO₂, Relativ Fuktighet og Temperatur.

For måling av de parameterne ble det brukt Q-track. Logg Måling skjedde ved punkt 9, se Figure 9. Utstyret ble plassert slik fordi at den ikke kunne blitt våt og blitt ødelagt, og i det punktet var det nok avstand fra selve bassenget. Før logging ble gjort, ble det tatt 10 målinger rundt hele bassenget. Figure 9 viser 10 punkter rundt svømmebassenget hvor det ble målt. Siden det er mest spennende å se hva skjer over selve bassenget, så ble de individuelle målingene målt 0,1m over gulv, mens for logg metoden ble instrumentet plassert på en benk som er 0,3m over gulv.

Det ble også bruk en skjøteledning som skulle sørge at Q-track ikke går tom for strøm.

Ti målingene rundt svømmebassenget skjedde den 24.02.2022, fra kl 12:30 til kl 11:20. Da var det 28 personer til stede, inkludert oss to, som gjorde forsøket.

Logg målingen skjedde fra 24.02.2022 kl 12:30 til 25.02.2022 11:20, med variert antall mennesker. Logg måling skjedde i punkt nummer 9. Logging skjedde hvert femte minutt, og etter at målingene ble gjort ble alle data overført til PC.

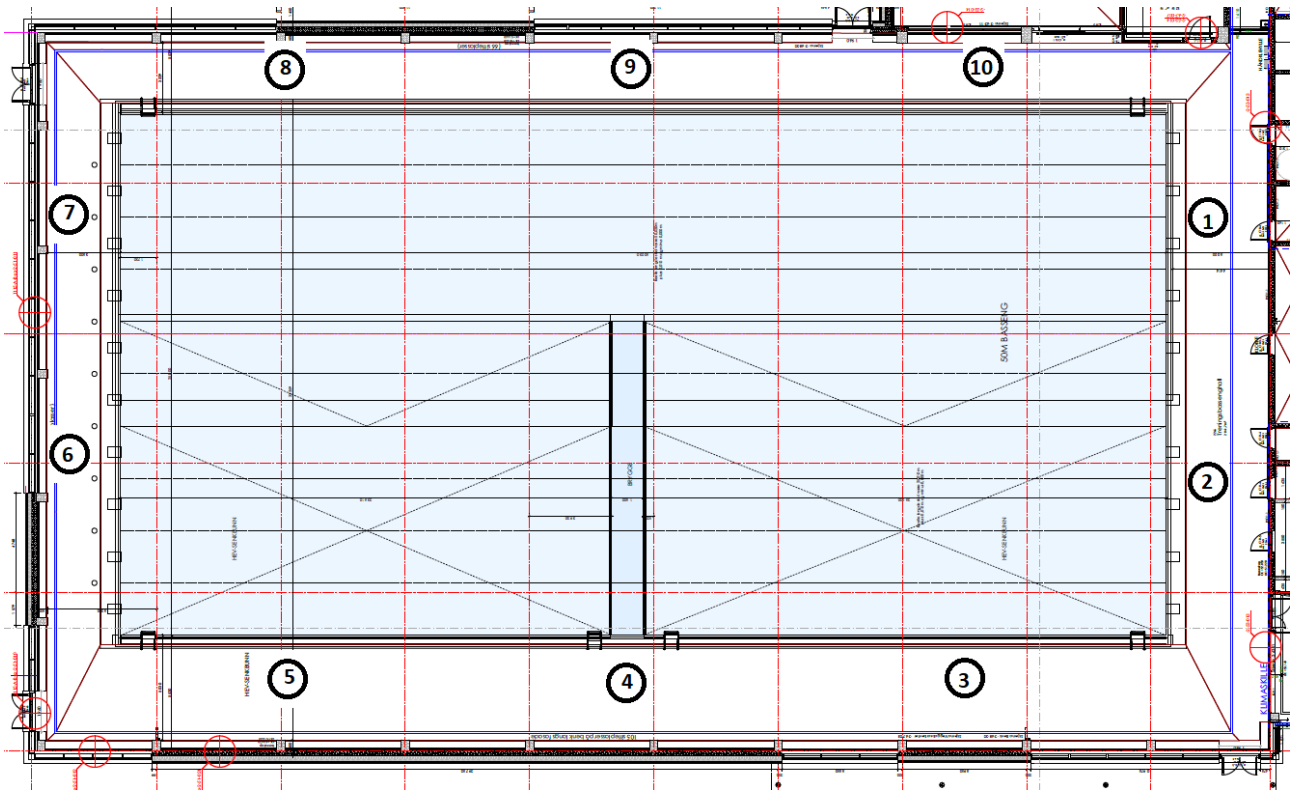


Figure 9 10 Målepunkter i Rud svømmehallen

4.2 Vindhastighet

For måling av vindhastighet ble det brukt Swema-3000. Målingen skjedde i samme 10 punkter hvor CO₂, T og RF ble målt. Se Figure 9 for målepunkter. Alle målinger ble tatt i en høyde på 0,1 meter, siden det var mest interessant, og deretter ble resultatene representert i en graf.

Etter hvert måling som ble tatt, så ble det tatt en 20 sekunders pause for at instrumentet skal stabilisere seg, og deretter ble det målt igjen og resultatene som ble fått ble skrevet på et ark. Målingene ble utført den 24.02.2022, fra kl 10:00 til kl 10:30.

4.3 Antall Personer

For å se hvor mange personer som var til stedet hver time, ble det brukt data fra kameraleverandøren som er i Italia. Først ble folk som jobber der spurt om å sende kameradata, men siden de ikke har noen erfaring med det, så klarte de ikke å utføre det. Min ekstern veileder Bjørn Aas sendte en melding direkte til kameraleverandøren og spurte om vi kunne få data om hvor mange personer som var til stede den 24. Og 25. Februar. De sendte en Excel-fil hvor det sto hvor mange personer var til stedet hvert sekund i løpet av disse dagene. Samplingstiden er ubestemt, men den samler hver gang den ser en forskjell i svømmehallen. Siden tidskonstant for loggmålingen var 5 minutter, så måtte des plukkes ut samplinger som tilsvarer tidspunkter for loggmålingene. Det ble fått en excel fil som besto av 2274 samplinger, mens Q-track hadde kun 272.

Data om antall personer er viktig, siden videre i oppgaven skal den hjelpe oss om å se hvordan antall mennesker påvirker CO₂, RF og T. Til slutt spiller den også en stor rolle når det gjelder lagring av algoritmen.

4.4 Ventilasjonsdata

For å kunne få nøyaktig data om hvor mye tilluft og avtrekk brukes i rommet, måtte det spørres Bård Reil, VVS ansvarlig fra Rud Svømmehallen. Deretter kontaktet han Hallvard Haukenes, som jobber i kommunen. Han sendte fire forskjellige excel filer for fire forskjellige aggregater. Alle filene ble samlet inn i en excel fil, som består av individuelle tillufts og avtrekksmengder, og summen av alle tillufts og avtrekksmengder. Det måtte også plukkes ut samplinger som tilsvarer tidspunkter for loggmålingene. Excel filene som ble fått hadde 1473 samplinger, mens Q-track hadde kun 272.

4.5 Algoritme

4.5.1 Korrelasjon

For å kunne lage en korrelasjonsanalyse av CO₂ og Antall mennesker, og Relativ Fuktighet og Antall mennesker, så måtte den dataen plottes inn i en excel fil. I excel så måtte det plukkes ut de verdiene, og deretter klikke på en knapp som heter Data - Data Analysis - Korrelasjon. Da får vi et tall som viser korrelasjonskonstanten. For å kunne lage graf så måtte det plukkes ut alle nødvendige verdier, og deretter klikke på Insert- Charts- og velge den ønskende grafen. Etter at grafen ble tegnet, så måtte det også tagnes en trendlinje, og trendlinjen som ble valgt da er lineær.

4.5.2 Regresjon

For å kunne lage algoritme, alle data ovenfor trengtes. Deretter ble det brukt en excel multi regresjonsmodell som implementerer alle nødvendige data og lager en tilnærmet algoritme- ligning.

Slutt tabellen som ble samlet med alle parametere ser slik ut (se Figure 10) , mens resten av den ligger i File 2- sheet 20.

Som avhengig variabel ble det brukt CO₂, grunnen til det er at den er mer påvirket av menneskets tilstedeværelse enn Relativ Fuktighet, (mer om det i 5.4.1) og den kan være en bra indikator på hvor godt inn klima er. Det er av stor interesse å se hvordan, og hva påvirker inn klima, og siden CO₂ er mer korrelert med antall mennesker enn Relativ Fuktighet, da blir den som uavhengig variabel. (5.4.1)

Uavhengige variabler som ble brukt er : Antall mennesker, Relativ Fuktighet, Luft Temperatur, Frisk Luft, Omluft.

Det ble gjort en regresjonsanalyse av dataene som ble samlet, og deretter dataene som analysen viste å ikke være relevant ble utelukket, og regresjonsanalysen ble kjørt igjen uten de dataene.

1		CO2 ppm	Antall M.	Omluft	Friskluft	RF	LT	SUM TILL.	Oml %	1 Tilluft	1 avtrekk	2 Tilluft	Avtrekk	3 Tilluft	3 Avtrekk	4 Tilluft
2	12:27:28	587	13	68472	0	48	28.7	68472	100	20061	20431	19765	19998	19217	20059	9429
3	12:32:29	572	14	68770	0	47.1	28.8	68770	100	20022	20441	19765	19998	19554	20059	9429
4	12:37:30	597	11	68750	0	47.4	28.8	68750	100	20022	20441	19765	19998	19554	20059	9429
5	12:42:31	575	9	68729	0	47.6	28.7	68729	100	19981	20463	19765	19998	19554	20059	9429
6	12:47:32	578	8	68916	0	47.8	28.7	68916	100	20168	20418	19765	19998	19554	20059	9429
7	12:52:33	581	14	69444	0	48	28.7	69444	100	20696	21116	19765	19998	19554	20059	9429
8	12:57:34	582	10	68494	0	48.2	28.6	68494	100	19746	20177	19765	19998	19554	20059	9429
9	13:02:35	582	7	68345	0	48.4	28.6	68345	100	19999	20429	19634	19998	19283	20059	9429
10	13:07:36	568	12	68232	0	44.6	28.6	68232	100	19886	20421	19634	19998	19283	20059	9429
11	13:12:37	546	12	68710	0	39.9	28.6	68710	100	20034	20398	19634	19998	19613	20059	9429
12	13:17:38	525	14	68707	0	36.3	28.5	68707	100	20031	20422	19634	19998	19613	20059	9429
13	13:22:39	544	11	69150	0	39.5	28.7	69150	100	20474	21062	19634	19998	19613	20059	9429
14	13:27:40	546	12	68407	0	40	29.2	68407	100	19731	20167	19634	19998	19613	20059	9429
15	13:32:41	550	13	68457	0	40.4	29.6	68457	100	19781	20169	19634	19998	19613	20059	9429
16	13:37:42	552	12	68712	0	40.4	29.7	68712	100	20036	20424	19634	19998	19613	20059	9429
17	13:42:43	555	14	68751	0	40.9	29.7	68751	100	20075	20469	19634	19998	19613	20059	9429
18	13:47:44	556	7	68643	0	41.5	29.7	68643	100	19967	20407	19634	20042	19613	20059	9429
19	13:52:45	558	9	68729	0	42.2	29.5	68729	100	20053	20452	19634	20042	19613	20059	9429
20	13:57:46	562	12	69220	0	42.9	29.4	69220	100	20544	21107	19634	20042	19613	20059	9429

Figure 10 Måledata samlet i Excel ark, Første 20 punkter.

5 Resultater og diskusjon

Denne delen av oppgaven handler om resultater av CO₂, RF, T, vindhastighetsmålinger, og beregning av fordampningen. (For verdier av antall mennesker og luftmengder som ble brukt da det ble målt, se File 1 og File 3). Basert på disse resultatene skal det lages en ventilasjons styrings algoritme som skal baseres på menneskets tilstedeværelse, inneklimate parameter og luftmengder.

Siden loggingen skjedde gjennom nesten 24 timer, var det mulig å se hvordan menneskets tilstedeværelse kan påvirke inneklimate parameterne. Det var samtidig mulig å se om hvordan nattventilasjon fungerer, og om den er bra eller ikke. Først skal det snakkes om inneklimateparameterne som er målt i ti punkter rundt i svømmehallen, det kalles for forsøk 1, og deretter skal det snakkes om selve loggingen, som kalles for forsøk 2., deretter skal det vises beregning av fordampningen, korrelasjonsanalyse og til slutt skal det lages en algoritme som baserer seg på Forsøk nummer 2.

