

Reduksjon av effekttopper i kontorbygg

Marie Sveen Olsen

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, IEL

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

NTNU



MASTEROPPGAVE

- Kandidatens navn : Marie Sveen Olsen
- Emne : TET4915 Energiplanlegging og miljøanalyse, masteroppgave
- Oppgavens tittel (norsk) : **Reduksjon av effekttopper i kontorbygg**
- Oppgavens tittel (engelsk) : Reduction of power peaks in commercial buildings
- Oppgavens tekst : Begrensning i tilgjengelig effekt er blitt en stor utfordring for norsk elektrisitetsforsyning. Dette gjelder på flere nivå i nettet, og løsningen kan være å prise effekt slik at sluttbrukerne selv i stor grad bidrar til å redusere effekttoppene. Samtidig har en i dag flere muligheter til å glatte ut effektuttakene. Dette kan være lokal produksjon, lagring, og laststyring. På nye bygg kan en i stor grad tilpasse dette i prosjekteringen. For eksisterende bygg derimot, kan det være en større utfordring å finne og velge den rette løsningen, ut fra både bruker, byggeier og samfunnets ønsker og behov. Med utgangspunkt i et eller flere konkrete bygg, skal kandidaten vurdere løsninger for effektutjevning.
- Kandidaten skal
- gjøre rede for samfunnsmessige og økonomiske fordeler ved en reduksjon av effekttopper i kontorbygg.
 - undersøke lastprofil i utvalgte bygg, både nye og eksisterende, og vurdere mulighet og tiltak for utjevning av laster.
 - foreslå en metode for å treffe gode valg av tiltak for ulike typer og utforminger av kontorbygg.
- Oppgavens gitt : 11.01.18
- Besvarelsen leveres innen : 07.06.18
- Besvarelsen levert : 06.06.18
- Kandidatens veileder : Eilif H. Hansen, NTNU

Trondheim, 11.01.18

faglærer

Forord

Denne rapporten er sluttproduktet av en masteroppgave med en belastning på 30 studiepoeng, våren 2018. Rapporten omhandler reduksjon av effekttopper i kontorbygg, og er gjort ved Instituttet for elkraftteknikk på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

Hensikten med arbeidet var å komme med en metode for å redusere effekttopper i forskjellige typer kontorbygg. Dette ble gjort ved å gjennomføre et litteraturstudie, samt å undersøke lastprofilen til to kontorbygg.

Jeg vil rette en stor takk til veileder ved NTNU, Eilif Hugo Hansen. Han har bidratt både med gode råd til den teoretiske delen samt praktisk hjelp til å utføre målinger. En stor takk rettes også til Servicelaben ved Instituttet for elkraftteknikk, og da spesielt Aksel Andreas Reitan og Svein Erling Norum for praktisk hjelp til å utføre målingene ved Geologibygget. Sven-Terje Solum ved NTNU Drift vil jeg også takke, da han har bidratt med informasjon og tilrettelegging for disse målingene. Til slutt vil jeg takke Andreas Otterstad Garnes ved COWI Trondheim, som har hjulpet til med tilgang til måledata og informasjon om Otto Nielsens veg 12E.

Trondheim, 06.06.2018

Marie Sveen Olsen

Sammendrag

Den totale kraftetterspørselen i Norge er forventet å øke fra 133 TWh i 2016 til 146 TWh innen 2030. Lastene knyttet til nettet forventes også å bli mer effektkrevende. I tillegg forventes andelen enkelt regulerbar energi å synke fra 70 % til 58 % i løpet av den samme perioden. Kombinasjonen av dette vil gjøre det vanskelig for det norske strømmettet å håndtere de største effekttoppene.

Formålet med oppgaven er derfor å komme frem til en metode for å anbefale effektutjevningstiltak i kontorbygg, samt beskrive fordelene ved en utjevning.

Dette blir gjort ved å først beskrive de samfunnsmessige og økonomiske fordelene ved en reduksjon av effekttopper, samt gjøre rede for ulike reduksjonsmetoder. Det er mindre utbygging av strømmettet sammen med en muliggjøring av større andel vind- og solkraft som er vurdert som de største fordelene.

Deretter blir lastprofilen til to kontorbygg analysert. Måleresultatene fra Geologibygget viser at det er oppvarming som er mest effektivt å begrense strømb Bruken til, dersom de høyeste effekttoppene skal reduseres. Det er mandag morgen mellom 07:30 og 08:30, samt etter strømbrudd at disse toppene opptrer. For Otto Nielsens veg 12E er det varmpumpe og kjølemaskin som står for 42 % av den høyeste effekttoppen, og jevnt over for 40 % av de 15 høyeste toppene. Toppene oppstår her mellom 11:00 og 12:00 på hverdager med mye aktivitet på kontoret.

Tiltakene som blir anbefalt for Geologibygget er et batteri, en maksimalvokter og å iverksette etterisoleringstiltak. For Otto Nielsens veg 12E er et termisk vannlager anbefalt, sammen med en maksimalvokter.

Lastprofilene og litteraturstudiet danner grunnlaget for en anbefalingsmetode for effektreduserende tiltak i kontorbygg, programmert med Excel VBA. Anbefalingsmetoden er basert på syv kriterier som viser seg avgjørende for hvilke effektreducerende tiltak som bør iverksettes.

Abstract

The total power demand in Norway is expected to increase from 133 TWh in 2016 to 146 TWh by 2030. In addition, the percentage of easily controllable energy is expected to decrease from 70 % to 58 % in the same time period. The combination of these factors will make it difficult for the Norwegian power grid to handle the largest power peaks.

The purpose of this thesis is therefore to come up with a method for recommending peak shaving measures in office buildings, as well as describing the benefits of peak shaving.

This is done by describing the societal and economic benefits of a reduction of power peaks, as well as explaining different reduction measures. The largest benefits come from a lesser expansion of the power grid along with the possibility of a larger share of wind and solar power.

The load profile of two office buildings are analyzed. The results showed that the electricity used for heating creates the largest power peaks, both for Geologibyget and Otto Nielsens veg 12E. For Geologibyget the largest power peaks appeared Monday between 07:30 and 08:30 a.m, in addition to after power outages. In Otto Nielsens veg 12E the heat pump/cooling account for 42 % of the highest power peak, and on average 40 % of the 15 highest peaks. The peaks occur between 11:00 and 12:00 a.m on weekdays.

The peak shaving measures recommended for Geologibyget are installing a battery, a load shedding contactor and to implement more isolation. For Otto Nielsens veg 12E a thermal water storage is recommended, along with a load shedding contactor.

The load profiles and the literature study form the basis of a recommendation method for peak shaving in office buildings, programmed in Excel VBA.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Innholdsfortegnelse	iv
1 Innledning	1
2 Samfunnsmessig og økonomisk gevinst ved reduksjon av effekttopper	3
2.1 Om effekttopper	3
2.1.1 Elektrisk effekt	3
2.1.2 Effekttutjevning	4
2.2 Samfunnsmessig gevinst	4
2.2.1 Mindre utbygging av strømmettet	5
2.2.2 Muliggjør større andel fornybare energikilder	8
2.2.3 Redusert CO ₂ -utslipp	9
2.3 Økonomisk gevinst	11
2.3.1 Økonomisk besparelse for kontorbygg	12
2.3.2 Samfunnsmessig økonomisk besparelse	13
3 Metoder for reduksjon av effekttopper i kontorbygg	15
3.1 Batterilagring	15
3.1.1 Batterilagring knyttet til solcellepanel	17
3.1.2 Batterilagring knyttet til kapasitet i elbilbatterier	19

3.2	Styringssystemer	22
3.3	Termisk lagring	26
3.4	Andre mulige reduksjonsmetoder	31
3.4.1	Tiltak brukeren kan gjennomføre	31
3.4.2	Fjernstyring av laster	31
3.4.3	Andre typer lagring av energi	32
4	Lastprofilgrunnlaget	35
4.1	Kontorbyggene brukt som lastprofilgrunnlag	35
4.1.1	Geologibygget, Høgskoleringen 6	35
4.1.2	Otto Nielsens veg 12E	36
4.2	Utføring av målinger på Geologibygget	38
4.2.1	Tidspunkt for målingene	39
4.2.2	Utstyret brukt til målingene	40
4.2.3	Bakgrunn for og oversikt over kursene målt	41
4.3	Uthenting av datagrunnlaget fra Otto Nielsens veg 12E	44
4.3.1	Målepunktene	44
4.3.2	Energiforbruk	44
4.3.3	Varighetsdiagram	45
5	Presentasjon av måleresultater	47
5.1	Måleresultater fra Geologibygget	47
5.1.1	Stikkontakt- og belysningskurser	47
5.1.2	Varmekurser	51
5.1.3	Utvalgte dager	58
5.2	Måleresultater fra Otto Nielsens Veg 12E	61
5.2.1	Stikkontaktkurser	65
5.2.2	Belysningskurser	67
5.2.3	Kurser til ventilasjon og varmesentralen	69

6	Metode for anbefaling av effektutjevneende tiltak i kontorbygg	73
6.1	Kriterier for anbefaling av tiltak	73
6.2	Anbefaling av tiltak	76
6.2.1	Valgskjema	76
6.2.2	Flytskjema	78
6.2.3	Bassengbakken 1, Trondheim	80
6.3	Anbefalte tiltak for Otto Nielsens veg 12E og Geologibygget	82
6.3.1	Otto Nielsens veg 12E	82
6.3.2	Geologibygget	83
7	Diskusjon	85
7.1	Litteraturstudiet	85
7.1.1	Samfunnsmessige og økonomiske gevinster ved en reduksjon av effekttopper	85
7.1.2	Metoder for reduksjon av effekttopper	86
7.2	Lastprofilgrunnlaget	87
7.3	Måleresultatene	87
7.3.1	Geologibygget	88
7.3.2	Otto Nielsens veg 12E	89
7.4	Metoden for anbefaling av effektutjevneende tiltak i kontorbygg	90
7.4.1	Svakheter ved anbefalingsmetoden	91
7.5	Videre arbeider	92
8	Konklusjon	93
	Bibliografi	99
A	Detaljert kursfortegnelse og oversikt over måletidspunkter	100
B	Oversikt over alle målinger gjort på Geologibygget	102
B.1	Stikkontakt- og belysningskurser	102
B.2	Varmekurser	106

C	Oversikt over alle måleresultater brukt fra Otto Nielsens veg 12	114
C.1	Stikkontaktkurser	115
C.1.1	Effekttopper i løpet av hele måleperioden	115
C.1.2	Effekttopper i løpet av døgnet 23. november 2017	119
C.2	Belysningskurser	123
C.2.1	Effekttopper i løpet av hele måleperioden	123
C.2.2	Effekttopper i løpet av døgnet 23. november 2017	127
D	Flytskjema og kode for anbefaling av effektutjevneende tiltak	131

Kapittel 1

Innledning

Den totale kraftteterspørselen i Norge vil i følge Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) øke fra 133 TWh i 2016 til 146 TWh frem mot 2030. I den samme rapporten [1] blir det også beskrevet hvordan den fremtidige kraftteterspørselen vil bestå av mer effektkrevende laster. Disse lastene vil gjøre det nødvendig med energikilder som er enkle å regulere.

Samtidig er CO₂-avgiften forventet å øke, og dermed vil energikilder som gass og kull bli dyrere. Disse energikildene er heller ikke ønskelig å ha en økning av, da Norge har forpliktet seg til å øke andelen fornybar energi innen 2020. En konsekvens av dyrere gass og kull er at andelen enkelt regulerbare energikilder er forventet redusert fra 70 % til 58 % innen 2030. Dette kan skape problemer for det norske strømmettet [1]. Utgiftene knyttet til utbygging av strømmettet er også forventet å øke. Den totale prisen på utbygging av strømmettet slik at det takler de forventede effekttoppene i 2027 ligger i følge NVE på 140 milliarder kroner [1].

Omtrent 75 % av dagens bygninger vil fortsatt være i bruk om 30 år [2]. Det er derfor viktig å finne løsninger for å redusere effekttopper i de bygningene som allerede eksisterer. Samtidig står yrkesbygg samlet sett for 36 TWh av den totale energibruken på 133 TWh. Dette vil si 27 % av det totale forbruket [3]. I følge Enovas potensial- og barrierestudium for yrkesbygg er det kontorer og forretningsbygg som har det klart største potensiale for reduksjon av energibruk og effekttopper [4]. Det er på grunnlag av dette og tilgangen til lastgrunnlag valgt å fokusere på lastprofilene til kontorbygg.

Formålet med denne rapporten er å komme med en metode som kan gjøre det enklere for kontorbygg å finne ut hvilke effektreducerende tiltak som egner seg best. Dette blir gjort

ved å studere mulige metoder for å redusere effekttopper i kontorbygg, gjøre en grundigere analyse av to valgte kontorbygg, samt presentere grunner til hvorfor denne reduksjonen er viktig både samfunnsmessig og økonomisk.

Rapporten vil starte med å presentere samfunnsmessige og økonomiske fordeler ved en reduksjon av effekttopper, og deretter gjøre rede for forskjellige metoder for å redusere effekttopper i kontorbygg. Målinger gjort på Geologibygget på Gløshaugen og i Otto Nielsens veg 12E på Tyholt vil bli presentert, sammen med fremgangsmåten for å utføre målingene. Deretter vil det bli presentert en metode for å kunne anbefale tiltak som reduserer effekttopper i kontorbygg. Metoden er basert på lastprofilgrunnlaget og litteraturstudiet. Til slutt vil styrker og svakheter ved denne metoden diskuteres og veien videre vil bli presentert.

Kapittel 2

Samfunnsmessig og økonomisk gevinst ved reduksjon av effektopper

Deler av kapittel 2 og kapittel 3 er basert på litteraturstudiet gjort i forbindelse med min prosjektoppgave høsten 2017.

2.1 Om effektopper

Effekt er i Store norske leksikon definert som "omsatt energi per tidsenhet" [5]. Det vil med andre ord si at effekt er et uttrykk for hvor raskt et arbeid utføres. SI-enheten som brukes for å beskrive effekt er Watt [W] som er det samme som Joule [J] per sekund [s]. Enheten [Wh/h] brukes om det er gjennomsnittet av effekt beregnet over en tidsperiode det er snakk om [5].

2.1.1 Elektrisk effekt

Med utgangspunkt i elektrisk effekt er formelen for effekt som følger:

$$P = U \cdot I \tag{2.1}$$

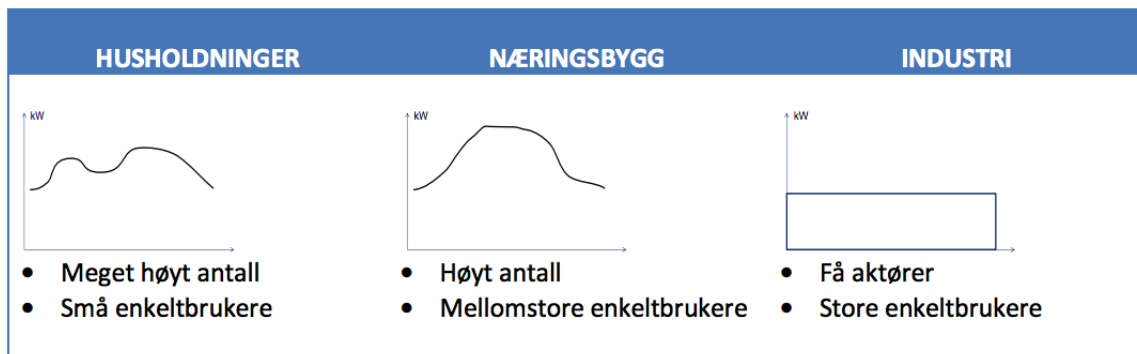
Denne formelen gjelder for beregning av effekt med utgangspunkt i verdier for strøm og

spenning ved likestrøm. Skal det regnes ved vekselstrøm blir formelen:

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\phi) \quad (2.2)$$

2.1.2 Effektutjevning

En effekttopp oppstår ved at mye energi brukes på kort tid. Dette kan for eksempel skje ved at et kontorbygg har senket temperaturen i helgen og skal varme opp hele lokalet mandag morgen eller ved at mange elbiler skal lades opp samtidig. Strømnettet må dimensjoneres etter det momentane høyeste forbruket som kan oppstå. Belastningen på nettet er nasjonalt høyest på morgenen (06:00 til 09:00) og ettermiddagen (16:00 til 20:00) [6].



Figur 2.1: Sammenligning av effekttopper for husholdninger, næringsbygg og industri hentet fra Statnett-rapport [7]

Figur 2.1 viser en kurve for de høyeste effekttoppene i norske næringsbygg sett i sammenheng med husholdninger og industri. Kurven er basert på et større utvalg bygg i Oslo-området analysert av Statnett for å identifisere reduksjonsmuligheter. Her kan det observeres at når effekttoppene oppstår varierer for de forskjellige typene bygg, samtidig er det mye overlapp mellom de høyeste punktene for husholdninger og næringsbygg. Industrien skiller seg ut ved å ha en jevn kurve over hele dagen [7].

2.2 Samfunnsmessig gevinst

Det finnes flere gevinster for det norske samfunn ved å jevne ut effekttoppene. Noen av disse er presentert under:

- Mindre utbygging av strømnettet
- Muliggjør større andel fornybar energi
- Redusert CO₂-utslipp
- Mer pålitelig strømnnett
- Mindre inngripen i naturen

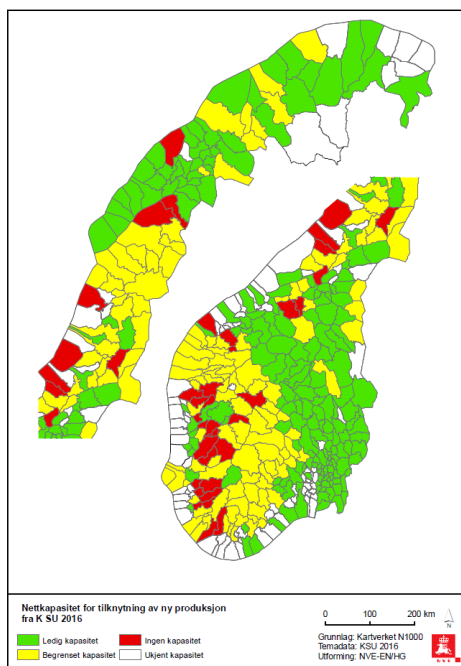
Det er valgt å gå mer i dybden på de tre første fordelene presentert, da dette er de som ble ansett som de største fordelene for samfunnet.

2.2.1 Mindre utbygging av strømnettet

Hovedgevinsten for samfunnet ved å redusere effekttoppene i kontorbygg er å kunne redusere utbyggingen av strømnettet. Grunnen er at strømnettet må dimensjoneres etter den høyeste totale effekttoppen som kan tenkes å oppstå.

Dersom forbruket og toppene fortsetter med samme utvikling som i dag vil det frem mot 2027 koste ca. 140 milliarder kroner å oppgradere strømnettet til å takle pågangen. En utbygging på denne størrelsen vil også gå utover naturområder, samt slippe ut store mengder klimagasser under produksjonen [8].

Hvor godt rustet strømnettet er for å takle det økende forbruket varierer. Figur 2.2 illustrerer hvilke kommuner i Norge som har god kapasitet på strømnettet og mulighet for å tilknytte ny produksjon.

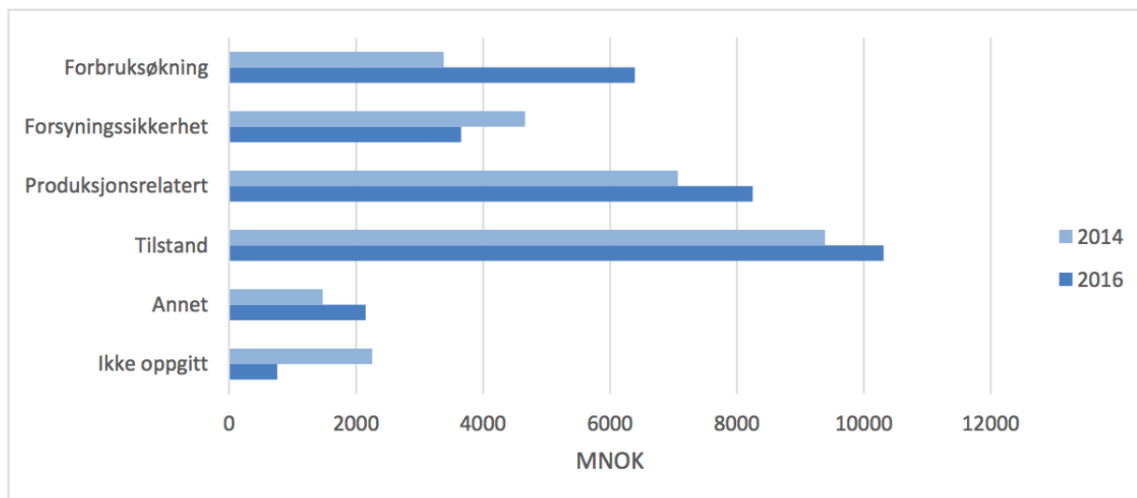


Figur 2.2: Nettkapasitet for tilkobling av ny produksjon, hentet fra NVE-rapport [8].

- *De røde sonene:* Kommuner i landet hvor det ikke er kapasitet til tilknytning av ny produksjon. Det vil si at det heller ikke er mulig å kunne holde følge med den beregnede fremtidige belastningen på nettet.
- *De gule sonene:* Kommuner med begrenset kapasitet. Det vil si at deler av kommunen ikke har noe ledig kapasitet, mens andre deler har ledig kapasitet.
- *De grønne sonene:* Kommuner med ledig kapasitet for ny produksjon i hele kommunen.
- *De hvite sonene:* Kommuner uten tilstrekkelig datagrunnlag for å kunne tilsi hvor mye ledig kapasitet det er.

Et annet viktig moment med å ha nok kapasitet på nettet over hele landet er at det legger til rette for kraftproduksjon i småskala på mange steder. For å oppnå en høy andel fornybar energiproduksjon er det viktig at ikke nettet legger store begrensninger på hvor produksjonen kan gjøres. Det som vil være samfunnsmessig mest gunstig er å kun ha vann-, vind- og solkraftproduksjon der det er ledig kapasitet på nettet, men dette vil legge en stor demper på antallet anlegg som kan tilknyttes nettet. For å nå målet Norge har forpliktet seg til, om en fornybar energiproduksjon på 67,5 % innen 2020 er disse småkraftverkene helt nødvendige. En reduksjon av effekttopper kan føre til mer kapasitet og fleksibilitet på nettet, slik at kraftproduksjon kan bli mulig flere steder [8].

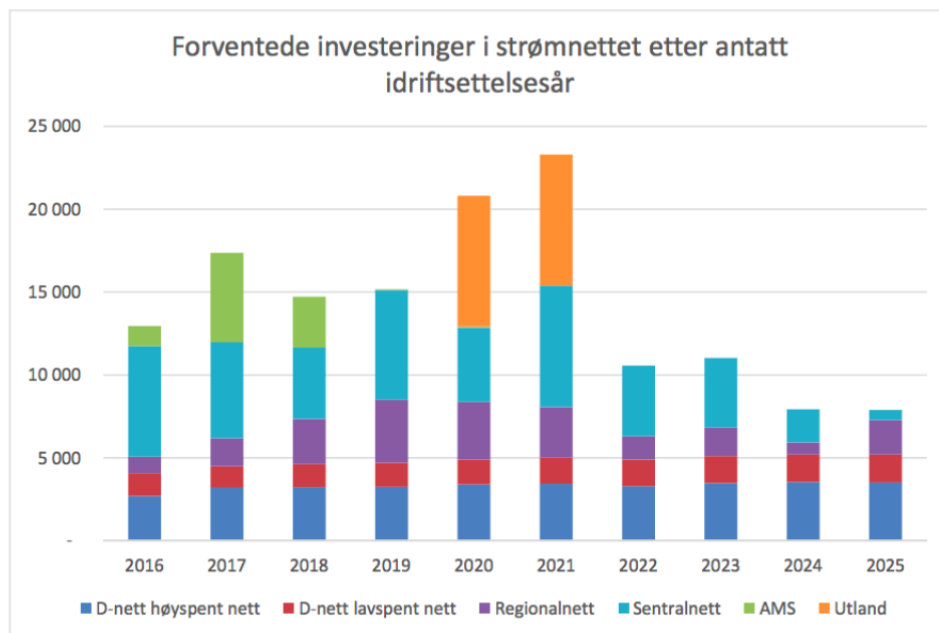
Det er flere grunner til at det skjer store utbygginger i nettet. De viktigste grunnene er presentert i figur 2.3, som også viser forskjellen på utbyggingsgrunnlaget i 2014 og i 2016.



Figur 2.3: Utbyggingsgrunnlag, hentet fra NVE-rapport [8]

Det kommer frem av figur 2.3 at større forbruk har bidratt mer til utbygging i 2016 enn i 2014. Det er høyst sannsynlig at forbruket vil fortsette å øke og dermed sette kapasiteten til nettet videre på prøve. Grunnene til at det er rimelig å anta en økning i forbruket også fremover kommer av at den norske befolkningen og utbyggingen øker, samtidig som antallet svært effektkrevende komponenter øker. Til tross for dette var den største grunnen til utbygging både i 2014 og 2016 at den generelle tilstanden på nettet er for dårlig. Dette kommer av at store deler av strømmettet begynner å bli gammelt og derfor trenger en oppgradering. Dette kan ikke en reduksjon av effekttopper påvirke, men de litt over 6 milliarder kronene knyttet til forbruksøkning er det realistisk å kunne minke.

Figur 2.4 illustrerer hvordan investeringene på 140 milliarder kroner skal fordeles de neste årene, utover: distribusjonsnett høyspent, distribusjonsnett lavspent, regionalnett, sentralnett, AMS-utstyr og utland.



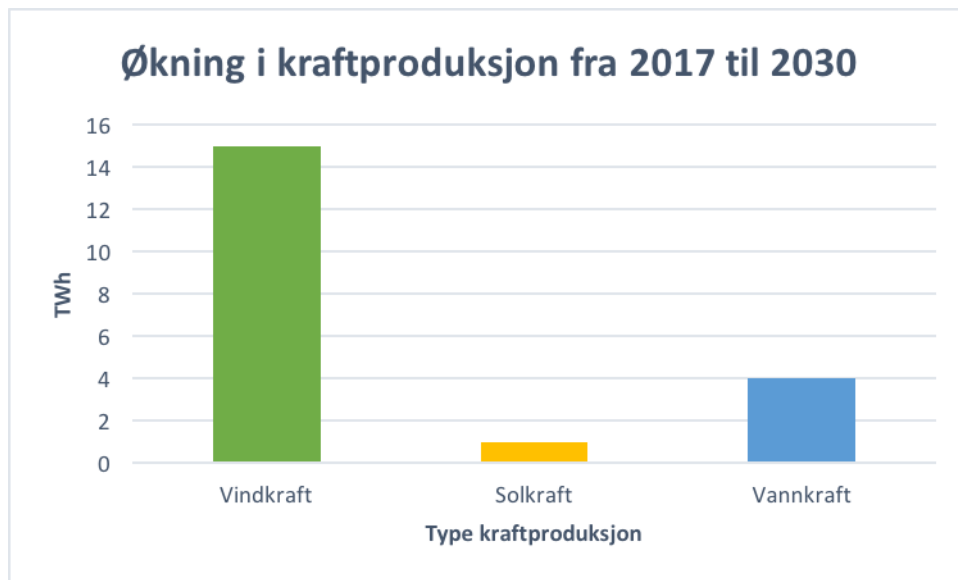
Figur 2.4: Forventet investering i strømnettet, hentet fra NVE-rapport [8]

Som det kommer frem av figur 2.4 vil det de neste årene komme store investeringer i nettet. Etter 2021 vil disse investeringene reduseres noe, men fortsatt ha en betydelig størrelse. Distribusjonsnett lavspent og distribusjonsnett høyspent vil ha en jevn investering frem mot 2025, mens de andre nettene vil variere fra år til år. Innføring av avanserte måle- og styrings-systemer (AMS) i alle husstander vil øke kostnadene i 2016, 2017 og 2018 mens investering i utlandet vil øke kostnadene i både 2020 og 2021. Alle de forskjellige typene strømnnett vil i løpet av denne perioden trenge en investering, og det er derfor viktig at den totale belastningen på nettet går ned. En økning i kraftproduksjon er også en av grunnene til at nettet må utvides, og ikke kun en økning i forbruk. Kombinasjonen av disse to økningene gjør utvidelsen omfattende. Hovedmålet med å redusere effekttopper i kontorbygg vil derfor være å kunne bidra til mindre utvidelse av strømnettet [8].

2.2.2 Muliggjør større andel fornybare energikilder

Frem mot 2030 er andelen enkel regulerbar strøm produsert i Norge forventet å reduseres fra 70 % til 58 %. Grunnen til dette er at de fornybare energikildene vindkraft og solkraft er

forventet en stor økning og de er lite fleksible med tanke på produksjon. Disse energikildene kan ikke så enkelt brukes til å dekke topplastene i nettet. En reduksjon av store effekttopper vil dermed gjøre det enklere å inkludere lite fleksible energikilder. Kull og gass er forventet å bli markant dyrere frem mot 2030, samtidig som vindkraft er forventet å bli lønnsomt for de beste prosjektene allerede i 2020. Figur 2.5 viser hvordan økningen i kraftproduksjon fremover er fordelt mellom vind-, sol- og vannkraft [8].



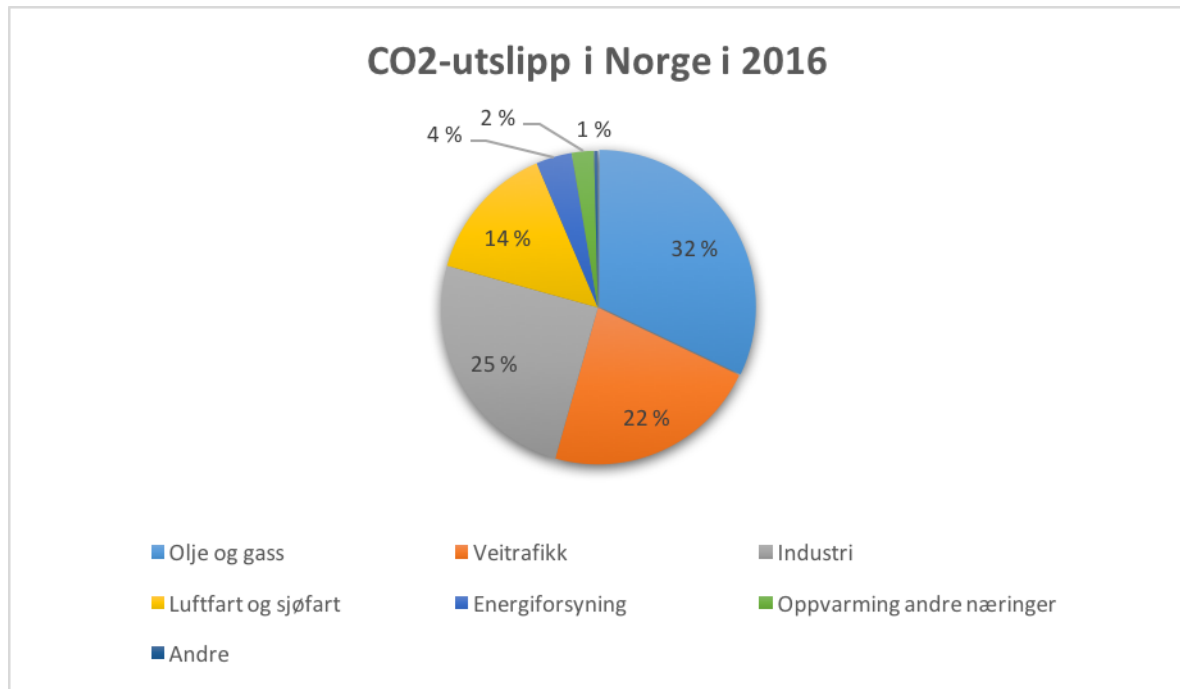
Figur 2.5: Økning i kraftproduksjon fra 2017 til 2030, basert på tall hentet fra NVE-rapport [8]

Den totale økningen i kraftproduksjon i Norge vil ligge på 20 TWh i 2030. Økningen vil, som figur 2.5 illustrerer, være spesielt stor for vindkraft. Dette er en trend som gjelder hele Norden, og økningen i vindkraftproduksjon i Norden vil ligge på 40 TWh. Reduksjonen i produksjon av gass og kull sammen med økningen i produksjon av solkraft og vindkraft vil gjøre det vanskeligere å justere seg raskt etter endringer i forbruket. Selv om vannkraft er en fornybar energikilde som har stor fleksibilitet vil det være en stor fordel om de største svingningene i forbruket ble redusert. På den måten kan andelen solkraft og vindkraft i nettet enklere økes, samtidig som det blir enklere å redusere andelen kull og gass. Det er realistisk å anta at kullkraftproduksjonen i Norden kan ha blitt totalt avviklet innen 2030 [8].

2.2.3 Redusert CO₂-utslipp

For å holde målene Norge har gått med på i samarbeid med EU og i Parisavtalen, er det veldig viktig å få redusert CO₂-utslippene. Parisavtalen sier at "den globale oppvarmingen skal

holdes godt under to grader sammenlignet med førindustriell tid, og landene skal tilstrebe å begrense temperaturøkningen til 1,5 grad" [9]. FNs klimapanel har kommet frem til at det globale CO₂-utslippet står for minst 50 % av temperaturøkningen. Dette fordi CO₂ har en stor innvirkning på drivhuseffekten, som kort fortalt gjør at mer varme fra jorden blir reflektert tilbake på jorden istedenfor ut i verdensrommet [9].



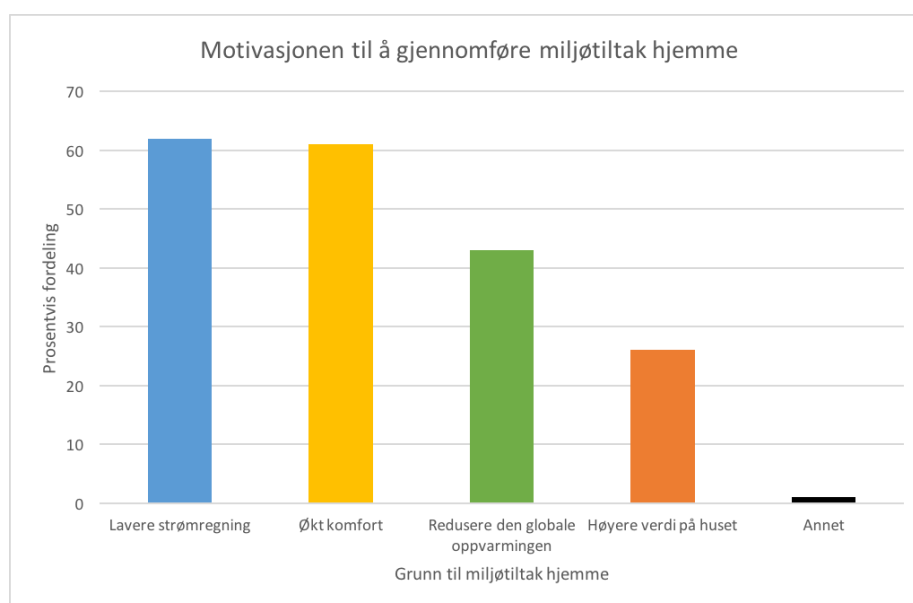
Figur 2.6: Utslipp av CO₂ i Norge, fordelt prosentvis på sektor, basert på tall hentet fra Miljødirektoratet [10]

Figur 2.6 viser at de klart største utslippene kommer fra olje og gass, veitrafikk og industri. Dette tydeliggjør hvor viktig det er å redusere andelen olje og gass. Den eneste måten levestandard i Norge i dag kan opprettholdes på samtidig som utslippene reduseres, er om andelen fornybar energi øker betraktelig. Som diskutert i avsnitt 2.1.2 kan en reduksjon av effekttopper i strømmettet hjelpe til å muliggjøre en stor andel fornybar kraft.

En effektutjevning vil ikke i seg selv føre til en reduksjon av CO₂-utslipp. For at CO₂-utslippene skal reduseres er det viktigste at energiforbruket går ned. Det er spesielt fossile energikilder som i denne sammenheng bidrar sterkt til store utslipp. Dersom det antas at energiforbruket enten holder seg stabil eller minker når tiltakene for å redusere effekttoppene blir satt i gang, er det rimelig å anta en reduksjon i utslipp av CO₂. Både mindre utbygging av nettet og en større andel fornybare energikilder vil føre til en reduksjon av CO₂-utslippene. En reduksjon av effekttopper vil derfor være i tråd med både Parisavtalen og FNs klimamål [9].

2.3 Økonomisk gevinst

Det finnes også økonomiske grunner til at en reduksjon av effekttopper er gunstig. For forbrukere er fortsatt økonomiske goder en stor drivkraft for å gjennomføre miljøtiltak. Figur 2.7 illustrerer motivasjonen og handlingsviljen til norske husholdninger, i en undersøkelse utført av TNS Gallup på bestilling av Naturvernforbundet.



Figur 2.7: Motivasjon for miljøtiltak, basert på tall hentet fra TNS Gallup [11].

Figur 2.7 er basert på data fra en undersøkelse gjort av TNS Gallup våren 2016. Undersøkelsen ble gjort blant 1000 norske husstander. Det var mulig å velge flere av svaralternativene om dette var ønskelig.

Det kommer tydelig frem av figur 2.7 at lavere strømregning og økt komfort hjemme er hovedgrunnene til at miljøtiltak blir gjennomført. I den samme undersøkelsen kom det også frem at kun 18 % av befolkningen var villige til å gjennomføre miljøtiltak hjemme om det ikke var økonomisk gunstig. 29 % av de som ikke gjennomførte miljøtiltak hjemme eller på jobb i dag ville vært villige til å gjøre det dersom det var mer økonomisk lønnsomt. Dette viser hvor viktig det er at en reduksjon av effekttopper også er økonomisk gunstig for at forbrukerne skal være villige til å endre sin adferd og gjøre tiltak. Det er også viktig at informasjonen om de økonomiske gevinstene når frem til forbrukeren på en måte de kan relatere seg til [11].

2.3.1 Økonomisk besparelse for kontorbygg

Beregningen av nett-tariff i kontorbygg består i hovedsak av de samme leddene for alle nettselskaper, men disse leddene er priset forskjellig hos de forskjellige aktørene. Det er videre valgt å ta utgangspunkt i TrønderEnergi Nett sin avtale med næringslivskunder i Sør-Trøndelag, per desember 2017.

Nettleien består av flere ledd som på best mulig måte skal reflektere utgiftene i forbindelse med å forsyne kunden med strøm. Med utgangspunkt i TrønderEnergi Nett skjer prisingen på følgende måte: [12]

- *Fastledd:* 8800 kr per kunde.
- *Effektledd:* 500 kr/kW
- *Energiledd:* 5,0 øre/kWh

Effektleddet er basert på gjennomsnittet i den timen med høyest effekttopp hver måned. Energileddet er basert på den totale energien målt i kWh som blir brukt i bygningen. Ekskludert fra beregningen over er merverdiavgift og forbruksavgifter. Dette er noe alle kunder må betale, men som ikke påvirker de nevnte leddene. NVE har valgt å se bort fra dette når de oppgir de forskjellige nettselskaperes nett-tariffer [12].

Fra og med 1. januar 2006 ble det i henhold til stortingsmelding 18 fra 2003[13], et krav om at alle bygg med energiforbruk over 100 000 kWh/år måtte installere automatiske timesmålere. Bygg med energiforbruk på over 400 000 kWh/år måtte også før 2006 ha automatiske timesmålere. For bygg med energiforbruk mellom 100 000 kWh/år og 400 000 kWh/år endret denne stortingsmeldingen måten effekttariffen hos mange kraft- og nettselskaper er bygget opp på. Noen selskaper opererer fortsatt med årlig avlesning av maksimalt effektuttak for å danne grunnlaget for effekttariffen. Dette kommer av at det før 2006 var nødvendig med manuell avlesning, og det ble dermed vurdert som for ressurskrevende å gjøre disse målingene oftere. Med innføringen av automatisk timesmåler valgte noen selskaper, som for eksempel Troms Kraft å endre til månedlig beregningsgrunnlag for effekttariff. Skagerak Nett var et av selskapene som valgte å gjøre samme endring som Troms Kraft. Forskjellen var at endringen her ikke ble gjort før etter at de nye automatiske timesavlesningene ble analysert, og det ble ansett som nødvendig. Endringen for Skagerak Nett ble dermed gjennomført i 2010. Dette vil si at det i dag finnes både selskaper som bruker årlig avlesning av maksimalt

effektuttak og selskaper som bruker månedlig avlesning av maksimalt effektuttak [14].

Begge typene avlesning gir rom for store økonomiske innsparinger ved å redusere det maksimale momentane effektuttaket, i løpet av året eller måneden. Dette vil med andre ord si at en effekttopp kan måtte betales for en hel måned eller et helt år. Små endringer i bruksmønsteret kan derfor føre til økonomiske innsparinger.

2.3.2 Samfunnsmessig økonomisk besparelse

Som forklart i avsnitt 2.1.2 må strømmettet dimensjoneres etter det momentane høyeste forbruket som kan oppstår. Ved en reduksjon av effekttoppene i flere kontorbygg vil dermed behovet for utbygging minke. Om behovet for utbygging minker vil dette igjen føre til mindre utgifter knyttet til utbygging og dermed generelt lavere utgifter knyttet til forsyning. Siden utvidelse av nettet er en del av det en må betale i tillegg til sitt eget forbruk, vil dermed prisene generelt gå ned. Derfor er det ikke bare en personlig økonomiske gevinst ved å redusere effekttopper, men også en samfunnsmessig økonomisk gevinst.

Slik som det er illustrert i avsnitt 2.2 er det i løpet av 2017 forventet en investering på 17 milliarder kroner knyttet til det norske strømmettet. Den forventede investeringen når i følge NVE sine prognoser en topp i 2021 på hele 24 millioner kroner. Dette er med på å tydeliggjøre hvor store summer det er snakk om og hvorfor det er viktig med tiltak som kan forebygge en enda større utbygging av nettet. Deler av investeringene gjort i nettet er det forbrukerne som skal stå for og om disse kostnadene blir redusert, vil det også føre til en reduksjon i kostnader for alle kunder [8].

Hadde nettselskapenes effekttariff vært beregnet på en helt ideell måte ville de samfunnsmessige besparelsene og de økonomiske besparelsene for kontorbygg alltid ha opptradd sammenfallende. Slik situasjonen er i dag er det ikke gitt at dette er tilfellet. Med energi- og effektledd slik TrønderEnergi Nett opererer med i dag kan det være økonomiske gunstig for kontorbygg å øke energiforbruket for å oppnå mindre effekttopper.

Kapittel 3

Metoder for reduksjon av effekttopper i kontorbygg

Det finnes flere metoder for å redusere effekttopper i kontorbygg. Det er videre i kapitlet valgt å fokusere på følgende tiltak:

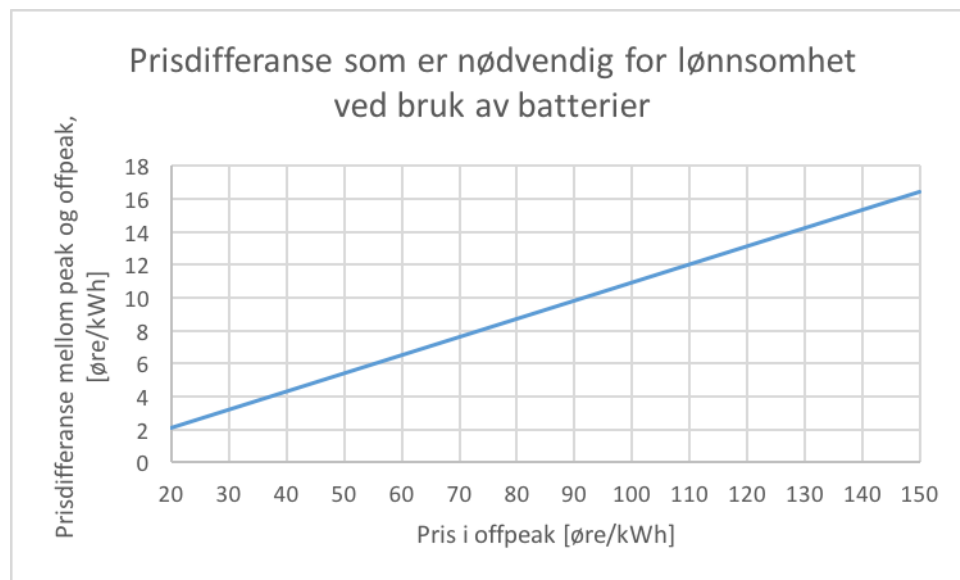
- Batterilagring
- Styringssystemer
- Termisk lagring
- Tiltak forbruker kan gjennomføre
- Fjernstyring av laster
- Andre typer lagring av energi

3.1 Batterilagring

Selv om batterilagring i storskala ikke er utbredt i kontorbygg eller husholdninger i dag er det forventet en stor vekst på denne fronten sett i et tidsperspektiv frem mot 2030. Den største fordelen med batterilagring kan være fleksibiliteten det gir ved å kunne flytte laster. Sett i sammenheng med det økende problemet med mer effektkrevende laster og økende andel vind- og solkraft, kan batterier være en stor del av løsningen på utfordringene vi står overfor.

I kalde vinterperioder, spesielt kombinert med morgener og ettermiddager der det er store forbrukstopper, er batteri veldig gunstig. Dette er fordi det både kan redusere strømprisen, og bidra til å redusere forbrukstoppene på nettet. Batterilagring kan dermed bli en erstatning til utbygging av strømmettet [15].

Slik situasjonen er i dag vil det ikke være økonomisk gunstig å kjøpe et batteri kun for å flytte lastene. Det vil det heller ikke i 2030, med mindre det blir større prisforskjeller på strøm og effekt til ulike tider av døgnet. Hvor stor prisdifferanse det er nødvendig å ha mellom peak og offpeak for lønnsomhet ved bruk av batteri avhenger av prisen i offpeak. Dette er illustrert i figur 3.1. Det varierer fra en prisdifferanse på 2 øre/kWh til 16 øre/kWh ved henholdsvis 20 øre/kWh og 150 øre/kWh [15]. I 2030 er den forventede prisen i offpeak på 90 øre/kWh noe som krever en prisdifferanse på 10 øre/kWh for at batterier skal være lønnsomt.



Figur 3.1: Nødvendig prisdifferanse for lønnsomhet ved bruk av batteri, figur basert på tall fra NVE-rapport [15]

Global Smart Grid Federation har publisert flere forskningsartikler som støtter utsagnet om at batterier ikke er en økonomisk gunstig investering i dag, men peker i hovedsak på det store potensiale som finnes i batterilagring. Dersom prisene på strøm og effekt blir bedre tilpasset kapasiteten på nettet slik at å investere i et batteri blir lønnsomt kan strømmettet bli spart for store utbyggelser. Problemet knyttet til kapasitet på nettet er ikke unikt for Norge, men et globalt problem [16].

Dersom det ikke blir gjort større endringer i prisforskjellen mellom peak og offpeak vil det

i hovedsak være to batteriløsninger som er forventet å være aktuelle, sett i et tidsperspektiv frem mot 2030.

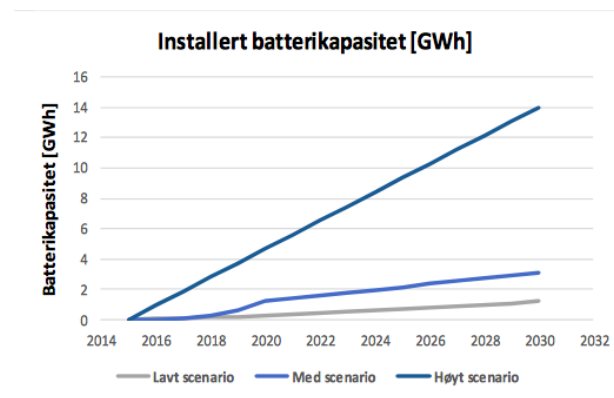
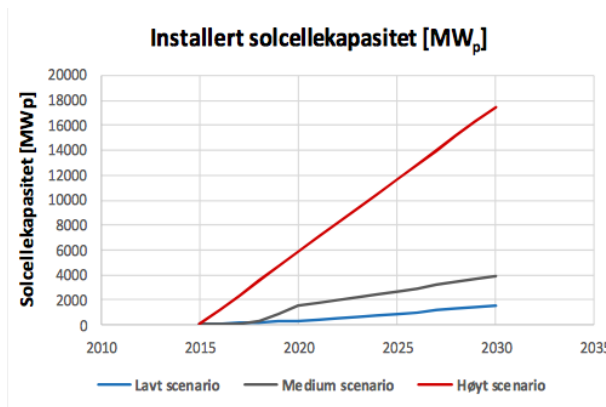
- Batterilagring knyttet til solcellepanel
- Batterilagring knyttet til eksisterende kapasitet i elbilbatterier

Dagens muligheter, begrensninger og forventet utvikling frem mot 2030 vil bli sett på både for løsningen med solcellepanel og løsningen med elbiler.

3.1.1 Batterilagring knyttet til solcellepanel

Sett i tidsperspektivet frem mot 2030 vil batterikapasiteten øke betraktelig. Den totale kapasiteten på batteriene knyttet til solcellepaneler vil øke til mellom 1,5 GWh og 14 GWh. Bakgrunnen til det store spriket i kapasiteten ligger i utviklingen og veksten i antallet solcellepaneler installert. Lønnsomheten knyttet til å installere solcellepaneler med tilknyttet batteri avhenger i stor grad av når på året det er snakk om. I løpet av månedene juni, juli og august vil solcellepanelet være med på å minke lastuttaket, fordi det da er mye sol tilgjengelig. I november, desember, januar og februar er tilgangen på sollys så begrenset at det blir ansett som svært liten til ingen ekstra effekt ved bruk av solcellepanel. Sett i sammenheng med at de aller største effektoppene på nettet opptrer i nettopp disse månedene, blir fordelene redusert [15].

En stor fordel ved å installere solcellepaneler er at etter installasjonen kan det produseres strøm nesten helt kostnadsfritt og uten utslipp av gasser som CO₂. På grunn av den forventede økningen i CO₂-avgift og den synkende prisen på selve solcellepanelet, er dette en løsning som blir mer og mer økonomisk gunstig. Tapene ved overføring vil også bli mindre fordi elektrisitetsproduksjonen kan skje der forbruket opptrer. Disse fordelene gjør at antallet solcellepaneler er forventet å vokse betydelig fremover, men akkurat hvor mye og hvor raskt er vanskelig å forutsi helt nøyaktig [17].



Figur 3.2: Installert solcellekapasitet, hentet fra NVE [15] Figur 3.3: Installert batterikapasitet, hentet fra NVE [15].

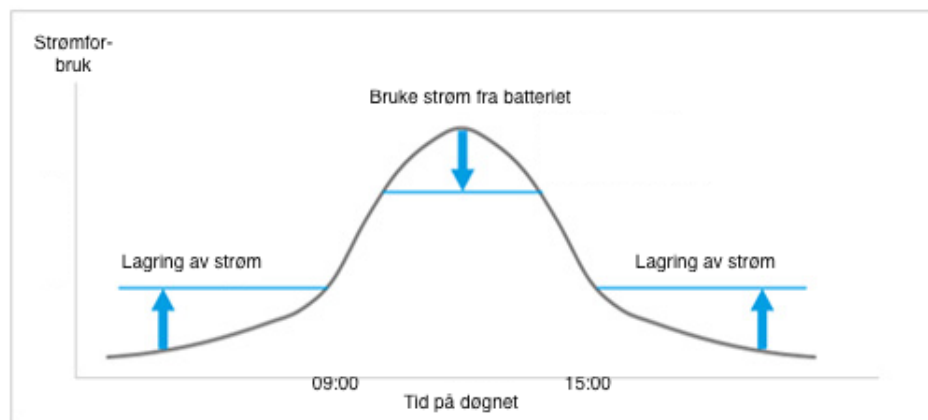
Som vist i figur 3.2 og figur 3.3 avhenger den antatte installerte batterikapasiteten i stor grad av den installerte solcellekapasiteten. Det er fordi det i analysene blir antatt at alle som installerer solcellepaneler frem mot 2030 også har batteri koblet til. Derfor er det gjort beregninger på grunnlag av tre forskjellige scenarier.

- *Lavt scenario*: Solcellekapasiteten i 2030 ligger på under 2000 MW. Dette resulterer i en samlet batterikapasitet på 1,5 GWh.
- *Medium scenario*: Solcellekapasiteten i 2030 ligger på ca 4000 MW. Dette resulterer i en installert batterikapasitet på 2,5 GWh.
- *Høyt scenario*: Solcellekapasiteten i 2030 ligger på hele 18 000 MW. Dette resulterer i en installert batterikapasitet på 14 GWh.

