
Effektforbruk ved svømmeanlegg (Pirbadet)

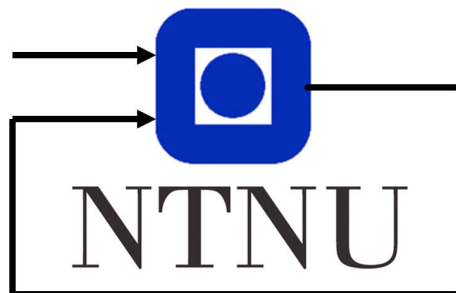
Ingvild Skaftun

Prosjektoppgave ved institutt for teknisk kybernetikk

Innleveringsdato: Desember 2018

Veileder: Professor Geir Mathisen

Medveileder: Snorre Nordbo Olsen





PROSJEKTOPPGAVE

Kandidatens navn: **Ingvild Skaftun**

Fag: **Teknisk kybernetikk/Engineering Cybernetics**

Oppgavens tittel (norsk): **Effektforbruk ved svømmeanlegg (Pirbadet)**

Oppgavens tittel (engelsk): **Power consumption in a swimming pool (Pirbadet)**

Oppgavens tekst:

Idrettsbygg karakteriseres som prosessanlegg med store elektriske og termiske laster som varierer ut fra prosessmessige hensyn, antall besøkende og uteklime. Framtidig tariffstruktur for energi tilsier økt fokus på effektlaster, noe som vil føre til vesentlig økning i driftskostnader for slike anlegg. En ønsker derfor å kunne styre / optimalisere effektforbruket for å redusere kostnadene.

I denne oppgaven ønsker vi å kartlegge hvilke store elektriske laster som svømmeanlegget har og tilrettelegge for datainnsamling rundt effektforbruket.

Oppgaven består av følgende punkter:

1. Foreta en litteraturstudie / undersøkelse om effektreduksjon i bygninger, med spesielt fokus på svømmeanlegg.
2. Identifiser store bydragsyttere til byggets (Pirbadets) effektbruk.
3. Planlegge innsamling av måledata relatert til effektforbruk

Oppgaven gitt: 27. Aug, 2018

Besvarelsen leveres: 18. Des, 2018

Besvarelsen levert: 18. Des, 2018

Utført ved Institutt for Teknisk kybernetikk

Faglig veileder: Snorre Nordbo Olsen

Trondheim, den 26.08.2018

Geir Mathisen
Faglærer

Forord

Prosjektoppgaven er skrevet som forberedelse til masteroppgave ved Institutt for teknisk kybernetikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven er skrevet høsten 2018, under veiledning av professor Geir Mathisen og medveileder Snorre Nordbo Olsen i samarbeid med Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT).

Jeg vil takke veileder og medveileder for all hjelp i forbindelse med oppgaven. Videre ønsker jeg å takke personell ved Pirbadet for samarbeidet. Spesielt vil jeg takke Erlend Lunde Sjørdal, tekniker elektro, Kjetil Øvretveit, teknisk leder, og Hallgeir Revhaug, tekniker maskin. Ellers en stor takk til familie og venner for god støtte gjennom prosjektet.

Sammendrag

Forbruk av elektrisk energi er ventet å øke i årene fremover, samtidig ventes det en økning i effektforbruk. Kraftnettet må være dimensjonert for det høyest tenkelige effektforbruket, derfor er det gunstig å redusere effekttoppene for å få en jevnest mulig belastning på strømmettet gjennom døgnet. Målet med denne studien er å kartlegge effektforbruket av større laster i svømmeanlegget Pirbadet, samt å planlegge fremtidig datainnsamling for å kunne redusere effekttopper.

Måledata om energi- og effektforbruket ved Pirbadet i perioden 2008-2017 ble samlet inn for å kartlegge totalt forbruk. Maksimalt effektforbruk ble estimert for de største lastene. Dataene ble analysert for å finne mønstre og eventuelle grunner til avvik, samt for å identifisere laster som potensielt kan reduseres eller flyttes til tidspunkt hvor effektforbruket forøvrig er lavere.

Pirbadets totale årlige energiforbruk var i perioden 2008 til 2017 gjennomsnittlig 9,1 GWh. Fjernvarme var viktigste energikilde (60 %), etterfulgt av elektrisk energi (38 %). Det elektriske effektforbruket fulgte en jevn døgnsyklus, uavhengig av ukedag og årstid. Store elektriske laster som kan være mulig å flytte i tid er ventilasjonsanlegg, vannpumper og badstuer.

En systematisk oversikt over tilgjengelig informasjon om energi- og effektforbruk er viktig for å kunne optimalisere effektforbruket ved Pirbadet. Ytterligere måledata er nødvendig for å vurdere om lastene i praksis lar seg flytte. Denne prosjektoppgaven danner grunnlag for innsamling av data for videre arbeid med reduksjon av Pirbadets effektforbruk.

Abstract

The electrical power grid must be dimensioned to handle peak power. Reducing peak power will in turn reduce the need for new grid infrastructure. The aim of this study is to map the power consumption of significant loads at Pirbadet, a swimming facility, and to plan future collection of data necessary for reducing Pirbadet's peak power.

Data on energy and power consumption for the period 2008-2017 was collected to investigate total energy consumption at Pirbadet. Maximum power consumption was estimated for significant loads. The data was analyzed to find patterns and possible reasons for deviations, as well as to identify loads that potentially can be reduced or moved in time.

The average annual energy consumption was 9.1 GWh for the period 2008-2017. District heating was the main source of energy (60 %), followed by electrical energy (38 %). Electric power consumption followed a daily cycle, regardless of day of week and season. Large electrical loads that may be possible to control, are ventilation, water pumps and saunas.

A systematic overview of available information about energy and power consumption is important in order to optimize power consumption at Pirbadet. Additional measurement data is necessary to assess how the loads can be controlled. This project forms the basis for further work to reduce Pirbadet's power consumption.

Innhold

1	Innledning	1
2	Litteratursøk	5
2.1	Svømmeanlegg	5
2.1.1	Energiforbruk i svømmeanlegg	6
2.1.2	Pirbadet	9
2.2	Forbrukerfleksibilitet	12
2.3	Effektreduksjon i bygninger	13
2.4	Klassifisering av laster	16
2.5	Fakturering av energi	17
2.5.1	Strøm	17
2.5.2	Fjernvarme	18
2.6	Valg av måleinstrumenter	19
3	Oppgavens mål	23
4	Metode	25
4.1	Innhenting av data	25
4.2	Laster	26
4.3	Analyse av måldata	26
4.4	Utvelgelse av målepunkter	27
5	Resultater	29
5.1	Årlig energiforbruk ved Pirbadet	29
5.1.1	Elektrisk energi	30
5.1.2	Fjernvarme	31
5.2	Laster	31
5.2.1	Elektrisk anlegg	31

5.2.2	Kontrollerbare elektriske laster	37
5.2.3	Fjernvarmeanlegg	37
5.3	Energi- og effektforbruk ved Pirbadet i 2017	38
5.3.1	Elektrisk anlegg	38
5.3.2	Fjernvarmeanlegg	41
5.4	Krav til måleinstrument	44
6	Diskusjon	45
6.1	Årlig energiforbruk ved Pirbadet	45
6.1.1	Elektrisk energi	45
6.1.2	Fjernvarme	46
6.2	Laster	46
6.3	Analyse av innsamlede måledata	50
6.3.1	Elektrisk forbruk	50
6.3.2	Fjernvarmeforbruk	51
6.4	Fremtidig innhenting av måledata	51
6.4.1	Krav til måleinstrument	52
6.4.2	Valg av målepunkt	52
7	Konklusjon og fremtidig arbeid	55
7.1	Konklusjon	55
7.2	Fremtidig arbeid	56
	Bibliografi	56
A	Histogrammer	61
A.1	Elektrisk anlegg	61
A.2	Fjernvarmeanlegg	64

Kapittel 1

Innledning

Strømnettet krever balanse mellom produksjon og forbruk av elektrisk kraft ettersom strøm ikke kan lagres i strømnettet. Det medfører at både kraftproduksjon og kraftnett må være dimensjonert for å produsere og levere strøm til den momentant høyeste effekttoppen som kan oppstå, selv om det gjennomsnittlige strømforbruket/effektbelastningen er langt lavere. Det har lenge vært fokus på energieffektivitet for å redusere det totale elektrisitetsforbruket. Det har imidlertid vært mindre fokus på effektregulering og reduksjon av effekttopper. Prognoser viser at elektrisitetsforbruket i Norge vil øke med rundt 18 TWh mellom 2016 og 2025, samtidig som effekttoppene vil øke fra rundt 23 GW til 28 GW [1].

Det er dyrt å investere i kraftinfrastruktur. I 5-årsperioden 2016-2020 er det planlagt å investere rundt 10 milliarder kroner i det norske sentral- og regionalnettet som følge av økt forbruk eller forsyningssikkerhet. Dette utgjør ca. 25 % av de totale investeringene i kraftinfrastruktur i perioden 2016 til 2020 [1]. I tillegg til at det er dyrt, kan utbygging av kraftinfrastruktur også medføre inngrep i naturen, og selve byggingen kan medføre klimagassutslipp. En utjevning av effekttoppene vil føre til redusert behov for investering i ny kraftinfrastruktur, noe som vil gi stor samfunnsmessig gevinst. Utjevning av effekttoppene kan i tillegg gjøre det enklere å inkludere fornybare energikilder slik som vind- og solkraft som av natur har variabel energiproduksjon.

Effektprising er en måte å stimulere forbruker til å redusere egne effekt-

topper, og på den måten få ned det totale effektforbruket. I Norge er det vanlig å ha en tredelt strømregning for næringskunder; fastledd, energiledd og effektledd. I 2015 ble det anslått at 60–70 % av strømregningen var relatert til effektleddet [2]. For privatkunder er det ikke vanlig med effektledd per dags dato.

Det er ingen faste regler på hvordan effekt skal faktureres [3], men det er vanlig å benytte gjennomsnittlig effektforbruk per hele time for å beregne effektleddet i en periode [4]. Dette betyr at den faktiske effekttoppen strømmettet må levere, kan være langt høyere enn hva som framkommer på fakturaen. Sett fra forbrukers side kan faktureringsmetoden føre til besparelser uten å redusere effekttoppene. Dette kan gjøres ved å planlegge forbruket slik at effekttoppene fordeles på hver side av et helt klokkeslett og dermed blir fakturert i to forskjellige timer. Dette forutsetter at man har oversikt over effektforbruket på et mer detaljert nivå enn gjennomsnittlig timeforbruk, og at lastene er fleksible.

Svømmeanlegg kan sees på som prosessanlegg med høyt energiforbruk som varierer både ut i fra antall besøkende og uteklima. Framtidige tariffstrukturer for energi tilsier økt fokus på effektpricing [5], noe som kan føre til en vesentlig økning i driftskostnadene for svømmeanlegg. I Storbritannia utgjør kostnader relatert til energiforbruk ca. 30 % av de totale driftskostnadene for idrettsanlegg [6].

Pirbadet i Trondheim er Norges største innendørs badeanlegg med et vannareal på ca. 2 740 m² og rundt 400 000 besøkende per år. Basert på Pirbadets egne innsamlede data ligger strømforbruket rundt 2,9 GWh per år, med 537 kW som høyeste målte effekttopp siden målingene startet i 2007. Dette er gjennomsnittlig effektforbruk per hele time da det ikke finnes noe mer detaljert oversikt over effektforbruket. Dersom fokuset på effektpricing øker i fremtiden, er det viktig å ha bedre oversikt over det faktiske effektforbruket ved Pirbadet på et mer detaljert nivå enn timesintervall. En slik oversikt gir også muligheter for å regulere forbruket slik at effekttoppene kan utjevnes.

Målet med denne prosjektoppgaven er å få en oversikt over større elektriske laster ved Pirbadet og deres mulige bidrag til effekttopper. Oppgaven skal legge til rette for en masteroppgave som skal se nærmere

på muligheter for å regulere effektforbruket ved Pirbadet. Fokuset i oppgaven er elektrisk effektforbruk, men fjernvarmeforbruk blir også sett på for å danne et mer komplett bilde av totalt energiforbruk.

Oppgaven er gjennomført i samarbeid med Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT), som tidligere har gjennomført flere studier av svømmeanlegg gjennom doktoravhandling, bachelor- og masteroppgaver [7]. Flere av studiene omhandler energiforbruk i svømmeanlegg, mens det har vært lite fokus på effektforbruk. Også ellers i litteraturen har det vært lite fokus på effektforbruk i svømmeanlegg, mens effektforbruk i andre typer bygg har i større grad blitt omtalt.

Denne oppgaven vil i kapittel 2 ta for seg hva som er kjent i litteraturen om effektforbruk i svømmeanlegg og andre bygg. Kapittel 3 presenterer mål og delmål med oppgaven. I kapittel 4 beskrives innhenting av data og metodene som er brukt for å analysere energi- og effektforbruket ved Pirbadet i de senere årene. Kapittel 5 presenterer resultatene av arbeidet, mens resultatenes betydning og implikasjoner for videre arbeid diskuteres i kapittel 6.

Oppgaven vil kun fokusere på større elektriske laster, selv om man kan se for seg at summen av mindre laster også kan ha vesentlig betydning for effektforbruket. Begrensninger i tid og økonomiske ressurser medførte at ideelle måledata ikke kunne samles inn til denne oppgaven. Videre arbeid vil derfor fokusere på innsamling av måledata og analyse av disse dataene for å redusere Pirbadets effekttopper.

Kapittel 2

Litteratursøk

Dette kapittelet vil ta for seg relevant bakgrunns litteratur for analyse av energi- og effektforbruk ved svømmeanlegget Pirbadet. Informasjon om svømmeanlegg generelt og Pirbadet spesielt vil bli gjennomgått i dette kapittelet. Videre vil eksisterende litteratur om effektreduksjon i bygninger bli omtalt, både med tanke på hvorfor det er gunstig å redusere effekttopper, tiltak for å gjøre dette og hvordan detaljerte data til disse formålene kan innhentes.

Svømmeanlegg skiller seg fra de fleste andre bygg ettersom det er høy luftfuktighet og store våtromsarealer. Det har ikke lyktes å finne litteratur som primært omhandler effektforbruk i svømmeanlegg. Litteraturgjennomgangen baserer seg derfor på litteratur som omhandler andre typer bygg, samt noe litteratur om energiforbruk i svømmeanlegg. Mye av denne informasjonen kan delvis overføres til effektforbruk i svømmeanlegg.

2.1 Svømmeanlegg

Svømmeanlegg krever mye teknisk utstyr, spesielt med tanke på ventilasjonssystem og vannbehandling, og kan sees på som et prosessanlegg med varierende energiforbruk. Bygningen må være spesialkonstruert og ta i betraktning forskjellene mellom svømmeanlegg og andre bygg.