5.1 Forsøk nummer 1.

5.1.1 CO₂

Figure 11 viser CO₂ nivå rundt hele bassenget målt i ti punkter. Se Figure 9 for målepunktene. Den oransje linja representerer Arbeidstilsynet veiledning 444 sitt krav om CO₂ nivå i et bygg. Det ble brukt 1000 ppm som grensa, fra deres forslag. Det er synlig at CO₂ nivå rundt hele bassenget er nesten likt, og at den ikke går nær grensa. I noen punkter stiger CO₂ nivå over 600ppm, men det kan skyldes på grunn av at det var flere svømmere som svømte ved siden av hvor det ble målt.

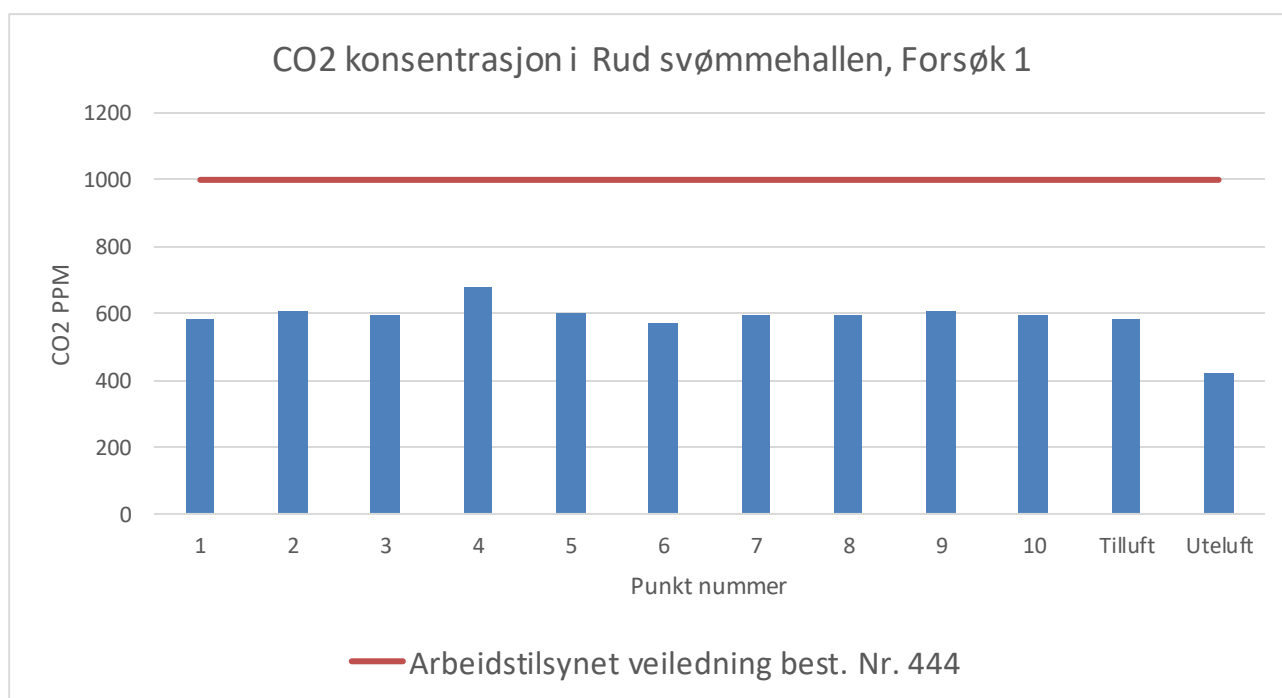


Figure 11 CO₂ konsentrasjon, målt i ti punkter rundt i svømmehallen

5.1.2 Luft Temperatur

Figure 12 viser lufttemperaturer målt i de forskjellige punktene. Se Figure 9 for punkt oversikt.

Vanntemperatur ble målt til å være 26°C, og derfor, ifølge Byggforsk skal lufttemperaturen være 2°C høyere enn vanntemperatur, det vil si 28°C. Og det er den grensen den oransje linja representerer. Målingene viser at alle punkter ligger tett ved grensa, og at grensa kan lett overstiges. Siden LT ligger mye nærmere grensa enn det CO₂ gjør, viser det oss at det er kanskje bedre å stole på LT sensorer mer enn på CO₂ sensorer, siden LT ligger nærmere grensa.

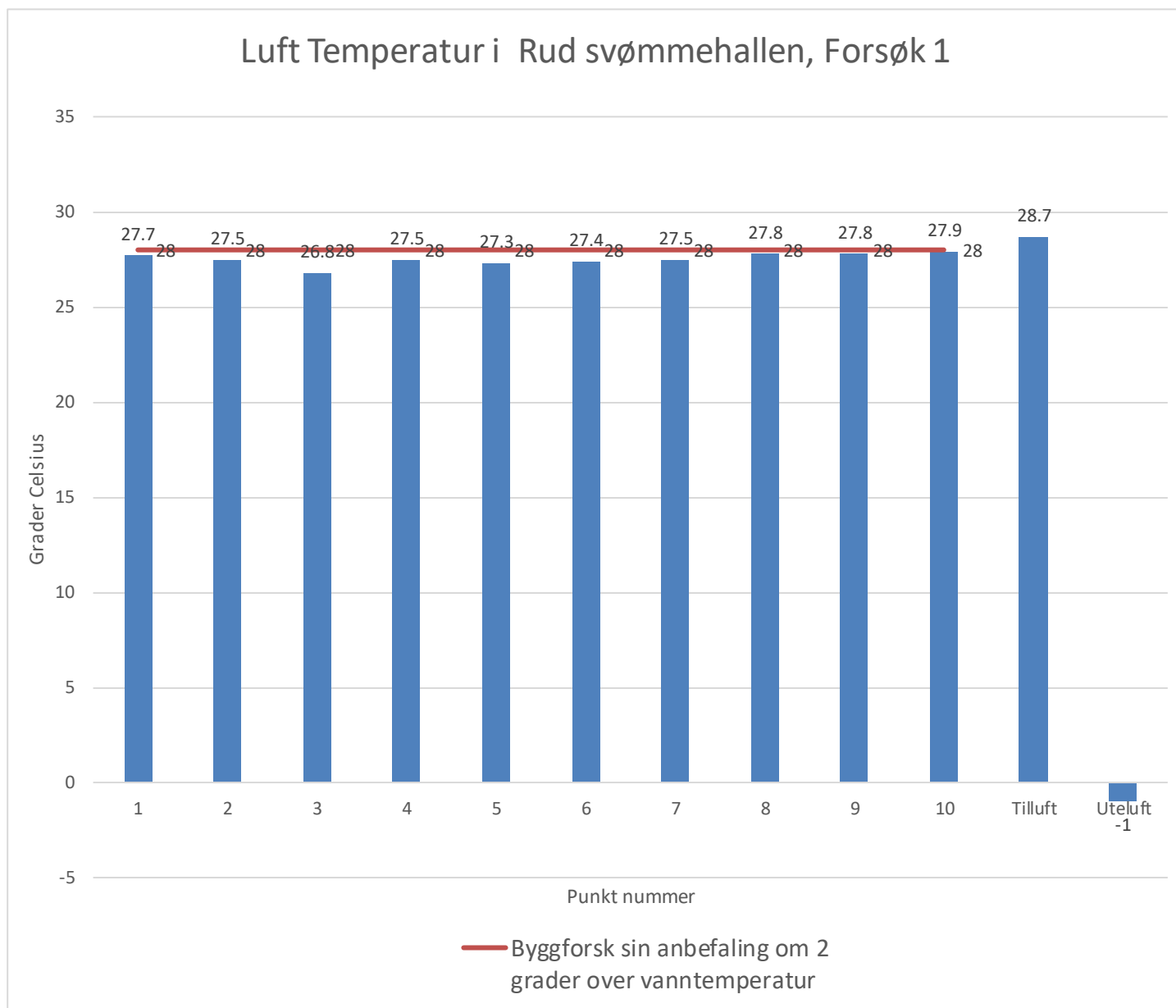


Figure 12 Luft Temperatur målt i ti punkter rundt i svømmehallen

5.1.3 Relativ Fuktighet

Figure 13 viser Relativ Fuktighet målt i de forskjellige målepunktene. Se Figure 9 for oversikt av målepunkter. Tilluft tilfører luft med nesten 10% lavere fuktighet, mens på grunn av fordampingen øker fuktigheten i alle punkter med nesten 10-15%. I følge Byggforsk skal relativ fuktighet variere med årstiden, og om vinteren burde den være 55%. Det ble brukt som grensa. Målingene viser at det er flere punkter som skrider over 55%. Selv om instrumentet ble stabilisert hver gang før neste måling ble tatt, viser den høye resultater. Grunnen til at resultatene er så høye kan være at måleinstrumentet trengte flere timer å stabilisere seg.

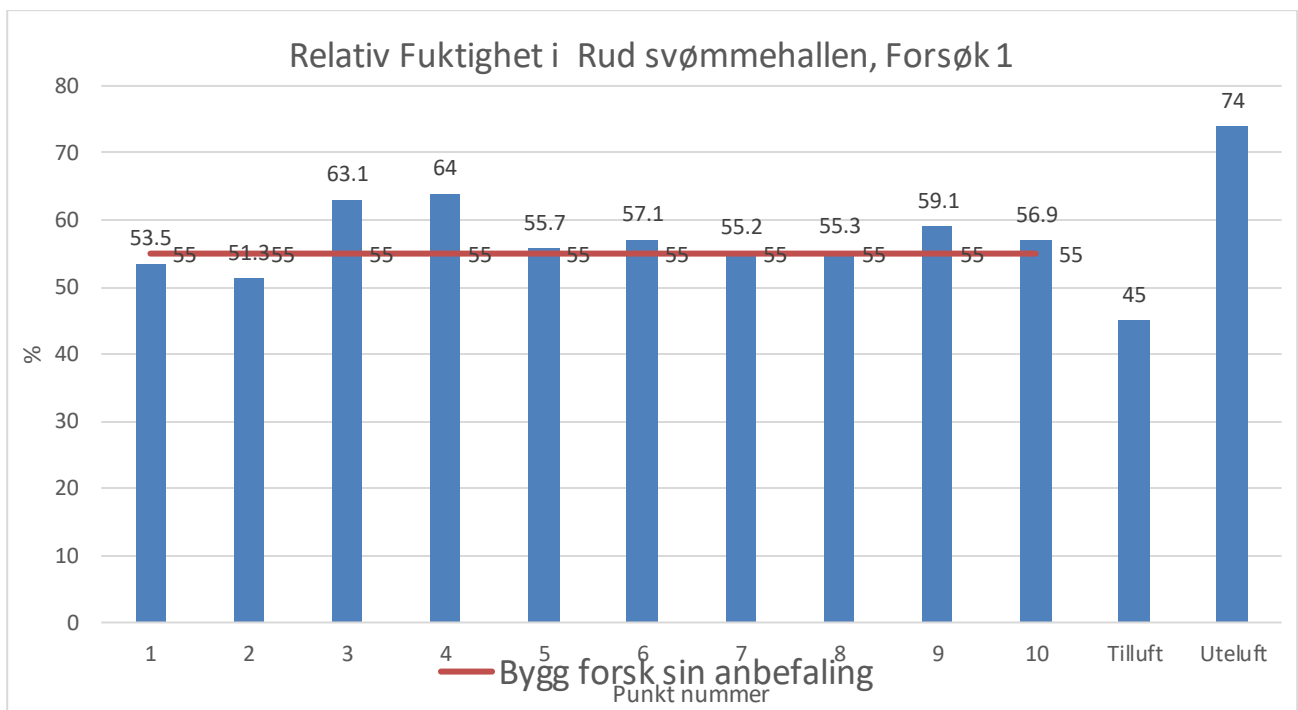


Figure 13 Relativ Fuktighet målt i ti punkter rundt i svømmehallen

5.1.4 Vind Hastighet

Figure 14 viser vindhastighet målt i de forskjellige målepunktene. Se Figure 9 for punkt oversikt. Den oransje linja representerer Byggforsk sin grensa for vindhastighet, som tilsvarer 0,15m/s. Figuren viser at nesten ingen av punktene har hastigheten høyre enn 0,15m/s. Eneste grunnen til at punkt 10 har hastighet høyre enn 0,15 er fordi døra ved siden av den var åpent da målingen ble gjort.

