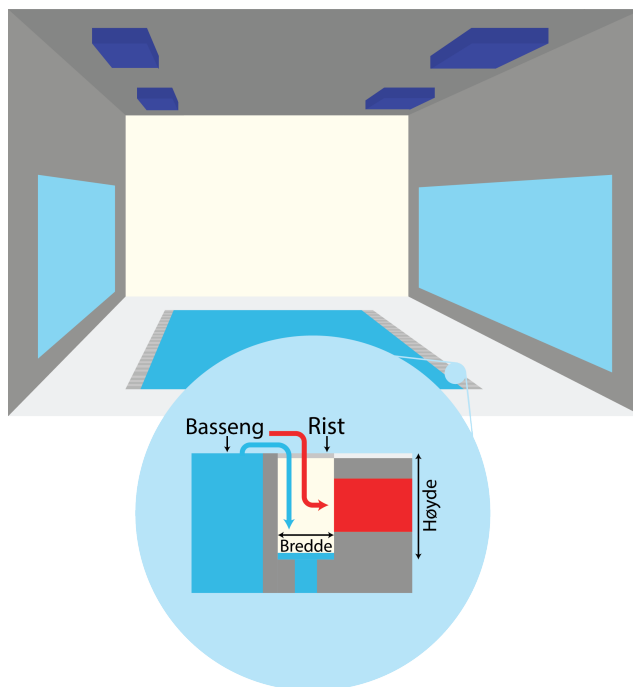


Martin Bregård Lindgren  
Lars Magnus Simonsen Vidvei  
Andreas Køber

# Ventilering i svømmehall med nytenkende utforming av avtrekk

Bacheloroppgave i VVS  
Veileder: Bjørn Austbø  
Mai 2022

NTNU  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for energi- og prosesseteknikk





Martin Bregård Lindgren  
Lars Magnus Simonsen Vidvei  
Andreas Køber

# **Ventilering i svømmehall med nytenkende utforming av avtrekk**

Bacheloroppgave i VVS  
Veileder: Bjørn Austbø  
Mai 2022

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



Kunnskap for en bedre verden



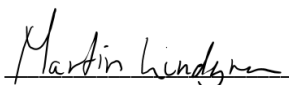
RAPPORT BACHELOROPPGAVEN	
Tittel Ventilering i svømmehall med fokus på å fjerne forurensninger med nytenkende måte å utforme avtrekk	
Prosjektnr: EPT-V-2022-02	
Forfatter(e) Andreas Køber Lars Magnus Simonsen Vidvei Martin Bregård Lindgren	
Oppdragsgiver eksternt Bjørn Aas, SIAT	
Veileder(e) internt Bjørn Austbø	
Rapporten er ÅPEN	
Dato levert: 20.05.22	
Kort sammendrag <p>I denne oppgaven blir utfordringene ved å ventilere svømmehaller drøftet. Det blir presentert og diskutert en mulig løsning for å forbedre ventilering, folkehelse og inneklimate i svømmehaller. Gjennom litteraturstudier, målinger og utregninger blir det drøftet hvordan ventilering i en svømmehall er utformet samt hvordan denne kan forbedres.</p> <p>In this thesis, the challenges of ventilating indoor swimming pools are discussed. Furthermore, a possible solution to improve ventilation, public health and the indoor climate in swimming pools is presented and discussed. Through literature studies, measurements and calculations, it is discussed how ventilation in a swimming pool is designed and how this design can be improved. Today, the recommendation is that the supply air should be supplied along the row of windows, as this is an exposed area for moisture due to high heat transfer rates. With stricter energy requirements, the heat transfer rate has improved and therefore other possibilities for supplying air in to the room should be considered.</p>	
Stikkord: Basseng, CO2, relativ luftfuktighet, forundsting, DBP, THM, ventilasjonsprinsipp, forurensning, svømmere, oppholdssone	Keywords: Natatorium, CO2, relative humidity, evaporation, DBP, THM, ventilation principle, pollution, swimmers, occupancy zone



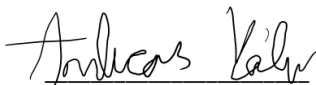
# Forord

Denne oppgaven er utarbeidet av tre studenter ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet som et avsluttende arbeid for bachelorutdanningen innen maskiningeniør med spesialisering innen VVS-teknikk, våren 2022. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Senter for Idrettsanlegg og teknologi (SIAT) der hensikten er å se på muligheten for å forbedre ventilasjonen i svømmehaller.

Vi ønsker i den anledning å takke Bjørn Aas, vår eksterne veileder ved SIAT, for god hjelp og veiledning. Videre ønsker vi å takke vår interne veileder Bjørn Autsbø, førsteamanuensis ved Institutt for energi- og prosesseteknikk for god hjelp med det akademiske og veiledning på oppsett av oppgaven. Videre takker vi Therese Nitter, førsteamanuensis ved Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse, for gode innspill og veiledning. Takk til Torborg Duesten, Frode Christiansen og ansatte ved Husebybadet som har gitt oss tilgang til å disponere anlegget for målinger til vår oppgave. Vi takker også Kyrre Magnus Tørhaug fra Menerga, som har gitt oss mye nyttig kunnskap om hvordan ventilering for basseng fungerer i praksis. Til slutt ønsker vi å takke Tore A Kristiansen, for veiledning og utlån av måleapparater.



Martin Bregård Lindgren



Andreas Køber



Lars Magnus Simonsen Vidvei

Trondheim 20.05.2022

# Sammendrag

I denne oppgaven blir utfordringene ved å ventilere svømmehaller drøftet. Det blir presentert og diskutert en mulig løsning for å forbedre ventilering, folkehelse og inneklimaet i svømmehaller. Gjennom litteraturstudier, målinger og utregninger blir det drøftet hvordan ventilering i en svømmehall er utformet samt hvordan denne kan forbedres.

Dagens løsning tilfredsstillende akseptable  $CO_2$ - og luftfuktighetsnivåer, samtidig som den forhindrer fukt på utsatte områder. Ventilasjonsløsninger, som bygges i dag, baserer seg ofte på Byggforsk standarden for ventilering av svømmehaller. Denne Byggforskserien ble skrevet i 2003. Oppgaven argumenterer for at strengere krav til varmegjennomgangstall i bygningskonstruksjonen åpner muligheten for å endre ventilasjonsprinsipp til et mer effektivt prinsipp som ivaretar folkehelsen bedre, samtidig med at bygningskonstruksjonen blir beskyttet mot fukt.

Nyere forskning viser en korrelasjon mellom astma og personer som bruker mye tid i svømmehaller. I andre prosesser der det er tilfeller hvor det oppstår farlige gasser blir gassene trukket av ved forurensningskilden. Siden den største forurensningskilden til farlige gasser i en svømmehall er langs vannoverflaten, er det i denne oppgaven utviklet et avtrekkssystem i overløpsrennen.



# Abstract

This thesis will discuss the challenges of ventilating swimming pools and a possible solution to improve ventilation, public health, and the indoor climate regarding swimming pools. Through literature studies, measurements and calculations, it has been examined how the ventilation in a swimming pool is designed and how it can be improved. Today, the supply air is recommended to be supplied along the row of windows as this has been an exposed area for moisture due to high heat transfer rates. With stricter energy requirements, the heat transfer rate has improved, and therefore, other options for supplying the air in the room should be turned on.

Today's solution satisfies current requirement with respect to  $CO_2$  and humidity levels, while preventing moisture in exposed areas. Current ventilation solutions are based on the Bygghälsörens standard (building code) for swimming pools which was published in 2003. This thesis argues that due to stricter energy requirements for heat transfer figures on the building structure, it is time to change how swimming pools are ventilated.

Recent research shows a correlation between asthma and people who spend a lot of time in swimming pools. In other cases where harmful gases occur, the air is drawn off from the source of pollution. Since the most extensive inception of decay to hazardous gases in a swimming pool is along the water surface, an exhaust system has been developed for this task in the overflow gutter.

# Innhold

<b>Forord</b>	<b>iii</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>iv</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Figurliste</b>	<b>x</b>
<b>Tabelliste</b>	<b>xi</b>
<b>Forkortelser</b>	<b>xii</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Motivasjon . . . . .	1
1.2 Problemstilling . . . . .	1
<b>2 Teori</b>	<b>3</b>
2.1 Inneklima . . . . .	3
2.2 Luftfuktighet . . . . .	3
2.2.1 Relativ og absolutt luftfuktighet . . . . .	4
2.3 Fordunsting . . . . .	6
2.4 Drivtrykk . . . . .	8
2.5 Ventilering av svømmehall . . . . .	9
2.5.1 Dimensjonerende luftmengde . . . . .	9
2.6 Termisk komfort . . . . .	9
2.7 Dimensjoneringsgrunnlag . . . . .	12
2.7.1 VDI 2089 . . . . .	13
2.7.2 Byggforsk . . . . .	13
2.7.3 Arbeidstilsynet . . . . .	14

2.7.4	Bassengregler . . . . .	15
2.7.5	Bassengutforming . . . . .	17
2.8	Kanaldimensjonering . . . . .	17
2.9	Desinfeksjonsbiprodukter . . . . .	19
2.9.1	Kloraminer . . . . .	20
2.9.2	THM-Gasser . . . . .	20
2.10	Måleparameter . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Ventilasjonsprinsipper</b>	<b>22</b>
3.1	Oppholdssone . . . . .	22
3.2	Luftvekslingstall . . . . .	23
3.3	Luftvekslingseffektivitet . . . . .	23
3.4	Ventilasjonseffektivitet . . . . .	23
3.5	Balansert ventilasjon . . . . .	24
3.6	Ventilasjonsprinsipp . . . . .	24
3.6.1	Naturlig ventilasjon . . . . .	25
3.6.2	Fortrengning . . . . .	25
3.6.3	Omrøring . . . . .	26
3.6.4	Stempelstrøm . . . . .	27
3.6.5	Omvendt fortrengning . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Metode</b>	<b>28</b>
4.1	Litteraturstudier . . . . .	28
4.2	Forsøk og målinger . . . . .	28
4.2.1	Fasiliteter . . . . .	30
4.2.2	Prosedyre . . . . .	31
4.2.3	Måleutstyr . . . . .	35
4.3	Aggregat . . . . .	37
4.3.1	SD-anlegg . . . . .	37
4.4	Grunnlag for utregninger . . . . .	38
4.4.1	Fordunstingsmengde . . . . .	39
4.4.2	Luftmengdebehov . . . . .	40
4.4.3	Avtrekkskanal i overløpsrenne . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>44</b>
5.1	Litteraturstudie . . . . .	44
5.2	Forsøk og målinger . . . . .	44
5.2.1	Konsentrasjon av karbondioksid . . . . .	45

5.2.2	Fuktighet . . . . .	46
5.2.3	Temperatur . . . . .	47
5.2.4	Lufthastighet . . . . .	47
5.2.5	Røykforsøk . . . . .	48
5.3	U-verdi . . . . .	48
5.4	Utregninger . . . . .	49
5.4.1	Fordunstningsmengde . . . . .	50
5.4.2	Luftmengdebehov . . . . .	51
5.4.3	Avtrekkskanal i overløpsrenne . . . . .	55
<b>6</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>57</b>
6.1	Dagens løsning . . . . .	57
6.2	Resultater fra målinger . . . . .	59
6.2.1	RF, CO <sub>2</sub> , og temperatur . . . . .	60
6.2.2	U-verdi . . . . .	61
6.3	Forurensningskilde . . . . .	61
6.4	Målgruppe . . . . .	62
6.5	Dimensjonerende luftmengde . . . . .	63
6.5.1	Behovsstyrt ventilasjon . . . . .	64
6.6	Overløpsrenne . . . . .	65
6.6.1	Fordeler og utfordringer med avtrekk i overløpsrenne . . . . .	67
6.7	Andre løsninger . . . . .	69
6.7.1	Vannfilter . . . . .	69
6.7.2	Filter i aggregatet . . . . .	69
6.8	Konkret eksempel . . . . .	69
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>75</b>
<b>8</b>	<b>Forslag til videre arbeid</b>	<b>76</b>
	<b>Referanseliste</b>	<b>77</b>
	<b>Vedlegg</b>	<b>84</b>

# Figurer

2.1	Mollier diagram[5]	6
2.2	Grensesjikt med mettet damp	7
2.3	PMV-PPD diagram [44]	12
2.4	Plantegning av 25m konkurransebasseng [33]	16
2.5	Sirkulær kanal [29]	19
3.1	Oppholdssonen i basseng	22
3.2	Illustrert fortrenningsprinsipp [52]	25
3.3	Illustrert omrøringsventilasjon [50]	26
4.1	Husbybadet	29
4.2	Tilluft og avtrekk Husbybadet	30
4.3	Omluftinstilling 0%	31
4.4	Omluftinstilling på 10%	31
4.5	Avtrekkstemperatur	32
4.6	RF er-verdi	32
4.7	$CO_2$ , RF og temperaturmålinger i basseng	33
4.8	Røyforsøk i svømmehall	34
4.9	Plantegning med målepunkter[26]	34
4.10	SwemaAir300	35
4.11	Rotronic-CP11	36
4.12	Luftstrømtester	36
4.13	Frekvensstyrt vifte	36
4.14	ThermoCondHP aggregat [36]	37
4.15	SD-anlegg svømmebasseng	38
4.16	Luftmengdebehov med hensyn til årstid	42
5.1	$CO_2$ målinger	45
5.2	Fuktighet	46

5.3	Temperatur . . . . .	47
5.4	$T_0$ . . . . .	48
5.5	$T_1$ . . . . .	48
5.6	Endring av minstekrav til U-verdi . . . . .	49
5.7	Endring av krave til U-verdi . . . . .	49
5.8	Fordunstet mengde per kvadratmeter . . . . .	51
5.9	Luftbehov avdamping vs personer og materiale . . . . .	54
6.1	Illustrasjon fra Kempel [31] . . . . .	58
6.2	Eksempel luftstrømmer . . . . .	59
6.3	Overløpsrenne konsepttegning . . . . .	65
6.4	Konseptbad . . . . .	70
6.5	Overløpsrenne konsepttegning . . . . .	74

# Tabeller

2.1	MET-faktor ved forskjellige aktiviteter [37] . . . . .	11
2.2	Bekledningsfaktorer og isolans [15] . . . . .	11
2.3	PMV-karakterskala[19] . . . . .	12
2.4	Luftmengde i svømmehaller[8] . . . . .	14
2.5	Veiledende kanalhastigheter ved hastighetsmetoden [49] . . . . .	17
3.1	Tabell over de forskjellige luftvekslingseffektivitetene . . . . .	23
3.2	Tabell over de forskjellige ventilasjonseffektivitetene . . . . .	24
4.1	Måleutstyret benyttet på ekskursjon . . . . .	35
4.2	Overslagsverdier for aktivitetsnivå (MET) og nødvendig luftmengde per person ved ulik aktivitet [7] . . . . .	41
5.1	Vifteforsøk . . . . .	47
5.2	Fordunstningsmengde ved forskjellig hastighet . . . . .	50
5.3	Fordunstet mengde 15 elitesvømmere . . . . .	52
5.4	Fordunstet mengde 60 basseng brukere . . . . .	52
5.5	Luftmengdebehovet basert på person og materialbelastning . . . . .	53
5.6	Friskluftsbehovet for avdamping ved forskjellige årtider . . . . .	53
5.7	Steg 1 . . . . .	55
5.8	Steg 2 . . . . .	55
5.9	Steg 3 . . . . .	56
6.1	Antall personer i bassenget . . . . .	70
6.2	Luftmengde basert på personbehov . . . . .	71
6.3	Luftmengde basert på avfuktningsbehov . . . . .	71
6.4	Steg 1: Dimensjonerende grunnlag . . . . .	72
6.5	Steg 2: Kanalluftmengde . . . . .	72
6.6	Steg: 3 Overløpsrenne bredde . . . . .	73

# Forkortelser

Under følger forkortelser brukt i oppgaven i alfabetisk rekkefølge.

ASHRAE	=	The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CAV	=	Constant Air Volume
DBP	=	Desinfeksjonsbiprodukt
DCV	=	Demand Controlled Ventilation
MET	=	Metabolisme
PMV	=	Predicted Mean Vote
PPD	=	Predicted Percentage Dissatisfied
SIAT	=	Senter for idrettsanlegg og teknologi
SNL	=	Store Norske Leksikon
RF	=	Relativ fuktighet
VAC	=	Variable Air Volume
VDI	=	Verein Deutscher Ingenieure
THM	=	Trihalometan
SD-anlegg	=	Sentralt driftsanlegg
NBTF	=	Norges Bassengbad Teknisk Forening
NSF	=	Norges Svømme Forbund
clo	=	Clothing and Thermal insulation
SINTEF	=	Selskapet for industriell og teknisk forskning ved Norges tekniske høgskole



# Kapittel 1

## Innledning

### 1.1 Motivasjon

Gruppen ønsket en utfordrende oppgave, samtidig som den skulle by på bærekraftig og nytenkende teknologi. Et viktig grunnlag for valg av oppgave gikk ut på at det var en felles interesse for oppgavens tema. Som fremtidige ingeniører er gruppen opptatt av å løse fremtidsrettede teknologiske problemer som omhandler energi, klima og folkehelse.

Bjørn Aas ved senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT) presenterte forskjellige forslag til relevante bacheloroppgaver innen vår studieretning. Spesielt én av oppgavene fanget vår interesse. Problemstillingen omhandlet ventileringen av svømmehaller, som kan ha et stort forbedringspotensial, både med tanke på ventilasjonsprinsipp og folkehelse.

### 1.2 Problemstilling

Gruppen kontaktet Bjørn Aas for å diskutere oppgavens omfang, samt hva SIAT forventer og ønsker, og vår egen interesse. Etter endt møte ble det enigehet om et samarbeid for å forske på mulige løsninger vedrørende inn klima, ventilasjonsprinsipp og forbedre folkehelsen i svømmebasseng.

En tidligere doktorgradsoppgave skrevet av Therese Nitter [43] hevder at inn klimaet i svømmehaller er skadelig. Det dannes et biprodukt i form av

en blanding mellom biologisk materiale og klor. Blandingen assosieres med økt risiko for å få astma.

En idrettsutøver på toppnivå svømmer gjerne flere ganger om dagen. Svømming ansees som en høyintensiv trening, dette resulterer i mange store åndedrag hvor en puster inn skadelige gasser. Studier viser en korrelasjon mellom elitesvømmere og utvikling av astma[34].

Målet med oppgaven er å finne en bedre ventilasjonsløsning for å fjerne forurenset luft fra oppholdssonen i svømmehallen. Det kan argumenteres for at det viktigste å fokusere på i en svømmehall er at luftkvaliteten ikke inneholder en skadelig mengde forurensninger, som videre kan føre til helseskader hos brukere, spesielt elitesvømmere.

# Kapittel 2

## Teori

I dette kapitlet vil det bli redegjort for de teoretiske faktorer som er relevante for å forstå hvordan og hvorfor svømmehaller blir ventilert. Litteratur fra Nitter sin forskning ved hennes doktor- og mastergrad blir lagt frem og knyttet opp mot denne oppgavens problemstilling. Innholdet her vil være relevant for å svare på problemstillingen, samtidig som det sikrer representative resultater og danner et godt grunnlag for diskusjon av resultatene.

### 2.1 Inneklima

Inneklima er en svært viktig faktor i alle oppholdsrom for å opprettholde komforten, helsen og produktiviteten[30]. For å opprettholde et godt inneklima er det kritisk at ventilasjonssystemet er dimensjonert korrekt etter riktig formål. Godt inneklima påvirkes av mange faktorer, men spesielt viktig for denne oppgaven er å ta hensyn til de termiske- og atmosfæriske faktorene. Termiske faktorer handler om forskjellige temperaturer og luftfuktighetsnivåer. Atmosfæriske faktorer tar for seg det som ligger i luften, som gass, partikler og bakterier[2].

### 2.2 Luftfuktighet

Fuktigheten finnes i lufta og defineres ved hvor mye vanndamp luften inneholder. Luftens fuktinnhold påvirker personers opplevelse av termisk komfort, fuktskader i byggekonstruksjoner og hvordan ventilasjonsanlegg

skal regulere bygningen. Vår atmosfære inneholder luftfuktighet naturlig fordi vannsyklusen bidrar til kontinuerlig generering av vanndamp ved fordampning av jordoverflatens hav og innsjøer. Luft med høyere temperatur holder på mer vanndamp og er derfor årsaken til at varmere klima gir høyere luftfuktighet [27].

## 2.2.1 Relativ og absolutt luftfuktighet

Store Norske Leksikon (SNL) definerer relativ luftfuktighet (RF) som: “forholdet mellom den absolutte fuktigheten i luften og den luftfuktigheten som må til for å oppnå metning ved en gitt temperatur” [48]. Denne definisjonen gir grunnlaget for hvorfor det er fuktighetsforskjeller mellom kaldluft ute og varmluft inne, samtidig som at mengden vann i luften holdes konstant. Eksempelvis kan luft med varm temperatur inneholde mye fukt og ha en RF på 60%. Når denne luften kommer i kontakt med kalde flater vil temperaturen synke. Luftens RF vil øke fordi den kaldere luften ikke klarer å holde like mye fuktighet som tidligere. Øker RF maksimalt til 100% vil luften nå duggpunktet sitt og vannet vil begynne å kondensere. Mengden vanndamp i luften har verken økt eller sunket så det absolutte vanninnholdet er det samme. Derimot er det tettheten i vannet med antall gram per volum som har økt.

$$\phi = \frac{p_v}{p_g} \quad (2.1)$$

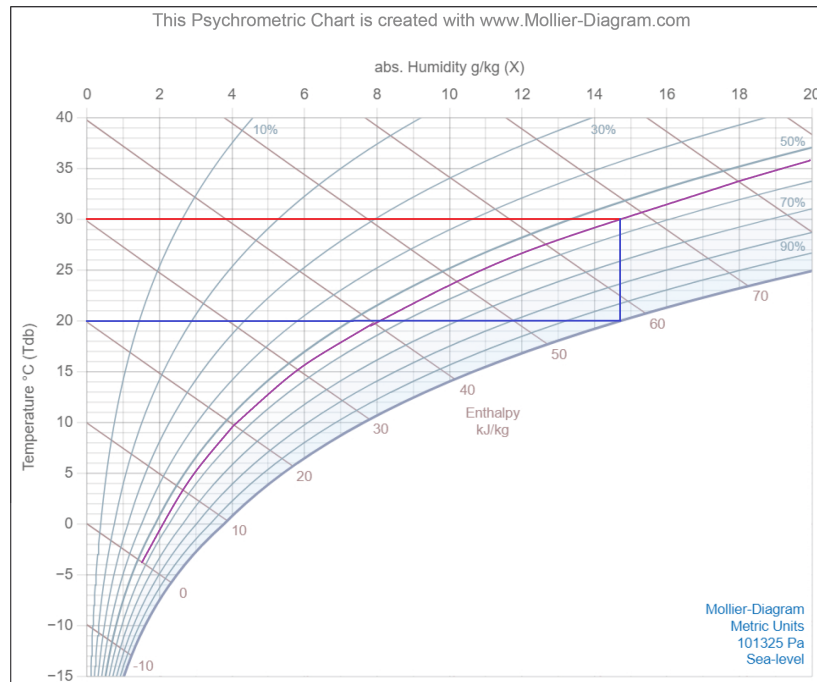
$$\begin{aligned} \phi &= \text{Relativ fuktighet} \quad [\%] \\ p_v &= \text{Partialtrykk} \quad [Pa] \\ p_g &= \text{Metningstrykk} \quad [Pa] \end{aligned}$$

$$x = \frac{m_v}{m_a} \approx 0.622 \cdot \frac{p_v}{p - p_v} \quad (2.2)$$

$x$	=	<i>Absolutt fuktighet</i>	[kg vanndamp/kg tørrluft]
$m_v$	=	<i>Masse av vanndamp</i>	[kg]
$m_a$	=	<i>Masse av tørrluft</i>	[kg]
$p$	=	<i>Totaltrykk</i>	[Pa]

Det finnes enkle løsninger som kan bidra til å forbedre luftfuktighet i rommet. Den viktigste, og ofte mest effektive løsningen, er god ventilasjon [12]. Varmt vann fra basseng i svømmehaller fordamper og tilfører svært mye fukt til bygget. En konsekvens av den høye fuktkonsentrasjonen er kondensfare på svømmehallens kalde overflater, da primært vinduer. For å unngå kondens er det ønskelig å avfukte luften slik at duggpunkttemperaturen blir så lav som mulig. Detaljene rundt denne luftavfuktningen blir ytterligere beskrevet i kapittel 4.4.2

Diagrammer og diverse grafiske representasjoner av sammenhengen og forholdet mellom luft, temperatur, dampfraksjon og entalpi gir god visualisering og redegjør for hvordan luften, og da primært luftens fuktighet, forandrer seg i de forskjellige fasetilstandene. Figur 2.1 er et eksempel på en slik grafisk representasjon som ble utarbeidet av fysikeren Richard Mollier i 1904 [25]. En viktig egenskap innenfor beregninger av fuktig luft er å finne duggpunkttemperaturen til omgivelsesluften. Duggpunkttemperaturen ( $d_w$ ) er definert som den temperaturen luften må avkjøles til, uten trykkforandringer, for å oppnå metning [53]. Tar man utgangspunkt i et typisk ideelt klima i en svømmehall basert på veiledning fra Byggforsk har man en innetemperatur på  $30^\circ\text{C}$  og RF på 55% [8]. Ved bruk av Mollier diagram kan man finne duggpunkttemperaturen som illustrert på figur 2.1, der den vanrette røde linjen viser temperaturen  $T = 30^\circ\text{C}$ , lilla linjen viser  $\phi = 55\%$  og den blå linjen  $d_w = 20^\circ\text{C}$



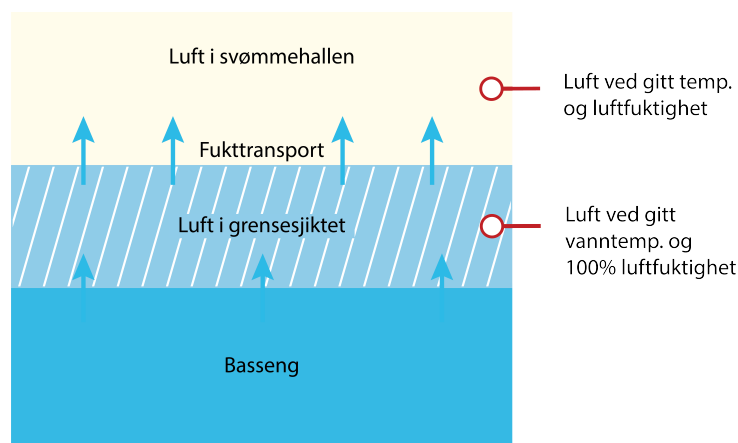
Figur 2.1: Mollier diagram[5]

## 2.3 Fordunsting

Fordunstning blir forklart som en fordampning av væske med lavere temperatur enn kokepunktet. Når damptrykket er lik omgivelsestrykket, fordamper væsken. Fordampningen påvirker gjennomsnittlig RF i svømmehallen. I kapittel 2.10 blir ønsket RF i en svømmehall satt til mellom 55% og 65% avhengig av årstid [8].