Kjennetegn som gjør svømmeanlegg ulikt andre bygningstyper, er blant annet [6]:

- Høyt energiforbruk
- Høy temperatur og høyt fuktighetsnivå i våt sone
- Avdamping fra basseng
- Høyt varmtvannsforbruk
- Energigjenvinning, for eksempel ved bruk av varmevekslere og varmepumper
- Åpningstider, tjenestetilbud og bruksmønster
- Styringssystemer for teknisk utstyr

2.1.1 Energiforbruk i svømmeanlegg

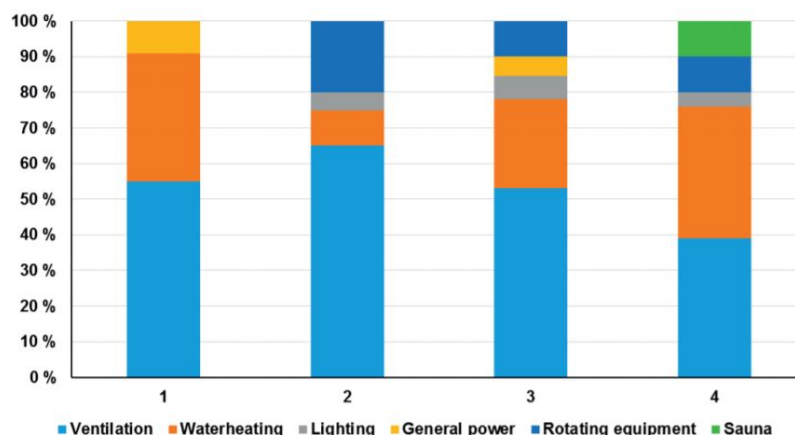
Energibruken i svømmehaller er avhengig flere faktorer, blant annet [8]:

- Ute- og innetemperatur
- Bassengtemperatur
- Vannareal og vannvolum
- Antall besøkende

Av disse er vannareal, vannvolum og bassengtemperatur konstant. Inn-temperaturen vil sannsynligvis variere noe, men kan sees på som tilnærmet konstant. Utetemperatur og antall besøkende vil variere og kan ikke kontrolleres.

Doktoravhandlingen til W. Kempel sammenligner energiforbruket i svømmeanlegg basert på fire studier med datagrunnlag fra europeiske svømmeanlegg [6]. Figur 2.1 viser hvordan energiforbruket i svømmeanlegg kan fordeles i seks hovedkategorier. På grunn av få studier om totalt energiforbruk i svømmeanlegg samt forskjellige måter å rapportere forbruket på, er det vanskelig å få god oversikt over energiforbruket i forskjellige delsystemer av anleggene. Fra fig. 2.1 er det tydelig at mest

energi brukes av ventilasjonsanlegget, etterfulgt av oppvarming av vann i de fleste tilfellene.

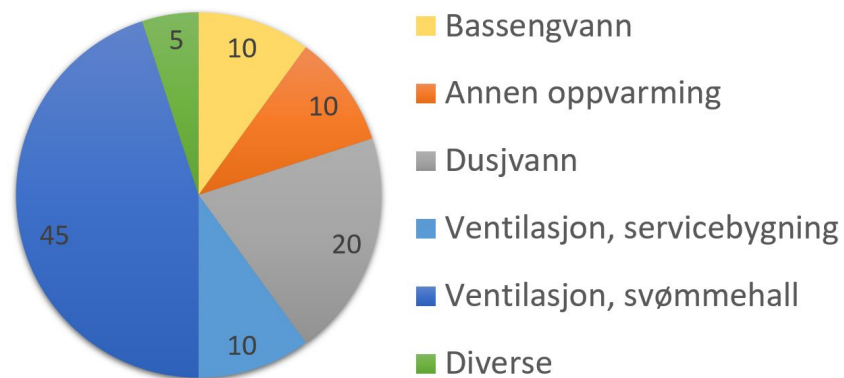


Figur 2.1: Fordeling av energiforbruk i svømmeanlegg funnet i fire ulike artikler (1 til 4), analysert av W. Kampel [6]

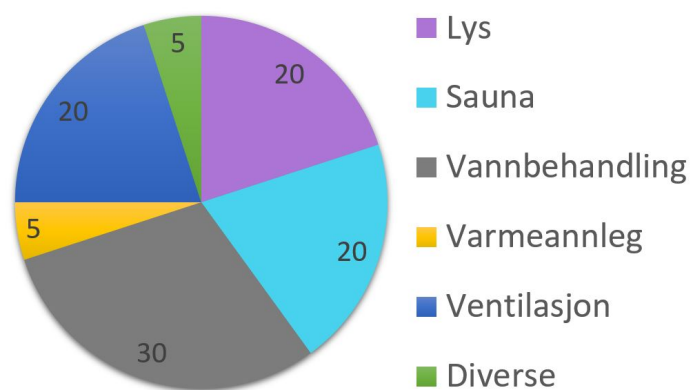
I en dansk rapport fra 2015 er det angitt nøkkeltall relatert til energi- og vannforbruk for svømmeanlegg basert på vannareal, se tabell 2.1 [9]. Rapporten viser at forbruket per vannareal reduseres i større anlegg sammenlignet med mindre. Rapporten fordeler energiforbruket i to, varmeenergi og elektrisk energi, se figur 2.2 og 2.3. Figurene viser at mest energi går til ventilasjon, oppvarming av vann og vannbehandling. Dette stemmer godt overens med det som ble funnet i doktoravhandlingen til W. Kampel [6].

Tabell 2.1: Nøkkeltall for energi- og vannforbruk i danske svømmeanlegg basert på vannareal [9].

Vannareal [m ²]	Elektriskenergi [kWh/vannareal/år]	Varmeenergi [kWh/vannareal/år]	Vannforbruk [liter/person/år]
< 300	715	2033	82
300 - 600	662	1754	72
> 600	623	1520	68
Gjennomsnitt	667	1769	74



Figur 2.2: Fordeling av varmeenergi i danske svømmeanlegg [9].



Figur 2.3: Fordeling av elektrisk energi i danske svømmeanlegg [9].

Den danske rapporten nevner også områder hvor energiforbruket potensielt kan reduseres:

- **Ventilasjonsanlegg:** Ved å behovsstyre luftmengden i ventilasjonsanlegget (for eksempel etter åpningstid) og benytte automatisk regulering kan energiforbruket reduseres. Riktig innstilt regulator og korrekt kalibrerte sensorer er derfor viktig. Utskiftning av gammelt utstyr kan vurderes.
- **Varmegjenvinning fra gråvann:** Muligheten for å hente ut varme fra gråvann før det forlater bygget, bør vurderes. Dette vil redusere energiforbruket og i enkelte tilfeller er dette en god løsning. Det er derimot ikke alltid mulig å etterinstallere et slikt system uten for store kostnader på grunn av bygningsmassens utforming.
- **Styring av vann- og lufttemperatur samt luftfuktighet:** Vanntemperaturen bør reguleres med stor nøyaktighet, og det anbefales at lufttemperaturen er minimum 2 °C høyere enn vanntemperaturen for å begrense avdamping. Høy avdamping medfører økt luftfuktighet som igjen vil føre til at ventilasjonsanlegget forbruker mer energi.
- **Vannbehandling:** Behandling av vann må følge kravene som er satt av myndighetene. Det anbefales å bruke frekvensregulatorer for å redusere energibruken til omsirkulerings-pumper.
- **Belysning:** Det anbefales å bytte til mer energieffektive lys og benytte behovsstyrt regulering av disse.

2.1.2 Pirbadet

Pirbadet er Norges største innendørs svømmeanlegg med over 400 000 besøkende i 2017. Det har 2 741,5 m² vannareal fordelt på ni basseng og tre boblebad med et samlet vannvolum på 3,5 millioner liter. Se tabell 2.2 for informasjon om bassengenes størrelser og vanntemperaturer.

Bassengene er fordelt på fem rom, et stort og fire mindre. I det store rommet er barnebassenget, bølgebassenget, velværebassenget, ungdoms-

bassenget og idrettsbassenget lokalisert. Alle boblebadene er plassert i det store rommet. I tillegg er det flere vannsklier og en strømningskanal i forbindelse med ungdomsbassenget, samt stupetårn ved idrettsbassenget. De resterende fire bassengene er lokalisert i hvert sitt mindre rom.

Tabell 2.2: Oversikt over svømmebasseng ved Pirbadet (* approksimeringer i m² basert på plantegninger)

Basseng	Vannareal [<i>m x m</i>]	Temperatur [°C]
Barnebasseng	70 *	31
Bølgebasseng	12 x 24	31
Helsebad 1	9 x 12	ukjent
Helsebad 2	16 x 9	34
Idrettsbasseng	50 x 21	27-28
Undervisningsbasseng et. 1	12,5 x 8,5	ukjent
Undervisningsbasseng et. 2	12,5 x 8,5	ukjent
Ungdomsbasseng	250 *	31
Velværebasseng	200 *	34
Boblebad, 3 stykker	7 * (x3)	34

Pirbadet har i tillegg garderober, en velværeaddeling, en kafé, et trenings-senter samt noen kontorer og andre driftsnødvendige områder. Denne prosjektoppgaven fokuserer på selve svømmeanlegget, og andre deler av bygget vil i utgangspunktet ikke bli vurdert.

Det har blitt gjort endringer i bygget i den senere tid, og flere er planlagt. Noen av endringene har bidratt til å utvide bassengtilbudet mens andre har redusert energiforbruket. De største av disse endringene er beskrevet under.

Bytte av ventilasjonsanlegg (2016)

Det ble installert fire nye ventilasjonsanlegg i slutten av 2016. De nye anleggene har maksimal luftvolumstrøm på 25 000 m³ per time. Tre av de nye anleggene har driftsområde i det største rommet, hvor det er fem basseng. Fordi disse er i samme rom, vil de kunne påvirke hverandre. Det fjerde anlegget har driftsområde i rommene med helsebad 1 og 2.

Ett av de gamle anleggene er fremdeles i drift og avfukter luften i det store rommet.

Installasjon av gråvanngjenvinnere (2017)

Det ble våren 2017 installert tre nye varmepumper for å gjenvinne energi fra gråvann. Denne energien brukes til å varme opp kaldt vann til mellom 30 og 35 °C. Vannet blir videre oppvarmet til rundt 70 °C av fjernvarme før det lagres i varmtvannstanker. Tidligere var det ingen gjenvinning av energien i gråvannet. Gråvanngjenvinning ved Pirbadet er diskutert i en bacheloroppgave fra 2017 [10].

Påbygg med to nye undervisningsbasseng (2018)

I februar 2018 ble det åpnet to nye undervisningsbasseng ved Pirbadet. Bassengene er bygget i et to-etasjers påbygg med basseng i begge etasjer. Bassenget i første etasje har heve/senkebunn for justering av vanddybden.

I forbindelse med de to nye svømmebassengene ble det også installert to nye ventilasjonsanlegg. De betjener hver sin etasje i påbygget og har maks luftvolumstrøm på 6 000 m³ per time.

Planlagt utendørsbasseng (2018/2019)

Det er bestilt et utendørsbasseng som sannsynligvis blir tatt i bruk ved årsskiftet 2018/2019. Åpningsdato er ikke fastsatt per november 2018. Bassenget vil ha et vannareal på 2 x 10 m og volum på 20 m³. Utendørsbassenget vil bli plassert på terrassen ved siden av de nye undervisningsbassengene. Det vil ikke være mulig å svømme mellom bassengene inne og ute. For å redusere energitap vil et lokk bli lagt over bassenget når Pirbadet er stengt.

2.2 Forbrukerfleksibilitet

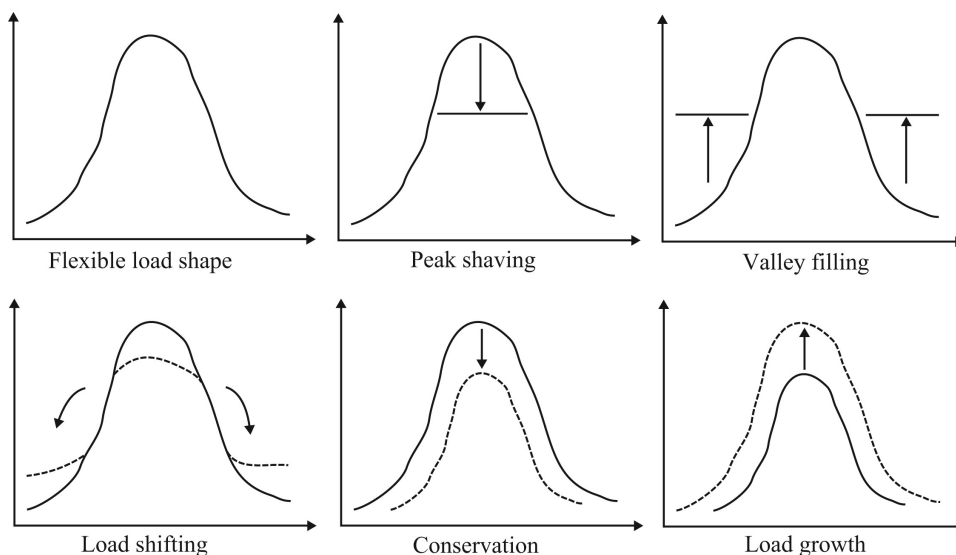
Forbrukerfleksibilitet kan defineres som *”forbrukerens evne og vilje til å bytte energibærere eller endre sitt energiforbruk på kort og mellomlang sikt”* [11]. Det vil si at en forbruker kan tilpasse sitt forbruk basert på signaler fra leverandør, for eksempel pris, og på denne måten bidra til å opprettholde kraftbalansen. En viktig del av forbrukerfleksibilitet er relativ rask respons på kortvarige endringer. Muligheter for effekt-reduksjon i bygg vil dermed være viktig med tanke på hvor fleksibel forbrukeren kan være.

Fra et nettverksperspektiv er det flere grunner for å øke forbrukerfleksibiliteten i bygninger. Bygninger står for en stor andel av det totale energiforbruket (rundt 40 % i industrialiserte land) hvor termisk kontroll er en av de største lastene [12]. I norske boliger utgjør oppvarming 78 % av totalt energiforbruk, mens det utgjør mellom 35 % og 60 % for yrkesbygg [5]. Dersom energi benyttet til termisk kontroll av bygninger er fleksibel, vil dette kunne gjøre det enklere å balansere kraftforbruket og den tilgjengelige kraftproduksjonen. Kraftproduksjonen er forventet å fluktuere mer i fremtiden ettersom andelen variable fornybare energikilder som sol- og vindenergi øker [12]. Samtidig nærmer mange lands eldre kraftverk seg forventet levealder. Disse er ofte basert på fossile brennstoff og har mer forutsigbar og kontrollerbar produksjon enn sol- og vindenergi. Dette kombinert med mer ekstremvær og klimaendringer, reduserer påliteligheten til kraftnettet og gjør det vanskeligere å balansere kraftproduksjon mot forbruk i fremtiden [12].

Fra et forbrukerperspektiv kan økt forbrukerfleksibilitet føre til reduksjon i utgifter relatert til elektrisitet i bygg. Samtidig kan det i teorien skape en ny inntektskilde ved at byggeier setter energifleksibilitet til disposisjon for nettselskapet, slik at det kan bidra til å holde kraftbalansen i nettet [13]. Byggeier vil tjene penger avhengig av hvor mye fleksibilitet som tilbys og hvor mye nettselskapet benytter fleksibiliteten.

