

Eirik Bjørkedal Rømo
Henrik Plassen

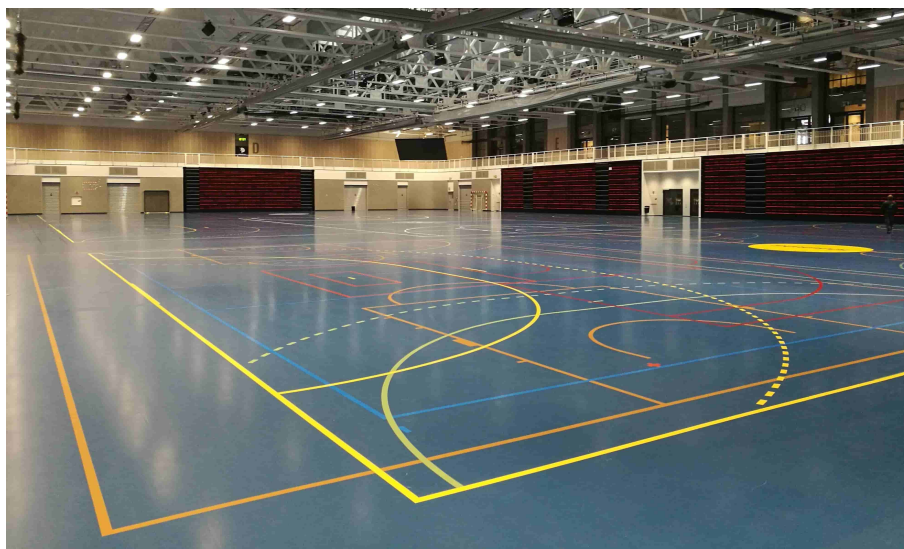
Energiforbruk til varmt tappevann i idrettsbygg

Kartlegging for bedre prosjektering av nye bygg
og drift av eksisterende

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, VVS-teknikk

Veileder: Bjørn Austbø

Mai 2020





Energiforbruk til varmt tappevann i idrettsbygg

Kartlegging for bedre prosjektering av nye bygg og drift av eksisterende

Eirik Bjørkedal Rømo

Henrik Plassen

Bacheloroppgave i Maskiningeniør, VVS-teknikk

Hovedveileder: Bjørn Austbø

Medveiledere: Bjørn Aas og Snorre Nordbo Olsen

Mai 2020

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for energi- og prosesseteknikk

RAPPORT BACHELOROPPGAVE

Tittel/title:

Energiforbruk til varmt tappevann i idrettsbygg.

Energy consumption for hot tap water in sports buildings.

Prosjektnummer:

EPT-V-2020-03

Forfattere:

Eirik Bjørkedal Rømo

Henrik Plassen

Oppdragsgiver eksternt:

Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT)

Veileder internt:

Bjørn Austbø

Rapporten er ÅPEN

Dato levert:

19. mai 2020

Kort sammendrag/short summary:

I denne rapporten blir energiforbruket til varmt tappevann i idrettsbygg undersøkt. I *Forskrift om tekniske krav til byggverk*, TEK 17, blir det henvist til standarden NS 3031:2014 for beregning av bygningers energibehov. Her blir årlig energibehovet for oppvarming av tappevann i idrettsbygg oppgitt til 50 kWh/m². Resultatene i denne studien viser at dette er omtrent fem ganger høyere enn målt forbruk og støtter en ny standard med lavere normert verdi.

In this report the energy consumption for heating tap water in sports buildings is investigated. In *Regulations on technical requirements for construction works*, TEK17, it is referred to the standard NS 3031:2014 for calculation of a building's energy demand. The annual energy demand for heating of tap water in sports buildings is here given to be 50 kWh/m². The results in this study shows this to be about five times higher than measured, supporting a lower standard value.

Stikkord:

Idrettsanlegg, flerbrukshall, energi, varmtvannsforbruk, forbruksvann, varme, TEK17, SN/TS 3031:2016, NS 3031:2014.

Keywords:

Sports arena, gymnasium, warm water consumption, consumption water, energy, heating.

Oppgavebeskrivelse

For å beskrive oppgaven hentes resultatmålene fra forprosjektet levert 9. mars 2020.

Hovedmålet med oppgaven er å kartlegge energiforbruket til varmt tappevann i idrettsbygg. Underveis vil det være flere delmål:

- Innhente data
- Bearbeide data
- Finne sammenhenger mellom forbruk og parametre som areal og bruksmønster
- Vurdere fordeler med akkumulering i idrettshaller
- Danne et grunnlag for revidering av SN/TS 3031:2016

Forord

Denne oppgaven er utarbeidet av rørlegger Eirik Bjørkedal Rømo og rørlegger Henrik Plassen som en avslutning på det treårige bachelorprogrammet maskiningeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), med spesialisering i VVS-teknikk. Oppgaven er gjennomført ved Institutt for energi- og prosessteknikk vårsemesteret 2020, og omfatter 20 studiepoeng.

Vi vil gjerne rette en stor takk til vår interne veileder ved NTNU, førsteamanuensis Bjørn Austbø, som har bidratt med meget gode råd og oppfølging gjennom hele prosjektperioden. Vi vil også takke våre medveiledere overingeniør Bjørn Aas og forsker Snorre Nordbo Olsen ved Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT) for å ha gitt oss oppgaven, og ellers for støtte underveis i gjennomføringen. Takk til Anna Haukedal Andreassen for motivasjon og tips til utforming av rapporten. Til slutt vil vi takke alle som har bidratt til prosjektet ved å dele tallmateriale og sine erfaringer rundt temaet, spesielt Marthe Bjerksåsholmen ved Undervisningsbygg Oslo KF som har svart på utallige e-poster, funnet aktuelle idrettsbygg og gravd frem tegninger for oss.

NTNU

Trondheim, 19.05.2020



Eirik Bjørkedal Rømo

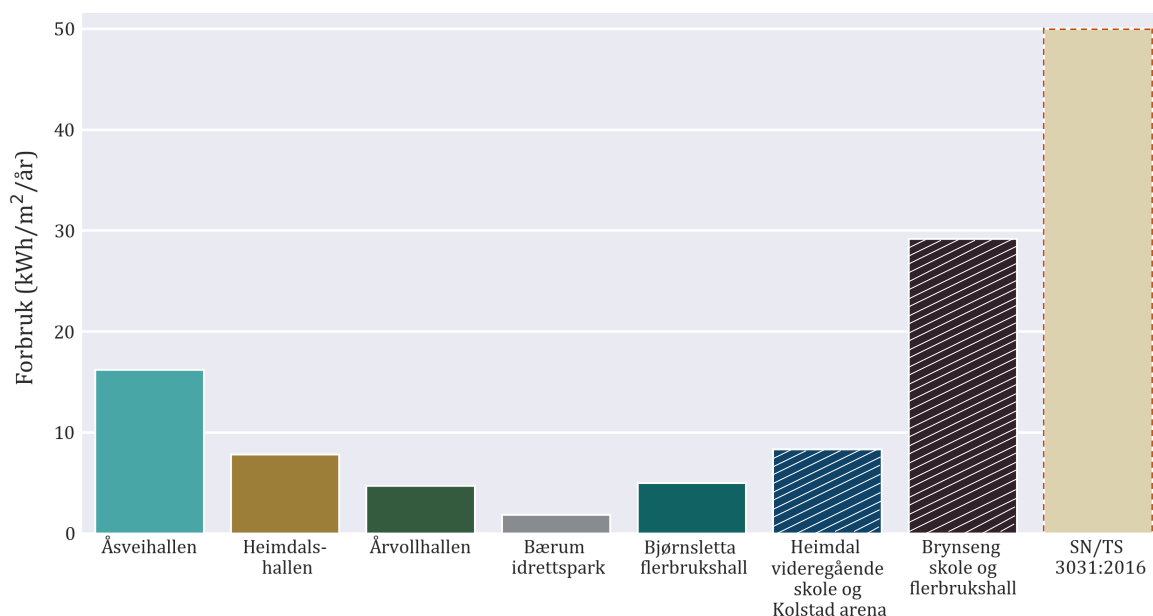


Henrik Plassen

Sammendrag

Å varme opp vann krever mye energi og kan bli en stor energipost for et bygg hvor det dusjes mye. Dette vil være tilfellet i et idrettsbygg med gjennomtrekk av mennesker i høy aktivitet fra morgen til kveld. Men hvordan skal egentlig prosjekterende anta varmtvannsforbruket til et nytt idrettsbygg? I *Forskrift om tekniske krav til byggverk*, også kalt TEK17, står det at man skal se til NS 3031:2014, hvor det gis en normativ verdi for kontroll opp mot lovverket på 50 kWh/m² oppvarmet bruksareal pr. år.

I denne studien har vi undersøkt energiforbruket til varmt tappevann i idrettsbygg for bedre prosjektering av nye bygg og drift av eksisterende. To portable strømningsmålere ble testet for å se om de kunne brukes til å måle forbruk av tappevann. Måleapparatene ga store avvik når det ikke ble tappet og økende avvik med kortere tappetid. Det ble konkludert med at disse strømningsmålerne ikke er egnet for måling av tappevannsforbruk. Energidata ble derfor innhentet fra syv idrettsbygg med fastmonterte målere. Resultatene fra disse viser at energiforbruket til varmt tappevann er under en femtedel av normativ verdi for idrettsbygg (figur 1).



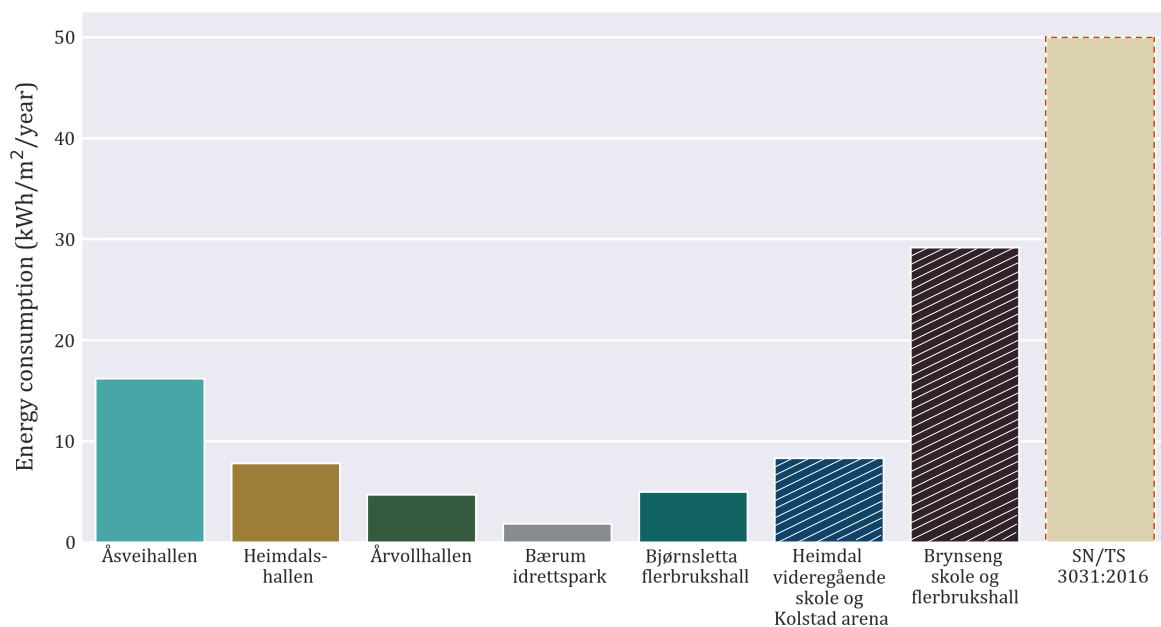
Figur 1: Gjennomsnittlig energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann pr. år i kWh/m² målt for syv idrettsbygg sammenlignet med SN/TS 3031:2016 (tilsvarende NS 3031:2014) sin normative verdi (markert med stiplet rød linje). Skrå streker angir bygg hvor forbruket inkluderer forbruk ved skolene, men bare er fordelt på idrettsarealet.

Den relativt store forskjellen fra reelt forbruk til normativ verdi kan gjøre det vanskelig for driftspersonell og byggherrer å oppdage høyere energiforbruk ved andre energiposter enn det er prosjektert for. For et bygg på 5 000 m², med et årlig energiforbruk på 10 kWh/m² til oppvarming av varmt tappevann, vil de kunne bruke 200 000 kWh/år for mye på andre energiposter uten å få et totalt energiforbruk som overstiger prosjektert energibudsjett. Uten formålsdelt energimåling vil det være vanskelig å fange opp dette og eventuell sløsing av energi kan fortsette ubemerket. Resultatene støtter en revisjon av standarden med en ny, lavere normativ verdi.

Abstract

To heat water is an energy demanding process and can easily become a major portion of the total energy use in a building where showers are frequently used. This is the case for a sports building where there is a high flow of active people from morning to evening. But how are engineers supposed to estimate the hot water consumption in new sports buildings? The *Regulations on technical requirements for construction works*, TEK17, refers to NS 3031:2014, which gives the normative hot water consumption to be 50 kWh/m² heated gross floor area per year.

In this study we looked at the hot tap water consumption in sports buildings for better design of new buildings and operation of existing. Two portable flowmeters were tested for applicability on tap water consumption. The flowmeters gave readings when there was no flow and had increasing deviations with shorter tapping time. We concluded that these flowmeters are not suitable for measurements on tap water. Therefore, we collected energy data from seven sports buildings with fixed flowmeters. The results from these buildings show that the energy consumption for hot tap water is below one fifth of the normative value for sports buildings (figur 2).



Figur 2: Average annual energy consumption for heating hot tap water in kWh/m² measured for seven sports buildings compared to the normative value given by SN/TS 3031:2016 (and NS 3031:2014, red, dashed lines). Diagonal lines indicate buildings where the consumption from the schools is included, but not their area.

The large difference between the measured consumption and the normative value could make it difficult to discover an energy waste elsewhere in the system. For a new building of 5 000 m² and an annual energy expenditure of 10 kWh/m² from heating hot tap water, a waste of 200 000 kWh per year on other energy posts would be possible without having a total energy consumption exceeding the total energy budget. Without purpose-defined energy measurements, excessive energy use would be difficult to discover and this could possibly lead to unnoticed and unnecessary waste of energy. In conclusion, the results support a reduced normative value.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Innhold	vii
Nomenklatur	xi
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn og motivasjon	1
1.2 Prosjektbeskrivelse og mål med oppgaven	2
1.3 Begrensninger	2
1.4 Struktur	3
2 Teori	5
2.1 Gjeldende dimensjoneringskriterier	5
2.2 Akkumulering	5
2.3 Legionella	6
2.4 Varmtvannssirkulasjon	6
2.5 Varmekilder	6
2.5.1 Fjernvarme	7
2.5.2 Varmepumpe	7
2.5.3 Elektrisk oppvarming	8
2.5.4 Spillvarme isproduksjon	8
2.6 Fastmonterte energimålere og vannmålere	8
2.7 Portaflow 220, portabel strømningsmåler	11
2.7.1 Loggføring	13
2.7.2 ”Zero Cut-off” og ”Damping”	13
3 Metode	15
3.1 Måling av volumstrøm med Portaflow 220	15

3.1.1	Klargjøring, montering og oppsett	16
3.1.2	Testing av måleapparat	17
3.1.3	Måling	18
3.1.4	Tilleggstesting	18
3.2	Innhenting av data og informasjon	19
3.2.1	Besøk av haller	21
3.2.2	Kobling mellom bruksmønster og forbruk av varmt tappevann	22
3.2.3	Bildegjenkjenning	22
3.3	Bearbeiding av data	25
4	Resultat	27
4.1	Portaflow 220	27
4.1.1	Testing i idrettshall	27
4.1.2	Testing mot fastmontert vannmåler	28
4.1.3	Bøttetester	29
4.1.4	Måling og tilleggstesting	30
4.2	Idrettsbyggene	31
4.2.1	Åsveihallen	34
4.2.2	Heimdalshallen	37
4.2.3	Årvoll flerbrukshall	39
4.2.4	Bærum idrettspark	43
4.2.5	Bjørnsletta flerbrukshall	47
4.2.6	Heimdal videregående skole og Kolstad arena	51
4.2.7	Brynseng skole og flerbrukshall	53
4.3	Bildegjenkjenning	54
5	Diskusjon	55
5.1	Portaflow 220	55
5.1.1	Testing i idrettshall	56
5.1.2	Testing mot fastmontert vannmåler	57
5.1.3	Bøttetester	57
5.1.4	Måling og tilleggstesting	59
5.2	Idrettsbyggene	59
5.2.1	Åsveihallen	60
5.2.2	Heimdalshallen	61
5.2.3	Årvoll flerbrukshall	61
5.2.4	Bærum idrettspark	63
5.2.5	Bjørnsletta flerbrukshall	63
5.2.6	Heimdal videregående skole og Kolstad arena	64
5.2.7	Brynseng skole og flerbrukshall	65
5.3	Bildegjenkjenning	65

6 Konklusjon	67
6.1 Videre arbeid	68
Bibliografi	69
Tabeller	73
Figurer	75
A Ekskluderte idrettsbygg	A-1
B Skript fra Python	B-1
B.1 Bildegjenkjenning	B-1
B.2 Test av RGB-verdier	B-9
C Formler	C-1
D Testprotokoll Portaflow 220	D-1

Nomenklatur

Latinske symboler

C_p	Spesifikk varmekapasitet ved konstant volum (kJ/kg/K)
E	Energi
\dot{E}	Effekt
g	Tyngdeakselerasjon
h	Spesifikk entalpi
k	Spesifikk varmekapasitet (kJ/m ³ /K)
Q	Varme
\dot{Q}	Varmestrøm
t	Tid
V	Volum
\dot{V}	Volumstrøm
v	Hastighet
W	Arbeid
\dot{W}	Arbeidsrate
z	Høyde

Greske symboler

ρ	Massetetthet
--------	--------------

Forkortelser

BRA	Bruksareal
CV	Kontrollvolum
KV	Kaldtvann
NS	Norsk Standard
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
PF220	Portaflow 220 (portabel strømningsmåler)
RGB	Rød, grønn, blå (Red, Green, Blue)
SD	Sentral driftskontroll
SIAT	Senter for idrettsanlegg og teknologi
SN-NSPEK	Standard Norge - Norsk Spesifikasjon
SN/TS	Standard Norge / Teknisk Spesifikasjon
UBF	Undervisningsbygg Oslo KF
VV	Varmtvann
VVS	Varmtvann sirkulasjon

Kodebeskrivelse

siffer1()	Funksjon i Python, returnerer første sifferet fra høyre.
siffer2()	Funksjon i Python, returnerer andre sifferet fra høyre.
siffer3()	Funksjon i Python, returnerer tredje sifferet fra høyre.
tot(a,b)	Funksjon i Python, returnerer summen av RGB-verdiene i et punkt.

Kapittel 1 | Introduksjon

1.1 Bakgrunn og motivasjon

Totalt energiforbruk i et bygg inkluderer energipostene romoppvarming, kjøling, oppvarming av varmt tappevann, ventilasjon, belysning og øvrig elektrisk forbruk. Hvordan totalt forbruk fordeles varierer etter type bygg, og det kan tenkes at for idrettsbygg, der det er mange garderober og dusjer, er oppvarming av varmt tappevann en viktig energipost. Når nye bygg skal oppføres må de etter loven følge kravene i gjeldende *Byggetekniske forskrift (TEK)*, som videre henviser til NS 3031:2014 for beregning av bygningers energibehov. Standard Norge (2014) oppgir i nevnte standard at energibehovet til oppvarming av varmt tappevann i idrettsbygg er 50 kWh/m² oppvarmet bruksareal pr. år.

Erfaringer fra bransjen tilsier at dagens normative verdi er for høy (personlig samtale, Aas, B., 09.12.20). Til tross for dette finnes det lite arbeider som dokumenterer energiforbruket til varmt tappevann i idrettsbygg, og dette er bakgrunnen for at oppgaven ble til og vi har valgt å kartlegge forbruket. I *Analyse av energibruk i yrkesbygg*, en rapport fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), er det kartlagt formålsdelt energibruk i fem idrettsbygg (NVE, 2016). Rapporten finner et lavere forbruk enn dagens normative verdi, men inkluderte en ishall og en svømmehall. Fordi svømmehaller og ishaller har et forbruk som skiller seg fra resterende idrettsbygg mener vi disse bør få en egen normativ verdi, og har derfor valgt å ikke inkludere de i denne oppgaven.

Vår kartlegging av energiforbruket til varmt tappevann i idrettshaller vil bidra til bedre kunnskap og kunne gjøre det enklere å dimensjonere varmeanlegg riktig i fremtiden. En mulig konsekvens av for høy normert verdi vil være at energisløsning ikke blir oppdaget fordi forventet forbruk til oppvarming av varmt tappevann er høyere enn reelt forbruk. Resultatene våre kan gi støtte til en eventuell revisjon av normativ verdi som vil gjøre det enklere å finne energiposter med unødvendig høyt forbruk.

Opgaven kommer fra Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT) ved Bjørn Aas og består av både teoretiske vurderinger og praktisk utøvelse, noe som virket motiverende. Det har blitt mange befaringer av anlegg for å kontrollere om energitallmaterielle som hentes ut er gyldige, og det har vært utfordrende å forstå hvordan de ulike anleggene fungerer. Prosjektet åpnet for å lære flere nye teknikker og bruke siste semester på relevante og aktuelle oppgaver.

1.2 Prosjektbeskrivelse og mål med oppgaven

I dette prosjektet skal energiforbruket til varmt tappevann i idrettsbygg kartlegges. For å utføre dette er det planlagt å innhente data fra så mange bygg som tiden tilgjengelig tillater, og å sørge for et så godt datagrunnlag som mulig. Data skal innhentes ved å måle varmtvannsforbruk med portable måleapparat, samt at det skal brukes data fra energimålere. Før manuell måling kan starte måleapparatene testes for å sikre gode og nøyaktige målinger. Vår hypotese er at dagens normative verdi for energiforbruk til varmt tappevann i idrettsbygg er høyere enn reellt forbruk.

Opgavens problemstilling lyder:

”Er normativ verdi for energiforbruk til varmt tappevann i idrettsbygg, som angitt i NS 3031:2014 og SN/TS 3031:2016, for høy? Om så, hva er da en mer passende normativ verdi?”.

Hovedmålet med oppgaven er å svare på problemstillingen ved å se på faktisk energiforbruk til varmt tappevann i dagens idrettsbygg og kan deles inn i flere delmål:

- Innhente data
- Bearbeide data
- Finne sammenhenger mellom forbruk og parametre som areal og bruksmønster
- Vurdere fordeler med akkumulering i idrettshaller
- Danne et grunnlag for revidering av SN/TS 3031:2016

1.3 Begrensninger

Underveis i oppgaven har det oppstått flere utfordringer, fra lav målenøyaktighet med portable strømningsmålere til få idrettsbygg med egne energimålere. Dette har resultert i et begrenset antall idrettsbygg å sammenligne, og rapporten kan derfor med fordel sees i sammenheng med tidligere funn, som NVE-rapporten nevnt under kapittel 1.1.

COVID-19-pandemien gjorde at alle idrettsbygg ble stengt fra 12. mars 2020. Effekten av dette var færre døgn med tallmateriale for idrettshallene, og spesielt stor innvirkning hadde dette på de nyeste idrettsbyggene som hadde lite tallmateriale i utgangspunktet. I tillegg førte det til avbryting av en planlagt feltuke med observasjon av bruksmønster i Åsveihallen sammen med hyppig logging. Bruksmønsteret skulle òg bli logget med sensorer, men disse ble ikke tilgjengelige før COVID-19. Det ble derfor forsøkt å innhente informasjon om besøkstall ved idrettsbyggene, men det var ingen som hadde god oversikt over dette. Fordi måleperioden ved Åsveihallen ble vesentlig avkortet er det veldig få dager med hyppig logging og det er derfor ikke nok data til å kunne gi en god vurdering av akkumuleringsbehovet.

1.4 Struktur

Rapporten er inndelt i seks hovedkapitler der det første er introduksjonen. Videre følger et teorikapittel der blant annet gjeldende dimensjoneringskriterier, ulike varmekilder, energi- og vannmålere skal forklarest nærmere. Så kommer et kapittel der de ulike metodene som er brukt for å gjennomføre oppgaven blir presentert, med den hensikt å hjelpe leseren å danne seg et bilde av fremgangsmåten. Etter metode, i kapittel 4 og 5, vil resultatene fra arbeidet henholdsvis presenteres og diskuteres før det til slutt i kapittel 6 konkluderes. Oppgaven er strukturert slik at leseren kan følge enkelte tema fra teori, gjennom metode og resultat til diskusjon. Disse temaene vil gjennom oppgaven i stor grad ha gjenkjennbare overskrifter med den hensikt at det skal være enkelt å finne frem.

Kapittel 2 | Teori

I dette kapitlet vil teorien som ligger til grunn for utførelse av metoder og beregninger i oppgaven presenteres og forklares. I tillegg er det litt teori om enkelte faglige begrep som har til hensikt å sørge for at leseren skal kunne skjønne de metoder og resultater som senere skal presenteres.

2.1 Gjeldende dimensjoneringskriterier

Etter kravene i gjeldende byggtekniske forskrift, TEK17 §14-2 *Krav til energieffektivitet*, skal ikke det totale netto energibehovet til et idrettsbygg overskride 145 kWh pr. kvadratmeter oppvarmet bruksareal pr. år (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). For beregning av dette energibehovet henvises det i TEK17 til NS 3031:2014, *Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data*. I nevnte standard under punkt 6.1.3 *Energibehov for varmt tappevann* henvises det til tabell A.1 for kontrollberegning mot offentlige krav (Standard Norge, 2014, s. 28). Her er det oppgitt standardverdier for gjennomsnittlig effektbehov i driftstid og årlig energibehov for varmtvann, på henholdsvis 18,9 W/m² og 50 kWh/m²/år (Standard Norge, 2014, s. 38).

NS 3031:2014 ble i februar 2018 formelt trukket tilbake, men skal fremdeles inntil videre brukes ved kontroll opp mot TEK17. I november 2016 ble SN/TS 3031:2016, *Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning*, utgitt som "et supplement for helhetlige energiberegninger for bygg og energiforsyningssystemer", men ikke som en erstatning av NS 3031:2014 (Standard Norge, 2016). Også i SN/TS 3031:2016 oppgis energibehovet til varmt tappevann i et idrettsbygg å være 50 kWh/m²/år (Standard Norge, 2016). Den 31. mars i år ble SN-NSPEK 3031:2020 lansert som en erstatning for SN/TS 3031:2016, og i denne er energibehovet for varmt tappevann i idrettsbygg revidert til 10 kWh/m² pr. år (Standard Norge, 2020). Til tross for dette henviser TEK17 fortsatt til NS 3031:2014 med 50 kWh/m²/år.

2.2 Akkumulering

Akkumulering betyr å samle opp energi til senere bruk, og gjøres i tappevannsystemer av flere grunner. Med akkumulert energi trenger ikke varmekilden å kunne levere like høy effekt, fordi den akkumulerte energien kan levere dette. Er varmekilden en varmepumpe vil redusert maksimal effekt redusere investeringskostnadene og bedre virkningsgraden. Ved kombinasjon av to

varmekilder, én til grunnlast og én til spisslast, vil akkumulering føre mer av energiforbruket fra spisslastvarmekilden over til grunnlastvarmekilden, som igjen gir et bedre miljø- og kostnadsresultat.

Prinsippet for akkumulering i berederanlegg er ganske likt det hos en kondensator, ved at den lades sakte opp, men kan levere mye energi på kort tid. I beredersystem gjøres dette som regel ved å varme opp store mengder vann til en temperatur større enn den som skal leveres ut på systemet. Vannet oppbevares som regel i akkumulatortanker på mellom 200 og 1 000 liter.

2.3 Legionella

Bakterievekst kan være en utfordring i varmt tappevann. Legionella er en bakterie som finnes naturlig i overflatevann og jordsmonn, men da i små mengder. Den kommer inn i bygg via vanninntaket, og i tekniske anlegg med de rette temperaturene kan de formere seg og medføre smittefare. Bakterien vokser best ved temperaturer mellom 20 og 50 °C og dette gjør at dusjanlegg og varmtvannssystemer er utsatt. Det gjøres derfor en del tiltak for å hindre oppblomstring av legionellabakterien i blant annet idrettsbygg. (Pettersen, 2015)

Den tradisjonelle metoden for å hindre oppblomstringen er legionellaspyling. Dette er en gjennomspyling av systemet med høy vanntemperatur for å drepe de bakterier som måtte finnes. Dette bør gjøres med en vanntemperatur på minimum 70 °C i minst fem minutter, men det anbefalte er å øke temperaturen til 85 °C og heller spyle i to omganger på ett minutt hver. (Nemitek, u.å.)

Det finnes også mer moderne metoder for å forhindre legionellaforekomst som sørger for mindre forbruk av varmtvann. En av de er et vannbehandlingssystem som tilfører sølv- og kobberioner i vannet via en elektrolyseprosess. Dette rengjør rørene og ødelegger vekstvilkårene for legionella. (Apurgo, u.å.)

2.4 Varmtvannssirkulasjon

Fra varmekilde til tappested vil det i de fleste større bygg være relativt store avstander. Når det ikke er bruk og varmtvannet står i ro blir det etterhvert kaldt. For å unngå lang ventetid på varmtvann ved tappested legges det derfor et ekstra rør som gjør at vannet ved hjelp av en pumpe sirkulerer tilbake gjennom varmekilden for å opprettholde riktig temperatur. Dette gir et ganske konstant varmetap fra varmtvannssystemet til bygget gjennom hele året, og avhenger av vanntemperatur, rørdimensjon, isolasjonstykkelse og -materiale.

2.5 Varmekilder

Det finnes flere forskjellige varmekilder for oppvarming av varmt tappevann. I boliger er det tradisjonelt sett mest vanlig å bruke en varmtvannsbereder med elektrisk varmeelement som

står for både oppvarming og akkumulering. I større bygg som idrettshaller er det derimot større forbruk av varmtvann og en alternativ løsning med høyere investeringskostnad vil over tid kunne lønne seg. De varmekildene som er brukt i byggene som skal presenteres i denne oppgaven er fjernvarme, varmepumpe, elektrisk varmeelement og spillvarme fra isproduksjon.

2.5.1 Fjernvarme

En varmeveksler mot fjernvarme er en løsning man finner i mange eksisterende idrettsbygg. Denne løsningen kan ofte levere høy nok effekt til at man ikke trenger akkumulering, men for næringskunder har de fleste leverandørene et effektledd i tariffen som øker prisen etter maksimalt effektuttak. Eksempler på disse effekttariffene er Fortum sine effektledd på 23-150 kr/kW/mnd og, som vist i tabell 2.1a, Statkraft sine på 30-60 kr/kW/mnd (Fortum, 2020; Statkraft, 2020). Effektleddene beregnes altså ut i fra høyeste målte effektuttak for hver måned.

Tabell 2.1: Prismodell for fjernvarme til næringskunder i Trondheim delt opp i effektledd og energiledd, gjeldende fra og med 01.01.2020 (Statkraft, 2020)

(a) Effektledd for næringskunder i Trondheim gjeldende fra og med 01.01.2020 (Statkraft, 2020).

Effektledd fjernvarme	(kr/kW/mnd)
Sommer mars - okt	
0 - 200	45,00
200 - 500	40,00
500 - 800	35,00
> 800	30,00
Vinter jan, feb, nov, des	
0 - 200	60,00
200 - 500	53,00
500 - 800	47,00
> 800	40,00

(b) Energiledd for næringskunder i Trondheim gjeldende fra og med 01.01.2020, spotpris elektrisitet er hentet fra www.nordpoolspot.com (Statkraft, 2020).

Energiledd fjernvarme	
Månedsmiddel for forsyningsområdet	spotpris elektrisitet
Energipris nettleie	5,00 øre/kWh
Påslag inkl. elsertifikat	4,95 øre/kWh
Forbruksavgift	16,13 øre/kWh
Sum energiledd pr. kWh	26,08 øre/kWh

Beregningene er ikke helt like for Fortum og Statkraft, men prinsippene er de samme, høyere maksimalt effektuttak gir høyere kostnader. Eksempelvis vil en kunde hos Statkraft med maksimalt effektuttak på 210 kW i januar som vist under måtte betale 12 530 kr for effektleddet.

$$60,00 \text{ kr/kW} \cdot 200 \text{ kW} + 53,00 \text{ kr/kW} \cdot 10 \text{ kW} = 12\,530 \text{ kr}$$

2.5.2 Varmepumpe

En varmepumpe vil ved hjelp av trykkforskjeller, kondensering og fordamping av et kjølemedie hente ut energi fra omgivelsene. Investeringskostnaden er korrelerende med effekten varmepumpe

pen kan levere og det er derfor til stor hjelp å vite byggets effektkurve for god akkumulering og jevn energiproduksjon.