I vannoverflaten er det et grensesjikt mellom vannoverflaten og luften som inneholder mettet damp (se figur 2.2). Ved brytning av grensesjiktet frigjøres det helseskadelige desinfeksjonsbiprodukter (DBP). Desto mer aktivitet det er i bassenget, jo oftere blir grensesjiktet brutt. I tillegg stripes det av DBP'er fra overflaten fordi det er forskjellige partialtrykk mellom luften i rommet og luften som ligger over vannoverflaten. Dette

betyr at flere badegjester fører til økt mengde utslipp av DBP gasser. I tillegg til menneskelig aktivitet, er vannsklier, vannfontener, vanngardiner og andre lignende installasjoner også årsaker til at grensesjiktet blir brutt.



Figur 2.2: Grensesjikt med mettet damp

For å minimere fukttransporten mellom vannoverflaten og luften i svømmehallen er det anbefalt å tilføre friskluft med temperatur  $2^{\circ}\text{C}$  høyere enn vanntemperaturen[8].

For å regne ut fordamstet vannmengde i basseng kan man følge formler av Mirza Mohammed Shah [47]. Shah jobber som ingeniørkonsulent, er medlem av *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) og har en doktorgrad innen termodynamikk fra universitetet i Sunderland [38]. ASHREA er en ingeniørforening med fokus på ventilasjon, inneklime, energisystemer, kjølesystemer og bærekraftig teknologi [1]. Shah har i flere år forsket på fordunstningsrate i basseng og som resultat publisert flere formler for dette. Hans seneste forskning i en artikkel fra 2018 [47] henviser til oppdaterte formler for fordunstningsrate. Formlene tar hensyn til flere faktorer, blant annet hastighet på luften i svømmehallen, om konveksjonen i rommet skjer ved ventilasjon eller naturlig luftstrømning og om fordunstningen skjer ved befolket eller ubefolket basseng. Formel 2.3 gjelder for ubefolket basseng med ventilasjon, hvor det ikke er unaturlige bevegelser i vannets overflate forårsaket av mennesker. Formel 2.4 benyttes for å beregne

fordunstningsraten for befolkede basseng med ventilasjon.

Videre brukes resultatet for å finne ut hvor stor mengde fordunstning som må fjernes per time ved å gange opp arealet til de forskjellige bassengene. Denne fordunstningsmengden må fjernes for å unngå en økning av fuktighet i rommet. Formelene hentes fra M. M. Shah, ref [47].

$$E_0 = 0.00005 \left( \frac{u}{u_{tran}} \right)^{0.8} (p_r - p_w) \quad (2.3)$$

2.1: Fordunstingsrate for basseng [47]

$$E_{occ} / E_0 = 1.9 - 21(\rho_r - \rho_w) + 5.3N^* \quad (2.4)$$

2.2: Fordunstingsrate for befolket basseng [47]

$E_0$	= Fordunstingsrate	$[kg/m^2 \cdot h]$
$E_{occ}$	= Fordunstingsrate, befolket basseng	$[kg/m^2 \cdot h]$
$u$	= Lufthastighet	$[m/s]$
$u_{tran}$	= Overgangshastighet	$[m/s]$
$\rho_r$	= Lufttetthet, i rommet	$[kg \text{ tørr luft}/m^3 \text{ fuktig luft}]$
$\rho_w$	= Lufttetthet, ved vannoverflate	$[kg \text{ tørr luft}/m^3 \text{ fuktig luft}]$
$p_r$	= Partialtrykkavvannampiluft, i rommet	$[Pa]$
$p_w$	= Partialtrykkavvannampiluft, ved vannoverflate	$[Pa]$
$N^*$	= Personer i bassenget per romareal	$[N/m^2]$

## 2.4 Drivtrykk

Drivtrykk oppstår når det er en trykkforskjell mellom to medier der begge mediene ønsker å være i likevekt med omgivelsene. Hvor stort drivtrykket er avhenger av RF, temperatur og trykk. En gassblanding med høy RF er lettere enn samme gassblanding med lav RF ved samme temperatur. Drivtrykket kan brukes for å manipulere strømningsretning på luften.



## 2.5 Ventilering av svømmehall

En svømmehall kan bli sett på som et spesialrom siden dimensjoneringen må ta hensyn til flere faktorer utover normalen. Luften i en svømmehall er varm med høy absolutt luftfuktighet og inneholder flyktige desinfiseringsbiprodukter [42]. Lufttrykket inne i en svømmehall bør være i undertrykk i forhold til uteluften med 10-20 Pa [8]. Dette er på grunn at man ønsker å unngå at den fuktige luften trenger gjennom konstruksjonen. Massetettheten til varmluft er lavere enn en kaldluft og fører til at varmluften stiger. Når den varme luften stiger, skapes det et overtrykk i øvre del av rommet. Dette overtrykket vil prøve å jevne seg ut ved å trenge gjennom bygningskonstruksjonen. Avtrekksluften har en høy dampfraksjon og høy spesifikk entalpi. Det er derfor en nødvendighet å resirkulere energien slik at man minimerer energiforbruket. Varmeenergien fra luften blir resirkulert ved bruk av en varmeveksler i et ventilasjonsaggregat. Kryssvarmevekslere blir ofte brukt i svømmehaller for å unngå krysskontaminering. Deler av den brukte luften blir resirkulert for å oppnå ønsket RF som vil føre til stabil luftkvalitet i romvolumet. Vekslerne i svømmehaller blir laget av polypropylen slik at man unngår korrosjon og slipper høye vedlikeholdskostnader. Ventilering av svømmehall er en nødvendighet for å forhindre bygningsskader samt tilferdsstille brukere og besøkendes behov for friskluft.

### 2.5.1 Dimensjonerende luftmengde

Den dimensjonerende luftmengden avhenger av temperaturforskjellen inne og ute. Friskluftsmengden kan aldri bli lavere enn behovet personbelastningen har for friskluft [3]. Luftmengden som kreves for å avfukte varierer med den absolutte luftfuktigheten mellom inne- og uteluft.

## 2.6 Termisk komfort

Termisk komfort er viktig for individets opplevelse av inneklimaet, siden det forteller om hvor fornøyd vedkommende er med sitt innemiljø [39]. I et innemiljø med flere individer vil det være vanskelig å tilfredstille komforten til alle da interne og eksterne faktorer bidrar til individuell termisk komfort.

De interne og eksterne faktorene kan kategoriseres med åtte forskjellige parametere:

- Interne faktorer:
  - Alder
  - Kjønn
  - Metabolisme
  - Bekledning
  
- Eksterne faktorer:
  - Lufttemperatur
  - Relativ luftfuktighet
  - Luftsirkulasjon
  - Strålingstemperatur

Povl Ole Fangers empiriske studier er illustrert på figur 2.3 og viser at predicted percentage dissatisfied (PPD)-verdien aldri strekker seg til 0%. Det er altså ingen tilfeller hvor alle er fornøyd med den termiske komforten.

Eksterne faktorer som lufttemperatur og relativ luftfuktighet oppleves forskjellig for en svømmer og for en tilskuer. Selv om termometeret i hallen viser konstant verdi, vil en svømmer som nylig kom opp fra vannet oppleve et kaldere klima sammenlignet med den tørre tilskueren. Den våte svømmeren bruker energi på å fordampe fuktigheten for å bli tørr. Svømmerens kropp taper med andre ord termisk energi til omgivelsene og energitapet bidrar til at man fryser [24].

### **MET og Clo**

Arbeidstilsynets veiledning for inneklimate [16] anbefaler en luftmengde friskluft på 7-10 l/s for å kompensere for forurensningsbidraget fra personer. Dette er tall basert på generelle bygg hvor metabolismen til personene er forutsigbare og lave. I idrettsbygg som svømmehaller er aktivitetsnivået i mye større grad varierende, som gir stor variasjon i personenes MET verdier. Tabell 2.1 viser disse verdiene ved forskjellige aktiviteter.

<b>Aktivitet</b>	<b>MET</b>	$W/m^2$
Soving	0.8	46
Sittende, avslappet	1	58
Bilkjøring	1.4	80
Gange flatmark $2km/t$	1.9	110
Gange flatmark $5km/t$	3.4	200
Sykling $15km/t$	4	232
Svømming	6	348
Løping $15km/t$	9.5	550

Tabell 2.1: MET-faktor ved forskjellige aktiviteter [37]

Bekledning og termisk evne (clo) vil også ha mye å si på opplevd temperatur. Da en bekledd person frigir mindre energi til omgivelsene enn det en nesten naken person gjør. Tabell 2.2 viser en oversikt over bekleddningsfaktor og isolans.

<b>Bekledning</b>	<b>Arealfaktor</b>	<b>Isolans (clo)</b>
Naken	1.00	0.00
Innendørs sommerantrekk	1.15	0.50
Innenførs vinterantrekk	1.30	1.00
Utendørsantrekk	1.50	1.50

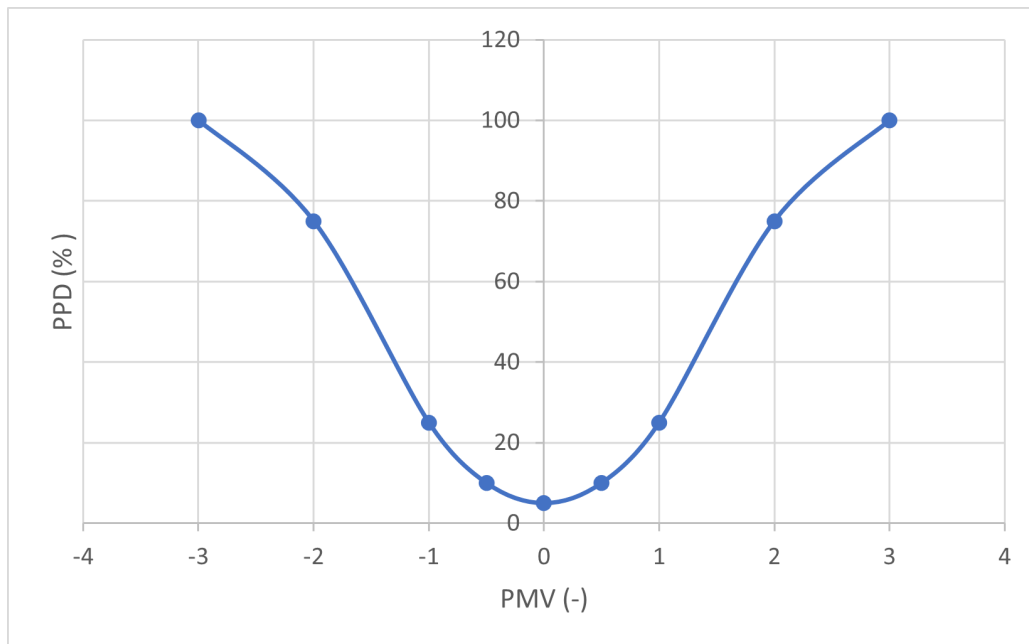
Tabell 2.2: Bekleddningsfaktorer og isolans [15]

## PPD og PMV

Innen termisk komfort er det som nevnt en persons individuelle opplevelse av klima som omtales. Sammenhengen mellom PPD verdier og predicted mean vote (PMV)-verdier er med på å understreke dette. PMV verdiene står til en karakterskala der hver karakter antyder en prediksjon for opplevd termisk komfort. PPD-veriden gir en prediksjon av prosentandelen misfornøyde individer i det termiske miljøet [54]. Figur 2.3 viser til karakterskalaen hvor personer gir en karakter på deres opplevelse av klimaet. Opplevelsen av klimaet er avhengig av de interne og eksterne faktorene, som nevnt tidligere. Det vil si at PMV verdien også blir vurdert ut i fra disse faktorene.

Hett	Varmt	Litt varmt	Nøytral	Litt kjølig	Kjølig	Kaldt
3	2	1	0	-1	-2	-3

Tabell 2.3: PMV-karakterskala[19]



Figur 2.3: PMV-PPD diagram [44]

## 2.7 Dimensjoneringsgrunnlag

For å kunne dimensjonere ventilasjonsaggregatet for et bygg er det viktig å se på hva slags prosesser som skal foregå. I et kontorbygg ventileres det hovedsaklig for brukerne av bygget, altså de som jobber der, mens i et industribygg er det viktig å se på prosessen og tilpasse dimensjoneringen deretter. Svømmebasseng dimensjoneres i en kombinasjon av begge to. For å ventilere et basseng trengs det store luftmengder for å fjerne fuktig luft som kommer fra bassenget. I tillegg må brukerne av svømmebassenget også tas hensyn til. Det er nødvendig å fjerne fuktighet fra luften i svømmehallen og dette kan gjøres på forskjellige måter. De tre vanligste måtene for å avfukte er ved bruk av varmepumpe, varmeveksler og ved

tilførsel av en andel kald uteluft. Varmepumpen har to hovedfunksjoner, å avfukte luften samt varme opp tilluften.

Når et svømmebasseng skal dimensjoneres, finnes det veiledere som kan følges. Byggforsks detaljblad 552.315 er en av veilederene som omhandler ventilasjonsløsninger og dimensjonering av ventiler i svømmehaller. I tillegg brukes (VDI) 2089 som supplement til Byggforsk. Det er også krav fra kulturdepartementet som omhandler blant annet størrelse og utforming av basseng.

### **2.7.1 VDI 2089**

VDI 2089 [56] er en veileder som gir instruksjoner på hvordan et svømmebasseng skal dimensjoneres. Den tar for seg varme, romtemperatur, elektriske- og sanitære systemer for både eldre og nyere basseng. VDI står for Verein Deutscher Ingenieure og er en tysk forening med over 150 000 ingeniører [55].

VDI 2089 oppgir formler og tabeller for å beregne fordampet vannmengde i svømmebasseng. Ved å regne ut hvor mye vann som blir fordampet kan man finne ut hvor mye uteluft som må tilføres. I både Byggforskserien om svømmehaller og VDI 2089 kan man finne formler for å regne ut den totale mengden fuktig luft som må fjernes. VDI 2089 har også utregningsformler for fordunstet vannmengde fra vanngardiner, vannsklier og andre lignende konstruksjoner. Det er derfor hensiktsmessig å bruke denne som et supplement på badeland og større basseng.

### **2.7.2 Byggforsk**

Byggforskserien er en samling av anbefalinger og løsninger som vil oppfylle kravene til byggt teknisk forskrift (TEK). Den inneholder ca. 800 gjeldende anvisninger og baserer seg på kunnskap fra SINTEFs forskning og erfaringer. Ved å bruke Byggforsk til å prosjektere vil man forsikre seg om at kravene til TEK blir oppfylt.

Byggdetaljer 552.315 [8] omhandler ventiler og avfuktning i svømmehaller og rom med svømmebasseng og er svært relevant for denne oppgaven. I denne

byggdetaljen finner man anbefalinger og løsninger med eksempler på hvordan man skal dimensjonere for et innendørs svømmebasseng. Bladet er fra 2003 og beskriver framgangsmåte for å finne nødvendig luftmengde for rommet. For å regne ut luftmengden er det viktig å se på inne- og utetemperatur samt hvor mye fuktig luft bassenget produserer og hvilken RF verdi den har.

$$L = \frac{E \cdot A_b}{x_i \cdot \rho_i - x_u \cdot \rho_u} \quad (2.5)$$

$L$	=	<i>Luftmengde</i>	$[m^3/h]$
$E$	=	<i>Fordunstningsrate</i>	$[kg/h \cdot m^2]$
$A_b$	=	<i>Bassengareal</i>	$[m^2]$
$x_i, x_u$	=	<i>Vanndampinnhold i hhv. inne – og uteluft</i>	$[kg/kg]$
$\rho_i, \rho_u$	=	<i>Tetthet til hhv. inne – og uteluft</i>	$[kg/m^3]$

Tabell 2.4: Luftmengde i svømmehaller[8]

I teorien regner man ut luftmengde ved å bruke formel 2.5. I praksis anvendes ikke denne formelen direkte, men derimot brukes det erfaringstall og veiledere fra Byggforskserien. Veilederen baserer seg på luftutvekslingstall mellom 4-7 ganger romvolumet per time. Større basseng trenger ofte færre utvekslinger enn det et lite basseng trenger. Dette er på grunn av avfuktningskapasiteten, i tillegg må det også gjøres en vurdering på hvor god omrøring det er i rommet.

### Varmegjennomgangstall

U-verdi eller varmegjennomgangstallet gitt i  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$  er et mål som brukes for å angi isoleringsevnen til et materiale. Den totale U-verdien angir hvor mye varmeenergi som går igjennom en konstruksjon over en viss tidsperiode per kvadratmeter. Forskjellen mellom inne- og utetemperatur er den avgjørende faktoren på hvor mye energi som går tapt. Bedre U-verdi vil føre til et redusert varmetap og mindre kondensformasjoner.

### 2.7.3 Arbeidstilsynet

Arbeidstilsynet har lover som stiller krav til kjemiske og biologiske forurensninger og til inneklima og luftkvalitet. Kjemiske forbindelsene som er relevante for svømmehaller fra *Forskrift om tiltaks og grenseverdier* er

kloroform og bromoform, hvor det er tillat en eksponering på henholdsvis  $10 \frac{mg}{m^3}$  og  $5 \frac{mg}{m^3}$  [23]. I veileder krav til ventilasjon står det ”For å sikre et fullt forsvarlig inneklime må ventilasjonsbehovet vurderes ut fra tre komponenter knyttet til forurensning fra”[3] komponentene er listet under.

(A) Personbelastning

(B) Bygning, interiør og installasjoner

(C) Arbeid eller prosess

Komponent A, B og C er definert for å opprettholde et generelt bra inneklime. Ved dimensjonering av et kontorareal summerer man mengden luft krevd fra personbelastning og bygning, interiør og installasjoner. Hvis det skal ventileres for en prosess hvor tilluften krever en mye større tilluftsmengde enn A + B, trenger man ikke å summere personbelastning og bygning, interiør og installasjoner i utregningen av tilluftsmengde [3]. Svømmehaller er et eksempel på komponent C.

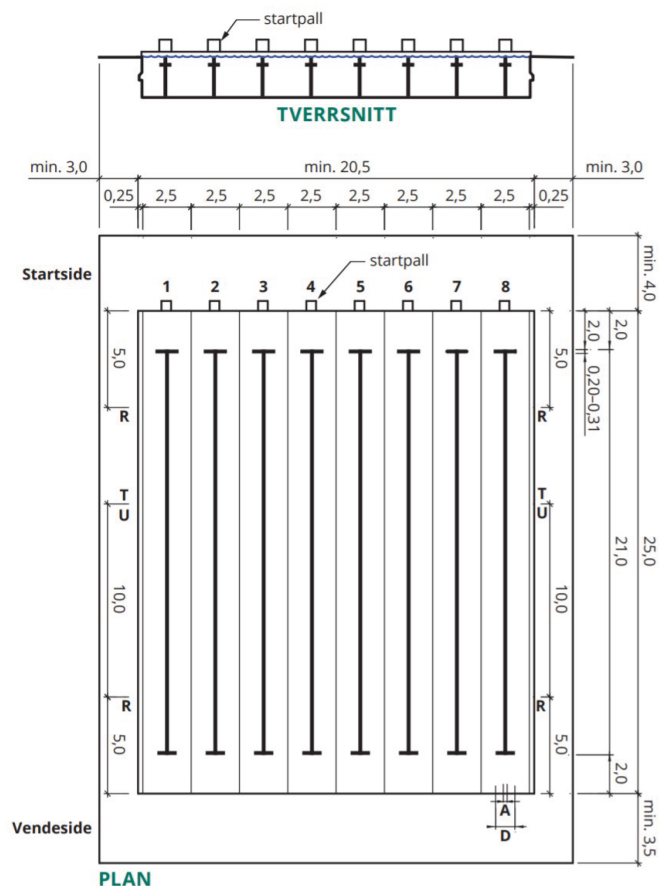
#### 2.7.4 Bassengregler

Norges svømmeforbund (NSF) [51] har laget retningslinjer for hvordan et basseng skal bygges. De har gjort seg erfaringer med materialbruk og tekniske løsninger for å forhindre bygg- og driftsskader. Det å velge gode løsninger er meget viktig for det totale driftsregnskap over anleggets levetid. Dersom feil metode for dimensjonering og konstruksjon blir brukt, vil dette føre til store bygningskader og potensielt mugg- og råteskader i svømmebassenget [28].

I NSF's spesifisering oppgis det en regel om at dommere skal ha mulighet til å bevege seg problemfritt uten hindring langs bassengkanten. I kulturdepartementets målbok er følgende krav til gulvareal rundt bassenget satt. Langsiden skal være på 3,0m, starsiden på 4,0m og vendesiden på 3,5m [33].

NSF er en del av Federation Internationale de Natation Amateur (FINA), Lique Europeenne de Natation (LEN) og Nordic Swimming Federation

Associaton (NSFA), og er nødt til å følge deres regler på utforming av basseng. Dette er for å forsikre seg om at standarden er like på alle basseng, slik at svømme-opplevelsen er lik hver gang. Ved at utformingen på basseng er lik vil ikke svømmerene merke forskjell fra basseng til basseng, heller ikke fra bane til bane. Kulturdepartementet har laget en plantegning på hvordan basseng kan bygges. Figur 2.4 er et eksempel på hvordan et 25m konkurransebasseng kan designes.



Figur 2.4: Plantegning av 25m konkurransebasseng [33]



## 2.7.5 Bassengutforming

Bassengets vann går i sirkulasjon slik at ulike filtre [20] kan fjerne partikler og klorforbindelser, dette fordi vannkvaliteten skal opprettholde en standard.

Vannet tilføres i bunn av bassenget og blir trukket av overløpsrenner som er lokalisert ved bassengkanten. Fra rennene går vannet til en utjevningstank som skal passe på at vannivået justerer seg til antall badende gjester og deres aktivitetsnivå. Deretter blir vannet sendt igjennom en rekke filtre med forskjellig funksjoner. Sand-filtret fjerner større partikler fra vannet før det går inn i pumpen. UV-filteret desinfiserer vannet ved uv-stråling som spalter klorforbindelsene (bundet klor og kloraminer) før det sendes videre ut til kullfilteret. Til slutt får vannet tilført nytt klor før det blir sendt ut i bassenget igjen. [57, 40].

## 2.8 Kanaldimensjonering

Et ventilasjonsanlegg kan i teorien kanaldimensjoneres uten å ta hensyn til en dimensjoneringsmetode så lenge man har tilstrekkelig antall spjeld for innregulering og tilstrekkelig viftekapasitet. En slik vilkårlig dimensjonering kan føre til unødvendig struping og høy vifteeffekt, samt støyproblemer i vifter, kanaler og spjeld. Anlegg som er dimensjonert etter en dimensjoneringsmetode som tar hensyn til parametre som luftmengde, trykktap og lufthastighet vil derfor være å foretrekke. Et eksempel på en slik metode er hastighetsmetoden som går ut på at en velger en passende lufthastighet i aktuell kanalseksjon [49].