Det å lagre elektrisiteten fra solcellepanelene kan også være med på å løse et mulig fremtidig problem. I Norge lå produksjonen av solkraft på 27 MW i 2016. Dette er kun 0,02 % av kraftproduksjonen. I Tyskland hvor den årlige produksjonen av solkraft lå på omtrent 40 GW i 2016 har det oppstått et problem med overføring av overskuddskraft tilbake på nettet. Solkraft står for 7 % av den totale kraftproduksjonen. Dette skaper et problem de dagene med mest sol. De dagene med høyest produksjon av solkraft er det generelt et lavt forbruk av strøm, dette gjør at nettbelastningen blir veldig stor når all solkraften skal tilbake på nettet.

I Norge i dag er ikke dette et problem, men om veksten i antallet installerte solcellepaneler øker i takt med figur 3.2 er det rimelig å anta at det blir et problem i fremtiden. Ved å koble

batterier til solcelleanleggene slik at overskuddsstrømmen kan lagres der, kan dette problemet bli løst [15].



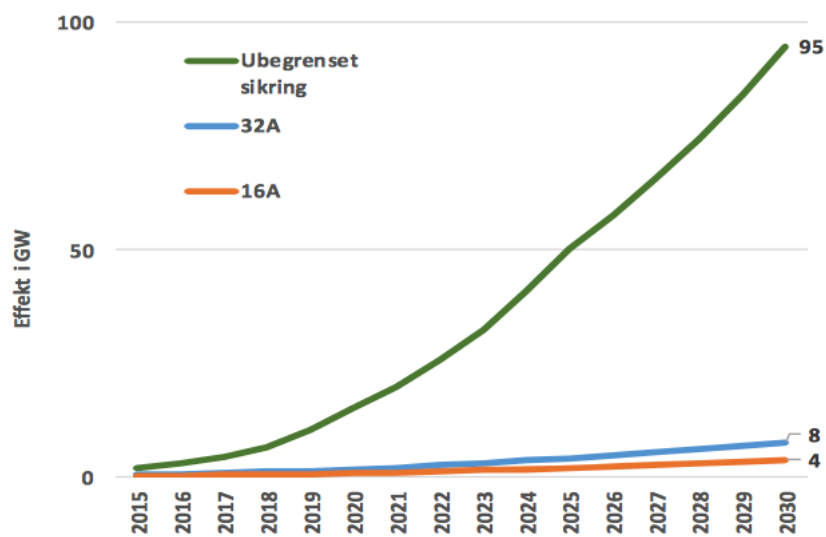
Figur 3.4: Forklaring av hvordan batterier kan redusere effekttoppene, basert på graf hentet fra BatteryNa4B [18]

Figur 3.4 illustrerer hvordan et batteri kan brukes til å lagre strøm når det er lite pågang på strømnettet og bruke strøm når det er stor pågang. Sett i sammenheng med kontorbygg ville det vært naturlig å finne effekttoppen i løpet av kjernearbeidstiden (09:00 til 15:00), slik som illustrert i figur 3.4. Batteriet kunne da kuttet toppen tilsvarende den lyseblå streken. Toppene vil utjevnes i løpet av dagen og batteriet kan på kvelds- og nattestid igjen lade seg opp. Det må også nevnes at figur 3.4 kun er ment for å illustrerte hvordan effekttopper kan reduseres med batterier. Det er derfor lite sannsynlig at strømförbruket i kontorbygg ser identisk ut som på figuren [18].

3.1.2 Batterilagring knyttet til kapasitet i elbilbatterier

Både antallet elbiler og batterikapasiteten er forventet å øke drastisk i årene fremover. Dette åpner for lagring av strøm fra nettet i elbilbatteriene. Den store fordelen med en slik løsning er å unngå investeringskostnaden ved å kjøpe nye batterier. Det sparer også miljøet ved mindre produksjon av batterier [15].

Innen 2030 er det rimelig å forvente at uten begrensninger knyttet til overføringer og bruk vil batterikapasiteten til hele den norske elbilparken ligge på 100 GWh. Til sammenligning lå den totale kapasitet på 2,4 GWh i juni 2016.



Figur 3.5: Kapasitet elbil-batterier begrenset av sikringer i bygg, hentet fra NVE-rapport [15]

Figur 3.5 viser hvordan kapasiteten blir begrenset av en sikringsstørrelse på enten 32 A eller 16 A. Per dags dato er det en sikringsstørrelse på 10 A og 32 A som er mest brukt. Hvordan dette utvikler seg i fremtiden er vanskelig å si, men det er mulig at det blir vanligere med en sikringsstørrelse på mer enn 32 A. Dette vil gi en bedre utnyttelse av batterikapasiteten på elbilene [15].

Det er mulig å utvikle god nok teknologi til at overføringen av strøm mellom nettet og bilbatteriene er mulig. Problemet er at en slik løsning sannsynligvis vil bli for dyr til at det sammenlignet med besparelsene ved å lagre strømmen, vil være lønnsomt. Hvor mye bilen er i bruk spiller også inn på ledig kapasitet. Figur 3.6 viser tre forskjellige scenarier med forskjellig brukstid (samlagring) og sikringsstørrelse.



Figur 3.6: Kapasitet i et elbil-batterier begrenset av sikringer i bygg og tilgjengeligheten på bilbatteriene, hentet fra NVE-rapport [15]

- *Lavt scenario:* Tilgjengeligheten på elbilbatteriet ligger her på 25 %. Det er også antatt en sikringstørrelse på 16 A.
- *Medium scenario:* Tilgjengeligheten på elbilbatteriet ligger på 25 %. Det er også antatt en sikringsstørrelse på 32 A.
- *Høyt scenario:* Tilgjengeligheten på elbilbatteriet ligger på 100 %. Dette vil si at den alltid er ledig til bruk som batterilager fra strømmettet. Sikringsstørrelsen ligger på 32 A.

På tross av at en samlet batterikapasitet på mellom 4 GW til 8 GW ser lite ut sammenlignet med 100 GW, er det fortsatt et stort reserve. Den høyeste nasjonale effektoppen som har oppstått ligger på 24,5 GW. Dette ble målt i sentralnettet i januar 2016. Det vil si at 8 GW kunne dekket en tredjedel av denne toppen, noe som er en betydelig reduksjon av effektoppen [15].

Det undersøkes også muligheten for å bruke større batterier som ikke er knyttet til kontorbygg eller boliger, men som kun har som funksjon av avlaste distribusjonsnettet i travle perioder. Dersom kapasitetsproblemer er kortvarige kan dette være konkurransedyktige sammenlignet med nettutbygging. Er kapasitetsproblemer derimot hyppige og langvarige, er det lite sannsynlig at sentralisert batterilagring er konkurransedyktig, sammenlignet med utbygging av nettet. Konkurransedyktigheten er både målt opp mot pris og opp mot påliteligheten og kvaliteten på den valgte løsningen [19].

Det å skulle finne algoritmen for hvor mye og når bilbatteriene skal lades opp blir mer kompleks i kontorbygg enn i boliger. I kontorbygg er det større variasjon i hvor mange biler som er tilgjengelige som batterilager, og hvor mye disse er ladet opp når de kommer på starten av dagen. I tillegg kan det observeres en effekttopp i kontorbygg på starten av dagen. Dermed må flere elbiler komme til jobb med godt oppladet batteri for at dette skal være mulig i større kontorbygg.

Dersom rundt en million husstander og kontorer i Norge skal bruke energilagring i batteri kan dette skape en ny forbrukstopp. Om batteriene henter ut strøm fra nettet på omtrent samme tidspunkt, fordi det da er mest økonomisk gunstig kan dette i skape en større forbrukstopp enn det som opptrer i dag. Dette er selvfølgelig ikke ønskelig, og dermed vil det å utnytte batterier i en million bygninger føre til en stor koordinering når det kommer til uttak av strøm fra nettet [19].

En annen mulig løsning er å bruke gamle elbilbatterier som energilager. Dette ligger flere år frem i tid på grunn av at det i dag ikke er stor nok tilgang på brukte elbilbatterier. Det kan likevel fungere i enkelttilfeller mye tidligere [15].

3.2 Styringssystemer

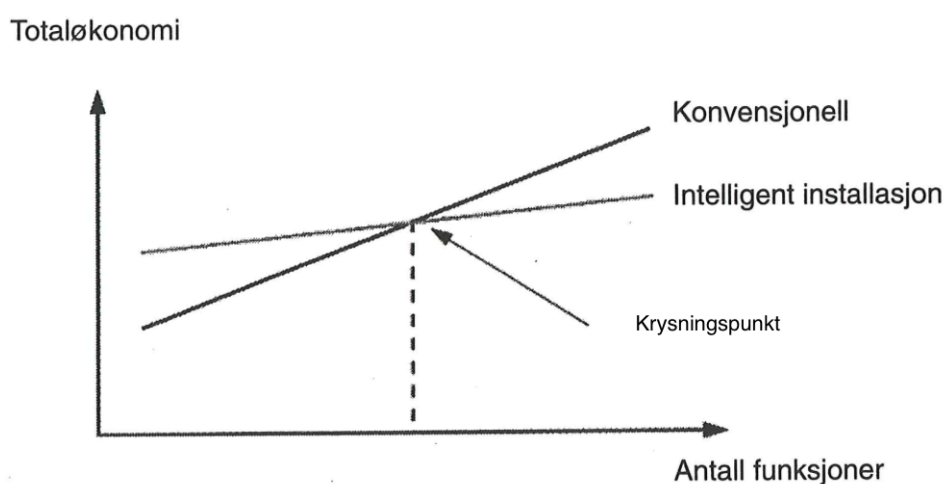
En annen metode for effektutjevning er ved å bruke styringssystemer. Et styringssystem kan og vil i denne oppgaven defineres som "En samlebetegnelse på ulike system for styring og regulering av tekniske installasjoner i bygninger" [20]. Bruk av styringssystemer gjør det mulig styre hvilke laster som skal være skrudd på til de ulike tidspunktene. På den måten kan de største effekttoppene unngås ved å justere ned de mest effektkrevene eller de minst viktige lastene. Det er også mulig å kutte helt ut mindre viktige komponenter når den totale kraftetterspørselen er stor. Dette kan skje uten at brukeren aktivt må foreta justeringer.

Styringssystemer kan ofte bli omtalt med mange forskjellige begreper. De begrepene som i denne oppgaven går under intelligente styringssystemer er følgende: [21]

- Buss-system
- Smarthus
- Bygningsautomasjonssystem

- Integrerte tekniske bygningsinstallasjoner (ITB)
- Intelligente bygningsinstallasjoner
- Tekniske styringssystemer

Ulempen med styringssystemer er høye investeringskostader. Kontorbygg er ofte større enn boliger, samtidig som de har mye teknisk utstyr. Dette er med på å påvirke lønnsomheten til styringssystemet.



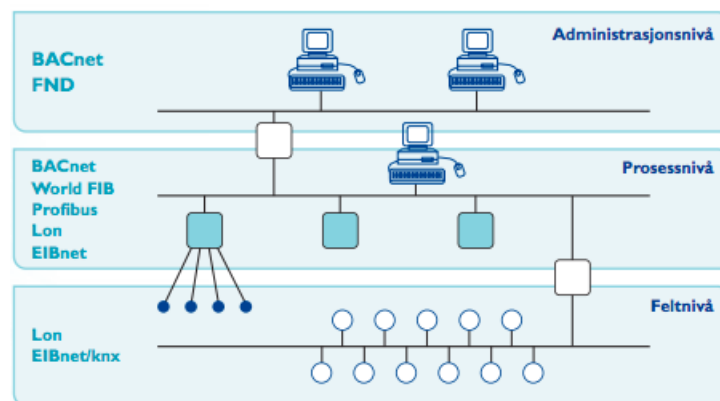
Figur 3.7: Modell for når styringssystemer er lønnsomt, hentet fra Intelligente bygningsinstallasjoner [21]

Figur 3.7 illustrerer hvordan det med flere tekniske installasjoner og funksjoner ofte blir totaløkonomisk gunstig med styringssystemer. Det vil derfor ofte være økonomisk gunstig å installere styringssystemer i kontorbygg. Pilen illustrerer krysningepunktet mellom totaløkonomi og antall funksjoner. Akkurat når dette krysningepunktet opptrer vil variere med tanke på hva slags bygning det er snakk om, og hvilke installasjoner som finnes i bygget.

I tillegg til at det kan bidra til å redusere effekttopper, har installasjon av styringssystemer flere fordeler: [21]

- Energisparing og miljøgevinst
- Bedre komfort
- Enklere og bedre å kontroll og overvåking av installasjoner
- Økt fleksibilitet om det skulle skje endringer i bygget

Dette gjør at når det skal regnes på besparelsene ved å installere et intelligent styringssystem, er det flere faktorer som må tas med i beregningen.



Figur 3.8: Illustrasjonsbilde av de forskjellige nivåene i et intelligent styringssystem, hentet fra [22].

Figur 3.8 viser fordelingen mellom administrasjonsnivå, prosessnivå og feltnivå. Det er også oppgitt eksempler på typer bussteknologier eller protokoller til de forskjellige nivåene [22].

- *Administrasjonsnivå* blir brukt til å ha oversikt over hele anlegget. For å kommunisere med resten av det underliggende anlegget blir det brukt protokoller. Eksempler på type protokoller er FND og BACnet, slik som figur 3.8 illustrerer.
- *Prosessnivå* analyserer data hentet inn via feltnivået og bruker denne informasjonen til å styre for eksempel belysning, oppvarming eller ventilasjon.
- *Feltnivå* er der buss-systemene som LON og EIBnet/KNX befinner seg. Det er også her hvor alt av følere og regulatorer eksisterer for å kunne ta inn input og sende det videre til prosessnivået som analyserer disse inputene opp mot referanseverdier.

Det er i hovedsak kommunikasjonen mellom de forskjellige komponentene i et styringssystem som gjør det til et intelligent styringssystem. Dette gjør at endringene som blir gjort har en vesentlig kortere responstid enn om de skulle blitt gjort på andre måter. Dette er det anslått kan spare et gjennomsnittlig kontorbygg for 10 % av kostnadene knyttet til drift [22].

En effektiv og enkel måte å redusere effekttoppen i kontorbygg på er ved å installere en maksimalvokter i tilknytning til styringssystemet. Illustrasjon på en maksimalvokter som selges av Schneider Electric er vist i figur 3.9.



Figur 3.9: Eksempel på en maksimalvokter fra Schneider Electric [23].

Virkemåten til en maksimalvokter er at den skrur av eller reduserer laster, dersom det totale effektforbruket er over et gitt nivå. Dette gir en veldig god kontroll over effekttoppene og gjør at de månedlige kostnadene er forutsigbare. Lastene i bygget blir prioritert med hensyn til hvor viktige funksjonene er. Maksimalvokteren bruker prioriteringen i tillegg til beregninger gjort rundt komfort og energiforbruk for å bestemme hvilke laster som skal senkes. Et vanlig sentralt driftsovervåkningsanlegg (SD-anlegg) har en referanseverdi for de forskjellige parameterne, som den veier opp mot den målte verdien. Anlegget tar dermed ikke hensyn til samtidigheten, og det er her maksimalvokteren kommer inn og bidrar med dette hensynet. I kontorbygg hvor det ofte er en effekttariff basert på den enkelttimen med høyeste effekttopper, kan dette ha store økonomiske fordeler. I følge beregninger gjort av Enoco kan flere kontorbygg redusere opptil halve strømrégningen ved å installere en maksimalvokter [24].

Dyrhøvd, en bedrift som selger maksimalvoktere, har publisert tre eksempler på hvor mye deres kunder har spart ved å installere en maksimalvokter: [25]

- *Krøderen Kro*: Hadde en topp på 96 kW før installasjon av maksimalvokter og en topp på 65 kW etter installasjonen. Resultatet var en innsparing på 19 040 kr per år.
- *Buskerud Folkehøgskole*: Hadde en topp på 340 kW før installasjon av maksimalvokter og en topp på 220 kW etter installasjonen. Resultatet var en innsparing på 59 520 kr i året.
- *Drammen videregående skole*: Hadde en topp på 90 kW før installasjon av maksimalvokter og en topp på 60 kW etter installasjonen. Resultatet var en innsparing på 3210 kr i året.

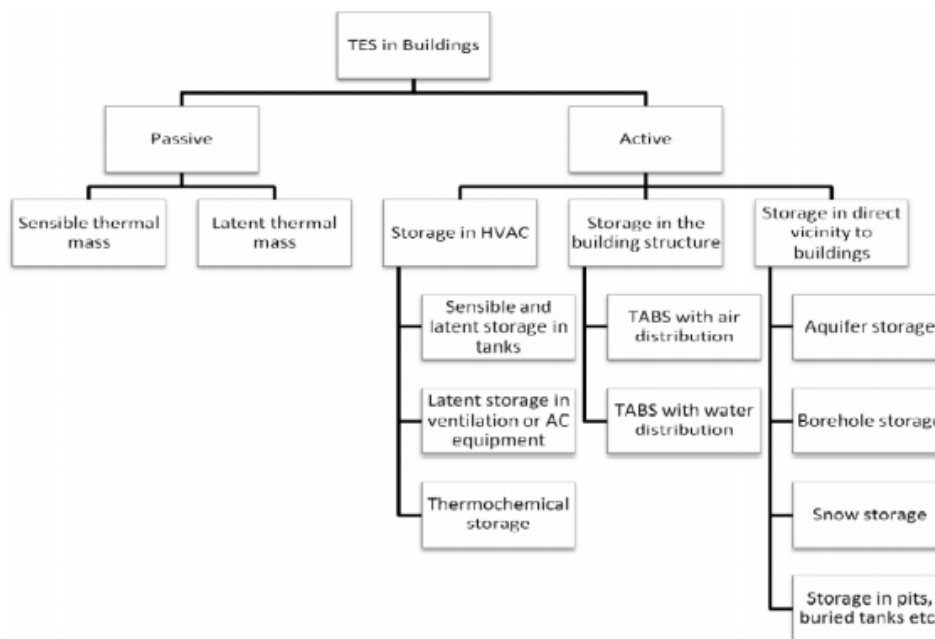
Det er viktig å nevne at både Enoco og Dyrhovd tjener penger på å selge maksimalvoktere. Dermed er ikke informasjonen hentet fra deres nettsider helt objektiv. Det vil likevel gi et inntrykk av de beste resultatene det er mulig å oppnå med installasjon av maksimalvokter i forskjellige kontorbygg.

Ulempen ved å bruke en maksimalvokter er at lastene reduseres, noe som kan gå utover komforten. Er kravet til effekttopper satt for lavt i forhold til byggets forbruk, kan dette bidra til at laster som egentlig er ønskelige å ha i drift blir skrudd av. Det er mulig å velge hva man vil prioritere av effektkravet og komfort, men gjøres det en feil vil det gå utover inneklimate. På veldig kalde dager kan dette problemet tenkes å oppstå fordi oppvarming ofte er effekt-krevende. I kontorbygg vil dette først og fremst bli et problem når det har vært en veldig kald helg og hele lokalet skal varmes opp til mandag morgen. Dersom alt programmeres og brukes riktig, vil det fortsatt kunne gi både samfunnsmessige og økonomiske fordeler.

Styringssystemer er et felt som er i stor utvikling for tiden, noe som har en sammenheng med den raske utviklingen for datateknologi. Flere og flere komponenter kan være intelligente og kommunisere sammen. Dette gjør at både energi- og effektforbruk kan optimaliseres slik at forbruket ikke blir større enn helt nødvendig. I tillegg blir inneklimate optimalisert for å oppnå beste mulig komfort.

3.3 Termisk lagring

Termisk lagring går ut på at energi blir lagret i form av varme eller kulde. Det er mest vanlig å lagre energien i form av varme, men for bygg med stort kuldebehov kan de samme teknologiene brukes for kulde. Varmen kan lagres i de fleste typer materialer samt vann, salter og i grunnen. Det er med andre ord mange typer termisk lagring og det deles ofte inn i kategoriene passiv og aktiv lagring. Forskjellen mellom passiv og aktiv lagring er at passiv lagring ikke trenger ekstern energi for å kunne virke som energilager. Aktiv lagring er på den andre siden avhengig av teknologiene installert i bygningen for å kunne friggi varmen lagret [26].



Figur 3.10: Ulike metoder for termisk lagring, hentet fra Lund Institute of Technology [26].

Termisk lagring kan som tidligere nevnt deles i to undergrupper, passiv og aktiv lagring. Disse undergruppene har igjen flere underkategorier som er illustrert i figur 3.10. Det kan leses av figuren hvordan både sensibel varmelagring og latent varmelagring i masse er underkategorier til passiv lagring, mens sensibel og latent lagring i tanker er aktiv lagring.

- **Latent varmelagring:** Er en teknologi for termisk lagring av energi. Teknologien utnytter den energien som blir frigjort når et materiale går fra en fase til en annen, som for eksempel fast til flytende. Det er såkalte Phase Change Materials (PCM) som lagrer energien. I motsetning til sensibel varmelagring endres ikke temperaturen når energien blir lagret, men holder seg konstant. Problemene knyttet til utviklingen av denne typen materiale er at det er vanskelig å styre faseovergangene samtidig som det er problemer med ustabilitet i materialene og korrosjon.
- **Sensibel varmelagring:** baserer seg på varmelagring av følbare varme. Det vil med andre ord si at det er i temperaturendringen til materialet varmen ligger lagret. Alle flater med forskjellig temperatur vil utveksle varme seg i mellom. Hvor mye varme som utveksles og hvor godt materialet holder på denne varmen avhenger av densiteten og varmekapasiteten til materialet.

$$Q = \rho \cdot C_p \cdot V \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

Dette kan observeres fra formelen over hvor Q [J] representerer mengden varme som er lagret. Det er tydelig at den lagrede mengden varme avhenger av både ρ [kg/m³] som er densiteten, C_p [J/kg · K] som er den spesifikke varmekapasiteten, V [m³] volumet til materialet der varmen lagres og ΔT [K] som er den endringen i temperatur materialet opplever. Sensibel varmelagring er den mest brukte og best utviklede typen varmelagring. Hvilke materialer som egner seg best til sensibel varmelagring avhenger blant annet av den spesifikke varmekapasiteten og densiteten [27].

Materiale	Materialdensitet ρ (kg/m ³)	Spesifikk varmekapasitet c (J/(kg K))	Termisk konduktivitet λ (W/(m·K))	Termisk effusivitet b (J/m ² ·K·s ^{0,5})	Termisk diffusivitet a (m ² /s)
Stål	7800	450	50	13300	$15 \cdot 10^{-6}$
Granitt	2600	1000	2.8	2700	$1.1 \cdot 10^{-6}$
Betong	2300	1000	1.7	2000	$0.75 \cdot 10^{-6}$
Porebetong	500	1000	0.15	275	$0.3 \cdot 10^{-6}$
Teglstein	1600	830	0.6	900	$0.45 \cdot 10^{-6}$
Tre (gran, furu)	500	1600	0.13	325	$0.16 \cdot 10^{-6}$
Mineralull	15-150	1030	0.036	25-75	$2.3-0.23 \cdot 10^{-6}$

Figur 3.11: Egenskaper til forskjellige materialer sett med tanke på varmelagring, hentet fra Enøk i bygg [28].

Figur 3.11 viser materialegenskapene til utvalgte materialer. Det er i hovedsak termisk konduktivitet og spesifikk varmekapasitet som bestemmer hvor godt materialet er som varmelager. Det er ønskelig å ha en relativt lav termisk konduktivitet da dette vil si at materialet tregere frakter varme i gjennom seg. Den spesifikke varmekapasiteten sett i sammenheng med materialdensiteten er viktig for å finne evnen et material har til å kunne lagre varmen. Høye verdier tilsier en varmelagring god nok til å kunne fungere for kontorbygg og boliger. Den termisk effusiviteten og den termiske diffusiviteten, sett i sammenheng med de faktorene som tidligere er beskrevet, beskriver hvordan temperaturutviklingen der det termiske lageret er vil oppføre seg over tid [28].

Det er i dag ofte lagring i form av varmtvannstanker, i fjernvarmesystemet eller i grunnen som er det som blir hyppigst brukt i forbindelse med kontorbygg.

For å kunne redusere de elektrisk effekttoppen i bygninger med elektrisk oppvarming ved å bruke termisk lagring, må først elektrisiteten omdannes til varme og deretter lagres. Dette

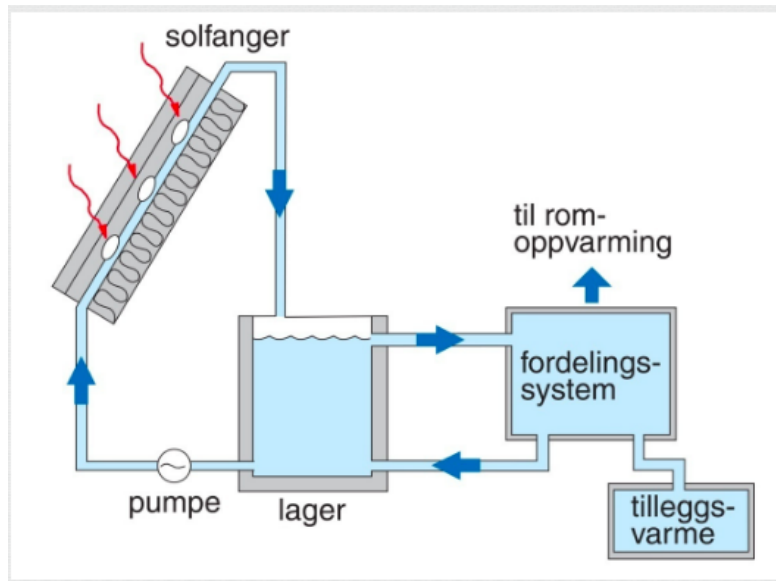
kan ofte føre til store tap som er den største ulempen med denne reduksjonsmetoden. Om dette legges til rette for under konstruksjonen av bygninger kan det være et nyttig verktøy å kombinere med andre metoder for å redusere effekttopper. Ulempen vil da være at energiforbruket blir høyere, selv om effekttoppene blir mindre. Det er ikke ønskelig å øke energiforbruket i stor grad da dette kan være kostbart og bidra til større utslipp av klimagasser.

For bygninger forsynt med vannbåren varme kan dette gjøres uten at disse tapene er et like stort problem. Varmen de tidene av døgnet med, for eksempel mye spillvarme eller med lite forbruk, kan lagres og brukes til andre tidspunkter. Dette fører til at spillvarmen bedre kan utnyttes og at produksjonen av fjernvarme kan være jevnere. Det er også nødvendig med elektrisitet til å drive pumpene i et system med vannbåren varme og denne elektrisiteten kan reduseres ved å bruke termisk lagring. Det er i hovedsak fire store fordeler ved å redusere toppene i et system med vannbåren varme: [28]

- *Mindre effekttopper:* For systemer der forbruket av elektrisitet til pumpene er høyt, vil effekttoppene fra strøm til pumpa ofte komme samtidig som forbruket og effekttoppene generelt i bygget er høyt. Dette er uheldig fordi det bidrar til å skape høye effekttopper på kalde dager, som er de dagene nettet jevnt over har høyest belastning.
- *Mindre dimensjoner av systemet:* Ved å jevne ut de høyeste forbrukstoppene trenger ikke systemene til for eksempel fjernvarme å være like store. Dette er fordi disse systemene må dimensjoneres etter de største mulige toppene.
- *Mindre miljøpåvirkning:* Det norske fjernvarmenettet baserer seg på både olje, strøm, avfall, og overskuddsvarme fra industri. Ved de største toppene er det ofte olje som blir brukt fordi dette er enkelt å regulere. Olje har en negativ påvirkning på miljøet og den globale oppvarmingen med å ha store CO₂-utslipp.
- *Mindre varmetap:* Store variasjoner i forbruket skaper større varmetap, som igjen krever mer strøm til pumpene fordi deler av varmen har gått tapt. Det er dermed gunstig å få redusert toppene slik at forbruket blir jevnere.
- *Høyere virkningsgrad:* Store variasjoner gir også slitasje på utstyr som igjen resulterer i reduksjon av virkningsgraden.

Det å kombinere termisk lagring med en solfanger er også mulig for å få utnyttet solenergien.

Solfanger er en teknologi som baserer seg på å lagre varme-energien fra solen i for eksempel en vanntank.



Figur 3.12: Forklaring på hvordan en solfanger fungerer som varmelager, hentet fra store norske leksikon [29].

Figur 3.12 beskriver hvordan solenergien som treffer solfangeren varme opp vannet som blir lagret i lageret. Det er en glassplate med et svart lag under, for å kunne absorbere mest mulig av solenergien. Det svarte laget blir varmet opp men denne varmen har ikke samme bølgelengde som strålene som traff fra solen, og de slipper dermed ikke ut gjennom glasset. Dette fører til at vannet blir varmet opp og går via et rør til varmelageret. Lageret kan gå videre til fordelingsystemet og til romoppvarming, men kan trenge påfylling av tilleggsvarme. Denne teknologien kan sammenlignes med å koble batterier til et solcellepanel, slik som er beskrevet tidligere i kapittelet. Begge disse teknologiene gjør at batteriet eller det termiske lageret kan bli bedre utnyttet, samtidig som det kan redusere kostnadene knyttet til oppvarming eller bruk av elektrisitet [29].

Det blir gjort mye forskning på materialer og komponenter som kan holde på varme over tid, uten betydelige tap. En videreutvikling av denne teknologien slik at tapene blir minimale vil gjøre termisk lagring mer gunstig, også for bygg med elektrisk oppvarming. Slik situasjonen er i dag er det i hovedsak bygninger med vannbåren varme som får de største fordelene av å benytte termisk lagring. Det er fordi kontorbygg med elektrisk oppvarming ville fått et høyere energiforbruk av å lagre varme termisk, noe som igjen gir økte utgifter og kan øke utslippet av farlige miljøgasser [26].

3.4 Andre mulige reduksjonsmetoder

3.4.1 Tiltak brukeren kan gjennomføre

Det er flere tiltak enten brukere eller huseiere kan gjøre for å redusere effekttopper. Dette kan for eksempel være:

- Etterisolasjon av vegger og utskifting av gamle vinduer.
- Anbefale brukere av bygget om å være effektbevisste og informere om konkret utstyr som kan skrus av om forbrukstoppene blir for høye.
- Regulere hvilke rom som blir varmet opp til forskjellige tidspunkter, slik at ikke all oppvarming skjer likt mandag morgen.
- Skru av alle elektriske apparater når de ikke er i bruk.
- Bytte til lavenergipærer og skru av lyset når rommet ikke er i bruk.

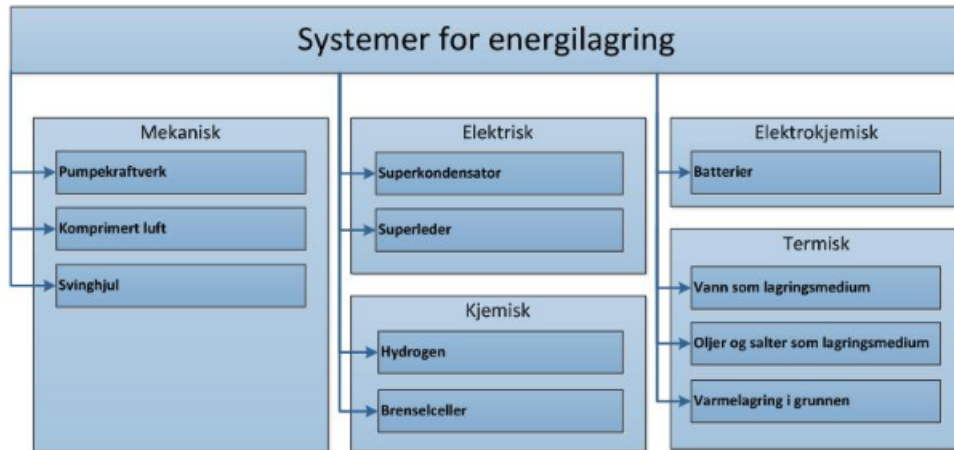
Ulempen med slike tiltak er at de er helt avhengige av at alle brukere gjennomfører tiltakene dersom de skal være effektive. Spesielt i kontorbygg med mange brukere kan dette være en utfordring [7].

3.4.2 Fjernstyring av laster

Ved å gi kraftselskapene mulighet til å fjernstyre forskjellige laster knyttet til for eksempel hvitevarer i både kontorer og boliger kan effekttopper reduseres. Dette gjøres på den måten at hvert enkelt nettselskap kan regulere lastene til de forskjellige brukerne slik at forbruket kan fordeles bedre utover hele døgnet. Et stort problem med denne løsningen er knyttet til personvern. For at kraftselskapene skal ha mulighet til å utføre dette på en hensiktsmessig måte er de nødt til å ha mye detaljert informasjon. Dette kan mange være skeptiske til å gi fra seg, samtidig som det kan være juridiske komplikasjoner. Det vil også skape en stor jobb for kraftselskapene [14]. Malvik E-verk har prøvd denne teknologien ved å regulere varmtvannstankene hos sine kunder. Tiltaket fungerte bra da det først var blitt implementert, men selve implementeringen krevde mye ressurser. Grunnen til dette er at ikke alle varmtvannstankene var kompatible for kommunikasjon med nettselskapet. Hadde alle nye effekt-

krevene komponenter installert vært kompatible med tilhørende nettselskap hadde dette forenklet prosessen [30].

3.4.3 Andre typer lagring av energi



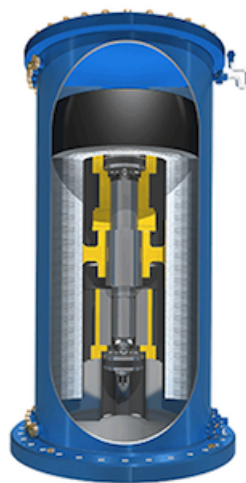
Figur 3.13: Systemer for lagring av energi, hentet fra Norges forskningsråd [31].

Som vist i figur 3.13 finnes det mange måter å lagre energi på. Selv om lagring i batterier er den mest brukte, er det flere teknologier som på lik måte kan redusere effekttopper. Fire av lagringsteknologiene som kan bidra til å redusere effekttopper i kontorbygg blir kort beskrevet under.

- **Hydrogen:** Hydrogen er ansett som en energibærer med stort energitap knyttet til produksjonen. Det er lite energitett og dette kan skape problemer med tanke på at det krever et stort lager. Det som i hovedsak muliggjør hydrogen som energibærer, er brenselcelleteknologien. Bruk av brenselceller omgjør energien i det lagrede hydrogenet til elektrisitet og varme. En av fordelene til hydrogen kombinert med brenselceller er at restene etter produksjon er vann. Denne teknologien er ikke utbredt i sammenheng med bygg, men slike løsninger kan komme i fremtiden. Hydrogenlagring kan også kobles opp mot et solcellepanel, slik at elektrisiteten fra panelet blir lagret [31].
- **Superledere (SMES):** Superledere, også kalt *superconducting magnetic energy storage* er en alternativ måte å lagre energi på. Lagringen skjer ved at det dannes et sterkt magnetfelt. Dette feltet kan senere brukes til å danne elektrisitet. Sett i sammenheng

med reduksjon av effekttopper i kontorbygg, kunne dette skjedd på morgenen. Dannelsen av elektrisitet fra det magnetiske feltet skjer ved utlading av en superleder. En av ulempene med en slik løsning er at superlederne krever lave temperaturer (noen få Kelvin) for å fungere. Dette er med på redusere virkningsgraden, fordi det går med energi til å kjøle ned til den kalde temperaturen. Virkningsgraden ligger fortsatt på mellom 80% og 90 % [31].

- **Superkondensator:** Superkondensator skiller seg fra batterier ved at lagringen av energien skjer i et elektrisk felt, og ikke ved en kjemisk reaksjon. For å danne det elektriske feltet trengs det to flater. Begge disse flatene må være elektrisk ledende. Flatene tilføres likestrøm, slik at det oppstår elektronoverskudd på den ene og underskudd på den andre. Denne prosessen kan skje opp til en million ganger. Selv om superkondensatoren oppnår en lang levetid og høy virkningsgrad er det i hovedsak prisen som trekker ned. I motsetning til superledere trenger ikke superkondensatorer å ha kalde temperaturer for å virke optimalt, noe som gjøre dem mer anvendelige [31].
- **Svinghjul:** Svinghjul er en teknologi som baserer seg på en skive som roterer, og det er i denne bevegelsen energien er lagret. Hastigheten den roterer med avhenger av hvor mye energi som er lagret. Koblet til svinghjulet sitter det en elektrisk motor. Teknologien har høy virkningsgrad, på rundt 90%, samtidig som den har en levetid på opp mot 20 år [31]. Ulempene ved denne teknologien er at den lager mye lyd, samtidig som den er vanskelig å produsere uten risiko for at den kan eksplodere. Figur 3.14 illustrerer en type svinghjul som i dag produseres av Beacon Power.



Figur 3.14: Svinghjul produsert av Beacon Power [32].

Kapittel 4

Lastprofilgrunnlaget

4.1 Kontorbyggene brukt som lastprofilgrunnlag

I denne oppgaven er det i hovedsak to kontorbygg hvor lastprofilen har blitt analysert og satt i sammenheng med byggenes bruksområder og tekniske installasjoner. Dette er gjort for å finne en metode for reduksjon av effekttopper i kontorbygg med forskjellige lastprofiler. Generell informasjon om begge kontorbyggene blir presentert i dette delkapittelet.

4.1.1 Geologibygget, Høgskoleringen 6

Det ene bygget det er valgt å gjøre målinger på er Geologibygget, som ligger på Gløshaugen med adresse Høgskoleringen 6. Grunnen til at Geologibygget er valgt fremfor andre bygg på Gløshaugen er at det er det eneste bygget med elektrisk oppvarming og ikke fjernvarme. Elektrisk oppvarming fører til at det potensielt kan oppstå større effekttopper i oppvarmingskrevende perioder enn i tilfeller der det er brukt fjernvarme. Det er også et argument at 84 % av den norske bygningsmassen bruker elektrisk oppvarming, sammenlignet med kun 12 % som bruker fjernvarme. På den måten er et kontorbygg varmet opp av elektrisitet mer representativt for den totale bygningsmassen [33].



Figur 4.1: Oversiktsbilde Geologibygget, hentet fra Google Maps [34]



Figur 4.2: Forsiden av Geologibygget, hentet fra Google Maps [34]

Figur 4.1 viser et oversiktsbilde av Gløshaugen campus. Den svarte ringen er plassert rundt Geologibygget for å tydeliggjøre byggets plassering i forhold til omgivelsene. Forsiden av bygget er illustrert i figur 4.2. Geologibygget ligger plassert sørøst på Gløshaugen Campus. Det ble oppført i 1960 og tegnet av arkitekt Knut Bergersen. Det totale arealet er på 3168 m² fordelt over fem etasjer: underetasje, første etasje, andre etasje, tredje etasje og fjerde etasje. De fem etasjene blir i hovedsak brukt til kontorer, men også undervisning. Underetasjen består av flere undervisningsrom, mens de resterende etasjene kun inneholder kontorer og møterom. Det er forskjell på hvor hyppig kontorene i de forskjellige etasjene blir brukt. I tredje etasje som det først ble gjort målinger på viste det seg å være kontorer som var veldig lite i bruk. Ved en inspeksjon av bygget kom det frem at første og andre etasje er de etasjene som blir mest brukt. Det totale ukentlige forbruket på hele bygget er det mulig å lese av fra et målepunkt, men det finnes ikke mer detaljerte målepunkter [35]. Det er plassert ut elektriske varmeovner i de forskjellige rommene i bygget, som er stilt inn på nattsinking for å ikke bruke for mye strøm de timene ingen oppholder seg i bygget. Dette gjør at energiforbruket går ned, men kan også føre til økte effekttopper.

4.1.2 Otto Nielsens veg 12E

Det andre kontorbygget det har blitt hentet ut datagrunnlag fra har adresse Otto Nielsens Veg 12 og blir ofte kalt Telenorbygget selv om Telenor ikke lenger er eier. Det ligger plassert på Tyholt i Trondheim og er kontor for flere bedrifter inkludert COWI og Nordic Semiconductor.

Den ene delen av bygget ble bygget i 1998, men den delen det fokuseres på i denne oppgaven, bygg E, sto ferdig juni 2017. I likhet med Geologibygg er det i hovedsak et kontorbygg, men i underetasjen ligger det noen laboratorier. Det er Nordic Semiconductor med sine 260 ansatte som holder til i denne delen. Til oppvarming blir det kun brukt vannbåren varme i form av fjernvarme og brønner i fjellet. Som nevnt er ikke dette den mest vanlige formen for oppvarming, men i nyere kontorbygg med fokus på energieffektivitet blir det mer og mer vanlig å bruke vannbåren varme. Fjernvarmeproduksjonen økte med 8,4 % fra 2015 til 2016, og det forventes også en økning i bruk av fjernvarme for denne typen bygg fremover [36]. Det å se på et bygg med elektrisk oppvarming og et bygg med vannbåren varme gir en bredde i lastprofilgrunnlaget. Det er ønskelig med en bredde for å se på forskjellene og likehetene mellom de to kontortypene [33].



Figur 4.3: Oversiktsbilde Otto Nielsens veg 12, hentet fra Veidekke [37]



Figur 4.4: Den nye delen av kontorbygget, hentet fra Mursystem AS [38]

Figur 4.3 viser et oversiktsbilde som inkluderer alle bygningene (A,B,C,D,E) som inngår i kontorlokalet, Otto Nielsens veg 12. Figur 4.4 viser mer detaljert den nye delen av kontorbygget. Dette er bygg E og er illustrert i Figur 4.3 med en svart ring rundt. Bygget er klassifisert som BREEAM-NOR Excellent. Det vil si det nest høyeste nivået av miljøklassifiseringsverktøyet for norske bygg kalt BREEAM-NOR [39]. Det totale arealet er på 8500 m². Blant annet på grunn av laboratoriene i kjelleren er det et stort kjølebehov i bygget om sommeren sammenlignet med andre kontorbygg.



Figur 4.5: Solcellepaneler på taket, hentet fra prosjektoppgave ved institutt for energi- og prosessteknikk [40]



Figur 4.6: Solcellepanel montert på vegg, hentet fra prosjektoppgave ved institutt for energi- og prosessteknikk [40]

Per i dag er det installert et mindre anlegg med monokrystallinske og polykrystallinske solcellepaneler. Figur 4.5 viser hvordan solcellepanelene er montert på taket, mens Figur 4.6 viser solcellepanelet på ytterveggen av bygget. Både solcellepanelene på taket og på ytterveggen har en vinkel på 90° . Vinkel på solcellepanelene spiller en stor rolle når det kommer til når man vil ha den størst produksjonen av solenergi. Et solcellepanel med en vinkel på 90° gir en jevnere produksjon av strøm over døgnet og året enn et solcellepanel med en vinkel på 0° ville gjort. Det vil med andre ord si at produksjonen på vinteren er større med en vinkel på 90° , men produksjonen på sommeren er større med en vinkel på 0° [41].

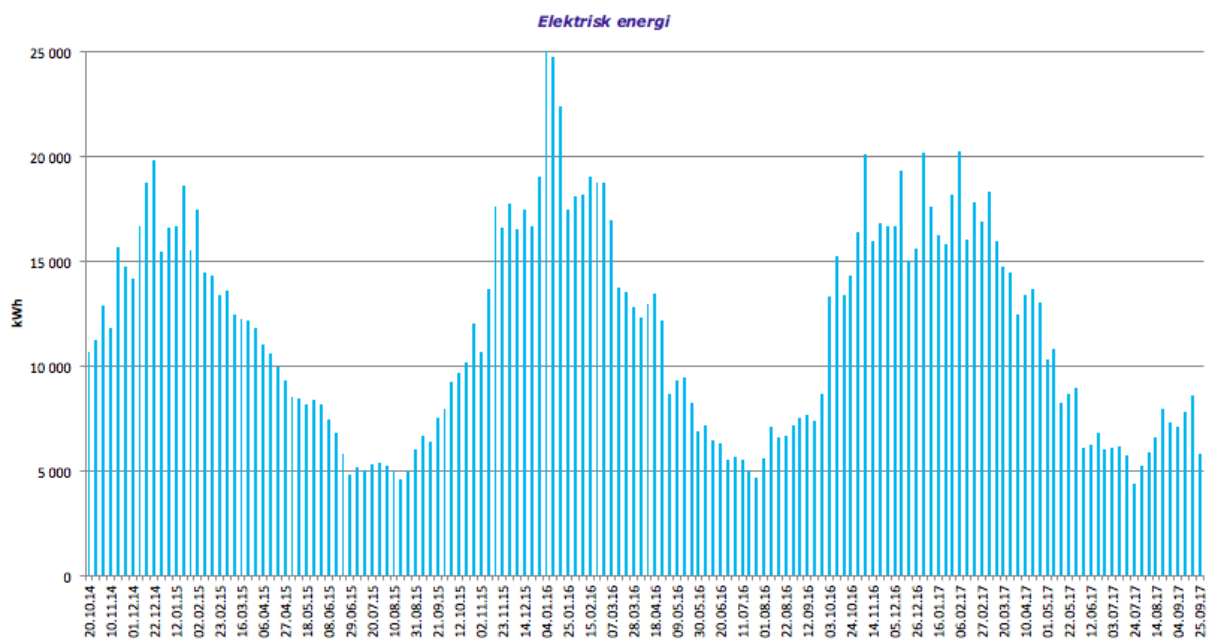
I bygget er det målepunkter for alle kurser, slik at å følge med på energiforbruket og effekttopper kan gjøres til en hver tid. Det er et styringssystem tilpasset behovet for lys og varme, men dette er ikke koblet til en maksimalvokter for å begrense effekttopper. Energien til oppvarming og nedkjøling er for den nyeste delen av bygget (bygg E) hentet fra 25 energibrønner i fjellet på 250 meter. Hele bygget er koblet til Trondheim fjernvarmenett slik at det er mulig å bruke fjernvarme til oppvarming i hele Otto Nielsens veg 12. Bygg E kan også overføre ekstra varme fra brønnene over til de resterende byggene [42].

4.2 Utføring av målinger på Geologibygget

På grunn av at Geologibygget er et eldre bygg er det ikke lagt opp til å kunne lese av lastprofilen for de forskjellige kursene. Det er dermed nødvendig å gå inn i sikringsskapene og gjøre målinger på de kursene der detaljert informasjon er nødvendig.

4.2.1 Tidspunkt for målingene

Det totale ukentlige energiforbruket målt i kWh for Geologibygget har driftavdelingen på NTNU statistikk og oversikt over. Graf med dette forbruket fra 20. oktober 2014 og frem til 25. november 2017 blir fremstilt i figur 4.7.



Figur 4.7: Elektrisk energiforbruk på Geologibygget fra 20.10.2014 til 25.09.2017, basert på tall fra NTNU drift [43]

Resultatene presentert i figur 4.7 inneholder for lite detaljinformasjon til at de alene kan brukes som grunnlag for å finne effektkrevende laster. Fordelen er at dette forbruket kan sammenlignes med de mer detaljerte målingene for å se om de største effekttoppene er inkludert.

Det kan leses av figur 4.7 at det høyeste forbruket av elektrisk energi alle de fire årene er i perioden desember til februar. Det absolutt høyeste forbruket var uken fra 04. januar 2016 til og med 10. januar 2016. Det er også interessant å merke seg at den største effekttoppen som noen gang har oppstått i det norske strømmettet også oppsto i løpet av den uken. Om forbruket av elektrisk energi sammenlignes med temperaturen de samme ukene kan det observeres en klar sammenheng. Den kaldeste uken i måleperioden er den samme som den uken med høyeste forbruk av elektrisk energi [44]. Temperaturene er hentet fra målestasjonen på Voll i Trondheim. Voll ligger 127 moh., og sammenlignet med Geologibygget som ligger 45 moh. kan det tenkes at temperaturen var noe varmere ved Geologibygget enn

koblet til loggeren når målingene gjøres. Dette gir en større frihet til hvor det er mulig å gjøre målinger [45].

Dataloggeren illustrert i 4.9 er større og avhengig av at en datamaskin er koblet til apparatet. Måleverdiene kommer ut i et Excel-ark, noe som kan føre til problemer for Excel om det er et stort antall måleverdier. Begge måleapparatene har begrenset lagringskapasitet, noe som fører til at med målinger hvert tiende sekund er det maksimalt mulig å måle i elleve dager i strekk.

Figure 4.10 og figur 4.11 viser bilder av hvordan alt av utstyr inkludert de to måleapparatene beskrevet over har blitt koblet opp i sikringsskapet F-22 på Geologibygget.



Figur 4.10: Oppkobling av måleutstyr på Geologibygget

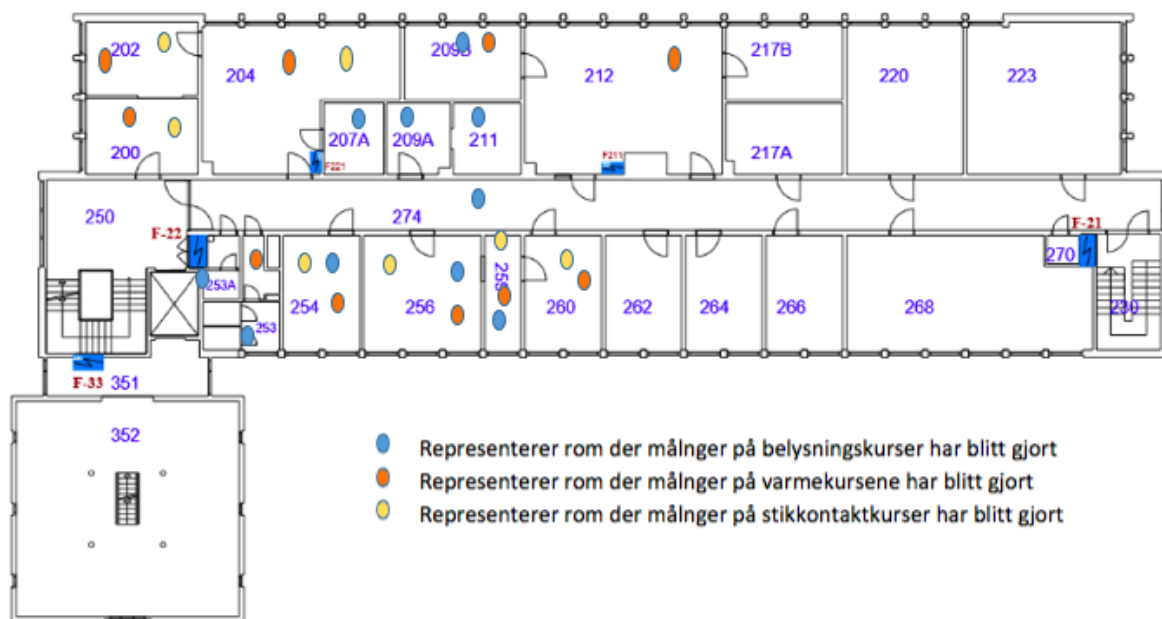


Figur 4.11: Mer detaljert bilde av oppkoblingen av utstyret på Geologibygget

4.2.3 Bakgrunn for og oversikt over kursene målt

Etter at det hadde blitt gjort testmålinger på laboratoriet, ble utstyret installert på Geologibygget. For å velge ut de kursene som skulle måles i første omgang ble det valgt de med størst tverrsnitt som gikk til rom som var hyppig brukt. Det ble også fordelt mellom stikkontakt-, belysning- og varmekurser. Dette var basert på at kursene med størst tverrsnitt har potensiale for de største effekttoppene. Alle kursene med størst tverrsnitt gikk til varme, og det ble derfor valgt minst en kurs til hvert av de nevnte bruksområdene.

I løpet av den første måleperioden viste det seg at tredje etasje, som så ut som en stor etasje med hyppige brukte kontorer, var mye roligere enn først antatt. Flere av rommene det sto oppført personer på, så mørke ut store deler av måleperioden. På grunnlag av dette ble brukerne av bygget denne gangen spurt om hvilken etasje og kontorer som ble mest brukt. Det ble konkludert med at det skulle fokuseres på andre etasje. Det å begrense seg til en etasje gjør at det kan bli gjort mer detaljerte målinger. For å kunne komme med konkrete forslag til hvordan effekttoppene kan reduseres, er det nødvendig med så nøyaktige målinger som mulig. Dette gjør det enklere å oppdage og analysere spesielt effektkrevende laster. Måleutstyret legger også en begrensning på hvor mange kurser det er mulig å måle samtidig, og å begrense seg til en etasje er derfor nødvendig. Grunnen til at det er andre etasje som er valgt er at det er en etasje med stor aktivitet. Det er ønskelig å måle der det er mest aktivitet, fordi det er sannsynlig at de største effekttoppene vil opptre der.



Figur 4.12: Romoversikt andre etasje fargekodet etter hvilke kurser som er målt, baser på info fra NTNU drift [43]

Figur 4.12 viser romfordelingen i andre etasje fargekodet etter hvilke kurser i de forskjellige rommene det har blitt gjort målinger på. Etasjen er forsynet via et IT-nett med spenning på 230 V. Varmekursene er koblet i trefase, mens kurser til belysning og stikkontakt er koblet i énfase. Figur 4.12 viser også tavle F-22, markert med rødt, som er der målingene ble utført. Denne forsyner tavle F-211, også markert i rødt, slik at begge disse blir dekket av målingene.

