

Erlend William Hærnes Reinfjord  
Georg Sæterdal Andresen  
Nicolai Lindaas

## Kartlegging og prediksjon av vann- og energiforbruk ved norske ishaller

# Mapping and Predicting the Water and Energy Consumption at Norwegian Ice-Rinks

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, VVS-teknikk

Veileder: Terje Wenaas

Mai 2021



Georg Sæterdal Andresen



Erlend William Hærnes Reinfjord  
Georg Sæterdal Andresen  
Nicolai Lindaas

## **Kartlegging og prediksjon av vann- og energiforbruk ved norske ishaller**

## **Mapping and Predicting the Water and Energy Consumption at Norwegian Ice-Rinks**

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, VVS-teknikk  
Veileder: Terje Wenaas  
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for maskinteknikk og produksjon



**NTNU**

Kunnskap for en bedre verden



**RAPPORT BACHELOROPPGAVEN**

Tittel/title

Kartlegging og prediksjon av vann-og energiforbruk ved norske ishaller  
Mapping and Predicting the Water and Energy Consumption at Norwegian Ice Rinks

Prosjektnr

EPT-V-2021-3

Forfatter(e)

Erlend William Hernæs Reinfjord  
Georg Sæterdal Andresen  
Nicolai Helgerud Lindaas

Oppdragsgiver(e) eksternt

SIAT  
Bjørn Aas

Veileder(e) internt

Terje Wenaas

Rapporten er ÅPEN

Dato levert

19.05.21

Kort sammendrag (Både på norsk og engelsk kreves)

Denne rapporten tar for seg en kartlegging av vann- og energiforbruket ved Dalgård og Leangen Ishall i Trondheim. Rapporten viser at isprepareringen står for mesteparten av forbruket. Etter samtale med teknisk personell er det blitt klart at koronapandemien har hatt en klar påvirkning på bruksmønstret ved begge hallene. I rapporten gis ligninger som viser estimat for forbruket gitt mer ordinære driftsvilkår.

This rapport details a mapping of the water and energy consumption at Dalgård and Leangen Ishall. The rapport shows that the preparation of the ice surface makes up the majority of the consumption. After speaking with the technical staff, it has become apparent that the COVID-19 pandemic has had a significant effect on the usage pattern at both these ice rinks. In this report equations for estimating the water and energy consumption during more ordinary operating circumstances are given.

Stikkord:

Vann- og energiforbruk, ishall, estimering,  
sanitær, oppvarming av vann

Keywords:

Water and energy consumption, ice rink,  
estimations, sanitary, water-heating

# Oppgavebeskrivelse

Denne oppgaven omhandler ishaller og deres vannforbruk. Hovedmålet er å kartlegge hvor mye vann og energi som brukes til preparering av isflaten og dusj. Oppgaven er basert på en analyse av sanitæranlegget ved Dalgård og Leangen Ishall. For å strukturere arbeidet satte vi opp følgende delmål:

- Identifisere tappepunkter og storforbrukere av vann.
- Innhente data om aktivitet.
- Måle vannforbruk og temperaturer.
- Finne sammenhenger mellom hallenes aktivitet og vannforbruk.

Basert på resultatene fra disse målingene har vi produsert ligninger for estimat av vann- og energiforbruket til de største forbrukskildene. Det er ønskelig at resultatene fra oppgaven skal kunne brukes til videre prosjektering.

# Forord

Denne bacheloroppgaven ble gjennomført i vårsemesteret i år 2021, og skal konkludere vårt bachelorstudium i ingeniørfag ved NTNU, Institutt for Energi- og Prosess-teknikk. Oppgaven ble engasjert av Senter for Idrettsanlegg og Teknologi. Det finnes lite kunnskap om vannforbruket i norske ishaller, og hensikten med vår oppgave har vært å kartlegge forbruket ved Dalgård og Leangen Ishall.

Det har vært et interessant og lærerikt semester, som har bydd på både oppturer og nedturer. Vi har, i likhet med mange andre studenter, opplevd utfordringer med vår oppgave som følge av koronapandemien. Pandemien har hatt en klar påvirkning på bruksmønsteret ved ishallene, og gjort det ekstra utfordrende å foreta feltarbeid.

Vi vil gjerne takke alle som har vært til hjelp i denne prosessen. Vi vil spesielt takke vår interne veileder Terje Wenaas. Terje har vært tilgjengelig for spørsmål gjennom hele semesteret, og gitt veiledning med gode innspill og tilbakemeldinger. En stor takk rettes også til vår eksterne veileder fra SIAT, Bjørn Aas. Bjørn har vært en ressurs til oppgaveformuleringen, har delt sin erfaringsmessige innsikt, og kommet med flere gode råd om hvor fokusområdet i vår bacheloroppgave burde ligge.

Takk til teknisk personell ved Dalgård og Leangen Ishall som har svart på spørsmål og hjulpet til når vi satte opp måleapparatene. Spesiell takk rettes til Morten Holden og Bjørn Arve Krognæs som har vært våre kontaktpersoner ved henholdsvis Dalgård og Leangen Ishall.

Ellers vil vi takke Trondheim kommune, for deres behjelpelighet. En takk går også til vår nærmeste familie, for den støtten de har bydd med i dette semesteret.

*Erlend W.H. Reinfjord    Georg S. Andresen*

Erlend William Hernæs Reinfjord    Georg Sæterdal Andresen

*Nicolai H. Lindaas*

Nicolai Helgerud Lindaas

# Sammendrag

Bakgrunnen for denne oppgaven er en mangel på konkret kunnskap rundt mange av sanitærprosessene i norske ishaller, deriblant vann- og energiforbruket til dusj og is-preparering. Med stadig økende krav til mindre energiforbruk, vil det å få kontroll på energiforbruket forbundet med oppvarming av varmt forbruksvann og vann til preparering av is være viktige faktorer ved fremtidig prosjektering og forbedring av eksisterende anlegg. Kjennskap til tappemønstre og fordeling av vannmengden utover i systemet i brukstid vil også være viktig informasjon til prosjektering av både rørsystemer og sanitæranlegg.

I denne oppgaven har vi foretatt målinger, befarings og analyse av sanitæranleggene ved Dalgård og Leangen Ishall. Målingene har gitt et inntrykk av vann- og energiforbruket til dusj og preparering av isen ved disse hallene. Prosjektet har foregått under koronapandemien som har hatt en klar innvirkning på bruksmønsteret.

Rapporten inneholder tall for forbruket fra den 24. februar 2021 til den 26. april 2021, og formler for prediktiv estimering av fremtidig forbruk ved Dalgård og Leangen Ishall og generelt til fremtidig prosjektering.

Ved begge ishallene har det blitt klart at forbruket til is-prepareringen vil stå for et konstant forbruk når hallen er i drift, mens forbruket til dusjene vil variere med brukerne og deres vaner. Tabell 1 viser vann- og energiforbruk per  $m^2$  per preparering.

| Ishall  | Forbruk                  |                              |
|---------|--------------------------|------------------------------|
|         | Vann ( $\frac{l}{m^2}$ ) | Energi ( $\frac{kWh}{m^2}$ ) |
| Dalgård | 0.23                     | 0.016                        |
| Leangen | 0.60                     | 0.039                        |

Tabell 1: Vann- og energiforbruk per  $m^2$  isflate per preparering



# Abstract

The background for this thesis is a certain lack of concrete knowledge surrounding the sanitary processes in Norwegian ice rinks, including the water and energy consumption of the showers and the ice preparation. Increasing demands regarding energy efficiency will make getting control over the energy use of heating warm water for sanitary and ice preparatory purposes an important factor of planning future facilities or improving existing facilities. Attaining knowledge of the typical usage pattern and the distribution of water throughout the system will also be important information for the planning of both pipe assembly and sanitation facilities.

In our project we have done measurements, inspection and analysis of the sanitation facilities at the Dalgård and Leangen ice rinks. These measurements have given us an impression of the water and energy consumption of the showers and ice preparation at these ice rinks. The project happened during the global COVID-19 pandemic which has had a clear effect on the usage pattern at these ice rinks.

This thesis includes numbers for the consumption from the 24th of February 2021 to the 26th of April 2021, as well as formulas for predictive estimates for future consumption at both Dalgård and Leangen and generally for future planning

It has become clear that at both ice rinks the ice preparation will be a constant part of the water consumption, while the showers will be a factor that varies with the users and their habits. Table 2 shows the water and energy consumption per  $m^2$  per preparation.

| Ice Rink | Consumption               |                              |
|----------|---------------------------|------------------------------|
|          | Water ( $\frac{l}{m^2}$ ) | Energy ( $\frac{kWh}{m^2}$ ) |
| Dalgård  | 0.23                      | 0.016                        |
| Leangen  | 0.60                      | 0.039                        |

Tabell 2: Water and energy consumption per  $m^2$  ice surface per preparation

# Innhold

|  |            |
|--|------------|
| <b>Figurer</b>                                 | <b>ix</b>  |
| <b>Tabeller</b>                                | <b>xii</b> |
| <b>1 Introduksjon</b>                          | <b>1</b>   |
| 1.1 Begrensninger . . . . .                    | 1          |
| 1.2 Strukturering av besvarelsen . . . . .     | 2          |
| 1.3 Hallene . . . . .                          | 2          |
| 1.3.1 Dalgård Ishall . . . . .                 | 2          |
| 1.3.2 Leangen Ishall . . . . .                 | 3          |
| <b>2 Teori</b>                                 | <b>5</b>   |
| 2.1 Preparering av vann til isflaten . . . . . | 5          |
| 2.2 Annet bruksvann . . . . .                  | 7          |
| 2.3 Akkumulering . . . . .                     | 8          |
| 2.4 Legionella . . . . .                       | 8          |
| 2.5 Fjernvarme . . . . .                       | 9          |
| 2.6 Systemløsninger . . . . .                  | 10         |
| 2.6.1 Dalgård . . . . .                        | 10         |
| 2.6.2 Leangen . . . . .                        | 11         |
| 2.7 Drift . . . . .                            | 12         |
| 2.7.1 Dalgård . . . . .                        | 12         |
| 2.7.2 Leangen . . . . .                        | 13         |

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>3</b> | <b>Metode</b>                                | <b>14</b> |
| 3.1      | Utstyrliste . . . . .                        | 14        |
| 3.2      | Overvåkning av hovedvannmåler . . . . .      | 14        |
| 3.3      | Bøttemetoden . . . . .                       | 15        |
| 3.4      | Måling av dusjtemperatur . . . . .           | 16        |
| 3.5      | Vann fra ismaskin . . . . .                  | 16        |
| 3.6      | Systemtegninger . . . . .                    | 17        |
| 3.7      | Temperaturloggføring . . . . .               | 17        |
| 3.7.1    | Energiforbruk . . . . .                      | 17        |
| 3.7.2    | Forbruksidentifikasjon . . . . .             | 22        |
| 3.8      | Analysemetode . . . . .                      | 22        |
| <b>4</b> | <b>Resultater</b>                            | <b>24</b> |
| 4.1      | Dalgård Ishall . . . . .                     | 24        |
| 4.1.1    | Tappesteder . . . . .                        | 24        |
| 4.1.2    | Vannforbruk . . . . .                        | 25        |
| 4.1.3    | Energiforbruk . . . . .                      | 26        |
| 4.2      | Leangen Ishall . . . . .                     | 27        |
| 4.2.1    | Tappesteder . . . . .                        | 27        |
| 4.2.2    | Vannforbruk . . . . .                        | 28        |
| 4.2.3    | Energiforbruk . . . . .                      | 29        |
| 4.3      | Estimat for vann- og energiforbruk . . . . . | 31        |
| 4.3.1    | Estimering av vannforbruk . . . . .          | 31        |
| 4.3.2    | Estimat for energiforbruk . . . . .          | 32        |
| 4.3.3    | Estimat for vann- og energiforbruk . . . . . | 32        |
| <b>5</b> | <b>Diskusjon</b>                             | <b>36</b> |
| 5.1      | Overvåkning av hovedvannmåler . . . . .      | 36        |
| 5.2      | Bøttemetoden . . . . .                       | 37        |
| 5.3      | Vann til is-preparering . . . . .            | 37        |

---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 5.4      | Temperaturlogging . . . . .                                 | 37        |
| 5.5      | Mangel på informasjon om antall besøkende . . . . .         | 39        |
| 5.6      | Forskjell i forbruket . . . . .                             | 40        |
| <b>6</b> | <b>Konklusjon</b>   | <b>41</b> |
| 6.1      | Til videre arbeid . . . . .                                 | 41        |
| <b>A</b> | <b>Tegninger av berederrommene</b>                          | <b>45</b> |
| <b>B</b> | <b>Gjennomsnittsmålinger for tappesteder</b>                | <b>49</b> |
| B.1      | Gjennomsnittsmålinger for tappesteder ved Dalgård . . . . . | 49        |
| B.2      | Gjennomsnittsmålinger for tappesteder ved Leangen . . . . . | 50        |
| <b>C</b> | <b>Vannforbruk Dalgård</b>                                  | <b>53</b> |
| <b>D</b> | <b>Vannforbruk ved Leangen Ishall</b>                       | <b>54</b> |
| <b>E</b> | <b>Temperaturlogging</b>                                    | <b>55</b> |
| E.1      | Dalgård Mesanin . . . . .                                   | 55        |
| E.2      | Leangen . . . . .   | 57        |
| <b>F</b> | <b>Energiforbruk</b>  | <b>69</b> |
| F.1      | Energiforbruk Dalgård . . . . .                             | 69        |
| F.2      | Energiforbruk Leangen . . . . .                             | 71        |

# Figurer

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.1 | Bilde av Dalgård Ishall. Kilde: ishallitrondheim.no . . . . .                                 | 3  |
| 1.2 | Hybridbilde av Leangen Idrettspark. Ishall markert i rødt. Kilde: gule-<br>sider.no . . . . . | 4  |
| 2.1 | Ismaskinen til Dalgård ishall . . . . .   | 6  |
| 2.2 | Treveis ventil som står for blanding av dusjvann ved Leangen . . . . .                        | 12 |
| 3.1 | Overvåking av hovedvannmåler ved Dalgård . . . . .  | 15 |
| 3.2 | Måling av temperaturen i dusjvannet ved Dalgård. . . . .                                      | 16 |
| 3.3 | HIOKI 8430-20 . . . . .   | 17 |
| 3.4 | ALMEMO 710 . . . . .  | 17 |
| 3.5 | Dalgård berederrom med målepunkter . . . . .  | 19 |
| 3.6 | Dalgård mesanin med målepunkter . . . . .   | 20 |
| 3.7 | Leangen berederrom med målepunkter . . . . .  | 21 |
| 3.8 | Forbruksidentifikasjon ved Leangen . . . . .  | 22 |
| 4.1 | Vannforbruk ved Dalgård Ishall (24.02 - 25.03) . . . . .                                      | 25 |
| 4.2 | Termologging Dalgård 19.03-20.03 . . . . .  | 26 |
| 4.3 | Termologging Dalgård 21.03-22.03 . . . . .  | 26 |
| 4.4 | Energiforbruk ved Dalgård Ishall . . . . .  | 27 |
| 4.5 | Vannforbruk ved Leangen Ishall (26.03 - 25.04) . . . . .                                      | 28 |
| 4.6 | Termologger Leangen 25.04.2021 00:00-11:59 . . . . .  | 29 |
| 4.7 | Termologger Leangen 25.04.2021 12:00-23:59 . . . . .  | 29 |
| 4.8 | Energiforbruk ved Leangen 25.04.2021 . . . . .  | 30 |

---

|      |   |    |
|------|---|----|
| 4.9  | is-preparering og fjernvarme på Leangen Ishall . . . . .        | 30 |
| 4.10 | Vannforbruk ved Dalgård etter formel 4.3 ved Dalgård . . . . .  | 33 |
| 4.11 | Energiforbruk per person etter formel 4.4 ved Dalgård . . . . . | 34 |
| 4.12 | Vannforbruk ved Leangen etter formel 4.3 . . . . .              | 34 |
| 4.13 | Energiforbruk per person etter formel 4.4 ved Leangen . . . . . | 35 |
| 5.1  | Eksempel på isolering av vann til ismaskin . . . . .            | 38 |
| A.1  | Dalgård Mesanin . . . . .                                       | 46 |
| A.2  | Berederrom Dalgård Ishall . . . . .                             | 47 |
| A.3  | Berederrom Leangen Ishall . . . . .                             | 48 |
| E.1  | Temperaturlogging Dalgård mesanin 22.03.2021 . . . . .          | 55 |
| E.2  | Temperaturlogging Dalgård mesanin 23.03.2021 . . . . .          | 56 |
| E.3  | Temperaturlogging Dalgård mesanin 24.03.2021 . . . . .          | 56 |
| E.4  | Temperaturlogging Dalgård mesanin 25.03.2021 . . . . .          | 56 |
| E.5  | Temperaturlogging Leangen 26.03.2021 . . . . .                  | 57 |
| E.6  | Temperaturlogging Leangen 27.03.2021 . . . . .                  | 57 |
| E.7  | Temperaturlogging Leangen 28.03.2021 . . . . .                  | 57 |
| E.8  | Temperaturlogging Leangen 29.03.2021 . . . . .                  | 58 |
| E.9  | Temperaturlogging Leangen 30.03.2021 . . . . .                  | 58 |
| E.10 | Temperaturlogging Leangen 31.03.2021 . . . . .                  | 58 |
| E.11 | Temperaturlogging Leangen 01.04.2021 . . . . .                  | 59 |
| E.12 | Temperaturlogging Leangen 02.04.2021 . . . . .                  | 59 |
| E.13 | Temperaturlogging Leangen 03.04.2021 . . . . .                  | 59 |
| E.14 | Temperaturlogging Leangen 04.04.2021 . . . . .                  | 60 |
| E.15 | Temperaturlogging Leangen 05.04.2021 . . . . .                  | 60 |
| E.16 | Temperaturlogging Leangen 06.04.2021 . . . . .                  | 60 |
| E.17 | Temperaturlogging Leangen 07.04.2021 . . . . .                  | 61 |
| E.18 | Temperaturlogging Leangen 08.04.2021 . . . . .                  | 61 |
| E.19 | Temperaturlogging Leangen 09.04.2021 . . . . .                  | 61 |

---

---

|      |  |    |
|------|--|----|
| E.20 | Temperaturlogging Leangen 10.04.2021 . . . . .       | 62 |
| E.21 | Temperaturlogging Leangen 11.04.2021 . . . . .       | 62 |
| E.22 | Temperaturlogging Leangen 12.04.2021 . . . . .       | 62 |
| E.23 | Temperaturlogging Leangen 13.04.2021 . . . . .       | 63 |
| E.24 | Temperaturlogging Leangen 14.04.2021 . . . . .       | 63 |
| E.25 | Temperaturlogging Leangen 15.04.2021 . . . . .       | 63 |
| E.26 | Temperaturlogging Leangen 16.04.2021 . . . . .       | 64 |
| E.27 | Temperaturlogging Leangen 17.04.2021 . . . . .       | 64 |
| E.28 | Temperaturlogging Leangen 18.04.2021 . . . . .       | 64 |
| E.29 | Temperaturlogging Leangen 19.04.2021 . . . . .       | 65 |
| E.30 | Temperaturlogging Leangen 20.04.2021 . . . . .       | 65 |
| E.31 | Temperaturlogging Leangen 21.04.2021 . . . . .       | 65 |
| E.32 | Temperaturlogging Leangen 22.04.2021 . . . . .       | 66 |
| E.33 | Temperaturlogging Leangen 23.04.2021 . . . . .       | 66 |
| E.34 | Temperaturlogging Leangen 24.04.2021 . . . . .       | 67 |
| E.35 | Temperaturlogging Leangen 25.04.2021 del 1 . . . . . | 67 |
| E.36 | Temperaturlogging Leangen 25.04.2021 del 2 . . . . . | 68 |
| E.37 | Temperaturlogging Leangen 26.04.2021 . . . . .       | 68 |

# Tabeller

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Vann- og energiforbruk per $m^2$ isflate per preparering . . . . .                             | iv |
| 2   | Water and energy consumption per $m^2$ ice surface per preparation . . . . .                   | v  |
| 2.1 | Normalvannmengder (Kommuneforlaget 2017) . . . . .   | 7  |
| 3.1 | Resultattabell for vannforbruk . . . . .   | 16 |
| 4.1 | Vannforbruk ved Dalgård Ishall . . . . .   | 25 |
| 4.2 | Fordeling mellom kaldt- og varmtvann for dusj og prep ved Dalgård<br>(24.02-25.03) . . . . .   | 26 |
| 4.3 | Vannforbruk ved Leangen Ishall . . . . .   | 27 |
| 4.4 | Fordeling mellom kaldt- og varmtvann for dusj og prep ved Leangen<br>(26.03 - 25.04) . . . . . | 28 |
| 4.5 | Vannmengder ved dusj . . . . .   | 32 |
| 4.6 | Energiforbruket til dusjene . . . . .  | 33 |
| 6.1 | Vann- og energiforbruk per $m^2$ isflate per preparering . . . . .                             | 41 |
| B.1 | Bøttetest enkelt dusj dalgård 17.02.21 . . . . .   | 49 |
| B.2 | Bøttetest Samtidighet Dalgård 17.02.21 . . . . .   | 50 |
| B.3 | Bøttetest Dalgård vask i kafeteria (varmtvann) 17.02.21 . . . . .                              | 50 |
| B.4 | Bøttetest Dalgård vask i kafeteria (kaldtvann) 17.02.21 . . . . .                              | 50 |
| B.5 | Bøttetest Dalgård vask i kafeteria (lunket) 17.02.21 . . . . .                                 | 50 |
| B.6 | Temperaturtest for dusj ved Dalgård 24.02.21 . . . . .   | 51 |
| B.7 | Gjennomsnittsverdi for vannforbruket til preparering ved Dalgård Ishall                        | 51 |
| B.8 | Bøttetest enkelt dusj Leangen 20.02.21 . . . . .   | 51 |



---

|  |    |
|--|----|
| B.9 Bøttetest samtidighet Leangen 20.02.21 . . . . .                   | 51 |
| B.10 Temperaturtest enkelt dusj Leangen 26.04.21 . . . . .             | 52 |
| B.11 Temperaturtest samtidighet alle dusjer Leangen 26.04.21 . . . . . | 52 |
| B.12 Vannmengde til ispreparering ved Leangen . . . . .                | 52 |

# Nomenklatur

Latinske symboler

$c$  = Spesifikk varmekapasitet

$E$  = Energi

$N$  = Effekt

$p$  = Personer

$n$  = Antall

$t$  = Temperatur

$T$  = Tid

$\dot{V}$  = Volumstrøm

$W$  = Arbeid

Greske symboler

$\rho$  = Massetetthet

# Forkortelser og begreper

EKS = Ekspansjonskar

FDV = Forvaltning, Drift og Vedlikehold

JA = Varmeveksler

kv = Kaldtvann

NVE = Norges Vassdrags- og Energidirektorat

TEK 17 = Byggteknisk Forskrift

t.p. = Tappepunkt

vv = Varmtvann

VVB = Varmtvannsbereder

VVC = Varmtvannsirkulasjon

SIAT = Senter for Idrettsanlegg og Teknologi

# Kapittel 1

## Introduksjon

Det krever store vannmengder til å drifte en innendørs ishall. I tillegg til vannforbruket av dusjer, vasker og klosetter, går det daglig store mengder vann til preparering av isoverflaten. Isoverflaten slites ned under aktivitet, og krever derfor hyppig vedlikehold for å opprettholde overflatekvaliteten. Drift og vedlikehold av ismaskin og smeltegrop vil også stå for et eget forbruk. Det er mange prosesser i ishallen som krever varmtvann, som resulterer i et høyt energiforbruk. Det er heller ikke helt kjent hvordan vannet fordeler seg i slike bygg.

I vår oppgave har vi studert to ulike anlegg i Trondheim kommune; Leangen Ishall og Dalgård Ishall. Ved å studere begge systemene får vi kartlagt ulike måter å prosjektere sanitæranlegget på, og i tillegg bli kjent med de ulike fordelene og ulempene med hvert av systemene.

### 1.1 Begrensninger

I starten av prosjektperioden bestemte vi oss, etter råd fra veiledere, for å begrense oppgaven vår til å kun fokusere på sanitæranleggene til ishallene. Oppgaven tar primært for seg vannforbruket til dusj og is-preparering.

I løpet av dette semesteret har det dukket opp flere utfordringer og komplikasjoner som har forårsaket begrensninger i oppgaven. Først og fremst har koronapandemien preget oppgaven vår ved at bruksmønstrene i hallene har blitt forandret. Færre har tatt i bruk dusjene etter trening og kamper, og kantinene ved både Leangen og Dalgård har vært stengt under hele målingsperioden.

Relevant dokumentasjon i form av kravspesifikasjon og prosjekteringspapirer har ikke vært tilgjengelig. Enkelte av delsystemene mangler fortsatt systemtegninger.

---

## 1.2 Strukturering av besvarelsen

Oppgavebesvarelsen består av seks kapitler, samt en samling av vedlegg. Teorikapitlet tar for seg en innføring i relevant fagteori til vår oppgave, samt systemløsningene ved Dalgård og Leangen ishall, og driftsrutinene ved de to ishallene. Kapittel 3 beskriver de metodene som ble brukt for innhenting av data, og hvilke instrumenter som ble brukt til målingene. I kapittel 4 blir resultatene presentert. I kapittel 5 blir resultatene presentert i foregående kapittel evaluert og diskutert. Oppgaven avsluttes med en konklusjon i kapittel 6. Vedlegg A viser tegninger over sanitæranleggene ved de to ishallene, vedlegg B viser målingene fra tappestedene, vedlegg C og D viser beregningene for vannforbruket ved Dalgård og Leangen Ishall. Vedlegg E viser resultatene fra temperaturloggingen. Vedlegg F viser beregningene for energiforbruk.

## 1.3 Hallene

### 1.3.1 Dalgård Ishall

Dalgård Ishall befinner seg på Dalgård i Trondheim, og ble åpnet i 1989. Isbanen har en dimensjon på 30x60 meter. Hallen er hjemmearena for Astor Ishockeyklubb. Anlegget har en publikumskapasitet på rundt 1000.

Ishallen driftes av Trondheim kommune. Sanitæranlegget knyttet til preparering befinner seg på mesaninen over ishallens inngang, på byggets sørside. Sanitæranlegget knyttet til øvrige tappesteder, som dusj og toalett, befinner seg i berederrommet, som er lokalisert på vestsiden av bygget.