<i>Kanal</i> [–]	<i>Hastighet</i> <i>normal</i> [m/s]	<i>Hastighet</i> <i>høy</i> [m/s]	<i>Industri</i> <i>anlegg</i> [m/s]
Hovedkanal	4-7	7-9	10-18
Fordelings-/ bikanal	3-5	5-6	7-12
Uttakskanal	1-3	3-4	5-8

Tabell 2.5: Veiledende kanalhastigheter ved hastighetsmetoden [49]

$$L_A = A \cdot u \Leftrightarrow A = \frac{L_A}{u} \quad (2.6)$$

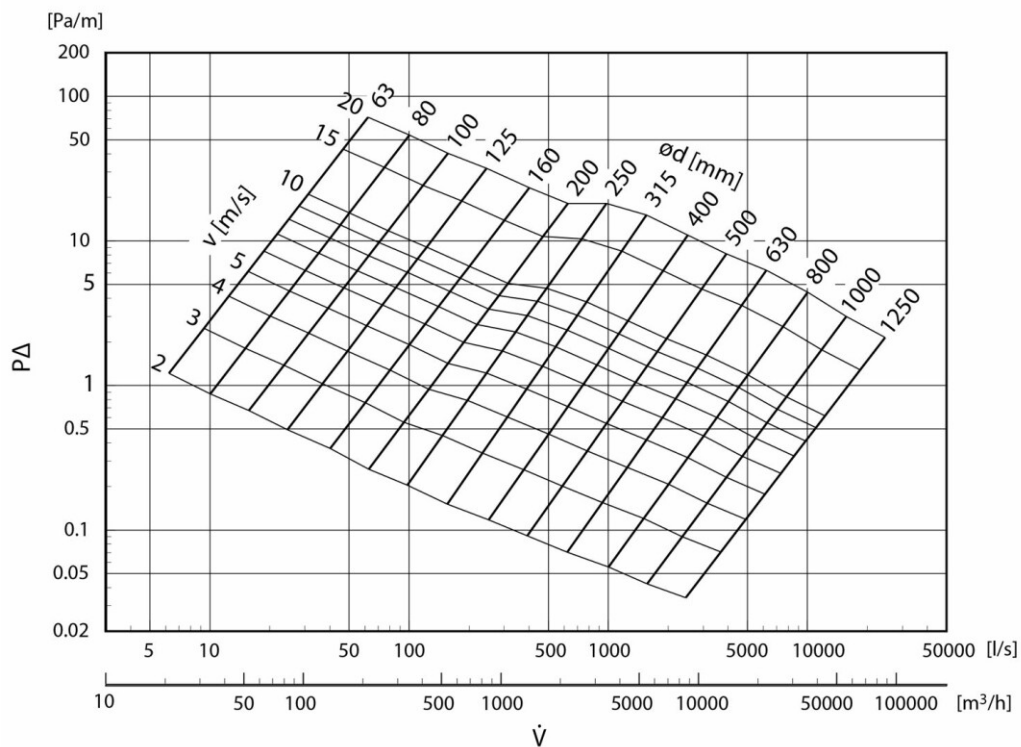
$$\begin{aligned} u &= \text{Lufthastighet} & [m/s] \\ L_A &= \text{Luftmengde} & [m^3/h] \\ A &= \text{Tversnittsareal} & [mm^2] \end{aligned}$$

Volumstrømlikningen (2.6) kan bli brukt i sammenheng med hastighetsmetoden for å beregne ut hvilken sirkulær diameter kanalen skal ha.

$$d_\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (2.7)$$

$$d_\phi = \text{kanaldiameter} \quad [mm]$$

Etter kanaldimensjonen er teoretisk beregnet må det plukkes ut en reel dimensjon fra et produktblad. Et eksempel på produktblad er figur 2.5.



Figur 2.5: Sirkulær kanal [29]

## 2.9 Desinfeksjonsbiprodukter

I en svømmehall oppstår det produksjon av forskjellige helseskadelige gasser. I dette delkapittelet vil det bli gjort rede for de mest kjente og skadelige av dem. Desinfeksjonsbiprodukter (DBP) er et samlebegrep for gasser som oppstår ved desinfisering. Det er oppdaget i overkant av 600 forskjellige desinfeksjonsbiprodukter i svømmebasseng [17].

I svømmebasseng er det et behov for å holde bakterier vekk fra vannet, og klor blir ofte benyttet for å forhindre bakterievekst. DBPer produseres når klor reagerer med biologisk materiale som urin og svette.

Svensk forskning fra 2013 viser at idrettsutøvere på elitenivå er ekstra utsatt for å få astma sammenlignet med resten av befolkningen [4]. De

gjorde undersøkelser på profesjonelle tennisspillere og svømmere og sammenlignet disse. Blant gruppen som ikke satser på en form for idrett fant de astma blant 16-17% av testgruppen. Av tennis spillerne fant de astmadiagnoser hos 25%, og blant elitesvømmerne hele 37%. Deres hypotese på hvorfor svømmere oftere får astma enn andre grupper med idrettsutøvere ligger i at bassengene kloses og at det derfor dannes kloraminer og trihalomethaner [46]. Therese Nitter konkluderer med en lignende hypotese ved hennes forskning på trihalomethaner [43].

### 2.9.1 Kloraminer

Kloramin er en DBP som oppstår ved desinfisering av biologisk materiale. Det finnes tre forskjellige typer som er vanlig i svømmebasseng; monokloramin ( $NH_2Cl$ ), dikloramin ( $NHCl_2$ ) og trikloramin ( $NCl_3$ ). De tre hovedtypene av kloramin blir ofte referert til som bundet klor. Kloraminen kan være både i gass- og væskeform. Det er bundet klor som produserer den karakteristiske klorklukten i basseng hvor en sterk lukt av klor indikerer større forurensning av biologisk materialet [14]. Trikloramin er den mest irriterende bindingen av klor og kan føre til en forverring av astma ved eksponering over lengre perioder [6].

### 2.9.2 THM-Gasser

THM er DBPer som kommer fra desinfisering av biologisk materiale. Av THM-gassene er det ofte fire som står i hovedfokus: kloroform ( $CHCl_3$ ), bromdiklormetan ( $BrCl_2CH$ ), dibromklormetan ( $CHClBr_2$ ) og bromoform ( $CHBr_3$ ). Kloroform er den gassen man har forsket mest på og videre oppdaget at den har stor korrelasjon med astma og andre pusteproblemer [42]. THM-forbindelser er ikke naturlige stoffer som er farlige for naturen. De er også kjent for å være kreftfremkallende og kan forårsake skader på hjerte, lunger, nyre, lever og nervesystemet ved lengre gjentagende eksponering [21]. Det er derfor hensiktsmessig at disse gassene blir fjernet fra bassenganleggene.

For å fjerne konsentrasjonen av THM trengs det først se på hvilke egenskaper partiklene har. THM-partiklene er fire ganger tyngre enn  $O_2 + N$ , men er svært flyktige. De vil derfor blande seg om resten av luften i rommet [40].

## 2.10 Måleparameter

For at driften av et ventilasjonsanlegg skal fungere optimalt trenger man inputsignaler fra sensorer. Den mest vanlige sensoren som blir brukt utenfor svømmebasseng er en  $CO_2$ -nivå måler. Ved å bruke denne typen sensorer får ventilasjonsanlegget en god indikasjon på personbelastning og aktivitetsnivå og justerer luftmengden deretter. I en tidligere PhD-oppgave skrevet av Therese Nitter oppdages det en korrelasjon mellom  $CO_2$ -nivået og nivået av trihalometaner [43]. Dagens teknologi har enda ikke utviklet en sensor for å måle THM-konsentrasjonen i luften. Forskningen til Nitter vil derfor være sentral i denne oppgaven for å klare å måle konsentrasjonen av THM, ved å bruke  $CO_2$  som målparameter.

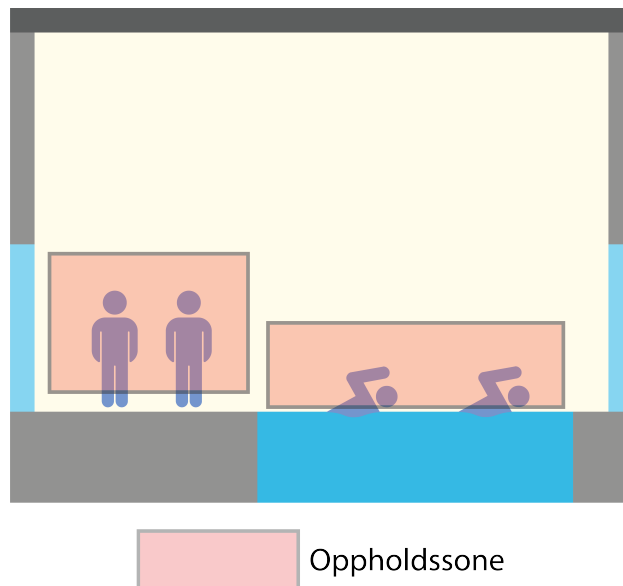
Siden en svømmehall er et spesialrom vil dimensjoneringen og driften basere seg på andre faktorer enn  $CO_2$ . Ventilasjonsaggregatet styres ofte av RF-nivået. Det anbefales at nivået skal gå i takt med utetemperaturen. Som et kompromiss står det i Byggforskserien [8] at i sommerhalvåret anbefales det en RF på 65% og ved vinterhalvåret 55%. Forskjellig RF-nivå skyldes damptrykkforskjellen mellom inne og ute. Ved riktig nivå på RF vil den opplevde komforten være bedre grunnet mindre fordampning fra huden før den er i likevekt med omgivelsesklimate.

# Kapittel 3

## Ventilasjonsprinsipper

### 3.1 Oppholdssone

Oppholdssone er den delen av rommet hvor det normalt forventes et opphold av personer. Dette området skal tilfredsstille inneklimakravene som er satt. I et basseng finnes det to oppholdssoner, en for de som svømmer og en for de som ellers befinner seg i rommet. Figur 3.1 illustrerer arealet av firkantene som de to forskjellige oppholdssonene



Figur 3.1: Oppholdssonen i basseng

## 3.2 Luftvekslingstall

Luftvekslingstallet definerer forholdet mellom tilført luftmengde og romvolum [58]. Når volumstrømmen er lik romvolum blir luftvekslingstallet lik 1. Hvis  $n$  er lik 1 vil en luftmengde lik romvolumet blitt byttet ut. Det er viktig å ikke forveksle luftvekslingstallet med Luftvekslingseffektivitet eller Ventilasjonseffektivitet.

$$n = \frac{L_{\text{luftmengde tilluft}}}{V_{\text{romvolum}}} \left( \frac{1}{\text{time}} \right) \quad (3.1)$$

$$\begin{array}{ll} n & \text{Luftutvekslingstall} \quad \left[ \frac{1}{h} \right] \\ L & \text{Luftmengde tilluft} \quad \left[ \frac{m^3}{h} \right] \\ V & \text{Romvolum} \quad [m^3] \end{array}$$

## 3.3 Luftvekslingseffektivitet

Luftvekslingseffektiviteten ( $\varepsilon_a$ ) definerer hvor fort romluften blir byttet ut med ny friskluft. I tabell 3.1 er det gitt teoretiske luftvekslingseffektiviteter ved forskjellige situasjoner og prinsipp.

Ventilasjonsprinsipp	Luftvekslingseffektivitet $\varepsilon_a$
Fullstendig kortslutning	0
Omrøringsventilasjon	0 - 0.5
Fullstendig omrøring	0.5
Fortrengningsventilasjon	0.5 - 1
Ideell fortrengning	1

Tabell 3.1: Tabell over de forskjellige luftvekslingseffektivitetene

## 3.4 Ventilasjonseffektivitet

Ventilasjonseffektiviteten ( $\varepsilon_v$ ) angir hvor effektivt forurensninger fjernes fra oppholdssonen. I tabell 3.2 er det gitt teoretiske ventilasjonseffektiviteter ved forskjellige situasjoner og prinsipp.

Ventilasjonsprinsipp	Ventilasjonseffektivitet $\varepsilon_v$
Kortslutning	0
Omrøringsventilasjon	0 - 1
Fullstendig omrøring	1
Fortrengningsventilasjon	1 - $\infty$
Ideell fortrengning	$\infty$

Tabell 3.2: Tabell over de forskjellige ventilasjonseffektivitetene

### 3.5 Balansert ventilasjon

Ventilasjon i et bygg kan gjøres på mange forskjellige måter med tanke på hvordan luften styres og hvilke luftmengder som skal tilføres. I nyere industribygg, kontorbygg og idrettsbygg er det stort sett balansert ventilasjon som blir benyttet, hvor det skilles mellom to metoder: Constant Air Volume (CAV) og Variable Air Volume (VAV). Ved å benytte seg av CAV ventilasjon får man en enkel, men mindre energiøkonomisk form for ventilering da luften alltid blir tilført rommet med en konstant mengde. VAV styring hvor luftmengden tilført rommet varierer, har i nyere tid blitt den vanligste formen for ventilasjon de siste 40 årene på grunn av dens evne til å tilpasse styringen av luft etter behovet eller bruker. To metodene for VAV styring (behovstyrt også kjent som Demand Controlled Ventilation (DCV) , eller brukerstyrt) skjer ved sensorer som er plassert taktisk i rommet og som registrerer ulike variable verdier som konsentrasjonen av  $CO_2$ , antall personer tilstede og romtemperatur. Luften reguleres ved at sensorene registrerer verdier og sende signaler til et sentraldriftssystem (SD-anlegg). En slik type styring gitt at reguleringen er gunstig innstilt, gir store energibesparelser i forhold til et anlegg styrt ved CAV-ventilering [50].

### 3.6 Ventilasjonsprinsipp

I ventilasjonsteknikken er det forskjellige prinsipper for å distribuere friskluft. I hovedsak er det hvordan luften distribueres, avtrekksstrategi og luftfordelingen som skiller de forskjellige prinsippene. De mest brukte prinsippene er fortrengning- og omrøringsventilasjon. Begge prinsipper er varianter av balansert ventilasjon hvor avtrekksmengden er lik



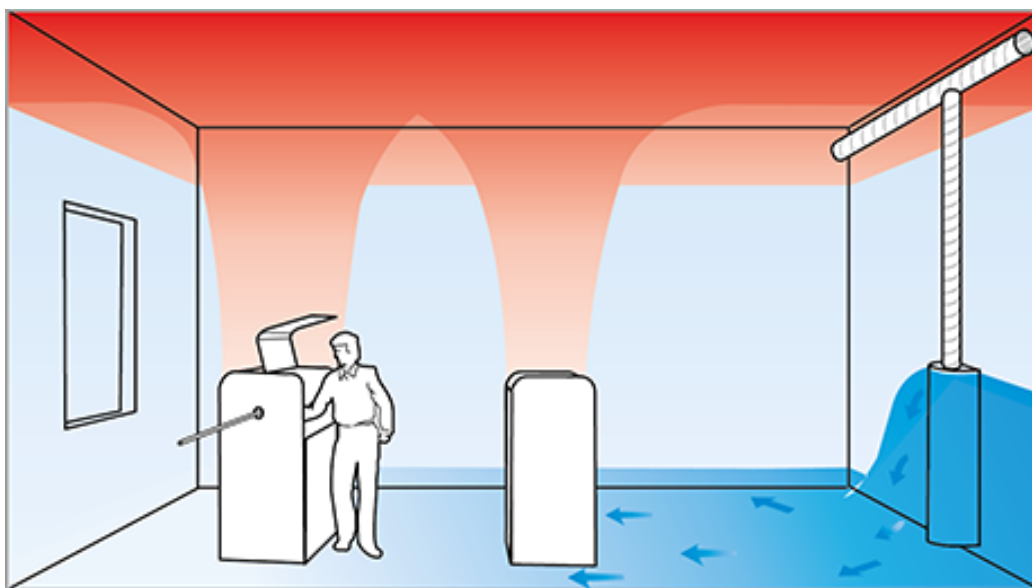
tilluftsmengden. I dette delkapittelet presenteres de forskjellige prinsippene og deres virkemåte.

### 3.6.1 Naturlig ventilasjon

Naturlig ventilasjon er den eldste formen for ventilasjon, og er mye brukt i bygg fra før 1970-tallet. I dette prinsippet er det termiske krefter hvor det er inne- og utetemperaturen som er den styrende faktoren på hvordan luften blir distribuert. Naturlig ventilasjon anses som et lite effektivt prinsipp. På grunn av klimakrav og termiske krefter ansees ikke naturlig ventilasjon som en løsning for ventilering av svømmehaller.

### 3.6.2 Fortrengning

Prinsippet med fortrenningsventilasjon er å tilføre undertemperert friskluft ved nedre del av rommet med lav hastighet. Den kalde friskluften blir så varmet opp av legmer i rommet. Massetettheten til varm luft er lavere enn kald luft, så den oppvarmede luften vil derfor stige opp og bli tatt opp i avtrekkssonen (se figur 3.2 for en illustrasjon av prinsippet).



Figur 3.2: Illustrert fortrenningsprinsipp [52]

Fordeler med fortrenningsventilasjons:

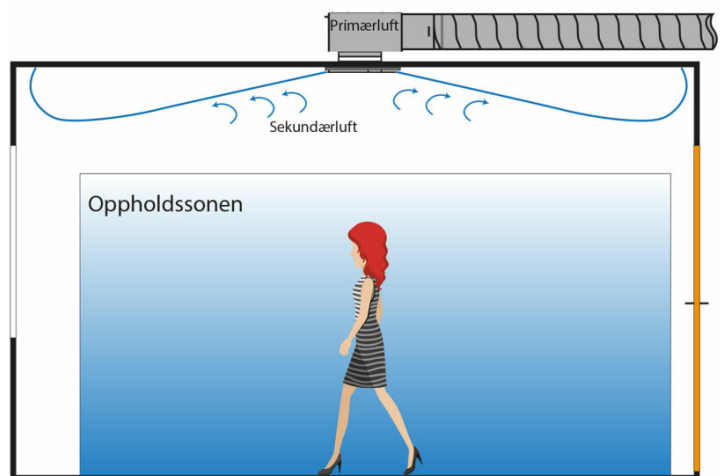
- Varme forurensninger fjernes fort fra oppholdssone
- Lav konsentrasjon av forurensninger i oppholdssonen

Ulemper med fortrenningsventilasjons:

- Krever undertemperert luft
- Kan ikke brukes til oppvarming av rom
- Temperatur gradient
- utfordringer med plassering av stupetårn

### 3.6.3 Omrøring

Prinsippet ved omrøringsventilasjon er tilføre friskluft med høy hastighet eller lang kastelengde. Friskluften blander seg med den eksisterende luften i rommet, man kan derfor ha en lavere tilluftstemperatur siden romtemperaturen blir varmet opp av eksisterende luft før den når oppholdssonen. Farten til friskluften vil avta ved omrøring, det vil derfor ikke oppstå en følelse av trekk.



Figur 3.3: Illustrert omrøringsventilasjon [50]

Fordeler med omrøringsventilasjon:

- Kan brukes til både oppvarming og nedkjøling
- Fortynner forurenset luft

Ulemper med omrøringsventilasjons:

- Forurensning sprer seg til hele rommet
- Fare for kortslutning spesielt ved oppvarming

### 3.6.4 Stempelstrøm

Stempelstrømventilasjon er en ideell tilstand av fortrenningsventilasjon, hvor  $\varepsilon_a$  er lik 1 og  $\varepsilon_v$  er lik  $\infty$ . Grunnet høy ventilasjons- og luftvekslingseffektivitet blir dette prinsippet ofte brukt i rom med strenge krav til forurensning typisk rom hvor det produseres legemidler eller elektronikk.

### 3.6.5 Omvendt fortregning

Omvendt fortregning er et prinsipp hvor man tilfører friskluft i taket og avtrekk ved gulvnivå med undertemperert friskluft. Deretter utnyttes de termiske kreftene som oppstår ved temperaturforskjell. Metoden fungerer best i rom hvor det ikke er kilder som avgir varme og hvor eventuelle forurensningene har en lav massetetthet sammenlignet med luft.

# Kapittel 4

## Metode

I følgende kapittel vil metodene som anvendes i kapittel 5 presenteres. Metodene omfatter målinger og datainnsamling fra en svømmehall som vil gi informasjon og data om luftbilde over overbassenget, samt andre ventilasjonstekniske faktorer som fukt,  $CO_2$  og temperatur. Antagelser vil også bli presentert med forklaring på hvorfor disse blir gjort og hva de baserer seg på.

### 4.1 Litteraturstudier

Helen Aveyard beskriver i sin bok om litteraturstudier [18] at litteraturstudiet brukes som metode for å samle inn allerede eksisterende litteratur og forskning som omhandler et spesifikt problemområde. Aveyard sier at det er viktig å bruke en systematisk tilnærming til å samle inn informasjon. Når informasjonen er samlet inn har man ny kunnskap for å få et helhetlig innblikk av oppgavens omfang og problemer.

### 4.2 Forsøk og målinger

Det det ble foretatt målinger og forsøk på Husebybadet på Saupstad i Trondheim, bygget ble ferdigstilt i 1984.



Figur 4.1: Husbybadet

Bygget har i senere tid blitt rehabilitert, der det blant annet ble installert et nytt ventilasjonsaggregat. I dette delkapittelet fremlegges metoden som er blitt brukt for å utføre relevante målinger for oppgaven.

Ved å måle parametre som relativ luftfuktighet, temperatur,  $CO_2$  og lufthastighet kan svømmehallens ventilasjonssystem kartlegges. Kartleggingen brukes i etterkant som et grunnlag for en vurdering av anleggets funksjon og for å belyse eventuelle teoretiske forbedringer som kan gjøres ved valg av ventileringsstrategi og metode.

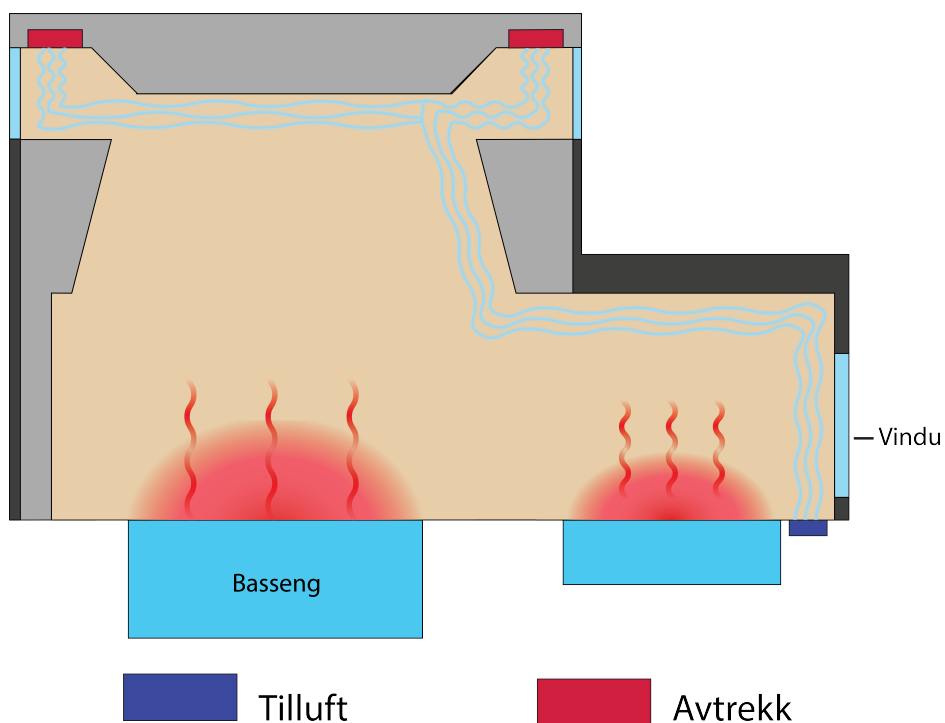
Relativ luftfuktighet, lufthastighet og  $CO_2$  har blitt målt ved forskjellige områder illustrert på figur 4.9. I tillegg ble det gjort et røykforsøk for å visualisere hvordan luftbildet i svømmehallen er. Målingene ble utført etter stengetid for å kunne gjennomføre mest mulig nøyaktige målinger med færrest forstyrrende faktorer. I tillegg ble  $CO_2$ -nivået i overløpsrennen kartlagt for å se om effekten av vannbevegelse fører til en høyere grad av fordunstning. Dette ble gjort for å se sammenhengen mellom  $CO_2$  og

bevegelse av bassengvannet.

### 4.2.1 Fasiliteter

Badet er et flerbruksbygg med treningsareal og svømmehall. Svømmehallen inneholder fire basseng; et svømmebasseng til konkurransesvømming, et barnebasseng, et terapibasseng og et boblebad på hhv.  $315.5 m^2$ ,  $92.4 m^2$ ,  $33.2 m^2$  og ca.  $6 m^2$ . Anlegget blir hyppig brukt da det foregår svømme-aktiviteter stort sett hver dag mellom 06:30 og 22:30 med besøkende i alle aldersgrupper og ferdighetsnivåer.

I teknisk rom står det et stort aggregat som skal forsyne svømmehallen med frisk luft og et mindre aggregat som forsyner resten av bygget. I bassengrommet tilføres tilluften ved vindusrekken og trekkes av i taket, slik som vist på figur 4.2.



Figur 4.2: Tilluft og avtrekk Husbybadet

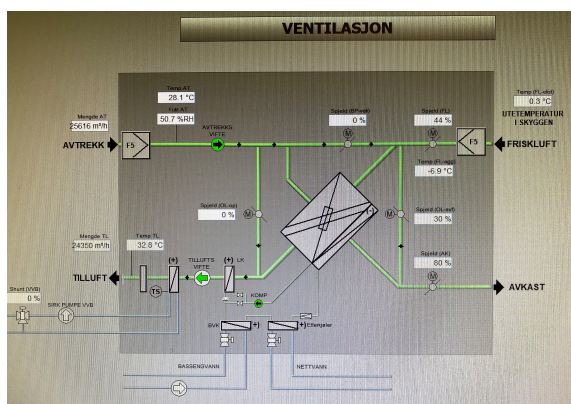
## 4.2.2 Prosedyre

Forsøksprosedyren ble delt opp i tre faser. Fase A var kalibrering og oppsett av måleutstyr samt røykforsøk. Fase B gikk ut på å foreta referansemålinger for å danne et bilde av hvordan tilstanden er ved gjeldende løsning. I fase C ble det gjennomført målinger av tilstanden ved forskjellige lufthastigheter. For å kontrollere lufthastigheten over vannspeilet ble det brukt en frekvenssyrt ekstern vifte.