De blå prikkene representerer rom der det er gjort målinger på belysningskursene. De røde prikkene representerer rom der det er gjort målinger på varmekursene og de gule prikkene representerer rom der det er gjort målinger på stikkontaktkursene.

Bygg	Geologen			Byggnr	306
Adresse	Høgskoleringen 6			Etasje	2.etg.
Fordeling	F-22			Rom	Trapp
Kortslutningsberegninger	Ikl/U	kA/	V	Trafo	308
			230V	Stiger	6 og 7
KURS	BESKRIVELSE		SIKRING	TVERRSNITT	REKKEKL.NR
Q301	Hovedsikring kurs Q306-Q323	Stiger 7	100		
Q302	Hovedsikring kurs Q327-Q332	Stiger 6	160		
Q303	Fordeling 221	Rom 204	63		
		Stiger 7			
Q306	Stikk i kanal	Rom 254,256,259,260	16	2x2,5	1-2
Q307	Stikk i kanal	Rom 200,202,204	16	2x2,5	3-4
Q308	Stikk i kanal	Rom 209B,212	16	2x2,5	5-6
Q309	Lys	Korridor	10	2x1,5	7-8
Q310	Stikk i kanal	Rom 200,202	10	2x1,5	9-10
Q311	Lys	Rom 207A,209A,211,209B	10	2x1,5	11-12
Q312	Stikk i kanal	Rom 211	16	2x2,5	13-14
Q313	Stikk i kanal	Rom 217B, 223	16	2x2,5	15-16
Q314	Lys	Rom 253,253A,254,256,259	16	2x2,5	17-18
Q315	Stikk.	Rom 209B	16	2x2,5	19-20
Q316			16		21-22
Q317			16		23-24
Q318	Stikk./lys	Korridor	16	2x2,5	25-26
Q319	Stikk.	Rom 256	10	2x1,5	27-28
Q320	Stikk.	Rom 254	10	2x1,5	29-30
Q321	Stikk. adgangskontroll		16	2x2,5	31-32
Q322	Stikk.	Rom 200-204	16	2x2,5	33-34
Q323	Stikk./lys	Fordeling F-22	16	2x2,5	35-36
		Stiger 6			
Q327	Varmr	Rom 200, 202	16	3x2,5	37-38-39
Q328	Varmr	Rom 254 + wc	16	3x2,5	40-41-42
Q329	Varmr	Rom 212	16	3x2,5	43-44-45
Q330	Varmr	Rom 204, 209B	25	3x4	46-47-48
Q331	Varmr	Rom 256, 259, 260	25	3x4	49-50-51
Q332	Fordeling 211	Rom 212	32	3x10	

Figur 4.13: Oversikt fordeling F-22, basert på informasjon hentet fra NTNU drift [43]

Bygg	Geologen			Byggnr	306
Adresse	Høgskoleringen 6			Etasje	2.etg.
Fordeling	F-211			Rom	212
Kortslutningsberegninger	Ikl/U	kA/	V	Trafo	308
			230V	Stiger	Fra F22 Q332 stiger 6
KURS	BESKRIVELSE		SIKRING	TVERRSNITT	REKKEKL.NR
Q301	Stikk	rom 212	16	2x2,5	
Q302	Stikk i kanal	rom 212	16	2x2,5	
Q303	Stikk	rom 212	16	2x2,5	
Q304	Stikk v/vindu	rom 212	10	2x1,5	
Q306	Res.		10		
Q307	Lys	rom 212	10	2x1,5	

Figur 4.14: Oversikt fordeling F-211, basert på informasjon hentet fra NTNU drift [43]

Figur 4.13 og figur 4.14 viser hvilke kurser det har blitt gjort målinger på. Kursene som er markert i rødt er kurser målt med Dataloggeren og kursene markert i blått er blitt målt med Dent Elite Pro Power Meter. Mer detaljert oversikt over hvilke tidsperioder de forskjellige kursene ble målt ligger i vedlegg A.

4.3 Uthenting av datagrunnlaget fra Otto Nielsens veg 12E

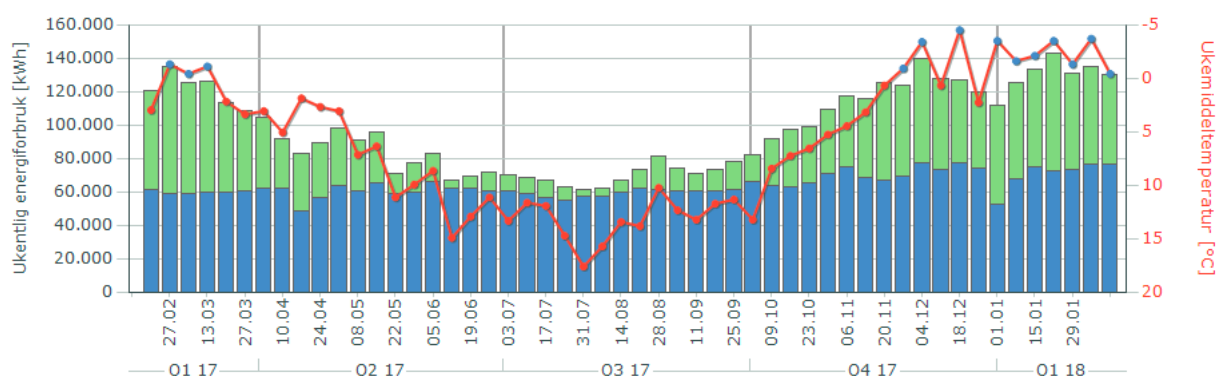
4.3.1 Målepunktene

For Otto Nielsens veg 12E finnes det flere målepunkter i bygget som registrerer elektrisitet brukt til belysning, stikkontakter og varme. Målepunktene lagrer resultatene for energiforbruk i løpet av en klokkeperiode. Det er også mulig å sjekke effekttopper som har oppstått i løpet av en dag, eller en lenger måleperiode. Målepunktene er fordelt på følgende måte for både belysning og stikkontakt:

- Første etasje sør
- Første etasje nord
- Andre etasje sør
- Andre etasje nord
- Tredje etasje sør
- Tredje etasje nord
- Fjerde etasje sør
- Fjerde etasje nord

For oppvarming kan elektrisiteten bruk til pumper og andre komponenter leses av, og det er både registreret effekttopper og energiforbruk. Bygget sto ferdig 5. juni 2017 og det finnes derfor ingen resultater lengre tilbake i tid.

4.3.2 Energiforbruk



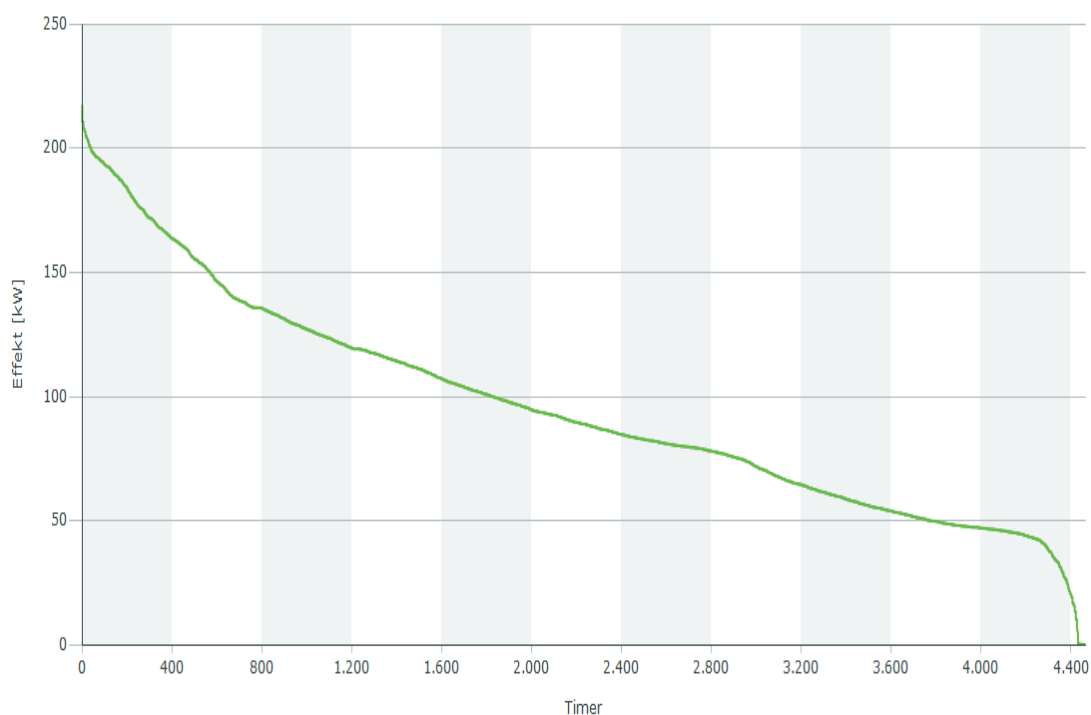
Figur 4.15: Energibruk i Otto Nielsens veg 12, fra 15.02.2017 til 15.02.2018

Figur 4.15 viser en oversikt over energiforbruket i hele i Otto Nielsens veg 12 fra 15.februar 2017 til 15. februar 2018. Den grønne delen av grafen representerer energi i form av fjern-

varme, mens den blå delen av grafen representerer elektrisk energi. Den røde grafen viser ukemiddeltemperaturen den uken forbruket er målt. Den største delen av energiforbruket kommer jevnt over fra elektrisk energi.

Til tross for at denne grafen er generell kan den gi informasjon om det totale forbruket, noe som er interessant å bruke for å sette de mer detaljerte resultatene i kontekst.

4.3.3 Varighetsdiagram



Figur 4.16: Varighetsdiagram for bygg E fra 21.08.2017 til 22.02.2018

Figur 4.16 viser varighetsdiagrammet for Otto Nielsens veg 12E fra 21. august 2017 til 22. februar 2018. Grunnen til at det ikke er tatt med tidligere målinger enn 21. august er fordi bygg E ikke sto ferdig før den sommeren, og bygget ble ikke tatt ordentlig i bruk før i midten av august. Ved å ta med mange dager hvor bygget ikke hadde vært i normalt bruk kunne grafen blitt feiltolket med tanke på antallet timer forbruket er på de forskjellige effektverdiene.

Diagrammet viser at i løpet av de seks første månedene Otto Nielsens veg 12E sto ferdig var den høyeste effekttoppen på omtrent 220 kW. Det er ca 100 timer i løpet av denne tidsperioden at effekttoppene lå på over 200 kW. Over halvparten av tiden var effekten på under

100 kW. Den kortvarige aller høyeste toppen er det viktig å få gjort noe med, men kun på grunnlaget av et varighetsdiagram er det vanskelig å komme med konkrete tiltak da det ikke gir noe informasjon om hvor i bygningen eller når toppene oppstår. En mer detaljert analyse av når og hvorfor effekttoppene oppstår blir presentert videre i oppgaven.

Kapittel 5

Presentasjon av måleresultater

Alle måleresultatene er delt i mindre intervaller, basert på de intervallene målingene er gjort i. Dette er gjort på grunn av begrensninger på måleapparatet og begrensninger for Excel som er brukt til den grafiske fremstillingen. Fordelen med å dele opp i mindre intervaller er at det er mulig å få en mer detaljert oversikt over forbruket.

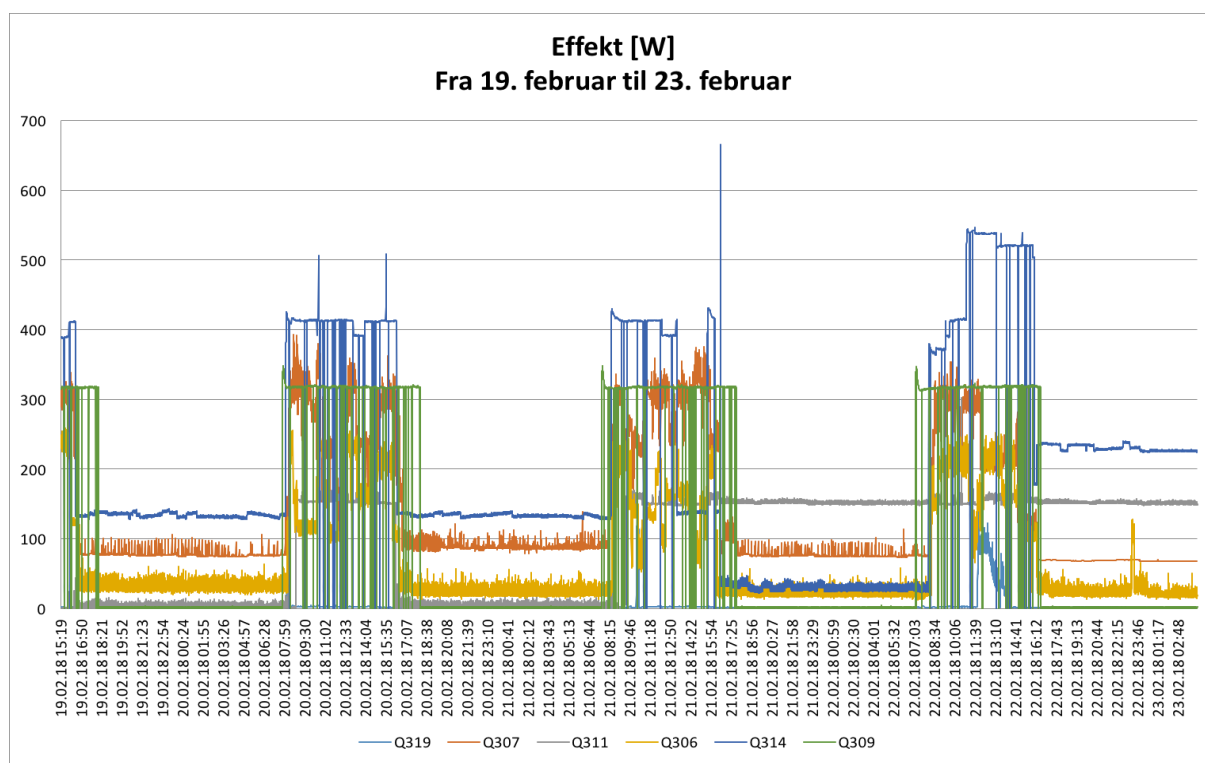
5.1 Måleresultater fra Geologibygget

Resultatene fra målinger gjort på Geologibygget i perioden 13. februar til 26. mars 2018 vil nå bli presentert. I vedlegg B ligger alt av målinger gjort på Geologibygget, det er kun de periodene som skiller seg ut, for eksempel på grunnlag av høye effekttopper, som blir presentert i resultatet.

5.1.1 Stikkontakt- og belysningskurser

Målingene er gjort med et intervall på 10 sekunder. Det har blitt målt strøm og spenning for å manuelt kunne regne ut effekten.

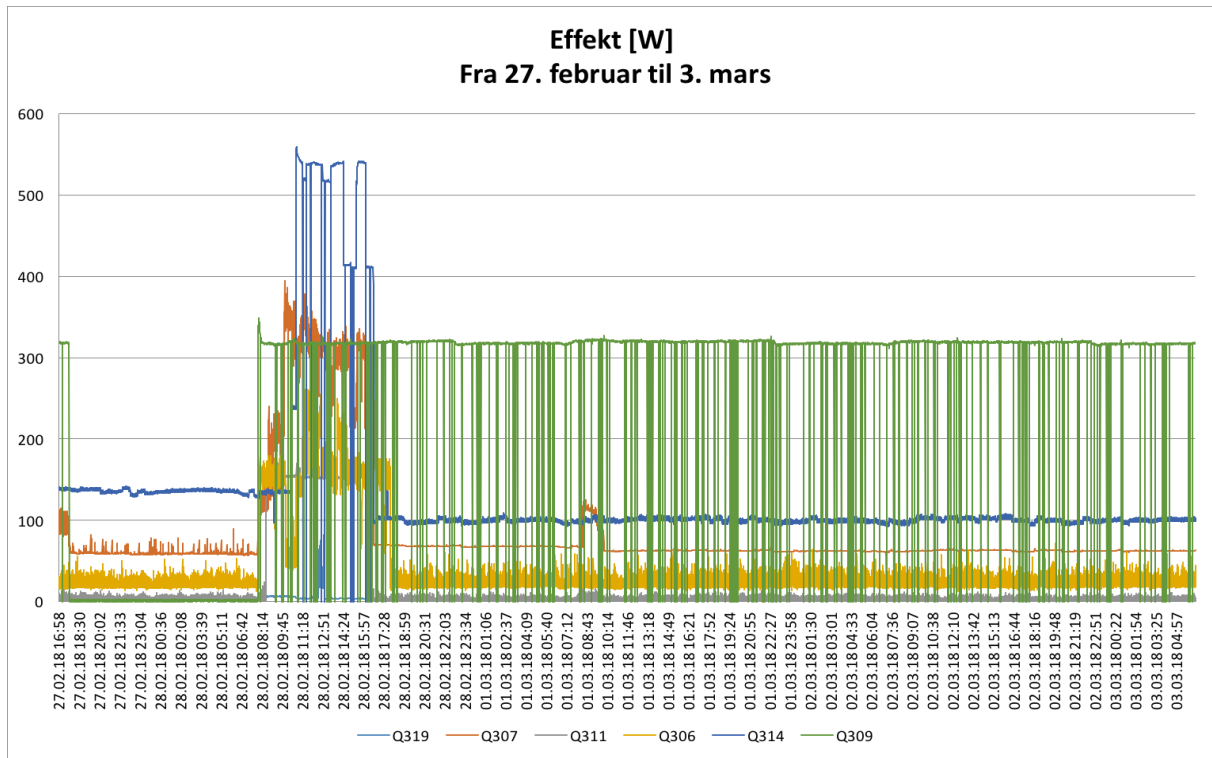
Perioden 19. februar til 23. februar



Figur 5.1: Effekttopper i perioden 19. februar til 23. februar

Figur 5.1 viser effekttoppene fra mandag 19. februar til fredag 23. februar. Kurs Q319 skiller seg ut med en høy effekttopp onsdag 21. februar, utenom denne toppen er forbruket gjennom uken gjennomsnittlig sett i sammenheng med alle måleresultatene. Det kan tydelig observeres at toppene er større i arbeidstiden enn resten av døgnet. Kurs Q319 går til stikkontakter i rom 256 som er et av de større kontorene i etasjen. Til de aller fleste tidspunktene den presenterte arbeidsuken er det kurs Q319 som har de høyeste toppene. Det er sannsynlig at personen som benytter rom 256 til kontor har koblet en effektkrevende last i stikkontakten. Dette kan for eksempel være en ekstern varmeovn eller på den aller høyeste toppen en kaffe-trakter eller et elsykkelbatteri på toppen av dette.

Perioden 27. februar til 3. mars

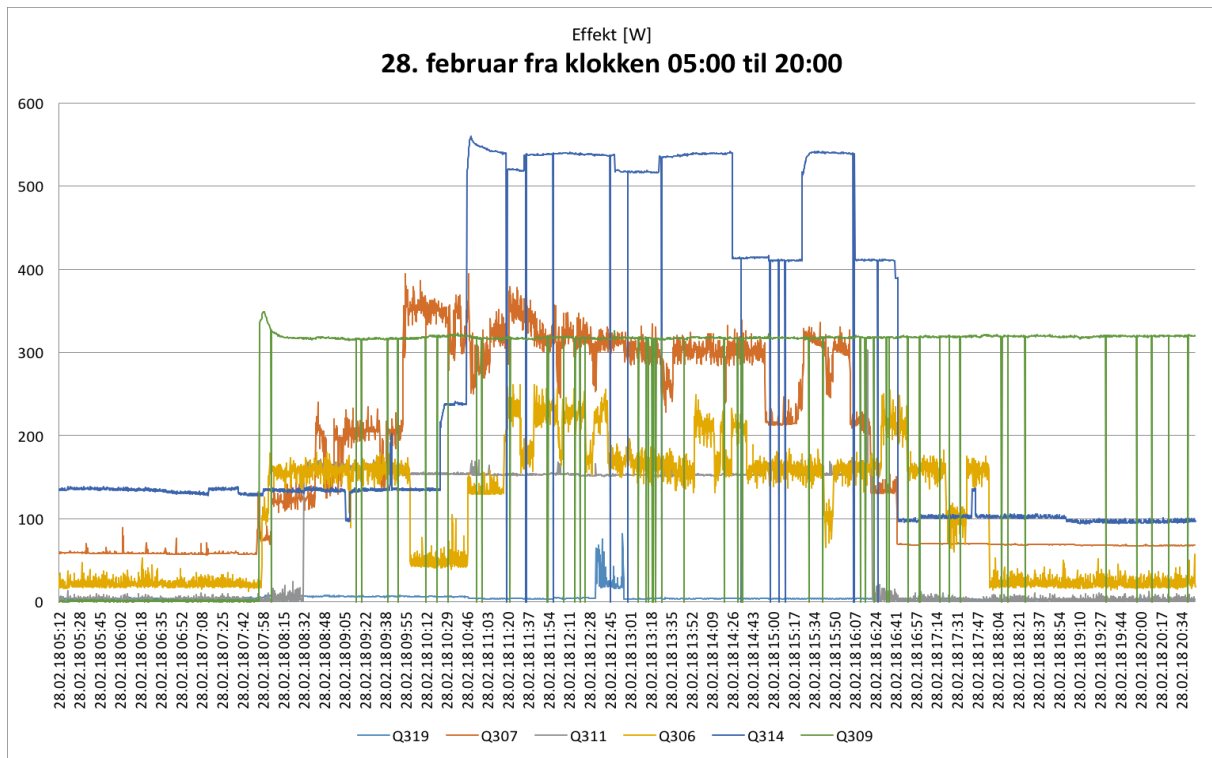


Figur 5.2: Effekttopper i perioden 27. februar til 3. mars

Figur 5.2 viser effekttoppene fra tirsdag 27. februar til lørdag 3. mars. Forløpet her skiller seg tydelig fra forløpet i figur 5.1. Dette er i hovedsak på grunn av kurs Q309 som går til lys i korridoren utenfor kontorene. I perioden beskrevet tidligere var lyset i korridoren kun på i arbeidstiden og ikke hele døgnet. Dette har endret seg i figur 5.2 og lyset i korridoren er skrudd på hele uken. Grunnen til denne forskjellen kan være at lysene ikke skrur seg av automatisk og at det derfor varierer om de ansatte husker å skru av lyset når de forlater kontoret.

De andre kursene er mindre i bruk denne perioden enn den forrige perioden beskrevet. Det kan virke som de var svært få personer på kontorene sine torsdag 1. mars og fredag 2. mars. Dette kan også være en forklaring på hvorfor lyset i gangen har stått på over en lenger tidsperiode, om de som vanligvis husker å skru av lyset ikke har vært på kontoret disse dagene. Kurs Q319 har de klart høyeste toppene i denne måleperioden også, og ligger store deler av arbeidsdagen onsdag 28. februar over 500 W.

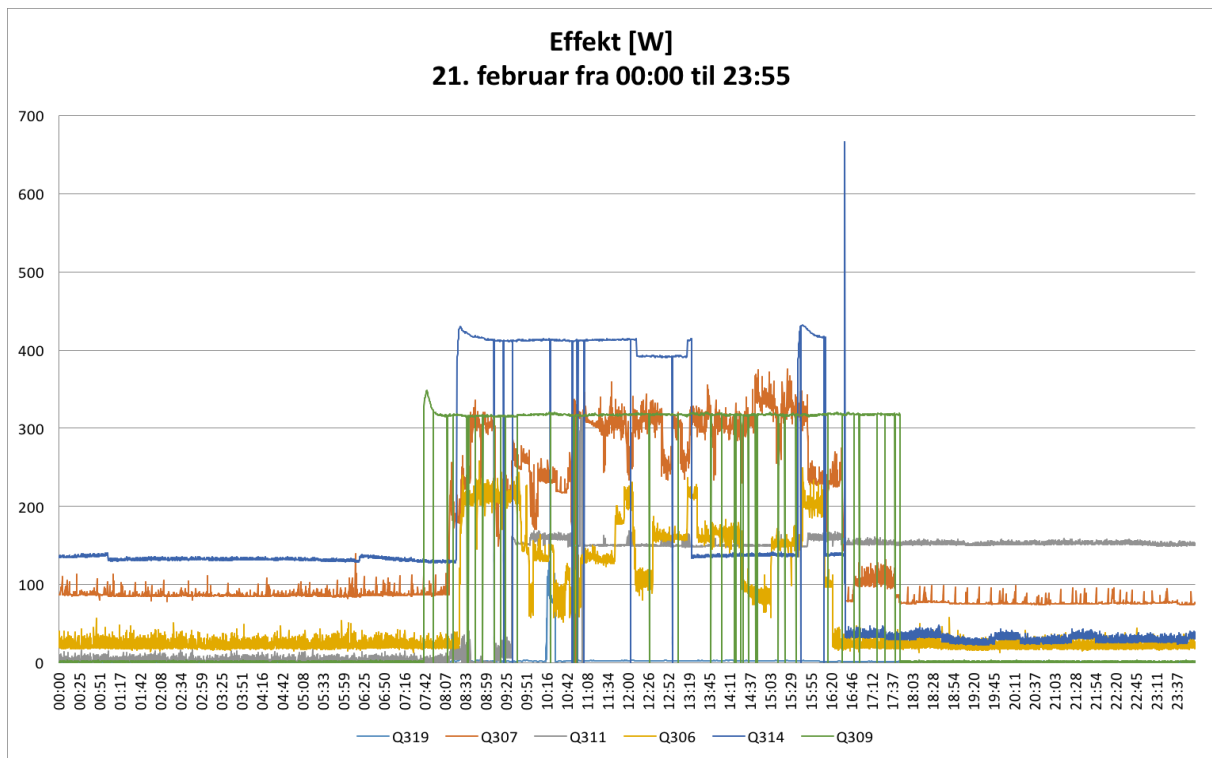
Utvalgte dager



Figur 5.3: Effekttopp dag med størst temperaturforskjell, Onsdag 28. februar 05:00 til 20:00

Figur 5.3 viser effekttoppene onsdag 28. februar fra klokken 05:00 om morgenen til 20:00 på kvelden. Dette intervallet er valgt med tanke på å få med alle tidspunkter det er sannsynlig at noen oppholder seg i bygget på. 28. februar var den nest kaldeste dagen i måleperioden (den kaldeste var 1.mars), men 28. februar var den dagen med størst temperaturredifferanse fra dagen før. Dette er interessant å se nærmere på fordi store svingninger i temperatur kan skape store effekttopper. Det er spesielt interessant for varmekursene, men for stikkontaktkursene kan det også observeres topper ved at eksterne ovner blir koblet inn. Fra figur 5.3 kan det observeres at det generelle forbruket er noe høyere enn de andre dagene analysert.

Det er en topp for kurs Q319 rundt klokken 11:00, men den holder seg relativt jevn gjennom arbeidsdagen. Kurs Q319 ligger jevnt høyere denne dagen, selv sammenlignet med de kaldere dagene i måleperioden. Kurs Q309 går fra 0 til 320 W klokken 08:00 og holder seg på dette nivået gjennom hele dagen og kvelden. Kurs Q307 går til stikkontakter i kanal til rom 200, 202 og 204. Dette er to små kontorer og et større kontor. For denne kursen viser figuren at forbruket er varierende, men med sin største topp rundt klokken 09:30. I motsetning til kurs Q309 går forbruket på kurs Q307 ned til omtrent 20 W etter arbeidstiden.



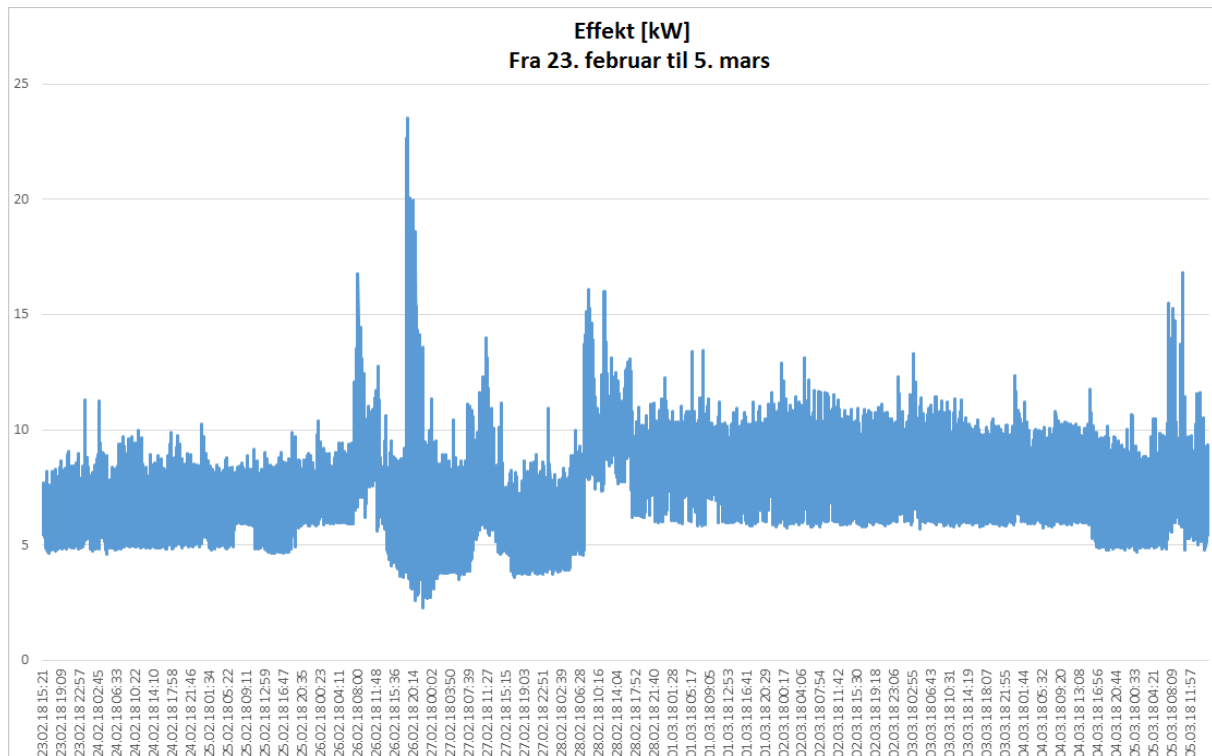
Figur 5.4: Effekttopper dagen med høyest topp, Onsdag 21. februar 00:00 til 23:55

Figur 5.4 er den dagen med høyest topp for stikkontakt- og belysningskursene i hele måleperioden. Kurs Q319 har en klar topp klokken 16:46, onsdag 21. februar. Denne kursen går som tidligere nevnt til stikkontakter i rom 256. En effekttopp som dette kan typisk komme av en effektkrevende last som blir koblet til stikkontakten. Dette kan for eksempel være en kaffetrakter eller et elsykkelbatteri. De andre kursene har et normalt forløp denne dagen og toppene generelt ligger noe lavere enn i figur 5.3.

5.1.2 Varmekurser

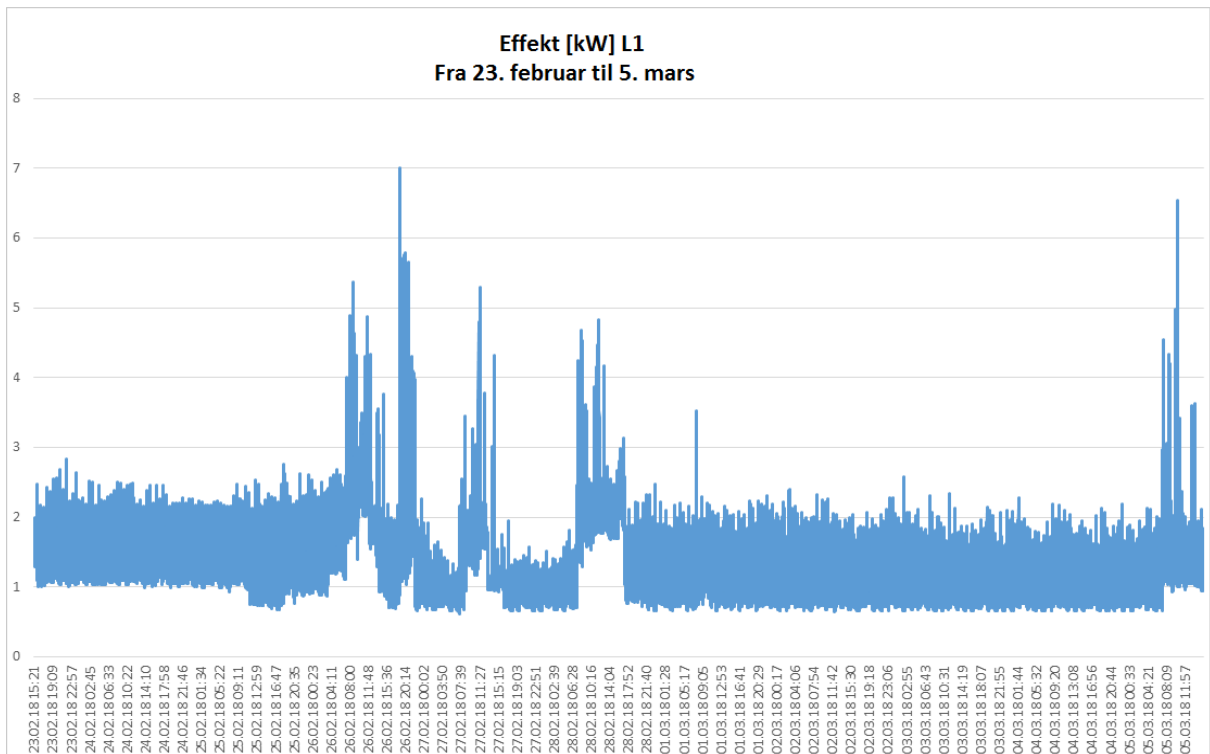
Målinger gjort i perioden 15. februar til 25. mars vil bli presentert i dette delkapittelet. Den maksimale effekten målt i løpet av ti sekunder, samt effekt for fase L1, L2 og L3 er fremstilt grafisk for de ulike intervallene. Problemer med oppkoblingen av utstyret i sikringsskapet gjorde at disse målingene kom i gang to dager senere enn målingene for stikkontakt- og belysningskurser. I vedlegg B ligger alt av målinger gjort på Geologibygget, det er kun de periodene som skiller seg ut for, eksempel på grunnlag av høye effekttopper, som blir presentert i resultatet.

Perioden 23. februar til 5. mars

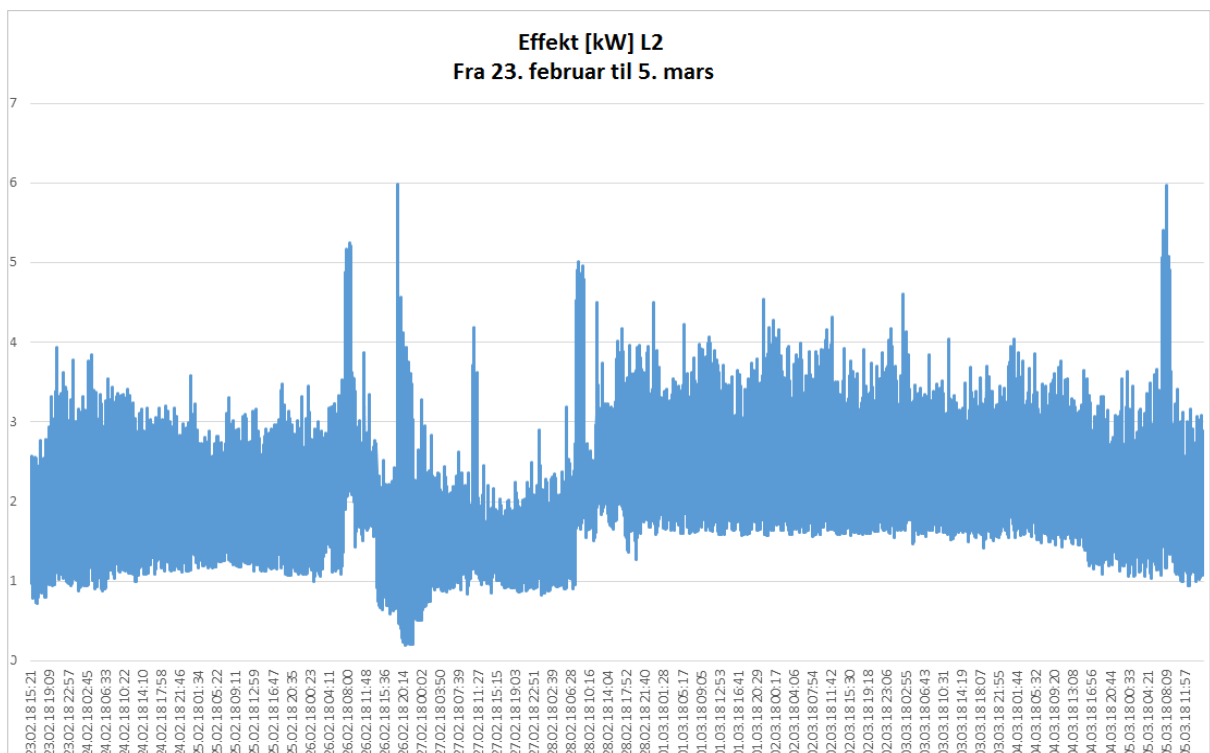


Figur 5.5: Effekttopper i perioden 23. februar til 5. mars

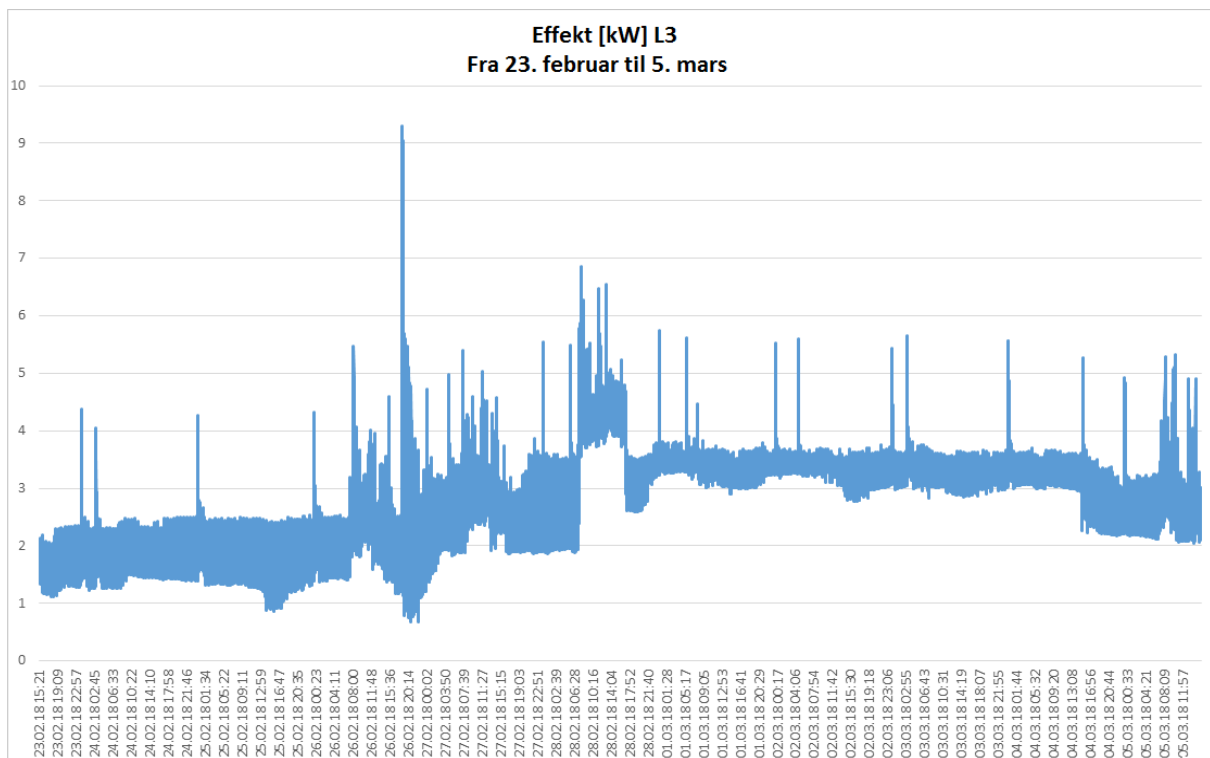
Figur 5.5 viser effekttoppene i perioden fredag 23. februar til mandag 5. mars. For varmekursene er det viktig å få med mandagene da dette er et typisk tidspunkt det kan oppstå topper på grunn av at temperaturen i bygget senkes i helgene. Den høyeste effekttoppen som blir observert i måleperioden opptrer mandag 26. februar, men skyldes ikke temperaturøkning etter helgen. Toppen kommer av et planlagt strømbrudd. Etter strømbruddet er det tydelig at mange varmeovner har skrudd seg på samtidig, på tross av at dette er et planlagt strømbrudd utenfor arbeidstiden. I figur 5.5 kan effekttoppen grunnet strømbruddet tydelig observeres og den ligger på 24 kW.



Figur 5.6: Effekttopper L1 i perioden 24. februar til 5. mars



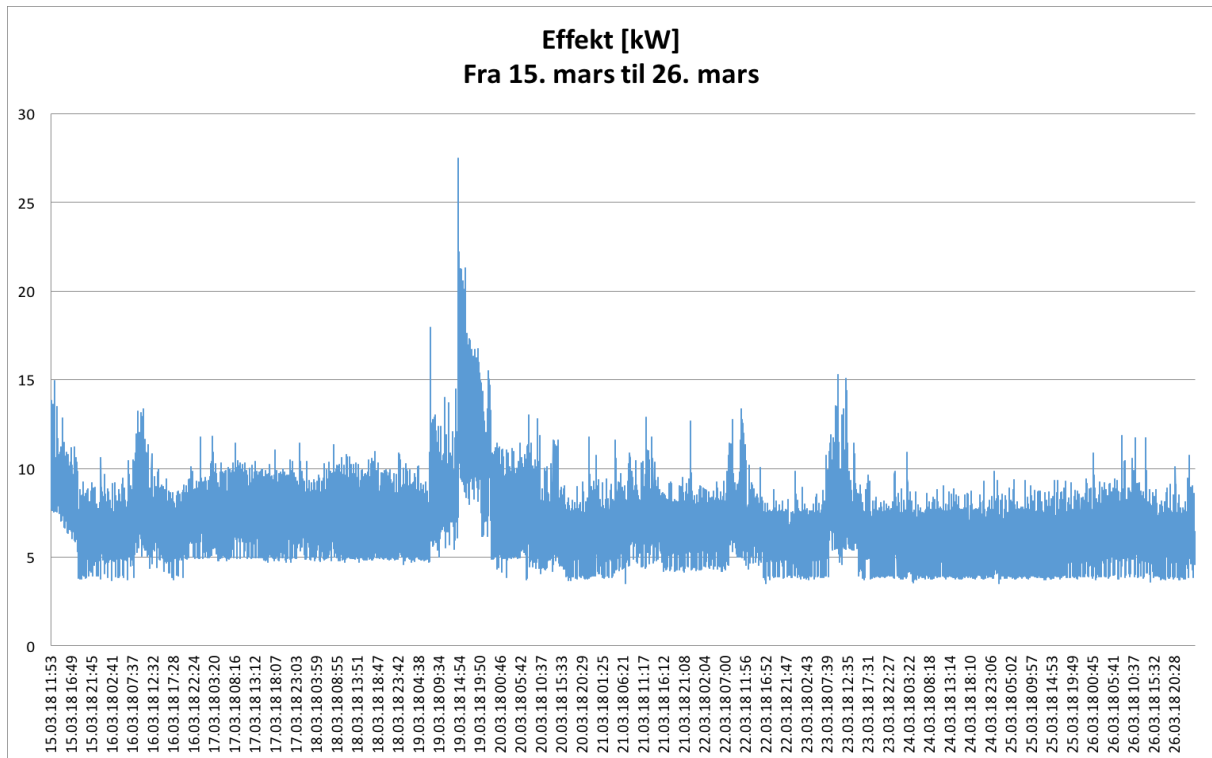
Figur 5.7: Effekttopper L2 i perioden 24. februar til 5. mars



Figur 5.8: Effekttopper L3 i perioden 24. februar til 5. mars

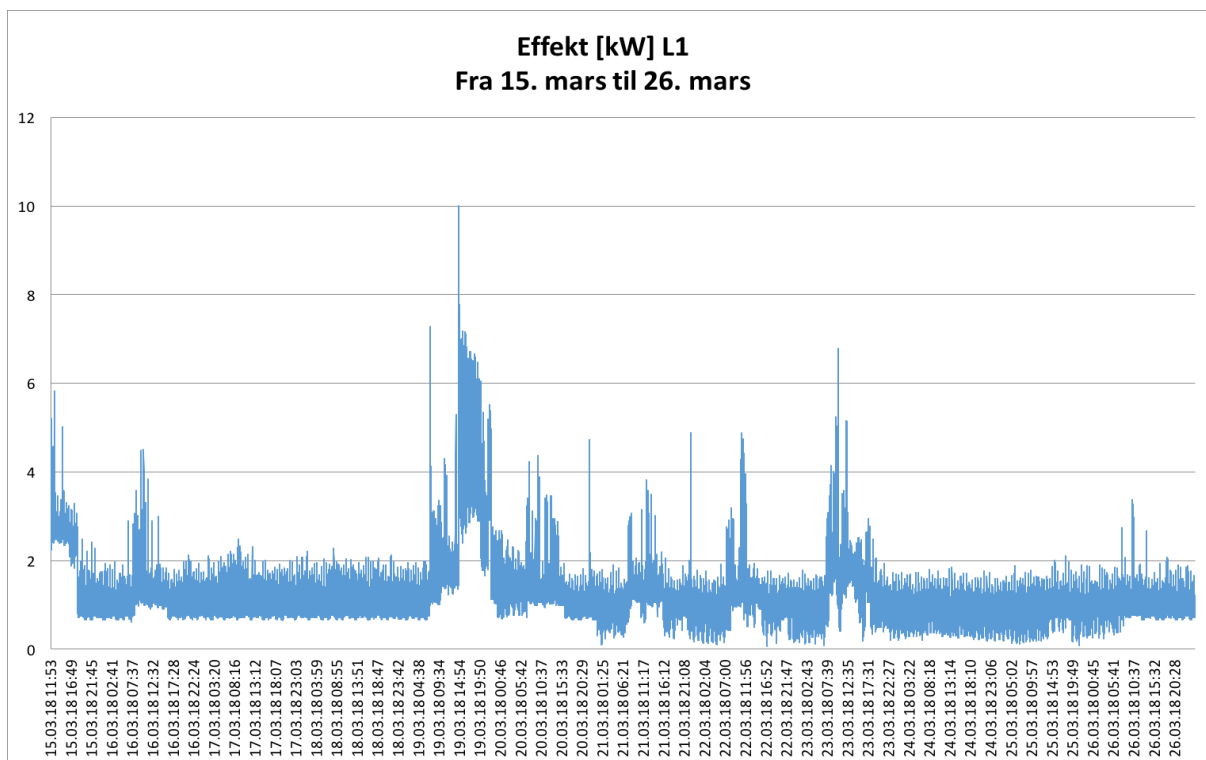
Figur 5.6, figur 5.7 og figur 5.8 viser effektforløpet i samme periode men for de tre forskjellige fasene. Det er mulig å lese av at fasene er litt skjevfordelt med mest belastning på fase L3. Den høyeste effekttoppen for L3 ligger på litt over 9 kW, mens effekttoppen for L1 og L2 ligger under henholdsvis 7 kW og 6 kW. På tross av at L3 har den høyeste effekttoppen ligger effekttoppene jevn over perioden høyest for L2. En skjevfordeling mellom fasene er ikke ønskelig fordi alt av utstyr må dimensjoneres etter den høyeste effekttoppen som kan oppstå på hver fase. Det vil si at om det er en skjevfordeling mellom fasene må da kablene dimensjoneres større enn det som hadde vært nødvendig om det var jevnt fordelt mellom L1, L2 og L3. En skjevfordeling kan føre til brudd på den fasen som er mest belastet, som i ytterste konsekvens kan føre til brann. En liten skjevfordeling mellom fasene vil det alltid være, men det er viktig å unngå store forskjeller. Dette sparer både materialer under dimensjoneringen av systemet samtidig som det er tryggere med tanke på brannfare.

Perioden 15. mars til 26. mars

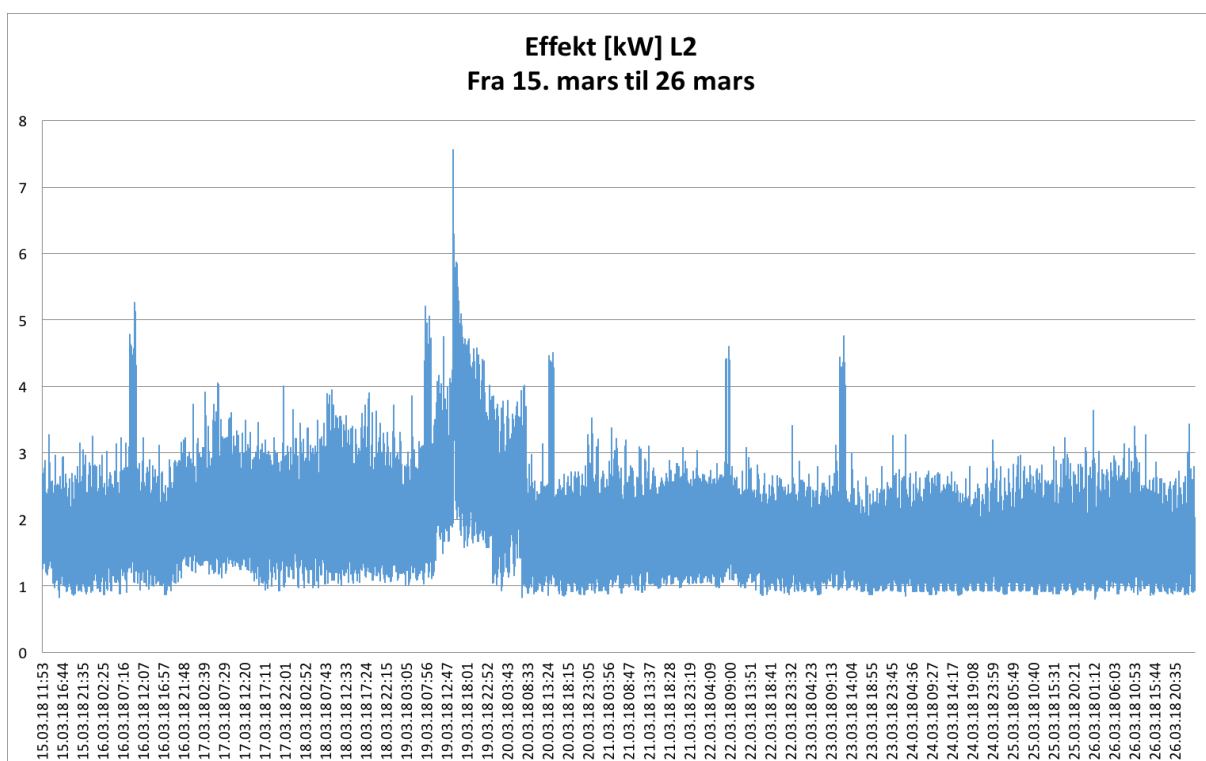


Figur 5.9: Effekt i perioden 15. mars til 26. mars

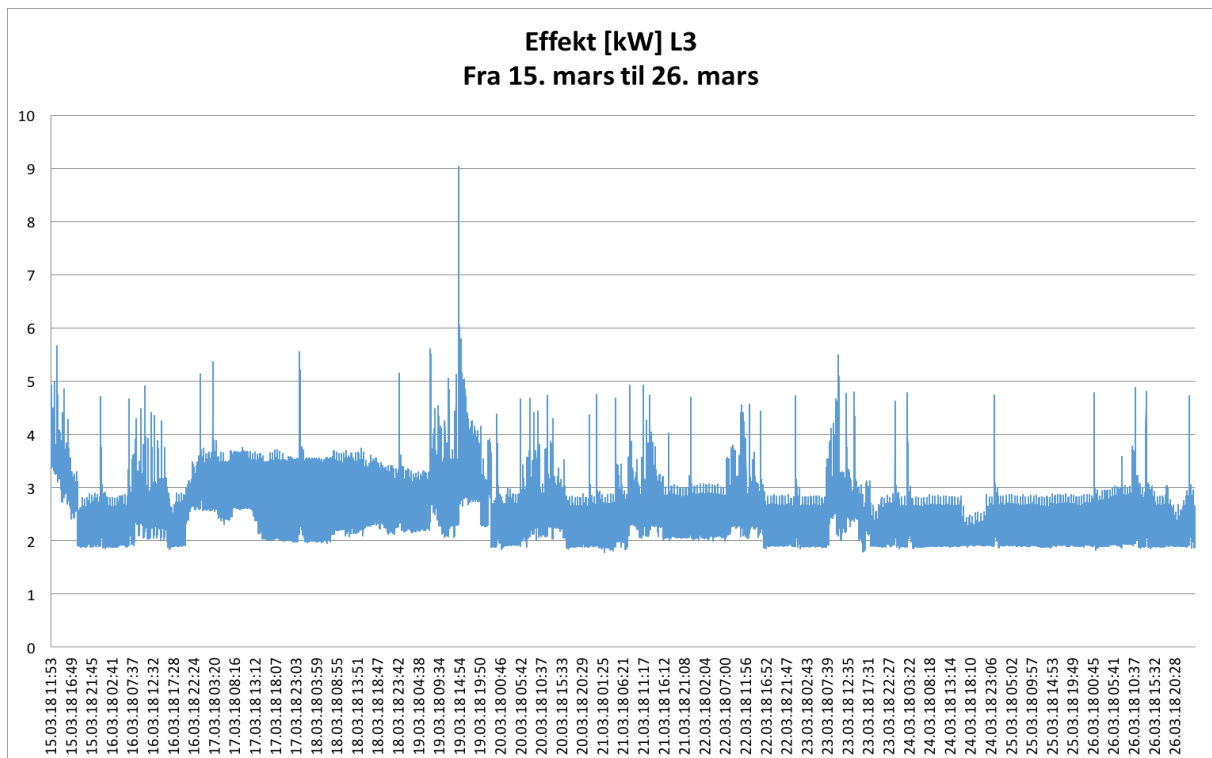
Figur 5.9 viser effekttoppene i perioden fra onsdag 15. mars til mandag 26. mars. Det er en topp mandag 19. mars som tydelig skiller seg ut fra de andre. Effekttoppen denne dagen er på 27 kW, noe som er hele 10 kW høyere enn den nest høyeste toppen i dette måleintervallet. Denne toppen kommer av et kort strømbrudd som gjorde at alle varmeovnenes skrudde seg på samtidig etter bruddet. Strømbruddene kan ha sammenheng med byggearbeidet som holder på utenfor Geologibygget. Dersom dette ikke har noen sammenheng og det viser seg at det er like hyppige planlagte strømbrudd som denne måleperioden tilsier fører dette til en kunstig høy pris for effekttoppene.