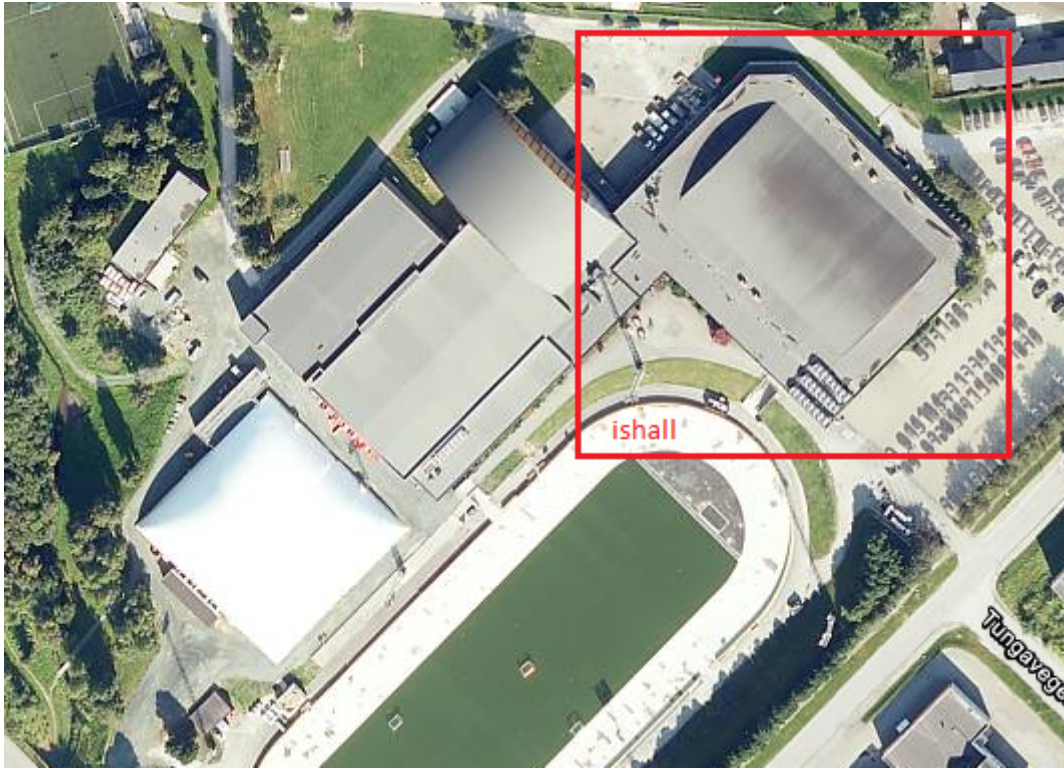
Figur 1.1: Bilde av Dalgård Ishall. Kilde: ishallitrondheim.no

### 1.3.2 Leangen Ishall

Leangen Ishall er en del av Leangen Idrettspark; et idrettsanlegg som befinner seg på Leangen i Trondheim. Ishallen har en publikumskapasitet på rundt 3000 tilskuere. Isbanen har en lik dimensjon som Dalgård Ishall på 30x60 meter. Anlegget har vært i drift siden 1977, og senere i 2009 ble idrettsparken utvidet med en ny ishall. I denne oppgaven er det ikke gjort målinger på sanitæranlegget knyttet til den nye hallen.

Leangen Ishall er hjemmearena for Trondhjems Skøiteklubs kunstløp-gruppe og ishockeyklubbene Rosenborg Ishockeyklubb og Nidaros Hockey.

Leangen Ishall driftes av Trondheim kommune. Sanitæranlegget knyttet til ishallen befinner seg i hovedbyggets underetasje, på samme plan som isoverflaten, og i umiddelbar nærhet til smeltegropen.



Figur 1.2: Hybridbilde av Leangen Idrettspark. Ishall markert i rødt. Kilde: gulesider.no

# Kapittel 2

## Teori

Dette kapitlet tar for seg relevant teori rundt preparering av vann til isflaten og bruksvann. Deretter følger en forklaring av de ulike systemløsningene ved Dalgård og Leangen Ishall. Til sist forklares de ulike metodene for drift ved de to ishallene.

### 2.1 Preparering av vann til isflaten

Ved regelmessig bruk av isflaten vil den pådra seg skader. For eksempel, så vil skøytebruk påføre isen riper. For å opprettholde en jevn overflate må en ismaskin brukes, både for å flate ut isen og kvitte seg med forurensninger i islaget. Ismaskinen kjøres rundt på banen, og fordeler vannet jevnt på overflaten. Til preparering av isen brukes varmtvann på opp til 80°C, avhengig av typen ismaskin som brukes. Ved å ha vannet på denne temperaturen, vil oksygenmengden i fluidet reduseres, som fører til en reduksjon i risiko for at luftbobler dannes i isflaten. Sjansen for at isen får en porøs struktur vil derfor minskes. En annen grunn til å varme opp vannet er for å løsne iskrystallene på den eksisterende isflaten, slik at den nye isen som dannes vil knytte et sterkt bånd til den gamle flaten. Dette vil redusere risiko for at den nye isen fliser av (Russell-Ausley 2000). Vannet må også renses gjennom et filter for at det ikke skal komme urenheter i islaget, som kan påvirke isflatens struktur, eller skape ujevnheter (ASHRAE 2014).

Etter at ismaskinen er fylt opp med varmtvann kjøres den over isflaten. Et knivblad på kjøretøyets underside skrapes vekk det øverste laget med is. Snøen som oppstår når isoverflaten skrapes, blir lastet inn i ismaskinen. Ismaskinen sprayer deretter varmtvann over isflaten. Når varmtvannet har frosset til vil isen på banen ha en jevn overflate med en solid struktur. Den oppsamlede snøen dumpes deretter i en smeltegrop der snøen smeltes og blir skylt ut i en avløpsledning.





Figur 2.1: Ismaskinen til Dalgård ishall

---

## 2.2 Annet bruksvann

Ved en ishall vil det, i likhet med andre idrettshaller, være en rekke andre kilder til vannforbruk. Dusjer, kiosker, toaletter, vasker osv. står for et stort forbruk. Sanitæranlegget må kunne levere store mengder varmtvann i perioder med intens bruk, for eksempel ved et ishockey stevne eller tilsvarende. Tekniske bestemmelser angir en normalvannmengde for de ulike aktuelle tappestedene. For senere beregning av vannforbruk brukes disse verdiene for tappesteder vi ikke har verdier for (f.eks. toalettene).

| Tappested   | Normalvannmengde (l/s)                |       |
|---|---------------------------------------|-------|
|   | Kaldt                                 | Varmt |
| Drikkefontene                                     | 0.05                                  | -     |
| Klosett sisterner                                 | 0.1                                   | -     |
| Servantbatteri                                    | 0.1                                   | 0.1   |
| Bidébatteri                                       | 0.1                                   | 0.1   |
| Tappeventil/slangekran (innendørs)                | 0.2                                   | 0.2   |
| Oppvaskbatteri                                    | 0.2                                   | 0.2   |
| Batteri til utslagsvask og til skyllekar/vaskekar | 0.2                                   | 0.2   |
| Dusjbatteri                                       | 0.2                                   | 0.2   |
| Vaskemaskin til husholdninger                     | 0.2                                   | 0.2   |
| Oppvaskmaskin til husholdninger                   | 0.2                                   | -     |
| Badebatteri                                       | 0.3                                   | 0.3   |
| Hagekran, gårds-kran                              | 0.4                                   | -     |
| Spyleventil for urinaler                          | 0.4                                   | -     |
| Spyleventil for WC                                | 1.3                                   | -     |
| Prefabrikkert dusjløsning m. flere hoder          | Må undersøkes i hvert enkelt tilfelle |       |

Tabell 2.1: Normalvannmengder (Kommuneforlaget 2017)

Grenseverdier for temperaturer ved de ulike tappestedene gis i TEK 17 og veileder for idrettsbygg. Generelt i TEK gis det at temperaturen ikke skal overstige 38 °C dersom bygget er egnet for brukere som ikke kan regulere temperaturen selv eller 55 °C for andre bygg (Byggkvalitet 2017). Veileder for idrettsbygg gir at temperatur i dusjer ikke bør overstige 40 °C (Kulturdepartementet 2016). Disse verdiene overholdes ved Dalgård og Leangen Ishall hvor temperaturen i dusjene er henholdsvis 38.2 °C og 33.6 °C.

Bruksvann skal også tilfredsstillende krav til renhet og legionellasikring. Legionellasikringen er omtalt nærmere i 2.4. Generelt gir TEK 17 føringer om at vanninstallasjoner skal *“prosjekteres og gjennomføres slik at god helse ivaretas”* (Byggkvalitet 2017). Når det kommer til vannrør og andre sanitært tekniske installasjoner vil det som regel være korrosjon av rørmaterialet som er spesielt problematisk.

---

## 2.3 Akkumulering

I et bygg med stort varmtvannsbehov er det vanlig å ha beredere for å spare opp varmtvann. Ved å lade opp berederen over en lengre tidsperiode, vil man kunne levere store mengder varmtvann på kort tid. Slike store tappinger på kort tid kalles “styrt-tapping”. Ved å forhåndsoppvarme varmtvann på denne måten vil en behøve en lavere effekt på varmeelementet fordi behovet kan dekkes av den akkumulerte energien (Sjøvold 2020).

Om oppvarmingen av vannet skal skje i samarbeid med en varmeveksler vil seriekobling av flere beredere være en god løsning for å slippe for å ha varmeelementer i hver bereder. Når flere beredere seriekobles, vil kaldtvann strømme inn i den første berederen, for så å bli ført videre gjennom beredersystemet (SINTEF 2015).

## 2.4 Legionella

Legionella er en bakterie som lever i vann. Hvis legionellabakterien får formere seg ved gunstige forhold i sanitæranlegg, kan bakterien potensielt smitte mennesker med den dødelige lungesykdommen legionærsykdom. Personer med redusert immunforsvar og eldre er generelt i størst risiko for å bli smittet av denne sykdommen. Bakterien kan også forårsake en mildere versjon som heter Pontiacfeber; som kan ramme alle aldersgrupper. Legionella trives best i stillestående miljø der organisk materiale og sediment er til stede (Stout, Yu og Best 1985). Den vokser best i temperaturer ved 40°C, men i stillestående miljøer kan den overleve opp til 66°C. Ved 50-60°C begynner bakterien å dø (Folkehelseinstituttet 2020), og ved 70 °C vil bakterien tilintetgjøres. (Dennis, Green og Jones 1984)

I Byggteknisk forskrift (TEK17) gis det i veiledning at varmtvann i sirkulasjonssystem holder en temperatur på minst 65°C samt at bruk av plastmaterialer som kan gi næring til bakterien bør unngås (Byggkvalitet 2017).

Krav og nødvendighet til høye temperaturer for varmtvann, spesielt lagret og sirkulert varmtvann, gjør at vannet må varmes opp godt over brukstemperatur. Denne ekstra oppvarmingen vil stå for et stort energiforbruk.

Det stilles øvrige krav for håndtering av legionella i prosjektering og drift av sanitæranlegg i lover og forskrifter, som ikke er relevante nok for å bli nevnt i vår oppgaven, men som kan være av interesse for videre lesning. Legionella blir omtalt i Smittevernsloven, Arbeidsmiljøloven, Plan og bygningsloven og Kommunehelsetjenesteloven. Forskrifter som omhandler Legionella er: Forskrift for badeanlegg, bassengbad og badstu, Drikkevannsforskriften, Forskrift om vern mot biologiske faktorer, Internkontrollforskriften.

---

## 2.5 Fjernvarme

Fjernvarme, eller urban energi, er et system basert på bruk av overskuddsvarme fra industri, søppelforbrenning osv. som ellers ville gått til spille. Som system gjør dette det mulig å utnytte lokalt benyttede råstoffer eller prosesser, og er et viktig steg mot effektivisering av energiforsyningen og utfasingen av fossil energi (og dermed minske  $CO_2$ -produksjon) i Norge (Statkraft 2021a). Et fjernvarmesystem kan deles opp i tre deler. Først er produksjonssentralen hvor varmen blir produsert eller hentet fra en omliggende prosess, så fordeles varmen utover i et distribusjonsnett og deretter til en abonnementsentral hvor varmen fordeles videre til kurser innenfor en bygning.

Produksjonssentralen kan være et hvert anlegg hvor det produseres tilstrekkelig lett nok utvunnet varme. Hva som regnes som tilstrekkelig lett nok utvunnet varme vil avhenge av hvem og hvor mange anlegget skal betjene. Denne varmen brukes til å varme opp et varmebærende medium, som regel vann, til en temperatur over fordamningstemperaturen ved trykket i ledningen. For vann er generelt temperaturer på  $100^\circ C$  eller  $120^\circ C$  aktuelle. Ved disse temperaturene vil et trykk på henholdsvis cirka 1 bar og 2 bar (Cengel, Boles og Kanoglu 2019) være nødvendig. Etter at vannet er varmet opp til riktig temperatur transporteres det videre i tur utover i distribusjonsnettet. Av miljømessige årsaker er forbrenningsanlegg for søppel ofte brukt som produksjonssentraler. Dette er en følge av et deponiforbud fra 2009 hvor det ble forbudt å deponere gjenvinnbart biologisk avfall (Miljøverndepartementet 2008), og av dette skal det som ikke kan gjenbrukes overleveres til forbrenningsanlegg og forbrennes.

Etter at det oppvarmede vannet har forgrenet seg utover i systemet, avgrenes det til en kundesentral. Her varmeveksles vannet generelt med én oppvarmingskurs og én tappevannskurs. Etter denne varmevekslingen går vannet i retur til produksjonssentralen hvor det varmes opp igjen, og går i tur ut i distribusjonsnettet.

I Trondheim forsynes fjernvarmen av et forbrenningsanlegg på Heimdal hvor det i hovedsak forbrennes restavfall fra Midt-Norge for å varme opp vannet. Fra anlegget fordeles det oppvarmede vannet videre til undersentraler ved "*Marienburg, Nidarvoll, Dragvoll, Lilleby, Øya, Midtbyen, Brattøra, Heggstadmoen og Ladehammeren*" (Statkraft 2021b), og store deler av byen kan forsynes med fjernvarme; deriblant Dalgård og Leangen ishall hvor oppvarmingsentralene ved begge hallene benytter fjernvarme til oppvarming, omtalt nærmere i kapittel 2.6.

I en rapport utført av Norges vassdrag- og energidirektorat ble det utført en analyse av flere forskjellige industribygg sitt energiforbruk over fire år. Ett av disse byggene var en ishall. Her ble det funnet at energien som gikk med til å varme opp tappevannet i ishallen gjorde opp for omtrent 10 % av byggets totale energiforbruk (NVE 2016).

---

## 2.6 Systemløsninger

I en ishall er det en rekke ulike VVS-tekniske prosesser med store behov for varmtvann. Under stevner eller lignende arrangementer vil isen måtte prepareres flere ganger hver dag, og garderobene vil være i nesten kontinuerlig bruk. Det vil da forbrukes store mengder varmtvann hurtig flere ganger over en lang periode. Sanitæranlegget vil derfor måtte tåle store påkjenninger, og anleggets utforming er en viktig faktor for brukernes opplevelse og den daglige driften.

### 2.6.1 Dalgård

Kaldtvannet som går inn i bygget går gjennom en vannmåler som registrerer vannmengden som har passert. Her ledes det også gjennom et filter for å kvitte seg med urenheter. Herifra forgrener vannrørene seg til tre steder. Noe av det går til en mesanin der det akkumuleres varmtvann til bruk for ismaskinen. Systemet på mesaninen vises på figur A.1. På mesaninen er fem seriekoblede beredere; tre varmtvannsberedere som alle skal holde temperaturer mellom 30°C og 55°C. Til slutt er det to hetvannsberedere som begge skal holde mellom 70°C og 80°C.

Hver av disse berederne har et volum på 550 liter. Det tas i bruk tre varmevekslere for å hente energi fra varmpumpen på det varmetekniske rommet. Varmeveksleren JA03 forvarmer vannet før det går inn i den første berederen. JA01 veksler vannet der det går fra varmtvann- til hetvannsberederne. Veksler JA02 forvarmer vann før det går inn i den siste hetvannsberederen. For hetvannsberederne akkumuleres det da totalt 1100 liter vann med en temperatur på omtrent 80°C, klart til styrt-tapping. Dette vannet ledes direkte til garasjen der ismaskinen er parkert. Fra anlegget på mesaninen tappes det kun når ismaskinen skal fylles. Før det går inn i ismaskinen blir vannet filtrert en siste gang for å sikre vannkvaliteten.

Ismaskinen til Dalgård Ishall er en “Olympia IceBear Electric”. Dette er en elektrisk ismaskin som rommer opp til 873 liter vann. Dalgård bruker hetvann inn i ismaskinen som kan ha en temperatur opp til 80°C. Det tar omtrent 7 minutter å fylle opp varmtvannstanken til ismaskinen.

Vann fra hovedledningen går også til berederrommet for tappevann. Dette berederrommet vises på figur A.2. Berederrommet fungerer også som det varmetekniske rommet for Dalgård ishall. Berederrommet har en varmtvannsbereder som akkumulerer forbruksvann til garderobene. Vannet forvarmes også gjennom bruk av en varmeveksler som veksler med fjernvarmen. Før varmtvannet sendes videre ut i anlegget, går det gjennom en shuntventil. Dette er en treveis blandeventil som blander kaldt og varmtvann til en bestemt temperatur. Shuntventilen er satt til 55°C, men vi har observert variasjoner på +/- 5°C. Det er installert en “bypass” rundt shuntventilen der hetvann kan gå ublandet inn i anlegget for legionellaspyling. For å sikre en kort ventetid og sikre et lavt energitap under tapping av varmtvann er det installert en sirkulasjonsledning. Denne drives gjennom anlegget med en sirkulasjonspumpe.

Dette berederrommet dekker behovet til to garderober i tillegg til alle andre tappesteder som tar i bruk varmtvann. Hver garderobe har et toalett, to servanter, fem

---

dusjer og en tappekran. Servantene og dusjene har blandebatterier der temperaturen til vannet som tappes kan styres. Kaldvannet går til slutt også videre ut i anlegget til en rekke tappesteder der det blandes med varmtvann.

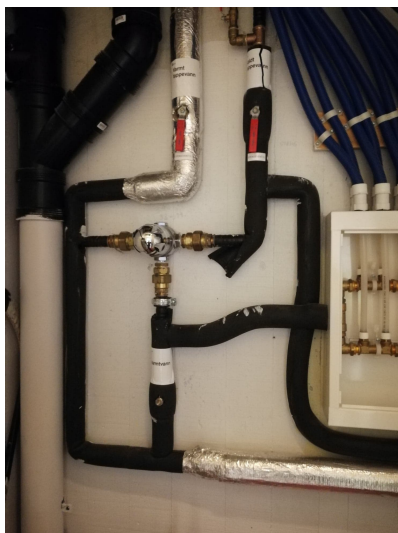
## 2.6.2 Leangen

Figur A.3 viser en tegning over berederrommet ved Leangen ishall. Ved Leangen Ishall håndteres vannberedningen for hele anlegget av ett enkelt system. Først går kaldtvannet gjennom en filtreringsprosess for å bli kvitt urenheter. Deretter deles kaldtvannsledningen i tre hvor en ledning blandes med hetvannet, en går til sanitær-anlegget og den siste går ut i kaldtvannsnett. Vannet som går til sanitærsystemet varmes først opp til 40°C i tre beredere på 900 liter. Deretter varmeveksles vannet med fjernvarmen, og sendes videre til to hetvannsberedere på 550 liter som varmer vannet opp til cirka 75°C.

Fra den siste hetvannsberederen splittes ledningen til separat hetvanns -og varmtvannsledning. Hetvannsledningen går til en slange som brukes til å spyle smeltegropen for snø og is fra preparering. Dette er nærmere omtalt i 2.7.2. For å sikre kort ventetid for varmtvannet er det montert en sirkulasjonsledning med sirkulasjonspumpe. I berederrommet blandes dette med kaldtvann som deretter blandes med varmtvannet i en treveisventil. Ved hetvannsledningen er det mulighet for manuell legionellaspyling. Deretter går vannet videre ut i systemet med et ekspansjonskar på varmtvannsledningen for å håndtere volumendringer.

Ved Leangen benyttes en “Enco Red Wulf” til is-prepareringen, en ismaskin som rommer 1000 liter i hetvannstanken. Til preparering av is benyttes hetvann med en temperatur på 70°C.

Ved Leangen Arena fordeles dusjvannet til 31 dusjer fordelt på 7 garderobes. 6 av disse er beregnet på utøvere, og har 5 dusjer hver hvorav én skal være HC dusj. Den siste garderoben er ment for dommerne, og har en enkelt dusj. Hver av garderobene har en kran til renhold. Vannet til dusjene går gjennom en treveisventil som blander vannet til en fast temperatur. Etter blanding sendes vannet til en fordelerstokk som forgrener seg til alle dusjene. Hver fordelerstokk betjener to garderobes, med unntak av en som også betjener dommergarderoben.



Figur 2.2: Treveis ventil som står for blanding av dusjvann ved Leangen

## 2.7 Drift

I likhet med systemløsningene for sanitæranlegget vil en forskjell på driftsrutinene ha en mulig innvirkning på vannforbruket og effektiviteten til den daglige driften. Det er derfor viktig å klargjøre mulige forskjeller i rutinene.

### 2.7.1 Dalgård

Det er satt av 15 minutter til hver gang isen skal prepareres, og isen prepareres mellom hver økt der ishallen er i bruk. Ismaskinene starter sin påfylling rett etter preparering, så vil vannet bli stående i ismaskinstanken frem til en ny økt skal igangsettes. Hvis det er større mellomrom mellom øktene kan da vannet bli stående i tanket i flere timer. Påfyllingen av ismaskinen er automatisert, og stopper når tanken er full.

Gjennom uken vil det skrapes av mer is enn det fylles på vann under hver preparering. Dette fører til at tykkelsen på isen reduseres med hver preparering. På onsdager settes det av 8 timer til å “flomme” ishallen. Da preparerer de isen flere ganger etter hverandre og fyller mer vann enn de skrapper av, slik at istykkelsen blir gjenopprettet. Når sesongen nærmer seg slutten vil det bygges opp et ekstra tykt islag slik at det ikke vil være nødvendig med den ukentlige “flommingen”. Fra tid til annen vil innsiden av tanken til ismaskinen skylles. Dette gjøres med kaldt vann.

For å sikre mot legionellose har de spyling av tappevannsanlegget minst to ganger i året i henhold til FHI sine anbefalinger (Folkehelseinstituttet 2015). Denne spylingen gjennomføres ved å aktivere berederrommet sin “bypass”. Da går ublandet vann med en temperatur på minimum 70°C rett ut i dusjanlegget. Det er installert tappekraner i dusjene som kan brukes til å rengjøre garderobene.

---

## 2.7.2 Leangen

Isen ved Leangen prepareres minst én gang i timen, og enda oftere ved behov, når det er høy aktivitet på banen. Dette kan for eksempel gjøres under pauser mellom omgangene i is-hockeykampene, eller i pausene mellom andre aktiviteter. Hardheten på isen skal også varieres etter hvilken aktivitet som foregår på isbanen. Ishockey spillere foretrekker for eksempel en hardere is enn kunstløpere. Ismaskinen kan gjøre små, lokale prepareringer der det er ekstra større slitasje på overflaten. Et eksempel på dette er rundt målbanen hvor det i løpet av en kamp vil være ekstra aktivitet der.

Ismaskinene blir rengjort hver morgen, rundt klokken 07:00-08:00, med bruk av høytrykkspyler. Et ekspansjonskar er installert i anlegget for å forhindre tilbakeslag på ventiler på fordelerstokkene, som fordeler vann til dusjene.

I perioder med hyppig preparering blir ikke smeltegropen tilført nok varme fra varmekablene langs veggene til å smelte den avskrapte snøen ferdig innen avskrapet fra neste preparering skal dumpes i gropen. På grunn av dette dannes det store snø-og/eller isklumper i smeltegropen. For å håndtere dette spyles gropen manuelt med varmvann. Slike spylinger forbruker rundt 200 liter på 70°C.

For å forhindre vekst av legionella spyles tappevannsanlegget ved Leangen et par ganger i året, etter FHI retningslinjer. I likhet med Dalgård så spyles anlegget ved å ta i bruk en “bypass”.

Flomming av banen skjer annenhver uke. I denne prosessen går det med mye kaldtvann. Det blir brukt to tommers slanger til flomming. Flommingen blir gjort om kvelden, etter at alle aktiviteter på banene er avsluttet. Banen vil være klar for aktiviteter igjen ettermiddag påfølgende dag cirka klokken tre.



# Kapittel 3

## Metode

I dette kapitlet beskrives de metodene vi har brukt til å hente inn data. Hovedhensikten med målingene som er blitt foretatt er å skape et overblikk over bruken ved både Dalgård og Leangen Ishall. Ved å sette våre resultater opp imot timeplanen for aktivitet ble det mulig å kartlegge forbruket.

### 3.1 Utstyrliste

- 10-liters bøtte
- Stoppeklokke
- Vanntermometer
- Gopro 5
- HIOKI 8430-20
- Ahlborn Almemo 710

### 3.2 Overvåkning av hovedvannmåler

For å få en oversikt over vannforbruket i hallene er det nødvendig å måle hvor mye vann som går inn i anleggene. Vi fant hovedvannmåleren til hvert bygg der vi kunne loggføre forbruket. For å loggføre endringene i hovedvannmåleren installerte vi et Gopro 5 kamera som skulle ta bilde med en fast tidsintervall. Tidsintervallet var først satt til en time, men senere i prosjektet ble det minket til en halvtime og til slutt til 5 minutter, etterhvert som vi fikk et bedre inntrykk av nødvendig nøyaktighet. Et mindre tidsintervall gav oss bedre inntrykk av endringene i forbruket. Vi førte verdiene fra hovedvannmåleren inn i et Excel-dokument hvor tidspunktene for målingene ble satt opp mot aktivitetene i ishallene. Figur 3.1 viser hvordan vi satte opp kamera ved Dalgård.



Figur 3.1: Overvåking av hovedvannmåler ved Dalgård

### 3.3 Bøttemetoden

Bøttemetoden er en ganske enkel metode som kan gi et godt inntrykk av vannforbruket i anlegg med relativt faste tappemengder. En bøtte settes under et aktuelt tappested og fylles til enten et gitt volum eller en gitt tidsperiode. Dette gir tall på volumstrømmen fra tappestedet.

Vi besluttet å fylle bøttene til et volum på 10 liter da vi følte at dette gav oss størst mulig kontroll over målingene. Per måleserie ble det gjort åtte målinger. Vi gjorde test med kun en dusj, og samtighetstester hvor alle dusjene i garderoben var skrudd på. Det ble kun foretatt en samtidighetstest. Målet med dette var å dekke en rekke ulike brukstilfeller, og for å minske usikkerheten i målingene våre. Det ble også gjort tester ved vaskene i kantine ved både Leangen og Dalgård ishall.