2.3 Effektreduksjon i bygninger

Det er flere muligheter for å endre lastprofilen til bygninger (load shape), se figur 2.4 [14]. Endringene kan bli kategorisert som reduksjon av forbruk (peak shaving og conservation), økning i forbruk (valley filling og load growth) og tidsendring av forbruk (load shifting). Fleksibiliteten i systemet avhenger av forbrukers behov fordi endring i lastprofil ikke skal gå ut over komfortnivå. For eksempel skal temperatur og luftkvalitet være innenfor visse verdier, og elektrisk utstyr skal kunne benyttes når forbruker måtte ønske.



Figur 2.4: Mulige måter å endre lastprofilen i bygninger [14].

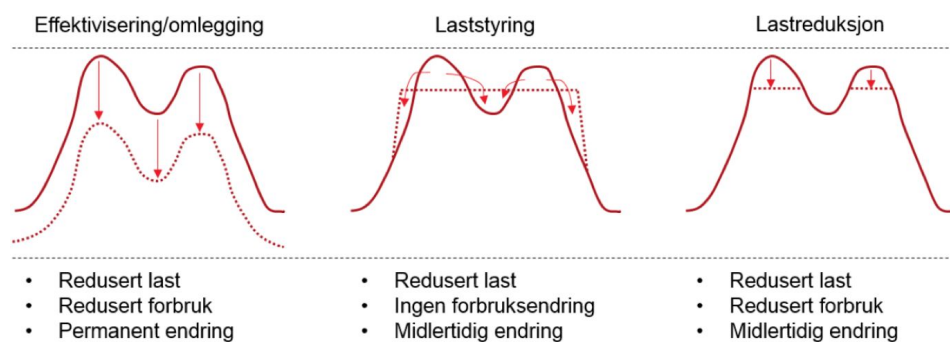
Det er tre hovedmetoder for å redusere bygningers effekttopper, se figur 2.5 [5]. Disse er nærmere beskrevet under:

Energieffektivisering (conservation) reduserer totalt forbruk, men gir ikke nødvendigvis reduksjon i effekttopper. For eksempel vil momentan oppvarming av vann være mer energieffektivt enn en varmtvannsbereider, men det vil gi høyere effekttopper. Endring fra halogen lyspærer til LED lyspærer vil derimot normalt være både mer energieffektivt og redusere effekttopper.

Laststyring (load shifting) brukes for å redusere effekttopper ved å flytte enkelte laster fra tidspunkt med høyt forbruk til perioder med lavt

forbruk. For eksempel er det ofte lavere forbruk om natten enn på dagtid, derfor vil det være gunstig blant annet å lade elbiler om natten dersom mulig.

Lastreduksjon (peak shaving) reduserer effekttopper uten å flytte lastene til et annet tidspunkt. Det kan for eksempel være større termiske laster, som en varmtvannsbereder, som kobles ut for en periode. Grunnet termisk treghet vil vannet beholde det meste av varmen i perioden uten oppvarming. En måte å gjennomføre lastereduksjon uten å direkte redusere forbruket, er å benytte batterier eller generatorer. De kan tilføre den nødvendige energien for å drive alle lastene, men fra nettleverandøren sin side vil det se ut som en reduksjon i forbruk.



Figur 2.5: Mulige måter å redusere effektforbruket i bygninger [5].

Reduksjon i effekttopper betyr ikke nødvendigvis at totalt forbruk vil bli redusert, men at den høyeste effekttoppen reduseres. Dette vil være en kombinasjon av load shifting og valley filling. Et eksempel på dette er å forhåndsoppvarme vann om natten for å redusere mengden energi som kreves til oppvarming om dagen. Vannet blir gjerne oppvarmet til høyere temperatur enn nødvendig for å redusere oppvarmingsbehovet på dagtid.

Det er flere mulige enkelttiltak som kan bidra til å redusere effektforbruket i bygg. Disse kan deles i 2 hovedkategorier; reduksjon av daglig effekttopp i bygg og reduksjon av kritisk effekttopp i nettet. En kritisk effekttopp inntreffer når nettet er nær grensen for overføringskapasitet og er påvirket av klima. Kritiske effekttopper vil vanligvis oppstå på dager med høy temperatur når kjøleanlegg brukes til å redusere inne-temperatur. Motsatt vil oppvarmingsbehov på dager med lav temperatur

også kunne gi kritiske effekttopper. I denne oppgaven vil det fokuseres på kjølige klimaområder. Under er det beskrevet mulige tiltak for å redusere både kritiske effekttopper og daglige effekttopper.

Tiltakene for reduksjon av kritiske effekttopper inkluderer blant annet å redusere luftmengden i ventilasjonsanlegg, å styre oppvarming av større varmtvannsberedere, økte forbrukerfleksibilitet og lastflytting samt bruk av andre energikilder. Ofte kan luftmengdene i ventilasjonsanlegg reduseres uten at det vil oppleves ubehagelig av forbruker ved normal drift. Oppvarming av vann bør unngås i perioder med kritisk effektbelastning i strømmettet. Helst er det ønskelig å flytte fleksible laster som oppvarming av vann og lading av elbiler til nattetid da forbruket normalt er lavere. Når laster flyttes til natt for å utjevne effektforbruket, kan det skapes en ny effekttopp. Det er derfor viktig at ikke alle laster flyttes til samme tidspunkt.

Å benytte andre energikilder, for eksempel brenselfyrte kjeler til oppvarming på kalde dager, kan også hjelpe å redusere kritiske effekttopper. Bruk av nød- og reserveaggregat kan avlaste kraftnettet lokalt. Det kan benyttes til eget bruk, men kan også stilles til disposisjon for kraftregulerende instanser.

Blant tiltakene som ikke er anbefalt til reduksjon av kritiske effekttopper er bruk av solceller- og batteriteknologi viktigst. Kritiske effekttopper i kjølige regioner oppstår på kalde vinterdager når solcellepaneler har lav produksjon på grunn av lite sollys. Om sommeren vil solcellene ha mye større produksjon og dermed ha innvirkning på daglige effekttopper. Batterier har per dags dato høye kostnader og har store energitap relatert til lading og utlading. For eksempel å benytte elbil-batterier til å forsyne strøm til nett krever at prisdifferansen mellom lading og utlading minst er 35 øre/kWh for at det skal være lønnsomt [5].

2.4 Klassifisering av laster

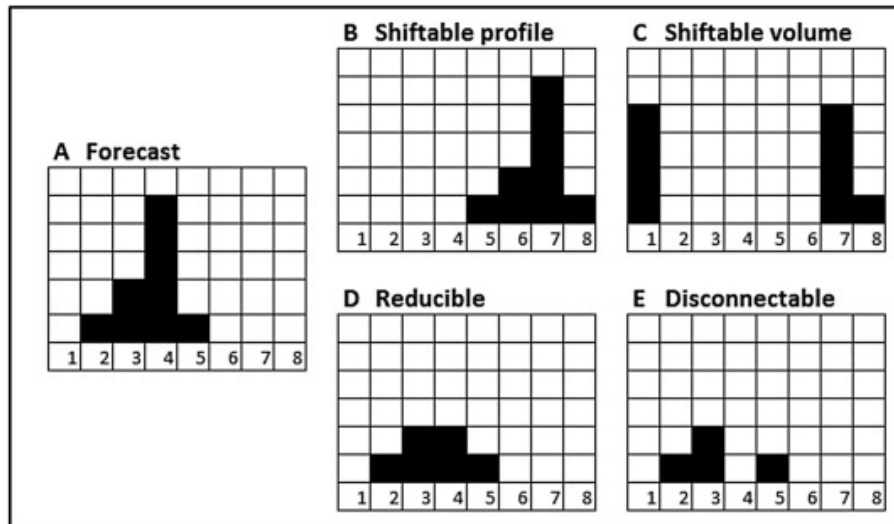
Hvordan laster kategoriseres vil avhenge av formålet med kategoriseringen og hva slags laster som skal kategoriseres. Den enkleste kategoriseringsformen er å dele lastene i to kategorier, kritiske laster og kontrollerbare laster. Denne kategoriseringen er benyttet av S. Shao et al. [15]. Den kritiske lastkategorien inneholder laster som er svært viktige å kjøre til rett tid eller som vil redusere forbrukers komfort. De kontrollerbare lastene kan defineres som laster, som når de styres, har liten merkbar påvirkning av opplevd komfortnivå. I en vanlig husholdning er kritiske laster blant annet lys, TV og kjøleskap, mens kontrollerbare laster kan være vaskemaskin og varmtvannsbereder.

En lignende klassifisering er benyttet av Y. Chen et al. [12]. Der defineres lastene i kategoriene "schedulable appliances", tilsvarende kontrollerbare laster, og "non-schedulable appliances", tilsvarende kritiske laster. Lastene blir også her plassert i kategoriene basert på forbrukers komfortnivå.

I kategoriseringen til J. Shen et al. [16] blir de kontrollerbare lastene delt i tre kategorier, Type I, Type II og Type III. Type I (passive controllable load) er laster som kan kontrolleres, men ikke kan produsere strøm. Type II (active controllable load) er laster som både kan forbruke (lade opp) og produsere strøm (lade ut), for eksempel batteri. Type III ("the broad controllable loads") er laster som blant annet inkluderer mikrogrid. De produserer strøm, for eksempel via solceller, men forbruker det meste selv og blir oftest sett på som laster.

S. Ottesen og A. Tomasgard [17] benytter også en mer detaljert kategoriseringsmetode. De deler lastene inn i ytterligere flere kategorier; ikke fleksible laster (inflexible load), flyttbare laster i tid (shiftable load) og reduserbare laster (curtailable load), illustrert i figur 2.6. De ikke fleksible lastene kan sammenlignes med den kritiske last kategorien benyttet av S. Shao et al. [15]. Flyttbare laster i tid kan igjen deles inn i to kategorier; laster som kan flyttes i tid, men må ha samme lastprofil (shiftable profile load) og laster som må ha et visst forbruk, når som helst, i et gitt tidsrom (shiftable volume load). De reduserbare lastene deles også videre i to kategorier; laster som kan reduseres til en viss prosentandel (reducible

load) og laster som enten er på eller av (disconnectable load).



Figur 2.6: Klassifisering av kontrollerbare laster [17].

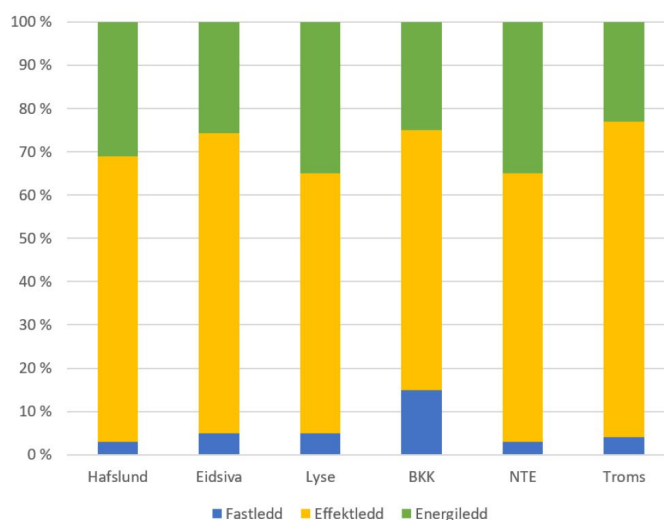
2.5 Fakturering av energi

2.5.1 Strøm

I Norge er det vanlig å ha en tredelt strømrregning for næringskunder [2]:

1. **Fastledd:** skal minst dekke faste kostnader. Fastleddet faktureres ofte som en fast kostnad per år.
2. **Energiledd:** skal minst dekke marginaltapet i nettet. Det er vanlig å fakturere energileddet i øre per kWh energi brukt. Hvor mange øre en kWh koster varierer. Pris avhenger av tilbud og etterspørsel og kan ha store variasjoner.
3. **Effektledd:** det er ingen faste bestemmelser på hvordan effektpri-sing skal utformes. En vanlig måte å fakturere effektleddet på er å fakturere den klokketimen med høyest gjennomsnittlig effektfor-bruk i en gitt periode. Totalt energiforbruk vil ikke ha innvirkning på effektleddet.

Nettselskaper kan fritt utforme sin egen tariffstruktur så lenge minimumskravene er innfridd. Dette fører til variasjon avhengig av leverandør. For næringskunder med maksimalt effektforbruk mellom 200 og 1000 kW ble det i 2015 anslått at 60–70 % av strømgregningen var relatert til effektleddet, se fig 2.7 [2].



Figur 2.7: Kostnadsfordeling av strømgregning for næringskunder med maksimalt effektforbruk mellom 200 og 1000 kW i timen i 2015. Blå er fastleddet, gul er effektleddet og grønn er energileddet. Kolonnene representerer forskjellige norske nettselskap [2].

2.5.2 Fjernvarme

I Norge er fjernvarme lovpålagt å være billigere enn tilsvarende elektrisk oppvarming. *”Prisen for fjernvarme skal ikke overstige prisen for elektrisk oppvarming i vedkommende forsyningsområde”* [3]. Prisstruktur er lignende som for strøm, med unntak av fastleddet. For næringskunder er prisen på fjernvarme basert på forskjellen i temperatur inn og ut, volumstrømmen, samt det høyeste effektforbruket i en gitt periode.

2.6 Valg av måleinstrumenter

Valg av måleinstrumenter avhenger av flere faktorer veiet opp mot hverandre. Noen av hovedfaktorene for valg av måleinstrument er [18]:

- Nøyaktighet
- Måleintervall
- Installasjon
- Kommunikasjonsprotokoll
- Pris
- Tilgjengelighet

Disse vil bli nærmere beskrevet i de kommende avsnittene. Informasjonen er i hovedsak basert på ”Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions for future research” [18].

Nøyaktighet

Måleinstrumenter klassifiseres ofte etter hvor nøyaktig de måler. En vanlig måte å kategorisere på, er å gi klasser basert på nøyaktighetsprosent. For eksempel har Klasse 1 en feilmargen på $\pm 1\%$, mens Klasse 2 har $\pm 2\%$. Måleinstrumenter med høyere nøyaktighet er generelt dyrere, men høy nøyaktighet er ikke alltid nødvendig. Hvor nøyaktig målingene bør være, vil avhenge av bruksområdet. Det anbefales at nøyaktigheten på måleinstrumenter som måler strømforbruk i deler av en bygning, for eksempel en etasje i et kontorbygg, har en feilmargen på under $\pm 2\%$ og helst $\pm 1\%$ [18].

Måleintervall

Valg av måleintervall er kommer an på av hva som blir målt og/eller hva informasjonen skal brukes til. Dersom informasjonen skal brukes til en strømfaktura, har det frem til nå vært tilstrekkelig med kun en måling

på på slutten av en faktureringsperiode. Skal måleverdiene brukes til å regulere et system, trengs korte intervall mellom målingene. I følge Lanzisera *et al.* [19] ga et måleintervall på 10 sekunder ikke signifikant bedre resultat enn et intervall på 1 minutt når laster i et kontorbygg skulle måles. Et 10 minutters intervall gav derimot merkbart mindre informasjon om lastenes effektforbruk.

