

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

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

Webside: www.oslomet.no

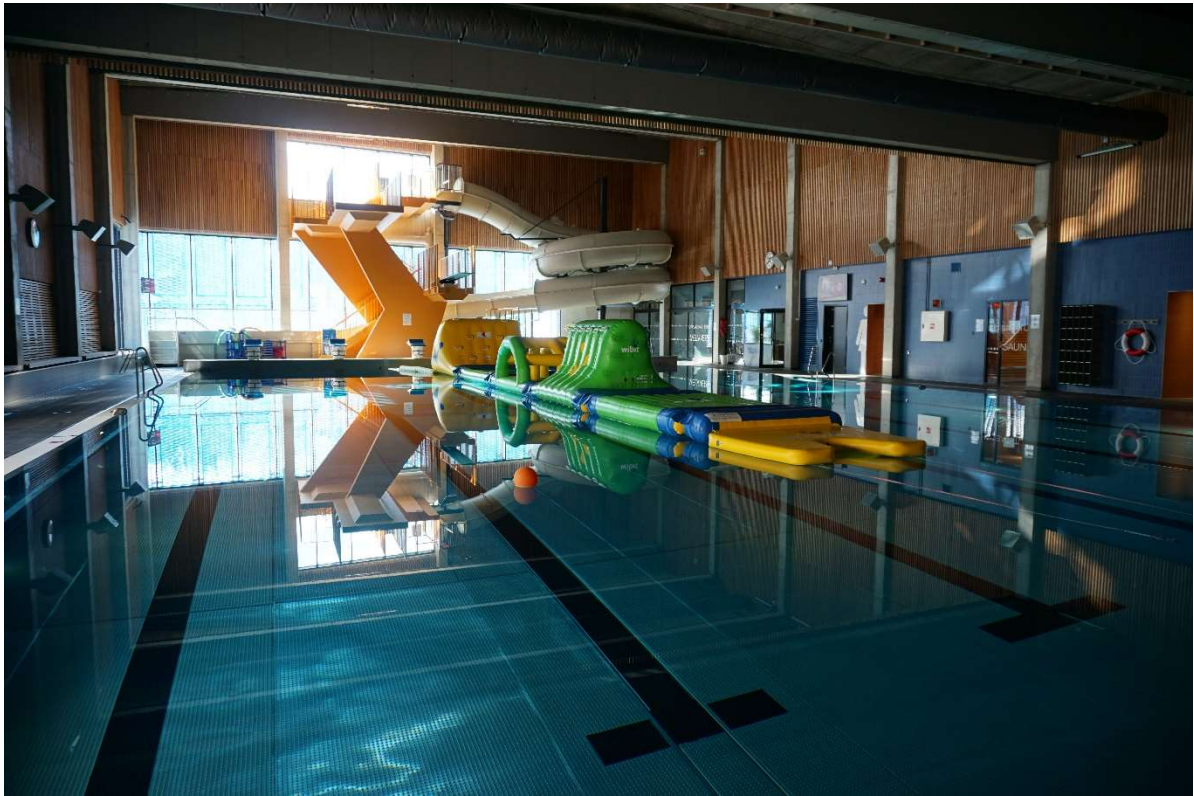
MASTEROPPGAVE

OPPGAVENS TITTEL: Analyse av fuktregnskap i svømmehaller	DATO: 25.05.23
	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 88s
FORFATTERE: Ole Bjarne Brueng	VEILEDER: Wolfgang Kampel
UTFØRT I SAMARBEID MED: Bjørn Aas v/SIAT NTNU	KONTAKTPERSON: Ole Bjarne Brueng

KORT SAMMENDRAG: <p>Innendørs svømmehaller er komplekse bygninger som er utsatte for store og spesielle fuktbelastninger. Dimensjoneringsgrunnlaget for luftbehandlingsanleggene i svømmehaller omfatter et fuktregnskap med fordampet vann fra bassengflate, attraksjoner og overløpsrenne.</p> <p>Rapporten har som hensikt å vise overløpsrennas bidrag i fuktregnskapet, og fremme en vurdering av behovet for ny praksis. Vurderingen er basert på å sammenligne fordampningen i teoretiske beregninger opp mot målte verdier fra feltforsøk.</p> <p>Rapporten beviser at overløpsrennas bidrag, sammenlignet med fordampningen fra bassengflata, er betydelig. Andel fordampning fra overløpsrenna er vesentlig, slik at dette bør implementeres i fordampningsberegningene for å kunne kalkulere total fordampningsmengde på korrekt måte.</p>
--

NØKKEWORD (en per linje): Fordampning Svømmehall Overløpsrenne

Analyse av fuktregnskap i svømmehaller



Figur 1 - Åfjord Svømmehall, Foto: Ole B. Brueng

Nøkkelinformasjon

Tittel:	Analyse av fuktregnskap i svømmehaller
English title:	Analysis of moisture accounting in swimming pools
Hovedveileder:	Wolfgang Kempel
Samarbeid/biveileder:	Bjørn Aas

Bakgrunn

Dimensjonering av ventilasjon i svømmehaller omfatter en beregning av fordampet vann fra bassengflaten. Det er behov for kontrollmåling av fordamping fra hhv. vannflate og overløpsrenne, der et vannfall danner aerosoler og dermed økt fordamping. Forslag til en ny forskrift om bad inkluderer også nye krav til ventilasjon.

Mål

Oppgaven skal beskrive overløpsrennens bidrag i fuktregnskapet og en vurdering av behov for ny praksis ved dimensjonering av ventilasjon i svømmehaller

Forord

Masteroppgaven er et avsluttende arbeid i mitt fireårige deltidsløp innenfor Energi og miljø ved OsloMet – Oslo Metropolitan university. Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng, og arbeidet har pågått fra januar til mai 2023. Oppgaven og problemstillingen er utformet av NTNU/SIAT v/Bjørn Aas.

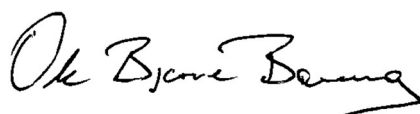
Oppgaven ble valgt med ønske om en bedre forståelse og kunnskap knyttet til fordunsting og avfuktningprosessen i svømmehaller. Har tidligere vært med i oppføringen av svømmeanlegg både som blikkenslager- og ventilasjonsmontør, og i senere tid som prosjektleder innen ventilasjon. Ønske med oppgaven var å kunne dra nytte av den praktiske tilnærmingen inn mot selve forskningsoppgaven.

Gjennom arbeidet med masteroppgaven har jeg fått god bistand og oppfølging. Først og fremst en stor takk til mine veiledere, Wolfgang Kappel og Bjørn Aas, for engasjementet og kyndig veiledning helt fra oppstart av forsøksperioden og frem til innlevering av rapporten . En takk til Åfjord Kommune med bademester Christiane Berdahl og driftsleder Oddgeir Finserås for å ha gitt oss tilgang til basseng og tekniske arealer, samt nødvendig driftsinformasjon.

Jeg vil rette en takke til Hamstad AS for tilrettelegging med fleksibel arbeidstid og økonomisk støtte gjennom mine fire år som deltidsstudent, samt for å ha bistått med materialer og testutstyr inn mot selve masteroppgaven. Til slutt vil jeg rette en stor takk til samboer og nærmeste familie som har lagt til rette for at jeg har hatt muligheten til å kombinere masterstudier og full jobb. Tusen Takk!

Oslo Metropolitan university

Verdal, 25.05.23



Ole Bjarne Brueng

Sammendrag

Innendørs svømmehaller er komplekse bygninger som er utsatte for store og spesielle fuktbelastninger. De høye fuktighetsnivåene som oppstår som et resultat av svømming og fordampning, og fører til utfordringer knyttet til kondensering, korrosjon, mugg- og soppvekst, samt dårlig luftkvalitet. For å beskytte bygningsmaterialer og bygningskropp mot sopp og råteskader er det viktig med et fungerende luftbehandlingsanlegg som bidrar til tilstrekkelig oppvarming, ventilering og avfuktning.

Dimensjoneringsgrunnlaget av luftbehandlingsanleggene i svømmehaller, omfatter et fuktregnskap med fordampet vann fra bassengflatene og overløpsrenna. Studier som har ført til dagens beregningsmetoder, viser sammenheng mellom bassengflater, aktivitetsnivå og temperaturer, og påvirkningen dette har for fordunstingsmengden. For overløpsrenna og randsonen er det gjennomført få studier. Flere av beregningsmetodene som benyttes i dag baserer seg på faktorer og erfaringstall for rennas andelen av fordampningsmengden.

Rapporten har som hensikt å vise overløpsrennas bidrag i fuktregnskapet og fremme en vurdering av behovet for ny praksis ved å sammenligne fordampningen basert på teoretiske beregninger og målte verdier fra feltforsøk ved opplæringsbassenget i Åfjord Svømmehall.

Rapporten beviser at overløpsrennas bidrag, sammenlignet med fordampningen fra bassengflaten, er betydelig. De teoretiske beregningene av bassengflatene ved opplæringsbassenget viser at snittet av beregningsmetodene er omtrent halvparten av total avfuktet mengde avlest via menerga-aggregatet under samme scenario. Andel fordampningsmengde fra overløpsrenna er derfor så stor at overløpsrenna bør ha en sentral rolle i fordampningsberegningene og ikke bare et prosentpåslag. Litteraturen og beregningsmetodene som benyttes tar i stor grad hensyn til aktivitetsfaktorer og fordampning som skyldes attraksjoner. Det bør sees videre på et element til i beregningene som tar hensyn til renna og rennas geometri for å kunne kalkulere total fordampningsmengde.

English Summary

Indoor swimming pools are complex buildings that are exposed to high and special humidity loads. The high humidity levels that occur because of swimming and evaporation are challenging due to condensation, corrosion, mold, and fungus growth, as well as poor air quality. To protect building materials and the building body against fungus and rot damage, it is important to have a functioning air treatment system that contributes to sufficient heating, ventilation, and dehumidification.

The basis for dimensioning the air treatment systems in swimming pools includes parameters for moisture accounting the evaporated water from the pool surfaces and the gutter. Studies that have led to today's calculation methods show a connection between pool surfaces, activity level and temperatures, and the effect these have on the total amount of evaporation. Few studies have been conducted on the gutter and the marginal zone. Many of the calculation methods for the gutter's matter of the evaporation are only based on numbers from experiences.

The purpose of the report is to show how large the contribution of the gutter is on the moisture accounting and evaluate the need of new calculation methods by comparing the evaporation based on theoretical calculations and measured values from field work from the training pool at Åfjord Svømmehall.

The report proves that the gutter's contribution to the total amount of evaporation, compared to the evaporation from the pool surface, is significant. Theoretical calculations of the pool surfaces in the training pool show that the average of the calculation methods is approximately 50 % of total dehumidified amount retrieved from the Menerga aggregate during same scenario. Thus, the proportion of evaporation from the gutter is considerable, and therefore the gutter's contribution should be considered more accurate than only by a percentage markup in the evaporation calculations. Available literature and used calculation methods carefully considers activity factors and evaporation due to attractions. Further consideration to the gutter and its geometry should be taken into account in order to calculate the total amount of evaporation.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
English Summary.....	iv
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Hypotese	1
1.3 Rapportens oppbygning.....	2
1.4 Oppgavebegrensninger.....	2
2 Teori	3
2.1 Litteratursøk	3
2.2 Kvantitativ og kvalitativ metode.....	3
2.3 Krav til inneklime.....	4
2.4 Luft og luftkvalitet.....	5
2.5 Termisk komfort og inneklime.....	5
2.5.1 Inneklime.....	5
2.5.2 Operativ temperatur	7
2.5.3 Metabolisme – Aktivitetsnivå.....	7
2.5.4 Clo – Bekledning	8
2.6 Fuktighet.....	8
2.6.1 Relativ fuktighet.....	8
2.6.2 Absolutt fuktighet	9
2.6.3 Fuktinnhold	9
2.6.4 HX-diagram / Mollierdigram.....	10
2.6.5 Dry and wet bulb temperature / Tørr- og våt kule	11
2.7 Fordampning.....	12
2.8 Utvalgte beregningsmetoder	12
2.8.1 ASHRAE	12
2.8.2 VDI 2089	13
2.8.3 Shah 2012.....	13
2.8.4 Stensaas 1998.....	13
2.8.5 Hanssen og Mathisen 1990	14
2.9 Luftbehandling.....	14
2.9.1 Luftbehandlingsaggregat	14
2.9.2 Ventileringssprinsipp	16
2.10 Avfuktningsprinsipper.....	18
2.10.1 Mekanisk avfukting – Varmepumpe (a).....	18
2.10.2 Mekanisk avfukting – Varmepumpe med kryssvarmeveksler (b).....	19
3 Åfjord Svømmehall.....	20
3.1 Lokasjon.....	22
3.2 Svømmeanlegg	23
3.3 Teknisk anlegg - Åfjorden.....	24
4 Metode.....	25

4.1	Valgt metode	25
4.2	Feltarbeid	25
4.2.1	Logging av inneklimate	26
4.2.2	Måling av fordampning fra overløpsrenna	27
4.2.3	Håndholdt måling	27
4.3	Driftsdata ventilasjonsanlegg	28
4.4	Sentrale inndata	29
4.4.1	Damptrykket i rommet og damptrykket ved vannspeilet, p_w og p_a [kPa]:	29
4.4.2	Spesifikk luftfuktighet W_r og W_w [kg fuktighet/kg luft]	29
4.4.3	Tettheten i rommet og ved vannspeilet, ρ_r og ρ_w [kg/m ³]:	30
4.4.4	Lufthastighet over testrigg:	30
4.5	Beregningsmetoder fordampning	31
4.5.1	Beregning av nødvendig avfukningskapasitet - ASHRAE	31
4.5.2	Beregning av nødvendig avfukningskapasitet - VDI 2089	32
4.5.3	Beregning av nødvendig avfukningskapasitet - Shah 2012	33
4.5.4	Beregning av fordunsting - Stensaas(1998)	34
4.5.5	Beregning av nødvendig avfukningskapasitet - Hanssen og Mathisen 1990	35
5	Resultater	36
5.1	Resultater - inndata	36
5.2	Resultater - Teoretiske beregninger av fordampningsmengde	37
5.2.1	ASHRAE	37
5.2.2	VDI 2089	37
5.2.3	Shah 2002	38
5.2.4	Hanssen og Mathisen 1990	38
5.2.5	Stensaas 1998 - Ventilasjonsteknikk 1	38
5.2.6	Oppsummering resultat	39
5.3	Resultater feltarbeid Åfjorden	40
5.3.1	Resultater feltforsøk 1	40
5.3.2	Resultater forsøk 2	43
5.3.3	Oppsummering feltforsøk	49
6	Diskusjon	50
7	Konklusjon	52
7.1	Fremtidig arbeid	52
8	Referanser	53
	Appendix	54
	A. Beregning sentrale data - Åfjord Svømmehall	54
	A. Beregningsmetoder fordampning	57
	B. Målemetoder og utstyr	69
	Vedlegg A	72
	Vedlegg B	73
	Vedlegg C	74

Figurliste

Figur 1 - Åfjord Svømmehall, Foto: Ole B. Brueng	iii
Figur 2 - HX-diagram, (Ingebrigtsen, Ventilasjonsteknikk Del 1, 2019)	10
Figur 3 - Dry and wet bulb (Szafran, 2022)	11
Figur 4 - Luftbehandlingsaggregat, Driftstilstand 1. (Byggforsk, 552.315, 2003)	15
Figur 5 - Luftbehandlingsaggregat, Driftstilstand 2. (Byggforsk, 552.315, 2003)	15
Figur 6 - Luftbehandlingsaggregat, Driftstilstander 3. (Byggforsk, 552.315, 2003)	15
Figur 7 - Strømningsmønster ved omrøringsventilasjon (Stensaas 1998)	16
Figur 8 - Strømningsmønster ved fortregningsventilasjon (Stensaas, 1998)	17
Figur 9 - Omvendt fortregningsventilasjon (Skåret, 2000)	18
Figur 10 - Avfuktning med varmepumpe og kryssveksler (Byggforsk, 552.315, 2003)	19
Figur 11 - Avfukting med varmepumpe (Byggforsk, 552.315, 2003)	19
Figur 12 - Åfjord Aktivitetshus (Foto: Åfjord Kommune)	21
Figur 13 - Åfjord Svømmehall (Foto: Ole B. Brueng)	21
Figur 14 - Åfjord aktivitetshus, (Norgeskart 2023)	22
Figur 15 - Årsmiddeltemperatur Åfjord, (Byggforsk 451.021 - 2018)	23
Figur 16 - Opplæringsbasseng (Foto: Ole B Brueng)	23
Figur 17 - Prinsippskisse tilsvarende Åfjord svømmehall (Ole Øiene Smedegård, 2022)	24
Figur 18 - Sensorer fra Wisensys	26
Figur 19 - Plassering av sensorene	26
Figur 20 - Utsnitt opplæringsbasseng, plantegning A21-002	28
Figur 21 - Utsnitt solibrimodell, «Åfjord aktivitetshus»	28
Figur 22 - Grensesjikt mellom basseng og luft	36
Figur 23 - Målerigg for avdampning av renne med innsnevret trakt	40
Figur 25 - Forsøk 1, Mettet luft over målområdet	42
Figur 24 - Avrenning renne	42
Figur 26 - Testrigg forsøk 1	42
Figur 27 - Målerigg for avdampning av renne med rett-trakt	43
Figur 29 - Avlesning avfukting Menerga, scenario 3. Foto: Ole B. Brueng	46
Figur 28 - Avlesning avfukting Menerga, scenario 2. Foto: Ole B. Brueng	46
Figur 30 - Trotec-håndholdt måler.	48
Figur 31 - Rigg av sensorer for logging. Foto: Ole B. Brueng	48
Figur 32 - Trotec-håndholdt måler.	48
Figur 33 - Overløpsrenne Åfjord (Foto: Ole B. Brueng)	51
Figur 34 - Wisensys WS-DLTa-p1000	69
Figur 35 - Wisensys WS-DLtc	69
Figur 36 - Resultater fra BC21WP	70
Figur 37 - Trotec BC21WP	70
Figur 38 - Måling av Wetbulp, termometer med fuktig bomull	71
Figur 39 - KIMO AIM 300	71

Tabeller

Tabell 1 - Krav til vanntemperatur fra Norsk Svømmeforbund (Byggforsk 2003a).....	6
Tabell 2 - Aktivitetsnivå og varmeproduksjon (Byggforsk, Byggforsk - 421.501, 421.501).....	7
Tabell 3 - Aktivitetsfaktor fra ASHRAEs handbok.....	31
Tabell 4 - Verdier for vannoverføringskoeffisient (VDI 2089 – Tabell 5).....	33
Tabell 5 - Resultater fra beregning av fordampning - ASHRAE.....	37
Tabell 6 - Resultater fra beregning av fordampning - VDI 2089.....	37
Tabell 7 - Resultater fra beregning av fordampning - Shah 2002.....	38
Tabell 8 - Resultater fra beregning av fordampning - Hanssen og Mathisen.....	38
Tabell 9 - Resultater fra beregning av fordampning - Stensaas 1998.....	38
Tabell 10 - Oppsummering teoretiske beregninger - Fordampningsmengde [kg/h].....	39
Tabell 11 - Forsøk 1, resultater ved stille basseng, og ventilasjon på – dybde 0,9m.....	41
Tabell 12 - Forsøk 1, scenario 1. Avlesning Menerga-aggregat.....	41
Tabell 13 - Forsøk 1, resultater ved stille basseng, og ventilasjon på – dybde 1,2m.....	41
Tabell 14 - Forsøk 1, scenario 2. Avlesning Menerga-aggregat.....	42
Tabell 15 - Forsøk 2, resultater ved stille basseng og ventilasjon av – dybde 1,2 m.....	44
Tabell 16 - Forsøk 2, avlesning menerga etter oppstart - stille basseng, og ventilasjon av.....	44
Tabell 17 - Forsøk 2, resultater ved stille basseng, og ventilasjon på – dybde 1,2 m.....	45
Tabell 18 - Forsøk 2, scenario 2. Avlesning Menerga-aggregat.....	45
Tabell 19 - Forsøk 2, resultater ved aktivitet i basseng og ventilasjon på – dybde 1,2 m.....	46
Tabell 20 - Forsøk 2, scenario 3. Avlesning Menerga-aggregat.....	46
Tabell 21 - Temp-Log fra inneklimasensorer under forsøk 2.....	47
Tabell 22 - RH-Log fra inneklimasensorer under forsøk 2.....	47
Tabell 23 - Oppsummering målinger fra feltforsøk.....	49
Tabell 24 - Oppsummering beregninger fra feltforsøk.....	49
Tabell 25 - Sammenligning målte resultater og teori.....	51

Forkortelser

RH	Relativ fuktighet, et forhold mellom vanndampmengde i luft og den maksimale vanndampmengden som luften kan inneholde.
AH	Absolutt fuktighet, et mål for hvor mye vanndamp det er innenfor et gitt volum
MET	Metabolisme
CLO	CLO – Enhet som benyttes for å definere isolasjonsevnen til klær og tekstiler.
TEK17	Byggeteknisk forskrift 2017
Ppm	«Parts per million» - Enhet for konsentrasjon av substans løsning, gass eller annet medium.
CO₂	Karbondioksid

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Innendørs svømmehaller er komplekse bygninger som er utsatte for store og spesielle fuktbelastninger. De høye fuktighetsnivåene oppstår som et resultat av svømming og fordampning, og fører til utfordringer knyttet til kondensering, korrosjon, mugg- og soppvekst, samt dårlig luftkvalitet. For å beskytte bygningsmaterialer og bygningskropp mot sopp og råteskader er det viktig med et fungerende luftbehandlingsanlegg som bidrar til tilstrekkelig oppvarming, ventilering og avfuktning.

I Norge er det stort fokus på vannarealindeks som representerer antall m² vannflate pr. innbygger. Dette for å ivareta svømmeopplæringen, egenorganisert idrett og organisert idrett. I dag finnes det over 1000 forskjellige svømmeanlegg i Norge (Norges Svømmeforbund, 2022). Disse anleggene stammer fra ulike tiår, og er oppført og dimensjonert etter eldre byggeforskrifter.

Dimensjoneringsgrunnlaget av luftbehandlingsanleggene i svømmehaller, omfatter et fuktregnskap med fordampet vann fra bassengflatene og overløpsrenna. Studier som har ført til dagens beregningsmetoder viser sammenheng mellom bassengflater, aktivitetsnivå og temperaturer, og påvirkningen dette har for fordunstingsmengden. For overløpsrenna og randsonen er det gjort få studier. Flere av beregningsmetodene som benyttes i dag, baserer seg på faktorer og erfaringstall for rennas andel.