### 3.4 Måling av dusjtemperatur

Vi brukte et vanntermometer til å måle temperaturen til vannet ut fra dusjene. Ved bruk av temperaturer målt etter kapittel 3.7 var det enkelt å regne ut volumstrøm til kaldt- og varmtvann, og med det få et tall på forbruket. Ligning 3.1 gir et uttrykk for volumstrømmen fra et gitt tappepunkt (for eksempel blandebatteriet til en dusj).

$$\dot{V}_{t.p.}[m^3] = \dot{V}_{vv}[m^3] + \dot{V}_{kv}[m^3] \quad (3.1)$$

$$\dot{V}_{t.p.}[m^3] * t_{t.p.}[^{\circ}C] = \dot{V}_{vv}[m^3] * t_{vv}[^{\circ}C] + \dot{V}_{kv}[m^3] * t_{kv}[^{\circ}C] \quad (3.2)$$

Ut i fra dette lages et uttrykk for volumstrømmen til varmtvannet.

$$\dot{V}_{kv} = \dot{V}_{t.p.} - \dot{V}_{vv}$$

$$\dot{V}_{t.p.} * t_{t.p.} = \dot{V}_{vv} * t_{vv} + (\dot{V}_{t.p.} - \dot{V}_{vv}) * t_{kv}$$

$$\dot{V}_{vv} * (t_{vv} - t_{kv}) = \dot{V}_{t.p.} * (t_{t.p.} - t_{kv})$$

$$\dot{V}_{vv} = \dot{V}_{t.p.} * \frac{t_{t.p.} - t_{kv}}{t_{vv} - t_{kv}} \quad (3.3)$$

$$\dot{V}_{kv} = \dot{V}_{t.p.} * \left(1 - \frac{t_{t.p.} - t_{kv}}{t_{vv} - t_{kv}}\right) \quad (3.4)$$

Basert på ligning 3.3 og 3.4, verdier for vannforbruk ved de ulike tappestedene er det mulig å lage en tabell som vist under.

| Tappepunkt  | $t_{kv}$ | $t_{vv}$ | $t_{t.p.}$ | $\dot{V}_{t.p.}$ | $\dot{V}_{kv}$ | $\dot{V}_{vv}$ |
|-------------|----------|----------|------------|------------------|----------------|----------------|
| Tappepkt. 1 |          |          |            |                  |                |                |

Tabell 3.1: Resultattabell for vannforbruk

### 3.5 Vann fra ismaskin

For å finne vannmengden til ismaskinen ved fylling gjennomførte vi en enkel fyllestest. Ismaskinen ble fylt fra enten tomt volum eller et kjent volum til full tank, og



Figur 3.2: Måling av temperaturen i dusjvannet ved Dalgård.

---

tiden det tok å fylle maskinen ble målt. Basert på dette kunne vi enkelt regne ut volumstrømmen inn til maskinen. Ved å senere først fylle maskinen opp til fullt volum, gjennomføre en preparering og deretter måle hvor lang tid det tok å fylle opp ismaskinen fikk vi da tall for hvor mye en gjennomsnittlig preparering tar.

## 3.6 Systemtegninger

Vi utførte befaringer av anleggene der vi undersøkte de tekniske løsningene, for å få en bedre forståelse av hvordan systemet fungerte. Vi tok flere bilder av anlegget og lagde skisser som vi brukte til å lage systemtegninger. Tegningene vedlagt denne oppgaven er basert på våre observasjoner.

## 3.7 Temperaturloggføring

For å utføre temperaturmålinger av sanitæranlegget i ishallene installerte vi temperaturloggere; en HIOKI 8430-20 og en ALMEMO 710.



Figur 3.3: HIOKI 8430-20



Figur 3.4: ALMEMO 710

### 3.7.1 Energiforbruk

For å finne energiforbruket som gikk med til å varme opp vannet i anlegget, installerte vi en logger. Denne loggeren ble koblet opp mot flere strategiske målepunkter. Disse punktene varierte basert på hva vi var interesserte i. De spesifikke målepunktene for temperaturloggføring kan sees på figur 3.5, 3.6 og 3.7. Vi dekket til hvert målepunkt med teip og isolasjon. Disse målingene kombinert med anslag for vannforbruk gjorde det mulig å regne ut den nødvendige effekten til de forskjellige stegene i oppvarmingen av forbruksvannet.

Loggeren vi brukte for å måle beredersystemene var en HIOKI 8430-20. Loggeren kan lagre opp til 10 målepunkter med satte tidsintervaller mellom målinger. I begynnelsen valgte vi å ta målinger hver halvtime, slik at det skulle kunne bli best mulig sammenlignet med vannforbruket. Senere økte vi hyppigheten på målingene til 1 minutt slik at vi kan få et bedre bilde av forbruket.

---

For å regne ut energiforbruket brukte vi to formler.

$$N[kW] = \dot{V}\left[\frac{l}{s}\right] * \rho\left[\frac{kg}{l}\right] * c\left[\frac{kWs}{kg * ^\circ C}\right] * (t_{vv} - t_{kv})[^\circ C] \quad (3.5)$$

I den første ligningen finner vi effektbehovet for en preparering. I ligningen trekkes temperaturen på kaldtvannet fra temperaturen på vannet som går inn i ismaskinen, slik at vi får temperaturendringen. Volumstrømmen er basert på de målingene vi har gjort for fylling av ismaskinene. Temperaturene for kaldtvann og varmtvann hentes ut ifra målingene temperaturloggeren tar fra beredersystemet.

$$E[kWh] = N[kW] * \frac{T[min]}{60\left[\frac{min}{h}\right]} \quad (3.6)$$

Den andre formelen bruker verdien for effektbehovet for å finne energiforbruket. T er tiden det tar å fylle ismaskinen. Vi baserte denne på temperaturendringene vi observerte i systemet sammenlignet med tiden vi har tatt på fylling av ismaskiner.

De samme formlene ble brukt til å lage ligninger for estimat av dusjforbruk. Med informasjonen vi hadde tilgjengelig kunne vi bruke normalvannmengden til dusjene og temperaturendringene i systemene for å skape ligninger som passet for Dalgård og Leangen.

Vi startet med å kombinere de to formlene for effektbehov og energiforbruk.

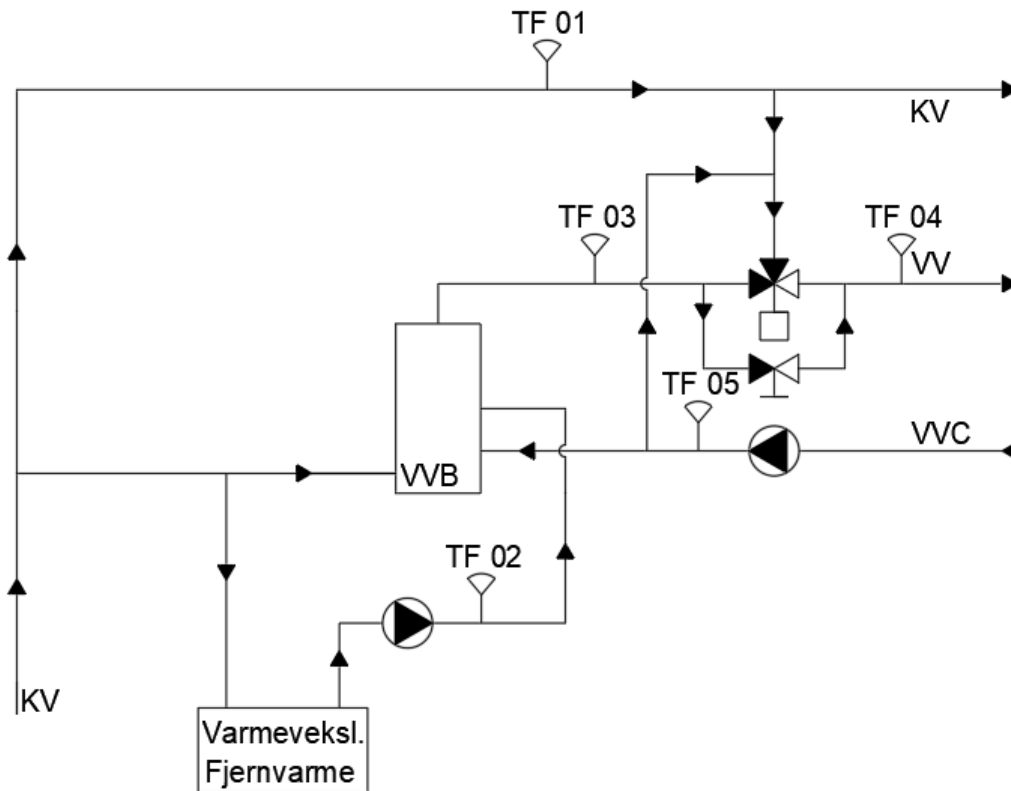
$$E[kWh] = (\dot{V}_{Dusj}\left[\frac{l}{s}\right] * \rho\left[\frac{kg}{l}\right] * c\left[\frac{kWs}{kg * ^\circ C}\right](t_{vv} - t_{kv})[^\circ C]) * \frac{T[min]}{60\left[\frac{min}{h}\right]}$$

Den spesifikke varmekapasiteten  $c$  og massetettheten  $\rho$  er konstante verdier som kan legges til i begge formlene.

$$E[kWh] = (\dot{V}_{Dusj}\left[\frac{l}{s}\right] * 1.0\left[\frac{kg}{l}\right] * 4.2\left[\frac{kWs}{kg * ^\circ C}\right](t_{vv} - t_{kv})[^\circ C]) * \frac{T[min]}{60\left[\frac{min}{h}\right]}$$

Verdiene for volumstrømmen fikk vi fra bøttetestene og la til  $n$  for hvor mange dusjer som er i bruk. Tappetiden  $T$  vil være hvor lenge det dusjes. Temperaturene er basert på det gjennomsnittlige varmtvannet som vi målte i dusjene, og kaldtvannet vi har målt i anlegget. Fordi de to hallene har forskjellige verdier for normalvannmengde og temperatur i dusjene endte vi opp med to forskjellige formler. Formel 3.7 er den generelle formelen vi bruker til utregning av energiforbruk ved dusjing.

$$E_{TotalDusj}[kWh] = (\dot{V}\left[\frac{kg}{s}\right] * n[-] * 1.0\left[\frac{kg}{l}\right] * 4.2\left[\frac{kWs}{kg * ^\circ C}\right](t_{vv} - t_{kv})[^\circ C]) * \frac{T[min]}{60\left[\frac{min}{h}\right]} \quad (3.7)$$



Figur 3.5: Dalgård berederrom med målepunkter

På figur 3.5 kan man se målepunktene på berederrommet til Dalgård.

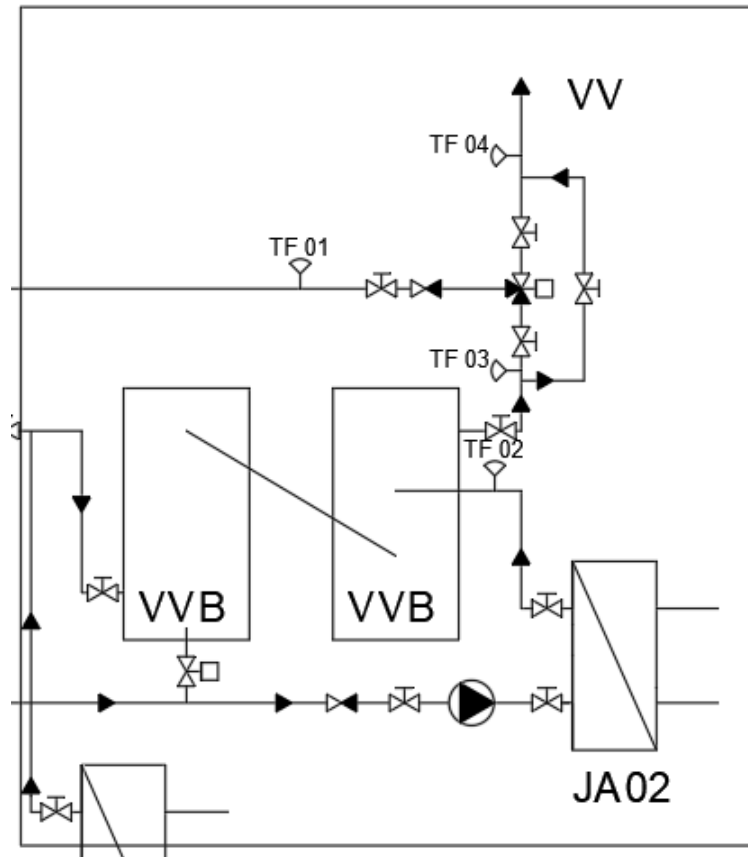
TF 01 er på kaldtvannsledningen.

TF 02 er på ladeledningen fra fjernvarme varmeveksleren.

TF 03 er på varmtvannsledningen før det blandes med kaldtvann.

TF 04 er på varmtvannsledningen etter det er blandet og er på vei videre i systemet.

TF 05 er på sirkulasjonsledningen.



Figur 3.6: Dalgård mesanin med målepunkter

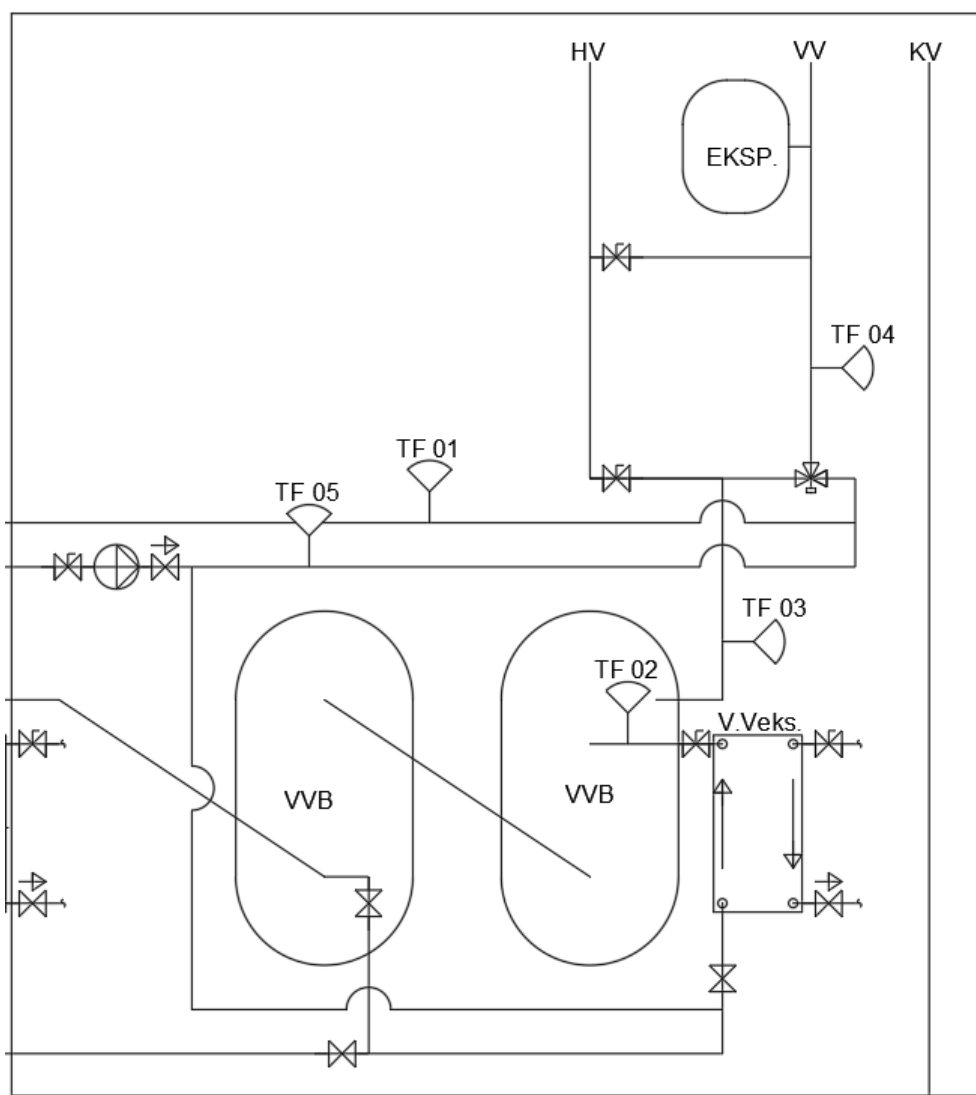
På figur 3.6 kan man se målepunktene på berederrommet til Dalgård.

TF 01 er på kaldtvannsledningen.

TF 02 er på ladeledningen fra fjernvarme varmeveksleren.

TF 03 er på varmtvannsledningen før det blandes med kaldtvann.

TF 04 er på varmtvannsledningen etter det er blandet og er på vei videre i systemet.



Figur 3.7: Leangen berederrom med målepunkter

På figur 3.7 kan man se målepunktene på berederrommet til Dalgård.

TF 01 er på kaldtvannsledningen.

TF 02 er på ladeledningen fra fjernvarme varmeveksleren.

TF 03 er på varmtvannsledningen før det blandes med kaldtvann.

TF 04 er på varmtvannsledningen etter det er blandet og er på vei videre i systemet.

TF 05 er på sirkulasjonsledningen.



---

### 3.7.2 Forbruksidentifikasjon

Vi installerte en temperaturlogger på tilførselsledningen til ismaskinen. Figur 3.8 viser hvordan loggeren var koblet opp. Denne ledningen består delvis av et uisolert kobberør. Når vannet passerte inn i maskinen ble utsiden av røret raskt varmet opp, og dette gav utslag på måleren.



Figur 3.8: Forbruksidentifikasjon ved Leangen

Hensiktet med denne loggeren var å finne tappetidspunkt. I tillegg var det tenkt at dette ville la oss skille vannet som går til ismaskinen, fra det som går til resten av anlegget ved å sette disse målingene opp i mot målingene for berederrommet. Temperaturloggeren vi installerte der var en Almemo 710.

For å få brukbare målinger satte vi intervallet for måletaking til hvert minutt. Vi valgte dette intervallet fordi den gjennomsnittlige tappingen ikke vil vare lenger enn noen få minutter. Det var ikke nødvendig med denne metoden for å skille forbrukene på Dalgård ishall. Dette er fordi de har to forskjellige anlegg til forbruksvann og prosessvann.

## 3.8 Analysemetode

For å regne ut fordelingen av vannforbruket sammenliknet vi timeplanen med resultatene fra overvåkingen av hovedvannmåleren og normalvannmengdene fra preparering, dusjing og toalettbruk. For is-prepareringene antok vi at vannmengden vil

---

være lik ved hver preparering. For dusjene antok vi en gjennomsnittlig folkemengde på 10 personer som dusjer i 5 minutter hver. Dette tallet er basert på et ishockey-lag med 6 spillere og 4 innbyttere. Ved kamper vil dette tallet være høyere, men vi antok at det også ville være tider hvor det er færre spillere.

Tidlig i måleperioden ved Dalgård Ishall antok vi at det foregikk preparering når det i følge timeplane. Sent i måleperioden ved Dalgård og gjennom hele måleperioden ved Leangen Ishall brukte vi temperaturmålingene som en ekstra sikkerhet i beregningene.

# Kapittel 4

## Resultater

Dette kapitlet tar for seg de resultatene vi har kommet frem til i arbeidet. I prosjektperioden har vi ikke hatt tilgang til informasjon om akkurat hvor mange som har besøkt hallene i løpet av de siste månedene. Av den grunn blir forbruket gitt i kapitlet et totalt forbruk selv om andre uttrykk kunne vært mer hensiktsmessig. Først presenteres en oversikt over de mest relevante tappesteder vi har data for, deretter en totaloversikt over vannforbruket til dusjene, is-prepareringer og andre sanitærinstallasjoner og til sist data for energibruk til oppvarming.

Det er altfor mye detaljdata bak de resultatene som presenteres i dette kapitlet til at det kan fremlegges direkte på en hensiktsmessig måte, og det henvises derfor til vedlegg B, C, D E og F.

### 4.1 Dalgård Ishall

Ved Dalgård Ishall ble vannforbruksmålingene foretatt fra 24.02 - 25.03, og temperaturmålingene ble foretatt fra 19.03 - 22.03 ved berederrommet og fra 22.03 - 25.03 ved mesanin.

#### 4.1.1 Tappesteder

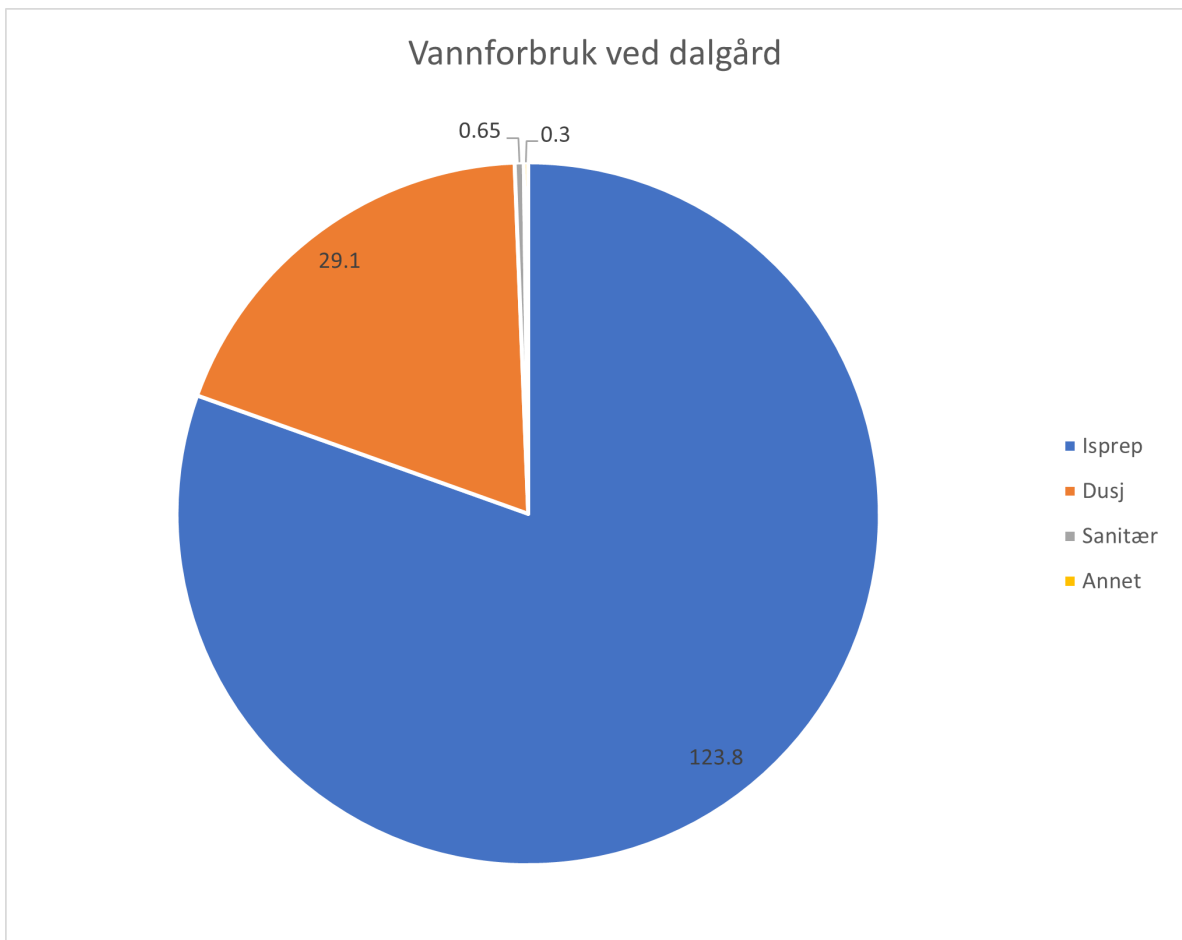
Med bakgrunn i målingene for vannforbruk får vi tabell 4.1. Temperaturene for kaldt- og varmtvann er basert på gjennomsnitt fra temperaturmålingene detaljert i kapittel 3.7. Ved større tappinger vil denne temperaturen variere, men ved stabile forhold vil temperaturen være som vist i tabellen. Temperaturen viser at for dusjene vil samtidigheten kun gi en reduksjon i volumstrøm på  $0.005 \frac{l}{s}$  som er en minimal endring.

| Tappepunkt           | $T_{kv}(^{\circ}C)$ | $T_{vv}(^{\circ}C)$ | $T_{t.p.}(^{\circ}C)$ | $V_{t.p.}(\frac{l}{s})$ | $V_{kv}(\frac{l}{s})$ | $V_{vv}(\frac{l}{s})$ |
|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Dusjer (enkelt dusj) | 5                   | 58.7                | 38.2                  | 0.103                   | 0.064                 | 0.039                 |
| Dusjer (samtidighet) | 5                   | 58.7                | 38.2                  | 0.098                   | 0.038                 | 0.060                 |
| Ismaskin             | -                   | 57.7                | -                     | -                       | -                     | 1.72                  |

Tabell 4.1: Vannforbruk ved Dalgård Ishall

#### 4.1.2 Vannforbruk

Figur 4.1 viser fordelingen på forbruk ved ishallen, og angir forbruket i  $m^3$ . ispreparering er representert med den blå delen av figuren, vann til dusj med den oransje, sanitær (altså toalett, håndvasker osv.) med den grå og annen forbruk (forbruk som later til å stamme fra andre kilder) med gult. Figur 4.1 er basert på de tappinger vi har kunnet isolere ut/overslagsberegne, og på grunn av lav målingsoppløsning tidlig i prosjektet har mindre enkeltforbruk, som toalettbruk og håndvask, ikke kommet med i beregningene.



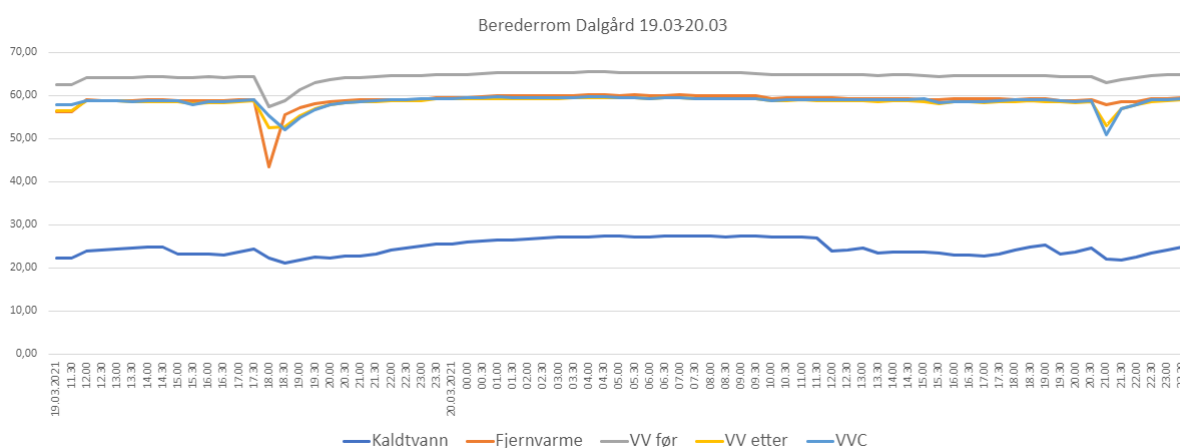
Figur 4.1: Vannforbruk ved Dalgård Ishall (24.02 - 25.03)

Tabell 4.2 angir fordelingen på kaldt- og varmtvann for preparerings- og dusjvann ved Dalgård Ishall basert på tabell 4.1 og figur 4.1.