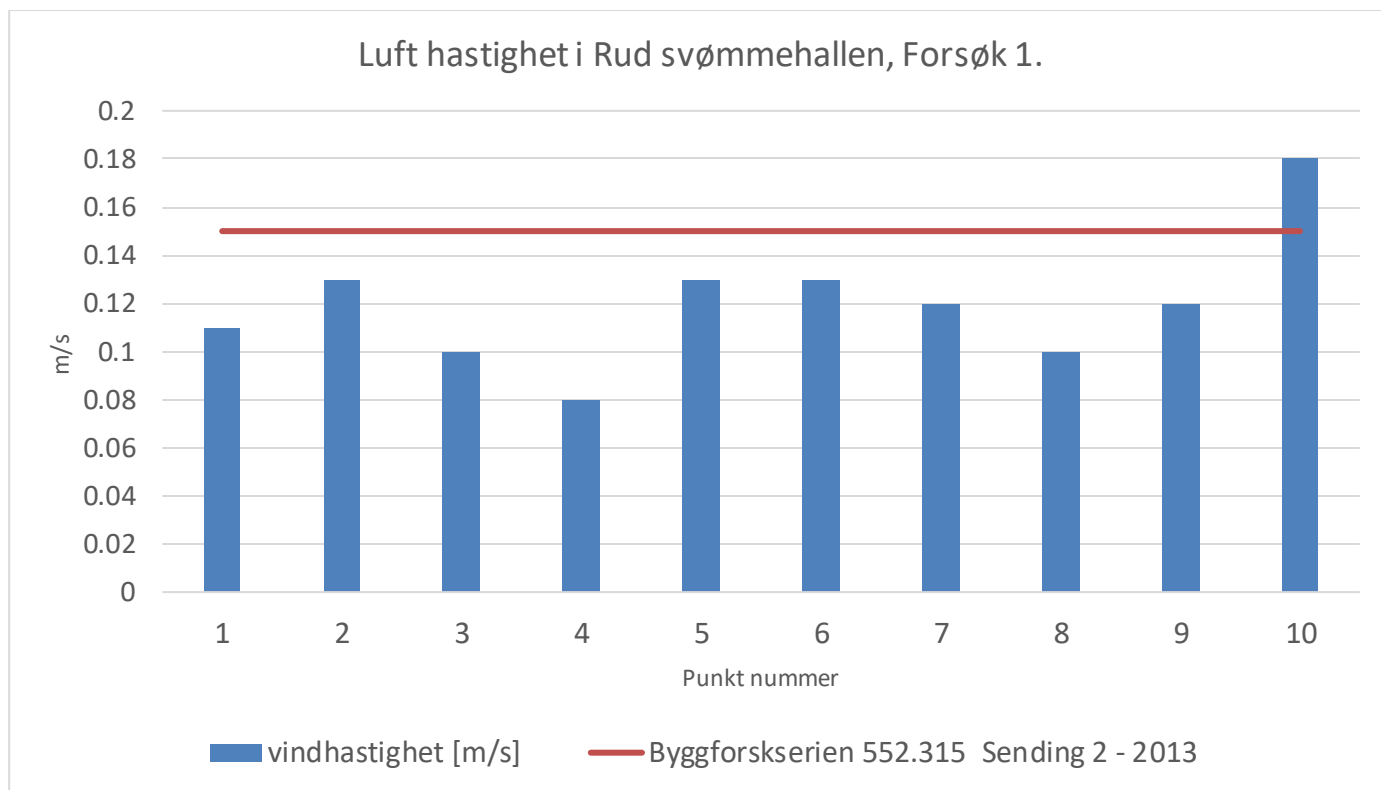


Figure 14 Vind hastighet målt i ti punkter rundt i svømmehallen

5.2 Forsøk nummer 2.

5.2.1 CO₂

Figure 15 viser CO₂ målingene som ble loget over 23 timer. Den røde linja representerer grensen, som tilsvarer 1000 ppm ifølge arbeidstilsynet veiledning 444. CO₂ er høyest i de periodene som har flest mennesker inn i hallen, og det er da om morgenen fra kl 9 til kl 11, og fra kl 17:00 til kl 18:00. Og da var det 23 mennesker. Siden selve bassenget stenger klokka 21:00, så er det naturlig for CO₂ å bli lavere siden det er ikke lenger mennesker som oppholder seg der.

Overalt så er nesten alle målingene under 600ppm, noe som indikerer at CO₂ i Rud svømmehallen ikke lager noe problem.

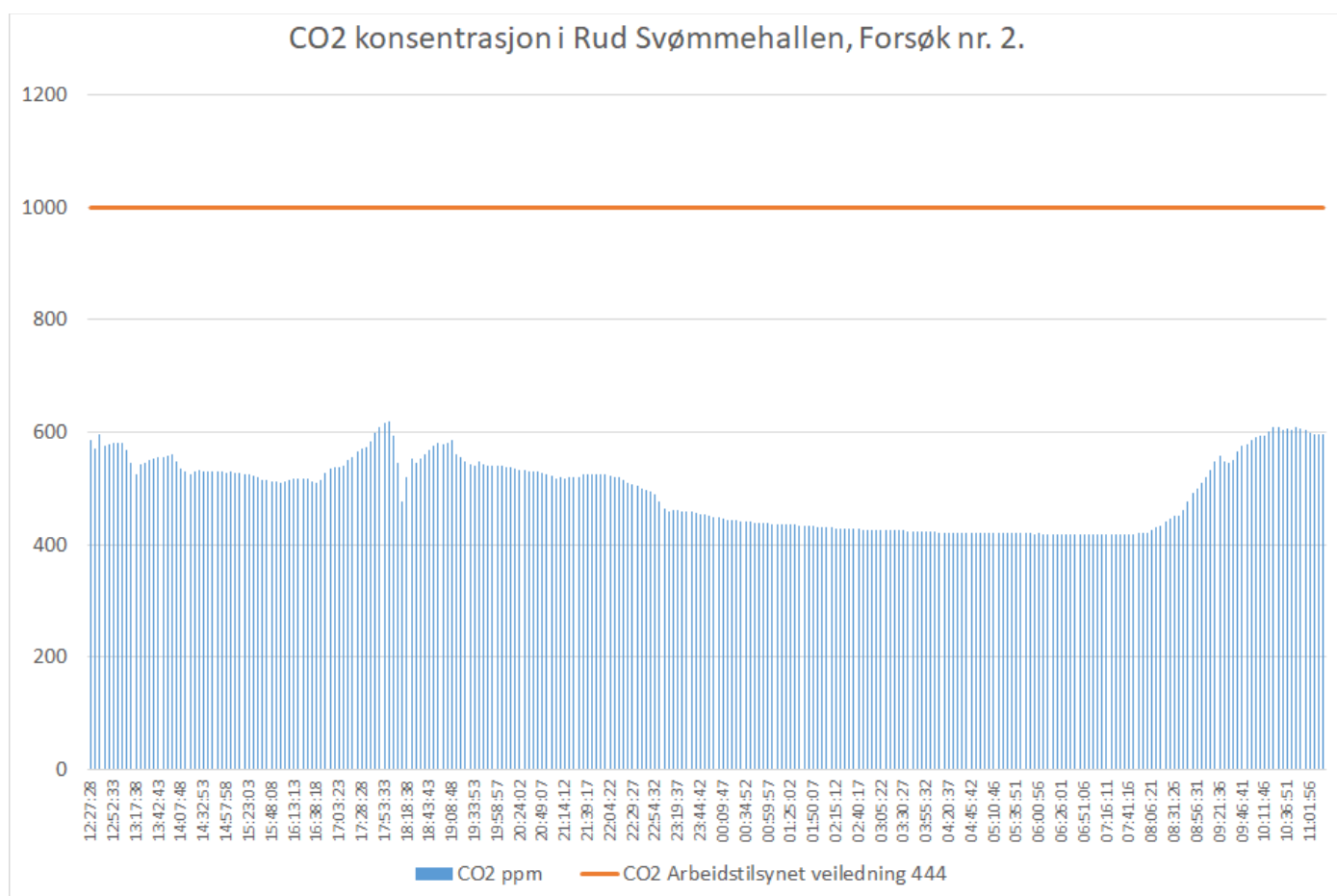


Figure 15 CO₂ konsentrasjon målt over 23 timer

Figure 16 representerer sammenligning mellom CO₂ konsentrasjon og antall mennesker. Den røde linja representerer antallet. Klokka 06:00 representerer slutt punkt på nattventilasjon, og representerer tiden hvor mennesker starter å komme til hallen. Grafen viser at om natta, når ingen er til stedet, CO₂ faller, og fortsetter å falle. Det vil si at det eneste kilden til CO₂ i svømmehallen var fra mennesker. Selv om det er 38 mennesker til stedet kl 08:00, CO₂ starter ikke å øke før kl 9. Det vil si at det tar litt tid for CO₂ nivå å bli større og at den akkumuleres, og at det er synlig at antall mennesker påvirker økning av CO₂.

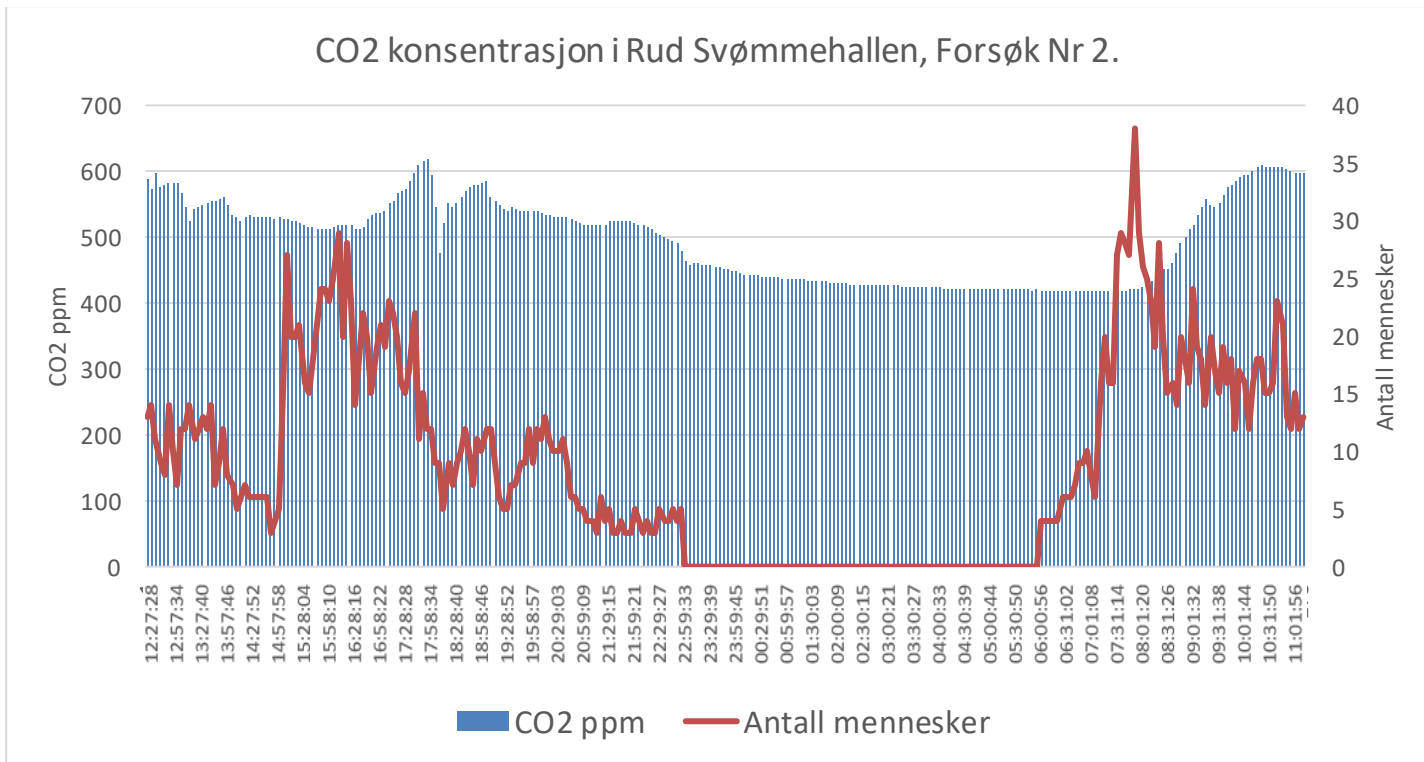


Figure 16 CO2 konsentrasjon sammenlignet med antall mennesker

5.2.2 Luft Temperatur

Figure 17 representerer Luft Temperatur målingene i Rud svømmehallen. I følge Byggforsk skal lufttemperatur skal være 2°C høyere enn vanntemperatur. Men dessverre siden det ikke var mulig å få kontinuerlige vann temperatur målinger så var det ikke mulig å vite hvor grensa skulle være, og derfor kunne det ikke sammenlignes med noe grensa. Men siden vanntemperatur skulle være 26-29°C, så tyder det at temperaturen er tett på grensa.