Opgaven har som hensikt og måle andel fordampning fra overløpsrenna. Fordunstingslitteratur sammenlignes med feltforsøk for å vurdere eventuell ny praksis for dimensjonering av ventilasjon i svømmehaller.

1.2 Hypotese

Dagens beregningsmetoder tar ikke hensyn til overløpsrennas bidrag i fuktregnskapet i tilstrekkelig grad. Målet med oppgaven er å kunne vise overløpsrennas bidrag og samle dette til vurdering for en eventuell ny praksis for dimensjonering av fordampningsmengden i svømmehaller.

Opgaven bygger på spørsmålene:

- Hvor stor fordampning er det over overløpsrenna?
- Tar dagens beregningsmetoder hensyn til overløpsrennas fordunstingsmengde?

1.3 Rapportens oppbygning

Masteroppgaven er bygd opp som en tradisjonell forskningsrapport med forside, sammendrag, forord, innholdsfortegnelse, hovedtekst, sluttnoter, kilde- og litteraturliste og vedlegg.

Første kapittel presenterer oppgaven gjennom introduksjon, bakgrunn, hypotese og forskningsstudier. I kapittel 2 går rapporten dypere inn på bakgrunnsteori med hovedfokus mot inneklime, metoder og fuktinnhold. Tradisjonelle løsninger og prinsipper som benyttes i dagens svømmehaller. Kapittel 3 orienterer om Åfjord svømmehall. Kapittel 4 beskriver metodikk og tenkt fremgangsmåte for den litterære delen av oppgaven og feltforsøket i Åfjord. Kapittel 5 presenterer resultatene fra de teoretiske beregningene og feltforsøkene. Kapittel 6 inneholder diskusjon rundt utførelsen, resultatene og drøfting av usikkerheter og eventuelle påvirkninger. Konklusjon utover valgt hypotese og forslag til videre arbeid innenfor emnet fremkommer i kapittel 7.

1.4 Oppgavebegrensninger

Forsøkene og beregningene i rapporten er begrenset til opplæringsbassenget i Åfjorden. Opplæringsbassenget har et eget luftbehandlingssystem og ligger innenfor en isolert sone med avgrenset glassvegg til sideliggende treningsbasseng. Ved å begrense oppgaven på denne måten har vi kunne sammenligne ulike scenario og hvordan det påvirker inneklimeet innenfor den satte rammen.

Selve fordampningsstudiet begrenses til bassenget og overløpsrenna. Randsoner omkring bassenget som fliser og entre fra dusjområdet er ikke innenfor målingsstudiet. Bidraget i fuktregnskapet fra disse arealene er å anses som relativt små.

Feltforsøkene ble utført på dagtid for å måle under ulike scenario; tomt basseng, og basseng i bruk. I tillegg er det gjennomført målinger under ulike driftsforhold på luftbehandlingsanlegget. Bassenget hadde noe lave besøkstall under forsøkene, slik at forsøkene med basseng i bruk ble utført med kun 10 aktive ungdommer i bassenget

2 Teori

2.1 Litteratursøk

I startfasen av masteroppgaven ble det innhentet flere vitenskapelige artikler om fordampningsteori i svømmehaller. Litteratursøkene ble utført i databasene som er tilgjengelig via OsloMet, og søkefrasen som ble mest brukt var «Evaporation swimming pools».

Mange av artiklene omhandlet fordampning og svømmehaller i forbindelse med studier knyttet til inneklimate, men artikler som omhandlet fordampningsteori var noe mangelfullt. Science direct og Scopus hadde flest relevante artikler, men en stor andel artikler fra 80 og 90 tallet.

Fikk tilgang til norske artikler som omhandlet emnet av Bjørn Aas v/NTNU og SIAT. Forskningsbaserte Artikler og mastergrader som i hovedsak er rettet mot praksis og norske svømmehaller i løpet av de siste 10-15 årene.

Det fant også en del relevante artikler på Godeidrettsanlegg.no, en nettløsning etablert i samarbeid mellom kultur- og likestillingsdepartementet, Norges idrettsforbund og olympiske og paralympiske komité og NTNU senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT).

2.2 Kvantitativ og kvalitativ metode

Kvalitativ og kvantitativ metode er kjente forskningsmetoder som benyttes for å analysere problemstillinger. Kvantitativ metode er basert på innhenting og analyse av kvantitativ data. Dette er data med målbare enheter som kan vurderes ut ifra prosentandeler eller gjennomsnitt. Kvantitativ metode kan også baseres på statistisk analyse av større datasett.

Kvalitativ metode vurderer betydningen og konteksten bak dataene. Dette kan være analyse av spørreundersøkelser, intervjuer og observasjoner. Metoden brukes til å utvikle nye hypoteser og teorier basert på resultatet som er analysert.

I de fleste forskningsprosjektene benyttes en kombinasjon av kvalitativ og kvantitativ metode. Da hentes inn, kvantitativ data, som til slutt settes opp mot tolkning. Forskjellen på metodene vil da i hovedsak være hvordan dataene er samlet inn på.

2.3 Krav til inneklima

Under oppføringen av nye bygg i Norge skal byggeteknisk forskrift – TEK17 ligge til grunne. Forskriften beskriver minstekrav av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres innenfor lovlige rammer. Innenfor kravene som omhandler inneklima og helse skiller forskriften kun på boligbygninger og byggverk for publikum. Det er dermed ingen spesifikke krav knyttet til svømmehall utover de generelle kravene. Kravene knyttet til inneklima i svømmehaller ligger derfor på minimumskravene til ventilering i byggverk for publikum; ventilering for personer, materialer og prosesser.

Minimumskrav TEK17:

- 2,5 m³/ h pr. m² gulvareal når bruksenheten eller rommene er i bruk
- 0,7 m³/ h pr. m² gulvareal når bruksenheten eller rommene ikke er i bruk.
- 26 m³/ h pr. person, på grunn av forurensning fra personer med lett aktivitet.

Utover minimumskravene skal forurensede aktiviteter og prosesser ha tilstrekkelig avtrekk slik at man opprettholder tilfredsstillende luftkvalitet. Siden svømmehaller har et helt annet klima en vanlige boliger og yrkesbygg som i hovedsak dekkes av TEK17, finnes det litteratur som er utarbeidet for å ivareta dimensjonering og drift av svømmeanlegg. Norsk byggforskningsinstitutt ga i 2004 ut en bok med anbefalte krav til svømmehaller (Bøhlerengen, 2004)

- 4-7 luftskifter pr. time
- 1,4 l/s per m² (vannoverflate og gulv)
- 2,8 l/s per m² (vannoverflate)

NS-EN 15251, som er en norsk- og europeisk standard, beskriver prinsippene og kravene for inneklimate i bygninger. Standarden omfatter inneklima fra flere vinkler, som temperatur, luftkvalitet, belysning, akustikk og fuktighet. Standarden gir en veiledning om hvordan man kan planlegge, designe og drifte bygninger for å sikre et godt innemiljø for menneskets helse og komfort.

2.4 Luft og luftkvalitet

Fordampningsteori viser ofte til tørr- og mettet luft når det refereres til ulike tilstander luften opptrer i. Lufta inneholder ulike gasser, der den største andel er nitrogen, oksygen og argon. Gasser som karbondioksid, helium, neon og hydrogen utgjør resten.

Tørr luft vil si at luften har lav relativ fuktighet, dvs. at mengden vanndamp er lav i forhold til mengden vanndamp som kan eksistere ved samme temperatur. Mettet luft er luft som inneholder så mye vanndamp som den kan holde ved en bestemt temperatur og trykk. Når luften er helt mettet, dvs. ikke klarer å binde mere fuktighet, får vi vannutfelling. Dette skjer ved av overskuddet av vanndamp kondenserer og danner vann.

Ved klimaberegninger benyttes ofte den ideelle gassloven. Denne er satt sammen på en antagelse om at gassmolekylene er små partikler som beveger seg fritt og kolliderer med hverandre og skallet de er omgrenset av. I en ideell gass anses disse kollisjonene å være elastiske og uten interaksjon mellom partiklene, bortsett fra ved kollisjonen.

$$PV = nRT \quad (1)$$

P = trykket til gassen [Pa]

V = volumet av gassen [m³]

n = antall mol av gassen

R = gasskonstanten [8,314 J/mol · K]

T = temperaturen til gassen [K]

2.5 Termisk komfort og inneklima

2.5.1 Inneklima

Et godt inneklima avhenger av en kombinasjon av faktorer og kan variere ut i fra ulike aktiviteter, brukere og klimatiske forhold. Et godt inneklima er avgjørende for vår helse, komfort og trivsel når vi oppholder oss innendørs.

Inneklima er et mangesidig begrep av flere hovedelementer:

- Termisk miljø
- Atmosfærisk miljø
- Mekanisk miljø
- Akustisk miljø
- Aktinisk miljø
- Estetisk miljø
- Psykososialt miljø

I svømmehaller er det i hovedsak termisk-, atmosfærisk og akustisk miljø som påvirker badegjestene. Det termiske miljøet i en svømmehall bestemmes av lufttemperaturen, temperaturgradient, lufthastigheter og luftfuktighet. Bruken av svømmehaller varierer stort fra organisert idrett til velvære. Dette fører til en interessekonflikt når det kommer til opplevelsen av inneklimaet. Byggforsk har anbefalte vanntemperaturer for ulike bassengkategorier for å oppnå tilfredshet, se Tabell 1.

Atmosfærisk miljø er et viktig hovedelement, og bestemmes av luftas innhold av gasser, lukter og kjemiske stoffer og partikler. (Ingebrigtsen, Ventilasjonsteknikk Del 1, 2019). Bassengvannet avgir mengder med damp som inneholder klor og andre kjemikalier. Langvarig eksponering kan være skadelig for lungene. En svensk studie fra 2010 viser at så mye som 37 % av elitesvømmere har utviklet astma over tid, noe som kommer av langvarig eksponering av trikloramin. (K. Romberg m.fl., 2010).

Tabell 1 - Krav til vanntemperatur fra Norsk Svømmeforbund (Byggforsk 2003a)

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

2.5.2 Operativ temperatur

Operativ temperatur er et mer korrekt mål på den termiske komforten enn lufttemperaturene alene. Den operative temperaturen er en sammenveiling av opplevd temperatur fra lufttemperaturen, middelstrålingstemperaturen og luftbevegelsene i et rom.

Anbefalte temperaturkrav er gitt i NS-EN ISO 7730 og NS-EN 15521:2007. (FHI, 2012)

De anbefalte verdiene er:

- vinter 20-24 °C (eks. 22 °C +/- 2 °C)
- sommer: 23-26 °C (eks. 24,5 °C +/- 1,5 °C)

For korrekt måling av operativ temperatur benyttes globetermometer.

Termometeret sammenfatter luft- og omgivelsestemperaturen.

2.5.3 Metabolisme – Aktivitetsnivå

Metabolisme er energien som avgis av menneskekroppen ved oksidasjonsprosessen.

Energien er varmeavgivelse fra kroppsoverflaten, i tillegg til noe energi som går til å utføre mekanisk arbeid. Energiavgivelsen øker med intensiteten. Metabolisme er oppgitt i MET.

Tabell 2 - Aktivitetsnivå og varmeproduksjon (Byggforsk, Byggforsk - 421.501, 421.501)

Aktivitet	W/m ²	METs
Liggende hvile	46	0,8
Sittende, avslappet	58	1,0
Stillesittende aktiviteter (Kontor, Bolig, Skole)	70	1,2
Stående, lett aktivitet (butikk, lett industri)	93	1,6
Stående, middels aktivitet (industri)	116	2,0
Gående - 2 km/t	110	-
Gående - 3 km/t	140	-
Gående - 4 km/t	165	-
Løping	-	8,3
Svømming	-	9,8

1 MET = 58 W/m² ~ Tilsvarener energiomsetningen for en stillesittende person med høyde på 1,7 m, vekt på 70 kg og med en samlet kroppsflate på 1,8 m².

2.5.4 Clo – Bekledning

Bekledning er en viktig faktor i hvordan vi opplever det termiske innemiljøet. Det er i hovedsak bekledningens varmeledningsmotstand som har størst innvirkning. Dette oppgis enten i $\text{m}^2 \text{K/W}$ eller i clo, og er et forhold mellom termisk motstand mellom hudoverflaten og bekledningens utvendige overflate. 1 clo tilsvarer $0,15 \text{ m}^2 \text{K/W}$.

2.6 Fuktighet

For å ivareta et sunt og komfortabelt inneklime er det viktig å ha kontroll på andelen fuktighet i en svømmehall. For å oppnå kontroll på denne andelen er det nødvendig med aktiv avfukting av innelufta.

Fuktighet er et mål på mengden vannmolekyler som er tilstede i lufta. Lufta er dermed en blanding av tørr luft og vanndamp. Andelen av forholdet kommer frem ved en gitt temperatur og trykk.

Egenskapene ved fuktig luft er vanlig å oppgi pr. kg tørr luft. Dette er på grunn av at andelen tørr luft gjennom avfuktingsprosessen er konstant, mens andelen fuktig luft forandrer seg som funksjon av fuktinnhold (Thue, 2016).

Parametre knyttet til fuktig luft og måter å angi fuktighet fremkommer i delkapitlene nedenfor.

2.6.1 Relativ fuktighet

Et forhold mellom vanndampmengde i luft og den maksimale vanndampmengden som kan være tilstede ved en gitt temperatur. Forholdet er angitt som en prosentandel og varierer avhengig av temperaturnivået i luften. Relativ fuktighet er derfor kun en referanse i forhold til metningspunktet og viser ikke andelen vanndamp.

Når temperaturen øker, har luften en høyere kapasitet for vanndamp. Selv om det absolutte nivået av vanndamp i luften kan forbli det samme, vil den relative fuktigheten synke. På samme måte vil en reduksjon i temperaturen føre til en økning i relativ fuktighet, selv om det absolutte nivået av vanndamp forblir det samme.

Relativ fuktighet er viktig å vurdere når det gjelder komfort og helse, spesielt når det gjelder innendørs miljø. En relativ fuktighet mellom 30 % og 60 % er generelt ansett som det mest behagelige og helsemessig trygt for mennesker. For høy relativ fuktighet kan føre til muggvekst og allergiske reaksjoner, mens for lav relativ fuktighet kan føre til tørr hud, irritasjon av slimhinner og tørrhet i luftveiene.

$$RH(\varphi) = \left(\frac{p_v}{p_{sat}} \right) * 100\% \quad (2)$$

p_v = partialtrykket til vanndamp [Pa]

p_{sat} = mettnings trykket til vanndamp [Pa]

2.6.2 Absolutt fuktighet

Absolutt fuktighet er et mål på hvor mye vanndamp det er innenfor et gitt volum. Dette målet gir en absolutt verdi og gir en mer direkte måling av luftfuktighet enn relativ fuktighet.

Absolutt fuktighet er en viktig parameter for å oppnå kjøling, tørking og fuktkontroll i bygninger. Det benyttes til å beregne duggpunktet, som er temperaturen der luften er mettet og vanndamp begynner å kondensere til dugg eller frost. Dette er nyttig for å unngå kondensproblematikk i bygninger eller for å forhindre korrosjon i bygningskonstruksjonen.

$$f_v = \left(\frac{m_v}{V} \right) \quad (3)$$

f_v = fuktighet

m_v = masse av vanndamp [kg]

V = volum med fuktig luft [m³]

2.6.3 Fuktinnhold

Fuktinnhold refererer til mengden vann eller fuktighet som finnes i omgivelsene eller et materiale.

Fuktinnholdet er et dimensjonsløst tall, og er resultat av kg vanndamp dividert med kg tørr luft.

$$x = \left(\frac{m_v}{m_{da}} \right) \quad (4)$$

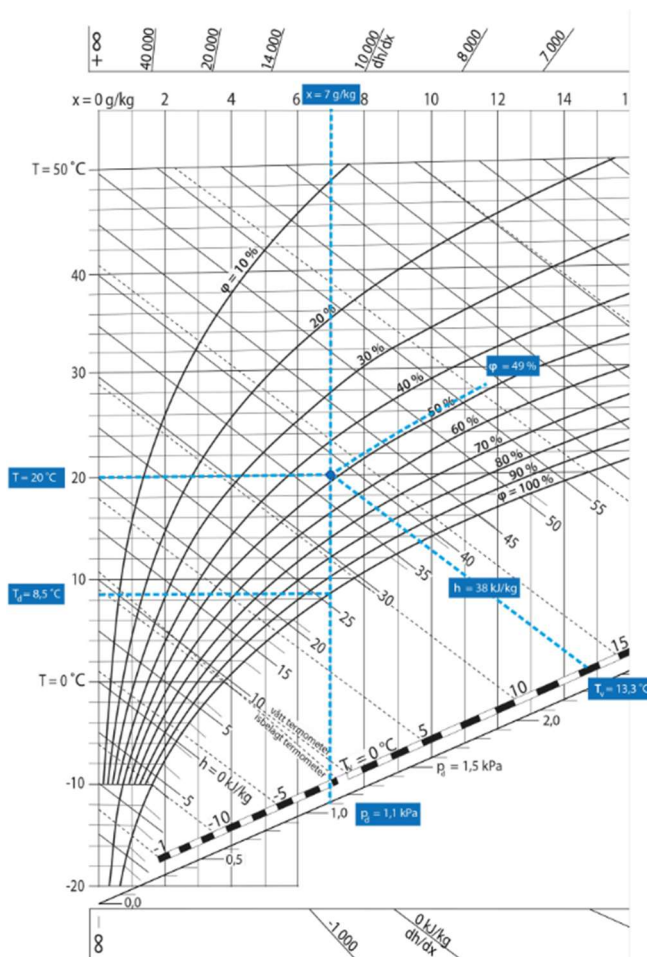
m_v = kg vanndamp [_v - Water vapour]

p_v = kg tørr luft [_{da} - dry air]

Fuktinnholdstallet angir antall kg vanndamp dividert med antall kg tørr luft. Det betegnes ofte med x , og er et dimensjonsløst tall (Yunus Cengel et. al., 2019)

2.6.4 HX-diagram / Mollierdiagram

HX-diagrammet, også kjent som entalpi- entrophy-diagrammet, benyttes til å beregne tilstanden luften er i. Diagrammet for fuktig luft viser forholdet mellom temperatur, entalpi, trykk og volum av damp.



Figur 2 - HX-diagram, (Ingebrigtsen, Ventilasjonsteknikk Del 1, 2019)

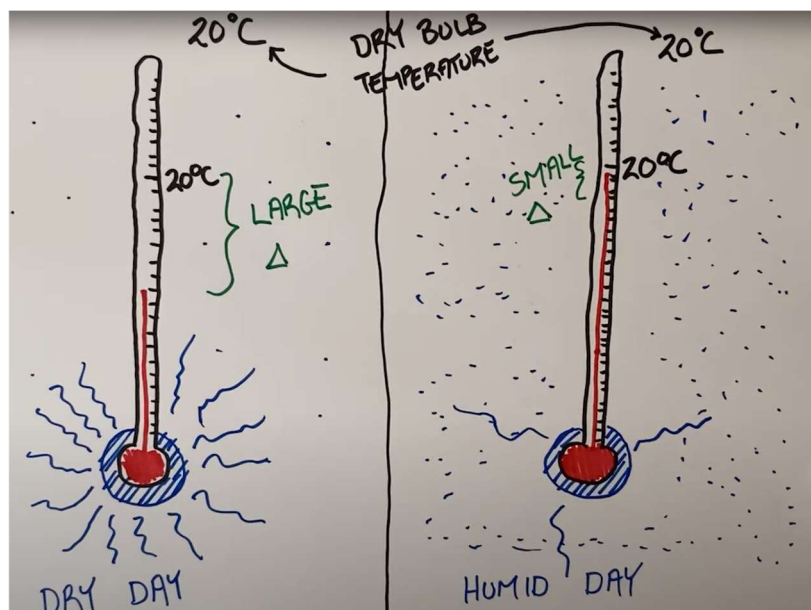
Relativ fuktighet	[ϕ]	Linjene befinner seg midt i diagrammet. Linjene starter fra origo, skrår opp og mot høyre.
Duggpunkt	[T_d]	Følge linje for konstant vannmengde ned til metningslinjen nås ($\phi = 1,0$). Duggpunktstemperatur leses av horisontalt på y-aksen.
Vanninnhold	[x]	Leses av på x-aksen på toppen av diagrammet.
Entalpi	[h]	Leses av under metningslinjen. Følger linjer som går på skrå ned mot høyre.
Tørr temperatur	[T]	Y-aksen av diagrammet. Denne temperaturen måles med et vanlig termometer. Endring av tørr temperatur gir endring i følbare varme.

Våt temperatur	[Tv]	Leses av på en egen skala under skala for entalpi. Våt temperaturen kan i praksis måles med et slyngepsykrometer.
Vanndampens partialtrykk	[pd]	Ut fra den tilstand man har, går man loddrett ned for å lese det av på en egen skala under linjen for entalpi.
Vanndampens metningstrykk	[pdm]	Man følger den temperaturen man har ut til metningslinjen ($\phi = 1,0$), deretter leser man av trykket på samme skala som vanndampens partialtrykk.
Entalpiendring	[dh/dx]	Skalaen ligger i enden av diagrammet.

2.6.5 Dry and wet bulb temperature / Tørr- og våt kule

Tørr og våt kule er en metode for å måle fuktighetsnivået i lufta. Man benytter to like termometere, ett med tørr termometerkule og ett med våt termometerkule. Begge termometrene holdes fritt i lufta og måler i samme omgivelse, og i samme luftstrøm.

Differansen mellom de målte temperaturene sier noe om fuktighetsnivået i lufta. Når vann kommer i kontakt med termometerkula, vil vannet fordampe og kjøle ned termometeret. Desto lavere luftfuktigheta i rommet er, desto raskere vil vannet fra kula fordampe. På denne måten vil temperaturen på det våte termometeret være lavere enn det tørre termometeret.



Figur 3 - Dry and wet bulb (Szafran, 2022)

2.7 Fordampning

Fordampning er en prosess der en væske endres fra flytende form og over til sin gassformig tilstand. Tilstandsendingen kommer av absorpsjon av varmeenergien i væskemolekylene, noe som får dem til å bevege seg raskere. Når de beveger seg raskere, vil de til slutt bryte seg løs fra væskeoverflaten.

Fordampningshastigheten er avhengig av flere faktorer; væskens temperatur og omgivelsestemperatur, lufttrykk, luftfuktighet og væskens overflateareal. I hovedsak, lavere luftfuktighet og høyere temperatur, desto raskere fordampningshastighet.

I svømmebasseng er det store mengder vann som fordamper fra vannoverflaten, de våte omkringliggende flatene og overløpsrenna. Denne fordampningsprosessen er svært energikrevende og har stor innvirkning på inn klimaet og bygningskroppens levetid. For å oppnå optimal drift slik at man sikrer fornuftig energiforbruk, godt inn klima og forhold som ikke skader bygningskroppen, er det viktig at luft- og bassengtemperatur holdes konstante hele døgnet.