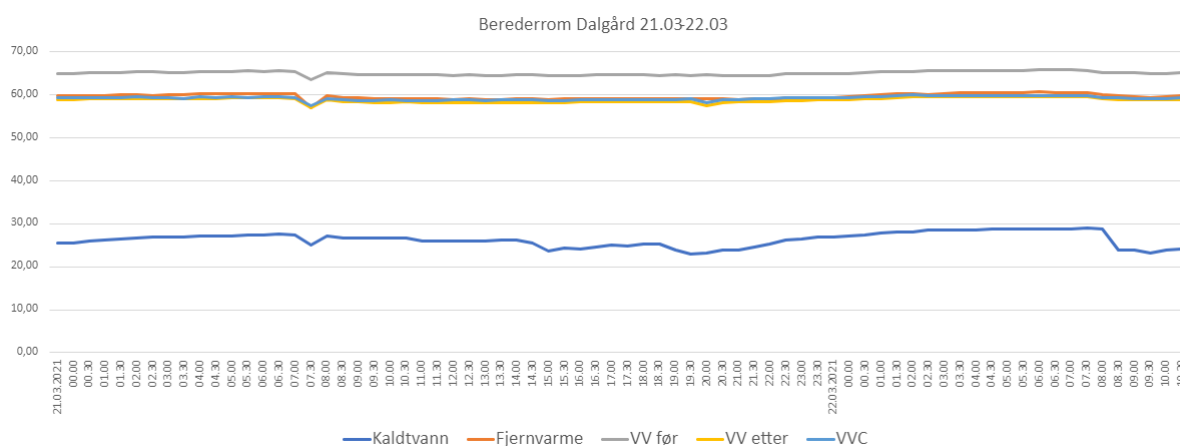
| Tappested | Varmtvannsforbruk (m <sup>3</sup> ) | Kaldtvannsforbruk (m <sup>3</sup> ) |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Prep      | 123.8                               | -                                   |
| Dusj      | 17.98                               | 11.12                               |

Tabell 4.2: Fordeling mellom kaldt- og varmtvann for dusj og prep ved Dalgård (24.02-25.03)

### 4.1.3 Energiforbruk

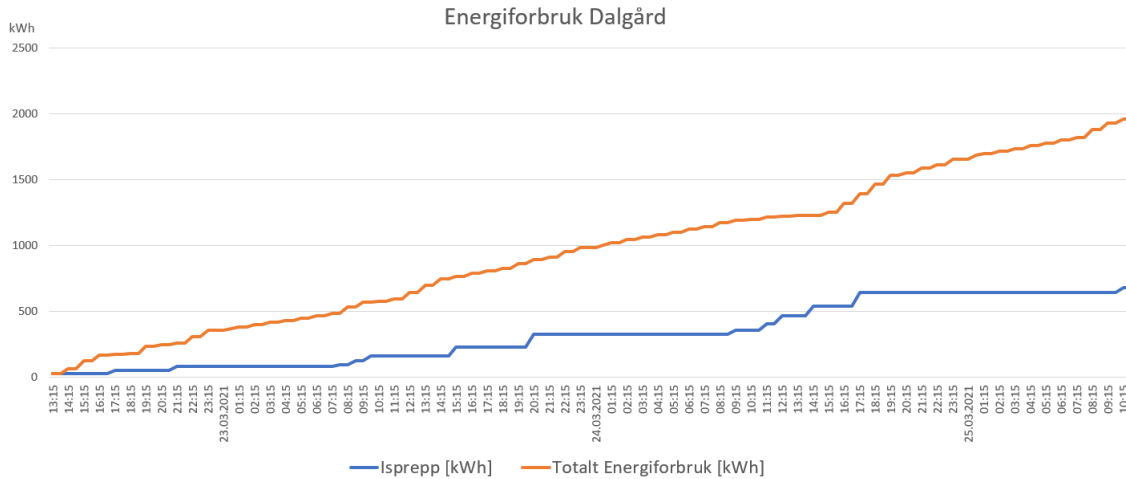


Figur 4.2: Termologging Dalgård 19.03-20.03



Figur 4.3: Termologging Dalgård 21.03-22.03

Figur 4.2 og 4.3 viser temperaturendringene på berederrommet til Dalgård Ishall. Dette er målt i perioden 19.03-22.03. De forskjellige linjene langs grafene representerer de forskjellige målepunktene på anlegget. Temperaturene her er gitt i grader celsius. Målingene er tatt hver halvtime.



Figur 4.4: Energiforbruk ved Dalgård Ishall

Figur 4.4 viser energiforbruk på Dalgård Ishall fra 22.03-25.03. Den blå linjen representerer vårt estimat på energiforbruket til oppvarming av tappevann for fylling av ismaskinen gitt i kWh. Energiforbruket for oppvarming av vann til is-preparering her er regnet kumulativt over cirka 72 timer. Den oransje linjen representerer fjernvarmeenergien som er brukt for hele ishallen. Dette innebærer da blant annet oppvarming av bygget, oppvarming av tappevann og ventilasjon. Dette forbruket er hentet fra Trondheim kommune. Det totale fjernvarmeforbruket for hallen er målt i kWh og gitt i timesverdier. De er satt kumulativt over samme tidsperiode som vår temperaturloggføring.

## 4.2 Leangen Ishall

Ved Leangen Ishall ble vannforbruksmålingene foretatt fra 26.03 - 26.04, og termurmålingene i berederrommet foretatt i perioden 26.03-26.04. En ekstra termologger ble brukt på tilførselsledningen til ismaskinen i perioden 16.04-26.04.

### 4.2.1 Tappsteder

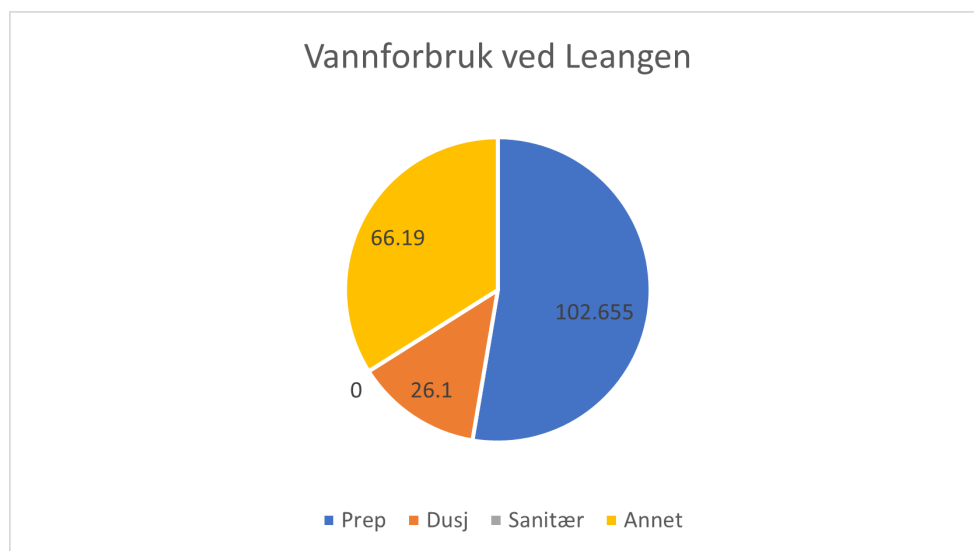
| Tappepunkt           | $T_{kv}(^{\circ}C)$ | $T_{vv}(^{\circ}C)$ | $T_{t.p.}(^{\circ}C)$ | $V_{t.p.}$ | $V_{kv}$ | $V_{vv}$ |
|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------|----------|----------|
| Dusjer (enkelt dusj) | 5                   | 67.76               | 29.2                  | 0.124      | 0.019    | 0.105    |
| Dusjer (samtidig)    | 5                   | 67.76               | 33.6                  | 0.125      | 0.019    | 0.106    |
| Ismaskin             | -                   | 40                  | -                     | -          | -        | 1.58     |

Tabell 4.3: Vannforbruk ved Leangen Ishall

---

## 4.2.2 Vannforbruk

Fig 4.5 viser en cirka oversikt over vannforbruket ved Leangen Ishall oppgitt i  $m^3$ . På grunn av teknisk feil på utstyr har enkelte dager ikke kommet med i beregningene, men på grunn av konsistent bruk anses dette som en neglisjerbar usikkerhet. På figuren er vannmengden for is-preparering gitt i blått, dusj er gitt i oransje, sanitær (toaletter osv.) gitt i grått og annet forbruk gitt i gult. I likehet med resultatene fra Dalgård er fig 4.5 basert på det forbruket vi kan isolere ut / overslagsberegne.



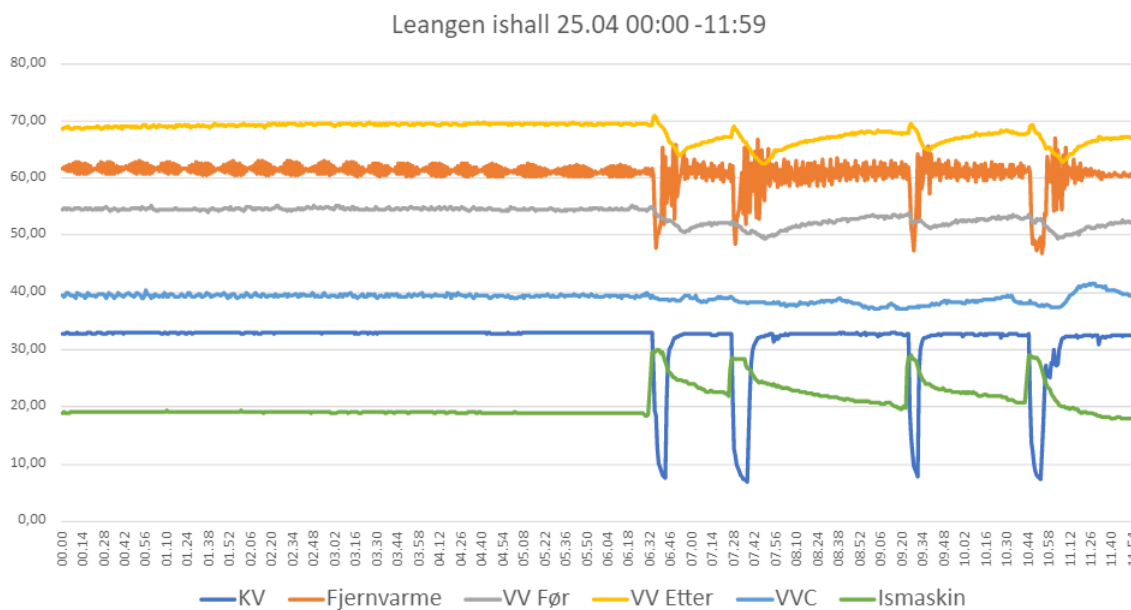
Figur 4.5: Vannforbruk ved Leangen Ishall (26.03 - 25.04)

Tabell 4.4 gir en cirka fordeling på hvor mye varmt- og kaldtvann dusjene og is-prepareringen har brukt.

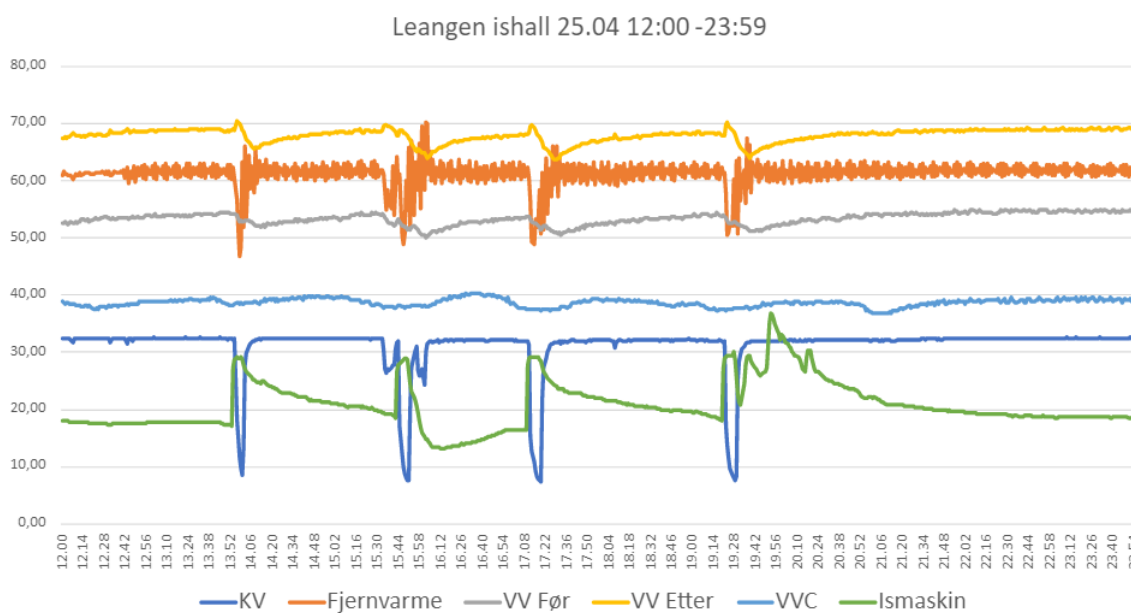
| Tappedsted | Varmtvannsforbruk ( $m^3$ ) | Kaldtvannsforbruk ( $m^3$ ) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Prep       | 102.7                       | -                           |
| Dusj       | 11.89                       | 14.11                       |

Tabell 4.4: Fordeling mellom kaldt- og varmtvann for dusj og prep ved Leangen (26.03 - 25.04)

## 4.2.3 Energiforbruk

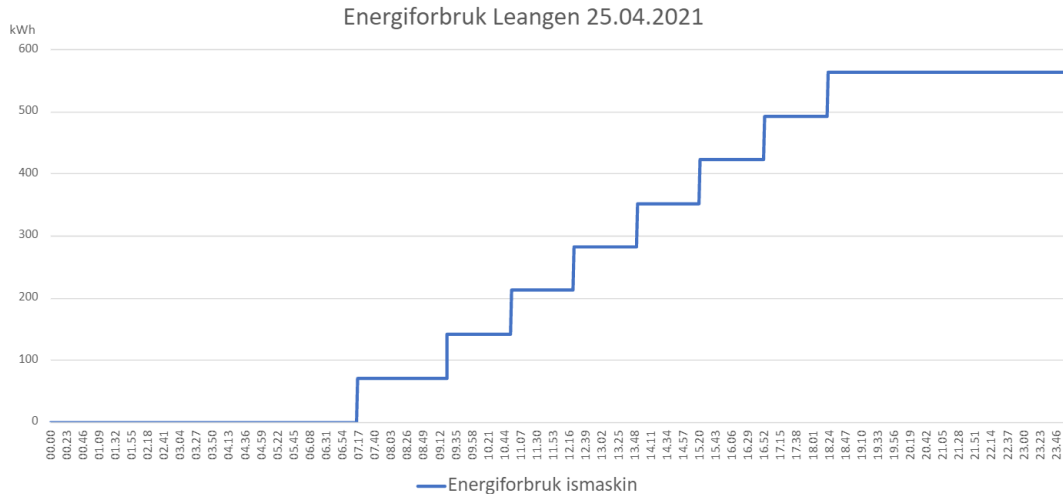


Figur 4.6: Termologger Leangen 25.04.2021 00:00-11:59



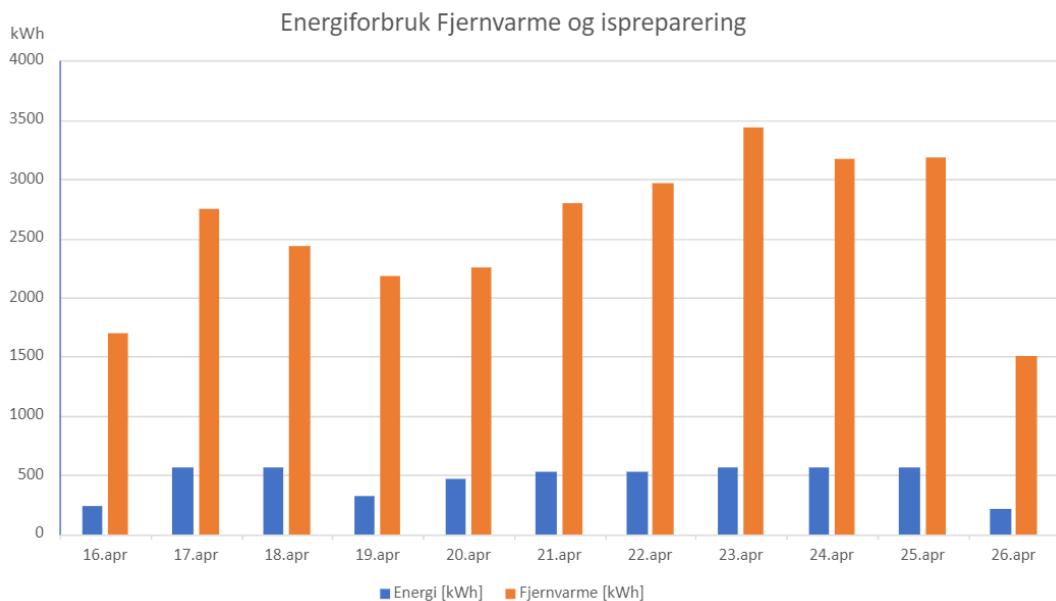
Figur 4.7: Termologger Leangen 25.04.2021 12:00-23:59





Figur 4.8: Energiforbruk ved Leangen 25.04.2021

Figur 4.8 viser vårt estimat for energiforbruket til is-preparering på Leangen Ishall 25.04.2021. Verdiene er regnet ut ifra formlene som er nærmere beskrevet i kapittel 3.6 og er målt i kWh.



Figur 4.9: is-preparering og fjernvarme på Leangen Ishall

Figur 4.9 viser de blå søylene vårt estimat for energiforbruket som gikk med til oppvarming av vann til is-preparering på Leangen Ishall fra 16.04-26.04. 16. april og 26. april har relativt lave verdier fordi det bare er målt forbruket for halve dagen disse to datoene. Resten av søylene viser energiforbruket gjennom hele dagen i kWh. De oransje søylene representerer det totale fjernvarmeforbruket til ishallen gjennom denne perioden.

---

## 4.3 Estimat for vann- og energiforbruk

Dette kapitlet tar for seg ligningene som gir grunnlaget for estimatet for det fremtidige vann- og energiforbruket. Totalt sett vil det være mest hensiktsmessig å gjøre estimater for forbruk per person. Å kun angi et totalt forbruk uten andre angivelser vil ta lite hensyn til anleggets størrelse eller hvor mange brukere det har.

I prosjektperioden har vi ikke hatt data for hvor mange som har besøkt de to hallene, eller hvor mange som har brukt dusjene. Et estimat for totalt forbruk vil derfor mangle viktig data for å gi resultatet en kontekst. For isflaten vil det være mulig å oppgi forbruket som  $\frac{l}{m^2}$  isflate. En slik angivelse kan være interessant hvis en kun er interessert i forbruket til preparering. Dersom en ønsker et helhetlig inntrykk vil å oppgi et estimat/resultat i  $\frac{l}{pers}$  gjøre det mulig å inkludere en hel aktivitetsperiode. Av samme årsak vil det være mest hensiktsmessig å oppgi energiforbruket i  $\frac{kWh}{pers}$ .

Koronapandemien har hatt en klar påvirkning på bruken av ishallene, spesielt dusjbruken. Hensikten med oppgaven var å kartlegge vann- og energiforbruket ved disse ishallene, og forsøke å lage en predikativ modell basert på denne kartleggingen. Etter samtale med teknisk personell ved både Dalgård og Leangen Ishall og analyse av målingene er det blitt klart at bruken av dusjene ikke er representative for ordinær drift utenfor pandemien.

### 4.3.1 Estimering av vannforbruk

I løpet av prosjektperioden har vi ikke hatt tilgang på data om hvor mange som vanligvis besøker hallene. Det vil derfor være mest hensiktsmessig å produsere et uttrykk for et estimert forbruk per person som senere kan skaleres til et totalt forbruk når data for enten forventet eller reell besøksmengde forekommer. Ligningene i dette kapitlet er basert på resultatene fra vedlegg B.

$$f(p)\left[\frac{l}{pers}\right] = \frac{\dot{V}_{Dusj}\left[\frac{l}{s}\right] * 60\left[\frac{s}{min}\right] * 1\left[\frac{1}{pers}\right] * a[pers] * b[min]}{p[pers]} \quad (4.1)$$

For andre sanitærinstallasjoner vil det generelt være store variasjoner for vannforbruket. Dette er spesielt relevant for tappesteder som vasker til håndvask, kiosker osv. som har en variabel volumstrøm med variabel tappetid. Det er også relevant for, for eksempel, vaskemaskiner til tøy og bestikk. Disse faller utenfor vår oppgave, og forenkles til ligning 4.2. I realiteten vil dette leddet ha flere ulike verdier for de ulike relevante tappestedene. I våre beregninger bruker vi normalvannmengder (tabell 2.1) for å regne ut et cirka anslag for forbruket fra disse tappestedene.

$$g(p)\left[\frac{l}{pers}\right] = \frac{V_{Sanitær}\left[\frac{l}{pers}\right] * c[pers]}{p[pers]} \quad (4.2)$$

Med bakgrunn i resultatene fra våre målinger får vi ligning 4.3. Denne likningen forutsetter at en gitt timeplan deles opp i bolker på én is-preparering og én økt med

aktivitet, og gir tall på forbruket per person. Hvor  $x_1$  er antall utøvere/personer på isen,  $a$  er antall som bruker dusjene,  $b$  er gjennomsnittlig dusjtid og  $c$  er antall personer som bruker toalett/liknende.

$$h(p)\left[\frac{l}{pers.}\right] = \frac{V_{Prep}[l]}{p[pers.]} + \frac{\dot{V}_{Dusj}\left[\frac{l}{s}\right] * 60\left[\frac{s}{min}\right] * 1\left[\frac{1}{pers}\right] * a[pers] * b[min]}{p[pers]} + \frac{V_{Sanitær}[l] * c[pers]}{p[pers]} \quad (4.3)$$

$$a \in [0, p], b \in [0, \rightarrow], c \in [0, p]$$

### 4.3.2 Estimat for energiforbruk

På bakgrunn av ligningene vi presenterte i kapittel 3.7.1 og våre målinger blir det mulig å gjøre et estimat på energiforbruket til oppvarming av varmtvann til is-preparering og dusj. I likhet med estimatet for vannforbruk per person blir dette estimatet oppgitt i  $\frac{kWh}{person}$ . Ved både Dalgård og Leangen Ishall vil dette kunne uttrykkes ved 4.4.

$$E_{TotalDusj}[kWh] = \left(\dot{V}\left[\frac{kg}{s}\right] * n[-] * 1.0\left[\frac{kg}{l}\right] * 4.2\left[\frac{kWs}{kg * ^\circ C}\right] * (t_{vv} - t_{kv})[^\circ C]\right) * \frac{T[min]}{60\left[\frac{min}{h}\right]} \quad (3.7)$$

$$E_{Dusj}\left[\frac{kWh}{person}\right] = \left(\dot{V}\left[\frac{kg}{s}\right] * n[-] * 1.0\left[\frac{kg}{l}\right] * 4.2\left[\frac{kWs}{kg * ^\circ C}\right] * (t_{vv} - t_{kv})[^\circ C]\right) * \frac{T[min]}{60\left[\frac{min}{h}\right]} * \frac{1}{n}[person] \quad (4.4)$$

### 4.3.3 Estimat for vann- og energiforbruk

I dette kapitlet fremstiller vi disse to estimatene sammen, og vi viser et totalt estimat for Dalgård og Leangen Ishall.

Basert på bøttetestene og ligning 4.1 og 4.4 får vi tabell 4.5 og 4.6 som gir tall for vann- og energiforbruk per person når dusjene er i bruk i henholdsvis 5, 10 og 15 minutter. Kombinert med tall for normalvannmengden til is-preparering får vi da et greit inntrykk for et totalt estimat.