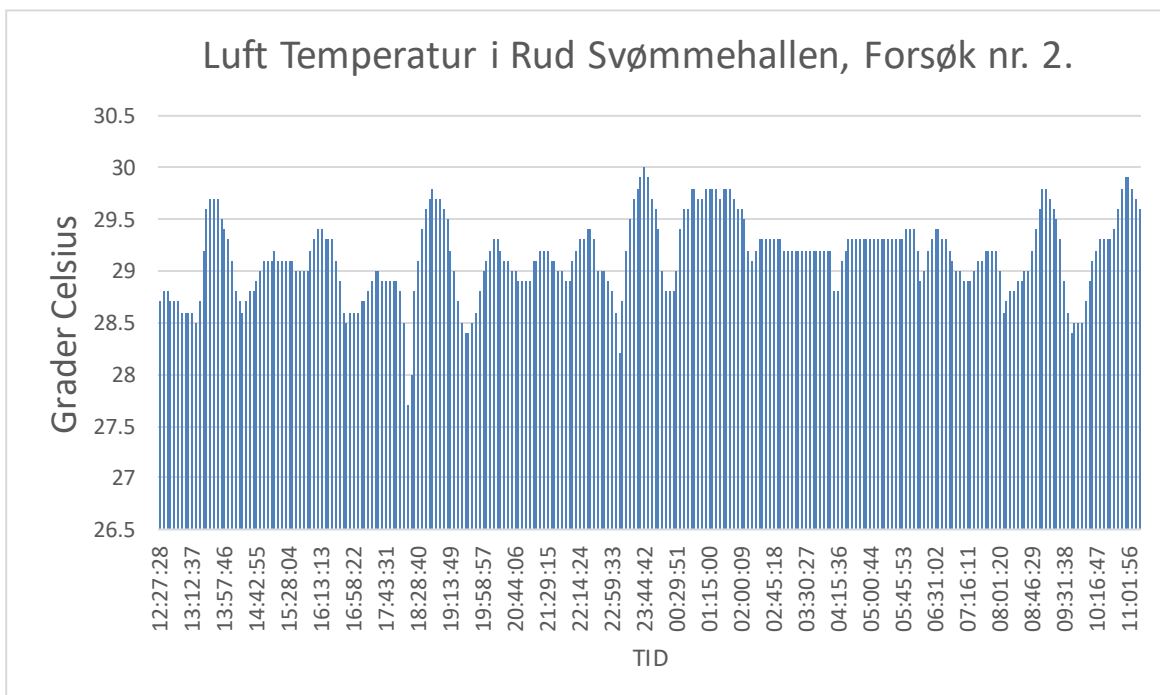


Figure 17 Luft Temperatur Målt over 23h

Figure 18 viser Luft Temperatur sammenlignet med antall mennesker til stedet. Det er synlig at lufttemperaturen inn i svømmehallen ikke er så påvirket av antall mennesker som er til stedet, og at den er jevnt nesten over hele dagen, med små svingninger på ca. 1°C Max. Det er slik at energien som genereres av mennesker er mye mindre enn varmen som fås fra ventilasjon, og derfor påvirker den ikke så mye lufttemperaturen inn i svømmehallen.

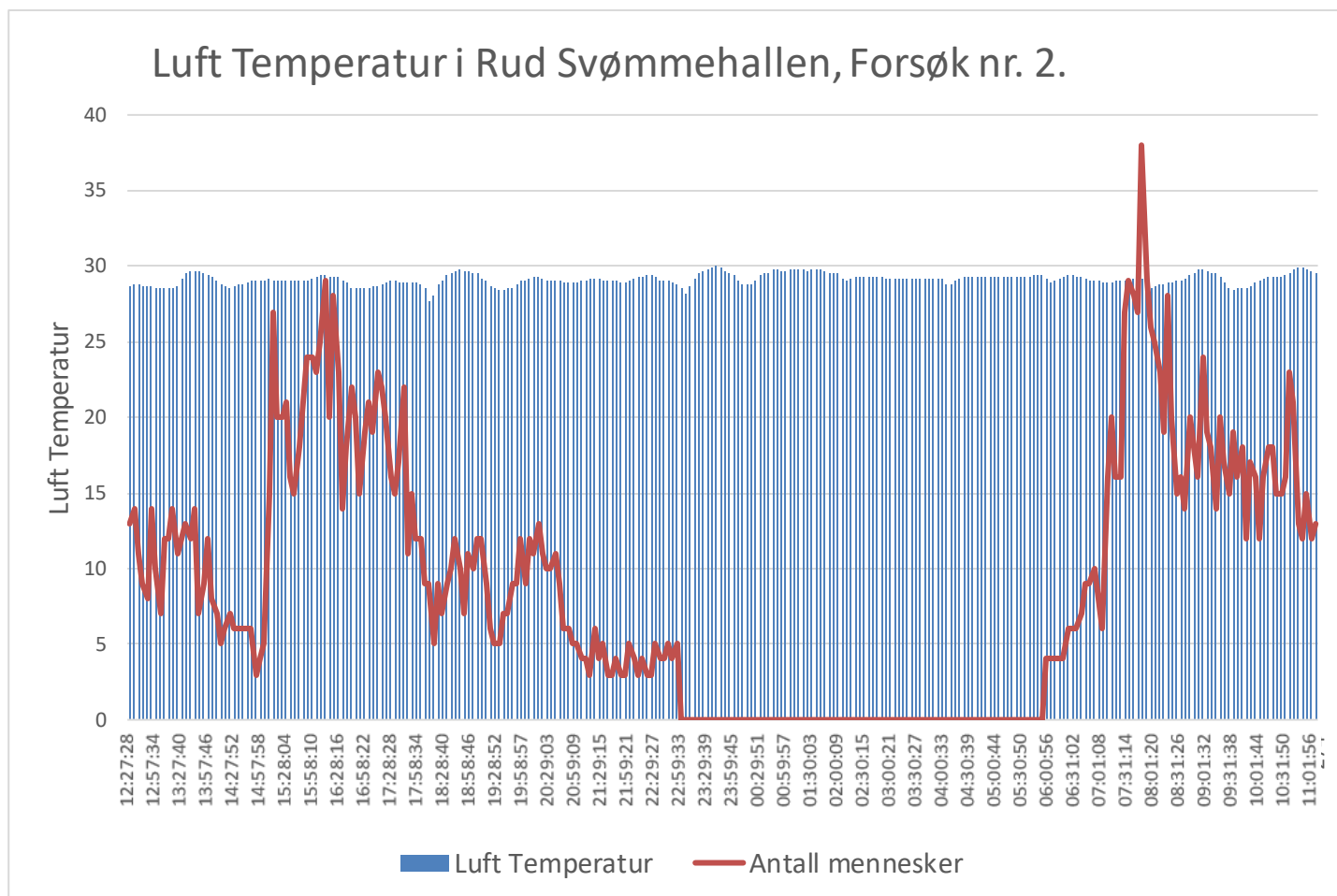


Figure 18 Luft Temperatur Målt over 23h sammenlignet med antall mennesker

5.2.3 Relativ Fuktighet

Figure 19 viser RF målingene tatt over 23 timer i Rud svømmehallen. Den oransje linja representerer en grense fra Byggforsk som sier at i vinterhalvåret burde Relativ Fuktighet være mellom 50-55%. Resultatene tyder på det at alle RF-målinger er innafor grensa.

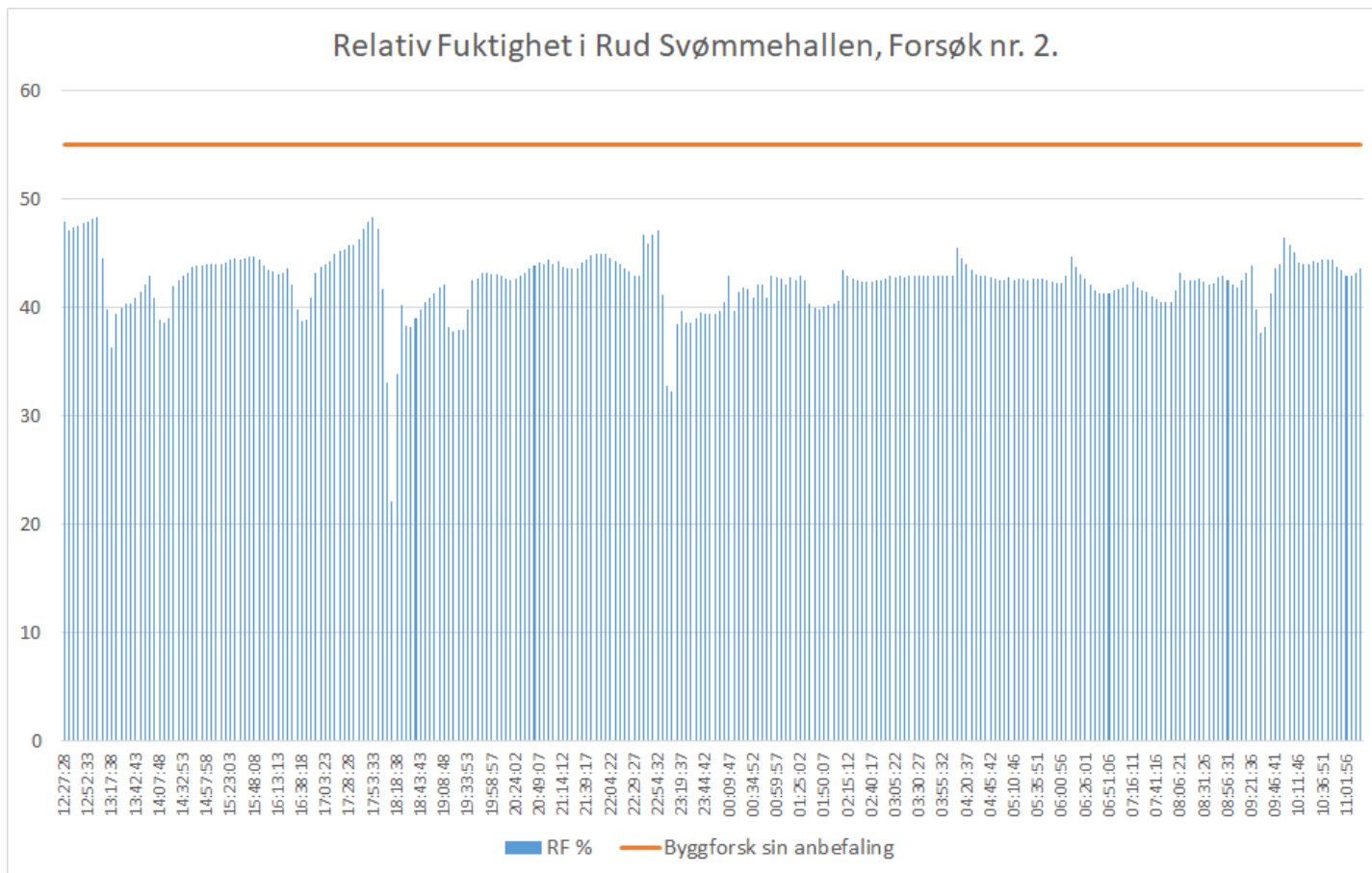


Figure 19 Relativ Fuktighet målt over 23h

Figure 20 viser en sammenheng mellom antall mennesker og RF som er i hallen. Ifølge målingene som ble fått og sammenlignet, så er det synlig at RF i svømmehallen er nesten uavhengig av antall mennesker. Svingninger som er synlige på Figure 20 er nesten bare på grunn av luft og omluft. For eksempel, kl 06:00, det vil si på starten av dagen, så er det nesten ingen endring i RF, selv om antall mennesker har økt drastisk. Kl 09:30 er det også synlig at RF nivå faller drastisk, selv om det er mange mennesker der. Mer om sammenhengen mellom RF og Antall mennesker kommer i korrelasjonsdelen.