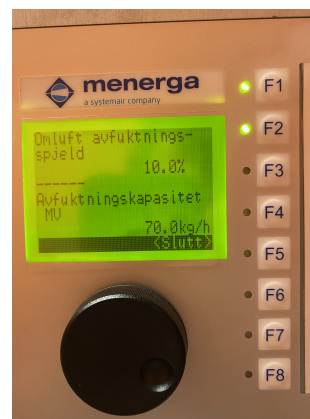
Før ekskursjonen med målinger i husebyhallen ble figur 4.9 laget. Figuren viser en plantegning av svømmehallen hentet fra Trondheim kommune. Nøyaktig punkter på hvor de forskjellige målingene fant sted ble tegnet inn slik at forsøket skulle foregå kontrollert og effektivt.

### Fase A

Det første som ble gjort ved ankomst var å sette opp måleutstyr og en kalibrering av måleutstyret. Det ble parallelt med oppsett gjort en inspisering av ventilasjonsaggregatet og SD-anlegget, hvor det ble kontrollert at anlegget var i normaldrift. Her ble det oppdaget at SD-anlegget viste 0% omluft. For å være sikre på at dette stemte, ble verdiene kryssjekket med kontrollskapet til ventilasjonsaggregatet, som viste at omluftspjeldet stod på 10%.



Figur 4.3: Omluftinstilling 0%



Figur 4.4: Omluftinstilling på 10%



Figur 4.5: Avtrekkstemperatur



Figur 4.6: RF er-verdi

## Fase B

I fase B ble det gjort målinger av RF, temperatur og  $CO_2$  på målepunkt 1 til 10. Dette ble gjort for å få et generelt utgangspunkt og forståelse for tilstanden anlegget er i.





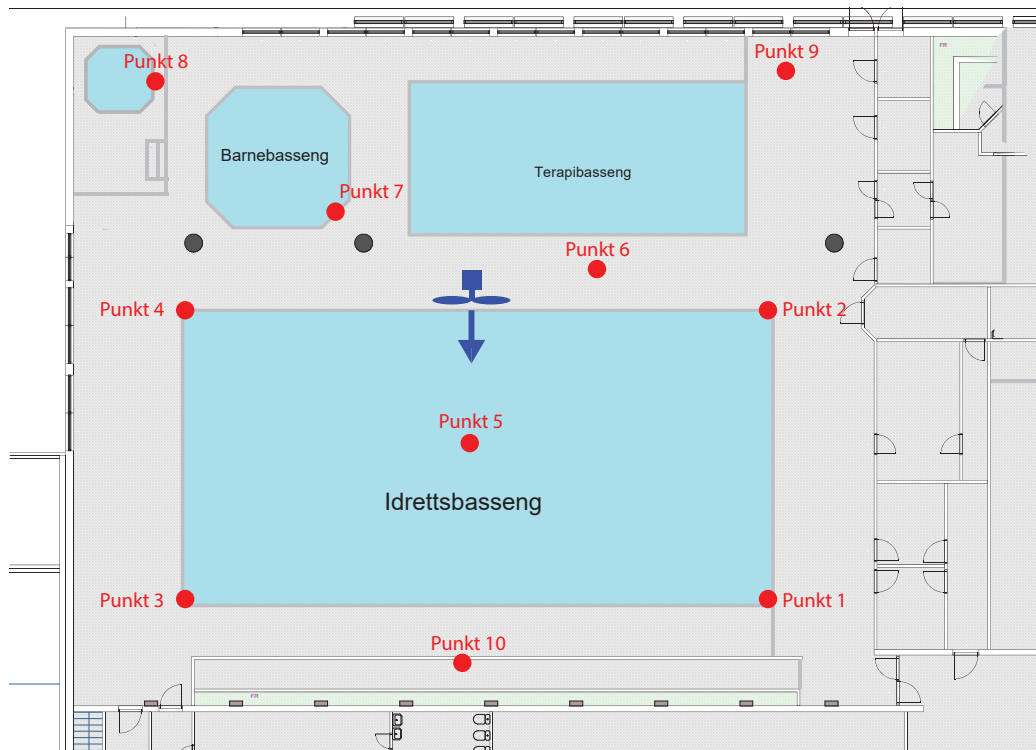
Figur 4.7:  $CO_2$ , RF og temperaturmålinger i basseng

### Fase C

I den siste fasen ble det anvendt en ekstern frekvensstyrt vifte for å simulere forskjellige lufthastigheter. Målingene ble foretatt ved målepunkt 5 (se figur 4.9). Under simuleringene med vifta ble det tatt målinger av  $CO_2$  konsentrasjonen på overflaten rundt midten av bassenget. En viktig faktor under denne målingen var å sørge for at kandidaten som svømte ut i bassenget med  $CO_2$  måleren holdt seg så rolig som mulig for å unngå forstyrrelser i vannspeilet. Deretter ble det utført et røykforsøk for å kartlegge luftbildet. Det ble også utført målinger av RF, temperatur og  $CO_2$  i renebassenget i teknisk rom.



Figur 4.8: Røyforsøk i svømmehall



Figur 4.9: Plantegning med målepunkter[26]

### 4.2.3 Måleutstyr

Aparat	Produsent	Serienummer	Målparameter	Enhet
SwemaAir800	SWEMA	386669	Lufthastighet	m/s
Rotronic-CP11	Rotronic	1180138	$CO_2$	ppm
Rotronic-CP11	Rotronic	1180138	RF	%
Rotronic-CP11	Rotronic	1180138	Temperatur	$^{\circ}C$
Luftstrømtester	Dräger	CH 00216	Røyk	Observasjon

Tabell 4.1: Måleutstyret benyttet på ekskursjon



Figur 4.10: SwemaAir300



Figur 4.11: Rotronic-CP11



Figur 4.12: Luftstrømtester

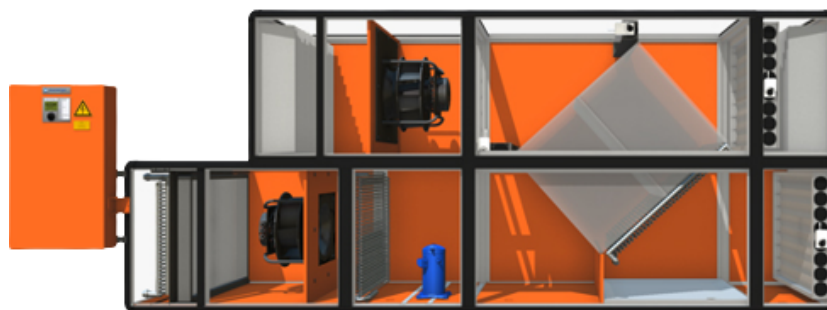
For å simulere forskjellige lufthastigheter ble det brukt en ekstern frekvensstyrt vifte.



Figur 4.13: Frekvensstyrt vifte

## 4.3 Aggregat

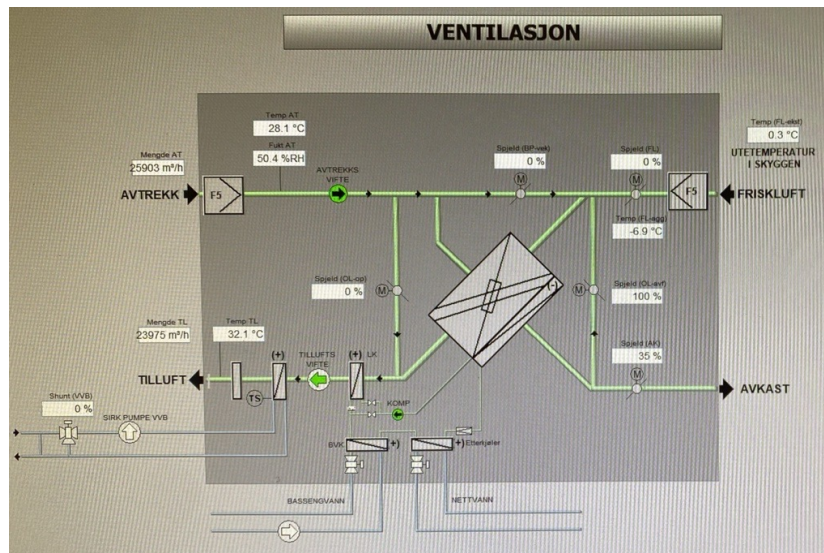
De to avgjørende faktorene til størrelsen på aggregatet er luftmengden og antall luftvekslinger det skal levere per time og kapasiteten til avfukteren [2.7.2]. Husebybadet har et aggregat installert i teknisk rom som bidrar til luftavfuktning i svømmehallen, samt levering av friskluft. Aggregatet er av typen ThermoCondHP fra Menerga. Den er levert med en kraftig dimensjonert asymmetrisk platevarmeveksler, laget av korrosjonsfri og mikrobiologisk ufarlig polypropylen og en varmepumpe med innstillbart effektstyringssystem behovstilpasset svømmehallen. Systemet er dimensjonert til å levere en maksimal luftmengde på  $25000 \frac{m^3}{h}$ , og varmegjenvinneren har et maskimalt trykkfall på 75 Pa ved full luftstrøm [36].



Figur 4.14: ThermoCondHP aggregat [36]

### 4.3.1 SD-anlegg

Teknisk ansvarlige på badet har tilgang til kontrollen av ventilasjonssystemet ved hjelp av et SD-anlegg lokalisert på kontorets datamaskin. Systemet gir brukeren mulighet til å kunne endre ønsket luftmengde, tilført luftmengde, romtemperatur, avtrekk og tilluftstemperatur. Ved nattdrift er det ønskelig å sette systemet til omluft for å spare energi. Dette kan reguleres med SD-anlegget ved hjelp av et omluftsspjeld og et kanalspjeld som kan åpnes og lukkes.



Figur 4.15: SD-anlegg svømmebasseng

## 4.4 Grunnlag for utregninger

For å kunne utføre regneeksempler ble det tatt antagelser der det manglet info. Bassenget det gjøres utregninger på er oppdiktet for enkelthetens skyld. Det er rektangulært, uten stupetårn og andre hindringer for luftstrømmer. I tillegg til antagelser brukes det verdier fra målingene som ble utført i Husebybadet som referanseverider.

Det legges frem ett konsept med utregninger og eksempler på forslag til hvordan en mulig systemløsning kan bli dimensjonert, der antagelser med begrunnelser for de forskjellige forslagene følger. Et generelt utgangspunkt er svømmehallens utforming, som gjelder i alle forslagene som blir fremlagt. Arealet ble bestemt til å være  $511,5m^2$ , hvor 300 av kvadratmeterne er vannspeilet, mens de resterende  $211,5m^2$  ble valgt for å oppfylle kravene fra NSF [51]. Takhøyden ble satt til 3,4m for å ha plass til ventilasjonskanaler og en takhøyde som ikke oppleves som klaustrofobisk. For å finne ut den dimensjonerende faktoren av tilluftsmengde er det to metoder som sammenlignes. Første metode tar hensyn til friskluftsbehovet til personer og materialbelastning, den andre metoden tar hensyn til avfuktningsbehovet.

#### 4.4.1 Fordunstingsmengde

Beregninger av fordunstingsrate fra basseng er utført ved M. Mohammed Shah sine formler, (delkapittel 2.3) som tar hensyn til fordunsting med og uten personer i bassenget. Utregningen er sammensatt hvor formelen for fordunstingsraten i befolket basseng ( $E_{occ}$  tar hensyn til fordunstingsraten ( $E_0$ ) i ubefolket basseng. Det er ønskelig å se på fordunstningsrater der hastigheten på luften i svømmehallen er varierende og større enn maks kravet for svømmehaller på  $0,15 \frac{m}{s}$  [8]. Formel 2.3 er derfor foretrukket fra Shah sin forskning fordi den tar hensyn til nettopp hastighet.

Referanseverdiene for temperaturer og relativ luftfuktighet ble hentet fra målingene og datainnsamlingene ved ekskursjonen på husebybadet. Det var ønskelig å bruke disse verdiene fordi det gir et reelt svømme klima fra en reell svømmehall.

Formelen for å regne ut  $E_0$  definerer fordunstet mengde i et basseng uten aktivitet.  $E_{occ}$  definerer fordunstet mengde i et basseng med personbelastning  $N$ , der  $N$  er antall personer. Personbelastningen ble satt til maks antall personer det er lov til å være i et 25 meter langt basseng med den antagelsen at det er ca. halvparten av personene som benytter bassenget samtidig [22].

Metningstrykket  $p_r$  og  $p_w$  blir avlest fra Yunus Cengel sin appendiks [13]. For å få mer nøyaktige verdier anvendes lineær interpolasjon. Overgangshastigheten  $u_{tran}$  blir satt til  $0,12 \frac{m}{s}$ , dette er en simulert verdi som fungerer bra ifølge den nyeste forskningen til Shah [47]. For å se effekten av en høyere lufthastighet satt opp imot fordunstningsmengde settes  $u$  som ukjent i ligningen med verdier fra  $0,15$ , opp til  $0,7 \frac{m}{s}$ .

For å finne massetettheten  $\rho_r$  og  $\rho_w$  benyttes ideell gasslov. Temperaturene som blir brukt er i kelvin ( $K$ ).

$$p \cdot V = nRT \rightarrow V = \frac{nRT}{p} \rightarrow V^{-1} = \text{massetetthet } (\rho) \quad (4.1)$$

4.1: Ideell gasslov

## 4.4.2 Luftmengdebehov

For å regne ut nødvendig luftmengdebehov trenger man å vite maksimalt antall personer per kvadratmeter. Fra *Retningslinjer for vannbehandling i offentlige bassengbad* laget av Norges Bassengbad Teknisk Forening (NBTF) oppgir de maks person kapasitet per kvadratmeter basseng. Norges Svømmeforbund oppgir at konkurransebasseng skal ha en dybde på 3 meter [51]. NBTF oppgir at det maks kan være én person per 2,4 kvadratmeter basseng [22]. Det antas at cirka halvparten av personene er i bassenget samtidig. I et basseng på  $300 \text{ m}^2$  regnes det med at 60 personer i bassenget er i aktivitet samtidig.

### Avfuktningsbehov

Avfuktningsbehovet i bassenget må dimensjoneres etter maks fordunstningsrate. For å finne hvilke tilstander som gir størst fordunstet mengde, sammenlignes to grupper; en gruppe elitesvømmere og en gruppe ordinære badere. De to gruppene har forskjellig MET nivå og ønske om bassengtemperatur. Det er også ulik personbelastning i svømmebasseng.

Antagelsene gjort for regnestykket er at elitesvømmere har et høyere aktivitetsnivå enn badere flest. Følgelig har de høyere MET nivå og ønsker lavere bassengtemperatur pga. ønsket om gunstige PMV og PPD verdier. Basseng- og romtemperatur blir satt til 26 grader for eksempelet med elitesvømmere og 28 grader for badere. Lufttemperaturen blir satt til 2 grader over bassengtemperatur grunnet små temperaturforskjeller som gir lav fordampningsrate.

Under trening for elitesvømmere antas det at det er cirka 3 personer i hver bane, som totalt utgjør 15 svømmere. Siden elitesvømmere lager mer aktivitet i bassenget enn normalen og vil produsere mer fordunsting, brukes en justeringsfaktor på 1,2. Derfor vil det teoretiske antallet elitesvømmere totalt havne på 21,6 personer i beregningen av avfuktningsbehov.

### Friskluftbehov

Behovet for tilførsel av friskluft i en svømmehall er todelt, da det trenger luft for materialene og personene i hallen, samt luft til avfukting av hallen.

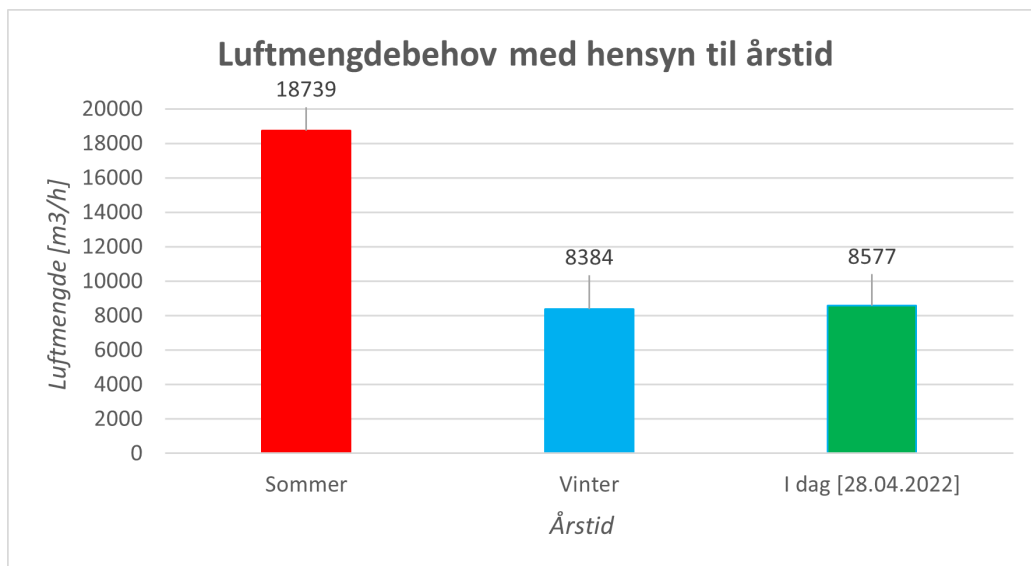


Luftmendebehovet for personer og materialer blir dimensjonert ut i fra byggt teknisk forskrift (TEK17) sine minstekrav for frisklufttilførselen pga forurensning fra personer og materialer [10]. TEK17 tar kun for seg friskluftsbehov for personer med lett aktivitet og tar derfor ikke hensyn til svømmerne og tilskuerne (personer på land, samt badevakter/ansatte) i hallen. Tabell 2.1 tar for seg metabolismen til svømmere med en MET verdi på 6. Byggforskserien ved tabell 4.2 har gjort overslag på  $150 \frac{m^3}{h}$  per person for aktiviteter med en metabolisme på 6. Tilskuerne blir antatt å ha et aktivitetsnivå tilsvarende moderat arbeid som i følge Byggforskserien krever en luftmengde på  $50 \frac{m^3}{h}$  per time. Totale antall luftmengde med hensyn til personer og materialer blir presentert i kapittel 5.4.2 ved tabell 5.5.

<b>Aktivitet</b>	<b>M (met)</b>	<b>Luftmengde/person</b>
Sittende kontorarbeid	1.1	$26[m^3/h]$
Moderat arbeid - lager, lab	2	$50[m^3/h]$
Tungt arbeid - verksted, maskinarbeid	3	$75[m^3/h]$
Moderat trening - treningssenter	6	$150[m^3/h]$
Intens trening - spinning	10	$250[m^3/h]$

Tabell 4.2: Overslagsverdier for aktivitetsnivå (MET) og nødvendig luftmengde per person ved ulik aktivitet [7]

Luftmengdebehovet for avfukting ble beregnet ved formelen fra Byggforsk 2.5. Det blir tatt hensyn til årstid ved beregning av luftmengdene da behovet for avfukting varierer med utetemperatur og absolutt luftfuktighet. Behovet om sommeren, vinteren og datoene målingene på Husebybadet ble gjennomført er de årstidene som har blitt vurdert. Begrunnelse for valget av årstider ligger i ønske om å vise størst variasjon i avfuktingsbehov og kan sees på figer 4.16.



Figur 4.16: Luftmengdebehov med hensyn til årstid

Formelen fra byggforsk for luftmengde inkluderer blant annet absolutt luftfuktighet og massetetthet for henholdsvis inne og uteluften. Massetettheten blir beregnet ved hjelp av formelen for ideell gass 4.1 og absolutt fuktighet ved formel 2.2. For å benytte disse formlene må temperaturen, trykket og relative luftfuktigheten være kjent. Temperaturen brukt for de forskjellige årstidene er hentet fra Byggforskserien 451.201 *Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring* [8] hvor dimensjonerende utetemperaturer med Oslo som referanse er benyttet.

Temperaturen i svømmehallen avhenger ikke av årstid og er dimensjonert til 28.5 °C. Norges svømmeforbund ønsker i deres artikler at bassengtemperaturen for elitesvømmere skal ligge mellom 26-27 °C og Byggforsk anbefaler at lufttemperaturen skal ligge to grader over bassengtemperatur [8][51]. Middelerdien mellom 26 og 27 er 26,5 °C og to grader over denne temperaturen blir da 28.5 °C. Den relative luftfuktigheten benyttet for sommer og vintersesongen står i samsvar til verdiene Byggforsk anbefaler og RF-verdien for april er hentet fra CLIMATE-DATA.org [32]. Metningstrykket blir hentet fra de termodynamiske tabellene fra Cengel [13] ved de forskjellige årstidenes respektive temperaturer.

Fordunstningsmengdene både for uokkupert og okkupert basseng blir beregnet ved hjelp av formlene til M. M. Shah 2.4 og 2.3 på samme måte som beskrevet i kapittel 4.4.1. Luftmengdene om natten blir naturlig dimensjonert ut i fra fordunstningsmengden ved uokkupert basseng og luftmengden om dagen da dimensjonert ut ifra okkupert basseng. Luftmengdebehovet for de forskjellige årstidene med utregningsgrunnlaget blir presentert i kapittel 5.4.2 ved tabell 5.6.

### 4.4.3 Avtrekkskanal i overløpsrenne

For å dimensjonere avtrekkskanalene er det nødvendig å vite hvilken luftmengde som blir tilført rommet. Luftmengden regnes ut med hensyn på personbelastning og avfuktningsbehovet. Den totale luftmengden fordeles mellom to avtrekksrenner, en på hver side av bassenget. Det ble tatt en avgjørelse å installere fire avtrekkskanaler i hver overløpsrenne. Hastigheten i avtrekkskanalen ble satt til 6m/s. Med nødvendige antagelser satt bruker man tabell for kanaldimensjonering for å finne enten ønsket kanaldiameter eller ønsket hastighet 2.5.

For å dimensjonere avtrekkskanalene er det nødvendig å vite hvor mye luft som skal trekkes av. Tilluftsmengden beregnes ved å bestemme et romvolum og luftvekslingstall som puttes inn i formel 3.1. Deretter brukes volumstrømmen og bestemt hastighet for å finne nødvendig tverrsnittareal med formel 2.6. Tverrsnittsarealet fordeles på antall avtrekkspunkter, til slutt finner man kanaldiameter med formel 2.7.

For å finne bredde på overløpsrennen brukes totale luftmengden og hastighet. På overløpsrennen ligger det en rist som skaper hindring for luftstrømmene, dekningsfaktoren til risten er blitt satt til 60%. I tillegg vil en andel av risten være fylt med vann, total dekningsfaktor ble derfor satt til 40%.

# Kapittel 5

## Resultater

I dette kapitlet blir resultater fra anvendelse av metodene i kapittel 4 presentert.

### 5.1 Litteraturstudie

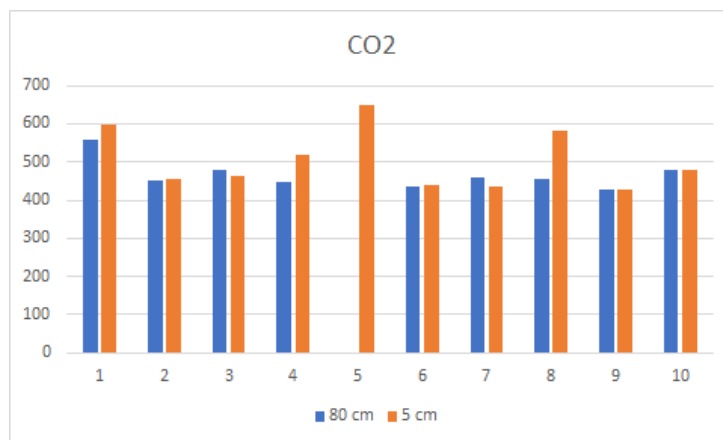
For å starte på denne oppgaven var det nødvendig å gjøre et litteraturstudie for å innhente nok informasjon for å dekke manglende kunnskap. Grunnprinsipp som ventilasjonsprinsipper og termodynamiske krefter er blitt undervist i forelesninger, men aldri i sammenheng med basseng. Det var derfor nødvendig å kontakte fagpersonell og produsent av basseng-aggregat for å finne ut hvilke faktorer som påvirker et basseng. Spesielt tematikken rundt kjemi og biprodukter var det nødvendig å lese om, fordi dette kun er en liten del av pensum på VVS-ingeniør linjen. Det var viktig å forstå grunnprinsippene hver for seg, før man skal trekke sammenligninger og forstå hvordan de påvirker hverandre.

### 5.2 Forsøk og målinger

Forsøkene hadde som hensikt å kartlegge  $CO_2$  oppbygning i svømmehallen, samt se på temperatur og RF-nivåer. Resultatene blir presentert i form av søylediagram med sammenligning av målinger 5 cm og 80 cm over bakken. Det ble ikke brukt punktmålinger da målingsresultatene hadde stor amplitude. Verdiene på søylediagrammene er gjennomsnittsmålinger gjort

over  $t=60$  sekunder. Det er målt på 10 forskjellige punkter, en oversikt finnes på figur 4.9.