Figur 5.10: Effekttopper L1 i perioden 15. mars til 26. mars



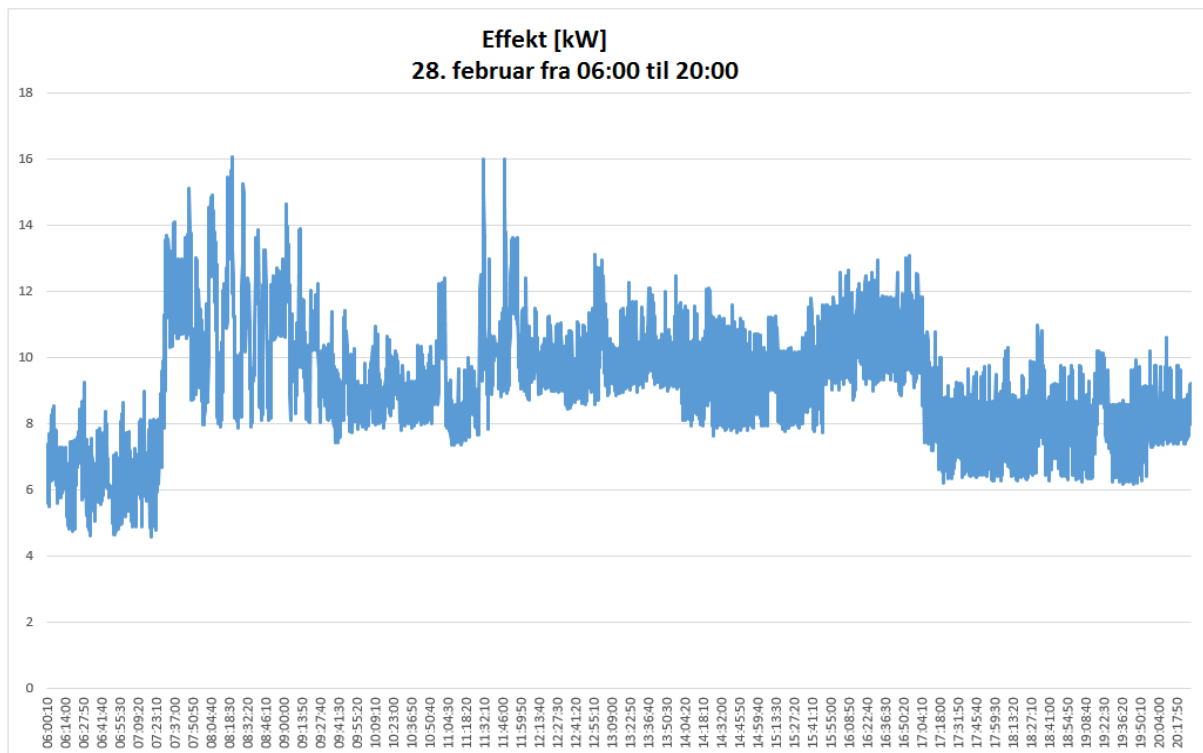
Figur 5.11: Effekttopper L2 i perioden 15. mars til 26. mars



Figur 5.12: Effekttopper L3 i perioden 15. mars til 26. mars

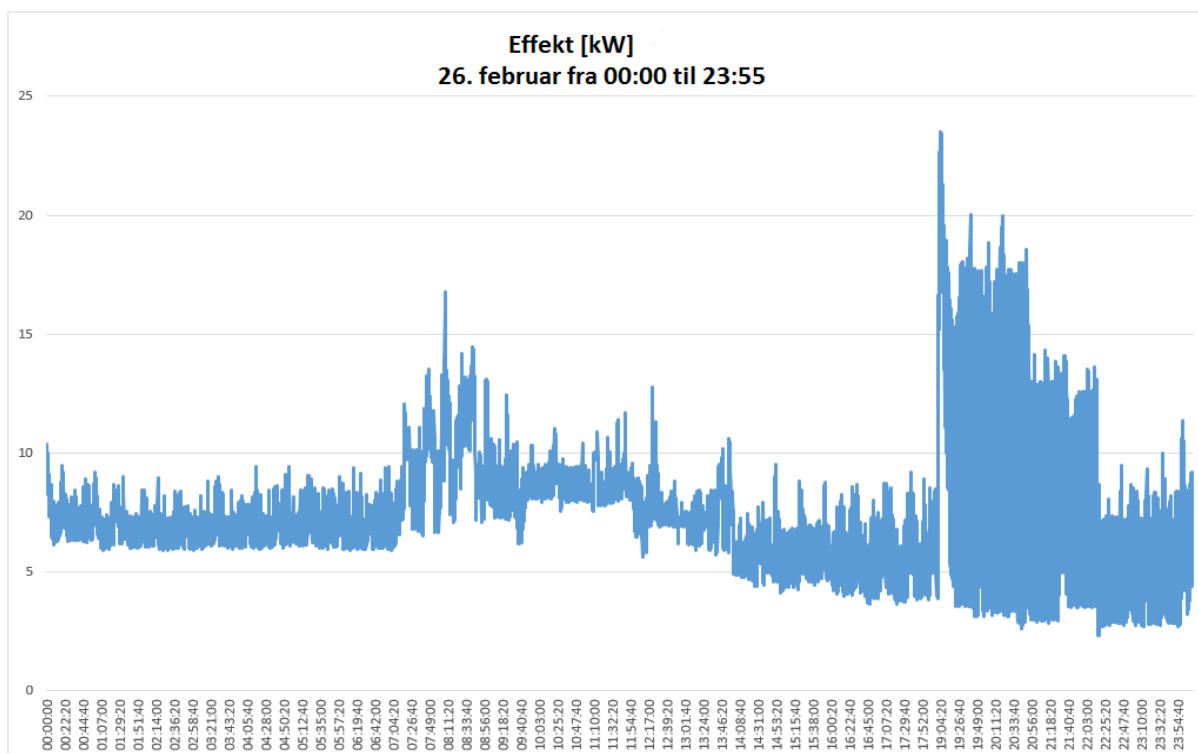
Figur 5.10, figur 5.11 og figur 5.12 skiller seg fra det forrige måleintervallet beskrevet fordi her er det fase L1 som har den høyeste toppen på 10 kW, etterfulgt av L3 på 9 kW og deretter L2 på 7,5 kW. Jevnt over er det fortsatt fase L2 som har de høyeste effekttoppene. Grunnen til at det varierer hvilke fase som opplever høyest belastning er at komponentene er koblet forskjellig på de tre fasene. Hvilken av fasene som får den største belastningen er dermed avhengig av hvilke komponenter som har de største effekttoppene i måleintervallet. Dette forklarer hvorfor det er fase L1 som har den høyeste effekttoppen, mens det ti dager tidligere var fase L3.

5.1.3 Utvalgte dager



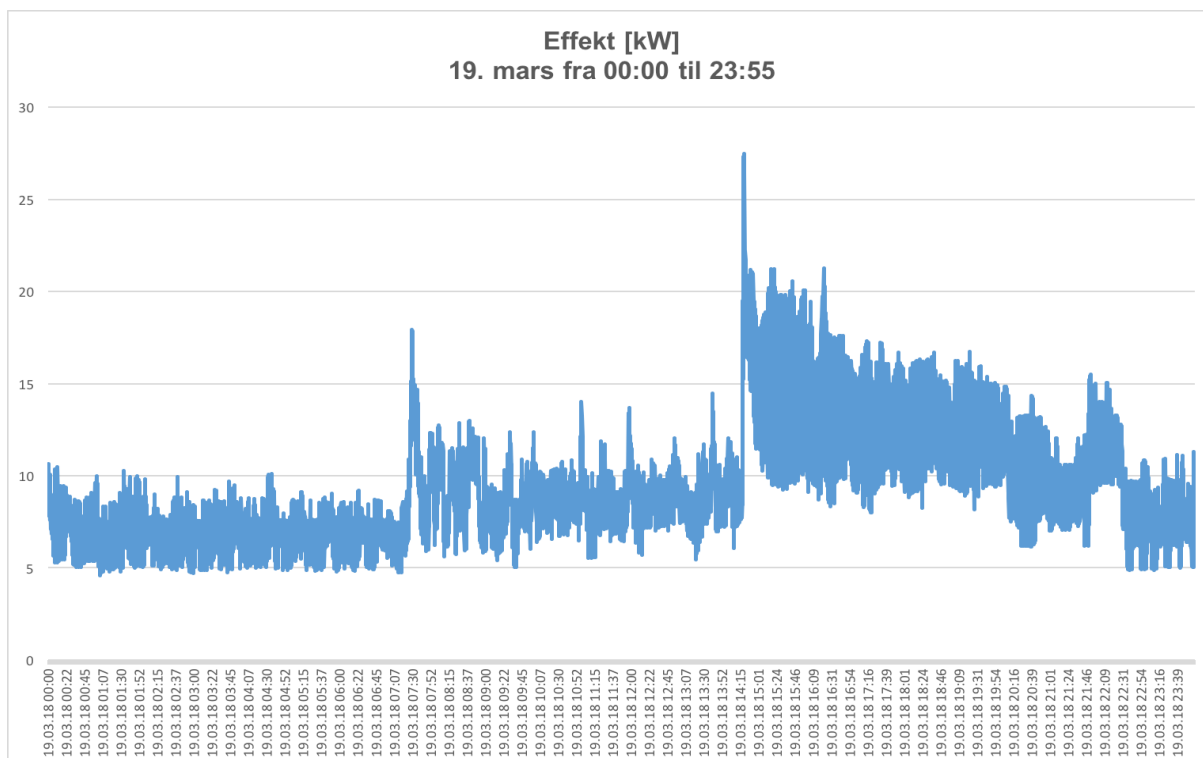
Figur 5.13: Effekttopp dag med størst temperaturforskjell, Onsdag 28. februar 06:00 til 20:00

Figur 5.13 skiller seg ut fra de andre dagene i måleperioden ved at forbruket jevnt over døgnet er det høyeste i måleperioden. Sett i sammenheng med at dette er den dagen hvor temperaturforskjellen fra forrige dag er størst er ikke dette så unaturlig for varmekursene. Det er disse dagene som ofte har en stor belastning på strømmettet nasjonalt. Det er derfor spesielt viktig med tiltak for reduksjon av effekttopper disse dagene. Disse dagene er det også vanskelig å redusere effekttoppene, fordi det er behov for mye effektkrevende utstyr til samme tid og det kan gå utover kvaliteten på inneklimate å redusere lastene.



Figur 5.14: Effekttopp dag med strømbrudd, Mandag 26. februar 00:00 til 23:55

Figur 5.14 viser effekttoppene for mandag 26. februar da det var et planlagt strømbrudd på ettermiddagen. Det kan observeres fra figuren en effekttopp på 16 kW klokken 08:10 før den store toppen på 24 kW opptrer klokken 19:04. Etter strømbruddet er det en veldig stor aktivitet på varmekursene og det er ikke før klokken 22:30 at aktiviteten er nede på samme nivå som før strømbruddet (9 kW). Toppen som opptrer på morgenen kommer av at varmeovnene er innstilt på natt- og helgesenkning av temperaturen, noe som igjen fører til ekstra behov for oppvarming mandag morgen. Det er dermed to forskjellige grunner til effekttopper som opptrer denne dagen.



Figur 5.15: Effekt, 19. mars fra 00:00 til 23:55

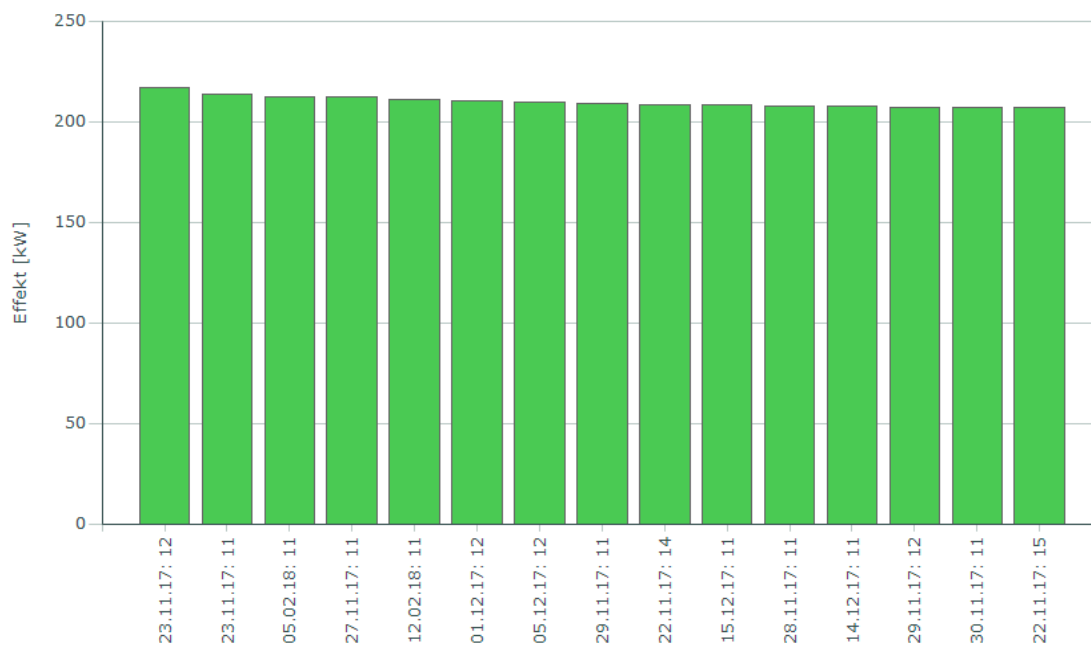
Figur 5.15 viser effekttoppene mandag 19. mars fra 00:00 til 23:55. Det som gjør at forbruket denne dagen skiller seg ut er at to av de tre høyeste effekttoppene i løpet av hele måleperioden oppsto denne dagen. Det var både en topp på morgenen på 17 kW klokken 07:30 og en topp på ettermiddagen på 27 kW klokken 18:15. Fordelingen mellom fasene L1, L2 og L3 ligger vedlagt i vedlegg B. Den siste og største effekttopper kommer i likhet med figur 5.14 av et planlagt strømbrudd. Toppene på morgenen er det også her naturlig å tenke seg kommer av ekstra behov for oppvarming på grunn av natt- og helgesenking av temperaturen.

5.2 Måleresultater fra Otto Nielsens Veg 12E

Måleresultater fra Otto Nielsens veg 12E er registrert i perioden 21. august 2017 til 10. mars 2018. Det vil i noen av figurene se ut som måleintervallet er lenger enn til 10.mars 2018. Dette er ikke tilfellet og det er kun lagret måleresultater frem til 10.mars.

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 21.08.2017 - 10.03.2018

Måler: Otto Nielsens vei 12, byggetrinn E (SD)

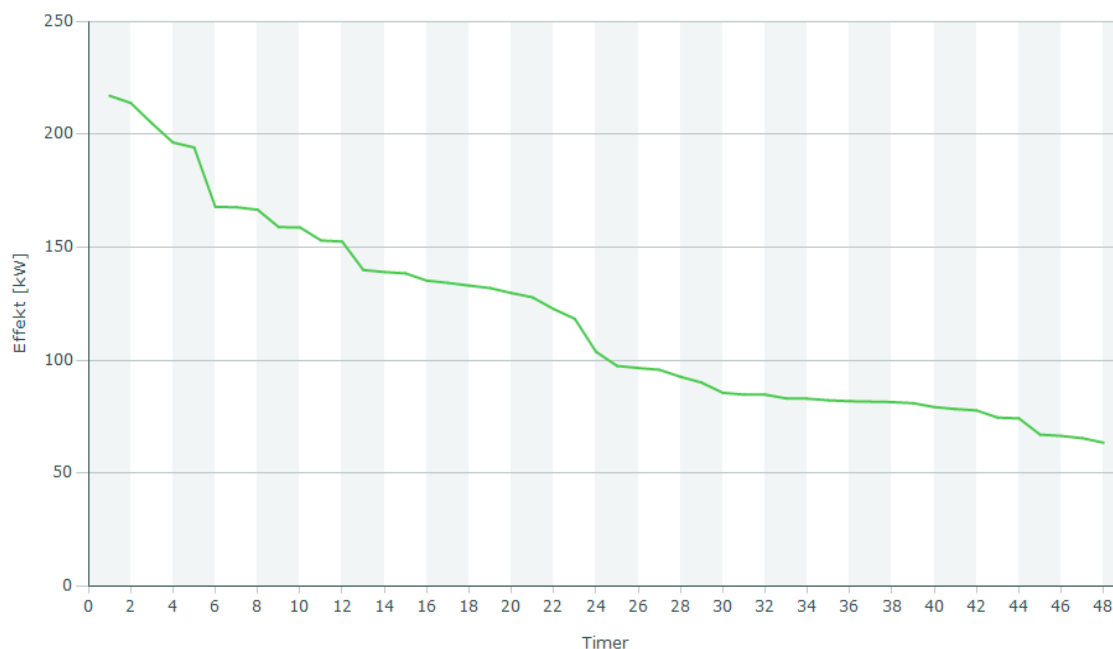


Figur 5.16: Effekttopper i perioden 21. august 2017 til 10. mars 2018

Figur 5.16 viser de største effekttoppene for Otto Nielsens Veg 12E i perioden 21. august til 10. mars, og i løpet av hvilken klokke de er oppstått. Grunnen til at det ikke er tatt med data helt frem til 26. mars slik som det er gjort på Geologibygget er fordi avtalen knyttet til måleresultatene har blitt avsluttet og måleresultatene har dermed ikke blitt registrert. Det kommer frem av figuren at begge de to høyeste effekttoppene oppsto 23. november 2017. Det er ingen av de 15 høyeste effekttoppene som skiller seg betraktelig ut fra de andre. Alle disse effekttoppene oppstår i enten november 2017, desember 2017 eller februar 2018. 13 av de 15 toppene oppstår enten klokken 11 eller 12, mens kun en topp oppstår klokken 14 og en klokken 15. Tatt i betraktning at begge de to høyeste effekttoppene oppsto samme dag, er det dermed nødvendig å se nærmere på forbruket den dagen.

Varighetskurve effekt [kW] for perioden 23.11.2017 - 24.11.2017

Enkeltmåler: Otto Nielsens vei 12, byggetrinn E (SD)

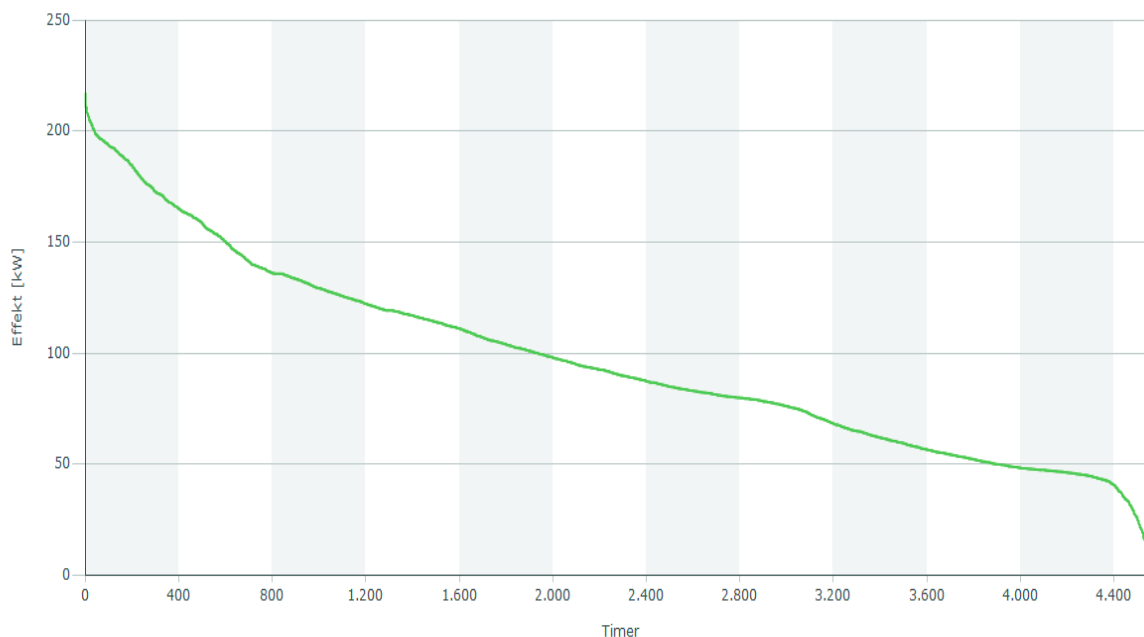


Figur 5.17: Varighetsdiagram 23. november til 24. november, den dagen med høyest effekt-topp

Figur 5.17 viser et varighetsdiagram fra torsdag 23. november 2017 til fredag 24. november 2017. Det kommer frem av figuren at den høyeste effekttoppen er på 217,2 kW , og forbruket ligger over 200 kW 8 % (fire timer) av tiden. 50 % av tiden (24 timer) ligger forbruket over 100 kW, og 25 % av tiden (12 timer) ligger forbruket over 150 kW. Forbruket ligger aldri under 50 kW i løpet av disse 48 timene.

Varighetskurve effekt [kW] for perioden 21.08.2017 - 10.03.2018

Enkeltmåler: Otto Nielsens vei 12, byggetrinn E (SD)

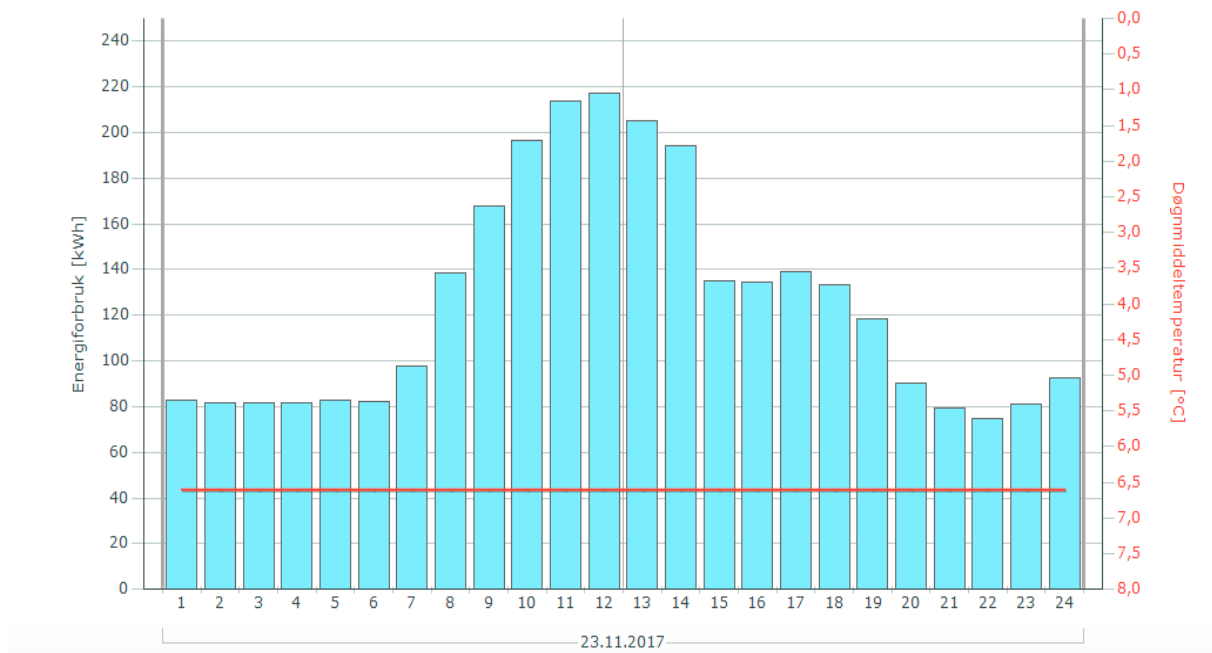


Figur 5.18: Varighetsdiagram for hele måleperioden, 21.august 2017 til 10.mars 2018

Figur 5.18 viser varighetsdiagrammet for hele måleperioden, noe som tilsvarer 4.400 timer, eller 183 dager. Dette diagrammet gir ikke detaljert informasjon, men er med på å gi et referansegrunnlag for de høyeste effekttoppene. Den høyeste effekttoppen ligger som nevnt på 217,2 kW. Det er 600 timer effekttoppene er på over 150 kW, noe som tilsvarer 13 % av den totale tiden. Sammenlignet med figur 5.18 er det der dobbelt så høy prosentandel av tiden hvor effekttoppene ligger over 150 kW. Det vil dermed si at det ikke kun var de to høyeste effekttoppene om gjorde at 23.november 2017 skilte seg ut, men det er generelt flere topper som ligger høyere enn normalen denne dagen. En grundigere gjennomgang av forbruket er viktig for å kunne fastsette hvilke tiltak som er mest hensiktsmessige for en reduksjon av effekttopper.

Timeforbruk av energi for 23.11.2017

Enkeltmåler: Otto Nielsens vei 12, byggetrinn E (SD)



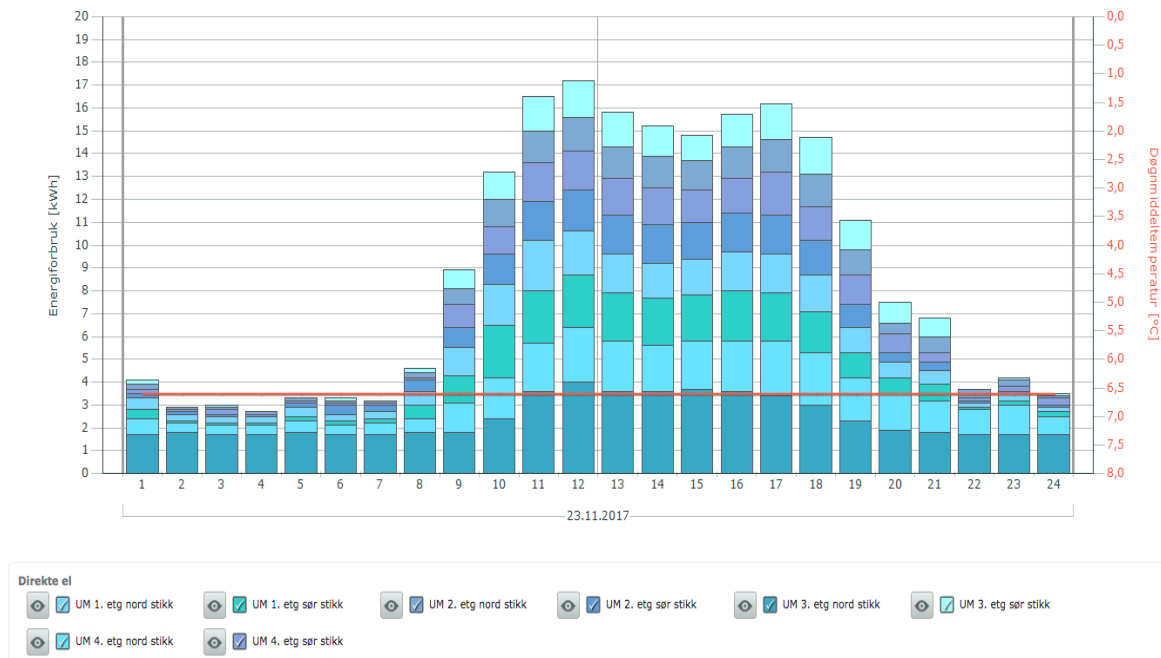
Figur 5.19: Energiforbruk for hver time 23. november 2017

Figur 5.19 viser energiforbruket hver time torsdag 23. november. Det er her energiforbruket som er beskrevet og ikke effekttoppene. Grunnen til at energiforbruket også er inkludert er fordi det gir informasjon om den generelle aktiviteten i bygget samt om effekttoppene kun er kortvarige eller strekker seg over en lenger tidsperiode. Sammenlignet med figur 5.16 kommer det frem at det er midt på dagen, fra 11 til 12, hvor energiforbruket og effekttoppene er høyest. Det kommer også frem at det ikke kun er kortvarige topper, men et jevnt høyt forbruk. For å finne ut hva som skaper disse høye effekttoppene må de forskjellige kursene analyseres mer i detalj.

5.2.1 Stikkontaktkurser

Timeforbruk av energi for 23.11.2017

Alle målere
Energiblokk: Bygg E Forbruk stikk kontor

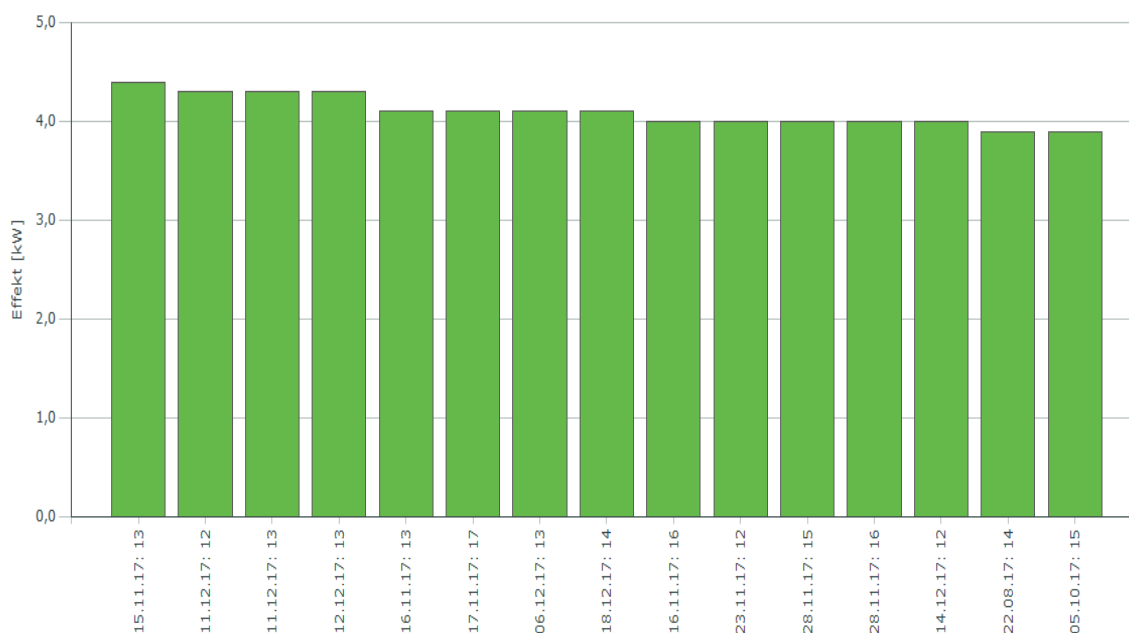


Figur 5.20: Energiforbruk for stikkontakter hver time 23. november 2017

Figur 5.20 viser energiforbruket for alle stikkontaktkursene torsdag 23. november 2017. Sammenlignet med det totale energiforbruket den dagen, er bidraget fra stikkontaktkursene beskjedent med en topp på 19 kWh, klokken 12:00. Stikkontaktkursene er fordelt på hver av etasjene samt sør eller nord. Det kommer også frem av figuren at det er andre, tredje og fjerde etasje mot sør som bruker mest strøm for stikkontaktkursene denne dagen. Om forbruket denne dagen sammenlignes med forbruket andre nærliggende dager er det ikke spesielt høyt. Det er faktisk lavere enn mange av de nærliggende dagene. Det er med andre ord ikke stikkontaktkursene som denne dagen bidrar til endringen i forbruket av energi. På tross av at energiforbruket kan gi en indikasjon på aktiviteten i bygget og når de forskjellige komponentene ble brukt er det ikke mulig å utelukke kortvarige høye effekttopper. Det er dermed videre analysert effekttoppene for alle de åtte forskjellige stikkontaktkursene.

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 10.08.2017 - 10.03.2018

Måler: UM 3. etg nord stikk



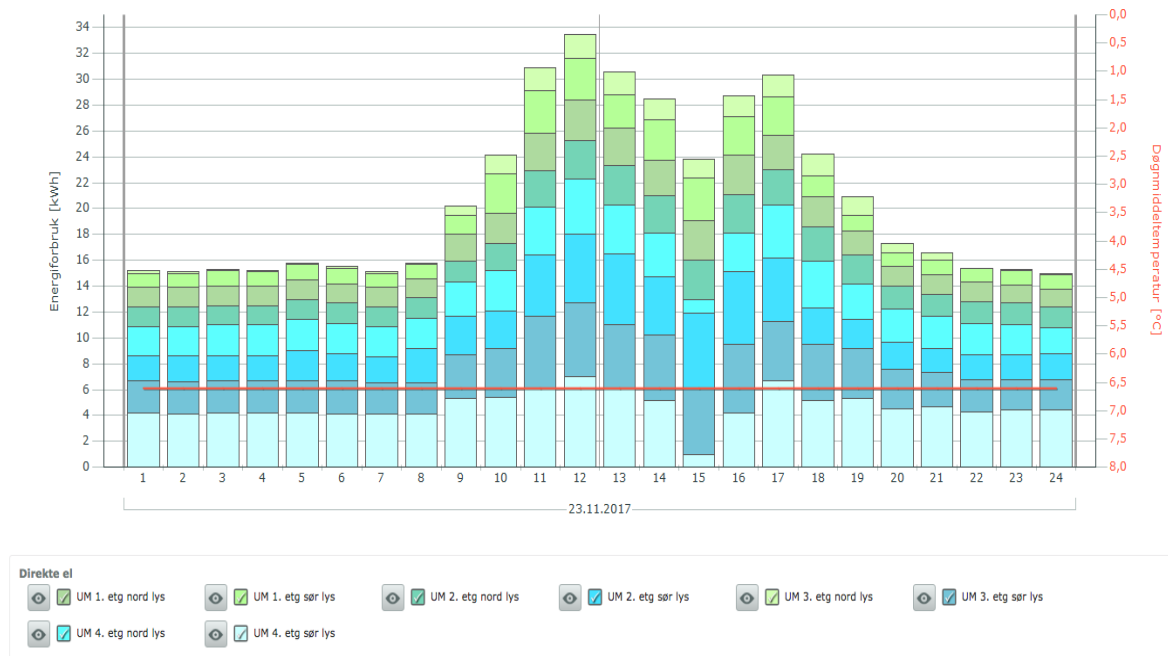
Figur 5.21: Effekttopper for stikkontakt i tredje etasje nord fra 10. august 2017 til 10. mars 2018

Figur 5.21 viser oversikt over de 15 høyeste effekttoppene målt for stikkontaktene i tredje etasje mot nord. Det kan leses av figuren at den tiende største toppen for denne belsningskursen er sammenfallende med den totalt største effekttoppen. Ingen av de andre stikkontaktkursene har noen av sine 15 høyeste effekttopper sammenfallende med de største toppene for bygget som helhet. I vedlegg C ligger oversikt over de høyeste effekttoppene for de resterende stikkontaktkursene, samt de 15 høyeste effekttoppene i løpet av døgnet 23.november 2017. Dette er med på å støtte opp under at det ikke er forløpet til stikkontaktene i bygget som er spesielt høyt denne dagen. Det at det ikke er spesielt høye effekttopper fra stikkontaktkursene denne dagen vil ikke utelukke at reduksjoner i disse effekttoppene ikke er nyttig og mulig, men det gir en pekepinn på hvor en reduksjon har størst påvirkning.

5.2.2 Belysningskurser

Timeforbruk av energi for 23.11.2017

Alle målere
Energiblokk: Bygg E Fastkraft lys kontor

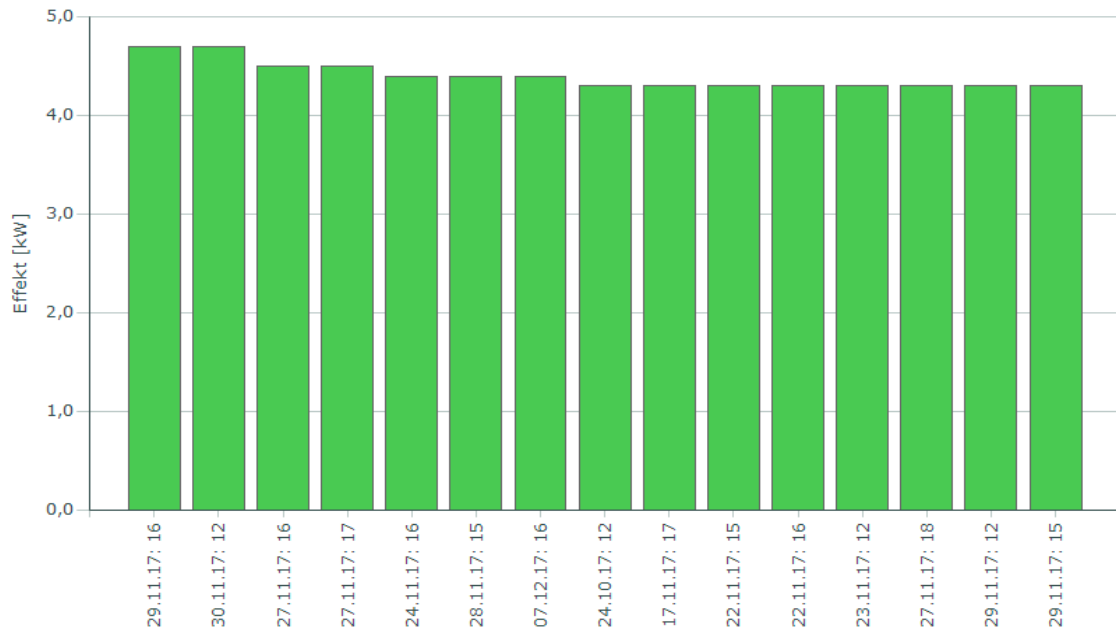


Figur 5.22: Energibruk for belysning hver time 23. november 2017

Figur 5.22 har et betydelig høyere forbruk enn figur 5.20 med en topp klokken 12:00 på 34 kWh. Selv om dette er en betydelig større andel er det fortsatt ikke så høyt sammenlignet med det totale energiforbruket klokken 12:00 den dagen, som er på nesten 220 kWh. Det er også her andre, tredje og fjerde etasje mot sør som har det klart høyeste energiforbruket. Det er heller ikke her mulig å se om det oppstår kortvarige høy effekttopper som er høyere enn den gjennomsnittlige energibruken den timen. Alle de åtte belysningskursene sine effekttopper har derfor blitt analysert.

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 15.08.2017 - 18.04.2018

Måler: UM 4. etg nord lys



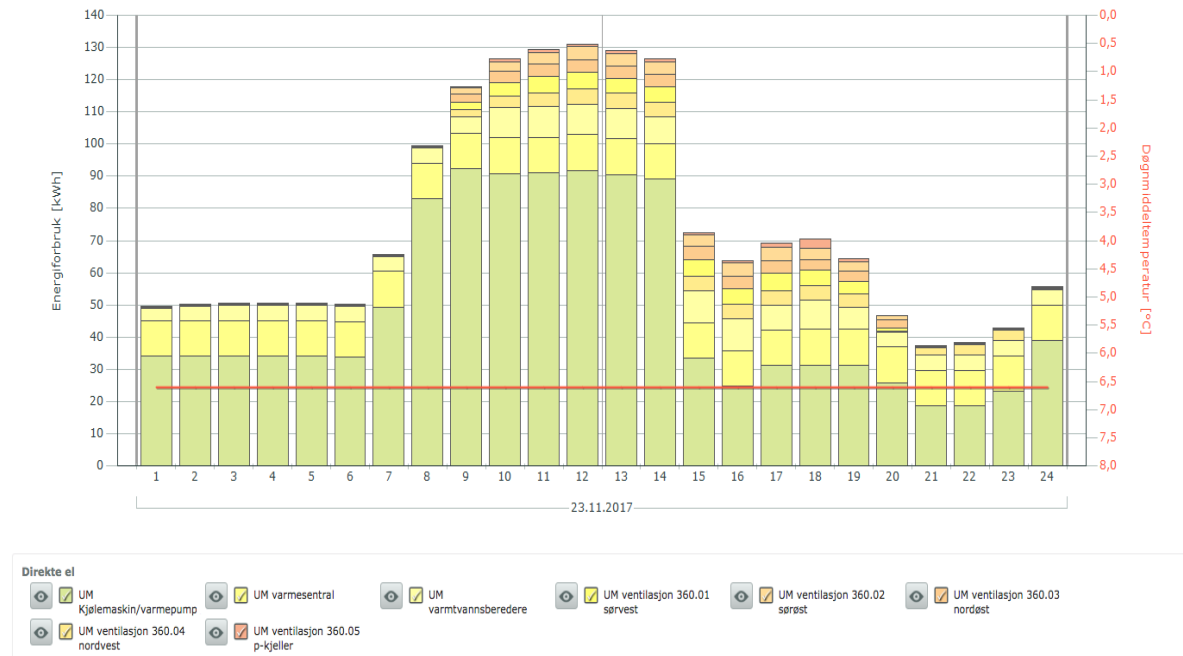
Figur 5.23: Effekttopper for belysning i fjerde etasje nord fra 15. august 2017 til 18. april 2018

Figur 5.23 viser de 15 høyeste effekttoppene registrert for belysning i fjerde etasje mot nord. Dette er den eneste av målepunktene for belysning hvor 23. november 2017 klokken 12 (datoen for den høyeste effekttoppen) er tidspunkt for en av de 15 høyeste effekttoppene. Det er med andre ord ikke spesielt høye effekttopper for belysningen de tidspunktene det er totalt høyest effekttopper i bygningen, men en reduksjon av toppene fra belysning hadde fortsatt bidratt. Samlet sett bidrar belysningskursene 1,6 ganger så mye til den høyeste effekttoppen som det stikkontaktkursene gjør. I vedlegg C ligger oversikt over de 15 største effekttoppene for alle målepunktene for belysning, samt de 15 høyeste effekttoppene i løpet av døgnet 23. november 2017.

5.2.3 Kurser til ventilasjon og varmesentralen

Timeforbruk av energi for 23.11.2017

Alle målere
Energiblokk Bygg E Fastkraft Ventilasjon og varmesentral

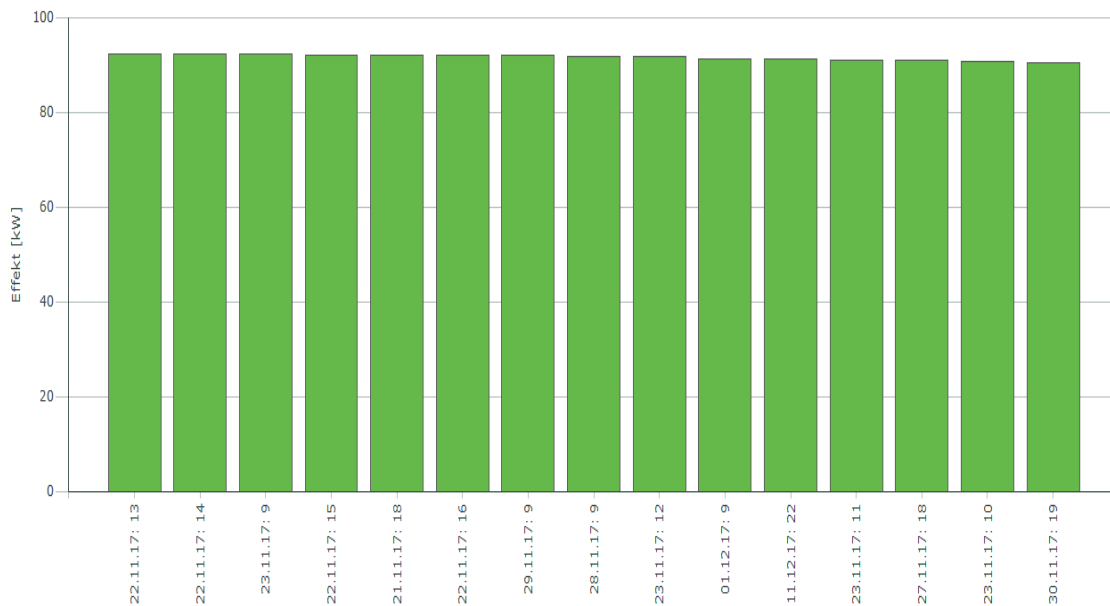


Figur 5.24: Energibruk for ventilasjon og varmesentral hver time 23. november 2017

For å holde i gang ventilasjonssystemet og varmesentralen kreves det en del elektrisk energi i form i strøm. Figur 5.24 viser tydelig at det her er snakk om et betydelig større energiforbruk. Klokken 12:00, hvor forbruket er høyest, ligger det på 131 kWh. Det er kjølemaskin og varmepumpe som står for 90 kWh av dette forbruket, som vil si 40 % av energiforbruket på det tidspunktet.

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 15.08.2017 - 10.04.2018

Måler: UM Kjølemaskin/varmepumpe



Figur 5.25: Effekttopper for kjølemaskin og varmepumpe fra 15. august til 10. mars 2018

Figur 5.25 viser de 15 høyeste effektverdiene for kjølemaskin og varmepumpe i perioden 15. august 2017 til 10. april 2018. I figuren kommer det frem at kjølemaskin og varmepumpe har totalt høyeste effekttopp på 92,4 kW og klokken 12:00 23. november er det en topp på 91,3 kW. Det er med andre ord en av de aller høyeste effekttoppene som forekommer for kjølemaskin og varmepumpe. Det vil også si at strøm til kjølemaskin og varmepumpe står for 42 % av den høyeste effekttoppen som har oppstått i måleperioden. En metode for å kunne redusere effekttoppene her ville dermed bidratt til å redusere de høyeste effekttoppene betraktelig.

Det er også verdt å legge merke til at temperaturen 23. november 2017 lå på mellom 0,5 °C og 10,4 °C, noe som ikke er av de kaldeste dagen i måleperioden. Dagen før, 22. november, er betydelig kaldere med temperaturer mellom -12 °C og 0 °C. Det kommer også frem av figur 5.25 at det er mange jevnt høye topper, også flere av de andre dagene i måleperioden. Kjølemaskin og varmepumpe bidrar derfor til å skape flere store effekttopper.

Figur 5.16 sammenlignet med figur 5.25 viser at det er flere av effekttopper for hele bygg E sammenfaller med effekttoppene for kjølemaskin og varmepumpe. Det er ikke en direkte sammenheng mellom dem, men om alle de 15 høyeste effekttoppene for hele bygg E analy-

seres kommer det frem at kjølemaskin og varmpumpe alltid er den største bidragsyteren.

Tabell 5.1: Kjølemaskin og varmpumpes prosentvise bidrag til de 15 høyeste effekttoppene.

Dato	Prosentvis bidrag
23.11.17, kl. 12	42 %
23.11.17, kl. 11	43 %
05.02.18, kl. 11	38 %
27.11.17, kl. 11	40 %
12.02.18, kl. 12	39 %
05.12.17, kl. 12	41 %
01.12.17, kl. 12	43 %
29.11.17, kl. 11	42 %
22.11.17, kl. 14	44 %
15.12.17, kl. 11	40 %
28.11.17, kl. 11	42 %
14.12.17, kl. 11	41 %
29.11.17, kl. 12	43 %
30.11.17, kl. 11	43 %
22.11.17, kl. 15	44 %

Tabell 5.1 viser tydelig hvor viktige det er å redusere effekttoppene til kjølemaskin og varmpumpe om de totale effekttoppene skal reduseres. De to effekttoppene fra 2018 som er med på listen over de 15 høyeste toppene er de to eneste som ligger under 40 %. Dette kommer tydeligere frem om man ser på effekttoppene for kjølemaskin og varmpumpe for hele måleperioden. Her er det kun effekttopper fra november eller desember 2017. Det har med andre ord vært høyere effekttopper tilknyttet dette feltet i november og desember 2017 enn resten av måleperioden.

Kapittel 6

Metode for anbefaling av effektutjevne tiltak i kontorbygg

For å gjøre det enklere for de som planlegger og drifter kontorbygg å komme frem til hvilke tiltak de bør innføre for effektutjevning er det valgt å programmere en anbefalingsmetode. Denne anbefalingsmetoden vil, basert på et valgskjema, komme med konkrete tiltak hvert enkelt kontorbygg kan iverksette for reduksjon av effekttopper. Hovedpoenget er at kontorbyggene skal slippe å gjennomføre en detaljert analyse av bygget for å kunne fastsette gode tiltak for effektutjevning.

6.1 Kriterier for anbefaling av tiltak

Det er valgt å komme med en anbefaling av tiltak, basert på følgende kriterier for kontorbyggene:

- **Energikarakter:** For å beskrive hvor energieffektiv en bygning er, blir ofte energikarakter brukt. Energieffektivitet henger tett sammen med hvor godt bygget er isolert. Det er en skala som går fra G til A. Det er i hovedsak kun nyere bygg som oppnår de høyere karakterene (A,B,C), og for å få karakteren B må bygget ha vært bygget i henhold til TEK17. Dette vil med andre ord si at de fleste eksisterende kontorbygg har en energikarakter mellom G og C. For flere av kontorbyggene med energikarakter mellom D og G vil det å iverksette etterisoleringstiltak kunne bidra til å redusere effekttoppene

knyttet til oppvarming. Dette kan for eksempel være å bytte ut eldre vinduer med nyere som er bedre isolert eller isolere vegger, tak og gulv bedre [47].

- **Oppvarmingssystem:** Det er i hovedsak fem forskjellige oppvarmingssystemer som er å finne i kontorbygg. I hvilken grad de forskjellige systemene er utbredt varierer stort, men fordeler seg som følger [48]:

- Direkte elektrisk (70 %)
- Fjernvarme (29 %)
- Olje/parafin (11 %)
- Varmepumpe (10 %)
- Gasskjel (1 %)

På tross av at det i dag eksisterer olje- og parafinfyring i 11 % av kontorbyggene, har regjeringen innført et forbud fra 2020 som forbyr olje- og parafinfyring til både hovedlast og spisslast. Det er dermed valgt å ikke ta med olje- og parafinfyring som et alternativ i reduksjonsmetoden [49].

På grunn av at det er oppvarming som i de aller fleste kontorbygg er størst bidragsyter til de høyeste effekttoppene, er dette et spesielt viktig punkt med tanke på hvordan toppene kan reduseres. For kontorbygg med direkte elektrisk oppvarming vil et batteri være gunstig for å redusere effekttoppene, mens i bygg med et vannbårent oppvarmingssystem vil termisk lagring i vann være å anbefale. Kontorbygg som bruker gasskjel til oppvarming kan også ha nytte av å lagre varmen i et termisk vannlager. Er det derimot en luft-til-luft varmpumpe som brukes til oppvarming, vil det være mer hensiktsmessig å lagre varmen i en termisk masse som kan frigi varme direkte til luften. Det er viktig å påpeke at for kontorbygg med et vannbårent varmesystem kan også et batteri bidra til å redusere effekttoppene betraktelig. Det er på tross av dette valgt å anbefale termisk lagring for kontorbygg med vannbåren varme fordi det er en betydelig rimeligere løsning enn batterilagring [50].