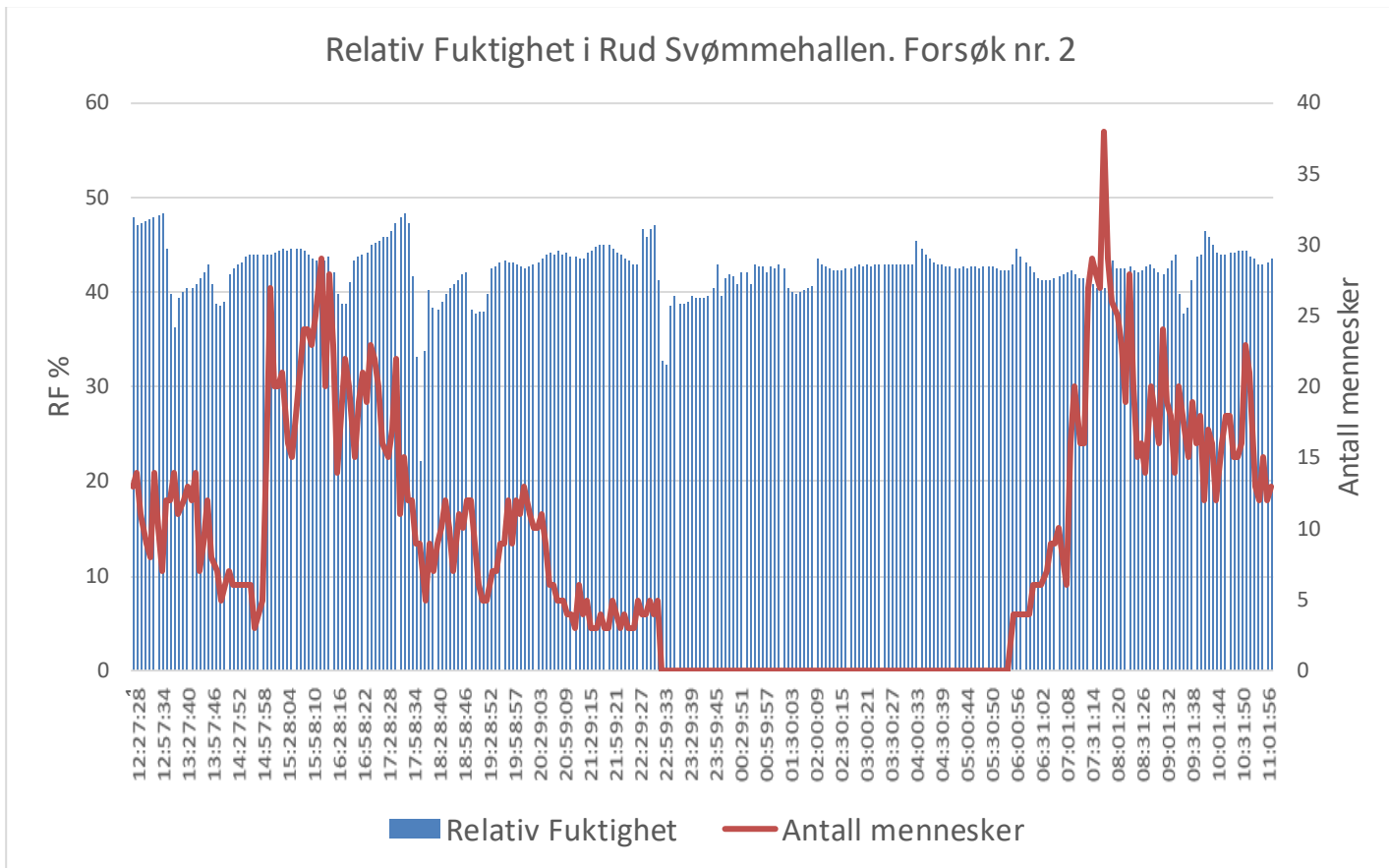


Figure 20 Relativ Fuktighet målt over 23h. Med hensyn på mennesker

5.3 Beregning av vannfordampning i svømmebassenget

$$\dot{M}_{D,B} = \frac{\beta}{R \cdot T} * (P_{D,W} - P_{D,L}) * A_B \quad (5.1)$$

$\dot{M}_{D,B}$ = Massestrøm av fordampende vann [kg/h]

β = Vannoverføringskoeffisient [Hentes fra Table 3]

R = spesifikk gasskonstant for vanndamp, R = 461,52 J / kg K

T = aritmetisk gjennomsnitt av vann- og lufttemperatur [K]

$P_{D,W}$ = metningstrykk av vanndamp ved vanntemperatur [Pa] ved [28°C]

$P_{D,L}$ = Vanndamptrykket til svømmehallluften [Pa] ved [29,3°C]

A_B = Brukt vannareal av bassenget [m²]

$$= \frac{28}{461,52 * (302,45 \text{ K} + 301,15) / 2} * 296 * 1250 = 74,4 \text{ kg/h}$$

Det tilsvarer da $59,5 \frac{g}{m^2 h}$

Vanligvis for svømmehaller er det vanlig å ha en konsentrasjon mellom 50-150 $\frac{g}{m^2 h}$. Så i vår tilfelle kan det sies at vannfordampningsnivå er innafor grensa.

5.4 Algoritme

Denne delen av oppgaven handler om alle beregninger som ble gjort i excel. Det som ble gjort i excel er korrelasjonsanalyse av forskjellige inneklimatestene og antall mennesker. Grunnen til at det ble gjort er å se en sammenheng mellom antall mennesker og hvordan de påvirker de spesielle inneklimatestene, for å se hvilken parameter som skal settes som uavhengig variabel i regresjonsanalysen. Det vil si å se en sammenheng matematisk også.

Deretter ble det gjort en regresjonsanalyse for å se om den kan finne en bedre løsning, det vil si algoritme, som skal sørge for å gjøre bedre inneklimatest.

5.4.1 Korrelasjon

5.4.1.1 Korrelasjon mellom Relativ Fuktighet og Antall Mennesker

Figure 21 viser en ferdig utregnet korrelasjonsanalyse mellom RF og Antall mennesker. Resultatet som ble fått er 0.12446. Siden korrelasjonskoeffisient kan variere fra -1 til +1. Siden 1 er perfekt, og 0 betyr at det er nesten ingen korrelasjon, 0,12446914 betyr at det nesten ikke finnes noe korrelasjon mellom antall mennesker og RF, og at Relativ Fuktighet er nesten uavhengig av antall mennesker som er til stedet.

	Antall mennesker	RF %
Antall mennesker	1	
RF %	0.124466914	1

Figure 21 Korrelasjonsanalyse mellom Relativ Fuktighet og Antall Mennesker

Figure 22 viser en graf av Korrelasjonsanalysen. Det er synlig at 0,12446914 korrelasjonskoeffisient ser ut som nesten en flat linje, og at den er nesten uavhengig av antall mennesker som er til stedet. Det lave tallet betyr også at fordampningen fra selve svømmebassenget er mye større enn fordampningen som mennesker produserer selv. På grafen ses det også at ved 0 antall mennesker er fuktigheten ganske høy, og at den ikke er noe lavere enn når mennesker er til stedet. De blå punktene på Y-aksen ved 0 antall mennesker viser også at det er like antall av de over og under den linja, noe som tyder at ved 0 antall mennesker RF øker uavhengig av antall mennesker.

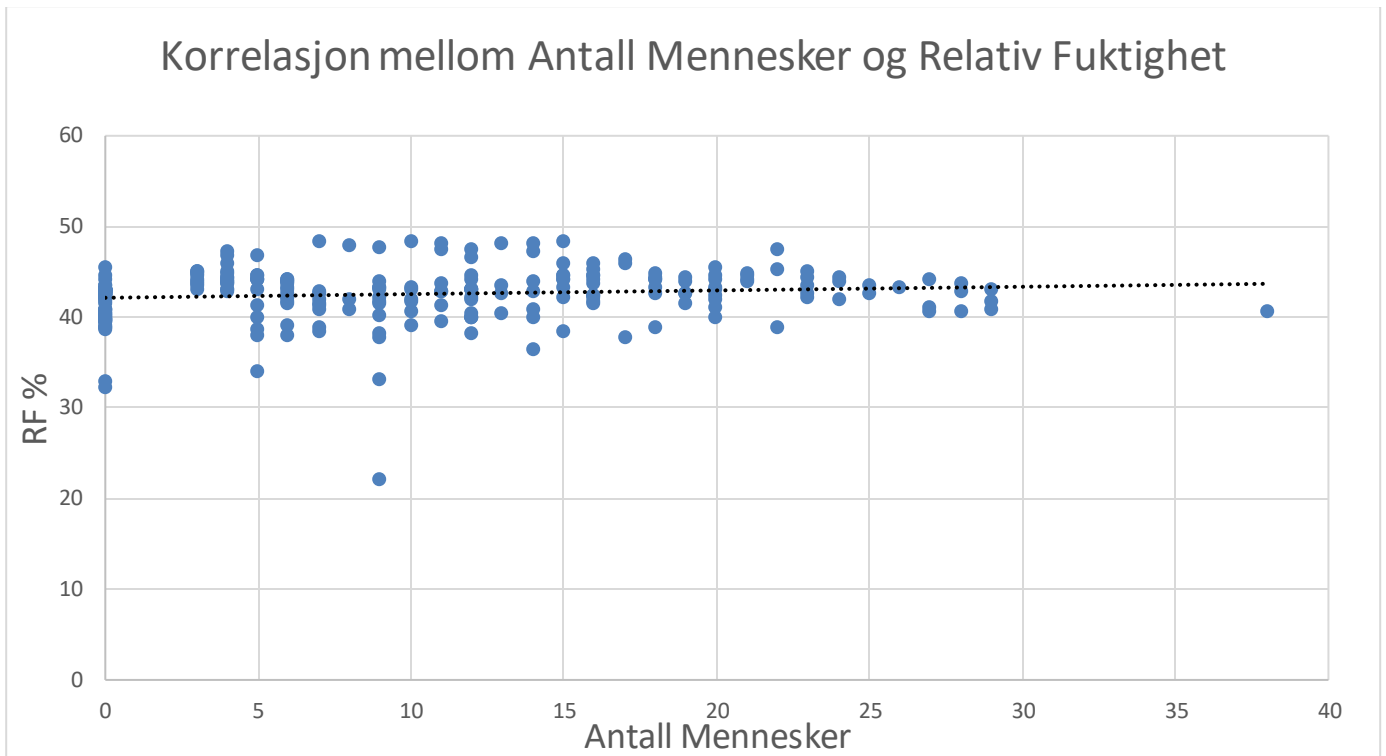


Figure 22 Korrelasjon mellom Antall mennesker og Relativ fuktighet- graf

5.4.1.2 Korrelasjon mellom CO₂ og Antall Mennesker

Figure 23 viser en korrelasjon mellom CO₂ og Antall Mennesker. Tallet som ble fått er 0.441987. Det viser at det er mye høyere korrelasjon mellom CO₂ og Antall mennesker enn det er mellom Relativ Fuktighet og Antall mennesker. Det gir mening siden den største produsenten av CO₂ i svømmehallen er mennesker, mens den største produsenten av Relativ Fuktighet er selve bassenget.

	CO2 ppm	Antall mennesker
CO2 ppm	1	
Antall mennesker	0.441987	1

Figure 23 Korrelasjon mellom CO₂ og antall mennesker

Figure 24 viser en graf av korrelasjon mellom CO₂ og Antall mennesker. Linja ser mye brattere ut enn det RF gjør. På grafen ses det også at ved 0 antall mennesker er CO₂ nivå er lavest (de blå punktene på Y akse ved 0 antall mennesker), og at stigningen starter rett etter at personer har startet å komme på bassenget.

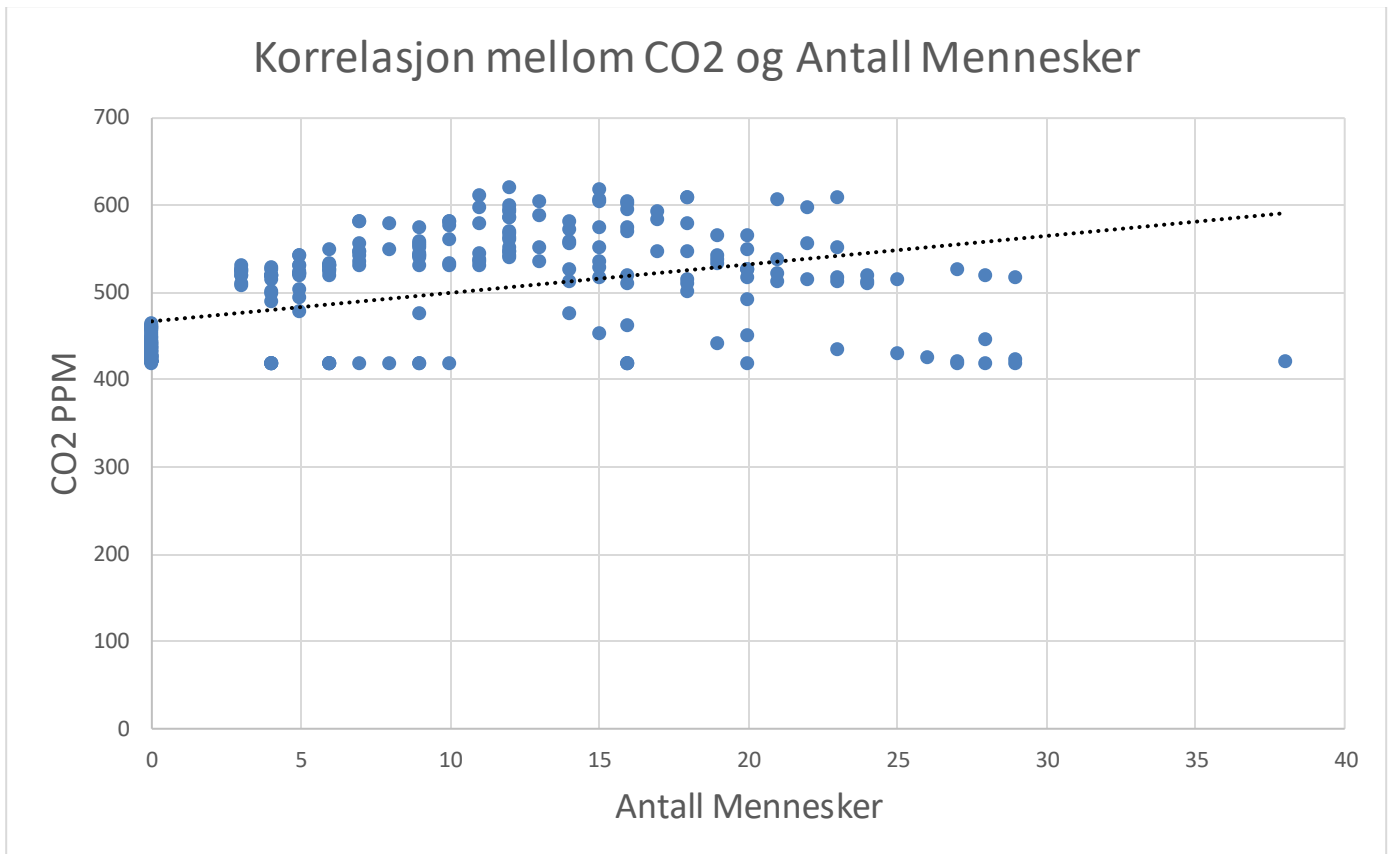


Figure 24 Korrelasjon mellom CO2 og antall mennesker- graf

5.4.2 Regresjonsanalyse

Alle resultatene skal tolkes dypt etter at alle P-valuene er tilfredsstillt, det vil si i analyse nummer 2.