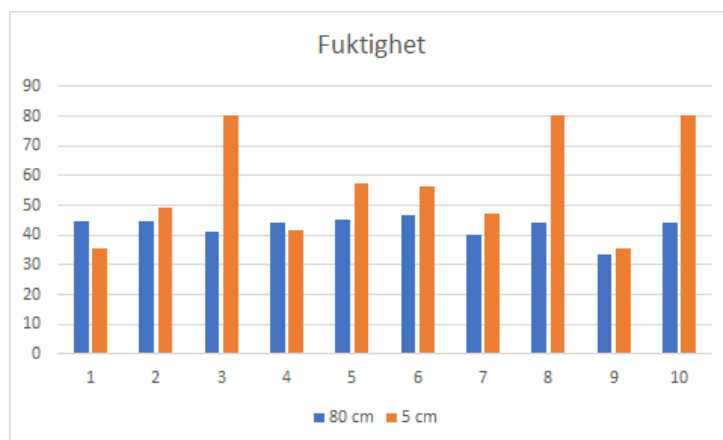
### 5.2.1 Konsentrasjon av karbondioksid



Figur 5.1:  $CO_2$  målinger

Figur 5.1 illustrerer at konsentrasjonen av  $CO_2$  5 cm over bassengoverflaten var relativt lik  $CO_2$  konsentrasjonen 80 cm over overflaten ved de fleste målepunktene. Målepunkt 6, 8 og 1 viser derimot en noe høyere konsentrasjon 5 cm over overflaten. Høyeste verdi av  $CO_2$  ble målt i punkt 5, som er lokalisert midt i idrettsbassenget. Måleapparatet registrerte her en verdi på 650  $CO_2$  ppm. Slik som forventet ga målingene 5 cm over vannspeilet høyest  $CO_2$  konsentrasjon og står i henhold til det teorien til Nitter påstår [43]. Forskjellig fra vår oppfatning var hvor liten  $\Delta$ ppm mellom målingene på 5 cm og 80 cm var.

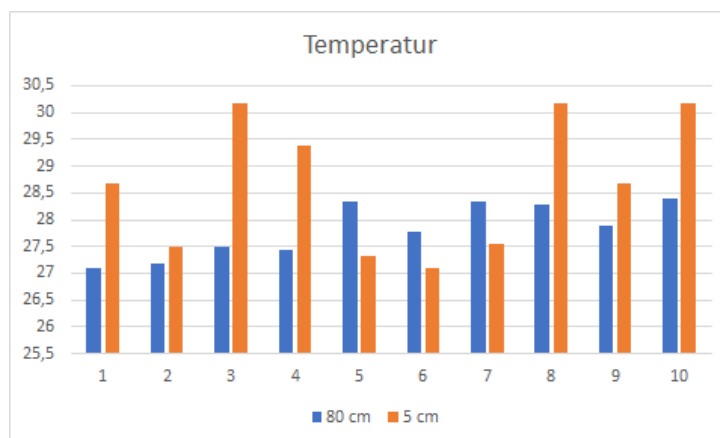
## 5.2.2 Fuktighet



Figur 5.2: Fuktighet

Fuktighetsnivået i bassenget ble målt mellom 57,3% og 33,5%. Målingene på 5 cm ved punkt 3, 8 og 10 antas og være ukorrekte da de har nådd en urealistisk verdi. Det ble også observert på måleapparatet at ppm verdien steg til over 10,000 ppm på punkt 3, 8 og 10. Dette kan skyldes det høye fuktighetsnivået rett over vannspeilet som forstyrrer måleapparatets måling. Måleapparatet skal gå til en maks-verdi på 99,9 RF, men i bassenget stoppet det opp på 80,1%. Det laveste punktet ble målt over tilførselen av tilluft i punkt 9, og den høyeste verdien ble målt i punkt 5.

### 5.2.3 Temperatur



Figur 5.3: Temperatur

Temperaturen på målingene gjort ved punkt 3, 8 og 10 antas å være ukorrekte da de ligger på et unormalt høyt nivå, samtidig som de ligger på eksakt samme nivå på 30,17 grader. Den høyeste temperaturen ble målt i punkt 4 på 29,5 grader 5 cm over bakken og det laveste ble målt i punkt 1, 80 cm over bakken. Dette kan skyldes plassering av dører og trekk.

### 5.2.4 Lufthastighet

Det ble utført et lufthastighetsforsøk langs vannoverflaten for å observere bølgedannelser fra viften. Først ble det tatt referansemålinger slik at det kan sammenligne de med verdier etter at viften har blitt satt på.

	Hastighet	RF	Temp.	ppm.
Uten vifte	0.15	50.2	27.67	457
Med vifte	0.8	45.9	27.72	463

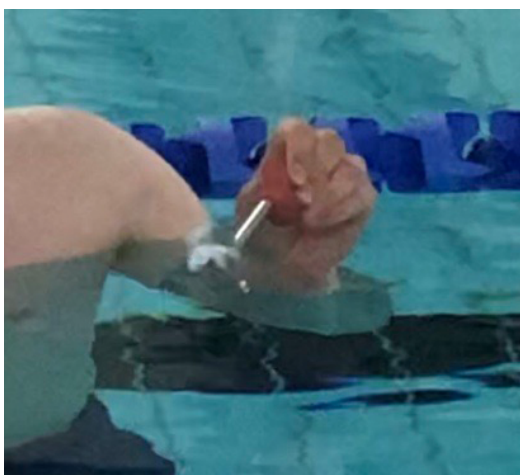
Tabell 5.1: Vifteforsøk

Det ble observert merkbare bølgedannelser rundt 0,8m/s. Bølgene hadde lav amplitude, men høy frekvens. Under 0,8 m/s var bølgedannelsen svært liten, men hastigheten var merkbar på huden. Bølgedannelsen fra en person

i bassenget observeres som større enn det viften på 0,8 lager, dog med forskjellig amplitude og frekvens.

### 5.2.5 Røykforsøk

Det ble også gjort et røykforsøk med en luftstrømtester for å få et visuelt inntrykk av hvordan luften beveget seg ulike plasser i bassenget. En observasjon som ble gjort da røykforsøket ble utført så nære vannoverflaten som mulig og midt i bassenget, var at røyken steg oppover så fort røyken kom ut fra ampullen. Det ble tatt et videoopptak fra røykforsøket. Bildene 5.4 og 5.5 er skjermbilder fra opptaket, med cirka 0,8 sekunder intervall mellom hvert bilde. Fra bildene kan man se at luften beveger seg horisontalt bortover, deretter begynte den å stige opp mot tak.



Figur 5.4:  $T_0$



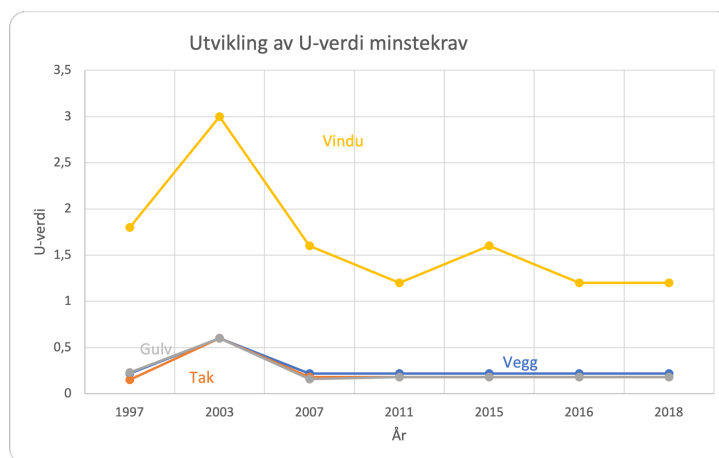
Figur 5.5:  $T_1$

## 5.3 U-verdi

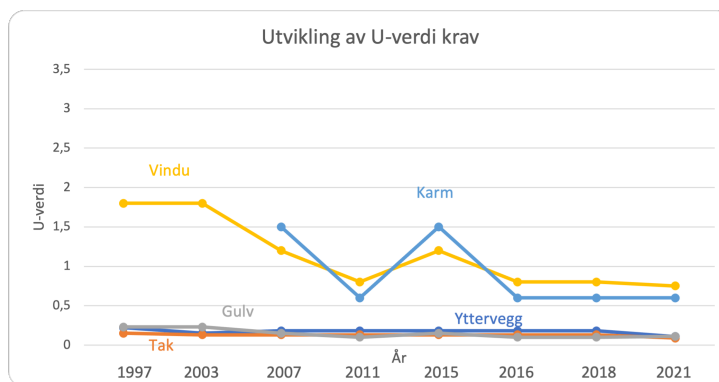
Byggteknisk forskrift har laget en veiledning for tekniske krav til byggverk for å holde en god byggestandard. I figur 5.6 og figur 5.7, henholdsvis minstekrav- og krav, vises det hvordan varmegjennomgangstall har endret seg fra 1997 og frem til dagens standard. I figur 5.7 er det tatt med kravene til et passivhus i 2021. For å se hvordan kravene har utviklet seg med årene, ble U-verdiene



sammenlignet fra teknisk forskrift fra 1997-2010[11], TEK10[9] og TEK17[10]. Det er også tatt med tall fra ulike revisjoner.



Figur 5.6: Endring av minstekrav til U-verdi



Figur 5.7: Endring av krav til U-verdi

## 5.4 Utregninger

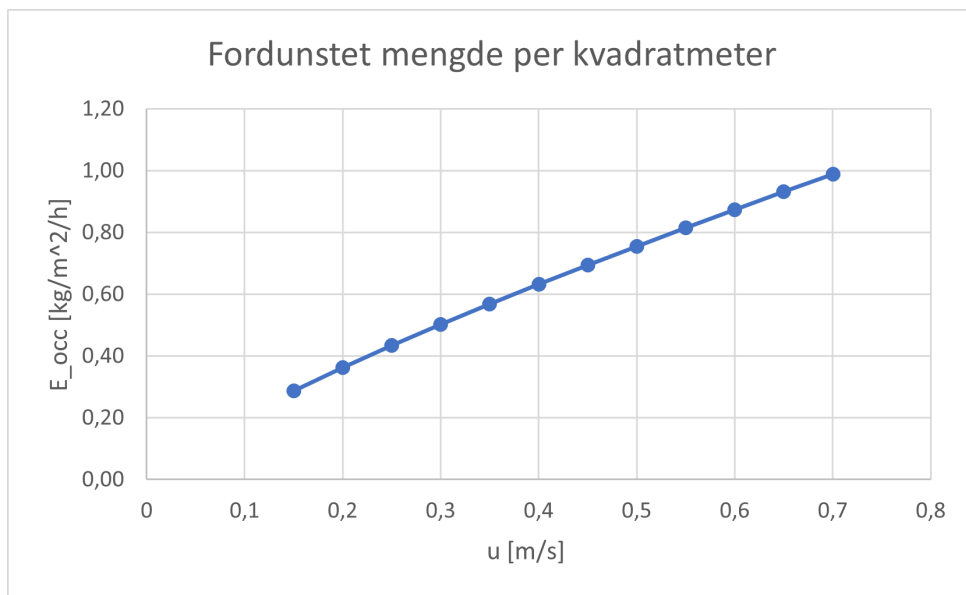
I dette delkapitlet presenteres utregninger som benytter formel og antagelser fra kapittel 4.4. Utregningene skal senere diskuteres i kapittel 6.5.

### 5.4.1 Fordunstningsmengde

$\mathbf{u}$ [m/s]	$E_0$ [kg/h]	$E_o$ [kg/m <sup>2</sup> /]	$E_{occ}$ [kg/h]	$E_{occ}$ [kg/m <sup>2</sup> /h]
0,15	30	0,10	86	0,29
0,20	38	0,13	109	0,36
0,25	45	0,15	130	0,43
0,30	52	0,17	151	0,50
0,35	59	0,20	170	0,57
0,40	65	0,22	189	0,63
0,45	72	0,24	208	0,69
0,50	78	0,26	226	0,75
0,55	84	0,28	244	0,81
0,60	90	0,30	262	0,87
0,65	96	0,32	279	0,93
0,70	102	0,34	296	0,99

Tabell 5.2: Fordunstningsmengde ved forskjellig hastighet

Tabell 5.2 er en oversikt over fordunstningsmengden fra vannoverflaten ved forskjellige hastigheter på luften over vannspeilet. Forholdet mellom  $E_0$  og  $E_{occ}$  er relativt konstant ved alle hastigheter som vist på figur 5.8. Formeler og alle antakelser for beregning av tabell 5.2 ble gjort rede for i kapittel 4.4.1



Figur 5.8: Fordunstet mengde per kvadratmeter

### 5.4.2 Luftmengdebehov

For å vite hvilken personbelastning som skaper mest fordunstning ble to grupper sammenlignet. En gruppe med 15 elitesvømmere og en gruppe med 60 brukere av bassenget. Resultatene kan leses på hhv. tabell 5.3 og 5.4.

<b>Elite</b>	$N[\text{pers}]$	$N^*[\text{pers}/\text{m}^2]$	$u[\text{m}/\text{s}]$
	21,6	0,07	0,15
$T_w[^\circ\text{C}]$	$T_r[^\circ\text{C}]$	$RF_w[\%]$	$RF_r[\%]$
26	28	100,00 %	60,00 %
$p_g(T_w)$	$p_g(T_r)$	$\Delta p[\text{Pa}]$	$\Delta[\text{Pa}]$
3363,13	2269,33	$p_w - p_r[\text{Pa}]$	1093,80
$\rho_w(T_w)$	$\rho_r(T_r)$	$\Delta\rho[\text{m}^3/\text{kg}]$	$\Delta\rho[\text{m}^3/\text{kg}]$
1,141	1,146	$\rho_r - \rho_w[\text{m}^3/\text{kg}]$	0,005
$E_0[\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}]$	$E_0[\text{kg}/\text{h}]$	$E_{occ}[\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}]$	$E_{occ}[\text{kg}/\text{h}]$
0,065	19,61	0,14	<b>42,69</b>

Tabell 5.3: Fordunstet mengde 15 elitesvømmere

<b>Badere</b>	$N[\text{pers}]$	$N \cdot [\text{pers}/\text{m}^2]$	$u[\text{m}/\text{s}]$
	60	0,2	0,15
$T_w[^\circ\text{C}]$	$T_r[^\circ\text{C}]$	$RF_w[\%]$	$RF_r[\%]$
28	30	100,00 %	60,00 %
$p_g(T_w)$	$p_g(T_r)$	$\Delta p[\text{Pa}]$	$\Delta[\text{Pa}]$
3 782,21	2547,62	$p_w - p_r [\text{Pa}]$	1 234,59
$\rho_w(T_w)$	$\rho_r(T_r)$	$\Delta\rho[\text{m}^3/\text{kg}]$	$\Delta\rho[\text{m}^3/\text{kg}]$
1,128	1,135	$\rho_r - \rho_w[\text{m}^3/\text{kg}]$	0,007
$E_0[\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}]$	$E_0[\text{kg}/\text{h}]$	$E_{occ}[\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}]$	$E_{occ}[\text{kg}/\text{h}]$
0,074	22,138	0,21	<b>62,275</b>

Tabell 5.4: Fordunstet mengde 60 basseng brukere

Friskluftstilførsel	Minimum krav	Betingelse	Luftmengde
Tilskuere	50 [ $m^3/h$ ]	65 personer	3000 [ $m^3/h$ ]
Svømmere	150 [ $m^3/h$ ]	60 personer	9000 [ $m^3/h$ ]
Materialer i drift	2.5 [ $m^3/h \cdot m^2$ ]	512 [ $m^2$ ]	1280 [ $m^3/h$ ]
Materialer utenfor drift	0.7 [ $m^3/h \cdot m^2$ ]	512 [ $m^2$ ]	358 [ $m^3/h$ ]
<b>Total tilførsel (drift)</b>			<b>13280 [<math>m^3/h</math>]</b>

Tabell 5.5: Luftmengdebehovet basert på person og materialbelastning

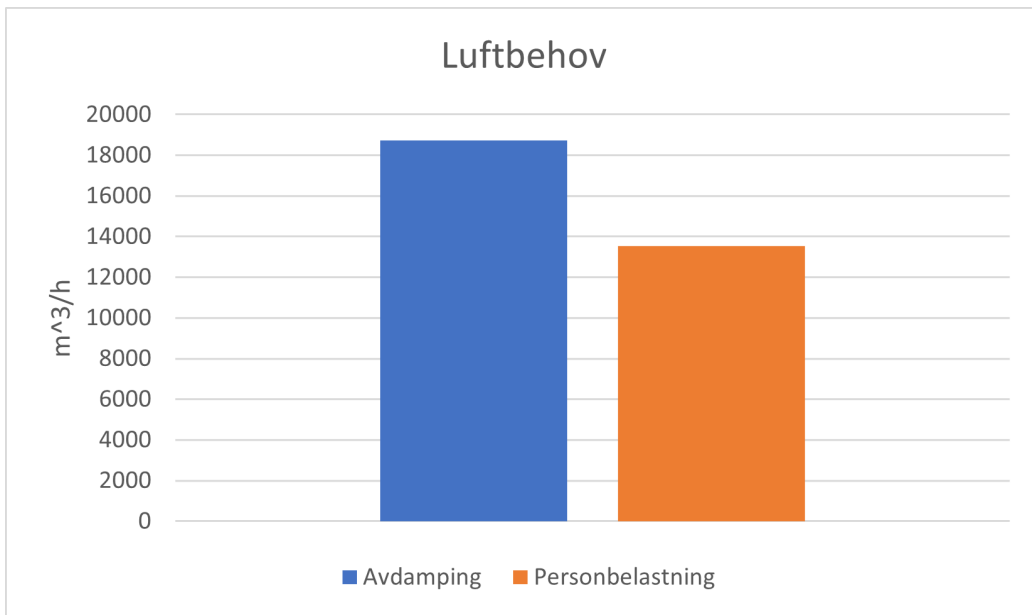
I tabel 5.5 beregnes luftmengdebehovet basert på personer og deres aktivitetsnivå, i tillegg til materialbelastning. Legg merke til her at luftmengden for materialer utenfordrift ikke er blitt tatt hensyn til av åpenbare grunner ved summeringen av den totale luftmengden. Antagelser og begrunnelser for utregning ble redegjort for i kapittel 4.4.2

Årstid	Temp_ute	Temp_hall	x_ute	RF_ute	x_inne	RF_inne
Enhet	[ $^{\circ}C$ ]	[ $^{\circ}C$ ]	[ $kg/kg$ ]	[%]	[ $kg/kg$ ]	[%]
Sommer	26	28.5	0.013	60	0.016	65
Vinter	-19	28.5	0.0006	80	0.012	50
28.04.22	10	28.5	0.005	70	0.015	60

Årstid	$\rho_{ute}$	$\rho_{inne}$	$E_0$	$E_{occ}$	$L_{dag}$	$L_{natt}$	$L_{dag}/L_{natt}$
Enhet	[ $kg/m^3$ ]	[ $kg/m^3$ ]	[ $kg/h$ ]	[ $kg/h$ ]	[ $m^3/h$ ]	[ $m^3/h$ ]	[-]
Sommer	1.171	1.159	17	69	<b>18739</b>	4561	4,1
Vinter	1.388	1.162	27	112	8384	2041	4,1
28.04.22	1.243	1.160	22	89	8577	2088	4,1

Tabell 5.6: Friskluftsbehovet for avdamping ved forskjellige årtider

Tabell 5.6 er en oversikt over friskluftsmengdebehov for avfuktning ved forskjellige årstider. På sommeren er behovet for friskluft mye større enn om vinteren. Årsaken til så stor forskjell i luftmengder mellom årstidene er grunnet forskjellen i absolutt luftfuktighet ( $\Delta x$ ). Med en liten  $\Delta x$  vil avfuktningskapasiteten per volum uteluft være lav. En sammenligning av tabell 5.5 og tabell 5.6 finnes på figur 5.9. Formler, antagelser og begrunnelser for utregningen av tabell 5.6 ble redegjort for i kapittel 4.4.2.



Figur 5.9: Luftbehov avdamping vs personer og materiale

### 5.4.3 Avtrekkskanal i overløpsrenne

#### Steg 1: Dimensjonerende grunnlag

	Felt som kan justeres merkes med grønn	Valgt luftmengde settes inn i røde	Hentes fra ark: Luftmengder
Total luftmengde	18739		
	<b>Rom</b>	<b>Overløpsrenne</b>	<b>Enhet</b>
Høyde	3,4	Ukjent	m
Lengde	31	25,00	m
Bredde	16,5	0,16	m
Areal	511,5		m <sup>2</sup>
Volum	1739,1		m <sup>3</sup>
Luftvekslinger	10,8		n
Antall avtrekk	8	stk	
Ønsket hastighet på avtrekk	6	m/s	
Hastighet	21600	m/h	

Tabell 5.7: Steg 1

Utregningene gjort i tabell 5.7 baserer seg på utregnet luftmengde fra tabell 5.5 og 5.6 delt på antall kanaler og ønsket lufthastighet i avtrekkskanalene.

#### Steg 2: Kanalluftmengde

Luftvekslinger	Prosent	Luftmengde	Kanalluftmengde	Tverrsnitt	Sirkulær kanaldiameter
[n]	[%]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]
x	x	L	L <sub>A</sub>	A	d <sub>ø</sub>
	10 %	1874	234	10845	118
	20 %	3748	468	21689	166
	30 %	5622	703	32534	204
	40 %	7496	937	43378	235
	50 %	9370	1171	54223	263
	60 %	11244	1405	65067	288
	70 %	13118	1640	75912	311
	80 %	14992	1874	86756	332
	90 %	16865	2108	97601	353
	100 %	18739	2342	108446	372

Tabell 5.8: Steg 2

Tabell 5.8 regner ut de sirkulære kanaldiameterne for forskjellige luftmengder. Kolonne "prosent" angir hvor mange prosent av den totale luftmengden som er ønsket å trekke av i overløpsrennen.

### Steg 3: Ovreløpskanal bredde

Hastighet [m/s]:	Hastighet [m/h]:	Luftmengde [m <sup>3</sup> /h]:	Luftåpningsandel rist[%]:	Lenge [m]:	Bredde [m]:
0,15	540	11243,63	40 %	25	1,04
0,20	720	11243,63	40 %	25	0,78
0,25	900	11243,63	40 %	25	0,62
0,30	1080	11243,63	40 %	25	0,52
0,35	1260	11243,63	40 %	25	0,45
0,40	1440	11243,63	40 %	25	0,39
0,45	1620	11243,63	40 %	25	0,35
0,50	1800	11243,63	40 %	25	0,31
0,55	1980	11243,63	40 %	25	0,28
0,60	2160	11243,63	40 %	25	0,26
0,65	2340	11243,63	40 %	25	0,24
0,70	2520	11243,63	40 %	25	0,22
0,75	2700	11243,63	40 %	25	0,21
0,80	2880	11243,63	40 %	25	0,20
0,85	3060	11243,63	40 %	25	0,18
0,90	3240	11243,63	40 %	25	0,17
0,95	3420	11243,63	40 %	25	0,16
1,00	3600	11243,63	40 %	25	0,16

Tabell 5.9: Steg 3

I tabell 5.9 får man en funksjon med hastighet som ukjent og bredde som et resultat. Hvor hastigheten er farten til luften ved vannspeilet. Hastigheten over vannspeilet er regnet fra 0.15 m/s til 1 m/s.



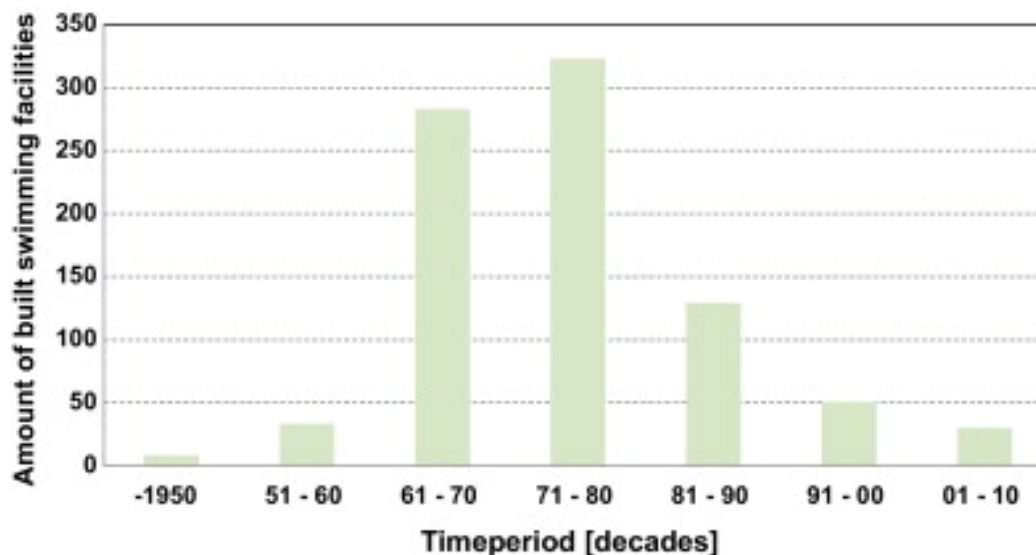
# Kapittel 6

## Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultatene fra kapittel 5. Diskusjonen av resultatene vil videre bli brukt for å argumentere for og imot forslag til forbedring av ventilasjonsløsningen i svømmehaller.