- **Antall målepunkter:** Bygninger med få målepunkter er underrepresentert i litteraturen fordi det er vanskelig å gjøre større analyser av mange kontorbygg der det avhenger av manuelle målinger. Det kan dermed være vanskelig å komme med presise tiltak

for effektreduksjon i disse kontorbyggene sammenlignet med bygg med mange målepunkter. Å skulle implementere et styringssystem i kontorbygg med mindre enn ett målepunkt per etasje kan ofte være ressurskrevende. Dette fordi det krever en grundig måling og analysing av alle lastene. I disse tilfellene kan det ofte være gunstigere å kun installere en maksimalvokter for å passe på at effekttoppene ikke overskrider et gitt nivå [48].

- **Kjølebehov:** På tross av at kjøling ikke er vanlig i norske bygninger er det flere kontorbygg som har behov for kjøling på sommeren eller i forbindelse med større serverrom. Kjølebehovet i kontorbygg er forventet å øke i takt med at oppvarmingsbehovet synker. Lagring i termisk masse kan redusere kjølebehovet, da kulde kan bli lagret i massen i løpet av natten og hjelpe til med nedkjølingen på dagtid [48]. For kontorbygg bygget eller renoverert etter år 2000 ligger kjølebehovet i gjennomsnitt på 8 % av det totale energiforbruket [3].
- **Styringssystem eller maksimalvokter:** I flere nyere kontorbygg eksisterer det allerede styringssystemer. Det vil da være enklere å legge til funksjoner eller oppgradere dette systemet enn det vil være å installere et helt nytt styringssystem i de bygningene som ikke har det i utgangspunktet. Å kombinere et styringssystem med en maksimalvokter kan være hensiktsmessig, selv om de også fungerer hver for seg. I 1991 var 50 % av alle nye kontorbygg bygget med et styringssystem. Denne andelen har økt årlig siden. I 2008 hadde 80 % av nye kontorbygg et styringssystem, mens dette gjelder for de aller fleste nye kontorbygg i dag [48].
- **Solcellepanel eller solfanger:** For kontorbygg hvor det allerede eksisterer solcellepaneler eller solfangere, vil det være mer økonomisk gunstig å installere batterier eller termisk vannlagring. Det vil ikke ha noen større effekt på de største effekttoppene, men det vil gjøre at investeringen knyttet til innkjøp av batteri raskere inntjenes [15]. For bygg med høyt kjølebehov kan et solcellepanel bidra til å dekke deler av kjølebehovet som oppstår i sommerhalvåret. Det er ikke de dagene med mest produksjon fra solcellepanelet at effekttopper er det største problemet nasjonalt, men det kan uansett redusere noen av de litt mindre effekttoppene.
- **Forbrukertiltak:** Noen av de som drifter og eier kontorbygg har oppfordret brukere, i varierende grad, til å bidra med effekt- og energireducerende tiltak. Oppfordring til

brukere av kontorbyggene kan bidra til å redusere effekttopper, spesielt i eldre bygg som ikke har intelligente styringssystemer. Dette er et tiltak som kan være vanskeligere å implementere i kontorbygg enn i boliger, da det er større variasjon i hvem som bruker et kontorbygg enn en privat bolig. I private boliger er det også personlig økonomiske insentiver til å redusere energiforbruket, noe som ikke gjelder brukere av kontorbygg. Det er fortsatt et tiltak som kan fungere som et supplement til andre reduksjonsmetoder, og som er rimelig å iverksette.

6.2 Anbefaling av tiltak

For å komme frem til anbefalinger av tiltak for å redusere effekttopper i kontorbygg er det valgt å bruke Excel VBA (Visual Basic for Applications) Programming. Excel-dokumentet opprettet tar hensyn til alle svarkombinasjonene det er mulig å velge på åtte spørsmål. Spørsmålene er direkte basert på de syv kriteriene beskrevet. Det er totalt 90 unike anbefalinger. Det er varierende hvor stor forskjell det er på de 90 forskjellige anbefalingene, avhengig av hvor forskjellige tilfeller det blir sett på.

6.2.1 Valgskjema

Tiltak for reduksjon av effekttopper i kontorbygg	
Hvilken energikarakter har bygget?	
Hva slags oppvarmingssystem dekker grunnkassen til bygget?	
Hvor mange målepunkter har bygget?	
Hvor stort kjølebehov har bygget?	
Har bygget et styringssystem og/eller en maksimalvokter?	
Har bygget et solcellepanel eller en solfanger?	
Har bygget et batteri eller annen type energilagring?	
Har brukerne av bygget blitt oppfordret til effektreduserende tiltak?	
	Lag anbefaling

Figur 6.1: Første side i Excel-dokumentet

Figur 6.1 viser de åtte spørsmålene anbefalingstiltakene er basert på. Ved å trykke på feltet til høyre for spørsmålene kommer det opp en nedtrekksmeny med ulike alternativer. Valgskjemaet slik det ser ut i figur 6.1 er det som kommer opp ved å åpne Excel-dokumentet.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Hvilken energikarakter har bygget?		A				
2			B				
3			C				
4			D				
5			E				
6			F				
7			G				
8			Vet ikke				
9							
10	Hva slags oppvarmingssystem dekker grunnlasten til bygget?		Direkte elektrisk				
11			Fjernvarme				
12			Varmepumpe (luft til luft)				
13			Varmepumpe (luft til vann, væske til vann)				
14			Gasskjel				
15			Vet ikke				
16							
17	Hvor mange målepunkter har bygget?		Mindre enn ett målepunkt per etasje				
18			Mer enn ett målepunkt per etasje				
19			Vet ikke				
20							
21	Hvor stort kjølebehov har bygget?		Det er ikke noe kjølebehov				
22			Kjølebehovet utgjør mellom 5% - 10% av totalt energiforbruk				
23			Kjølebehovet utgjør mer enn 10% av totalt energiforbruk				
24			Kjølebehovet utgjør mindre enn 5% av totalt energiforbruk				
25			Vet ikke				

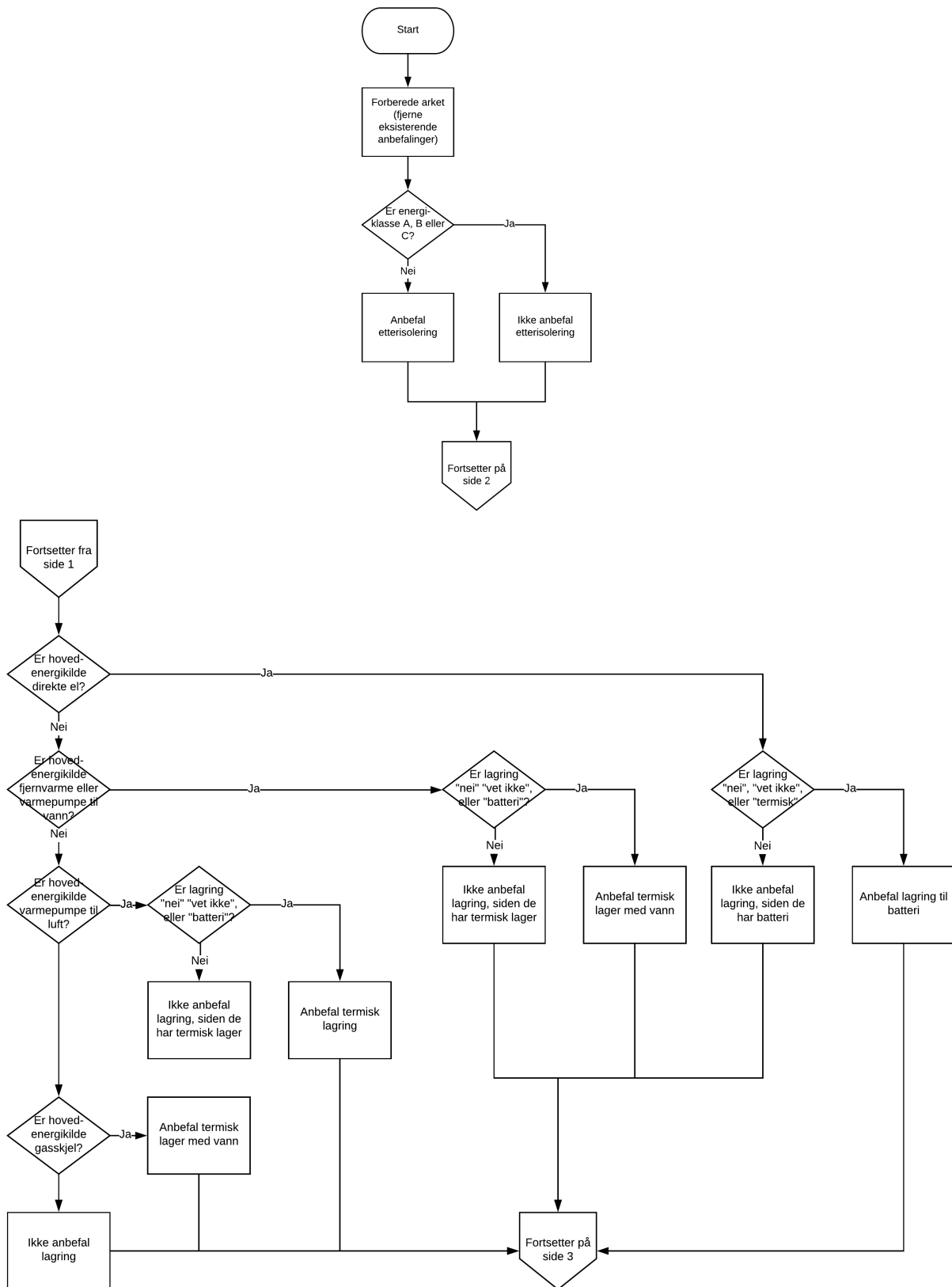
Figur 6.2: Svaralternativer på de fire første spørsmålene

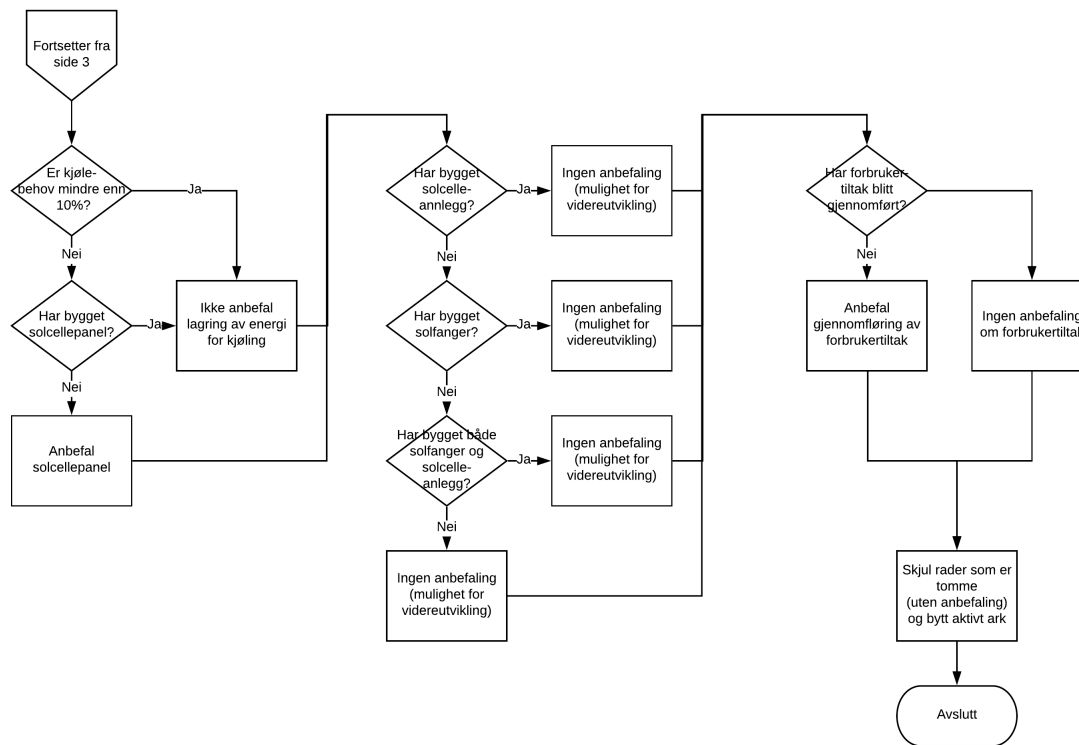
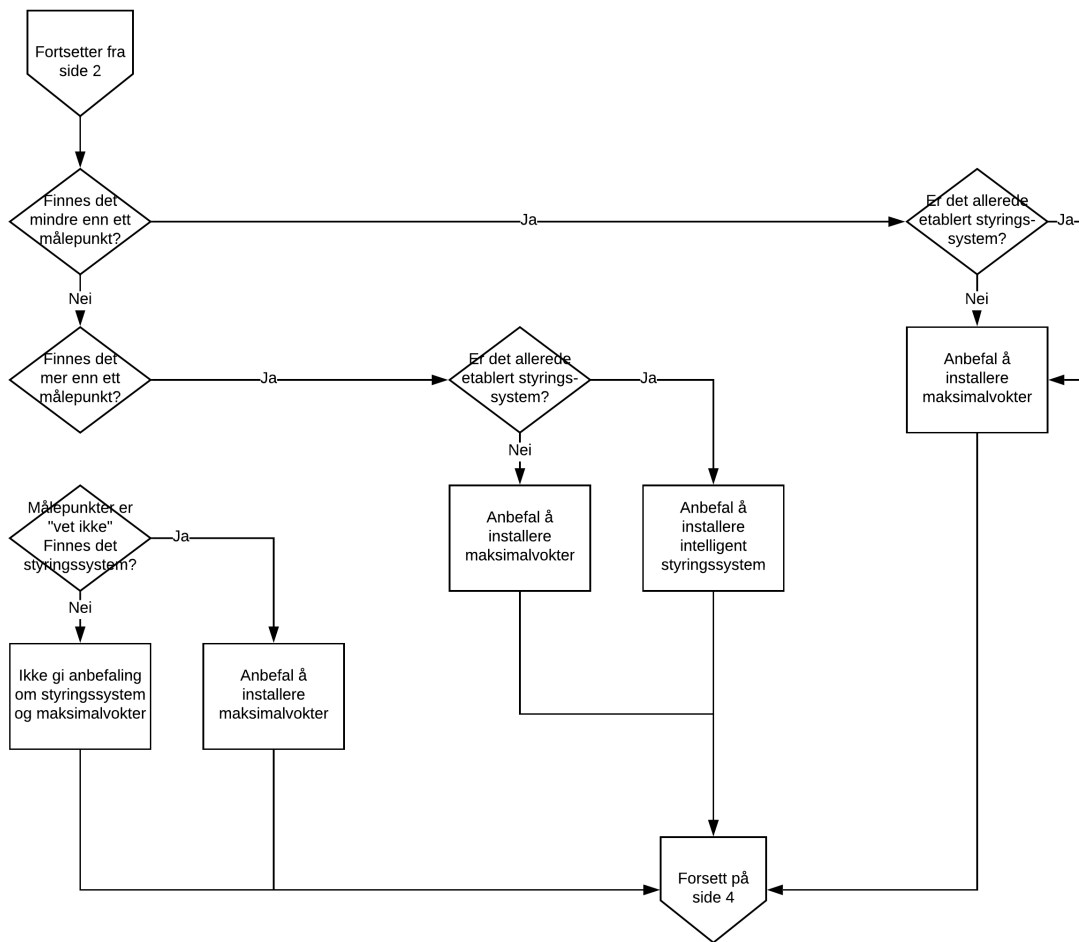
27	Har bygget et styringssystem og/eller en maksimalvokter?	Ja, begge deler
28		Ja, maksimalvokter
29		Ja, styringssystem
30		Nei, ingen av delene
31		Vet ikke
32		
33	Har bygget et solcellepanel eller en solfanger?	Ja, begge deler
34		Ja, solcellepanel
35		Ja, solfanger
36		Nei, ingen av delene
37		Vet ikke
38		
39	Har bygget et batteri eller annen type energilagring?	Ja, batteri
40		Ja, termisk lagring
41		Ja, annet
42		Nei
43		Vet ikke
44		
45	Har brukerne av bygget blitt oppfordret til effektreduserende tiltak?	Ja
46		Ja, delvis
47		Nei
48		Vet ikke

Figur 6.3: Svaralternativer på de fire neste spørsmålene

Figur 6.2 og figur 6.3 viser de ulike svaralternativene det er mulig å velge i nedtrekksmenyen for hvert av spørsmålene. Dette er ikke en del av brukergrensesnittet, men inkludert for å vise alle alternativene. Hver svarkombinasjon er koblet opp mot ulike anbefalinger av reduksjonstiltak. Disse tiltakene popper opp på skjermen ved å trykke på "Lag anbefaling"-knappen vist i figur 6.1.

6.2.2 Flytskjema





Figur 6.4: Flytskjema for anbefalingsmetoden

Figur 6.4 viser hvordan det er kommet frem til de ulike anbefalingene i koden. Det er i flytskjemaet kun lagt inn én setning om hvert tiltak, mens det i selve anbefalingen er en lenger tekst. Flytskjemaet ligger også i vedlegg D forstørret til dobbel størrelse og etterfulgt av koden.

6.2.3 Bassengbakken 1, Trondheim

Det har blitt valgt et eksempelbygg for å vise hvordan anbefalingen av tiltak fungerer på et tilfeldig valgt kontorbygg. Det kontorbygget som ble valgt eies av Aberdeen og har besøksadresse Bassengbakken 1 i Trondheim. Det var ønskelig med et bygg som ikke var del av litteraturen bruk i oppgaven. Bassengbakken 1 var det første bygget det ble funnet tilstrekkelig med informasjon om på internett, og det var derfor dette bygget som ble valgt.



Figur 6.5: Kontorbygget med adresse Bassengbakken 1, Trondheim. Hentet fra [51]

Tiltak for reduksjon av effekttopper i kontorbygg

Hvilken energikarakter har bygget?	D
Hva slags oppvarmingssystem dekker grunnkassen til bygget?	Fjernvarme
Hvor mange målepunkter har bygget?	Mindre enn ett målepunkt per etasje
Hvor stort kjølebehov har bygget?	Kjølebehovet utgjør mellom 5% - 10% av totalt energiforbruk
Har bygget et styringssystem og/eller en maksimalvokter?	Nei, ingen av delene
Har bygget et solcellepanel eller en solfanger?	Nei, ingen av delene
Har bygget et batteri eller annen type energilagring?	Nei
Har brukerne av bygget blitt oppfordret til effektreduserende tiltak?	Ja, delvis

Lag anbefaling

Figur 6.6: Valgskjemaet fylt ut for Bassengbakken 1, Trondheim. Faktainformasjon om bygget hentet fra [52]

Figur 6.6 viser aktuelle svaralternativer for Bassengbakken 1. Det er deretter opprettet en anbefaling og resultatet er å finne i figur 6.7.

Anbefalte tiltak for reduksjon av effekttopper

- Det anbefales å iverksette etterisoleringstiltak som for eksempel bedre isolerte vegger eller utskiftning av gamle vinduer. Alene vil ikke dette tiltaket ha den aller største effekten på effekttopper, men er et godt tiltak sammen med energilagring.
- Det anbefales å installere et termisk vannlager for reduksjon av effekttopper. Det termiske lageret vil lagre varmt vann fra fjernvarmesystemet eller varmepumpen i løpet av tidspunkter hvor det er lite aktivitet i bygget og bidra til mindre strøm til oppvarmingsutstyret i de periodene med mye aktivitet. Dette er et tiltak som kan redusere effekttoppene betraktelig.
- Det anbefales å installere en maksimalvokter for å være sikker på at det ikke blir unødvendige høye effekttopper i perioder hvor lastene kunne vært spredt mer utover i tid.
- Det å anbefale brukerne av kontorbygget til å gjøre forbrukertiltak kan redusere effekttoppene. Det kan oppfordres til å være effektbevisste og informere om konsekvensene av høye effekttopper, samt fordelene ved å redusere disse toppene. Det kan være utfordrende å få mange brukere av kontorbygg til å følge disse anbefalingen, og det er derfor et tiltak som anbefales sammen med energilagring for en større reduksjon.

Figur 6.7: Anbefalte tiltak for Bassengbakken 1, Trondheim

Det første tiltaket som blir anbefalt er å iverksette etterisoleringstiltak. Dette er på grunnlag av at energikarakteren er D, noe som vil si at det er betydelige lekkasjer i bygningskroppen. Disse lekkasjene kan effektivt bli redusert ved å forbedre isolasjonen.

Et termisk vannlager blir også anbefalt for å kunne lagre varmt vann fra fjernvarmeanlegget. Tiltaket er basert på svaret på det andre spørsmålet, samt svaret på det syvende spørsmålet. Det vil si hva slags oppvarmingssystem bygget har og om det eksisterer et batteri eller energilager. Det hadde i dette tilfellet også vært mulig å anbefale et batteri istedenfor et termisk lager, men på grunn av at det er betraktelig dyrere med et batteri, er termisk lagring blitt anbefalt.

Anbefalingen om installasjon av en maksimalvokter baserer seg på svaret på det tredje spørsmålet (hvor mange målepunkter bygget har) sett i sammenheng med svaret på det femte spørsmålet (har bygget et styringssystem/maksimalvokter). Grunnen til at en maksimalvokter blir anbefalt fremfor et styringssystem er i hovedsak fordi installasjonen av et styringssystem er mer omfattende og tidkrevende. Poenget med metoden for anbefaling av tiltak er at de som drifter kontorbyggene skal slippe å gjennomgå detaljerte analyser før tiltak iverksettes. Det er derfor viktig at tiltakene anbefalt ikke krever en detaljert analyse av bygget. På grunnlag av

at det også blir anbefalt et termisk lager er det valgt å ikke anbefale et styringssystem i tillegg, men heller anbefale en maksimalvokter.

Anbefalingen om forbrukertiltak baserer seg på svaret på det åttende spørsmålet, sett i forhold til svaret på det femte spørsmålet. Det vil si at for kontorbygg som ikke har et styringssystem og ikke har oppfordret brukerne sine til å gjøre effektreduserende tiltak (eller delvis har gjort det) vil det bli anbefalt å iverksette forbrukertiltak. Dette er et tiltak som aldri vil bli anbefalt som det eneste tiltaket, da det er varierende i hvor stor grad det kan redusere de høyeste effekttoppene.

6.3 Anbefalte tiltak for Otto Nielsens veg 12E og Geologibygget

Figur 6.8 og figur 6.9 viser de tiltakene som ble anbefalt ved å legge inn informasjonen til Otto Nielsens veg 12E og Geologibygget i valgskjemaet. Det er viktig å poengtere at begge disse byggene er del av lastprofilgrunnlaget deler av modellen er basert på. Testobjektene er dermed ikke objektive å teste anbefalingsmetoden på, men det kan fortsatt være interessant å se hva som blir anbefalt.

6.3.1 Otto Nielsens veg 12E

Anbefalte tiltak for reduksjon av effekttopper

- Det anbefales å installere et termisk vannlager for reduksjon av effekttopper. Det termiske lageret vil lagre varmt vann fra fjernvarmesystemet eller varmepumpen i løpet av tidspunkter hvor det er lite aktivitet i bygget og bidra til mindre strøm til oppvarmingsutstyret i de periodene med mye aktivitet. Dette er et tiltak som kan redusere effekttoppene betraktelig.
- Det anbefales å installere en maksimalvokter for å være sikker på at det ikke blir unødvendige høye effekttopper i perioder hvor lastene kunne vært spredt mer utover i tid.

Figur 6.8: Anbefalte tiltak for Otto Nielsens veg 12E

For Otto Nielsens veg 12E er det de to tiltakene beskrevet i figur 6.8 som blir anbefalt. Disse tiltakene er å lagre varme i et termisk vannlager og å installere en maksimalvokter.

6.3.2 Geologibygget

Anbefalte tiltak for reduksjon av effekttopper

- Det anbefales å iverksette etterisoleringstiltak som for eksempel bedre isolerte vegger eller utskiftning av gamle vinduer. Alene vil ikke dette tiltaket ha den aller største effekten på effekttopper, men er et godt tiltak sammen med energilagring.
- Det anbefales å installere et batteri for å lagre strøm i løpet av natten (eller andre perioder med lite aktivitet), slik at batteriet kan brukes til å redusere de største effekttoppene. Dette er et effektivt tiltak som vil redusere effekttoppene betraktelig.
- Det anbefales å installere en maksimalvokter for å være sikker på at det ikke blir unødvendige høye effekttopper i perioder hvor lastene kunne vært spredt mer utover i tid.
- Det å anbefale brukerne av kontorbygget til å gjøre forbrukertiltak kan redusere effekttoppene. Det kan oppfordres til å være effektbevisste og informere om konsekvensene av høye effekttopper, samt fordelene ved å redusere disse toppene. Det kan være utfordrende å få mange brukere av kontorbygg til å følge disse anbefalingene, og det er derfor et tiltak som anbefales sammen med energilagring for en større reduksjon.

Figur 6.9: Anbefalte tiltak for Geologibygget

Figur 6.9 viser de fire tiltakene som blir anbefalt for å redusere effekttoppene til Geologibygget. Det er et batterilager sammen med en maksimalvokter, samt forbrukertiltak og etterisolering som er de anbefalte tiltakene. Flere eldre bygg med direkte elektrisk oppvarming vil få et lignende resultat som Geologibygget. Det er fordi disse bygningene ofte har en lav energikarakter samtidig som de har få tekniske installasjoner knyttet til effektreduksjon. De som eier og drifter disse byggene vil også kunne se økonomiske innsparinger knyttet til energiforbruket, sammen med innsparingene knyttet til effekttoppene.

Det er ikke like mange tiltak som blir anbefalt for Otto Nielsens veg 12E, sammenlignet med Geologibygget. Dette er en generell trend i anbefalingsmetoden fordi nyere bygg ofte har iverksatt flere av tiltakene allerede, til tross for at det ikke alltid er i den hensikt å redusere effekttoppene.

Kapittel 7

Diskusjon

Den økende kraftetterspørselen sett i sammenheng med en reduksjonen av enkelt regulerbar kraft, fører til at metoder for effektutjevning er en svært aktuell problemstilling. Det finnes flere effektive metoder for å redusere effekttopper i kontorbygg, men det kan være en utfordring å bestemme hvilke tiltak som er best egnet i ulike situasjoner. Det er derfor hensiktsmessig med en metode som kan anbefale tiltak for å redusere effekttoppene i kontorbygg.

7.1 Litteraturstudiet

7.1.1 Samfunnsmessige og økonomiske gevinster ved en reduksjon av effekttopper

Det kommer tydelig frem av litteraturstudiet at det finnes store, samfunnsmessige og økonomiske gevinster ved en større reduksjon av effekttopper. Det er mindre utbygging av strømmettet som utpeker seg som den største fordel, sammen med at det muliggjør for en større andel vind- og solkraft. Muliggjøringen av mer vind- og solkraft gjør det mulig for Norge å oppnå klimamålene vedtatt i henhold til Parisavtalen og EU.

Det bør påpekes at ikke all reduksjon av effekttopper vil påvirke utbyggingen av strømmettet i like stor grad. Det er i hovedsak de effekttoppene som inntreffer samtidig med den nasjonalt høyeste belastningen på nettet, som fører til en større reduksjon i utbyggingen. På den andre

siden vil en reduksjon av effekttopper, uavhengig av tidspunkt, føre til mindre belastning på komponentene knyttet til strømmettet. Dette medfører at disse får en forventet lenger levetid. Det vil fortsatt være en reduksjon av effekttopper på de kaldeste dagene, om morgenen (06:00 til 09:00) og ettermiddagen (16:00 til 20:00), som gir de største samfunnsmessige og økonomiske fordelene slik situasjonen er i dag.

Det er også verdt å nevne at dersom de effektutjevnerende tiltakene fører til en økning i energiforbruket vil deler av de samfunnsmessige og de økonomiske fordelene reduseres. Dette gjelder da spesielt reduksjonen av CO₂-utslipp samt økonomisk besparelse. Det er derfor mest hensiktsmessig å se på effektreduserende tiltak som ikke øker energiforbruket nevneverdig.

Det er i den publiserte litteraturen relatert til emnet bred enighet om at både samfunnet som helhet og enkeltpersoner har flere store fordeler ved en effektutjevning i kontorbygg.

7.1.2 Metoder for reduksjon av effekttopper

Litteraturstudiet gjort på metoder for å redusere effekttopper i kontorbygg viser at det finnes flere egnede metoder. Det er i hovedsak enten ved energilagring, i form av batteri eller termisk lagring, eller ved et intelligent styringssystem, som inkluderer en maksimalvokter. Det finnes også tiltak som kan redusere energiforbruket knyttet til oppvarming, som etterisolering og bevissthet blant brukerne. Disse tiltakene hjelper også til å redusere effekttoppene fordi det i hovedsak er oppvarming som bidrar til de største effekttoppene i kontorbygg. Det finnes også flere metoder for effektreduksjon som er i utviklingsfasen og ikke egnet for bruk i kontorbygg per i dag.

I den publiserte litteraturen er det en helt klar overrepresentasjon av nyere kontorbygg. Det er fordi det i flere av de større analysene gjort, kun er tatt utgangspunkt i de byggene der det ikke er nødvendig å gjøre manuelle målinger. Dette fører til at tiltakene for eldre kontorbygg ikke er utprøvd eller analysert i like stor grad som for nyere kontorbygg. I tillegg er det en helt klar ulempe da de kontorbyggene med størst potensial for effektreduserende tiltak er de eldre byggene. Fordelen med en skjevfordeling denne veien er at det også er lettere å finne tiltak som kan bidra på denne bygningstypen. Flere av tiltakene som allerede er gjort under byggingen av de nyere byggene vil kunne bidra til en effektreduksjon hos de

eldre kontorbyggene. Flere større analyser på denne bygningsgruppen hadde fortsatt vært hensiktsmessig for en grundigere testing av de effektreduserende tiltakene.

7.2 Lastprofilgrunnlaget

Det er to kontorbygg med svært forskjellige karakteristikker som blir brukt som lastprofilgrunnlag. Som nevnt tidligere i diskusjonen er det i mye av den publiserte litteraturen ikke inkludert eldre kontorbygg, med få målepunkter i bygget. Dette er en grunn til at målingene gjort, spesielt på Geologibyget, er et viktig tilskudd til flere av de større analysene på kontorbygg. Det er viktig å inkludere alle typer kontorbygg for at metoden for anbefaling av tiltak skal være presis og dekkende.

En svakhet ved lastprofilgrunnlaget er at det kun tar utgangspunkt i to kontorbygg. På tross av at det er prøvd å velge kontorbygg som er svært ulike, både i energikarakter, byggeår og oppvarmingssystem, inkluderes ikke alle kontorbygg. Litteraturstudiet er her brukt som et supplement for å kunne dekke kontorbygg i sin helhet. Et godt lastprofilgrunnlag burde bestått av minst ti kontorbygg med forskjellige karakteristikker, men med fokus på eldre kontorbygg.

Måleresultatene stemmer godt overens med analyser publisert på lignende kontorbygg. Det er dermed rimelig å anta at de kan være representative for noen typer kontorbygg. Dette gjør at de kan brukes videre som et grunnlag i anbefalingsmetoden.

7.3 Måleresultatene

Resultatene fra målinger gjort på de to kontorbyggene har blitt analysert og diskutert. Diskusjonen har fokus på hvilke effektreduserende tiltak som er mest hensiktsmessig for hvert av byggene.

7.3.1 Geologibygget

For Geologibygget er det tydelig at de to høyeste effekttoppene oppstår etter de to strømbruddene. De høyeste toppene, dersom man ser bort ifra timene etter strømbruddene, kommer mellom 07:30 og 08:30 kalde mandager når temperaturen har falt betraktelig fra dagen i forkant. Det kommer også tydelig frem at det er oppvarming som skaper de høyeste effekttoppene og det største energiforbruket. Dette stemmer godt overens med de nasjonalt høyeste effekttoppene, som også oppstår når temperaturen faller betraktelig i løpet av et døgn. Samtidig stemmer det overens med resultater fra bygninger med direkte elektrisk oppvarming i annen publisert litteratur og samtaler med fagpersonell. Kontorbygg med elektrisk oppvarming kan ofte ha sine største effekttopper mandag morgen, da en senking av temperatur i helger og på nattestid fører til økt behov for oppvarming.

Å redusere effekttoppene etter strømbruddene kunne blitt gjort relativt enkelt ved å installere en maksimalvokter. På bakgrunn av at strømbruddene er planlagt, opptrer de etter at arbeidsdagen er over og de aller fleste har derfor dratt hjem fra jobb. Det er svært usannsynlig at alle varmeovner i bygget trenger å skru seg på akkurat samtidig. Ved å benytte en maksimalvokter kunne denne begrenset slik at varmeovnene skrudde seg på etter tur, og de to høyeste effekttoppene kunne dermed vært redusert betraktelig. Dette er det tiltaket som på enklest mulig måte kunne redusert kostnadene knyttet til en effekttariff. Det er også effekttopper som inntreffer samtidig som de nasjonalt høyeste effekttoppene på ettermiddagen, og dermed viktige å få redusert.

De effekttoppene som opptrer mandag morgen er det ikke like lett å redusere med en maksimalvokter. Det er på dette tidspunktet trolig et veldig stort behov for både lys, utstyr koblet i stikkontakt og oppvarming. Maksimalvoktere kan redusere effekttopper av denne typen noe, men det vil mest sannsynlig være et for høyt forbruk til de store reduksjonene. I disse tilfellene hadde et batteri vært mer gunstig for å redusere toppene. Batteriet kunne ladet seg opp natten i forkant og bidratt med strøm i de mest effektkrevende periodene.

På bakgrunn av at det ikke er bevegelsesstyrt belysning på Geologibygget blir belysningen i fellesarealene tidvis ikke skrudd av. Dette kommer tydelig frem om forløpet til belysningen i gangen blir studert. I perioder blir lyset skrudd av hver kveld, mens det i andre perioder står på over en uke i strekk. Dette problemet kunne vært løst ved å installere sensorer som registrerte bevegelse og skrudde av lyset når ingen oppholdt seg i rommet. Det kunne også

vært løst ved å installere et intelligent styringssystem, hvor disse funksjonene kunne blitt implementert. Ved å oppfordre brukerne av bygget til å tenke og handle effektbevisst kan også denne typen forbruk bli redusert.

Sammenlignet med effekttoppene etter strømbruddene og på mandag morgen er det små verdier det er snakk om, men det er også et forbruk det er enkelt å redusere. Å installere et intelligent styringssystem vil sannsynligvis være mer effektivt enn å oppfordre brukerne til å skru av lysene hyppigere. Samtidig er det en dyrere og mer tidskrevende prosess. Sett i sammenheng med at dette ikke er et av de største bidragene til effekttopper i dette bygget kan det tenkes at det er mer hensiktsmessig å sende ut en påminnelse til brukerne av bygget.

7.3.2 Otto Nielsens veg 12E

De to største effekttoppene som har oppstått i løpet av hele driftsperioden til bygg E var 23. november 2017. Den aller høyeste effekttoppen på 217 kW var klokken 12:00 den nevnte dagen. Det er vanlig at kontorbygg uten direkte elektrisk oppvarming vil se toppene senere på formiddagene enn det bygg med direkte elektrisk oppvarming opplever. Grunnen til dette er at det i kontorbygg med et vannbårent oppvarmingssystem ikke vil være oppvarmingen som i like stor grad dominerer de største effekttoppene. Disse bygningstypene er derfor avhengig av at belysning og stikkontakter også blir brukt hyppig, for å nå sine høyeste effekttopper.

Selv om det er strøm til varmepumpe og kjølemaskin som har de høyeste effekttoppene, 42 % av den totale toppen, er det flere faktorer som bidrar til de resterende 58 %. Det prosentvise bidraget til den høyeste effekttoppen er som følger:

- *Varmepumpe og kjølemaskin:* 42 %
- *Parkeringskjeller:* 15 %
- *Belysning:* 14 %
- *Varmesentral og varmtvannsbereder:* 9 %
- *Ventilasjon:* 8 %
- *Stikkontakt:* 7 %

Dette er til sammen 95 % av den høyeste effekttoppen, og det er kun små bidrag knyttet til resterende kurser som for eksempel heiser. Sammenlignet med andre kontorbygg bygget i samme periode er dette forventede resultater. Strøm til varmepumpe og kjølemaskin er noe høyere enn gjennomsnittet, men fortsatt ikke unormalt høy, tatt i betrakning at bygg E i perioder bidrar til deler av oppvarmingen i bygg A-D.

Det er med andre ord strøm til varmepumpe og kjølemaskin som utgjør den klart største enkeltandelen av den høyeste effekttoppen, på tross av at det kun er vannbåren varme i bygget. Tiltak for å redusere denne, som termisk lagring eller batterilagring, vil da være det mest effektive. Et termisk lager vil etter all sannsynlighet vært billigere enn batterilagring. Det å lagre energi i form av varme i et vannlager kan derfor være en godt tiltak for å redusere effekttoppene. Det kunne for eksempel bli gjort ved å varme opp et termisk lager med vann i løpet av natten eller andre lite effektkrevende tidspunkter. Vannet kan brukes til oppvarming i tider med høye effekttopper, og dermed gjøre at mindre strøm blir brukt på tider hvor det generelle forbruket i bygget er høyt.

Det kan også være en mulighet å installere en maksimalvokter, eventuelt å legge inn samme funksjon i det intelligente styringssystemer slik at det ikke blir brukt unødvendig mye strøm samtidig. På den måten ville lastene blitt spredd mer jevnt utover døgnet for å oppnå en effektutjevning.

Det er viktig å merke seg at de høyeste effekttoppene i Otto Nielsens veg 12E ikke sammenfaller med de høyeste effekttoppene nasjonalt. Tiltak for energilagring er det dermed spesielt viktig at ikke lagrer energi på tidspunkter hvor nettet er under stor belastning. Dersom dette blir tatt hensyn til vil tiltakene beskrevet også bidra til at de effekttoppene som oppstår på morgenen og ettermiddagen reduseres.

7.4 Metoden for anbefaling av effektutjevnerende tiltak i kontorbygg

For å kunne oppnå de store samfunnsmessige og økonomiske fordelene en reduksjon av effekttopper kan føre til, må en stor andel kontorbygg innfører effektreduserende tiltak. For å kunne innføre effektreduserende tiltak bør det kartlegges hvilke tiltak som er hensiktsmessige.

De som drifter og eier kontorbyggene er dermed avhengige av å kunne bestemme hvilke tiltak som er mest gunstige på en rask og effektiv måte. Det finnes flere måter å komme med en anbefaling av tiltak på, men det er valgt å programmere en kode basert på åtte spørsmål. Denne koden er laget i Excel VBA programmering for å oppnå et brukervennlig resultat. Fordelen ved å bruke programmering er at anbefalingen av tiltak på en bedre måte kan tilpasses hvert enkelt bygg. Dette er sett i sammenheng med å for eksempel skulle klassifisere kontorbyggene og komme med tiltak til de forskjellige klassene. Det er også en stor fordel at Excel er et program som allerede eksisterer på flere datamaskiner, i de aller fleste kontorbygg. Det er dermed ingen nødvendig investering knyttet til å kunne teste metoden. Dette gjør at terskelen for å teste ut anbefalingsmetoden blir betraktelig lavere.

Slik anbefalingsmetoden er utformet er den ikke et fullverdig alternativ til en mer detaljert analyse, men ment som et supplement. Det er i de tilfellene kontorbygg er usikre på om de har potensial for å kunne redusere effektopper og er usikre hvilke tiltak de skal vurdere at anbefalingsmetoden kan være til hjelp.

Dersom anbefalingsmetoden blir utviklet videre og får et lastprofilgrunnlag basert på en større mengde kontorbygg er det mulighet for at den i fremtiden kan erstatte en analyse. Dette ville i så fall spare de som drifter og eier kontorbyggene for store økonomiske utgifter og bidratt til en større effektreduksjon over hele landet. Resultatet ville da kunne bli at alle de presenterte økonomiske og samfunnsmessige fordelene blir oppnådd i stor skala.

7.4.1 Svakheter ved anbefalingsmetoden

Det hadde vært ideelt dersom anbefalingsmetoden hadde blitt testet på et kontorbygg som deretter hadde blitt analysert, for å vurdere hvordan tiltakene stemmer overens. Slik det er gjort nå er de to kontorbyggene som har blitt analysert også en del av grunnlaget for deler av metoden. Det å skulle teste metoden på de byggene blir dermed ikke helt riktig. Det tilfeldige bygget som har blitt testet er det ikke gjort en grundig analyse på. Dette gjør at det heller ikke her er mulig å sammenligne anbefalingsmetoden med en grundigere analyse.

En av svakhetene med anbefalingsmetoden er at det sjeldent blir anbefalt styringssystem. Det er fordi det er få kontorbygg som har flere detaljerte målepunkter og ikke allerede har installert et styringssystem. Det er helt sikkert flere av byggene som kunne redusert effekt-

toppene betraktelig ved å installere et styringssystem, men da trengs det en grundigere analyse av bygget enn hva et spørreskjema gir.

7.5 Videre arbeider

Det er flere punkter som kan trekkes frem som spesielt viktige, og naturlige å arbeide videre med:

- *Utvide lastprofilgrunnlaget:* Ved å inkludere flere kontorbygg med forskjellige karakteristikk vil lastprofilgrunnlaget bli utvidet på en hensiktsmessig måte. For å få et bedre innblikk i når og hvorfor effekttoppene opptrer i kontorbygg er det viktig å analysere flere bygg. Det er samtidig viktig å analysere kontorbygg som er mest mulig forskjellige fra hverandre slik at lastprofilgrunnlaget dekker kontorbygg i sin helhet. Eldre kontorbygg er det spesielt viktig å analysere da disse er underrepresentert i litteraturen.
- *Inkludere flere aspekter i koden:* For å kunne gi brukerne av anbefalingsmetoden mer informasjon som resultat bør flere viktige aspekter inkluderes i koden. Dette bør være både det økonomiske aspektet ved de forskjellige tiltakene, samt å se på hvordan det påvirker energibruken i bygget.
- *Utvide valgskjema:* Flere spørsmål kan legges til i valgskjema slik at for eksempel størrelsen på batteri og termisk lager kan være en del av anbefalingen. Dette kan for eksempel være et spørsmål om størrelse på høyeste effekttopp eller månedlig energiforbruk.
- *Teste metoden på flere bygg:* Det vil være helt nødvendig å teste anbefalingsmetoden på flere kontorbygg og deretter analysere byggene grundig. Hensikten er å se om de anbefalte tiltakene vil være de samme som de analysen peker på.

Kapittel 8

Konklusjon

For å oppnå de store samfunnsmessige og økonomiske gevinstene en reduksjon av effekttopper kan føre til, avhenger det av at mange kontorbygg iverksetter effektreduserende tiltak. Det er derfor viktig med en metode som kan anbefale effektutjevne tiltak i kontorbygg. På grunnlag av dette er det viktigste bidraget fra oppgaven:

- *En metode for anbefaling av effektutjevne tiltak:* Anbefalingsmetoden er programmert i Excel VBA, fordi dette gir en god brukervennlighet. Det er valgt å ta utgangspunkt i syv kriterier som er viktige for å bestemme hvilke effektreduserende tiltak som bør iverksettes. Metoden er utviklet på grunnlag av litteraturstudiet utført og analysen av lastprofilen til to kontorbygg.

Som det kommer frem av den første delen av litteraturstudiet er det i hovedsak mindre utbygging av strømmettet som skiller seg ut som den største og tydeligste fordel ved en større effektutjevning. Resultatet fra den andre delen av litteraturstudiet viser at det er batterilagring, termisk lagring, styringssystemer og maksimalvokter som er de mest effektive tiltakene for å redusere effekttopper i kontorbygg.

Lastprofilgrunnlaget viser at i tillegg til forskjeller i måleresultatene hos de to kontorbyggene analysert er det store forskjeller i oppvarmingssystem og tekniske installasjoner. Hovedfunnene fra måleresultatene, samt tiltakene som på grunnlag av dette blir anbefalt for effektreduksjon er:

- *Geologibygget:* Det er oppvarming som står for den klart største delen av de høyeste effekttoppene. Toppene opptrer etter strømbrudd samt mandag morgen mellom 07:30

og 08:30. Det er her anbefalt å installere et batteri, en maksimalvokter og å iverksette etterisoleringstiltak.

- *Otto Nielsens veg 12E*: Det er også her oppvarming som står for største delen av den høyeste effekttoppen, men ikke en like stor del som for Geologibygget. De største effekttoppene oppstår hverdager mellom klokken 11:00 og 12:00. De anbefalte tiltakene her er å installere et termisk varmelager, samt å inkludere en maksimalvokter som en del av styringssystemet.

Bibliografi

- [1] Anne Vera Skrivahaug. Kraftmarkedsanalyse 2017-2030. Technical report, 2017.
- [2] Byggenæringens landsforening (BNL). Energi- og klimapolitikk. <http://www.bnl.no/politikk-og-analyse/bnl-mener/>. Hentet: 18.12.2017.
- [3] NVE. Analyse av energibruk i yrkesbygg, Rapport nr. 24. Technical report, NVE, 2016.
- [4] Analyse og Strategi AS Multiconsult AS. Potensial- og barrierestudie Energieffektivisering i norske yrkesbygg. Technical report, Enova Sf, 2012.
- [5] Hofstad, Knut. Yr.no. https://snl.no/effekt_-_energi. Hentet: 14.12.2017.
- [6] Stahley, Brook. Electricity demand. <//businessfeed.sunpower.com/articles/commercial-electricity-demand-charges>. Hentet: 14.12.2017.
- [7] Ole Lislebø, Linn RenéeNaper, Monica Havskjold, and Ellen Bakken. Nettplan Stor-Oslo: Alternativer til nettinvesteringer. Technical report, Statnett, 2011.
- [8] Synnøve Lill Paulsen and Angela Maria Bakke. Rapport nr 94-2016 Status og prognose for kraftsystemet. Technical report, NVE, 2016.
- [9] Miljødirektoratet. Parisavtalen. <http://www.miljostatus.no/parisavtalen/>. Hentet: 15.11.2017.
- [10] Miljødirektoratet. Klima. <http://www.miljostatus.no/klima/>. Hentet: 15.11.2017.
- [11] Elisabeth Lannoo and Ursin Eilif Reed. Virksomme klimabudskap. Technical report, 2016.
- [12] NVE nettavdeling. Elmarkedstilsynet, nettleiestatistikk. <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/nettjenester/nettleie/>

- [nettleiestatistikk/nettleiestatistikk-for-naeringskunder/](#). Hentet: 19.11.2017.
- [13] Olje- og energidepartementet. St.meld. nr. 18 (2003–2004). Technical Report 18, 2004.
- [14] Kalle Ellinggard and Jørund Krogsrud. Endringer i forskrift om måling, avregning og samordnet opptreden ved kraftomsetning og fakturering av nettjenester. Technical report.
- [15] Lisa Henden, Torgeir Ericson, Audun Fidje, Jon Erling Fonnelop, Olav Isachsen, Ellen Skaansar, and Dag Spilde. Rapport nr 66-2017 Batterier i bygg kan få betydning for det norske kraftsystemet. Technical report, Norges vassdrags- og energidirektorat, 2017.
- [16] Global Smart Grid Federation. Battery energy storage has a viable future in grid operation support. Technical report, Global Smart Grid Federation, 2016.
- [17] Nina Jensen. Stort potensial for solenergi i norge. <https://www.wwf.no/?50126/Stort-potensial-for-solenergi-i-Norge>. Hentet: 30.01.2018.
- [18] Battery Na4B. Peak shaving. <http://battery.na4b.com/investors/market-needs/>. Hentet: 11.12.2017.
- [19] DNV GL. Batterier i distribusjonsnettet. Technical report, DNV GL, NVE, 2018.
- [20] Trygve Tønnesen. Styringssystem for elektriske bygningsinstallasjoner. Technical report, NTNU, 2011.
- [21] Per Vilbrant. *Intelligente bygningsinstallasjoner IBI - En introduksjon*. Elforlaget, 1998.
- [22] Erik Hammer. Bygg for fremtiden med intelligente styringssystemer. Technical report, Økobygg, 2002.
- [23] Schneider Electric. Schneider Electric, maksimalvokter. <http://ecatalogue.schneider-electric.no/ProductGroup.aspx?groupid=323948&navid=85637&navoption=6#>. Hentet: 10.12.2017.
- [24] Enoco. Enoco, maksimalvokter. <https://www.enoco.no/artikler>. Hentet: 09.12.2017.

- [25] Dyrhovd. Kundenenes innsparing. <http://www.dyrhovd.no/files/x3/spart.html>. Hentet: 08.12.2017.
- [26] Jonathan Karlsson. Possibilities of using thermal mass in buildings to save energy, cut power consumption peaks and increase the thermal comfort. Technical report, Lund Institute of Technology, 2012.
- [27] Iver Torstein Skari. Reduksjon av energibruk i bygninger ved aktiv bruk av bygningens termiske masser og av et intelligent IKT-verktøy for tilbakemelding til bruke. Technical report, NTNU, Instituttet for energi- og prosessteknikk, 2016.
- [28] J. V. Thue I. Wangensteen F. O. Gjerstad V. Novakovic, S. O. Hanssen. *Enøk i bygninger - Effektiv energibruk*. Gyldendal Norsk Forlag AS, 2007.
- [29] Knut A Rosvold. Solfanger. <https://snl.no/solfanger>. Hentet: 27.04.2018.
- [30] Smartgrids.no. Utforsking av potensielle tiltak og tariffer for å redusere effekttopper i strømmettet ved innføring av ams. <http://smartgrids.no/wp-content/uploads/sites/4/2014/06/Prosjektrapport-Gruppe-2.pdf>. Hentet: 18.12.2017.
- [31] NVE, Enova, Norges forskningsråd og Innovasjon Norge. Teknologi for lagring av energi. <http://www.fornybar.no/overforing-og-lagring-av-energi/lagring-av-energi/teknologier-for-lagring-av-energi>. Hentet: 12.12.2017.
- [32] Clean Thinking. Svinghjul. <http://www.cleanthinking.de/wochenserie-stromspeicher-schwungradspeicher-von-rotokinetik-und-beacon-power/>. Hentet: 12.12.2017.
- [33] Enova. Enovas Byggstatistikk 2015. Technical report, Enova, 2015.
- [34] Google. Google maps. <https://www.google.no/maps/search/gl\T1\oshaugen/@63.4183712,10.4021132,16z/data=!3m1!4b1>. Hentet: 12.12.2017.
- [35] Marie Cecilie Bakken. Masteroppgave: Gløshaugen Campus som uttrykk for NTNUS identitet. Technical report.
- [36] Statistisk sentralbyrå. Fjernvarme og fjernkjøling. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/fjernvarme/aar/2016-05-13?fane=tabell&sort=nummer&tabell=279894>. Hentet: 26.01.2018.

- [37] Veidekke. Otte nielsens vei 12. <http://veidekke.no/prosjekter/article20172.ece>. Hentet: 24.01.2018.
- [38] Mursystem AS. Otte nielsens vei 12. <https://www.mursystem.no/bestemte-referanser/2017/9/16/otto-nielsens-vei-12>. Hentet: 24.01.2018.
- [39] BREEAM-NOR. Breeam-nor Norges ledende verktøy for miljøklassifisering av bygg. <http://ngbc.no/breeam-nor/>. Hentet: 27.01.2018.
- [40] Linn Charlotte Melvik Alfstad. Analysis of the Thermal Energy System at Otto Nielsen vei 12 E. Technical report, NTNU, 2017.
- [41] GETEK. Tips til montering av solcellepaneler. http://getek.no/wp-content/uploads/2017/03/Monteringstips_solpaneler-1.pdf. Hentet: 17.12.2017.
- [42] Arne Sellæg. Otto nielsens vei 12, bygg e. <http://www.bygg.no/article/1325478>. Hentet: 04.02.2018.
- [43] Sven Terje Solum. Mailkorrespondanse i perioden september 2017 til mai 2018.
- [44] Yr. Yr.no. <https://www.yr.no/sted/Norge/S\T1\or-Tr\T1\ondelag/Trondheim/G1\T1\oshaugen/statistikk.html>. Hentet: 13.12.2017.
- [45] Power Meter Store. Power meter store. https://www.powermeterstore.com/P10662/dent_instruments_elitepro_sp.php. Hentet: 13.12.2017.
- [46] Elfadistrelec. Distrelec. https://www.elfadistrelec.no/no/datalogger-strom-motstand-temperatur-spenning-gpib-rs232-keysight-34970a/p/17671105?channel=b2c&price_gs=18435&source=googleps&ext_cid=shgoooqnono-na&pup_e=1&pup_cid=35879&pup_id=17671105&gclid=Cj0KCQiA38jRBRCQARIsACEqIevCZh-hrGOCYj-bt6RZW6RkCZwr2_c-nh9LTymimQ06rtPZnLLJ7AaAmaWEALw_wcB. Hentet: 13.12.2017.
- [47] UngEnergi. Energiklasse og energimerking av hus. <http://ungenergi.no/miljoteknologi/bygg/energiklasser-og-energimerking-av-hus/>. Hentet: 02.05.2018.
- [48] Roger Grøndahl, Åsmund Jenssen, Berit Tennbakk, and Kristine Fiksen. Energibruk i kontorbygg. Technical report, NVE, 2013.