Installasjon

Installasjon av målere kan være utfordrende. Mulighet for enkel installering kan være en avgjørende faktor i valg av måleinstrumenter. En batteridrevet, trådløs måler som sender informasjon over WiFi eller andre trådløse informasjonskanaler, kan gjøre installasjonen enklere og redusere tilknyttede kostnader. Trådløse målere har også den fordel at de er enklere å etterinstallere i bygg, samt at de ofte er mer energieffektive [20].

Følgende spørsmål bør vurderes med tanke på hvor enkelt det er å installere et måleinstrument:

- Kan ny måler integreres i eksisterende system?
- Har den trådløse kommunikasjonen tilstrekkelig rekkevidde?
- Er det lett å plassere måleren?
- Kan forstyrrelser fra annet utstyr påvirke målingene, og kan dette eventuelt forhindres?
- Overholder måleren lovpålagte krav?

Kommunikasjonsprotokoll

Det finnes flere ulike kommunikasjonsprotokoller for måleinstrumenter. Disse kan deles inn i to hovedkategorier; trådløs og kablet. Hovedpunktene som bør vurderes når det gjelder valg av kommunikasjonsprotokoll, er:

- Kostnad

- Kommunikasjonssikkerhet
- Fysiske avstander i systemet som skal måles

Kablede kommunikasjonsprotokoller inkluderer blant annet Ethernet og ModBus. Fordeler med disse er at de ofte er enkle å integrere i eksisterende system. I tillegg er sikkerheten som regel høyere enn ved trådløs kommunikasjon. En ulempe er at installasjon av kablede alternativer kan være mer krevende og medføre betydelig høyere kostnader enn trådløs teknologi.

Trådløse kommunikasjonsprotokoller som WiFi, ZigBee og GPRS/GSM er som regel billige og ofte enkle å installere. Sikkerheten er derimot ikke alltid like høy som ved bruk av kablede alternativer.

Kostnad

Prisen på utstyr og installasjon vil være en begrensende faktor for de fleste prosjekter når det gjelder valg av måleutstyr. En vanlig måte å redusere kostnader på er å installere et minimum av målepunkter. Dette kan føre til at deler av systemet får begrenset dekning, og eventuelle innsparinger blir ikke tydeliggjort. Det er viktig å velge rett utstyr og riktig antall målepunkter. Å spare kostnader i starten kan koste dyrt senere.

Tilgjengelighet

Hvor enkelt det er å få et ønsket måleinstrument fra leverandør vil variere avhenge av tidshorisont på prosjektet. Dersom det ønskede måleinstrumentet er utilgjengelig i det aktuelle tidsvinduet, anbefales det å undersøke om andre instrumenter kan gjøre samme jobb. Tilgjengelighet vil være en av de mest avgjørende faktorene dersom prosjektet har kort tidshorisont, men vil ha mindre betydning dersom valg av måleinstrument blir tatt i god tid før installasjon.

Kapittel 3

Oppgavens mål

Den overordnede målsettingen i denne oppgaven er å undersøke lastprofilen til et idrettsanlegg og planlegge innsamling av måledata relatert til elektrisk effektforbruk. Dette er gjennomført med datagrunnlag fra et svømmeanlegg; Pirbadet i Trondheim. Fokuset i denne rapporten er på elektrisk effektforbruk, men fjernvarmeforbruk ble også sett på for å danne et mer komplett bilde av totalt energiforbruk.

Delmål:

1. Få oversikt over totalt energiforbruk fordelt på ulike energikilder i perioden 2008-2017
2. Få oversikt over større elektriske laster basert på maksimalt effektforbruk og tilgjengelige målepunkter
3. Analysere måledata for mulige trender
4. Identifisere og prioritere ønskede målepunkter og undersøke hvordan utvalgte lasters effektforbruk kan måles
5. Definere krav til måleinstrumenter for å måle effektforbruket til utvalgte laster og finne måleinstrument som oppfyller kravene
6. Identifisere laster hvor effektforbruket helt eller delvis kan kontrolleres
7. Legge til rette for en fremtidig masteroppgave om reduksjon av effekttopper ved Pirbadet

Kapittel 4

Metode

4.1 Innhenting av data

Måleverdiene som er brukt for å beregne energiforbruket ved Pirbadet før 2018, er hentet fra Entro [21] som Pirbadet bruker til å logge energi- og vannmålinger. Entro loggfører målinger fra fem målepunkter i det elektriske anlegget og seks målepunkter for fjernvarme. De fem målepunktene i det elektriske anlegget fordeler seg på ett målepunkt for totalt elektrisk forbruk og fire målepunkter for de fire ventilasjonsanleggene som ble installert i 2016. De seks målepunktene på fjernvarme fordeler seg på ett målepunkt for totalt fjernvarmeforbruk, tre målepunkter for de fire ventilasjonsanleggene som ble installert i 2016 og to målepunkter for varmt tappevann. Alle målingene er gjennomført med et måleintervall på en time. Målinger for månedsforbruk i perioden januar 2008 til november 2018 ble lastet ned fra Entro. For 2017 ble i tillegg målinger for alle måletidspunkt (hver time) lastet ned.

Pirbadet er besøkt flere ganger for å få oversikt over anlegget. Informasjon om anlegget og teknisk drift ble innhentet gjennom Pirbadets nettsider [22], samt samtaler og e-post-utveksling med følgende ansatte ved Pirbadet: Erlend Lunde Sørдал, tekniker elektro, Kjetil Øvretveit, teknisk leder og Hallgeir Revhaug, tekniker maskin. Supplerende teknisk informasjon om ventilasjonsanlegget ble innhentet fra produsenten Menerga [23], informasjon om frekvensomformer for vannpumper fra pro-

duzenten Danfoss [24]. Tekniske detaljer om datainnsamlingssystemet ble meddelt fra Entro [21]. Teknisk informasjon om måleinstrumentene som er installert ved Pirbadet ble opplyst av produsenten Kamstrup [25].

4.2 Laster

For å skaffe en oversikt over de største lastene ved Pirbadet er det tatt utgangspunkt i kategoriene beskrevet i W. Kampel sin doktoravhandling [6], nærmere beskrevet i avsnitt 2.1.1. Kategoriene er ventilasjon, oppvarming av vann, lys, generelt strømforbruk, roterende utstyr og badstue. Oversikt over de største lastene innen hver av kategoriene ble innhentet gjennom samtaler med teknisk personell ved Pirbadet.

Maksimalt effektforbruk for hver av lastene ble deretter estimert. For kategorier med få laster (ventilasjon, oppvarming av vann, roterende utstyr og badstue) ble maksimalt effektforbruk funnet ved hjelp av informasjon fra datablad, stemplinger og etiketter på utstyret. For store laster hvor denne informasjonen ikke var tilgjengelig, ble sikringsstørrelse brukt som et mål på maksimalt teoretisk effektforbruk. Lastforbruk for lys ble estimert ved å telle antall lysarmaturer og ta hensyn til ulikt effektforbruk. Lastforbruk fra generelt strømforbruk er ikke sett nærmere på da dette er mange små laster, med unntak av kjøkken hvor sikringsstørrelse er benyttet som estimat.

Basert på innhentet informasjon om de ulike lastene ved Pirbadet, ble lastene inndelt i kritiske og kontrollerbare laster. Kontrollerbare laster ble definert som laster som det teoretisk sett er mulig å helt eller delvis redusere eller flytte i tid, uten at dette går utover drift eller forbrukerkomfort.

4.3 Analyse av måledata

Data om månedlig energiforbruk ble summert til årlig energiforbruk for elektrisk energi, fjernvarme og totalt energiforbruk. Gjennomsnittlig årlig forbruk er beregnet for perioden 2008-2017 for elektrisk energi,

fjernvarme og totalt energiforbruk.

For videre analyser er data fra 2017 benyttet siden dette er siste hele kalenderår med måledata. Analysene er utført i MATLAB og Microsoft Excel. Gjennomsnittlig forbruk er beregnet for tidspunkt og ukedag, for eksempel for alle mandager kl. 11.00-11.59 i 2017 osv. Dette er beregnet for alle tilgjengelige målepunkt. I tillegg er totalt forbruk for hver uke beregnet.

4.4 Utvelgelse av målepunkter

Det er ønskelig med flere målepunkter på det elektriske anlegget enn de fem allerede eksisterende målerne. På grunn av kostnad kan kun et begrenset antall målere installeres, og det må gjøres en utvelgelse for å bestemme hvilken målinger som bør gjennomføres.

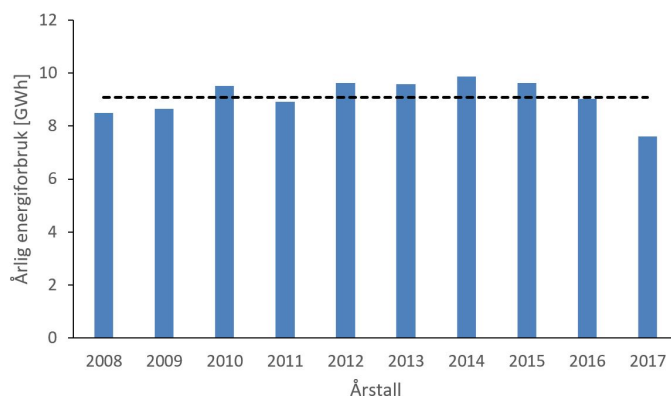
Basert på analyser av data fra Entro og informasjon om teoretisk maksimal effekt, ble strategiske målepunkter valgt ut. Valg av målepunkt ble gjort for å få god og representativ informasjon med færrest mulig målepunkt, samt å sikre at punktene er fysisk tilgjengelig for installasjon av måler. Seks målere vil bli installert i perioden desember 2018 til januar 2019: En måler for ventilasjonsanlegg, en for bølgemaskin, to for badstuer og to målere som skal loggføre fire frekvensomformere hver.

Kapittel 5

Resultater

5.1 Årlig energiforbruk ved Pirbadet

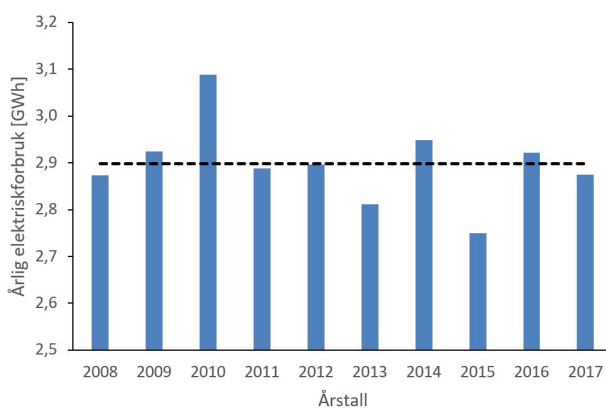
Pirbadet har i gjennomsnitt et totalt energiforbruk på 9,1 GWh per år basert på måledata mellom 2008 og 2017, se figur 5.1. Det totale energiforbruket inkluderer all målt energi fra fjernvarme, fjernkjøling og elektrisk energi. I 2017 utgjorde disse komponentene henholdsvis 60 %, 2 % og 38 % av energiforbruket. Det totale energiforbruket har vært relativt stabilt i hele perioden. Det største avviket var i 2017, da forbruket lå 1,5 GWh under gjennomsnittet. Energiforbruket til og med november 2018 er i samme størrelsesorden som energiforbruket i tilsvarende periode i 2017. Det høyeste registrerte årsforbruket av energi var i 2014 da forbruket var 9,9 GWh.



Figur 5.1: Totalt årlig energiforbruk ved Pirbadet mellom 2008 og 2017. Gjennomsnittlig forbruk i perioden var 9,1 GWh per år.

5.1.1 Elektrisk energi

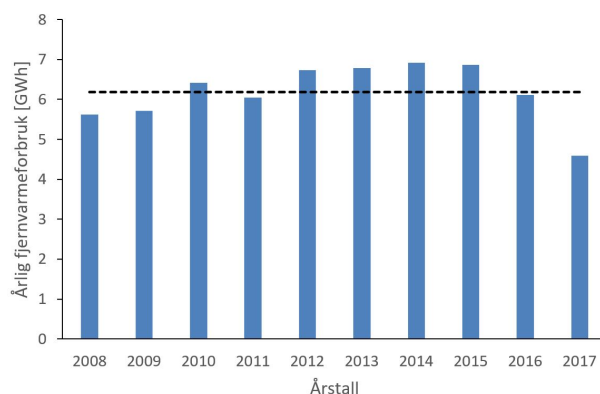
Forbruket av elektrisk energi var 2,9 GWh per år i gjennomsnitt mellom 2008 og 2017, se figur 5.2. Elektrisitetsforbruket var lavest i 2015 med 2,7 GWh, og høyest i 2010 med 3,1 GWh. Basert på tilgjengelige måledata fra 2017 ble 21 % av totalt 2,9 GWh elektrisitet brukt av de fire ventilasjonsanleggene som har egne målepunkt. Det fantes ingen flere målepunkt som beskriver hvordan de resterende 79 % var fordelt i 2017.



Figur 5.2: Årlig elektrisitetsforbruk ved Pirbadet mellom 2008 og 2017. Gjennomsnittlig forbruk i perioden var 2,9 GWh per år.

5.1.2 Fjernvarme

Fjernvarme står for den største delen av energiforbruket ved Pirbadet (60 % i 2017), se figur 5.3. Mellom januar og september 2018 viser innsamlete måledata at 8 % av fjernvarmen ble brukt til ventilasjonsanlegg og 10 % til tappevann. De resterende 82 % kan det ikke redegjøres for, da det kun er ventilasjonsanleggene installert i 2016 og tappevannet som har installert egne målepunkt per september 2018. Sannsynligvis er oppvarming av bassengvann den største delen av det uspesifiserte forbruket, men fjernvarme brukes også til oppvarming av andre deler av bygget som garderober, kontorer, treningsstudio i tillegg til snøsmelting om vinteren (Kjetil Øvretveit, pers med.).



Figur 5.3: Årlig fjernvarmeforbruk ved Pirbadet mellom 2008 og 2017. Gjennomsnittlig forbruk i perioden var 6,2 GWh per år.

5.2 Laster

Dette delkapittelet gir en beskrivelse av de forskjellige lastene på Pirbadet og estimerer maksimum elektrisk effekt per last.

5.2.1 Elektrisk anlegg

De elektriske lastene ved Pirbadet kan deles i hovedkategoriene: ventilasjonsanlegg, oppvarming av vann, roterende utstyr, badstue, lys og

kjøkken. De større lastene drives av 3-fase, 400 V, mens lys og kjøkken drives av 1 fase, 230 V.