5.4.2.1 Analyse nummer 1.

Figure 25 viser regresjonsanalyse av alle inneklimateparametere som ble målt, sammen med friskluft og omluft. Det er synlig at P-value av friskluften er for stor. Siden den er større enn 0.05, da burde den utelukkes. Grunnen til det kan være at omluft er den dominerende i svømmehallen, og at friskluft ikke har så stor påvirkning på CO₂. Siden P-value av friskluftmengden er mye større enn 0.05, burde den fjernes fra analysen. Se File-2- Sheet 24.

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple R	0.518684							
R Square	0.269033							
Adjusted R Square	0.255241							
Standard Error	53.59016							
Observations	271							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Significance F			
Regression	5	280106.7	56021.34	19.50668	1.55E-16			
Residual	265	761054.9	2871.905					
Total	270	1041162						
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	756.25	284.922	2.654235	0.00843	195.251	1317.249	195.251	1317.249
Antall M.	2.615351	0.414973	6.302458	1.22E-09	1.798287	3.432415	1.798287	3.432415
Omluft	0.00304	0.001305	2.329085	0.020607	0.00047	0.00561	0.00047	0.00561
Friskluft	0.002011	0.001658	1.212794	0.226289	-0.00125	0.005276	-0.00125	0.005276
RF	4.181005	1.204403	3.471432	0.000604	1.809587	6.552423	1.809587	6.552423
LT	-22.8878	8.999338	-2.54328	0.011551	-40.6071	-5.16854	-40.6071	-5.16854

Figure 25 Regresjonsanalyse. Analyse nummer 1

5.4.2.2 Analyse nummer 2

Figure 26 viser den siste regresjonsanalysen uten friskluftmengde. Nå er alle P-value innafor grensa, det vil si at de er mindre enn 0.05. Da er tabellen klar for analysering, variablene er klare for tolkning, og algoritmen er klar for å bli skrevet. Se File 2- Sheet 26.

SUMMARY OUTPUT									
Regression Statistics									
Multiple F	0.514758								
R Square	0.264976								
Adjusted R Square	0.253923								
Standard Error	53.63757								
Observations	271								
ANOVA									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>				
Regression	4	275882.5	68970.63	23.9732	5.99E-17				
Residual	266	765279.1	2876.989						
Total	270	1041162							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	
Intercept	875.0411	267.7936	3.267596	0.001227	347.7764	1402.306	347.7764	1402.306	
Antall M.	2.597306	0.415073	6.257465	1.56E-09	1.780059	3.414553	1.780059	3.414553	
Omluft	0.001708	0.000706	2.418243	0.016268	0.000317	0.003099	0.000317	0.003099	
RF	4.307745	1.200923	3.587029	0.000398	1.943221	6.672268	1.943221	6.672268	
LT	-23.9914	8.961137	-2.67727	0.007884	-41.6352	-6.34763	-41.6352	-6.34763	

Figure 26 Regresjonsanalyse. Analyse nummer 2

Regression Statistics	
Multiple F	0.514758
R Square	<u>0.264976</u>
Adjusted R Square	0.253923
Standard Error	53.63757
Observations	271

Figure 27 R square

Figure 27 viser R-Square Verdi av fire parametere som ble brukt i den endelige analysen. Verdien viser å være 0.264, det vil si at alle fire parametere kombinert sammen representerer 26,4% av variansen i CO₂. Den er OK, siden CO₂ konsentrasjon ikke kan gå veldig lavt, siden CO₂ konsentrasjon ute var 420ppm, det vil si at ikke hele CO₂ konsentrasjon blir skapt av de parameterne, men at mesteparten av den kommer fra utelufta generelt. Det ble prøvd å bli kjørt en analyse med CO₂ utekonsentrasjon også, men siden den var konstant ble det umulig å analyseres, og det ble fått en feil hvor det sto #NUM!. Se File 2 sheet 2. Standard Error blir da 53.63, som forteller avstand at de observerte verdiene faller fra regresjonslinjen.

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	5	276354.4	55270.88	19.15095	2.91499E-16
Residual	265	764807.2	2886.065		
Total	270	1041162			

Figure 28 Significance

Figure 28 viser en significance F for å være veldig lav (2.91E-16), det er bra siden den skulle være mindre enn 0.05. Det også betyr at de variablene som ble valgt predikerer betydelig. Derfor kan det skrives slik:

$$F(5,265) = 19.15095, p < .001 R^2 = 0.264 \quad (5.2)$$

	Coefficient	Standard Err	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	875.0411	267.7936	3.267596	0.001227	347.7764	1402.306	347.7764	1402.306
Antall M.	2.597306	0.415073	6.257465	1.56E-09	1.780059	3.414553	1.780059	3.414553
Omluft	0.001708	0.000706	2.418243	0.016268	0.000317	0.003099	0.000317	0.003099
RF	4.307745	1.200923	3.587029	0.000398	1.943221	6.672268	1.943221	6.672268
LT	-23.9914	8.961137	-2.67727	0.007884	-41.6352	-6.34763	-41.6352	-6.34763

Figure 29 Tabellen som tregnes for å lage algoritmen

Figure 29 viser data nødvendig for å lage en algoritme som skal predikere CO₂ konsentrasjon, og som tar i betraktning alle inneklimateparametere som står i tabellen. Det er synlig at RF og LT har høyeste

koeffisientene og påvirker derfor resultatene mest, noe som er merkelig siden man forventer at det er Omluft og Antall mennesker.

Det ble laget en regresjonsanalyse bare for å se hvordan resultatene ville se ut hvis man fjerner RF og LT fra analysen. Se File-2- Sheet 1. R squared viste å være lavere 0.212, noe som er mye lavere enn 0.26 som man får med disse parameterne. Det vil si at de ikke er nok for å predikere CO₂ sammen. Målet med oppgaven er å berøre flere inneklimateparametere, og derfor ble RF og LT beholdt.

Algoritmen, det vil si ligningen skal se slik ut:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 \quad (5.3)$$

Hvor Y_i er uavhengig CO₂ konsentrasjon som det letes etter, β er koeffisienter, mens X_1, X_2 er inneklimatevariabler som vi setter inn manuelt.

Slutt ligning (algoritmen) ser slik ut :

$$Y_i = 875.04 + 2.597 * (\text{antall mennesker}) + 0.001708 * (\text{omluft } m^3/h) + 4.3077 * (\text{RF } \%) + (-23.9914 * (\text{Lufttemperatur } ^\circ C)) \quad (5.4)$$

5.4.2.3 Testing av algoritmen- dagdrift

Ligning (5.4) viser hvordan algoritmen ser ut. Det som nå skal gjøres er å predikere hvor stor konsentrasjon av CO₂ skal være hvis vi bruker de måledataene som vi har om dagen.

	CO2 ppm	Antall M.	Omluft	RF	LT
13:02:35	582	7	68345	48.4	28.6
13:07:36	568	12	68232	44.6	28.6
13:12:37	546	12	68710	39.9	28.6
13:17:38	525	14	68707	36.3	28.5
13:22:39	544	11	69150	39.5	28.7
13:27:40	546	12	68407	40	29.2
13:32:41	550	13	68457	40.4	29.6
13:37:42	552	12	68712	40.4	29.7
13:42:43	555	14	68751	40.9	29.7
13:47:44	556	7	68643	41.5	29.7

Figure 30 Data som brukes for testing av algoritmen-dagdrift

Figure 30 viser 10 forskjellige sampler gjennom dagen. Da skal det kjøres algoritme for å se om den kan predikere CO₂ konsentrasjon om dagen og om den er i nærheten av den som ble målt.

Table 11 Testing av algoritmen-dagdrift

Test nummer:	CO ₂ konsentrasjon som ble fått ved å bruke algoritmen ppm:	CO ₂ konsentrasjon som faktisk ble målt ppm	Standard Error ppm	Forskjellen mellom målingen og algoritmen ppm
1	532	582	53.63	50
2	528	568	53.63	40
3	509	546	53.63	37
4	501.1	525	53.63	23.9
5	503.1	544	53.63	40.9
6	494.6	546	53.63	51.4
7	489.4	550	53.63	60.6
8	484.9	552	53.63	67.1
9	492.2	555	53.63	62.8
10	473.8	556	53.63	82

Table 11 viser beregning ved hjelp av algoritmen, og konsentrasjon som ble målt i ppm. Til slutt står det en forskjell for å se hvor nøyaktig algoritmen er.

Når det gjelder målende parametere, ses det at CO₂ konsentrasjon starter å øke etter 4. sampling, mens den predikerte CO₂ nivå starter å minke. Grunnen til det kan være at RF og LT starter å øke etter sampling 4, noe som påvirker algoritmen mer enn det skulle.

Det som også kan være et problem for algoritmen er at det kan ta tid for at målende CO₂ starter å øke når noen personer kommer inn i hallen, det vil si at det kan ta litt lengre tid for den å akkumuleres. I virkeligheten CO₂ konsentrasjon skal ikke øke fort, det vil si at målende CO₂ konsentrasjon i tabellen ikke tilsvarer antall mennesker som er akkurat da til stedet. Et eksempel er når det er 80 personer i et rom, og CO₂ konsentrasjon blir 800 ppm. Når de forlater rom, blir konsentrasjon 800ppm en viss tid, og hvis 3 personer da kommer inn i rommet ville det blitt skrevet i algoritmen at det er 3 personer som produserte 800ppm. Noe som ikke er riktig.

5.4.2.4 Testing av algoritmen- nattdrift

Figure 31 **Feil! Fant ikke referanse-kilden.** viser inneklimateparametere som ble brukt for å teste algoritme i nattdrift.

	CO2 ppm	Antall M.	Omluft	LT	RF
01:55:08	432	0	63084.99	29.6	40.2
02:00:09	432	0	63076.04	29.6	40.4
02:05:10	431	0	63585.48	29.5	40.7
02:10:11	430	0	64649.13	29.2	43.5
02:15:12	429	0	64669.03	29.1	42.9
02:20:13	428	0	62917.83	29.2	42.7
02:25:14	428	0	63089.97	29.3	42.5
02:30:15	428	0	63073.05	29.3	42.4
02:35:16	428	0	63082.01	29.3	42.4
02:40:17	428	0	63581.5	29.3	42.4

Figure 31 Data som brukes for testing av algoritmen-nattdrift

Figure 31 viser den predikerte CO₂ verdien, og den målte CO₂ verdien. Til slutt står det forskjellen mellom den målte og den predikerte.

Table 12 Testing av algoritmen-nattdrift

Test nummer:	CO ₂ konsentrasjon som ble fått ved å bruke algoritmen ppm:	CO ₂ konsentrasjon som faktisk ble målt ppm	Standard Error ppm	Forskjellen mellom målingen og algoritmen ppm
1	445.6	432	53.63	13.6
2	446.4	432	53.63	14.4
3	451	431	53.63	20
4	472.1	430	53.63	42.1
5	472	429	53.63	43
6	465.7	428	53.63	37.7
7	462.7	428	53.63	34.7
8	462.3	428	53.63	34.3
9	462.3	428	53.63	34.3
10	463.1	428	53.63	35.1

Når det kjøres nattdrift så er 0 personer til stedet. Det vil si at i algoritmen skal ledde for antall personer være lik null. Da er hele prediksjon avhengig av LT, RF og Omluft. Se Figure 31. Forskjellen mellom den målte og den beregnende verdien i Table 12 er mye lavere enn i Table 11. Årsak til det kan være antall mennesker, slik at algoritmen har regnet ut for høy verdi av CO₂ som en person produserer, som forårsaker at forskjellen i Table 11 er større enn i Table 12. Og derfor når det ikke finnes mennesker til stedet blir verdiene litt mer tilnærmet hverandre. Allikevel den største betydning for CO₂ konsentrasjon har RF og LT, liten påvirkning på de kan også endre mye.