2.8 Utvalgte beregningsmetoder

2.8.1 ASHRAE

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE er en organisasjon omtrent på lik linje med den norske VVS foreningen. Organisasjonene har som formål å fremme utførelse og teknologi innen varme, ventilasjon, klimaanlegg og kjøling. I tillegg fronter de bærekraftige bygg- og samfunnsmiljø.

ASHRAE har utviklet en standard og retningslinjer som omhandler dimensjonering og utførelse av ventilasjon og luftbehandling i svømmehaller. Standard 62.1 - «Ventilation for Acceptable indoor Air Quality» er en standard som gir føringer for minimumskrav til ventilasjon i svømmehaller. Minimumskravene tar hensyn til bassengstørrelsen, temperaturer, fuktighet og antall badegjester.

"ASHRAE Handbook - HVAC Applications" er en håndbok som gir detaljerte retningslinjer til utførelsen og installasjon av VVS-anlegget i svømmehaller. Håndboken tar for seg ventilasjon, luftbehandling, avfukting og varmeutveksling.

Standarden og håndboka har som hensikt og sikre et energioptimalt, sunt og behagelig inn klima, samtidig som bidrar til korrekt drift som minimerer risikoen for skader på bygningskroppen.

ASHRAEs ligning for beregning av fordampningshastighet fra bassengflaten kommer frem i kap. 4.5.1

2.8.2 VDI 2089

VDI 2089 er en tysk retningslinje utgitt av Verein Deutscher Ingenieure (VDI), som gir retningslinjer og anbefalinger for planlegging, utførelse og drift av innendørs svømmeanlegg. Retningslinjen tar sikte på å sikre et godt inneklima, hygieniske forhold og helse- og sikkerhetsstandard i slike anlegg.

Sentralt i anbefalingene ligger dimensjonering av ventilasjonssystemer, luftstrømhastigheter, luftfordeling og filtrering.

VDI 2089 – Blatt 1, en del av VDI 2089-serien, tar for seg aspekter ved termisk inneklima, temperaturforhold, luftkvalitet og luftstrømmer. Blatt 1 kommer med beregningsmetoder for å kalkulere fordampningsmengder fra basseng med og uten aktivitet, og med og uten attraksjoner.

VDIs beregningsmetodikk kommer frem under metodekapittelet kap. 4.5.2.

2.8.3 Shah 2012

Dr. Mirza Mohammad Shah er en anerkjent doktor og forsker fra USA. Han har som medlem av ASHRAE gitt ut mange publikasjoner som omhandler design, dimensjonering og utførelse av svømmehaller. Shah utviklet i 1981 formler for beregning av fordampningsmengde fra uforstyrrede vannoverflater (Mirza Mohammed Shah, 2014). Disse formlene har vært gjennom flere modifikasjoner, Shah 1990, 1992, 2002, 2008 og den endelige versjonen Shah 2012. Modifikasjonene er et resultat av dypere teori, fysiske fenomener og reelle test-data.

Shahs metode blir gjengitt med formler og fremgangsmåte i kap. 4.5.3.

2.8.4 Stensaas 1998

Leif I. Stensaas ga ut første utgave av læreboka Ventilasjonsteknikk i 1973. Siden ble den revidert i 1980 og 1986, før siste utgave kom i 1998. Ventilasjonsteknikk 1 har vært sentral som pensum for ingeniørstudenter innen VVS i Norge. Stensaas metode for fordampningsberegninger fremgår i kap. 4.5.4

2.8.5 Hanssen og Mathisen 1990

Sten Olaf Hanssen fra The Norwegian institute of technology og Hans Martin Mathisen fra SINTEF ga i 1990 artikkelen «Evaporation from swimming pools», utgivelsen baserte seg på en konvensjonell teori om masse og varmeoverføring tilpasset forholdene i innendørs svømmeanlegg. Modellen var basert på fullskalamålinger.

Modellen fremgår i kap. 4.5.5.

2.9 Luftbehandling

Et velfungerende luftbehandlingsanlegg i svømmehaller er viktig av flere årsaker. I svømmehaller er det nødvendig å opprettholde riktig fuktighetsnivå for å ivareta bygningskonstruksjonen. Høyt fuktighetsnivå fører til vannutfelling og kondens på vegger og tak, og dette fører over tid til mugg, sopp og råteproblematikk. God omrøring av ventilasjon, i tillegg til aktiv avfukting av avtrekksluften, bidrar til å holde fuktighetsnivået på ønsket nivå.

Luftbehandlingsanlegget er også nødvendig for å opprettholde god luftkvalitet i og rundt bassenget. Et anlegg med god regulering og effektiv omrøring sørger for at fuktigheten fjernes raskt og effektivt. Effektiv omrøring er også viktig for å sikre hyppig utskifting av luften. Bassengvannet avgir mengder med

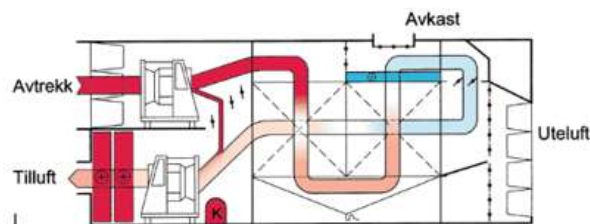
damp som inneholder klor og andre kjemikalier, der langvarig eksponering kan være skadelige for lungene.

I tillegg kan riktig ventilering bidra til å redusere energikostnadene. Klarer man å holde luftfuktigheten og luftkvaliteten optimal, bidrar dette til å redusere behovet for oppvarming og nedkjøling av svømmehallen.

2.9.1 Luftbehandlingsaggregat

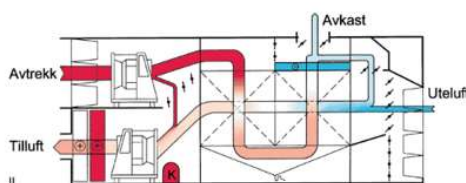
Avfuktning er en kostbar prosess. Metoden som ble benyttet før, ved å ventilere den fuktige luften ut av bygget og erstatte denne med samme mengde oppvarmet tørr luft, er erstattet med en mere energieffektiv drift. Figuren nedenfor viser tre ulike driftscenarier for et klimaaggregat som er bygget for svømmeanlegg. (Byggforsk, 552.315, 2003)

Driftstilstand 1. Omluftsdrift, natt, oppvarmingsbehov: Lufta avfuktes ved avkjøling i kjølesystemets fordampere. Forkjøling av lufta i varmeveksleren øker avfuktingen. Den avfuktede svømmehalls-lufta blir forvarmet i varmeveksleren og videre oppvarmet i kjølesystemets kondensator. For å sikre undertrykk i hallen, kan evt. noe luft sendes til avkast.



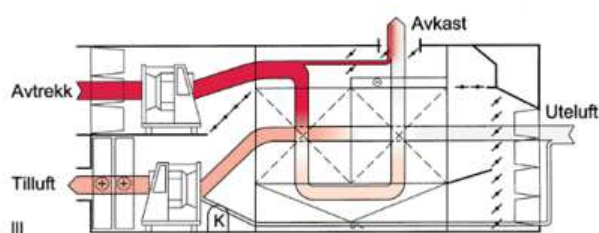
Figur 4 - Luftbehandlingsaggregat, Driftstilstand 1. (Byggforsk, 552.315, 2003)

Driftstilstand 2. Dagdrift, oppvarmingsbehov: Aggregatet tilføres noe friskluft. Undertrykket reguleres med mengden avkastluft.



Figur 5 - Luftbehandlingsaggregat, Driftstilstand 2. (Byggforsk, 552.315, 2003)

Driftstilstand 3. Avfukting ved høyere utelufttemperaturer: Ingen omluftsdrift, som regel uten kjøleteknisk avfukting og uten ettervarme. Avhengig av oppvarmingsbehovet, føres en variabel mengde friskluft forbi varmeveksleren



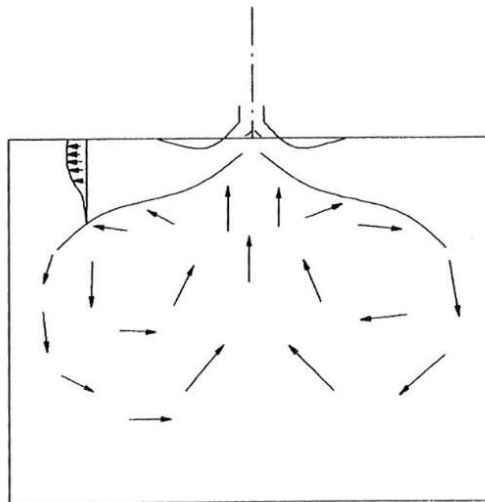
Figur 6 - Luftbehandlingsaggregat, Driftstilstander 3. (Byggforsk, 552.315, 2003)

2.9.2 Ventileringssystemer

2.9.2.1 Omrøringsventilasjon

Omrøringsventilasjon kjennetegnes ved at frisk luft tilføres over oppholdssonen med høy hastighet for å sikre omrøring. Denne varianten er mest vanlig og egner seg godt i skoler, barnehager og kontorbygg. Prinsippet omtales som fortynningsventilasjon og impulsventilasjon. Selve tilluftsventilen og avtrekksventilen plasseres over oppholdssonen. Dette bidrar til å sikre trekkproblematikk.

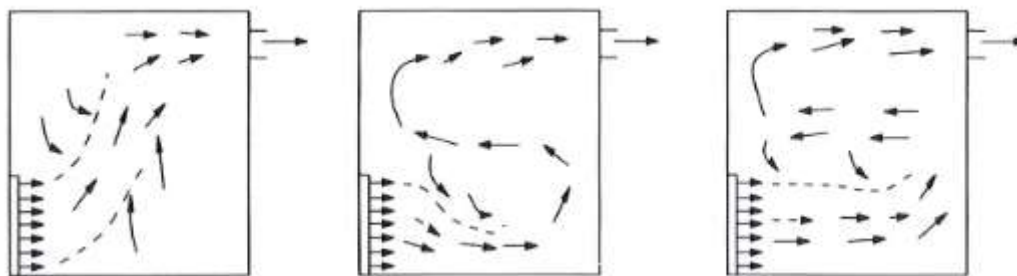
Siden man kjører høy impuls, kan prinsippet benyttes til både oppvarming og kjøling. Plassering av både inn og ut luft ved tak bidrar også til enklere plassering av ventiler for å sikre ventilasjonseffektivitet.



Figur 7 - Strømningsmønster ved omrøringsventilasjon (Stensaas 1998)

2.9.2.2 Fortregningsventilasjon

Ved fortregningsventilasjon tilføres ny frisk luft med lav impuls nede ved gulv via rister eller tilluftsdon. Luften tilføres med undertemperatur og lav impuls direkte i oppholdssonen. Lufta varmes opp via personbelastning og varmetilskudd fra internlaster. Når temperaturen øker strømmes den forurensede luften opp ved hjelp av oppdriftskreftene og trekkes av via avtrekk ved tak. Fordelen med denne typen ventilering er at man oppnår høy ventilasjonseffektivitet og god luftkvalitet i oppholdssonene i arealer som har stor takhøyde, eks. auditorier, kinosaler og restauranter. (Ingebrigtsen, Ventilasjonsteknikk Del 1, 2019)

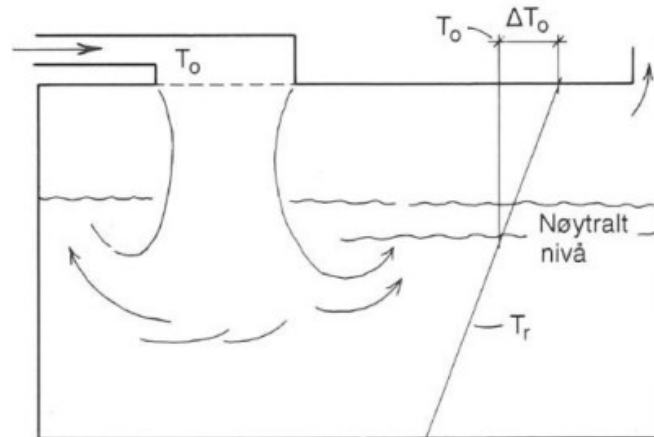


Figur 8 - Strømningsmønstre ved fortregningsventilasjon (Stensaas, 1998)

2.9.2.3 Omvendt fortregningsventilasjon

For svømmehaller benyttes ofte prinsippet omvendt fortregningsventilasjon. Da fortrenger man ny frisk luft ovenfra og ned, ved innblåsing av frisk luft over oppholdssonen og avtrekk nede ved gulv. Ved dette prinsippet dannes det et nøytralt sjikt i sonen, se Figur 9. Sjiktet dannes når vann fordunster ved bassengflaten. Denne mettede luften vil være kaldere og ha høyere RH enn lufta som tilføres rommet. Når den mettede luften og den nye tørre lufta møtes, vil det dannes et nøytralt sjikt. Dette sjiktet kan endres ved å justere innblåsingstemperaturen og tilstanden på lufta. Slik kan man optimalisere plasseringen på avtrekket i rommet.

For en energioptimal utførelse er det viktig at omvendt fortregningsventilasjon dimensjoneres med korrekte kastelengder på innblåsningsventiler eller dyser i tekstilkanaler. Feil kastelengder kan føre til spyling av vannspeilet slik at man oppnår unødvendig høy fordampningsmengde.



Figur 9 - Omvendt fortregningsventilasjon (Skåret, 2000)

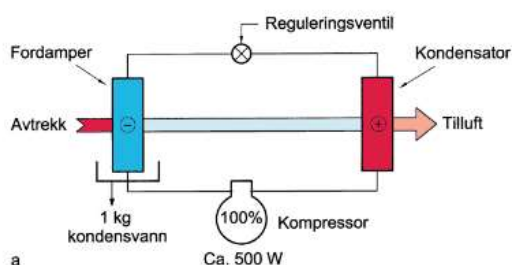
2.10 Avfukningsprinsipper

Avfuktning er en energikrevende prosess. Moderne svømmehaller i dag har klimaaggregater som i større grad benytter seg av den latente energien som fordampningsvarmen i vanddampen representerer. Systemene baserer seg på en kjøreteknisk avfuktning av avtrekksluften, i tillegg til en kontinuerlig resirkulasjon via omluftsstyring og noe tilførsel av tilluft som sikrer at fuktigheten holdes på ønsket nivå. Denne kombinasjonen er mest brukt i nordiske land i dag. Johansson og Westerlund utførte en studie i 2001 som viste viktigheten av et varmegjenvinningssystem i luftkretsen og rapporterte en energireduksjon på 20% ved anleggsutførelsen. (Westerlund og Johansson, 2001)

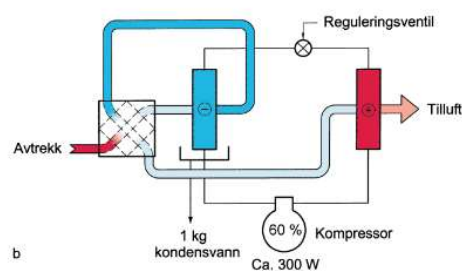
Byggforskserien (Byggforsk, 552.315, 2003) viser til skjematisk fremstilling med varmepumpe og kryssveksler ved omluftskjøring av ventilasjon.

2.10.1 Mekanisk avfuktning – Varmepumpe (a)

Et kjølemedium med et egnet kokepunkt sirkulerer i en lukket krets. I fordamperen holder mediet lav temperatur, slik at varme fra luften får mediet til å koke (fordampe). Varmeavgivelsen til fordamperen fører til at fuktighet felles ut fra den fuktige luften. Kompressoren komprimerer kjølemediet (nå i gassform) til høyere trykk og temperatur. I kondensatoren går gassen igjen over til væske, med frigivelse av kondensasjonsvarme. Ved ekspansjonsventilen strupes kjølemediet (nå i væskeform) til lavt trykk. Varmen som frigis ved kondenseringen, kan i prinsippet avgis til bassengvann eller til tilluft. (Byggforsk, 552.315, 2003)



Figur 11 - Avfukting med varmepumpe
(Byggforsk, 552.315, 2003)



Figur 10 - Avfukting med varmepumpe og kryssveksler
(Byggforsk, 552.315, 2003)

2.10.2 Mekanisk avfukting – Varmepumpe med kryssvarmeveksler (b)

En kryssvarmeveksler kjøler ned svømmehalls-lufta før den når kjøleflaten på fordamperen. Dermed reduseres nødvendig kompressoreffekt for å avfukte 1 kg med 40 %. Hvis det installeres to kryssvarmevekslere, skjer det en avfukting også i varmeveksleren. Da reduseres nødvendig kompressoreffekt for å avfukte 1 kg med 60 %. (Byggforsk, 552.315, 2003)

3 Åfjord Svømmehall

Åfjord Aktivitetshus ligger i Årnes og er bygget som et av to byggetrinn. Det første byggetrinnet er på 7300 kvadratmeter og sto ferdig våren 2022. Byggetrinnet inneholder svømmehall, bibliotek, fritidsklubb, frivillighetssentral, kulturskole, restaurant, kino og kunstverksted. Byggetrinn 2 er under oppføring og planlagt ferdigstilt sommeren 2023. Denne delen blir på 2400 kvadratmeter og skal huse nytt rådhus.

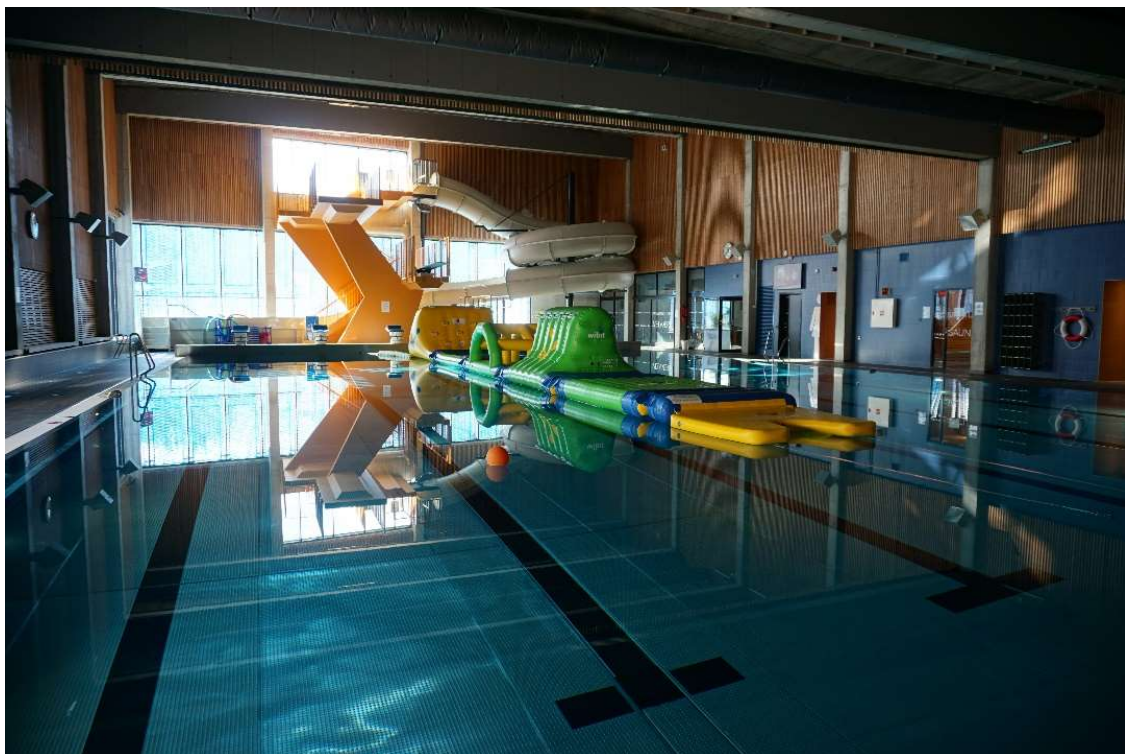
Svømmehallen har store besøkstall og er en populær arena for ren svømming, lek og rekreasjon. Badet består av treningsbasseng, opplæringsbasseng, lekearena og badstuer. (Meland, Svein Inge, 2022)

Åfjord aktivitetshus har høye krav til energiforbruk. Bygningskroppen og det tekniske anlegget er utført etter NS3701 – Passivhusstandarden og TEK17. Disse standardene setter i hovedsak strenge krav til byggets varmetap og energioptimal drift av det varme- og lufttekniske anlegget.

Under badeteknisk messe i mars 2023, en fagsamling for bade- og svømmeanleggsbransjen, fikk Åfjord svømmehall prisen for årets nykommer, en pris i sterk konkurranse med 13 andre svømmeanlegg. Åfjorden ble vurdert på tekniske løsninger, tilgjengelighet, utforming og design. (Åfjord Kommune, 2023)



Figur 12 - Åfjord Aktivitetshus (Foto: Åfjord Kommune)



Figur 13 - Åfjord Svømmehall (Foto: Ole B. Brueng)

3.1 Lokasjon

Åfjord Aktivitetshus ligger i Årnes som er et tettsted i Åfjord kommune. Åfjord kommune ligger på Fosenhalvøya i nordre del av Trøndelag og grenser til Osen i nord, Ørland og Indre Fosen i sør, og Steinkjer og Namsos i øst. Kommunene har et areal på 1330km² og folketall på 4252 (Statistisk sentralbyrå, u.d.)

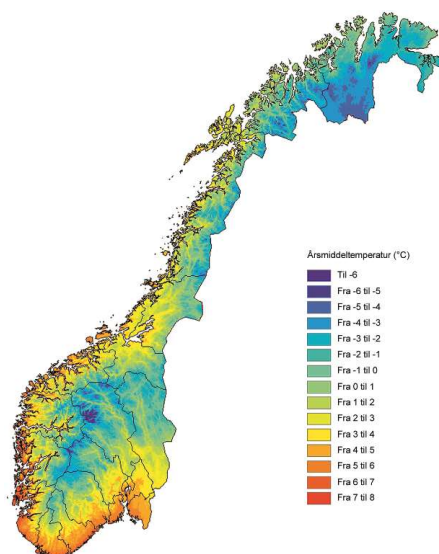
Åfjord aktivitetshus ligger 63° 57' 38.448" Nord og 10° 13' 28.848" Øst, og 20 meter over havet. Beliggenheten gir et typisk kystklima med kjøligere somre og milde vintere, høy luftfuktighet og betydelig med nedbør.