Ventilasjonsanlegg

Ventilasjonsanlegget ved Pirbadet kan deles i 8 hoveddeler; 4 ventilasjonsanlegg installert i 2016 og 2 anlegg installert i 2018, se avsnitt 2.1.2. I tillegg er et eldre ventilasjonsanlegg fremdeles i drift for å avfukte luften i det største bassengrommet og et omsirkulerings-aggregat for å sirkulere luftmassene i samme rom. Alle delene av ventilasjonsanlegget forsynes av 3-fase, 400 V. Oversikt over de forskjellige delene av ventilasjonsanlegget med sikringsstørrelser og teoretisk maksimal elektrisk effekt er presentert i tabell 5.1.

Tabell 5.1: Oversikt over ventilasjonssystemet ved Pirbadet. Både sikringsstørrelse og teoretisk maks effekt er per anlegg.

	Antall anlegg	Sikringsstørrelse [A]	Teoretisk maks effekt [kW]
Ventilasjonsanlegg installert i 2016	4	80	48,1 (kVA)
Ventilasjonsanlegg installert i 2018	2	35	16,1 (kVA)
Eldre ventilasjonsanlegg	1	40	28
Omsirkulerings-aggregat	1	5	3,5

De fire ventilasjonsanleggene som ble installert i 2016, har egne målepunkter. Kamstrup 351C måleinstrumenter benyttes. Målerne registrerer effekt per time og sender de loggførte data til Entro hver natt [21].

Oppvarming av vann

Det elektriske bidraget til oppvarming av vann ved Pirbadet er relativt lavt, da fjernvarme hovedsaklig benyttes til å varme opp vannet. Det ble i 2017 installert tre gråvanns-gjenvinnere for å hente ut den resterende varmen fra gråvann som tidligere ikke ble utnyttet, se avsnitt 2.1.2. Gråvanns-gjenvinnerne øker temperaturen i vannet fra vann-nettet fra

ca. 5 °C til ca. 30 °C (Hallgeir Revhaug, pers. med.). Varmepumpene inne i gråvanns-gjenvinnerne er den største elektriske lasten når det gjelder oppvarming av vann ved Pirbadet. Se tabell 5.2 for mer informasjon om elektrisitetsforbruket til varmpumpene brukt i gråvanns-gjenvinnerne.

Tabell 5.2: Informasjon om gråvanns-gjenvinnere (varmpumper) ved Pirbadet. Både sikringsstørrelse og teoretisk maks effekt er per anlegg.

	Antall	Sikrings- størrelse [A]	Teoretisk maks effekt [kW]
Gråvanns-gjenvinner (varmpumpe)	3	25	17 (10,8 kVA)

Roterende utstyr

I gruppen roterende utstyr inngår en bølge-genererende maskin, to strømnings-genererende maskiner, en fjernkjølingspumpe samt flere vannpumper. Den bølge-genererende maskinen lager bølger i et av bassengene, mens de to strømnings-genererende maskinene skaper bevegelse av vannmassene i strømningskanalen. Fjernkjølingspumpen sirkulerer kjøleveske rundt i bygget for å holde nødvendig utstyr kaldt. Med unntak av bølgemaskinen og fjernkjølingspumpen har det resterende roterende utstyret installert frekvensomformere. Den bølge-genererende maskinen kjøres vanligvis i fem minutter hver hele time og har per november 2018 ikke noe målepunkt. Maskinen drives av 3 fase, 400 V, se tabell 5.3 for mer informasjon om elektrisk effekt. Pumpen som benyttes i forbindelse med fjernkjøling, kan ses på som en konstant last med et effektforbruk på 11 kW, tabell 5.4.

Tabell 5.3: Informasjon om bølge-genererende maskin ved Pirbadet

	Antall	Sikrings- størrelse [A]	Teoretisk maks effekt [kW]
Bølge-genererende maskin	1	135	93

Frekvensomformerne har flere innebygde målere, blant annet strøm- og effektmåler, men loggfører ikke måleverdiene. Det finnes en analog output port på hver frekvensomformer og fra denne kan én av de målte

Tabell 5.4: Informasjon om fjernkjølingspumpe ved Pirbadet

	Antall	Målt strøm [A]	Beregnet effekt [kW]
Fjernkjølingspumpe	1	16	11

verdiene hentes ut. Det analoge signalet er mellom 4 og 20 mA, og dette representerer lineært den målte verdien fra null til maksimum. Frekvensomformerne styres av en regulator som setter vannpumpene til høy eller lav drift avhengig av vannmålinger. I tabell 5.5 er det vist antall og maks effekt for det roterende utstyret med frekvensomformere.

Tabell 5.5: Oversikt over roterende utstyr med frekvensomformer ved Pirbadet, oppgitt per anlegg.

	Antall	Maks effekt [kW]
Strømnings-genererende maskin	2	15
Vannpumpe A	2	22
Vannpumpe B	6	18,5
Vannpumpe C	2	15
Vannpumpe D	1	11
Vannpumpe E	6	5,5
Vannpumpe F	1	4
Vannpumpe G	2	3
Vannpumpe H	1	2,2
Vannpumpe I	1	1,5

Badstue

Det er tre badstuer ved Pirbadet som alle drives av elektrisk energi. Den ene er en dampbadstue, mens de to andre badstuene er tørbadstuer varmet av en elektrisk ovn i rommet, se tabell 5.6. Oppvarming av badstuene reguleres av en termostat og en timer. Oppvarming starter 15 minutter før åpningstid og skrur av 15 minutter før stenging (Erlend Lunde SørDAL, pers. med.). I åpningstiden skal badstuene holde en temperatur på mellom 80 °C og 90 °C.

Tabell 5.6: Informasjon om badstuer ved Pirbadet per anlegg.

	Antall	Sikringsstørrelse [A]	Maks effekt [kW]
Dampbadstue	1		12x2
Badstue med elektrisk ovn	2	32	22 (teoretisk)

Lys

Lys på Pirbadet drives av 1-fase, 230 V. Oversikt over lys er presentert i tabell 5.7 og 5.8. Generelt er lysene på i åpningstid, gjennomsnittlig 12 timer hver dag. Det er planlagt å installere sensorer på lyskasterne i våt sone slik at disse kan reguleres etter mengden dagslys. I påbygget som åpnet i begynnelsen av 2018, er det installert LED lys. Resten av lysene er i stor grad halogenlys. Per november 2018 er det ellers kun garderobebelysning som er byttet til LED lys.

Tabell 5.7: Oversikt over lys i våt sone ved Pirbadet

	Antall	Effekt per lysenhet [W]	Teoretisk maks effekt [kW]
Lyskastere	32	400	12,8
Helsebad	58	32	1,9
Langs vegg ved idrettsbasseng	19	13	0,2
Lys i basseng	44	6x2 (24V)	0,5
Påbygg spotlys	72	ukjent	
Påbygg lysrør	68	ukjent	
Restaurant lys	12	ukjent	
Totalt (beregnet)			15,4

Tabell 5.8: Oversikt over lys i tørr sone ved Pirbadet

	Antall	Effekt per lysenhet [W]	Teoretisk maks effekt [kW]
Resepsjon	56	26	1,5
Garderobe tak	92	ukjent	
Garderobe vegg	24	ukjent	
Trappeoppgang	9	ukjent	
Vegglys gang	20	18	0,4
Restaurant	7	70	0,5
Kjøkken	12	26	0,3
Taklys 2. et.	50	26	1,3
Kontorer 2. et.	ukjent		
3. et.	ukjent		
4. et.	ukjent		
5. et.	ukjent		
Kjeller	149	2x28	8,3
Påbygg kjeller	14	ukjent	
Totalt (beregnet)			12,3

Kjøkken

Sikringene på kjøkkenet til Pirbadet var generelt dårlig merket, og det var derfor vanskelig å få oversikt over hvor mye effekt de forskjellige apparatene kan trekke. Se tabell 5.9 for oversikt over sikringsstørrelse og teoretisk maks effekt for de høyeste merkede kursene og de umerkede kursene over 16 A.

Tabell 5.9: Oversikt over de største kursene på kjøkkenet ved Pirbadet

	Antall	Sikringsstørrelse [A]	Teoretisk maks effekt [kW]
Oppvaskmaskin	1	20	4,6
Grill	1	16	3,4
Stikk kjøkken	1	25	5,8
Stikk kjøkken	1	20	4,6

5.2.2 Kontrollerbare elektriske laster

De elektriske lastene ble teoretisk inndelt i kritiske og kontrollerbare laster, se tabell 5.10. Eksempler på kritiske laster er fjernkjølingspumpe og belysning. Eksempler på laster som helt eller delvis kan flyttes er ventilasjonsanlegg og badstuer. Mer informasjon om lastene er nødvendig for å kunne vurdere om de i praksis kan kontrolleres.

Tabell 5.10: Teoretisk klassifisering av laster ved Pirbadet, kritisk eller kontrollerbar.

Laster	Kritisk	Kontrollerbar
Ventilasjonsanlegg		X
Gråvannsgjennvinere		X
Bølge-genererende maskin		X
Strømnings-genererende maskin		X
Fjernkjølingspumpe	X	
Vannpumper		X
Badstuer		X
Lys	X	
Kjøkken	X	

5.2.3 Fjernvarmeanlegg

Fjernvarme er en vesentlig energikilde for Pirbadet. Tabell 5.11 viser en oversikt over hvordan forbruket fordeler seg på forskjellige laster basert på måledata fra eksisterende målepunkt. I kategorien annet forbruk inngår oppvarming av blant annet vann til basseng, garderobe, treningssenteret 3T, kontorer og snøsmelting (Kjetil Øvretveit, pers. med.). Pirbadet planlegger å installere ytterligere to målepunkt for fjernvarme på ventilasjonsanleggene i påbygget fra 2018.

Tabell 5.11: Oversikt over fjernvarmeforbruk ved Pirbadet

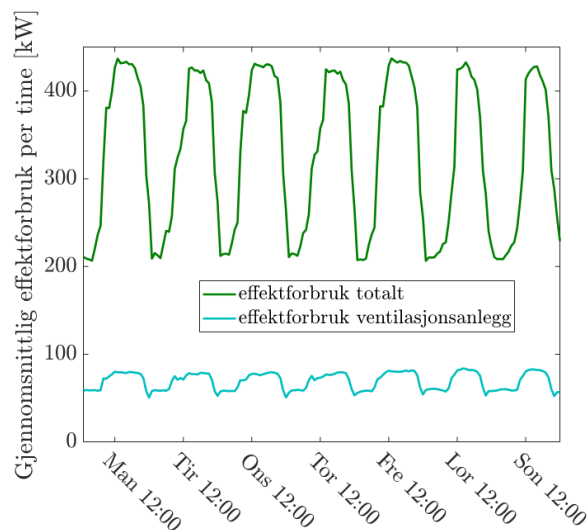
	Antall målepunkt	Forbruk i 2017 [kWh]	% av totalt forbruk
Ventilasjonsanlegg	3	652 460	14,2
Oppvarming av tappevann	2	530 457	11,6
Annet forbruk (beregnet)	0	3 408 372	74,2
Totalt forbruk	1	4 591 291	100

5.3 Energi- og effektforbruk ved Pirbadet i 2017

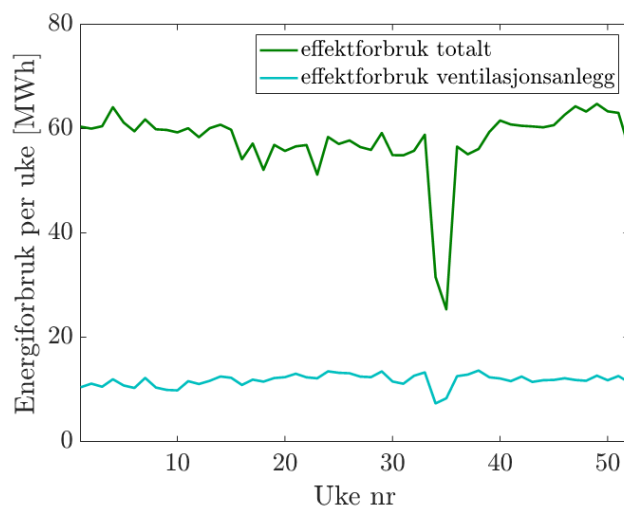
Dette delkapittelet presenterer analyser av innsamlede måledata for Pirbadet i 2017. Måledata er hentet fra Entro [21].

5.3.1 Elektrisk anlegg

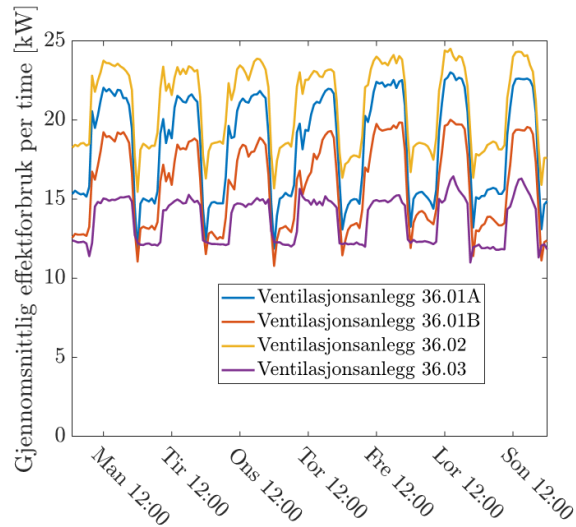
Figur 5.4 og 5.5 viser data fra et målepunkt for det totale elektriske forbruket (inkludert ventilasjonsanleggene) og totalt forbruk for de fire ventilasjonsanleggene som har installert målepunkt. Figur 5.4 viser gjennomsnittlig elektrisk effektforbruk i 2017 per time per ukedag, mens figur 5.5 viser det totale ukentlige elektriske energiforbruket. Figur 5.6 og 5.7 viser gjennomsnittlig effektforbruk per time per uke og totalt ukesforbruk for hvert av de fire målepunktene for ventilasjonsanlegg. Figur 5.8 er et histogram som viser fordelingen av verdiene som er målt som gjennomsnittlig effektforbruk per time. Verdien som hyppigst ble målt som effektforbruk per time var 17-18 kW, som var målt effektforbruk i nesten 1200 av timene i 2017. Figuren viser resultater for ventilasjonsanlegg 36.01A, tilsvarende resultater ble funnet for de andre ventilasjonsanleggene se tillegg A.



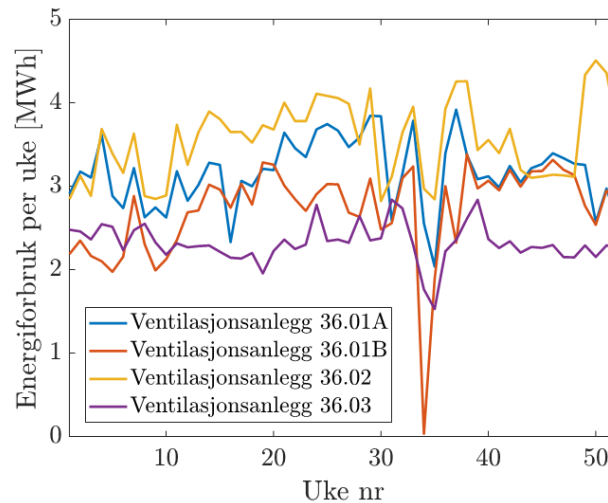
Figur 5.4: Gjennomsnittlig elektrisk effektforbruk per time per ukedag i 2017 for ventilasjonsanleggene og for det totale elektriske effektforbruket (inkludert ventilasjonsanleggene).