### 6.1 Dagens løsning

En stor andel av svømmehaller i Norge er bygd på 60, 70, og 80-tallet (se figur 6.1) [31]. Dimensjoneringen av slike svømmehaller er basert på eldre og utdaterte bygningsstandarder. Standardene har blitt oppdatert og svømmehallenes dimensjoneringskrav er blitt strengere.



Figur 6.1: Illustrasjon fra Kampel [31]

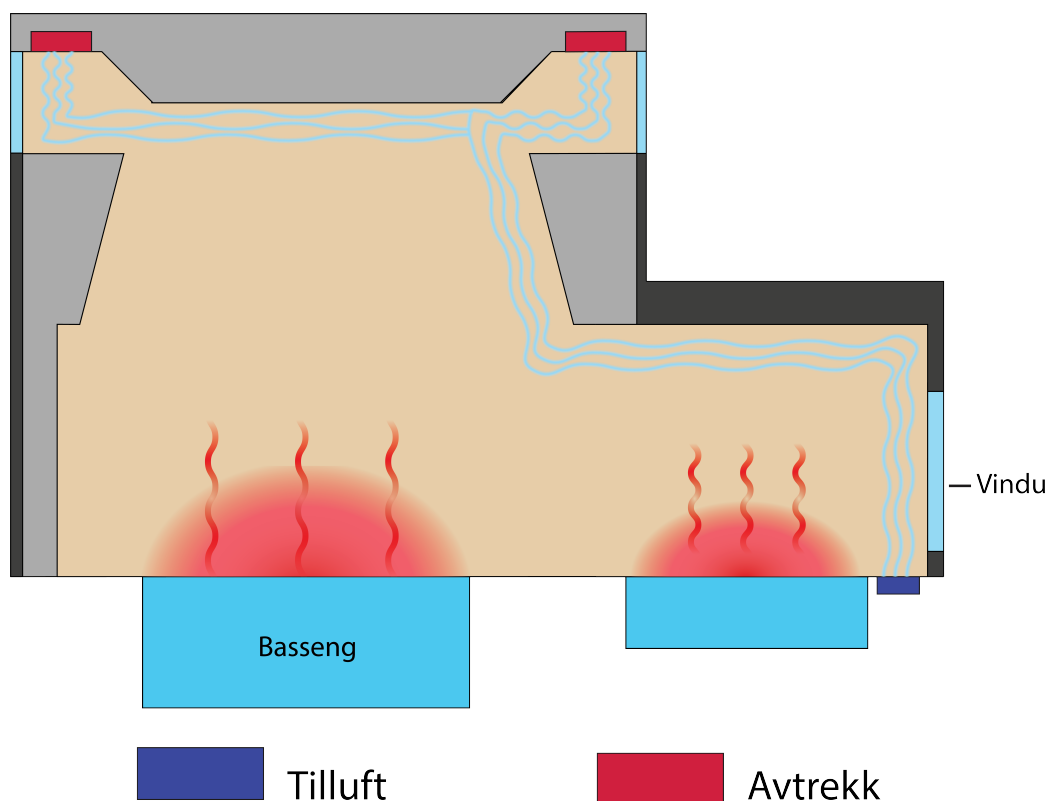
Når svømmehaller bygges er det flere viktige aspekter som må bli tatt hensyn til (se delkapittel 2.7). Majoriteten av norske svømmehaller er utformet med tilluft plassert langs vindusrekken. Årsaken til at det ofte løses på denne måten er fordi vinduer tradisjonelt sett har vært den delen av bygningskonstruksjonen med dårligst isoleringsevne. Dette fører til kalde overflater hvor luften treffer metningspunktet og skaper kondens på vinduene, som videre kan føre til mugg og råte i konstruksjonen.

Måleparameterene som blir brukt for å styre ventilasjonsaggregat i svømmehaller er hovedsaklig, som nevnt i 2.10, RF og temperatur. Svømmehaller blir ventilert med store luftmengder som resulterer i god luftkvalitet. Dersom man utelukkende analyserer  $CO_2$ -nivået og temperatur, fungerer ventilasjonsløsningene bra, men konsentrasjonen av DBPer blir ikke tatt hensyn til.

Ventilasjonseffektiviteten (3.4) og luftvekslingseffektiviteten (3.3) vil avhenge av bassengets arkitektur og utforming. Termodynamiske krefter vil påvirke hvor effektivt luften blir skiftet ut. Konsekvensen ved at luften møter hindringer enkelte steder i rommet, ligger i at det vil oppstå dødsoner hvor luften ikke blir skiftet ut. Dødsonene er derfor punkter som er ekstra utsatt for oppbygning av fukt, som igjen kan føre til mugg og råte.

En konsekvens av dødsoner er dårlig inneklime 2.1.

Oppdriftskreftene til varmluft vil forårsake at den oppvarmede luften over bassenget vil stige. Figur 6.2 viser et eksempel på hvordan avtrekk og tilluftsventiler tradisjonelt har blitt plassert i et svømmebasseng.



Figur 6.2: Eksempel luftstrømmer

## 6.2 Resultater fra målinger

Mange av resultatene som ble presentert i 5.2 ligner på tidligere forskning, og er utført for å verifisere resultatene.

### 6.2.1 RF, CO<sub>2</sub>, og temperatur

Måling av CO<sub>2</sub> viser et konsentrasjonsnivå som stiger dersom man nærmer seg vannoverflaten 5.1. Derimot er ikke forskjellen så stor som det først ble antatt. DBPene som oppstår fra vannoverflaten viser seg å være svært flyktige og sprer seg raskt utover i rommet [41]. CO<sub>2</sub>-nivået i svømmehallen er innenfor grenseverdien fra FHI på 1000 ppm [45]. Dette nivået er målt utenfor driftstid uten personer tilstedet som produserer CO<sub>2</sub>. Målingen kan derfor ikke sammenlignes med grenseverdien FHI anbefaler.

I andre prosesser hvor det oppstår forurensninger, fokuserer man på å fjerne disse ved forurensningskilden. Eksempel på dette er at kontorrom styres av CO<sub>2</sub>-målere for å trekke av luft etter behov. Et annet eksempel på avtrekk ved kilden er punktavtrekk ved sveising. I begge eksemplene ønsker man å fjerne forurensningen med et luftavtrekk før den sprer seg i resten av rommet.

RF-nivåene 5 cm over vannoverflaten er høyere sammenlignet med 80 cm over (se figur 5.2). Årsaken til at RF-nivået stiger desto nærmere vannoverflaten man måler kommer av fordampningen av bassengvannet (2.2.1).

Måling 3, 8 og 10 ved 5 cm over vannspeilet ansees å være ukorrekte. Grunnlaget for de ukorrekte målingene følger antagligvis i at det er for høye konsentrasjoner av fuktighet til at det er mulighet til å måle med det måleutstyret som ble benyttet. Det ble observert at måleapparatet steg til svært høye verdier på 9000ppm CO<sub>2</sub>.

Hastighetsmålingene ble gjennomført for å få et innblikk i hvilke lufthastigheter som vil danne bølger på vannoverflaten (5.1). Det ble observert mange små bølger over et større areal, etter at viften ble satt på. Overflaten til vannet vil øke ved små bølgedannelser. Formelen som blir presentert i delkapittel 2.3 har en enhet per areal og når arealet blir større øker mengden fordunstning. Det ble observert større bølger når det var én person som svømte. Hvor stor mengde fordunstningen fra økt lufthastighet på vannoverflaten fører til, sammenlignet med svømmeaktivitet i bassenget vil være usikkert å konkluderer med, når begge tilfellene produserer bølger.

Hvor mye større vannarealet blir er vanskelig å si, men det vil for sikkert øke da større bølger bidrar til større areal.

### 6.2.2 U-verdi

Utviklingen av bygningsveilederne har ført til strengere krav for U-verdier, som illustrert på figur 5.7. Med strengere krav til varmegjennomgangstall, vil kondensasjon på overflatene minke, og dermed gi en lavere produksjon av fuktighet 2.7.2. Det er hensiktsmessig at svømmebasseng følger de strengeste energikravene for å tape minst mulig energi til omgivelsene da det er store energimengder som kan gå tapt. Basseng burde derfor som et eksempel, følge energikravene til passivhus, som er strengere enn kravene TEK17 oppgir 5.7. Får man bedre u-verdier på vinduene kan man begynne å se på andre muligheter å skape bedre ventilering i svømmebasseng, da behovet for ventilering av vinduer vil bli betydelig mindre.

## 6.3 Forurensningskilde

Den største andelen forurensning i basseng kommer fra bassengoverflaten, hvor det oppstår gasser som har helseskadelige bivirkninger (se delkapittel 2.3 og 2.9). Slik som svømmehaller tidligere er dimensjonert, er det ikke tatt hensyn til biproduktene fra desinfisering av bassengvannet. Nyere forskning har vist helseskadene fra biproduktene ved bruk av klor som desinfiserende middel.

Innfører man strengere krav til U-verdier som nevnt i kapittel 6.2.2 kan man se på andre muligheter for å skape god ventilering i en svømmehall. Praksisen å tilføre luften langs vinduene bør utfases der det ikke er fare for kondensoppbygning med bedre løsninger som sørger for bedre luft i oppholdssonen til svømmerene. Når man nå vet helseskadene av langvarig opphold i svømmehaller burde det bli sett på løsninger som kan senke konsentrasjonen av DBP gasser. Gassene er svært flyktige, derfor kan en strategi være å fjerne gassene før de rekker å spre seg, avtrekk nærmere kilden kan dermed være en løsning, slik som det blir praktisert i kontorrom og ved sveising. Et eksempel på hvordan luftkvaliteten i oppholdssonen, se delkapittel 3.1, muligens kan forbedres presenteres i 6.6.

## 6.4 Målgruppe

Brukere av svømmehaller er mangfoldig, men de kan deles inn i to hovedgrupper: fritidssvømmere og elitesvømmere. Fritidssvømmere drar ofte i svømmehallen for å more seg og foretrekker derfor en bassengtemperatur som er varmere enn elitesvømmere ønsker seg. Elitesvømmere drar til svømmehaller for å trene og har en høyere MET-rate, se tabell 2.1. Enheten for MET er  $\frac{W}{m^2}$ , denne definerer mengden watt produsert ved en aktivitet per areal. Ved en høy MET produserer en kropp mer varmeenergi enn en som har en lavere MET-rate. Den termiske komforten avhenger som nevnt i 2.6, interne og eksterne faktorer. De eksterne faktorene til aktive- og fritidssvømmere er like, det er kun de interne faktorene som varierer.

MET-raten til disse gruppene er forskjellig da aktivitetene gruppene driver med har to forskjellige formål. Norges Svømmeforbund har et krav hvor bassengtemperaturen til konkurranse- og treningsbasseng skal ha en temperatur på  $26-27^{\circ}C$  [51].

Tidligere forskning viser en korrelasjon mellom elitesvømmere og utvikling av astma. Ved en sammenligning av resultatene fra forskningen oppdages det en større andel svømmere utvikler astma (36.6%) i forhold til tennisutøvere (25%) og hos befolkningen i helhet (16.2%) [4, 46]. Eksponering ovenfor DBPer kan gi økt risiko for astma [34]. Dannelsen av helseskadelige gasser bør reduseres samt håndteres på en bedre måte.

Antall brukstimer av svømmehallen er en viktig faktor man må ta hensyn til. I en studie om korrelasjonen mellom astma og elitesvømmere har deltakerene en gjennomsnittlig oppholdsperiode i vannet iløpet av en uke på 16 timer [43], samt mange timer på bassengkanten[34]. En elitesvømmer puster ca  $200\frac{l}{min}$  ved trening, denne mengden luft er cirka 17 ganger så mye som en gjennomsnittlig person i ro vil puste som er rundt  $12\frac{l}{min}$ [35]. Ved så store luftmengder respirert i et inneklime med en høyere konsentrasjon av DBPer kan være en grunn til at elitesvømmere har en større sannsynlighet for å ha luftveisproblemer. Det kan derfor argumenteres for at luftkvaliteten i svømmehaller brukt av elitesvømmere bør prioriteres da de er målgruppen som er mest utsatt.

## 6.5 Dimensjonerende luftmengde

Fra tabell 5.6 kan man se hvilken faktor som blir dimensjonerende for de forskjellige årstidene. Den absolutte luftfuktigheten er veldig lav på vinteren, dette resulterer da i en mindre friskluftsmengde krevd for å avfukte luften sammenlignet med sommeren, da  $\Delta x$  er større om vinteren. Luftmengdene er avhengig av årstidene og varierer fra  $8577 \frac{m^3}{h}$  til  $18739 \frac{m^3}{h}$  se tabell 5.6. Verdiene representerer mengden friskluft krevd for å avfukte svømmehallen. I tabell 5.5 presenteres friskluftmengden som kreves for å dekke personbelastningen og materialbelastningen. Den høyeste luftmengden som kreves i driftstid er  $18739 \frac{m^3}{h}$ .

Det er alltid den største luftmengden som blir den dimensjonerende luftmengden. Om det er avfuktningsbehovet eller person- og materialbelastningen avhenger av forholdet mellom inne- og utetemperatur, da person- og materialbelastningen er konstant hele året. På vinteren er friskluftsbehovet for avfuktning cirka  $5300 \frac{m^3}{h}$  mindre enn mengden friskluft krevd fra person- og materialbelastning.

Ved å installere en varmepumpe med fordamper på avtrekkssiden av aggregatet kan denne ta av seg en del av avfuktningsbehovet. Fordamperen plasseres på denne siden fordi den skal absorbere varmen til avtrekksluften slik at luften når duggpunktet. Overskuddsvarmen fra avfuktningen blir sendt til kondensatoren som er installert på tilluftssiden av aggregatet. Ved bruk av en varmepumpe for avfuktning kan behovet for friskluft til avfuktning reduseres. Den reduserte friskluftsmengden vil variere med størrelsen på varmepumpen, temperaturen på uteluften og luftmengden. En til funksjon varmepumpe i et svømmehallaggregat har er oppvarming av tilluft da overskuddsvarmen blir dumpet i tilluftssiden av aggregatet.

Dimensjonerende luftmengden for å tilfredsstille person- og materialbelastningen i hallen er konstant hele året. Det ble dimensjonert med 60 svømmere i bassenget og 65 tilskuere i eksempelet. Det er sjeldent at en svømmehall med ett basseng på  $300 m^2$  har 125 besøkende samtidig. Behovsstyring av ventilasjonsaggregatet er en nødvendighet for å spare energi ved å redusere luftvekslinger.

### 6.5.1 Behovsstyrt ventilasjon

Et behovsstyrt ventilasjonsaggregat er med på å redusere driftskostnader og energiforbruket. For å ha et behovsstyrt ventilasjonssystem må man se på hvilken faktor som trenger mest friskluft, da det er den som blir dimensjonerende faktor.

For å finne friskluftsmengdebehov for avfuktning i et aggregat med installert varmpumpe og varmeveksler kan formel 6.1 anvendes. Avfuktningskapasiteten til varmpumpen og varmeveksleren vil variere med temperaturforskjellene mellom friskluft og avtrekksluft og luftmengden.

$$L = \frac{M \cdot A - (VP + VV)}{x_i \cdot \rho_i - x_u \cdot \rho_u} \quad (6.1)$$

$L$	<i>Friskluftbehov</i>	$m^3/h$
$M$	<i>Fordunstet mengde</i>	$kg/(m^2 \cdot h)$
$A_b$	<i>Bassengareal</i>	$m^2$
$VP$	<i>Avfuktningskapasitet til varmpumpe</i>	$kg/h$
$VV$	<i>Avfuktningskapasitet til varmeveksler</i>	$kg/h$
$x_i, x_u$	<i>Vanndampinnhold i hhv. inne- og uteluft</i>	$kg/kg$
$\rho_i, \rho_u$	<i>Tetthet til hhv. inne- og uteluft</i>	$kg/m^3$

Ved utregning av friskluftsbehovet for person- og materialbelastning er det brukt maksimal personbelastning. Da det er veldig sjeldent full belastning i en svømmehall bør aggregatet driftes med hensyn til variasjonene i personbelastningen.

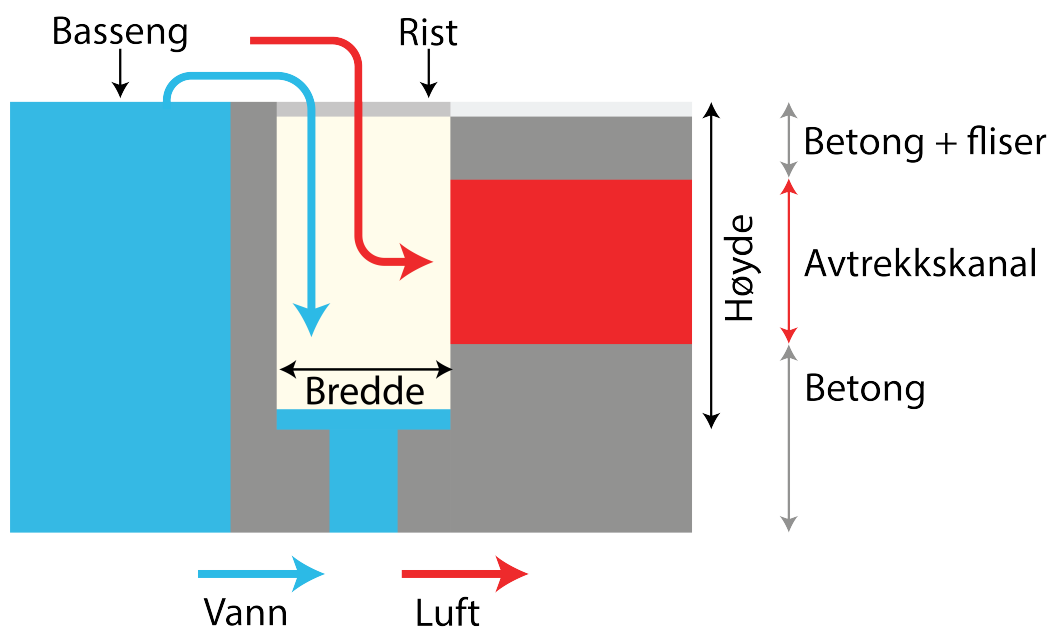
Utenfor åpningstidene til svømmehallene vil personbelastningen være like null, og man kan derfor sette ned luftmengden betydelig, men det må fortsatt ventileres for å sikre bygget mot fuktoppbygning.

I eksempelregningene utført kan man se at luftvekslingstallet blir relativt høyt da romvolumet er så lite. Dette er grunnet utgangspunktet som ble satt ved utregning av luftmengder, det er bare tatt hensyn til at avfuktning skjer ved bruk av kun uteluft. Volumet som er brukt i utregningseksempelene er også lavt iforhold til bassengstørrelse.



## 6.6 Overløpsrenne

For å forbedre ventileringen av svømmehaller kan man se på andre løsninger og prinsipper enn det som er utbredt idag. Muligheten for å ventilere nærmere forurensningskilden blir større med bedre isoleringsevne av bygningskonstruksjonen, spesielt vinduer. Kondensoppbygging på vinduene minker med bedre U-verdier, dermed vil også faren for mugg og råte minke. En mulig forbedring av ventilasjonssystemet kan da være å flytte tilluft og avtrekk nærmere kilden, slik at konsentrasjonen av forurensningen blir tatt opp i avtrekk før den fortynner seg med luften i rommet. En mulig løsning når det gjelder avtrekksiden av ventileringen er illustrert i figur 6.3.



Figur 6.3: Overløpsrenne konsepttegning

Forklaring på figur: Blå pil illustrerer retning på hvordan vannet renner fra bassenget til overløpsrennen. Rød pil viser hvordan varm luft blir trukket av i avtrekkskanal. Før den varme luften blir sugd inn i avtrekkskanalen må den gjennom en rist.

Fra resultatene i 5.9 ser man at bredden på avtrekkskanalen synker dersom lufthastigheten over risten øker. Nødvendig bredde på overløpsrenne mtp. luftmengde kan være mindre enn det den nødvendige bredden er for at overløpsrennen skal fungere overløp for bassenget. Ved noen hastigheter blir altså det konstruksjonstekniske som dimensjonerer bredden til overløprensene.

Høyden på kanalen bestemmes av to faktorer; hvilken kanaldimensjon som plukkes ut fra et produktblad og nødvendige installasjoner i gulvet slik som flislag og betongdekke. I tillegg er det nødt til å være et betonglag under avtrekkskanalen for å forhindre at vannet renner direkte inn i kanalen.

Det er allikevel stor sannsynlighet for at noe av bassengvannet kommer til å sprute inn i kanalen når det renner ned i overløpsrennen. Dersom vannet blir stående stille over lengre tid i kanalen kan dette føre til skader på konstruksjonen. I tillegg til vannet som spruter inn vil det på grunn av høy RF være kondensoppbygning på innsiden av rørene. For å forhindre problemet med stillestående vann er det hensiktsmessig å legge kanalene med 1/60 fall, slik som det gjøres med rørledninger. I de første 20 centimeterne på avtrekkskanalen kan det legges 1/60 fall med retning tilbake i overløpsrennen. Siden vann vil føre til korrosjon på stålskanalene kan det benyttes kanaler av enten polypropolen (PP) eller polyvinylklorid (PVC). For å forhindre at vannet renner til aggregatet er det viktig å legge dreneringsrør i for eksempel fordelingskanalene. I tillegg til kondensoppbygning på innsiden vil det også på utsiden oppstå fukt grunnet store temperaturforskjeller. For å unngå at det skal oppstå fukt på utsiden kan kanalene bli isolert.

Fra 5.8 ser man at det er mulig å trekke av store luftmengder i overløpsrensene. Dette er derimot ikke den beste måten å sørge for god ventilering i hele rommet, det kan i tillegg til avtrekk i overløpsrennen trekkes av en andel på vegg eller i benk.

## 6.6.1 Fordeler og utfordringer med avtrekk i overløpsrenne

### Plassering av avtrekk

Ved å tilføre luften høyt og trekke den av lavt i rommet vil sannsynligvis ventileringen bli bedre enn det den er med dagens løsning, hvor tilførsel og avtrekk er plassert motsatt. Den største fordelene ved å plassere avtrekket lavt er at det er nærmere forurensningskilden og dermed kan fjerne gassen som oppstår over vannoverflaten før den sprer seg ut i rommet. Antagelig vil en andel av gassene spre seg utover i rommet, men med denne ventilasjonsløsningen vil trolig konsentrasjonen av DBP gassene være lavere enn med slik det blir ventilert i dag. På grunn av avtrekkets plassering, er det uklart hvor effektivt luften beveger seg ned i avtrekkskanalene. Det er ønskelig med større tilluftshastigheter for å kompensere for oppdriftskreftene fra vannoverflaten, slik at luften beveger seg vil kunne nå avtrekk.

### U-verdier

Selv om U-verdiene har blitt bedre og det åpner muligheten til å plassere tilluften andre steder, er det viktig å fortsatt se på kondensasjonen som danner seg på vinduene. Det er derfor hensiktsmessig å la noe av tilluften tilføres slik at det blir utskiftning av luft i området der vinduene er plassert. Å regne på eksakte nivåer av fuktighetsoppbygningen på vinduer er vrient da konveksjonsfaktoren på innsiden av vinduet er ukjent.

### Bedre ventilasjonseffektivitet

På grunn av hvordan luften blir tilført og trukket av vil det føre til et mer gunstig luftbilde i rommet, enn det gjør med tilluft langs vinduet. Slik som dagens løsning er tilføres luft langs vinduet, men på motsatt side av rommet er det ingen tilførsel av frisk luft. Luftkvaliteten vil derfor være bedre i nærheten av der luften tilføres enn på motsatt side. Ved å plassere tilluftsdiffusor i taket vil det føre til en jevnere fordelt strøm med luft i hele rommet som vil øke luftvekslingseffektiviteten. Ventilasjonsprinippet blir en form av omvendt fortrenging, da det er tilluft i taket og avtrekk på

bakkenivå. Dersom det er høyt til taket kan man eventuelt plassere tilluftsventiler i en rigg som er festet i taket.

På grunn av bedre luftbilde i rommet vil den skitne luften bli skiftet ut fortere. Dette betyr at ventilasjonseffektiviteten øker. På grunn av bedre luftvekslings- og ventilasjonseffektivitet vil det ikke lengre være nødvendig med en standardregel om at det burde være 4-7 luftvekslinger i et basseng. Standardregelen om 4-7 luftskiftninger i timen tar heller ikke hensyn til takhøyde, flere basseng har arkitektoniske preg som gjør at romvolumet blir stort i forhold til antall kvadratmeter basseng. En nedgang i luftmengden som er nødvendig for å ventilere et basseng vil også energiforbruket bli mindre. Selv om viftearbeidet i aggregatet trenger å bevege mindre luft trenger avfukteren større kapasitet da en luftstrøm direkte på vannoverflaten vil føre til mer dannelse av fuktig luft.

### **Lufthastighet i overløpsrenne**

Avtrekksluften i overløpsrennen er dimensjonert etter å ha en lufthastighet lik  $6\frac{m}{s}$ . Dette medfører en høyere hastighet over risten til overløpsrennen, denne farten kan forårsake en opplevelse av trekk som vil svekke den termiskekomforten. Ved utregning av luftmengde som kan gå igjennom overløpsrennen ble det ikke tatt hensyn til dekningsfaktoren i innsnevringen, det antas at vannet renner direkte ned i overløpsrennen. En annen konsekvens av høy hastighet i avtrekket er støyproduksjon.