Figur 14 - Åfjord aktivitetshus, (Norgeskart 2023)

Årsmiddeltemperaturen θ_m er 5,6 °C

Laveste gjennomsnittlige utelufttemperatur i en tredøgnperiode θ_{3d} er -18,5 °C



Figur 15 - Årsmiddeltemperatur Åfjord, (Byggforsk 451.021 - 2018)

3.2 Svømmeanlegg

Svømmeanlegget består av to adskilte svømmehaller. Lengdebassenget måler 25 m x 15 m og har to ulike dybder på hhv. 1,3 m og 3,8 m. Bassenget har stupetårn, aktivitetssklie og hinderløype. Opplæringsbassenget er i en egen avdeling og måler 12,7 m x 11 m. Opplæringsbassenget er utstyrt med høyderegulerbart gulv og rullestoltilkomst. En av fordelene med dette gulvet er når bassenget ikke er i bruk, kan man heve gulvet over vannoverflaten slik at man reduserer fordunstingen fra bassengoverflaten.



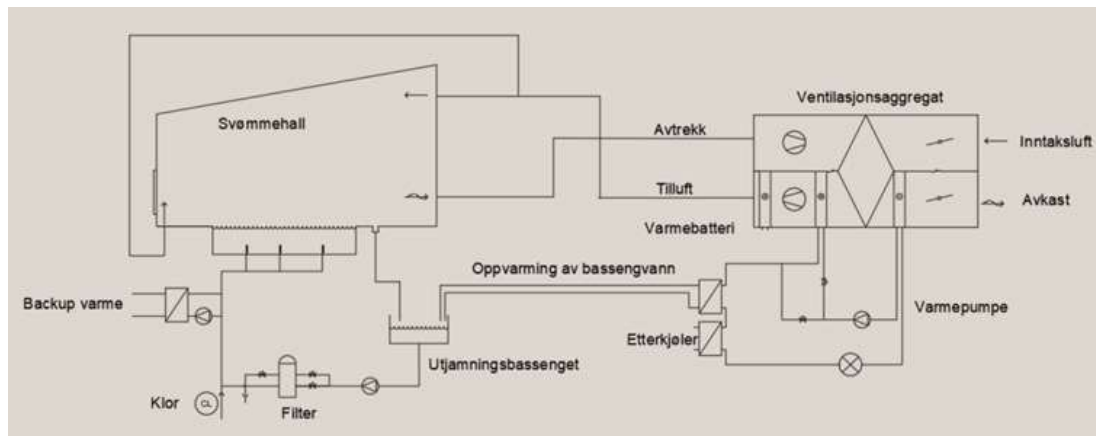
Figur 16 - Opplæringsbasseng (Foto: Ole B Brueng)

3.3 Teknisk anlegg - Åfjorden

Tre luftbehandlingsaggregater fra Menerga er sentrale for oppvarmingen, ventileringen og avfuktingen av trenings- og opplæringsbassenget i Åfjorden. Prinsippskissen nedenfor viser gjenvinning av varmen, og hvordan den gjenbrakte varmen fordeles på nytt til luftpoppvarming og oppvarming av bassengvann.

System loop:

- Avtrekk fra aggregatet frakter varm luft med høy fuktighet tilbake til aggregatet. Luften krysser varmeveksleren og overfører varme til ny frisk uteluft.
- Etter kryssveksleren sitter fordamperen til varmepumpa. Denne kjøler ned luften ytterligere før den brukte luften føres over tak.
- Varmen som er fanget opp av fordamperen løftes ved varmepumpekretsen og benyttes til oppvarming av tilluft eller utjevningstanken for bassenget. Om tilluftstemperaturen ikke når setpunkt løftes resterende av ettervarmebatteriet.



Figur 17 - Prinsippskisse tilsvarende Åfjord svømmehall (Ole Øiene Smedegård, 2022)

Luftfordelingssystemet i Åfjorden er basert på omvendt fortregningsventilasjon som beskrevet i kapittel 2.9.2.3. Frisk luft blir tilført svømmehallen via tekstilposer som er dimensjonert med korrekte dysestørrelser som sikrer optimal kastelengde på luften. I tillegg til innblåsing fra tak, er det innblåsing via rister langs vindusfasaden for å sikre mot kondensering. Sentralavtrekket står sentralt plassert i rommet.

4 Metode

I dette kapitlet presenteres forskningsmetoden, hvilke metoder og vurderinger som er gjort underveis i casestudiet. Det er beskrevet valg og vurderinger rundt teoretiske beregninger, og fremgangsmåte og vurderinger av målinger fra feltforsøkene.

4.1 Valgt metode

For å etterprøve dagens beregningsmetoder for kalkulering av fordamningsmengde fra svømmebasseng, samt konstatere overløpsrennas bidrag i fuktregnskapet, er det valgt å sammenligne teoretiske beregninger fra kjent litteratur mot reelle målinger fra feltforsøk i Åfjorden.

4.2 Feltarbeid

Kapitlet Feltarbeid 4.2 omhandler planlagt fremgangsmåte og utførelse av feltarbeidet i Åfjord. Selve feltstudiet ble konsentrert til opplæringsbassenget. Bassenget er 12,5 m x 9,6 m, og er adskilt fra konkurransebassenget med skyvedør. Dette i sammenheng med at konkurransebassenget og opplæringsbassenget har hver sitt aggregat, noe som bidrar til at man kan isolere inneklimate for egen vurdering av opplæringsbassenget.

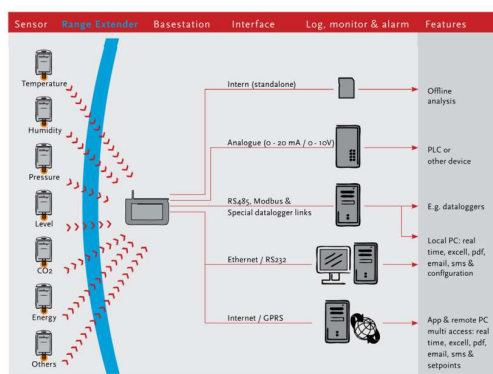
To dager ble avsatt til opprigging av inneklimasensorer, manuelle målinger rundt opplæringsbassenget og logging av driften på avfuktningssystemet. Selve arbeidet i Åfjorden ble utført sammen med Anders Sæten som utfører et tilsvarende casestudie innen inneklimate og ventileringsprinsipp i regi av NTNU/SIAT.

Målesensorene fra leverandør Wisensys er lånt av COWI Trondheim, manuell innklimate logger er levert av Dantherm og håndholdte målere er lånt av Hamstad AS. Testtriggene som er benyttet i forsøk 1 og 2 har undertegnede laget selv i et forsøk på å få et skreddersydd målepunkt til overløpsrenna i Åfjorden.

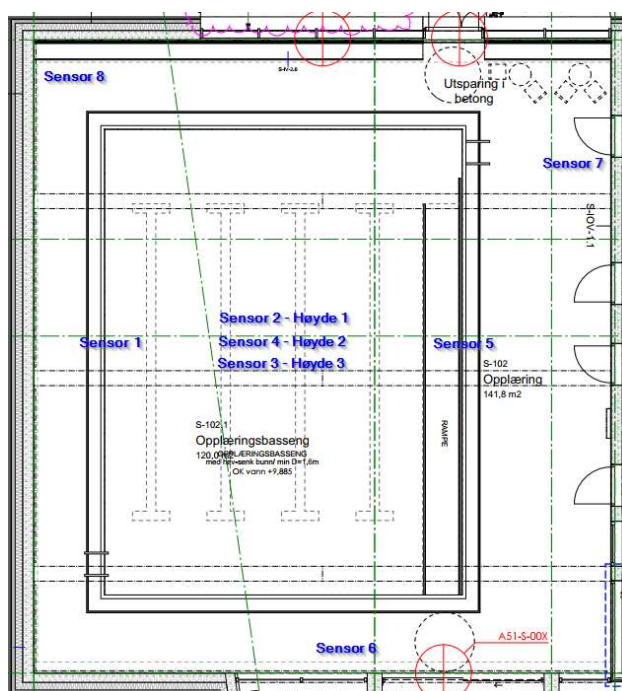
Teknisk informasjon knyttet til driften av badet og FDV-dokumentasjon ble gitt av driftsleder ved Åfjorden, Oddgeir Finserås.

4.2.1 Logging av inneklimate

For å kunne se sammenhengen mellom tilstanden på inneklimate og bruken og aktivitetsnivået i svømmehallen ble sensorene fra Wisensys strategisk plassert rundt om i opplæringsbassenget. Sensorene logget temperatur, CO₂-nivå og fuktighet. Sensorene ble satt opp mot lokal ruter slik at data kunne fjernanalyseres via Internett/GPRS. På denne måten ble det mulig å analysere inneklimate opp mot timeplanene og aktivitetsnivået i bassenget.



Figur 18 - Sensorer fra Wisensys



Figur 19 - Plassering av sensorene

4.2.2 Måling av fordampning fra overløpsrenna

Hovedfokuset i forsøket var overløpsrenna og dens bidrag i fuktregnskapet. Selve målingen over overløpsrenna ble planlagt forsøkt med to forskjellige utgangspunkt.

Forsøk 1:

Måling av fordunsting over testtrigg ved lukking av overløpsrenna.

En langsiden av bassenget isolert med diffusjonstett dampsperre. Testtriggen plasseres i midten av langsiden, slik at hele langsidens fordunstingsbidrag blir synlig.

Forsøk 2:

Testtrigget ble plassert på midten av langsiden uten lukking med diffusjonstett dampsperre. Formålet er å vurdere fordunstingsmengden over testtriggens tverrsnitt.

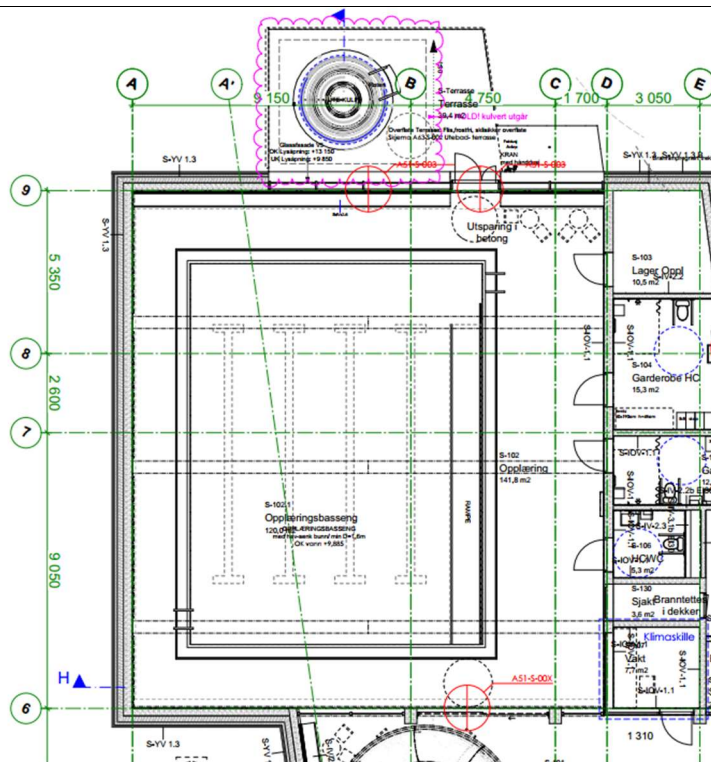
Begge forsøkene ble utført under tre ulike driftsscenario:

1. Måling av fordunsting ved stille basseng, ventilasjon av.
2. Måling av fordunsting ved stille basseng, ventilasjon på.
3. Måle fordunsting ved aktivitet i basseng og ventilasjon på.

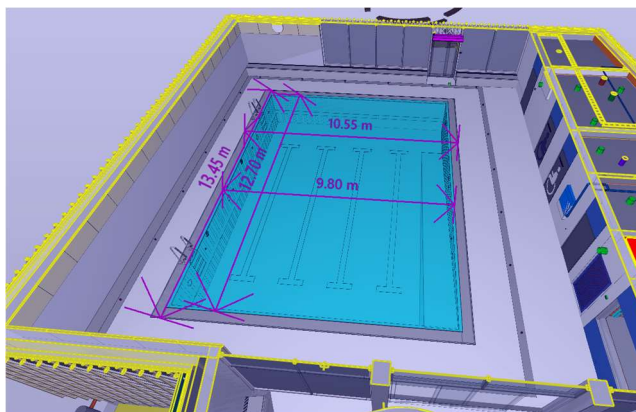
4.2.3 Håndholdt måling

Parallelt med logging av inneklimate og målinger av fordunstingsmengde fra overløpsrenna, ble det utført håndholdt måling i rommet ved hjelp av et termohygrometer som logger temperatur og fuktinnhold. Hygrometeret ga sanntidsoversikt i diagrammer via mobil-app. I tillegg til denne ble det benyttet håndholdt kimo for å sammenligne målinger for å utelukke eventuelle måleavvik.

I tillegg til måling ble totalt avfuktning fra sonene, luftmengder og snittemperatur i sanntid fra luftbehandlingsaggregatets kontrollpanel.



Figur 20 - Utsnitt opplæringsbasseng, plantegning A21-002



Figur 21 - Utsnitt solibrimodell, «Åfjord aktivitetshus»

4.3 Driftsdata ventilasjonsanlegg

Tids-log med driftsparametere fra ventilasjonsanlegget ble eksportert fra SD-anlegget. Loggen inneholdt full oversikt over temperaturer, trykk, luftmengder, pådrag på vifter, spjeldvinkler og avfuktningsmengder. Loggen ble kjørt fra forsøksdag 1 - 21.02.23 til forsøksdag 2 - 24.03.23. Driftsparametrene er logget med timesintervaller.

4.4 Sentrale inndata

Kapittel 4.4 inneholder beregningsmetoder for sentrale parametere som skal benyttes i fordunstingsberegningene .

4.4.1 Damptrykket i rommet og damptrykket ved vannspeilet, p_w og p_a [kPa]:

Damptrykket i rommet og damptrykket ved overflaten ble beregnet med Magnus-tetens ligning.

Ligningen er en tilnærming til mettet vanndamptrykk ved ulike temperaturer.

p_w - Mettet damptrykk ved overflaten, $T=30\text{ }^\circ\text{C}$, RH 100 %.

p_a - Mettet damptrykk i rommet, $T=32\text{ }^\circ\text{C}$, RH 45 %.

$$e = 0.61078 * \exp(17.2694 * T / (T + 237.3)) \quad (5)$$

Magnus-tetens ligning gir mettetdamptrykk. For å finne p_a – Damptrykk i rommet settes:

$$e = RH * e_{\text{mettet}} \quad (6)$$

4.4.2 Spesifikk luftfuktighet W_r og W_w [kg fuktighet/kg luft]

W_w - Spesifikk luftfuktighet ved vannoverflaten, $T=30\text{ }^\circ\text{C}$, RH=100% og 1 atm.

W_r - Spesifikk luftfuktighet i rommet, $T=32\text{ }^\circ\text{C}$, RH=45% og 1 atm.

For å finne spesifikk luftfuktighet ved vannoverflaten og i rommet benytter formelen for spesifikk luftfuktighet. For å løse ut denne benyttes først Magnus-tetens ligning for å finne damptrykke for begge tilfellene.

$$W_{w/r} = 0.622 * (e / (p - e)) \quad (7)$$

e = Mettet damptrykk [kPa]

p = Atmosfæretrykk [kPa]

4.4.3 Tettheten i rommet og ved vannspeilet, ρ_r og ρ_w [kg/m³]:

For å finne tettheten i rommet og ved vannspeilet benyttes ideell gasslov.

Ideell gasslov:

$$pV = nRT \rightarrow \rho = (n \cdot M) / V \quad (8)$$

$P = 101,325$ kPa

$V =$ volum (antatt å være konstant)

$n =$ antall mol

$R =$ den universelle gasskonstanten = $8,314$ J/(mol K)

$T =$ temperatur = $T + 273,15$ K

4.4.4 Lufthastighet over testrigg:

Tetthetsforskjellen mellom grensesjiktet og luften over måleområdet medfører at vi får oppdriftskrefter. Tilstanden i grensesjiktet stiger opp, mens tilstanden i lufta ønsker å synke ned til grensesjiktet. Dette medfører en oppdriftskraft med hastighet v [m/s].

Lufthastigheten over testriggen i forsøk 2:

$$v = 0,12 \cdot [4 \cdot (1 - RH/100) - (t_r - t_o)] \text{ [m/s]} \quad (9)$$

v = Lufthastighet [m/s]

RH = Relativfuktighet i rommet [%]

T_r = Lufttemperatur i rommet [°C]

T_o = Temperatur i bassenget [°C]

4.5 Beregningsmetoder fordampning

4.5.1 Beregning av nødvendig avfukningskapasitet – ASHRAE

$$\dot{m}_{\text{evap}} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot A_{\text{pool}} \cdot F_{\text{act}} \cdot (p_w - p_a) \quad (10)$$

\dot{m}_{evap} = Fordampingshastighet [kg/s]

A_{pool} = Bassengstørrelse [m^2]

F_{act} = Aktivitetsfaktor

p_w = Mettet damptrykk ved overflaten [kPa]

p_a = Mettet damptrykk i rommet [kPa]

Fordampningshastigheten basert på ASHRAE-ligningen og F_{act} = Terapibad.

Tabell 3 - Aktivitetsfaktor fra ASHRAEs handbok

Type of Pool	Typical Activity Factor (F_{act})
Baseline (pool unoccupied)	0.5
Residential pool	0.5
Condominium	0.5
Therapy	0.65
Hotel	0.8
Public, schools	1.0
Whirlpools, spas	1.0
Wavepools, water slides	1.5 (minimum)

4.5.2 Beregning av nødvendig avfuktningskapasitet - VDI 2089

Beregning av fordampningsmengde uten aktivitet i bassenget:

$$\dot{M}_{D,B,u/b} = \frac{\beta_{u/b}}{R_D \cdot \bar{T}} \cdot (p_{D,W} - p_{D,L}) \cdot A_B \quad (11)$$

$\dot{M}_{D,B,u/b}$ = Fordampning fra bassengoverflaten uten aktivitet [kg/h]

β_u / β_b = Vannoverføringskoeffisient, Tabell 11

R_d = Gasskonstant vanndamp, $R_D=461,52$ j/kgK

\bar{T} = Aritmetisk gjennomsnitt av vann- og lufttemperatur

$p_{D,W}$ = Metningstrykk vanndamp [Pa]

$p_{D,L}$ = Vanndamptrykket til omgivelsestemperaturen [Pa]

A_B = Arealet av bassengoverflaten [m^2]

Beregning av fordampningsmengde ved aktivitet i basseng:

$$\dot{M}_{D,B+A,b} = \frac{\beta_{b,ges}}{R_D \cdot \bar{T}} \cdot (p_{D,W} - p_{D,L}) \cdot A_B \cdot \dot{M}_{D,L} \quad (12)$$

$\dot{M}_{D,B,u+A,u}$ = Fordampning fra bassengoverflaten med aktivitet [kg/h]

$\beta_{g,ges}$ = Fordampning fra bassengoverflaten uten aktivitet [m/h]

$\dot{M}_{D,L}$ = Vanndampputsipp fra attraksjoner med luftinjeksjon i vannstrømmen [kg/h]

$$\dot{M}_{D,L} = \dot{M}_L \cdot (x_{D,W} - x_{D,L}) \quad (13)$$

$\dot{M}_{D,L}$ = Vanndampputsipp fra attraksjoner med luftinjeksjon i vannstrømmen [kg/h]

\dot{M}_L = Luftinjeksjon – massestrøm [kg/h]

$x_{D,W}$ = Vanndampinnhold i luftinjeksjonen [kg/kg]

$x_{D,L}$ = Vanndampinnhold i rommet [kg/kg]

Tabell 4 - Verdier for vannoverføringskoeffisient (VDI 2089 – Tabell 5)

Bassengvarianter	Vannoverføringskoeffisient	
	Uten aktivitet i bassenget β_a [m/h]	Ved aktivitet i bassenget β_b [m/h]
Basseng med overbygd vannflate (kun fordampning fra overløpskanal)	0,7	-
Basseng i:		
– Bolighus (privat basseng)	7	21
– Innendørs basseng		
Vanndybde > 1,35 m	7	28
Vanndybde < 1,35 m*)	7	40
Bølgebasseng	7	50
Sklier og sklie-oppsamlingsbassenger	-	50

4.5.3 Beregning av nødvendig avfuktningskapasitet – Shah 2012

Fordampning fra uforstyrret vannoverflate - naturlig konveksjon:

$$E = C\rho_w (\rho_r - \rho_w)^{1/3} (W_w - W_r) \quad (14)$$

Fordampning fra uforstyrret vannoverflate - luftstrøm/ventilasjon

$$E_0 = b \cdot (p_w - p_r) \quad (15)$$

E = Fordampningshastighet pr. m^2 [$kg/(m^2 \cdot h)$]

C = Koeffisient

ρ_r = Tetthet i rommet [kg/m^3]

ρ_w = Tetthet ved vannoverflaten [kg/m^3]

W_r = Spesifikk luftfuktighet i rommet [kg fuktighet/ kg luft]

W_w = Spesifikk luftfuktighet ved vannoverflaten [kg fuktighet/ kg luft]

$C = 35$ for $(\rho_r - \rho_w) > 0.02$

$C = 40$ for $(\rho_r - \rho_w) \leq 0.02$

Fordampning med bakgrunn i okkupert basseng – 10 personer:

$$E_{occ} / E_0 = 1.9 - 21 \cdot (\rho_r - \rho_w) + 5.3N^* \quad (16)$$

For $N^* \geq 0.05$

E_{occ} = Fordampningshastighet ved aktivitet i bassenget [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

E_0 = Fordampningshastighet ved uforstyrret vannflate [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

$N = 10$ personer (Samme antall som ved testforsøk ved Åfjord Svømmehall)

$$N^* = 10/124,56 \text{ m}^2 = 0,0803 \rightarrow N^* \geq 0.05$$

4.5.4 Beregning av fordamning – Stensaas(1998)

Beregning av fordamning basert på betraktning av at lufta like ved grenseflata er mettet og at luftas metningstrykk tilsvarer vannets overflatetemperatur:

$$q_v = \sigma \cdot (x_{vo} - x) \quad (17)$$

q_v = Fordunstet vannmengde [$\text{kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$]

σ = Fordunstingstallet [kg tørr luft/ $(\text{s} \cdot \text{m}^2 \text{ væskeoverflate})$]

x = Luftas fuktighetsgrad [kg/kg tørr luft]

x_{vo} = Luftas fuktighetsgrad ved metning ved en temperatur lik vannets overflatetemperatur

Fordunstingstallet gitt ved Sprengers formel, ved hastighet $w = 0,15 \text{ m/s}$ over vannflaten:

$$\sigma = 25 + 19 \cdot w \text{ [kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)] \quad (18)$$

Fordunstingstallet gitt ved formler for tvungen strømming lang flate og konveksjon,

der hastigheten $w \leq 5 \text{ m/s}$:

$$\alpha_k = 6,2 + 4,2 \cdot w \text{ [w}/\text{m}^2 \cdot \text{k}] \quad (19)$$

4.5.5 Beregning av nødvendig avfukningskapasitet – Hanssen og Mathisen 1990

Beregnet fordunsting i svømmehall uten personbelastning (Hanssen og Mathisen, 1990)

$$\dot{m} = 108 \cdot (\sqrt{u^2 + w^2})^{\frac{1}{3}} \cdot (e^{0,06t_w} - e^{0,06t_r}) \quad (20)$$

u = Lufthastighet, på grunn av tetthetsforskjell mellom tørr og fuktig luft [m/s]

w = Hastighet over basseng på grunn av innblåsningsluftens impuls [m/s]

t_w = Vannets temperatur [°C]

φ = Relativ fuktighet i rommet

T_r = Lufttemperatur i rommet [°C]

T_w = Temperatur i bassenget [°C]

Oppdriftskrefter som kommer av tetthetsforskjellen mellom luften i rommet og luften ved bassengoverflaten:

$$u = 0,12 \cdot (4 \cdot (1 - \varphi) - \Delta T)^{0,5} \text{ [m/s]} \quad (21)$$

Hovedformel fra Mathisen - 1990 benyttes med en forstørrelsesfaktor der man finner total fordunsting, da fordunsting fra basseng, sprut og fra personer i badet som har fuktige kroppsdeler over vannoverflaten:

$$\dot{M} = \dot{m}_{basseng} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot \text{Antall personer}}{A_{basseng}}\right) + \frac{A_{gulv}}{A_{basseng}} \cdot \dot{m}_{gulv} \quad (22)$$

$\dot{m}_{basseng}$ = Fordunstning fra bassengoverflate [g/h m²]

\dot{m}_{gulv} = Fordunstning fra fuktet gulv [g/h m²]

$A_{basseng}$ = Bassengareal [m²]

A_{gulv} = Fuktet gulvareal [m²]

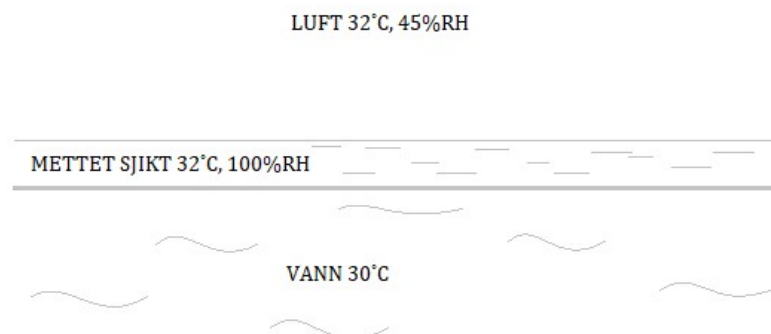
5 Resultater

Kapittel 5 presenterer resultatene fra metoden beskrevet i kap. 4. Dette innebærer resultater fra beregningene av inndata fra Åfjorden, resultater fra fordampningsberegningene og resultater fra feltforsøket i Åfjord Svømmehall. Resultatene fra beregningene er oppdelt i delkapitler, der formlene som er benyttet er presentert i kap. 4, og beregningene er vist i appendix A og B.