2.5.3 Elektrisk oppvarming

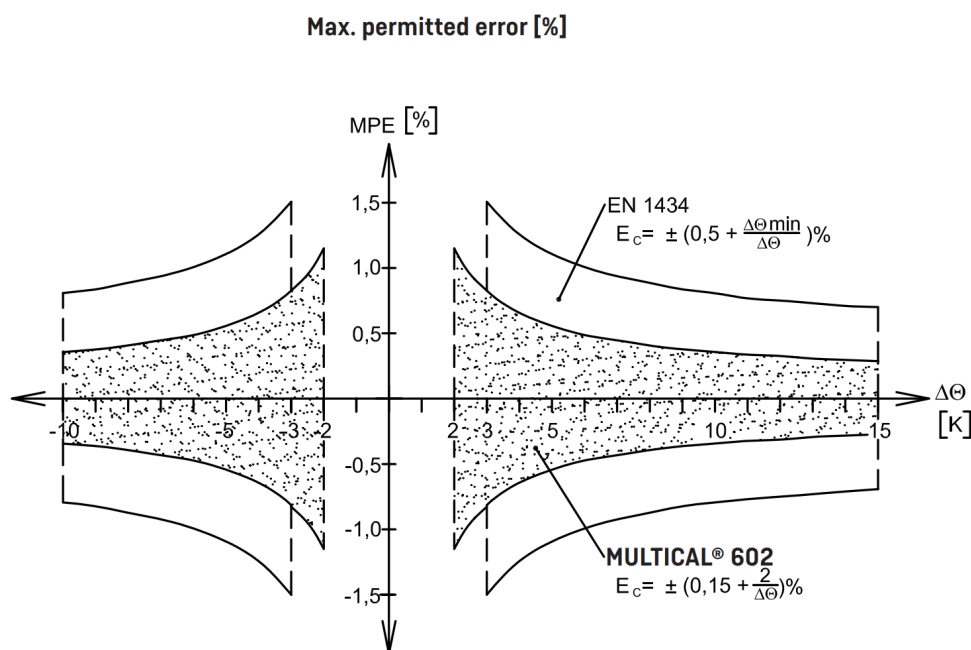
Elektrisk oppvarming har en lav investeringskostnad, men ligger til gjengjeld alltid over fjernvarme i pris pr. energi levert. En høringsrapport fra *Reguleringsmyndigheten for energi* (RME) har lagt frem et forslag om å legge til en effekttariff på strøm og det vil derfor mest sannsynlig bli mulig å betale mindre for elektrisk varme om man akkumulerer godt (Eriksen m.fl., 2020).

2.5.4 Spillvarme isproduksjon

Ved isproduksjon produseres det store mengder spillvarme som kan leveres og brukes der det er behov for den. Dette kan gjøres med samme prinsipp som fjernvarme, med varmeveksler, men ettersom spillvarmen ikke nødvendigvis produseres samtidig med varmebehovet er det en stor fordel med akkumulering. Det er også nødvendig å kombinere spillvarmen med en annen varmekilde for å oppnå ønsket temperatur, dette kan for eksempel være fjernvarme.

2.6 Fastmonterte energimålere og vannmålere

I idrettsbyggene som er inkludert i denne oppgaven er det montert enten energimåler eller vannmåler på varmt tappevann. Energimålerne som ble observert er levert av enten Kamstrup eller Siemens, og skal ha nøyaktighet som oppfyller kravene i EN 1434 (Kamstrup, Skanderborg, Danmark; Siemens, München, Tyskland). Kamstrups Multical 602, som ble observert i de fleste idrettsbyggene, har en målernøyaktighet som vist i figur 2.1.

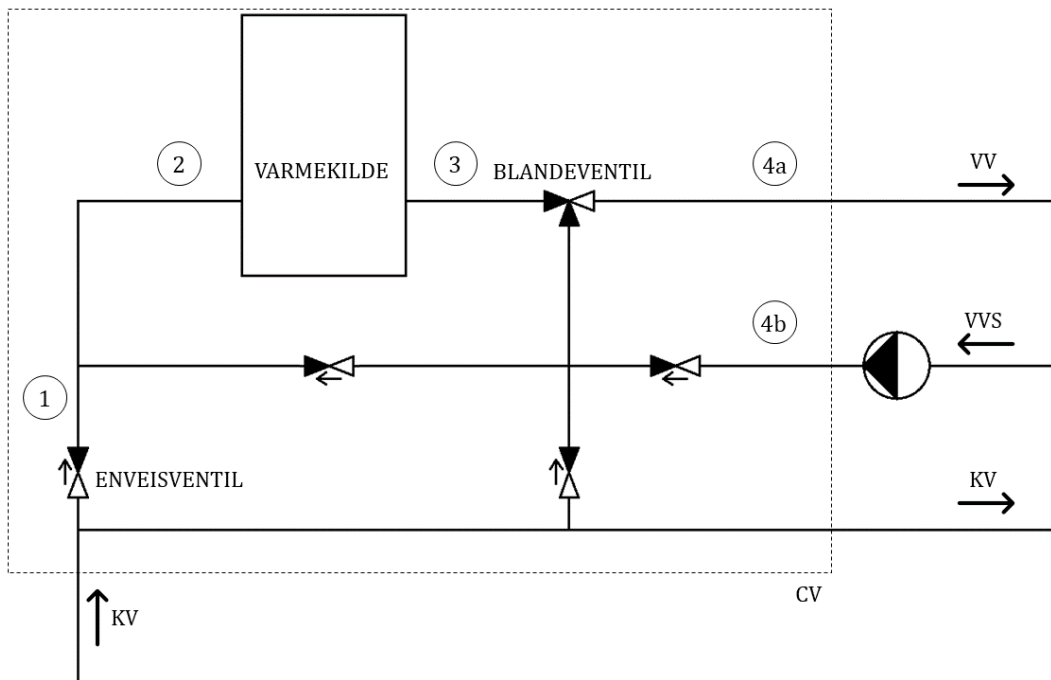


Figur 2.1: Toleransebandet til Kamstrups Multical 602 sammenlignet med toleransekravene i EN 1434 (Kamstrup, 2014).

Energimålerne måler volumstrøm i tillegg til temperaturforskjeller med to eller flere temperaturfølere. Dette brukes for å beregne levert energi etter formel 2.1 og varmekapasitetsfaktoren, k , i henhold til EN 1434 og OIML R75-1:2002, hvor V er volum gjennom varmekilden og Q er varmen tilført fra varmekilden (Kamstrup, 2020, s. 97). Varmetapet i klammeparentes er varmetapet som ikke blir beregnet i energimåleren.

$$Q = V \cdot (T_{\text{etter varmekilde}} - T_{\text{før varmekilde}}) \cdot k \quad [+ Q_{\text{varmetap fra varmekilde}}] \quad (2.1)$$

Energimåleren kan derfor plasseres rett før varmekilden, i posisjon 2, eller eventuelt rett etter varmekilden, i posisjon 3 med temperaturfølerne før og etter varmekilden (figur 2.2). Det finnes òg andre måter å måle energiforbruket med energimålere på, gjerne ved å kombinere flere temperaturfølere og flere mengdemålere, men dette er det mest brukte oppsettet.



Figur 2.2: Skisse av et enkelt varmtvannssystem med varmekilde, blandeventil for varmtvann, varmtvannssirkulasjon, kaldtvann ut i bygget og kaldtvannstilførsel.

Vannmåleren måler volumstrøm på samme måte som energimåleren, men uten å måle temperaturene og bør derfor plasseres slik at den viser faktisk tappet varmtvann. Mulige plasseringer for en vannmåler er i posisjon 1 eller ved bruk av to vannmålere, en i hver av posisjonene 4a og 4b i figur 2.2. Posisjon 1 vil gi total mengde kaldtvann som varmes opp i varmekilden, mens man med vannmålere i posisjon 4a og 4b kan beregne total mengde tappet varmtvann ved å finne differansen mellom de to vannmålerne. Man kan òg finne sirkulert mengde ved å lese av måleren i posisjon 4b.

For å finne varmen tilført vannet fra varmekilden tegner vi et kontrollvolum rundt varmekilden og blandeventilen og bruker energilikningen 2.2 for å utlede mer spesifikke formler. Q_{CV} er energien som går ut av kontrollvolumet og tilsvarer energien tilført fra varmekilden. Her er energi tilført fra pumper og liknende neglisjert.

$$\frac{dE_{CV}}{dt} = \dot{Q}_{CV} - \dot{W}_{CV} + \sum_{Inlet} \dot{V}_i \rho \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)_i - \sum_{Outlet} \dot{V}_e \rho \left(h + \frac{v^2}{2} + g \cdot z \right)_e \quad (2.2)$$

For å finne energiekvivalenten til tappevannet ved mengdemåling i posisjon 1 må man vite temperaturene på kaldtvannet inn i bygget og varmtvannet ut fra varmekilden, henholdsvis posisjon 1 og 3 i figur 2.2. Man kan da bruke formel 2.3 for å beregne energien, men dette vil ikke inkludere det ekstra varmetapet som går til bygget på grunn av varmtvannssirkulasjonen, vist i klammeparentes.

$$Q_{CV,1} = V_1 \cdot \rho \cdot (h_3 - h_1) \quad [+ Q_{varmetap \ pga \ sirkulasjon}] \quad (2.3)$$

For å finne energiekvivalenten inkludert varmetap i ledningsnett ved mengdemåling i posisjon 4a og 4b må man vite temperaturen i kaldvannet inn til bygget, varmtvannet ut av blandeventilen og det returnerende vannet i varmtvannssirkulasjonen, altså punkt 1, 4a og 4b i figur 2.2. Energien beregnes da etter formel 2.4. Varmetapet i klammeparentes blir ikke målt og består av alt varmetap på venstre side av posisjon 4a og 4b (figur 2.2).

$$Q_{CV,2} = (V_{4a} - V_{4b}) \cdot \rho \cdot (h_{4a} - h_1) + V_{4b} \cdot \rho \cdot (h_{4a} - h_{4b}) \quad [+ Q_{varmetap \ teknisk \ rom}] \quad (2.4)$$

Om man ikke har temperaturen i punkt 4b kan energien beregnes etter formel 2.5. Varmetapet i klammeparentes er varmetapet som ikke blir målt med denne metoden, og inkluderer alt varmetap før blandeventil og varmetap på grunn av sirkulasjon i ledningsnettet.

$$Q_{CV,3} = (V_{4a} - V_{4b}) \cdot \rho \cdot (h_{4a} - h_1) \quad [+ Q_{varmetap}] \quad (2.5)$$

2.7 Portaflow 220, portabel strømningsmåler

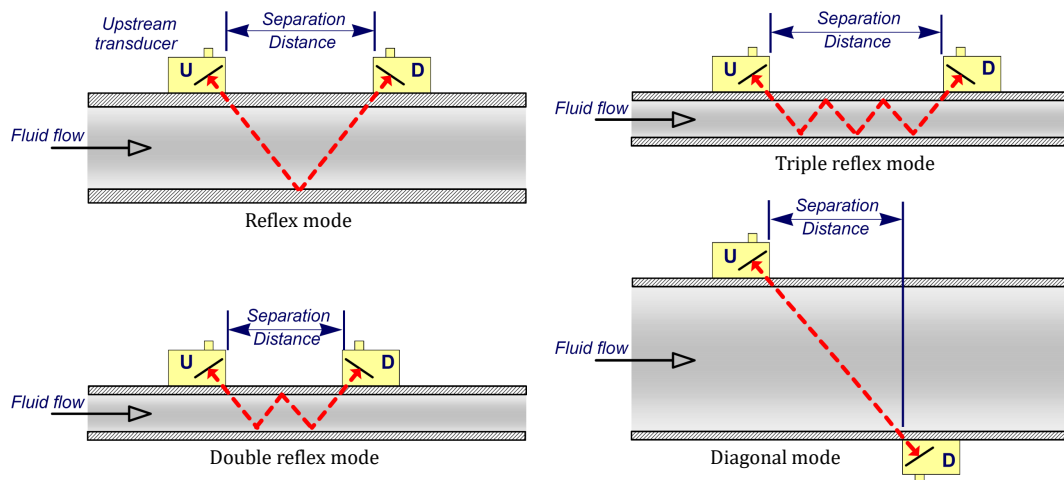
I de idrettshaller der det hverken finnes energimåler eller vannmengdemåler for varmt tappervann, er en mulig metode for å finne tappet varmtvannsmengde å bruke et portabelt måleapparat, og til denne oppgaven ble det brukt to apparat av typen Portaflow 220 (PF220). Som vist på figur 2.3 består disse av 1: hovedapparat med skjerm, 2: transdusere, 3: transduserkabler, 4: tube med fett, 5: kabel for 4-20 mA-utgangen, 6: strømadapter og 7: monteringsutstyr. Transduserne festes utenpå røret det skal måles strømming i og sender ultralyd mellom seg. Videre regner apparatet ut vannmengden ut i fra parametre som rørdiameter, godstykkelse, materialtype og fluidets temperatur.



Figur 2.3: Portaflow 220 og medfølgende komponenter (Micronics Ltd, 2019).

Prinsippet går ut på at når ultralyd blir sendt gjennom et fluid, er lydens hastighet relativt til fluidet konstant, dermed vil hastigheten relativt til røret øke når den går i samme retning som fluidet, og tilsvarende minke når den går i motsatt retning. Differansen på tiden det tar for lyden å forflytte seg samme distanse, men i motsatte retninger, vil være direkte proporsjonal med fluidets hastighet. Videre blir volumstrømmen beregnet ved hjelp av hastigheten til fluidet og det indre tverrsnittsarealet av røret (Micronics Ltd, 2019).

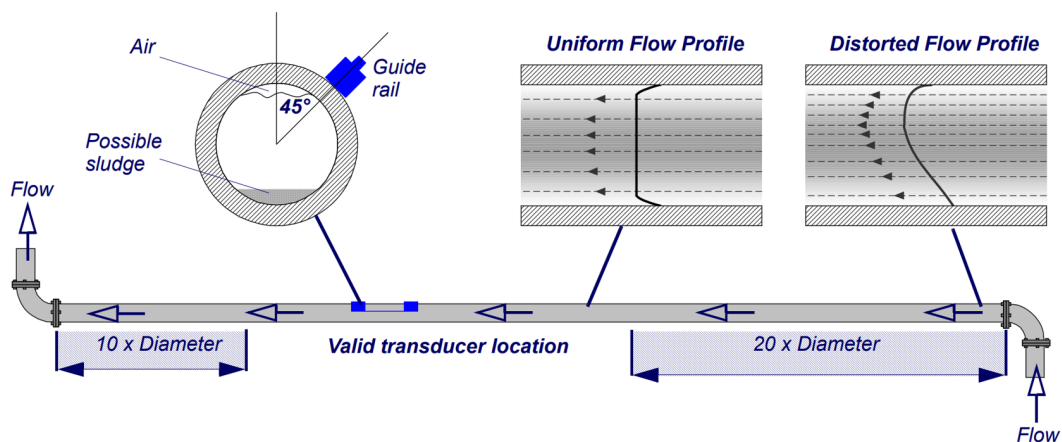
Ultralyden kan gå i fire forskjellige mønster gjennom røret og fluidet (figur 2.4). Små rør trenger ofte flere refleksjoner for at distansen til ultralyden skal bli lengst mulig, og større rør trenger gjerne færre. Etter at alle parametre er gitt til apparatet kommer det anbefalt signalmønster og tilhørende avstand for transduserne. Om det er problemer med signalet kan antall refleksjoner velges manuelt, og da vil den oppgitte avstanden for transduserne oppdateres.



Figur 2.4: Her kan man se de fire forskjellige mønstrene ultralyden kan bli sendt i når måling pågår. Oppe til venstre er én enkel refleksjon, nede til venstre er to refleksjoner, oppe til høyre er trippelrefleksjon og nede høyre går signalet diagonalt (Micronics Ltd, 2019).

Produsenten, Micronics Ltd, har krav og anbefalinger som må følges for å kunne garantere nøyaktige måleresultater med Portaflow 220, disse er listet opp under:

- Plasseringen av transduserne på røret må ha minimumsavstand til bend eller andre enkeltmotstander (figur 2.5):
 - 20 ganger rørdiameter oppstrøms.
 - 10 ganger rørdiameter nedstrøms.
- Anbefaler å plassere transduserne 45° ned fra toppen av røret (figur 2.5).
- Sørg for at det er en glatt overflate på røret, skrap bort løs maling og lignende.
- Rengjør overflaten til transduserne og påfør et godt lag med fett.



Figur 2.5: Krav og anbefalinger til plassering av transduserne for måling av strømming med Portaflow 220. Det viktigste er å ha tilstrekkelig med avstand til enkeltmotstander: 20 ganger rørdiameter oppstrøms og 10 ganger rørdiameter nedstrøms (Micronics Ltd, 2019).

2.7.1 Loggføring

PF220 har en utgang som sender ut et strømsignal mellom 4-20 mA som er proporsjonal med den målte strømmingen. Man kan velge hvilken enhet man ønsker, som for eksempel liter pr. sekund, og hvor stor strømning som skal gi maksimalt utsignal (20 mA) og tilsvarende for minste utsignal (4 mA). I tillegg velger man hvor stor strøm (mA) apparatet skal gi ved feil, for eksempel om strømmingen er utenfor det satte intervallet. Standardinstillingen for feil er 22 mA. For å loggføre målinger med PF220 kobles det altså en datalogger til nevnte utgang. (Micronics Ltd, 2019)

Brukt i denne oppgaven var en EasyLog EL-USB-4. Denne har mulighet for å velge størrelse på intervallet mellom hver loggføring fra ett sekund til tolv timer, og det er plass til 32 510 loggføringer (Lascar Electronics, 2018).

2.7.2 "Zero Cut-off" og "Damping"

Portaflow 220 er ferdig kalibrert fra fabrikken, men har i tillegg noen innstillinger som kan brukes for finjustering etter lokale forhold (figur 2.6). "Zero Cut-off" er én av disse, og bestemmer ved hvilken hastighet på fluidet det skal regnes som faktisk strømning. Er denne for eksempel satt til 1 m/s vil det for alle hastigheter lavere enn 1 m/s bli regnet som stillestående.

FLOW READING OPTION	☰	DD-MM-YY	HH:MM:SS
Data review			
Zero Cutoff (m/s)	:		0.00
Set zero flow (m/s)	:		0.00
Damping (secs)	:		10
Totaliser	:		Run
Reset +Total			

Figur 2.6: Eksempelbilde av skjermen "FLOW READING OPTION" (Micronics Ltd, 2019).

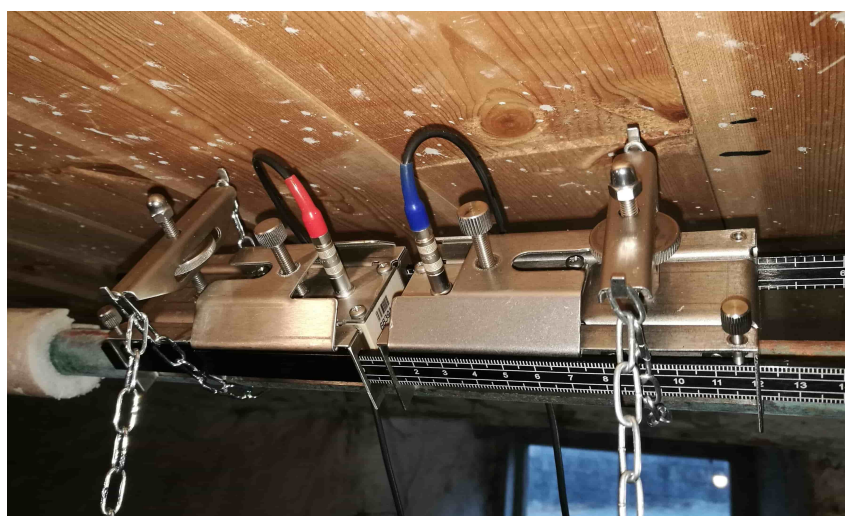
"Damping" er en annen innstilling, og denne bestemmer hvor lang tid det skal lages et gjennomsnitt av strømmingen om gangen for visning av momentanstrømning på skjermen. Denne innstillingen har ingen innvirkning på hva som blir målt eller logget.

Kapittel 3 | Metode

I dette kapitlet presenteres først metoden for testing og bruk av Portaflow 220. Videre følger beskrivelse for innhenting og bearbeiding av data. I utgangspunktet var kriteriene for å bli inkludert i oppgaven idrettsbygg, utenom svømmehall og ishall, med mulighet for utføring av manuelle strømningsmålinger. Svømmehaller og ishaller ble ekskludert fordi de har et helt annet forbruk av varmt tappevann og vi mener de fortjener en egen kategori. Basert på resultatene fra testene av Portaflow 220 ble det valgt å ikke bruke disse til måling, og inkluderingskriteriene ble derfor endret til at bygget måtte ha egen energimåler til varmt tappevann.

3.1 Måling av volumstrøm med Portaflow 220

Til måling av volumstrøm ble det brukt to apparat av typen Portaflow 220 (PF220) som ble lånt av Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT). For å skille de vil de kalles PF220A og PF220B. Siden måleapparatene ikke kobles inn på røret, men festes på utsiden, er de enkle å bruke og det trengs ingen rørkompetanse. Fremgangsmåten for montering og opprigging av de to Portaflow måleapparatene ble gjort likt for alle forsøk. Kravene og anbefalingene fra produsenten, nevnt i kapittel 2.7 ble under all testing strengt overholdt. Figur 3.1 viser et eksempel på hvordan transduserne ble montert. Eksempelet er fra testing mot vannmåler i seksmannsbolig.



Figur 3.1: Eksempel fra testing av Portaflow 220. Viser montering av transduserne på røret.

3.1.1 Klargjøring, montering og oppsett

Fremgangsmåten for å sette opp måleapparatene (figur 2.3) er beskrevet under:

1. Velger ”Quick Start” i hovedmenyen.
2. Videre trenger PF220 en del inndata:
 1. ”Dimension unit” - hvilken enhet skal brukes, for eksempel mm.
 2. ”Pipe outside diameter” - ytre diameter på røret.
 3. ”Pipe wall thickness” - godstykkelse på røret.
 4. ”Pipe lining thickness” - tykkelse på et eventuelt utenpåliggende belegg.
 5. ”Pipe wall material” - rørets materiale, for eksempel kobber.
 6. ”Pipe lining material” - materiale på utenpåliggende belegg.
 7. ”Fluid type” - hvilket fluid skal måles, for eksempel vann.
 8. ”Fluid temperature” - fluidets temperatur.
3. Etter dette kommer skjermen ”SENSOR SEPARATION” (figur 3.2). Den gir en kort oppsummering av de parametre som er innskrevet, og gir hvor mange refleksjoner som er anbefalt og hvor langt transduserne skal plasseres fra hverandre.

```

SENSOR SEPARATION   DD-MM-YY  HH:MM:SS
Site                : Quickstart
Pipe                : 58.00 mm
Wall                : 4.00
Sensors             : A-ST      Reflex
Temperature         : 10.00°C 50.00°F
Set sensor separation to 32.2 mm
Press ← to continue,△▽ to select sens.
  
```

Figur 3.2: Eksempelbilde av skjermen til PF220 etter alle parametre er valgt. Skjermen gir avstanden transduserne skal plasseres fra hverandre (Micronics Ltd, 2019)

4. Neste steg er å montere transduserne. Når det er gjort og alt er oppkoblet og klart, trykker man ”Enter” for å komme til siste skjerm ”FLOW READING” (figur 3.3). Nå er apparatet klart for måling og man kan se momentanmengden i tillegg til en loggføring av brutto mengde hver retning.

```

FLOW READING       DD-MM-YY  HH:MM:SS
Signal             Qxx.xx%
0.000             l/min
+Total: 0.00      litres
-Total: 0.00      litres
  
```

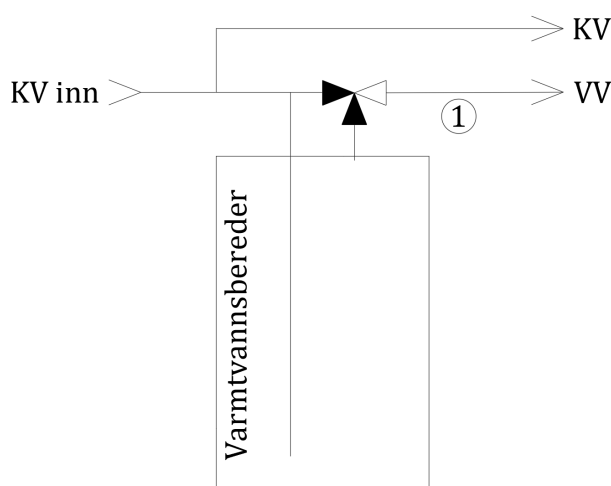
Figur 3.3: Skjermbildet til PF220 når måling pågår (Micronics Ltd, 2019)

3.1.2 Testing av måleapparat

For å bli kjent med apparatene som skulle brukes og å finne ut om apparatene egnet seg til måling av tappevannsforbruk, ble det utført tre forskjellige tester. Som beskrevet i fremgangsmåten under 3.1.1 trenger PF220 en del inndata for å kunne beregne riktig strømning. Noen av parametrene ble ikke endret mellom forsøkene: "Dimension unit" - mm, "Pipe lining thickness" - 0 mm og "Fluid type" - water. For "Fluid temperature" ble det for alle utenom ett forsøk, der det ble brukt termometer, antatt en fluidtemperatur på 5 °C for kaldtvann.

Testing i idrettshall

Første testen som ble utført var å montere PF220 i en mindre idrettshall på samme måte som det var tenkt brukt for å ta manuelle målinger. Her ble også dataloggeren EasyLog brukt for å loggføre underveis i målingen. I motsetning til PF220 logger EasyLog kontinuerlig data som gjorde det mulig å se om det ble tappet på natten eller andre tidspunkt det ikke var forventet. Da kunne både total mengde tappet og tappemønsteret brukes for å vurdere om det var riktig og sannsynlig. Apparatet ble montert etter blandeventil, altså posisjon 1 i figur 3.4.



Figur 3.4: Enkelt systemskjema for idrettshall.

Testing ved å sammenligne med fastmontert vannmåler

En annen test som ble utført var å montere begge PF220-apparatene etter vannmåleren på hovedvanninntaket i en seksmannsbolig. Vannforbruket målt av husets vannmåler ble sammenlignet med målingene fra måleapparatene, og målingene fra PF220-apparatene kunne også sammenlignes mot hverandre.

Bøttetester

En siste metode for å teste apparatene var montering på tilførselrør som forsyner ett enkelt tappested eller en garderobe der det var sikkert at det ikke ble tappet vann utenom til forsøket, for så å måle tappet volum med en bøtte. Det ble for alle testene brukt tiliterbøtte med litersmarkeringer. Testene ble utført på to bygg med ulike rørdimensjoner og forskjellige tappemønstre.

Bruksmønsteret for bygg inkluderer flere start og stopp i løpet av en dag, så effekten av dette på målt tappemengde måtte også testes. Av den grunn ble det for noen av fyllingene lagt inn varierende antall stopp underveis.

3.1.3 Måling

For å måle varmtvannsforbruket i de idrettshallene uten egen vannmengdemåler eller energimåler var det tenkt å bruke Portaflow 220. Dataene samlet fra testingen av måleapparatene viste stor variasjon og det ble konkludert med at PF220 ikke var egnet til måling av tappevann. Det var planlagt å utføre målingene som forklart for ”Testing i idrettshall” under 3.1.2. Som en sikkerhet skulle EasyLog brukes i tillegg for å teste om målingene av forbruket stemte. Dataloggeren ville gitt en mer detaljert måling og kunne derfor brukes til å avsløre usannsynlige verdier og tappemønstre. For å få med data fra så mange haller som mulig var det satt av en måleperiode på to uker for hver hall. Den totale måleperiodens lengde var estimert til om lag tolv uker og ville gitt måledata fra tolv haller ved bruk av to måleapparat.

3.1.4 Tilleggstesting

På bakgrunn av testene av PF220 til måling av tappevann, valgte vi å utvikle en testprotokoll for å kartlegge bruksmulighetene for måleapparatet. Protokollen gir målenøyaktigheten til apparatet for ulike rørdimensjoner og andre parametre (tabell 3.1). På denne måten kan andre som senere vil bruke det lettere vurdere for hvert enkelt tilfelle om det er nøyaktig nok.

Tabell 3.1: Testprotokoll for testing av Portaflow 220. Gule felter skal fylles ut, resten fylles ut automatisk.

Informasjon			Inndata			Utdata			
Utvendig diameter		mm	Main menu	Quick start		Sensors	A-ST		
Materiale			Dimension unit	mm		Sensor mode		reflex	
Fluidtemperatur		°C	Pipe outside diameter		mm	Set sensor seperation		mm	
			Pipe wall thickness		mm	Signal strength		/4	
Tetthet		kg/l	Pipe lining thickness		mm				
Lengde rett rør før sensor		mm	Pipe wall material						
Lengde rett rør etter sensor		mm	Pipe lining material						
Antall ganger diameter før			Fluid type						
Antall ganger diameter etter			Fluid temperature		°C				

Forsøk Nr.	Apparat	Hastighet m/s	Antall stopp	Vekt tappet kg	Volum tappet liter	Målt volum liter	Avvik %	Posisjon på rør	Rørretning
1	PF220A		0						
2	PF220A		9						
3	PF220A		0						
4	PF220A		9						
5	PF220A		0						
6	PF220A		9						
7	PF220A		0						
8	PF220A		9						
9	PF220A		0						
10	PF220A		9						
11	PF220B		0						
12	PF220B		9						
13	PF220B		0						
14	PF220B		9						
15	PF220B		0						
16	PF220B		9						
17	PF220B		0						
18	PF220B		9						
19	PF220B		0						
20	PF220B		9						

Testprotokollen består av informasjon for hvert tilfelle i de øvre radene og testdata under. De gule cellene skal fylles ut, mens de andre blir fylt ut automatisk. Under inndata skal det føres samme informasjon som blir lagt inn i apparatene, og under utdata er den informasjonen som apparatene gir tilbake. Ved å ha med denne informasjonen kan man enkelt sammenligne forsøkene fra ulike steder, og forhåpentligvis kunne se noen sammenhenger for å kunne konkludere til slutt. Det skal fylles en tiltersbøtte ti ganger med hvert måleapparat. Bøttene skal fylles med to forskjellige tappemønstre: ti liter i en enkelt tapping, eller med stopp for hver liter. For å finne det tappede volumet skal det brukes vekt. Ved hjelp av massen og massetettheten til vannet kan det nøyaktige volumet beregnes før det skal sammenlignes med målt volum fra PF220. På denne måten er det lettere å være konsekvente med antallet stopp underveis, ettersom det under tapping er mye bevegelse i vannet i bøtta og derfor vanskelig å treffe nøyaktig på tiltersmerket. Planen er uansett å sikte seg inn på ti liter for å ha mest mulig jevne målinger, men volumet vil nok variere noe.

Fremgangsmåten for testingen er slik:

1. Montere og sette opp PF220A som beskrevet under 3.1.1
2. Fylle ut inndatacellene under informasjon, inndata og utdata (tabell 3.1)
3. Sette i gang tapping i bøtter og fylle ut tabellen underveis
4. Demontere og rengjøre PF220A
5. Repetere punkt 1, 3 og 4 med apparat PF220B og verifisere at apparatene gir samme utdata

3.2 Innhenting av data og informasjon

Det er ikke alltid man må måle vannmengder manuelt. I noen bygg er det montert egen energimåler for varmt tappevann som gjør det enkelt å finne energiforbruket. I andre er det ikke egen energimåler men vannmengdemålere som gjør at energibruken kan beregnes. Blir det brukt fjernvarme som varmekilde er det mulig å hente ut levert energi fra leverandøren, men de måler bare totalt levert energi og vil derfor ofte også inkludere energien levert til varmeanlegget. Derfor er som regel eneste mulighet som nevnt over at bygget har egen energimåler som kun dekker oppvarming av tappevann. Dette er ikke noe som er nødvendig for at et bygg skal kunne driftes på en god måte, men heller en tilleggsobservasjon, og av den grunn en kostnad som ikke har blitt prioritert tidligere.

Idrettsbyggene kan deles inn i tre grupper etter hvem som er eier: kommunale, fylkeskommunale og private. De kommunale er de hallene som kommunen selv eier og drifter. Disse blir ofte brukt av skoler og barnehager på dagtid, og av idretten etter kl. 16.00. De fylkeskommunale hallene er lokalisert på videregående skoler, og eies og driftes av fylkeskommunen, mens de private idrettshallene eies og driftes av tilhørende idrettslag eller private aktører.

For å finne haller som forhåpentligvis kunne brukes i oppgaven var telefon og e-post viktige hjelpemidler. I første omgang var søkeområdet Trondheim og omegn. Her ble kommunen kontaktet for å finne ut om noen av hallene de har ansvar for kunne ha egen energimåler. Videre var

det haller tilknyttet videregående skoler som ble vurdert før ansvarlige for de private hallene ble kontaktet direkte. Da det viste seg at det var få haller i Trondheimsområdet som kunne brukes med de kriterier som lå til grunn, måtte søkeområdet utvides. Det ble da kontaktet driftsavdelinger i fylker og kommuner, og driftsansvarlige ved skoler og idrettslag over store deler av landet. Totalt ble det kontaktet 6 kommuner, 3 fylker og 39 haller direkte med e-post eller telefon. Dette tilsvarer over 200 haller og av disse ble syv inkludert i oppgaven. De som ble kontaktet, men som av ulike grunner gjorde at de ikke kunne brukes i vår oppgave er listet opp i vedlegg A.

Fra Undervisningsbygg Oslo KF (UBF) fikk vi tilgang til Energinet som er systemet de bruker for energioppfølging av deres bygg. Her kan man hente data fra målere som er montert i idrettsbygg, som vannmengdemålere og energimålere. I tillegg fikk vi tilsendt ferdig eksportert data fra Bærum idrettspark og ved Heimdalshallen eksporterte vi direkte fra Desigo Insight, et overvåkningssystem fra Siemens.