- [49] Klima- og miljødepartementet. Innfører forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger fra 2020. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/oljefyr/id2556868/>. Hentet: 08.05.2018.
- [50] Teknisk ukeblad. Skal lagre store mengder energi i betong. <https://www.tu.no/artikler/skal-lagre-store-mengder-energi-i-betong/224947>. Hentet: 19.05.2018.
- [51] Aberdeen utleie. Bassengbakken 1. <http://www.aberdeenutleie.no/news/53>. Hentet: 15.05.2018.
- [52] Catherine Grini, Hans-Martin Mathisen, Igor Sartori, Matthias Haase, Helle Wøhlk Jæger Sørensen, Arnkell Petersen, Ida Bryn, and Tore Wigenstad. LECO – Energibruk i fem kontorbygg i Norge. Technical report, SINTEF byggforsk, 2009.

Vedlegg A

Detaljert kursfortegnelse og oversikt over måletidspunkter

Bygg	Geologen			Byggnr	306	Total måleperiode:										
Adresse	Høgskoleringen 6			Etasje	2.etg.	13.02 til 26.03										
Fordeling	F-22			Rom	Trapp											
Kortslutnings- beregninger	Ik1/U	kA/	V	Trafo	308											
			230V	Stiger	6 og 7											
KURS	BESKRIVELSE	SIKRING	TVERBSNITT	REKKEKL.NR	Målt med kabel	Start 1. måling	Start 2. måling	Start 3. måling	Strømstans	Start 4. måling	Start 5. måling	Start 6. måling	Start 7. måling			
Q301	Hovedsikring kurs Q306-Q323 Stiger 7	100														
Q302	Hovedsikring kurs Q327-Q332 Stiger 6	160														
Q303	Fordeling 221 Rom 204 Stiger 9	63														
	Stiger 7															
Q306	Stikk i kanal Rom 254,256,259,260	16	2x2,5	1-2	109	13.feb	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			
Q307	Stikk i kanal Rom 200,202,204	16	2x2,5	3-4	103	13.feb	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			
Q308	Stikk i kanal Rom 209B,212	16	2x2,5	5-6												
Q309	Lys Korridor	10	2x1,5	7-8	111	13.feb	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			
Q310	Stikk i kanal Rom 200,202	10	2x1,5	9-10												
Q311	Lys Rom 207A,209A,211,209B	10	2x1,5	11-12	108	13.feb	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			
Q312	Stikk i kanal Rom 211	16	2x2,5	13-14												
Q313	Stikk i kanal Rom 217B, 223	16	2x2,5	15-16												
Q314	Lys Rom 253,253A,254,256,259	16	2x2,5	17-18	110	13.feb	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			
Q315	Stikk. Rom 209B	16	2x2,5	19-20												
Q316		16		21-22												
Q317		16		23-24												
Q318	Stikk./lys Korridor	16	2x2,5	25-26												
Q319	Stikk. Rom 256	10	2x1,5	27-28	102	13.feb	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			
Q320	Stikk. Rom 254	10	2x1,5	29-30												
Q321	Stikk. adgangskontroll	16	2x2,5	31-32												
Q322	Stikk. Rom 200-204	16	2x2,5	33-34												
Q323	Stikk./lys Fordeling F-22	16	2x2,5	35-36												
	Stiger 6															
Q327	Varmr Rom 200, 202	16	3x2,5	37-38-39	Dent Elite Pro	Ingen måling	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			
Q328	Varmr Rom 254 + wc	16	3x2,5	40-41-42	Dent Elite Pro	Ingen måling	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			
Q329	Varmr Rom 212	16	3x2,5	43-44-45	Dent Elite Pro	Ingen måling	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			
Q330	Varmr Rom 204, 209B	25	3x4	46-47-48	Dent Elite Pro	Ingen måling	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			
Q331	Varmr Rom 256, 259, 260	25	3x4	49-50-51	Dent Elite Pro	Ingen måling	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			
Q332	Fordeling 211 Rom 212	32	3x10		Dent Elite Pro	Ingen måling	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar			

Figur A.1: Oversikt over tidspunkt for alle målinger gjort på Geologibygget

Bygg	Geologen			Byggnr	306									
Adresse	Høgskoleingen 6			Etasje	2.etg.									
Fordeling	F-211			Rom	212									
Kortslutnings-	Ik1/U	kA/	V	Trafo	308									
beregninger			230V	Stiger	Fra F22 Q332 stiger 6									
Q301	Stikk	rom 212	16	2x2,5		Målt med kabel	Start 1. måling	Start 2.måling	Start 3.må	Strømstans	Start 4.måling	Start 5.måling	Start 6.måling	Start 7.måling
Q302	Stikk i kanal	rom 212	16	2x2,5		Dent elite pro	Ingen måling	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar
Q303	Stikk	rom 212	16	2x2,5		Dent elite pro	Ingen måling	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar
Q304	Stikk v/vindu	rom 212	10	2x1,5		Dent elite pro	Ingen måling	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar
Q306	Res.		10			Dent elite pro	Ingen måling	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar
Q307	Lys	rom 212	10	2x1,5		Dent elite pro	Ingen måling	19.feb	23.feb	26.feb	27.feb	05.mar	12.mar	15.mar

Figur A.2: Oversikt over tidspunkt for alle målinger gjort på Geologibygget

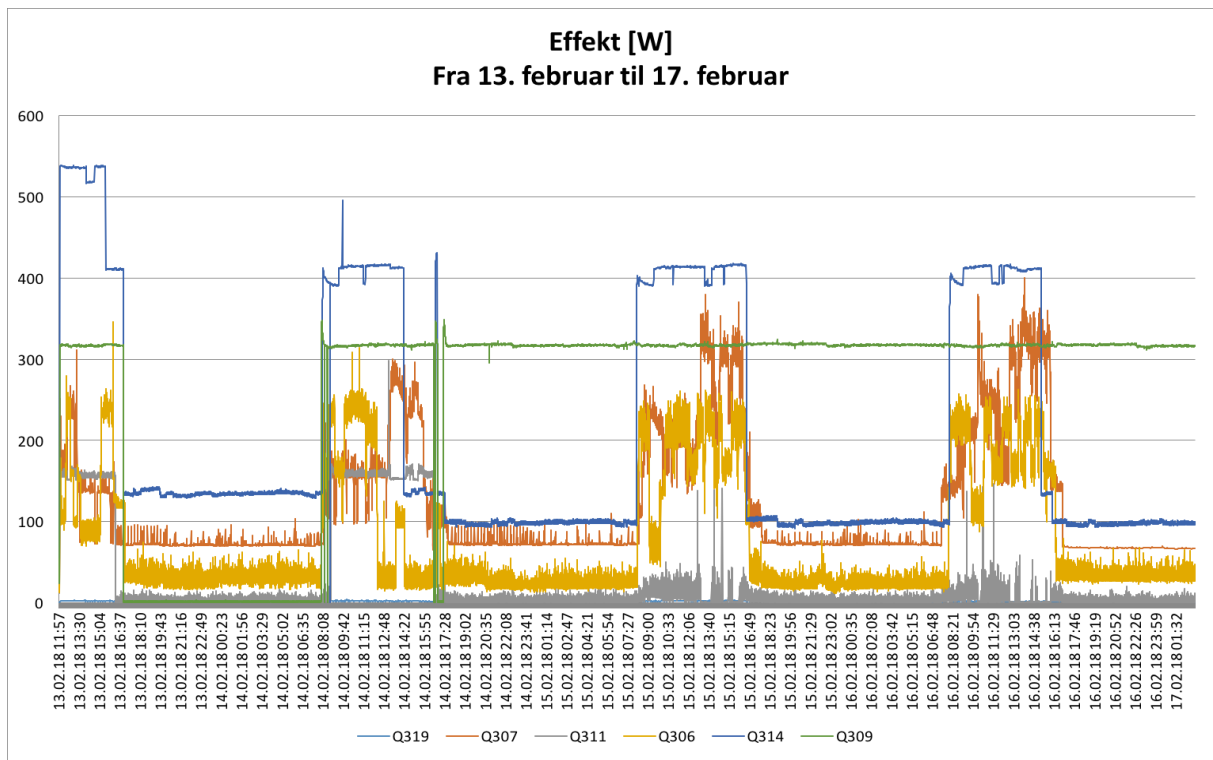
Målingene markert med rødt er gjort med dataloggeren, mens målingene markert med blått er gjort med Dent Elite Pro Meter.

Vedlegg B

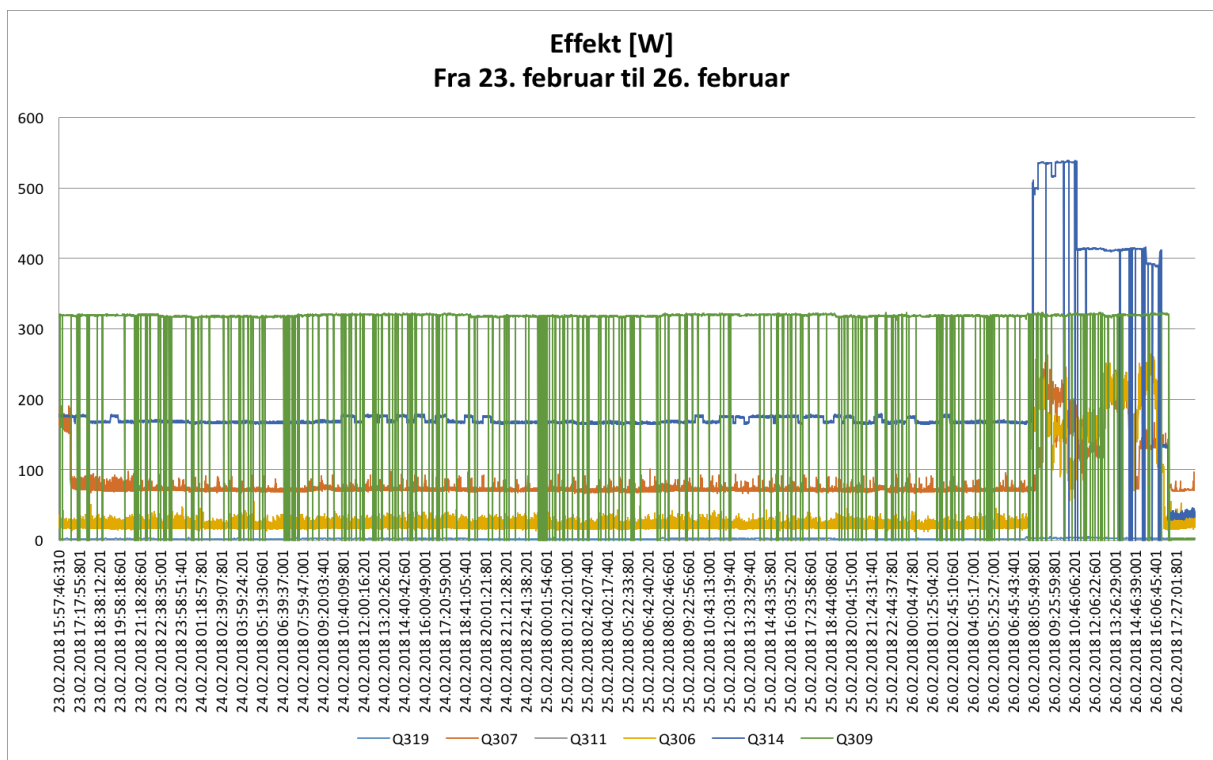
Oversikt over alle målinger gjort på Geologibygget

B.1 Stikkontakt- og belysningskurser

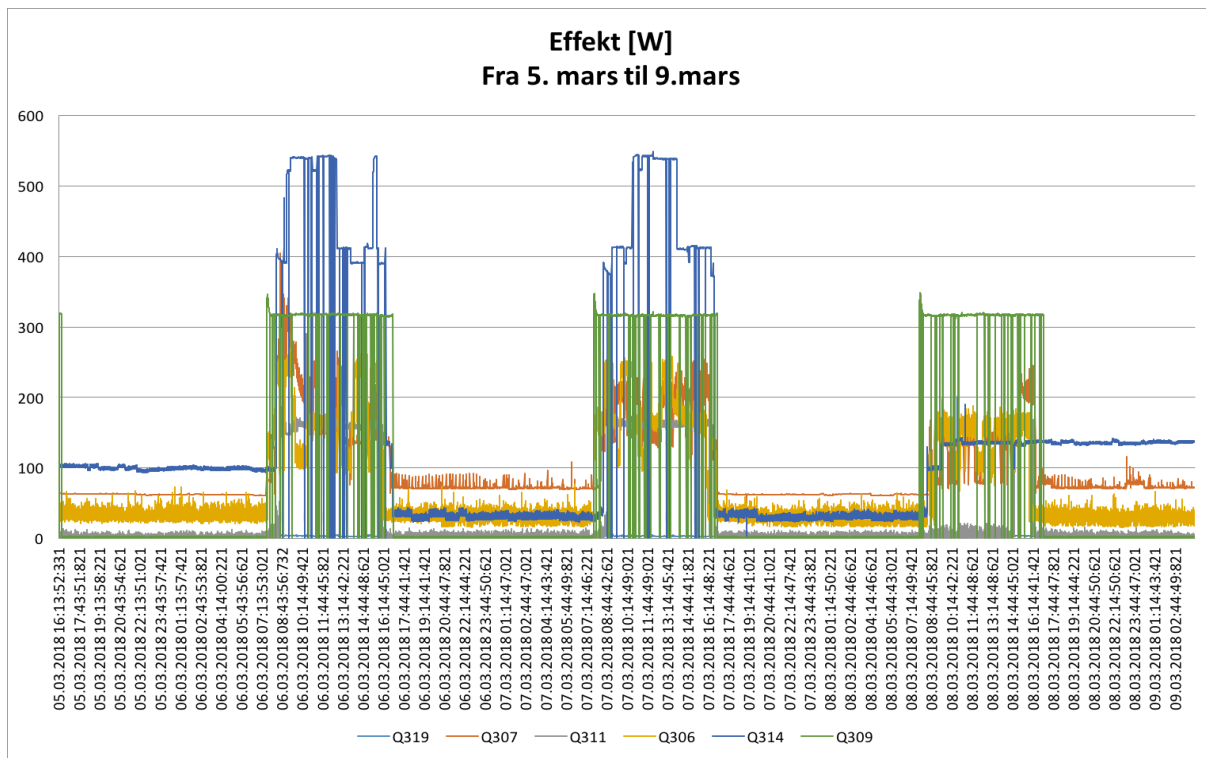
Det er noen dager i måleperioden hvor resultatene fra stikkontakt- og belysningskursene ikke er presentert. Grunnen til dette er en feil på måleapparatet som gjorde at noen av målingene avsluttet tidligere enn antatt, i tillegg til noen dager i forbindelse med to strømstans (apparatet skruer seg ikke på automatisk etter strømstans). Ved å se på resultatene fra varmekursene virker det som de fleste dagene som ikke har kommet med hadde et relativt lav forbruk uten store topper. Dette er med unntak av rett etter strømstansene, da det observeres en betydelig effekttopp for varmekursene. Det er ingen garanti for at effektforløpet til stikkontakt- og belysningskursene ville opptred likt som varmekursene, men det gir en pekepinn på hvor mye aktivitet det var i bygget den dagen.



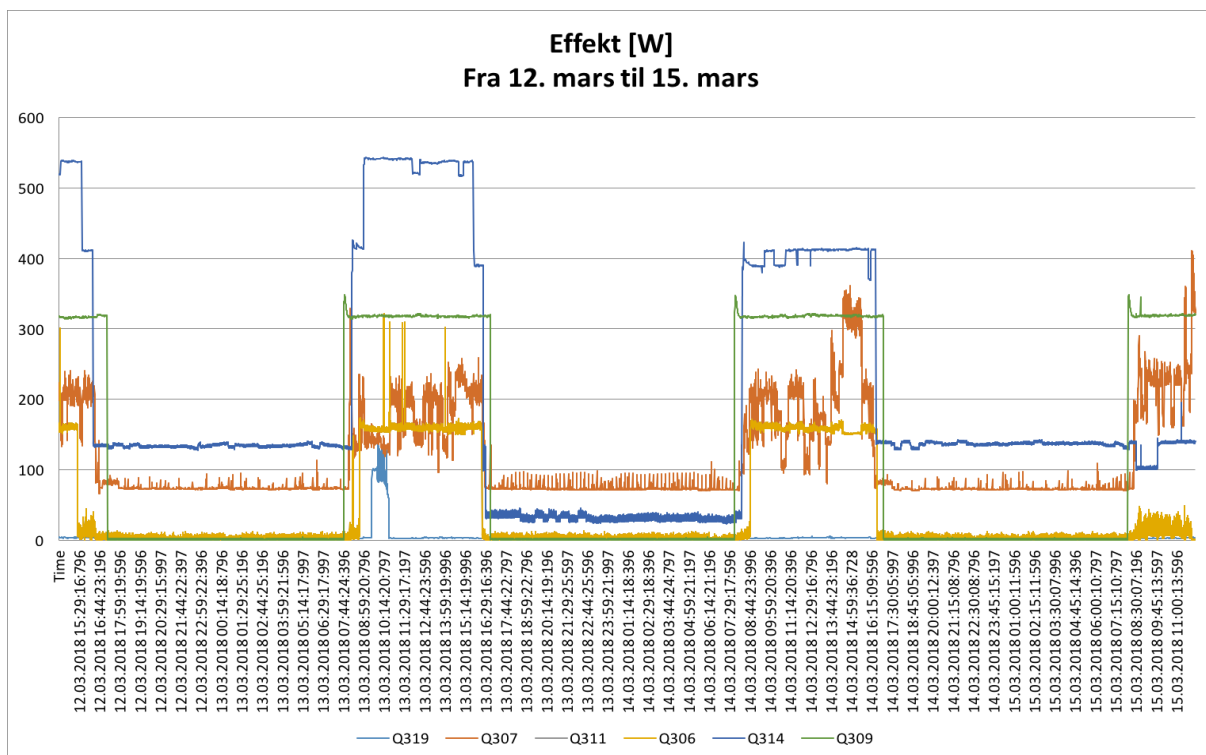
Figur B.1: Effekttopper i perioden 13. februar til 17. februar



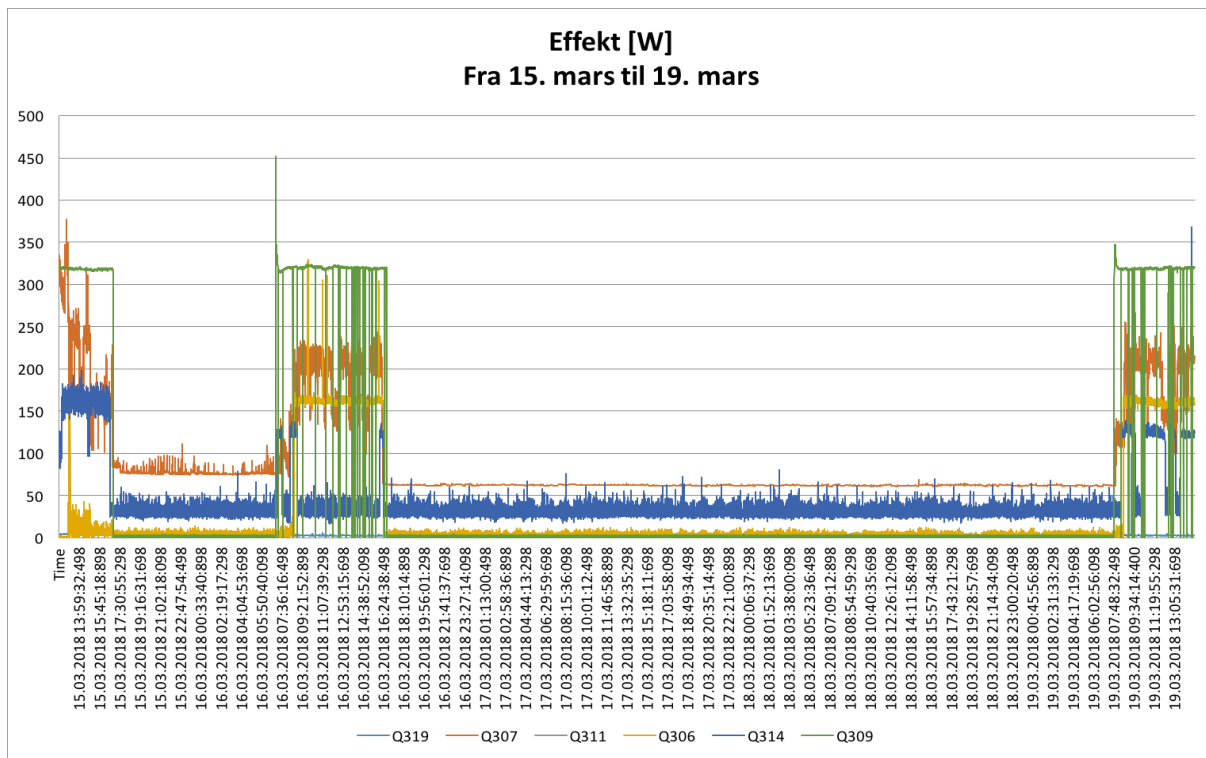
Figur B.2: Effekttopper i perioden 23. februar til 26. februar



Figur B.3: Effekttopper i perioden 5.mars til 9. mars



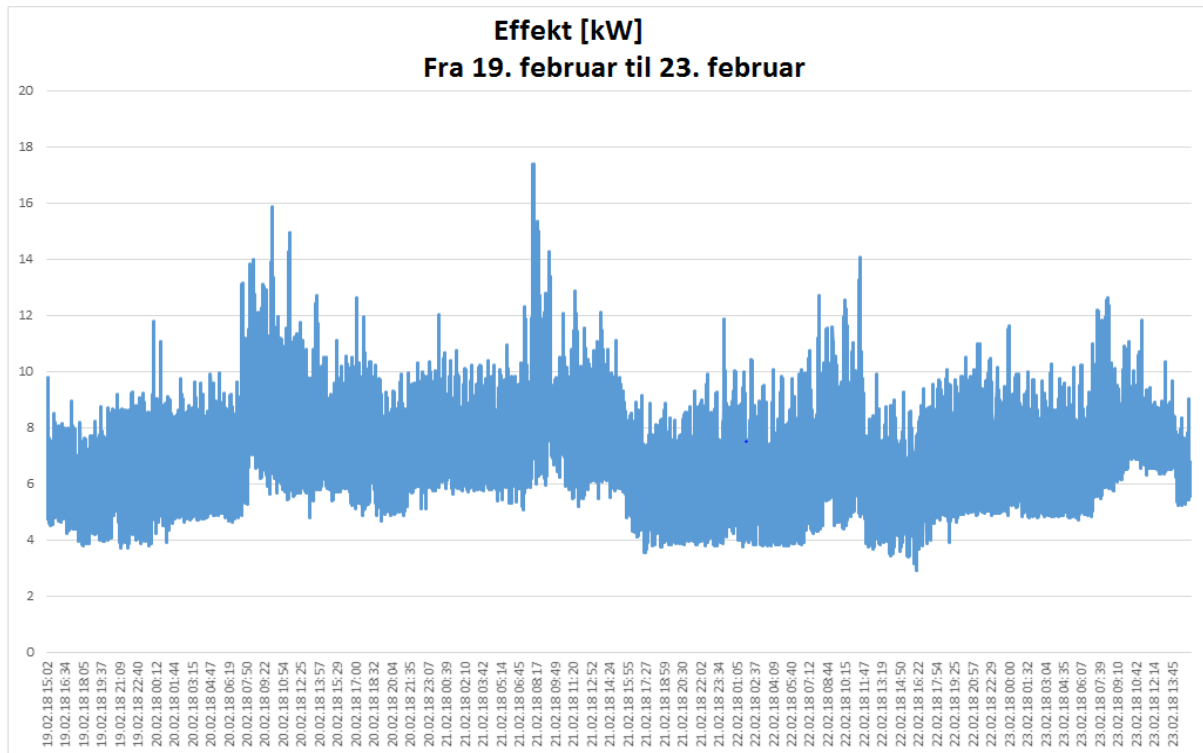
Figur B.4: Effekttopper i perioden 12.mars til 15. mars



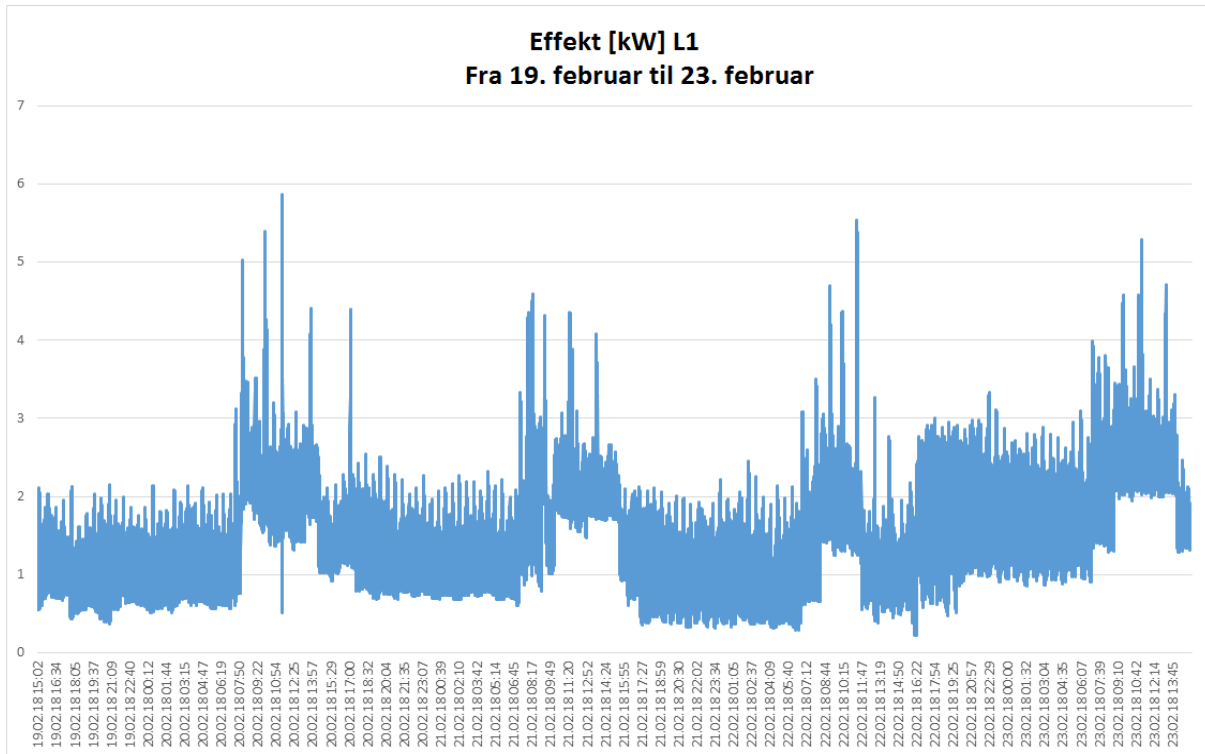
Figur B.5: Effekttopper i perioden 15.mars til 19. mars

B.2 Varmekurser

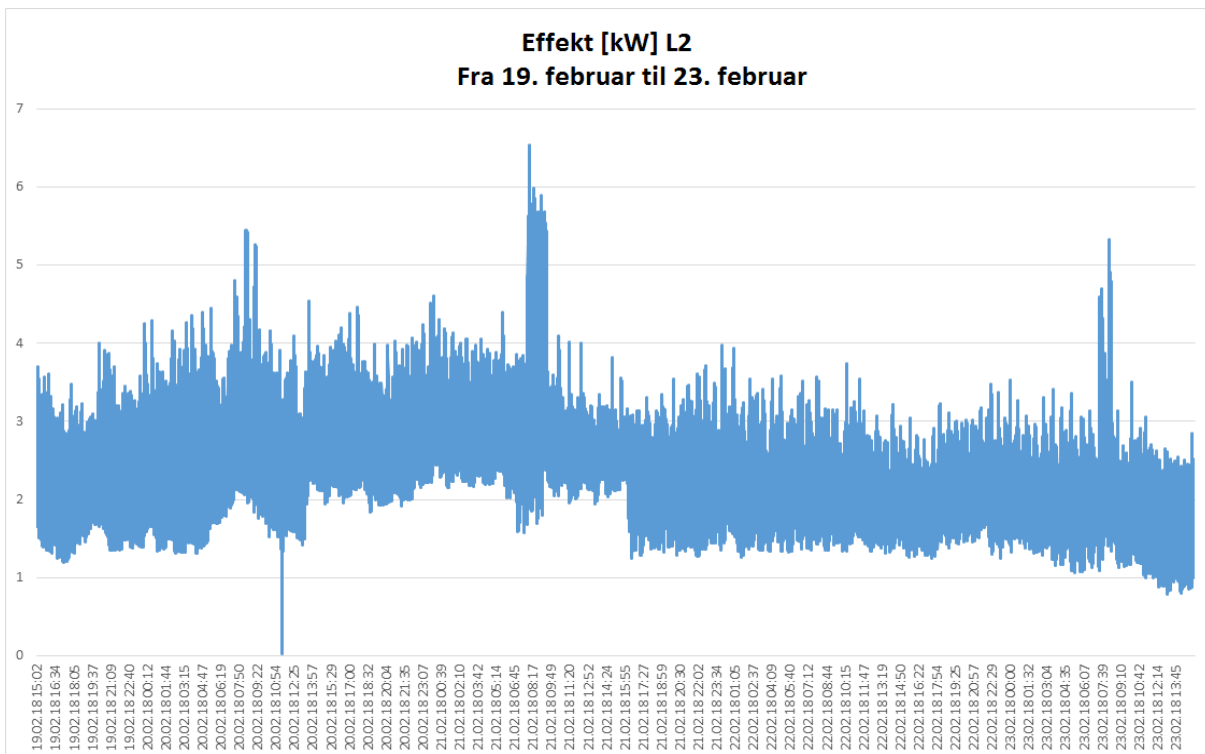
Perioden 19. februar til 23. februar



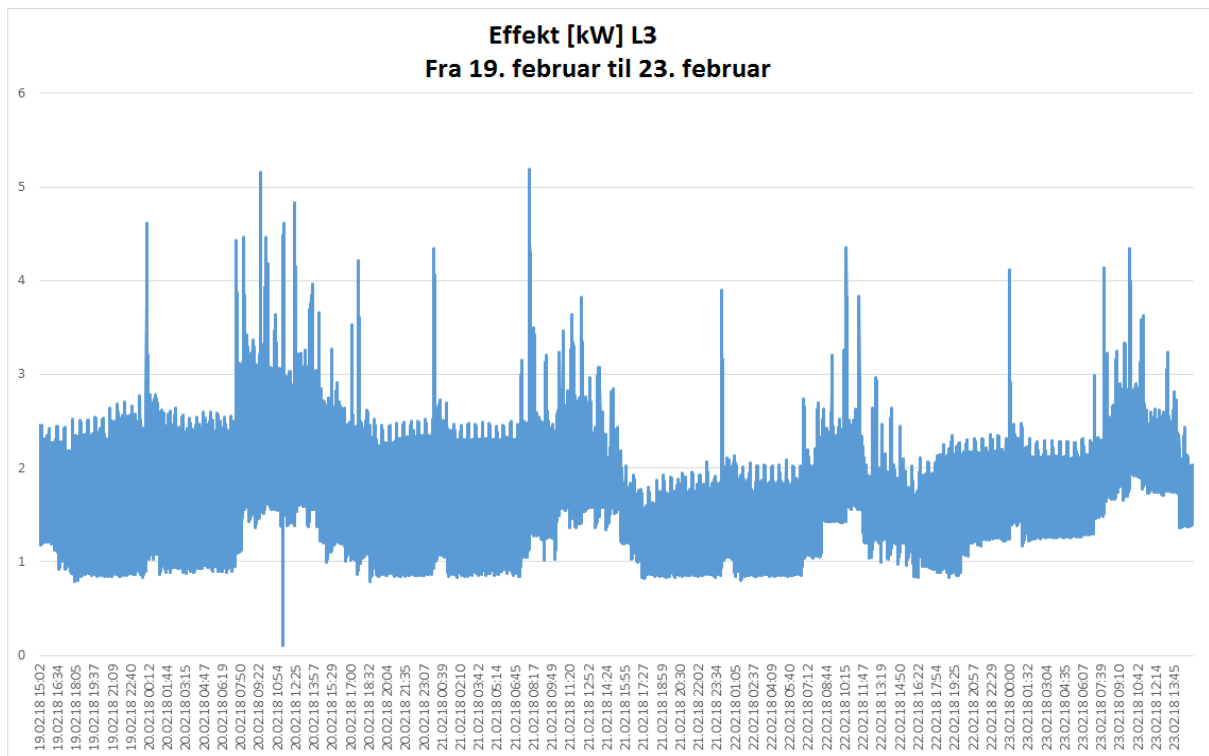
Figur B.6: Effekt i perioden 19. februar til 23. februar



Figur B.7: Effekttopper L1 i perioden 19. februar til 23. februar

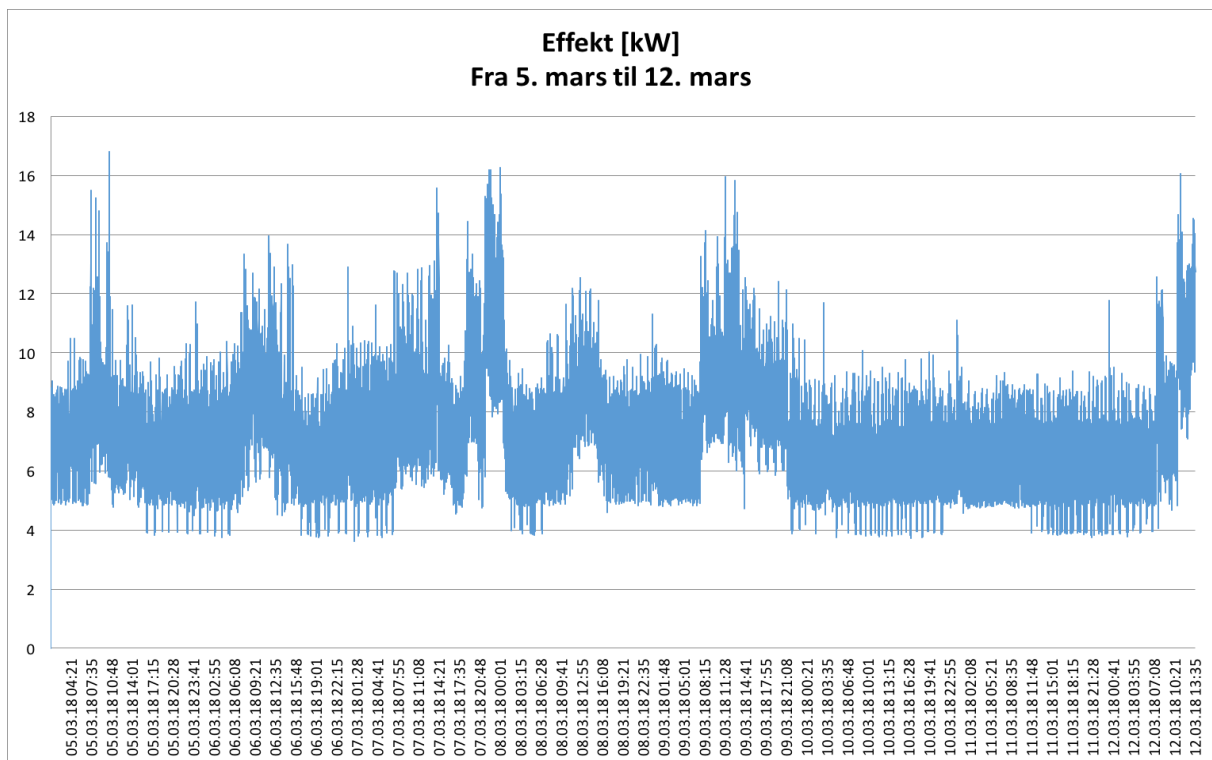


Figur B.8: Effekttopper L2 i perioden 19. februar til 23. februar

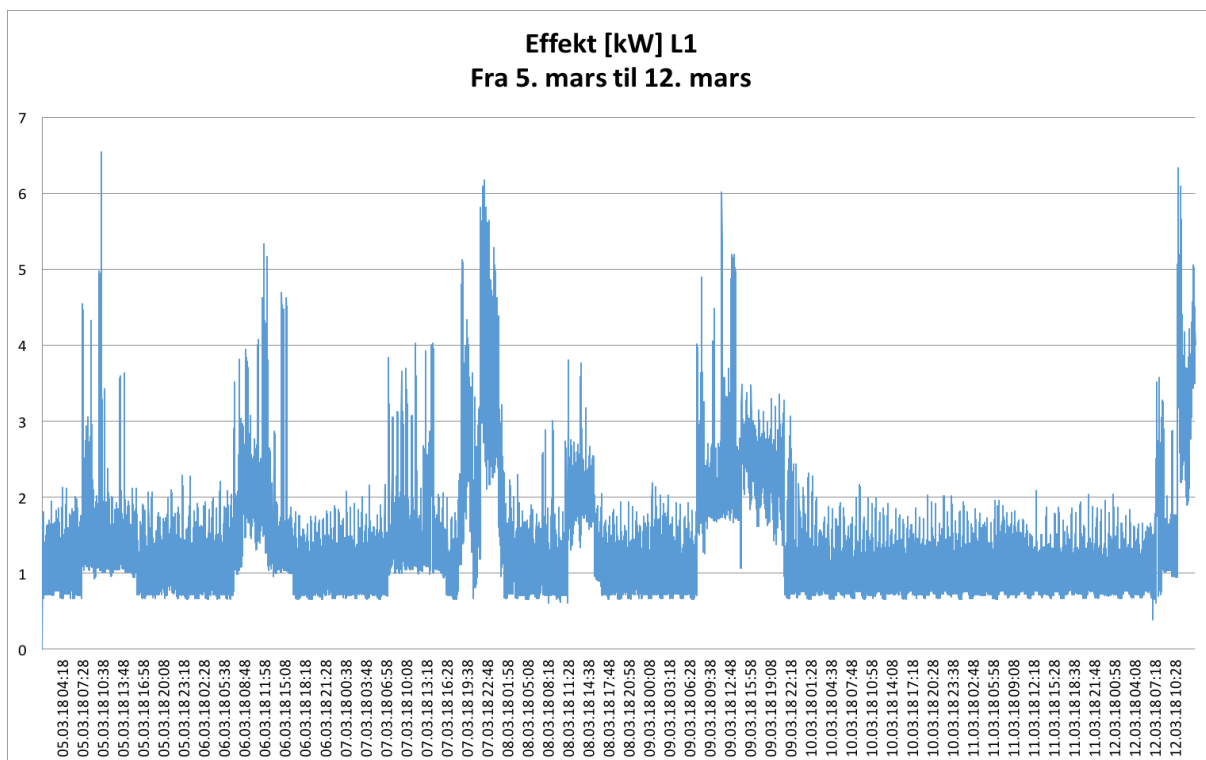


Figur B.9: Effekttopper L3 i perioden 19. februar til 23. februar

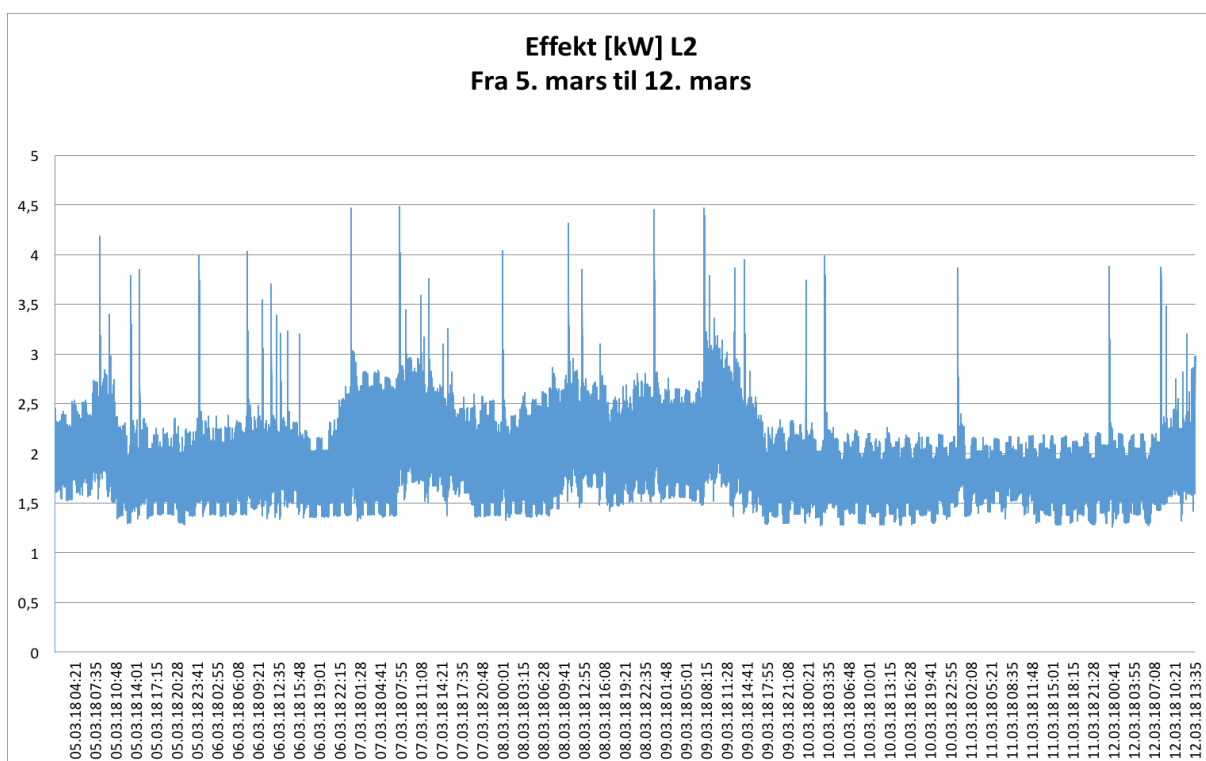
Perioden 5. mars til 12. mars



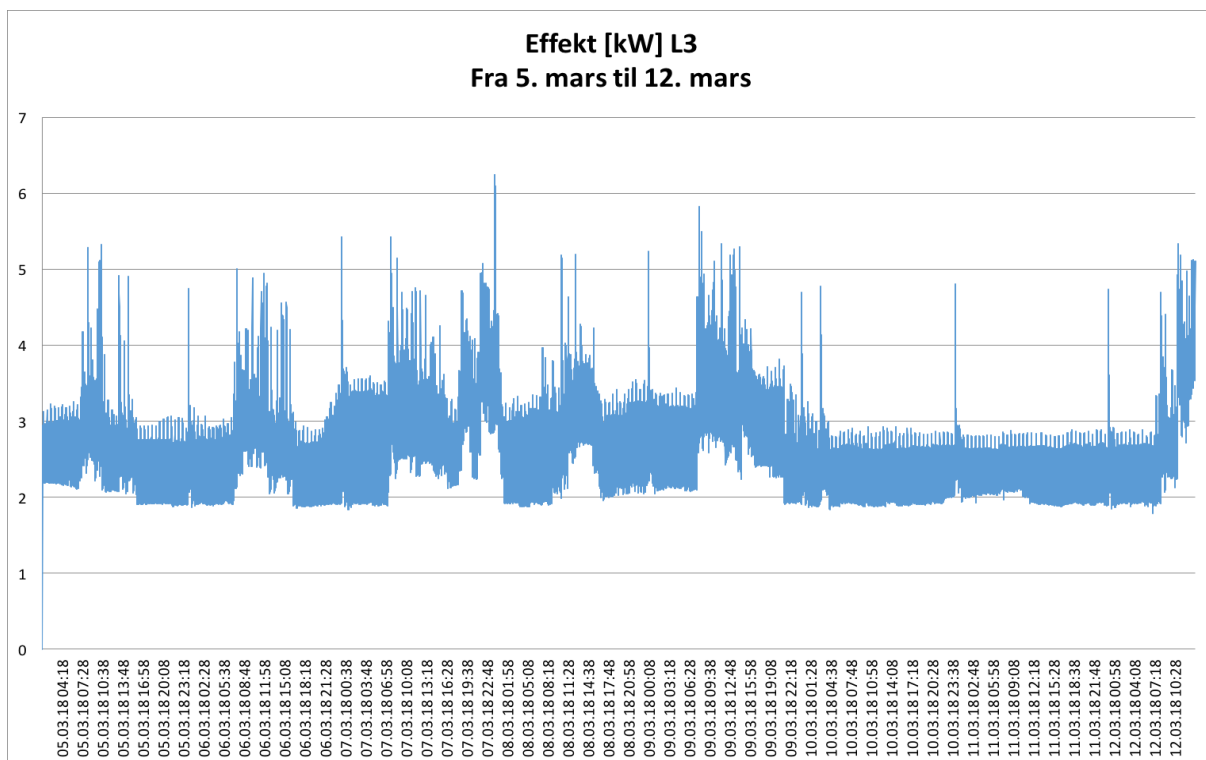
Figur B.10: Effekttopper i perioden 5. mars til 12. mars



Figur B.11: Effekttopper i perioden 5. mars til 12. mars, L1

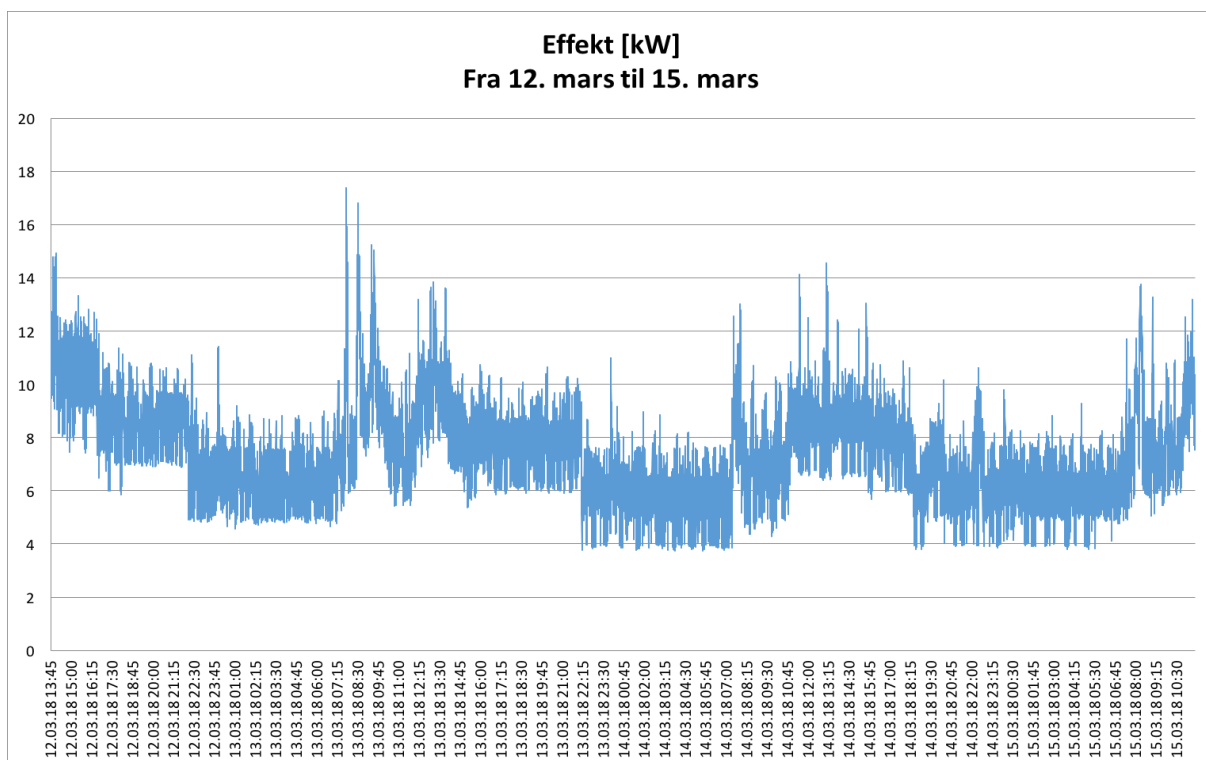


Figur B.12: Effekttopper i perioden 5. mars til 12. mars, L2

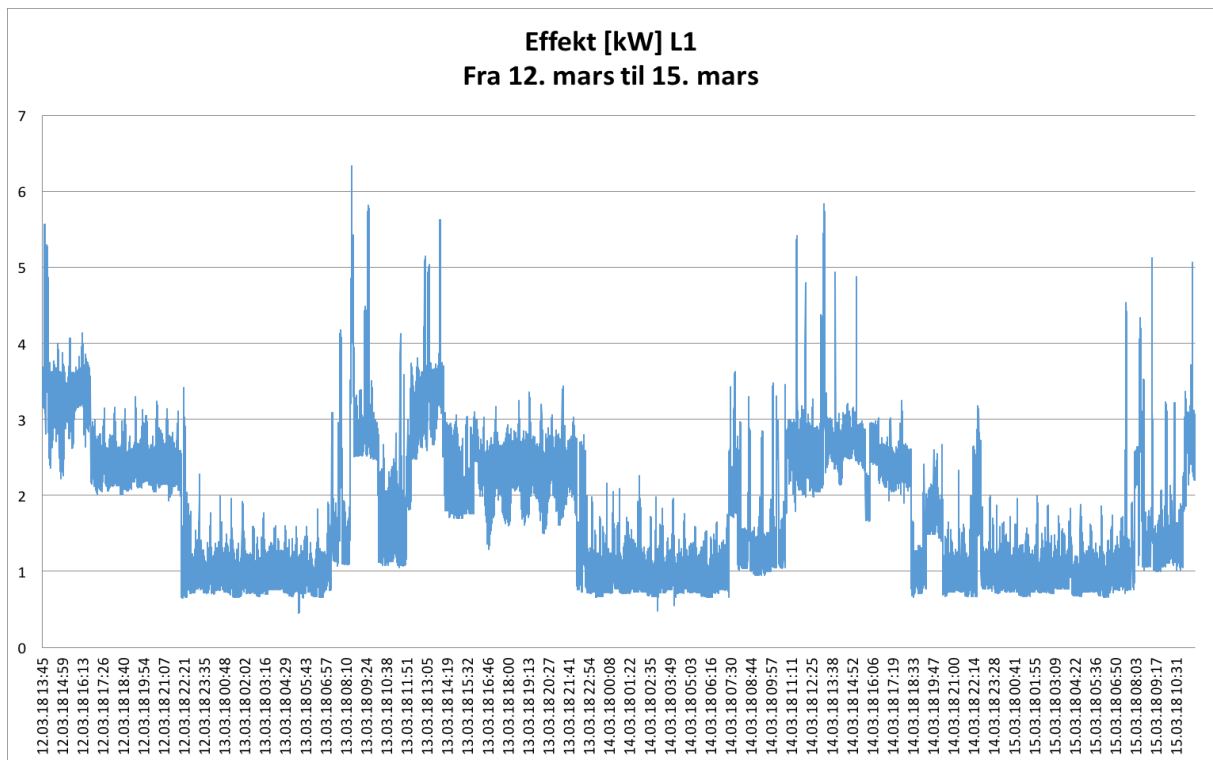


Figur B.13: Effekttopper i perioden 5. mars til 12. mars, L3

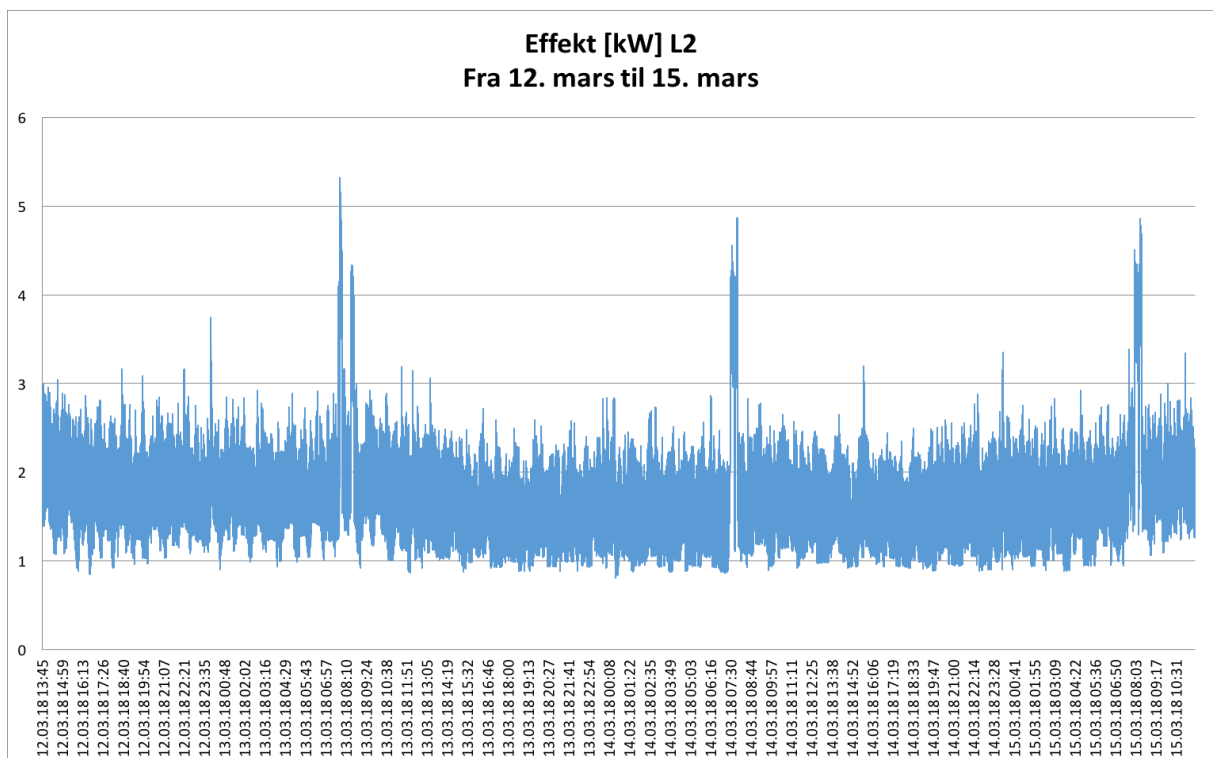
Perioden 12. mars til 15. mars



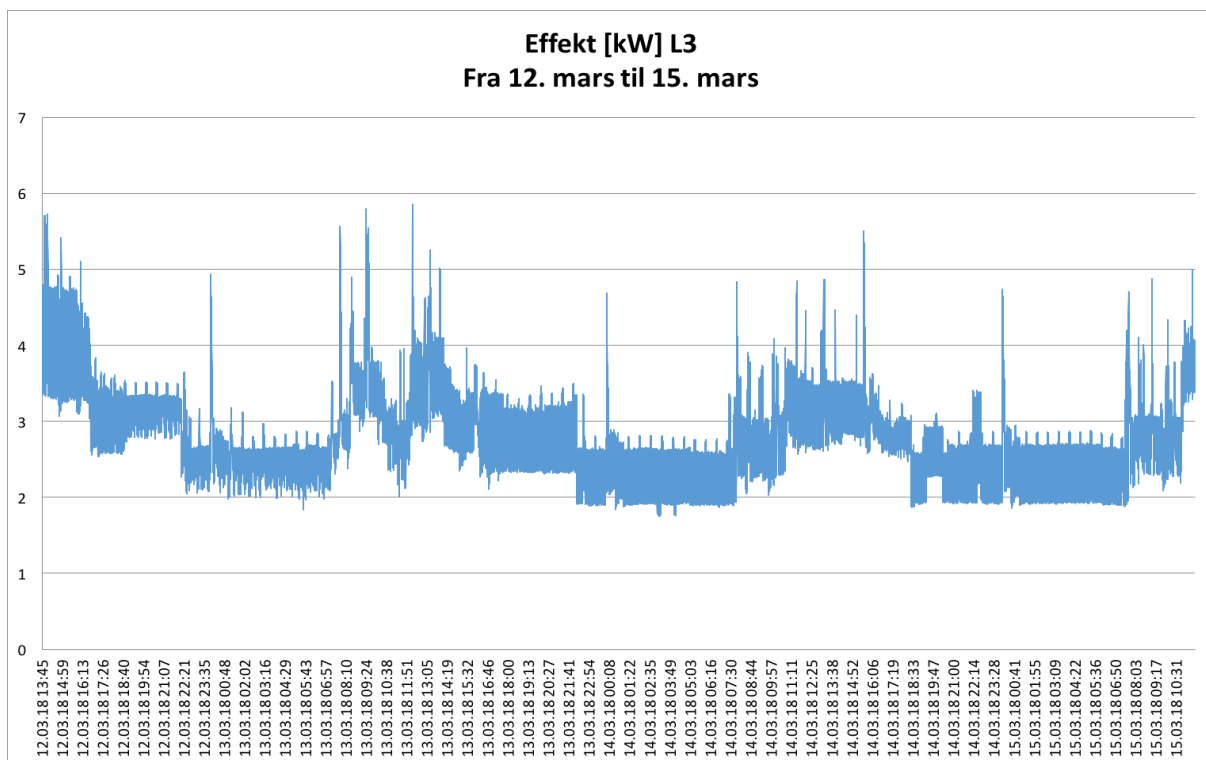
Figur B.14: Effekttopper i perioden 12. mars til 15. mars