5.1 Resultater - inndata

Sentrale inndata fra Åfjord svømmehall:

Areal	m^2	= 124,56 m^2
Mettet damptrykk ved overflaten (T=30,0°C):	p_w	= 4,246 kPa
Mettet damptrykk i rommet (T=32,0°C):	p_a	= 1,168 kPa
Tetthet i rommet	ρ_r	= 1,184 kg/m^3
Tetthet ved vannoverflaten	ρ_w	= 1,168 kg/m^3
Spesifikk luftfuktighet i rommet	W_r	= 0,0152 kg fuktighet/kg luft
Spesifikk luftfuktighet ved vannoverflaten	W_w	= 0,0272 kg fuktighet/kg luft



Figur 22 - Grensesjikt mellom basseng og luft

5.2 Resultater - Teoretiske beregninger av fordampningsmengde

Resultatet fra beregningene av andelen fordampning fra bassengflaten og randsoner til opplæringsbassenget i Åfjorden er presentert i tab. 5- tab. 9. Tilhørende litteratur er beskrevet i kap. 2.8 og håndberegninger ligger vedlagt i Appendix B - *Beregningsmetoder fordampning*.

5.2.1 ASHRAE

Resultater av fordampningsberegningen basert på beregningsmetoden fra ASHRAE, ved å benytte formel (10), presentert i kap. 4.5.1. ASHRAEs beregningsmetode baserer seg på aktivitetsfaktor i bassenget vist i Tabell 3. For å sammenligne resultat mot øvrige beregningsmetoder er det valgt å beregne ASHRAE med tre ulike aktivitetsfaktorer. Resultatet vist i Tabell 5 nedenfor.

Tabell 5 - Resultater fra beregning av fordampning - ASHRAE

ASHRAE	F _{act}	Fordampningsfaktor [kg/(h · m ²)]	Fordampning [kg/h]
Aktivitets F. Uforstyrret vannspeil	0,5	-	18,94
Aktivitets F. Terapi	0,65	0,15	18,96
Aktivitets F. offentlig bad	1	0,23	29,16

5.2.2 VDI 2089

Fordampningsberegningene fra VDI 2089 baseres på en vannoverføringskoeffisient, vist i Tabell 4. Resultatene i Tabell 6 nedenfor er resultat av ligning (11) og ligning (12) som er presentert i kap. 4.5.2. Ligningen (11) tar utgangspunkt i uforstyrret bassengflate, ligning (12) tar derimot hensyn til forstyrret vannflate og fordampning fra attraksjoner som sklier og stupebrett. Siden det ikke er attraksjoner rundt opplæringsbassenget i Åfjorden, er denne delen av ligningen satt lik 1 (neglisjert).

Tabell 6 - Resultater fra beregning av fordampning - VDI 2089

VDI 2089	Vannoverføringskoeffisient	Fordampningsfaktor [kg/(h · m ²)]	Fordampning [kg/h]
VDI 2089 - Uforstyrret vannspeil	7	0,15	19,1
VDI 2089 - Forstyrret vannspeil	40	0,88	109,3

5.2.3 Shah 2002

Fordampningsberegningene basert på Shah 2002 er utført med hensyn til naturlig konveksjon og fordampning forstyrret fra ventilasjon. Disse forutsetningene er også kalkulert med hensyn til forstyrret- og uforstyrret vannspeil. Resultatene i Tabell 1 Tabell 7 er basert på fordampningsmetoden som er presentert i kap. 4.5.3, ligning (14), (15) og ligning (16).

Tabell 7 - Resultater fra beregning av fordampning - Shah 2002

Shah 2002	Aktivitetsnivå	Fordampningsfaktor [kg/(h · m ²)]	Fordampning [kg/h]
Uforstyrret vannspeil - Naturlig konveksjon	-	0,13	16,80
Uforstyrret vannspeil - Luftstrøm/ventilasjon	-	0,15	19,17
Forstyrret vannspeil - Naturlig konveksjon	n = 10 personer	0,25	31,3
Forstyrret vannspeil - Luftstrøm/ventilasjon	n = 10 personer	0,29	35,7

5.2.4 Hanssen og Mathisen 1990

Hanssen og Mathisens metode fra 1990 er basert på fordampningskalkulasjon med hensyn til konveksjon ved forskjellige damptrykk, og med forstyrret og uforstyrret vannflate ved ulike aktivitetsnivå. Resultatene i Tabell 8 er basert på grunnlaget presentert i kap. 4.5.5.

Tabell 8 - Resultater fra beregning av fordampning - Hanssen og Mathisen

Hanssen og Mathisen	Aktivitetsnivå	Fordampningsfaktor [kg/(h · m ²)]	Fordampning [kg/h]
Uforstyrret vannspeil - Luftstrøm/ventilasjon	-	0,26	32,6
Forstyrret vannspeil - Luftstrøm. Inkl. gulvareal	n = 10 personer	0,52	65,1

5.2.5 Stensaas 1998 – Ventilasjonsteknikk 1

Tabell 9 viser resultatene av fordampningsberegningen basert på metoden som er presentert i Ventilasjonsteknikk 1, Stensaas 1998. Naturlig konveksjon ved ulike damptrykk ved vannspeil og over vannflaten, og for horisontale- og vertikale luftstrømsforstyrrelser. Metoden presentert i kap. 4.5.4.

Tabell 9 - Resultater fra beregning av fordampning - Stensaas 1998

Stensaas 1998	Fordampningsfaktor [kg/(h · m ²)]	Fordampning [kg/h]
Uforstyrret vannspeil - Naturlig konveksjon	0,29	36,5
Uforstyrret vannspeil - Luftstrøm/ventilasjon	0,33	41,7

5.2.6 Oppsummering resultat

Resultatene av fordampningsberegningene oppsummert og sortert etter like scenario, og beregningsforutsetninger. Beregningene med like forutsetninger, eks. uforstyrret vannspeil, med og uten konveksjon og luftstrømmer viser resultater innenfor samme intervall. Samme gjelder for forstyrret vannflate.

Tabell 10 - Oppsummering teoretiske beregninger - Fordampningsmengde [kg/h]

Metode	Forfatter	Fordampningsfaktor [kg/(h · m ²)]	Fordampning [kg/h]
Uforstyrret vannspeil	VDi 2089	0,15	19,1
Uforstyrret vannspeil - Naturlig konveksjon	Shah (2002)	0,13	16,80
Uforstyrret vannspeil – Luftstrøm/ventilasjon	Shah (2002)	0,15	19,17
Uforstyrret vannspeil – Luftstrøm/ventilasjon	Hanssen og Mathisen	0,26	32,6
Uforstyrret vannspeil - Naturlig konveksjon	Stensaas (1998)	0,29	36,5
Uforstyrret vannspeil – Luftstrøm/ventilasjon	Stensaas (1998)	0,33	41,7
Forstyrret vannspeil – Luftstrøm. Inkl. gulvareal	Hanssen og Mathisen	0,52	65,1
Forstyrret vannspeil – Aktivitets F. Terapi	ASHRAE	0,15	18,9
Forstyrret vannspeil – Aktivitets F. offentlig bad	ASHRAE	0,23	29,2
Forstyrret vannspeil – Naturlig konveksjon	Shah (2002)	0,25	31,3
Forstyrret vannspeil – Luftstrøm/ventilasjon	Shah (2002)	0,29	35,7
Forstyrret vannspeil	VDi 2089	0,88	109,3

5.3 Resultater feltarbeid Åfjorden

5.3.1 Resultater feltforsøk 1

Resultater fra feltmålinger i Åfjord 21.02.23. Målingene ble utført iht. metode i kap. 4.2. Ved logging av inneklimaet etter ulike aktivitetsnivå og måling av fordampningsmengde fra overløpsrenna. Målingene av overløpsrenna i forsøk 1 ble utført med lukket renne og testrigg med innsnevret målområde i topp. Målinger er utført etter planlagte scenario, ref. kap. 4.2.2.



Figur 23 - Målerigg for avdampning av renne med innsnevret trakt

Måling av fordunsting ved stille basseng, ventilasjon på.

Målemetode over testrigg: Dry- og wet bulb, ref. kap. 2.6.5

Håndholdt måling: Kimo og Trotec BC21WP, ref. appendix

Forsøk 1, 21.02.23 kl. 10.11

Ved 90 cm senkning av rekreasjonsbasseng og forsøk over lukket renne.

Tabell 11 - Forsøk 1, resultater ved stille basseng, og ventilasjon på – dybde 0,9m

Tid [min]	Dry bulb temperature [°C]	Wet bulb temperature [°C]	RH [%]	Fordunsting [g/kg]	Temperatur ved Kimo [°C]	RH Kimo I rommet RH [%]
5	29,4 °C	34,1 °C	100 %	- g/kg	30,5 °C	38 %
10	29,4 °C	34,0 °C	100 %	- g/kg	31,2 °C	37 %
15	29,6 °C	34,2 °C	100 %	- g/kg	32,7 °C	40 %
25	32,9 °C	34,0 °C	100 %	- g/kg	32,8 °C	40 %
30	32,8 °C	34,0 °C	100 %	- g/kg	33,1 °C	41 %
35	32,8 °C	34,1 °C	100 %	- g/kg	32,8 °C	40 %
40	32,4 °C	33,6 °C	100 %	- g/kg	32,6 °C	39 %
45	32,2 °C	33,2 °C	100 %	- g/kg	32,6 °C	40 %

*Merk: på grunn av 100 % mettet luft over målepunkt endte forsøket uten målereferanse på fordunstingsmengde over testtriggen.

Avlesning av driftsdata fra Menerga-aggregat 360.007. Avlesning av håndkontroller og utkjørt driftsrapport av forsøksperioden, vedlegg A.

Tabell 12 - Forsøk 1, scenario 1. Avlesning Menerga-aggregat

	Tilluft	Avtrekk	Vann
Lufttemperatur [°C]	34,8 °C	32,3 °C	32 °C
Relativ fuktighet [%]	-	44,8 %	-
Sett-verdi fuktighet [%]	-	54,0 %	-
Luftstrøm i driftstid [m ³ /h]	9000 m ³ /h	9550 m ³ /h	-
Avfukting [kg/h]	-	53,4 kg/h	-

Ved 1,2 cm senkning av rekreasjonsbasseng og forsøk over lukket renne.

Tabell 13 - Forsøk 1, resultater ved stille basseng, og ventilasjon på – dybde 1,2m

Tid	Dry bulb temperature [°C]	Wet bulb temperature [°C]	RH [%]	Fordunsting [g/kg]	Temperatur ved Kimo [°C]	RH Kimo RH [%]
5	32,4 °C	33,8 °C	100 %	- g/kg	32,2 °C	43 %
10	32,3 °C	34,0 °C	100 %	- g/kg	31,2 °C	37 %
15	32,4 °C	34,2 °C	100 %	- g/kg	32,7 °C	40 %
25	32,2 °C	34,0 °C	100 %	- g/kg	32,8 °C	40 %
30	32,4 °C	34,0 °C	100 %	- g/kg	33,1 °C	41 %
35	32,6 °C	34,1 °C	100 %	- g/kg	32,8 °C	40 %
40	32,4 °C	33,6 °C	100 %	- g/kg	32,6 °C	39 %
45	32,2 °C	33,2 °C	100 %	- g/kg	32,6 °C	39 %

*Merk: på grunn av 100% mettet luft over målepunkt endte forsøket uten målereferanse på fordunstingsmengde over testtriggen.

Avlesning av driftsdata fra menerga-aggregat 360.007. Avlesning av håndkontroller og utkjørt driftsrapport av forsøksperioden, vedlegg A.

Tabell 14 - Forsøk 1, scenario 2. Avlesning Menerga-aggregat

	Tilluft	Avtrekk	Vann
Lufttemperatur [°C]	34,8 °C	32,3 °C	32 °C
Relativ fuktighet [%]	-	44,8 %	-
Sett-verdi fuktighet [%]	-	54,0 %	-
Luftstrøm i driftstid [m ³ /h]	9000 m ³ /h	9550 m ³ /h	-
Avfukting [kg/h]	-	53,4 kg/h	-

Oppsummering forsøk 1:

Under de første målingene over renna ved tilfellet «Stille basseng – Ventilasjon på» viste det seg at det var for høy konsentrasjon av fuktig luft i målområdet. Over målepunktet ga forholdet drybulb og wetbulb 100 % metning, og dermed ingen referanse på fordunstet vannmengde.

Siden forsøket ga RH=100% under begge de to første målescenarioene ble det valgt å avslutte videre måling.

Konklusjonene ble at kombinasjonen av lukket renne med plast og testrigg med krapp innsnevring og lite tverrsnitt rundt målepunktet, førte til mettet fuktig luft. Ny rigg med økt tverrsnitt måtte på plass før videre målinger.



Figur 24 - Forsøk 1, Mettet luft over målområdet
foto: Ole B. Brueng



Figur 25 - Avrenning renne
foto: Ole B. Brueng



Figur 26 - Testrigg forsøk 1
foto: Ole B. Brueng

5.3.2 Resultater forsøk 2

Resultater fra feltmålinger i Åfjord 24.03.23. Målingene ble utført iht. metode i kap. 4.2. ved logging av inneklimaet etter ulike aktivitetsnivå og måling av fordampningsmengde fra overløpsrenna. Etter ha målt 100 % metning over testrigg i forsøk 1 ble det lagt ny strategi før forsøk 2. Målingene av overløpsrenna i forsøk 2 ble utført med åpen renne, i tillegg ble det laget ny testrigg uten innsnevring, ref. kap. 4.2.2.

Figur 27 viser testriggen benyttet i forsøk 2. Målerigg med tverrsnitt 0,35 m x 0,35 m uten innsnevring. Testriggen hadde høyde 1,2 m og har tilnærmet ingen luftforstyrrelser. Oppdriften over målepunktet er i hovedsak naturlig oppdrift fra damptrykket.



Figur 27 - Målerigg for avdampning av renne med rett-trakt
foto: Ole B. Brueng

1. Måling av fordunsting ved stille basseng, ventilasjon av – over renne.

Målemetode over testtrigg: Dry- og wet bulb, ref. kap. 2.6.5.

Håndholdt måling: Kimo og Trotec BC21WP, ref. appendix

Forsøk 24.03.23 kl. 11.20

Ved 1,2m senkning av rekreasjonsbasseng og forsøk over lukket renne.

Tabell 15 - Forsøk 2, resultater ved stille basseng og ventilasjon av – dybde 1,2 m

Tid [min]	Dry bulb temperature [°C]		Wet bulb temperature [°C]		RH [%] Renne	Vanninnhold [g/kg]	
	Renne	Rom	Renne	Rom		Renne	Rom
5	32,4 °C	33,2 °C	30,4 °C	25,2 °C	86,6 %	27,1 g/kg	17,0 g/kg
10	32,2 °C	32,8 °C	30,4 °C	25,7 °C	87,8 %	27,2 g/kg	18,0 g/kg
15	32,2 °C	32,6 °C	30,4 °C	25,8 °C	87,8 %	27,2 g/kg	18,3 g/kg
25	31,9 °C	32,5 °C	31,1 °C	26,9 °C	94,5 %	28,8 g/kg	20,3 g/kg
30	31,9 °C	32,3 °C	31,1 °C	27,4 °C	94,5 %	28,8 g/kg	21,3 g/kg
35	31,9 °C	32,4 °C	31,1 °C	27,4 °C	94,5 %	28,8 g/kg	21,2 g/kg
40	32,2 °C	32,4 °C	31,7 °C	27,2 °C	96,5 %	30,0 g/kg	20,8 g/kg

Tabell 16 viser avlesning av driftsdata fra Menerga-aggregat etter oppstart. Avlesningen ble utført noen minutter etter at maksluftmengder var nådd, dermed maksbelastning av fuktighet og avfuktning etter stopp-perioden.

Tabell 16 - Forsøk 2, avlesning menerga etter oppstart - stille basseng, og ventilasjon av.

Avlesning Menerga-aggregat under scenario 1.	
Avtrekkstemperatur (etter oppstart)	32,4 °C
Avtrekksfuktighet (etter oppstart)	82,2 % RH
Avfuktning (etter oppstart)	214,2 kg/h

2. Måling av fordamning ved stille basseng, ventilasjon på – over renne.

Måling med Dry- og wet bulb og kimo i rommet.

Forsøk 24.03.23 kl. 13.15

Ved 1,2 m senkning av rekreasjonsbasseng og forsøk over lukket renne.

Tabell 17 - Forsøk 2, resultater ved stille basseng, og ventilasjon på – dybde 1,2 m

Tid [min]	Dry bulb temperature [°C]		Wet bulb temperature [°C]		RH [%] Renne	Vanninnhold [g/kg]	
	Renne	Rom	Renne	Rom		Renne	Rom
5	32,4 °C	33,0 °C	28,4 °C	22,9 °C	74,2 %	23,1 g/kg	13,5 g/kg
10	32,4 °C	32,6 °C	28,8 °C	22,1 °C	76,6 %	23,9 g/kg	12,4 g/kg
15	32,4 °C	32,5 °C	28,8 °C	22,6 °C	76,6 %	23,9 g/kg	13,2 g/kg
25	32,3 °C	32,3 °C	28,8 °C	22,1 °C	77,1 %	23,9 g/kg	12,6 g/kg
30	32,5 °C	32,5 °C	28,9 °C	22,2 °C	76,6 %	24,0 g/kg	12,6 g/kg
35	32,4 °C	32,5 °C	27,1 °C	22,4 °C	66,6 %	20,6 g/kg	12,9 g/kg
40	32,4 °C	32,4 °C	28,2 °C	22,5 °C	73,0 %	22,7 g/kg	13,1 g/kg

Tabell 18 - Forsøk 2, scenario 2. Avlesning Menerga-aggregat. Avlesning av håndkontroller og utkjørt driftsrapport av forsøksperioden, vedlegg A.

Tabell 18 - Forsøk 2, scenario 2. Avlesning Menerga-aggregat

	Tilluft	Avtrekk	Vann
Lufttemperatur [°C]	34,8 °C	32,3 °C	32 °C
Relativ fuktighet [%]	-	44,8 %	-
Sett-verdi fuktighet [%]	-	54,0 %	-
Luftstrøm i driftstid [m ³ /h]	9000 m ³ /h	9550 m ³ /h	-
Avfukting [kg/h]	-	43,3 kg/h	-

3. Måling av fordamning ved aktivitet i basseng, ventilasjon på – over renne.

Måling med Dry- og wet bulb og kimo i rommet.

Forsøk 24.03.23 kl. 10.30

Aktivitet i bassenget, 10 stk. i aktivt ballspill

Ved 1,2 m senkning av rekreasjonsbasseng og forsøk over lukket renne.