Energidataene fra idrettsbyggene ble beregnet på forskjellige måter ut fra typen data, noen hadde energimålere og måledata for hver time, andre hadde volummålere og temperaturer fra systemskjema. For å beregne gjennomsnittlig energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i måleperioden ble det sett på første og siste måling, mens det for perioden oppstart/offisiell åpning til måleperiode ble antatt at energimålerne begynte måling ved første åpningsdag.

Åsveihallen

For Åsveihallen ble energien målt med energimåler og logget med kamera (beskrevet under 3.2.3). Energimåleren viste akkumulert energi med en oppløsning på 1 kWh og var plassert med mengdemålere på varmtvannet ut av teknisk rom og sirkulasjonsledningen inn til teknisk rom, illustrert ved posisjon 4a og 4b og temperaturfølere i posisjon 1, 4a og 4b (figur 2.2). Energimåleren ga derfor momentanforbruk med varmetap.

Heimdalshallen

Energien i Heimdalshallen ble målt med energimåler plassert ved varmeveksler mot fjernvarme, altså i posisjon 2 med temperaturfølere i posisjon 2 og 3 (figur 2.2), og logget med Desigo Insight ett år tilbake i tid. Det var akkumulert energi som ble logget, med en oppløsning på 1 kWh, men ved eksportering ble oppløsningen redusert til 0,1 MWh.

Årvollhallen og Brynseng skole og flerbrukshall

For Årvollhallen og Brynseng skole og flerbrukshall ble energien målt med energimåler med oppløsning på 1 kWh og plassert ved varmeveksler mot fjernvarme. Energidataene ble logget hver time på Energinet. Akkumulert energi ved Årvollhallen ble observert på energimåleren ved befaring.

Bærum idrettspark

Energien ble målt med to energimålere i Bærum idrettspark, én plassert ved varmeveksler mot fjernvarme og én plassert ved varmeveksler mot spillvarme fra ishall. Energidataene ble tilsendt fra Bærum kommune med timeverdier for januar 2018 og 2019 og dagverdier for hele 2018 og 2019. Oppløsningen på dataene var på 1 kWh.

Bjørnsletta

Vannmengden på Bjørnsletta ble målt med to volummålere, én på varmtvannet etter blandeventil og én på sirkulasjonsledningen, henholdsvis plassering 4a og 4b i figur 2.2. Videre ble energien beregnet etter formel 2.5 med antatt temperatur som angitt på systemskjema, 5 °C for kaldtvann og 55 °C for varmtvann etter blandeventil. Massetettheten ved 500 kPa på 985,87 kg/m³ og entalpidifferansen ved 500 kPa fra 5 °C til 55 °C er hentet fra Harvey (1995). Det ble sett bort fra eventuelle avvik fra antatt trykk under beregningene, men målernøyaktigheten i volummålerne var ikke bedre enn at beregnet differanse til tider viste negative verdier ved lavt forbruk. Varmetap fra varmt tappevann til bygget før blandeventil og på grunn av sirkulasjon kommer ikke med i beregningen.

Antagelser ved Bjørnsletta:

1. Trykket ved volummålere er 500 kPa
2. Temperaturene er som angitt på systemskjema under hele måleperioden

Heimdal videregående skole og Kolstad arena

Energiforbruket til oppvarming av varmt tappevann ved Kolstad arena ble dekket av en varmepumpe for grunnlast, varmeveksler mot fjernvarme for spisslast og en varmtvannsbereder for oppvarming av returvannet i sirkulasjonsledningen. Mot fjernvarme ble energien målt med en energimåler plassert før varmeveksleren og temperaturfølere før og etter, altså i posisjon 2 med temperaturfølere i posisjon 2 og 3 (figur 2.2). Energi tilført fra varmtvannsbereder og varmepumpe ble målt med egne energimålere.

3.2.1 Besøk av haller

For å innhente informasjon og bli litt kjent med de hallene som var aktuelle for bruk i oppgaven, ble det utført anleggsbesøk. Informasjon som areal, antall dusjer og bruksmønster ble forsøkt kartlagt, og teknisk utførelse av systemet kunne inspiseres. Måleridentifikasjon på Energinet ble sjekket opp mot de fysiske målerne for å bekrefte at tallmateriale som kunne hentes ut kom fra riktig måler. I tillegg kunne målerens faktiske plassering i systemet vurderes for å verifisere riktig avlesning (figur 2.2). Brynseng ble ikke besøkt, men energimålerens plassering ble observert på systemskjema levert av Undervisningsbygg Oslo KF.

3.2.2 Kobling mellom bruksmønstre og forbruk av varmt tappevann

I tillegg til å finne et energiforbruk pr. areal kunne det også være interessant å finne en sammenheng mellom antall brukere og forbruket av varmt tappevann. Til det var det tenkt en uke med fysisk observasjon av antall besøkende sammen med sensorer som logger antall besøkende. På den måten er det mulig å se på eventuelle avvik i sensorene før disse skulle fortsette å logge. Loggingen av bruksmønsteret skulle da sees på sammen med energidataene fra samme periode for å finne en sammenheng.

3.2.3 Bildegjenkjenning

Den ene hallen med energimåler viste seg å ha problemer med loggføring til Sentral drift-anlegg (SD-anlegg), og det ble derfor besluttet å logge energiforbruket manuelt for en periode. Dette ble gjort ved å montere et kamera foran skjermen til energimåleren, som ble innstilt til å ta bilder med et fast intervall. Første uke var intervallet satt til fem minutter, men da det viste seg at endringen mellom bildene var større enn 1 kWh, ble intervallet endret til to minutter for å bevare størst mulig oppløsning i datasettet. Dette tilsvarer 5 040 bilder pr. uke, så for å slippe å lese av verdiene for hvert bilde manuelt, ble det heller utarbeidet et skript i Python som kunne lese av og lage en liste med verdiene fra bildene.

Programmering i Jupyter Lab

For å skrive koden ble Jupyter Lab brukt. Programmet gjør det oversiktlig å vise hvilke operasjoner som er utført og enkelt å lære seg programmering underveis. Hvordan oppgaven ble løst kan kort beskrives slik:

1. Opprett en liste med nullvektorer som senere vil erstattes av måleverdier og bildenavn
2. Opprett en funksjon for hvert siffer som sjekker hvilket siffer dette er
3. Opprett løkken som går gjennom bildene, legger inn måleverdiene og lagrer til en kommaseparert fil

Sifrene fra skjermen på energimåleren er av typen syv-delt digital skrift (som man for eksempel finner på et enkelt digitalt termometer). Som vi ser i figur 3.5, er alle de syv mulige strekene aktive i et åttetall og alle utenom streken i midten er aktive i tallet null. Ettersom alle bildene i en serie er tatt fra samme posisjon, skulle strekene i et siffer ha omtrent de samme koordinatene på hvert bilde. Derfor ble koden først skrevet slik at den sjekket RGB-fargeverdiene i ett punkt for hver strek, altså om en strek var tilstede eller ikke basert på fargen i punktet. For å vite om streken var aktiv eller ikke, ble summen av RGB-verdiene målt mot en grenseverdi. Som vist i B.2.4 og B.2.7 under vedlegg B.2 ligger summen av RGB-verdiene til en aktivert strek godt under 100, mens summen av RGB-verdiene til en deaktivert strek over 200. Grenseverdien ble derfor satt til 150.



Figur 3.5: Bilde av energimåler ved Åsveihallen. Enheten til måleren er MWh.

Kameraet flyttet seg litt for hver gang det ble demontert for tømning av filer og koordinatene måtte endres, men det flyttet seg óg i løpet av dagene det stod urørt. Dette gjorde at koordinatene måtte endres to til fire ganger pr. døgn med bildetaking. Med et måletidsrom på flere uker, ble det vurdert bedre å endre skriptet til å takle noe variasjon i tallposisjon. Programmet ble derfor skrevet om til å først gjøre bildet svart/hvitt og deretter sjekke flere punkt for hver strek i et siffer.

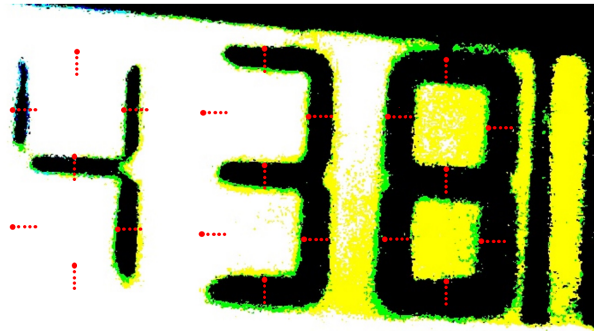
For å gjøre bildet svart/hvitt ble det brukt en ferdig funksjon med en grenseverdi som kan endres etter behov, der alt over grenseverdien gjøres om til hvitt og alt under blir svart. Denne funksjonen er egentlig beregnet på gråtonebilder og resultatet består derfor også av noe rødt, blått og gult, uten at dette har skapt store utfordringer underveis (figur 3.6).



Figur 3.6: Bilde av energimåler endret til svart/hvitt, med noe rødt, grønt og blått.

For å sjekke flere punkt for hver strek, ble det lagt på tre til fire punkt for hver koordinat som ble skrevet inn. På de vertikale strekene la programmet til nye punkt for hver fjerde piksel i horisontal retning, mens det på de horisontale strekene ble lagt til nye punkt i vertikal retning. Plasseringen av punktene hadde flere krav: de måtte stå tett nok til å få med seg en smal strek, som kunne bli så smale som fire piksler, og samtidig dekke et område stort nok til å ta i mot bevegelsen i

bildene uten å kunne komme for nær en annen strek. I figur 3.7 er plasseringene av punktene illustrert. Dette gjorde det mulig å la programmet sjekke bilder fra flere døgn uten å måtte manuelt endre koordinatpunkt. For å gjøre programmet raskere ble det valgt å bare sjekke de tre siste sifrene, ettersom det fjerde sifferet fra høyre bare ble endret tre ganger i løpet av hele måleperioden og det var mindre jobb å endre det manuelt enn å endre koordinatene for enda en funksjon.



Figur 3.7: Bilde med punkt som viser hvor programmet sjekker RGB-verdier. Stor rød prikk viser koordinatet som må skrives inn, de små røde prikkene er punkt funksjonene har plassert ut i fra de store rød.

På det tredje sifferet fra høyre, det som inngår i funksjonen `siffer3()`, ble det svarte partiet av den øverste streken så tynn at det var mest hensiktsmessig å ta med alt annet enn hvitt som en indikasjon på aktivert strek. Grenseverdien for aktivert strek eller ikke, ble derfor her satt høyere enn på de to andre funksjonene. Når RGB-verdiene ble summert fikk de hvite feltene sum over 750, svarte felt fikk sum under 5 mens blå, gule og røde felt fikk sum på under 550. Derfor var det mulig å skille hvitt fra alt annet og `siffer3()` fungerte som den skulle.

I skriptet i vedlegg B.1 kan vi se at if-setningene i `siffer1()`, som bestemmer hva som returneres, er forskjellig fra i `siffer2()` og `siffer3()`, dette fordi at når `siffer2()` eller `siffer3()` får en feil, er dette mulig å se senere i en liste i Excel ved å se på differansen mellom hver påfølgende verdi, mens en feil fra `siffer1()` ikke nødvendigvis vil være enkel å oppdage på denne måten.

Måten oppgaven ble løst kan beskrives slik:

1. Opprett en liste med nullvektorer som senere vil erstattes av måleverdier og bildenavn.
2. Opprett en funksjon som gir summen av RGB-verdiene i et punkt. Denne funksjonen tar inn x- og y-koordinater og åpner et midlertidig bilde *temp.jpg*. Til slutt returnerer funksjonen summen av RGB-verdiene i punktet gitt av x- og y-koordinatene på nevnt bilde.
3. Opprett en funksjon for hvert siffer som sjekker hvilket siffer dette er. Åpne bildet før funksjonen kalles, så sjekker funksjonen det bildet. Forskjellen på disse funksjonene er hovedsakelig koordinatene som er lagt inn.
4. Opprett løkken som skal starte alt, denne går gjennom bildene og må

- 4.1. åpne første/neste bilde
 - 4.2. gjøre alt svart/hvitt
 - 4.3. erodere og deretter dilatere det mørke i bildet
 - 4.4. kalle på siffer-funksjonene og erstatte nullverdiene i matrisen med sifrene som returneres fra funksjonene
 - 4.5. erstatte korresponderende nullverdi i matrisen med navnet på bildet
 - 4.6. finne navn på neste bilde
5. Lagre matrisen i en .CSV fil
 6. Rett opp eventuelle feilavlesinger i .CSV filen

3.3 Bearbeiding av data

For å bearbeide dataene som er innhentet ble det brukt Excel og Jupyter Lab med Python. Excel ble brukt for å sortere og fremstille dataene på en oversiktlig måte. Det ble i tillegg brukt for å sette opp og klargjøre data for videre å bruke Jupyter Lab til å visualisere datamaterialene.

Kapittel 4 | Resultat

I dette kapitlet presenteres først resultatene fra testingen av Portaflow 220. På bakgrunn av testene ble det besluttet å ikke utføre egne målinger, men heller bruke idrettshaller med fastmonterte energimålere eller volummålere. Felles resultat for de syv idrettsbyggene blir presentert og sammenlignet med SN/TS 3031:2016, før hvert bygg til slutt presenteres enkeltvis.

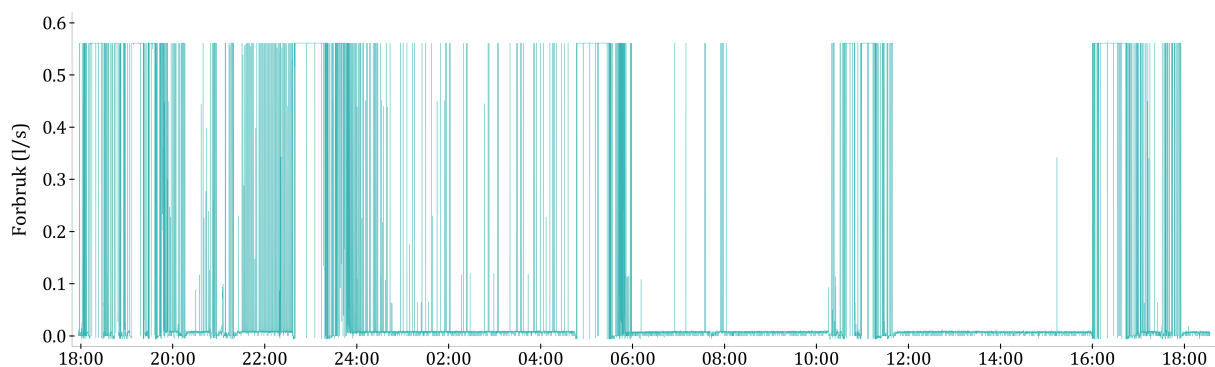
4.1 Portaflow 220

Resultatene fra testingen av Portaflow 220 hadde store avvik som varierte med rørdimensjoner og tappemønster. Ved flere av testene ble det i tillegg registrert volumstrøm når det ikke ble tappet vann, i både positiv og negativ retning. For å skille de to måleapparatene fra hverandre vil de bli identifiserte som PF220A og PF220B.

4.1.1 Testing i idrettshall

For denne testen ble det brukt en liten flerbrukshall med kun to garderober. Av sanitærutstyr med varmtvann var det her to servanter, én utslagsvask og ett kjøkken. Kun ett av måleapparatene ble testet og det ble plassert rett etter blandeventilen på varmtvannsberederen.

Etter at måleapparatet var satt opp og klargjort ble det først fylt to tilitersbøtter for å sjekke nøyaktigheten. Disse ga målinger på 9,3 og 9,0 liter, som tilsvarer avvik på 7 % og 10 %. Testen ble så satt i gang og etter litt under 25 timer hadde det blitt målt 5 613 liter i positiv retning og 214,74 i negativ retning. I figur 4.1 vises loggført momentanstrømning underveis i testingen.



Figur 4.1: Graf med loggført momentanstrømning i liter pr. sekund gjennom loggeperioden i liten idrettshall. Toppene på 0,56 l/s gjengir utsignal tilsvarende feil fra måleapparatet.

De høyeste toppene på rundt 0,56 l/s representerer utsignal tilsvarende feil fra apparatet. Grafen viser også store og hyppige strømminger på tidspunkt der det ikke er forventet, som etter kl. 23 og før kl. 16, i tillegg til små negative målinger gjennom hele måleperioden.

4.1.2 Testing mot fastmontert vannmåler

En av testene som ble utført for å se målenøyaktigheten til PF220 var å måle mengde tappet i en seksmannsbolig for å sammenligne dette med den fastmonterte vannmåleren inn til bygget. Én måler ble plassert på det vertikale røret opp mot himling etter vannmåleren og den andre på horisontalt rør som fulgte himlingen. Under denne testingen ble det prøvd ut ulike "Cut-off"-verdier. Den første perioden ble den stilt veldig lavt, noe som gjorde at omtrent alt av målt strømming ble tolket som tappet volum. Før neste periode ble det testet hvor stor strømming det var ved minimal tapping i en servant, for så å beregne tilsvarende hastighet for den aktuelle rørdimensjonen som etter litt tillagt margin ble brukt som "Cut-off". For informasjon om inn- og utdata til måleapparatene se tabell 4.1a og 4.1b.

For første forsøk ble PF220A plassert på vertikalt rør og PF220B på horisontalt og "Cut-off" satt til 0,005 m/s. Som man kan se i tabell 4.1c var det etter fire timer et stort avvik mellom måleapparatene, og mellom måleapparatene og vannmåleren. Etter den første testen ble plasseringen av de to apparatene byttet om og "Cut-off" ble justert til 0,035 m/s (tabell 4.1d). Det ble gjort en avlesning etter to timer for å se at alt gikk greit, før apparatene logget i én helg. Etter 66,5 timer ble det endelige resultatet avlest. Avvikene ble vesentlig mindre på forsøk 2.

Tabell 4.1: Testresultat etter sammenligning mot vannmåler i seksmannsbolig. I øvre del er det informasjon om inndata og utdata, midtre del viser forsøksresultatene og i nedre del er det tilleggsinformasjon om forsøkene. Vannmengdene målt fra huset til kommunalt ledningsnett er oppført med negative verdier under "Apparat A, negativ" og "Apparat B, negativ".

(a) Informasjon som ble lagt inn i PF220.		(b) Informasjon som PF220 ga tilbake.	
Inndata		Utdata	
Pipe outside diameter	22.0 mm	Refleksjoner	Double reflex
Pipe wall thickness	1.0 mm	Avstand	0.28 mm
Pipe lining thickness	0.0 mm	Damping	1 s
Pipe wall material	Kobber		
Pipe lining material	Ingen		
Fluid type	Vann		
Fluid temperature	5 °C		

(c) Målerresultater og avvik for PF220 og fastmontert vannmåler.

Forsøk nr.	Målt vannmengde (l)				Avvik			
	Vannmåler	Apparat A	Apparat A, negativ	Apparat B	Apparat B, negativ	A mot B	A mot vannmåler	B mot vannmåler
1	596.00	688.00	-0.29	625.00	-50.00	10.08%	15.44%	4.87%
2	263.00	276.10	0.00	262.57	0.45	5.15%	4.98%	-0.16%
	7315.45	7669.51	-106.96	7698.97	-34.27	-0.38%	4.84%	5.24%

(d) Tid og kommentarer for forsøkene.

Forsøk nr.	Tid (timer)	Kommentar
1	4.0	Apparat A plassert på horisontalt rør, B på vertikalt. Cutoff: 0,005 m/s.
2	2.0	Samme posisjoner, men byttet plass. Cutoff: 0,035 m/s. Første avlesning.
	66.5	Fortsettelse på forsøk 2, ny avlesning.

4.1.3 Bøttetester

Bøttetester ble utført flere forskjellige steder, men kun to steder ble det gjort på mer systematisk vis der det også ble registrert resultat. Det var store avvik for alle testene, og dette var grunnen til at det ble besluttet å teste mer systematisk.

Fylling med branntrommel på Byggteknisk på Gløshaugen

Første stedet det ble utført en grundigere bøttetest var på Byggteknisk på Gløshaugen. Her ble det målt mengde på tilførselrøret til en branntrommel som ble brukt til fyllingen. Som vist i tabell 4.2 ga alle forsøkene måleresultater litt under faktisk tappet mengde. Avviket var jevnt og lå i området 5-8,7 %. Det ble utført syv tappinger uten stopp underveis.

Tabell 4.2: Testresultat med PF220B, byggteknisk, Gløshaugen. I øvre del er det informasjon om inndata og utdata, og nedre del viser forsøksresultatene.

(a) Informasjon som ble lagt inn i PF220.		(b) Informasjon som PF220 ga tilbake.	
Inndata		Utdata	
Pipe outside diameter	28,0 mm	Refleksjoner	Single reflex
Pipe wall thickness	1,2 mm	Avstand	0,28 mm
Pipe lining thickness	0,0 mm	Damping	1 s
Pipe wall material	Kobber		
Pipe lining material	Maling		
Fluid type	Vann		
Fluid temperature	5 °C		

(c) Måleresultater			
Forsøk nr.	Målt (l)	Avvik	Antall stopp
1	9,15	-8,5%	0
2	9,13	-8,7%	0
3	9,21	-7,9%	0
4	9,32	-6,8%	0
5	9,50	-5,0%	0
6	9,20	-8,0%	0
7	9,31	-6,9%	0

Fylling med dusjhode på Varmeteknikk på Gløshaugen

Neste sted for bøttetest var i en garderobe på Varmeteknikk på Gløshaugen. Her var det to toalettrom og ett dusjrom som alle hadde felles fordelerskap. Først ble apparat A testet og som vist i tabell 4.3 var det store og varierende avvik. Øverst er det informasjon om inndata og utdata, og under er forsøksdata. Det ble utført tretten fyllinger for apparat PF220A.

Tabell 4.3: Testresultat med PF220A, varmeteknisk, Gløshaugen. I øvre del er det informasjon om inndata og utdata, og nedre del viser forsøksresultatene.

(a) Informasjon som ble lagt inn i PF220.		(b) Informasjon som PF220 ga tilbake.	
Inndata		Utdata	
Pipe outside diameter	18,0 mm	Refleksjoner	Double reflex
Pipe wall thickness	1,0 mm	Avstand	5,15 mm
Pipe lining thickness	0,0 mm	Damping	1 s
Pipe wall material	Kobber		
Pipe lining material	Ingen		
Fluid type	Vann		
Fluid temperature	5 °C		

(c) Måleresultater			
Forsøk nr.	Målt (l)	Avvik	Antall stopp
1	11,12	11,20%	0
2	10,83	8,30%	0
3	10,88	8,80%	0
4	10,92	9,20%	1
5	11,56	15,60%	9
6	11,55	15,50%	9
7	11,64	16,40%	10
8	11,89	18,90%	9
9	12,06	20,60%	9
10	12,09	20,90%	9
11	11,82	18,20%	9
12	10,97	9,70%	0
13	10,86	8,60%	0

Så ble PF220B plassert i samme posisjon som apparat A, samme metode ble fulgt og samme inndata ble lagt inn (tabell 4.3a). Etter første forsøk sluttet aldri apparatet å vise strømning, selv om det ikke ble tappet. Transduserne ble derfor demontert og både rør og transdusere ble rengjort før en ny stripe fett ble påført og transduserne remontert. Apparatet sluttet da å vise strømning og forsøkene kunne fortsette, men etter første tiltersbøtte var fylt viste apparatet strømning i to til tre minutter før det stoppet på 13,8 liter.

4.1.4 Måling og tilleggstesting

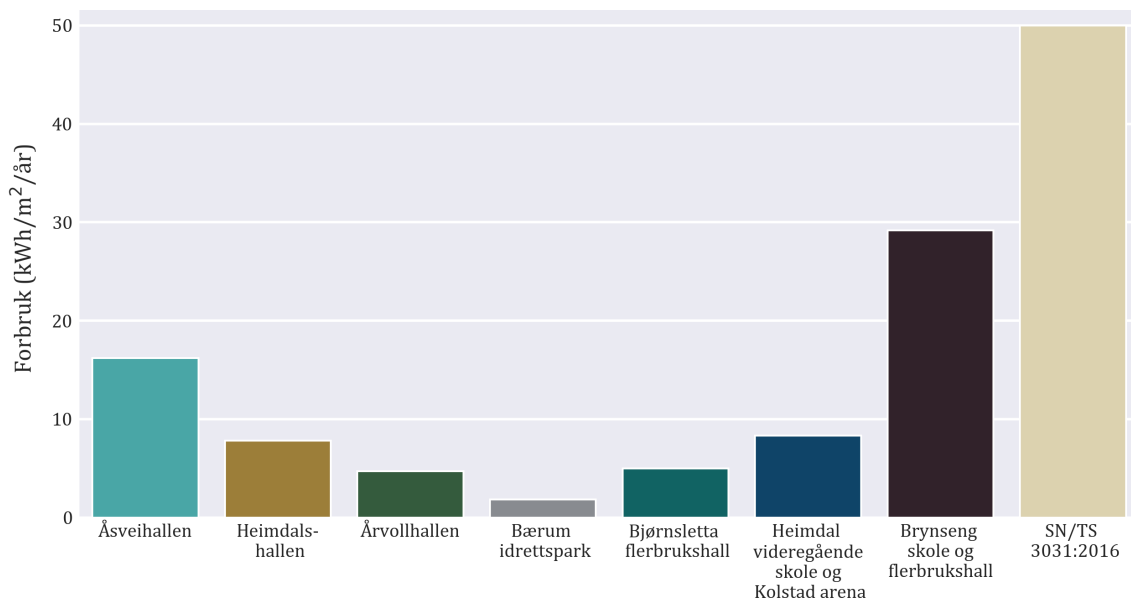
På grunn av de store avvikene som viste seg ved testing av måleapparatene, ble det besluttet at Portaflow 220 ikke kunne brukes til innsamling av data til denne oppgaven. Det er av den grunn ingen resultater å presentere fra målinger med PF220 i idrettshaller. Basert på testene ble en protokoll for mer nøyaktig og systematisk testing av målenøyaktigheten til PF220 utviklet, og det var planlagt å utføre dette. På grunn av COVID-19-pandemien og stengt campus utgikk også dette og det er ingen resultater å presentere.

4.2 Idrettsbyggene

For å finne energiforbruk pr. areal er det brukt bruksareal (BRA) der dette har vært mulig å få tak i, og når dette ikke har vært tilgjengelig er det brukt bruttoareal. Grunnen til at dette varierer er blant annet fordi noen haller er frittstående og andre er en del av en skole, i tillegg til at plantegninger var tilgjengelige for noen haller og ikke for andre. Med tegninger var det mulig å finne areal selv, men for de uten, måtte oppgitte areal fra ulike kilder brukes og disse var oftest bruttoareal eller areal uten spesifisering og virket til tider å være avrundet. For de idrettsbyggene som er en del av et skolebygg er idrettshall, eventuelle andre idrettsrom, publikumsområder, garderober og tilhørende toalettkjerner, lagringsrom og korridorer medregnet i "idrettsbyggarealet". For de frittstående hallene er totalt areal for hele bygget brukt. De oppgitte antall dusjer og servanter kan for noen av byggene ha små avvik, men ikke større enn at det likevel gir et inntrykk av størrelsen på bygget.

Noen av idrettsbyggene er relativt nye, og for de er logg tilgjengelig fra bygget ble satt i bruk. For de litt eldre byggene, der det kun var tilgjengelig energidata for noen av årene, er også gjennomsnittlig forbruk fra bygget var satt i drift beregnet. For å gjøre det er det antatt at energimåleren startet på null fra første åpningsdag og at den har vært i drift hele driftsperioden.

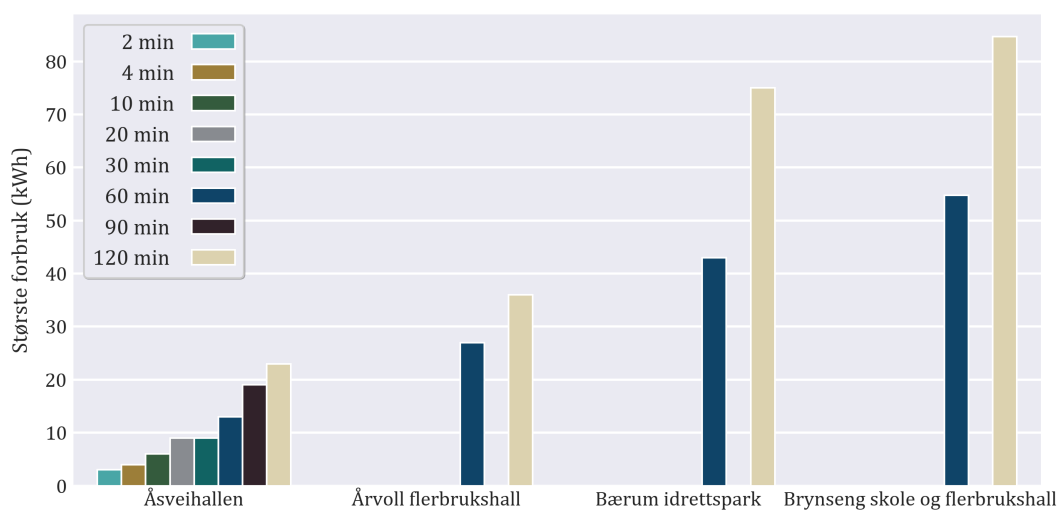
Hvis man ser på gjennomsnittlig forbruk til oppvarming av tappevann for alle idrettsbyggene er det kun ett av de som er over 20 kWh/m²/år, ett av de over 15 kWh/m²/år og resterende bygg er under 10 kWh/m²/år. Dette er betydelig lavere enn verdien som er angitt i SN/TS 3031:2016 (figur 4.2).



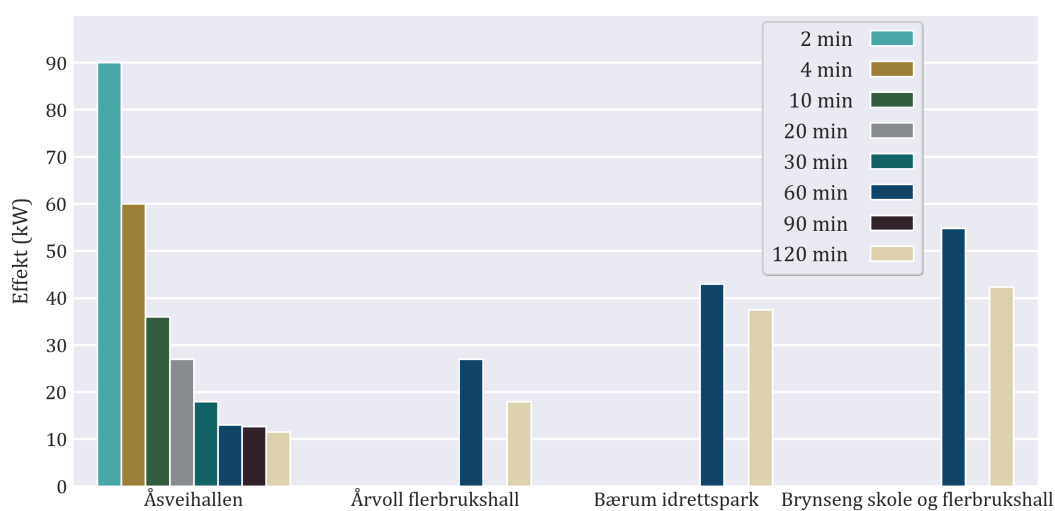
Figur 4.2: Gjennomsnittlig energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann pr. år i kWh/m² i perioden med logg over detaljert forbruk for hver av idrettsbyggene, sammenlignet med SN/TS 3031:2016 sin normative verdi. Forbruket ved Kolstad arena og Brynseng flerbrukshall inkluderer forbruket til skolene, men er bare fordelt på idrettsarealet.

Det er Brynseng skole og flerbrukshall som står med det største forbruket pr. areal, men her må det spesifiseres at idrettsbyggarealet bare er rundt en fjerdedel av det totale arealet og at skolearealet dekker resten. Forbruket er beregnet som om all varmtvannstapping ved skolen har skjedd i flerbrukshallen (figur 4.2).

Ved Åsveihallen ble varmtvannsforbruket logget hvert andre minutt, mens det ved Årvoll flerbrukshall, Bærum idrettspark og Brynseng skole og flerbrukshall ble logget hver time. Dette gjorde det mulig å produsere en oversikt over dimensjonerende forbruk i loggeperioden for Åsveihallen og sammenlignbare verdier for Årvollhallen, Bærum idrettspark og Brynseng skole og flerbrukshall (figur 4.3). Siden det er svært varierende areal ved disse byggene ble det òg beregnet en oversikt med arealspesifikke verdier. Her vises det at Brynseng har størst forbruk pr. areal, men det må igjen spesifiseres at det er brukt flerbrukshallens areal og ikke det totale arealet til skole- og idrettsbygg (figur 4.4).