5.4.2.5 Testing av algoritmen- tilfeldig drift

I denne delen av oppgaven skal det settes inn egne verdier for antall mennesker, omluft, RF og LT. Det skal prøves å testes å se om hvordan ville CO₂ blitt predikert i forskjellige tilfeller.

Table 13 Testing av algoritmen-tilfeldig drift

Antall mennesker	Omluft	RF	LT	CO ₂ konsentrasjon som ble fått ved å bruke algoritmen ppm:
35	87000	45	29.5	601
30	87000	40	30	554
25	87000	48	29.3	592
40	87000	50	31	599

Table 13 viser et tilfelle hvor alle aggregater kjører Max luftmengde, det vil si $3 \cdot 25.000 + 1 \cdot 12.000 = 87.000$. variablene for RF ble tilfeldig valgt, samme med Luft Temperatur og antall mennesker. Algoritmen gir OK resultater. Men den største påvirkning på resultatene gir LT. Noe som i virkeligheten ikke ville gitt så mye mening, at med økt Luft Temperatur CO₂ nivå faller ned. **Feil! Fant ikke referanseilden.**

6 Spørreundersøkelse

Denne delen av oppgaven handler om hvordan spørreskjema ble utviklet og hvordan ble den fordelt. Siden hovedfokus for denne oppgaven er om atmosfærisk og termisk miljø, handler alle spørsmålene om de to miljøene.

6.1 Metode:

Spørreundersøkelse er en god måte å få inntrykk av hva brukerne tenker om innneklima. Spørreundersøkelsen ble kopiert fra innneklima sin nettside og deretter ble printet ut og fordelt i svømmehallen. See vedlegg 10.1 for hele spørreundersøkelsen.

Hele undersøkelsen baseres seg på Ørebro undersøkelsen. (Department of Occupational and Environmental Medicine).

Før spørreundersøkelsen ble delt ut, ble det spurt om deltagerne var store nok til å klare å delta, og om de kunne forstå alt som står på arket. Siden brukerne i svømmehallen var ikke gamle nok for å svare på avanserte spørsmål, ble det ikke lagt til flere spørsmål som var mer kompliserte og detaljerte.

Spørreundersøkelsen ble utført i løpet av 24.02.2022 og 25.02.2022. Grunnen til det er at det var ikke alle som ville delta, og det var veldig hjelpsomt å få svar fra mange mennesker som mulig.

Spørreundersøkelsen ble plassert på benken, og alle som var villige å delta skulle gått til benken og ta med et eksemplar.

Først ble alle ansatte spurt om å delta i undersøkelsen fordi det er de som er lengst der, og deres mening betyr mye. Deretter ble det gått til bassenget og alle som svømte ble spurt om de er villige å delta i en lite undersøkelsen. Det var bra at det var mange som var forstårlige og villige nok til å delta i den.

6.1.1 Resultater

6.1.1.1 *Atmosfærisk miljø*

Table 14 viser prosent svar fra de forskjellige spørsmålene som var i spørreundersøkelsen. Spørsmålene fra Table 15 er knyttet til atmosfærisk miljø.

Flertall svarte slik at de ikke har noen problemer i svømmehallen, men fortsatt det er noen som ble påvirket av det atmosfæriske miljøet. Det er 50% som svarte at de har problemer med tretthet og at de har det tungt i hodet. Det kan skyldes at høye vanntemperatur påvirker fysiologisk system, noe som gjør deg trøtt. (Benjamin, 2022), Samtidig høy RF og høy T i kombinasjon med hverandre gjør at man føler seg trøtt, har hodepine, er svimmel

eller har konsentrasjonsproblemer (Benjamin, 2022) . 6,25% sier at de har ofte problemer med øynene, mens 18,75 sier at de har det iblant. I følge Kaydos-Daniels studium, irritasjon i øynene oppstår på grunn av klor. 12,5 sier at de har neseproblemer veldig ofte, mens 25 sier at de har det iblant. Mange har skrevet at de har det problemet på grunn av selve vinteren, fordi utetemperatur er veldig lav, mens innetemperatur er ca. 30°C. Over 31,25% av deltagere har sagt at de føler at de har tørr eller irritert hud i ansiktet. Grunnen til det er at vann kombinert med klor skyller olje som mennesker har på huden sin, og som har som funksjon å beskytte mennesker fra tørr hud. (Kaydos-Daniels S. C., 2008)

Table 14 Spørsmål knyttet til atmosfærisk miljø

Plager på arbeidsstedet	Ja, ofte (hver uke) [%]	Ja, iblant [%]	Nei, aldri [%]
Tretthet	0	50	50
Tung i hodet	0	50	50
Hodepine	6,25	18,75	75
Svimmel/ ør	0	18,75	81,25
Konsentrasjonsproblemer	0	12,5	87,5
Kløe/svie/irritasjon i øynene	6,25	18,75	75
Irritert, tett eller rennende nese	12,5	25	62,5
Heshet, tørrhet i halsen	12,5	37,5	50
Hoste		25	75
Tørr eller irritert hud i ansiktet	18,75	31,25	50
Flassing /kløe i hodebunnen	0	25	75
Tørr, kløende hud på hendene	6,25	18,75	75

6.1.1.2 Termisk miljø

Table 15 viser prosent svar fra de forskjellige spørsmålene som er knyttet til termisk miljø. Som tabellen viser, det største problemet er at det er iblant for varmt (62,5%), at det er ujevnt temperatur for ofte (6,25%), og 43,75% at det er ujevnt temperatur iblant. 6,25% føler at det er for kaldt veldig ofte, mens 43,75% føler at det er kaldt iblant. Alle tilfellene nevnte ovenfor kan skyldes på grunn av alderen, kjønn, preferanser, aktivitetsnivå, og metabolisme.

Table 15 Spørsmål knyttet til termisk miljø

Plager på arbeidssstedet	Ja, ofte (hver uke)	Ja, iblant	Nei, aldri
Trekk	0	25	75
For varmt	0	62,5	37,5
For ujevnt (vekslende temperatur)	6,25	43,75	50
For kaldt	6,25	43,75	50
Innestengt og "dårlig" luft	0	12,5	87,5
Tørr luft	0	31,25	68,75
Ubehagelig lukt	0	25	75
Statisk elektrisitet med småstøt	0	0	100
Tobakksrøyk fra andre	0		100
Støy	0	31,25	68,75
Belysning: svak eller blendende	0	12,5	87,5
Støv og smuss	0	12,5	87,5

7 Konklusjoner

Målet med denne med oppgaven var å lage en algoritme som skal styre ventilasjonssystemet bedre og som skal fokusere på menneskets tilstedeværelse, RF, LT, Omluft, Friskluft og Antall Mennesker.

Feltekspirimeter ble utført i svømmehallen på Rud, med og uten mennesker til stedet.

Grafene som ble lagd etter Logg målingen (Forsøk 2) viser visuelt at det er mye større sammenheng mellom Antall mennesker og CO₂ enn det er mellom Relativ Fuktighet og Antall Mennesker. Det kunne konkluderes også ved å se på nattventilasjon og hvordan CO₂ nivå endres når det ikke er personer til stedet, mens Relativ Fuktighet ble nesten konstant over hele døgn.

Korrelasjon analysen har vist oss at det er mye større korrelasjon mellom CO₂ og Antall mennesker (0,442), enn det er mellom RF og Antall mennesker (0,124). Grunnen til det er at den fuktige luften som finnes i svømmehallen er mest produsert av selve vannet, og at RF produsert av mennesker spiller nesten ingen rolle, og er en veldig liten fraksjon av den totale fuktige luften inn i svømmehallen. Det kunne også ses fra loggingen, at RF er nesten lik over hele dagen, og at det ikke spiller noe rolle om det er mennesker til stedet eller ikke. Når det gjelder korrelasjon mellom CO₂ og antall mennesker, så er det slik at det eneste kilde for CO₂ i rommet er fra mennesker. Det ser vi også fra grafen, at når nattventilasjon kjøres, at CO₂ konsentrasjon er mye lavere om natta enn når det er personer til stedet. Siden svømmehallen bruker RF og CO₂ sensorer for styring av ventilasjon, betyr det at den lave verdien av korrelasjonskoeffisienten at RF sensorer ikke konsentrer seg på menneskets tilstedeværelse og hvordan mennesker opplever inneklimate, men mer på generelt inneklimate, uavhengig av antall mennesker. Det viser også at CO₂ sensorer er en bra indikator hvis man vil styre ventilasjon med hensyn på mennesker, siden den har høy korrelasjon koeffisient, og derfor ble den valgt som uavhengig variabel i regresjonsanalysen.

Regresjonsanalysen- Algoritmen som ble lagd ved å bruke regresjonsanalysen i excel omfatter en uavhengig variabel CO₂ og flere avhengige variabler som er: Relativ Fuktighet, Luft Temperatur, Omluft, Friskluft og Antall Mennesker. Målet med forsøket var å lage en algoritme som skulle styre ventilasjon med mer fokus på menneskets tilstedeværelse og som tar i betraktning flere inneklimateparametere og ventilasjons luftmengder. Algoritmen viser seg å være ganske nyttig, og har en Standard Error på 53 ppm. Siden den gjennomsnittlige mengde for CO₂ i hallen er rundt 550, vil det si at 53 representerer nesten 10% standard Error, som er ganske bra. Algoritmen påvirkes mest av Luft Temperatur (-23.99), mens Antall Mennesker påvirker CO₂ med kun (2.6). Det vil si at ved hver °C økning faller CO₂ med 23.3, mens med hver person som kommer øker CO₂ konsentrasjon med 2.6.. RF påvirker algoritmen med 4.3, det vil si at ved hver økning av 1% RF øker CO₂ konsentrasjon med 4.3.. R² av denne modellen viste seg å være 26.5%, som vil si at modellen er ganske relevant til å predikere, siden grensa er 26% , mens verdi under 26% representerer en lav relevans. Det ble også gjort flere andre algoritmer, hvor RF og LT ble tatt ut av modellen, men ingen av dem var i nærheten av 26.5%, som vil si at den første modellen beskriver modellen best. Alt i alt er algoritmen en bra tilnærming av CO₂. Modellen ville vært enda mer relevant hvis CO₂ utekonsentrasjon ble logget også, siden da ville modellen hatt en startkonsentrasjon.

Det ble gjort tre forskjellige prøvedrift med algoritmen: dag, Natt og tilfeldigdrift. Når det gjelder dagdrift så viste det at avviken fra prediksjon var rundt 50, mens i noen tilfeller 80.

Spørreundersøkelsen viste at de fleste er fornøyde med inneklima i svømmehallen. Noen mennesker sier at det er for kaldt, noen sier at det er for varmt, mens noen sier at temperaturen er ujevn. Men hvis vi tar i betraktning at mennesker opplever temperaturen annerledes, vil svarene gi mening. Mengden av respondenter er en stor begrensning, som gjør det umulig å trekke noen konklusjoner med hensyn til inneklima.

8 Videre arbeid

Ideelt ville det vært best hvis målingsperiode kunne blitt når det er flest mennesker. Det vil si når det er 100% mennesker til stedet. Ideelt ville det vært å måle midt på selve bassenget over flere dager, og over flere forskjellige årsperioder. Det ville også vært bedre hvis det kunne logges i flere forskjellige steder samtidig, og hvis det kunne logges midt på selve bassenget, det vil si at det kunne brukes flere Q-track samtidig. Det ville gitt mer inntrykk i hvordan inneklima er over hele svømmehallen og hvordan menneskets tilstedeværelse ville påvirke den.

Det kunne også vært bedre hvis man også tar hensyn til klorforbindelser inn i svømmehallen, både i vannet og i luft, og måler de på en eller annen måte. Samtidig ville det hjelpe å måle vindhastighet over flere dager, siden vindhastighet også kan påvirke fordampningen, og samtidig klorforbindelser.

Det ville også hjelpe hvis CO₂ utekonsentrasjon ble også logget, for å ha en referanseverdi i regresjonsanalysen. Regresjonsanalysen analyserer kun verdiene som endres, og derfor er det viktig å ha stadig forskjell når det gjelder CO₂ konsentrasjon og å ikke ha en konstant tall som ikke endrer seg.

Det ville kanskje hjelpe hvis fuktigheten ble regnet i g/m³. Da ville den ikke ha så stor påvirkning (kanskje). Det burde kanskje lages flere forskjellige algoritmer for forskjellige tidspunkter om døgn, slik at det fås to forskjellige algoritmer, en for dag, en for natt. Det kunne hjelpe prediksjon å være mer presis.