Tabell 19 - Forsøk 2, resultater ved aktivitet i basseng og ventilasjon på – dybde 1,2 m

Tid [min]	Dry bulb temperature [°C]		Wet bulb temperature [°C]		RH [%]	Vanninnhold [g/kg]	
	Renne	Rom	Renne	Rom		Renne	Rom
5	32,0 °C	31,6 °C	29,2 °C	23,7 °C	81,4%	24,8 g/kg	13,7 g/kg
10	32,0 °C	31,3 °C	29,2 °C	23,6 °C	81,4%	24,8 g/kg	13,4 g/kg
15	32,0 °C	32,1 °C	29,2 °C	23,4 °C	81,4%	24,8 g/kg	13,2 g/kg
25	31,0 °C	32,5 °C	29,2 °C	23,9 °C	87,6%	25,3 g/kg	16,0 g/kg
30	31,7 °C	32,9 °C	25,1 °C	24,2 °C	59,0%	17,5 g/kg	16,3 g/kg
35	31,7 °C	32,9 °C	25,1 °C	24,0 °C	59,0%	17,5 g/kg	14,0 g/kg
40	32,7 °C	32,8 °C	25,1 °C	24,2 °C	54,5 %	17,1 g/kg	15,6 g/kg

Tabell 20 - Forsøk 2, scenario 3. Avlesning Menerga-aggregat

	Tilluft	Avtrekk	Vann
Luft temperatur [°C]	34,9 °C	32,1 °C	32 °C
Relativ fuktighet [%]	-	59,0 %	-
Sett-verdi fuktighet [%]	-	54,0 %	-
Luftstrøm i driftstid [m ³ /h]	9030 m ³ /h	9520 m ³ /h	-
Avfukting [kg/h]	-	53,4 kg/h	-



Figur 29 - Avlesning avfukting Menerga, scenario 2.
Foto: Ole B. Brueng

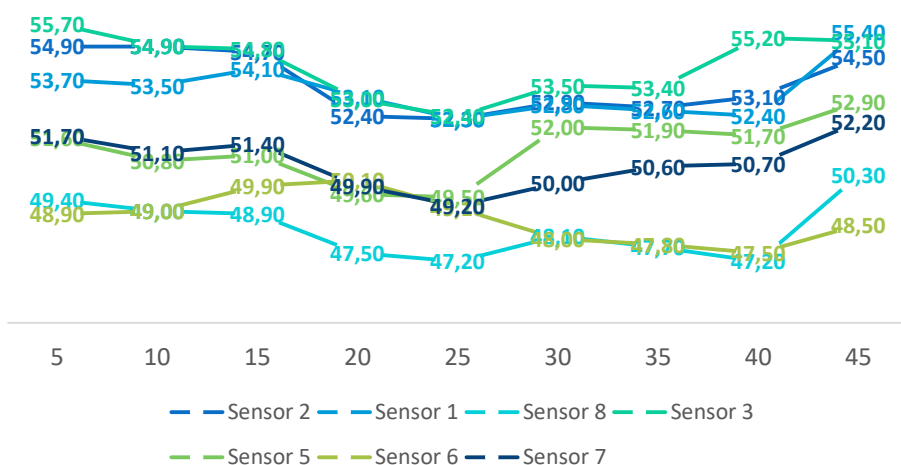


Figur 28 - Avlesning avfukting Menerga, scenario 3.
Foto: Ole B. Brueng

Tabell 21 og Tabell 22 presenterer luftfuktighet og temperatur under forsøk 2. Resultatet er hentet fra scenario 3, men viser samme trend i de andre scenarioene. Verdiene er logget fra inneklimasensorene som ble hengt opp over bassenget(Vedlegg B). Plassering av sensorene er vist i kap. 4.2.1

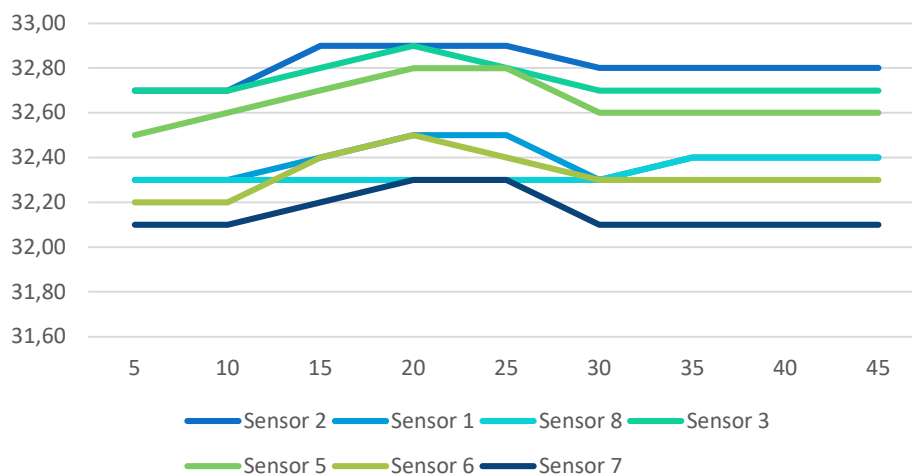
Tabell 21 - Temp-Log fra inneklimasensorer under forsøk 2

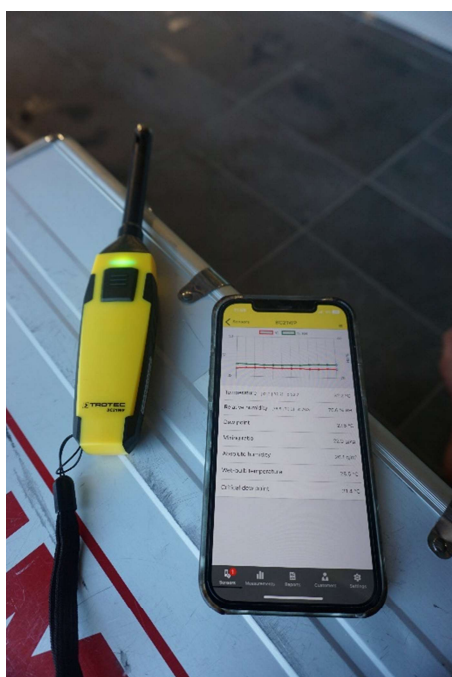
RELATIV FUKTIGHET - FORSØK 2, SCENARIO 3



Tabell 22 - RH-Log fra inneklimasensorer under forsøk 2

TEMPERATUR - FORSØK 2, SCENARIO 3

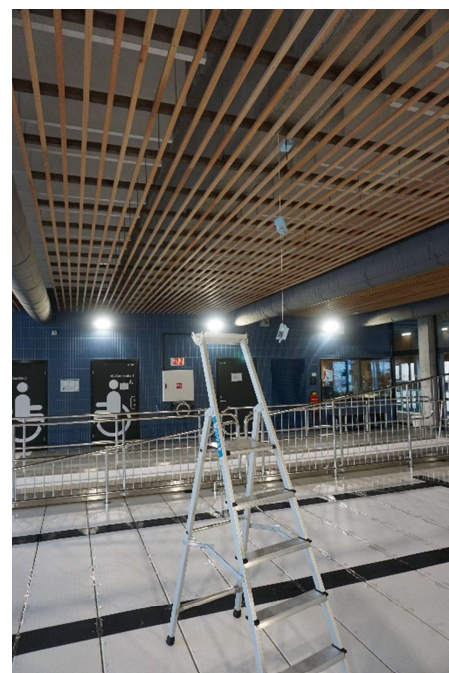




Figur 32 - Trotec-håndholdt måler.
Foto: Ole B. Brueng



Figur 30 - Trotec-håndholdt måler.
SS: Ole B. Brueng



Figur 31 - Rigg av sensorer for logging.
Foto: Ole B. Brueng

Forøk 2, med ny testrigg ga bedre målinger. Ny testrigg, i tillegg til åpen renne, førte til at luften ikke ble 100 % mettet luft som i forsøk 1.

5.3.3 Oppsummering feltforsøk

Tabell 23 nedenfor viser oppsummering av resultatet fra feltforsøk 2 i Åfjord. Siden feltforsøk 1 med lukket renne og innsnevret testrigg ga 100 % mettet luft, og dermed ikke målbart vanninnhold, ble det valgt å forkaste forsøk 1 til fordel for forsøk 2.

Lufthastigheten ble forsøkt målt med KIMO i utløpet av testriggen. Da lufthastigheten er utfordrende å måle, og KIMO-apparatet i tillegg har stor unøyaktighet (Appendix B) er det valgt å sammenligne med hastigheten som kommer av oppdriftskreftene i testriggen. Lufthastigheten som kommer av temperaturdifferanse i testriggen ble kalkulert med ligning (9), ref. kap. 4.4.4.

Tabell 23 - Oppsummering målinger fra feltforsøk

Scenario	Lufthastighet KIMO [m/s]	Lufthastighet Oppdrift [m/s]	Snitt Spesifikk luftfuktighet [g/kg]
1. Stille basseng, ventilasjon av	0,21	0,05	28,27
2. Stille basseng, ventilasjon på	0,25	0,05	23,2
3. Aktivitet i basseng, ventilasjon på	0,22	0,05	21,7

For å fremme usikkerheten rundt målte lufthastigheter ble fordunstingsmengden beregnet med ulike lufthastigheter. Først med den målte hastigheten fra KIMO-apparatet, så med beregnet oppdriftshastighet. Tabell 24 viser hvor stor hastigheten har på fordunstingsmengden.

Tabell 24 - Oppsummering beregninger fra feltforsøk

Scenario	Snitt Fordunsting Hastighet KIMO [kg/h m ²]	Snitt Fordunsting Hastighet Oppdrift [kg/h m ²]	Fordunsting Pr. 12m ² overløpsrenne [kg/h]	Fordunsting Pr. 12m ² overløpsrenne [kg/h]	Avfukting menerga [kg/h]
4. Stille basseng, ventilasjon av	3,14	0,74	37,76	8,99	Vent. av
5. Stille basseng, ventilasjon på	3,06	0,61	36,83	7,37	43,3
6. Aktivitet i basseng, ventilasjon på	2,52	0,57	30,34	6,90	53,4

6 Diskusjon

Kapittel 6 er en åpen drøfting av fremgangsmåte, forventninger, resultater, usikkerheter i forsøket og usikkerheters påvirkning, og en samlet vurdering av resultatet og hypotesen som er utgangspunktet for oppgaven.

Støttelitteratur på fordampning og målinger av fordampningsmengde ble grunnlaget inn mot feltforsøket i Åfjorden. Og få tilpasset en rigg som kunne benyttes til punktmåling over overløpsrenna ble til via testing over badekar hjemme og en runde i Åfjord, før vi til slutt fikk en rigg som ga troverdige måleresultater. Som presentert under resultater i kap. 5.3.1 ble det under forsøk 1 målt 100 % mett luft over målområdet, dermed ingen måltall på vanninnholdet i lufta over målområdet som kunne benyttes videre. Forsøk 1 ble derfor forkastet og erstattet med forsøk 2, med ny testrigg som ga troverdige tall på fuktighetsgrad og mål på vanninnhold i lufta.

Det har gjennom forsøksperioden vært knyttet en del usikkerhet til målenøyaktigheten. For å utelukke usikkerhet er det forsøkt målt parallelt med håndholdte apparater i tillegg til støtteberegninger og input i fuktighetskalkulator – *Munters PsychroAPP*. Noe usikkerhet har det allikevel vært knyttet til luftstrømmer og lufthastigheter i målområdet. Selve lufthastigheten er utfordrende å måle, og det er forsøkt målt med Håndholdt KIMO over målepunktet. På grunna av usikkerheten ble det valgt å se nærmere på hastigheten og påvirkningen den har på fordampningsmengden. Testriggen har fire lukkede sider, og har målepunktet sentrert. Rigger er dermed isolert for ytre påvirkning av luftstrømmer fra ventilasjon. Ved å betrakte testriggen som lukket har den kun naturlig konveksjon som kommer av damptrykket. Hastigheten som kommer av temperaturforskjellen og damptrykket ble beregnet med formel (9). Resultatet av hastighetene og utslaget hastighetene påfører fordampningsberegningene er vist i Tabell 24. Resultatet viser at hastigheten har stor innvirkning på mengden fordampning. Siden KIMO-apparatet har målenøyaktighet på 0,1 m/s (Appendix B), og det var utfordrende og måle med apparatet over selve målepunktet i riggen, er det valgt å gå videre med oppdriftshastigheten. Rigger er lukket og fordampningsmengden oppdriftshastigheten gir er mere reell sammenlignet med teoretiske beregninger fra Tabell 10.

Overløpsrenna er betraktet som todimensjonal i sammenligning med fordampningsberegningene utført fra bassengflaten. Det finnes mange forskjellige renne-geometrier både i flis- og stål basseng. Her er det flere faktorer som spiller inn på fordampningsmengden fra renna. Enkelte renner har terskel mellom renne og basseng, mens i Åfjord er det stålrenner med horisontal overløp. Man har også rettkantede renner som skaper vannfall, mot vinklede innervegger som gir finere vannstrøm. Dette er noen av detaljene som bidrar til turbulent strømming og økt bidrag av aerosoler til omgivelsene.

Målt fordampning fra Overløpsrenna ved opplæringsbassenget i Åfjord ga et resultat mellom 0,57, 0,61 og 0,74 kg/h pr. m² etter tre valgte scenario, ref. kap. 4.2.2. Vurdert todimensjonalt mot antall kvadratrenne, ga dette et totalt bidrag fra overløpsrenna på 6,9, 7,37 og 8,99 kg/h pr. 12 m² renne. Sett i sammenheng mot de teoretiske fordampningsmengdene fra bassengflaten oppsummert i Tabell 10, er overløpsrennas bidrag overaskende høyt. Ser man overløpsrenna i tredimensjonal geometri derimot, der tre sider er vannførende, avrenning/drypp fra rist og vannavrenning fra tverrgående stag, får man fire våte flater i tillegg til stor andel vannavrenning som produserer aerosoler. Med fire sider i betraktningen gir dette 48 m² renne, i tillegg kommer tverrgående stag og andelen som fordampes pga. drypp og turbulent strømning. Summen av dette gjør at målt andel fra overløpsrenna fremstår som troverdig sammenlignet med de teoretiske beregningen. Det må bemerkes at resultatene er leverandørspesifikk til overløpsrenna i Åfjord.



Figur 33 - Overløpsrenne Åfjord
(Foto: Ole B. Brueng)

Til spørsmålet fra hypotesen i kap. 1.3, «Hvor stor er fordampningsandelen fra overløpsrenna?». Resultatet av fordampningsandelen presentert i Tabell 23 viser at dette er en betydelig andel sammenlignet med andelen som stammer fra bassenget. Andelen som er målt i Åfjord viser at fordampningen fra renna bør være en sentral faktor i fordampningsberegningen og ikke bare et prosentpåslag.

Utover fordampningsmengden fra overløpsrenna er måleresultatene fra de ulike scenarioene (ref. kap. 4.2.2) noe overraskende. De teoretiske beregningene støtter resultater vist i andre studier (Smedegård et. al., 2022) der ventilasjon og ventilasjonshastighet bidrar til økt fordampning fra vannflaten. Det samme gjør aktivitetsnivået som forårsaker bølger og spruting av vann. Resultatene i Åfjorden viser det motsatte, med laveste målte fordampning ved forstyrret vannspeil med 10 badende. Dette samsvarer ikke til forventningene fra fordampningslitteraturen og de teoretiske beregningene. Resultatet besvarer hypotesen om at renna har et stort bidrag, men videre testing mot de ulike scenarioene hadde vært interessant for å kvantifisere ventilasjon- og aktivitetsnivåets bidrag.

Tabell 25 - Sammenligning målte resultater og teori.

Scenario	Fordunsting Pr. 12m ² overløpsrenne [kg/h]	Snitt teoretiske beregninger [kg/h]	Avfukting Menerga [kg/h]
7. Stille basseng, ventilasjon av	9,0	24,1	Vent. av
8. Stille basseng, ventilasjon på	7,4	31,3	43,3
9. Aktivitet i basseng, ventilasjon på	7,0	36,0	53,4

7 Konklusjon

Formålet med oppgaven var å beskrive overløpsrennas bidrag i fuktregnskapet og fremme en vurdering knyttet til behovet for ny praksis for dimensjonering av ventilasjon i svømmehaller. For å etterprøve dagens beregningsmetoder og konstatere overløpsrennas bidrag ble kjente teoretiske beregninger sammenlignet med feltmålinger fra opplæringsbassenget i Åfjord Svømmehall.

De valgte teoretiske metodene er kjente beregningsmetoder med støttelitteratur vist i kap. 2.8. Flere av metodene er etterprøvd og korrigert, og disse viser troverdige resultater når det gjelder fordampningen innenfor bassengflaten. Det er mindre tilgjengelig litteratur på fordampningsmengde fra overløpsrenner og randsoner rundt bassengflater. For å hensynta fordampning fra renna og gulvflatene rundt som skyldes avrenning fra badende er det i mange tilfeller benyttet prosentpåslag eller samme fordunstningstall avgitt fra bassengflaten. Som oppgaveteksten etterspør, det er for å fremme bidraget fra randsonene.

Resultatene i rapporten beviser at overløpsrennas bidrag har en betydelig andel sammenlignet med fordampningen fra bassengflaten. De teoretiske beregningene av bassengflatene oppsummert i Tabell 10, viser at snittet av beregningsmetodene er omtrent halvparten av total avfuktet mengde avlest via Menerga-aggregatet under samme scenario. Andelen fordampningsmengde fra overløpsrenna er derfor såpass stor at overløpsrenna bør ha en sentral faktor i fordampningsberegningene, og ikke bare være et prosentpåslag. Litteraturen og beregningsmetodene som benyttes tar i stor grad hensyn til aktivitetsfaktorer og fordampning som skyldes attraksjoner, men det bør sees videre på et element til i beregningene som tar hensyn til renna og rennas geometri for å kunne kalkulere total fordampningsmengde.

7.1 Fremtidig arbeid

I studiet fra Åfjord er det vist at overløpsrenna har stor betydning i fuktregnskapet. I videre arbeid knyttet til fordampning og overløpsrennas bidrag ville det vært interessant med flere feltforsøk for å kvantifisere resultatene. I tillegg er forsøket i Åfjord leverandørs spesifikt. I videre forsøk kunne det vært interessant å sett på sammenhengen mellom overløpsrennas geometri og andelen avfuktning.

8 Referanser

- Byggforsk. (2003, høst). 552.315. Hentet fra 552.315 Ventilasjon og avfukting i svømmehaller og rom med svømmebasseng: https://www-byggforsk.no.ezproxy.oslomet.no/dokument/534/ventilasjon_og_avfukting_i_svoemmehaller_og_rom_med_svoemmebasseng
- Byggforsk. (421.501). *Byggforsk - 421.501*. Hentet fra 421.501 Termisk inneklima. Betingelser, tilrettelegging og målinger: https://www.byggforsk.no%2fdokument%2f193%2ftermisk_inneklima_betingelser_tilrettelegging_og_maalinger
- Bøhlerengen, T. (2004). *Bade- og svømmeanlegg*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- FHI. (2012, 07 23). *Folkehelseinstituttet*. Hentet fra FHI: <https://www.fhi.no/ml/miljo/inneklima/artikler-inneklima-og-helseplager/temperatur-fukt-og-trekk-er-viktig-/>
- Hanssen og Mathisen. (1990). *Evaporation from swimming pools*. Trondheim.
- Ingebrigtsen, S. (2019). Ventilasjonsteknikk Del 1. I S. Ingebrigtsen, *Ventilasjonsteknikk Del 1* (s. 503). Oslo.
- Ingebrigtsen, S. (2019). Ventilasjonsteknikk Del 1. I S. Ingebrigtsen, *Ventilasjonsteknikk Del 1* (s. 503). Oslo. Hentet fra Kompetansebiblioteket: https://kompetansebiblioteket.no/Ventilasjonsteknikk%20Del%20I/3%20Fuktig%20luft/3_2%20Diagram%20for%20fuktig%20luft%20Mollierdiagram.aspx
- K. Romberg m.fl. (2010). *Asthma is more prevalent in elite swimming adolescents despite better mental and physical health*. Sverige.
- Meland, Svein Inge. (2022, 03 27). *Byggindustrien*. Hentet fra www.bygg.no: <https://www.bygg.no/aktivitetshus-i-afjord/1507854/>
- Mirza Mohammed Shah, P. P. (2014). Methods for Calculation of Evaporation from Swimming Pools and Other Water Surfaces. *ASHRAE*, s. 16.
- Norges Svømmeforbund. (2022). *Svømmeidrett og svømmeanlegg i Nore*. Hentet fra Norges Svømmeforbund: <https://svomming.no/nsf-eldre-web/svommeidrett-og-svommeanlegg-i-norge/>
- Ole Øiene Smedegård, B. A. (2022). *Measurement and Analysis of Evaporation in Indoor Swimming Pools*.
- Skåret, E. (2000). Ventilasjonsteknisk håndbok – Håndbok 48. I E. Skåret, *Ventilasjonsteknisk håndbok*.
- Smedegård et. al. (2022). *Measurement and Analysis of Evaporation in Indoor Swimming Pools*.
- Statistisk sentralbyrå. (u.d.). Hentet fra Statistisk sentralbyrå: <https://www.ssb.no/kommunefakta/afjord>
- Stensaas, L. I. (1998). Ventilasjonsteknikk 1. I L. I. Stensaas, *Grunnlaget og systemer* (s. 481). Oslo: Skarland Press.
- Szafran, P. (2022). *Process with Pat*. Hentet fra Process with Pat: <https://www.youtube.com/watch?v=EIJeJcLun7Y>
- Thue, J. V. (2016). *Bygningsfysikk - grunnlag*. Vigmostad & Bjørke AS.
- Westerlund og Johansson. (2001). *Energy savings in indoor swimming-pools: comparison between different heat-recovery systems*.
- Yunus Cengel et. al. (2019). *THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH*. McGraw-Hill Education.
- Åfjord Kommune, Å. (2023, Mars 17). *Facebook/Åfjord Kommune*. Hentet fra Facebook/Åfjord Kommune: https://www.facebook.com/afjordkommune/?locale2=es_LA&paipv=0&eav=AfanLQ0u2W7L0E9glz7IxfVcVEYrLkoylz-Tdc31funb1oA8VkitqYk6jsaNkh6OENY&_rdr

Appendix

A. Beregning sentrale data – Åfjord Svømmehall

Beregner damptrykk, p_w og p_a [kPa]:

p_w - Mettet damptrykk ved overflaten ($T=30\text{ °C}/RH\ 100\ \%$)

Bennytter Magnus-tetens ligning

$$e = 0.61078 * \exp(17.2694 * T / (T + 237.3))$$

$$e = 0.61078 * \exp(17.2694 * 30 / (30 + 237.3)) = \mathbf{4.246\ kPa} - \text{Mettet vanndamptrykk ved } 30\text{ °C}$$

p_a - Mettet damptrykk i rommet ($T=32\text{ °C}/RH\ 45\ \%$):

Bennytter Magnus-tetens ligning

$$e = 0.61078 * \exp(17.2694 * T / (T + 237.3))$$

$$e = 0.61078 * \exp(17.2694 * 32 / (32 + 237.3)) = 4.834\ kPa \text{ Mettet vanndamptrykk ved } 32\text{ °C}$$

$$e = 0.45 * 4.834\ kPa = \mathbf{2.175\ kPa} \quad \text{vanndamptrykk ved } 30\text{ °C og } RH = 45\ \%$$

Magnus-Tetens-ligningen som en tilnærming til mettet vanndampstrykk ved forskjellige temperaturer.