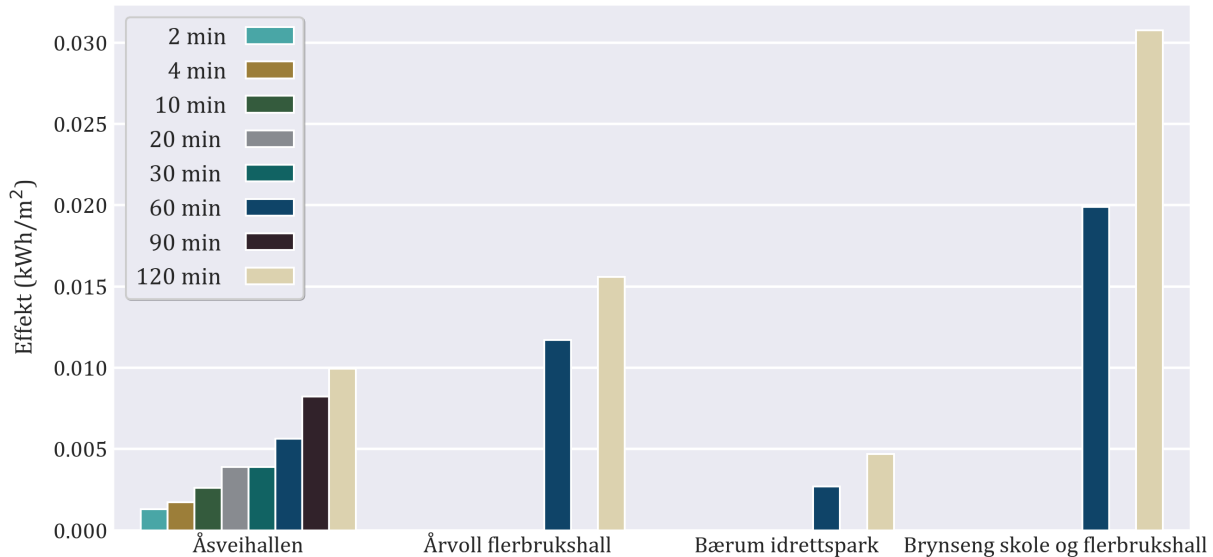
(a) Største målte samlede forbruk av varmt tappevann i kWh, over tidsintervall fra to minutter til to timer.



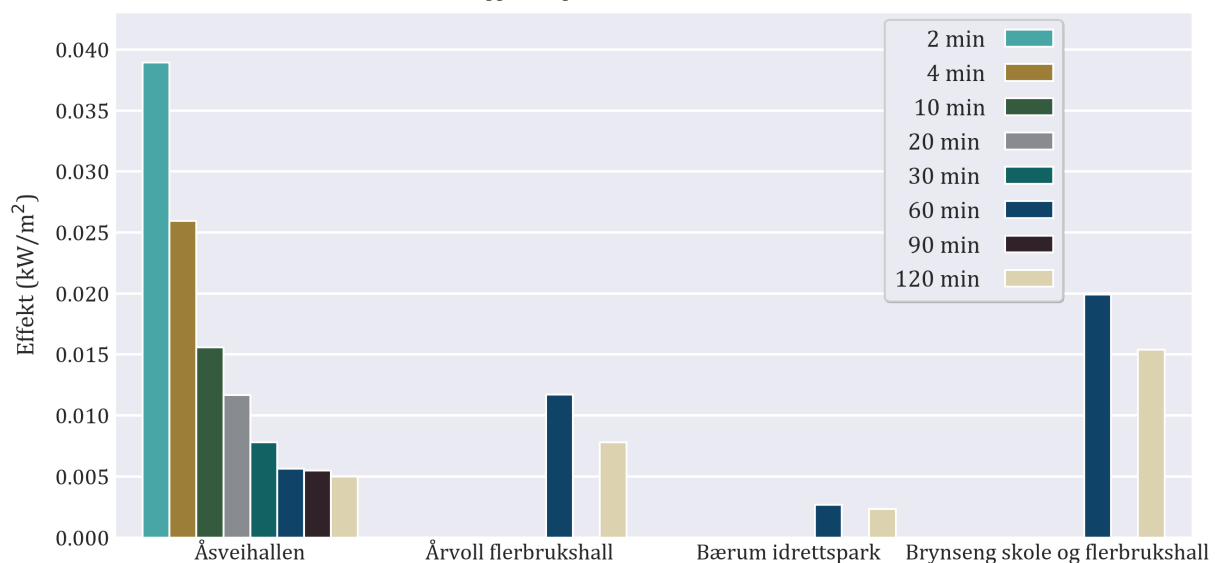
(b) Største målte gjennomsnittlige forbruk av varmt tappevann i kW, over tidsintervall fra to minutter til to timer.

Figur 4.3: Største målte forbruk av varmt tappevann i periodene med detaljert energidata over tidsintervall fra to minutter til to timer.

Alle idrettsbyggene viser større effekt ved én times intervall enn ved to timers intervall, og ved Åsveihallen vises en vesentlig større gjennomsnittlig effekt over korte perioder enn lange (figur 4.3b). Årvoll flerbrukshall er det frittstående bygget med størst forbruk pr. areal over en periode på én og to timer (figur 4.4).



(a) Største samlede forbruk av varmt tappevann pr. areal i kWh, over tidsintervall fra to minutter til to timer.



(b) Største gjennomsnittlige forbruk av varmt tappevann pr. areal i kW, over tidsintervall fra to minutter til to timer.

Figur 4.4: Største gjennomsnittlige forbruk av varmt tappevann pr. areal i periodene med detaljert energidata over tidsintervall fra to minutter til to timer.

Videre følger presentasjon av resultater for hvert av idrettsbyggene, de med egen undermåler for varmt tappevann først, etterfulgt av de to som har felles måler med skole. For å gi et forhold til energiforbruket ved dusjing kan vi beregne effektene ved en vannbesparende dusj og en normal dusj ved 40 °C til å være henholdsvis rundt 18 kW og 44 kW, med utgangspunkt i vannmengder på henholdsvis 0,12 l/s og 0,3 l/s. For å kunne sammenligne de målte verdiene med den normative verdien fra SN/TS 3031:2016, er denne omgjort fra kWh/m²/år til kWh/m²/uke eller kWh/m²/dag i de kommende grafene som presenteres.

4.2.1 Åsveihallen

Åsveihallen er en flerbrukshall som er en del av Åsveien skole i Trondheim, men deler ikke energimåler med skolen. I tillegg til selve spilleflaten, er det en liten tribune og tilhørende garderobeanlegg. Hallen brukes av skolen til kroppsøving på dagtid og til blant annet basketball og håndball på kveldstid. Mer informasjon om Åsveihallen finnes i tabell 4.4.

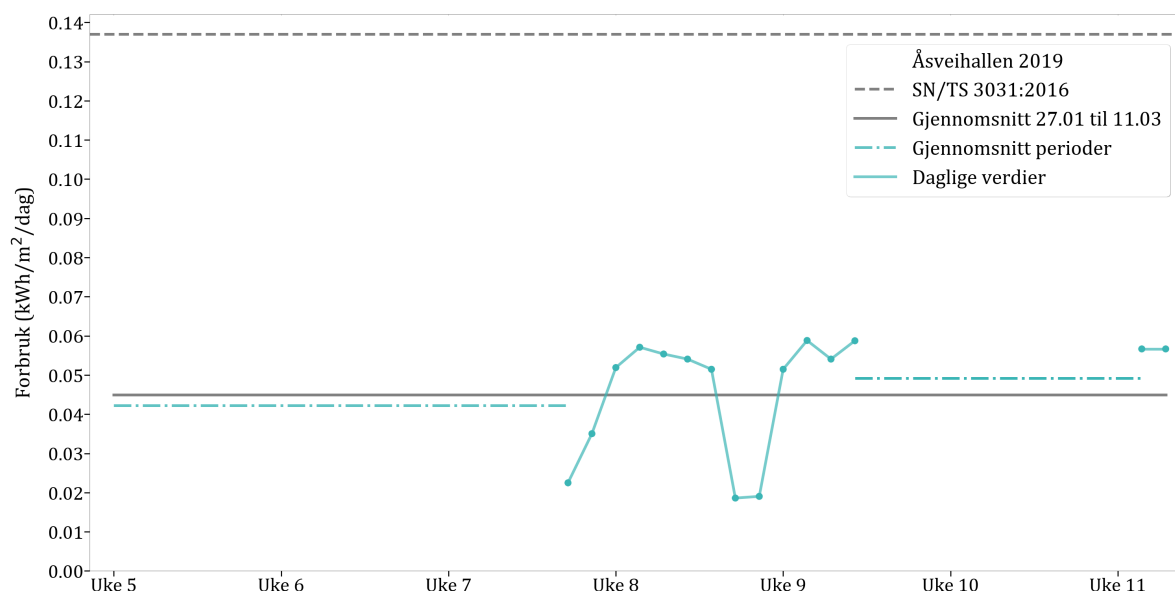


Figur 4.5: Åsveihallen. Foto: Eirik Bjørkedal Rømo

Tabell 4.4: Informasjon Åsveihallen

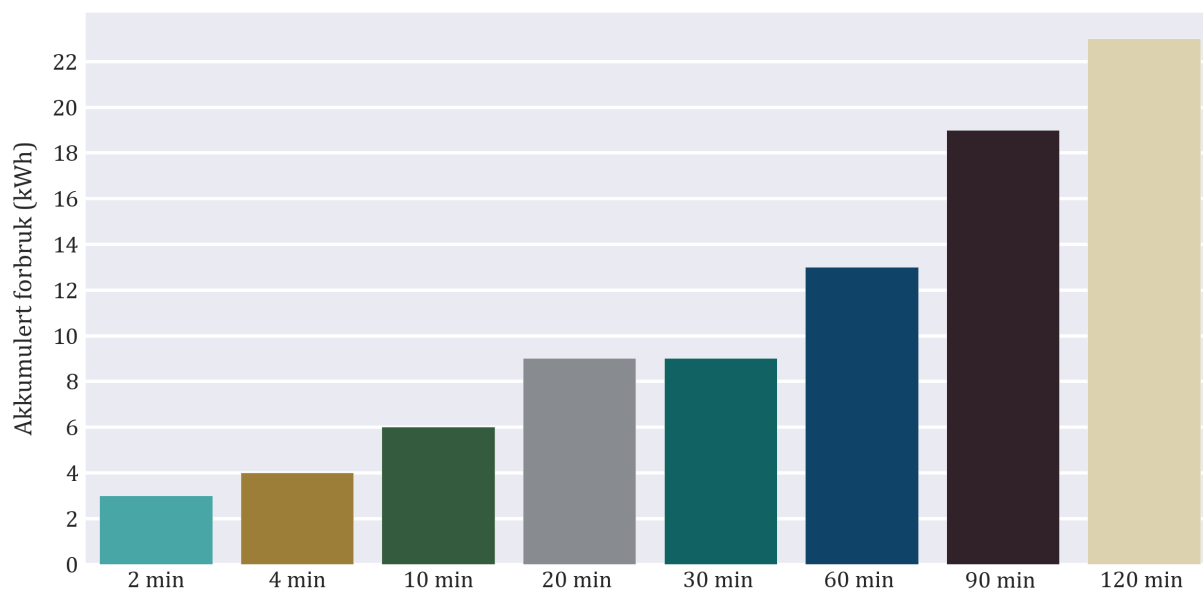
Beliggenhet	Byåsen i Trondheim
År satt i drift	2015
Type hall	Flerbrukshall
Tilknyttet	Åsveien skole
Totalt nettoareal	2 311,8 m ²
Hallareal	1 166,4 m ²
Areal garderober og annet	1 145,4 m ²
Gjennomsnittlig energiforbruk til varmtvann	
I logget periode 27.01.2020 til 11.03.2020	16,22 kWh/m ² /år
Siden oppstart 07.03.2015 til 11.03.2020	12,01 kWh/m ² /år
Varmekilde	Varmepumpe og fjernvarme
Akkumuleringsvolum (felles med skolen)	2 800 liter
Antall dusjer	22
Antall servanter	18

Åsveihallen er eneste hallen der forbruket ble loggført delvis på manuelt vis. Det er montert energimåler som loggfører akkumulert energi, men problemer med lagring til SD-anlegg gjorde at det ble brukt automatisk bildetaking for å kunne se forbruk over kortere perioder. Problemer med logging av bilder grunnet at kamera skrudde seg av i kombinasjon med stengte idrettsbygg fra 12. mars 2020 førte til et ufullstendig datasett. Figur 4.6 viser forbruket i Åsveihallen for litt over seks uker. En avlesning av akkumulert energi den 27. januar 2020 gjorde at det var mulig å finne gjennomsnittlig forbruk frem til loggføringen med kamera startet og er vist med blå stiplet linje. I tillegg er den gjennomsnittlige dagsverdien for perioden med kameraproblemer også vist med blå stiplet linje. Dataene fra manuell loggføring er vist med blå punkter med heltrukken linje mellom. De fire laveste punktene i uke 7 og 8 er lørdag og søndag, mens de to siste punktene i uke 11 er tirsdag og onsdag. Heltrukken grå linje viser gjennomsnittet for hele perioden og stiplet, grå linje viser SN/TS 3031:2016 sin normative verdi til sammenligning.

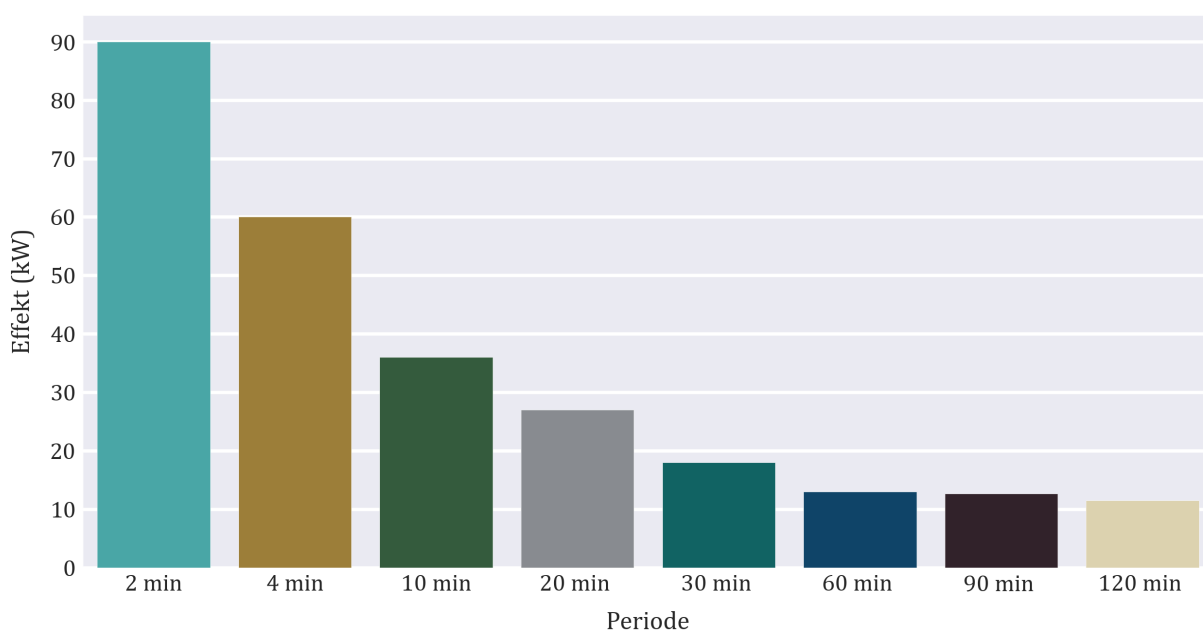


Figur 4.6: Varmtvannsforbruk i Åsveihallen pr. dag i kWh/m² fra mandag 27.01.2020 til onsdag 11.03.2020. Stiplet grå linje viser SN/TS 3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Åsveihallen i hele loggeperioden. Blå strekpunkt-linje viser gjennomsnittlig verdi over periodene uten daglige verdier og blå markører langs heltrukken blå linje viser daglige verdier hentet ved hjelp av bildegjenkjenning. De fire laveste punktene er lørdager og søndager. Punktene i uke 11 er tirsdag og onsdag.

Takket være hyppig logging var det også mulig å se på største samlede energiforbruk og største gjennomsnittlige effekt for tidsintervall helt ned i to minutter. Figur 4.7a viser største målte samlede energibruk i tidsintervaller fra to minutter til to timer, og figur 4.7b viser største målte effekt for samme tidsintervall.



(a) Største samlede energibruk til oppvarming av varmt tappevann i Åsveihallen i kWh over tidsintervall fra to minutter til to timer.



(b) Største gjennomsnittlige forbruk av varmt tappevann i Åsveihallen i kW over tidsintervall fra to minutter til to timer.

Figur 4.7: Største gjennomsnittlige forbruk av varmt tappevann i Åsveihallen i periodene 14.02.2020 til 27.02.2020 og 09.03.2020 til 11.03.2020 over tidsintervall fra to minutter til to timer.

4.2.2 Heimdalshallen

Heimdalshallen er et idrettsbygg i Trondheim kommune med én håndballhall på 45 ganger 25 meter, og to basishaller på 24 ganger 16 meter hver. I tillegg til hallarealet er det et styrkerom, selskapslokaler, kafeteria og noen rom som disponeres av Breidablikk skole.

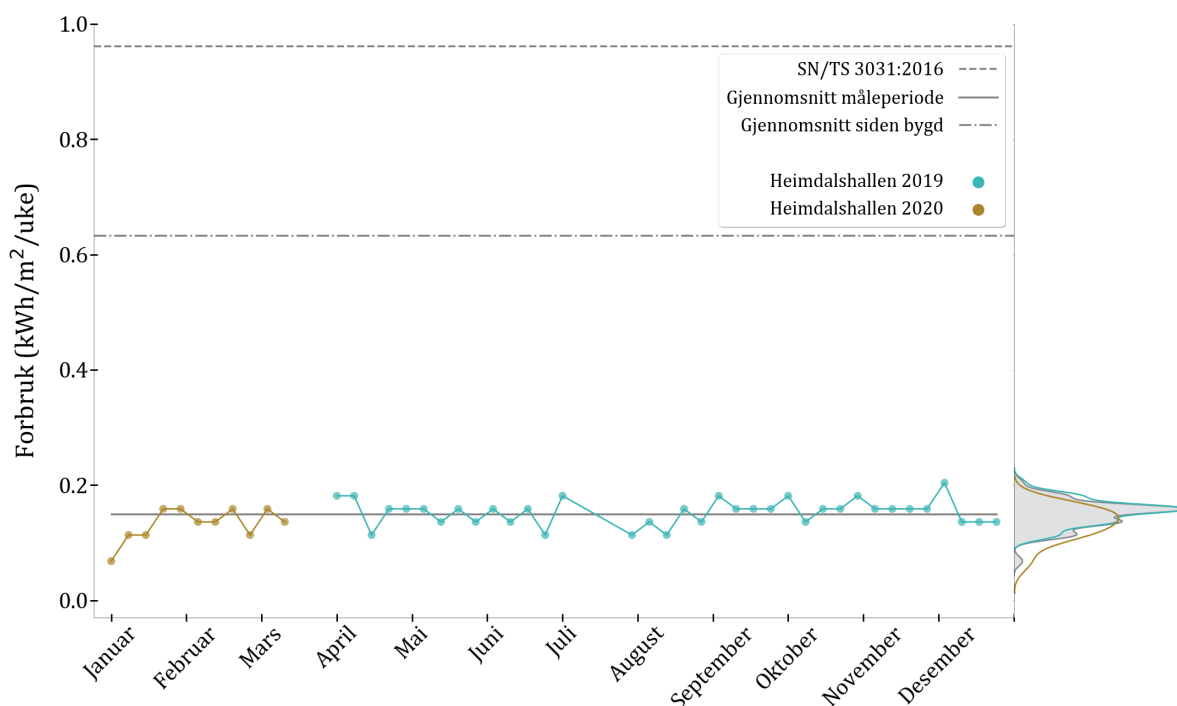


Figur 4.8: Håndballhallen i Heimdalshallen. Foto: Eirik Bjørkedal Rømo

Tabell 4.5: Informasjon Heimdalshallen

Beliggenhet	Heimdal i Trondheim
År satt i drift	2014
Type haller	Én håndballhall og to basishaller
Tilknyttet	Breidablikk skole
Totalt bruksareal	4 411,8 m ²
Hallareal	2 117,3 m ²
Areal styrketreningsrom	206,6 m ²
Areal garderober og annet	2 087,9 m ²
Gjennomsnittlig energiforbruk til varmtvann	
I logget periode 01.04.2019 til 12.03.2020	7,81 kWh/m ² /år
Fra oppstart 16.08.2014 til 01.04.2019	38,44 kWh/m ² /år
Fra oppstart 16.08.2014 til 12.03.2020	33,25 kWh/m ² /år
Varmekilde	Fjernvarme
Akkumuleringsvolum	900 liter
Antall dusjer	66
Antall servanter	16

I Heimdalshallen er det tilgjengelig energidata for ett år tilbake i tid. Dette betyr at måleverdier for forbruket siden åpning 16.08.2014 ikke finnes og at det kun kan estimeres et gjennomsnittsforkbruk for de første fem årene. Forbruket av energi til oppvarming av varmt tappevann siste året holder seg stabilt mellom 0,09 og 0,21 kWh/m²/uke med et gjennomsnitt på 0,15 kWh/m²/uke i perioden med tilgjengelige måledata, mens det siden offisiell åpning har et gjennomsnittsforkbruk på 0,64 kWh/m²/uke. Dette vises i figur 4.9 sammen med SN/TS 3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg for sammenligning. Det ble ikke registrert måledata mellom 10. og 22. juli 2019 og dette er grunnen til de manglende punktene med ukeverdier i grafen. Gjennomsnittlig forbruk siden offisiell åpning ligger vesentlig høyere enn gjennomsnittlig forbruk under logget periode og er uten detaljert informasjon om forbruksmønster. Normativ verdi fra SN/TS 3031:2016 er høyere enn dette igjen (figur 4.9).



Figur 4.9: Varmtvannsforbruk i Heimdalshallen pr. uke i kWh/m² fra mars 2019 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS 3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg, heltrukken, grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Heimdalshallen i hele loggeperioden og grå strekpunkt-linje viser gjennomsnittlig verdi for Heimdalshallen siden offisiell åpning 16. august 2014. Høyre side viser distribusjonen med en linje for hvert år og én grå linje med skygge for begge år samlet.

4.2.3 Årvoll flerbrukshall

Årvoll flerbrukshall er en frittstående hall tilknyttet Årvoll skole i Oslo. Den består av én flerbrukshall med totalt elleve garderober, et lite kjøkken med kiosk og et møterom. Mer detaljert informasjon kan ses i tabell 4.6.

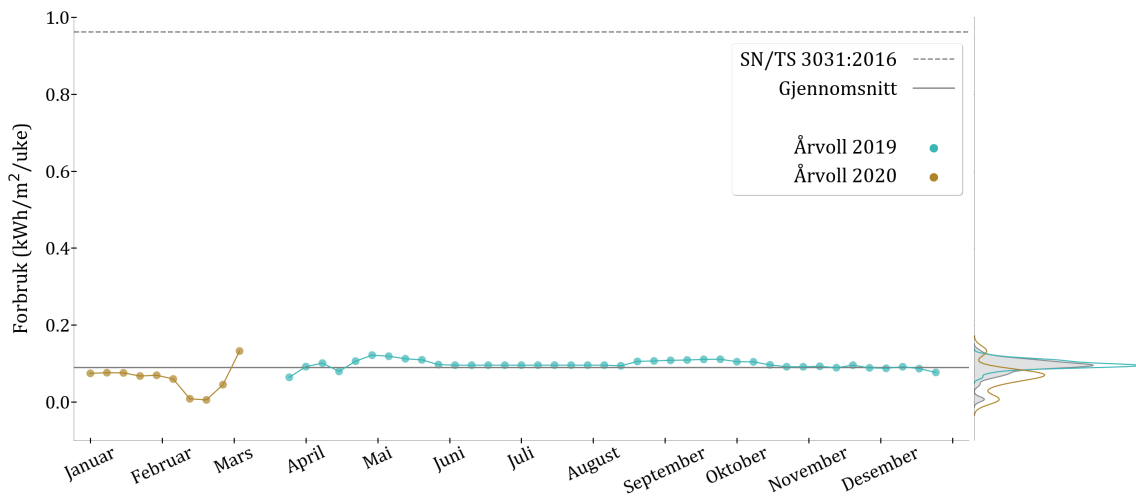


Figur 4.10: Årvoll flerbrukshall. Foto: Sindre Sverdrup Strand, Byggeindustrien

Tabell 4.6: Informasjon Årvoll flerbrukshall

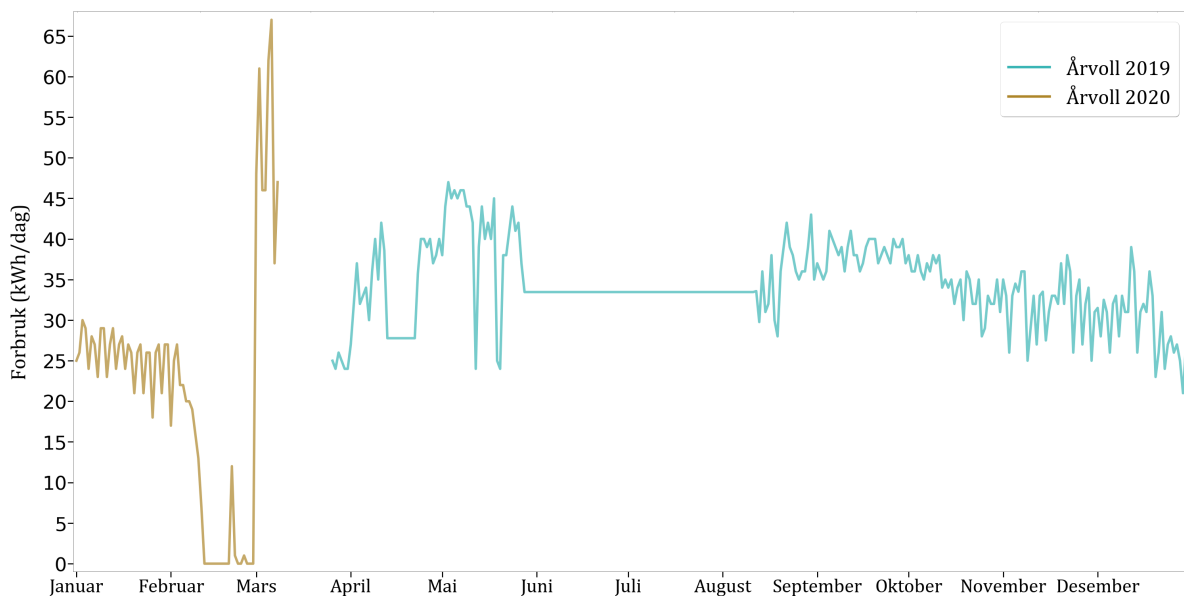
Beliggenhet	Årvoll i bydel Bjerke i Oslo
År satt i drift	2019
Type hall	Flerbrukshall
Tilknyttet	Årvoll skole (barne- og ungdomsskole)
Totalt bruksareal	2 308 m ²
Hallareal	1 050 m ²
Areal garderober og annet	1 258 m ²
Gjennomsnittlig energiforbruk til varmtvann	
I loggeperioden 25.03.2019 til 08.03.2020	4,69 kWh/m ² /år
Varmekilde	Fjernvarme
Akkumuleringsvolum	2 655 liter (3 stk. 885 liter)
Antall dusjer	53
Antall servanter	20

Årvoll flerbrukshall har et jevnt energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann og som vist i figur 4.11 varierer det mellom 0 og 0,2 kWh/m²/uke.

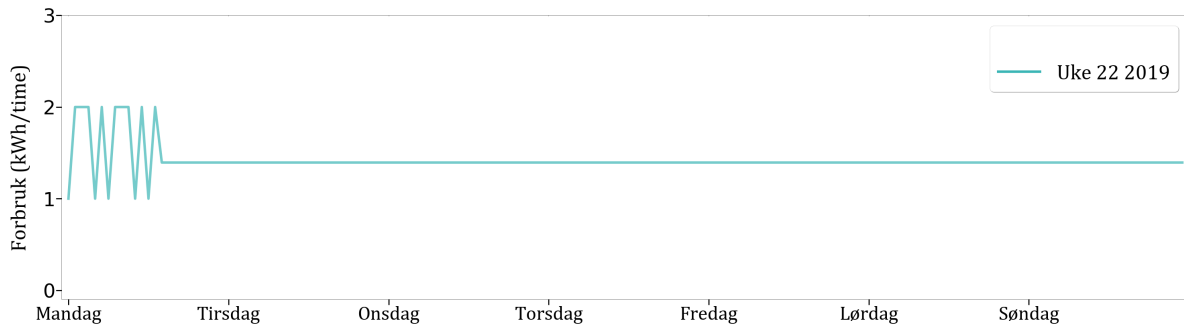


Figur 4.11: Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. uke i kWh/m² fra mars 2019 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Årvollhallen i hele loggeperioden. Høyreside viser distribusjonen med en linje for hvert år og én grå linje med skygge for begge år samlet.

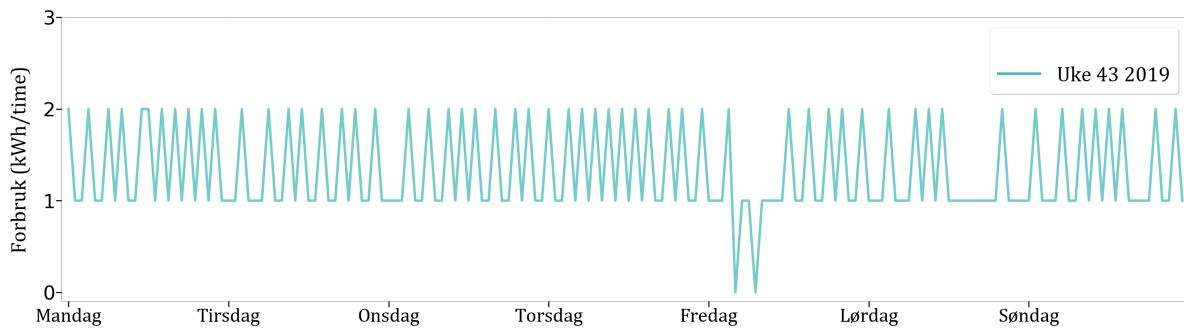
Forbruket ved Årvollhallen veksler normalt mellom null, én og to kWh pr. time (figur 4.13b), men to perioder i loggen har større oppløsning. Dette gjelder først en tolvdagersperiode i april 2019 med konstant forbruk på 1,16 kWh pr. time, og en periode på omtrent to og en halv måned fra slutten av mai til august 2019 med konstant timesforbruk på 1,39 kWh (figur 4.13a). Disse to periodene er tydelige i figur 4.12. I tillegg viser grafen en periode i siste halvdel av februar 2020 som, bortsett fra fire timer fordelt på tre dager, indikerer null forbruk. Etter dette øker forbruket og viser det største forbruket registrert for Årvoll flerbrukshall.



Figur 4.12: Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. dag i kWh fra mars 2019 til mars 2020.



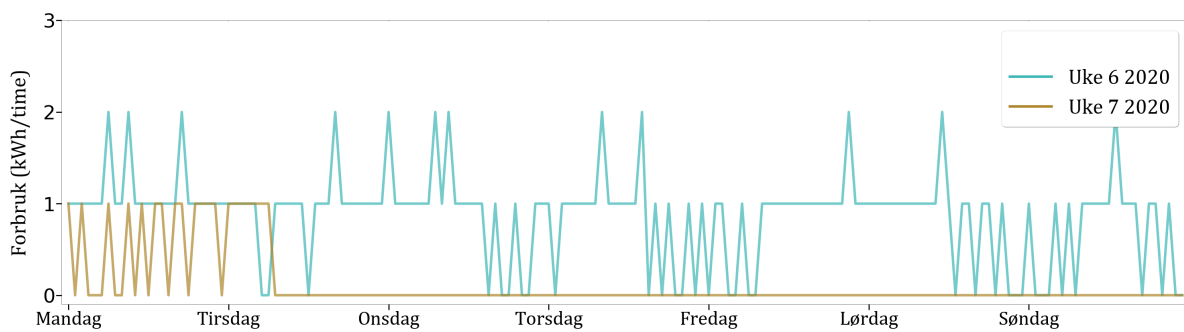
(a) Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. time i kWh uke 22, mai 2019. Forbruket går fra å variere mellom én og to kWh pr. time til å være 1,39 kWh pr. time for hver time.



(b) Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. time i kWh i uke 43, oktober 2019. Grafen viser typiske verdier for varmtvannsforbruket i Årvollhallen for februar 2020.