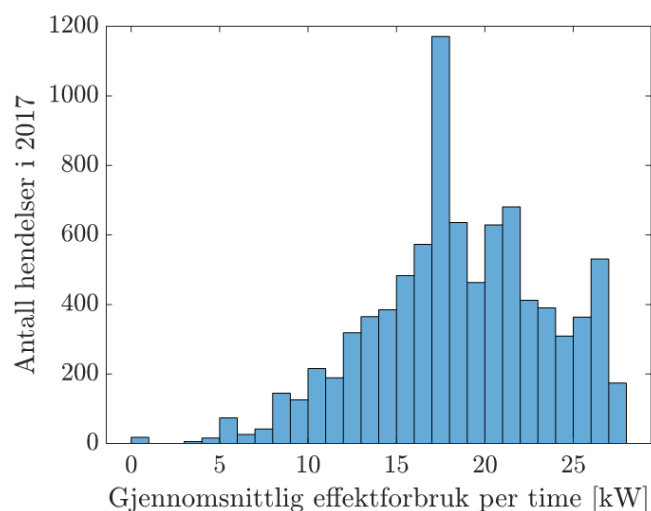
Figur 5.5: Totalt elektrisk forbruk i 2017 per uke for ventilasjonsanleggene og for det totale elektriske forbruk (inkludert ventilasjonsanleggene).



Figur 5.6: Gjennomsnittlig elektrisk effektforbruk i 2017 for hvert av de fire ventilasjonsanleggene per time per ukedag.



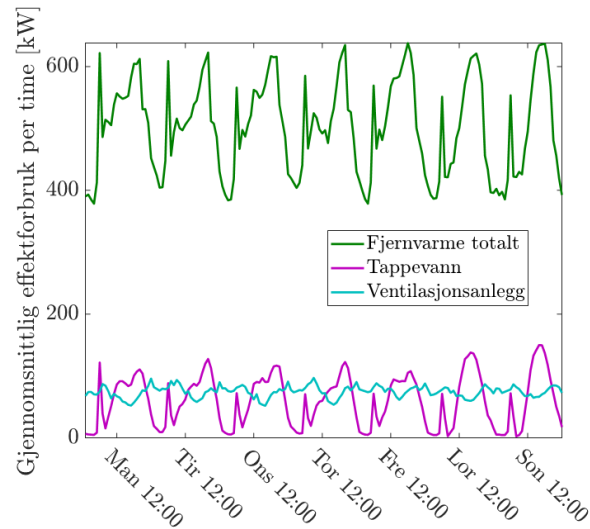
Figur 5.7: Totalt elektrisk forbruk i 2017 per uke for fire ventilasjonsanlegg.



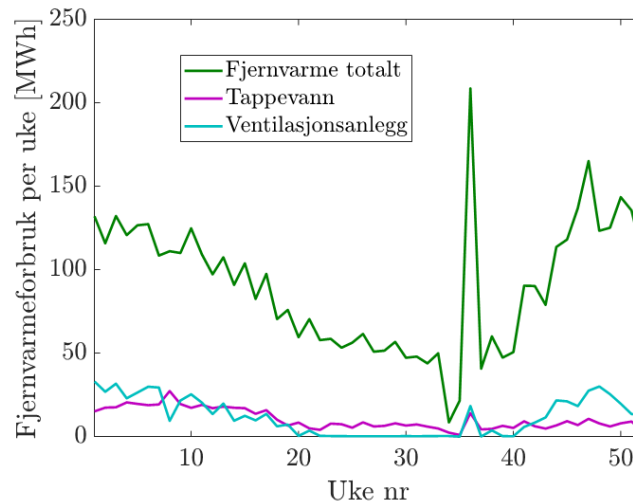
Figur 5.8: Histogram gjennomsnittlig elektrisk effektforbruk per time for et ventilasjonsanlegg (36.01A) basert på målinger fra 2017.

5.3.2 Fjernvarmeanlegg

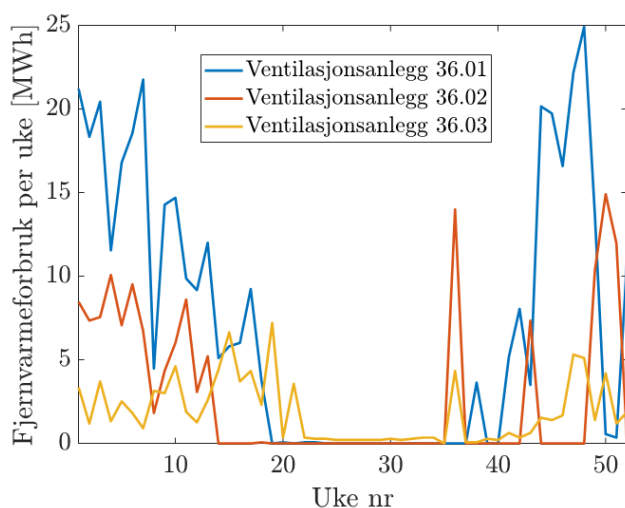
Figur 5.9 viser gjennomsnittlig fjernvarme-effektforbruk i 2017 per time per ukedag basert på data fra måleren for totalt fjernvarmeforbruk, målt forbruk av ventilasjonsanlegg og tappevann. Fjernvarmeforbruk per uke i 2017 er fremstilt i figur 5.10, mens fjernvarmeforbruk for hvert av ventilasjonsanleggene er fremstilt i figur 5.11. Figur 5.12 viser et histogram av de målte fjernvarmeverdiene for ventilasjonsanlegg 36.01, tilsvarende resultater ble oppnådd for de andre fjernvarmeanleggene, se tillegg A.



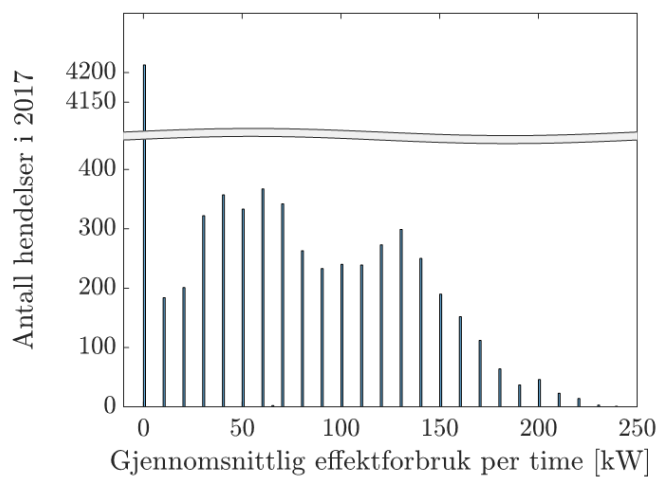
Figur 5.9: Gjennomsnittlig fjernvarmeforbruk i 2017 per time per ukedag for tappevann, ventilasjonsanleggene og det totale forbruket.



Figur 5.10: Fjernvarmeforbruk per uke for tappevann, ventilasjonsanleggene og totalt forbruk, basert på målinger fra 2017.



Figur 5.11: Fjernvarmeforbruk i 2017 for de fire ventilasjonsanleggene (36.01 er fellesmåling av 36.01A og 36.01B) per uke.



Figur 5.12: Histogram av fjernvarmeforbruk per time for ventilasjonsanlegg 36.01 basert på målinger fra 2017.

5.4 Krav til måleinstrument

Basert på litteraturstudiet, se avsnitt 2.6, ble følgende faktorer vektlagt for valg av måleinstrument [18]:

- Nøyaktighet på minimum ± 2 % for måling av strømforbruk
- Måleintervall på 1 minutt
- Måleinstrument som krever lite spesialkompetanse for installasjon
- Måleinstrument som benytter WiFi som kommunikasjonsprotokoll
- Kostnad
- Tilgjengelighet

Måleinstrumentet ELITEpro XC™ Portable Power Data Logger ble valgt [26]. Det oppfyller de ønskede krav til nøyaktighet med bedre enn ± 1 % nøyaktighet og mulighet for et måleintervall på ett sekund. Det finnes detaljerte instruksjoner på oppkobling og programmering av målerne. Den praktiske installeringen må gjennomføres av en elektriker da det er snakk om å måle kretser opp til 135 A. Det er mulig å benytte WiFi for å sende data fra målerne til en ekstern bruker. Prisen per måler er 1500 \$, ikke inkludert nødvendige kabler.

Kapittel 6

Diskusjon

Pirbadet har et stort årlig energiforbruk, med elektrisk energi og fjernvarme som energikilder. Forbruket fordeler seg på laster av svært ulik art og størrelse, hvor noen av lastene er kontrollerbare basert på en teoretisk vurdering. Ytterligere informasjon om de ulike lastenes effektforbruk er nødvendig for å vurdere hvordan lastene i praksis kan kontrolleres.

6.1 Årlig energiforbruk ved Pirbadet

Basert på målingene for årlig energiforbruk ved Pirbadet, se figur 5.1, kan det i 2017 observeres en tydelig reduksjon i forbruk med 1.5 GWh under gjennomsnittet. Det totale energiforbruket i 2018 følger samme trend som i 2017. Det ble installert nye ventilasjonsanlegg i slutten av 2016 og gråvann-gjenvinnere i 2017. Nyinstallasjonene gir økt energieffektivitet og kan være medvirkende årsaker til at energiforbruket er redusert i 2017 og 2018.

6.1.1 Elektrisk energi

Elektrisitetsforbruket hadde større årlige variasjoner enn det totale energiforbruket, se figur 5.2. Nærmere undersøkelse av datagrunnlaget tyder på problemer med måleinnsamling høsten 2015. Mellom slutten

av august og midten av oktober dette året virker det som om hele eller deler av måleinnsamlingssystemet har sluttet å fungere, da det ble registrert et vesentlig lavere forbruk dette året enn i samme periode for andre år. Hvis man ser bort fra disse månedene, lå forbruket i 2015 på gjennomsnittet.

2013 skiller seg også ut med lavt elektrisk energiforbruk. Dette skyldes sannsynligvis at velværeavdelingen var under oppussing. Velværeavdelingen inneholder blant annet de tre badstuene som kun blir oppvarmet av elektrisk energi.

Motsatt skiller året 2010 seg ut med et høyt elektrisk energiforbruk. Det er vanskelig å finne eksakt årsak på grunn av lite data og skifte av teknisk personell. Teknisk leder har en hypotese om at dette kan skyldes høyere innstilt vanntemperatur i enkelte av bassengene, men dette var før han selv startet å jobbe ved Pirbadet. En annen mulig forklaring er lav utetemperatur. Gjennomsnittstemperaturen for 2010 var 2,2 °C kaldere enn gjennomsnittstemperaturen for perioden 2008 til 2017 [27]. Fjernvarme utgjør imidlertid det største bidraget til oppvarming, det er derfor mindre sannsynlig at utetemperatur vil påvirke forbruk av elektrisk energi.

6.1.2 Fjernvarme

Det årlige fjernvarmeforbruket, se figur 5.3, gjenspeiler forbruksreduksjonen i 2017 som ble observert i det totale energiforbruket. I 2017 var fjernvarmeforbruket 4,6 GWh, altså 1,5 GWh under gjennomsnittet for perioden 2008 til 2017. Trenden i forbruket for 2018 ligner på forbruket i 2017. Dette kan tyde på at nyinstallasjonene av ventilasjonsanlegg og gråvanns-gjenvinnere har vesentlig redusert fjernvarmeforbruket til Pirbadet.

6.2 Laster

Lastenes effektforbruk er hovedsaklig estimert basert på maksimal effekt og teoretisk maksimal effekt, da dette er verdier som kan finnes i

de fleste tilfeller uten å ha et måleinstrument. Disse estimatene gir en indikasjon på hvor mye en last kan bidra til effekttopper, men vil i mange tilfeller gi en overestimering av lastenes bidrag ettersom maksimal teoretisk effekt kan være betydelig større enn det faktiske maksimale effektforbruket. Direkte målinger er derfor essensielt for å vurdere hvor mye de ulike lastene faktisk bidrar til effektforbruket.

Kontrollerbare elektriske laster

Fjernkjølingspumpe, lys og kjøkken ble kategorisert som kritiske laster, altså laster som ikke kan flyttes i tid uten at dette går ut over drift. Øvrige laster ble kategorisert som helt eller delvis kontrollerbare, ettersom det er teoretisk mulig å kontrollere disse, se tabell 5.10. Det er imidlertid stor variasjon i hvilken grad det kan være mulig å kontrollere disse lastene.

Ventilasjonsanlegg

I litteraturen blir termiske laster som ventilasjonsanlegg ofte trukket frem som eksempler på fleksible laster [12], [15]. For et svømmeanlegg er ventilasjon en større utfordring enn det er for andre typer bygg. Det skjer kontinuerlig en avdamping fra basseng, noe som øker luftfuktigheten. En av oppgavene til ventilasjonsanlegget er å sørge for en tilnærmet konstant luftfuktighet på rundt 60 % [6]. En annen utfordring er avdamping av kjemikalier. Det er høy tetthet av kjemikalier nær vannflaten, og å fjerne denne forurensede luften er en viktig oppgave for ventilasjonsanlegget [28]. Dersom ventilasjonsanlegget skal kontrolleres basert på lastprofil, er det avgjørende at den kjemikalieforurensede luften blir fjernet selv når anlegget ikke kjører på maksimal effekt. Det vil antageligvis alltid være nødvendig å kjøre ventilasjonsanlegget i noen grad.

I dag er ventilasjonsanlegget på Pirbadet styrt av en timer og med delvis behovsstyring. Både temperatursensor og fuktighetsmåler brukes i reguleringen av anleggene, og det er gjort undersøkelser for å optimalisere driften (Kjetil Øvretveit, pers. med.). Endringer i drift av ventilasjonsanlegget kan ha stor innvirkning på komfort i bygget.

Oppvarming av vann

Elektrisitetsforbruket til oppvarming av vann på Pirbadet går til drift av varmepumpene i gråvanns-gjenvinnerne. Disse er i noen grad kontrollerbare med enkelte restriksjoner. Det er ønskelig at gjenvinnerne er på maks når de er virksom og at de skal være aktive i lengre perioder. Oppvarming av lavtemperert vann bør så mye som mulig skje via gråvanns-gjenvinnerne. Det er viktig at tanken der gråvannet blir oppbevart ikke blir for full. Dette kan føre til at gråvannet må sendes ut av bygget uten at energien er hentet ut fra vannet.

Roterende utstyr

Roterende utstyr inkluderer både kritiske og kontrollerbare laster. Fjernkjølingspumpen sørger for kjøling av viktige driftssystemer og er vurdert som en kritisk last. Fra en vilkårlig måling er effektforbruket beregnet til 11 kW. Her burde det vært gjennomført målinger over lengre tid, eventuelt flere vilkårlige målinger for å sjekke at antagelsen om at lasten er tilnærmet konstant er korrekt. Dette var ikke mulig blant annet på grunn av tid og økonomi.