Beregner spesifikk luftfuktighet W_r og W_w [kg fuktighet/kg luft]

Spesifikk luftfuktighet ved vannoverflaten, 30 °C , $RH = 100\ \%$ og 1 atm :

$$W_w = 0.622 * (e / (p - e))$$

$$W_w = 0.622 * (4.246\ kPa / (101.325\ kPa - 4.246\ kPa)) = \mathbf{0.0272\ kg\ vanndamp / kg\ tørr\ luft.}$$

Spesifikk luftfuktighet i rommet, 32 °C , $RH = 45\ \%$ og 1 atm :

$$W_w = 0.622 * (e / (p - e))$$

$$W_w = 0.622 * (2.175\ kPa / (101.325\ kPa - 2.175\ kPa)) = \mathbf{0.015\ kg\ vanndamp / kg\ tørr\ luft.}$$

Tettheten i rommet og ved vannoverflaten, ρ_r og ρ_w Beregner ρ_w [kg/m³]

Ideel gasslov:

$$pV = nRT \rightarrow \rho = (n * M) / V$$

Finner totalt trykk: Mettet vanndampstrykk og trykket ved 1 atm:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{dry}} + P_v$$

$$P_{\text{total}} = 101.325 \text{ kPa} + 4.243 \text{ kPa} = 105.568 \text{ kPa}$$

$$PV = nRT \rightarrow V = (nRT) / P$$

Finner volumet, antar 1 mol luft har masse 28,97 g

$$V = (1 \text{ mol} * 8.314 \text{ J}/(\text{mol} * \text{K}) * (30 + 273.15) \text{ K}) / (105.568 \text{ kPa} * 1000 \text{ Pa/kPa}) = 0.0248 \text{ m}^3/\text{mol}$$

Finner så tettheten ρ_w - Over vannoverflaten

$$\rho = (n * M) / V = (1 \text{ mol} * 28.97 \text{ g/mol}) / (0.0248 \text{ m}^3/\text{mol}) = \mathbf{1.168 \text{ kg/m}^3}$$

Beregner ρ_w [kg/m³]

$$P_{\text{total}} = P_{\text{dry}} + P_v$$

$$P_v = 4.243 \text{ kPa} \quad - \text{ vanndampstrykk}$$

$$P_w = RH * P_v = 0.45 * 4.243 \text{ kPa} = 1.909 \text{ kPa}$$

Finner det total trykket:

$$P_{\text{total}} = 101.325 \text{ kPa} + 1.909 \text{ kPa} = 103.234 \text{ kPa}$$

$$PV = nRT \rightarrow V = (nRT) / P$$

Finner volumet, antar 1 mol luft har masse 28,97g

$$V = (1 \text{ mol} * 8.314 \text{ J}/(\text{mol} * \text{K}) * (32 + 273.15) \text{ K}) / (103.234 \text{ kPa} * 1000 \text{ Pa/kPa}) = 0.0245 \text{ m}^3/\text{mol}$$

Nå kan vi finne tettheten i rommet:

$$\rho = (n * M) / V = (1 \text{ mol} * 28.97 \text{ g/mol}) / (0.0245 \text{ m}^3/\text{mol}) = \mathbf{1.184 \text{ kg/m}^3}$$

Beregnet lufthastighet over testrigg - Forsøk 2:

$$v = 0,12 \cdot [4 \cdot (1 - RH/100) - (t_r - t_o)] \quad [\text{m/s}]$$

v = Lufthastighet [m/s]

RH = Relativfuktighet i rommet [%]

T_r = Lufttemperatur i rommet [°C]

T_o = Temperatur i bassenget [°C]

$$v = 0,12 \cdot [4 \cdot (1 - RH/100) - (t_r - t_o)]$$

$$v = 0,12 \cdot [4 \cdot (1 - 45/100) - (32 - 30)] = \mathbf{0,05 \text{ m/s}}$$

A. Beregningsmetoder fordampning

Beregning av nødvendig avfuktningskapasitet - ASHRAE

$$\dot{m}_{\text{evap}} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot A_{\text{pool}} \cdot F_{\text{act}} \cdot (p_w - p_a)$$

\dot{m}_{evap} = Fordampingshastighet [kg/s]

A_{pool} = Bassengstørrelse [m^2]

F_{act} = Aktivitetsfaktor

p_w = Mettet damptrykk ved overflaten [kPa]

p_a = Mettet damptrykk i rommet [kPa]

Bassengstørrelse opplæringsbasseng: 12,7m x 9,8m = 124,56 m^2

Aktivitetsfaktor: F_{act} = ref. Tabell 3

Mettet damptrykk ved overflaten (T = 30,0 °C): p_w = 4,23 [kPa]

Mettet damptrykk i rommet (T = 32,0 °C): p_a = 2,62 [kPa]

Fordampningshastigheten basert på Ashrae-ligning:

$F_{\text{act= Therapy}} = 0,5$

$$\dot{m}_{\text{evap}} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot 124,56 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \cdot (4,246 - 2,62) = 0,005260 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{evap}} = 0,00526 \text{ kg/s} \sim \mathbf{18,94 \text{ kg/h}}$$

$F_{\text{act= Therapy}} = 0,65$

$$\dot{m}_{\text{evap}} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot 124,56 \text{ m}^2 \cdot 0,65 \cdot (4,246 - 2,62) = 0,005266 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{\text{evap}} = 0,005266 \text{ kg/s} \sim \mathbf{18,96 \text{ kg/h}}$$

$F_{act} = \text{public, schools} = 1$

$$\dot{m}_{evap} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot 124,56 \text{ m}^2 \cdot 1 \cdot (4,246 - 2,62) = 0,00810 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{evap} = 0,00810 \text{ kg/s} \sim \mathbf{29,2 \text{ kg/h}}$$

Beregning av nødvendig avfuktningskapasitet - VDI 2089

Beregning av fordampningsmengde uten aktivitet i bassenget:

$$\dot{M}_{D,B,u/b} = \frac{\beta_{u/b}}{R_D \cdot \bar{T}} \cdot (p_{D,W} - p_{D,L}) \cdot A_B$$

$\dot{M}_{D,B,u/b}$ = Fordampning fra bassengoverflaten uten aktivitet [kg/h]

β_u / β_b = Vannoverføringskoeffisient, Tabell 11

R_d = Gasskonstant vanndamp, $R_D = 461,52 \text{ J/kgK}$

\bar{T} = Aritmetisk gjennomsnitt av vann- og lufttemperatur

$p_{D,W}$ = Metningstrykk vanndamp [Pa]

$p_{D,L}$ = Vanndamptrykket til omgivelsestemperaturen [Pa]

A_B = Arealet av bassengoverflaten [m^2]

$$\dot{M}_{D,B,u/b} = \frac{7}{461,52 \text{ J/kgK} \cdot (305+3)/2} \cdot (4246 - 1168) \cdot 124,56 \text{ m}^2 = \mathbf{19,13 \text{ kg/h}}$$

Beregning av fordampningsmengde ved aktivitet i basseng:

$$\dot{M}_{D,B+A,b} = \frac{\beta_{b,ges}}{R_D \cdot \bar{T}} \cdot (p_{D,W} - p_{D,L}) \cdot A_B \cdot \dot{M}_{D,L}$$

$\dot{M}_{D,B,u + A,u}$ = Fordampning fra bassengoverflaten med aktivitet [kg/h]

$\beta_{g,ges}$ = Fordampning fra bassengoverflaten uten aktivitet [m/h]

$\dot{M}_{D,L}$ = Vanndamputslipp fra attraksjoner med luftinjeksjon i vannstrømmen [kg/h]

$$\dot{M}_{D,L} = \dot{M}_L \cdot (x_{D,W} - x_{D,L})$$

$\dot{M}_{D,L}$ = Vanndamputslipp fra attraksjoner med luftinjeksjon i vannstrømmen [kg/h]

\dot{M}_L = Luftinjeksjon – massestrøm [kg/h]

$X_{D,W}$ = vanndampinnhold i luftinjeksjonen [kg/kg]

$X_{D,L}$ = vanndampinnhold i rommet [kg/kg]

Ingen vanndamputslipp fra attraksjoner siden vi ikke har sklier eller annen aktiviteter ved opplæringsbassenget i Åfjorden - $\dot{M}_{D,L}$ settes lik 1.

$$\dot{M}_{D,B,u + A,u} = \frac{40}{461,52 \text{ kJ/KgK} \cdot (305+303)/2} \cdot (4246 - 1168) \cdot 124,56 \text{ m}^2 \cdot 1 = 109 \text{ kg/h}$$

Beregning av nødvendig avfuktningskapasitet - Shah 2012

E = Fordampningshastighet pr. m^2 [kg/($\text{m}^2 \cdot \text{h}$)]

C = Koeffisient

ρ_r = Tetthet i rommet [kg/ m^3]

ρ_w = Tetthet ved vannoverflaten [kg/ m^3]

W_r = Spesifikk luftfuktighet i rommet [kg fuktighet/kg luft]

W_w = Spesifikk luftfuktighet ved vannoverflaten [kg fuktighet/kg luft]

Fordampning fra uforstyrret vannoverflate - naturlig konveksjon

$$E = C_{\rho w} (\rho_r - \rho_w)^{1/3} (W_w - W_r)$$

$$C = 35 \text{ for } (\rho_r - \rho_w) > 0.02$$

$$C = 40 \text{ for } (\rho_r - \rho_w) \leq 0.02$$

$$\Delta\rho = (\rho_r - \rho_w)$$

$$\Delta\rho = (1,168 - 1,146) = 0,022 \rightarrow \Delta\rho > 0.02 \rightarrow C = 35$$

$$E = C_{\rho_w} \cdot (\rho_r - \rho_w) 1/3 \cdot (W_w - W_r)$$

$$E = 35 \cdot 1,146 \cdot (1,168 - 1,146) 1/3 \cdot (0,0272 - 0,0152) = 0,135 [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

$$\text{Fordampning ved } A[\text{m}^2] = 124,56 \text{ m}^2$$

$$0,135 [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})] \cdot 124,56 \text{ m}^2 = \mathbf{16,80 \text{ kg/h}}$$

Fordampning fra uforstyrret vannoverflate - Luftstrøm/ventilasjon

$$E_0 = b \cdot (p_w - p_r)$$

$$b = 0.00005$$

$$E_0 = b \cdot (p_w - p_r)$$

$$E_0 = 0,00005 \cdot (4246 - 1168) = 0,1539 [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

$$\text{Fordampning ved } A[\text{m}^2] = 124,56 \text{ m}^2$$

$$0,1539 [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})] \cdot 124,56 \text{ m}^2 = \mathbf{19,17 \text{ kg/h}}$$

Fordampning med bakgrunn i okkupert basseng – 10 personer:

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

$$\text{For } N^* \geq 0.05$$

$$E_{occ} = \text{Fordampningshastighet ved aktivitet i bassenget} [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

$$E_0 = \text{Fordampningshastighet ved uforstyrret vannflate} [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

N=10 personer (Samme antall som ved testforsøk ved Åfjord Svømmehall)

$$N^* = 10/124,56 \text{ m}^2 = 0,0803 \rightarrow N^* \geq 0.05$$

$$E_{occ} / E_0 = 1.9 - 21 \cdot (1,168 - 1,146) + 5.3 \cdot 0,0803 = 1,864 \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{h)]}$$

Fordampning ved naturlig konveksjon – Ventilasjon av:

$$E_{occ} / E_0 = 1,864 \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{h)]}, E_0 = 0,135 \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{h)]}$$

$$E_{occ} = 1,864 \cdot 0,135 = 0,252 \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{h)]}$$

$$A[\text{m}^2] = 124,56 \text{ m}^2$$

$$0,252 \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{h)]} \cdot 124,56 \text{ m}^2 = \mathbf{31,3 \text{ kg/h}}$$

Fordampning ved påvirkning av luftstrømmer – Ventilasjon på:

$$E_{occ} / E_0 = 1,864 \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{h)]}, E_0 = 0,1539 \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{h)]}$$

$$E_{occ} = 1,864 \cdot 0,1539 = 0,287 \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{h)]}$$

$$A[\text{m}^2] = 124,56 \text{ m}^2$$

$$0,287 \text{ [kg/(m}^2 \cdot \text{h)]} \cdot 124,56 \text{ m}^2 = \mathbf{35,7 \text{ kg/h}}$$

Beregning av fordunsting – Stensaas(1998)

Beregning av fordunsting basert med betraktning av at lufta like ved grenseflata er mettet og at luftas metningstrykk tilsvarener vannets overflatetemperatur:

$$q_v = \sigma \cdot (x_{vo} - x)$$

q_v = Fordunstet vannmengde [kg/(h · m²)]

σ = Fordunstingstallet [kg tørr luft/(s · m² væskeoverflate)]

x = Luftas fuktighetsgrad [kg/ kg tørr luft]

x_{vo} = Luftas fuktighetsgrad ved metning ved en temperatur lik vannets overflatetemperatur

Fordunstingstallet gitt ved Sprengers formel:

$\sigma = 25 + 19 \cdot w$ [kg/(h · m²)], ved hastighet $w=0,15$ m/s over vannflaten.

$$\sigma = \underline{27,9} \text{ [kg/(h · m}^2\text{)]}$$

Fordunstingstallet gitt ved formler for tvungen strømming lang flate og konveksjon

$\alpha_k = 6,2 + 4,2 \cdot w$, der hastigheten $w \leq 5$ m/s [$w/m^2 \cdot k$]

$$\alpha_k = 6,2 + 4,2 \cdot 0,15 = 6,8 \text{ W/m}^2 \cdot k$$

$$\sigma = 6,8/1005 = 0,00677 \text{ kg/s} \cdot m^2 = \underline{24,4} \text{ kg/(h} \cdot m^2\text{)}$$

Fordunstet vannmengde:

$$q_v = \sigma \cdot (x_{vo} - x)$$

x (32°C, 45%RH) = 0,0152 kg fuktighet/kg luft

x_{vo} (30°C, 100%RH) = 0,0272 kg fuktighet/kg luft

$$\text{Ved } \sigma_{\text{Sprengers}} = q_v = 27,9 \cdot (0,0272 - 0,0152) \cdot 124,56 = \underline{41,7} \text{ kg/h}$$

$$\text{Ved } \sigma_{\text{konv}} = q_v = 24,4 \cdot (0,0272 - 0,0152) \cdot 124,56 = \underline{36,5} \text{ kg/h}$$

Beregning av nødvendig avfuktningskapasitet - Hanssen og Mathisen 1990

Beregnet fordunsting i svømmehall uten personbelastning (Hanssen og Mathisen, 1990).

$$\dot{m} = 108 \cdot \left(\sqrt{u^2 + w^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot (e^{0,06t_w} - e^{0,06t_r})$$

u = Lufthastighet, densitetshastighet på grunn av tetthetsforskjell mellom tørr og fuktig luft

w = hastighet over basseng på grunn av innblåsningsluftens impuls [m/s]

t_w = vannets temperatur [°C]

φ = relativ fuktighet i rommet

T_r = Lufttemperatur i rommet [°C]

T_w = Temperatur i bassenget [°C]

Oppdriftskrefter som kommer tetthetsforskjellen mellom luften i rommet og luften ved bassengoverflaten:

$$u = 0,12 \cdot (4 \cdot (1 - \varphi) - \Delta T)^{0,5} \text{ [m/s]}$$

$$u = 0,12 \cdot (4 \cdot (1 - 0,45) - (32-30))^{0,5} = 0,05 \text{ [m/s]}$$

Lufthastigheten w , en hastighet langs vannflaten som ligger i grensesjiktet.

En hastighet som er utfordrende å påvise eller måle, ligger i normaltillfeller mellom 0,1 og 0,3 m/s.

$$\dot{m}_{Basseng} = 108 \cdot \left(\sqrt{u^2 + w^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot (e^{0,06t_w} - \varphi \cdot e^{0,06t_r})$$

$$\dot{m}_{Basseng} = 108 \cdot \left(\sqrt{0,05^2 + 0,2^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot (e^{0,06 \cdot 32} - 0,45 \cdot e^{0,06 \cdot 30}) = 261,49 \text{ [g/h m}^2\text{]} \sim 0,261 \text{ [kg/h m}^2\text{]}$$

Fordunsting uten personbelastning ved: $A[\text{m}^2] = 124,56 \text{ m}^2$

$$0,261 \text{ [kg/(m}^2 \text{ h)]} \cdot 124,56 \text{ m}^2 = \mathbf{32,6 \text{ kg/h}}$$

Hovedformel fra Mathisen -1990 kan benyttes med en forstørrelsesfaktor der man finner total fordunstning, da fordunstning fra basseng, sprut og fra personer i badet som har fuktige kroppsedeler over vannoverflaten.

$$\dot{M} = \dot{m}_{basseng} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot \text{Antall personer}}{A_{basseng}} \right) + \frac{A_{gulv}}{A_{basseng}} \cdot \dot{m}_{gulv}$$

$\dot{m}_{basseng}$ = Fordunstning fra bassengoverflate [g/h m²]

\dot{m}_{gulv} = Fordunstning fra fuktet gulv [g/h m²]

$A_{basseng}$ = Bassengareal [m²]

A_{gulv} = Fuktet gulvareal [m²]

Ved \dot{m}_{gulv} settes t_{gulv} og t_w lik temperaturen i rommet.

$$\dot{m}_{Gulv} = 108 \cdot \left(\sqrt{0,05^2 + 0,2^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot (e^{0,06 \cdot 30} - 0,45 \cdot e^{0,06 \cdot 30}) = 239,35 \text{ g/h m}^2 \sim 0,239 \text{ kg/h m}^2$$

$$A_{Basseng} = 124,56 \text{ m}^2$$

$$A_{Gulv} = 130,58 \text{ m}^2$$

$$\dot{M} = 261,49 \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot 10}{124,56} \right) + \frac{130,58}{124,56} \cdot 239,35 = 522,90 \text{ g/h m}^2 \text{ basseng}$$

Fordunsting basseng- og gulvareal: $A[\text{m}^2] = 124,56 \text{ m}^2$

$$0,5229[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})] \cdot 124,56 \text{ m}^2 = \mathbf{65 \text{ kg/h}}$$

Beregninger basert på forsøk 2 – Fordampningsmengde kg/h:**Kalkulert med målt hastighet fra KIMO, $v=0,25$ m/s****Beregning av spesifikk fuktighet [g/kg] til fordampningsmengde [kg/h] ved scenario 1:**

1. Luftmengden over testtriggen ut fra målte lufthastigheter:

$$V[\text{m}^3/\text{s}] = (0,35 \cdot 0,35) \text{ m}^2 \cdot 0,25 \text{ m/s} = 0,031 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Mengden tørrluft som strømmer over arealet per sekund ved å multiplisere luftstrømmen med tettheten av luft ved standard temperatur og trykk [$1,2 \text{ kg/m}^3$]:

$$m_{\text{tørr}} = 0,031 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 = 0,036 \text{ kg/s}$$

3. Beregne vanndampstrømmen ved å multiplisere mengden av tørrluft per sekund med spesifikk fuktighet av luften:

$$E = 0,036 \text{ kg/s} \cdot 28,27 \text{ g vanndamp/kg tørrluft} / 1000 \cdot 3600 \text{ s/h} = \mathbf{3,74 \text{ kg/h}}$$

3,74 kg/h over testtriggen med tverrsnitt 0,35 m x 0,35 m**Beregning av spesifikk fuktighet [g/kg] til fordampningsmengde [kg/h] ved scenario 2:**

1. Luftmengden over testtriggen ut fra målte lufthastigheter:

$$V[\text{m}^3/\text{s}] = (0,35 \cdot 0,35) \text{ m}^2 \cdot 0,25 \text{ m/s} = 0,031 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Mengden tørrluft som strømmer over arealet per sekund ved å multiplisere luftstrømmen med tettheten av luft ved standard temperatur og trykk [$1,2 \text{ kg/m}^3$]:

$$m_{\text{tørr}} = 0,031 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 = 0,036 \text{ kg/s}$$

3. Beregne vanndampstrømmen ved å multiplisere mengden av tørrluft per sekund med spesifikk fuktighet av luften:

$$E = 0,036 \text{ kg/s} \cdot 23,16 \text{ g vanndamp/kg tørrluft} / 1000 \cdot 3600 \text{ s/h} = \mathbf{3,00 \text{ kg/h}}$$

3,00 kg/h over testtriggen med tverrsnitt 0,35 m x 0,35 m

Beregning av spesifikk fuktighet [g/kg] til fordampningsmengde [kg/h] ved scenario 3:

1. Luftmengden over testtriggen ut fra målte lufthastigheter:

$$V[\text{m}^3/\text{s}] = (0,35 \cdot 0,35) \text{ m}^2 \cdot 0,25 \text{ m/s} = 0,031 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Mengden tørrluft som strømmer over arealet per sekund ved å multiplisere luftstrømmen med tettheten av luft ved standard temperatur og trykk [$1,2 \text{ kg/m}^3$]:

$$m_{\text{tørr}} = 0,031 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 = 0,036 \text{ kg/s}$$

3. Beregne vanndampstrømmen ved å multiplisere mengden av tørrluft per sekund med spesifikk fuktighet av luften:

$$E = 0,036 \text{ kg/s} \cdot 21,685 \text{ g vanndamp/kg tørrluft} / 1000 \cdot 3600 \text{ s/h} = \mathbf{2,809 \text{ kg/h}}$$

2,809 kg/h over testtriggen med tverrsnitt 0,35 m x 0,35 m

Total fordampning over overløpsrenna ved hastighet $v=0,25 \text{ m/s}$:

$$A_{\text{Overløpsrenne}} = 12,02 \text{ m}^2$$

$$\text{Scenario 1: } 3,14 \text{ kg/h} \cdot 12,02 \text{ m}^2 = 37,76 \text{ kg/h}$$

$$\text{Scenario 2: } 3,06 \text{ kg/h} \cdot 12,02 \text{ m}^2 = 36,83 \text{ kg/h}$$

$$\text{Scenario 3: } 2,52 \text{ kg/h} \cdot 12,02 \text{ m}^2 = 30,35 \text{ kg/h}$$

Kalkulert med beregnet oppdriftshastighet, $v=0,05 \text{ m/s}$ **Beregning av spesifikk fuktighet [g/kg] til fordampningsmengde [kg/h] ved scenario 1:**

1. Luftmengden over testtriggen ut fra målte lufthastigheter:

$$V[\text{m}^3/\text{s}] = (0,35 \cdot 0,35) \text{ m}^2 \cdot 0,05 \text{ m/s} = 0,00612 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Mengden tørrluft som strømmer over arealet per sekund ved å multiplisere luftstrømmen med tettheten av luft ved standard temperatur og trykk [$1,2 \text{ kg/m}^3$]:

$$m_{\text{tørr}} = 0,00612 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 = 0,00735 \text{ kg/s}$$

3. Beregne vanndampstrømmen ved å multiplisere mengden av tørrluft per sekund med spesifikk fuktighet av luften:

$$E = 0,00735 \text{ kg/s} \cdot 28,27 \text{ g vanndamp/kg tørrluft} / 1000 \cdot 3600 \text{ s/h} = \mathbf{0,748 \text{ kg/h}}$$

0,748 kg/h over testtriggen med tverrsnitt 0,35 m x 0,35 m

Beregning av spesifikk fuktighet [g/kg] til fordampningsmengde [kg/h] ved scenario 2:

1. Luftmengden over testtriggen ut fra målte lufthastigheter:

$$V[\text{m}^3/\text{s}] = (0,35 \cdot 0,35) \text{ m}^2 \cdot 0,05 \text{ m/s} = 0,00612 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Mengden tørrluft som strømmer over arealet per sekund ved å multiplisere luftstrømmen med tettheten av luft ved standard temperatur og trykk [$1,2 \text{ kg/m}^3$]:

$$m_{\text{tørr}} = 0,00612 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 = 0,00735 \text{ kg/s}$$

3. Beregne vanndampstrømmen ved å multiplisere mengden av tørrluft per sekund med spesifikk fuktighet av luften:

$$E = 0,00735 \text{ kg/s} \cdot 23,16 \text{ g vanndamp/kg tørrluft} / 1000 \cdot 3600 \text{ s/h} = \mathbf{0,612 \text{ kg/h}}$$

0,612 kg/h over testtriggen med tverrsnitt 0,35 m x 0,35 m

Beregning av spesifikk fuktighet [g/kg] til fordampningsmengde [kg/h] ved scenario 3:

1. Luftmengden over testtriggen ut fra målte lufthastigheter:

$$V[\text{m}^3/\text{s}] = (0,35 \cdot 0,35) \text{ m}^2 \cdot 0,05 \text{ m/s} = 0,00612 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Mengden tørrluft som strømmer over arealet per sekund ved å multiplisere luftstrømmen med tettheten av luft ved standard temperatur og trykk [$1,2 \text{ kg/m}^3$]:

$$m_{\text{tørr}} = 0,00612 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 = 0,00735 \text{ kg/s}$$

4. Beregne vanndampstrømmen ved å multiplisere mengden av tørrluft per sekund med spesifikk fuktighet av luften:

$$E = 0,036 \text{ kg/s} \cdot 21,685 \text{ g vanndamp/kg tørrluft} / 1000 \cdot 3600 \text{ s/h} = \mathbf{0,57 \text{ kg/h}}$$

0,57 kg/h over testtriggen med tverrsnitt 0,35 m x 0,35 m

Total fordampning over overløpsrenna ved hastighet $v=0,05$ m/s:

$$A_{\text{Overløpsrenne}} = 12,02 \text{ m}^2$$

$$\text{Scenario 1: } 0,75 \text{ kg/h} \cdot 12,02 \text{ m}^2 = 8,99 \text{ kg/h}$$

$$\text{Scenario 2: } 0,61 \text{ kg/h} \cdot 12,02 \text{ m}^2 = 7,40 \text{ kg/h}$$

$$\text{Scenario 3: } 0,57 \text{ kg/h} \cdot 12,02 \text{ m}^2 = 6,90 \text{ kg/h}$$

Areal Overløpsrenne - Opplæringsbassenget:

$$A=12,02 \text{ m}^2$$

Areal/Tverrsnitt Testrigg:

$$A=(0,35 \times 0,35) \text{ m}^2 = 0,1225 \text{ m}^2$$

B. Målemetoder og utstyr

Trådløs måling av inneklimate:



Figur 35 - Wisensys WS-DLtc



Figur 34 - Wisensys WS-DLTa-p1000

Wisensys sensorer ble benyttet til målinger av inneklimate i opplæringsbassenget.