9 Referanser:

- Allergiforbundet, A. o. (2016). *Inneklime og innemiljø*. A. o. Allergiforbundet. NAAF. https://www.naaf.no/fokusomrader/inneklime/inneklime_innemiljo/
- Arbeidstilsynet. (2022). *Krav til ventilasjon* (444). arbeidstilsynet.no. <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/byggesak/veiledning-til-dokumentasjonskrav-ved-soknad-om-arbeidstilsynets-samtykke/krav-til-ventilasjon/>
- Bekkeli, L. T. T. (2021). *Ventilasjonsteknikk uke 17*. Oslomet. https://oslomet.instructure.com/courses/20646/files/2021473?module_item_id=307004
- Benjamin. (2022). *6 Reasons Swimming Makes You Tired (& What To Do About It)*. swimcompetitive. Hentet 02.05 fra <https://swimcompetitive.com/swimming/why-tired/>
- Bøhlerengen, T., Mehus, J., Waldum, A. M., Blom, P., Farstad, T. & Edvardsen, K. I. (2004). *Bade- og svømmeanlegg* (Bd. 52). Norges byggforskningsinstitutt.
- Braut, G. S., Dahlum, Sirianne. (2021). Regresjonsanalyse. I *Store Norske Leksikon*. Hentet 17.05.2022 fra <https://snl.no/regresjonsanalyse>
- Byggforsk. (1993). *Ventilasjon og avfukting i svømmehaller og rom med svømmebasseng*. https://byggforsk.no/dokument/534/ventilasjon_og_avfukting_i_svoemmehaller_og_rom_med_svoemm_ebasseng
- Byggforsk. (2018). *Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring* (451.021). https://www.byggforsk.no/dokument/204/klimadata_for_termisk_dimensjonering_og_frostsikring
- Consulting, C., (2020, 28.07.2020). Evaporation, Condensation, and Dew Point. *Chloramine Consulting*. <https://blog.chloramineconsulting.com/evaporation-condensation-and-dew-point>
- Edvardsen, K. I. (2014). *Trehus* ([10. utg.], utg., Bd. 5). SINTEF akademisk forl.
- Evaporation and Climate. (2018). I *Serc Carleton* Hentet 03.05.2022 fra https://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/food_supply/student_materials/905#:~:text=Humidity%2C%20or%20water%20vapor%20content,and%20less%20evaporation%20can%20occur.
- Frøslie, K. F. (2022, 27.01.2022). Korrelasjon. I *Store Norske Leksikon*. <https://snl.no/korrelasjon>
- Geving, S. (2002). *Fukt i bygninger* (Bd. 50). Norges byggforskningsinstitutt.
- Google Maps. (2022). Google Maps. <https://www.google.com/maps/search/rud+sv%C3%B8mmehall/@59.9064846,10.4991099,15.5z>
- Ingebrigsten, S. (2016). *Ventilasjonsteknikk Del 1*. Skarland Press AS.
- Kaydos-Daniels S. C., B., Michael, J., Shwe, Thein., Magri, Julie., Bixler, Danae. (2008). *Health effects associated with indoor swimming pools: a suspected toxic chloramine exposure*. National Library of Medicine.
- Løvås, G. G. (2018). *Statistikk for universiteter og høyskoler* (4. utg. utg.). Universitetsforl.
- Netinbag. (2022). Hva er termisk komfort? I *Netinbag*. <https://www.netinbag.com/no/manufacturing/what-is-thermal-comfort.html>
- Nilsson, P.-E. & Commtech, G. (2003). *Achieving the desired indoor climate: energy efficiency aspects of system design*. Studentlitteratur.
- Novakovic, V., Hanseen, S., Thue, J., Skarstein Ø., and Gjerstand F. . (2007). *Enøk i bygninger-Effektiv energibruk* (Bd. 63).
- Regresjonsanalyse. (2021, 30.09.2021). I *Wikipedia*. <https://no.wikipedia.org/wiki/Regresjonsanalyse>
- Reil, B. (2022). Informasjon om ventilasjonsanlegget i Rud svømmehallen. I N. Kostovic (Red.). *Rud svømmeanlegg*. (2021, 12.08.2021). Hentet 20.04.2022 fra <https://www.baerum.kommune.no/om-barum-kommune/organisasjon/om-eiendom-i-baerum-kommune/prosjekter-eiendom/rud-svommeanlegg/>
- Skåret, E. (2000). *Ventilasjonsteknisk håndbok* (Bd. 48). Norges byggforskningsinstitutt.
- Standard, N. (2006). *Ergonomi i termisk miljø Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinnende ved kalkulering av PMV- og PPD-indeks og lokal termisk komfort (ISO 7730:2005)* (NS-EN ISO 7730). standard.no.
- Svømmeidrett og svømmeanlegg i Norge*. (2022). N. SVØMMEFORBUND. <https://svomming.no/nsf-eldre-web/svommeidrett-og-svommeanlegg-i-norge/>
- VEREIN, DEUTSCHER & INGENIEURE. (2010). *Building Services in swimming baths Indoor pools* (VDI 2089).

10 VEDLEGG

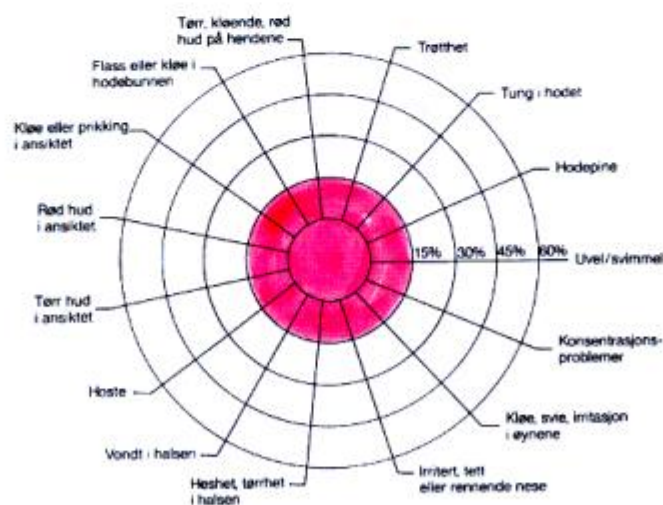
10.1 Ørebro Spørreundersøkelse

Ørebro-skjema 1

Plager på arbeidsstedet	Ja, ofte (hver uke)	Ja, iblant	Nei, aldri	(hvis ja) Tror du at dette skyldes inneklimaet?
Allmennsymptomer				
Tretthet				
Tung i hodet				
Hodepine				
Svimmel /ør				
Konsentrasjonsproblemer				
Slimhinnesymptomer				
Kløe/svie/irritasjon i øynene				
Irritert, tett eller rennende nese				
Heshet, tørrhet i halsen				
Hoste				
Hudsymptomer				
Tørr eller irritert hud i ansiktet				
Flassing/kløe i hodebunnen				
Tørr, kløende hud på hendene				

Ørebro-skjema 2

Plager på arbeidsstedet	Ja, ofte (hver uke)	Ja, iblant	Nei, aldri
Trekk			
For varmt			
For ujevn (vekslende) temperatur			
For kaldt			
Innestengt og "dårlig" luft			
Tørr luft			
Ubehagelig lukt			
Statisk elektrisitet med småstøt			
Tobakksrøyk fra andre			
Støy			
Belysning: svak eller blendende			
Støv og smuss			



Ørebrorosen

10.2 Instrumenter

For forskjellige målinger ble det brukt forskjellige typer instrumenter. Table 16 viser en oversikt over hva slags usikkerhet, oppløselighet, benevning og produsent de forskjellige instrumentene har. Figure 32 viser hvordan Q-trak ser ut, mens Figure 33 viser hvordan Swema 3000 ser ut.

Table 16 Oversikt over måleinstrumenter

Instrument	Måler	Usikkerhet	Oppløselighet	Benevning	Produsent
Q-Trak	Luft Temperatur	$\pm 0,6^{\circ}\text{C}$	0,1	$^{\circ}\text{C}$	TSI
	Luft Fuktighet	3%	0,1%	%	
	CO ₂	3% eller 50ppm	1ppm	ppm	
Swema-3000	Luft hastighet	$\pm 0,04$ m/s	-	m/s	Swema

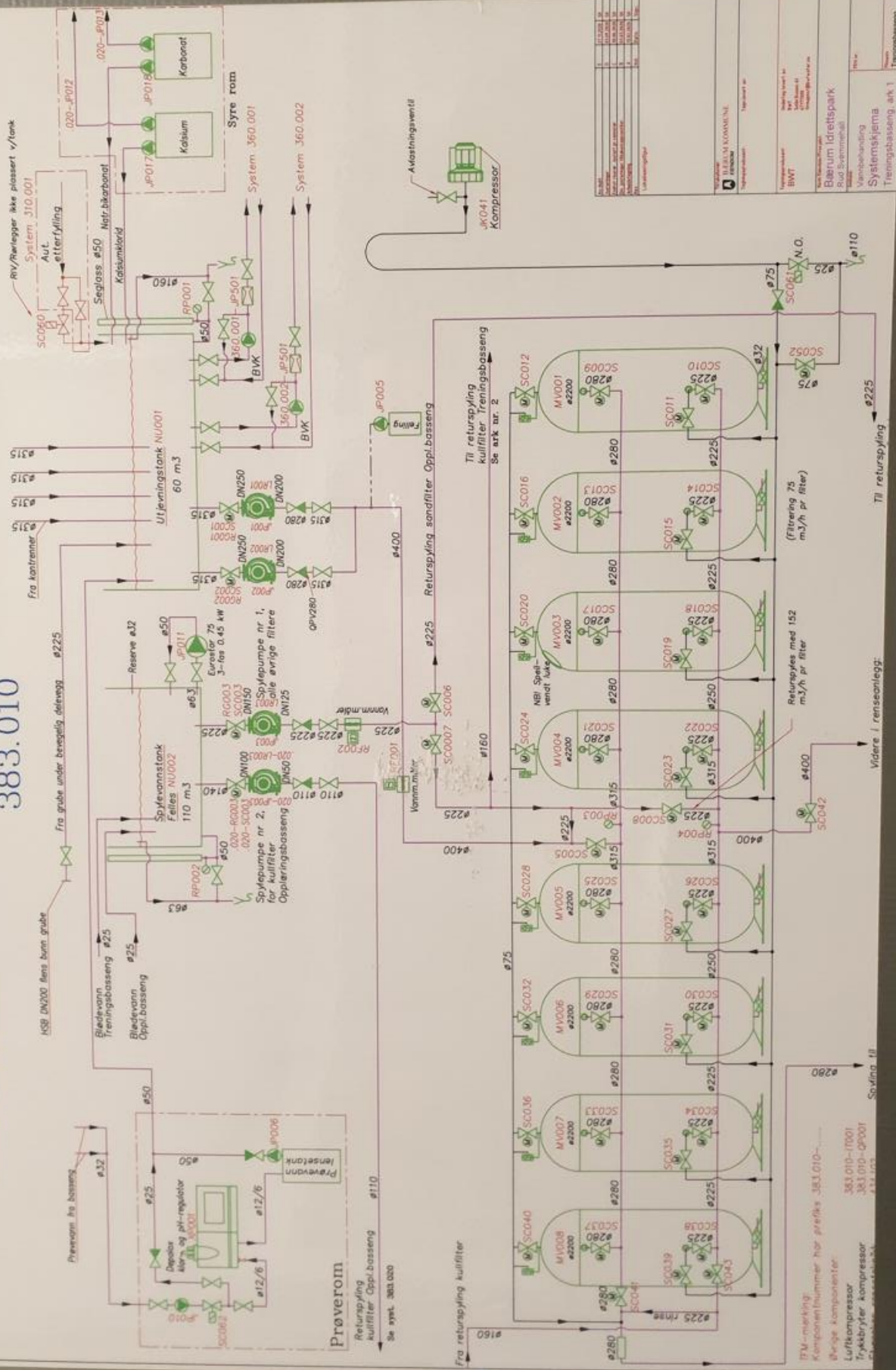


Figure 32 Q-trak 7575 med probe som måler CO₂, RF og T



Figure 33 Swema 3000 med probe som måler vindhastighet og lufttemperatur

Rud Svømmehall, Treningsbasseng Q=600 m³/h 383.010



ITM-merkning
 Komponentnummer har prefiks 383.010-
 (Bare komponenter)
 Luftkompressor
 Trykbrøyer kompressor
 383.010-1001
 383.010-Q001
 434.000

Rev.	Dato	Endring	Utført av
1	11.02.2010	Opprinnelig utarbeidet	...
2	11.02.2010	...	...
3	11.02.2010	...	...
4	11.02.2010	...	...
5	11.02.2010	...	...
6	11.02.2010	...	...

Utarbeidet av: **ILBERG KJØLMØNNE**
 Tegning nr.:
 Prosjekt: Rud Svømmehall
 Oppdragsnr.:
 BWT
 Tegning: Bærum Idrettspaviljongen
 System: Bærum Idrettspaviljongen
 Systemskjema
 Treningsbasseng, ark. 1
 Prosjekt: Rud Svømmehall