Det resterende roterende utstyret er kontrollerbart i ulike grader. Den bølge-genererende maskinen er styrt av en timer og er vanligvis på i fem minutter hver hele time, for eksempel kl. 15.00-15.05. Denne er teoretisk mulig å kontrollere, men det vil direkte påvirke publikum. Dersom en plan for når bølgemaskinen skal kjøre lages i god tid før, for eksempel dagen før, og dette kan opplyses om til publikum, vil det i utgangspunktet ikke være et problem å variere driftstidspunktene. Tilsvarende gjelder for den strømnings-genererende maskin. Det er sannsynligvis en fordel å kontrollere bølge- og strømningsmaskinene slik at de ikke anvendes samtidig.

Hvor kontrollerbar vannpumpene er vil avhenge av hvilken funksjonen den spesifikke pumpen har. Generelt er pumpene behovsstyrt og har to settpunkt, høy eller lav. For å sikre vannkvalitet kan sirkulasjonspumpene trolig ikke stoppes. Andre pumper som flytter vann mellom oppbevaringstanker, kan antakeligvis skrus av for en kort periode, men

pumpene bør ikke ha for mange start/stopp-sekvenser.

Badstue

Oppvarming av badstue kan ses på som kontrollerbar last. Per november 2018 reguleres oppvarmingen av termostat (Erlend Lunde Sørдал, pers. med.). I åpningstiden skal badstuene holde en temperatur på mellom 80 °C og 90 °C. Dette gjør det mulig å kontrollere badstuene over korte intervaller ved å varme opp til høy temperatur når det er lite forbruk og redusere eller skru av oppvarmingen når det predikeres at effekttopper vil oppstå. Effektforbruket i badstuene er ønskelig å loggføre da det antageligvis representerer en last som enkelt er kontrollerbar. Det vil også være en fordel å ha temperaturmålinger for å undersøke sammenhengen mellom effektforbruket og temperaturen i badstuene.

Lys

Lys er i utgangspunktet en kritisk last, men kan i enkelte tilfeller være mulig å kontrollere. Eksempler på lyskontrollering er bruk av lyssensorer og bevegelsessensorer, enten for å dimme eller for å koble inn/ut lys. Oversikt over antall lys på Pirbadet er basert på telling av lysarmaturer. Tallene er beheftet med usikkerhet da enkelte områder ikke var tilgjengelig under tellingen. Tallene gir en indikasjon på hvor stor last lysene samlet sett utgjør.

For å redusere virkning av lys på både effekttopper og totalt elektrisk forbruk, kan det være et godt alternativ å bytte til mer energieffektive lyspærer som LED lys. Per november 2018 er det installert LED lys i påbygget, åpnet i 2018, og i garderobene. Teknisk personell ønsker å bytte til LED lys i resten av bygget og testing av mulige LED lys er begynt, men endringen tar tid og krever ressurser.

Kjøkken

Det er ikke mulig å kontrollere kjøkkenutstyret og det vil derfor bli sett på som en kritisk last. Fra litteraturen blir oppvaskmaskin trukket frem

som en mulig kontrollerbar last [12]. I privathjem er antageligvis oppvaskmaskin kontrollerbar da kjøretid og tidspunkt har liten betydning. For Pirbadet er kjøkkenet derimot en del av en restaurant og det er nødvendig at alt teknisk utstyr kan kjøres etter forbrukers ønsker.

6.3 Analyse av innsamlede måledata

I denne oppgaven er det benyttet tall fra målere allerede installert på Pirbadet. Selv om det ville vært en fordel med mer detaljert informasjon, er det mulig å få mye nyttig informasjon om energiforbruket basert på eksisterende målere.

6.3.1 Elektrisk forbruk

Basert på en analyse av loggførte data om elektrisitetsforbruket i 2017, ser det ut som at både det totale elektriske effektforbruket og ventilasjonsanleggenes effektforbruk har en daglig syklus, se figur 5.4 og 5.6. Det er ikke vesentlige endringer i gjennomsnittlig elektrisk forbruk per time per dag, mellom forskjellige dager eller mellom hverdager og helg. Fra figur 5.5 og 5.7 kan det ses at ukentlig forbruk av elektrisitet er relativt stabilt uavhengig av årstid. Unntaket var uke 34 og 35 da forbruket var vesentlig lavere enn vanlig. Dette skyldes at Pirbadet var stengt disse to ukene.

Fra histogrammet i figur 5.8 ser man at ventilasjonsanlegg 36.01A er i tilnærmet kontinuerlig drift. Totalt var det 18 timer i 2017 der anlegget registrerte 0 kW elektrisk forbruk. Lignende er tilfellet for de andre ventilasjonsanleggene, se tillegg A. Histogrammet viser også at ventilasjonsanlegget sjelden bruker mindre enn 8 kW på en time, og dette kan tyde på at det kreves en minste effekt for at ventilasjonssystemet skal kunne kjøre. Det kan også antas fra histogrammet at ventilasjonsanlegget kan styres lineært, for eksempel 56 % drift, uten faste settpunkt.

6.3.2 Fjernvarmeforbruk

Ved å se på gjennomsnittlig forbruk per time per ukedag kan det virke som forbruk av fjernvarme og tappevann har en daglig syklus, mens ventilasjonsanlegget har et mer jevnt forbruk hele døgnet, se figur 5.9. Når dette blir sett i sammenheng med forbruk per uke, figur 5.10 og 5.11, og histogram, figur 5.12 og tillegg A, kan det konkluderes med at gjennomsnittlig forbruk per time per ukedag ikke er en god måte å se på fjernvarmeverdiene. Spesielt ikke for ventilasjonsanlegg da de i nesten halvparten av timene i 2017 ikke brukte fjernvarme. Basert på informasjonen i histogrammene om ventilasjonsanleggene kan det antas at forbruket av fjernvarme kun skjer ved bestemte settpunkt. Det vil derfor antageligvis ikke være mulig å kontrollere forbruket lineært, og det kan tyde på raske endringer i forbruk.

Gjennomsnittlig forbruk per time per ukedag for totalt forbruk har mer betydning da det brukes nær kontinuerlig noe fjernvarme. Figur 5.10 viser klart at totalt forbruk varierer med årstid. I sommerhalvåret, ca. uke 15 til uke 40, er det betydelig lavere fjernvarmeforbruk enn vinterhalvåret. Unntaket er uke 36 da forbruket var vesentlig høyere enn andre uker i 2017. Dette skyldes antageligvis at store vannmasser ble varmet opp etter at Pirbadet hadde vært stengt.

6.4 Fremtidig innhenting av måledata

Måleinstrumentene som allerede er installert på Pirbadet, oppfyller ikke ønskede krav til måleinstrument, definert i avsnitt 5.4. Det er spesielt måleintervallet som ikke blir oppfylt, da det kun måles med intervall på en time. Fra kravspesifikasjonen er det ønskelig at måleinstrument har måleintervall på ett minutt. Det ble undersøkt om frekvensen på loggførte målinger kunne økes. Det er teknisk mulig å endre måleintervallet til hvert femte minutt, men på grunn av hvordan Entro mottar data, er det i praksis ikke gjennomførbart. Det er også nødvendig med flere måledata for de forskjellige lastene, dette gjøres ved å øke antall målepunkt. For videre arbeid er det derfor viktig at det installeres måleinstrument med de ønskede spesifikasjonene på utvalgte laster.

6.4.1 Krav til måleinstrument

Måleintervall på ett minutt er regnet som passende for å måle elektrisk effektforbruk [19]. Kortere måleintervall bør vurderes dersom større roterende laster skal måles, da startstrømmen på roterende utstyr ofte er høy. Dersom både minimums- og maksimumsverdi blir loggført i tillegg til gjennomsnittsverdi, kan dette gi en kontroll på om det er for lange måleintervall. Er det stor variasjon mellom registrerte minimums- og maksimumsverdier, bør kortere måleintervall vurderes.

Kostnader er ofte en begrensende faktor i slike prosjekter. Måleinstrumenter er dyre, og det er nødvendig å holde antall målepunkter lavt slik at prosjektet ikke blir for kostbart. Når det gjelder kommunikasjonsprotokoll, er det installert WiFi på Pirbadet. Det er ønskelig å benytte dette for å holde kostnader lave og for å hente ut måleverdier uten å være fysisk tilstede.

Tilgjengelighet er også en begrensende faktor da dette prosjektet skal gjennomføres i perioden august 2018 - juni 2019. Den viktigste årsaken til at nettopp ELITEpro XC™ Portable Power Data Logger ble valgt som måleinstrument, var tilgjengelighet. Veileder hadde fire ELITEpro måleinstrumenter tilgjengelig. Da det var ønskelig med flere målepunkter, ble det bestilt to ekstra ELITEpro måleinstrumenter slik at likt utstyr blir benyttet i alle målepunktene.

6.4.2 Valg av målepunkt

Pirbadet er et stort anlegg bestående av mange laster. Det er ikke mulig å måle samtlige laster både av praktiske og økonomiske årsaker. Det er derfor essensielt at måleinstrumentene installeres på nøye utvalgte steder, slik at de kan gi god og representativ informasjon om effektforbruket ved Pirbadet.

Ventilasjonsanlegg

Basert på informasjon om gjennomsnittlig elektrisk effektforbruk per time per ukedag i 2017, figur 5.4, utgjør ventilasjonsanleggene ca. en

femdel av daglig effekttopp. Det er ønskelig å få et mer detaljert bilde av forbruket for å se om det er større variasjoner i forbruk innenfor hver klokke time eller om forbruket er tilnærmet konstant. For å holde antall målepunkt lavt ble det valgt å kun måle på ett ventilasjonsanlegg med minuttintervall. Anlegg 36.02 ble valgt da det fra timesmålinger virker representativt for ventilasjonsanleggene, og det har den enkleste tilkoblingsmuligheten. Basert på måledata kan forbruket til de andre ventilasjonsanleggene estimeres. Måler med minuttintervall ble installert 12. desember 2018.

Bølgemaskin

Den bølge-genererende maskin har en teoretisk maks effekt på 93 kW. Dersom teoretisk maks effekt er nær den reelle maksimale effekten, kan bølgemaskinen utgjøre en stor del av effektforbruket per time selv om den kun kjøres i fem minutter per time. Ved å installere en måler kan det reelle bidraget til effekttopper fra bølgemaskinen undersøkes. Det vil gjøre det mulig å planlegge reduksjon av andre laster i tidspunkt bølgemaskinen kjøres. Det er planlagt å installere en måler med måleintervall på ett minutt i andre halvdel av desember 2018.

Badstuer

Badstuer kan være en betydelig last som er lett å kontrollere i korte tidsperioder uten at forbruker vil bli påvirket i stor grad. Det er planlagt å installere en måler i andre halvdel av desember 2018.

Strømnings-genererende maskin og vannpumper

Det planlegges å installere to loggførere i begynnelsen av 2019 som hver kan loggføre et målesignal fra fire frekvensomformere. Lastene som skal måles på denne måten, er en av de strømnings-genererende maskinene samt de vannpumpene med størst effekt, se tabell 5.5. Begrensning av kabellengde avgjør hvilke laster som kan måles. Teoretisk kan vannpumpene utgjøre en stor andel av totalt effektforbruk, og det er

derfor ønskelig å kartlegge deres faktiske forbruk og eventuelle trender i forbruket.

Kapittel 7

Konklusjon og fremtidig arbeid

7.1 Konklusjon

Elektrisk energi står for litt over en tredel av Pirbadets energiforbruk. Det har skjedd en reduksjon i totalt energiforbruk ved Pirbadet i 2017 og 2018, sammenlignet med perioden 2008-2016. Dette er antageligvis på grunn av byggtekniske endringer med installasjon av nye ventilasjonsanlegg og gråvanns-gjenvinnere.

Det finnes ingen fullstendig oversikt over hvordan energiforbruket fordeles seg på ulike lastkategorier ved Pirbadet. Det finnes noen målepunkt på det elektriske anlegget som viser at det er klar døgnsyklus i elektrisitetsforbruk, uavhengig av ukedag og årstid.

Større elektriske laster er identifisert innen forskjellige kategorier. Laststørrelse er estimert basert på maksimal teoretisk effekt. Dette gir et overslag, men de fleste laster vil antageligvis aldri nå dette effektforbruket. Store laster er videre blitt kategorisert som kontrollerbare, altså mulig å redusere eller flytte i tid, eller kritiske, altså ikke mulig å endre.

Dagens målere ved Pirbadet gir en grov oversikt over gjennomsnittlig effektforbruk per time. For å kunne vurdere hvilke laster som i praksis kan være kontrollerbare, er det viktig å få bedre oversikt over hvordan

de ulike lastene kan styres og deres effektforbruk. Det er nødvendig å installere målere på flere målepunkter og innhente data med kortere intervaller. Måleren ELITEpro XC™ Portable Power Data Logger er valgt ut som foretrukket måler for dette arbeidet.

7.2 Fremtidig arbeid

Resultatene fra denne oppgaven gir en helhetlig oversikt over Pirbadets struktur og totalt energi- og effektforbruk. For å redusere topper i effektforbruket, er det nødvendig med mer detaljerte data og analyser. Dette vil bli gjort i en masteroppgave våren 2019, hvor blant annet følgende vil inngå:

- Installere flere måleinstrumenter med måleintervall på ett minutt for å skaffe en bedre oversikt over store lasters effektforbruk
- Estimere den reelle maksimale effekten av større laster
- Vurdere hvordan større laster i praksis kan kontrolleres
- Estimere størrelsen av effektreduksjon ved Pirbadets dersom lastene kontrolleres

Bibliografi

- [1] Bakke AM, Paulen SL. Status og prognoser for kraftsystemet 2016. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE); 2016.
- [2] Fiksen K, Tennbakk B, Noreng CH, Åsmund Jenssen. Kommentar til NVEs konseptthøring om tariffer i distribusjonsnettet. THEMA; 2015.
- [3] Olje- og energidepartementet. Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven); 2017. Lovdata. Available from: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1990-06-29-50/KAPITTEL_5#%C2%A75-2.
- [4] Energi A. Effektmåling; 2018. Aksessert: 08/12/18. Available from: <https://www.aenett.no/kundeforhold/kundebetingelser/kundebetingelser-bedriftskunde/effektmaling/>.
- [5] Leafhill AS GGL. Smarte bygg som del av det norske energisystemet; 2018. Rapport for Statsbygg. Available from: <https://www.statsbygg.no/files/nyheter/SmarteByggDelEnergisystemet.pdf>.
- [6] Kampel W. Energy efficiency in swimming facilities [PhD Thesis]. NTNU; 2015.
- [7] Senter for idrettsanlegg og teknologi . Tidligere oppgaver;. Aksessert 25/08/18. Available from: <https://www.ntnu.no/web/siat/tidligere-oppgaver>.
- [8] Enova. Energioppfølging i næringsbygg – en innføring; 2004.
- [9] Svømmebadsteknologi TI. Spar på energien i din svømmehal - godt for miljøet og din bundlinje; 2015. Availab-

le from: <https://www.teknologisk.dk/ydelser/svoemmebade/spar-paa-energien/22647>,10.