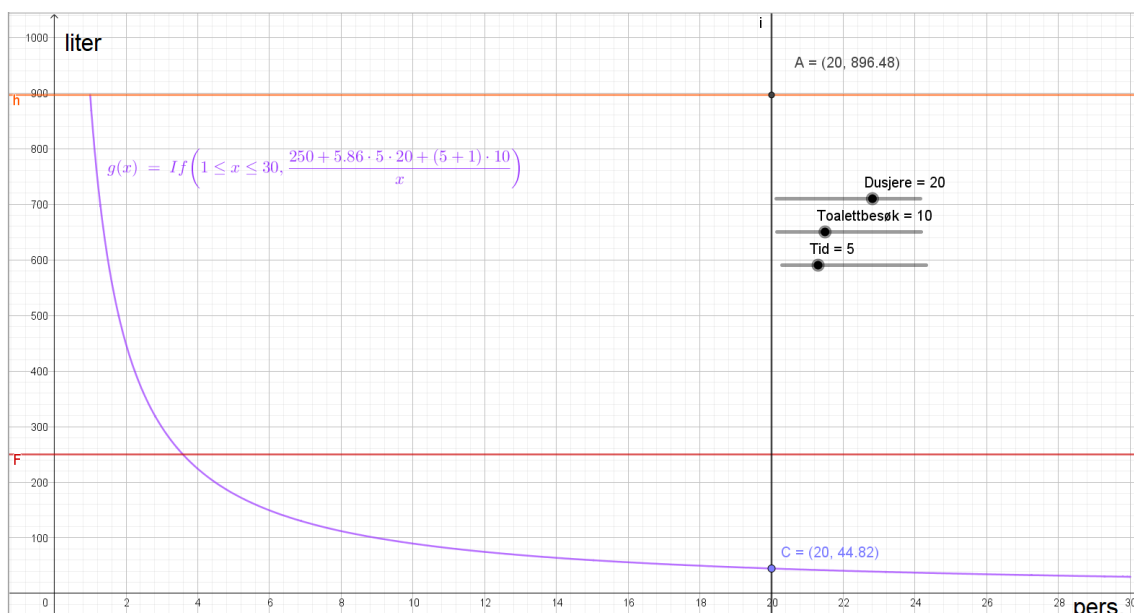
| Vannforbruk til dusjene (l/pers) |           |       |        |             |           |       |       |
|----------------------------------|-----------|-------|--------|-------------|-----------|-------|-------|
| Enkelt dusj                      | Tid (min) |       |        | Samtidighet | Tid (min) |       |       |
| Sted                             | 5         | 10    | 15     | Sted        | 5         | 10    | 15    |
| Dalgård                          | 30.81     | 61.61 | 92.41  | Dalgård     | 29.32     | 58.65 | 87.07 |
| Leangen                          | 37.24     | 74.47 | 111.71 | Leangen     | 37.6      | 75.2  | 112.8 |

Tabell 4.5: Vannmengder ved dusj

| Energiforbruk til dusjene (kWh/pers) |           |      |      |             |           |      |      |
|--------------------------------------|-----------|------|------|-------------|-----------|------|------|
| Enkelt dusj                          | Tid (min) |      |      | Samtidighet | Tid (min) |      |      |
| Sted                                 | 5         | 10   | 15   | Sted        | 5         | 10   | 15   |
| Dalgård                              | 1.10      | 2.21 | 3.31 | Dalgård     | 1.05      | 2.10 | 3.15 |
| Leangen                              | 0.94      | 1.88 | 2.83 | Leangen     | 1.14      | 2.31 | 3.43 |

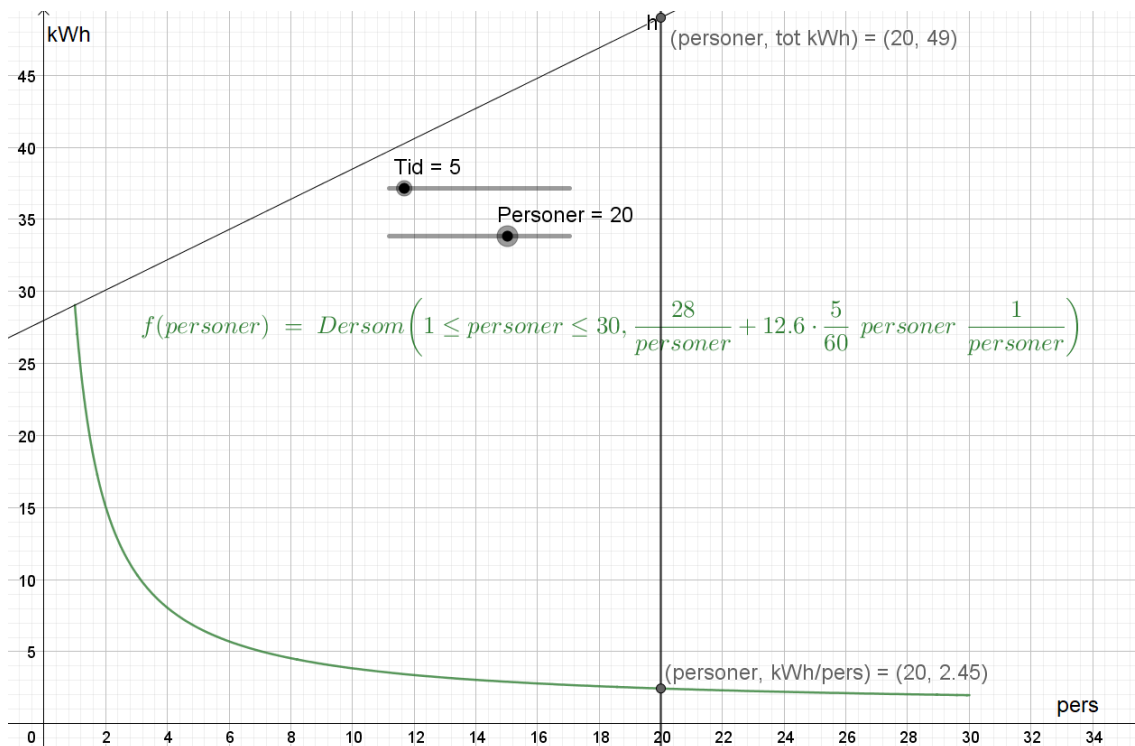
Tabell 4.6: Energiforbruket til dusjene

Figur 4.10 viser hvordan denne formelen kan brukes til å regne ut det totale forbruket per person. I dette tilfelle antas det at i løpet av en periode prepareres isen og 20 utøvere bruker isen. I etterkant av denne aktiviteten bruker alle spillerene dusjene i 5 minutter og 10 besøkere toalettet. Her får vi da et totalt forbruk på 44.82 liter per person, og et totalt forbruk på 869.48 liter.



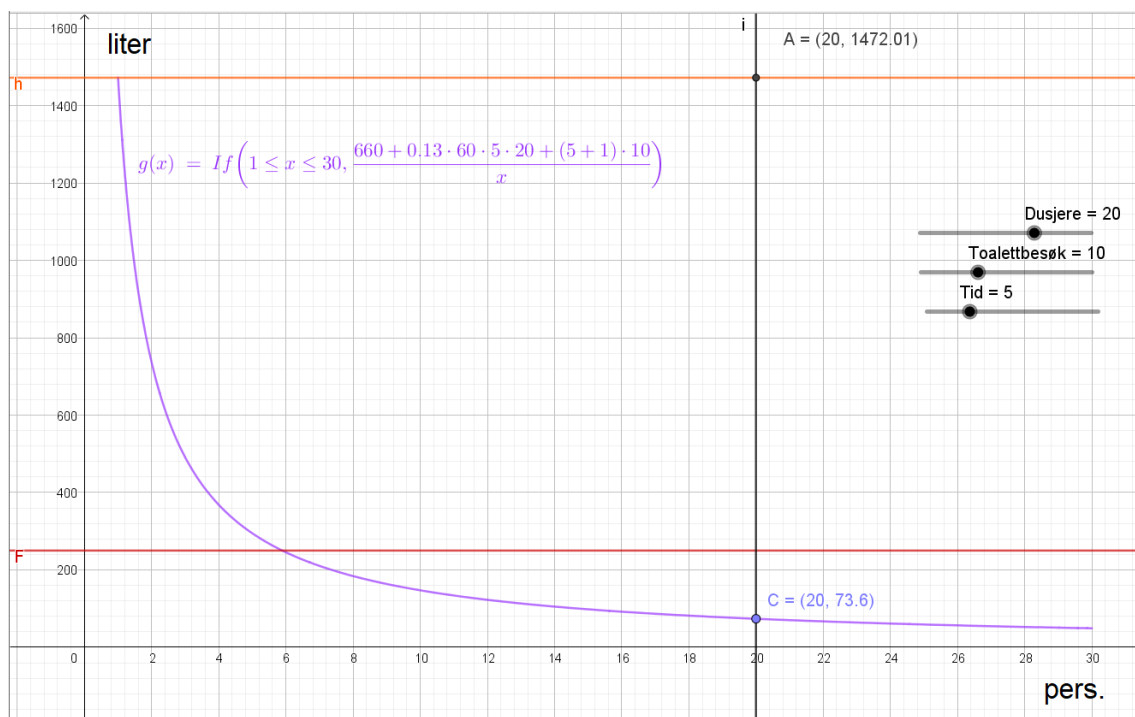
Figur 4.10: Vannforbruk ved Dalgård etter formel 4.3 ved Dalgård

For energiforbruket kan man se på figur 4.11 hvordan man kan bruke formlene til å hente ut forbruket i kWh per person ved Dalgård forutsatt samme brukstilfelle. Denne figuren tar ikke hensyn til energiforbruket til oppvarming av vann til håndvask. Her får vi da et forbruk på  $2.45 \frac{kWh}{person}$  og et totalt forbruk på 49 kWh.

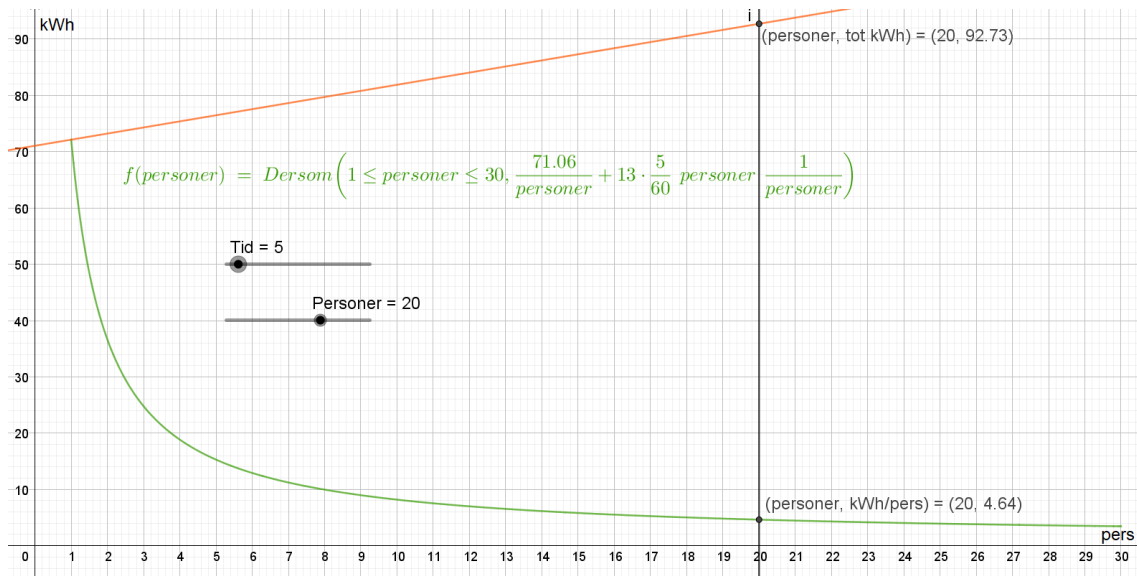


Figur 4.11: Energiforbruk per person etter formel 4.4 ved Dalgård

Figur 4.12 viser det totale vannforbruket per person forutsatt et identisk bruks- tilfelle. Her vil det være et forbruk på  $73.6 \frac{\text{liter}}{\text{person}}$  og et totalt forbruk på 1472.01 liter.



Figur 4.12: Vannforbruk ved Leangen etter formel 4.3



Figur 4.13: Energiforbruk per person etter formel 4.4 ved Leangen

Figur 4.13 viser energiforbruket ved samme tilfellet. Her vil det da være et forbruk på  $4.64 \frac{kWh}{person}$  og et totalt forbruk på 92.73 kWh. I likhet med figur 4.11 er det her ikke tatt hensyn til energien nødvendig for å varme opp varmtvann til vasker.

# Kapittel 5

## Diskusjon

Gjennom prosjektperioden har vi jobbet kontinuerlig med å forbedre arbeidsmetodikken vår. Etterhvert som problemer har dukket opp har vi forsøkt å raskt og effektivt finne løsninger. Enkelte problemer og feil i metoden har vært vanskelige å identifisere tidlig, for eksempel tidsintervallet for bildetaking ved hovedvannmåler, og dette har preget prosjektet. I dette kapitlet gjennomgår vi våre tanker og refleksjoner rundt de metodene vi utviklet gjennom prosjektperioden. Spesielt går vi inn på deres relevans for resultatene, og problemer med metodene som helhet. Til sist går vi inn på hva mangelen på informasjon rundt antall besøkende har hatt å si for resultatene våre.

### 5.1 Overvåkning av hovedvannmåler

Overvåkningen av hovedvannmåleren har vært en helt sentral del av å etablere bruksmønsteret ved Dalgård og Leangen, spesielt Dalgård, siden vi ikke hadde tilgang til en temperaturlogger tidlig i prosjektet. Denne overvåkningen har også gjort det mulig å få tall på summen av mindre tappinger som temperaturloggerne ikke har registrert. Metoden krever også veldig enkelt utstyr, og vil ikke være inngripende for driften.

Denne typen overvåkning er dessverre veldig enkel å forstyrre. Gjentatte ganger gjennom prosjektet har målingene blitt forstyrret av at lyset i rommet hovedvannmåleren har vært i har blitt skrudd av, at kamera har ladet ut eller har falt ned osv.. Til sammen har det trolig forsvunnet over 240 timer med målinger på grunn av dette. Som regel har dette skjedd ved nattestid og på tidlig morgen.

Metoden har også et nøyaktighetsproblem. De aller fleste tappinger vil være målt i liter, mens hovedvannmåleren gir forbruket i  $m^3$ , som gjør at mindre tappinger som toalettbruk eller forbruk fra vaskemaskiner blir vanskelige å registrere. Unntaksvis er preparering/flomming av banen som gjerne kan måles i 0.25 - 0.6  $m^3$  eller opp mot 2  $m^3$ , og dette har påvirket hvilke forbruk vi kan fastsette med stor nøyaktighet.

---

## 5.2 Bøttemetoden

Bøttemetoden har sammen med overvåkning av hovedvannmåleren og måling av vannmengde til is-preparering utgjort en stor del av våre målinger rundt forbruket ved Dalgård og Leangen. Metoden gav oss et solid grunnlag for hvor mye vann dusjene vil forbruke. Generelt i våre utregninger har disse verdiene hatt et godt resultat som samsvarer i stor grad med både timeplanen og endringer sett med kamera.

Metoden er dessverre ikke relevant for alle tappepunkt. Forbrukskilder som vasker, maskiner til gulvvaske eller lignende vil ha et forbruk som avhenger sterkt av vanene til brukerne. For vasker spesielt vil både tappeperiode, temperatur og volumstrøm variere. Klesvaskemaskiner til treningstøy vil også stå for et forbruk som ikke kan måles med bøttemetoden.

## 5.3 Vann til is-preparering

Å skaffe konkrete tall på forbruket til is-preparering var en viktig del av vårt målingsgrunnlag. Tidlig i prosjektet og når vi begynte med utregningen for data fra Dalgård baserte vi oss i stor grad på erfaringer fra teknisk personell. De kunne si med ganske stor sikkerhet at det per preparering brukes “mindre enn en halv tank”. For ismaskinen ved Dalgård vil dette si cirka 400 liter. Når vi skulle begynne med beregningene ble det klart at dette ikke ville gi oss nøyaktige nok resultater. Der-som det i løpet av en periode ble forbrukt 1000 liter, og det i løpet av den perioden skjedde 2 prepareringer og 2 is-hockey treninger ble det vanskelig å si med noen sikkerhet hvor mye som hadde gått til preparering og hvor mye som hadde gått til dusjing.

Ved å føre statistikk på hvor mye vann som pleier å gå til en preparering gav det oss et til referansepunkt som gjorde det lettere å si hvor mye som gikk til preparering og hvor mye som gikk til dusjing.

Metoden vi valgte for å måle denne vannmengden tar dårlig hensyn til hvordan ulik iskvalitet påvirker forbruket. Å få en kvalitet som ishockeyspillere ønsker kan gi et ulikt forbruk enn den kvaliteten kunstløpere ønsker. Metoden tar også ikke hensyn til ulike kjørevaner for de ulike ansatte ved ishallene. Tidligere har ansatte opplevd at vannmengden som går til preparering varierer med hvem som kjører ismaskinen.

## 5.4 Temperaturlogging

Temperaturloggingen har vært en stor hjelp til å kunne isolere ut brukssituasjoner. I tillegg til den har det gitt oss et inntrykk av energiforbruket som går med til is-preparering. Ved å se på temperaturendringene i sanitæranlegget har vi kunnet få et inntrykk av distribusjonen av vann i anlegget. Den reduserte pågangen på dusj ved begge ishallene medførte at vi kun hentet ut energiforbruket som gikk med til



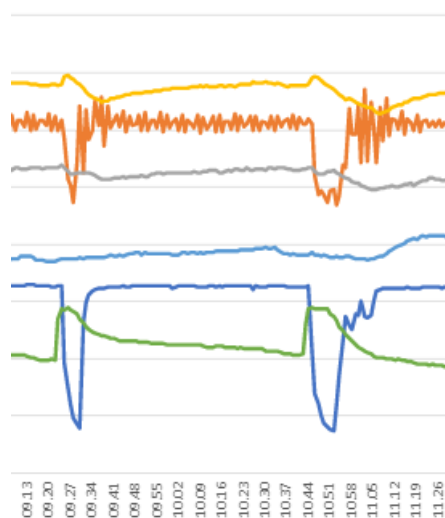
---

å varme opp vann for is-preparering.

Ut ifra våre estimater har Leangen og spesielt Dalgård en større fordeling av energiforbruk til oppvarming av vann enn det NVE fant i sin analyse. De fant at oppvarmingen av vann stod for omtrent 10% av det totale energiforbruket. Utifra våre beregninger stod energiforbruk til oppvarming av prepareringsvann for 30% av det totale energiforbruket ved Dalgård. På Leangen lå energiforbruket til oppvarming av prepareringsvann på 17%. Våre estimater har heller ikke tatt i betraktning energiforbruket som ville gått med til oppvarming av dusjvann, som da ville økt andelen til vannoppvarming enda mer. Vi har kun inkludert de store tappingene i denne vurderingen fordi vi ikke har hatt nok informasjon rundt aktiviteten ved hallen til å estimere det totale energiforbruket.

Ulikheten mellom NVE sin analyse og våre estimater kan komme av for eksempel forskjeller i bruksmønster og størrelse på oppvarmet bruksareal ved ishallene. Ishallen NVE analyserte har like stor isflate som både Leangen og Dalgård, og har et relativt likt totalareal som Leangen Ishall. Dalgård Ishall har et mye mindre totalareal på bygget enn både Leangen og NVE sin ishall, dette vil medføre en mindre energimengde nødvendig for oppvarming og ventilasjon. Som en effekt av dette vil oppvarmingen av tappevann naturligvis utgjøre en større andel av det totale energiforbruket til hallen. En annen feilkilde i sammenligningen er at NVE sin analyse av energiforbruk også tok med strømforbruket som gikk med til lys og el-spesifikke laster.

Ved Leangen gav temperaturloggerne oss muligheten til å identifisere tidspunkt for store tappinger av varmtvann. Dette gav oss en ekstra sikkerhetsfaktor når vi skulle begynne med beregningene. Før vi installerte denne temperaturloggeren var det vanskelig å si med stor sikkerhet om de store tappingene vi observerte kom fra ismaskinen, dusjene eller et annet tappepunkt. Verdien fra denne ekstra måleren gjorde det også mulig å gjøre et anslag for energiforbruket til oppvarming av vannet til ismaskinen.



Figur 5.1: Eksempel på isolering av vann til ismaskin

---

På figur 5.1 kan man se at det er temperaturfall i systemet kl. 09:27 og kl. 10:44. Dette vil da indikere at det blir brukt vann. Den grønne streken viser temperaturen på ismaskinen sin tilførselsledning. Vi kan se at i dette tilfellet stiger temperaturen på tilførselsledningen når temperaturen faller i resten av systemet. Vi kan da anta at vannet som tappes fra systemet går til ismaskinen.

Metoden er best egnet til å finne store tappinger, som is-prepareringer eller dusj, og selv med små tidsintervaller har det vært vanskelig å isolere ut små tappinger, som f.eks. ett toalettbesøk eller forbruket til vaskemaskiner. Utenfor treningstider eller kamper for større lag står denne typen små tappinger for brorparten av forbruket.

En annen problematikk som følger med metoden vi valgte for temperaturlogging er mangelen på nøyaktighet for energidata. Når vi først kom frem til metoden for å måle temperaturendringer baserte vi oss på Dalgård ishall sitt berederrom. I dette rommet er det kun en bereder man må ta hensyn til. Her fungerer vår metode veldig bra, siden vi kan se temperaturen på vannet i alle de essensielle punktene. Problemet oppstod når vi skulle gå videre til større berederanlegg. Både mesaninen på Dalgård og berederrommet på Leangen har 5 beredere i sine system. Vi kan måle temperaturen som går inn på starten av systemet og det som kommer ut på den andre enden. Det vi ikke tok med i våre vurderinger var å ha målere mellom berederene. Dette ville ha latt oss finne effektbehovet til hver bereder som har et varmeelement for å få et mer nøyaktig mål på det totale energiforbruket.

Siden vi kun måler temperaturen på utsiden av rørene, istedenfor på innsiden, vil våre estimer for energiforbruk bli mindre nøyaktige. Det gjør også at lufttemperaturen har en innvirkning på den målte verdien. Lav lufttemperatur på mesaninen til Dalgård vil gjøre at det måles generelt lavere temperaturer enn det som er reelt. På Leangen er det motsatt problem. Her måles, for eksempel, kaldtvannet til en mye høyere temperatur enn det den virkelig er. Det er en mulighet for at målepunktene har mistet sin integritet over tid ved at isolasjon eller teip har løsnet. Dette kan ha medført at lufttemperaturen fikk en større påvirkning på temperaturmålingene. For å få et realistisk estimat på energiforbruket valgte vi å bruke maksimumsverdier for temperaturen på kaldtvannet. Disse verdiene vil ikke være påvirket av lufttemperaturen og vil gi et godt tall på den faktiske kaldtvannstemperaturen.

## 5.5 Mangel på informasjon om antall besøkende

Som tidligere nevnt har vi i prosjektperioden ikke hatt tilgang på informasjon om hvor mange brukere systemet er dimensjonert for eller hvor mange som har besøkt hallene og brukt dusjene. Dette er viktig informasjon som hjelper med å sette forbruket i en kontekst. For eksempel vil det være en stor forskjell på om det brukes 1500 liter i løpet av en aktivitetsperiode hvor det kun har vært 1 utøver eller 20. For energien har vi hatt samme problemet. Dette har vært en grunn til at vi har valgt å fremstille forbruket som per person.

En annen konsekvens har vært at det har blitt vanskelig å vurdere hva som vil som vil være et realistisk antall personer som bruker dusjene. I våre beregninger har vi

---

valgt å dekke en gjennomsnittsmengde på 10 personer, som virker til å være ganske representativt, og det har gjort av aktivitetsperioder som kamper og stevner har vært vanskelige å dekke på en god måte.

## 5.6 Forskjell i forbruket

Ved Dalgård og Leangen er det stor forskjell mellom vann- og energiforbruket. Det vil være en rekke ulike faktorer som kan påvirke dette forbruket. Antall besøkende, brukstid, driftsrutiner rundt vedlikehold, prepareringer og vaner hos besøkende vil ha en påvirkning rundt forbruket.

I prosjektperioden har det ut i fra timeplanene til de to hallene vist relativt like aktivitetsnivå. Begge hallene er i bruk ved både dagtid og kveld, men av forskjellige grupper. På dagtid brukes Dalgård Ishall mer av nærliggende skoler og barnehager mens Leangen Ishall brukes mer av videregående skoler og toppidrettsutøvere. Ved kveldstid brukes begge hallene av diverse is-hockey og skøyteklubber. På grunn av manglende tall rundt antall besøkende, som nevnt over, og målinger for dusjing ved Dalgård vil det være vanskelig å si med høy sikkerhet hvilke konsekvens dette har hatt for forbruket.

Ut i fra timeplanen virker det som antall prepareringer ved ishallene er relativt likt, og begge ishallene har liknende rutiner for når de preparerer. Ved Leangen Ishall er det større gulvarealer, men vi har ikke fått oversikt over hvor maskinene til gulvvask fylles eller hvilke vannmåler som er koblet til dette tappepunktet. Generelt har vi ikke kartlagt de rutinene for vedlikehold utenom preparering.

Ismaskinene som brukes ved Dalgård og Leangen Ishall er fra forskjellige produsenter med forskjellig utføring. Ismaskinen ved Dalgård Ishall fører vannet direkte på isflaten, mens den ved Leangen Ishall sprayer vannet ut bak som en lavt-liggende “sky” som raskt faller mot isflaten. Vi har ikke målinger på hvilke påvirkning dette kan ha, men det er en mulig kilde til forskjellen i forbruket. Ismaskinene har også muligens forskjellig regulering for volumstrøm fra ismaskinens dyser. En “Olympia IceBear Electric” reguleres volumstrøm automatisk av ismaskinens hastighet, mens for en “Enco Red Wulf” settes den til et fast forbruk. Dette vil være en potensiell kilde til forskjell i forbruk til prepareringen.

# Kapittel 6

## Konklusjon

Hovedhensikten med denne oppgaven var å kartlegge vann-og energiforbruket ved Dalgård og Leangen Ishall, og basert på denne kartleggingen lage estimater for fremtidig forbruk. Denne kartleggingen har gjort det klart at prepareringen vil være et konstantledd for forbruket som er avhengig av hvor mange besøkende det er ved anlegget. Tabell 6.1 viser vann- og energiforbruket per  $m^2$  isflate. I prosjektperioden har vi ikke foretatt arealmålinger av is-hockeybanene, så denne tabellen forutsetter at banene har standard størrelse på 30x60 meter.

| Ishall  | Forbruk                  |                              |
|---------|--------------------------|------------------------------|
|         | Vann ( $\frac{l}{m^2}$ ) | Energi ( $\frac{kWh}{m^2}$ ) |
| Dalgård | 0.23                     | 0.016                        |
| Leangen | 0.60                     | 0.039                        |

Tabell 6.1: Vann- og energiforbruk per  $m^2$  isflate per preparering

For dusjene og andre tappepunkter er det blitt klart at forbruket vil variere kraftig avhengig av brukernes vaner, både når det kommer til hvor mange som dusjer og hvor lenge de dusjer.

Metodikken vi har utarbeidet i løpet av prosjektperioden egner seg godt til å kartlegge kilder til store tappinger. Is-prepareringer og dusjbruk vises tydelig ved både hovedvannmåler og temperaturlogger. Mindre tappinger som kantinevirksomhet, renhold, vedlikehold og toalettbruk er vanskelige eller umulige å måle med høy nøyaktighet med vår nåværende måte.

### 6.1 Til videre arbeid

Ved videre arbeid kan det være interessant å foreta målinger med vår metode gjennom en hel sesong utenfor pandemien. Dette vil gjøre at resultatene ikke påvirkes av endringer i bruk og rutiner utover i sesongen. Å inkludere temperaturloggere mellom hver bereder i sanitæranleggene vil kunne gjøre det mulig å få et mer nøyaktig anslag for energiforbruket til oppvarming.

---

En mulig utbedring av metoden kan være å bytte ut eller supplere temperaturloggerne med flowmeters. Bruk av flowmeter kan gjøre det mulig å få mer nøyaktige målinger. Den nåværende metoden krever en del målepunkter, som kan gjøre det vanskelig å bruke et flowmeter. Akkurat dette vil avhenge av hvilket flowmeter som brukes, men det vil være en faktor som er viktig å ta med i beregningen hvis en velger å bruke slikt utstyr. Ved Leangen kan et flowmeter tilkobles hver av fordelerstokkene til garderobene, og dette bør gjøre det mulig å få gode tall på forbruket til dusjene.

Dersom videre arbeid skal også kartlegge mindre tappinger må metoden omgjøres slik at disse kan inkluderes. Å måle alle små tappinger vil ikke være praktisk gjennomførbart. I en normal brukssituasjon kan det forekomme tappinger ved mange forskjellige tappepunkter i vidt forskjellige deler av bygget. Det kan derfor være mer hensiktsmessig å kartlegge alle større og/eller mer forutsigbare tappekilder. Dette kan gjøres ved at foreta en liknende kartlegging av kioskdrift og vedlikeholdet. I prosjektperioden har vi ikke observert legionellaspyling ved noen av anleggene, og i likhet med annen drift bør denne kartlegges. Når det regelmessige forbruket til driften er kartlagt bør det da en da stå igjen med forbruket til toaletter og lignende.