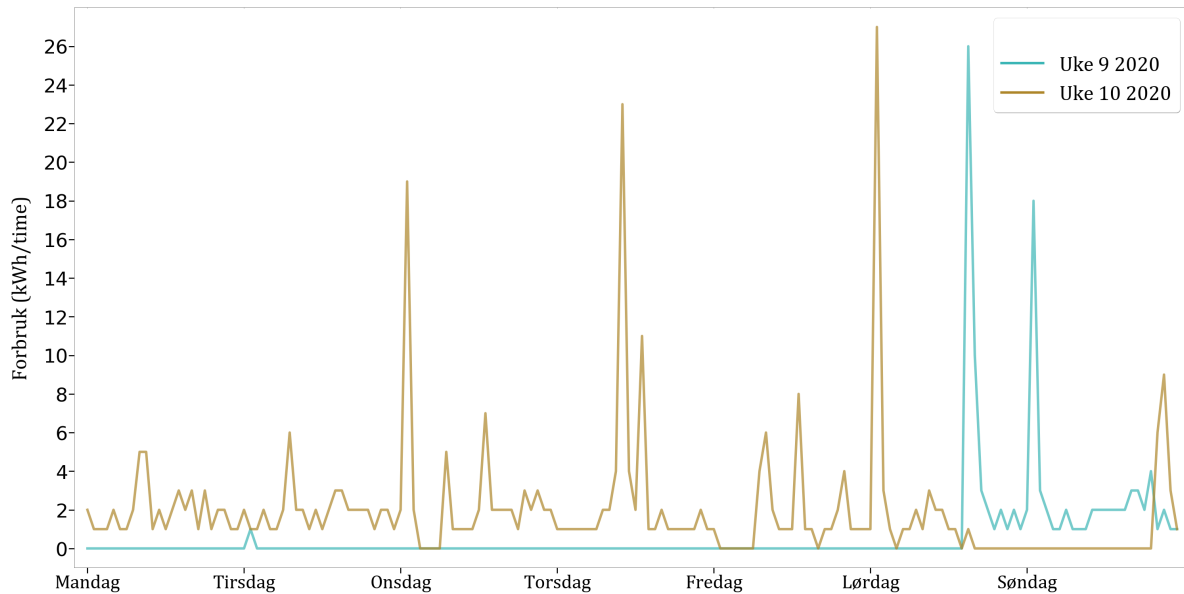
Figur 4.13: Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. time i kWh i uke 22, mai 2019 og uke 43, oktober 2019.

I omtrent fire måneder i forkant av perioden med null forbruk er trenden gradvis synkende før det plutselig faller raskt og blir konstant null fra tirsdag, uke 7 i februar 2020 (figur 4.12). I figur 4.14 vises de siste dagene med synkende forbruk med timeverdier.



Figur 4.14: Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. time i kWh uke 6 og 7, januar og februar 2020. Forbruket synker gradvis ved å gå fra varierende mellom null, én og to kWh pr. time til konstant null fra tirsdag uke 7.

Etter perioden i februar 2020 med null forbruk kommer som nevnt de høyeste målte time- og dagverdiene i hele loggeperioden. Ved å se nærmere på denne perioden kan vi se at det normalt varierer mellom én og to kWh pr. time, men mange målinger har verdier opp til seks kWh pr. time og nesten én gang om dagen måles det rundt 18 kWh til 27 kWh pr. time (figur 4.15). De høyeste toppene tilsvarer rundt tre til ti dusjer som tapper i ti minutter, hovedsaklig avhengig av volumstrøm gitt av type dusj. Det er verdt å merke seg når på døgnet de høyeste forbrukene er (figur 4.15).



Figur 4.15: Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. time i kWh uke 9 og 10, februar og mars 2020. Forbruket går i uke 9 fra å være null til varierende med høye topper til ut uke 10.

4.2.4 Bærum idrettspark

Bærum Idrettspark er et stort frittstående idrettsanlegg bestående av en friidrettshall på 6 812 m², flerbrukshall på 1 545 m² og en fotballhall på 3 361 m². I tillegg er det garderober, styrkerom og store publikumsområder.

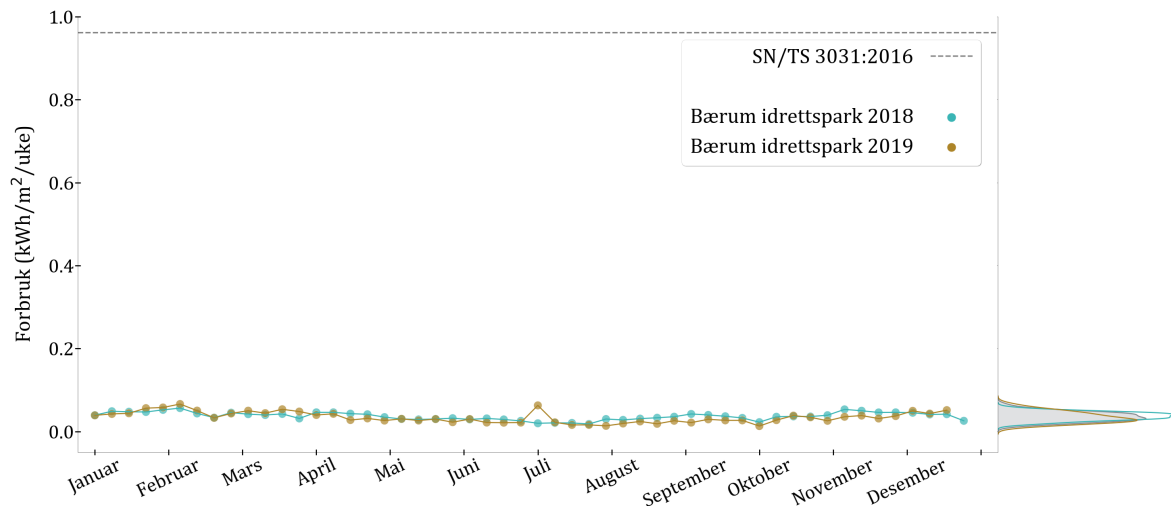


Figur 4.16: Friidrettshallen i Bærum idrettspark. Foto: Trond Joelson, Byggindustrien

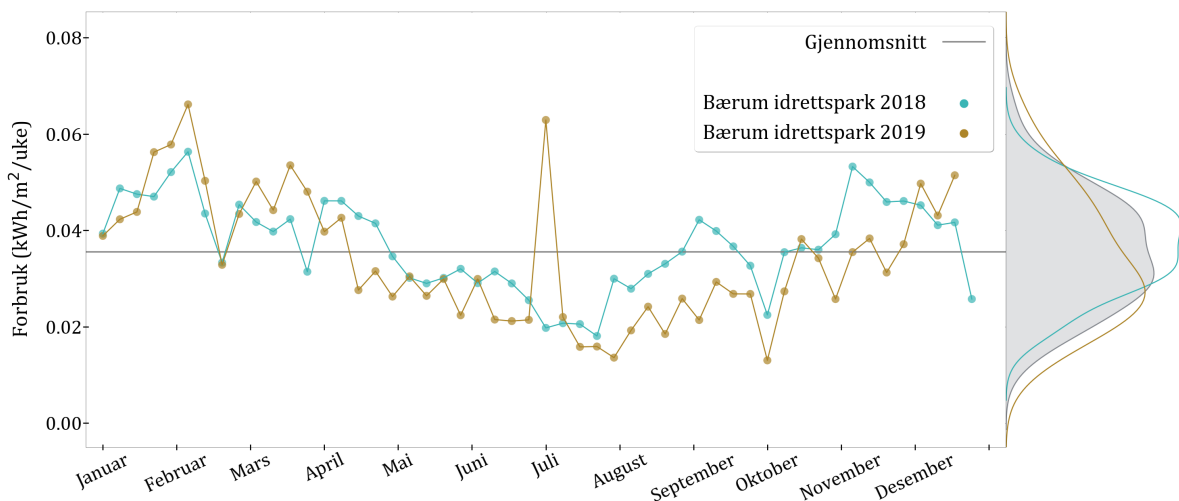
Tabell 4.7: Informasjon Bærum idrettspark

Beliggenhet	Hauger i Bærum
År satt i drift	2013
Type haller	Friidrettshall, flerbrukshall og fotballhall
Totalt bruksareal	16 000 m ²
Areal friidrettshall	6 812 m ²
Areal fotballhall	3 361 m ²
Areal flerbrukshall	1 545 m ²
Areal styrkerom	117 m ²
Gjennomsnittlig energiforbruk til varmtvann	
loggeperioden 2018 til og med 2019	1,85 kWh/m ² /år
Fra satt i drift april 2013 til og med 2019	1,81 kWh/m ² /år
Varmekilde	Spillvarme fra isproduksjon og fjernvarme
Akkumuleringsvolum	4 500 liter
Antall dusjer	68

Energiforbruket til oppvarming av varmt tappevann i Bærum idrettspark holder seg gjennom perioden med tilgjengelige energidata mellom 0,01 og 0,08 kWh/m²/uke, med et gjennomsnitt på 0,036 kWh/m²/uke (figur 4.17 og 4.18). Gjennomsnittlig forbruk siden bygget ble satt i drift i april 2013 er på 0,035 kWh/m²/uke og overlapper med dataene fra måleperioden (figur 4.17). Disse verdiene står i sterk kontrast til den normative verdien på 0,962 kWh/m²/uke gitt av SN/TS 3031:2016.

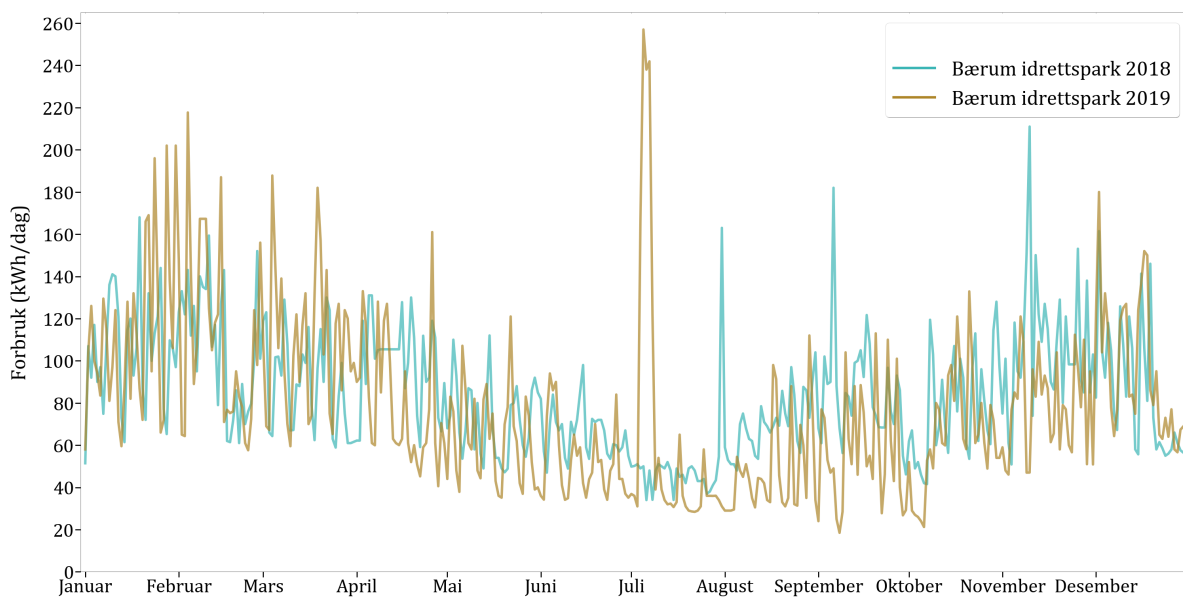


Figur 4.17: Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Bærum idrettspark pr. uke i kWh/m² fra januar 2019 til desember 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og høyresiden viser distribusjonen med en linje for hvert år og én grå linje med skygge for begge år samlet.



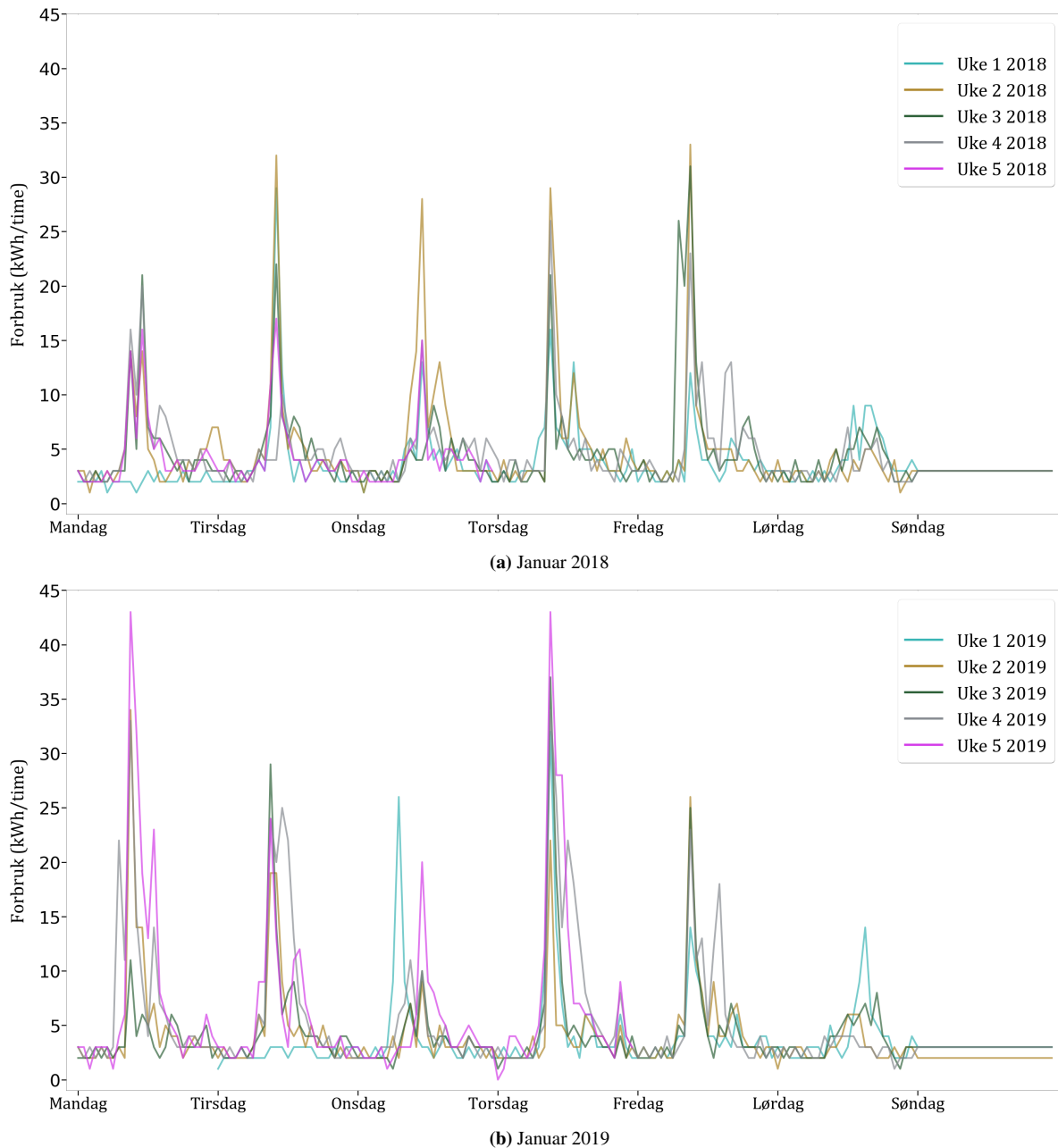
Figur 4.18: Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Bærum idrettspark pr. uke i kWh/m² fra januar 2018 til desember 2019. Gjennomsnittet for måleperioden er vist som grå, heltrukket linje. Høyresiden viser distribusjonen med en linje for hvert år og én grå linje med skygge for begge år samlet. Denne grafen viser det samme som Figur 4.17 uten normativ verdi etter SN/TS 3031:2016.

Fordelingen i figurene 4.18 og 4.19 viser et tydelig mønster med lavere verdier i sommermånedene og en nedgang i februar og september/oktober. Det var i 2019 en uke med høyt forbruk i juli, og det ukentlige forbruket i 2018 var noe høyere enn i 2019, men ellers er det flere fellestrekk mellom de to årene (figur 4.18). Begge årene har en økning fram til februar før målingene synker mot samme verdi og vi finner samme mønster på kurven for 2018 som 2019 i månedskiftet september/oktober, bare forskøvet. Varmtvannsforbruket i Bærum idrettspark varierer også mye fra dag til dag, én dag kan det være rundt 15 kWh, mens det neste dag kan være over 120 kWh (figur 4.19).



Figur 4.19: Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Bærum idrettspark pr. dag i kWh fra januar 2019 til desember 2020.

Ser man for eksempel på varmtvannsforbruket fra time til time for januar 2018 og 2019, kan vi se at forbruket store deler av tiden holder seg mellom 2 kWh og 6 kWh pr. time og at de fleste dagene har en kort periode med vesentlig høyere forbruk. (figur 4.20).



Figur 4.20: Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Bærum idrettspark pr. time i kWh, januar 2018 og 2019. De siste dagene i uke 5 inngår ikke i figuren da de er i februar, altså torsdag til søndag uke 5 i 2018 og fredag til søndag uke 5 i 2019. Mandag uke 1 i 2019 inngår heller ikke siden det er i desember 2018.

4.2.5 Bjørnsletta flerbrukshall

Bjørnsletta flerbrukshall er en del av Bjørnsletta barne- og ungdomsskole i Oslo. På dagtid, fra åtte til fire, blir hallen disponert av skolen til kroppsøving, mens den i helgene og etter fire i hverdagene disponeres av lokal idrett. Hallen er derfor i nær kontinuerlig bruk fra åtte om morgenen til halv elleve om kvelden hver dag. Mer informasjon om hallen er listet opp i tabell 4.8.

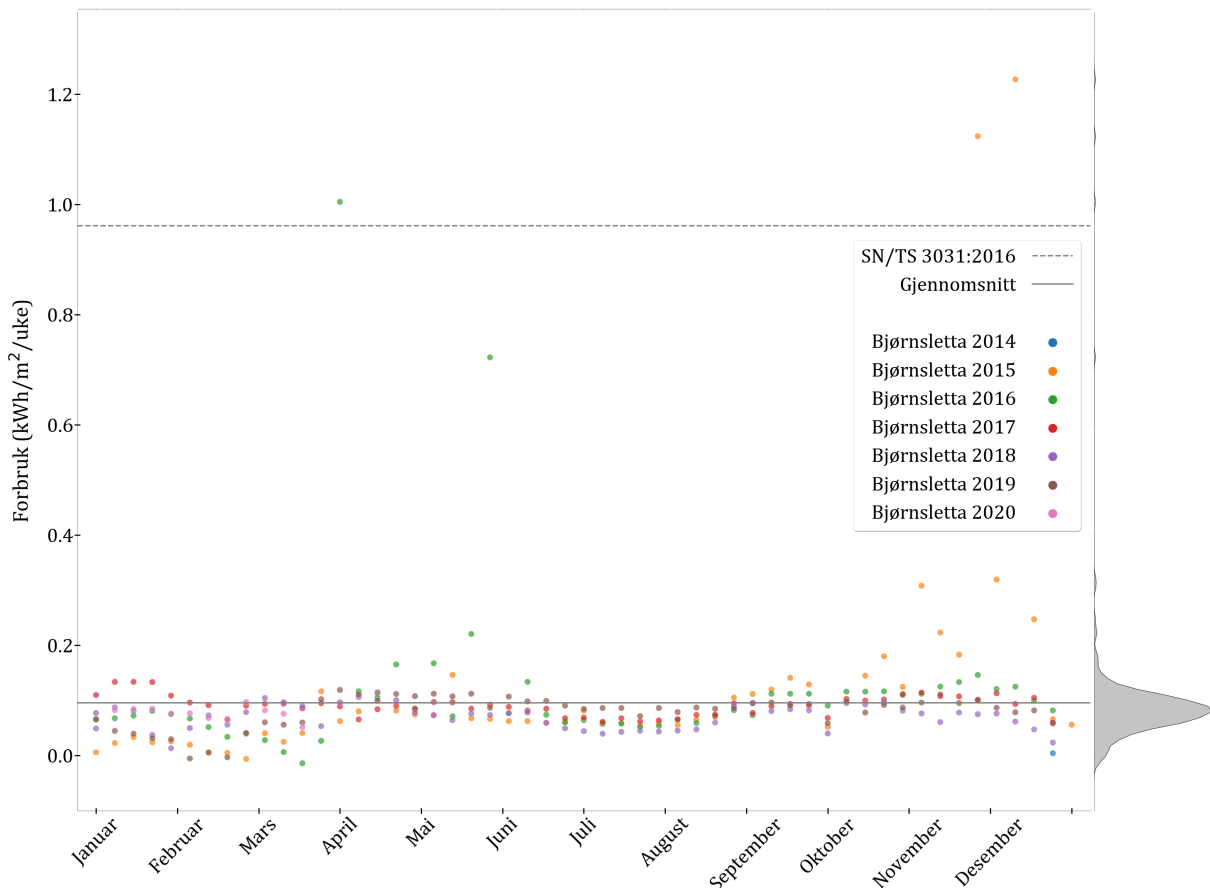


Figur 4.21: Bjørnsletta flerbrukshall. Foto: Trond Joelson, Byggindustrien

Tabell 4.8: Informasjon Bjørnsletta flerbrukshall

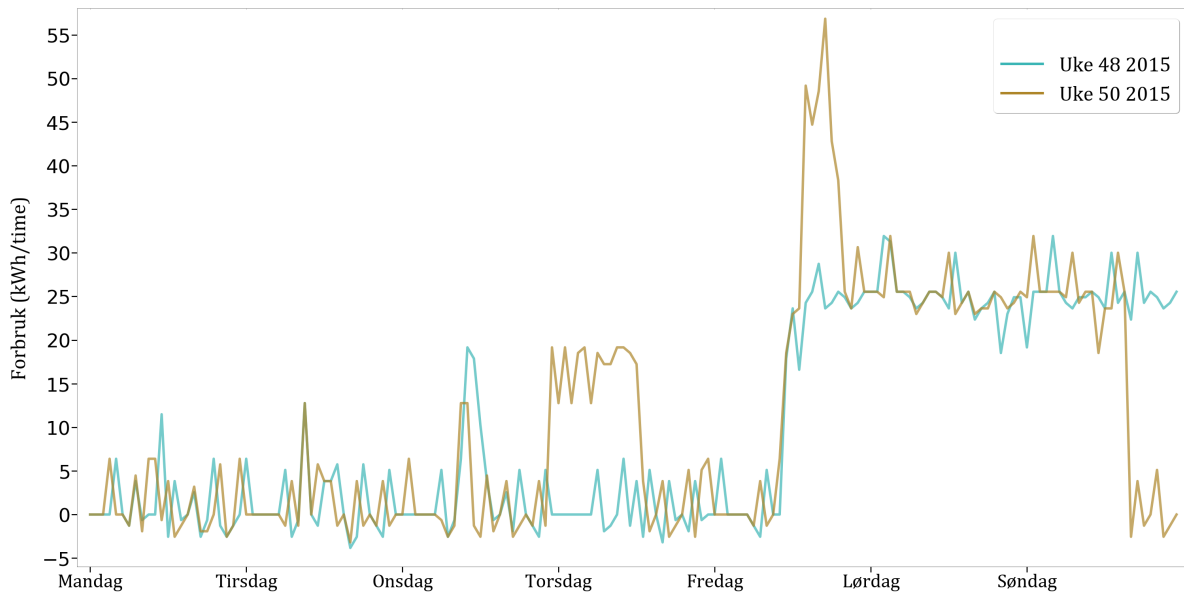
Beliggenhet	Åsjordet på Ullernåsen i bydel Ullern i Oslo
År satt i drift	2014
Type hall	Flerbrukshall
Tilknyttet	Bjørnsletta skole
Totalt bruksareal	1 325 m ²
Hallareal	494 m ²
Areal garderobes og annet	719 m ²
Gjennomsnittlig forbruk 2014 til mars 2020	5,0 kWh/m ² /år
Varmekilde	Varmepumpe og el.kjel + varmeelement i beredere
Akkumuleringsvolum	1 800 liter
Antall dusjer	38
Antall servanter	7

Målingene ved Bjørnsletta, gjort med to volummålere, logges hver time og har blitt logget siden desember 2014. Energiforbruket er videre estimert ved bruk av data fra nevnte volummålere. Det er for Bjørnsletta flerbrukshall tydelige variasjoner gjennom året med en kurve som starter året med å øke mot midten av januar, synke mot midten av februar, holde et litt lavere forbruk enn gjennomsnittet gjennom sommeren og avslutte året med et lavt forbruk i slutten av desember. Likevel er forbruket ganske jevnt over hele året, men det er noen negative verdier og noen få ekstreme verdier som skiller seg fra resten (figur 4.22).



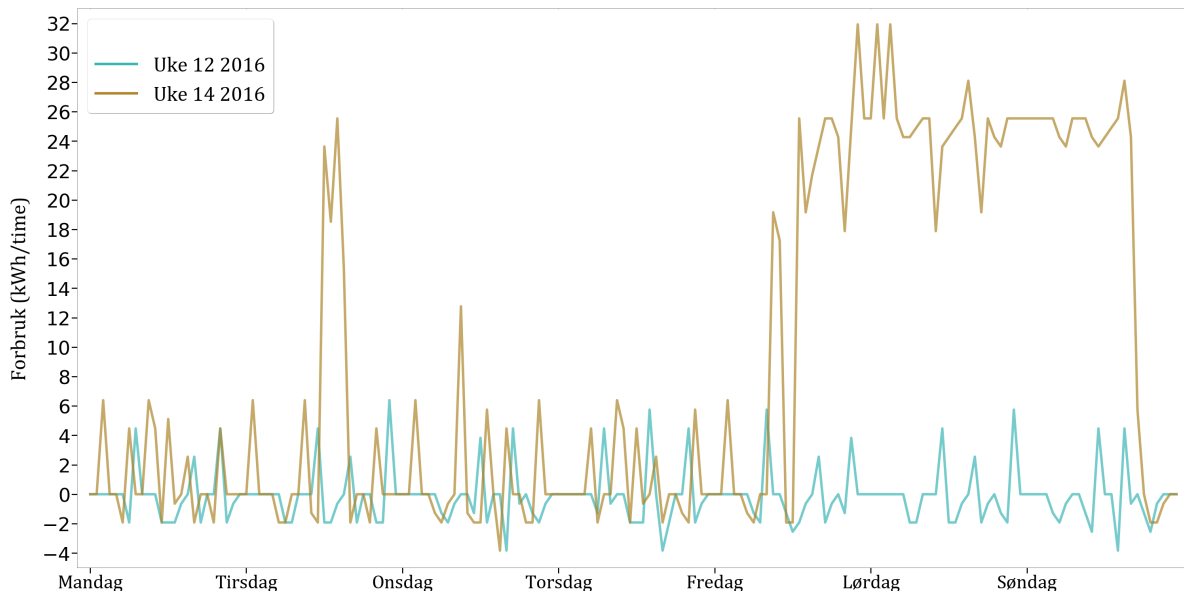
Figur 4.22: Varmtvannsförbruk i Bjørnsletta flerbrukshall pr. uke i kWh/m² fra desember 2014 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Bjørnsletta flerbrukshall i hele loggeperioden. Høyre side viser distribusjonen av alle punkt.

Uke 48 og 50 i 2015 er de to ukene med høyest forbruk og vises i figur 4.23, her kommer det frem at det har vært et vesentlig forbruk av varmtvann begge helgene og sammenlignet med mer typiske verdier for Bjørnsletta som vist i figur 4.26 er det ikke dette som er normalen. Det er òg verdt å merke seg at det ved flere anledninger viser høye målinger gjennom hele natten selv om målingene er gjort med volummålere inn og ut av teknisk rom og dermed ikke måler lading av akkumulatortanker (figur 4.23, 4.24 og 4.25).



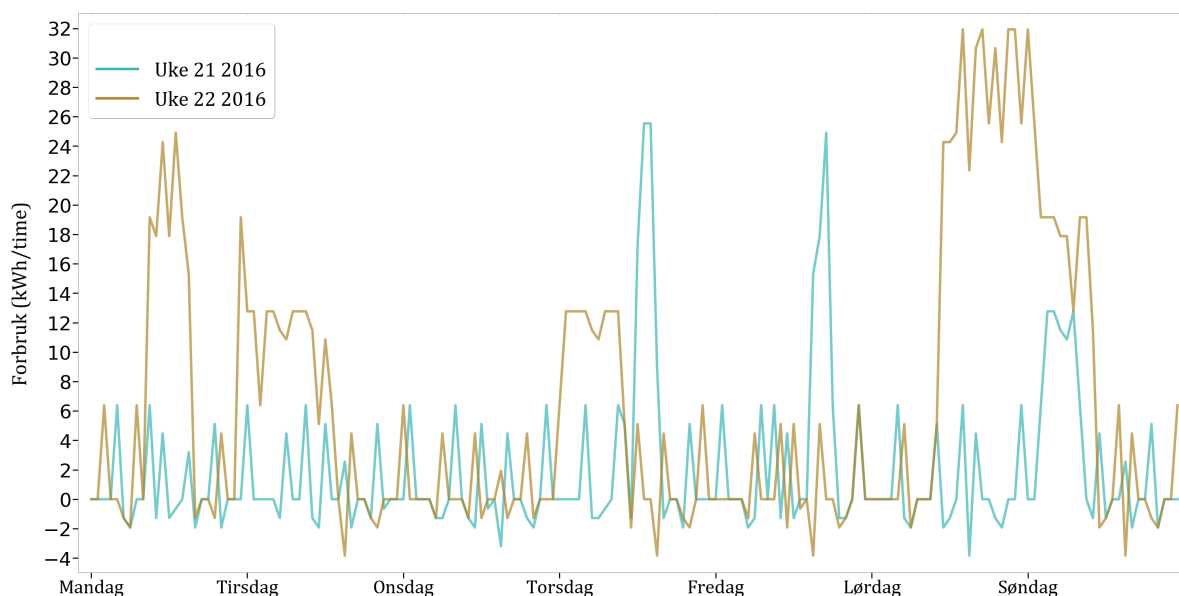
Figur 4.23: Varmtvannsforbruk i Bjørnsletta flerbrukshall pr. time i kWh, uke 48 og 50 i november og desember 2015. Uke 48 og 50 i 2015 er de to ukene med størst forbruk i flerbrukshallen og figuren viser at det var et stort forbruk gjennom hele helgen begge ukene. I figur 4.22 kan uke 50 sees øverst til høyre og uke 48 like nedenfor.

Uke 12 i mars 2016 har det laveste forbruket i løpet av hele loggeperioden, mens uke 14 i 2016 har det tredje høyeste forbruket (figur 4.22). Disse vises mer detaljert i figur 4.24 og vi kan se et ganske likt forbruk gjennom hverdagene, mens det i helgene er store forskjeller.



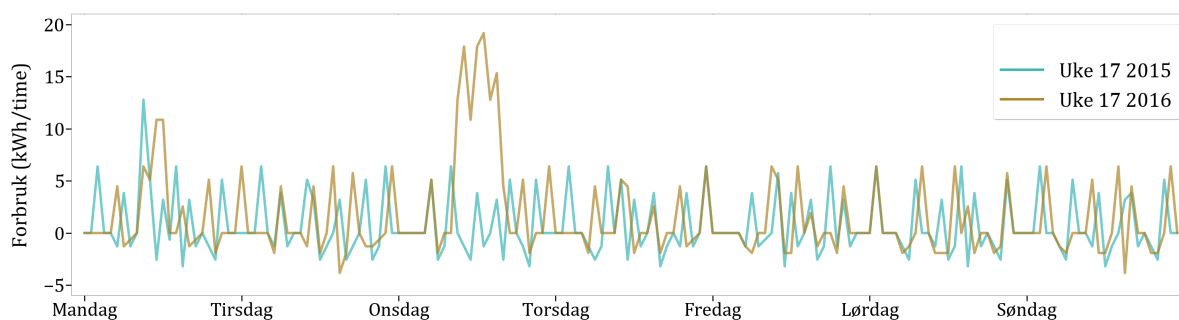
Figur 4.24: Varmtvannsforbruk i Bjørnsletta flerbrukshall pr. time i kWh, uke 12 og 14 i mars og april 2016. Uke 12 har en gjennomsnittlig verdi under null og uke 14 har den tredje høyest verdien i løpet av loggeperioden 2014 til 2020. Figuren viser at det var et stort forbruk gjennom hele helgen i uke 14.

Uke 22 i april 2016 har det fjerde høyeste forbruket i løpet av loggeperioden og kan sees sammen med uken før i figur 4.25.

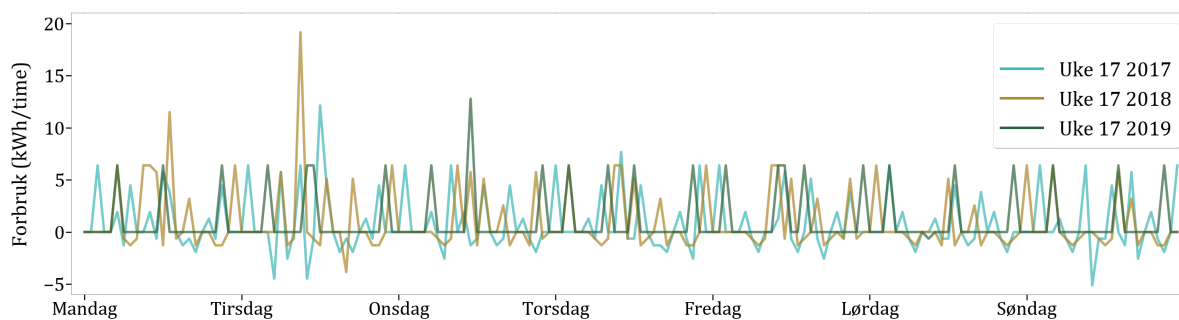


Figur 4.25: Varmtvannsforbruk i Bjørnsletta flerbrukshall pr. time i kWh, uke 21 og 22 i mai 2016. Uke 21 har et forbruk over gjennomsnittet for Bjørnsletta og uke 22 har det fjerde høyeste forbruket i loggeperioden 2014 til 2020.