### **Splashsone**

Vannet som renner ned i overløpsrennen vil ha en viss fallhøyde avhengig av utformingen til overløpsrennen. Når vannet treffer vil det sprute vann opp, det er en sjanse for at dette går inn i avtrekkskanalen. Det er derfor, lurt å installere skjold mot spruten eller lage en skillevegg mellom siden av rennen hvor vannet faller ned og siden av rennen med avtrekkskanal.

### **Dødsoner**

Dødsoner er steder hvor luften blir stående stille, dette er ikke ønskelig. Det er derfor viktig at all luft blir skiftet ut i hele svømmehallen. Steder hvor dette kan være en fare bør det plasseres avtrekk som sørger for å fjerne stillestående luft, slik at det blir luftbevegelser i hele rommet og all luft blir byttet ut.

## 6.7 Andre løsninger

I tillegg til de ventilasjonstekniske løsningene presentert i case 1-4 finnes det andre løsninger utenfor vårt fagfelt som kan forbedre luftkvaliteten i et basseng. Det er i hovedsak spesielt to forbedringer som kan gjøres.

### 6.7.1 Vannfilter

De flyktige trikloraminene og THM gassene blir frigitt fra fordunsting i vannet. De oppstår fordi det har blitt dannet kloraminer i bassenget. Kloraminene har allerede gjort jobben sin med å desinfisere og er nå ikke ønsket å ha i bassenget, da de er med på å frigi farlige gasser. Ved å fjerne brukte kloraminene og senke konsentrasjonen i vannet, vil dette redusere produksjonen av flyktige trikloraminer og THM-gasser.

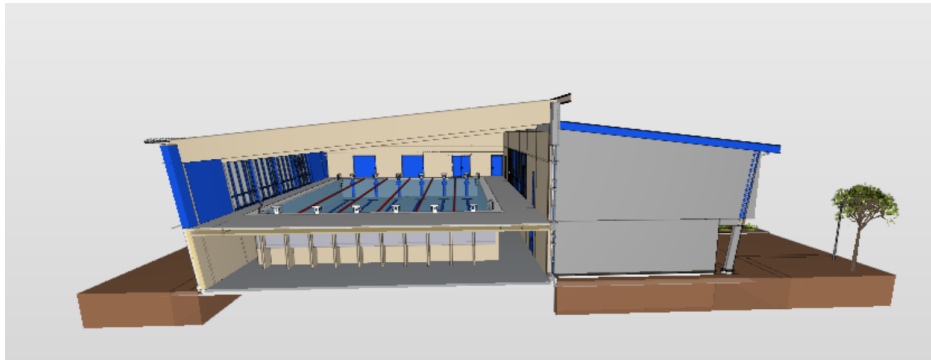
Slik som det er i dag blir vannet sendt gjennom et sandfilter for å fjerne uønsket materiale fra bassenget, slik som hud og hår, kloraminene blir fjernet med et UV-filter. Som diskutert i 2.7.5 blir det antagelig dannet andre skadelige partikler av UV-stråling. Dersom det hadde blitt installert et fungerende filter for kloraminer ville dette senket produksjonen av helseskadelige gasser i bassenget.

### 6.7.2 Filter i aggregatet

Et annet filter som kunne hjelpe å fjerne helseskadelige gasser, er et filter for flyktige kloraminer og trihalomtaner. Dette kunne blitt plassert på avtrekkssiden på ventilasjonsaggregatet. Slik som det fungerer i dag blir de uønskede gassene resirkulert og sendt tilbake inn i bassenget. Da ville man forsikret seg om at tilluften som går inn i rommet er fri for DBPer.

## 6.8 Konkret eksempel

Bjørn Aas ved SIAT som er oppdragsgiver for denne oppgaven har andre bachelor og masteroppgaver som omhandler basseng. Han ønsket seg et konkret eksempel på hvordan det kan ventileres i et basseng med våre løsninger.



Figur 6.4: Konseptbad

Badet er lokalisert på Østbyen i Trondheim. Langsiden på rommet er 33,4 meter, mens kortsiden er 19,94 meter. Veggene har ulik høyde side siden taket skrått, dette kan sees på 6.4, men er cirka 5,7 meter høyt. Arealet er  $665,9 \text{ m}^2$  og volumet er  $3796 \text{ m}^3$ . Bassengarealet er på  $348,6 \text{ m}^2$  og siden det beregnes en personbelastning på 2,4 person per kvadratmeter basseng er det plass til 145 personer i dette rommet. Det antas at halvparten av personene bader samtidig, antall badende gjester blir derfor 73 og de resterende 73 blir tilskuere. Videre skal oppgitte verdier benytte til å utregne nødvendig luftmengde og dimensjonering av avtrekk i overløpsrenne. Eksempelet benytter seg av vedlagt excel-fil for utregning av verdier, regnearket er også lagt som pdf under vedlegg.

<b>Bassengareal</b>	349	$\text{m}^2$
<b>Person per kvadratmeter basseng</b>	145	$n/\text{m}^2$
<b>Antall personer i bassenget</b>	73	n
<b>N*</b>	0,21	

Tabell 6.1: Antall personer i bassenget

For å finne nødvendig luftmengde sammenlignes personbehovet på for luft og avfuktningsbehovet for luft. Luftmengdebehovet er markert i de oransje feltene på tabell6.2 og 6.3.

Personbehov				
Friskluftstilførsel	MET-verdi	Minimum krav [m <sup>3</sup> /h]	Betingelse	Luftmengde [m <sup>3</sup> /h]
Person (Tilskuer)	2	50	73	3650
Person (Svømmer)	6	150	73	10950
Materialer i drift		2,5	512	1280
Materialer utenfor drift		0,7	512	358
<b>Total tilførsel (drift)</b>				<b>15880</b>

Tabell 6.2: Luftmengde basert på personbehov

Avfuktingsbehov				
Årstid [Trondheim]	Temp_ute	Temp_hall	x_ute	RF_ute
	°C	°C	kg/kg	%
Sommer	22	28,5	0,010	60 %
Vinter	-22	28,5	4E-04	80 %
I dag [28.04.2022]	10	28,5	0,005	70 %

RF_inne	x_inne	p_uteluft	p_inneluft	E_0	E_occ	Luftmengde dag	Luftmengde natt	Luftmende dag/natt
%	kg/kg	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/h	kg/h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	
65 %	0,016	1,189	1,159	17	50	7500	2496	3,0
50 %	0,012	1,405	1,162	27	82	6020	2004	3,0
60 %	0,015	1,243	1,160	22	65	6272	2088	3,0

Tabell 6.3: Luftmengde basert på avfuktningsbehov

I dette regneeksempelet blir luftmengden basert på personbelastningen og deres aktivitetsnivå. For å tilfredsstille svømmere, publikum og materialbelastning trengs det en luftmengde på 15880 m<sup>3</sup>/h.

Det planlegges 5 avtrekkskanaler i hver overløpsrenne som utgjør totalt 10 avtrekkskanaler. Ønsket hastighet på avtrekket settes til 6 m/s. Det antas av overløpsrennen er like lang som bassenglengden på 25m. Verdiene puttes inn på tabell 6.4: Steg 1: Dimensjonerende grunnlag”.

<b>Steg 1: Dimensjonerende grunnlag</b>			
	Felt som kan justeres merkes med grønn	Valgt felt settes inn i røde	Hentes fra ark: Luftmengder
Total luftmengde	15880		
	<b>Rom</b>	<b>Overløpsrenne</b>	<b>Enhet</b>
Høyde	5,7	Ukjent	m
Lengde	33,4	25,00	m
Bredde	19,94	Ukjent	m
Areal	665,996		m <sup>2</sup>
Volum	3796,1772		m <sup>3</sup>
Luftvekslinger	4,2		n
Antall avtrekk	10	stk	
Ønsket hastighet på avtrekk	6	m/s	
Hastighet	21600	m/h	

Tabell 6.4: Steg 1: Dimensjonerende grunnlag

På tabell 6.5: Steg 2: Kanalluftmengde kan det bestemmes hvor stor andel av luften som skal trekkes av i overløpsrennen, i dette regneeksemplet trekkes det av 60%, resterende 40% kan trekkes av på for eksempel vegg eller i benk. Ved 10 avtrekkskanaler blir det trukket av  $953 \text{ m}^3/\text{h}$  luft, kanaldimensjonen blir på minst 237mm, denne må rundes opp til nærmeste standarddimensjon som er 250mm.

<b>Steg 2: Kanalluftmengde</b>					
Luftvekslinger	Prosent	Luftmengde	Kanalluftmengde	Tverrsnitt	Sirkulær kanaldiameter
[n]	[%]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]
x	x	L	L_A	A	d_ø
	10 %	1588	159	7352	97
	20 %	3176	318	14704	137
	30 %	4764	476	22056	168
	40 %	6352	635	29407	194
	50 %	7940	794	36759	216
	60 %	9528	953	44111	237
	70 %	11116	1112	51463	256
	80 %	12704	1270	58815	274
	90 %	14292	1429	66167	290
	100 %	15880	1588	73519	306

Tabell 6.5: Steg 2: Kanalluftmengde

På tabell 6.6 Steg 3: Overløpsrenne breddekan det avleses nødvendig bredde på overløpsrenne med hensyn på hastighet over overløpsristen. Det



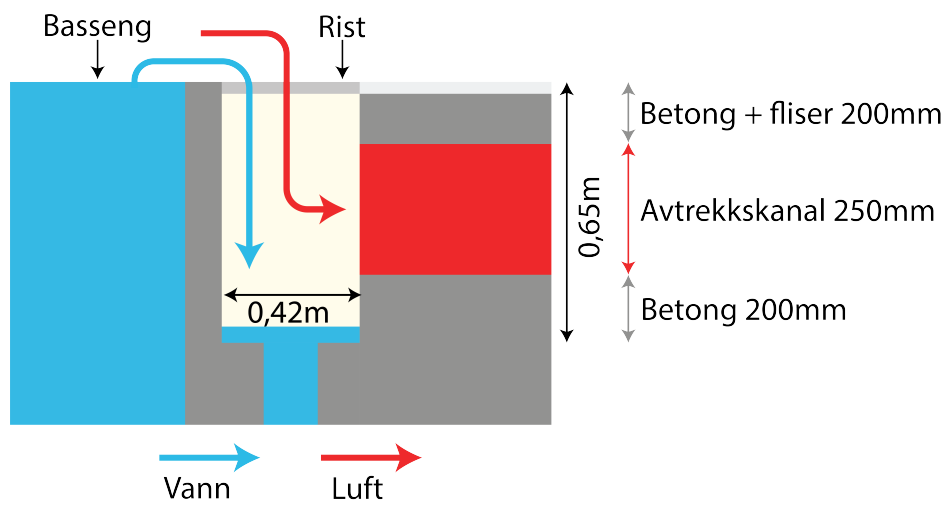
brukes en justeringsfaktor siden det ligger en rist over overløpsrennen, en del av denne risten er dekket av vann. Luftåpningsandelen settes til 40%.

Hastighet over vannoverflaten i dette eksemplet er 0,3 m/s. Bredden på overløpsrennen avleses til 0,44m. Høyden på overløpsrennen regnes med å summere kanaldiameter og nødvendig betongdekke over kanal. Kanalen som ble plukket ut i dette eksemplet er 250mm, og det antas at nødvendig betongdekke over kanalen er på 200mm. For å forhindre at vannet renner rett inn i kanalen er det 200mm under kanalen også. Høyde på kanalen blir derfor 0,65m.

Steg 3: Overløpsrenne bredde						
Hastighet [m/s]:	Hastighet [m/h]:	Luftmengde [m <sup>3</sup> /h]:	Luftåpningsandel rist(%):	Lenge [m]:	Bredde [m]:	
0,15	540	9528,00	40 %	25	0,88	
0,20	720	9528,00	40 %	25	0,66	
0,25	900	9528,00	40 %	25	0,53	
0,30	1080	9528,00	40 %	25	0,44	
0,35	1260	9528,00	40 %	25	0,38	
0,40	1440	9528,00	40 %	25	0,33	
0,45	1620	9528,00	40 %	25	0,29	
0,50	1800	9528,00	40 %	25	0,26	
0,55	1980	9528,00	40 %	25	0,24	
0,60	2160	9528,00	40 %	25	0,22	
0,65	2340	9528,00	40 %	25	0,20	
0,70	2520	9528,00	40 %	25	0,19	
0,75	2700	9528,00	40 %	25	0,18	
0,80	2880	9528,00	40 %	25	0,17	
0,85	3060	9528,00	40 %	25	0,16	
0,90	3240	9528,00	40 %	25	0,15	
0,95	3420	9528,00	40 %	25	0,14	
1,00	3600	9528,00	40 %	25	0,13	

Tabell 6.6: Steg: 3 Overløpsrenne bredde

En konkret illustrasjon av hvordan dette kan se ut vises på figur 6.5



Figur 6.5: Overløpsrenne konsepttegning

# Kapittel 7

## Konklusjon

I denne oppgaven blir det presentert hvordan dagens ventilasjonsprinsipp i basseng blir dimensjonert og hvilke svakheter denne løsningen har. Oppgaven har konkludert med at byggestandardene for svømmebasseng er noe utdaterte og burde følge moderne varmegjennomgangstall og byggestandarar. Den største svakheten til dagens løsning er at den ikke tar hensyn til oppbygningen av desinfeksjonsbiprodukter i oppholdssonen. En konsekvens av dette er at de som bruker mye tid i svømmebasseng kan utvikle astma eller forverre astma og få luftveisproblemer. I andre prosesser der mennesker er i nærheten av farlige gasser, fokuseres ventileringen på forurensningskilden. Den samme prioriteringen burde brukes når ventileringen av et svømmebasseng konstrueres.

For å fjerne forurensningene i oppholdssonen er det i denne oppgaven blitt foreslått et system som kan plasseres i overløpsrennene. Utregningsmetodene som er benyttet baserer seg på moderne formler fra M. M. Shah som vil videre gi oppdaterte verdier for luftmengde. Deretter benyttes luftmengdene for å finne nødvendige dimensjoner på overløpsrenne. Resultatene fra utregningene er realistiske luftmengder, de ble implementert inn i et test eksempel fra konseptbadet på Østbyen, i Trondheim.

Dersom luften tilføres slik at den når vannoverflaten og blir trukket av i overløpsrennene, vil man redusere mulighetene DBPer har for å forplante seg rundt i svømmehallen. Ved å redusere nivåene av trikloraminer og trihalometaner i oppholdssonen kan dette være med på å redusere andelen av elitesvømmere som utvikler astma.

# Kapittel 8

## Forslag til videre arbeid

Dette kapittelet skal fremheve og sette lys på arbeid, som videre bør underbygges og forskes på.

### **Funksjonstest**

For at ideen om avtrekk i overløpsrennen skal bli en reell fungerende løsning, bør prinsippet først bli testet i en småskalamodell. Med en slik modell vil man ha muligheten til å teste og forbedre konseptet. Ved å se på faktorer som ventilasjonseffektivitet, luftvekslingseffektivitet, luftvekslingstall, lufthastighet, fordunstningsraten samt ventilasjonsprinsippet kan man finne den mest optimale løsningen. Etter at det er gjort forsøk på en modell i mindre skala kan man ta med seg erfaringene videre dersom det skal bygges i full skala.

### **Lufthastighet**

Det burde også gjøres forsøk for å finne optimal lufthastighet for å forbedre luftkvaliteten i vannoverflaten uten å forårsake store mengder fordunsting. Forskjellige ventilasjonsprinipp med forskjellige tilluftshastigheter bør også testes ut ved bruk av småskalamodellen. Ved testing av forskjellige lufthastigheter bør det tas hensyn til økningen av fordunstet mengde. Det er nødt til å regnes på nødvendig kastelengde og tilluftshastighet for å motvirke oppdriftskreftene fra befolket basseng.

### **Avtrekksmengde**

Erfaringer fra funksjonstesten kan videre brukes for å finne det optimale forholdet mellom avtrekksmengde i overløpsrennen og avtrekk på vegg. Det kan også regnes ut behovet for tilluft langs vinduene for å unngå en oppbygning av kondens.

### **Filtre i aggregatet**

En stor ulempe med å ha en stor andel omluft er at den forurensede luften blir tilbakeført inn i svømmehallen. For å redusere forurensningen i tilluften bør det utvikles luftfiltre mot DBPer som kan installeres i aggregat.

### **Utvikle THM-sensor**

Aggregatet blir idag kun styrt av RF-nivået i svømmehallen. Aggregatet bør i tillegg til RF-nivå styres av forurensningsnivået. Mengden forurensninger i luften vil variere med personbelastningen. Det å styre etter personbelastningen, spesielt på vinteren ville redusert tilluftsmengden da avfuktningsbehovet er lavt i forhold til friskluftsbehovet.

### **Forbedre vannkvaliteten**

Da det er vannkvaliteten som er forurensningskilden bør det ses nærmere på om det er muligheter for å bruke andre desinfiseringsmetoder i basseng, hvor biproduktene ikke er helsefarlige.

### **Investeringsanalyse**

For at ventilasjonsløsningene som er blitt presenteret i denne oppgaven skal brukes til videre dimensjonering bør det gjøres en investeringsanalyse.

# Referanseliste

- [1] *About ASHRAE* — *ashrae.org*. URL: <https://www.ashrae.org/about> (sjekket 19.05.2022).
- [2] Astma- og Allergiforbundet. *Inneklima og innemiljø*. URL: [https://www.naaf.no/fokusomrader/inneklima/inneklima\\_innemiljo/](https://www.naaf.no/fokusomrader/inneklima/inneklima_innemiljo/) (sjekket 14.05.2022).
- [3] Arbeidstilsynet. *Krav til ventilasjon*. URL: <https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/forskrift-om-tiltaks--og-grenseverdier/> (sjekket 07.05.2022).
- [4] *Asthma is more prevalent in elite swimming adolescents despite better mental and physical health*. 2010. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1600-0838.2010.01177.x?deniedAccessCustomisedMessage=&userIsAuthenticated=false> (sjekket 27.04.2022).
- [5] Bernard. *Mollier Diagram Calculator and Sketcher*. Mollier-Diagram.com. URL: <https://www.mollier-diagram.com> (sjekket 11.05.2022).
- [6] Merete Drevvatne Bugge. *Har evaluert helserisiko ved å puste inn kloraminer i arbeidsmiljø*. Statens Arbeidsmiljøinstitutt. 2021. URL: <https://stami.no/evaluering-helserisiko-puste-inn-kloraminer-i-arbeidsmiljo/> (sjekket 03.05.2022).
- [7] SINTEF Byggforsk. *Luftmengder i ventilasjonsanlegg. Krav og anbefalinger*. 2017. URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/2753/luftmengder\\_i\\_ventilasjonsanlegg\\_krav\\_og\\_anbefalinger#i23](https://www.byggforsk.no/dokument/2753/luftmengder_i_ventilasjonsanlegg_krav_og_anbefalinger#i23) (sjekket 15.05.2022).

- [8] SINTEF Byggforsk. *Ventilasjon og avfukting i svømmehaller og rom med svømmebasseng*. 2003. URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/534/ventilasjon\\_og\\_avfukting\\_i\\_svoemnehaller\\_og\\_rom\\_med\\_svoemnebasseng](https://www.byggforsk.no/dokument/534/ventilasjon_og_avfukting_i_svoemnehaller_og_rom_med_svoemnebasseng).
- [9] Direktoratet for byggkvalitet. *Tek10*. URL: <https://dibk.no/regelverk/tek/> (sjekket 05.05.2022).
- [10] Direktoratet for byggkvalitet. *Tek17*. URL: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/> (sjekket 28.04.2022).
- [11] Direktoratet for byggkvalitet. *Tekniske bestemmelser 1997-2010*. URL: <https://dibk.no/regelverk/liste-over-tidligere-regelverk/Teknisk-forskrift-1997-2010/> (sjekket 05.05.2022).
- [12] JG Cedeño-Laurent mfl. “Building evidence for health: green buildings, current science, and future challenges”. I: *Annual review of public health* 39 (2018), s. 291–308.
- [13] Yunus A Cengel, Michael A Boles og Mehmet Kanoğlu. *Thermodynamics: an engineering approach*. Bd. 5. McGraw-hill New York, 2011.
- [14] *Chloramines and Pool Operation — Healthy Swimming — Healthy Water* — CDC. 4. apr. 2022. URL: <https://www.cdc.gov/healthywater/swimming/aquatics-professionals/chloramines.html> (sjekket 20.04.2022).
- [15] *Clo - Clothing and Thermal Insulation*. Engineering ToolBox. 2004. URL: [https://www.engineeringtoolbox.com/clo-clothing-thermal-insulation-d\\_732.html](https://www.engineeringtoolbox.com/clo-clothing-thermal-insulation-d_732.html) (sjekket 05.04.2022).
- [16] *Dimensjonering og ventilasjonsløsninger*. 4. apr. 2022. URL: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/inneklima/ventilasjon/#Dimensjoneringogventilasjoner> (sjekket 20.04.2022).
- [17] *Disinfection By-Products*. 2022. URL: <https://www.cdc.gov/healthywater/global/household-water-treatment/chlorination-byproducts.html> (sjekket 03.05.2022).
- [18] *Doing a Literature Review in Health and Social Care*. 2010. URL: <https://biblio.co.uk/book/doing-literature-review-health-social-care/d/538990103?aid=frg> (sjekket 30.04.2022).

- [19] HA Dyvia og C Arif. “Analysis of thermal comfort with predicted mean vote (PMV) index using artificial neural network”. I: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Bd. 622. 1. IOP Publishing. 2021, s. 012019.
- [20] Enwa. *Rent og bakteriefritt svømmebasseng - renseanlegget, steg for steg*. Enwa. URL: <https://www.enwa.no/enwa-badeanlegg/verdt-aa-vite/reseanlegget-i-svoemmebasseng> (sjekket 05.05.2022).
- [21] Iro Evlampidou mfl. “Trihalomethanes in Drinking Water and Bladder Cancer Burden in the European Union”. I: *Environmental Health Perspectives* 128.1 (), s. 017001. DOI: 10.1289/EHP4495. URL: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/full/10.1289/EHP4495> (sjekket 30.03.2022).
- [22] Norsk Bassengbad Teknisk Forening. *Retningslinjer for vannbehandling i offentlige bassengbad - Nasjonalbiblioteket*. URL: <https://www.nb.no/nbsok/nb/269bc6a37149613c815c2c6dbe8b912e?lang=no#0> (sjekket 13.05.2022).
- [23] *Forskrift om tiltaks- og grenseverdier*. URL: <https://www.arbeidstilsynet.no/regelverk/forskrifter/forskrift-om-tiltaks--og-grenseverdier/> (sjekket 09.05.2022).
- [24] *følt temperatur*. URL: [https://snl.no/f%C3%B8lt\\_temperatur](https://snl.no/f%C3%B8lt_temperatur) (sjekket 28.03.2022).
- [25] Lars Egil Helseth. *richard mollier*. SNL. 2021. URL: [https://snl.no/Richard\\_Mollier](https://snl.no/Richard_Mollier) (sjekket 31.03.2022).
- [26] *Husebybadet plantegning*. URL: <https://www.mercell.com/m/file/GetFile.ashx?id=87857555&version=0>.
- [27] *Hva er luftfuktighet*. URL: <https://www.airthings.com/no/what-is-humidity> (sjekket 28.03.2022).
- [28] *Hvorfor avfukting er førsteprioritet i en svømmehall*. Dantherm Group. URL: <https://www.danthermgroup.com/nn-no/dantherm/hvorfor-avfukting-er-f%C3%B8rsteprioritet-i-en-sv%C3%B8mmehall> (sjekket 30.03.2022).
- [29] S Ingebritsen. *Ventilasjonsteknikk Del 2*. 1. utg. Oslo: Skarland Press AS, 2016.



- [30] *Inneklima*. Universitetet i Bergen. URL: <https://www.uib.no/hms-portalen/74991/inneklima> (sjekket 27.04.2022).
- [31] Wolfgang Kampel. "Energy-use in Norwegian swimming halls". I: *Energy and Buildings* 59 (2013), s. 181–186. ISSN: 0378-7788. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.011>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812006007>.
- [32] *Klima av Oslo: Vanntemperatur, Temperaturer, klima grafer, klima tabeller for Oslo - Climate-Data.org*. URL: <https://no.climate-data.org/europa/norge/oslo/oslo-81/> (sjekket 18.05.2022).
- [33] Kulturdepartementet. *Svømming*. URL: [https://www.godeidrettsanlegg.no/sites/default/files/bilder/malbok\\_svømming\\_oktober-2021.pdf](https://www.godeidrettsanlegg.no/sites/default/files/bilder/malbok_svømming_oktober-2021.pdf) (sjekket 28.03.2022).
- [34] *Luften i svømmehaller kan gi astma*. 2014. URL: <https://forskning.no/forebyggende-helse-sport/luften-i-svømmehaller-kan-gi-astma/589563> (sjekket 27.04.2022).
- [35] *Lungene*. NHI.no. URL: <https://nhi.no/kroppen-var/organer/lungene/> (sjekket 27.04.2022).
- [36] menerga. *THERMOCOND SOLUTIONS FOR OFFENTLIGE SVØMMEHALLER*. URL: <https://www.menerga.com/no/ventilasjon/thermocond-offentlige-svoemnehaller/thermocondhp/> (sjekket 29.04.2022).
- [37] *MET-Metabolic Rate*. Engineering ToolBox. 2004. URL: [https://www.engineeringtoolbox.com/met-metabolic-rate-d\\_733.html](https://www.engineeringtoolbox.com/met-metabolic-rate-d_733.html) (sjekket 05.04.2022).
- [38] *Mirza M. Shah, PhD, PE Home Page*. URL: <http://www.mmshah.org/> (sjekket 19.05.2022).
- [39] *Netinbag*. Hva er termisk komfort. 2017. URL: <https://www.netinbag.com/no/manufacturing/what-is-thermal-comfort.html> (sjekket 06.04.2022).