# Bibliografi

- ASHRAE (2014). *ASHRAE Handbook Refrigeration*. ASHRAE.
- Byggkvalitet, Direktoratet for (2017). *Byggteknisk Forskrift (TEK 17)*. URL: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/15/ii/15-5/> (sjekket 8. mar. 2021).
- Cengel, Yunus A., Michael A. Boles og Mehmet Kanoglu (2019). *Thermodynamics; An Engineering Approach*. McGraw-Hill Education.
- Dennis, P J, D Green og B P Jones (1984). *A note on the temperature tolerance of Legionellas*. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6725165/> (sjekket 12. mai 2021).
- Folkehelseinstituttet (2015). *Forebygging av legionellasmitte – en veiledning*. URL: <https://www.fhi.no/publ/2015/forebygging-av-legionellasmitte/> (sjekket 14. mai 2021).
- (2020). *Legionellaveilederen*. URL: <https://www.fhi.no/nettpub/legionellaveilederen/temakapitler/behandlingsmetoder2/?term=&h=1> (sjekket 12. mai 2021).
- Kommuneforlaget (2017). *Tekniske Bestemmelser*. URL: <https://www.kvam.no/tenester/tekniske-tenester/vatn-og-avlaup/forskrifter-normer-og-skjema/standard-abonnementsvilkar-for-vatn-og-avlop/> (sjekket 10. mar. 2021).
- Kulturdepartementet (2016). *Idrettshaller*. URL: [https://www.regjeringen.no/contentassets/dee978d794694506bba23a57d8a76ea8/v-0989b\\_idrettshaller\\_planleging\\_og\\_bygging\\_2016.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/dee978d794694506bba23a57d8a76ea8/v-0989b_idrettshaller_planleging_og_bygging_2016.pdf) (sjekket 8. mar. 2021).
- Miljøverndepartementet (2008). *Forurensningsloven*. URL: [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/md/vedlegg/forurensing/forbuk\\_avfall/ending\\_avfallsforskrift.pdf?id=2272519](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/md/vedlegg/forurensing/forbuk_avfall/ending_avfallsforskrift.pdf?id=2272519) (sjekket 25. apr. 2021).
- NVE (2016). *Analyse av energibruk i yrkesbygg*. URL: [https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016\\_24.pdf](https://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_24.pdf) (sjekket 28. apr. 2021).
- Russell-Ausley, Melissa (2000). *How Ice Rinks Work*. URL: <https://entertainment.howstuffworks.com/ice-rink6.htm> (sjekket 11. apr. 2021).
- SINTEF (2015). *Energieffektive og vannbesparende sanitærinstallasjoner*. URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/3218/energieffektive\\_og\\_vannbesparende\\_sanitaerinstallasjoner](https://www.byggforsk.no/dokument/3218/energieffektive_og_vannbesparende_sanitaerinstallasjoner) (sjekket 11. mar. 2021).
- Sjøvold, O (2020). *Varmtvannsberedning, legionella og våtrom. TMAS3003 VVS prosjektering*. URL: <https://ntnu.blackboard.com> (sjekket 11. mar. 2021).
- Statkraft (2021a). *Fjernvarme*. URL: <https://www.statkraft.no/var-virksomhet/fjernvarme/> (sjekket 25. apr. 2021).
- (2021b). *Trondheim*. URL: <https://www.statkraftvarme.no/om-statkraftvarme/vare-anlegg/trondheim/> (sjekket 25. apr. 2021).

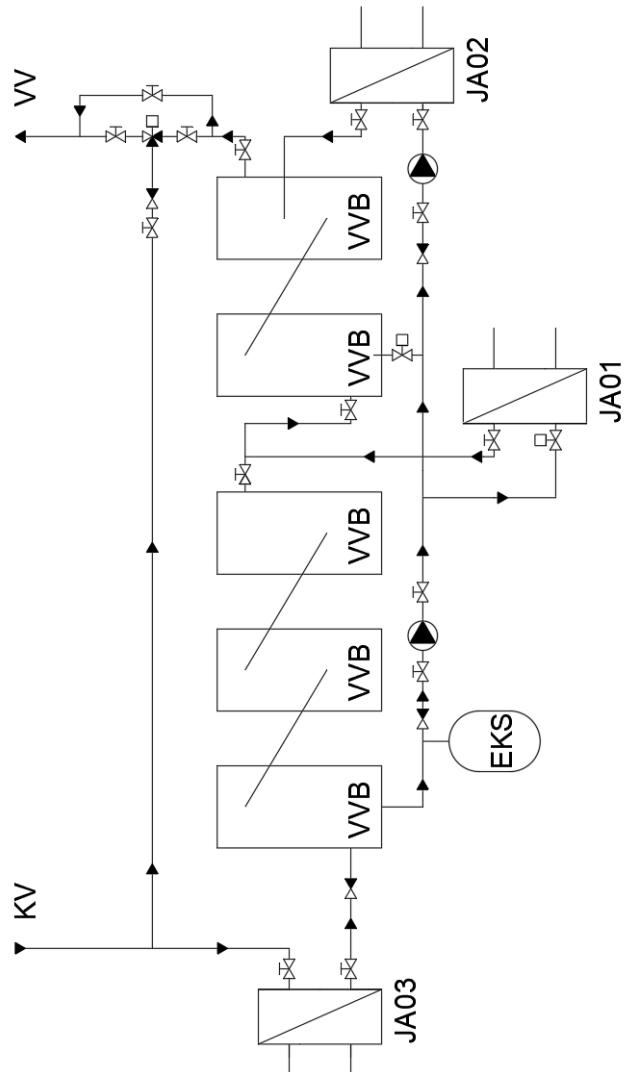
---

Stout, J E, V L Yu og M G Best (1985). *Ecology of Legionella pneumophila within water distribution systems*. URL: <https://aem.asm.org/content/aem/49/1/221.full.pdf> (sjekket 22. mar. 2021).

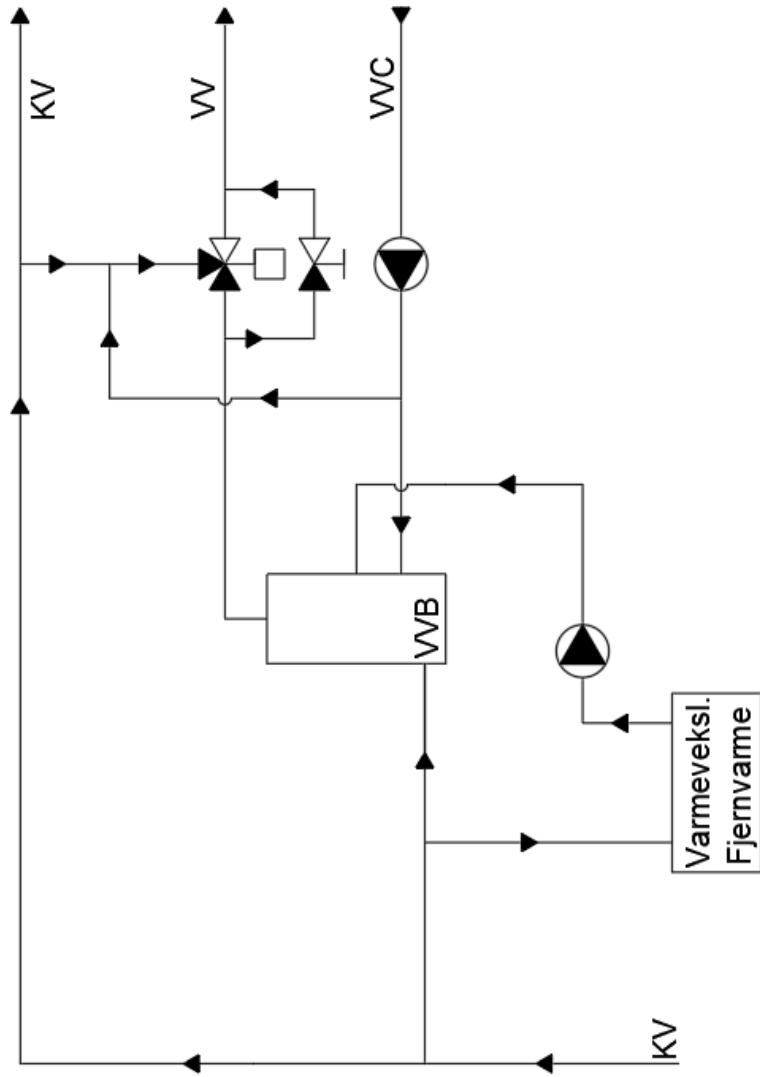
## Tillegg A

### Tegninger av berederrommene

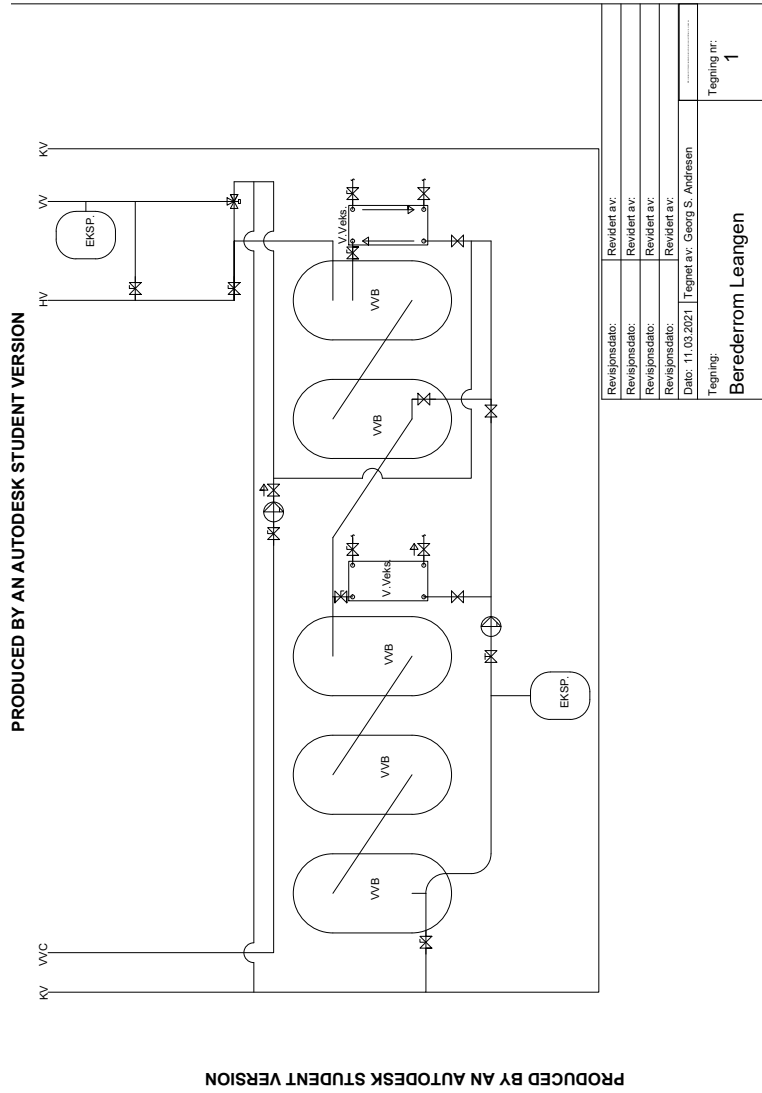




Figur A.1: Dalgård Mesanin



Figur A.2: Berederrom Dalgård Ishall



Figur A.3: Berederrom Leangen Ishall

|                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| Revisjonsdato:     | Revidert av:                 |
| Revisjonsdato:     | Revidert av:                 |
| Revisjonsdato:     | Revidert av:                 |
| Date: 11.03.2021   | Tegnet av: Georg S. Andresen |
| Tegning nr:        |                              |
| Berederrom Leangen |                              |
| 1                  |                              |

# Tillegg B

## Gjennomsnittsmålinger for tappesteder

### B.1 Gjennomsnittsmålinger for tappesteder ved Dalgård

| Bøttetest Dalgård (1 dusj)     |         |                              |
|--------------------------------|---------|------------------------------|
| Volum (l)                      | Tid (s) | Volumstrøm ( $\frac{l}{s}$ ) |
| 10                             | 97.11   | 0.103                        |
| 10                             | 97.32   | 0.103                        |
| 10                             | 98.23   | 0.102                        |
| 10                             | 97.86   | 0.103                        |
| 10                             | 96.01   | 0.104                        |
| 10                             | 96.03   | 0.104                        |
| 10                             | 98.99   | 0.101                        |
| 10                             | 97.59   | 0.102                        |
| Gjennomsnitt ( $\frac{l}{s}$ ) |         | 0.103                        |

Tabell B.1: Bøttetest enkelt dusj dalgård 17.02.21

---

| Bøttetest Dalgård (samtidig)   |         |                              |
|--------------------------------|---------|------------------------------|
| Volum (l)                      | Tid (s) | Volumstrøm ( $\frac{l}{s}$ ) |
| 10                             | 98.31   | 0.102                        |
| 10                             | 98.95   | 0.101                        |
| 10                             | 100.74  | 0.099                        |
| 10                             | 102.23  | 0.098                        |
| 10                             | 103.87  | 0.096                        |
| 10                             | 104.87  | 0.095                        |
| 10                             | 103.78  | 0.096                        |
| 10                             | 106.23  | 0.094                        |
| Gjennomsnitt ( $\frac{l}{s}$ ) |         | 0.098                        |

Tabell B.2: Bøttetest Samtidig Dalgård 17.02.21

| Bøttetest Dalgård vask i kafeteria (varmtvann) |         |            |
|--|---------|------------|
| Volum (l)                                      | Tid (s) | Volumstrøm |
| 1  | 8.49    | 0.118      |
| 1  | 7.77    | 0.129      |
| 1  | 8.32    | 0.120      |
| 1  | 8.54    | 0.117      |
| Gjennomsnitt (l/s)                             |         | 0.121      |

Tabell B.3: Bøttetest Dalgård vask i kafeteria (varmtvann) 17.02.21

| Bøttetest Dalgård vask i kafeteria (kaldtvann) |         |            |
|--|---------|------------|
| Volum (l)                                      | Tid (s) | Volumstrøm |
| 1  | 7.05    | 0.142      |
| 1  | 8.00    | 0.125      |
| 1  | 7.14    | 0.140      |
| 1  | 07.30   | 0.137      |
| Gjennomsnitt (l/s)                             |         | 0.136      |

Tabell B.4: Bøttetest Dalgård vask i kafeteria (kaldtvann) 17.02.21

| Bøttetest Dalgård vask i kafeteria (lunkent vann) |         |                  |
|---|---------|------------------|
| Volum (l)   | Tid (s) | Volumstrøm (l/s) |
| 5   | 34.63   | 0.144            |
| Gjennomsnitt                                      |         | 0.144            |

Tabell B.5: Bøttetest Dalgård vask i kafeteria (lunket) 17.02.21

## B.2 Gjennomsnittsmålinger for tappsteder ved Leangen

---

| Tappedsted   | Temperatur (normal temp, °C) |
|--------------|------------------------------|
| 1            | 38                           |
| 2            | 36                           |
| 3            | 36                           |
| 4            | 43                           |
| 5            | 38                           |
| Gjennomsnitt | 38.2                         |

Tabell B.6: Temperaturtest for dusj ved Dalgård 24.02.21

| Prepping     | Vannmengde (l) |
|--------------|----------------|
| 1            | 195.75         |
| 2            | 271.76         |
| Gjennomsnitt | 234            |

Tabell B.7: Gjennomsnittsverdi for vannforbruket til preparering ved Dalgård Ishall

| Bøttetest Leangen (1 dusj)     |         |                              |
|--------------------------------|---------|------------------------------|
| Volum (l)                      | Tid (s) | Volumstrøm ( $\frac{l}{s}$ ) |
| 10                             | 83.49   | 0.112                        |
| 10                             | 79.88   | 0.125                        |
| 10                             | 81.29   | 0.123                        |
| 10                             | 77.47   | 0.129                        |
| 10                             | 81.92   | 0.122                        |
| 10                             | 79.77   | 0.125                        |
| 10                             | 80.99   | 0.123                        |
| 10                             | 78.21   | 0.128                        |
| Gjennomsnitt ( $\frac{l}{s}$ ) |         | 0.124                        |

Tabell B.8: Bøttetest enkelt dusj Leangen 20.02.21

| Bøttetest Leangen samtidighet 20.02.21 |         |                              |
|--|---------|------------------------------|
| Volum (l)                              | Tid (s) | Volumstrøm ( $\frac{l}{s}$ ) |
| 10                                     | 83.98   | 0.119                        |
| 10                                     | 78.12   | 0.128                        |
| 10                                     | 79.27   | 0.126                        |
| 10                                     | 78.60   | 0.127                        |
| 10                                     | 79.23   | 0.126                        |
| Gjennomsnitt ( $\frac{l}{s}$ )         |         | 0.125                        |

Tabell B.9: Bøttetest samtidighet Leangen 20.02.21

---

| Tappedsted   | Temperatur (°C) |
|--------------|-----------------|
| 1            | 30              |
| 2            | 31              |
| 3            | 28              |
| 4            | 28              |
| 5            | 29              |
| Gjennomsnitt | 29.2            |

Tabell B.10: Temperaturtest enkelt dusj Leangen 26.04.21

| Tappedsted   | Temperatur (°C) |
|--------------|-----------------|
| 1            | 34              |
| 2            | 34              |
| 3            | 32              |
| 4            | 34              |
| 5            | 34              |
| Gjennomsnitt | 33.6            |

Tabell B.11: Temperaturtest samtidighet alle dusjer Leangen 26.04.21

| Vannmengde til preparering ved Leangen |                  |           |
|--|------------------|-----------|
| Tid (s)                                | Volumstrøm (l/s) | Volum (l) |
| 06:43                                  | 1.58             | 636.74    |
| 06:45                                  | 1.58             | 639.9     |
| 06:38                                  | 1.58             | 628.84    |
| Gjennomsnitt                           |                  | 635.16    |

Tabell B.12: Vannmengde til ispreparering ved Leangen

# Tillegg C

## Vannforbruk Dalgård

Vedlagt i ekstern fil



# Tillegg D

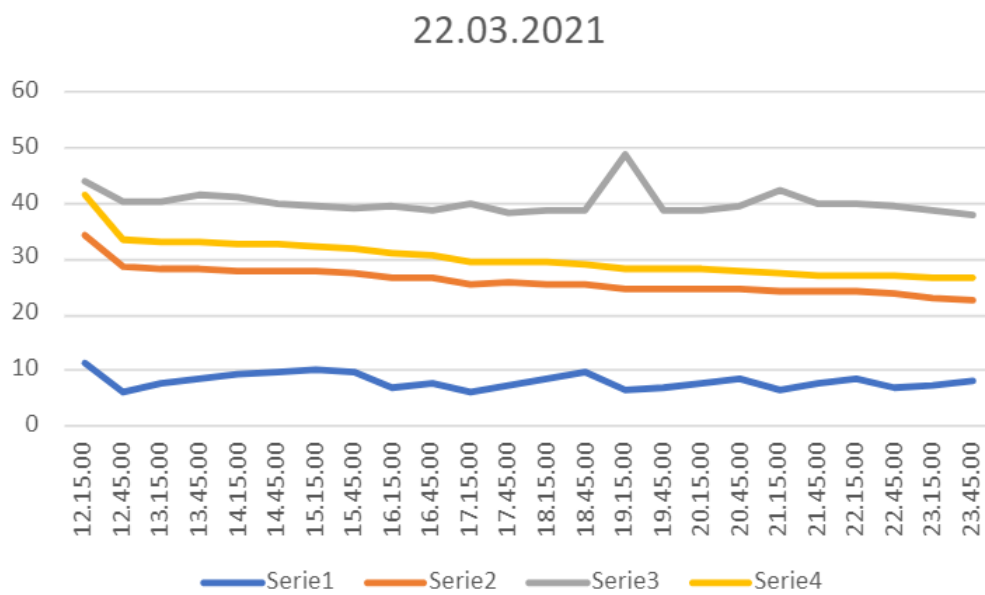
## Vannforbruk ved Leangen Ishall

Vedlagt i ekstern fil.

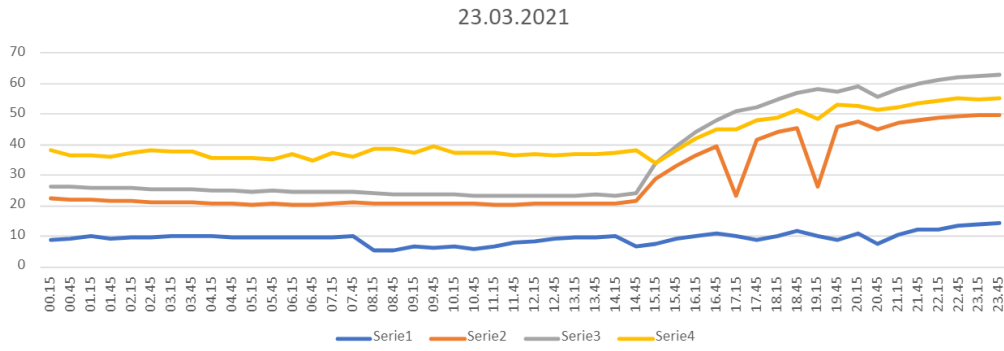
# Tillegg E

## Temperaturlogging

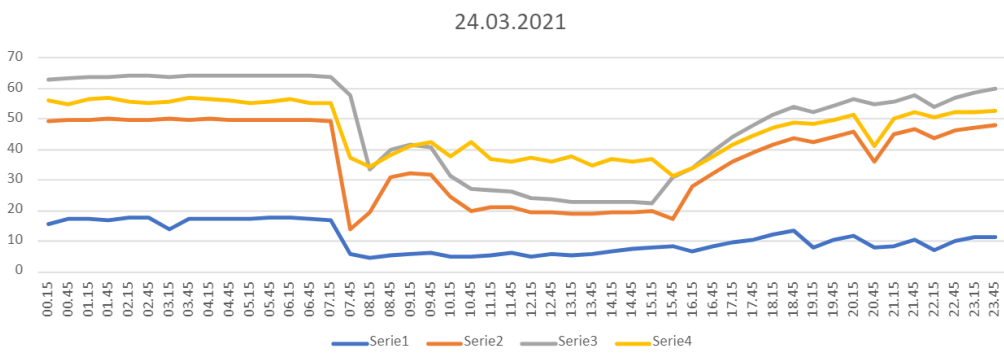
### E.1 Dalgård Mesanin



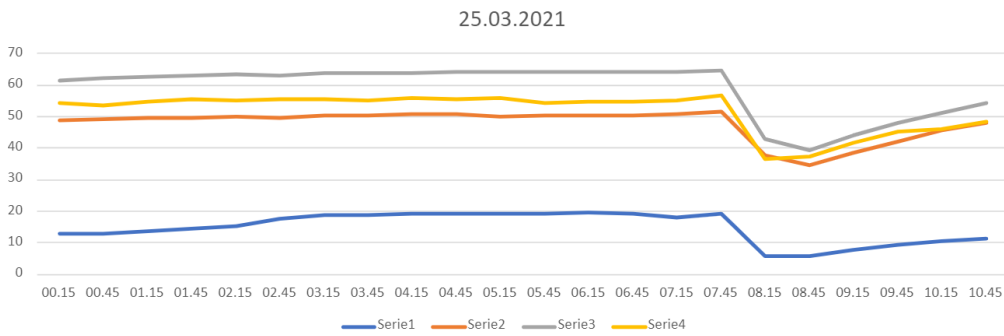
Figur E.1: Temperaturlogging Dalgård mesanin 22.03.2021



Figur E.2: Temperaturlogging Dalgård mesanin 23.03.2021

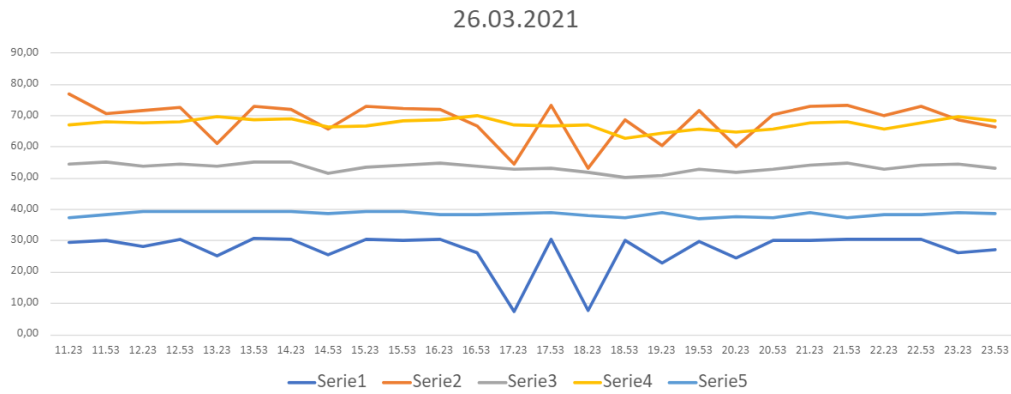


Figur E.3: Temperaturlogging Dalgård mesanin 24.03.2021

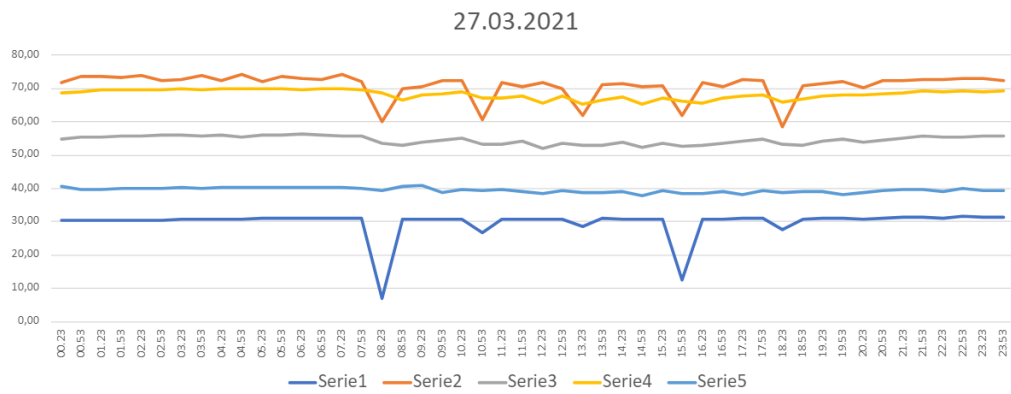


Figur E.4: Temperaturlogging Dalgård mesanin 25.03.2021

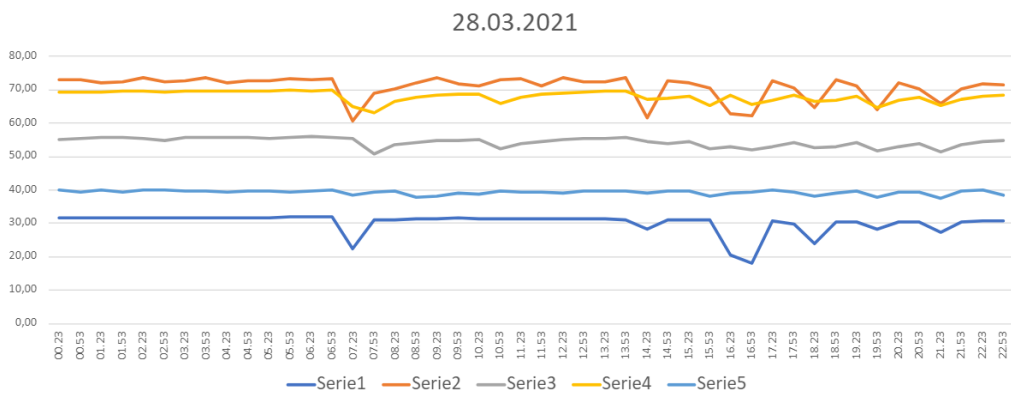
## E.2 Leangen



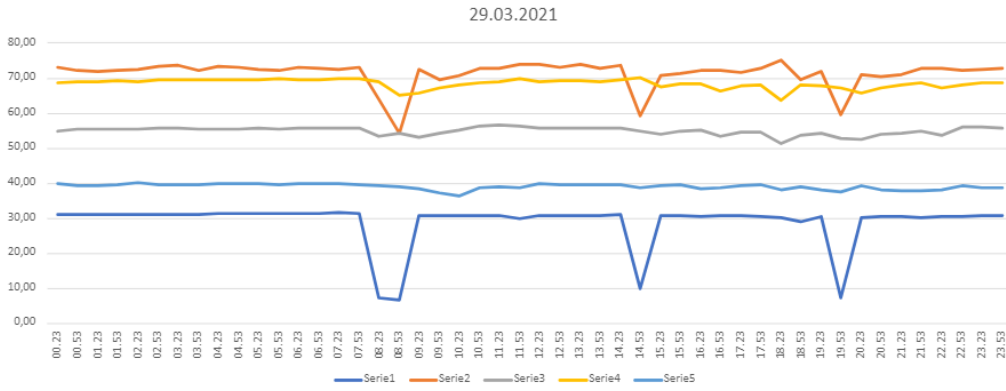
Figur E.5: Temperaturlogging Leangen 26.03.2021