Figur B.15: Effekttopper i perioden 12. mars til 15. mars, L1

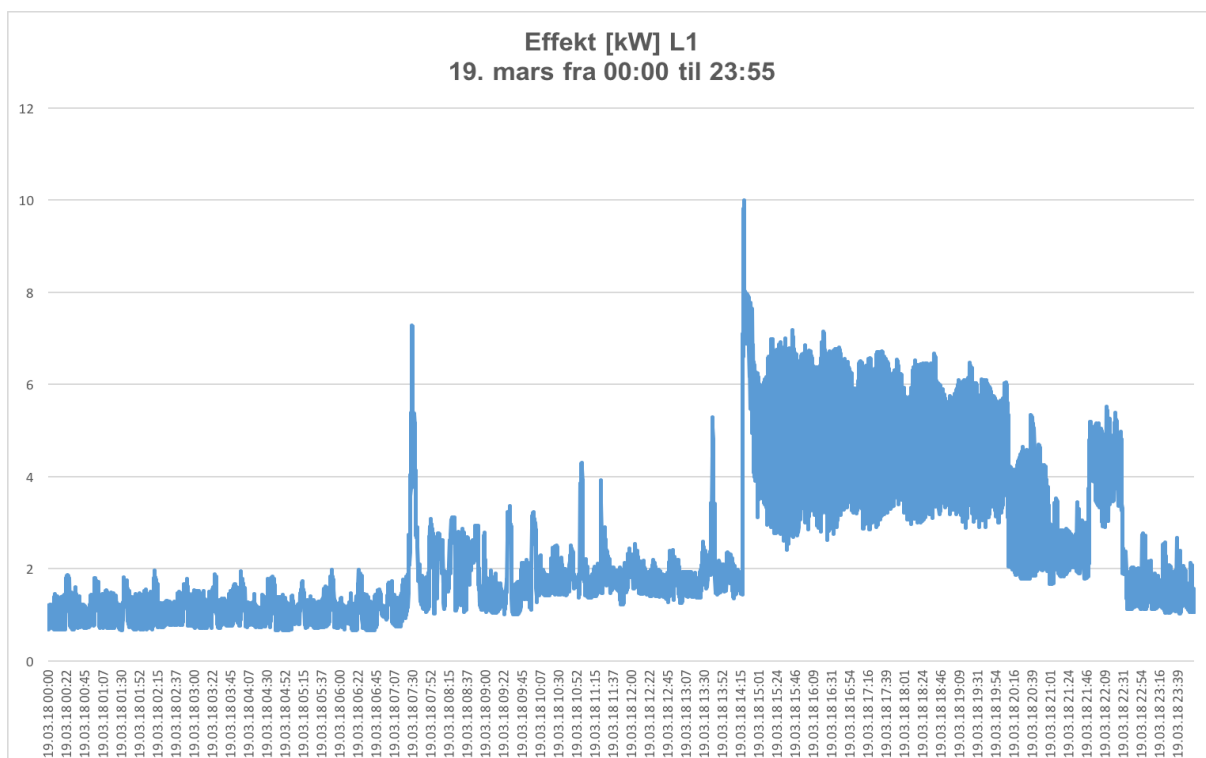


Figur B.16: Effekttopper i perioden 12. mars til 15. mars, L2

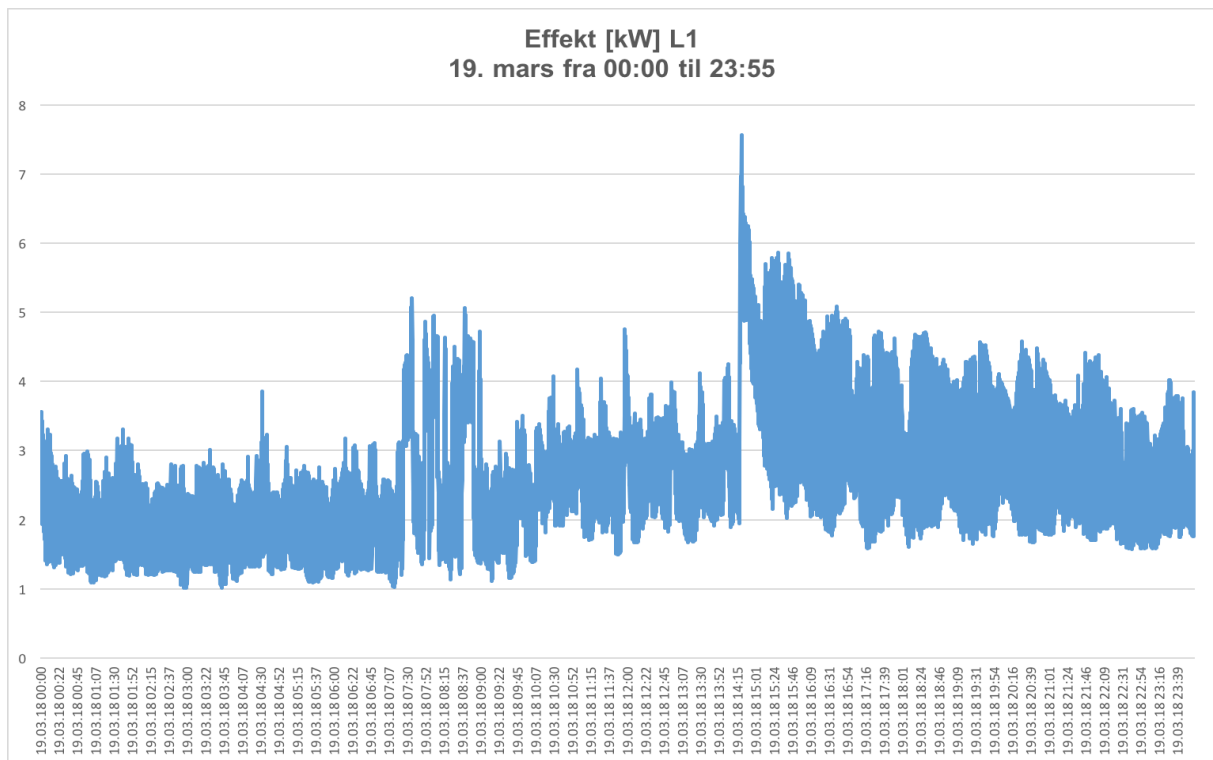


Figur B.17: Effekttopper i perioden 12. mars til 15. mars, L3

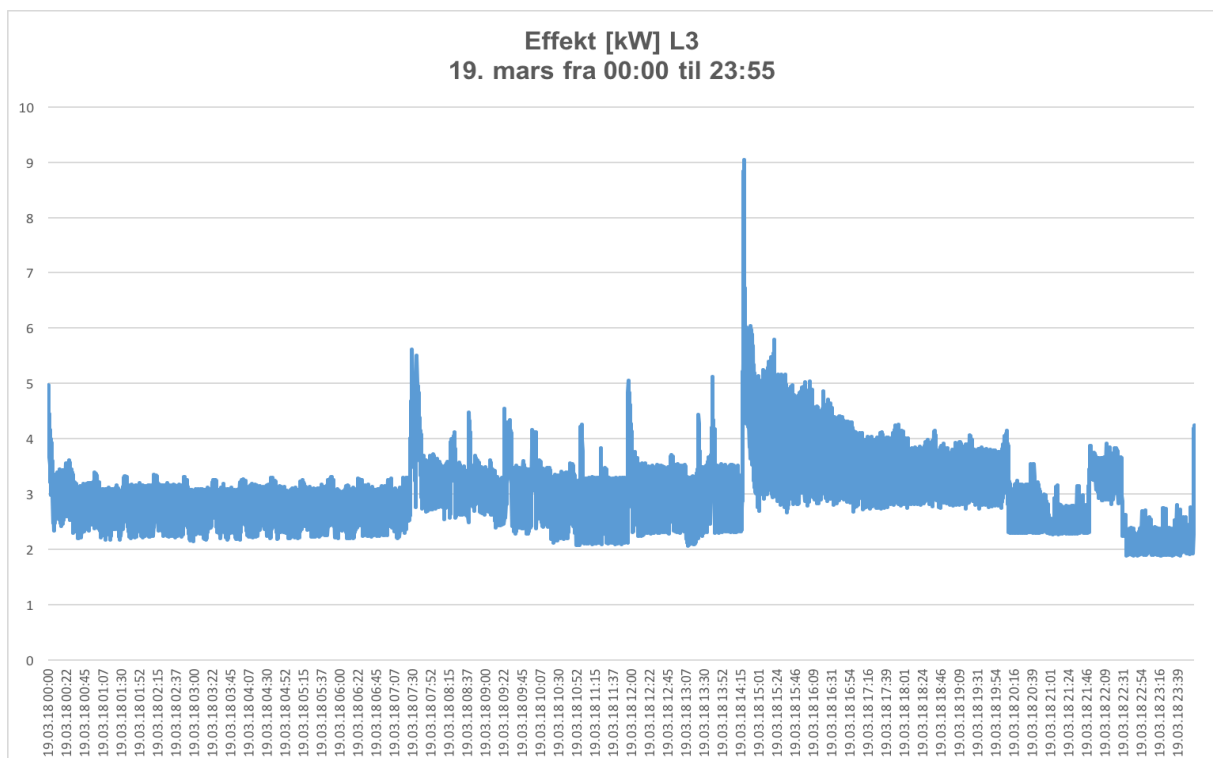
19. mars



Figur B.18: Effekttopper L1, 19. mars fra 00:00 til 23:55



Figur B.19: Effekttopper L2, 19. mars fra 00:00 til 23:55



Figur B.20: Effekttopper L3, 19. mars fra 00:00 til 23:55

Vedlegg C

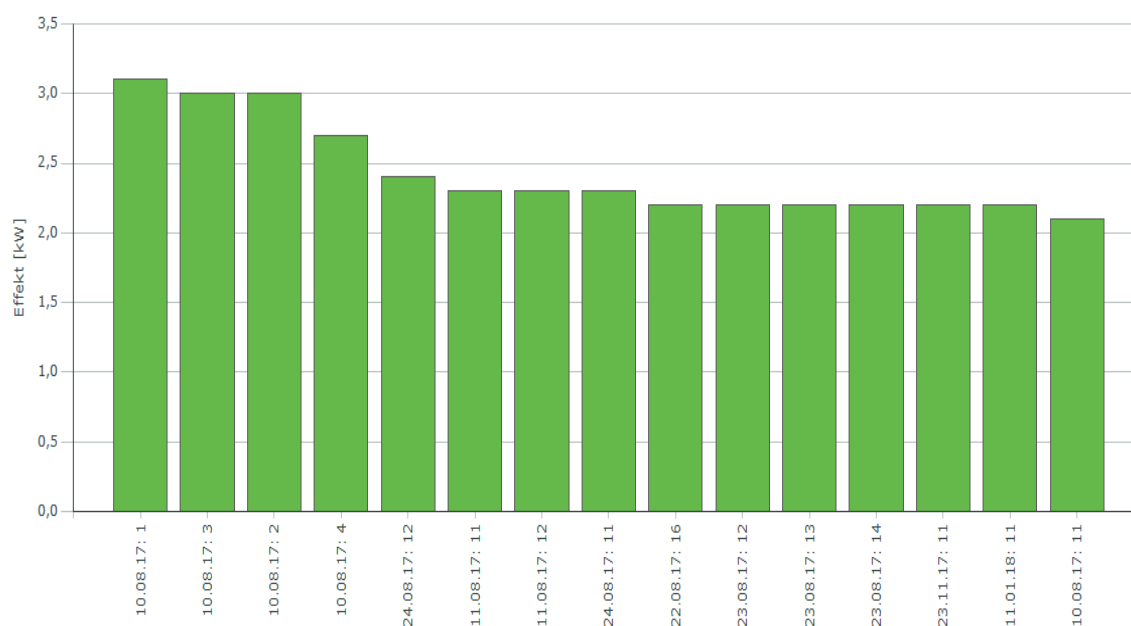
Oversikt over alle måleresultater brukt fra Otto Nielsens veg 12

C.1 Stikkontaktkurser

C.1.1 Effekttopper i løpet av hele måleperioden

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 10.08.2017 - 10.03.2018

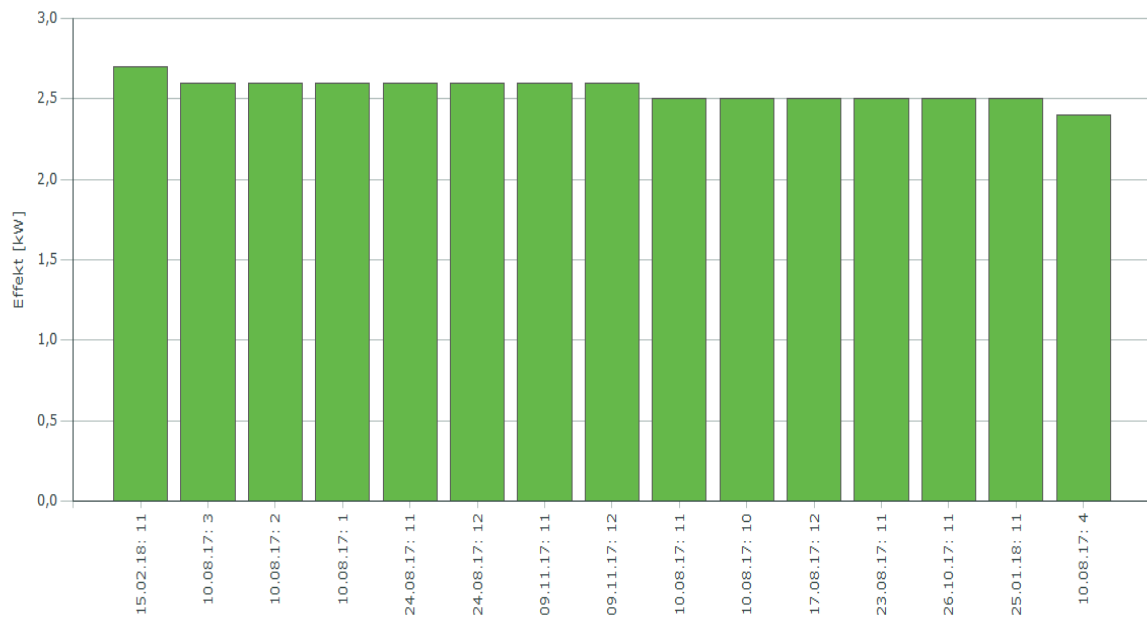
Måler: UM 1. etg nord stikk



Figur C.1: Effekttopper for stikkontakt i første etasje nord fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 10.08.2017 - 10.03.2018

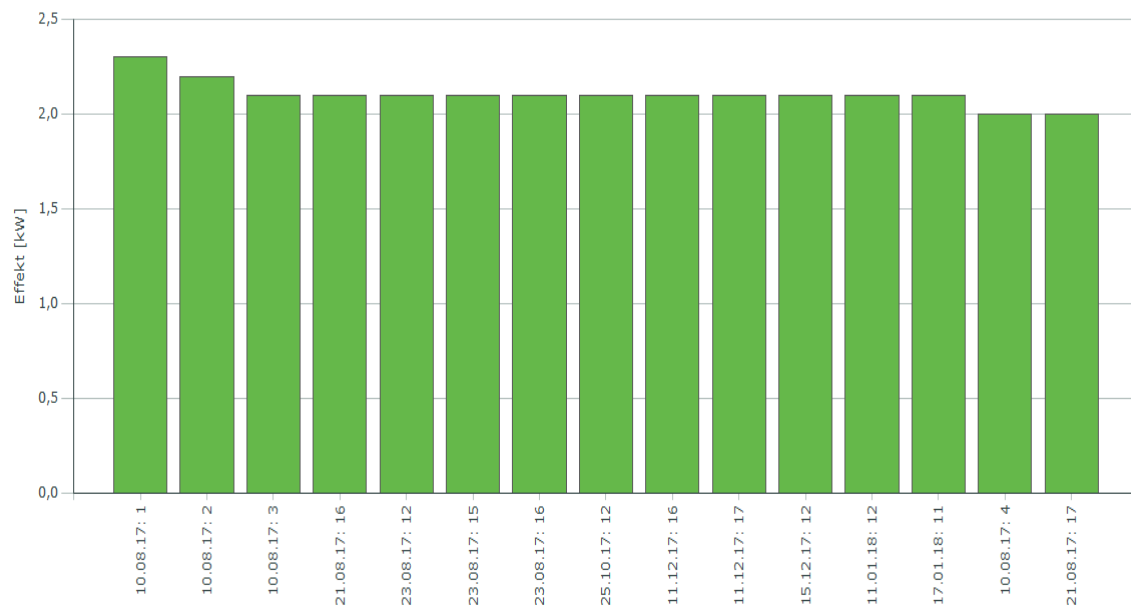
Måler: UM 1. etg sør stikk



Figur C.2: Effekttopper for stikkontakt i første etasje sør fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 10.08.2017 - 10.03.2018

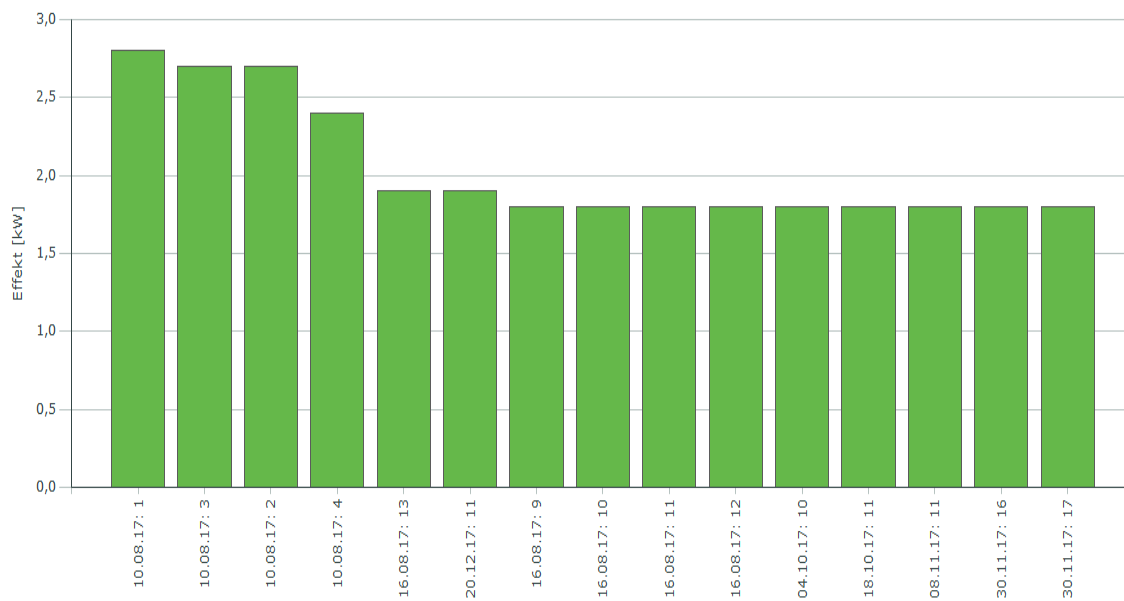
Måler: UM 2. etg sør stikk



Figur C.3: Effekttopper for stikkontakt i andre etasje sør fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 10.08.2017 - 10.03.2018

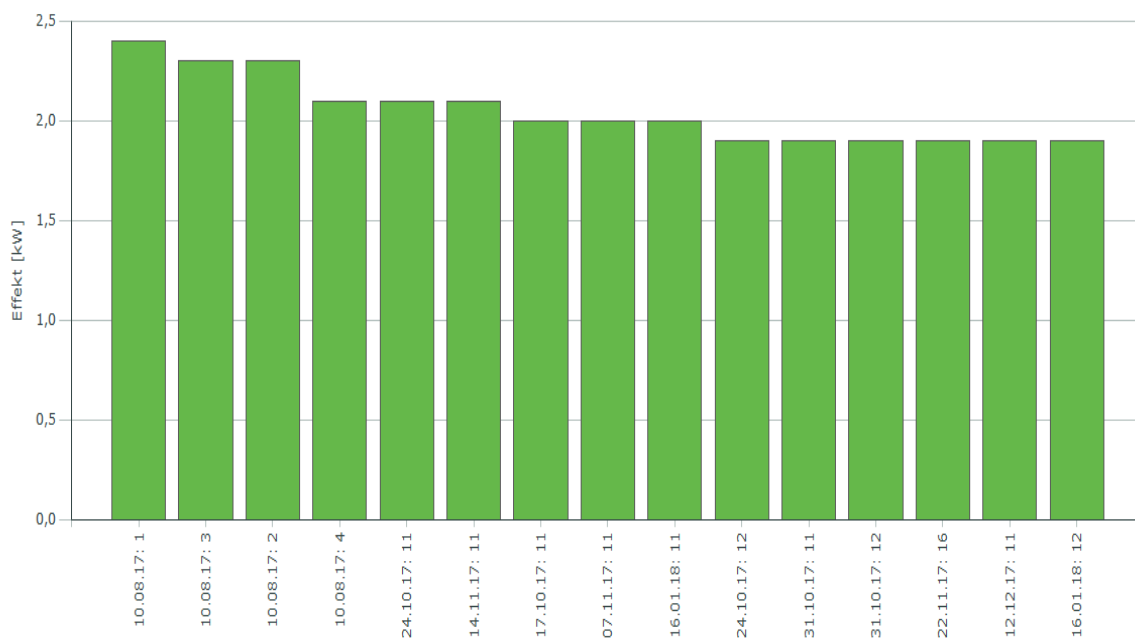
Måler: UM 2. etg nord stikk



Figur C.4: Effekttopper for stikkontakt i andre etasje nord fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 10.08.2017 - 10.03.2018

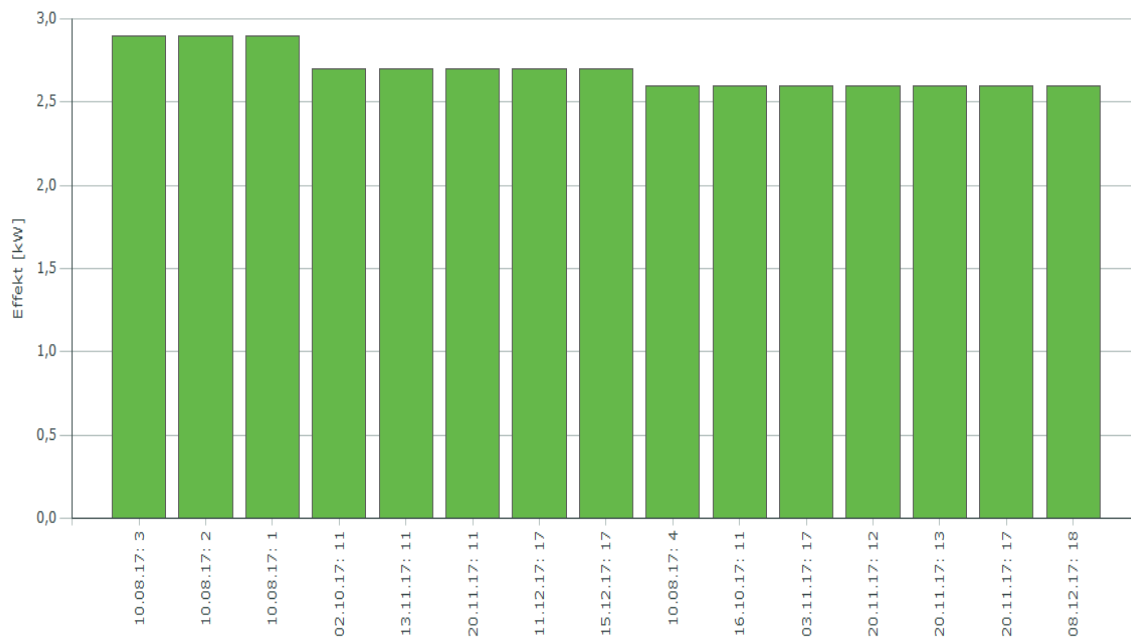
Måler: UM 3. etg sør stikk



Figur C.5: Effekttopper for stikkontakt i tredje etasje sør fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 10.08.2017 - 10.03.2018

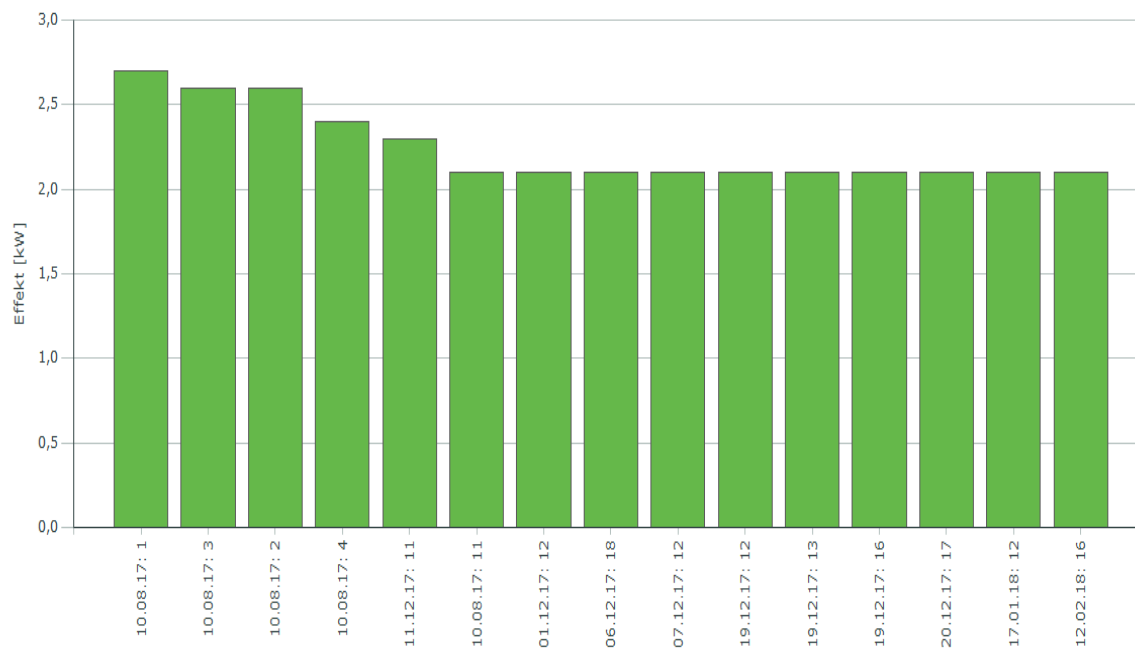
Måler: UM 4. etg nord stikk



Figur C.6: Effekttopper for stikkontakt i fjerde etasje nord fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 10.08.2017 - 10.03.2018

Måler: UM 4. etg sør stikk

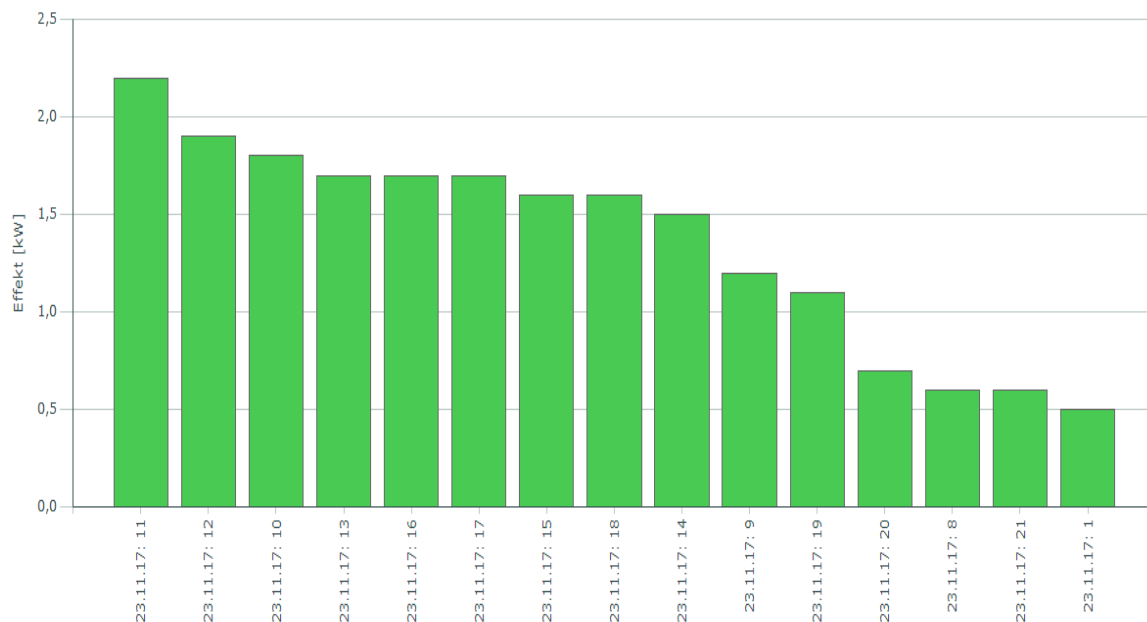


Figur C.7: Effekttopper for stikkontakt i fjerde etasje sør fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

C.1.2 Effekttopper i løpet av døgnet 23. november 2017

■ Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

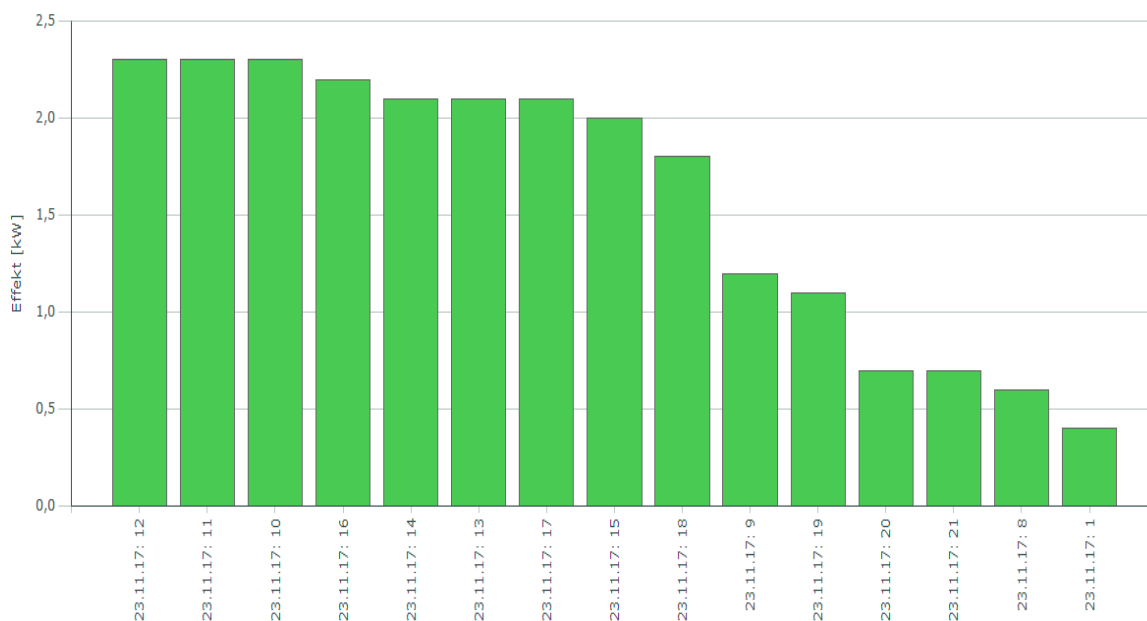
Måler: UM 1. etg nord stikk



Figur C.8: Effekttopper for stikkontakt i første etasje nord 23. november 2017

■ Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

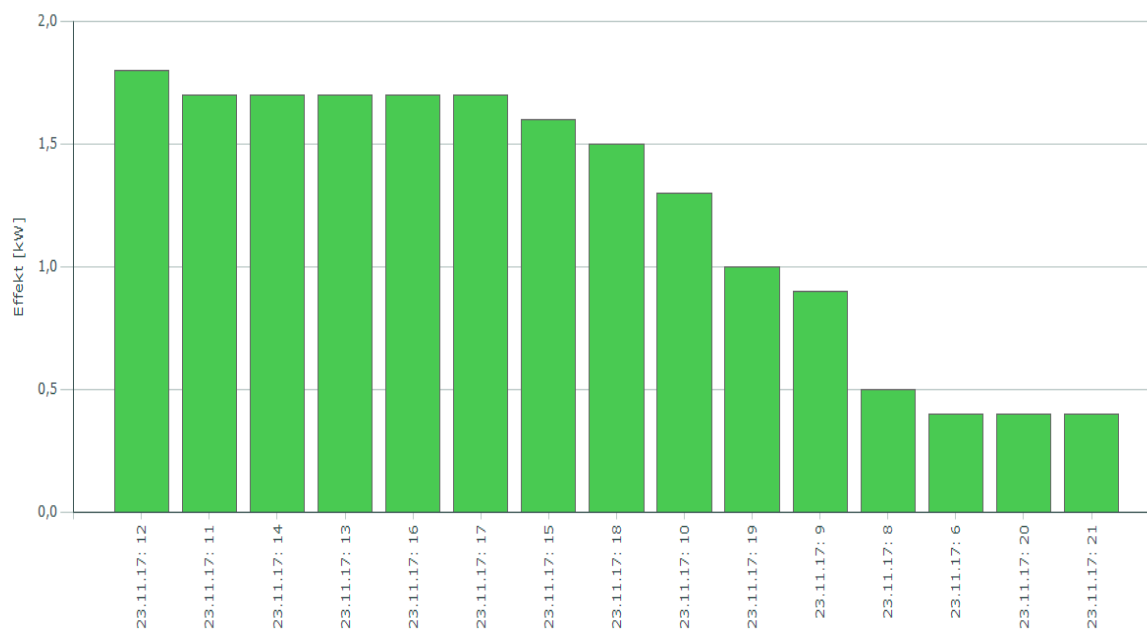
Måler: UM 1. etg sør stikk



Figur C.9: Effekttopper for stikkontakt i første etasje sør 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

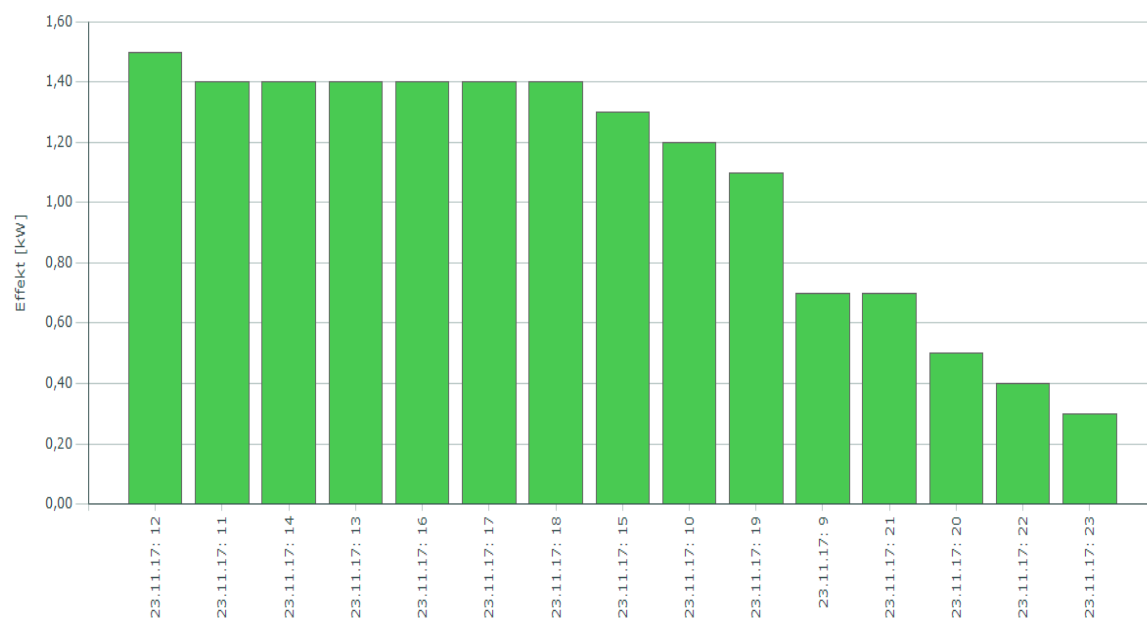
Måler: UM 2, etg sør stikk



Figur C.10: Effekttopper for stikkontakt i andre etasje sør 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

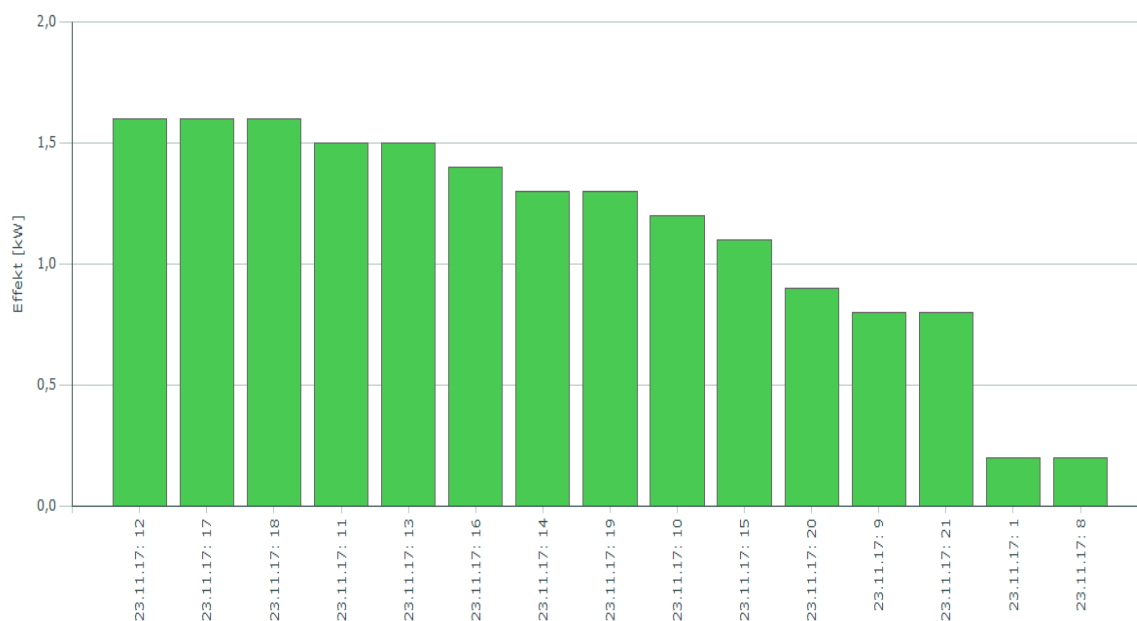
Måler: UM 2, etg nord stikk



Figur C.11: Effekttopper for stikkontakt i andre etasje nord 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

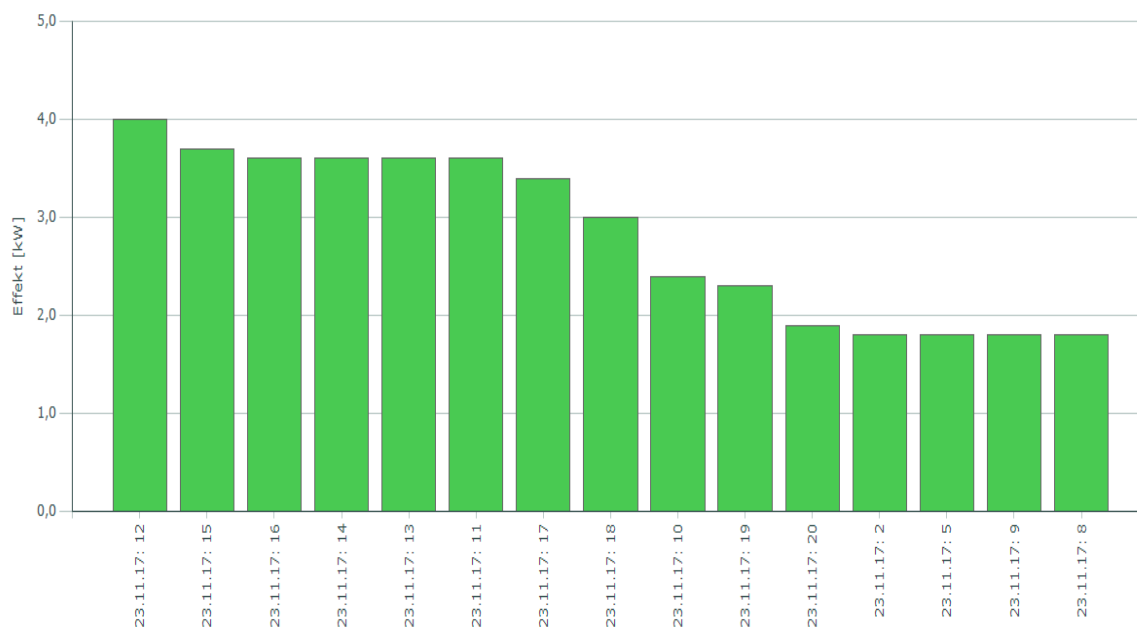
Måler: UM 3. etg sør stikk



Figur C.12: Effekttopper for stikkontakt i tredje etasje sør 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

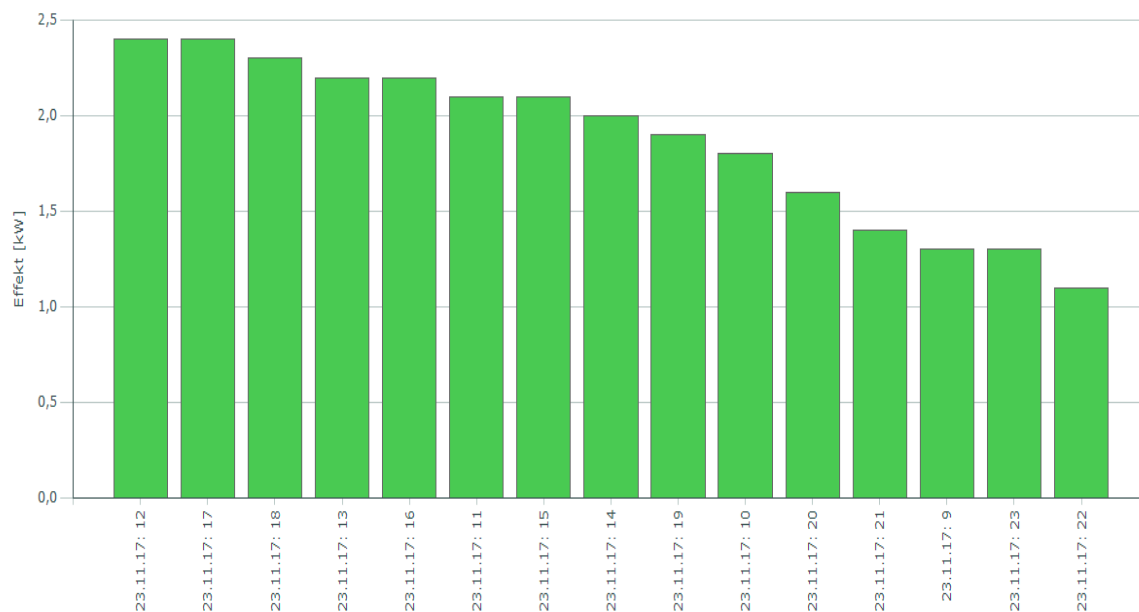
Måler: UM 3. etg nord stikk



Figur C.13: Effekttopper for stikkontakt i tredje etasje nord 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

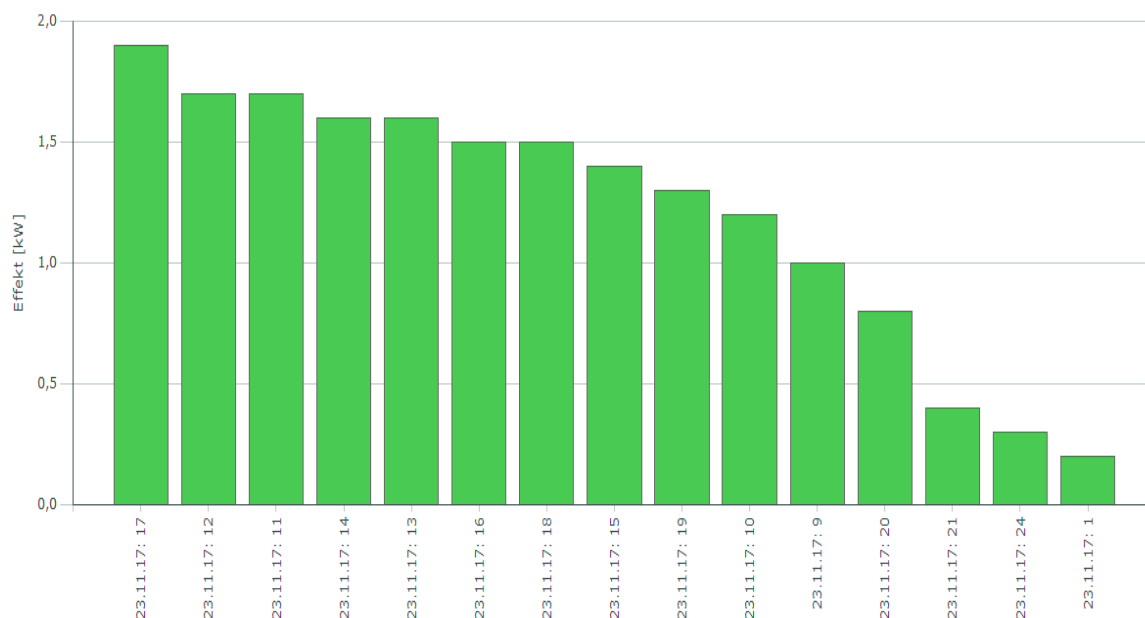
Måler: UM 4, etg nord stikk



Figur C.14: Effekttopper for stikkontakt i fjerde etasje nord 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

Måler: UM 4, etg sør stikk



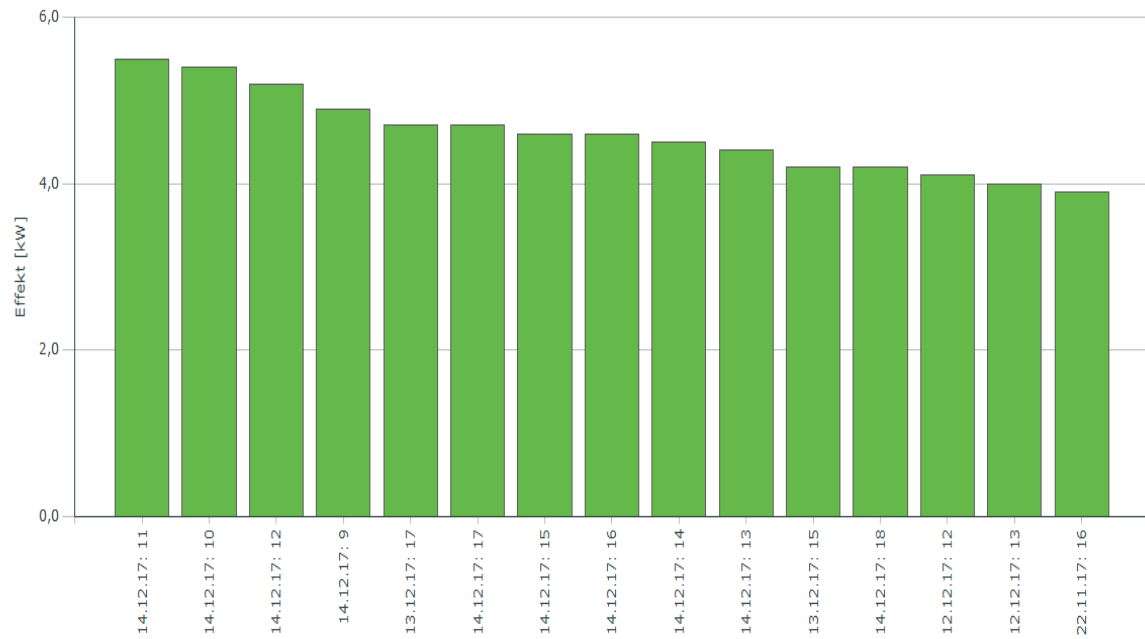
Figur C.15: Effekttopper for stikkontakt i fjerde etasje sør 23. november 2017