Figur 4.26 viser en eksempeluke for 2014-2019 og representerer et typisk bruksmønster for Bjørnsletta. Forbruket er ganske likt hele uken for de fem årene med unntak av noen litt høyere topper.



(a) 2015 og 2016



(b) 2017, 2018 og 2019

Figur 4.26: Varmtvannsforbruk i Bjørnsletta flerbrukshall uke 17 i april 2015, 2016, 2017, 2018 og 2019

4.2.6 Heimdal videregående skole og Kolstad arena

Kolstad arena er en del av Heimdal videregående skole og deler energimåler med skolen. Flerbrukshallens bruksareal med tilhørende rom er beregnet etter tegninger til 9 022 m² og totalt areal for hele bygget er oppgitt til å være 33 000 m² (Trøndelag Fylkeskommune, 2020). Bygget ble satt i drift i 2018 og har i tillegg til en flerbrukshall også en del spesialrom for idrett. Blant annet teknikkrom hopp, spinningssal og laserrom skiskyting. Mer informasjon om bygget er listet opp i tabell 4.9.



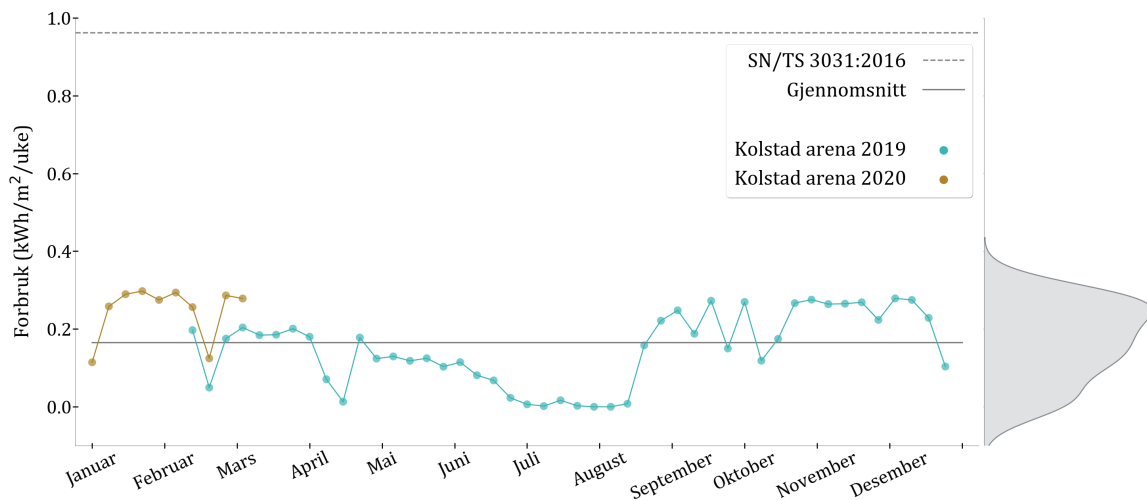
Figur 4.27: Kolstad arena. Foto: Eirik Bjørkedal Rømo

Tabell 4.9: Informasjon Kolstad arena

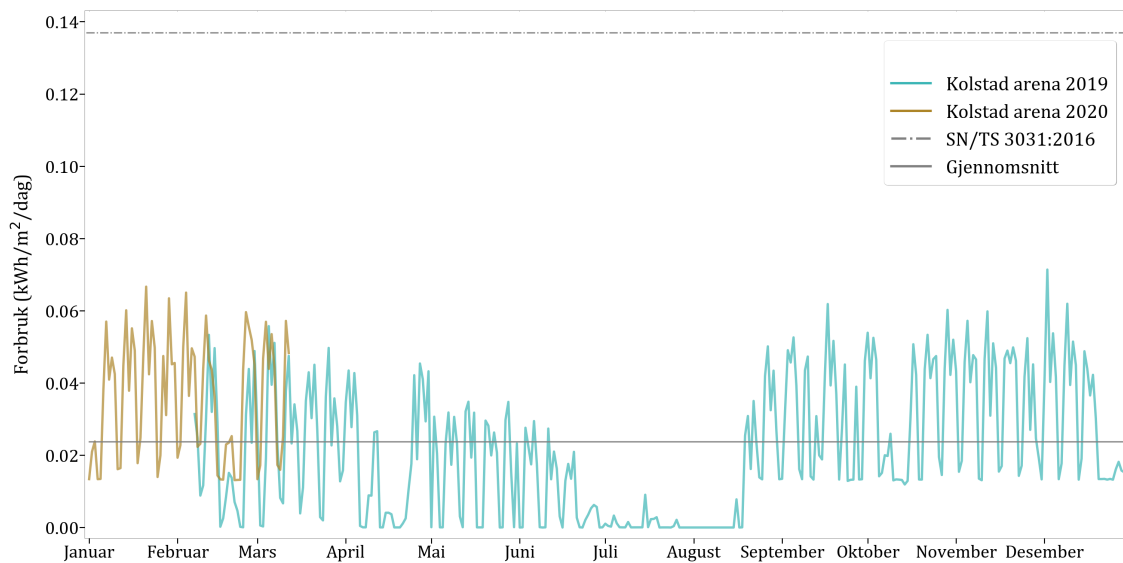
Beliggenhet	Saupstad i Trondheim kommune
År satt i drift	2018
Type hall	Flerbrukshall
Tilknyttet	Heimdal videregående skole
Totalt areal skolebygg og flerbrukshall	33 000 m ²
Bruksareal flerbrukshall	9 022 m ²
Bruksareal skolebygg	23 978 m ²
Hallareal	3 395 m ²
Gjennomsnittlig forbruk i logget periode	
Fordelt på areal i skolebygg og flerbrukshall	2,28 kWh/m ² /år
Fordelt på bruksareal flerbrukshall	8,34 kWh/m ² /år
Varmekilde	Varmepumpe og fjernvarme
Akkumuleringsvolum	5 490 liter
Antall dusjer	108
Antall servanter	59

Kolstad arena har siden logging av energibruken startet i februar 2019 hatt et gjennomsnittlig energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann på 2,28 kWh/år pr. areal for hele bygget og 8,34 kWh/år pr. bruksareal for flerbrukshallen. Tilgjengelig energidata viste ikke akkumulert energi, og det var derfor ikke mulig å beregne gjennomsnitt siden ferdigstilt bygg i 2018.

Energiforbruket til oppvarming av varmt tappevann ligger over hele loggeperioden mellom 0,0 og 0,4 kWh/m²/uke med et snitt på 0,16 kWh/m²/uke (figur 4.28). Det er tydelig store ukentlige variasjoner og endringer gjennom året med en dupp i februar, april og månedsskiftet desember-/januar og et jevnt over lavere forbruk i sommermånedene enn i vinterhalvåret (figur 4.29).



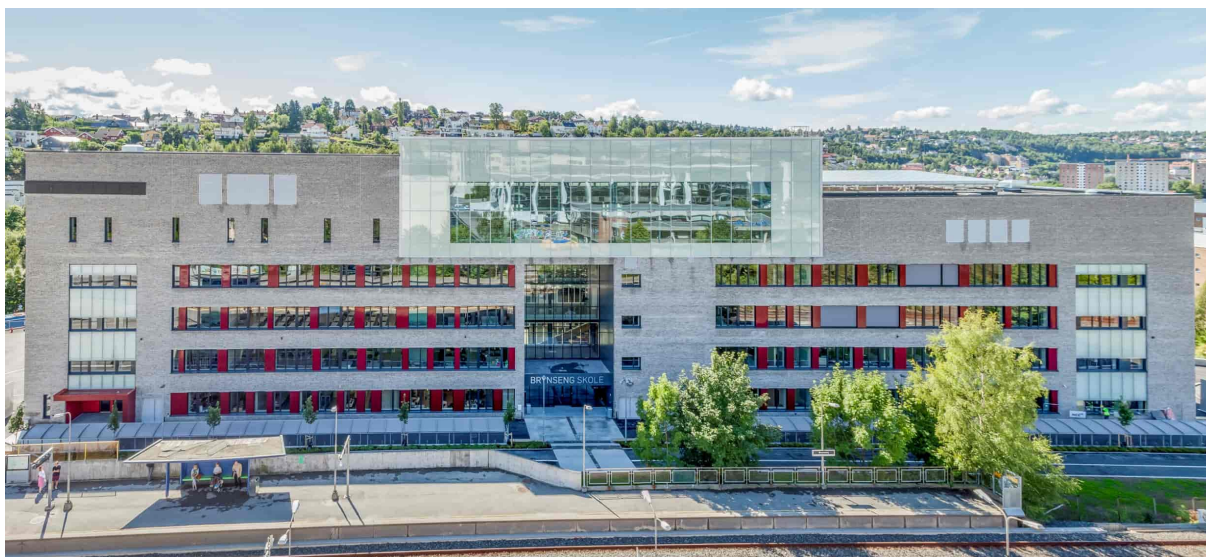
Figur 4.28: Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Kolstad arena og Heimdal videregående skole pr. uke i kWh pr. bruksareal i Kolstad arena fra februar 2019 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Kolstad arena i hele loggeperioden. Høyre side viser distribusjonen av alle punkt.



Figur 4.29: Varmtvannsförbruk i Kolstad arena pr. dag i kWh/m² fra februar 2019 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Kolstad arena i hele loggeperioden.

4.2.7 Brynseng skole og flerbrukshall

Brynseng flerbrukshall er en del av Brynseng grunnskole og kan sees som et glassbygg plassert på toppen av skolen (figur 4.30). Flerbrukshallen deler energimåler med nevnte skole og energiforbruket til oppvarming av varmt tappevann er derfor det samlede forbruket til både skole og flerbrukshall. Det totale bruksarealet er på 9 799m² og av dette er 26 % tildelt flerbrukshallen (FutureBuilt, 2019). Mer informasjon om bygget er listet opp i tabell 4.10.

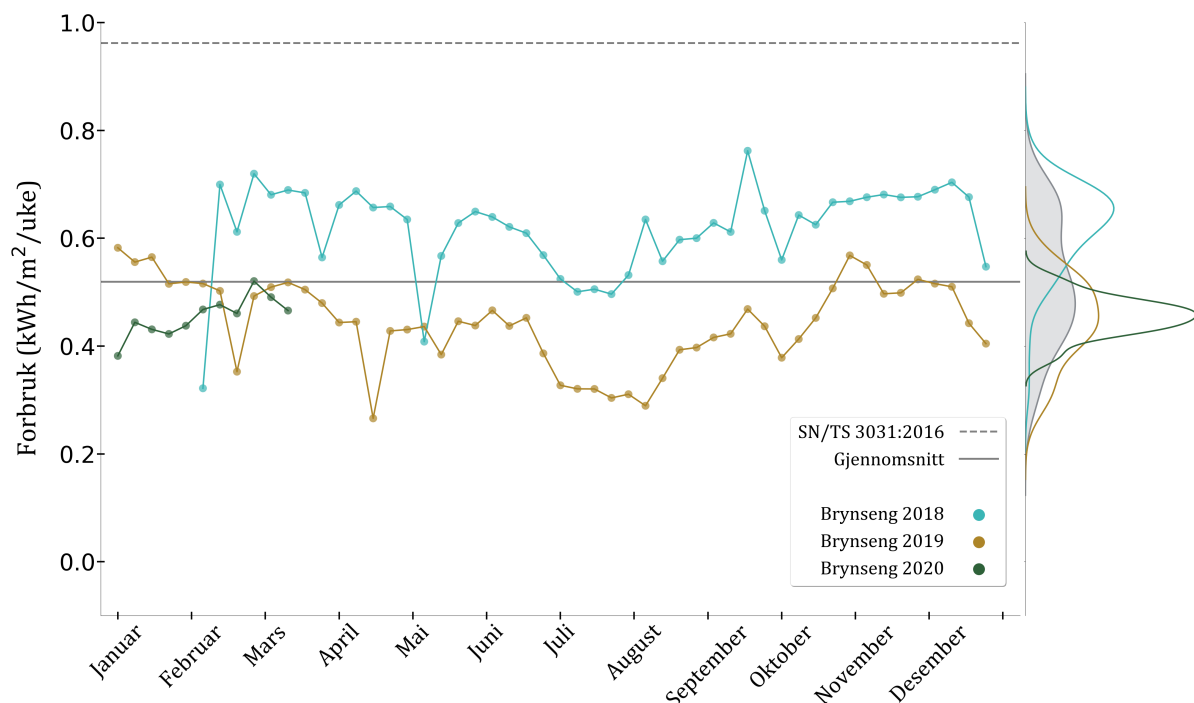


Figur 4.30: Brynseng skole og flerbrukshall. Foto: HRT Frank Ludviksen

Tabell 4.10: Informasjon Brynseng skole og flerbrukshall

Beliggenhet	Brynseng, Oslo
År satt i drift	2017
Type hall	Flerbrukshall
Tilknyttet	Brynseng barneskole
Bruksareal skolebygg og flerbrukshall	9 799 m ²
Bruksareal flerbrukshall	2 548 m ²
Bruksareal skolebygg	7 251 m ²
Gjennomsnittlig forbruk i logget periode 05.02.18 til og med 15.03.20	
Fordelt på bruksareal i skolebygg og flerbrukshall	7,59 kWh/m ² /år
Fordelt på bruksareal flerbrukshall	29,18 kWh/m ² /år
Varmekilde	Varmepumpe og elkjel
Akkumuleringsvolum	Ukjent
Antall dusjer	Ukjent
Antall servanter	Ukjent

Energiforbruket til oppvarming av varmt tappevann er presentert i figur 4.31 med forbruk for hele bygget fordelt på bruksarealet i den delen som tilhører flerbrukshallen, mens det i tabell 4.10 i tillegg er presentert forbruk fordelt på det totale bruksarealet i bygget. I figur 4.31 ser man at Brynseng har et forbruksmønster i 2018 som ligner veldig på forbruket i 2019, men som jevnt over ligger litt høyere, og med litt forskyvning på noen uker med lavere forbruk. Fra midten av mars 2019 ser vi et synkende forbruk frem til et kraftig fall i april, uke 16. Dette mønsteret finner vi igjen i 2018 fra midten av april og ut mai, en forskyvning på tre uker. I desember er forbruket raskt synkende for begge år og de har en periode på sommeren med lavt forbruk, men en vesentlig forskjell vises første uken i august, hvor det i 2018 er en periode med høyere forbruk.



Figur 4.31: Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Brynseng flerbrukshall og skole pr. uke i kWh/m² fra februar 2018 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS 3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for flerbrukshallen i hele loggeperioden. Høyreside viser distribusjonen med en linje for hvert år og én grå linje med skygge for alle år samlet. Varmtvannsforbruket for skole og flerbrukshall er her fordelt på arealet til flerbrukshallen alene.

4.3 Bildegjenkjenning

Skriptet produsert for bildegjenkjenningen ble etter noen runder med endringer godt nok til å fungere som en logger av tallverdier på en skjerm (vedlegg B.1). Det ble brukt til å lese av måleverdiene fra Åsveihallen (4.2.1) og gjorde det mulig å logge detaljert forbruk for en gitt periode. Skriptet kan med kunnskaper innen programmeringsspråket Python justeres til å logge for eksempel symboler eller farger.

Kapittel 5 | Diskusjon

Resultatene som ble presentert i forrige kapittel skal her diskuteres for å vurdere påliteligheten i dataene og hvor representative idrettsbyggene er. Hver del diskuteres individuelt, og dette i kombinasjon med konkluderende kommentarer underveis underbygger den endelige konklusjonen som kommer i neste kapittel.

5.1 Portaflow 220

Som utgangspunkt skulle denne testingen utføres for å gjøre seg kjent med virkemåten til Portaflow 220 og tilegne seg kunnskap og kompetanse nok til å utføre målinger på idrettshaller på en god og korrekt måte. Med god kjennskap til måleapparatene, vil man lettere kunne vurdere og stole på målingene som skulle gjøres.

De portable måleapparatene ble under testing raskt avslørt som for lite nøyaktige for oppgavens formål. På bakgrunn av testene som ble utført mener vi det var grunnlag for å avbryte de planlagte målingene på idrettsbygg. Det gjennomgående problemet var det store avviket i målt mengde, og i tillegg var det ofte problemer med at det ble registrert strømning, i både positiv og negativ retning, selv når det ikke var noe bruk. Dette var som oftest små mengder, men som over tid vil kunne utgjøre en forskjell.

Rørdiameteren så også ut til å ha innvirkning på nøyaktigheten til måleapparatene. For mindre dimensjoner trenger lyden flere refleksjoner mellom transduserne, og i større dimensjoner trengs det færre. Erfaringer underveis i testperioden tilsa at den anbefalte mengden refleksjoner som måleapparatet kom med for hvert tilfelle burde brukes. Dette var alltid minste mulig refleksjoner for den gitte dimensjonen og dette ga best måleresultat. Av den grunn var teorien vår at til større dimensjon på røret, til mer nøyaktige ville målingene være. Det var som nevnt tidligere planlagt å få testet dette mer grundig, ved å utføre en tilleggstest som beskrevet under kapittel 3.1.4, men utgikk.

En mulig feilkilde ved målingene er godstykkelsen på røret. For de stedene der det var relativt nye rør ble standardrør fra grossist brukt som referanse, men der det var gamle rør var det vanskelig å vite korrekt godstykkelse. Standard godstykkelse for stive kobberrør er som regel enten 1,0 eller 1,2 mm, så for de stedene det var tvil ble begge disse godstykkelsene prøvd uten at

det gjorde store utslag. En annen mulig feilkilde er fluidtemperaturen. Denne ble for alle testene utenom i garderoben på Varmeteknisk på Gløshaugen antatt som 5 °C for kaldtvann og 55 °C for varmtvann ut fra blandeventil på varmtvannsbereder. Avvik som følge av feil antatt temperatur og derfor feil massetetthet kan likevel ikke forklare avvikene fra testene.

Opgitt nøyaktighet fra produsenten av Portaflow 220 er $\pm 3\%$ for målinger på rør med indre diameter mellom 13 og 75 mm og fluidhastigheter større enn 2 m/s. Om fluidhastigheten er mindre enn 2 m/s er nøyaktigheten $\pm 6\%$. Hastigheten var for hver test større enn kravet på 2 m/s og avvikene skulle derfor være innenfor $\pm 3\%$. Videre følger individuell diskusjon for hver test. (Micronics Ltd, 2019)

5.1.1 Testing i idrettshall

Under testingen av Portaflow 220 i en liten idrettshall ble det først oppdaget måleproblemer med Portaflow 220 etter to tappinger i bøtte som viste avvik på 7 og 10 %. Kravene til avstand fra enkeltmotstander til transduserne, som beskrevet i kapittel 2.7, ble overholdt, men her med liten margin relativt til de andre testene. Det kan derfor være dette har noe å si for målenøyaktigheten i denne testen. Som nevnt i resultatene ble det målt 5 613 liter varmtvann i positiv retning og 214,74 liter i negativ retning i løpet av en måleperiode på litt under 25 timer. Dette var langt over det som kan forventes i et bygg av den typen med så få sanitærutstyr med varmtvann. Ifølge Statistisk sentralbyrå (2019) var estimert gjennomsnittlig husholdningsforbruk for både kaldt- og varmtvann pr. innbygger pr. døgn på 182 liter i 2018. Det ble altså i denne idrettshallen registrert et varmtvannsforbruk tilsvarende totalt vannforbruk for om lag 30 personer. Dette ble vurdert som lite sannsynlig for et idrettsbygg uten dusjer, og svekkende for målingenes troverdighet.

Figur 4.1 viser momentanstrømningen som ble registrert av dataloggeren underveis i forsøket, og synliggjør trolig feilen som har ført til det store forbruket. Det ble målt strømming store deler av testperioden, og av dette var det mye registrert aktivitet på natten og før åpningstid. Hallen er vanligvis åpen og i bruk av idretten fra 16.00 til 22.30. Før kl. 16 kan mulige grunner til forbruk være renhold som skjer to dager i uken, og barnehager som av og til låner hallen. Den aktuelle formiddagen var det en barnehage på besøk fra kl. 10.00 til 12.00, men det er usikkert om det ble utført renhold. Av den grunn kunne det forventes noe forbruk fra teststart (18:00) og utover kvelden til stengetid kl. 22.30, ingen forbruk på natten og på morgenen, noe forbruk mellom kl. 10 og 12, ingen forbruk frem til åpning og noe forbruk gjennom åpningstiden frem til avslutning av målingen. Apparatet ble stilt til å gi maksimalt utsignal (20 mA) ved 0,5 l/s da det ikke var forventet at dette ville overstiges. Dette var en vurdering basert på normalvannmengdene som er oppgitt i *Standard abonnementsvilkår for vann og avløp* (KS, 2017). Her er det oppgitt 0,1 l/s for varmtvann på servantbatteri, 0,2 l/s for kjøkkenbatteri og 0,2 l/s for utslagsvask. Dette blir 0,6 l/s sammenlagt, men det ble vurdert som lite sannsynlig at kjøkkenet skulle brukes, og enda mindre sannsynlig at alle utstyr skulle tappe full mengde varmtvann samtidig. Likevel ble det registrert verdier tilsvarende strømming større enn 0,5 l/s fra

måleapparatet store deler av testperioden. Vi mener sannsynligheten for dette er lav og er med på å styrke tvilen til måleresultatet. Grunnen til at maksimal strømning ikke ble stilt høyere var for å få best mulig oppløsning på målingene. Om testen skulle blitt gjort på nytt mener vi det bør bli valgt en høyere maksimal verdi for å kunne se hvor stor strømning måleapparatet faktisk målte.

Den totale målte mengden, summert av PF220, både i positiv og negativ retning, sammen med grafen som viser momentanstrømning gjennom testperioden (figur 4.1), ble vurdert som grunnlag til å konkludere med feilaktige målinger. Det ble derfor besluttet å gjennomføre flere og mer grundige tester for å finne ut hvordan måleapparatene kunne brukes for å oppnå nøyaktige målinger. Videre ble det utført både bøttetester og testing mot fastmontert vannmåler.

5.1.2 Testing mot fastmontert vannmåler

Først ble det utført et forsøk der apparat A ble plassert på vertikalt rør og apparat B på horisontalt. "Cut-off" ble satt til 0,005 m/s, noe som ut i fra måleavvikene så ut til å være for lavt. Dette ga et avvik på 10 % måleapparatene seg imellom, over 15 % mellom A og vannmåler, og rett under 5 % mellom B og vannmåler. På de fire timene forsøk 1 var i gang var det kun avviket mellom B og vannmåler som var innenfor oppgitt nøyaktighet fra produsent. Så ble det byttet plass på apparatene og "Cut-off" ble justert til 0,035 m/s. Etter to timer ble apparatene sjekket og målt mengde avlest og alle avvikene mellom apparat og vannmåler var under oppgitt nøyaktighet på 6 %. Apparat B mot vannmåler var innenfor 0,2 % avvik. Etter 66,5 timer ble målt mengde avlest på nytt og avvikene var fremdeles innenfor oppgitt nøyaktighet. Nå var òg målingene fra apparatene nesten helt like, mens avvikene mellom måleapparatene og vannmåler var rundt 5 %.

Måleresultatet i det andre forsøket i denne testen hadde lavest avvik av alle testene som ble utført. Vi mener at det er lite sannsynlig at det var posisjonsbyttet av de to apparatene som forårsaket de lavere avvikene i forsøk 2 enn forsøk 1. Derfor er det sannsynlig at det er justering av "Cut-off" som må til for å få mest riktige målinger med Portaflow 220. Utfordringen med det er å kontrollere om apparatet er korrekt innstilt med best mulig "Cut-off" om det skulle blitt brukt for å måle forbrukt varmtvannsmengde i et bygg. Ved bruk av denne testmetoden vil en mulig feilkilde være at vannmåleren til huset ikke nødvendigvis er helt korrekt.

5.1.3 Bøttetester

Bøttetestene bekreftet problemer med målenøyaktigheten til Portaflow 220. Det ble observert store variasjoner i målt mengde og det viste seg at måleapparatene i tillegg hadde problemer med nøyaktigheten ved start og stopp av strømning. For de første bøttetestene ble det ikke tappet med stopp underveis, men å treffe akkurat ti liter uten å justere mengden på slutten er vanskelig. Av den grunn er det felles for alle bøttetestene, uavhengig om de hadde stopp underveis, at en liten justering måtte til på slutten av hver fylte bøtte. Dette kan gi noe avvik, men ikke nok til å forklare avvikene observert ved testingen (tabell 4.2c og 4.3c).

Fylling med branntrommel på Byggteknisk på Gløshaugen

Første bøttetest ble utført på Byggteknisk på Gløshaugen. Her ble det brukt bøtter som ikke hadde målsetting, så for å vite at det ble tappet nøyaktig ti liter ble det brukt et litermål for så å sette et merke i bøtta med teip. Det ble her målt mengde på et 28 mm rør som forsyner en branntrommel. Røret var malt, men med et såpass tynt lag at det ble bestemt å velge 0 mm "lining thickness". Fluidtemperaturen ble antatt å være 5 °C.

I tabell 4.2 ser vi at avvikene i denne testen var veldig jevne, og vi tror den mest sannsynlige forklaringen på dette var at det ikke ble lagt inn stopp underveis i fyllingene sammen med at rørdimensjonen var stor nok til å kun bruke én refleksjon. Den lille variasjonen i avvikene kommer trolig fra varierende justering på slutten av hver fylling for å treffe tiltersmerket i bøtta. I tillegg var det antageligvis små forskjeller i faktisk tappet mengde fordi det var vanskelig å treffe helt likt på tiltersmerket hver gang.

Fylling i garderobe på Varmeteknisk på Gløshaugen

I garderoben på Varmeteknisk var tilførselrørene lett tilgjengelige over himling, og siden rørene kun gikk til denne garderoben hadde man under hele testen full kontroll på om det skjedde tapping utenom til forsøkene. Dusjen ble brukt for fylling av bøtten, og for å sikre at ikke blande-batteriet kunne slippe gjennom varmtvann i tillegg til kaldtvann, ble forstillingskranen på den varme siden stengt. Her ble vanntemperaturen målt med termometer for å finne denne nøyaktig riktig og i tillegg kunne utelukke én feilkilde.

Først ble apparat PF220A testet. Dette var første testen der det ble lagt inn stopp med vilje underveis i noen av fyllingene, og det viste seg at dette gjorde store utslag. Avvikene for de fyllingene der det var ni og ti stopp underveis var helt tydelig mye større enn de uten stopp. Selv inkludert de fyllingene uten stopp var minste avvik på 8,3 % som er godt over oppgitt nøyaktighet. Typisk bruk av sanitærutstyr inkluderer mange start og stopp og vil derfor gi store avvik ved måling av varmt tappevann.

Apparat PF220B stoppet aldri å vise strømning selv om det ikke ble tappet vann og det egentlig skulle vise null. Det ble prøvd flere tiltak for å ordne dette, men uten forbedring. Ettersom apparatet aldri kom ned til null strømning, var det ikke mulig å si når tappingen var ferdig målt, og testingen ble avsluttet.

At apparatene ikke håndterer start og stopp, og i tillegg viser strømning når det ikke tappes, bekrefter vår teori om at disse apparatene ikke er egnet til å brukes på sanitæranlegg eller andre rør med tilsvarende strømningsmønster.

5.1.4 Måling og tilleggstesting

Målingen av varmtvannsforbruk på manuelt vis utgikk på bakgrunn av at strømningsmålerne ikke var nøyaktige nok til å måle tappevannsforbruk. Med de målenøyaktighetene og krav oppgitt av produsenten, kan det forventes at PF220 skal kunne måle tappevann.

Som beskrevet under resultatet ble heller ikke den planlagte tilleggstesting av måleapparatene for å finne til hvilket bruk de kunne egne seg utført. Testene var tenkt utført på forskjellige rørdimensjoner og steder rundt om på Gløshaugen og ved kan hjelp av testprotokollen vi utviklet finne egnede bruksområder. Dette kan utføres senere av studenter eller de som eventuelt vil bruke apparatene. Uten å ha testet apparatene ytterligere er det vanskelig å si sikkert hvilke rørtyper de kan brukes til, men det kan tenkes at for eksempel rør i et varmeanlegg, som ofte har stabil strømning, vil gi mer nøyaktige målinger.

5.2 Idrettsbyggene

Ettersom energidataene i denne rapporten kommer fra forskjellige type målere og noen idrettsbygg er målt over mange år, mens andre er helt nye, vil det være variasjoner i kvaliteten i energidataene. Denne variasjonen vil komme frem i dette kapittelet og diskuteres for hver hall individuelt.

Resultatene viser at forbruket varierer med sesongen, med lavere forbruk på sommeren enn ellers. Idrettshallene med målinger som ikke går over nøyaktig hele år, som Brynseng og Åsveihallen, vil dermed kunne få en forskyvning i årsgjennomsnittlig verdi. For Brynseng er måleperioden like over to år og lite påvirket av dette, mens for Åsveihallen er måleperioden fra slutten av januar til starten av mars og gjennomsnittet er derfor mest sannsynlig noe høyere enn for et helt år (figur 4.6). Dette støttes av at gjennomsnittlig forbruk siden bygget ble satt i drift er noe lavere enn for perioden med logg.

Idrettsbyggene i rapporten er relativt nye og kan ha hatt et større fokus på energibesparelse enn et gjennomsnittlig idrettsbygg i Norge i dag. Det kan derfor være det er gjort energibesparende tiltak på varmtvannet. Dette kan være tiltak som dusjhoder med mindre volumstrøm enn vanlig, bedre isolerte rør og komponenter og varmegjenvinning av gråvann. Det er så vidt vi vet ikke varmegjenvinning av gråvann i noen av byggene i oppgaven, men sparedusj og bedre isolerte rør og komponenter kan absolutt senke gjennomsnittlige verdier i dette utvalget. En annen faktor som betyr mye for energibruk til oppvarming av varmt tappevann er bruksmønsteret. Nye garderobeskap kan kanskje for mange virke mer innbydende og kanskje få flere til å dusje i nyere idrettsbygg. Vi tror derfor ikke verdien av dataene svekkes vesentlig av at utvalget består av relativt nye bygg.

Legionellaspyling er noe som kan tenkes å være en stor bidragsyter til varmtvannsforbruk i idrettsbygg. Noen bygg bruker det, mens andre bruker nye, mer moderne metoder for å bekjempe legionella. Dette er felles både for vårt utvalg og idrettsbygg ellers i landet, og vi mener derfor representativiteten i utvalget vårt ikke svekkes.

Åsveihallen er det eneste idrettsbygget med datalogging hyppigere enn én time, men har like under to uker med data. I løpet av måleperioden ble det ved Åsveihallen målt en største gjennomsnittlig effekt over to minutter på 90 kW, dette tilsvarer rundt seks vannsparende dusjer. På grunn av den korte måleperioden er det grunn til å anta at resultatene ville hatt større ekstremverdier om måleperioden var lengre. Til tross for dette kan vi se en tydelig tendens ved Åsveihallen, med store forskjeller i maksimal effekt over de forskjellige tidsintervallene (figur 4.3b). Om vi sammenligner de andre hallene med Åsveihallen, ser vi eksempelvis Bærum idrettspark har rundt fire ganger så høyt forbruk over én og to timer. Antar vi forbruket i løpet av de andre tidsintervallene følger samme forhold betyr dette for Bærum idrettspark 360 kW over en periode på to minutter, og 140 kW over en periode på ti minutter (figur 4.3b). Som nevnt er dette basert på et tynt grunnlag, men det er nok til å vise en tendens.

For resultatene for korte perioder er det ganske lite data. Årvollhallen har bare noen få dager i mars med energidata som kan se ut til å måle momentanforbruk (figur 4.12). Bærum idrettspark har timeverdier fra to måneder. Brynseng flerbrukshall har en lang periode med målinger, men deler energimåler med Brynseng skole. Selv om vi ikke anser kvaliteten av alle dataene i rapporten å være like høy, som diskuteres videre i dette kapittelet, mener vi summen av alle resultatene viser en tydelig trend og er representative nok til å besvare den opprinnelige problemstillingen.

5.2.1 Åsveihallen

Målingene for Åsveihallen er alle gjort over en kort periode og gir derfor ikke et like godt bilde av det årlige forbruket sammenlignet med de andre byggene i oppgaven. Men variasjonene i de andre idrettsbyggene fra måned til måned har vært relativt liten sammenlignet med avviket fra normativ verdi på 50 kWh/m²/år, og ettersom det var normal drift ved Åsveihallen i måleperioden virker det sannsynlig at gjennomsnittet på 16 kWh/m²/år over perioden ikke er langt fra det reelle årsgjennomsnittet. Dette styrkes òg av gjennomsnittet siden oppstart på 12 kWh/m²/år (tabell 4.4). At gjennomsnittet i måleperioden 27.01.2020 til 11.03.2020 er høyere enn gjennomsnittet siden oppstart i 2015 kan skyldes at måleperioden ikke får med seg sommermånedene, som normalt sett har et lavere forbruk. Det er òg ikke uvanlig at det tar litt tid fra bygget er i drift til timeplanen er fylt opp på kveldstid, som gir et litt lavere forbruk første året.