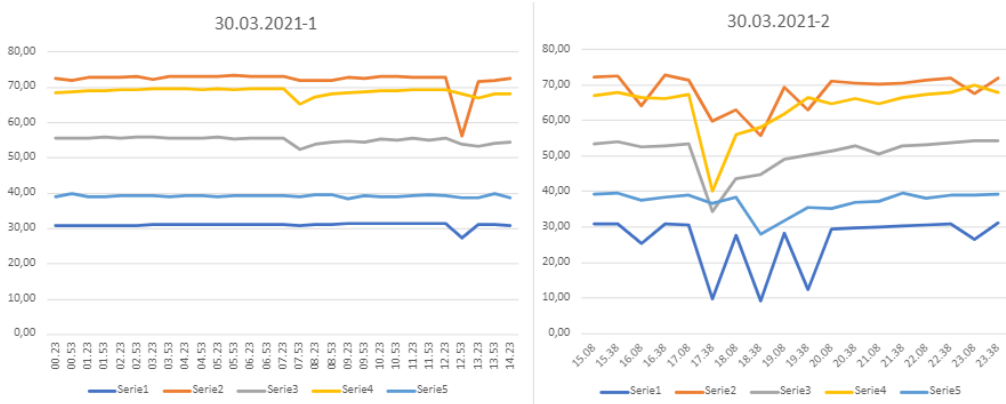
Figur E.6: Temperaturlogging Leangen 27.03.2021



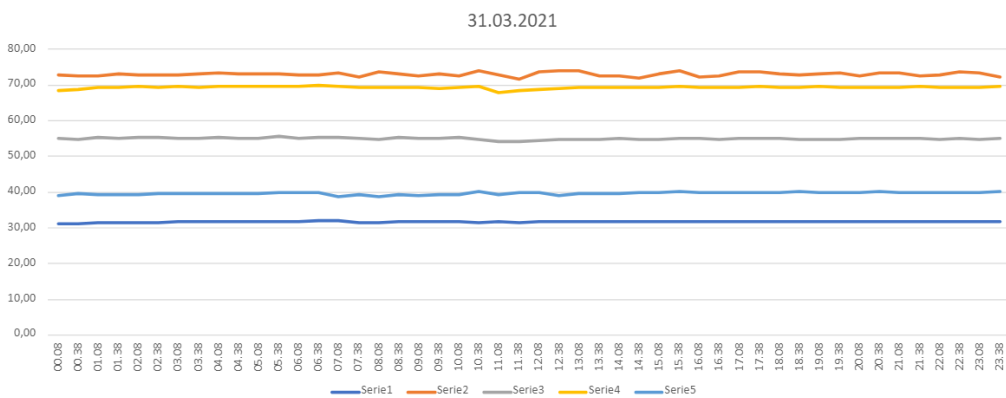
Figur E.7: Temperaturlogging Leangen 28.03.2021



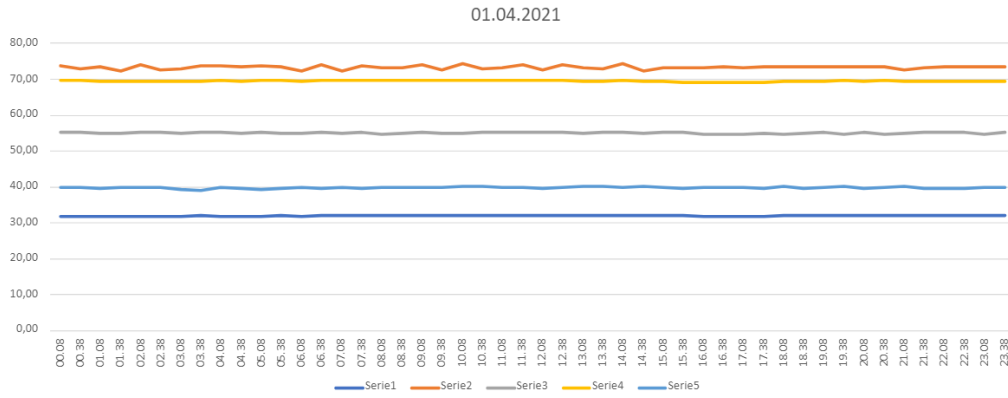
Figur E.8: Temperaturlogging Leangen 29.03.2021



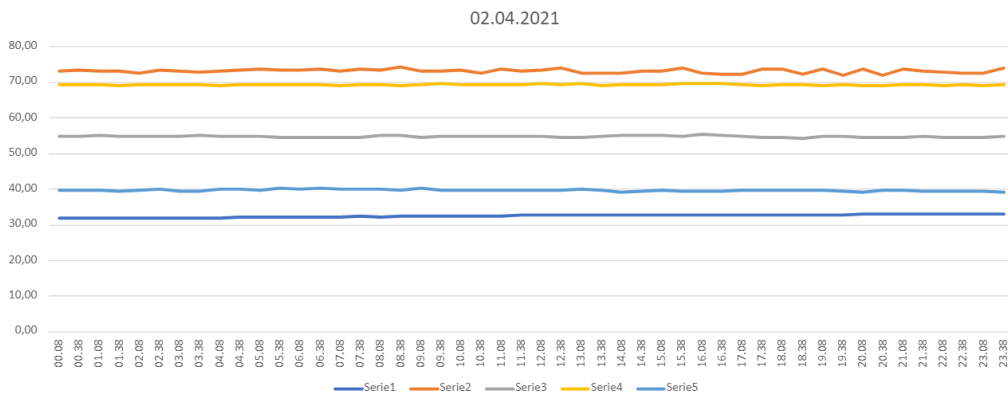
Figur E.9: Temperaturlogging Leangen 30.03.2021



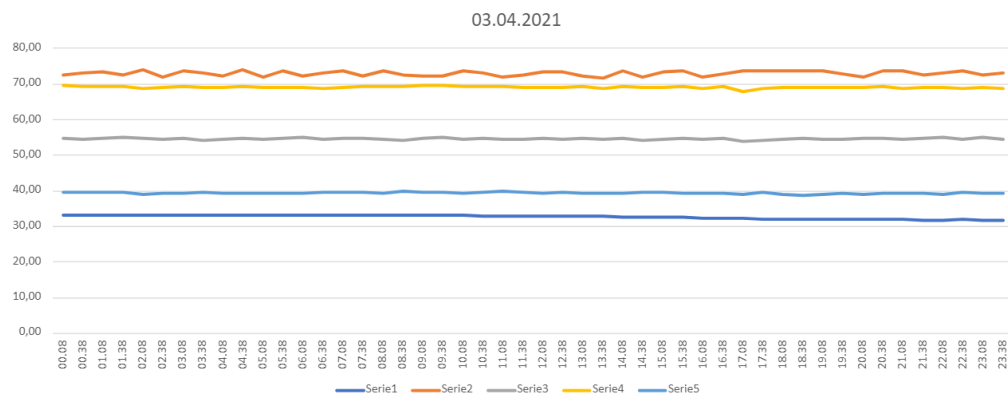
Figur E.10: Temperaturlogging Leangen 31.03.2021



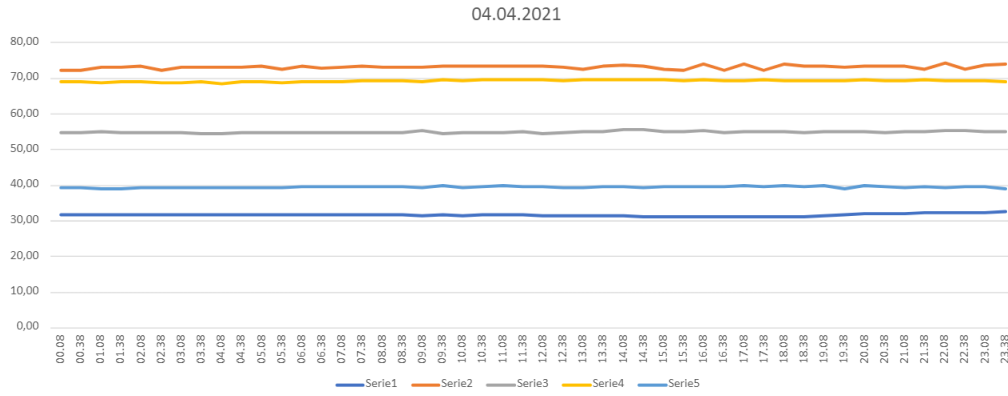
Figur E.11: Temperaturlogging Leangen 01.04.2021



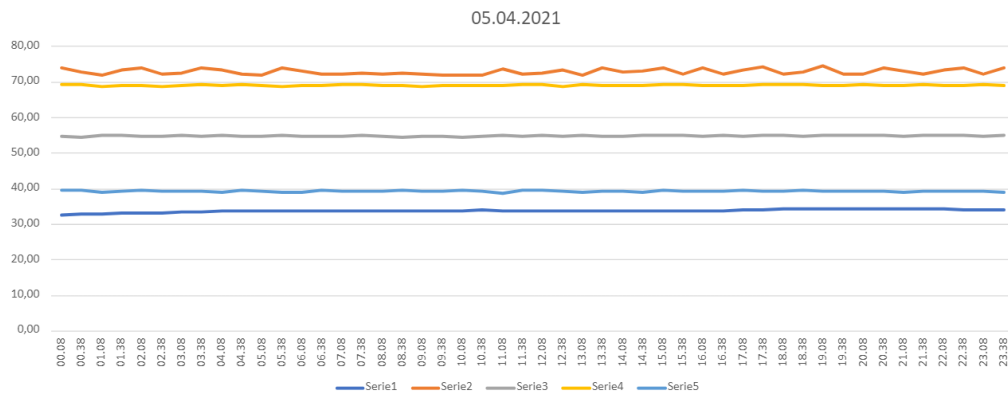
Figur E.12: Temperaturlogging Leangen 02.04.2021



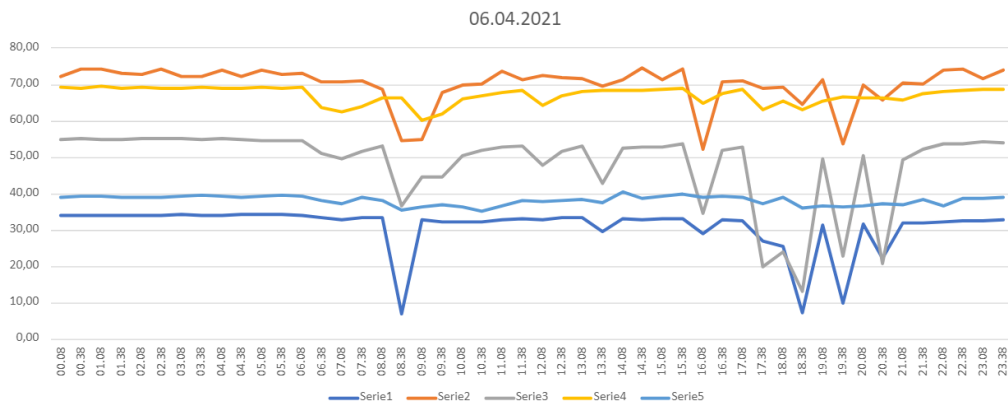
Figur E.13: Temperaturlogging Leangen 03.04.2021



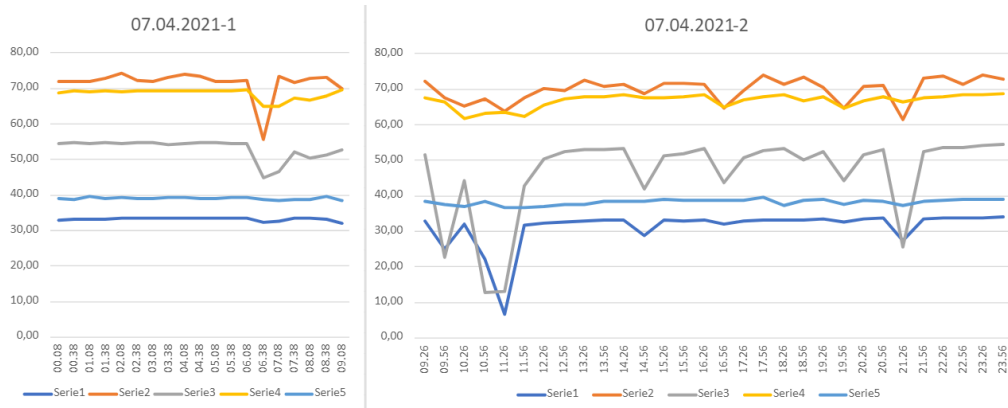
Figur E.14: Temperaturlogging Leangen 04.04.2021



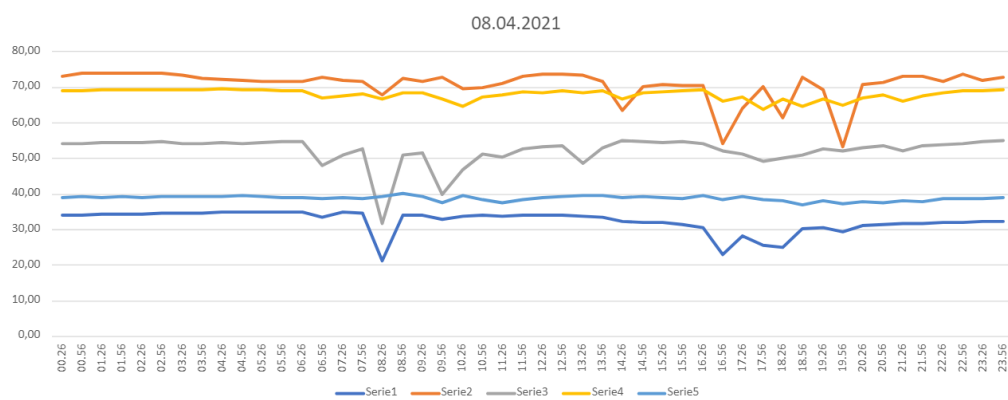
Figur E.15: Temperaturlogging Leangen 05.04.2021



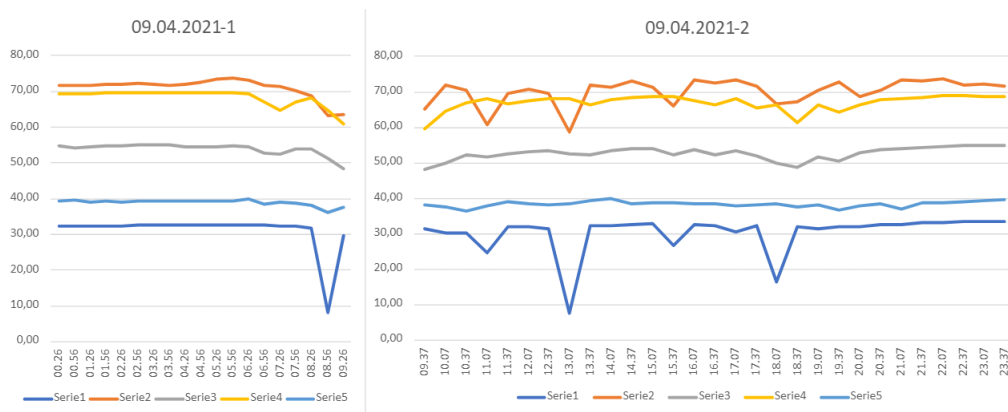
Figur E.16: Temperaturlogging Leangen 06.04.2021



Figur E.17: Temperaturlogging Leangen 07.04.2021

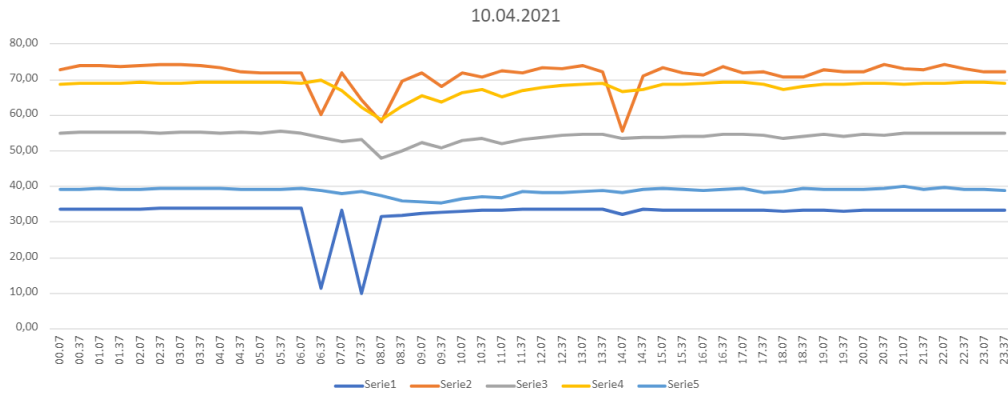


Figur E.18: Temperaturlogging Leangen 08.04.2021

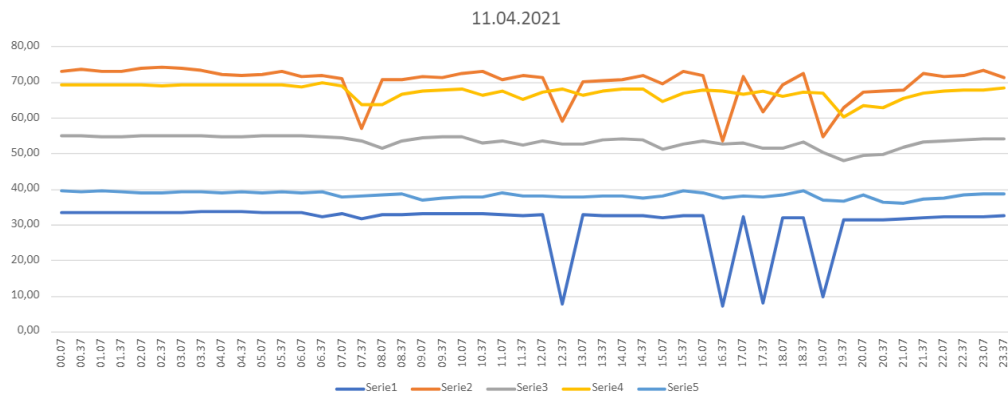


Figur E.19: Temperaturlogging Leangen 09.04.2021

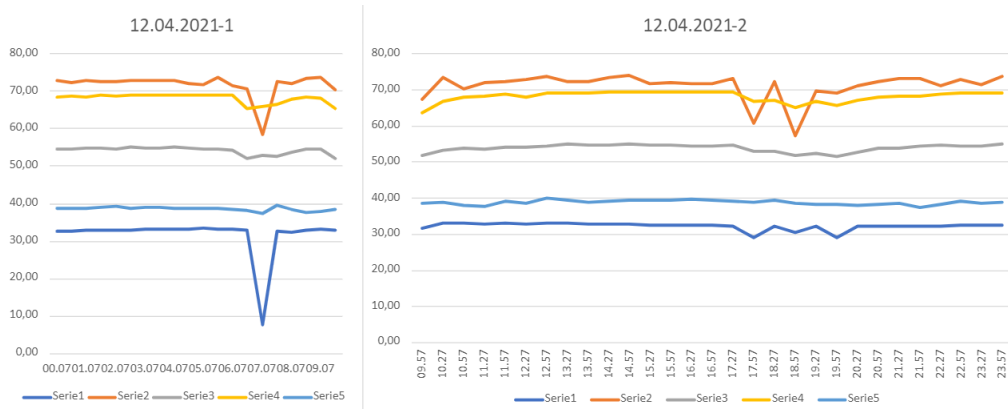




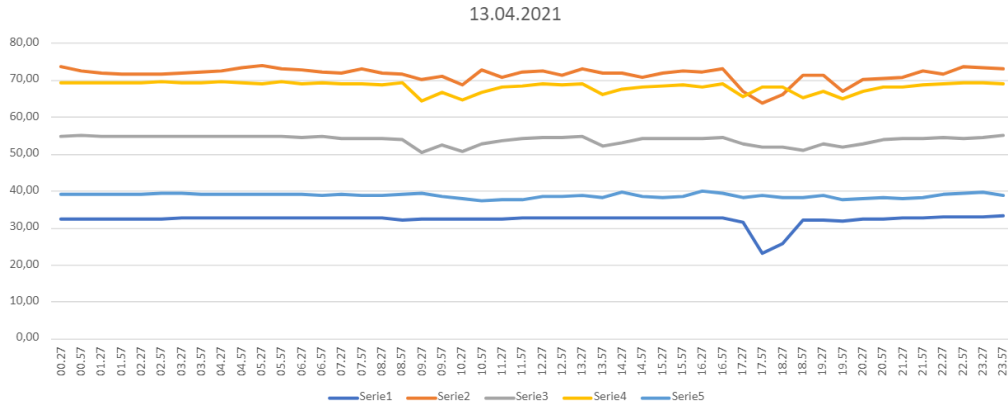
Figur E.20: Temperaturlogging Leangen 10.04.2021



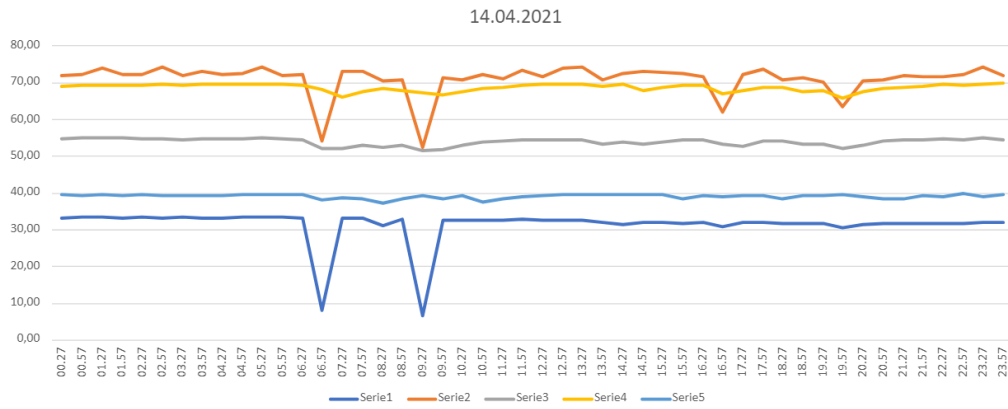
Figur E.21: Temperaturlogging Leangen 11.04.2021



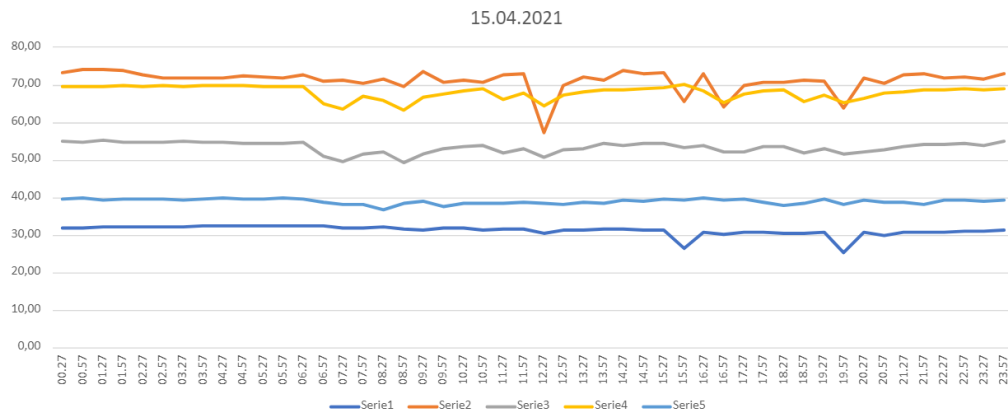
Figur E.22: Temperaturlogging Leangen 12.04.2021



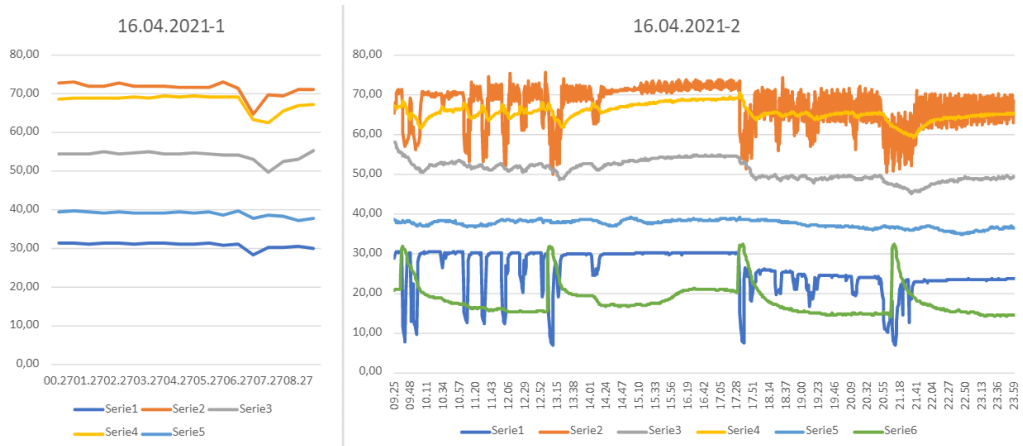
Figur E.23: Temperaturlogging Leangen 13.04.2021