C.2 Belysningskurser

C.2.1 Effekttopper i løpet av hele måleperioden

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 15.08.2017 - 10.03.2018

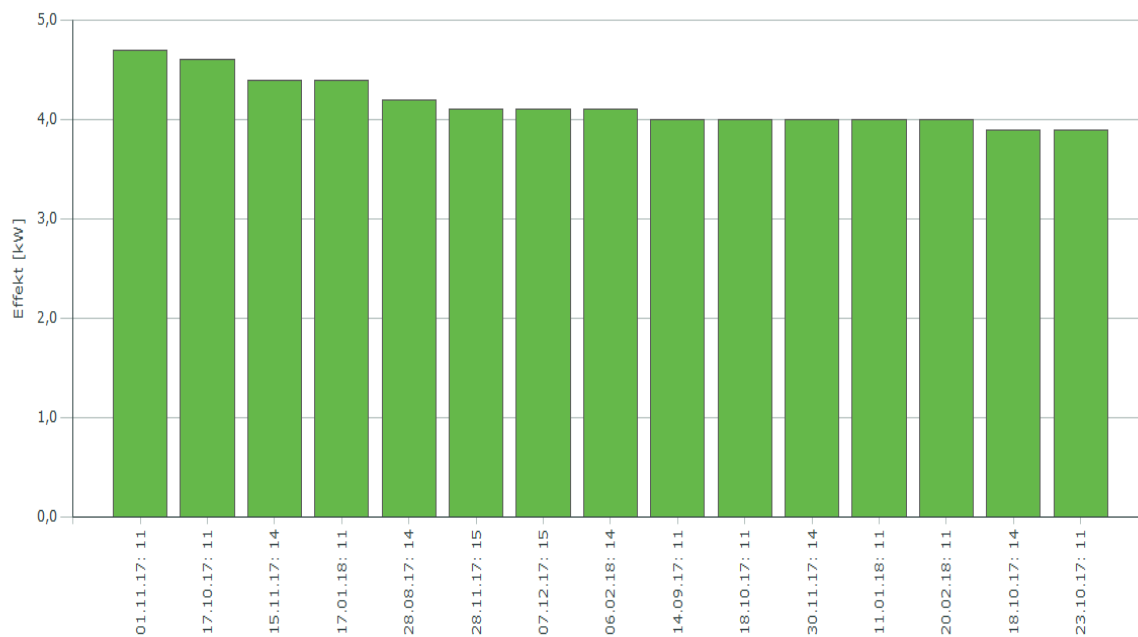
Måler: UM 1. etg nord lys



Figur C.16: Effekttopper for belysning i første etasje nord fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 15.08.2017 - 10.03.2018

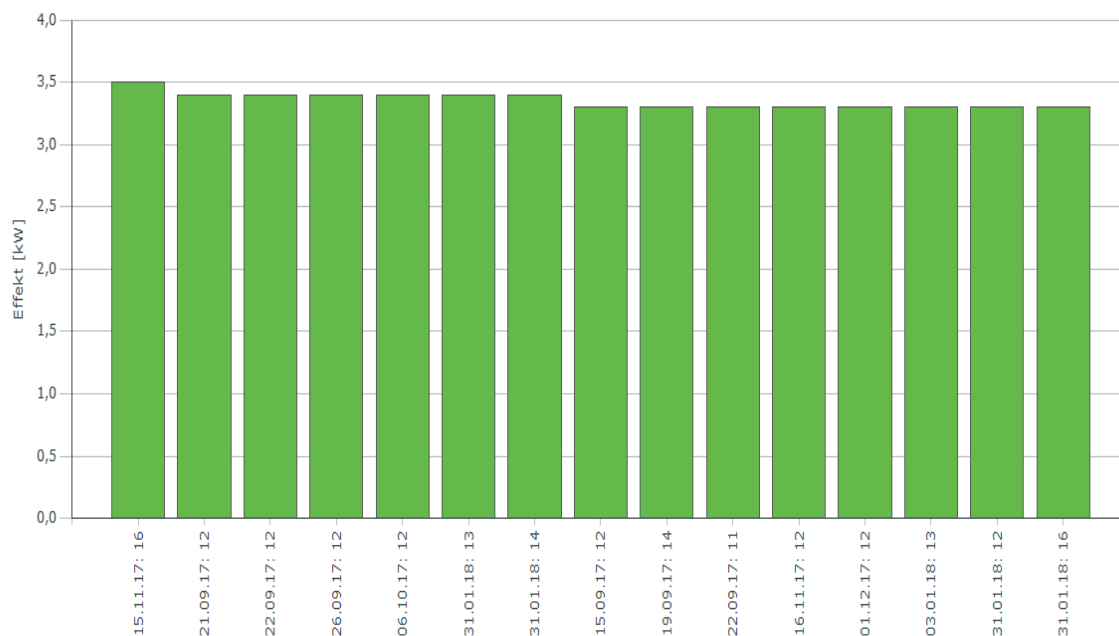
Måler: UM 1. etg sør lys



Figur C.17: Effekttopper for belysning i første etasje sør fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 15.08.2017 - 10.03.2018

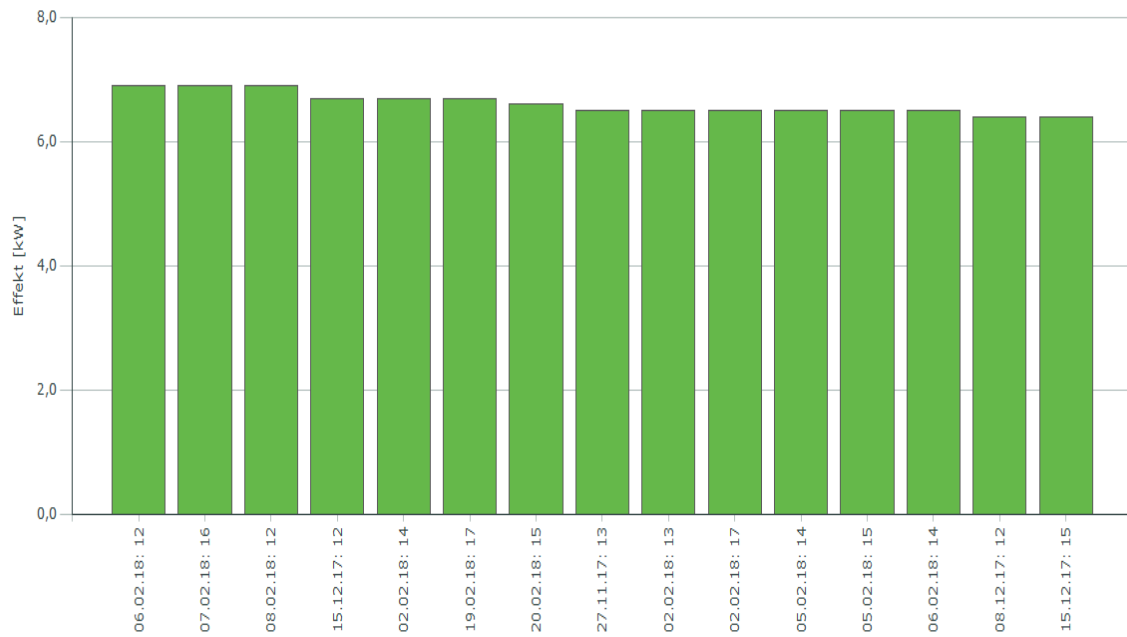
Måler: UM 2. etg nord lys



Figur C.18: Effekttopper for belysning i andre etasje nord fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 15.08.2017 - 10.03.2018

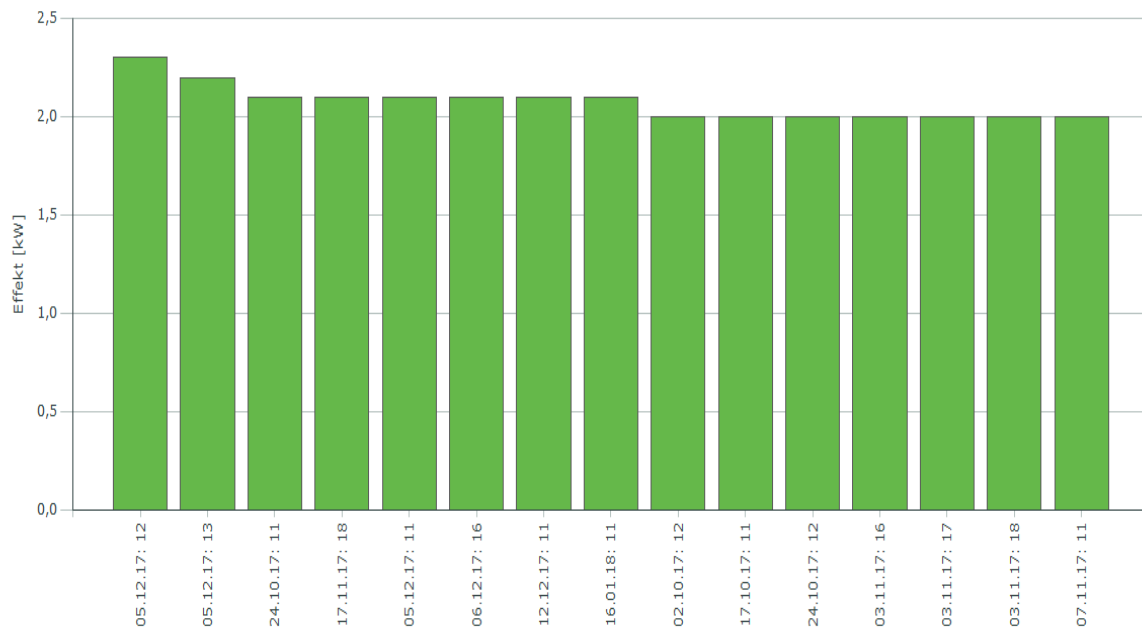
Måler: UM 2, etg sør lys



Figur C.19: Effekttopper for belysning i andre etasje sør fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 15.08.2017 - 10.03.2018

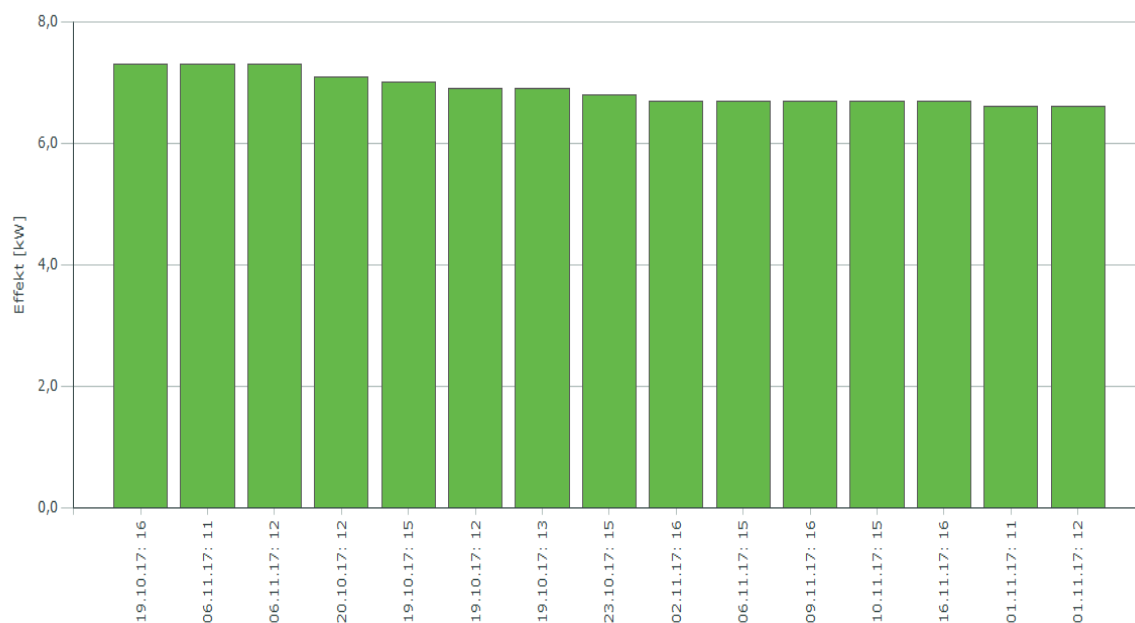
Måler: UM 3, etg nord lys



Figur C.20: Effekttopper for belysning i tredje etasje nord fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 15.08.2017 - 10.03.2018

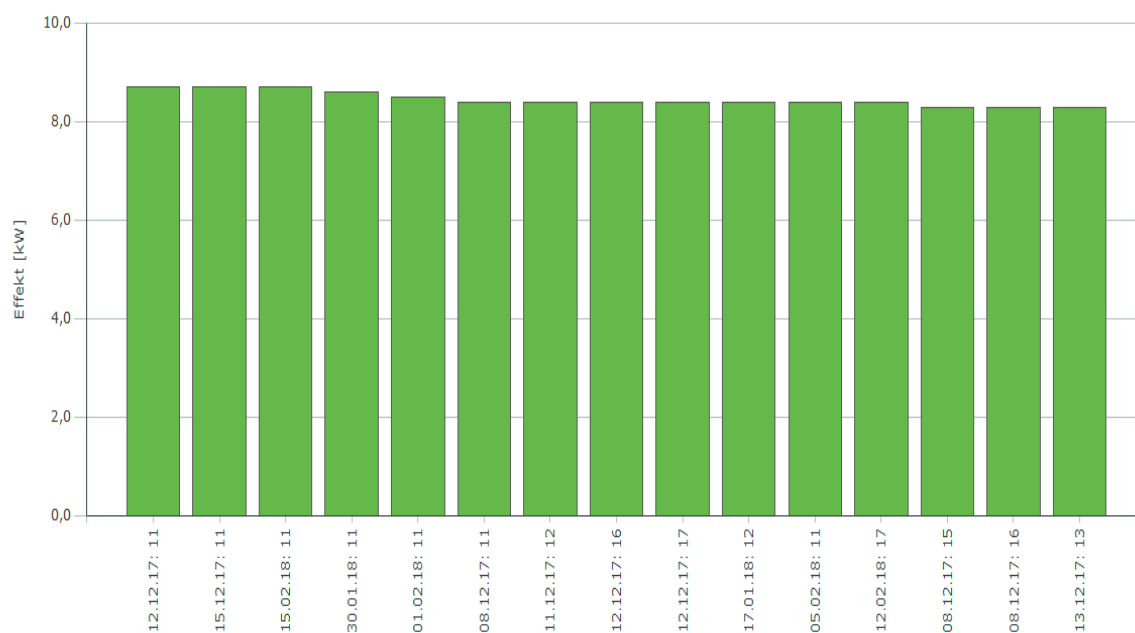
Måler: UM 3. etg sør lys



Figur C.21: Effekttopper for belysning i tredje etasje sør fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 15.08.2017 - 10.03.2018

Måler: UM 4. etg sør lys

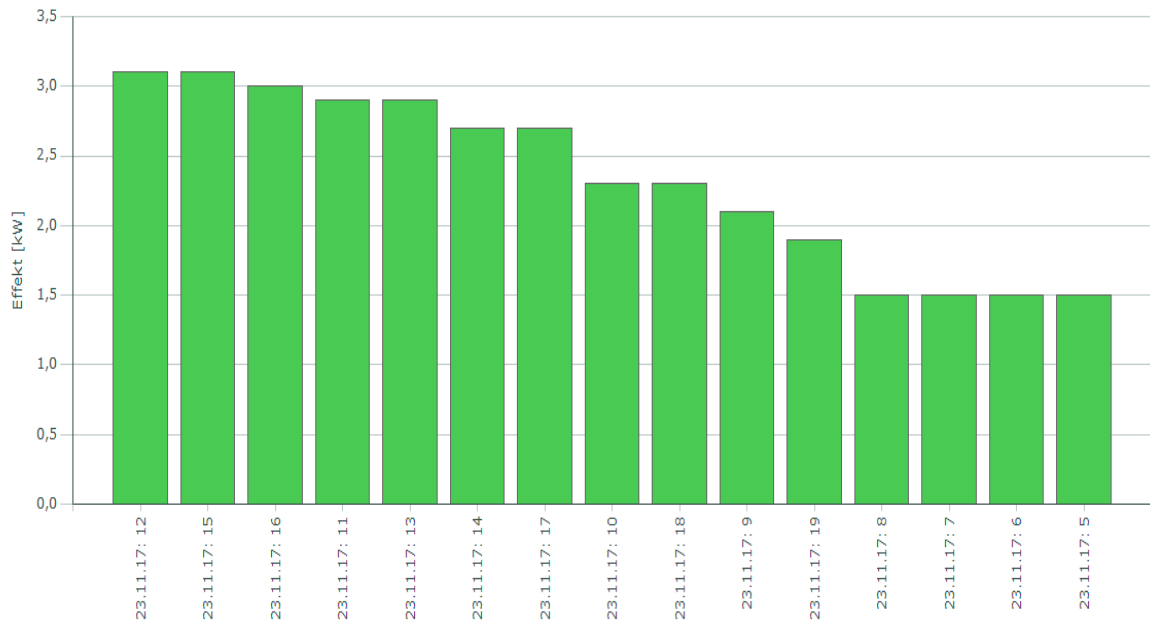


Figur C.22: Effekttopper for belysning i fjerde etasje sør fra 15. august 2017 til 10. mars 2018

C.2.2 Effekttopper i løpet av døgnet 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

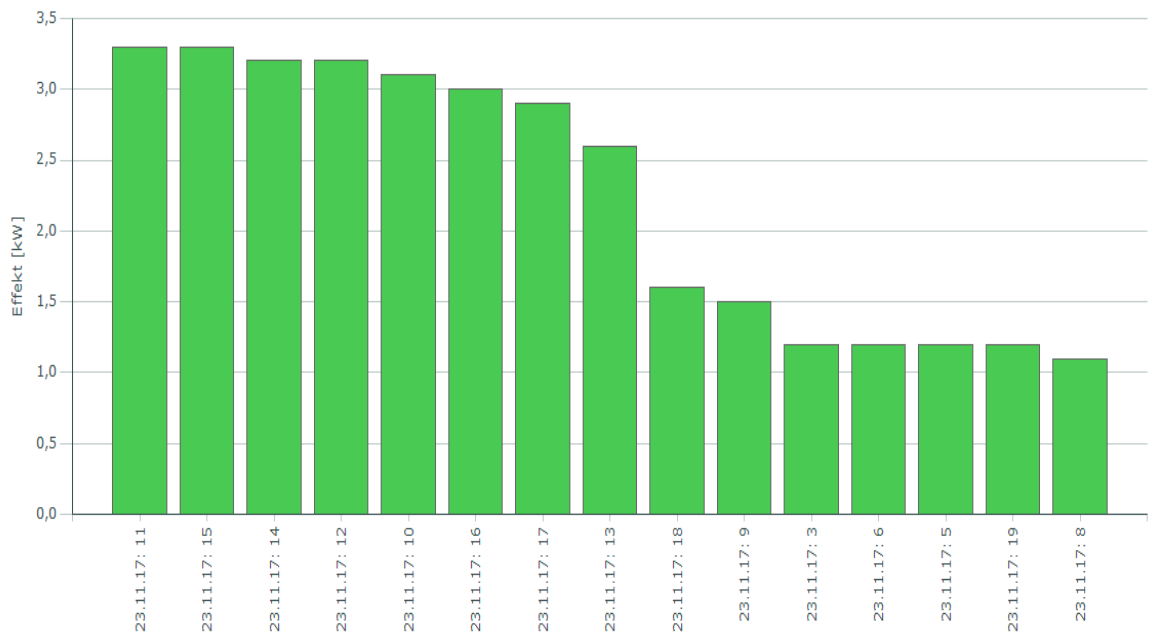
Måler: UM 1. etg nord lys



Figur C.23: Effekttopper for belysning i første etasje nord 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

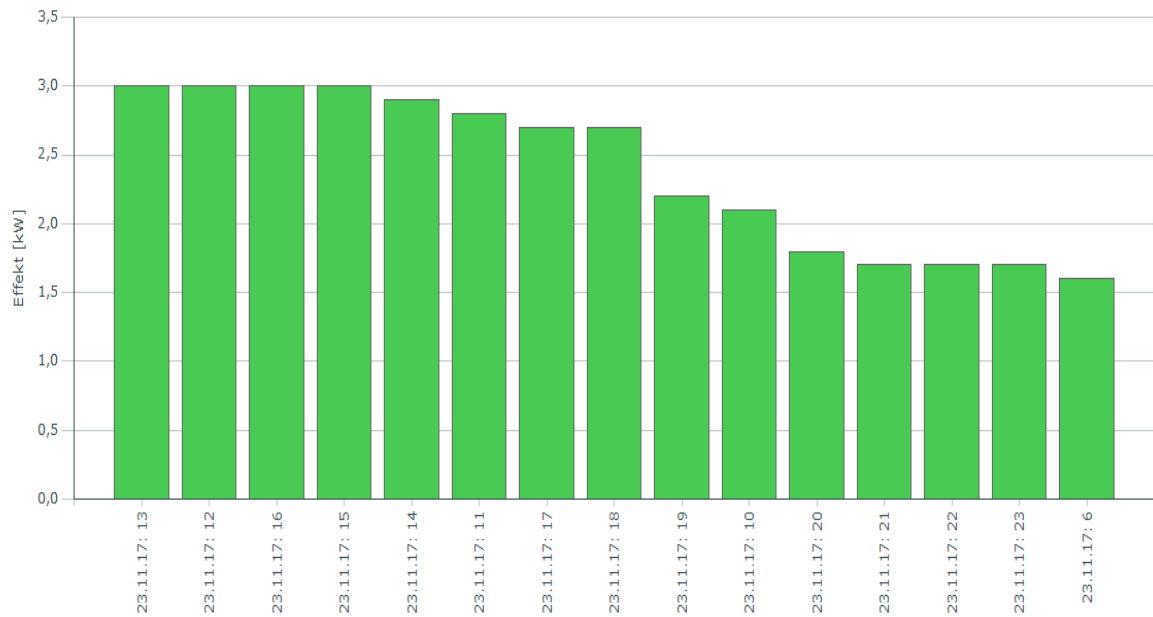
Måler: UM 1. etg sør lys



Figur C.24: Effekttopper for belysning i første etasje sør 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

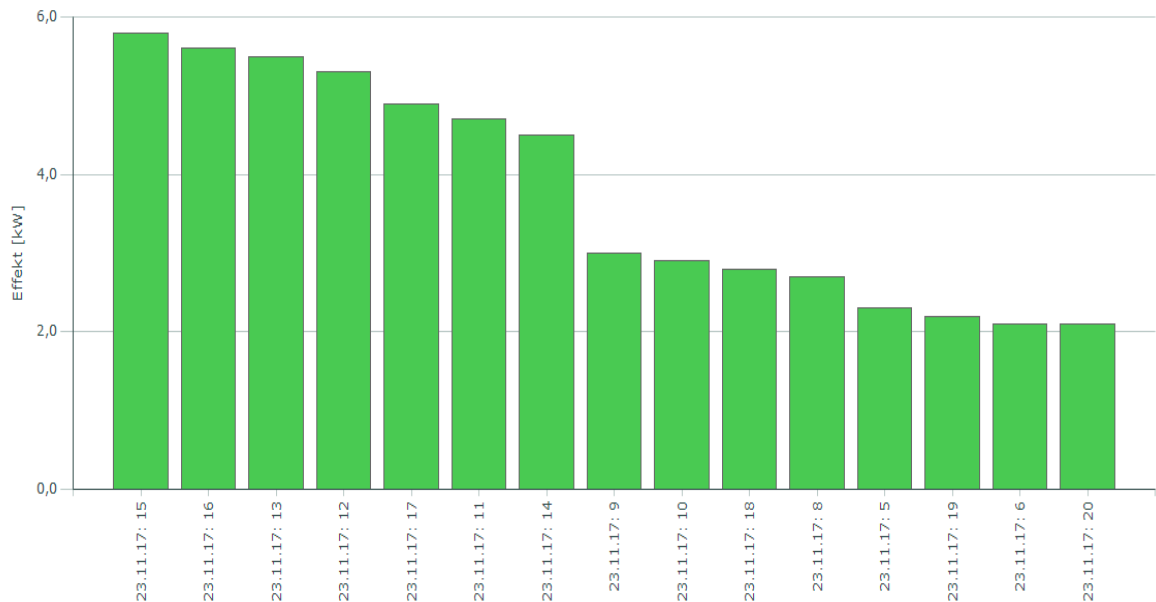
Måler: UM 2. etg nord lys



Figur C.25: Effekttopper for belysning i andre etasje nord 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

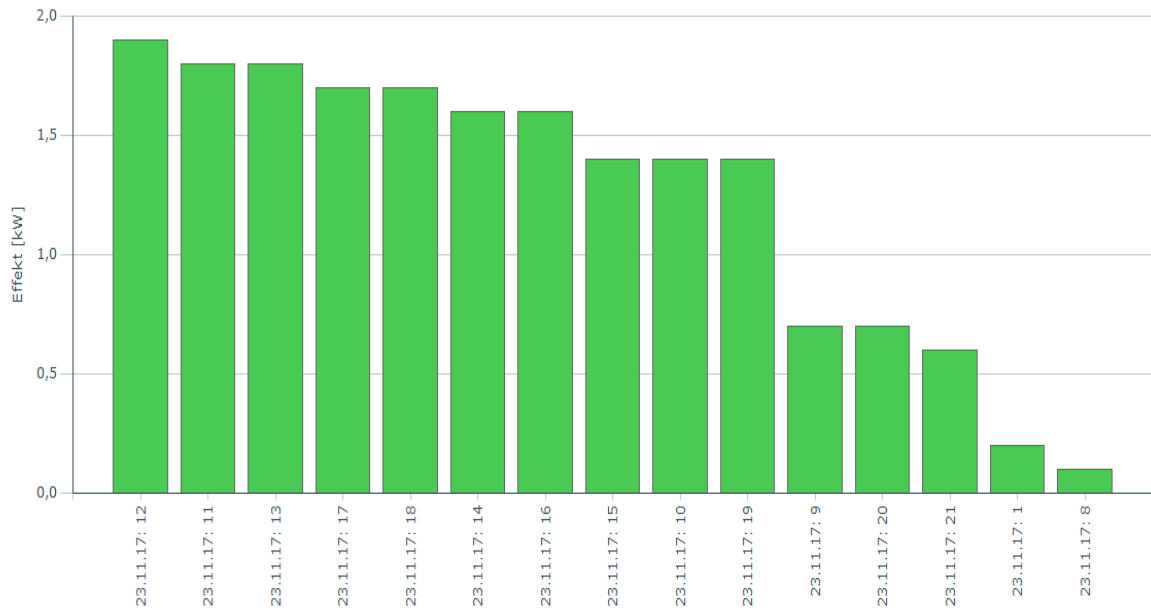
Måler: UM 2. etg sør lys



Figur C.26: Effekttopper for belysning i andre etasje sør 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

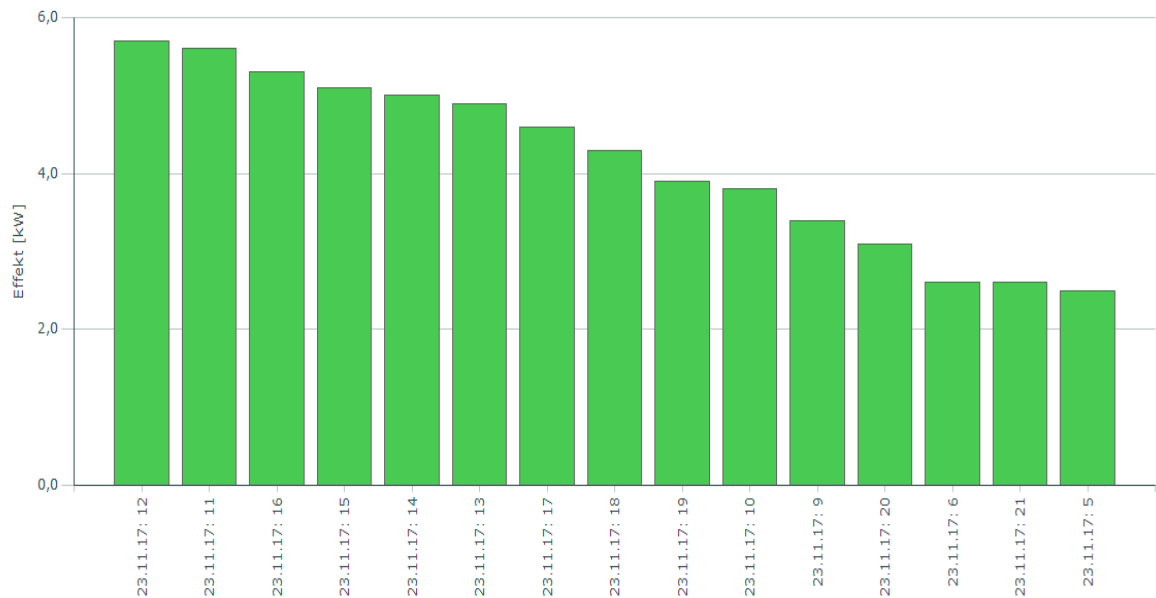
Måler: UM 3. etg nord lys



Figur C.27: Effekttopper for belysning i tredje etasje nord 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

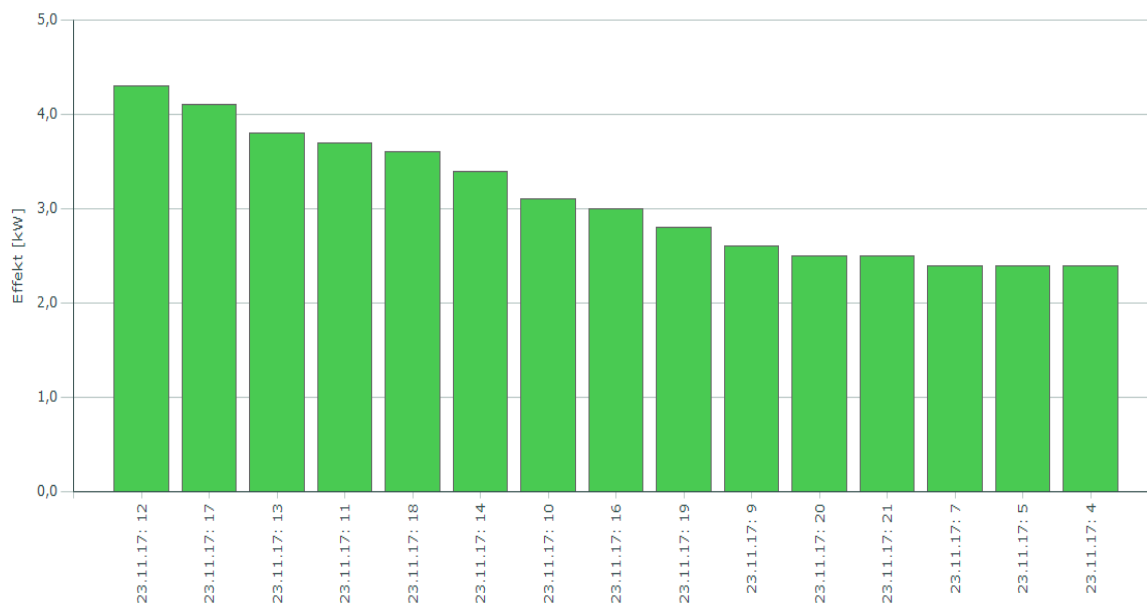
Måler: UM 3. etg sør lys



Figur C.28: Effekttopper for belysning i tredje etasje sør 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

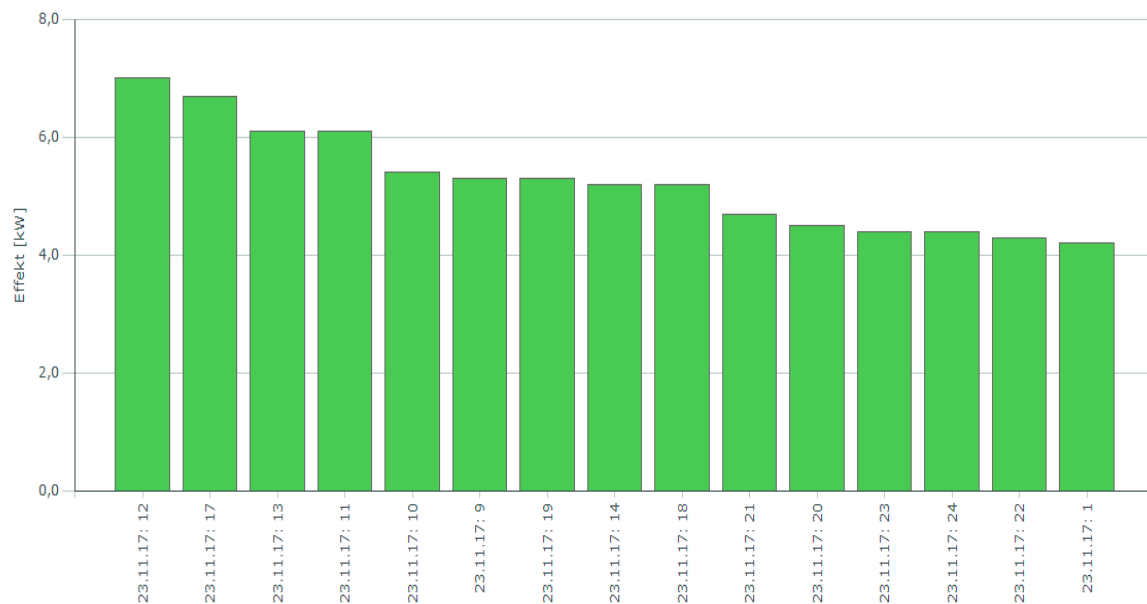
Måler: UM 4. etg nord lys



Figur C.29: Effekttopper for belysning i fjerde etasje nord 23. november 2017

Makseffekt (15 høyeste effektverdier [kW]) for perioden 23.11.2017 - 23.11.2017

Måler: UM 4. etg sør lys

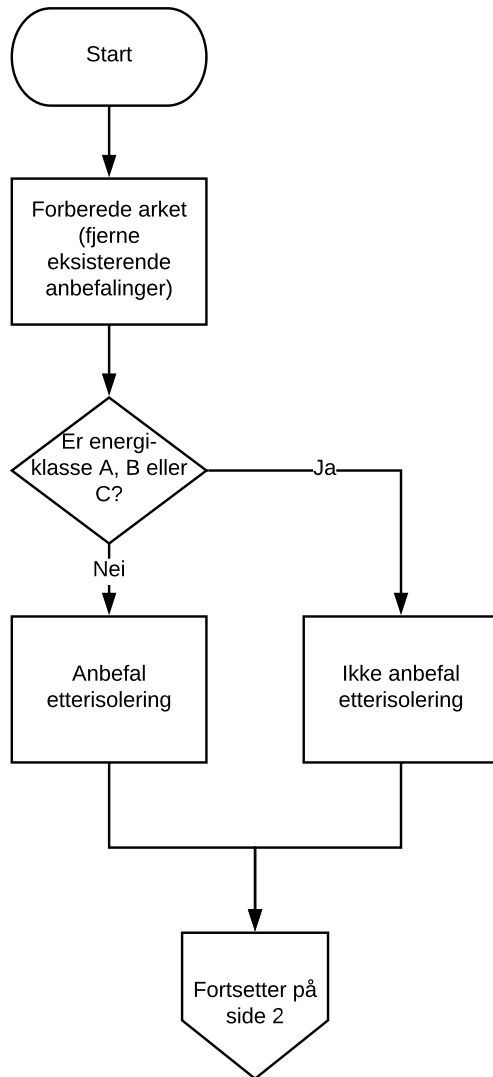


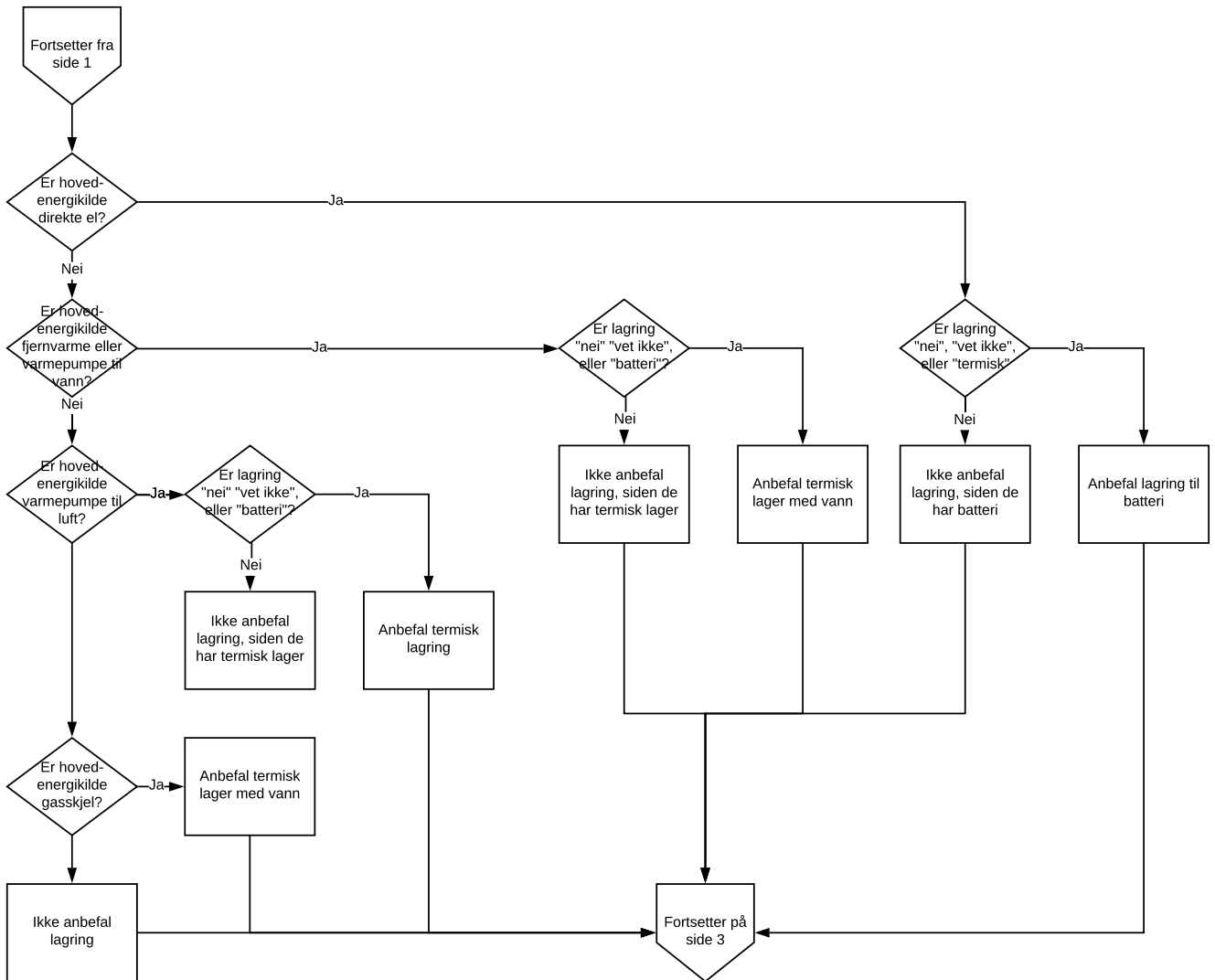
Figur C.30: Effekttopper for belysning i fjerde etasje sør 23. november 2017

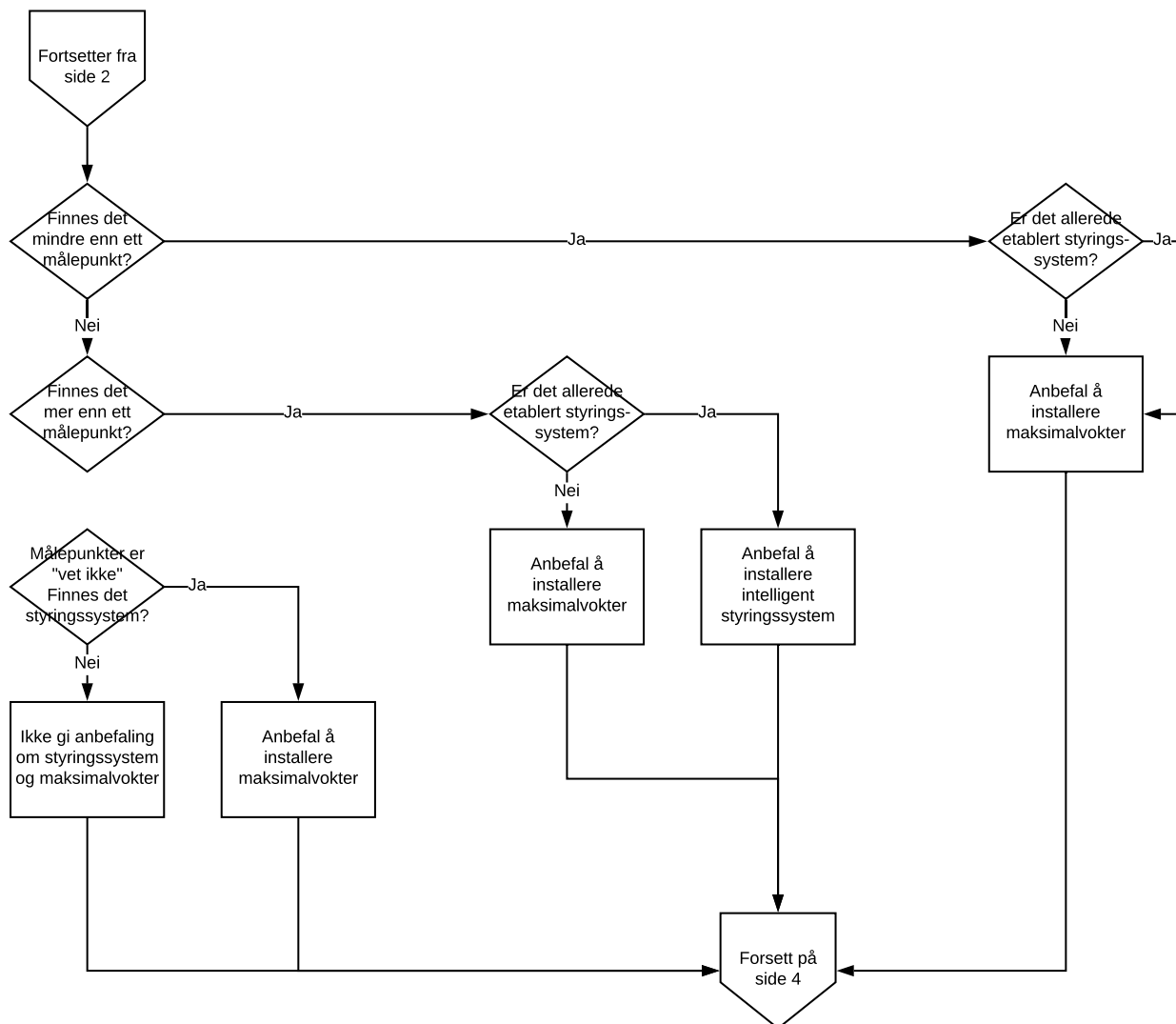
Vedlegg D

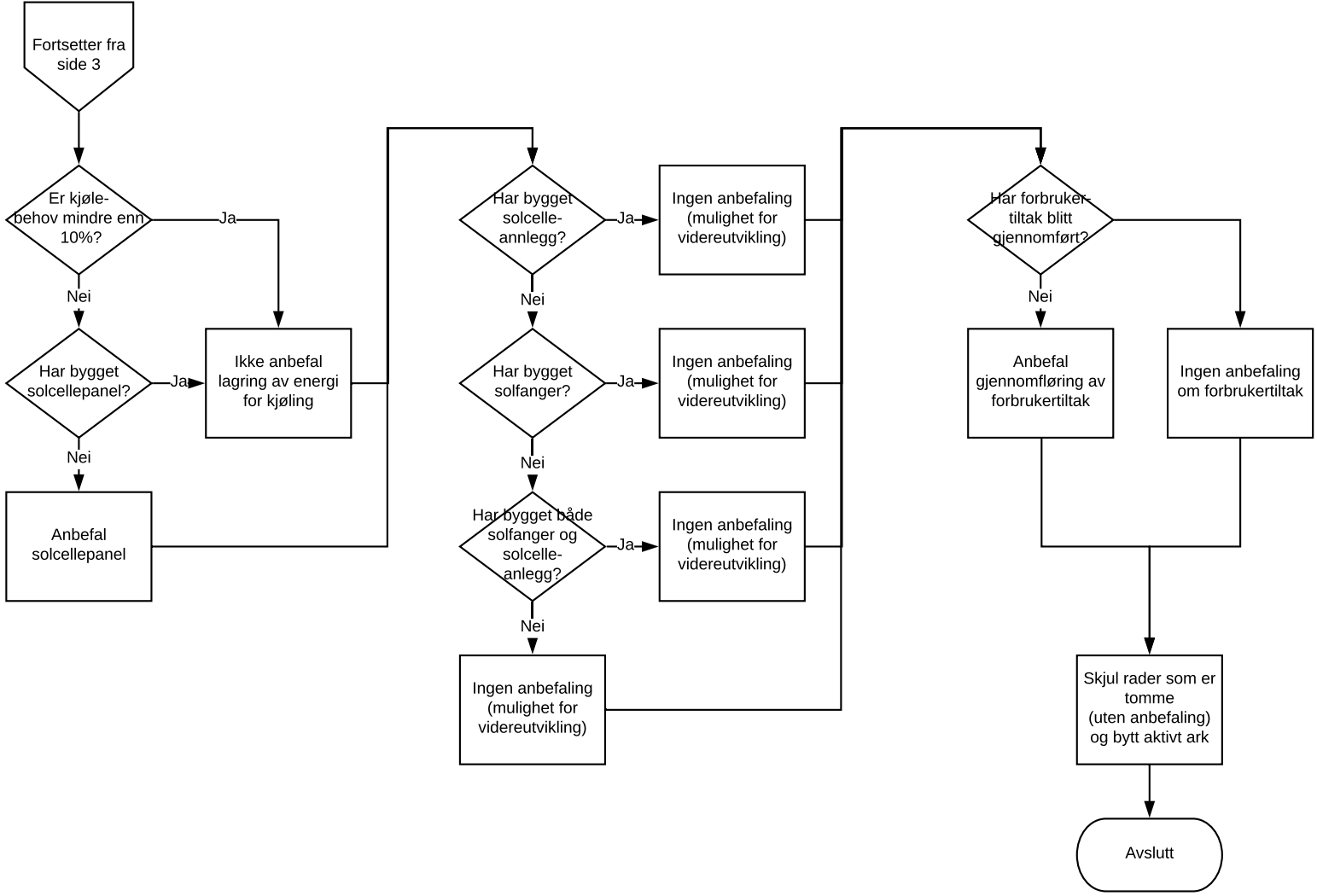
Flytskjema og kode for anbefaling av effektutjevnende tiltak

Et flytskjema for å vise tankegangen bak anbefalingen av tiltak, samt koden skrevet i Excel VBA (Visual Basic for Applications) Programmering er inkludert i sin helhet. I koden er forklarende tekst markert med blått.









```
Sub CreateSummary_Click()
```

```
,
```

```
' CreateSummary_Click Macro
```

```
,
```

```
,
```

```
WBName = ThisWorkbook.Name
```

```
,
```

```
-----
```

```
' Rydde rapportskjema
```

```
,
```

```
-----
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A3").Value = ""
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A4").Value = ""
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A5").Value = ""
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A6").Value = ""
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A7").Value = ""
```

```
For i = 3 To 10
```

```
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Rows(i).EntireRow.Hidden = False
```

```
Next i
```

```
If Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C3").Value = "" Or
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C4").Value = "" Or
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C5").Value = "" Or
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C6").Value = "" Or
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C7").Value = "" Or
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C8").Value = "" Or
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C9").Value = "" Or
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C10").Value = "" Then
```

```
    MsgBox "Alle feltene må fylles ut!"
```

```
    Exit Sub
```

```
End If
```

```
,
```

```
-----
```

```
' Energiklasse på bygget
```

```
,
```

```
-----
```

```
If InStr(Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C3"),
```

```
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C1")) Or
```

```
InStr(Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C3"),
```

```

Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C2")) Or
InStr(Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C3"),
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C3")) Then
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A3").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C52").Value
Else
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A3").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C51").Value
End If

```

' Energilagring

```

Energikilde = Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C4")
Lagring = Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C9")
If InStr(Energikilde, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C10")) Then
    If InStr(Lagring, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C42")) Or InStr(Lagring,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C43")) Or InStr(Lagring,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C40")) Then
        'Kilde er direkte el, og lagring er nei, vet ikke eller termisk
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A4").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C54").Value
    Else
        'Kilde er direkte el, lagring er batteri eller annet
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A4").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C57").Value
    End If
Elseif InStr(Energikilde, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C11")) Or
InStr(Energikilde, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C13")) Then
    If InStr(Lagring, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C42")) Or InStr(Lagring,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C43")) Or InStr(Lagring,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C39")) Then
        'Kilde er fjernvarme eller varmepumpe til vann, og lagring er nei, vet ikke eller batteri
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A4").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C55").Value
    Else
        'Kilde er fjernvarme eller varmepumpe til vann, lagring er termisk eller annet
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A4").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C57").Value
    End If
Elseif InStr(Energikilde, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C12")) Then

```

```

    If InStr(Lagring, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C42")) Or InStr(Lagring,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C43")) Or InStr(Lagring,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C39")) Then
        'Kilde er varmpumpe til luft, og lagring er nei, vet ikke eller batteri
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A4").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C56").Value
    Else
        'Kilde er varmpumpe til luft, lagring er termisk eller annet
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A4").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C57").Value
    End If
Elseif InStr(Energikilde, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C14")) Then
    'Kilde er gasskjel
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A4").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C55").Value
Else
    'Last resort
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A4").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C57").Value
End If

```

```

' Målepunkter, styringssystem og lignende

```

```

Målepunkter = Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C5")
Styring = Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C7")
If InStr(Målepunkter, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C17")) Then
    If InStr(Styring, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C30")) Or InStr(Styring,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C31")) Then
        ' Mindre enn ett målepunkt og ingen kjent styringssystem
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A5").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C59").Value
        Elseif InStr(Styring, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C29")) Then
            ' Mindre enn ett målepunkt og styringssystem
            Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A5").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C59").Value
        End If
    Elseif InStr(Målepunkter, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C18")) Then
        If InStr(Styring, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C30")) Or InStr(Styring,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C31")) Then
            ' Mer enn ett målepunkt og ingen kjent styringssystem

```



```

        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A5").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C60").Value
    ElseIf InStr(Styring, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C29")) Then
        ' Mer enn ett målepunkt og styringssystem
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A5").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C59").Value
    End If
Else
    ' Svart "vet ikke" på antall målepunkter
    If InStr(Styring, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C29")) Then
        'Vet ikke målepunkter, men har styringssystem
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A5").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C59").Value
    Else
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A5").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C61").Value
    End If
End If

```

```

'-----
-----
' Kjølebehov
'-----
-----

```

```

Kjølebehov = Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C6")
Solanlegg = Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C8")
If InStr(Kjølebehov, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C21")) Or InStr(Kjølebehov,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C22")) Or InStr(Kjølebehov,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C24")) Then
    ' Svart ingenting, mindre enn 5%, eller 5-10% på kjølebehov
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A6").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C63").Value
    ElseIf InStr(Kjølebehov, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C23")) Then
        If InStr(Solanlegg, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C35")) Or InStr(Solanlegg,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C36")) Or InStr(Solanlegg,
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C37")) Then
            'Svart større enn 10% kjølebehov, og ingen solcellepanel
            Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A6").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C64").Value
        Else
            Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A6").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C63").Value
        End If
    End If

```

```
Else
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A6").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C63").Value
End If
```

```
'-----
-----
' Lagring av energi
'-----
-----
```

```
If InStr(Solanlegg, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C34")) Then
    'Ja, har solcelleanlegg
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A7").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C66").Value
Elseif InStr(Solanlegg, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C35")) Then
    'Ja, har solfanger
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A7").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C67").Value
Elseif InStr(Solanlegg, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C33")) Then
    'Har både solceller og solfanger, vi må sjekke hva hovedvarmekilde er
    If InStr(Energikilde, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C10")) Then
        'Hovedvarmekilder er elektrisitet
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A7").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C66").Value
        Elseif InStr(Energikilde, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C11")) Or
InStr(Energikilde, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C13")) Then
            'Hovedvarmekilde er vannbåren
            Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A7").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C67").Value
        Else
            Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A7").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C68").Value
        End If
    End If
Else
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A7").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C68").Value
End If
```

```
'-----
-----
' Forbrukertiltak
'-----
-----
```

```
Forbrukeroppfordring = Workbooks(WBName).Sheets("Skjema").Range("C10")
If InStr(Forbrukeroppfordring, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C46")) Or
InStr(Forbrukeroppfordring, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C47")) Or
InStr(Forbrukeroppfordring, Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C48")) Then
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A8").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C70").Value
Else
    Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A8").Value =
Workbooks(WBName).Sheets("Data").Range("C71").Value
End If

For i = 3 To 10
    If Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Range("A" & i).Value = "" Then
        Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Rows(i).EntireRow.Hidden = True
    End If
Next i

Workbooks(WBName).Sheets("Resultat").Activate
End Sub
```