Ved Åsveihallen ble det logget forbruk med et tidsintervall på to minutter, og det er derfor mulig å se på akkumulerings- og effektbehov i måleperioden. Disse dataene har en begrenset verdi alene, da de bare gjelder én hall og over en relativt kort periode, men de gir likevel en tydelig

indikasjon. Disse dataene viser at det kan være et stort forbruk i korte perioder, og at med noe akkumulering kan maksimal effekt levert fra varmekilden reduseres drastisk (figur 4.7). Dette har mye å si for investeringskostnadene ved bruk av varmepumpe som varmekilde og ikke minst driftskostnader. Kommer varmen fra fjernvarme vil òg største effekt levert fra varmeveksleren ha mye å si for de månedlige fjernvarmekostnadene (figur 2.1a).

I figur 4.7 kan man velge hvor lenge man vil akkumulere for og se hvor stor varmemengde som måtte vært akkumulert og hvor høy effekt varmekilden måtte kunne levert for å etterspørre forbruket i Åsveihallen i perioden med hyppig logging. Velger du å akkumulere for 30 minutter må det være tilgjengelig 9 kWh varme over 55 °C og varmekilden må kunne levere 18 kW.

5.2.2 Heimdalshallen

Måleperioden for Heimdalshallen er 50 uker lang og beskriver derfor godt et års forbruk. Forbruket i løpet av måleperioden er for Heimdalshallen ganske likt de andre idrettsbyggene, mens det siden satt i drift er vesentlig høyere (figur 4.9). Grunnen til den store forskjellen i disse to gjennomsnittlige verdiene er vanskelig å si sikkert, men mulige grunner kan være at forbruket i måleperioden er vesentlig lavere enn foregående år grunnet endret bruksmønster, rutine for legionellaspyling eller endrede vaskerutiner. Eller det kan ha vært store lekkasjer mellom offisiell åpning og første loggede måling. Dersom energimåleren startet måling ved offisiell åpning, har forbruket før logget periode vært fem ganger høyere enn under måleperioden, dette virker usannsynlig ettersom bruksmønster, vaskerutiner og legionellaspylingsrutiner, i følge driftsansvarlig ved Heimdalshallen Sverre Sund (personlig telefonsamtale, 30. april 2020), stort sett har vært de samme siden åpning og det ikke har vært noen lekkasjer av betydning. Det kan òg tenkes at energimåleren målte før offisiell åpning og viste et akkumulert forbruk tilsvarende flere års forbruk ved åpning. En annen mulig forklaring kan være feil målinger over en periode på grunn av at en temperaturføler er feilplassert eller bare ikke enda var plassert under oppstartsfasen. Dersom forbruket under logget periode er representativt, og foregående år vanligvis har hatt det samme forbruket, måtte eventuelle lekkasjer eller måling før åpning utgjøre en forskjell på omkring 625 MWh.

Vi har ikke funnet noen bevis for hvorfor energiforbruket beregnet før 01.04.2019 skulle være feil, men vi har sjekket de rimelige feilkildene uten å finne noen god forklaring, og mener det er sannsynlig at snittet fra offisiell åpning er feil basert på det siste året og at dette muligens kan skyldes feilmålinger under oppstartsfasen. I og med at det for måleperioden er tilgjengelige verdier helt ned i hver time, og disse ser fornuftige ut, virker disse dataene mer pålitelige enn gjennomsnittet for de første fem årene.

5.2.3 Årvoll flerbrukshall

I figur 4.12 observeres først det jevne forbruket fra slutten av mars til slutten av mai med et forbruk vekslende mellom én og to kilowatt, dette kan se ut til å være hovedsaklig varmetap fra

rør og komponenter til omgivelsene, med et lite forbruk av varmt tappevann. Deretter kommer en periode gjennom hele juni og juli og deler av mai og august hvor forbruket til forskjell fra alle andre målinger viser desimaler og nøyaktig samme verdi, men verdien ser ut til være omtrent det samme som gjennomsnittet av ukene før og etter (figur 4.13a). Det er derfor rimelig å anta at det ikke er registrert målinger gjennom denne perioden og at det er beregnet et snitt for hver time når første nye registrering kom i august (figur 4.12). Fra midten av august er det igjen et forbruk vekslende mellom én og to kilowatt frem til februar 2020, før det raskt går til null og bare viser forbruk tre dager i løpet av en periode på atten dager (figur 4.12 og 4.14). Etter et lavt energiforbruk i midten av februar stiger forbruket raskt inn i mars måned frem til den tolvte, når skoler og idrettsbygg stenges for bruk (figur 4.15).

En teori kan være at det i periodene med konstant forbruk ikke har vært forbruk av varmtvann og at verdiene i disse periodene gjenspeiler varmetapet fra varmt tappevann til konstruksjonen. Men dette forklarer ikke hvorfor det bare i disse periodene logges verdier med desimaler, 14 desimaler like til siste desimal. Det gir heller ikke mening at varmetapet skal være så stort, når energiforbruket gjennomsnittlig er lavere ved Årvollhallen. Selv om loggingen fra disse periodene sannsynligvis ikke gir riktig verdi for hver time, dag eller uke er gjennomsnittet omtrent det samme som ukene før og etter og vi tror derfor det er sannsynlig at energimåleren har fungert som vanlig og at gjennomsnittet for de periodene derfor er riktige.

Det er vanskelig å si hvorfor forbruket synker mot null i starten av februar og ikke stiger igjen før på slutten av måneden (figur 4.14 og 4.15). Ved vedlikehold ville vi forventet en brå stans i forbruket ettersom det da gjerne stoppes både sirkulasjonspumper og varmekilder, og ettersom energimåleren måler energien over varmeveksleren mot fjernvarmen vet vi at det har blitt tilført varme til beredersystemet når det måles energi. En mulighet er en kombinasjon av vedlikehold og mindre bruk, selv om timeplanen til flerbrukshallen etter 16:00 stod som normalt i uke 8, var det vinterferie og naturlig for driftsansvarlig å legge vedlikehold til denne uken (*Timeplan Årvollhallen*, u.å.; Oslo kommune, 2020). Bruksmønsteret vil da kunne forklare det synkende forbruket dagene før varmekilden kobles ut og vannet i akkumulatortankene over en periode på rundt to uker kjøles ned av omgivelsene og varmes opp igjen i slutten av uke 9. Men det forklarer ikke hvorfor energiforbruket har et helt annet mønster i uke 10 enn tidligere eller hvorfor forbruket er synkende fra september 2019 (figur 4.12 og 4.15). Om vi ser på forbruksmønsteret før februar, er det så stabilt mellom null og to kWh pr. time at det kan se ut som det ved forbruk av varmt tappevann kom kaldtvann inn i beredersystemet via akkumulatortankene og ble blandet med varmtvannet der før det ble varmet opp i varmeveksleren (figur 4.13b). Om vedlikeholdet i februar bestod av å endre systemet slik at det fører kaldtvannet inn i varmeveksleren før akkumulatortankene, kan dette forklare hvorfor kurven får så mye større svingninger, men ikke når på døgnet det er høye forbruk. Det har ikke lyktes å få svar på om det ble gjort endringer ved Årvollhallen i februar og dette står derfor fortsatt som en teori, men vi anser det å være det mest sannsynlige tilfellet og at det er riktig å ta med verdiene for hele måleperioden.

5.2.4 Bærum idrettspark

Bærum idrettspark har med sine 16 000 m² et vesentlig større areal enn de fleste andre idrettsbygg, inkludert de andre i denne rapporten. Dette idrettsbygget har òg det laveste energiforbruket til oppvarming av varmt tappevann pr. kvadratmeter med 1,81 kWh/m²/år fra 2013 til 2019 og 1,85 kWh/m²/år i måleperioden 2018 til og med 2019 (figur 4.2). Med energidata for hver dag i 2018 og 2019 og hver time i januar for nevnte år er det mulig å se hvordan forbruket varierer fra time til time og dag til dag for å vurdere sannsynligheten for gode målinger (figur 4.20).

Ser vi på ukeverdiene i måleperioden har begge årene en kurve som ligner de vi finner i de andre idrettsbyggene, med lavere forbruk i feriene (figur 4.18). Det er en tydelig nedgang i forbruket i februar, uke 8 og i september, uke 40, dette kommer mest sannsynlig av skoleferie i Bærum kommune da disse ukene faller på henholdsvis vinterferie og høstferie (Bærum kommune, 2018). I juli 2019, uke 27 er forbruket vesentlig større enn ellers i sommerhalvåret, og det er bare én uke i løpet av 2018 og 2019 med høyere forbruk (figur 4.18). Det har ikke lyktes å finne hvorfor forbruket var høyere denne uken, men anser et arrangement, vedlikehold eller vask som sannsynlig og ser ingen grunn til å utelukke denne.

Gjennomsnittlig forbruk siden oppstart er bare 2 % lavere enn gjennomsnittlig forbruk i 2018 og 2019, dette tyder på et stabilt forbruk og gode resultat fra bygget. Vi anser et forbruk mellom 1,81 kWh/m²/år og 1,85 kWh/m²/år som et svært sannsynlig energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann for Bærum idrettspark.

5.2.5 Bjørnsletta flerbrukshall

Ettersom målingene ved Bjørnsletta er gjort med to volummålere og energiforbruket er beregnet etter differansen mellom disse og ikke minst at det er antatt konstante temperaturer, er usikkerheten i verdiene for Bjørnsletta store. Til tross for dette viser resultatene et forbruk som ligner svært mye på forbruket vi ser i de andre idrettsbyggene i rapporten (figur 4.22). Men en tendens vi ikke finner i de andre byggene, er negative verdier. De negative verdiene kommer når vannmåleren plassert på sirkulasjonsledningen (plassering 4b i figur 2.2) måler større gjennomstrømning enn vannmåleren på varmtvannsledningen (plassering 4a i figur 2.2). Dette er ikke mulig ettersom berederanlegget ikke tilføres vann andre steder enn i teknisk rom. Så når det fire uker blir målt gjennomsnittlig forbruk under null, vet vi at avvikene i sum har vært størst mot lavt forbruk for disse ukene. Uke 12 i 2016 er én av ukene som totalt ender opp med et negativt forbruk, vi vet at forbruket aldri var under null og at gjennomsnittet denne uken derfor er for lavt, men det kan være det to uker senere ble målt mer enn det skulle (figur 4.24).

Alt vi vet er at forbruket har blitt målt for lavt til tider, men om dette jevnes ut av perioder hvor det har blitt målt for mye er fortsatt ukjent. Det kan argumenteres for at vannmålerne vil ha hvert sitt stabile avvik, og at disse to kombinert gir et negativt avvik, siden det over fire perioder på én uke hver er målt verdier som vi vet er for lave. Men om vi ser nøyer på periodene med høye

forbruk, ser vi at det er høyt forbruk også på natten. Siden dette er målinger av rent tappevolum og ikke oppvarming av akkumulatortanker og et så stort forbruk jevnt gjennom hele helgen virker lite sannsynlig, er det grunn til å tro at det her er målt mye større forbruk enn egentlig tappet (figur 4.24).

For Bjørnsletta mangler varmetapet fra varmt tappevann til bygget i beregningene, siden det bare blir målt volum tappet. Dette ble for en lignende flerbrukshall nøye beregnet til å være i området $6,8 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$ ved å se på energiforbruk på natten og etter 12. mars 2020 (da bygget ble stengt). Vi vil anta det ikke er veldig store forskjeller i varmetap pr. bruksareal mellom disse to byggene, og vi mener denne beregningen gir det beste estimatet vi kan gi for varmetap ved Bjørnsletta. Dette løfter gjennomsnittlig energibruk til oppvarming av varmt tappevann fra $5,0 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$ til $11,8 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$. Det er mer enn en dobling av totalt energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann, og en stor antagelse. En eventuell forskjell i varmetap mellom de to byggene mener vi hovedsakelig bør komme av isolasjonstykkelse og overflateareal på rør og komponenter, ettersom beregningen er pr. areal. Likevel viser dette at når man måler volum tappet er det viktig å ta høyde for varmetap, ettersom dette kan utgjøre en stor del av energiforbruket.

Selv om usikkerheten rundt estimatene kan være stor, er resultatene relativt til SN/TS 3031:2016 veldig lave og vi mener dette forsterker inntrykket av at $50 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$ er en for høy normativ verdi. Resultatene viser samme tendens som de andre idrettsbyggene i rapporten, noe som vi òg mener forsterker endelig verdi for ny, anbefalt normativ verdi.

5.2.6 Heimdal videregående skole og Kolstad arena

Ved Heimdal videregående skole og Kolstad arena er det et forbruk som varierer gjennom hele måleperioden, med tydelige perioder med lavere forbruk (figur 4.29). Disse periodene faller på samme tid som feriene i Trondheim, først vinterferien i februar, deretter påskeferien i april, så sommerferien fra slutten av juni til midten av august, høstferie i begynnelsen av oktober og til slutt juleferie i årsskiftet 2019/2020 (figur 4.28) (Trondheim kommune, 2020). Forbruket ved Kolstad arena er som ved de andre idrettsbyggene i rapporten høyere i vinterhalvåret enn sommerhalvåret.

Fordi dataene samlet inn for Kolstad arena inkluderer energien til oppvarming av varmt tappevann for Heimdal videregående skole, blir energiforbruket her en maksimalverdi ettersom vi vet noe av energien tilhører skolen. Normativ verdi for energiforbruket til oppvarming av varmt tappevann i skolebygg er i følge SN-NSPEK 3031:2020 halvparten av det i idrettsbygg og arealet vi har definert som skoleareal er mer enn dobbelt så stort som det vi har definert som areal tilhørende flerbrukshallen. Derfor forventer vi at halvparten eller mer av totalt energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann å tilhøre skolen og faktisk forbruk til flerbrukshallen reduseres til rundt $4 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$.

Selv med energiforbruket til hele skolen ligger Kolstad arena på under en femtedel av normativ

verdi angitt i SN/TS 3031:2016 og vi mener dette styrker teorien om at dagens normative verdi er for høy.

5.2.7 Brynseng skole og flerbrukshall

Ved Brynseng skole og flerbrukshall er det et energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann som varierer gjennom hele året, men òg mellom 2018 og 2019 (figur 4.31). Det har ikke vært mulig å finne fullstendig skolerute for 2018, men i 2019 ser vi uker med lavt forbruk stemmer med skoleferiene, først i februar, uke 8 som er vinterferie i Oslo hvert år, så kom påskeferien i april, uke 16, sommerferien fra juni, uke 26 til og med august uke 33, høstferie i oktober, uke 40, og til slutt juleferie i uke 52, 2019 og første del av uke 1 i 2020. Den første målte uken, uke 6 i 2018, har en lav verdi uten at vi har funnet en forklaring på det. Energimåleren starter målinger i midten av uke 5, men målingene er frem til helgen uke 6 vesentlig lavere enn resten av året.

Forbruket ved Brynseng har i 2018 og 2019 veldig lik form, men det er for 2018 rundt 40 % høyere, og forbruket i 2020 er i måleperioden enda lavere enn 2019 igjen (figur 4.31). Typetallet for 2018 ligger like over 0,6 kWh/m²/uke, mens typetallet for 2019 ligger like over 0,4 kWh/m²/uke (figur 4.31). Etersom skoleåret starter og slutter på sommeren og forbruket ser ut til å endres i perioden desember til februar, er endret bruksmønster grunnet elevbytte utelukket og vi har ikke klart å finne noen annen grunn til endringen i forbruket. Til tross for dette anser vi dataene å være gode og mener det er rett å ta med alle årene.

Ved Brynseng er det et forbruk pr. bruksareal idrettsbygg høyere enn de andre idrettsbyggene i rapporten, men fortsatt godt under normativ verdi gitt av SN/TS 3031:2016 (figur 4.31). Dette til tross for at flerbrukshallens bruksareal bare er rundt en fjerdedel av byggets totale areal.

Om vi tar utgangspunkt i normative verdier fastsatt i SN-NSPEK 3031:2020 og arealene og forbruket oppgitt i tabell 4.10 kan vi estimere hvor mye av forbruket som tilhører idrettsbygget og hvor mye som tilhører skolebygget med formel C.3. I følge de normative verdiene er forbruket til skolebygg halvparten av forbruket til idrettsbygg og dette gir at skolens forbruk står for omtrent 4,46 kWh/m²/år og idrettsbygget 3,13 kWh/m²/år av den totale 7,59 kWh/m²/år (Standard Norge, 2020). Dette igjen resulterer i et forbruk på 12 kWh/m²/år i idrettsbygget fordelt på idrettsbyggets bruksareal.

5.3 Bildegjenkjenning

Bildegjenkjenning av verdiene på en energimåler bør ikke være nødvendig. Dersom noen skulle fortsette på dette prosjektet, hadde det vært enklere om Sentral drift i Trondheim kunne rettet opp feilen slik at loggføring av data kan gå som normalt. Alternativt kan det undersøkes om det finnes en logger som kan kobles direkte på energimåleren. Selv om det var en tungvindt måte å

innhente data på, ga arbeidet med bildegjenkjenning et godt læringsutbytte i programmering og en detaljert nok logging til å kunne se på effektbehov.

Programmering i Jupyter Lab

Bildegjenkjenningsprogrammet brukte omtrent tre sekunder pr. bilde og koordinatene i programmet måtte endres flere ganger for å lese av riktig verdi. Det finnes mange måter å løse denne programmeringen på. Dersom noen vil gjøre det samme, men vil ha et raskere program eller slippe å gjøre endringer underveis, kan man heller prøve å integrere ferdige kodepakker i koden for å lese av verdiene. Da kan man blant annet ta i bruk maskinlæring. En pakke som ble forsøkt integrert er skriptet fra Rosebrock (2017), denne klarte eksempelbildet som ble brukt i forklaringen, men taklet ikke de utfordrende farge- og lysforholdene i bildene fra Åsveihallen (figur 3.5 og 3.6).

Kapittel 6 | Konklusjon

Målet med oppgaven var å svare på problemstillingen: ”Er normativ verdi for energiforbruk til varmt tappevann i idrettsbygg, som angitt i NS 3031:2014 og SN/TS 3031:2016, for høy? Om så, hva er da en mer passende normativ verdi?”. Dette var planlagt løst ved å måle forbruk av varmt tappevann med egne portable måleapparat. Underveis fant vi at apparatene ikke var egnet til dette og endret metode for å løse problemstillingen til å være innhenting av energidata fra idrettsbygg med fastmonterte målere.

Arbeidet som gikk med til undersøkning og testing av Portaflow 220, og senere analysering og diskutering av testresultater, ble en mye større del av oppgaven enn på forhånd antatt. Den praktiske delen av oppgaven som i utgangspunktet skulle bestå av målinger i idrettsbygg ble heller erstattet av mer teoretisk arbeid og testing av metoden. Observasjoner underveis og resultatene fra testingen av PF220 synliggjør flere store problemer ved måling av tappevann.

Blant annet var det et gjengående problem at måleapparatene registrerte strømming når det med sikkerhet ikke var bruk. Dette gjorde at de allerede usikre målingene ble enda mer avvikende. Det kan se ut til at dette hovedsaklig er et problem når det skal måles på mindre rørdimensjoner. De mindre rørene med ytre diameter på 15 eller 18 mm viste disse tendensene, men testen på et 28 mm rør viste mindre og jevnere avvik. Konklusjonen etter testene og resultatene disse ga, er at Portaflow 220 eger seg dårlig til måling av strømming i tappevannsrør. Det er mest trolig alt for varierende strømming i slike til at det blir nøyaktige målinger.

Når det gjelder hypotesen om at normativ verdi for energiforbruk til varmt tappevann i idrettsbygg på 50 kWh/m² pr. år er for høy, støttes dette i stor grad av resultatene i denne rapporten. De individuelle byggene har data av varierende pålitelighetsgrad, men samlet sett viser dataene de samme tendensene og forsvarer at dagens normative verdi er for høy. Felles gjennomsnittlig forbruk for alle hallene med de data som er presentert i figur 4.2 er 10,44 kWh/m²/år, mens om man ekskluderer dataene fra de hallene som har felles måler med skole så ender gjennomsnittet på 7,11 kWh/m²/år. Med dette tatt i betraktning tenker vi at den reviderte verdien i SN-NSPEK 3031:2020 på 10 kWh/m²/år høres fornuftig ut og mener dette er en bedre og mer korrekt normativ verdi for idrettsbygg enn den gamle (ishall og svømmehall ekskludert).

6.1 Videre arbeid

Det er flere muligheter for videre arbeid i denne oppgaven. Tilleggstesting av Portaflow 220 bør utføres for å med større sikkerhet kartlegge mulig bruk av apparatet. Dette kan utføres med hjelp av metoden forklart under kapittel 3.1.4, og testprotokollen inklusiv formelliste under vedlegg D. Dersom dette blir utført på en skikkelig og systematisk måte, kan våre erfaringer og konklusjoner når det gjelder PF220 testes og enten underbygges og støttes, eller forkastes om det skulle vise seg å være feil.

For å samle inn mer data og sørge for et mer solid datagrunnlag om energiforbruk til varmt tappevann i idrettsbygg kan manuelle varmtvannsmålinger utføres. Dette kan gjøres med PF220 om det viser seg etter tilleggstesting at de er egnet, eller med andre alternative portable måleapparat, men som egner seg til dette bruksområdet. Et siste alternativ er å bruke fastmonterte volummålere som monteres innpå røret, men dette medfører en større kostnad, større krav til kunnskap og praktiske ferdigheter og kan være vanskeligere å få godkjent av byggherre.

I tillegg kan det med fordel utføres mer logging med korte intervall. Et større og bedre datasett av denne typen kan gi et godt grunnlag for dimensjonering av varmekilder og akkumuleringsbehov.

Bibliografi

Apurgo (u.å.), *Apurgo M3*.

Tilgjengelig fra: <https://www.apurgo.no/produkter-og-tjenester#apurgo> (Hentet: 2020-05-08)

Bærum kommune (2018), *Feriedager Bærum Kommune*.

Tilgjengelig fra: <https://www.baerum.kommune.no/globalassets/tjenester/skole/02-oversikt-ferie-og-fridager-barum--2018-19.--vedtatt.pdf> (Hentet: 2020-05-01)

Direktoratet for byggkvalitet (2017), *Byggteknisk forskrift (TEK17)*.

Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2/> (Hentet: 2020-04-01)

Eriksen, A. B., Hansen, H., Jonassen, T., Mook, V., Steinnes, S. og Varden, L. (2020), *RME Høringsdokument Nr. 01/2020 - Endringer i Nettleiestrukturen*.

Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rme_hoeringsdokument/2020/rme_hoeringsdokument2020_01.pdf (Hentet: 2020-04-01)

Fortum (2020), *Prismodeller - Fjernvarme | Fortum.No*.

Tilgjengelig fra: <https://www.fortum.no/fjernvarme/prismodeller> (Hentet: 2020-04-01)

FutureBuilt (2019), *FutureBuilt*.

Tilgjengelig fra: <https://www.futurebuilt.no/Forbildeprosjekter#!/Forbildeprosjekter/Brynse-og-skole> (Hentet: 2020-04-29)

Harvey, A. H. (1995), *Table 3. Compressed Water and Superheated Steam (Continued)*.

Tilgjengelig fra: <https://www.nist.gov/system/files/documents/srd/NISTIR5078-Tab3.pdf> (Hentet: 2020-03-30)

Kamstrup (2014), *Multical 602 Data Sheet*.

Tilgjengelig fra: <https://products.kamstrup.com/ajax/downloadFile.php?uid=512b545d1c678&display=1> (Hentet: 2020-03-31)

Kamstrup (2020), *Technical Description*.

Tilgjengelig fra: <https://products.kamstrup.com/ajax/downloadFile.php?uid=5942362944387&display=1> (Hentet: 2020-05-05)

KS (2017), *Standard Abonnementsvilkår for Vann Og Avløp - Tekniske Bestemmelser*, 2. utg., Kommuneforlaget AS.

Lascar Electronics (2018), *EL-USB-4*.

Tilgjengelig fra: http://www.farnell.com/datasheets/2866393.pdf?_ga=2.160477117.1005681185.1589293969-761390385.1589293969

Micronics Ltd (2019), *PF220-English-User-Manual*, Micronics Ltd.

Tilgjengelig fra: <https://1rf15np4mlleer7q10ntie9v-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/09/PF220-English-User-Manual-Issue-1-9.pdf> (Hentet: 2020-03-26)

Nemitek (u.å.), *Prenøk*, Nemitek AS.

Tilgjengelig fra: <http://kompetansebiblioteket.no/Prenok.aspx> (Hentet: 2020-05-08)

NVE (2016), *Analyse av energibruk i yrkesbygg*, NVE-Rapport 24-2016, NVE, Oslo.

Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_24.pdf (Hentet: 2020-05-01)

Oslo kommune (2020), *Ferie og fridager i skolen*.

Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/skole-og-utdanning/ferie-og-fridager-i-skolen/> (Hentet: 2020-04-30)

Pettersen, J. E. (2015), *Forebygging av legionellasmitte – en veiledning* (4. utgave 2015), Vannrapport 123, Folkehelseinstituttet.

Tilgjengelig fra: www.fhi.no/legionellaveileder (Hentet: 2020-05-08)

Rosebrock, A. (2017), *Recognizing Digits with OpenCV and Python*.

Tilgjengelig fra: <https://www.pyimagesearch.com/2017/02/13/recognizing-digits-with-opencv-and-python/> (Hentet: 2020-03-31)

Standard Norge (2014), *NS 3031:2014 Beregning av bygningers energiytelse*.

Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=702386>

Standard Norge (2016), *SN/TS 3031:2016*.

Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=859500>

Standard Norge (2020), *SN-NSPEK 3031:2020*.

Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1124340>

Statistisk sentralbyrå (2019), *Kommunal vannforsyning*.

Tilgjengelig fra: https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann_kostraaar/2019-06-25 (Hentet: 2020-04-17)

Statkraft (2020), *Prismodell | Statkraft Varme*.

Tilgjengelig fra: <https://www.statkraftvarme.no/globalassets/2-statkraft-varme/statkraft-varme-norge/fjernvarmetariff-trondheim-bt1-2020.pdf> (Hentet: 2020-04-02)

Timeplan Årvollhallen (u.å.).

Tilgjengelig fra: https://no-fotball.s2s.net/export_content.php?section=pitches&system=no_no%2F15208%2F1%2Fall%2Fpitches&bits=0%2F0%2F61096c358906238635c7114a03daea09&colours=CC1F0C%2F1818AB%2FFFF%2F3%2Fstandard%2FVerdana%2F14%2Fbold%2F280%2F0&team_id=-1&pitch_id=-1&week=6%2C+2020 (Hentet: 2020-04-30)

Trøndelag Fylkeskommune (2020), *Fakta Heimdal videregående skole*.

Tilgjengelig fra: <https://web.trondelagfylke.no/heimdal-videregaende-skole/om-skolen/fakta/> (Hentet: 2020-04-27)

Trondheim kommune (2020), *Ferie og fridager i skolen (skolerute)*.

Tilgjengelig fra: <https://www.trondheim.kommune.no/skolefri/> (Hentet: 2020-05-04)

Tabeller

2.1	Prismodell for fjernvarme til næringskunder i Trondheim delt opp i effektledd og energiledd, gjeldende fra og med 01.01.2020 (Statkraft, 2020)	7
3.1	Testprotokoll for testing av Portaflow 220. Gule felter skal fylles ut, resten fylles ut automatisk.	18
4.1	Testresultat etter sammenligning mot vannmåler i seksmannsbolig. I øvre del er det informasjon om inndata og utdata, midtre del viser forsøksresultatene og i nedre del er det tilleggsinformasjon om forsøkene. Vannmengdene målt fra huset til kommunalt ledningsnett er oppført med negative verdier under "Apparat A, negativ" og "Apparat B, negativ".	28
4.2	Testresultat med PF220B, byggteknisk, Gløshaugen. I øvre del er det informasjon om inndata og utdata, og nedre del viser forsøksresultatene.	29
4.3	Testresultat med PF220A, varmeteknisk, Gløshaugen. I øvre del er det informasjon om inndata og utdata, og nedre del viser forsøksresultatene.	30
4.4	Informasjon Åsveihallen	34
4.5	Informasjon Heimdalshallen	37
4.6	Informasjon Årvoll flerbrukshall	39
4.7	Informasjon Bærum idrettspark	43
4.8	Informasjon Bjørnsletta flerbrukshall	47
4.9	Informasjon Kolstad arena	51
4.10	Informasjon Brynseng skole og flerbrukshall	53
D.1	Testprotokoll for Portaflow 220 med cellenummerering. Formlene for de cellene som har det, er gitt i tabell D.2.	D-1
D.2	Formler brukt i testprotokollen i tabell D.1.	D-2
D.3	Fanen "Data" i regnearket som massetettheten til vannet hentes fra. Brukt i testprotokollens celle C6 som vist under tabell D.2.	D-3

Figurer

1	Gjennomsnittlig energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann pr. år i kWh/m ² målt for syv idrettsbygg sammenlignet med SN/TS 3031:2016 (tilsvarende NS 3031:2014) sin normative verdi (markert med stiplet rød linje). Skrå streker angir bygg hvor forbruket inkluderer forbruk ved skolene, men bare er fordelt på idrettsarealet.	iii
2	Average annual energy consumption for heating hot tap water in kWh/m ² measured for seven sports buildings compared to the normative value given by SN/TS 3031:2016 (and NS 3031:2014, red, dashed lines). Diagonal lines indicate buildings where the consumption from the schools is included, but not their area.	v
2.1	Toleransebandet til Kamstrups Multical 602 sammenlignet med toleransekravene i EN 1434 (Kamstrup, 2014).	8
2.2	Skisse av et enkelt varmtvannssystem med varmekilde, blandeventil for varmtvann, varmtvannssirkulasjon, kaldtvann ut i bygget og kaldtvannstilførsel. . . .	9
2.3	Portaflow 220 og medfølgende komponenter (Micronics Ltd, 2019).	11
2.4	Her kan man se de fire forskjellige mønstrene ultralyden kan bli sendt i når måling pågår. Oppe til venstre er én enkel refleksjon, nede til venstre er to refleksjoner, oppe til høyre er trippelrefleksjon og nede høyre går signalet diagonalt (Micronics Ltd, 2019).	12
2.5	Krav og anbefalinger til plassering av transdusere for måling av strømning med Portaflow 220. Det viktigste er å ha tilstrekkelig med avstand til enkeltmotstander: 20 ganger rørdiameter oppstrøms og 10 ganger rørdiameter nedstrøms (Micronics Ltd, 2019).	12
2.6	Eksempelbilde av skjermen ”FLOW READING OPTION” (Micronics Ltd, 2019).	13
3.1	Eksempel fra testing av Portaflow 220. Viser montering av transduserne på røret.	15
3.2	Eksempelbilde av skjermen til PF220 etter alle parametre er valgt. Skjermen gir avstanden transduserne skal plasseres fra hverandre (Micronics Ltd, 2019)	16
3.3	Skjermbildet til PF220 når måling pågår (Micronics Ltd, 2019)	16
3.4	Enkelt systemskjema for idrettshall.	17
3.5	Bilde av energimåler ved Åsveihallen. Enheten til måleren er MWh.	23
3.6	Bilde av energimåler endret til svart/hvitt, med noe rødt, grønt og blått.	23

3.7	Bilde med punkt som viser hvor programmet sjekker RGB-verdier. Stor rød prikk viser koordinatet som må skrives inn, de små røde prikkene er punkt funksjonene har plassert ut i fra de store rød.	24
4.1	Graf med loggført momentanstrømning i liter pr. sekund gjennom loggeperioden i liten idrettshall. Toppene på 0,56 l/s gjengir utsignal tilsvarende feil fra måleapparatet.	27
4.2	Gjennomsnittlig energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann pr. år i kWh/m ² i perioden med logg over detaljert forbruk for hver av idrettsbyggene, sammenlignet med SN/TS 3031:2016 sin normative verdi. Forbruket ved Kolstad arena og Brynseng flerbrukshall inkluderer forbruket til skolene, men er bare fordelt på idrettsarealet.	31
4.3	Største målte forbruk av varmt tappevann i periodene med detaljert energidata over tidsintervall fra to minutter til to timer.	32
4.4	Største gjennomsnittlige forbruk av varmt tappevann pr. areal i periodene med detaljert energidata over tidsintervall fra to minutter til to timer.	33
4.5	Åsveihallen. Foto: Eirik Bjørkedal Rømo	34
4.6	Varmtvannsforbruk i Åsveihallen pr. dag i kWh/m ² fra mandag 27.01.2020 til onsdag 11.03.2020. Stiplet grå linje viser SN/TS 3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Åsveihallen i hele loggeperioden. Blå strekpunkt-linje viser gjennomsnittlig verdi over periodene uten daglige verdier og blå markører langs heltrukken blå linje viser daglige verdier hentet ved hjelp av bildegjenkjenning. De fire laveste punktene er lørdager og søndager. Punktene i uke 11 er tirsdag og onsdag. . . .	35
4.7	Største gjennomsnittlige forbruk av varmt tappevann i Åsveihallen i periodene 14.02.2020 til 27.02.2020 og 09.03.2020 til 11.03.2020 over tidsintervall fra to minutter til to timer.	36
4.8	Håndballhallen i Heimdalshallen. Foto: Eirik Bjørkedal Rømo	37
4.9	Varmtvannsforbruk i Heimdalshallen pr. uke i kWh/m ² fra mars 2019 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS 3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg, heltrukken, grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Heimdalshallen i hele loggeperioden og grå strekpunkt-linje viser gjennomsnittlig verdi for Heimdalshallen siden offisiell åpning 16. august 2014. Høyre side viser distribusjonen med en linje for hvert år og én grå linje med skygge for begge år samlet.	38
4.10	Årvoll flerbrukshall. Foto: Sindre Sverdrup Strand, Byggeindustrien	39
4.11	Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. uke i kWh/m ² fra mars 2019 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Årvollhallen i hele loggeperioden. Høyreside viser distribusjonen med en linje for hvert år og én grå linje med skygge for begge år samlet.	40
4.12	Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. dag i kWh fra mars 2019 til mars 2020. . .	40