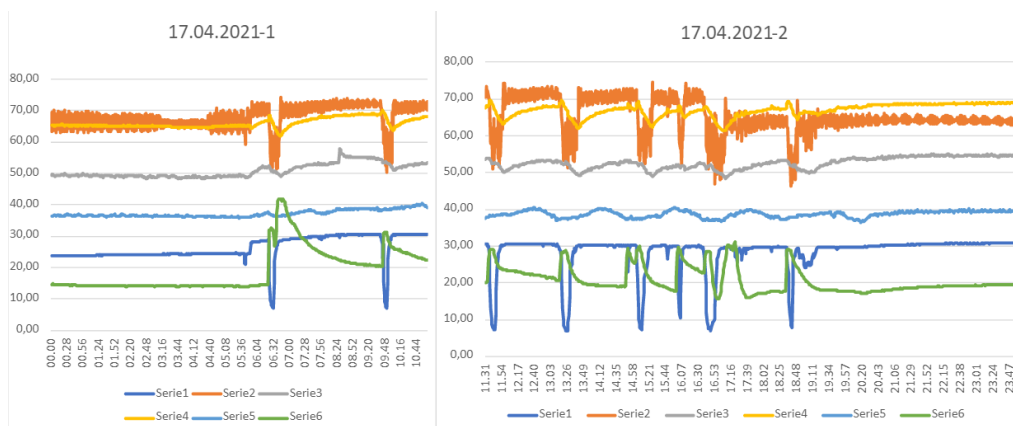
Figur E.24: Temperaturlogging Leangen 14.04.2021



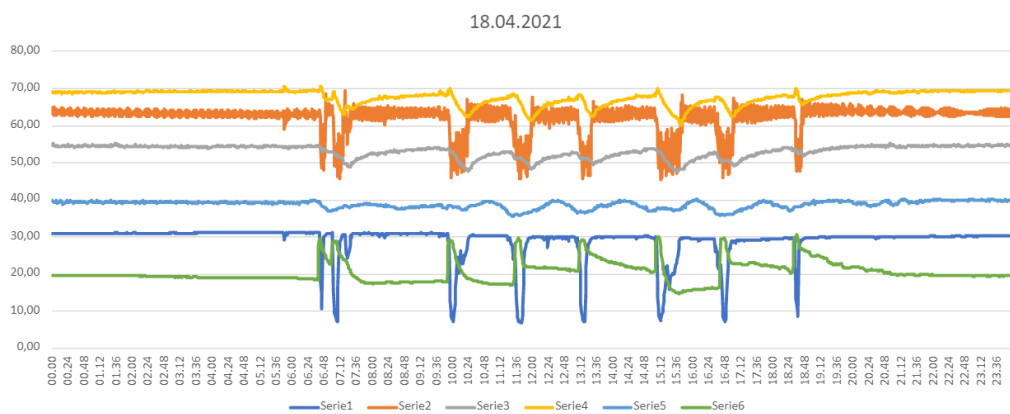
Figur E.25: Temperaturlogging Leangen 15.04.2021



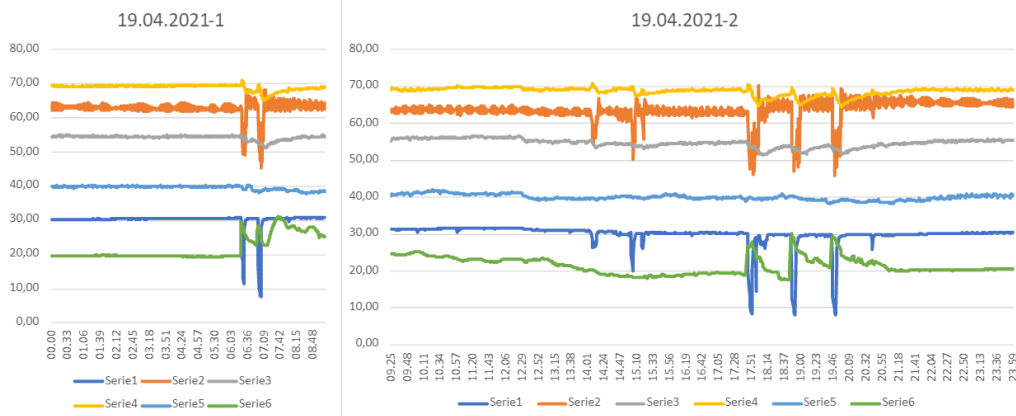
Figur E.26: Temperaturlogging Leangen 16.04.2021



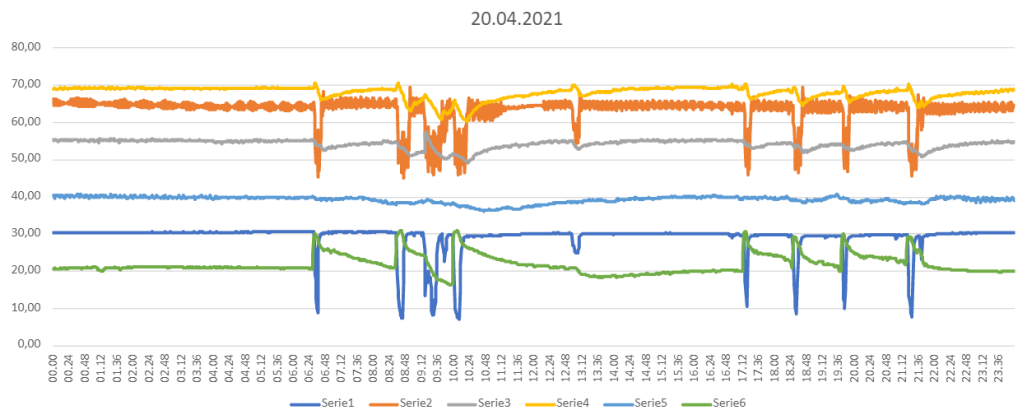
Figur E.27: Temperaturlogging Leangen 17.04.2021



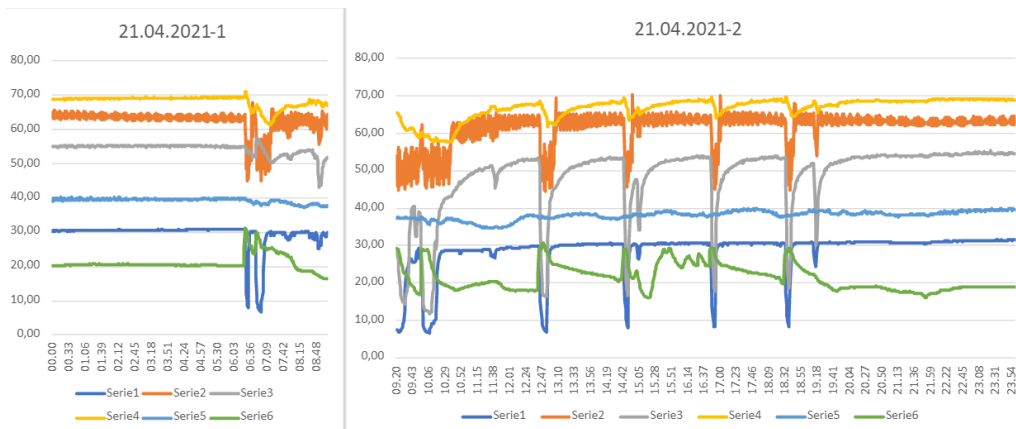
Figur E.28: Temperaturlogging Leangen 18.04.2021



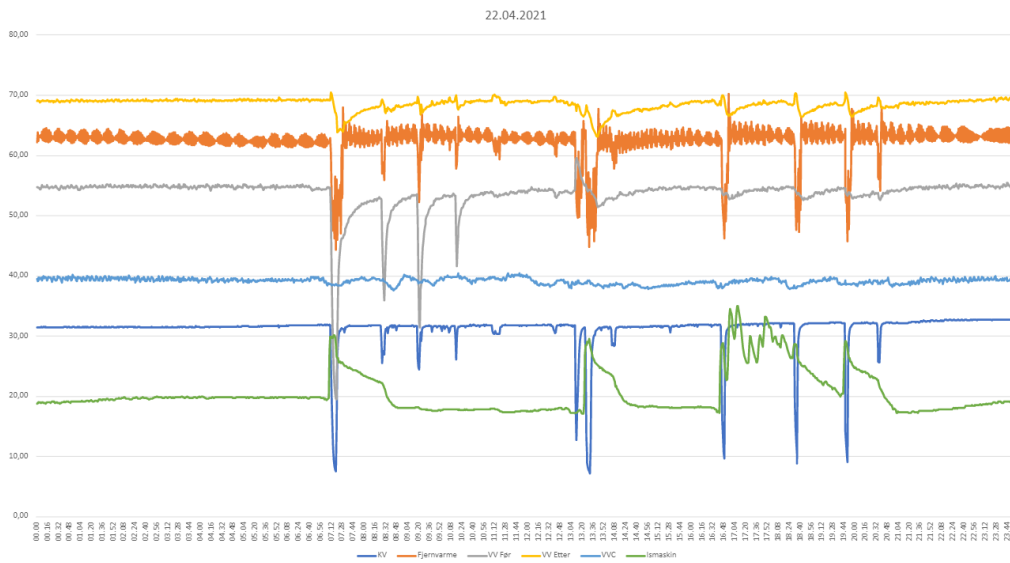
Figur E.29: Temperaturlogging Leangen 19.04.2021



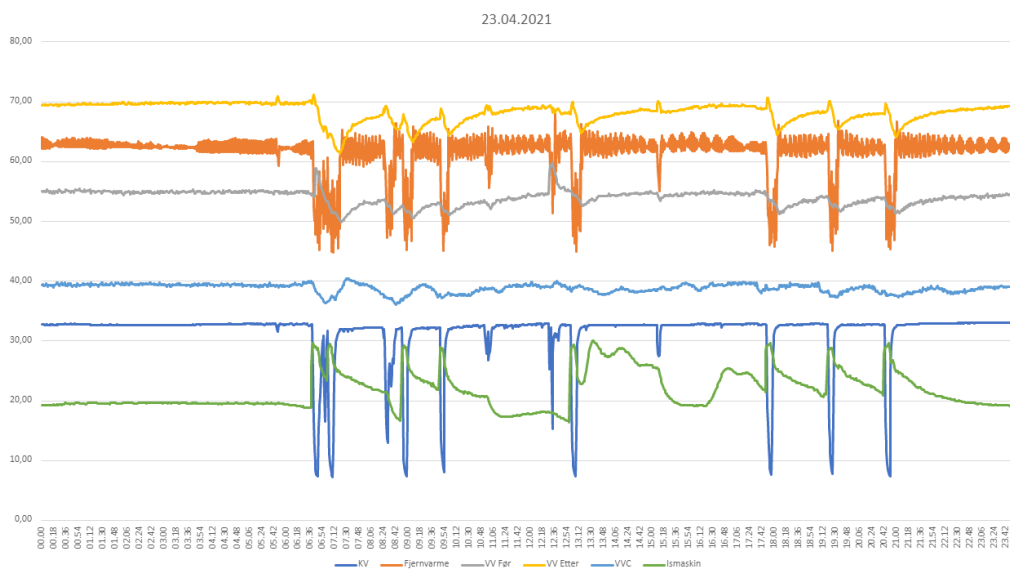
Figur E.30: Temperaturlogging Leangen 20.04.2021



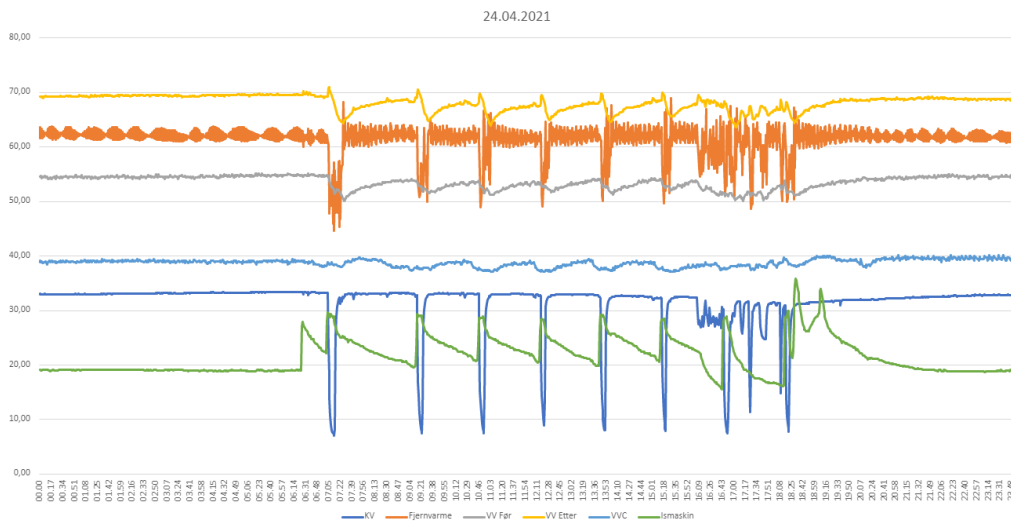
Figur E.31: Temperaturlogging Leangen 21.04.2021



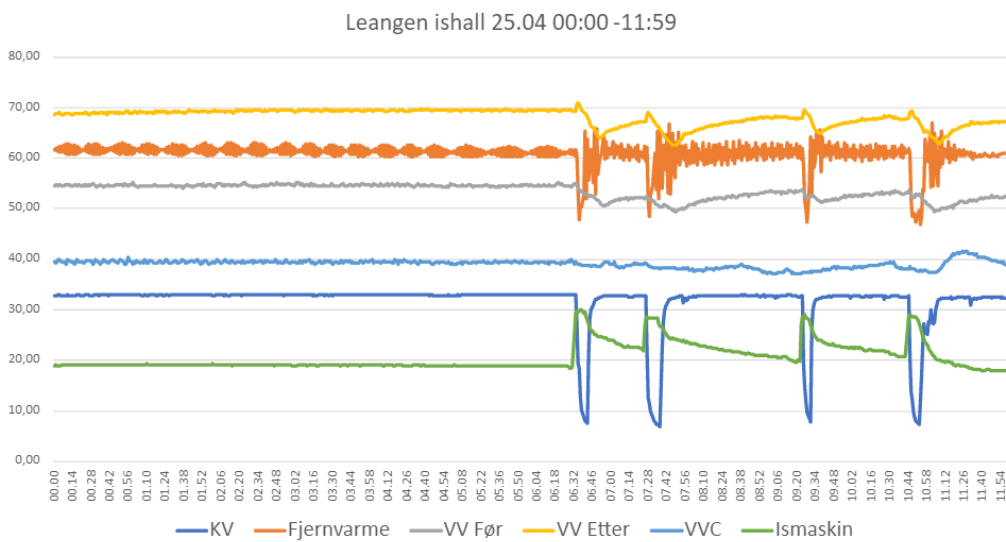
Figur E.32: Temperaturlogging Leangen 22.04.2021



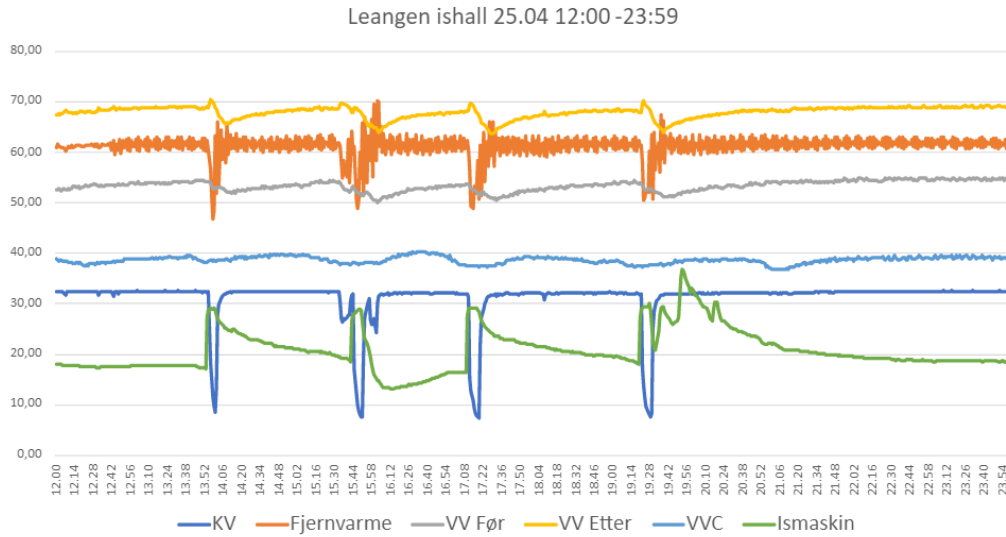
Figur E.33: Temperaturlogging Leangen 23.04.2021



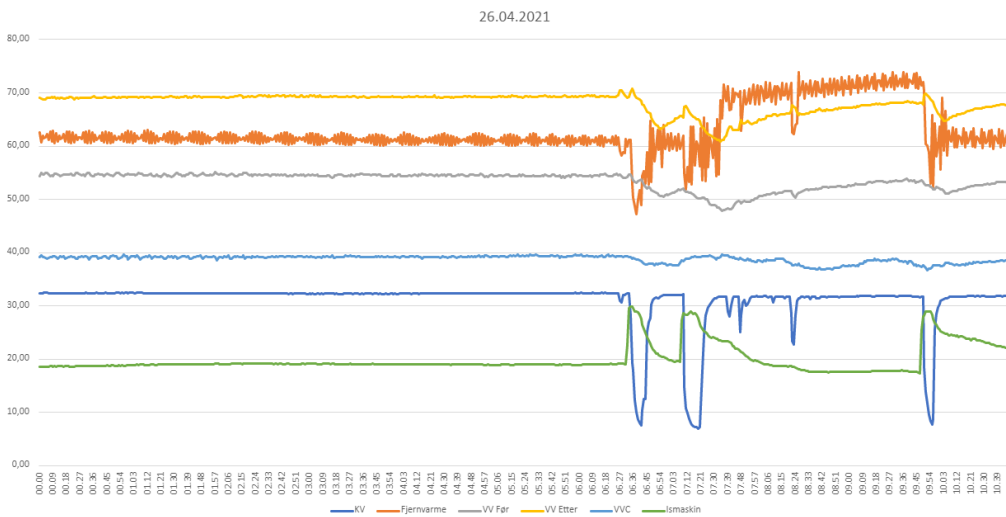
Figur E.34: Temperaturlogging Leangen 24.04.2021



Figur E.35: Temperaturlogging Leangen 25.04.2021 del 1



Figur E.36: Temperaturlogging Leangen 25.04.2021 del 2



Figur E.37: Temperaturlogging Leangen 26.04.2021

# Tillegg F

## Energiforbruk

### F.1 Energiforbruk Dalgård

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (40^{\circ}C - 6^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 28.16kWh \quad (F.1)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (40^{\circ}C - 6^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 28.16kWh \quad (F.2)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (40^{\circ}C - 6^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 28.16kWh \quad (F.3)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (40^{\circ}C - 6^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 28.16kWh \quad (F.4)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (40.6^{\circ}C - 6.2^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 28.16kWh \quad (F.5)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (39.9^{\circ}C - 6.1^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 27.67kWh \quad (F.6)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (42.3^{\circ}C - 6.7^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 29.15kWh \quad (F.7)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (36.3^{\circ}C - 10.2^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 11.78kWh \quad (F.8)$$



---

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (38.7^{\circ}C - 5.6^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 14.98kWh \quad (F.9)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (39.5^{\circ}C - 6.3^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 14.24kWh \quad (F.10)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (34.0^{\circ}C - 7.8^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 21.29kWh \quad (F.11)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (52.8^{\circ}C - 11.2^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 39.22kWh \quad (F.12)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (41.2^{\circ}C - 5.8^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 29.31kWh \quad (F.13)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (37.0^{\circ}C - 5.5^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 17.36kWh \quad (F.14)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (37.6^{\circ}C - 5.2^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 15.39kWh \quad (F.15)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (37.1^{\circ}C - 6.7^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 13.18kWh \quad (F.16)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (41.6^{\circ}C - 9.6^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 28.24kWh \quad (F.17)$$

$$E = (1.72 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (46^{\circ}C - 10.6^{\circ}C)) * \frac{6.8min}{60 \frac{min}{h}} = 33.32kWh \quad (F.18)$$

---

## F.2 Energiforbruk Leangen

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.2^{\circ}C - 7.9^{\circ}C)) * \frac{6min}{60 \frac{min}{h}} = 52.32kWh \quad (F.19)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (65.7^{\circ}C - 7.1^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 68.94kWh \quad (F.20)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.3^{\circ}C - 7.5^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.53kWh \quad (F.21)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (61.7^{\circ}C - 9.7^{\circ}C)) * \frac{6min}{60 \frac{min}{h}} = 45.88kWh \quad (F.22)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (65.5^{\circ}C - 7^{\circ}C)) * \frac{9min}{60 \frac{min}{h}} = 77.43kWh \quad (F.23)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.3^{\circ}C - 7^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.94kWh \quad (F.24)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.2^{\circ}C - 7.2^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.59kWh \quad (F.25)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.1^{\circ}C - 7^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.70kWh \quad (F.26)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (66.4^{\circ}C - 8.2^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 68.47kWh \quad (F.27)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (66.5^{\circ}C - 8^{\circ}C)) * \frac{7min}{60 \frac{min}{h}} = 60.22kWh \quad (F.28)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (66.4^{\circ}C - 7.2^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 69.65kWh \quad (F.29)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.4^{\circ}C - 7.7^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.23kWh \quad (F.30)$$

---

---

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (69.1^{\circ}C - 8^{\circ}C)) * \frac{7min}{60 \frac{min}{h}} = 62.90kWh \quad (F.31)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67^{\circ}C - 7.5^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70kWh \quad (F.32)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68^{\circ}C - 7.4^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.29kWh \quad (F.33)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (65.9^{\circ}C - 7.1^{\circ}C)) * \frac{9min}{60 \frac{min}{h}} = 77.82kWh \quad (F.34)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.2^{\circ}C - 7.6^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.29kWh \quad (F.35)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (65.6^{\circ}C - 7.2^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 68.7kWh \quad (F.36)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.6^{\circ}C - 8.6^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 61.76kWh \quad (F.37)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (70^{\circ}C - 11.4^{\circ}C)) * \frac{7min}{60 \frac{min}{h}} = 60.32kWh \quad (F.38)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.4^{\circ}C - 7.9^{\circ}C)) * \frac{7min}{60 \frac{min}{h}} = 62.28kWh \quad (F.39)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.6^{\circ}C - 8.3^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.94kWh \quad (F.40)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.7^{\circ}C - 8.1^{\circ}C)) * \frac{7min}{60 \frac{min}{h}} = 61.35kWh \quad (F.41)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.8^{\circ}C - 8.1^{\circ}C)) * \frac{7min}{60 \frac{min}{h}} = 61.45kWh \quad (F.42)$$

---

---


$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (69^{\circ}C - 8.9^{\circ}C)) * \frac{7min}{60 \frac{min}{h}} = 61.87kWh \quad (F.43)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.3^{\circ}C - 7.8^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.18kWh \quad (F.44)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (63.2^{\circ}C - 7.1^{\circ}C)) * \frac{9min}{60 \frac{min}{h}} = 74.25kWh \quad (F.45)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.6^{\circ}C - 8^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.12kWh \quad (F.46)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (66.6^{\circ}C - 8^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 68.94kWh \quad (F.47)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.6^{\circ}C - 14.6^{\circ}C)) * \frac{6min}{60 \frac{min}{h}} = 47.65kWh \quad (F.48)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.9^{\circ}C - 7.7^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.83kWh \quad (F.49)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.4^{\circ}C - 8^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.06kWh \quad (F.50)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (65.8^{\circ}C - 7^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 69.18kWh \quad (F.51)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (65^{\circ}C - 7^{\circ}C)) * \frac{7min}{60 \frac{min}{h}} = 59.71kWh \quad (F.52)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (59.30^{\circ}C - 6.8^{\circ}C)) * \frac{10min}{60 \frac{min}{h}} = 77.02kWh \quad (F.53)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (65.4^{\circ}C - 7.1^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 68.59kWh \quad (F.54)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (66.9^{\circ}C - 9^{\circ}C)) * \frac{6min}{60 \frac{min}{h}} = 51.09kWh \quad (F.55)$$


---

---


$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.5^{\circ}C - 8.4^{\circ}C)) * \frac{7min}{60 \frac{min}{h}} = 60.84kWh \quad (F.56)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.1^{\circ}C - 11^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 66kWh \quad (F.57)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.2^{\circ}C - 7.8^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 69.88kWh \quad (F.58)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (66.9^{\circ}C - 7.5^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 69.88kWh \quad (F.59)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (69.3^{\circ}C - 9.7^{\circ}C)) * \frac{6min}{60 \frac{min}{h}} = 52.59kWh \quad (F.60)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.2^{\circ}C - 8^{\circ}C)) * \frac{9min}{60 \frac{min}{h}} = 79.68kWh \quad (F.61)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68^{\circ}C - 8^{\circ}C)) * \frac{6min}{60 \frac{min}{h}} = 52.94kWh \quad (F.62)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.7^{\circ}C - 8^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.41kWh \quad (F.63)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (69.3^{\circ}C - 8.8^{\circ}C)) * \frac{7min}{60 \frac{min}{h}} = 62.30kWh \quad (F.64)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (69.4^{\circ}C - 9.1^{\circ}C)) * \frac{7min}{60 \frac{min}{h}} = 62.07kWh \quad (F.65)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (69^{\circ}C - 7.3^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 72.59kWh \quad (F.66)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (64.2^{\circ}C - 7.5^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 66.71kWh \quad (F.67)$$


---

---


$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (66.4^{\circ}C - 7.4^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 69.41kWh \quad (F.68)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.2^{\circ}C - 8^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 69.65kWh \quad (F.69)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.1^{\circ}C - 7.4^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.41kWh \quad (F.70)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.5^{\circ}C - 7.7^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.53kWh \quad (F.71)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.6^{\circ}C - 7.8^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.53kWh \quad (F.72)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.6^{\circ}C - 7.4^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.82kWh \quad (F.73)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.7^{\circ}C - 8.2^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70kWh \quad (F.74)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.2^{\circ}C - 7.5^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.41kWh \quad (F.75)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.7^{\circ}C - 7.5^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.82kWh \quad (F.76)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.4^{\circ}C - 8.9^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70kWh \quad (F.77)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.6^{\circ}C - 8.1^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70kWh \quad (F.78)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.3^{\circ}C - 7.9^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.06kWh \quad (F.79)$$


---

---

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (66.9^{\circ}C - 7.5^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 69.88kWh \quad (F.80)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67^{\circ}C - 7.5^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 69.65kWh \quad (F.81)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.1^{\circ}C - 7.5^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.29kWh \quad (F.82)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (65.6^{\circ}C - 7^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 68.94kWh \quad (F.83)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68^{\circ}C - 7.9^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.70kWh \quad (F.84)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.1^{\circ}C - 7.4^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.24kWh \quad (F.85)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.8^{\circ}C - 8.6^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.82kWh \quad (F.86)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.5^{\circ}C - 7.5^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.59kWh \quad (F.87)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.2^{\circ}C - 7.4^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.35kWh \quad (F.88)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (67.5^{\circ}C - 8.3^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 69.65kWh \quad (F.89)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.4^{\circ}C - 7.6^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 71.53kWh \quad (F.90)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (64.7^{\circ}C - 7.3^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 67.53kWh \quad (F.91)$$

$$E = (2.1 \frac{l}{s} * 1.0 \frac{kg}{l} * 4.2 \frac{kWs}{kg^{\circ}C} (68.3^{\circ}C - 8.7^{\circ}C)) * \frac{8min}{60 \frac{min}{h}} = 70.12kWh \quad (F.92)$$