- [40] Therese Nitter. “Desinfiseringsprosessens virkning på luft- og vannkvaliteten ved innendørs svømmebassenger”. I: (17. des. 2016). URL: <https://www.godeidrettsanlegg.no/sites/default/files/bilder/Prosjektoppgave%20Desinfiseringsprosessens%20virkning%20ved%20innend%C3%B8rs%20sv%C3%B8mmebassenger.pdf> (sjekket 15.05.2022).
- [41] Therese Nitter. *Flyktige DBP*.
- [42] Therese Nitter. “Ventilasjon og luftkvalitet i svømmeanlegg”. I: (). URL: <https://www.godeidrettsanlegg.no/publikasjon/ventilasjon-og-luftkvalitet-i-svommeanlegg> (sjekket 28.03.2028).
- [43] Therese Bergh Nitter. “Strategies for assessing exposure to managing air concentrations of disinfection by-products in indoor swimming facilities”. I: (2020).
- [44] Standard Norge. *NS-EN ISO 7730:2005*. URL: <https://www.standard.no/no/nettbutikk/produktkatalogen/produktpresentasjon/?ProductID=158329> (sjekket 07.05.2022).
- [45] Publisert Oppdatert. *Karbondioksid (CO) og inneklime*. Folkehelseinstituttet. URL: <https://www.fhi.no/ml/miljo/inneklime/artikler-inneklime-og-helseplager/karbondioksid-co2-og-inneklime/> (sjekket 19.05.2022).
- [46] Kerstin Romberg. *Every breath you take every move you make. Studies on Asthma and Sports in Adolescent Athletes — Lund University*. URL: <https://www.lunduniversity.lu.se/lup/publication/f3ced828-bd18-41e1-8d9c-50a1c31c62eb> (sjekket 10.04.2022).
- [47] Mirza Mohammed Shah. “Improved model for calculation of evaporation from water pools”. I: *Science and Technology for the Built Environment* 24.10 (2018), s. 1064–1074.
- [48] Anders Doksæter Sivle. *relativ luftfuktighet*. SNL. 2021. URL: [https://snl.no/relativ\\_fuktighet](https://snl.no/relativ_fuktighet) (sjekket 30.03.2022).
- [49] LI Stensaas. *Ventilasjonsteknikk 1 -Grunnlaget og systemer*. 4. utg. Oslo: Skarland Press AS, 1999.
- [50] LI Stensaas. *Ventilasjonsteknikk Del 1*. 1. utg. Oslo: Skarland Press AS, 2015.

- [51] Norges Svømmeforbund. *Spesifikasjon for svømmeanlegg (2018)*. Mai 2018. URL: <https://www.godeidrettsanlegg.no/verktoy/spesifikasjon-svommeanlegg-2018> (sjekket 07.05.2022).
- [52] Morten von Sydow. *Fortrengnings illustrasjon*. Swegon. 2021. URL: <https://blog.swegon.com/no/nyheter/hvilket-ventilasjonsprinsipp-skal-jeg-velge> (sjekket 20.08.2021).
- [53] Jan Vincent Thue. *Bygningsfysikk: grunnlag*. Fagbokforl., 2016.
- [54] Joost Van Hoof. “Forty years of Fanger’s model of thermal comfort: comfort for all?” I: *Indoor air* 18.3 (2008), s. 182–201.
- [55] VDI. *VDI Standards*. URL: <https://www.vdi.de/en/home/vdi-standards> (sjekket 15.05.2022).
- [56] *VDI 2089 Blatt 1 - Building Services in swimming baths - Indoor pools*. Jan. 2010. URL: <https://www.vdi.de/en/home/vdi-standards/details/vdi-2089-blatt-1-building-services-in-swimming-baths-indoor-pools-1> (sjekket 27.04.2022).
- [57] ShihChi Weng og Ernest R. Blatchley. “Ultraviolet-Induced Effects on Chloramine and Cyanogen Chloride Formation from Chlorination of Amino Acids”. I: *Environmental Science & Technology* 47.9 (7. mai 2013), s. 4269–4276. ISSN: 0013-936X. DOI: 10.1021/es400273w. URL: <https://doi.org/10.1021/es400273w> (sjekket 07.05.2022).
- [58] David Zijdemans. *Infiltrasjon*. Section: vannbaserte. 10. des. 2018. URL: <https://vannbaserte.nemitek.no/1221-artikkel-bygningers-varmeeffektbehov/infiltrasjon/165338> (sjekket 07.05.2022).

# Vedlegg

# A Sirkulære kanaldimensjoner

lindab | safe

## Cirkulär kanal

## SR



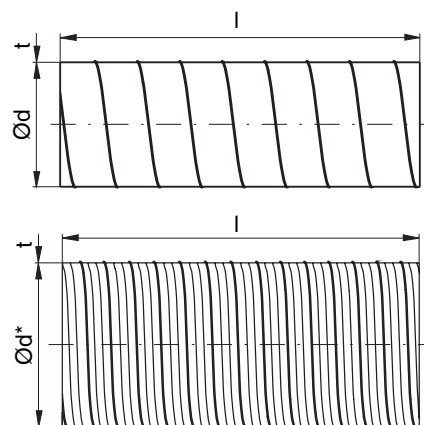
### Beskrivning

Cirkulär kanal.

Kanalerna kan tillverkas både med och utan Click-funktion (nockar).

Var god specificera vid beställning.

### Dimensioner



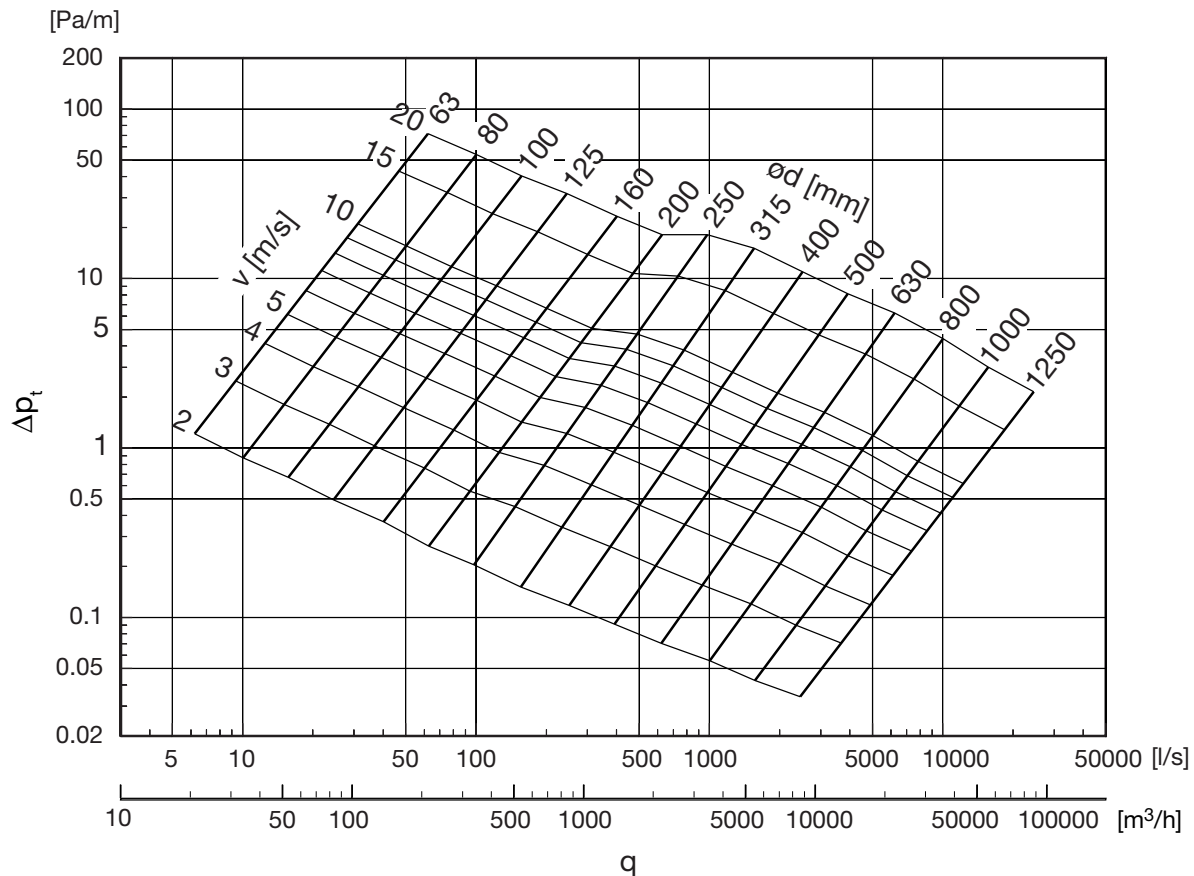
Ød std nom	O $\pi d$ m	A $\pi d^2/4$ m <sup>2</sup>	t std [mm]	l std [mm]	ml std kg/m
63	0,198	0,003	0,45	3000	0,85
80	0,251	0,005	0,45	3000	0,91
100	0,314	0,008	0,45	3000	1,14
125	0,393	0,012	0,45	3000	1,41
160	0,503	0,020	0,5	3000	2,02
200	0,628	0,031	0,5	3000	2,56
250 *	0,785	0,049	0,5	3000	3,18
315 *	0,990	0,078	0,55	3000	4,41
400 *	1,257	0,126	0,55	3000	6,01
500 *	1,571	0,196	0,7	3000	9,54
630 *	1,979	0,312	0,7	3000	12,0
800 *	2,513	0,503	0,8	3000	17,4
1000 *	3,142	0,785	0,9	3000	24,1
1250 *	3,927	1,227	0,9	3000	30,2
1600 *	5,027	2,011	1,25	2400	54,8

\* Med utåtgående förstyrningssockar.

# Cirkulär kanal

SR

## Tekniska data



### Specialutförande

Mot förfrågan kan vi leverera kanaler i följande specialutförande:

- I mellanliggande dimensioner, se sidan .
- Extra täta med nitrilgummipackning i falsen
- Med andra plåttjocklekar

### Extra täta med falstättning

Vid krav på extrem hög täthet i spiralfalsen på kanalerna kan dessa levereras med en speciell gummipackning inmonterad i falsen.

Packningen förhindrar mycket effektivt läckage av vegetabiliska oljor och fetter samt de flesta petroleumprodukter inklusive lacknafta.

### Andra plåttjocklekar

Vid behov av hög stabilitet på kanalen t ex stort undertryck kan dessa levereras i tjockare plåt än standard. Tjockleksökningen innebär mindre invändig diameter. Därför bör alltid detaljer till sådana specialkanaler anges separat och ibland tillverkas speciellt för ändamålet.

### Förstyvningsstickar

För att öka den radiella styvheten på kanalen tillverkas normalt dim  $\text{Ø}250$  och däröver med förstyvningsstickar.



# Cirkulär kanal

SR

## Tekniska data

### Hållfasthet

#### Övertryck

Vid högt övertryck kommer först tätningens läppar att börja vissla. Vid betydligt högre tryck kommer skarvarna mellan kanalerna att slitas sönder. Om man lyckas fixera anslutningar mycket väl kommer kanalerna att vid ännu högre tryck brista längs falsen. De höga tryck som krävs för att detta ska inträffa är dock inte aktuella i ventilationsanläggningar.

#### Undertryck

Vid anläggningar med kraftigt undertryck finns det risk för att kanalerna kollapsar.

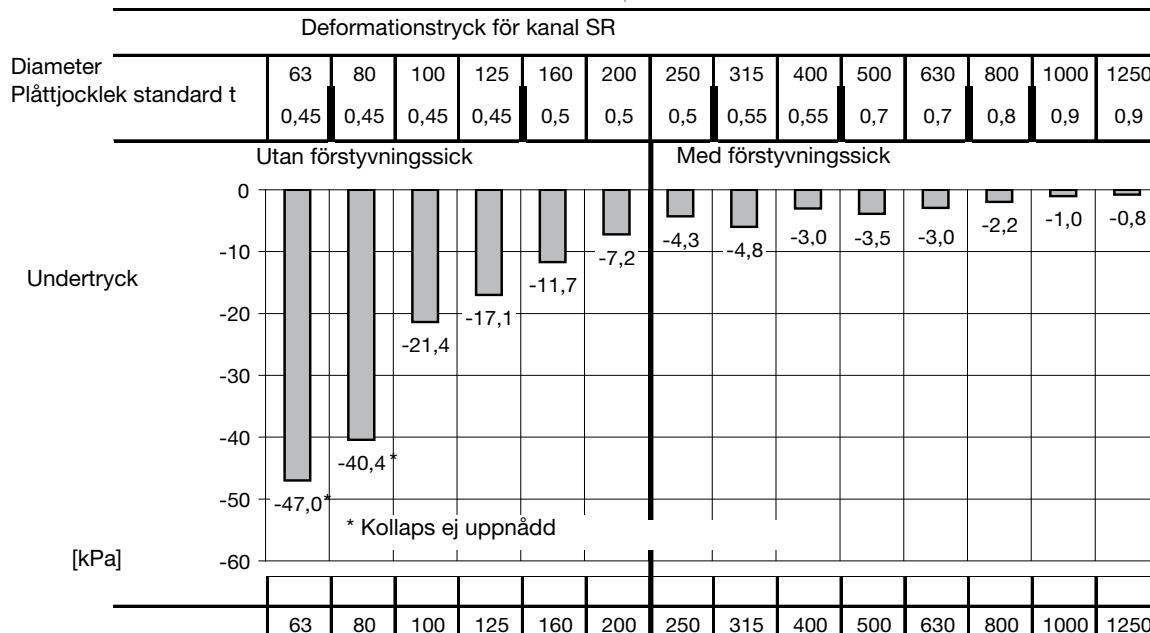
Detta fenomen kallas buckling och inträffar helt plötsligt vid den svagaste punkten i systemet. Bucklingen vandrar längs kanalen och denna kan bli helt tillplattad. Den svagaste punkten är ofta en "transportbubbla" på kanalen. Se därför till att endast använda oskadade kanaler i system som används nära kritiskt tryck!

Stapeldiagrammet redovisar det maximala undertryck våra oskadade standardkanaler kan motstå utan att kollapsa.

### Styrka och täthet

Tätetslistens förmåga att klara täthet skiljer sig från de maximala tryckgränserna och redovisas i tabellen nedan.

I exceptionella fall behövs ytterligare starka kanaler och detaljer. Lindab har utvecklat ett system som tål ned till 5000 Pascals undertryck. För att minimera kostnader och vara säker på prestanda till det specifika systemet kontakta Lindab för precis dimensionering.



	Min Dim [nom]	Max Dim [nom]	Max Undertryck [Pa]	Max [Pa]
Safetätningens stabilitet	63	1600	-5000	3000
Kanalsystem Euroventcertifierat	63	315	-5000	2000
Kanalsystem Euroventcertifierat	400	1250	-750	2000
Kanalsystem enligt EN 12237	63	1250	-750	2000
Kanalsystem - Förstärkt system på förfrågan	63	1600	-5000	3000



# B Kanaldimensjonering

## Steg 1: Dimensjonerende grunnlag

	Felt som kan justeres merkes med grønn	Valgt felt settes inn i røde	Hentes fra ark: Luftmengder
Total luftmengde	15880		
	<b>Rom</b>	<b>Overløpsrenne</b>	<b>Enhet</b>
Høyde	5,7	Ukjent	m
Lengde	33,4	25,00	m
Bredde	19,94	Ukjent	m
Areal	665,996		m <sup>2</sup>
Volum	3796,1772		m <sup>3</sup>
Luftvekslinger	4,2		n
Antall avtrekk	10	stk	
Ønsket hastighet på avtrekk	6	m/s	
Hastighet	21600	m/h	

## Steg 2: Kanalluftmengde

Luftvekslinger	Prosent	Luftmengde	Kanalluftmengde	Tverrsnitt	Sirkulær kanal diame ter
[n]	[%]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]
x	x	L	L_A	A	d_ø
	10 %	1588	159	7352	97
	20 %	3176	318	14704	137
	30 %	4764	476	22056	168
	40 %	6352	635	29407	194
	50 %	7940	794	36759	216
	60 %	9528	953	44111	237
	70 %	11116	1112	51463	256
	80 %	12704	1270	58815	274
	90 %	14292	1429	66167	290
	100 %	15880	1588	73519	306

## Steg 3: Overløpsrenne bredde

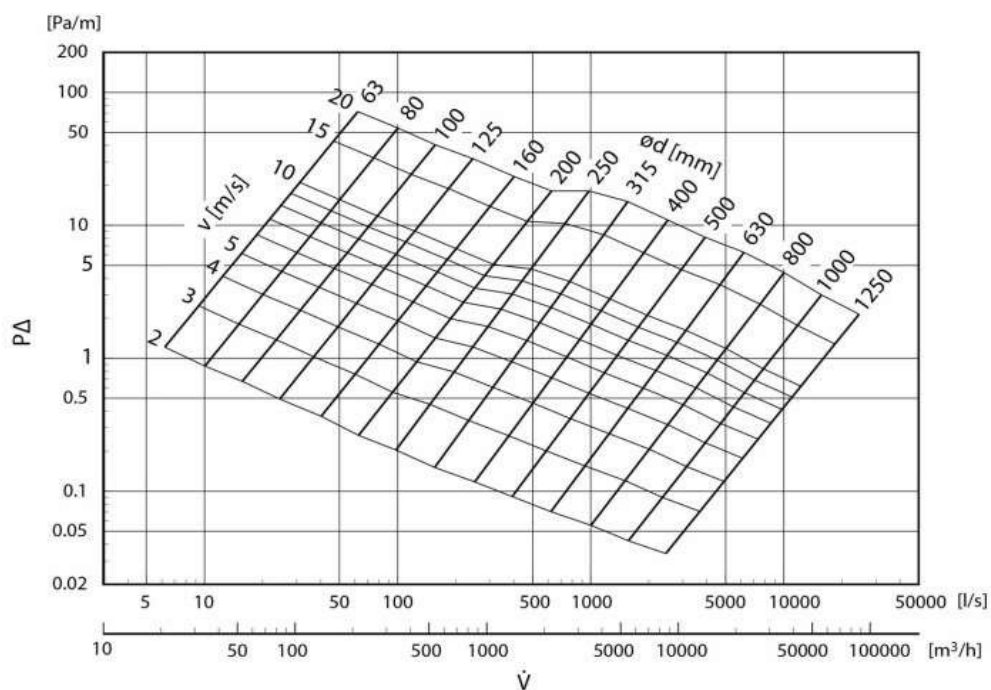
Hastighet [m/s]:	Hastighet [m/h]:	Luftmengde [m <sup>3</sup> /h]:	Luftåpningsandel rist[%]:	Lenge [m]:	Bredde [m]:
0,15	540	9528,00	40 %	25	0,88
0,20	720	9528,00	40 %	25	0,66
0,25	900	9528,00	40 %	25	0,53
0,30	1080	9528,00	40 %	25	0,44
0,35	1260	9528,00	40 %	25	0,38
0,40	1440	9528,00	40 %	25	0,33
0,45	1620	9528,00	40 %	25	0,29
0,50	1800	9528,00	40 %	25	0,26
0,55	1980	9528,00	40 %	25	0,24



0,60	2160	9528,00	40 %	25	0,22
0,65	2340	9528,00	40 %	25	0,20
0,70	2520	9528,00	40 %	25	0,19
0,75	2700	9528,00	40 %	25	0,18
0,80	2880	9528,00	40 %	25	0,17
0,85	3060	9528,00	40 %	25	0,16
0,90	3240	9528,00	40 %	25	0,15
0,95	3420	9528,00	40 %	25	0,14
1,00	3600	9528,00	40 %	25	0,13

Luftmengde delt på antall avtrekk	952,80
--------------------------------------	--------

## Resultat: Velg hastighet eller kanaldiameter basert på luftmengde



$$\frac{\pi(d[\text{mm}])^2}{4} \times \frac{1 [\text{m}^2]}{10^6 [\text{mm}^2]} \times u \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \times 3600 \left[ \frac{\text{s}}{\text{h}} \right] = L_{\text{avtrekk}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

ød [mm]	Tverrsnittareal [mm <sup>2</sup> ]	Hastighet [m/s]	Luftmengde [m <sup>3</sup> /h]
63	3117,25	3	33,67
80	5026,55	3	54,29
100	7853,98	3	84,82
125	12271,85	3	132,54
160	20106,19	3	217,15
200	31415,93	3	339,29
250	49087,39	3	530,14
315	77931,13	3	841,66
400	125663,71	3	1357,17
500	196349,54	3	2120,58
630	311724,53	3	3366,62
800	502654,82	3	5428,67
1000	785398,16	3	8482,30
1250	1227184,63	3	13253,59

ød [mm]	Tverrsnittareal [mm <sup>2</sup> ]	Hastighet [m/s]	Luftmengde [m <sup>3</sup> /h]
63	3117,25	4	44,89
80	5026,55	4	72,38
100	7853,98	4	113,10
125	12271,85	4	176,71
160	20106,19	4	289,53
200	31415,93	4	452,39
250	49087,39	4	706,86
315	77931,13	4	1122,21
400	125663,71	4	1809,56
500	196349,54	4	2827,43
630	311724,53	4	4488,83
800	502654,82	4	7238,23
1000	785398,16	4	11309,73
1250	1227184,63	4	17671,46

ød [mm]	Tverrsnittareal [mm <sup>2</sup> ]	Hastighet [m/s]	Luftmengde [m <sup>3</sup> /h]
63	3117,25	5	56,11
80	5026,55	5	90,48
100	7853,98	5	141,37
125	12271,85	5	220,89
160	20106,19	5	361,91
200	31415,93	5	565,49
250	49087,39	5	883,57
315	77931,13	5	1402,76
400	125663,71	5	2261,95
500	196349,54	5	3534,29
630	311724,53	5	5611,04
800	502654,82	5	9047,79
1000	785398,16	5	14137,17
1250	1227184,63	5	22089,32

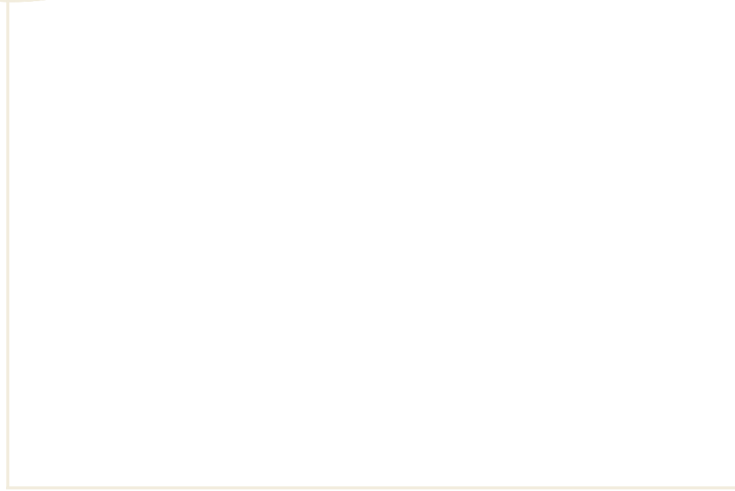
  

ød [mm]	Tverrsnittareal [mm <sup>2</sup> ]	Hastighet [m/s]	Luftmengde [m <sup>3</sup> /h]
63	3117,25	6	67,33
80	5026,55	6	108,57
100	7853,98	6	169,65
125	12271,85	6	265,07
160	20106,19	6	434,29
200	31415,93	6	678,58
250	49087,39	6	1060,29
315	77931,13	6	1683,31
400	125663,71	6	2714,34
500	196349,54	6	4241,15
630	311724,53	6	6733,25
800	502654,82	6	10857,34
1000	785398,16	6	16964,60
1250	1227184,63	6	26507,19

ød [mm]	Tverrsnittareal [mm <sup>2</sup> ]	Hastighet [m/s]	Luftmengde [m <sup>3</sup> /h]
63	3117,25	7	78,55
80	5026,55	7	126,67
100	7853,98	7	197,92
125	12271,85	7	309,25
160	20106,19	7	506,68
200	31415,93	7	791,68
250	49087,39	7	1237,00
315	77931,13	7	1963,86
400	125663,71	7	3166,73

500	196349,54	7	4948,01
630	311724,53	7	7855,46
800	502654,82	7	12666,90
1000	785398,16	7	19792,03
1250	1227184,63	7	30925,05
<hr/>			
ød [mm]	Tverrsnittareal [mm <sup>2</sup> ]	Hastighet [m/s]	Luftmengde [m <sup>3</sup> /h]
63	3117,25	8	89,78
80	5026,55	8	144,76
100	7853,98	8	226,19
125	12271,85	8	353,43
160	20106,19	8	579,06
200	31415,93	8	904,78
250	49087,39	8	1413,72
315	77931,13	8	2244,42
400	125663,71	8	3619,11
500	196349,54	8	5654,87
630	311724,53	8	8977,67
800	502654,82	8	14476,46
1000	785398,16	8	22619,47
1250	1227184,63	8	35342,92



123

123