Sensorene ble plassert strategisk rundt i rommet og logget kontinuerlig inneklimate gjennom testforløpene.

Sensor WS-DLtc:

Ble benyttet målte fuktighet og temperatur.

Måleområdet: RH % 10 %-100 %

Temperatur: -20 °C til + 80 °C

Nøyaktighet: RH % +/- 1,8 % fra 10 % til 90 %; T +/-0,3 °C

Sensor WS-DLTa-p1000:

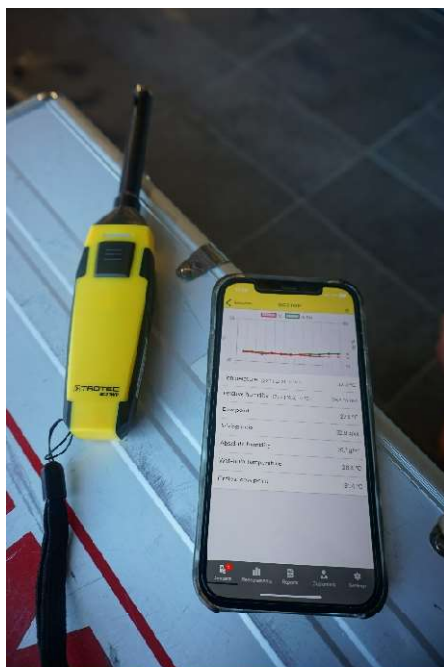
Ble benyttet målte fuktighet og temperatur og CO2

Måleområdet: CO2 0 ppm – 50 000 ppm

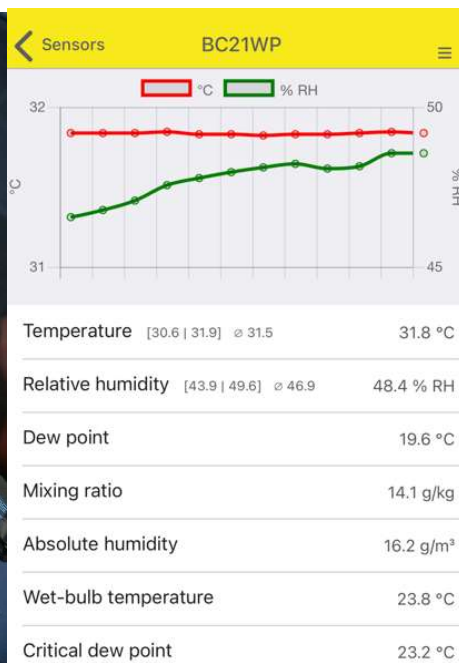
Måleområdet: RH % 10 %-100 %

Temperatur: -20 °C til + 80 °C

Nøyaktighet: RH % +/- 1,8 % fra 10 % til 90 %; T +/-0,3 °C

Håndholdt måling:

Figur 37 - Trotec BC21WP



Figur 36 - Resultater fra BC21WP

Termohygrometer BC21WP med oppkobling mot app fra Trotec ble benyttet til luft- og fuktighetsmålinger gjennom forsøkene. Benyttet til logging for å få frem kurver og historikk, samt kvalitetssjekk mot de andre målemetodene.

Trotec BC21WP:

Måleområdet: CO₂ 0 ppm – 50 000 ppm

Måleområdet: RH % 0 %-100 %

Temperatur: -20 °C til + 60 °C

Nøyaktighet: RH % +/- 0,5 % fra 10 % til 90 %; T +/-0,5 °C

Måling av fuktighet over testtrigg:

Figur 38 - Måling av Wetbulp, termometer med fuktig bomull

Digitalt termometer med måleområdet T: -45 °C til + 200 °C

KIMO AIM 300 – Luftteknisk måleinstrument: Temp, fuktighet, hastighet, luftmengder og CO2

Figur 39 - KIMO AIM 300

KIMOen ble benyttet som håndholdt måler med ulike målemoduler. Benyttet temperatur og fuktighetsstaven for måling over basseng og i randsonene rundt bassenget. Benyttet vingehjul for å logge hastigheten over testtriggens tverrsnitt.

Måleområdet: CO2 0 ppm – 5000 ppm

Måleområdet: RH % 5% - 95 %

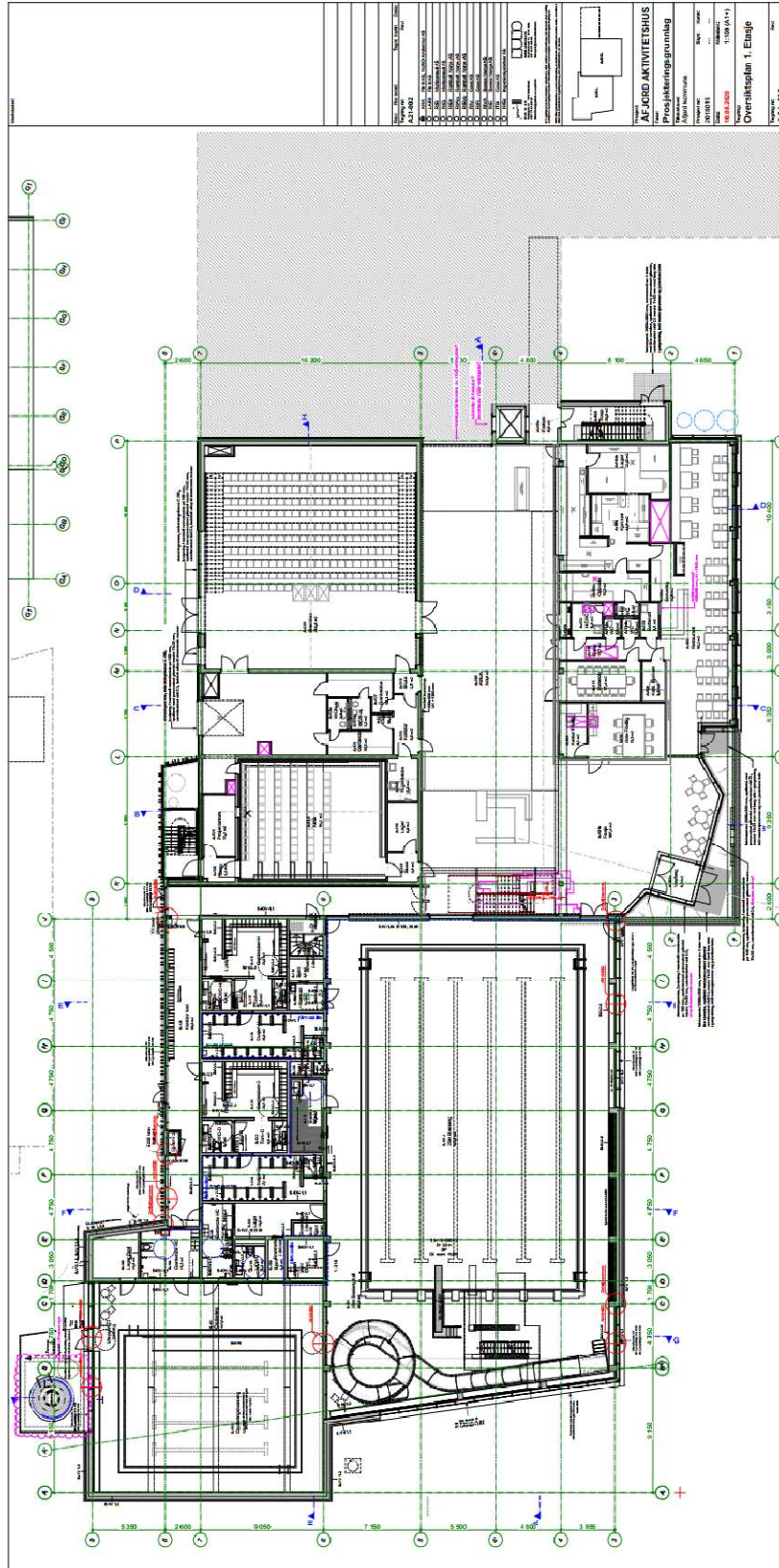
Temperatur: -20°C til + 80°C

Lufthastighet: 0,8 m/s til 40 m/s

Nøyaktighet: RH% +/- 0,1%; 1 ppm; T +/-0,01°C; 0,1 m/s

Vedlegg A

Oversiktsplan 1. Etasje – Åfjord aktivitetshus



Vedlegg B

Log fra feltforsøk 1 – 21.02.23

Nummerering av følere i klammeparantes. Plassering av nummererte følere vist i Figur 19.

Log - Wisenssys		Føler nr.																	
Feltforsøk 1		1		2		3		4		5		6		7		8			
Dato	Klokkelett	Humidity [0]	Temp. [1]	Humidity [0]	Temp. [1]	Humidity [0]	Temp. [1]	Humidity [0]	Temp. [1]	Humidity [0]	Temp. [1]	Humidity [0]	Temp. [1]	Humidity [0]	Temp. [1]	Humidity [0]	Temp. [1]		
2/21/23	10:12:00 a.m.	38,5	%RH	32,1	°C	40,8	%RH	32,5	°C	41,2	%RH	40,0	%RH	32,4	%RH	36,7	%RH	32,1	°C
2/21/23	10:15:00 a.m.	38,2	%RH	32,2	°C	41,5	%RH	32,5	°C	41,2	%RH	32,6	°C	40,3	°C	36,7	%RH	32,1	°C
2/21/23	10:20:00 a.m.	39,7	%RH	32,3	°C	42,0	%RH	32,6	°C	42,0	%RH	40,7	°C	32,6	%RH	32,6	°C	37,3	%RH
2/21/23	10:25:00 a.m.	39,4	%RH	32,3	°C	42,1	%RH	32,7	°C	42,7	%RH	32,7	°C	41,6	°C	39,0	%RH	32,4	°C
2/21/23	10:30:00 a.m.	42,6	%RH	32,4	°C	44,8	%RH	32,7	°C	43,3	%RH	43,3	°C	32,7	%RH	32,6	°C	38,2	%RH
2/21/23	10:35:00 a.m.	43,6	%RH	32,4	°C	45,2	%RH	32,8	°C	47,5	%RH	32,8	°C	44,6	°C	43,4	%RH	32,5	°C
2/21/23	10:40:00 a.m.	44,1	%RH	32,5	°C	46,0	%RH	32,8	°C	47,5	%RH	45,0	%RH	32,8	°C	42,0	%RH	32,5	°C
2/21/23	10:45:00 a.m.	43,5	%RH	32,6	°C	46,3	%RH	32,9	°C	47,5	%RH	33,0	°C	45,4	°C	42,0	%RH	32,7	°C
2/21/23	10:50:00 a.m.	43,6	%RH	32,7	°C	46,0	%RH	33,0	°C	46,9	%RH	45,0	%RH	33,0	°C	42,0	%RH	32,7	°C
2/21/23	10:55:00 a.m.	43,1	%RH	32,6	°C	45,2	%RH	33,0	°C	46,9	%RH	33,0	°C	45,3	°C	41,8	%RH	32,8	°C
2/21/23	11:00:00 a.m.	45,7	%RH	32,4	°C	45,2	%RH	32,7	°C	46,4	%RH	44,3	%RH	32,6	%RH	32,6	°C	43,0	%RH
2/21/23	11:05:00 a.m.	44,0	%RH	32,5	°C	45,3	%RH	32,8	°C	46,4	%RH	44,3	%RH	44,4	°C	43,6	%RH	32,5	°C
2/21/23	11:10:00 a.m.	44,0	%RH	32,5	°C	45,6	%RH	32,8	°C	46,4	%RH	32,7	°C	44,4	°C	43,6	%RH	32,5	°C
2/21/23	11:15:00 a.m.	45,8	%RH	32,4	°C	46,5	%RH	32,7	°C	46,7	%RH	43,9	%RH	32,7	°C	43,3	%RH	32,5	°C
2/21/23	11:20:00 a.m.	45,8	%RH	32,4	°C	48,4	%RH	32,7	°C	46,7	%RH	32,6	°C	45,4	°C	43,9	%RH	32,5	°C
2/21/23	11:25:00 a.m.	45,5	%RH	32,5	°C	48,2	%RH	32,8	°C	45,1	%RH	47,6	%RH	32,6	%RH	32,6	°C	43,2	%RH
2/21/23	11:30:00 a.m.	45,4	%RH	32,4	°C	48,0	%RH	32,8	°C	45,1	%RH	32,8	°C	44,8	°C	43,4	%RH	32,6	°C
2/21/23	11:35:00 a.m.	46,4	%RH	32,4	°C	47,7	%RH	32,7	°C	48,3	%RH	47,0	%RH	32,7	%RH	43,4	%RH	32,5	°C
2/21/23	11:40:00 a.m.	46,9	%RH	32,5	°C	48,7	%RH	32,7	°C	48,3	%RH	32,6	°C	46,6	°C	43,4	%RH	32,5	°C
2/21/23	11:45:00 a.m.	49,0	%RH	32,7	°C	48,8	%RH	32,9	°C	47,3	%RH	47,6	%RH	32,6	%RH	43,4	%RH	32,6	°C
2/21/23	11:50:00 a.m.	47,8	%RH	32,7	°C	49,6	%RH	32,9	°C	47,3	%RH	32,9	°C	44,8	°C	43,5	%RH	32,6	°C
2/21/23	11:55:00 a.m.	47,6	%RH	32,6	°C	49,6	%RH	32,8	°C	50,0	%RH	48,5	%RH	32,9	%RH	32,9	%RH	32,6	°C
2/21/23	12:00:00 p.m.	47,6	%RH	32,4	°C	47,1	%RH	32,6	°C	50,0	%RH	32,8	°C	48,6	°C	45,4	%RH	32,6	°C
2/21/23	12:00:00 p.m.	47,6	%RH	32,4	°C	47,1	%RH	32,6	°C	50,0	%RH	46,1	%RH	32,5	%RH	44,0	%RH	32,5	°C

Vedlegg C

Eksport driftsstatus Menerga-aggregat under forsøksperiode 2.

Avlesning Menerga-aggregat Feltforsøk 2												
Dato	AT Temp.	TL temp. før	TL Temp.	UL Temp. int	UL Temp. eks	SV Temp. akt	BV Temp.	SV BV.temp	AT fuktighet	SV Fuktighet	TL Luftmengde	AT Luftmengde
24.03.2023 12:50	32	36,7	36,6	3	3	32	34,6	34	51,1	54	9341	9509
24.03.2023 12:45	32	36,7	36,6	3	3	32	34,6	34	51,1	54	9341	9838
24.03.2023 12:40	32	36,7	36,3	3,9	3	32	34,6	34	50,5	54	9341	9838
24.03.2023 12:35	32	36	36,3	3,9	3	32	34,6	34	49,7	54	9341	9838
24.03.2023 12:30	32	32,9	35,1	3,9	3	32	34,6	34	51,5	54	9341	10165
24.03.2023 12:25	32	30,7	34,8	3,9	3	32	34,6	34	64,2	54	9341	9140
24.03.2023 12:20	32	30,2	35,5	6,9	3	32	34,6	34	81,8	54	8034	8238
24.03.2023 12:15	32	32,9	32	12,9	3	32	34,6	34	79,9	54	0	0
24.03.2023 12:10	32	34,2	32	12,9	3	32	34,6	34	77,8	54	0	0
24.03.2023 12:05	32	34,2	32	12,2	3	32	34,6	34	76,6	54	0	0
24.03.2023 12:00	32	34,2	32	11,6	3,6	32	34,6	34	74,5	54	0	0
24.03.2023 11:55	32	35,5	32	11,6	3,6	32	34,6	34	72,8	54	0	0
24.03.2023 11:50	32	35,4	32	11,6	3,6	32	34,6	34	74,2	54	0	0
24.03.2023 11:45	32	35,4	32,7	10,2	3,6	32	34,6	34	72,8	54	0	0
24.03.2023 11:40	32	35,4	32,7	8,9	3,6	32	34,6	34	69,6	54	0	0
24.03.2023 11:35	32	35,4	32,7	8,2	3,6	32	34,6	34	66,6	54	0	0
24.03.2023 11:30	32	35,4	33,5	7,6	3,6	32	34,6	34	62,8	54	0	0
24.03.2023 11:25	32	35,4	34	6,9	4	32	34,6	34	60,1	54	0	0
24.03.2023 11:20	32	35,4	34	6,3	4	32	34,6	34	56,1	54	0	0
24.03.2023 11:15	32	35,4	35	4,9	4	32	34,6	34	53,2	54	0	0
24.03.2023 11:10	32	35,4	35,2	4,2	4	32	34,6	34	53,2	54	0	0
24.03.2023 11:05	32	35,4	35,2	3,6	4	32	34,6	34	53,2	54	0	0
24.03.2023 11:00	32	35,4	35,2	2,5	4	32	34,6	34	53,2	54	8969	9482
24.03.2023 10:55	32	35,4	35,2	2,5	4	32	34,6	34	53,2	54	8969	9482
24.03.2023 10:50	32	34,8	34,6	2,5	4	32	34,6	34	54,8	54	8969	9482
24.03.2023 10:45	32	33,3	33,1	2,5	4	32	34,6	34	52,8	54	8969	9482
24.03.2023 10:40	32	36,9	36,7	2,5	4	32	34,6	34	54,3	54	8969	9482
24.03.2023 10:35	32	36,9	36,7	2,5	4	32	34,6	34	54,3	54	8969	9482
24.03.2023 10:30	32	36,9	36,7	2,5	4	32	34,6	34	53,2	54	8969	9482
24.03.2023 10:25	32	34,6	34,4	2,5	4	32	34,6	34	53,2	54	8969	9482
24.03.2023 10:20	32	33,1	33	2,5	4	32	34,6	34	53,5	54	8969	9671
24.03.2023 10:15	32	33,5	33,3	2,5	4	32	34,6	34	55,3	54	8969	9501
24.03.2023 10:10	32	34,6	34,5	2,5	4	32	34,6	34	55,5	54	8969	9501
24.03.2023 10:05	32	34,6	34,5	2,5	4	32	34,6	34	54,6	54	8969	9501
24.03.2023 10:00	32	34,6	34,5	2,5	4	32	34,6	34	54,3	54	8969	9501
24.03.2023 09:55	32	34,6	34,5	2,5	4	32	34,6	34	54,3	54	8969	9501
24.03.2023 09:50	32	34,6	34,5	2,5	2,8	32	34,6	34	54,3	54	8969	9501
24.03.2023 09:45	32	34,6	34,5	2,5	2,8	32	34,6	34	54,3	54	8969	9501
24.03.2023 09:40	32	34,6	33,4	2,5	2,8	32	34,6	34	53,5	54	8969	9501
24.03.2023 09:35	32	34,6	34,2	2,5	2,8	32	34,6	34	53,5	54	8969	9501
24.03.2023 09:30	32	36	35,6	2,5	2,8	32	34,6	34	53,5	54	8969	9501
24.03.2023 09:25	32	36	35,6	2,5	2,8	32	34,6	34	53,5	54	8969	9501
24.03.2023 09:20	32	33,5	33	2,5	2,8	32	34,6	34	53,5	54	8969	9501
24.03.2023 09:15	32	35,1	34,1	2,5	2,8	32	34,6	34	55,1	54	8969	9186
24.03.2023 09:10	32	36,8	36,5	2,5	2,8	32	34,6	34	55,1	54	8969	9186
24.03.2023 09:05	32	36,7	36,1	2,5	2,8	32	34,6	34	55,1	54	8969	9186
24.03.2023 09:00	32	36	36,1	2,5	1,8	32	34,6	34	54,5	54	8969	9186