- [10] Lien JP, Øyvind Witsø Jacobsen. Energigjenvinning fra gråvann i badeanlegg [Bachelor's Thesis]; 2017.
- [11] Meland P, Wahl TS, Tjeldflåt A. Forbrukerfleksibilitet i det norske kraftmarkedet; 2006. NVE. Available from: <https://docplayer.me/5514518-Forbrukerfleksibilitet-i-det-norske-kraftmarkedet.html>.
- [12] Chen Y, Xu P, Gu J, Schmidt F, Li W. Measures to improve energy demand flexibility in buildings for demand response (DR): A review. *Energy Build.* 2018;177:125 – 139. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778818310387>.
- [13] Proffitt E. Profiting from Demand Side Response; 2016. Major Energy Users' Council. Available from: http://powerresponsive.com/wp-content/uploads/2016/11/ng_meuc-dsr-book.pdf.
- [14] Lund PD, Lindgren J, Mikkola J, Salpakari J. Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2015;45:785 – 807. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115000672>.
- [15] Shao S, Pipattanasomporn M, Rahman S. Development of physical-based demand response-enabled residential load models. *IEEE Trans Power Syst.* 2013;28(2):607–614.
- [16] Shen J, Jiang C, Li B. Controllable Load Management Approaches in Smart Grids. *Energies.* 2015;8(10):11187–11202. Available from: <http://www.mdpi.com/1996-1073/8/10/11187>.
- [17] Ottesen SO, Tomasgard A. A stochastic model for scheduling energy flexibility in buildings. *Energy.* 2015;88:364 – 376. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215006301>.
- [18] Ahmad MW, Mourshed M, Mundow D, Sisinni M, Rezgui Y. Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions for future research. *Energy Build.*

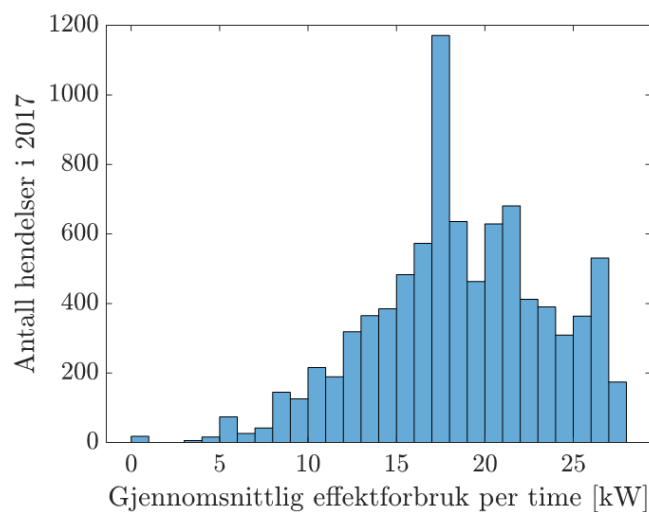
- 2016;120:85 – 102. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816302158>.
- [19] Lanzisera S, Dawson-Haggerty S, Cheung HYI, Taneja J, Culler D, Brown R. Methods for detailed energy data collection of miscellaneous and electronic loads in a commercial office building. *Build Environ*. 2013;65:170 – 177. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313001157>.
- [20] Kintner-Meyer M. Opportunities of Wireless Sensors and Controls for Building Operation. *Energy Eng*. 2005;102(5):27–48. Available from: <https://doi.org/10.1080/01998590509509441>.
- [21] Entro. Entro hjemmeside;. Available from: <https://www.entro.no/>.
- [22] Pirbadet. Pirbadet hjemmeside;. Available from: <https://www.pirbadet.no/>.
- [23] Menerga. Menerga hjemmeside;. Aksessert: 08/09/18. Available from: <http://www.menerga.no/>.
- [24] Danfoss. Danfoss hjemmeside;. Aksessert: 08/09/18. Available from: <http://www.danfoss.no/home/#/>.
- [25] Kamstrup. Kamstrup hjemmeside;. Aksessert: 08/09/18. Available from: <https://www.kamstrup.com/no-no>.
- [26] DENT Instruments. ELITEpro XC™ Portable Power Data Logger;. Aksessert 25/10/18. Available from: <https://shop.dentinstruments.com/collections/test-measurement/products/elitepro-xc-power-meter?src=img>.
- [27] eKlima. Gratis tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klima-data fra historiske data til sanntidsobservasjoner;. Aksessert: 08/10/18. Available from: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- [28] Aas B, Kampel W. Effektiv energibruk i svømmeanlegg; 2018. Aksessert 25/08/18. Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT). Available from: <https://www.godeidrettsanlegg.no/aktuelt/effektiv-energibruk-i-sv%C3%B8mmeanlegg>.

Tillegg A

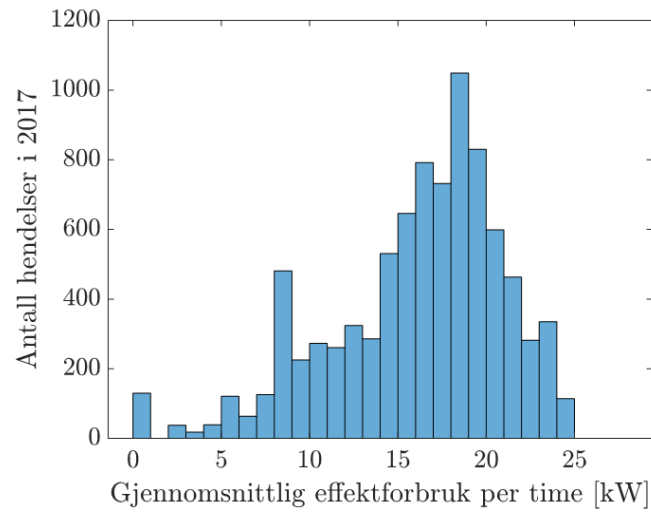
Histogrammer

I dette tillegget er histogrammer for gjennomsnittlig effektforbruk per time presentert. Både ventilasjonsanlegg og det totale forbruket for det elektriske anlegget (figur A.1 til A.5) og fjernvarmeanlegget er inkludert (figur A.6 til A.9). Alle histogrammene er basert på målinger fra 2017.

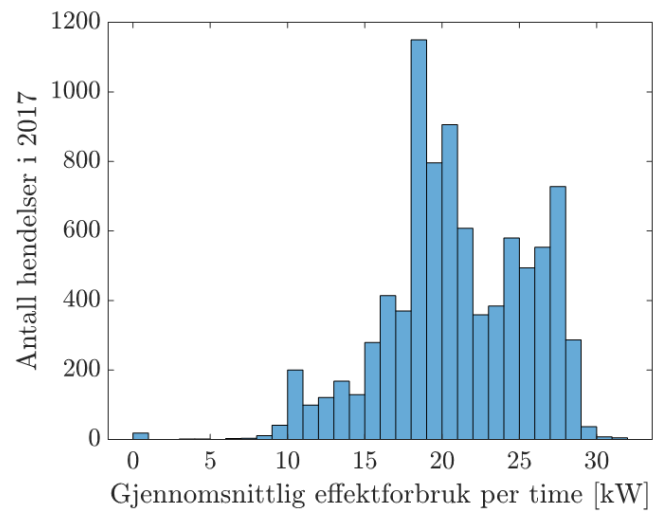
A.1 Elektrisk anlegg



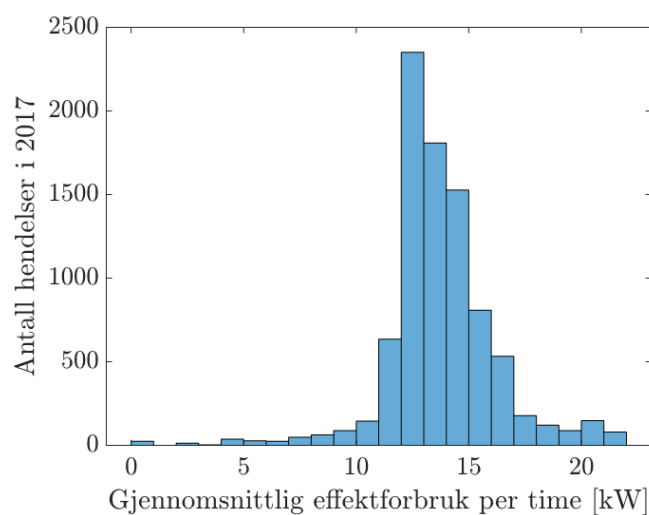
Figur A.1: Histogram av gjennomsnittlig elektrisk effektforbruk per time for et ventilasjonsanlegg (36.01A) basert på målinger fra 2017.



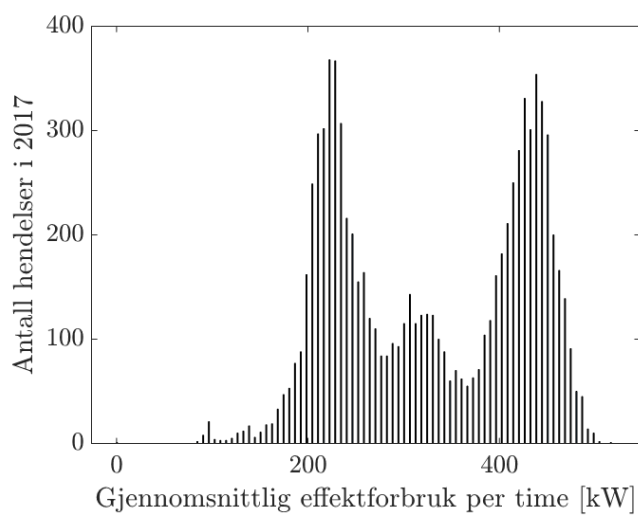
Figur A.2: Histogram av gjennomsnittlig elektrisk effektforbruk per time for et ventilasjonsanlegg (36.01B) basert på målinger fra 2017.



Figur A.3: Histogram av gjennomsnittlig elektrisk effektforbruk per time for et ventilasjonsanlegg (36.02) basert på målinger fra 2017.

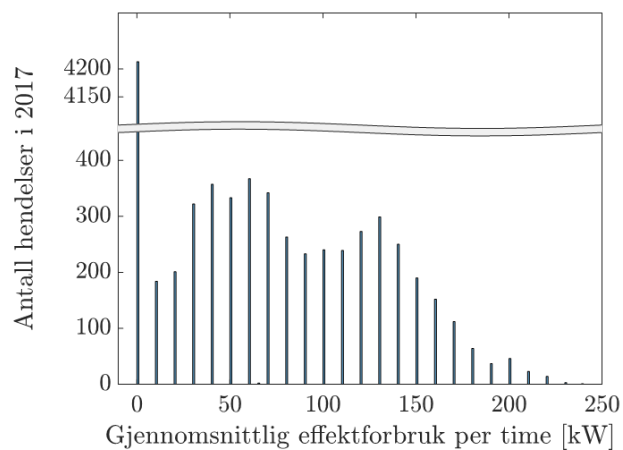


Figur A.4: Histogram av gjennomsnittlig elektrisk effektforbruk per time for et ventilasjonsanlegg (36.03) basert på målinger fra 2017.

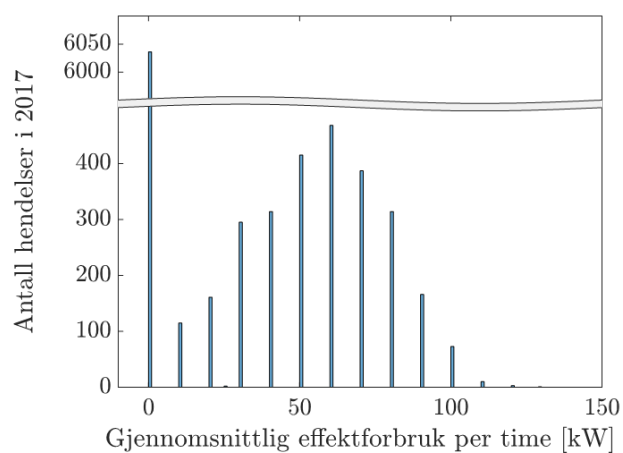


Figur A.5: Histogram av gjennomsnittlig elektrisk effektforbruk per time basert på målinger fra 2017.

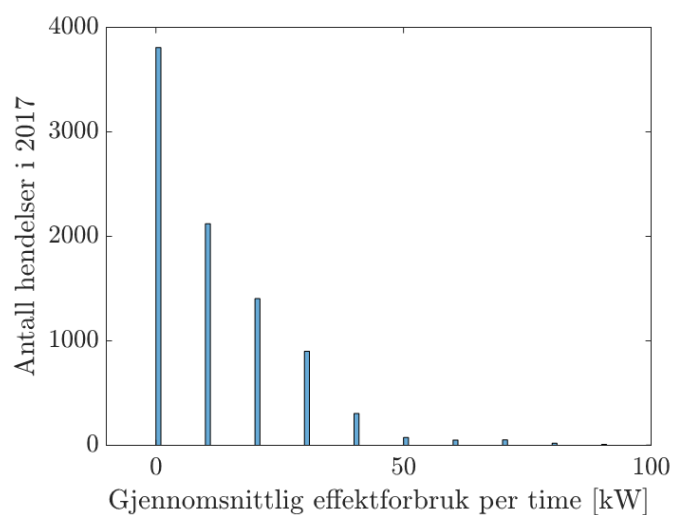
A.2 Fjernvarmeanlegg



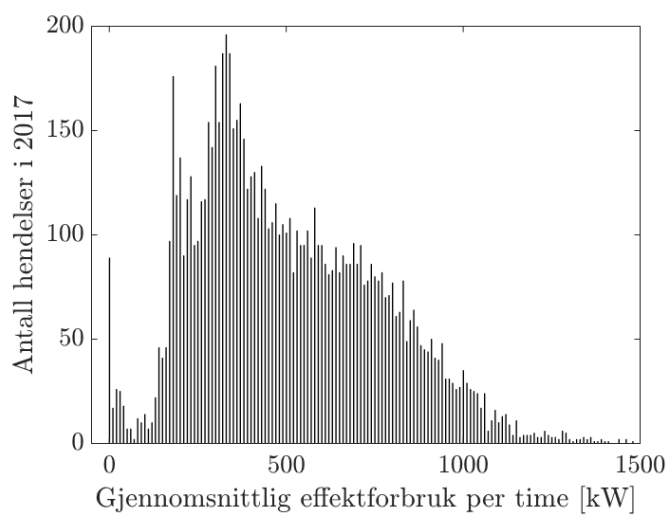
Figur A.6: Histogram av gjennomsnittlig fjernvarme effektforbruk per time for et ventilasjonsanlegg (36.01) basert på målinger fra 2017.



Figur A.7: Histogram av gjennomsnittlig fjernvarme effektforbruk per time for et ventilasjonsanlegg (36.02) basert på målinger fra 2017.



Figur A.8: Histogram av gjennomsnittlig fjernvarme effektforbruk per time for et ventilasjonsanlegg (36.03) basert på målinger fra 2017.



Figur A.9: Histogram av gjennomsnittlig fjernvarme effektforbruk per time basert på målinger fra 2017.