4.13	Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. time i kWh i uke 22, mai 2019 og uke 43, oktober 2019.	41
4.14	Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. time i kWh uke 6 og 7, januar og februar 2020. Forbruket synker gradvis ved å gå fra varierende mellom null, én og to kWh pr. time til konstant null fra tirsdag uke 7.	41
4.15	Varmtvannsforbruk i Årvollhallen pr. time i kWh uke 9 og 10, februar og mars 2020. Forbruket går i uke 9 fra å være null til varierende med høye topper til ut uke 10.	42
4.16	Friidrettshallen i Bærum idrettspark. Foto: Trond Joelson, Byggindustrien . . .	43
4.17	Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Bærum idrettspark pr. uke i kWh/m ² fra januar 2019 til desember 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og høyresiden viser distribusjonen med en linje for hvert år og én grå linje med skygge for begge år samlet.	44
4.18	Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Bærum idrettspark pr. uke i kWh/m ² fra januar 2018 til desember 2019. Gjennomsnittet for måleperioden er vist som grå, heltrukken linje. Høyresiden viser distribusjonen med en linje for hvert år og én grå linje med skygge for begge år samlet. Denne grafen viser det samme som Figur 4.17 uten normativ verdi etter SN/TS 3031:2016.	44
4.19	Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Bærum idrettspark pr. dag i kWh fra januar 2019 til desember 2020.	45
4.20	Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Bærum idrettspark pr. time i kWh, januar 2018 og 2019. De siste dagene i uke 5 inngår ikke i figuren da de er i februar, altså torsdag til søndag uke 5 i 2018 og fredag til søndag uke 5 i 2019. Mandag uke 1 i 2019 inngår heller ikke siden det er i desember 2018.	46
4.21	Bjørnsletta flerbrukshall. Foto: Trond Joelson, Byggindustrien	47
4.22	Varmtvannsforbruk i Bjørnsletta flerbrukshall pr. uke i kWh/m ² fra desember 2014 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Bjørnsletta flerbrukshall i hele loggeperioden. Høyre side viser distribusjonen av alle punkt.	48
4.23	Varmtvannsforbruk i Bjørnsletta flerbrukshall pr. time i kWh, uke 48 og 50 i november og desember 2015. Uke 48 og 50 i 2015 er de to ukene mest størst forbruk i flerbrukshallen og figuren viser at det var et stort forbruk gjennom hele helgen begge ukene. I figur 4.22 kan uke 50 sees øverst til høyre og uke 48 like nedenfor.	49
4.24	Varmtvannsforbruk i Bjørnsletta flerbrukshall pr. time i kWh, uke 12 og 14 i mars og april 2016. Uke 12 har en gjennomsnittlig verdi under null og uke 14 har den tredje høyest verdien i løpet av loggeperioden 2014 til 2020. Figuren viser at det var et stort forbruk gjennom hele helgen i uke 14.	49
4.25	Varmtvannsforbruk i Bjørnsletta flerbrukshall pr. time i kWh, uke 21 og 22 i mai 2016. Uke 21 har et forbruk over gjennomsnittet for Bjørnsletta og uke 22 har det fjerde høyeste forbruket i loggeperioden 2014 til 2020.	50

4.26	Varmtvannsforbruk i Bjørnsletta flerbrukshall uke 17 i april 2015, 2016, 2017, 2018 og 2019	50
4.27	Kolstad arena. Foto: Eirik Bjørkedal Rømo	51
4.28	Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Kolstad arena og Heimdal videregående skole pr. uke i kWh pr. bruksareal i Kolstad arena fra februar 2019 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Kolstad arena i hele loggeperioden. Høyre side viser distribusjonen av alle punkt.	52
4.29	Varmtvannsforbruk i Kolstad arena pr. dag i kWh/m ² fra februar 2019 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for Kolstad arena i hele loggeperioden.	52
4.30	Brynseng skole og flerbrukshall. Foto: HRT Frank Ludviksen	53
4.31	Energiforbruk til oppvarming av varmt tappevann i Brynseng flerbrukshall og skole pr. uke i kWh/m ² fra februar 2018 til mars 2020. Grå stiplet linje viser SN/TS 3031:2016 sin normative verdi for idrettsbygg og heltrukken grå linje viser gjennomsnittlig verdi for flerbrukshallen i hele loggeperioden. Høyreside viser distribusjonen med en linje for hvert år og én grå linje med skygge for alle år samlet. Varmtvannsforbruket for skole og flerbrukshall er her fordelt på arealet til flerbrukshallen alene.	54

Vedlegg A | Ekskluderte idrettsbygg

- Trøndelag fylke
 - Haller underlagt Trøndelag fylke som ikke er med i oppgaven.
 - Haller underlagt Trondheim kommune som ikke er med i oppgaven.
 - Utleirahallen
 - Flatåshallen
 - Autronicahallen
 - Nidelvhallen
 - Sjetnehallen
 - Byåsenhallen
 - Charlottenlundhallen
 - Charlottenlund videregående skoles idrettshall
 - Skaunhallen
 - Kolstad Arena
 - Tanemshallen
 - Strindahallen
 - Klæbuhallen
 - Melhushallen
 - Bankhallen, Melhus
 - Horghallen, Melhus
 - Lundahallen, Melhus
 - Thora Storm videregående skoles idrettshall
 - Malvikhallen
 - Kotenghallen
 - Oppdal videregående skoles idrettshall
 - Oppdal Idrettshall
 - Byneshallen
 - Størenhallen
 - Sveberghallen
 - Lade skole idrettshall

- Oslo fylke
 - Haller underlagt Kultur- og idrettsbygg Oslo KF
 - Haller underlagt Undervisningsbygg Oslo KF som ikke er med i oppgaven
 - Haller underlagt Bymiljøetaten Oslo
 - Ekeberg Idrettshall (hadde egen energimåler, men ikke kun til idrettshallen)
 - Norges Idrettshøyskole
 - Bygdøhus
 - Furuset Forum
 - Voldsløkka Idrettshall
 - Lørenhallen
 - Njårdhallen
 - Nordstrand Arena
 - Prinsdalshallen
 - KFUM-hallen
 - Bækkelagshallen

- Viken fylke
 - Haller underlagt Viken fylke

- Innlandet fylke
 - Haller underlagt Innlandet fylke
 - Haller underlagt Hamar kommune
 - Limtrehallen, Moelv

- Rogaland fylke
 - Haller underlagt Sandnes Kommune
 - Haller underlagt Stavanger Kommune

- Vestland fylke
 - Haller underlagt Bergen Kommune
 - Sogndal idrettshall

Vedlegg B | Skript fra Python

B.1 Bildegjenkjenning

B.1.1 Importering av pakker

```
[1]: %matplotlib widget

import cv2
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd
import mpld3
from mpld3 import plugins
from PIL import Image
```

B.1.2 Funksjonene

```
[2]: def tot(a,b):
    # Bildet 'temp.jpg' må være opprettet, tot(a,b) tar inn x og y koordinater
    # åpner 'temp.jpg' og returnerer summen av RGB-verdiene: R + G + B
    im = Image.open('temp.jpg') # Åpner bildet
    pix = im.load() # im.load() gir RGB verdier i
    →formatet (r,g,b) for eksempel (11,43,25)
    return pix[a,b][0] + pix[a,b][1] + pix[a,b][2] # returnerer summen av
    →RGB-verdiene

def siffer1():
    #Første siffer fra høyre

    # x,y koordinater for hver linje i et siffer.
    # De vertikale linjene sjekkes i flere punkt horisontalt og de horisontale
    →sjekkes i flere punkt vertikalt.
    x1,y1=2727,993
    x2,y2=2657,1058
    x3,y3=2776,1062
    x4,y4=2725,1112
    x5,y5=2655,1184
    x6,y6=2771,1193
    x7,y7=2727,1239

    x11,y11= x1 , y1 + 3
    x21,y21= x2 +10 , y2
    x31,y31= x3 +10 , y3
    x41,y41= x4 , y4 + 3
```

```
x51,y51= x5 +10 , y5
x61,y61= x6 +10 , y6
x71,y71= x7      , y7 + 3

x12,y12= x1      , y1 + 6
x22,y22= x2 +18 , y2
x32,y32= x3 +18 , y3
x42,y42= x4      , y4 + 6
x52,y52= x5 +18 , y5
x62,y62= x6 +18 , y6
x72,y72= x7      , y7 + 6

x13,y13= x1      , y1 + 9
x23,y23= x2 +25 , y2
x33,y33= x3 +25 , y3
x43,y43= x4      , y4 + 9
x53,y53= x5 +25 , y5
x63,y63= x6 +25 , y6
x73,y73= x7      , y7 + 9

# grensetotalen er grenser for om streken er aktiv eller ikke og sjekkes mot
→summen av RGB-verdiene i punktet.
grensetotal = 50

# True betyr at det er en linje der.

punkt1 = ((tot(x1,y1) < grensetotal) or (tot(x11,y11) < grensetotal)
or (tot(x12,y12) < grensetotal) or (tot(x13,y13) < grensetotal))

punkt2 = ((tot(x2,y2) < grensetotal) or (tot(x21,y21) < grensetotal)
or (tot(x22,y22) < grensetotal) or (tot(x23,y23) < grensetotal))

punkt3 = ((tot(x3,y3) < grensetotal) or (tot(x31,y31) < grensetotal)
or (tot(x32,y32) < grensetotal) or (tot(x33,y33) < grensetotal))

punkt4 = ((tot(x4,y4) < grensetotal) or (tot(x41,y41) < grensetotal)
or (tot(x42,y42) < grensetotal) or (tot(x43,y43) < grensetotal))

punkt5 = ((tot(x5,y5) < grensetotal) or (tot(x51,y51) < grensetotal)
or (tot(x52,y52) < grensetotal) or (tot(x53,y53) < grensetotal))

punkt6 = ((tot(x6,y6) < grensetotal) or (tot(x61,y61) < grensetotal)
or (tot(x62,y62) < grensetotal) or (tot(x63,y63) < grensetotal))

punkt7 = ((tot(x7,y7) < grensetotal) or (tot(x71,y71) < grensetotal)
or (tot(x72,y72) < grensetotal) or (tot(x73,y73) < grensetotal))

# Her finner vi ut hvilket siffer det er.

if punkt1 and punkt2 and punkt3 and not punkt4 and punkt5 and punkt6 and punkt7:
    return 0

elif not punkt1 and not punkt2 and punkt3 and not punkt4 and not punkt5 and
→punkt6 and not punkt7:
    return 1
```



```

    elif punkt1 and not punkt2 and punkt3 and punkt4 and punkt5 and not punkt6 and
    ↪punkt7:
        return 2

    elif punkt1 and not punkt2 and punkt3 and punkt4 and not punkt5 and punkt6 and
    ↪punkt7:
        return 3

    elif not punkt1 and punkt2 and punkt3 and punkt4 and not punkt5 and punkt6 and
    ↪not punkt7:
        return 4

    elif punkt1 and punkt2 and not punkt3 and punkt4 and not punkt5 and punkt6 and
    ↪punkt7:
        return 5

    elif punkt1 and punkt2 and not punkt3 and punkt4 and punkt5 and punkt6 and
    ↪punkt7:
        return 6

    elif punkt1 and not punkt2 and punkt3 and not punkt4 and not punkt5 and punkt6
    ↪and not punkt7:
        return 7

    elif punkt1 and punkt2 and punkt3 and punkt4 and punkt5 and punkt6 and punkt7:
        return 8

    elif punkt1 and punkt2 and punkt3 and punkt4 and not punkt5 and punkt6 and not
    ↪punkt7:
        return 9
    else:
        return 100000
    return siffer

def siffer2():
    # Andre siffer fra høyre
    # Dette gir andre koordinater, men ellers er funksjonen veldig lik siffer1()

    x1,y1=2517,982
    x2,y2=2457,1049
    x3,y3=2573,1054
    x4,y4=2518,1109
    x5,y5=2453,1181
    x6,y6=2570,1186
    x7,y7=2517,1236

    x11,y11= x1      , y1 + 4
    x21,y21= x2  +7 , y2
    x31,y31= x3  +7 , y3
    x41,y41= x4      , y4 + 4
    x51,y51= x5  +7 , y5
    x61,y61= x6  +7 , y6
    x71,y71= x7      , y7 + 4

    x12,y12= x1      , y1 + 8
    x22,y22= x2  +15 , y2
    x32,y32= x3  +15 , y3

```

```
x42,y42= x4      , y4 + 8
x52,y52= x5 +15 , y5
x62,y62= x6 +15 , y6
x72,y72= x7      , y7 + 8

x13,y13= x1      , y1 + 12
x23,y23= x2 +22 , y2
x33,y33= x3 +22 , y3
x43,y43= x4      , y4 + 12
x53,y53= x5 +22 , y5
x63,y63= x6 +22 , y6
x73,y73= x7      , y7 + 12

x14,y14= x1      , y1 + 16
x24,y24= x2 +30 , y2
x34,y34= x3 +30 , y3
x44,y44= x4      , y4 + 16
x54,y54= x5 +30 , y5
x64,y64= x6 +30 , y6
x74,y74= x7      , y7 + 16

grensetotal = 50

punkt1 = ((tot(x1,y1) < grensetotal) or (tot(x11,y11) < grensetotal)
or (tot(x12,y12) < grensetotal) or (tot(x13,y13) < grensetotal) or
→(tot(x14,y14) < grensetotal))

punkt2 = ((tot(x2,y2) < grensetotal) or (tot(x21,y21) < grensetotal)
or (tot(x22,y22) < grensetotal) or (tot(x23,y23) < grensetotal) or
→(tot(x24,y24) < grensetotal))

punkt3 = ((tot(x3,y3) < grensetotal) or (tot(x31,y31) < grensetotal)
or (tot(x32,y32) < grensetotal) or (tot(x33,y33) < grensetotal) or
→(tot(x34,y34) < grensetotal))

punkt4 = ((tot(x4,y4) < grensetotal) or (tot(x41,y41) < grensetotal)
or (tot(x42,y42) < grensetotal) or (tot(x43,y43) < grensetotal) or
→(tot(x44,y44) < grensetotal))

punkt5 = ((tot(x5,y5) < grensetotal) or (tot(x51,y51) < grensetotal)
or (tot(x52,y52) < grensetotal) or (tot(x53,y53) < grensetotal) or
→(tot(x54,y54) < grensetotal))

punkt6 = ((tot(x6,y6) < grensetotal) or (tot(x61,y61) < grensetotal)
or (tot(x62,y62) < grensetotal) or (tot(x63,y63) < grensetotal) or
→(tot(x64,y64) < grensetotal))

punkt7 = ((tot(x7,y7) < grensetotal) or (tot(x71,y71) < grensetotal)
or (tot(x72,y72) < grensetotal) or (tot(x73,y73) < grensetotal) or
→(tot(x74,y74) < grensetotal))

if not punkt1:# siffer = 1 eller 4
    if punkt2:
        return 4
    else:
```

```

        return 1
    elif punkt5: #siffer = 0, 2, 6 eller 8
        if not punkt3:
            return 6
        elif not punkt4:
            return 0
        elif not punkt2:
            return 2
        else:
            return 8
    elif punkt7: #3 eller 5
        if punkt2:
            return 5
        else:
            return 3
    elif punkt2:
        return 9
    elif punkt1 and punkt3 and punkt6 and not(punkt2 and punkt4 and punkt5 and
→punkt7):
        return 7
    else:
        return 100000

def siffer3():
    # Tredje siffer fra høyre
    # Dette gir andre koordinater og en annen grensetotal, men ellers er funksjonen
→veldig lik siffer1()

    x1,y1=2310,972
    x2,y2=2239,1044
    x3,y3=2365,1049
    x4,y4=2304,1105
    x5,y5=2337,1176
    x6,y6=2361,1180
    x7,y7=2300,1233

    x11,y11= x1      , y1 + 4
    x21,y21= x2 +4   , y2
    x31,y31= x3 +4   , y3
    x41,y41= x4      , y4 + 4
    x51,y51= x5 +4   , y5
    x61,y61= x6 +4   , y6
    x71,y71= x7      , y7 + 4

    x12,y12= x1      , y1 + 8
    x22,y22= x2 +8   , y2
    x32,y32= x3 +8   , y3
    x42,y42= x4      , y4 + 8
    x52,y52= x5 +8   , y5
    x62,y62= x6 +8   , y6
    x72,y72= x7      , y7 + 8

    x13,y13= x1      , y1 + 12
    x23,y23= x2 +12  , y2
    x33,y33= x3 +12  , y3
    x43,y43= x4      , y4 + 12
    x53,y53= x5 +12  , y5

```

```
x63,y63= x6 +12 , y6
x73,y73= x7      , y7 + 12

x14,y14= x1      , y1 + 16
x24,y24= x2 +16 , y2
x34,y34= x3 +16 , y3
x44,y44= x4      , y4 + 16
x54,y54= x5 +16 , y5
x64,y64= x6 +16 , y6
x74,y74= x7      , y7 + 16

x15,y15= x1      , y1 + 16
x25,y25= x2 +20 , y2
x35,y35= x3 +20 , y3
x45,y45= x4      , y4 + 16
x55,y55= x5 +20 , y5
x65,y65= x6 +20 , y6
x75,y75= x7      , y7 + 16

x16,y16= x1      , y1 + 16
x26,y26= x2 +24 , y2
x36,y36= x3 +24 , y3
x46,y46= x4      , y4 + 16
x56,y56= x5 +24 , y5
x66,y66= x6 +24 , y6
x76,y76= x7      , y7 + 16

x17,y17= x1      , y1 + 16
x27,y27= x2 +28 , y2
x37,y37= x3 +28 , y3
x47,y47= x4      , y4 + 16
x57,y57= x5 +28 , y5
x67,y67= x6 +28 , y6
x77,y77= x7      , y7 + 16

grensetotal = 550

punkt1 = ((tot(x1,y1) < grensetotal) or (tot(x11,y11) < grensetotal)
or (tot(x12,y12) < grensetotal) or (tot(x13,y13) < grensetotal) or
→(tot(x14,y14) < grensetotal)
or (tot(x15,y15) < grensetotal) or (tot(x16,y16) < grensetotal) or
→(tot(x17,y17) < grensetotal))

punkt2 = ((tot(x2,y2) < grensetotal) or (tot(x21,y21) < grensetotal)
or (tot(x22,y22) < grensetotal) or (tot(x23,y23) < grensetotal) or
→(tot(x24,y24) < grensetotal)
or (tot(x25,y25) < grensetotal) or (tot(x26,y26) < grensetotal) or
→(tot(x27,y27) < grensetotal))

punkt3 = ((tot(x3,y3) < grensetotal) or (tot(x31,y31) < grensetotal)
or (tot(x32,y32) < grensetotal) or (tot(x33,y33) < grensetotal) or
→(tot(x34,y34) < grensetotal)
or (tot(x35,y35) < grensetotal) or (tot(x36,y36) < grensetotal) or
→(tot(x37,y37) < grensetotal))

punkt4 = ((tot(x4,y4) < grensetotal) or (tot(x41,y41) < grensetotal))
```

```

    or (tot(x42,y42) < grensetotal) or (tot(x43,y43) < grensetotal) or_
→(tot(x44,y44) < grensetotal)
    or (tot(x45,y45) < grensetotal) or (tot(x46,y46) < grensetotal) or_
→(tot(x47,y47) < grensetotal))

    punkt5 = ((tot(x5,y5) < grensetotal) or (tot(x51,y51) < grensetotal)
    or (tot(x52,y52) < grensetotal) or (tot(x53,y53) < grensetotal) or_
→(tot(x54,y54) < grensetotal)
    or (tot(x55,y55) < grensetotal) or (tot(x56,y56) < grensetotal) or_
→(tot(x57,y57) < grensetotal))

    punkt6 = ((tot(x6,y6) < grensetotal) or (tot(x61,y61) < grensetotal)
    or (tot(x62,y62) < grensetotal) or (tot(x63,y63) < grensetotal) or_
→(tot(x64,y64) < grensetotal)
    or (tot(x65,y65) < grensetotal) or (tot(x66,y66) < grensetotal) or_
→(tot(x67,y67) < grensetotal))

    punkt7 = ((tot(x7,y7) < grensetotal) or (tot(x71,y71) < grensetotal)
    or (tot(x72,y72) < grensetotal) or (tot(x73,y73) < grensetotal) or_
→(tot(x74,y74) < grensetotal)
    or (tot(x75,y75) < grensetotal) or (tot(x76,y76) < grensetotal) or_
→(tot(x77,y77) < grensetotal))

    if not punkt1: # siffer = 1 eller 4
        if punkt2:
            return 4
        else:
            return 1
    elif punkt5: #siffer = 0, 2, 6 eller 8
        if not punkt3:
            return 6
        elif not punkt4:
            return 0
        elif not punkt2:
            return 2
        else:
            return 8
    elif punkt7: #3 eller 5
        if punkt2:
            return 5
        else:
            return 3
    elif punkt2:
        return 9
    elif punkt1 and punkt3 and punkt6 and not(punkt2 and punkt4 and punkt5 and_
→punkt7):
        return 7
    else:
        return 100000

```

B.1.3 Her kjøres løkken som går gjennom bildene og til slutt lagrer alt i en kommaseparert fil

```
[ ]: df = np.zeros((2200,2)) # oppretter matrise med nullverdier
first_photo = 31230 # første bildet som er tatt
for i in range(1000,2000):
    bilde = 'G00' + str(first_photo + i) + '.JPG'
    bilde = cv2.imread(bilde)
    ret, bilde = cv2.threshold(bilde,54,255,cv2.THRESH_BINARY)
    # Her kan grenseverdien på 54 endres for å et bedre bilde

    # Lagrer en svart/hvit versjon av bildet med navn temp.jpg
    cv2.imwrite('temp.jpg', bilde)

    # Legger inn navnet på bildet
    df[i][0] = first_photo + i
    # Legger inn tallet til gjeldende bilde
    df[i][1] = siffer1() + 10 * siffer2() + 100 * siffer3() + 136000

# Lagrer matrisen i en .csv fil
np.savetxt("Bildegjenkjent2.csv", df, delimiter=";")
print('Ferdig')
```

B.1.4 Her lagres et bilde for å sjekke koordinater i paint

```
[ ]: filnavn = 'G0031232.JPG'
filnavn = cv2.imread(filnavn)
ret, filnavn = cv2.threshold(filnavn,54,255,cv2.THRESH_BINARY)
cv2.imwrite('000.jpg', filnavn)
```

B.1.5 Her kan vi sjekke RGB-totalen for et punkt i bildet som lagres over

```
[ ]: a,b=2368,1050
im = Image.open('000.jpg')
pix = im.load()
pix[a,b][0] + pix[a,b][1] + pix[a,b][2]
```

B.2 Test av RGB-verdier

B.2.1 Importering av pakker

```
[1]: %matplotlib widget
import cv2
from PIL import Image
im = Image.open('G0031232.JPG')
pix = im.load()
```

B.2.2 Punkt med aktivert strek

```
[2]: x1,y1=2809,1015
x2,y2=2743,1078
x3,y3=2864,1089
x4,y4=2799,1153
x5,y5=2739,1217
x6,y6=2860,1221
x7,y7=2799,1285
```

B.2.3 RGB-verdier for punkt med aktivert strek:

```
[3]: print('RGB-verdier for punkt med aktivert strek:')
print(pix[x1,y1])
print(pix[x2,y2])
print(pix[x3,y3])
print(pix[x4,y4])
print(pix[x5,y5])
print(pix[x6,y6])
print(pix[x7,y7])
```

RGB-verdier for punkt med aktivert strek:

```
(20, 24, 23)
(24, 28, 27)
(29, 31, 26)
(17, 21, 20)
(24, 26, 23)
(21, 23, 20)
(14, 16, 15)
```

B.2.4 Summen av RGB-verdier for punkt med aktivert strek:

```
[4]: print('Summen av RGB-verdier for punkt med aktivert strek:')
print(pix[x1,y1][0] + pix[x1,y1][1] + pix[x1,y1][2])
print(pix[x2,y2][0] + pix[x2,y2][1] + pix[x2,y2][2])
print(pix[x3,y3][0] + pix[x3,y3][1] + pix[x3,y3][2])
print(pix[x4,y4][0] + pix[x4,y4][1] + pix[x4,y4][2])
print(pix[x5,y5][0] + pix[x5,y5][1] + pix[x5,y5][2])
print(pix[x6,y6][0] + pix[x6,y6][1] + pix[x6,y6][2])
print(pix[x7,y7][0] + pix[x7,y7][1] + pix[x7,y7][2])
```

Summen av RGB-verdier for punkt med aktivert strek:

```
67
79
86
```

58
73
64
45

B.2.5 Punkt uten aktivert strek

```
[5]: x1,y1=2694,1073  
     x2,y2=2531,1070  
     x3,y3=2308,1201
```

B.2.6 RGB-verdier for punkt uten aktivert strek:

```
[6]: print('RGB-verdier for punkt uten aktivert strek:')  
     print(pix[x1,y1])  
     print(pix[x2,y2])  
     print(pix[x3,y3])
```

RGB-verdier for punkt uten aktivert strek:

(75, 77, 63)
(82, 89, 73)
(92, 96, 79)

B.2.7 Summen av RGB-verdier for punkt uten aktivert strek:

```
[7]: print('Summen av RGB-verdier for punkt uten aktivert strek:')  
     print(pix[x1,y1][0] + pix[x1,y1][1] + pix[x1,y1][2])  
     print(pix[x2,y2][0] + pix[x2,y2][1] + pix[x2,y2][2])  
     print(pix[x3,y3][0] + pix[x3,y3][1] + pix[x3,y3][2])
```

Summen av RGB-verdier for punkt uten aktivert strek:

215
244
267

Vedlegg C | Formler

$$\dot{q}_{forbruk\ idrett} \cdot \frac{A_{idrettsbygg}}{A_{total}} + \dot{q}_{forbruk\ skole} \cdot \frac{A_{skole}}{A_{total}} = \dot{q}_{forbruk\ total} \quad (C.1)$$

$$\dot{q}_{forbruk\ skole} = \frac{\dot{q}_{forbruk\ idrett}}{2} \quad (C.2)$$

$$\dot{q}_{forbruk\ idrett} = \frac{\dot{q}_{forbruk\ total}}{\frac{A_{idrettsbygg} + \frac{A_{skole}}{2}}{A_{total}}} \quad (C.3)$$

Vedlegg D | Testprotokoll Portaflow 220

Tabell D.1: Testprotokoll for Portaflow 220 med cellenummerering. Formlene for de cellene som har det, er gitt i tabell D.2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Informasjon			Inndata				Utdata				
2	Utvendig diameter			mm	Main menu	Quick start			Sensors	A-ST		
3	Materiale				Dimension unit	mm			Sensor mode		reflex	
4	Fluidtemperatur			°C	Pipe outside diameter	mm			Set sensor seperation		mm	
5					Pipe wall thickness	mm			Signal strength		/4	
6	Tetthet			kg/l	Pipe lining thickness	mm						
7	Lengde rett rør før sensor			mm	Pipe wall material							
8	Lengde rett rør etter sensor			mm	Pipe lining material							
9	Antall ganger diameter før				Fluid type							
10	Antall ganger diameter etter				Fluid temperature			°C				
11												
12	Forsøk	Apparat	Hastighet	Antall stopp	Vekt tappet	Volum tappet	Målt volum	Avvik	Posisjon på rør	Rørretning		
13	Nr.	-	m/s	-	kg	liter	liter	%	-	-		
14	1	PF220A		0								
15	2	PF220A		9								
16	3	PF220A		0								
17	4	PF220A		9								
18	5	PF220A		0								
19	6	PF220A		9								
20	7	PF220A		0								
21	8	PF220A		9								
22	9	PF220A		0								
23	10	PF220A		9								
24	11	PF220B		0								
25	12	PF220B		9								
26	13	PF220B		0								
27	14	PF220B		9								
28	15	PF220B		0								
29	16	PF220B		9								
30	17	PF220B		0								
31	18	PF220B		9								
32	19	PF220B		0								
33	20	PF220B		9								

Tabell D.2: Formler brukt i testprotokollen i tabell D.1.

Celle	Formel	Celle	Formel
C2	=IF(G4="", "", G4)	G30	=IF(F30="", "", F30/\$C\$6)
C3	=IF(G7="", "", G7)	G31	=IF(F31="", "", F31/\$C\$6)
C4	=IF(G10="", "", G10)	G32	=IF(F32="", "", F32/\$C\$6)
C6	=IF(G10="", "", IF(G10>50, VLOOKUP(G10,Data!C2:D51,2), VLOOKUP(G10,Data!A2:B51,2)))/1000)	G33	=IF(F33="", "", F33/\$C\$6)
C9	=IF(C7="", "", C7/\$C\$2)	J14	=IF(H14="", "", (H14-G14)/G14)
C10	=IF(C8="", "", C8/\$C\$2)	J15	=IF(H15="", "", (H15-G15)/G15)
G14	=IF(F14="", "", F14/\$C\$6)	J16	=IF(H16="", "", (H16-G16)/G16)
G15	=IF(F15="", "", F15/\$C\$6)	J17	=IF(H17="", "", (H17-G17)/G17)
G16	=IF(F16="", "", F16/\$C\$6)	J18	=IF(H18="", "", (H18-G18)/G18)
G17	=IF(F17="", "", F17/\$C\$6)	J19	=IF(H19="", "", (H19-G19)/G19)
G18	=IF(F18="", "", F18/\$C\$6)	J20	=IF(H20="", "", (H20-G20)/G20)
G19	=IF(F19="", "", F19/\$C\$6)	J21	=IF(H21="", "", (H21-G21)/G21)
G20	=IF(F20="", "", F20/\$C\$6)	J22	=IF(H22="", "", (H22-G22)/G22)
G21	=IF(F21="", "", F21/\$C\$6)	J23	=IF(H23="", "", (H23-G23)/G23)
G22	=IF(F22="", "", F22/\$C\$6)	J24	=IF(H24="", "", (H24-G24)/G24)
G23	=IF(F23="", "", F23/\$C\$6)	J25	=IF(H25="", "", (H25-G25)/G25)
G24	=IF(F24="", "", F24/\$C\$6)	J26	=IF(H26="", "", (H26-G26)/G26)
G25	=IF(F25="", "", F25/\$C\$6)	J27	=IF(H27="", "", (H27-G27)/G27)
G26	=IF(F26="", "", F26/\$C\$6)	J28	=IF(H28="", "", (H28-G28)/G28)
G27	=IF(F27="", "", F27/\$C\$6)	J29	=IF(H29="", "", (H29-G29)/G29)
G28	=IF(F28="", "", F28/\$C\$6)	J30	=IF(H30="", "", (H30-G30)/G30)
G29	=IF(F29="", "", F29/\$C\$6)	J31	=IF(H31="", "", (H31-G31)/G31)
		J32	=IF(H32="", "", (H32-G32)/G32)
		J33	=IF(H33="", "", (H33-G33)/G33)

Tabell D.3: Fanen "Data" i regnearket som massetettheten til vannet hentes fra. Brukt i testprotokollens celle C6 som vist under tabell D.2.

	A	B	C	D
1	Temperatur (°C)	Tetthet (kg/m3)	Temperatur (°C)	Tetthet (kg/m3)
2	1	999.89	51	987.56
3	2	999.94	52	987.09
4	3	999.98	53	986.62
5	4	1000.00	54	986.14
6	5	1000.00	55	985.65
7	6	999.99	56	985.16
8	7	999.96	57	984.66
9	8	999.91	58	984.16
10	9	999.85	59	983.64
11	10	999.77	60	983.13
12	11	999.68	61	982.60
13	12	999.58	62	982.07
14	13	999.46	63	981.54
15	14	999.33	64	981.00
16	15	999.19	65	980.45
17	16	999.03	66	979.90
18	17	998.86	67	979.34
19	18	998.68	68	978.78
20	19	998.49	69	978.21
21	20	998.29	70	977.63
22	21	998.08	71	977.05
23	22	997.86	72	976.47
24	23	997.62	73	975.88
25	24	997.38	74	975.28
26	25	997.13	75	974.68
27	26	996.86	76	974.08
28	27	996.59	77	973.46
29	28	996.31	78	972.85
30	29	996.02	79	972.23
31	30	995.71	80	971.60
32	31	995.41	81	970.97
33	32	995.09	82	970.33
34	33	994.76	83	969.69
35	34	994.43	84	969.04
36	35	994.08	85	968.39
37	36	993.73	86	967.73
38	37	993.37	87	967.07
39	38	993.00	88	966.41
40	39	992.63	89	965.74
41	40	992.25	90	965.06
42	41	991.86	91	964.38
43	42	991.46	92	963.70
44	43	991.05	93	963.01
45	44	990.64	94	962.31
46	45	990.22	95	961.62
47	46	989.80	96	960.91
48	47	989.36	97	960.20
49	48	988.92	98	959.49
50	49	988.47	99	958.78
51	50	988.02	100	958.05

